



建筑工程简明计算手册丛书

# 土方与地基

## 基础工程计算手册

TU FANG YU DI  
JICHU GONGCHENG JISUAN SHOUC

梁敦维 谢珍兰 编

山西科学技术出版社

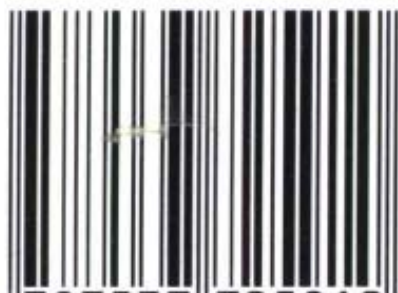
SHANXI SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

责任编辑 / 温洁茹    封面设计 / 吕雁军

## 建筑工程简明计算手册丛书

|               |         |
|---------------|---------|
| 混凝土工程计算手册     | 15.00 元 |
| 建筑工程预算计算手册    | 15.00 元 |
| 结构吊装工程计算手册    | 15.00 元 |
| 建筑施工组织设计计算手册  | 15.00 元 |
| 土方与地基基础工程计算手册 | 15.00 元 |

ISBN 7-5377-2591-8



9 787537 725910 >

ISBN 7-5377-2591-8

T · 401 定价:15.00 元

· 建筑工程简明计算手册丛书 ·

# 土方与地基基础 工程计算手册

梁敦维 谢珍兰 编

山西科学技术出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

土方与地基基础工程计算手册 / 梁敦维, 谢珍兰编. —太原: 山西科学技术出版社, 2006. 1

(建筑工程简明计算手册丛书)

ISBN 7-5377-2591-8

I. 土... II. ①梁... ②谢... III. ①土方工程—工程计算—技术手册 ②地基—基础工程—工程计算—技术手册 IV. ①TU751-62 ②TU47-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 125312 号

·建筑工程简明计算手册丛书·

### 土方与地基基础工程计算手册

梁敦维 谢珍兰 编

\*

山西科学技术出版社出版 (太原建设南路 15 号)

新华书店经销 太原兴晋科技印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 1/32 印张: 5 字数: 145 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月太原第 1 次印刷

印数: 1-3000 册

\*

ISBN 7-5377-2591-8

T·401 定价: 15.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与印厂联系调换。

# 前 言

《建筑工程简明计算手册丛书》是从建筑工程施工现场工程技术人员及技术人员实际操作需要出发，本着简明、实用、够用和好用的原则，紧扣现行标准、规范和规程，经优化筛选，将施工现场最常用、最基本的施工计算汇编成册，便于工程技术人员及技术人员查阅使用。

丛书包括《土方与地基基础工程计算手册》、《混凝土工程计算手册》、《结构吊装工程计算手册》、《建筑施工组织设计计算手册》、《建筑工程预算计算手册》等五本。

《土方与地基基础工程计算手册》编入了土方与地基基础工程施工常用的计算资料，内容包括：施工基本计算、土方工程、排水与降水工程、基坑工程、地基处理、桩基础工程、民用建筑施工测量、土方工程冬期施工等。

本书内容精炼，是建筑工程施工的常用工具书，在进行施工准备、编制施工方案、处理技术问题及制定安全技术措施、对工程质量和操作安全进行有效控制等各项计算工作中应用广泛。

# 目 录

|                     |      |
|---------------------|------|
| 一、施工基本计算 .....      | (1)  |
| (一) 土的分类及性质 .....   | (1)  |
| (二) 几何基本图形计算 .....  | (7)  |
| 二、土方工程 .....        | (13) |
| (一) 场地平整土方量计算 ..... | (13) |
| (二) 土方平衡与调配计算 ..... | (22) |
| (三) 土方机械施工计算 .....  | (24) |
| (四) 填土压实计算 .....    | (26) |
| 三、排水与降水工程 .....     | (29) |
| (一) 场地排水计算 .....    | (29) |
| (二) 基坑明沟排水计算 .....  | (34) |
| (三) 土的渗透系数计算 .....  | (35) |
| (四) 基坑涌水量计算 .....   | (37) |
| (五) 井点、管井降水计算 ..... | (40) |
| (六) 截水计算 .....      | (44) |
| 四、基坑工程 .....        | (45) |
| (一) 基坑放坡开挖计算 .....  | (46) |



|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| (二) 基坑(槽)土方工程量计算 .....            | (48)         |
| (三) 基坑(槽)开挖最小深度验算 .....           | (49)         |
| (四) 基坑(槽)和管沟支撑计算 .....            | (50)         |
| (五) 支护结构计算 .....                  | (59)         |
| <b>五、地基处理 .....</b>               | <b>(75)</b>  |
| (一) 换填垫层法 .....                   | (75)         |
| (二) 强夯法和强夯置换法 .....               | (79)         |
| (三) 灰土挤密桩法和土挤密桩法 .....            | (82)         |
| (四) 砂石桩法 .....                    | (84)         |
| (五) 振冲法 .....                     | (87)         |
| (六) 水泥粉煤灰碎石桩法 .....               | (89)         |
| (七) 单液硅化法和碱液法 .....               | (91)         |
| (八) 预压法 .....                     | (94)         |
| (九) 地基承载力、变形和稳定性计算 .....          | (102)        |
| <b>六、桩基础工程 .....</b>              | <b>(112)</b> |
| (一) 预制桩沉桩施工控制计算 .....             | (112)        |
| (二) 爆扩桩扩大头直径及人工挖孔桩护壁厚度计算<br>..... | (115)        |
| (三) 单桩竖向极限承载力标准值计算 .....          | (118)        |
| (四) 特殊条件下桩基竖向承载力验算 .....          | (127)        |
| <b>七、民用建筑施工测量 .....</b>           | <b>(134)</b> |
| (一) 距离测量计算 .....                  | (134)        |
| (二) 标高测设计算 .....                  | (140)        |
| (三) 水平角测设计算 .....                 | (144)        |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 八、土方工程冬期施工 .....        | (147) |
| (一) 土的冻结深度计算 .....      | (147) |
| (二) 保温材料防冻覆盖层厚度计算 ..... | (148) |
| (三) 冻胀性地基容许受冻深度计算 ..... | (149) |
| (四) 冻土融解的循环针法计算 .....   | (150) |



# 一、施工基本计算

## (一) 土的分类及性质

### 1. 土的工程分类

表 1-1

| 土的分类          | 土的级别 | 土 的 名 称                                       | 坚实系数<br>$f$ | 密度<br>( $\text{t/m}^3$ ) | 开挖方法及工具                 |
|---------------|------|-----------------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| 一类土<br>(松软土)  | I    | 砂土、粉土、冲积砂土层、疏松的种植土、淤泥(泥炭)                     | 0.5 ~ 0.6   | 0.6 ~ 1.5                | 用锹、锄头挖掘,少许用脚蹬           |
| 二类土<br>(普通土)  | II   | 粉质粘土;潮湿的黄土;夹有碎石、卵石的砂;粉土混卵(碎)石;种植土、填土          | 0.6 ~ 0.8   | 1.1 ~ 1.6                | 用锹、锄头挖掘,少许用镐翻松          |
| 三类土<br>(坚土)   | III  | 软及中等密实粘土;重粉质粘土、砾石土;干黄土、含碎石卵石的黄土、粉质粘土;压实的填土    | 0.8 ~ 1.0   | 1.75 ~ 1.9               | 主要用镐,少许用锹、锄头挖掘,部分用撬棍    |
| 四类土<br>(沙砾坚土) | IV   | 坚硬密实的粘性土或黄土;含碎石卵石的中等密实的粘性土或黄土;粗卵石;天然级配砂石;软泥灰岩 | 1.0 ~ 1.5   | 1.9                      | 整个先用镐、撬棍,后用锹挖掘,部分用楔子及大锤 |

续 表

| 土的分类         | 土的<br>级别 | 土 的 名 称                                                            | 坚实系数<br>$f$       | 密度<br>( $\text{t/m}^3$ ) | 开挖方法<br>及工具                         |
|--------------|----------|--------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 五类土<br>(软石)  | V ~ VI   | 硬质粘土;中密的页<br>岩、泥灰岩、白垩土;胶<br>结不紧的砾岩;软石灰<br>及贝壳石灰石                   | 1.5 ~ 4.0         | 1.1 ~ 2.7                | 用镐或<br>撬棍、大锤<br>挖掘,部分<br>使用爆破<br>方法 |
| 六类土<br>(次坚石) | VII ~ IX | 泥岩、砂岩、砾岩;坚<br>实的页岩、泥灰岩,密实<br>的石灰岩;风化花岗岩、<br>片麻岩及正长岩                | 4.0 ~ 10.0        | 2.2 ~ 2.9                | 用爆破<br>方法开挖,<br>部分用风<br>镐           |
| 七类土<br>(坚石)  | X ~ XIII | 大理石;辉绿岩;玢<br>岩;粗、中粒花岗岩;坚<br>实的白云岩、砂岩、砾<br>岩、片麻岩、石灰岩;微<br>风化安山岩;玄武岩 | 10.0 ~ 18.0       | 2.5 ~ 3.1                | 用爆破<br>方法开挖                         |
| 八类土<br>(特坚石) | XIV ~ XV | 安山岩;玄武岩;花岗<br>片麻岩;坚实的细粒花<br>岗岩、闪长岩、石英岩、<br>辉长岩、辉绿岩、玢岩、<br>角闪岩      | 18.0 ~ 25.0<br>以上 | 2.7 ~ 3.3                | 用爆破<br>方法开挖                         |

注:1. 土的级别为相当于一般 16 级土石分类级别;

2. 坚实系数  $f$  为相当于普氏岩石强度系数。

2. 土的野外鉴别方法

表 1-2

| 土的名称 | 湿润时<br>用刀切 | 湿土用手捻<br>摸时的感觉         | 土的状态        |                | 湿土搓<br>条情况                            |
|------|------------|------------------------|-------------|----------------|---------------------------------------|
|      |            |                        | 干土          | 湿土             |                                       |
| 粘土   | 切面光滑、有粘刀阻力 | 有滑腻感,感觉不到有砂粒,水分较大时很粘手  | 土块坚硬,用锤才能打碎 | 易粘着物体,干燥后不易剥去  | 塑性大,能搓成直径小于0.5mm的长条(长度不短于手掌);手持一端不易断裂 |
| 粉质粘土 | 稍有光滑面,切面平整 | 稍有滑腻感,有粘滞感,感觉到有少量砂粒    | 土块用力可压碎     | 能粘着物体,干燥后较易剥去  | 有塑性,能搓成直径为0.5~2mm的土条                  |
| 粉土   | 无光滑面,切面稍粗糙 | 有轻微粘滞感或无粘滞感,感觉到砂粒较多、粗糙 | 土块用手捏或抛扔时易碎 | 不易粘着物体,干燥后一碰就掉 | 塑性小,能搓成直径为2~3mm的短条                    |
| 砂土   | 无光滑面,切面粗糙  | 无粘滞感,感觉到全是砂粒、粗糙        | 松散          | 不能粘着物体         | 无塑性,不能搓成土条                            |

3. 土的基本物理性质指标

表 1-3

| 指标名称 | 符号       | 基本表达式                    | 常用换算公式                      | 附注                                                              |
|------|----------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 天然密度 | $\rho$   | $\rho = \frac{m}{V}$     | $\rho = \rho_d(1+w)$        | 一般粘性土:1.8~2.0g/cm <sup>3</sup> ;<br>砂土:1.6~2.0g/cm <sup>3</sup> |
| 干密度  | $\rho_d$ | $\rho_d = \frac{m_s}{V}$ | $\rho_d = \frac{\rho}{1+w}$ | 一般土的干密度:1.3~1.8g/cm <sup>3</sup>                                |
| 重度   | $\gamma$ | $\gamma = \rho g$        |                             | kN/m <sup>3</sup> , $g = 9.8\text{m/s}^2$                       |

| 指标名称         | 符号           | 基本表达式                                    | 常用换算公式                                                        | 附 注                                                       |
|--------------|--------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 天然含水量        | $w$          | $w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\%$       | $w = \frac{\rho}{\rho_d} - 1$                                 | 土的含水量一般有 20% ~ 60%                                        |
| 孔隙比          | $e$          | $e = \frac{V_v}{V_s}$                    | $e = \frac{n}{1-n}$                                           | 一般粘性土: 0.4 ~ 1.2; 砂石: 0.3 ~ 0.9                           |
| 孔隙度<br>(孔隙率) | $n$          | $n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$         | $n = \frac{e}{1+e} \times 100\%$                              | 一般粘性土: 30% ~ 60%<br>砂土: 25% ~ 45%                         |
| 饱和度          | $S_r$        | $S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$     | $S_r = \frac{w\rho_d}{n};$<br>$S_r = \frac{\rho - \rho_d}{n}$ | 孔隙全部为水所充填 $S_r = 100\%$ 的土称饱和土; $S_r \geq 80\%$ 的土可认为是饱和的 |
| 饱和密度         | $\rho_{sat}$ | $\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v\rho_w}{V}$ | $\rho_{sat} = \rho_d + \frac{e}{1+e}$                         | 一般土的饱和密度: 1.8 ~ 2.3 g/cm <sup>3</sup>                     |

#### 4. 土的工程性质

(1) 土的可松性: 是指自然状态下的土经开挖以后, 其体积因松散而增加, 以后虽经回填压实, 仍不能恢复成原来的体积的性质。土的可松性的大小用可松性系数表示, 即最初可松性系数  $K_p$ ; 最终可松性系数  $K'_p$ 。

$$K_p = \frac{V_2}{V_1}; K'_p = \frac{V_3}{V_1} \quad (1-1)$$

式中  $V_1$ ——土的自然状态的体积;  
 $V_2$ ——土经开挖后呈松散状态的体积;  
 $V_3$ ——土经回填压实后的体积。

各种土的可松性参考数值

表 1-4

| 土 的 类 别     | 体 积 增 加 百 分 比 |         | 可 松 性 系 数   |             |
|-------------|---------------|---------|-------------|-------------|
|             | 最 初           | 最 终     | $K_p$       | $K'_p$      |
| 一、种植土除外     | 8 ~ 17        | 1 ~ 2.5 | 1.08 ~ 1.17 | 1.01 ~ 1.03 |
| 二、植物性土、泥炭   | 20 ~ 30       | 3 ~ 4   | 1.20 ~ 1.30 | 1.03 ~ 1.04 |
| 三、          | 14 ~ 28       | 1.5 ~ 5 | 1.14 ~ 1.28 | 1.02 ~ 1.05 |
| 四、泥灰炭、蛋白石除外 | 24 ~ 30       | 4 ~ 7   | 1.24 ~ 1.30 | 1.04 ~ 1.07 |
| 四、泥灰岩、蛋白石   | 26 ~ 32       | 6 ~ 9   | 1.26 ~ 1.32 | 1.06 ~ 1.09 |
| 五 ~ 七、      | 33 ~ 37       | 11 ~ 15 | 1.33 ~ 1.37 | 1.11 ~ 1.15 |
| 八、          | 30 ~ 45       | 10 ~ 20 | 1.30 ~ 1.45 | 1.10 ~ 1.20 |
|             | 45 ~ 50       | 20 ~ 30 | 1.45 ~ 1.50 | 1.20 ~ 1.30 |

注：最初体积增加百分比 =  $\frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100\%$ ；最后体积增加百分比 =  $\frac{V_3 - V_1}{V_1} \times 100\%$ 。

(2) 土的压缩性：松土经填压以后，均会压缩，其压缩性以压缩率表示，

$$\text{即土的压缩率} \quad K = \frac{\rho - \rho_d}{\rho_d} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中  $\rho$ ——土压实后的干密度；

$\rho_d$ ——原状土的干密度。

土的压缩率  $K$  的参考值

表 1-5

| 土的类别        | 土的名称 | 土的压缩率 | 每立方米松散土压实后的体积( $\text{m}^3$ ) | 土的类别 | 土的名称   | 土的压缩率    | 每立方米松散土压实后的体积( $\text{m}^3$ ) |
|-------------|------|-------|-------------------------------|------|--------|----------|-------------------------------|
| 一 ~ 二<br>类土 | 种植土  | 20%   | 0.80                          | 三类土  | 天然湿度黄土 | 2% ~ 17% | 0.85                          |
|             | 一般土  | 10%   | 0.90                          |      | 一般土    | 5%       | 0.95                          |
|             | 砂土   | 5%    | 0.95                          |      | 干燥坚实黄土 | 5% ~ 7%  | 0.94                          |

(3) 原地面经机械压实后的沉陷量  $S$ ，一般在 30 ~ 300mm 之间。

## 5. 土的力学性质

(1) 压缩系数、压缩模量是表示土的压缩性的指标。

土的压缩系数为:

$$a = 1000 \times \frac{e_1 + e_2}{P_2 + P_1} \quad (1-3)$$

式中  $a$ ——土的压缩系数( $\text{MPa}^{-1}$ );

$P_1, P_2$ ——固结压力(kPa);

$e_1, e_2$ ——对应于  $P_1, P_2$  的孔隙比。

评价地基土压缩性时,通常采用压力间隔由  $P_1 = 100\text{kPa}$  增加到  $P_2 = 200\text{kPa}$  时所得的压缩系数  $a_{1-2}$  表示。

当  $a_{1-2} < 0.1$  时,属低压缩性土; $0.1 \leq a_{1-2} < 0.5$  时,属中压缩性土; $a_{1-2} \geq 0.5$  时,属高压缩性土。

土的压缩模量为:

$$E_s = \frac{1 + e_0}{a} \quad (1-4)$$

式中  $E_s$ ——土的压缩模量(MPa);

$e_0$ ——土的天然孔隙比;

$a$ ——土的压缩系数( $\text{MPa}^{-1}$ )。

地基土按  $E_s$  值划分压缩性等级的规定

表 1-6

| 室内压缩模量 $E_s$ (MPa) | 2 ~ 4 | 4.1 ~ 7.5 | 7.6 ~ 11 | 11.1 ~ 15 | > 15 |
|--------------------|-------|-----------|----------|-----------|------|
| 压缩性等级              | 高压缩性  | 中高压缩性     | 中压缩性     | 中低压缩性     | 低压缩性 |

(2) 抗剪强度是土在外力作用下抵抗剪切滑动的极限强度。一般在室内用快剪、固结快剪和慢剪三种试验方法测定。

土的抗剪强度为:

$$\tau = P \cdot \tan \varphi + C \quad (1-5)$$

式中  $\tau$ ——土的抗剪强度(MPa);

$P$ ——土承受的垂直压力(MPa);

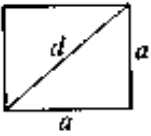
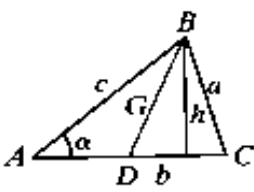
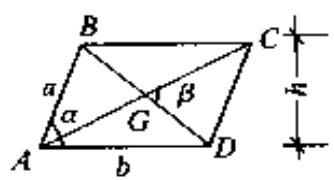
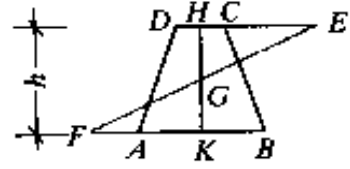
$\varphi$ ——土的内摩擦角( $^\circ$ );

$C$ ——土的内聚力(MPa),砂类土为 0。

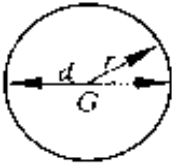
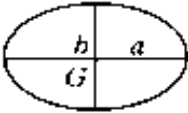
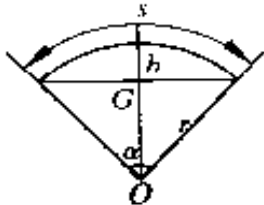
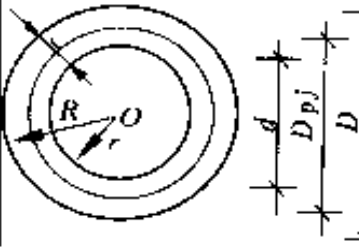
## (二) 几何基本图形计算

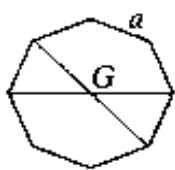
### 1. 求平面图形面积

表 1-7

| 图 形                                                                                              | 尺寸符号                                                                 | 面 积(A)                                                                                     | 重心(G)                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 正 方 形<br>       | $a$ —边长<br>$d$ —对角线                                                  | $A = a^2$<br>$a = \sqrt{A}$<br>$= 0.707d$<br>$d = 1.414a$<br>$= 1.414\sqrt{A}$             | 在对角线交点上                                                                                |
| 长 方 形<br>       | $a$ —短边<br>$b$ —长边<br>$d$ —对角线                                       | $A = a \cdot b$<br>$d = \sqrt{a^2 + b^2}$                                                  | 在对角线交点上                                                                                |
| 三 角 形<br>     | $h$ —高<br>$l$ —1/2 周长<br>$a, b, c$ —对应角<br>$A, B, C$ 的边长             | $A = \frac{bh}{2}$<br>$= \frac{1}{2}ab\sin C$<br>$l = \frac{a+b+c}{2}$                     | $GD = \frac{1}{3}BD$<br>$CD = DA$                                                      |
| 平 行 四 边 形<br> | $a, b$ —邻边<br>$h$ —对边间的距离                                            | $A = b \cdot h$<br>$= a \cdot b \sin \alpha$<br>$= \frac{AC \cdot BD}{2} \cdot \sin \beta$ | 在对角线交点上                                                                                |
| 梯 形<br>       | $CE = AB$<br>$AF = CD$<br>$a = CD$ (上底边)<br>$b = AB$ (下底边)<br>$h$ —高 | $A = \frac{a+b}{2} \cdot h$                                                                | $HG = \frac{h}{3} \cdot \frac{a+2b}{a+b}$<br>$KG = \frac{h}{3} \cdot \frac{2a+b}{a+b}$ |

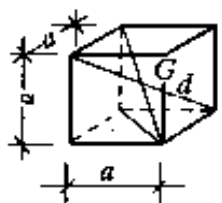


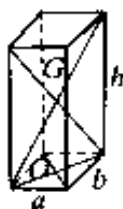
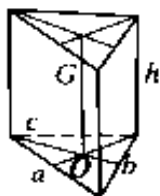
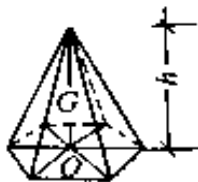
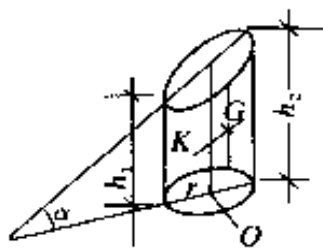
| 图 形 | 尺寸符号                                                                                                                                                                                                                                         | 面 积(A)                                                                                          | 重心(G)                                                                                                                                 |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 圆 形 |  <p> <math>r</math>—半径<br/> <math>d</math>—直径<br/> <math>p</math>—圆周长 </p>                                                                                  | $A = \pi r^2$<br>$= \frac{1}{4} \pi d^2$<br>$= 0.785 d^2$<br>$= 0.07958 p^2$<br>$p = \pi d$     | 在圆心上                                                                                                                                  |
| 椭圆形 |  <p><math>a, b</math>—主轴</p>                                                                                                                                | $A = \frac{\pi}{4} a \cdot b$                                                                   | 在主轴交点 G 上                                                                                                                             |
| 扇 形 |  <p> <math>r</math>—半径<br/> <math>s</math>—弧长<br/> <math>\alpha</math>—弧 <math>s</math> 的对应中心角 </p>                                                       | $A = \frac{1}{2} r \cdot s$<br>$= \frac{\alpha}{360} \pi r^2$<br>$s = \frac{\alpha \pi}{180} r$ | $GO = \frac{2}{3} \cdot \frac{rb}{s}$<br>当 $\alpha = 90^\circ$ 时<br>$GO = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi} r$<br>$\approx 0.6r$ |
| 圆 环 |  <p> <math>R</math>—外半径<br/> <math>r</math>—内半径<br/> <math>D</math>—外直径<br/> <math>d</math>—内直径<br/> <math>t</math>—环宽<br/> <math>D_{pj}</math>—平均直径 </p> | $A = \pi (R^2 - r^2)$<br>$= \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$<br>$= \pi \cdot D_{pj} \cdot t$          | 在圆心 O                                                                                                                                 |

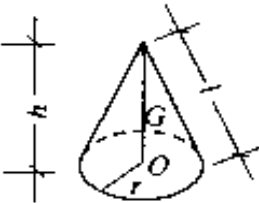
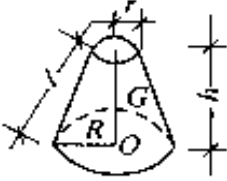
| 图 形   | 尺寸符号                                                                                                                                                        | 面 积(A)                                                                                                                                                                                                               | 重心(G)        |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 等边多边形 |  <p><math>a</math>—边长<br/> <math>K_i</math>—系数, <math>i</math> 指多边形的边数</p> | $A = K \cdot a^2$<br>三边形<br>$K_3 = 0.433$<br>四边形<br>$K_4 = 1.000$<br>五边形<br>$K_5 = 1.720$<br>六边形<br>$K_6 = 2.598$<br>七边形<br>$K_7 = 3.614$<br>八边形<br>$K_8 = 4.828$<br>九边形<br>$K_9 = 6.182$<br>十边形<br>$K_{10} = 7.694$ | 在内、外接圆<br>心处 |

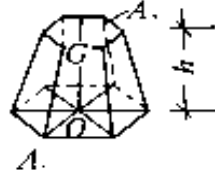
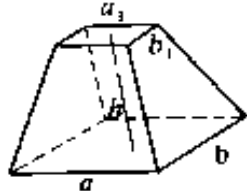
## 2. 求多面体的体积和表面积

表 1-8

| 图 形                                                                                        | 尺寸符号               | 体积(V)<br>底面积(A)<br>表面积(S)<br>侧表面积( $S_1$ ) | 重心(G)       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------|-------------|
| 立方体<br> | $a$ —棱<br>$d$ —对角线 | $V = a^3$<br>$S = 6a^2$<br>$S_1 = 4a^2$    | 在对角线交<br>点上 |

| 图 形                                                                                          | 尺寸符号                                              | 体积( $V$ )<br>底面积( $A$ )<br>表面积( $S$ )<br>侧表面积( $S_1$ )                                                                       | 重心( $G$ )                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 长方体(棱柱)<br> | $a, b, h$ —边长<br>$O$ —底面对角线交点                     | $V = a \cdot b \cdot h$<br>$S = 2(a \cdot b + a \cdot h + b \cdot h)$<br>$S_1 = 2h(a + b)$                                   | $GO = \frac{h}{2}$                                                                                                                |
| 三棱柱<br>    | $a, b, c$ —边长<br>$h$ —高<br>$O$ —底面中线的交点           | $V = A \cdot h$<br>$S = (a + b + c) \cdot h + 2A$<br>$S_1 = (a + b + c) \cdot h$                                             | $GO = \frac{h}{2}$                                                                                                                |
| 棱锥<br>    | $f$ —一个组合三角形的面积<br>$n$ —组合三角形的个数<br>$O$ —锥底各对角线交点 | $V = \frac{1}{3}A \cdot h$<br>$S = n \cdot f + A$<br>$S_1 = n \cdot f$                                                       | $GO = \frac{h}{4}$                                                                                                                |
| 斜截直圆柱<br> | $h_1$ —最小高度<br>$h_2$ —最大高度<br>$r$ —底面半径           | $V = \pi r^2 \frac{h_1 + h_2}{2}$<br>$S = \pi r(h_1 + h_2) + \pi r^2(1 + \frac{1}{\cos \alpha})$<br>$S_1 = \pi r(h_1 + h_2)$ | $GO = \frac{h_1 + h_2}{4} + \frac{r^2 \tan^2 \alpha}{4(h_1 + h_2)}$<br>$GK = \frac{1}{2} \cdot \frac{r^2}{h_1 + h_2} \tan \alpha$ |

| 图 形 | 尺寸符号                                                                                                                                                                     | 体积( $V$ )<br>底面积( $A$ )<br>表面积( $S$ )<br>侧表面积( $S_1$ )                                                                | 重心( $G$ )                                                        |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 直圆锥 |  <p> <math>r</math>—底面半径<br/> <math>h</math>—高<br/> <math>l</math>—母线长         </p>     | $V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$ $S_1 = \pi r \sqrt{r^2 + h^2}$ $= \pi r l$ $l = \sqrt{r^2 + h^2}$ $S = S_1 + \pi r^2$     | $GO = \frac{h}{4}$                                               |
| 圆台  |  <p> <math>R, r</math>—底面半径<br/> <math>h</math>—高<br/> <math>l</math>—母线         </p> | $V = \frac{\pi h}{3} (R^2 + r^2 + Rr)$ $S_1 = \pi l (R + r)$ $l = \sqrt{(R - r)^2 + h^2}$ $S = S_1 + \pi (R^2 + r^2)$ | $GO = \frac{h}{4} \cdot \frac{R^2 + 2Rr + 3r^2}{R^2 + Rr + r^2}$ |
| 球   |  <p> <math>r</math>—半径<br/> <math>d</math>—直径         </p>                            | $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ $= \frac{\pi d^3}{6}$ $= 0.5236 d^3$ $S = 4 \pi r^2 = \pi d^2$                              | 在球心上                                                             |

| 图 形                                                                                                    | 尺寸符号                                                                 | 体积(V)<br>底面积(A)<br>表面积(S)<br>侧表面积( $S_1$ )                                                          | 重心(G)                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 棱<br>台<br><br>        | $A_1, A_2$ —两平行底面的面积<br>$h$ —底面间的距离<br>$a$ —一个组合梯形的面积<br>$n$ —组合梯形的数 | $V = \frac{1}{3}h(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$ $S = an + A_1 + A_2$ $S_1 = an$                      | $GO = \frac{h}{4} \cdot \frac{A_1 + 2\sqrt{A_1 A_2} + 3A_2}{A_1 + \sqrt{A_1 A_2} + A_2}$ |
| 梯<br>形<br>体<br><br> | $a, b$ —下底边长<br>$a_1, b_1$ —上底边长<br>$h$ —上、下底边距离(高)                  | $V = \frac{h}{6} [(2a + a_1)b + (2a_1 + a)b_1]$ $= \frac{h}{6} [ab + (a + a_1)(b + b_1) + a_1 b_1]$ |                                                                                          |

## 二、土方工程

### (一) 场地平整土方量计算

#### 1. 方格网法

适用于地形平缓或台阶宽度较大地段的土方量计算。计算精度较高。其计算方法为：

(1) 划分方格网：根据已有地形图划分若干个方格网，其边线尽量与测量的纵横坐标对应，方格采用  $20\text{m} \times 20\text{m}$  或  $40\text{m} \times 40\text{m}$ 。将设计标高和自然地面标高分别标注在方格点的右上角和右下角；将自然地面标高与设计地面标高的差值，即各角点的施工高度（挖或填），标注在方格网的左上角，挖方为“+”，填方为“-”。如图 2-1 所示。

|          |        |
|----------|--------|
| 两者地面标高差值 | 设计地面标高 |
| 角点编号     | 自然地面标高 |

图 2-1 角点标注方法

(2) 计算零点位置：在一个方格网内同时有填方或挖方时，要先算出方格网边的零点的位置，并标注在方格网上，连接零点的零线，即是填方区与挖方区的分界线，如图 2-2 所示。零点位置的确定有计算法、图解法和查表法。

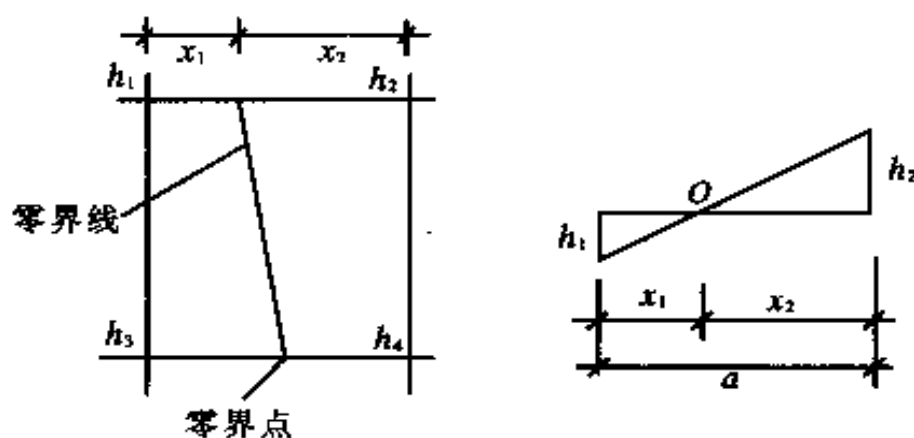


图 2-2 零点位置计算示意图

零点位置计算:

$$x_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \cdot a$$

$$x_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot a \quad (2-1)$$

式中  $x_1, x_2$ ——角点至零点的距离(m);

$h_1, h_2$ ——相邻两角点的施工高度(m),均为绝对值;

$a$ ——方格网的边长(m)。

图解法是用尺子在各角上标出相应比例,用尺子相连,与方格相交点即为零点,如图 2-3 所示。

(3) 计算土方工程量:根据方格网底面积图形,按表 2-1 所列公式计算各个方格内的挖方或填方量,或用查表法计算。

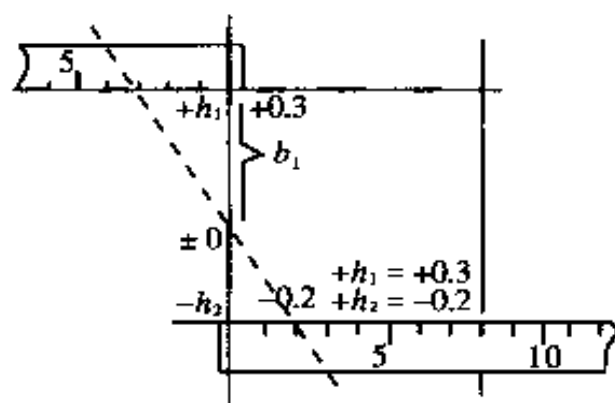
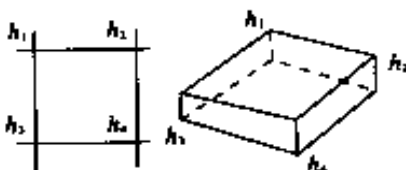


图 2-3 零点位置图解法

常用方格网点计算公式

表 2-1

| 项 目              | 图 式 | 计算公式                                                                                                                                    |
|------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 一点填方或挖方<br>(三角形) |     | $V = \frac{1}{2}bc \frac{\sum h}{3} = \frac{bch_3}{6}$ <p>当 <math>b = c = a</math> 时, <math>V = \frac{a^2 h_3}{6}</math></p>            |
| 二点填方或挖方<br>(梯形)  |     | $V_- = \frac{b+c}{2}a \frac{\sum h}{4} = \frac{a}{8}(b+c)(h_1+h_3)$ $V_+ = \frac{d+e}{2}a \frac{\sum h}{4} = \frac{a}{8}(d+e)(h_2+h_4)$ |
| 三点填方或挖方<br>(五边形) |     | $V = (a^2 - \frac{bc}{2}) \frac{\sum h}{5}$ $= (a^2 - \frac{bc}{2}) \frac{h_1+h_2+h_3+h_4}{5}$                                          |

| 项 目              | 图 式                                                                               | 计算公式                                                               |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 四点填方或挖方<br>(正方形) |  | $V = \frac{a^2}{4} \sum h = \frac{a^2}{4} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$ |

注:1.  $a$ —方格网的边长(m);  $b, c$ —零点到一个角的边长(m);  $h_1, h_2, h_3, h_4$ —方格网四角点的施工高程(m),用绝对值代入;  $\sum h$ —填方或挖方施工高程的总和(m),用绝对值代入;  $V$ —挖方或填方体积( $m^3$ )。

2. 本表公式是按各计算图形底面积乘以平均施工高程而得出的。

(4) 计算边坡土方工程量: 边坡的土方工程量计算, 可划分为两种近似的几何形体进行, 一种为三角棱锥体, 另一种为三角棱柱体, 如图 2-4 所示。

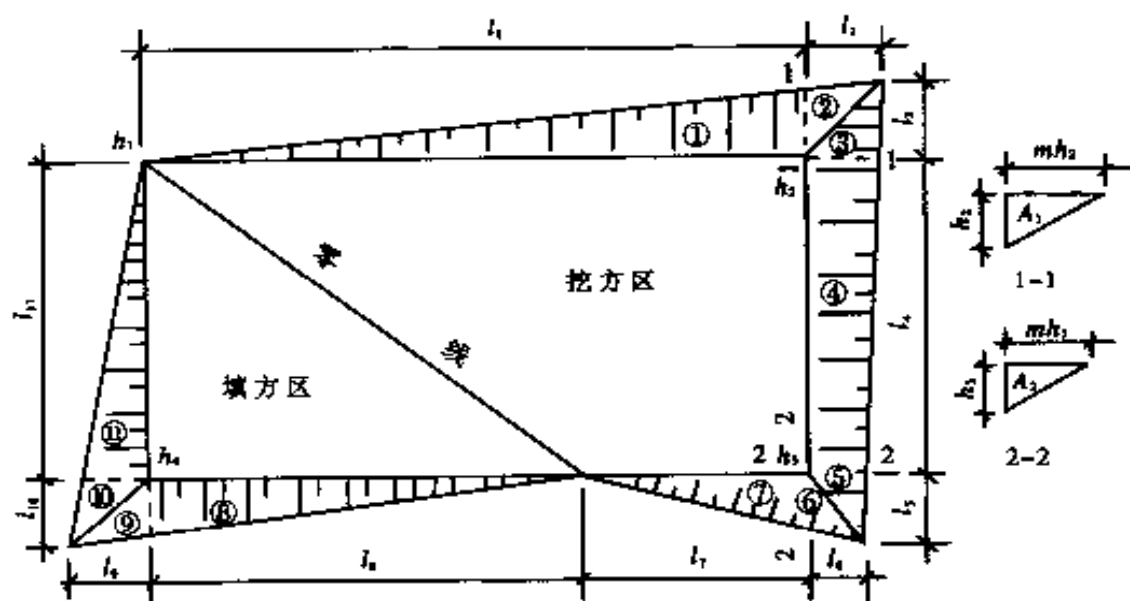


图 2-4 场地边坡平面图

a. 三角棱锥体(如图 2-4 中的①)体积  $V_1$  为:

$$V_1 = \frac{1}{3} A_1 l_1 \quad (2-2)$$

式中  $l_1$ ——边坡的长度(m);

$A_1$ ——边坡的端面积, 即  $A_1 = \frac{m h_2^2}{2} (m^2)$ , 如图 2-5 所示;



$h_2$ ——角点的施工高度(m);  
 $m$ ——边坡的坡度系数,  $m = \text{宽}/\text{高}$ 。

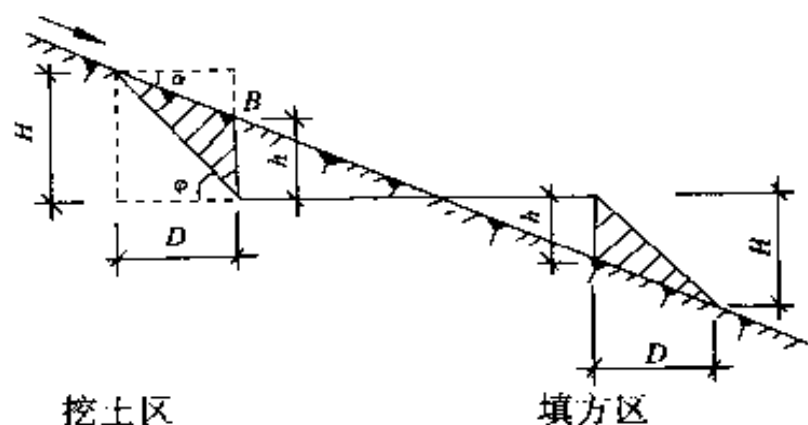


图 2-5 边坡截面面积计算简图

b. 三角棱柱体(如图 2-4 中的④)体积  $V_4$  为:

$$V_4 = \frac{1}{2}(A_1 + A_2)l_4 \quad (2-3)$$

式中  $l_4$ ——边坡的长度(m);

$A_1$ 、 $A_2$ ——边坡两端面积( $\text{m}^2$ ), 计算同上。

(5) 计算土方工程总量: 将挖方区(或填方区)所有方格计算的土方量及边坡土方量汇总, 即得该场地挖方和填方的总土方工程量。

【例 2-1】 建筑工程场地方格网的一部如图 2-6 所示, 方格边长为  $20\text{m} \times 20\text{m}$ , 试计算挖填土方总量。

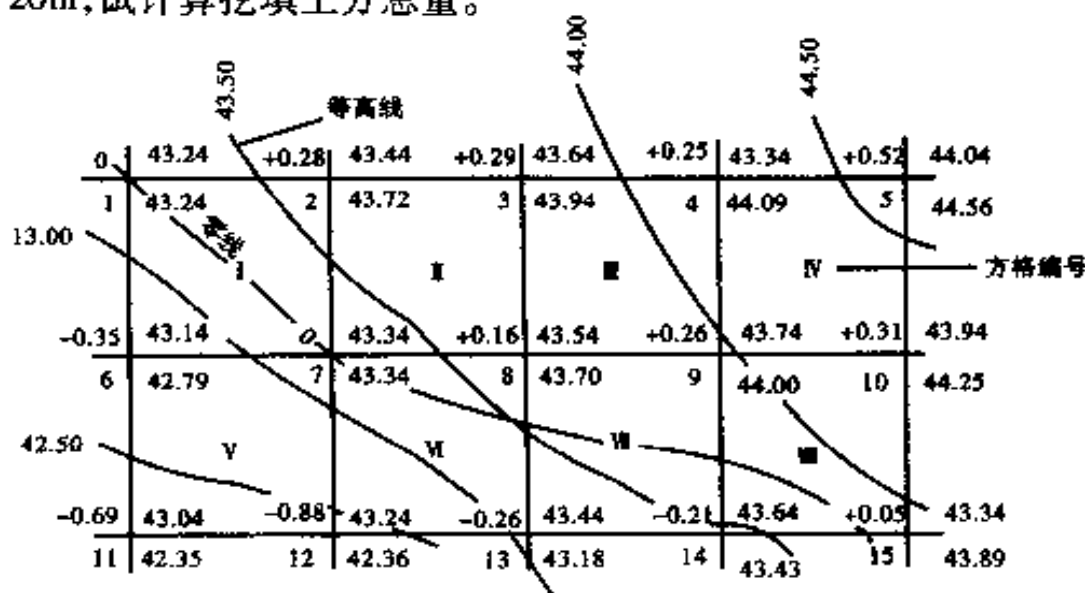


图 2-6 建筑工程场地方格网布置图

【解】 (1)划分方格网:根据图 2-6 方格各点的自然地面标高和设计地面标高,计算方格各点的施工高度列于图 2-6 中,例如角点 5 的施工高度  $=44.56-44.04=+0.52\text{m}$ ,即该点挖去  $0.52\text{m}$ ,其余类推。

(2)计算零点位置:根据图 2-6 中知 8-13、9-14、14-15 三条方格边两端的施工高度符号不同,表明在此方格边有零点存在。

根据公式 2-1  $x = \frac{a \cdot h_1}{h_1 + h_2}$  求得:

$$8-13 \text{ 线} \quad x = \frac{20 \times 0.16}{0.16 + 0.26} = 7.6\text{m}$$

$$9-14 \text{ 线} \quad x = \frac{20 \times 0.26}{0.26 + 0.21} = 11.0\text{m}$$

$$14-15 \text{ 线} \quad x = \frac{20 \times 0.21}{0.21 + 0.05} = 16.2\text{m}$$

将各零点标于图上,并将零点线连接起来。

(3)计算土方工程量:根据表 2-1 所列公式进行计算,计算结果列表 2-2。土方数量符号“(+)”表示挖方,“(-)”表示填方。

方格网土方工程量计算表

表 2-2

| 方格<br>序号 | 底面图形及<br>角点编号        | 土方工程量计算( $\text{m}^3$ )                                                                                                |
|----------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I        | 三角形 127<br>三角形 167   | $V_{(+)} = \frac{0.28}{6} \times 20 \times 20 = +18.67$<br>$V_{(-)} = \frac{0.35}{6} \times 20 \times 20 = -23.33$     |
| II       | 正方形 2378             | $V_{(+)} = \frac{20 \times 20}{4} (0.28 + 0.29 + 0 + 0.16) = +73.00$                                                   |
| III      | 正方形 3489             | $V_{(+)} = \frac{20 \times 20}{4} (0.29 + 0.25 + 0.16 + 0.26) = +96.00$                                                |
| IV       | 正方形 45910            | $V_{(+)} = \frac{20 \times 20}{4} (0.25 + 0.52 + 0.26 + 0.31) = +134.00$                                               |
| V        | 正方形 671112           | $V_{(-)} = \frac{20 \times 20}{4} (0.35 + 0 + 0.69 + 0.88) = -192.00$                                                  |
| VI       | 三角形 780<br>梯形 712130 | $V_{(+)} = \frac{0.16}{6} \times 20 \times 7.6 = +4.05$<br>$V_{(-)} = \frac{20}{8} (20 + 12.4) (0.88 + 0.26) = -92.34$ |

| 方格<br>序号 | 底面图形及<br>角点编号           | 土方工程量计算(m <sup>3</sup> )                                                                    |
|----------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ⅶ        | 梯形 8900<br>梯形 013140    | $V_{(+)} = \frac{20}{8}(7.6 + 11.0)(0.16 + 0.26) = +19.53$                                  |
|          |                         | $V_{(-)} = \frac{20}{8}(12.4 + 9)(0.26 + 0.21) = -25.15$                                    |
| Ⅷ        | 三角形 0140<br>五角形 0910150 | $V_{(-)} = \frac{0.21}{6} \times 9 \times 16.2 = -5.10$                                     |
|          |                         | $V_{(+)} = (20^2 - \frac{9 \times 16.2}{2}) \times (\frac{0.26 + 0.31 + 0.05}{5}) = +40.56$ |

合计:挖方 385.81m<sup>3</sup>;填方 337.92m<sup>3</sup>。

(4) 计算边坡土方工程量:根据图 2-6 所示建筑工程场地方格网布置图,其挖方区边坡坡度系数为 1.00,填方区边坡坡度系数为 1.25,场地边坡平面如图 2-7 所示。

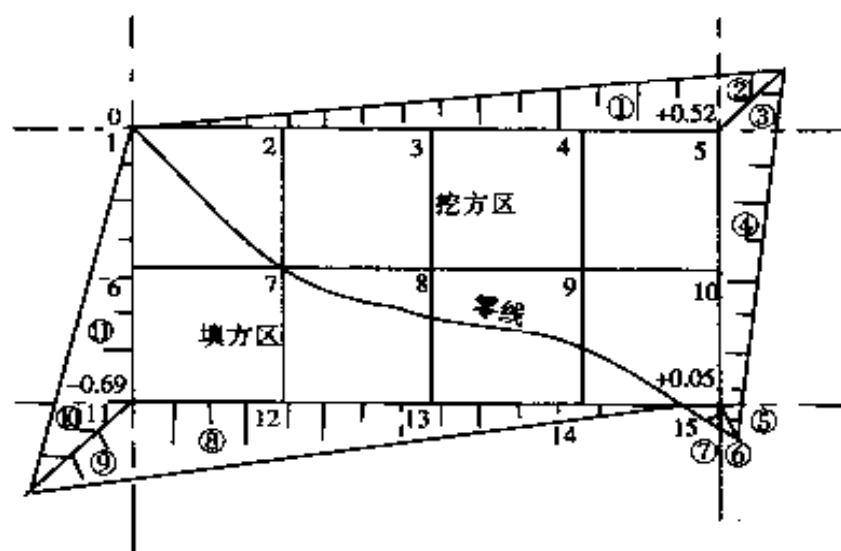


图 2-7 场地边坡平面图

边角点挖、填土方宽度:

角点 5 挖方宽度  $0.52 \times 1 = 0.52\text{m}$

角点 15 挖方宽度  $0.05 \times 1 = 0.05\text{m}$

角点 11 填方宽度  $0.69 \times 1.25 = 0.86\text{m}$

划分为三角棱柱体(④)和三角棱锥体(除④以外),按公式 2-2 和 2-3 计算。

挖方区边坡土方工程量:

$$V_{\text{㉑}} = \frac{1}{3} \times \frac{1 \times 0.52^2}{2} \times (20 \times 4) = 3.61 \text{m}^3$$

$$V_{\text{㉒}} = V_{\text{㉓}} = \frac{1}{3} \times \frac{1 \times 0.52^2}{2} \times 0.52 = 0.02 \text{m}^3$$

$$V_{\text{㉔}} = \frac{1}{2} \times \left( \frac{1 \times 0.52^2}{2} + \frac{1 \times 0.05^2}{2} \right) \times (20 \times 2) = 2.73 \text{m}^3$$

$$V_{\text{㉕}} = V_{\text{㉖}} = \frac{1}{3} \times \frac{1 \times 0.05^2}{2} \times 0.05 = 0.00002 \text{m}^3$$

$$V_{\text{㉗}} = \frac{1}{3} \times \frac{1 \times 0.05^2}{2} \times (20 - 16.2) = 0.002 \text{m}^3$$

挖方区边坡土方工程量合计:

$$3.61 + 0.02 \times 2 + 2.73 + 0.00002 \times 2 + 0.002 = 6.38 \text{m}^3$$

填方区边坡土方工程量:

$$V_{\text{㉘}} = \frac{1}{3} \times \frac{1.25 \times 0.69^2}{2} \times (20 \times 3 + 16.2) = 7.56 \text{m}^3$$

$$V_{\text{㉙}} = V_{\text{㉚}} = \frac{1}{3} \times \frac{1.25 \times 0.69^2}{2} \times 0.86 = 0.09 \text{m}^3$$

$$V_{\text{㉛}} = \frac{1}{3} \times \frac{1.25 \times 0.69^2}{2} \times (20 \times 2) = 3.97 \text{m}^3$$

填方区边坡土方工程量合计:

$$7.56 + 0.09 \times 2 + 3.97 = 11.71 \text{m}^3$$

(5) 计算土方工程总量:

$$\text{挖方} = 385.81 + 6.38 = 392.19 \text{m}^3$$

$$\text{填方} = 337.92 + 11.71 = 349.63 \text{m}^3$$

## 2. 横断面法

适用于地形起伏变化较大地区,或者挖填深度较大又不规则的地区。其计算方法为:

(1) 划分横断面:根据地形图、竖向布置图或现场测绘,在土方计算场地划分出若干个横断面,并应垂直于等高线或主要建筑物边长,各断面间距可以不等,一般为 10m 或 20m,在平坦地区可大些,但最大不大于 100m。

(2) 画横断面图形:按比例绘制每个横断面的自然地面和设计地面的轮廓线,则自然地面轮廓线与设计地面轮廓线之间的面积,即为挖方或填方的断

面积。

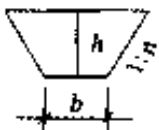
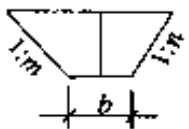
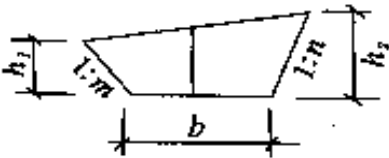
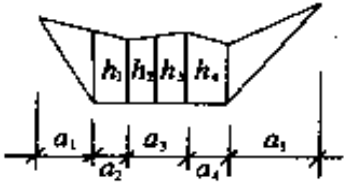
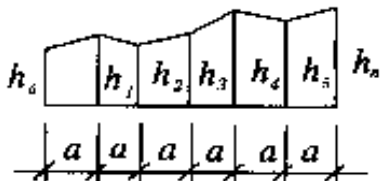
(3) 计算横断面面积:

a. 积距法。按表 2-3 横断面面积公式, 计算每个横断的挖方或填方断面面积。

b. 求积仪法。用米厘方格纸绘出横断面图后, 用求积仪量出横断面的面积。

常用横断面计算公式

表 2-3

| 横断面图式                                                                               | 断面积计算公式                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | $A = h(b + nh)$                                                                                             |
|   | $A = h\left[b + \frac{h(m+n)}{2}\right]$                                                                    |
|  | $A = b \frac{h_1 + h_2}{2} + nh_1h_2$                                                                       |
|  | $A = h_1 \frac{a_1 + a_2}{2} + h_2 \frac{a_2 + a_3}{2} + h_3 \frac{a_3 + a_4}{2} + h_4 \frac{a_4 + a_5}{2}$ |
|  | $A = \frac{a}{2}(h_0 + 2h + h_n)$<br>$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$                                      |

(4) 计算土方工程量:

$$V = \frac{1}{2}(A_1 + A_2) \cdot l \quad (2-4)$$

式中  $V$ ——相邻两横断面间的土方量( $m^3$ );

$A_1, A_2$ ——相邻两横断面的挖(或填)方断面积( $\text{m}^2$ );

$l$ ——相邻两横断面的间距( $\text{m}$ )。

(5) 计算土方总工程量: 将挖方区(或填方区)所有相邻两横断面间计算的土方量汇总, 即得该场地挖方和填方的总土方工程量。

【例 2-2】 丘陵地段场地平整如图 2-8 所示, 已知  $AA'$ 、 $BB'$ 、 $CC'$ 、 $DD'$ 、 $EE'$  截面的填方面积分别为 49、46、20、10、 $0\text{m}^2$ , 挖方面积分别为 15、25、38、20、 $13\text{m}^2$ , 试求该地段的总填方和挖方量。

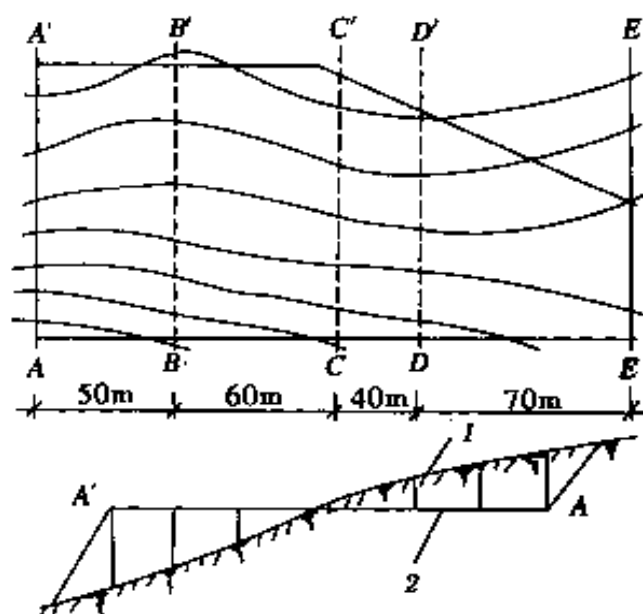


图 2-8 画横截面示意图

1 - 自然地面; 2 - 设计地面

【解】按公式  $V = \frac{1}{2}(A_1 + A_2) \cdot l$  分别计算各截面间土方量, 并列入表 2-4。

场地平整土方工程量计算表

表 2-4

| 截 面   | 填方面积<br>( $\text{m}^2$ ) | 挖方面积<br>( $\text{m}^2$ ) | 截面间距<br>( $\text{m}$ ) | 填方体积<br>( $\text{m}^3$ ) | 挖方体积<br>( $\text{m}^3$ ) |
|-------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $AA'$ | 49                       | 15                       | 50                     | 2375                     | 1000                     |
| $BB'$ | 46                       | 25                       | 60                     | 1980                     | 1890                     |
| $CC'$ | 20                       | 38                       | 40                     | 600                      | 1160                     |
| $DD'$ | 10                       | 20                       | 70                     | 350                      | 1155                     |
| $EE'$ | 0                        | 13                       |                        |                          |                          |
| 合 计   |                          |                          | 220                    | 5305                     | 5205                     |

## (二)土方平衡与调配计算

场地平整土方调配是使土方运输量或土方运输成本最低条件下,确定填挖方区土方的调配方向和数量,从而达到缩短工期,提高效益的目的。土方平衡调配的计算一般按以下步骤和方法进行:

(1)划分调配区。在场地平面图上先划出挖填区的分界线,即零线。然后根据地形条件和施工要求,将挖方区和填方区适当划分若干调配区。

调配区的范围应和土方工程量计算的方格网相协调,其大小应满足土方施工主导机械的行驶操作的要求。当土方运距较大或场地范围内土方不平衡时,可考虑就近借土或弃土,此时一个借土区或弃土区可作为一个独立的调配区。

(2)计算各调配区的土方量(标于图上)。

(3)计算每对调配区的平均运距(标于图上)。平均运距,即挖方区土方重心至填方区土方重心的距离。其计算方法是取场地或方格网的纵横两边为坐标轴,以一个角作为坐标原点,如图2-9所示,其调配区土方重心位置为:

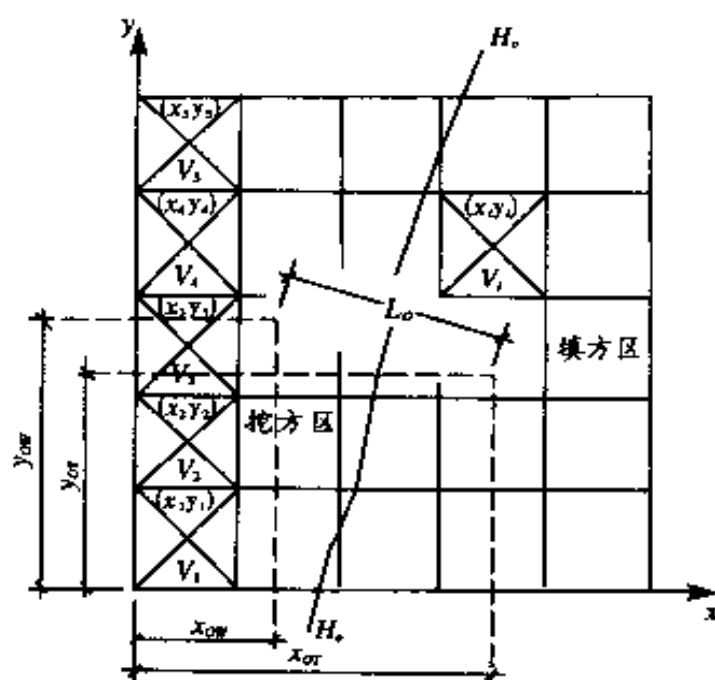


图2-9 土方调配区间的平均运距

$$X_0 = \frac{\sum (x_i V_i)}{\sum V_i}; Y_0 = \frac{\sum (y_i V_i)}{\sum V_i} \quad (2-4)$$

式中  $X_0, Y_0$ ——挖或填方调配区重心坐标;

$x_i, y_i$ —— $i$ 块方格的重心坐标;

$V_i$ —— $i$ 块方格的土方量。

挖、填方区之间的平均运距  $L_0$  为：

$$L_0 = \sqrt{(x_{0T} - x_{0W})^2 + (y_{0T} - y_{0W})^2} \quad (2-5)$$

式中  $x_{0T}, y_{0T}$ ——填方区的重心坐标；

$x_{0W}, y_{0W}$ ——挖方区的重心坐标。

一般情况下，可用作图法近似地求出调配区的几何中心，以代替重心位置，用比例尺量出每对调配区的平均运距。

当挖、填方调配区之间的距离较远，采用自行式铲运机或汽车等沿现场道路或规定线路运土时，按实计算运距。

所有挖、填方调配区之间的平均运距都需一一计算，并将计算结果列于土方平衡调配表 2-5 中。

土方平衡与运距表

表 2-5

| 填方区 \ 挖方区        | $B_1$                | $B_2$                | $B_3$                | $B_j$                | ..... | $B_n$                | 挖方量<br>( $m^3$ )                      |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|----------------------|---------------------------------------|
| $A_1$            | $L_{11}$<br>$x_{11}$ | $L_{12}$<br>$x_{12}$ | $L_{13}$<br>$x_{13}$ | $L_{1j}$<br>$x_{1j}$ | ..... | $L_{1n}$<br>$x_{1n}$ | $a_1$                                 |
| $A_2$            | $L_{21}$<br>$x_{21}$ | $L_{22}$<br>$x_{22}$ | $L_{23}$<br>$x_{23}$ | $L_{2j}$<br>$x_{2j}$ | ..... | $L_{2n}$<br>$x_{2n}$ | $a_2$                                 |
| $A_3$            | $L_{31}$<br>$x_{31}$ | $L_{32}$<br>$x_{32}$ | $L_{33}$<br>$x_{33}$ | $L_{3j}$<br>$x_{3j}$ | ..... | $L_{3n}$<br>$x_{3n}$ | $a_3$                                 |
| $A_i$            | $L_{i1}$<br>$x_{i1}$ | $L_{i2}$<br>$x_{i2}$ | $L_{i3}$<br>$x_{i3}$ | $L_{ij}$<br>$x_{ij}$ | ..... | $L_{in}$<br>$x_{in}$ | $a_i$                                 |
|                  | .....                | .....                | .....                | .....                | ..... | .....                |                                       |
| $A_m$            | $L_{m1}$<br>$x_{m1}$ | $L_{m2}$<br>$x_{m2}$ | $L_{m3}$<br>$x_{m3}$ | $L_{mj}$<br>$x_{mj}$ | ..... | $L_{mn}$<br>$x_{mn}$ | $a_m$                                 |
| 填方量<br>( $m^3$ ) | $b_1$                | $b_2$                | $b_3$                | $b_j$                | ..... | $b_n$                | $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$ |

注： $L_{11}, L_{12}, L_{13}, \dots$  挖填方之间的平均运距。

$x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots$  调配土方量。



(4) 确定土方最优调配方案。采用线性规划中的“表上作业法”求解。

(5) 绘制土方调配图、平衡调配表。根据确定的土方最优调配方案绘制土方调配图,标出调配方向、土方数量及运距。如图 2-10 所示, $A_i$  为挖土区, $B_i$  为填土区,箭头上方的数字表示土方调配量( $m^3$ ),下面的数字表示运距(m)。

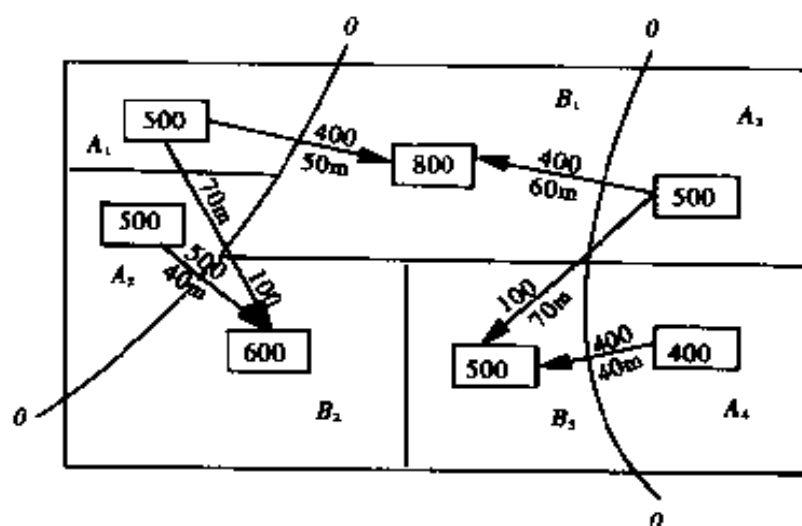


图 2-10 土方调配图

### (三) 土方机械施工计算

#### 1. 土方机械生产效率及需用数量计算

表 2-6

| 机械名称  | 小时生产率 $Q_h$<br>( $m^3/h$ )                                                | 台班生产率 $Q_d$<br>( $m^3/\text{台班}$ )       | 需用数量 $N$ (台)                                            |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 单斗挖掘机 | $Q_h = \frac{3600qK}{t}$                                                  | $Q_d = 8Q_hK_B$                          | $N = \frac{Q}{Q_d} \cdot \frac{1}{T \cdot c \cdot K_B}$ |
| 推土机   | $Q_h = nq = \frac{3600q}{tK_p}$<br>$= \frac{1800H^2b}{tK_p \tan \varphi}$ | $Q_d = 8Q_hK_B$                          |                                                         |
| 自卸汽车  |                                                                           | $Q_d = \frac{480q}{t} \cdot K \cdot K_B$ | $N = \frac{P}{Q_d} = \frac{t}{t_1}$                     |
| 平地机   | $Q_h = \frac{3600QLK_B}{t \cdot K_p \cdot \phi}$                          |                                          |                                                         |
| 铲运机   | $Q_h = \frac{3600q \cdot K}{t}$                                           | $Q_d = 8Q_h \cdot K_B$                   |                                                         |

符号意义  $q$ ——土方机械工作斗箱容量( $\text{m}^3$ );  
 $K$ ——土方机械工作斗箱利用系数,即土的充盈系数  $K_c$  与土的可松性系数  $K_p$  之比,  $K = K_c/K_p$ , 对砂土为 0.8 ~ 0.9, 对粘土为 0.85 ~ 0.95;  
 $Q$ ——土方工程量( $\text{m}^3$ );  
 $P$ ——装土机台班产量( $\text{m}^3/\text{台班}$ );  
 $K_B$ ——工作时间利用系数,查机械定额,一般为 0.70 ~ 0.85;  
 $t$ ——每一工作循环延续时间(s);  
 $t_1$ ——装车所需时间(min);  
 $T$ ——工期(d);  
 $c$ ——每天作业班数(台班);  
 $n$ ——每小时循环次数;  
 $H$ ——铲刀高度(m);  
 $b$ ——铲刀宽度(m);  
 $\varphi$ ——铲土堆积自然坡角;  
 $L$ ——每一行程长度(m);  
 $\phi$ ——行程重叠数,一般取  $\phi = 1.15 \sim 1.70$ 。

## 2. 推土机作业生产率

推土机作业生产率与上坡或推土高度和宽度有关,其影响系数见表 2-7 ~ 表 2-10。

上坡推土降低台班产量参考表

表 2-7

| 上坡坡度(%)  | 10 ~ 15 | 15 ~ 25 | 25 以上 |
|----------|---------|---------|-------|
| 台班产量降低系数 | 0.92    | 0.88    | 0.80  |

上坡推土高度折合水平运距表

表 2-8

| 上坡坡度(%)          | 6 ~ 10 | 10 ~ 20 | 20 ~ 25 |
|------------------|--------|---------|---------|
| 每升高 1m 折合水平距离(m) | 4.0    | 7.0     | 9.0     |

填土高度折合水平距离增加运距表

表 2-9

|           |     |      |      |      |
|-----------|-----|------|------|------|
| 填土高度(m)   | 1.0 | 2.0  | 3.0  | 4.0  |
| 折合水平距离(m) | 6.0 | 10.0 | 16.0 | 24.0 |

填土高度、宽度降低台班产量定额参考表

表 2-10

|          |                     |
|----------|---------------------|
| 填土高度、宽度  | 高度 2m 以上, 宽度 2 ~ 5m |
| 台班定额降低系数 | 0.90                |

### 3. 铲运机作业生产率

铲运机作业生产率与上坡和填筑路堤的高度有关, 其影响系数参见表 2-11、表 2-12。

铲运机上坡运土增加台班系数

表 2-11

|         |      |      |      |
|---------|------|------|------|
| 上坡坡度(%) | 5    | 10   | 15   |
| 增加系数    | 1.05 | 1.08 | 1.14 |

填筑路堤降低台班产量系数

表 2-12

|         |         |          |
|---------|---------|----------|
| 填土高度(m) | 路面宽度(m) | 降低台班产量系数 |
| 5 以上    | 5 以内    | 0.95     |

## (四) 填土压实计算

### 1. 填土的最大干密度

填土的最大干密度  $\rho_{dmax}$  是当最优含水量时, 通过标准的击实试验确定。当无试验资料时, 粘性土、粉土的最大干密度按下式计算:

$$\rho_{dmax} = \eta \frac{\rho_w d_s}{1 + 0.01 w_{op} d_s} \quad (2-6)$$

式中  $\rho_{\text{dmax}}$ ——压实填土的最大干密度( $\text{t/m}^3$ );  
 $\eta$ ——经验系数,对于粘土取 0.95;粉质粘土取 0.96;粉土取 0.97;  
 $\rho_w$ ——水的密度( $\text{t/m}^3$ ),取  $\rho_w = 1$ ;  
 $d_s$ ——土的相对密度( $\text{t/m}^3$ ),一般取粘土 2.74 ~ 2.76;粉质粘土 2.72 ~ 2.73;粉土 2.70 ~ 2.71;砂土 2.65 ~ 2.69;或由试验求得;  
 $w_{\text{op}}$ ——土的最优含水量(%),可按当地经验或取  $w_{\text{op}} = w_p + 2$  ( $w_p$  为土的塑限);粉土取 14% ~ 18%,或按表 2-13 采用。

土的最优含水量和最大干密度参考表

表 2-13

| 项次 | 土的种类 | 变动范围            |                             | 项次 | 土的种类 | 变动范围            |                             |
|----|------|-----------------|-----------------------------|----|------|-----------------|-----------------------------|
|    |      | 最优含水量<br>%(重量比) | 最大干密度<br>( $\text{t/m}^3$ ) |    |      | 最优含水量<br>%(重量比) | 最大干密度<br>( $\text{t/m}^3$ ) |
| 1  | 砂土   | 8 ~ 12          | 1.80 ~ 1.88                 | 3  | 粉质粘土 | 12 ~ 15         | 1.85 ~ 1.95                 |
| 2  | 粘土   | 19 ~ 23         | 1.58 ~ 1.70                 | 4  | 粉土   | 16 ~ 22         | 1.61 ~ 1.80                 |

注:1.表中土的最大密度应以现场实际达到的数字为准;

2.一般性的回填可不作此项测定。

当压实填土为碎石或卵石时,其最大密度可取  $2.0 \sim 2.2 \text{ t/m}^3$ 。

## 2. 填土土料需补充水量

填土时,土料的含水量应控制在最优含水量范围内,只有在最优含水量范围内,才能使土的压实效果最好,在一定的压实功能条件下,使土最容易压实,并能达到最大密度获得最大干密度。当土料含水量过低时,应洒水进行润湿,每立方米铺好的土内需要补充的水量可按下式计算:

$$V = \frac{\rho_w}{1 + w} (w_{\text{op}} - w) \quad (2-7)$$

式中  $V$ ——单位体积内需要补充的水量( $\text{L/m}^3$ );

$w$ ——土的天然含水量(以小数计);

$\rho_w$ ——碾压或夯实前(含水量为  $w$  时)土的密度( $\text{t/m}^3$ );

$w_{\text{op}}$ ——土的最优含水量(以小数计),根据击实试验确定,如无试验资料,可参考表 2-13 选用。

### 3. 填土施工时的分层厚度及压实遍数

表 2 - 14

| 压实机具  | 分层厚度 (mm) | 每层压实遍数 |
|-------|-----------|--------|
| 平 碾   | 250 ~ 300 | 6 ~ 8  |
| 振动压实机 | 250 ~ 350 | 3 ~ 4  |
| 柴油打夯机 | 200 ~ 250 | 3 ~ 4  |
| 人工打夯  | < 200     | 3 ~ 4  |

# 三、排水与降水工程

## (一) 场地排水计算

### 1. 场地排水明沟或防洪沟流量计算

场地排水明沟或防洪沟截面通常采用梯形,若受地形限制亦可采用矩形,其流量按下式计算:

$$Q = A \cdot v \quad (3-1)$$

$$v = c \sqrt{Ri}$$

式中  $Q$ ——设计流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$A$ ——过水截面面积( $\text{m}^2$ );

$v$ ——平均流速( $\text{m/s}$ );

$c$ ——流速系数,按下式计算,也可查表 3-1;

$$c = \frac{1}{n} R^r$$

$n$ ——粗糙系数,见表 3-2;

$r$ ——当  $R < 1$  时,  $r \approx 1.5 \sqrt{n}$ ; 当  $R > 1$  时,  $r \approx 1.3 \sqrt{n}$ ;

$R$ ——水力半径,即过水截面面积( $A$ )与明沟防洪沟湿润边总长度

( $X$ )之比值,即  $R = \frac{A}{X}$ ; 对梯形明沟防洪沟  $X = b + 2h \sqrt{1+m^2}$

$= b + Kh$ ,  $K = 2 \sqrt{1+m^2}$ , 见图 3-1; 对矩形明沟防洪沟  $X = 2h + b$ ; 也可查表 3-3;

$i$ ——沟底纵坡度(%)。

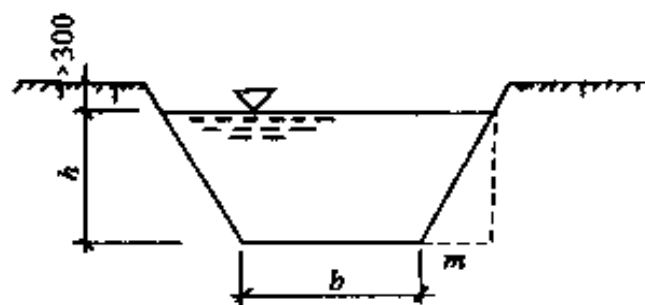


图 3-1 明沟与防洪沟计算简图

流速系数  $c$  值

表 3-1

| $R \backslash n$ | 0.013 | 0.015 | 0.017 | 0.020 | 0.025 | 0.030 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.10             | 54.3  | 45.1  | 38.1  | 30.6  | 22.4  | 17.3  |
| 0.12             | 55.8  | 46.5  | 39.5  | 32.6  | 23.5  | 18.3  |
| 0.14             | 57.2  | 47.8  | 40.7  | 33.0  | 24.5  | 19.1  |
| 0.16             | 58.4  | 48.9  | 41.8  | 34.0  | 25.4  | 19.9  |
| 0.18             | 59.5  | 49.8  | 42.7  | 34.8  | 26.2  | 20.6  |
| 0.20             | 60.4  | 50.8  | 43.6  | 35.7  | 26.9  | 21.3  |
| 0.22             | 61.3  | 51.7  | 44.4  | 36.4  | 27.6  | 21.9  |
| 0.24             | 62.1  | 52.5  | 45.2  | 37.1  | 28.3  | 22.5  |
| 0.26             | 62.9  | 53.2  | 45.9  | 37.8  | 28.8  | 23.0  |
| 0.28             | 63.6  | 54.0  | 46.5  | 38.4  | 29.4  | 23.5  |
| 0.30             | 64.3  | 54.6  | 47.2  | 39.0  | 29.9  | 24.0  |
| 0.35             | 65.8  | 56.0  | 48.6  | 40.3  | 31.1  | 25.1  |
| 0.40             | 67.1  | 57.3  | 49.8  | 41.5  | 32.2  | 26.0  |
| 0.45             | 68.4  | 58.4  | 50.9  | 42.5  | 33.1  | 26.9  |
| 0.50             | 69.5  | 59.5  | 51.9  | 43.5  | 34.0  | 27.8  |
| 0.55             | 70.4  | 60.5  | 52.8  | 44.4  | 34.8  | 28.5  |
| 0.60             | 71.4  | 61.4  | 53.7  | 45.2  | 35.5  | 29.2  |
| 0.65             | 72.2  | 62.2  | 54.5  | 45.9  | 36.2  | 29.8  |
| 0.70             | 73.0  | 63.0  | 55.2  | 46.6  | 36.9  | 30.4  |

注:  $R$ ——水力半径;  $n$ ——粗糙系数。

明沟防洪沟最大容许流速和粗糙系数

表 3-2

| 明沟构造       | 最大容许流速 (m/s) | 粗糙系数 $n$ |
|------------|--------------|----------|
| 细砂、中砂、粉土   | 0.5 ~ 0.6    | 0.030    |
| 粗砂、粉质粘土、粘土 | 1.0 ~ 1.5    | 0.030    |
| 粘土(有草皮护面)  | 1.6          | 0.025    |

| 明沟构造            | 最大容许流速 (m/s) | 粗糙系数 $n$         |
|-----------------|--------------|------------------|
| 软质岩石(石灰岩、砂岩、页岩) | 4.0          | 0.017            |
| 干砌毛(卵)石         | 2.0 ~ 3      | 0.020            |
| 浆砌毛(卵)石         | 3.0 ~ 4.0    | 0.017            |
| 混凝土、各种抹面        | 4.0          | 0.013            |
| 浆砌砖             | 4.0          | 0.015<br>(0.017) |

注:1. 当水深小于 0.4m 或大于 1m 时,表中流速应乘以下列系数:

$h < 0.4\text{m}$ , 0.85;  $h \geq 1.0\text{m}$ , 1.25;  $h \geq 2.0\text{m}$ , 1.40;

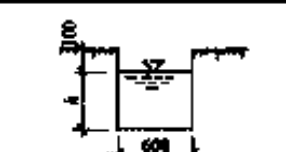
2. 最小容许流速不小于 0.4m/s;

3. 明沟通过坡度较大地段,其流速超过表中规定时,应在该地段设置跌水或消力槽;

4. 浆砌砖明沟采用次质砖时  $n = 0.017$ 。

常用明沟的水力半径  $R$  值

表 3-3

| 水深<br>$h$<br>(m) |  |  |  |  |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.3              | 0.17                                                                                | 0.17                                                                                | 0.12                                                                                 | 0.15                                                                                  |
| 0.4              | 0.21                                                                                | 0.22                                                                                | 0.13                                                                                 | 0.17                                                                                  |
| 0.5              | 0.24                                                                                | 0.26                                                                                | 0.14                                                                                 | 0.19                                                                                  |
| 0.6              | 0.29                                                                                | 0.30                                                                                | 0.15                                                                                 | 0.20                                                                                  |
| 0.7              | 0.32                                                                                | 0.35                                                                                | 0.16                                                                                 | 0.21                                                                                  |
| 0.8              | 0.36                                                                                | 0.39                                                                                | 0.16                                                                                 | 0.22                                                                                  |
| 0.9              | 0.40                                                                                | 0.43                                                                                | 0.16                                                                                 | 0.23                                                                                  |
| 1.0              | 0.43                                                                                | 0.47                                                                                | 0.17                                                                                 | 0.23                                                                                  |
| 1.1              | 0.45                                                                                | 0.52                                                                                | 0.17                                                                                 | 0.24                                                                                  |
| 1.2              | 0.51                                                                                | 0.56                                                                                | 0.17                                                                                 | 0.24                                                                                  |
| 1.3              | 0.54                                                                                | 0.60                                                                                | 0.17                                                                                 | 0.24                                                                                  |
| 1.4              | 0.58                                                                                | 0.64                                                                                | 0.18                                                                                 | 0.25                                                                                  |
| 1.5              | 0.62                                                                                | 0.68                                                                                | 0.18                                                                                 | 0.25                                                                                  |



梯形明沟边坡值

表 3-4

| 土的类别与铺砌情况 | 边坡值 1: m          |
|-----------|-------------------|
| 粉 土       | 1: 1.50 ~ 1: 2.00 |
| 粘土、粉质粘土   | 1: 1.25 ~ 1: 1.50 |
| 砾石土、卵石土   | 1: 1.25 ~ 1: 1.50 |
| 半岩性土      | 1: 0.50 ~ 1: 1.00 |
| 风化岩土      | 1: 0.25 ~ 1: 0.50 |
| 岩 石       | 1: 0.10 ~ 1: 0.25 |
| 砖石或混凝土铺砌  | 1: 0.50 ~ 1: 1.00 |

2. 明沟防洪沟的有效深度  $h$  (m) 和沟底宽度  $b$  (m) 计算

$$h = \sqrt{\frac{A}{K - m}} \quad (3-2)$$

$$b = \frac{A}{h} - mh \quad (3-3)$$

式中  $m$ ——边坡值, 见表 3-4。

## 3. 明沟防洪沟最小过水截面面积计算

$$A = 0.5r + 1.25 \sqrt{\frac{nQ}{\alpha^{r+0.5} \times i^{0.5}}} \quad (3-4)$$

式中  $\alpha = \frac{1}{2 \sqrt{K - n}}$

## 4. 山洪流量一般按以下经验公式计算

$$Q = K \times 6.65A^{0.78} \quad (3-5)$$

式中  $Q$ ——山洪流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$K$ ——洪水频率模量系数; 100 年一遇洪水  $K = 4.31$ ; 50 年一遇洪水  $K = 3.66$ ; 25 年一遇洪水  $K = 2.99$ ; 20 年一遇洪水  $K = 2.80$ ;

$A$ ——汇水面积 ( $1000\text{m}^2$ )。

为简化计算,按式(3-5)山洪流量亦可查表3-5直接求得。

山洪流量  $Q$  值 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

表 3-5

| <div style="text-align: center;"> <math>K</math><br/> <math>A</math> </div> | 4.31  | 3.66  | 2.99  | 2.80  |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                             | 100 年 | 50 年  | 25 年  | 20 年  |
| 0.02                                                                        | 1.66  | 1.41  | 1.14  | 1.07  |
| 0.04                                                                        | 2.34  | 2.00  | 1.61  | 1.50  |
| 0.06                                                                        | 3.24  | 2.75  | 2.24  | 2.10  |
| 0.08                                                                        | 4.00  | 3.40  | 2.75  | 2.58  |
| 0.1                                                                         | 4.72  | 4.02  | 3.27  | 3.07  |
| 0.2                                                                         | 8.15  | 7.00  | 5.62  | 5.30  |
| 0.3                                                                         | 11.20 | 9.50  | 7.70  | 7.25  |
| 0.4                                                                         | 14.00 | 12.00 | 9.70  | 9.10  |
| 0.5                                                                         | 16.60 | 14.10 | 11.50 | 10.60 |
| 0.6                                                                         | 19.20 | 16.50 | 13.30 | 12.50 |
| 0.7                                                                         | 21.80 | 18.50 | 15.10 | 14.10 |
| 0.8                                                                         | 24.00 | 20.50 | 16.70 | 15.60 |
| 0.9                                                                         | 26.40 | 22.60 | 18.30 | 17.20 |
| 1.0                                                                         | 28.70 | 24.30 | 19.80 | 18.60 |
| 1.1                                                                         | 30.60 | 26.30 | 21.20 | 19.90 |
| 1.2                                                                         | 33.00 | 28.30 | 22.80 | 21.50 |
| 1.3                                                                         | 35.20 | 30.20 | 24.40 | 22.90 |
| 1.4                                                                         | 37.20 | 31.90 | 25.70 | 24.20 |
| 1.5                                                                         | 39.20 | 33.60 | 27.20 | 25.50 |
| 1.6                                                                         | 41.20 | 35.20 | 28.50 | 26.80 |

续 表

| A \ K | 4.31   | 3.66   | 2.99   | 2.80  |
|-------|--------|--------|--------|-------|
|       | 100 年  | 50 年   | 25 年   | 20 年  |
| 1.7   | 43.20  | 37.00  | 30.00  | 28.00 |
| 1.8   | 45.00  | 38.50  | 31.30  | 29.50 |
| 1.9   | 47.20  | 40.30  | 32.70  | 30.60 |
| 2.0   | 49.20  | 42.00  | 34.00  | 32.00 |
| 2.5   | 58.50  | 49.90  | 40.50  | 38.00 |
| 3.0   | 68.00  | 58.00  | 47.00  | 44.00 |
| 3.5   | 76.50  | 65.00  | 53.00  | 49.50 |
| 4.0   | 84.00  | 71.60  | 58.60  | 55.00 |
| 4.5   | 93.00  | 79.00  | 64.00  | 60.00 |
| 5.0   | 101.00 | 86.00  | 69.00  | 65.00 |
| 5.5   | 109.00 | 93.00  | 75.00  | 71.00 |
| 6.0   | 116.00 | 98.00  | 80.50  | 75.30 |
| 6.5   | 124.00 | 105.00 | 85.00  | 80.00 |
| 7.0   | 131.00 | 111.00 | 91.00  | 85.00 |
| 7.5   | 138.00 | 117.00 | 95.00  | 89.00 |
| 8.0   | 146.80 | 124.00 | 101.00 | 95.00 |

## (二) 基坑明沟排水计算

明沟排水又称表面排水,它是利用设置在基坑(槽)内(或外)的明沟、集水井和抽水设备,将地下水从集水井中不断排走,保持基坑处于干燥状态。排水沟、集水井均在挖至地下水位以前设置。排水沟、集水井应设在基础轮廓线以外,根据需要在基坑一侧(两侧或三侧、四侧)设置。排水沟边缘应离开坡脚不小于 0.3m;排水沟深度应始终保持比挖土面低 0.3~0.4m;集水井应比排水沟低 0.5m 以上,并随基坑的挖深而加深,保持水流畅通,地下水位

始终低于开挖基坑底 0.5m 以下。一侧设排水沟应设在地下水的上游。

(1) 排水明沟、集水井的截面应根据排水量确定, 基坑排水量  $V(\text{m}^3/\text{d})$  应满足下式要求:

$$V \geq 1.5Q \quad (3-6)$$

式中  $Q$ ——基坑总涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ )。

(2) 水泵所需功率  $N(\text{kW})$  按下式计算:

$$N = \frac{K_0 Q H_0}{75 \eta_1 \cdot \eta_2} \quad (3-7)$$

式中  $K_0$ ——安全系数, 一般取 2;

$Q$ ——基坑的涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$H_0$ ——包括扬水、吸水以及由各种阻力所造成的水头损失在内的总高度(m);

$\eta_1$ ——水泵效率, 一般取 0.40 ~ 0.50;

$\eta_2$ ——动力机械效率, 一般取 0.75 ~ 0.85。

求得  $N$ , 即可选择水泵类型。需用水泵(容量)亦可通过试验求得, 在一般面积基坑的集水井, 设置口径 50 ~ 200mm 水泵即可。水泵类型可选择离心式水泵、泥浆泵、污水泵和潜水电泵等, 当涌水量  $Q < 20\text{m}^3/\text{h}$ , 可用膜式水泵、潜水电泵。膜式水泵可排除泥浆水。

### (三) 土的渗透系数计算

土的渗透系数是计算基坑和井点涌水量的重要参数, 一般在现场做抽水试验确定, 根据观测水井周围的地下水位的变化来求渗透系数。其方法是: 在现场设置抽水井(图 3-2), 贯穿到整个含水层, 并距抽水井  $r_1$  与  $r_2$  处设一个或两个观测孔, 用水泵匀速抽水, 当水井的水面及观测孔的水位大体上呈稳定状态时, 根据所抽水的水量  $Q$  按下式计算渗透系数  $K$  值。

设 1 个观测孔时:

$$K = 0.73Q \frac{\lg r_1 - \lg r_2}{h_1^2 - h_2^2}$$

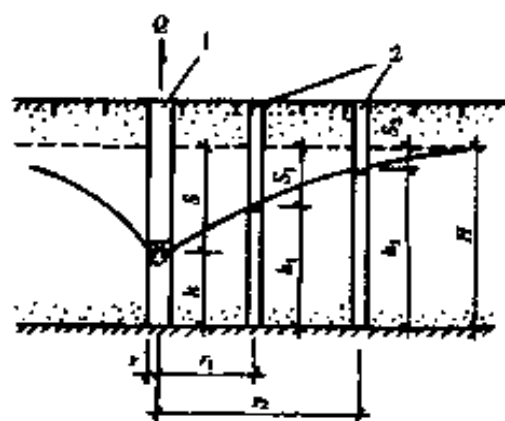


图 3-2 渗透系数计算简图

1—抽水井; 2—观测井

$$=0.73Q \frac{\lg r_1 - \lg r}{(2H - S - S_1)(S - S_1)} \quad (3-8)$$

设 2 个观测孔时:

$$\begin{aligned} K &= 0.73Q \frac{\lg r_2 - \lg r_1}{h_2^2 - h_1^2} \\ &= 0.73Q \frac{\lg r_2 - \lg r_1}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)} \end{aligned} \quad (3-9)$$

式中  $K$ ——渗透系数(m/d);

$Q$ ——抽水量( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$r$ ——抽水井半径(m);

$r_1, r_2$ ——观测孔 1、观测孔 2 至抽水井的距离(m);

$h$ ——由抽水井底标高算起完全井的动水位(m);

$h_1, h_2$ ——观测孔 1、观测孔 2 的水位(m);

$S$ ——抽水井的水位降低值(m);

$S_1, S_2$ ——观测孔 1、观测孔 2 的水位降低值(m);

$H$ ——含水层厚度(m)。

当无条件做抽水试验时,渗透系数  $K$  值可参考表 3-6 取用。

土的渗透系数

表 3-6

| 土的名称 | 渗透系数 $K$    |                                         |
|------|-------------|-----------------------------------------|
|      | m/d         | cm/s                                    |
| 粘土   | <0.005      | < $6 \times 10^{-6}$                    |
| 粉质粘土 | 0.005 ~ 0.1 | $6 \times 10^{-6}$ ~ $1 \times 10^{-4}$ |
| 粘质粉土 | 0.1 ~ 0.5   | $1 \times 10^{-4}$ ~ $6 \times 10^{-4}$ |
| 黄土   | 0.25 ~ 0.5  | $3 \times 10^{-4}$ ~ $6 \times 10^{-4}$ |
| 粉土   | 0.5 ~ 1.0   | $6 \times 10^{-4}$ ~ $1 \times 10^{-3}$ |
| 细砂   | 1.0 ~ 5     | $1 \times 10^{-3}$ ~ $6 \times 10^{-3}$ |
| 中砂   | 5 ~ 20      | $6 \times 10^{-3}$ ~ $2 \times 10^{-2}$ |
| 均质中砂 | 35 ~ 50     | $4 \times 10^{-2}$ ~ $6 \times 10^{-2}$ |
| 粗砂   | 20 ~ 50     | $2 \times 10^{-2}$ ~ $6 \times 10^{-2}$ |
| 均质粗砂 | 60 ~ 75     | $7 \times 10^{-2}$ ~ $8 \times 10^{-2}$ |
| 圆砾   | 50 ~ 100    | $6 \times 10^{-2}$ ~ $1 \times 10^{-1}$ |

| 土的名称   | 渗透系数 $K$   |                                          |
|--------|------------|------------------------------------------|
|        | m/d        | cm/s                                     |
| 卵石     | 100 ~ 500  | $1 \times 10^{-1} \sim 6 \times 10^{-1}$ |
| 无充填物卵石 | 500 ~ 1000 | $6 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10$      |
| 稍有裂隙岩石 | 20 ~ 60    | $2 \times 10^{-2} \sim 7 \times 10^{-2}$ |
| 裂隙多的岩石 | > 60       | $> 7 \times 10^{-2}$                     |

#### (四) 基坑涌水量计算

根据水井理论,水井分为潜水(无压)完整井、潜水(无压)非完整井、承压完整井和承压非完整井。水井布置在无压力的潜水层内的,称为潜水(无压)井;水井布置在两层不透水层之间充满水的含水层内,地下水有一定压力的称为承压井。井底到达不透水层的称为完整井;井底未到达不透水层的称为非完整井。

##### 1. 均质含水层潜水(无压)完整井基坑涌水计算(图3-3)

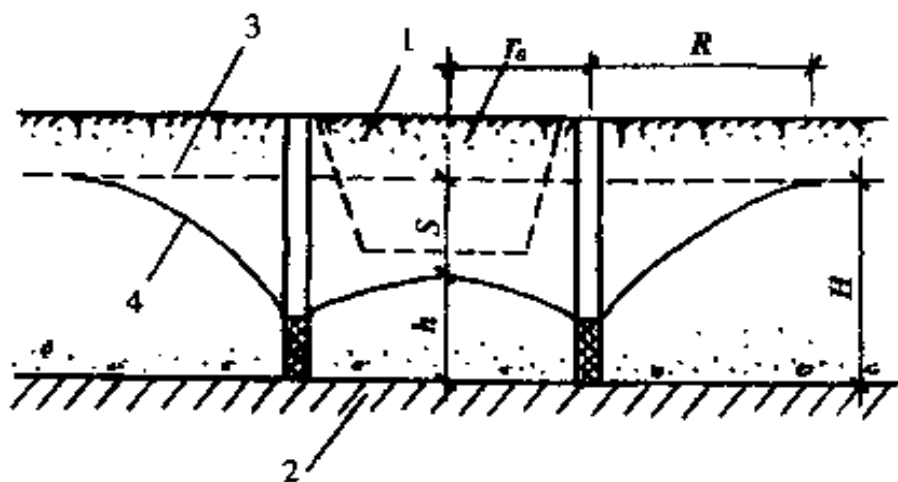


图3-3 潜水完整井涌水量计算简图

1—基坑;2—不透水层;3—原水位线;4—降低后水位

(1) 基坑远离地面水源时

$$Q = 1.366K \frac{(2H - S)S}{\lg(1 + \frac{R}{r_0})} \quad (3-10)$$

式中  $Q$ ——基坑涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$K$ ——土的渗透系数( $\text{m}/\text{d}$ );

$H$ ——潜水(无压)含水层厚度( $\text{m}$ );

$S$ ——基坑水位降深( $\text{m}$ );

$R$ ——降水影响半径( $\text{m}$ ),宜通过试验或根据当地经验确定;

当基坑安全等级为二、三级时,对潜水含水层按下式计算: $R = 2S \sqrt{KH}$ 。

对承压含水层按下式计算: $R = 10S \sqrt{K}$ 。

$r_0$ ——基坑等效半径( $\text{m}$ )。

当基坑为圆形时, $r_0$ 取圆半径。

当基坑为非圆形时,对矩形基坑  $r_0 = 0.29(a+b)$ ;对不规则形状基坑  $r_0$

$= \sqrt{\frac{A}{\pi}}$ 。其中  $a$ 、 $b$  分别为基坑的长、短边长; $A$  为基坑面积。

(2) 基坑近河岸时

$$Q = 1.366K \frac{(2H-S)S}{\lg \frac{2D}{r_0}} \quad (3-11)$$

式中  $D$ ——基坑中心距河岸距离( $\text{m}$ ),  $D < 0.5R$ 。

## 2. 均质含水层潜水(无压)非完整井基坑涌水量计算(图3-4)

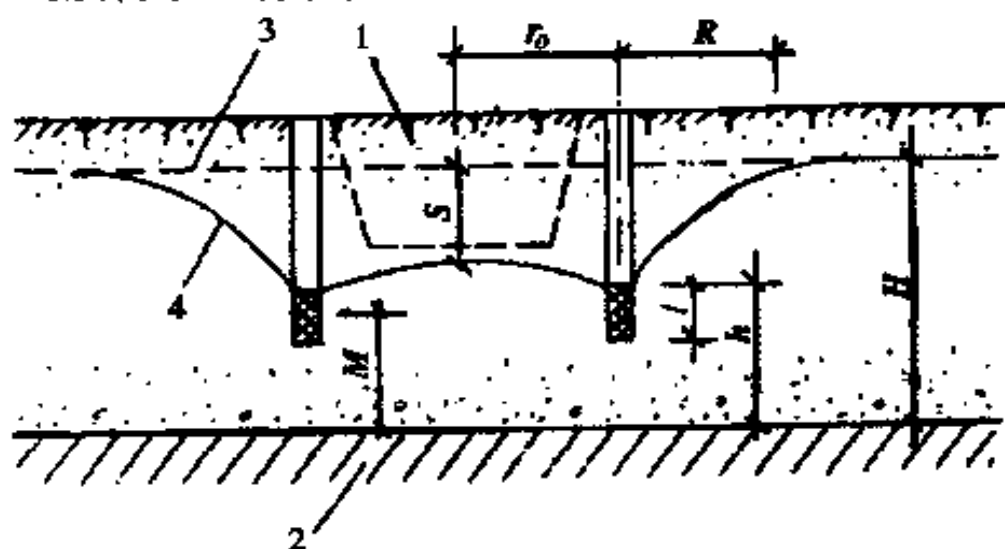


图3-4 潜水非完整井涌水量计算简图

1—基坑;2—不透水层;3—原水位线;4—降低后水位

(1) 基坑远离地面水源时

$$Q = 1.366K \frac{H^2 - h_m^2}{\lg(1 + \frac{R}{r_o}) + \frac{h_m - l}{l} \lg(1 + 0.2 \frac{h_m}{r_o})} \quad (3-12)$$

式中  $h_m = \frac{H+h}{2}$  (m);

$h$ ——由含水层底板到滤管有效工作部分顶面的深度(m);

$l$ ——滤管长度(m)。

(2) 基坑近河岸, 含水层厚度不大时

$$Q = 1.366KS \left[ \frac{l+S}{\lg \frac{2D}{r_o}} + \frac{l}{\lg \frac{0.66l}{r_o} + 0.25 \frac{l}{M} \lg \frac{D^2}{M^2 - 0.14l^2}} \right] \quad (3-13)$$

式中  $D > \frac{M}{2}$ ;

$M$ ——由含水层底板到滤管有效工作部分中点的长度(m)。

(3) 基坑近河岸, 含水层厚度很大时

$$Q = 1.366KS \left[ \frac{l+S}{\lg \frac{2D}{r_o}} + \frac{l}{\lg \frac{2D}{r_o} - 0.22 \operatorname{arsh} \frac{0.44l}{D}} \right] \quad (D > l) \quad (3-14)$$

$$Q = 1.366KS \left[ \frac{l+S}{\lg \frac{2D}{r_o}} + \frac{l}{\lg \frac{0.66l}{r_o} - 0.11 \frac{l}{D}} \right] \quad (D < l) \quad (3-15)$$

### 3. 均质含水层承压完整井基坑涌水量计算(图3-5)

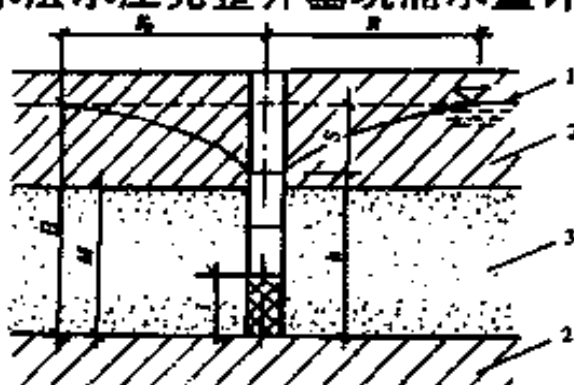


图3-5 承压完整井涌水量计算简图

1—承压水位;2—不透水层;3—含水层



(1) 基坑远离地面水源时

$$Q = 2.73K \frac{MS}{\lg(1 + \frac{R}{r_0})} \quad (3-16)$$

式中  $M$ ——承压含水层厚度(m)。

(2) 基坑近河岸时

$$Q = 2.73K \frac{MS}{\lg \frac{2D}{r_0}} \quad (D < 0.5r_0) \quad (3-17)$$

#### 4. 均质含水层承压非完整井基坑涌水量计算(图3-6)

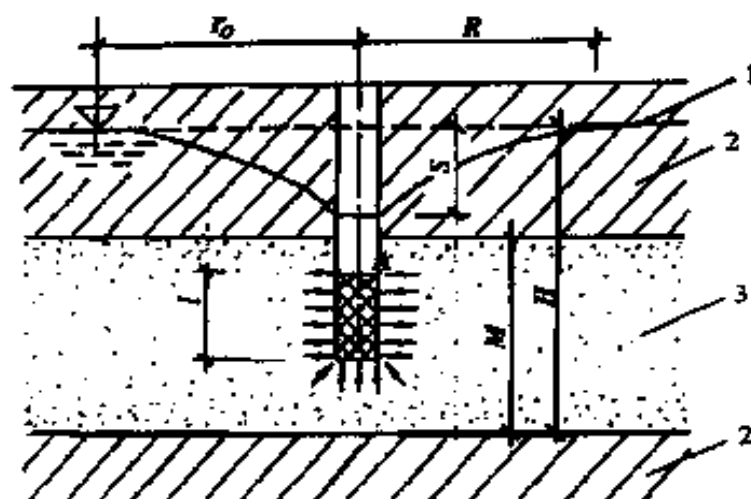


图3-6 承压非完整井涌水量计算简图

1—承压水位;2—不透水层;3—含水层

$$Q = 2.73K \frac{MS}{\lg(1 + \frac{R}{r_0}) + \frac{M-l}{l} \lg(1 + 0.2 \frac{M}{r_0})} \quad (3-18)$$

### (五) 井点、管井降水计算

降水即在基坑土方开挖之前,用真空井点、喷射井点或管井深入含水层内,用不断抽水方式使地下水位下降至坑底以下,同时使土体产生固结以方便土方开挖。

## 1. 井点或管井数量计算

$$n = 1.1 \frac{Q}{q} \quad (3-19)$$

式中  $n$ ——井点或管井数量(根);

$Q$ ——基坑总涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$q$ ——设计单井出水量( $\text{m}^3/\text{d}$ )。

真空井点出水量按  $36 \sim 60 \text{m}^3/\text{d}$  确定;

喷射井点出水量按表 3-7 确定;

管井的出水量  $q = 120\pi r_s l \sqrt[3]{K}$  确定。其中  $r_s$ ——过滤器半径( $\text{m}$ );  $l$ ——过滤器进水部分长度( $\text{m}$ );  $K$ ——含水层的渗透系数( $\text{m}/\text{d}$ );

1.1——考虑井点管堵塞等因素的备用系数。

## 2. 井点管的间距计算

$$D = \frac{2(L+B)}{n} \quad (3-20)$$

式中  $D$ ——井点管的平均间距( $\text{m}$ );

$L, B$ ——矩形井点系统的长度和宽度( $\text{m}$ )。

求出的井点管间距应大于  $15d$  (因井点太密将会影响抽水效果), 并应符合总管接头的间距(800、1200、1600mm)要求。 $d$  为过滤器直径。

喷射井点的设计出水能力

表 3-7

| 型号       | 外管直径<br>(mm) | 喷射管              |                   | 工作水<br>压 力<br>(MPa) | 工作水<br>流 量<br>( $\text{m}^3/\text{d}$ ) | 设计单个井<br>点出水能力<br>( $\text{m}^3/\text{d}$ ) | 适用含水层<br>渗透系数<br>( $\text{m}/\text{d}$ ) |
|----------|--------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
|          |              | 喷嘴<br>直径<br>(mm) | 混合室<br>直径<br>(mm) |                     |                                         |                                             |                                          |
| 1.5 型并列式 | 38           | 7                | 14                | 0.6 ~ 0.8           | 112.8 ~ 163.2                           | 100.8 ~ 138.2                               | 0.1 ~ 5.0                                |
| 2.5 型圆心式 | 68           | 7                | 14                | 0.6 ~ 0.8           | 110.4 ~ 138.2                           | 103.2 ~ 138.2                               | 0.1 ~ 5.0                                |
| 4.0 型圆心式 | 100          | 10               | 20                | 0.6 ~ 0.8           | 230.4                                   | 259.2 ~ 388.8                               | 5 ~ 10                                   |
| 6.0 型圆心式 | 162          | 19               | 40                | 0.6 ~ 0.8           | 720                                     | 600 ~ 720                                   | 10 ~ 20                                  |

### 3. 过滤器长度

真空井点和喷射井点的过滤器长度,不宜小于含水层厚度的 1/3。管井过滤器长度宜与含水层厚度一致。

群井抽水时,各井点单井过滤器进水部分长度应符合下述条件:

$$y_o > l \quad (3-21)$$

式中  $l$ ——过滤器进水部分长度(m);

$y_o$ ——单井井管进水长度,按下式计算:

潜水完整井

$$y_o = \sqrt{H^2 - \frac{0.732Q}{K} \left( \lg R_o - \frac{1}{n} \lg n r_o^{n-1} r_w \right)} \quad (3-22)$$

式中  $r_o$ ——基坑等效半径(m);

$r_w$ ——管井半径(m);

$H$ ——潜水含水层厚度(m);

$R_o$ ——基坑等效半径与降水影响半径之和,  $R_o = r_o + R$ ;

$R$ ——降水井影响半径。

承压完整井

$$y_o = \sqrt{H'^2 - \frac{0.366Q}{KM} \left( \lg R_o - \frac{1}{n} \lg n r_o^{n-1} r_w \right)} \quad (3-23)$$

式中  $H'$ ——承压水位至该承压含水层底板的距离(m);

$M$ ——承压含水层厚度。

若不满足上述条件,应调整井点数量和井点间距,再进行验算。当井距足够小仍不能满足要求时,应考虑基坑内布井。

### 4. 基坑中心点水位降低深度计算

#### (1) 块状基坑降水深度

潜水完整井稳定流时:

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{1.366K} \left[ \lg R_o - \frac{1}{n} \lg(r_1 r_2 \cdots r_n) \right]} \quad (3-24)$$

承压完整井稳定流时:

$$S = \frac{0.366Q}{MK} \left[ \lg R_o - \frac{1}{n} \lg(r_1 r_2 \cdots r_n) \right] \quad (3-25)$$

式中  $S$ ——基坑中心处地下水位降低深度(m);

$r_1, r_2, \dots, r_n$ ——各井距基坑中心或井点中心处的距离(m)。

(2) 当计算出的降低深度不能满足降水设计要求时,应重新调整井数、布井方式。

### 5. 井点管的埋置深度计算

井点管的埋置深度计算应根据降水深度及含水层所在位置决定,一般必须将滤水管埋入含水层内,并且比开挖基坑(沟、槽)底深0.9~1.2m以上。井点管的埋置深度一般可按式计算:

$$H \geq H_1 + h + iL + l \quad (3-26)$$

式中  $H$ ——井点管的埋置深度(m);

$H_1$ ——井点管埋设面至基坑底面的距离(m);

$h$ ——基坑中央最深挖掘面至降水曲线最高点的安全距离(m),一般为0.5~1.0m,人工开挖取下限,机械开挖取上限;

$L$ ——井点管中心至基坑中心短边距离(m);

$i$ ——降水曲线坡度,与土的渗透系数、地下水流量等因素有关,根据扬水试验和工程实测经验确定。对环状或双排井点可取1/10~1/15;对单排线状井点可取1/4~1/5;环状降水外取1/8~1/10;

$l$ ——滤水管长度(m)。

$H$ 计算出后,为安全计,再增加1/2滤管长度。井点管露出地面高度一般取0.2~0.3m。

### 6. 喷射井点水泵工作水需用压力计算

$$P = \frac{P_0}{\alpha} \quad (3-27)$$

式中  $P$ ——水泵工作水压力(m);

$P_0$ ——扬水高度,即水箱至井管底部的总高度(m);

$\alpha$ ——扬水高度与喷嘴前面工作水头之比。

## 7. 电渗井电渗功率计算

$$N = \frac{UJA}{1000} \quad (3-28)$$

式中  $N$ ——电焊机功率(kW);  
 $U$ ——电渗电压,一般取 45V 或 60V;  
 $J$ ——电流密度,取  $0.5 \sim 1.0 \text{ A/m}^2$ ;  
 $A$ ——电渗面积( $\text{m}^2$ ),  $A = H \times L$ ;  
 $H$ ——导电深度(m);  
 $L$ ——井点管布置周长(m)。

## (六) 截水计算

截水即利用截水帷幕切断基坑外的地下水流入基坑内部。截水帷幕目前常用注浆、旋喷法、深层搅拌水泥土桩挡墙等。

截水帷幕的厚度应满足基坑防渗要求,截水帷幕的渗透系数宜小于  $1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。

落底式竖向截水帷幕,应插入不透水层,其插入深度按下式计算:

$$l = 0.2h_w - 0.5b \quad (3-29)$$

式中  $l$ ——帷幕插入不透水层的深度(m);

$h_w$ ——作用水头(m);

$b$ ——帷幕宽度(m)。

当地下含水层渗透性较强、厚度较大时,可采用悬挂式竖向截水与坑内井点降水相结合或采用悬挂式竖向截水与水平封底相结合的方案。

## 四、基坑工程

基坑开挖的施工工艺一般有放坡开挖(无支护挖)和在支护体系保护下开挖(有支护开挖)两种。放坡开挖既简单又经济,在空旷地区或周围环境允许时,能保证边坡稳定的条件下应优先选用。

在城市中心地带、建筑物稠密地区,往往不具备放坡开挖的条件,此时只能采用在支护体系保护下进行垂直开挖的施工方法。

《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-99 规定,基坑侧壁的安全等级分为三级,不同等级采用相对应的重要性系数  $r_c$ ,见表 4-1。在基坑开挖施工时,应根据基坑侧壁的安全等级,选用相应的支护结构。

基坑侧壁安全等级及重要性系数

表 4-1

| 安全等级 | 破坏后果                                | 重要性系数 $r_c$ |
|------|-------------------------------------|-------------|
| 一级   | 支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响很严重 | 1.10        |
| 二级   | 支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响一般  | 1.00        |
| 三级   | 支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响不严重 | 0.90        |

符合下列情况之一,为一级基坑:

- a. 重要工程或支护结构做主体结构的一部分;
- b. 开挖深度大于 10m;
- c. 与临近建筑物、重要设施的距离在开挖深度以内的基坑;
- d. 基坑范围内有历史文物、近代优秀建筑、重要管线等需严加保护的基坑。

三级基坑为开挖深度小于 7m,周围环境无特别要求的基坑。

除一级和三级外的基坑属二级基坑。

## (一) 基坑放坡开挖计算

### 1. 基坑直立开挖计算

当土质为天然湿度、构造均匀、水文地质条件良好(即不会发生坍滑、移动、松散或不均匀下沉),且无地下水时,开挖基坑亦可不必放坡,采取直立开挖不加支护,但挖方深度应符合表 4-2 的规定。对粘性土直立壁允许最大高度  $h_{\max}$  可以按以下步骤计算(图 4-1)。

基坑(槽)和管沟不加支撑时的容许深度

表 4-2

| 项次 | 土 的 种 类                | 容许深度(m) |
|----|------------------------|---------|
| 1  | 密实、中实的沙子和碎石类土(充填物为砂土)  | 1.00    |
| 2  | 硬塑、可塑的粉质粘土及粉土          | 1.25    |
| 3  | 硬塑、可塑的粘土和碎石类土(充填物为粘性土) | 1.50    |
| 4  | 坚硬的粘土                  | 2.00    |

令作用在坑壁上土压力  $E_a = 0$ , 即

$$E_a = \frac{\gamma h^2}{2} \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - 2c h \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) + \frac{2c^2}{\gamma} = 0$$

$$\text{解之得: } h = \frac{2c}{\gamma \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2})}$$

取安全系数为  $K$ (一般用 1.25), 则

$$h_{\max} = \frac{2c}{K \gamma \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2})} \quad (4-1)$$

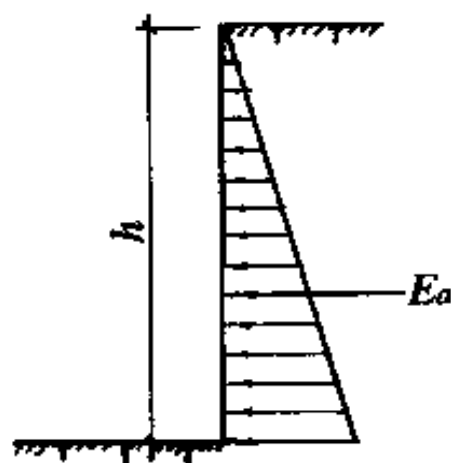


图 4-1 直立壁开挖高度计算简图

当坑顶护道上的均布荷载  $q$  ( $\text{kN/m}^2$ ) 作用时, 则

$$h_{\max} = \frac{2c}{K \gamma \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2})} - \frac{q}{\gamma} \quad (4-2)$$

式中  $\gamma$ ——坑壁土的重度( $\text{kN/m}^3$ );

$\varphi$ ——坑壁土的内摩擦角( $^\circ$ );

$c$ ——坑壁土的粘聚力( $\text{kN/m}^2$ );

$h$ ——基坑开挖高度( $\text{m}$ )。

## 2. 基坑开挖安全边坡的计算

土方开挖,一般应根据土的类别按施工及验收规范规定放坡(表4-3),以保证边坡稳定和施工操作安全。具体坡度值按下式计算确定。

临时性挖方边坡值

表4-3

| 土的类别         |            | 边坡值(高:宽)          |
|--------------|------------|-------------------|
| 砂土(不包括细砂、粉砂) |            | 1: 1.25 ~ 1: 1.50 |
| 一般性粘土        | 硬          | 1: 0.75 ~ 1: 1.00 |
|              | 硬、塑        | 1: 1.00 ~ 1: 1.25 |
|              | 软          | 1: 1.50 或更缓       |
| 碎石类土         | 充填坚硬、硬塑粘性土 | 1: 0.50 ~ 1: 1.00 |
|              | 充填砂土       | 1: 1.00 ~ 1: 1.50 |

注:1. 设计有要求时,应符合设计标准。

2. 如采用降水或其他加固措施,可不受本表限制,但应计算复核。

3. 开挖深度,对软土不应超过4m,对硬土不应超过8m。

如图4-2,假定边坡滑动面通过坡脚一平面,滑动面上部土体为ABC,其重力( $G$ )为:

$$G = \frac{\gamma h^2}{2} \cdot \frac{\sin(\theta - \alpha)}{\sin\theta \cdot \sin\alpha} \quad (4-3)$$

当土体处于极限平衡状态时,挖方边坡的允许最大高度( $h$ )可按下式计算:

$$h = \frac{2c\sin\theta\cos\varphi}{\gamma\sin^2\left(\frac{\theta - \varphi}{2}\right)} \quad (4-4)$$

式中  $\gamma$ ——土的重度( $\text{kN/m}^3$ );

$\theta$ ——边坡的坡度角( $^\circ$ );

$\varphi$ ——土的内摩擦角( $^\circ$ );

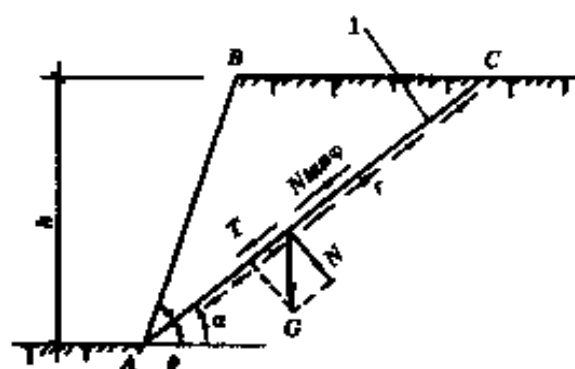


图4-2 挖方边坡计算简图

1——滑动面



$c$ ——土粘聚力( $\text{kN/m}^2$ )。

由上式,如知土的 $\gamma$ 、 $\varphi$ 、 $c$ 值,假定开挖边坡的坡度角 $\theta$ 值,即可求得挖方边坡的允许最大高度 $h$ 值。

由上式还可知以下情况:

(1)当 $\theta = \varphi$ 时, $h = \infty$ ,即边坡的极限高度不受限制,土坡处于平衡状态,此时土的粘聚力未被利用。

(2)当 $\theta > \varphi$ 时,为陡坡,此时 $c$ 值越大,允许的边坡高度 $h$ 可越高。

(3)当 $\theta > \varphi$ 时,若 $c = 0$ ,则 $h = 0$ ,此时挖方边坡的任何高度将是不稳定的。

(4)当 $\theta < \varphi$ 时,为缓坡,此时 $\theta$ 越小,允许坡高越大。

## (二) 基坑(槽)土方工程量计算

基坑土方量可按立体几何中的拟柱体(由两个平行的平面做底的一种多面体)体积公式计算(图4-3)。即

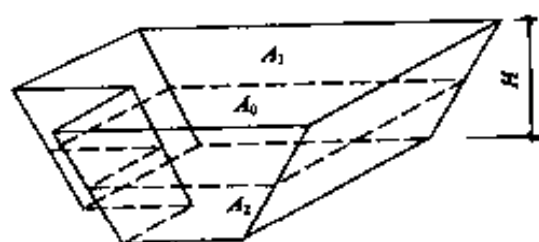


图4-3 基坑土方量计算

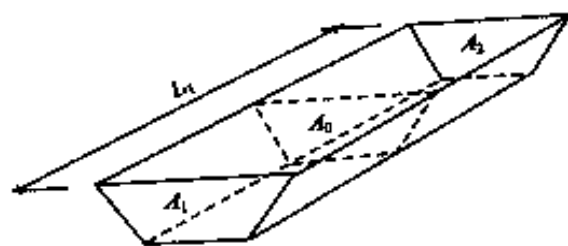


图4-4 基槽土方量计算

$$V = \frac{H}{6}(A_1 + 4A_0 + A_2) \quad (4-5)$$

式中  $V$ ——基坑土方量( $\text{m}^3$ );

$H$ ——基坑深度( $\text{m}$ );

$A_1$ 、 $A_2$ ——基坑上、下的底面积( $\text{m}^2$ ),计算方法见表1-7;

$A_0$ ——基坑中截面的面积( $\text{m}^2$ ),计算方法见表1-7。

基槽和路堤的土方量可以沿长度方向分段后,再用同样方法计算(图4-4):

$$V_1 = \frac{L_1}{6}(A_1 + 4A_0 + A_2) \quad (4-6)$$

式中  $V_1$ ——第一段的土方量( $\text{m}^3$ );

$L_1$ ——第一段的长度( $\text{m}$ )。

将各段土方量相加即得总土方量。

### (三) 基坑(槽)开挖最小深度验算

基坑(槽)开挖最小深度应满足地基承载力、变形和稳定性要求,与基础的埋置深度相适度(基础埋深一般不宜小于  $0.5\text{m}$ )。基坑(槽)开挖后,应进行验槽,除了检验基坑形状尺寸、标高、土质是否符合设计要求外,还应检验或核算基坑开挖的深度能否满足要求,其验算方法如下:

如图 4-5 所示,假定基础底  $AB$  上,因上部结构物重量,受到单位压力  $p_1$  ( $\text{kPa}$ ) 作用,则在基底四周的土层,应有一个侧压力  $p_2$  ( $\text{kPa}$ ) 来支持,按朗金理论,两者的关系为:

$$p_2 = p_1 \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (4-7)$$

式中  $\varphi$ ——土壤的内摩擦角( $^\circ$ )。

压力  $p_3$  ( $\text{kPa}$ ) 等于基底以上土重,其深度为  $D$  ( $\text{m}$ ),设土壤单位重力为  $\gamma$  ( $\text{kN}/\text{m}^3$ );则  $p_3 = \gamma D$ ,或  $p_3 = p_2 \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ 。

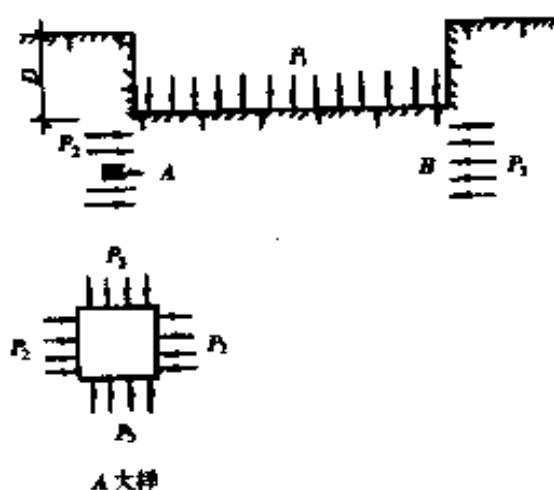


图 4-5 基础坑的最小深度

$$D = \frac{p_1}{\gamma} \tan^4(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (4-8)$$

上述为无粘性土壤中基础的理论最小深度,如果为粘性土,分析方法同上,根据土压力计算公式可得到相当于式(4-8)的最小深度公式为:

$$D = \frac{p_1}{\gamma} \tan^4(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - \frac{2c}{\gamma} \cdot \frac{\tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2})}{\cos(45^\circ - \frac{\varphi}{2})} \quad (4-9)$$

式中  $c$ ——粘聚力( $\text{kPa}$ )。

## (四) 基坑(槽)和管沟支撑计算

### 1. 连续水平板式支撑计算

连续水平板式支撑的挡土板水平连续放置,不留间隙,然后两侧同时对称立竖楞木(立柱),上、下各顶一根横撑木,端头加木楔顶紧。适于较松散的干土或天然湿度的粘土类土,地下水很少,深度为3~5m的基坑(槽)和管沟支撑。

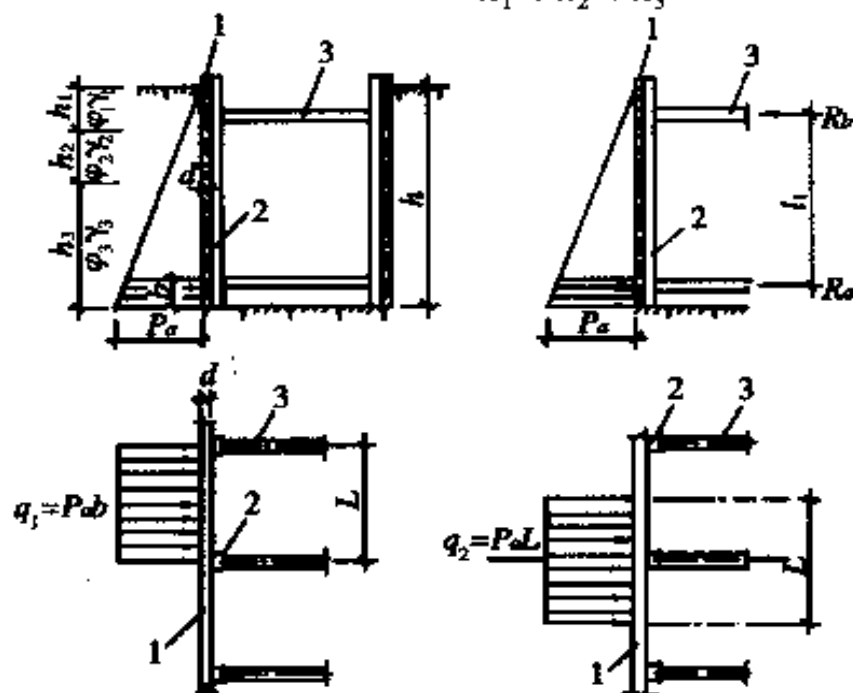
计算简图如图4-6a所示,水平挡土板与梁的作用相同,承受土的水平压力作用,设上与挡土板间的摩擦力不计,则深度 $h$ (m)处的主动土压力强度 $p_a$ (kN/m<sup>2</sup>)为:

$$P_a = \gamma h \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (4-10)$$

式中  $h$ ——基坑(槽)深度(m);

$\varphi$ ——坑壁土的平均内摩擦角( $\varphi = \frac{\varphi_1 h_1 + \varphi_2 h_2 + \varphi_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3}$ )(°);

$\gamma$ ——坑壁土的平均重度( $\gamma = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3}$ )(kN/m<sup>3</sup>)。



a) 水平挡土板受力情况 (b) 双层横撑立柱受力情况

图4-6 连续水平板式支撑

1—水平挡土板;2—立柱;3—横撑木

土的内摩擦角参见表 4-4, 土的重度参见表 4-5。

土壤内摩擦角  $\varphi$  值参考数值

表 4-4

| 土壤名称       | 内摩擦角 $\varphi$           | 土壤名称 | 内摩擦角 $\varphi$           |
|------------|--------------------------|------|--------------------------|
| 粗砂土、砾砂土、砾石 | $30^\circ \sim 40^\circ$ | 细砂土  | $20^\circ \sim 30^\circ$ |
| 碎石土        | $40^\circ \sim 45^\circ$ | 粉砂土  | $15^\circ \sim 25^\circ$ |
| 中砂土        | $25^\circ \sim 35^\circ$ | 粘性土  | $10^\circ \sim 30^\circ$ |

土的重度参考表

表 4-5

| 名 称   | 重度 ( $\text{kN/m}^3$ ) | 备 注                                                                          |
|-------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 腐殖土   | 15 ~ 16                | 干, $\varphi = 40^\circ$ ; 湿, $\varphi = 35^\circ$ ; 很湿, $\varphi = 25^\circ$ |
| 粘土    | 13.5                   | 干, 松, 空隙比为 1.0                                                               |
| 粘土    | 16                     | 干, $\varphi = 40^\circ$ , 压实                                                 |
| 粘土    | 18                     | 湿, $\varphi = 35^\circ$ , 压实                                                 |
| 粘土    | 20                     | 很湿, $\varphi = 20^\circ$ , 压实                                                |
| 砂土    | 12.2                   | 干, 松                                                                         |
| 砂土    | 16                     | 干, $\varphi = 35^\circ$ , 压实                                                 |
| 砂土    | 18                     | 湿, $\varphi = 35^\circ$ , 压实                                                 |
| 砂土    | 20                     | 很湿, $\varphi = 25^\circ$ , 压实                                                |
| 沙子    | 14                     | 干, 细砂                                                                        |
| 沙子    | 17                     | 干, 粗砂                                                                        |
| 卵石    | 16 ~ 18                | 干                                                                            |
| 粘土夹卵石 | 17 ~ 18                | 干, 松                                                                         |
| 砂夹卵石  | 15 ~ 17                | 干, 松                                                                         |
| 砂夹卵石  | 16.0 ~ 19.2            | 干, 压实                                                                        |
| 砂夹卵石  | 18.9 ~ 19.2            | 湿                                                                            |

挡土板厚度按受力最大的下面一块板计算。设深度  $h(\text{m})$  处的挡土板宽度为  $b(\text{m})$ , 则主动土压力作用在该挡土板上的荷载  $q_1 = p_a b (\text{kN/m})$ 。

当挡土板视作简支梁, 如立柱间距为  $L(\text{m})$  时, 则挡土板承受的最大弯矩  $M_{\max} (\text{kN} \cdot \text{m})$  为:

$$M_{\max} = \frac{q_1 L^2}{8} = \frac{p_a b L^2}{8} \quad (4-11)$$

所需木挡板的截面矩  $W(\text{m}^3)$  为:

$$W = \frac{M_{\max}}{f_m} \quad (4-12)$$

式中  $f_m$ ——木材的抗弯强度设计值 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ), 见表 4-6。

矩形截面方木的截面矩  $W = \frac{1}{6}bh^2$  ( $b$ —宽度、 $h$ —高度)。

需用木挡板的厚度  $d(\text{m})$ :

$$d = \sqrt{\frac{6W}{b}} \quad (4-13)$$

常用树种木材的强度设计值和弹性模量 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) 表 4-6

| 强度等级 | 组别 | 适用树种             | 抗弯<br>$f_m$ | 顺纹抗压<br>及承压<br>$f_c$ | 顺纹<br>抗拉<br>$f_t$ | 顺纹<br>抗剪<br>$f_v$ | 横纹承压 $f_c, 90^\circ$ |                            |                  |                            | 弹性<br>模量<br>$E$ |
|------|----|------------------|-------------|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|-----------------|
|      |    |                  |             |                      |                   |                   | 全<br>表<br>面          | 局<br>表<br>面<br>及<br>齿<br>面 | 部<br>面<br>下<br>面 | 拉<br>力<br>栓<br>垫<br>板<br>面 |                 |
| TC17 | A  | 柏木               | 17          | 16                   | 10                | 1.7               | 2.3                  | 3.5                        | 4.6              |                            | 10000           |
|      | B  | 东北落叶松            |             | 15                   | 9.5               | 1.6               |                      |                            |                  |                            |                 |
| TC15 | A  | 铁杉、油杉            | 15          | 13                   | 9                 | 1.6               | 2.1                  | 3.1                        | 4.2              |                            | 10000           |
|      | B  | 鱼鳞云杉、西南云杉        |             | 12                   | 9                 | 1.5               |                      |                            |                  |                            |                 |
| TC13 | A  | 油松、新疆落叶松、云南松、马尾松 | 13          | 12                   | 8.5               | 1.5               | 1.9                  | 2.9                        | 3.8              |                            | 10000           |
|      | B  | 红皮云松、丽江云杉、红松、樟子松 |             | 10                   | 8.0               | 1.4               |                      |                            |                  |                            | 9000            |
| TC11 | A  | 西北云杉、新疆云杉        | 11          | 10                   | 7.5               | 1.4               | 1.8                  | 2.7                        | 3.6              |                            | 9000            |
|      | B  | 杉木、冷杉            |             | 10                   | 7.0               | 1.3               |                      |                            |                  |                            |                 |
| TB20 | -  | 栎木、青冈、桐木         | 20          | 18                   | 12                | 2.8               | 4.2                  | 6.3                        | 8.4              |                            | 12000           |
| TB17 | -  | 水曲柳              | 17          | 16                   | 11                | 2.4               | 3.8                  | 5.7                        | 7.6              |                            | 11000           |

续 表

| 强度等级 | 组别             | 适用树种                 | 抗弯<br>$f_m$ | 顺纹抗压<br>及承压<br>$f_c$ | 顺纹<br>抗拉<br>$f_t$ | 顺纹<br>抗剪<br>$f_v$ | 横纹承压 $f_{c,90}$ |             |          | 弹性模量<br>$E$ |
|------|----------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------|----------|-------------|
|      |                |                      |             |                      |                   |                   | 全表面             | 局部表面及齿面     | 拉力螺栓垫板下面 |             |
| TB15 | -              | 锥栗(栲木)、<br>柞木        | 15          | 14                   | 10                | 2.0               | 3.1             | 4.7         | 6.2      | 10000       |
| 强度等级 | 树种名称           | 顺纹抗压<br>及承压<br>$f_c$ | 抗弯<br>$f_m$ | 顺纹<br>抗剪<br>$f_v$    | 横纹承压 $f_{c,90}$   |                   |                 | 弹性模量<br>$E$ |          |             |
|      |                |                      |             |                      | 全表面               | 局部表面及齿面           | 拉力螺栓垫板下面        |             |          |             |
| TB15 | 槐木、乌墨          | 13                   | 15          | 1.8                  | 2.8               | 4.2               | 5.6             | 9000        |          |             |
|      | 木麻黄            |                      |             | 1.6                  |                   |                   |                 |             |          |             |
| TB13 | 柠檬桉、隆缘桉、<br>蓝桉 | 12                   | 13          | 1.5                  | 2.4               | 3.6               | 4.8             | 8000        |          |             |
|      | 擦木             |                      |             | 1.2                  |                   |                   |                 |             |          |             |
| TB11 | 榆木、臭椿、桤木       | 10                   | 11          | 1.3                  | 2.1               | 3.2               | 4.1             | 7000        |          |             |

立柱为承受三角形荷载的连续梁,按多跨简支梁计算,并按控制跨设计其尺寸。当坑(槽)壁设二道横撑木(图4-6b),其上下横撑间距为 $l_1$ (m),立柱间距为 $L$ (m)时,则下端支点处主动土压力的荷载为: $q_2 = p_a L$ (kN/m),式中 $p_a$ 为立柱下端的土压力(kN/m<sup>2</sup>)。

立柱承受三角形荷载作用,下端支点反力为: $R_a = \frac{q_2 l_1}{3}$ (kN);上端支点反

力为: $R_b = \frac{q_2 l_1}{6}$ (kN)。

由此可求得最大弯矩所在截面与上端支点的距离为: $x = 0.578 l_1$ (m)。

最大弯矩为:  $M_{\max} = 0.064 q_2 l_1^2$ (kN·m) (4-14)

最大应力为:  $\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq f_m$ (kN/m<sup>2</sup>) (4-15)

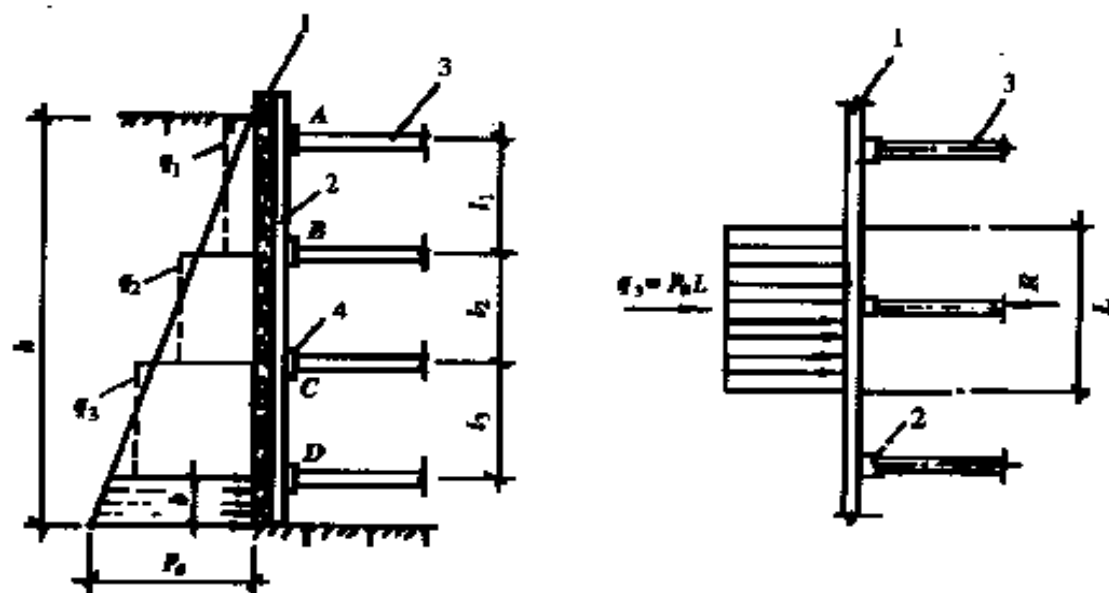
当坑(槽)壁设多层横撑木(图4-7a),可将各跨间梯形分布荷载简化为均布荷载 $q_i$ (kN/m)(等于其平均值),如图中虚线所示,然后取其控制跨度

求其最大弯矩: $M_{\max} = \frac{q_3 l_3^2}{8}$ ,可同上法决定立柱尺寸。

支点反力可按承受相邻两跨度上各半跨的荷载计算,如图4-7b中间支点的反力为:

$$R = \frac{q_3 l_3 + q_2 l_2}{2} (\text{kN}) \quad (4-16)$$

A、D两支点的外侧无支点,故计算的立柱两端的悬臂部分的荷载亦应分别由上下两个支点承受。



(a) 多层横撑支撑情况

(b) 立柱承受荷载情况

图4-7 多层横撑的立柱计算简图

1—水平挡土板;2—立柱;3—横撑木;4—木楔

横撑木为承受支点反力的中心受压杆件,可按下式计算需用截面积:

$$A_0 = \frac{R}{\varphi f_c} \quad (4-17)$$

式中  $A_0$ ——横撑木的截面积( $\text{mm}^2$ );

$R$ ——横撑木承受的支点最大反力(N);

$f_c$ ——木材顺纹抗压及承压强度设计值( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),见表4-6;

$\varphi$ ——横撑木的轴心受压稳定系数。

$\varphi$ 值可按下式计算:

树种强度等级为 TC17、TC15 及 TB20;

当  $\lambda \leq 75$  时

$$\varphi = \frac{1}{1 + \left(\frac{\lambda}{80}\right)^2} \quad (4-18a)$$

$$\lambda > 75 \text{ 时} \quad \varphi = \frac{3000}{\lambda^2} \quad (4-18b)$$

树种强度等级为 TC13、TC11、TB17 及 TB15:

$$\text{当 } \lambda \leq 91 \text{ 时} \quad \varphi = \frac{1}{1 + \left(\frac{\lambda}{65}\right)^2} \quad (4-19a)$$

$$\lambda > 91 \text{ 时} \quad \varphi = \frac{2800}{\lambda^2} \quad (4-19b)$$

式(4-18)、式(4-19)中,  $\lambda$  为横撑木的细长比,  $\lambda = \frac{l_0}{i}$ , 方木的回转半径  $i = 0.289h$ 。支撑的容许细长比为 200。

【例 4-1】基槽深 2m, 上层 1m 为填土, 重度  $\gamma_1 = 16\text{kN/m}^3$ , 内摩擦角  $\varphi_1 = 22^\circ$ , 1m 以下为褐黄色粘土, 重度  $\gamma_2 = 18\text{kN/m}^3$ , 内摩擦角  $\varphi = 23^\circ$ 。用连续水平板式支撑, 试选择木支撑截面。木材为强度等级为 TC15 的杉木, 木材抗弯强度设计值  $f_m = 15\text{N/mm}^2$ , 木材顺纹抗压强度设计值  $f_c = 12\text{N/mm}^2$ 。

【解】土的重度平均值  $\gamma = \frac{16 \times 1 + 18 \times 1}{2} = 17\text{kN/m}^3$ , 内摩擦角平均值  $\varphi = \frac{22^\circ \times 1 + 23^\circ \times 1}{2} = 22.5^\circ$ 。

在沟底 2m 深处土的水平压力  $p_a$ :

$$p_a = \gamma h \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = 17 \times 2 \times \tan^2(45^\circ - \frac{22.5}{2}) = 15.2\text{kN/mm}^2$$

水平挡木板选用 75mm × 200mm, 在 2m 深处的土压力作用于该木板上的荷载  $q_1$ ;

$$q_1 = p_a \cdot b = 15.2 \times 0.2 = 3.04\text{kN/m}$$

木板截面矩  $W = \frac{20 \times 7.5^2}{6} = 187.5\text{cm}^3$ , 抗弯强度值  $f_m = 15\text{N/mm}^2$ , 所能

承受的最大弯矩为:

$$M_{\max} = 187.5 \times 10^3 \times 15 \times 10^{-3} = 2813\text{N} \cdot \text{m}$$

立柱间距  $L$  按公式(4-11)求出:

$$L = \sqrt{\frac{8M_{\max}}{q_1}} = \sqrt{\frac{8 \times 2813}{3.04 \times 10^3}} = 2.72\text{m}, \text{取 } 2.5\text{m}。$$



立柱下支点处主动土压力荷载  $q_2$  :

$$q_2 = p_a \cdot L = 15.2 \times 2.5 = 38 \text{ kN/m}$$

立柱选用截面为  $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  方木, 截面矩  $W = \frac{15^3}{6} = 562.5 \text{ cm}^3$ , 立木  $f_m = 15 \text{ N/mm}^2$ , 则立柱所能承受的弯矩  $M_{\max} = 562.5 \times 10^3 \times 15 \times 10^{-3} = 8438 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

由式(4-14)可得横撑木间距  $l_1 = \sqrt{\frac{M_{\max}}{0.0642 q_2}} = \sqrt{\frac{8438}{0.0642 \times 38 \times 10^3}} = 1.86 \text{ m}$ 。为便于支撑, 取  $1.5 \text{ m}$ , 上端悬臂  $0.3 \text{ m}$ , 下端悬臂  $0.2 \text{ m}$ , 如图 4-8 所示。

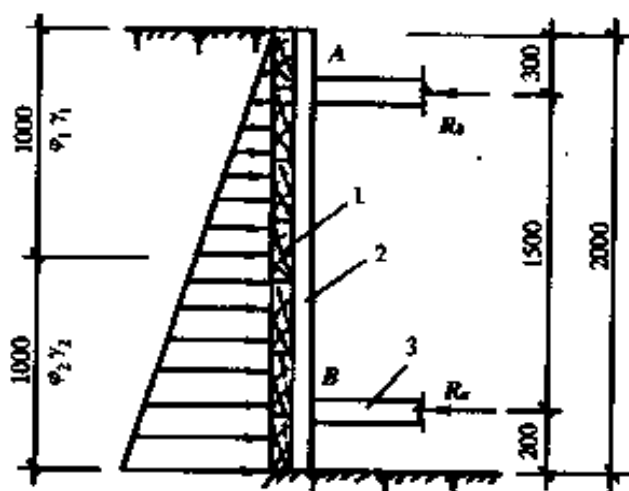


图 4-8 管道沟槽连续水平板式支撑

1—水平挡土板; 2—立柱; 3—横撑木

立木在三角形荷载作用下, 下端支点反力:  $R_b = \frac{q_2 l_1}{3} = \frac{38 \times 1.5}{3} = 19 \text{ kN}$ ,

上端支点反力:  $R_a = \frac{q_2 l_1}{6} = \frac{38 \times 1.5}{6} = 9.5 \text{ kN}$ 。

横撑木按中心受压构件计算。横撑木  $f_c = 12 \text{ N/mm}^2$ , 横撑木实际长度  $l = l_0 = 2.5 \text{ m}$ , 初步选定截面为  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  方木, 所以长细比  $\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{2.5}{0.29 \times 0.10} = 86.2 < 91$ 。

由式(4-19a)得:  $\varphi = \frac{1}{1 + (\frac{\lambda}{65})^2} = \frac{1}{1 + (\frac{86.2}{65})^2} = 0.36$

横撑木轴心受压力  $N$ :

$$N = \varphi A_0 f_c = 0.36 \times 100 \times 100 \times 12 \\ = 43200 \text{ N} = 43.2 \text{ kN} > R_g = 19 \text{ kN}, \text{可以。}$$

选择木支撑截面为:水平挡土板  $75 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$

主柱方木  $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$

横撑方木  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$

## 2. 连续垂直板式支撑计算

连续垂直板式支撑的挡土板垂直放置,连续或留适当间隙,然后每侧上、下各水平顶一根木方(横垫木),再用横撑木顶紧。适用于土质较松散或湿度很高的土,地下水较少,深度可不限的基坑(槽)和管沟支撑。

基坑(槽)和管沟开挖,采用连续垂直板式支撑挡土时,其横垫木和横撑木的布置和计算有等距和不等距(等弯矩)两种方式。

(1)横撑等距布置,横撑木的间距均相等。垂直挡土板与梁的作用相同,承受土的水平压力,可取最下一跨受力最大的板进行计算,计算方法与连续水平板式支撑的立柱相同。承受梯形分布荷载的作用,可简化为均布荷载(等于其平均值),求最大弯矩:  $M = \frac{q_4 h_1^2}{8}$ ,即可决定垂直挡土板尺寸。

横垫木的计算及荷载与连续水平板式支撑的水平挡土板相同。

横撑木的作用力为横垫木的支点反力,其截面计算亦与连续水平板式支撑的横撑木计算相同。

这种布置挡土板的厚度按最下面受土压力最大的板跨进行计算,需要厚度较大,不够经济,但偏于安全。

(2)横撑不等距(等弯矩)布置,横垫木和横撑木的间距为不等距支设,随基坑(槽、管沟)深度而变化,土压力增大而加密,使各跨间承受弯矩相等。

设土压为  $E_{s1}$  ( $\text{kN/m}^2$ ) 平均分布在高度  $h_1$  (m) 上,并假定垂直挡土板各跨均为简支,则  $h_1$  跨单位长度的弯矩为:

$$M_1 = \frac{E_{s1} h_1}{8} = \frac{d^2}{6} f_m$$

将  $E_{s1} = \frac{1}{2} \gamma h_1^2 \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$  代入上式得:

$$\frac{1}{16}\gamma h_1^3 \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \frac{d^2}{6}f_m$$

$$h_1^3 = \frac{2.67d^2 f_m}{\gamma \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})} \quad (4-20)$$

式中  $d$ ——垂直挡土板的厚度(cm);

$f_m$ ——木材的抗弯强度设计值,考虑受力不匀因素,取  $f_m = 10\text{N/mm}^2$ ;

$\gamma$ ——土的平均重度,取  $18\text{kN/m}^3$ ;

$\varphi$ ——土的内摩擦角( $^\circ$ )。

将  $f_m$ 、 $\gamma$  值代入式(4-20)得:

$$h_1 = 0.53 \cdot \sqrt[3]{\frac{d^2}{\tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})}} \quad (\text{m}) \quad (4-21)$$

其余横垫木(横撑木)间距,可按等弯矩条件进行计算:

$$\frac{E_{a1}h_1}{8} = \frac{E_{a2}h_2}{8} = \frac{E_{a3}h_3}{8} = \frac{E_{an}h_n}{8}$$

将  $E_{a1}$ 、 $E_{a2}$ 、 $E_{a3}$ …… $E_{an}$  代入得:

$$\begin{aligned} h_1 \cdot h_1^2 &= h_2 [(h_1 + h_2)^2 - h_1^2] \\ &= h_3 [(h_1 + h_2 + h_3)^2 - (h_1 + h_2)^2] \\ &\dots\dots \\ &= h_n [(\sum_1^n h)^2 - (\sum_1^{n-1} h)^2] \end{aligned}$$

$$\text{解之得} \quad h_2 = 0.62h_1 \quad (4-22)$$

$$h_3 = 0.52h_1 \quad (4-23)$$

$$h_4 = 0.46h_1 \quad (4-24)$$

$$h_5 = 0.42h_1 \quad (4-25)$$

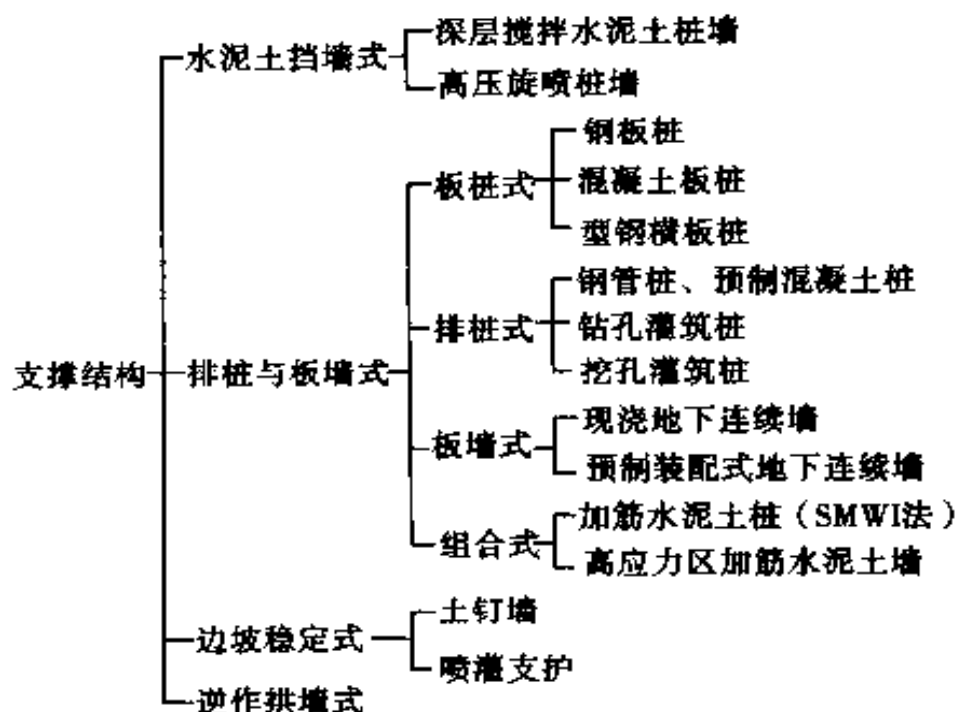
$$h_6 = 0.39h_1 \quad (4-26)$$

如已知垂直挡土板厚度,即可由式(4-21)~(4-26)求得横木(横撑木)的间距。一般垂直挡土板厚度为 50~80mm,横撑木视土压力的大小和基坑(槽、管沟)的宽、深采用 100mm×100mm~160mm×160mm 方木或直径 80~150mm 圆木。

以上布置挡土板的厚度按等弯矩受力计算较为合理,也是实际常用布置方式。

## (五) 支护结构计算

基坑支护结构是基坑土方垂直开挖的保证条件,是在城市中心地带、建筑物稠密地区进行基坑土方开挖时,保护周围环境的重要措施。支护结构(包括围护墙和支撑)按其工作机理和围护墙的形式分为下列几种类型。



### 1. 水平荷载标准值和水平抗力标准值

(1) 作用于围护墙上的土压力、水压力和地面附加荷载产生的水平荷载标准值  $e_{qsk}$  (图 4-9), 应按当地可靠经验确定, 当无经验时按下列规定计算:

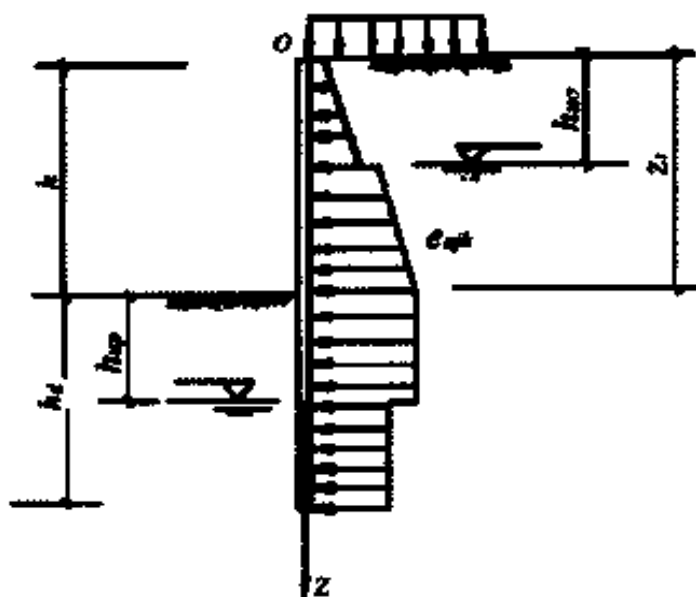


图 4-9 水平荷载标准值计算图

a. 对于碎石土和砂土:

(a) 当计算点位于地下水位以上时

$$e_{ajk} = \sigma_{ajk} K_{ai} - 2c_{ik} \sqrt{K_{ai}} \quad (4-27)$$

(b) 当计算点位于地下水位以下时

$$e_{ajk} = \sigma_{ajk} K_{ai} - 2c_{ik} \sqrt{K_{ai}} + [z_i - h_{wa} - (m_j - h_{wa}) \eta_{wa} K_{ai}] \gamma_w \quad (4-28)$$

式中:  $e_{ajk}$ ——水平荷载标准值(kPa);

$\sigma_{ajk}$ ——作用于深度  $z_i$  处的竖向应力标准值(kPa),按式(4-30)计算;

$K_{ai}$ ——第  $i$  层土的主动土压力系数:

$$K_{ai} = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_{ik}}{2})$$

$\varphi_{ik}$ ——第  $i$  层土的内摩擦角标准值( $^\circ$ );

$c_{ik}$ ——三轴试验(当有可靠经验时,可采用直接剪切试验)确定的第  $i$  层土固结不排水(快)剪粘聚力标准值(kPa);

$z_i$ ——计算点深度(m);

$m_j$ ——计算参数,当  $z_i < h$  时,取  $z_i$ ;当  $z_i \geq h$  时,取  $h$ ;

$h_{wa}$ ——基坑外侧地下水位深度(m);

$\eta_{wa}$ ——计算系数,当  $h_{wa} \leq h$  时,取 1;当  $h_{wa} > h$  时,取零;

$\gamma_w$ ——水的重度( $\text{kN/m}^3$ );

$h$ ——基坑开挖深度(m)。

b. 对于粉土和粘土:

$$e_{ajk} = \sigma_{ajk} K_{ai} - 2c_{ik} \sqrt{K_{ai}} \quad (4-29)$$

当按上述公式计算的基坑开挖面以上水平荷载标准值小于零时,则取其值为零。

c. 基坑外侧竖向应力标准值  $\sigma_{ajk}$  按下式规定计算:

$$\sigma_{ajk} = \sigma_{rk} + \sigma_{ek} + \sigma_{lk} \quad (4-30)$$

(a) 计算点深度  $z_i$  处自重竖向应力  $\sigma_{rk}$ :

当计算点位于基坑开挖面以上时:

$$\sigma_{rk} = \gamma_{mi} z_i \quad (4-31)$$

当计算点位于基坑开挖面以下时:

$$\sigma_{rk} = \gamma_{mh} h \quad (4-32)$$

式中  $\gamma_{mi}$ ——深度  $z_i$  以上土的加权平均天然重度 ( $\text{kN/m}^3$ ) ;

$\gamma_{mh}$ ——开挖面以上土的加权平均天然重度 ( $\text{kN/m}^3$ ) 。

(b) 当支护结构外侧地面作用均布荷载  $q_0$  时 (图 4-10), 基坑外侧任意深度处竖向应力标准值  $\sigma_{ok}$ , 按下式计算:

$$\sigma_{ok} = q_0 \quad (4-33)$$

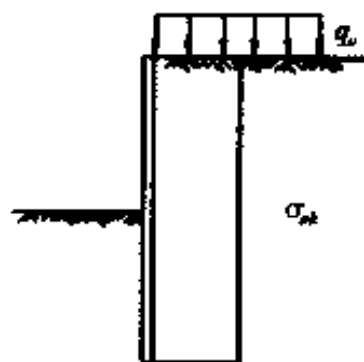


图 4-10 地面均布荷载时基坑外侧附加竖向应力计算简图

(c) 当距离支护结构外侧  $b_1$  处地表作用有宽度为  $b_0$  的条形附加荷载  $q_1$  时 (图 4-11), 基坑外侧深度  $CD$  范围内的附加竖向应力标准值  $\sigma_{1k}$ , 按下式计算:

$$\sigma_{1k} = q_1 \frac{b_0}{b_0 + 2b_1} \quad (4-34)$$

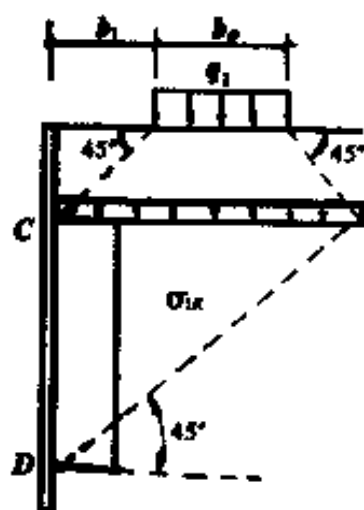


图 4-11 局部荷载作用下基坑外侧附加竖向应力计算简图

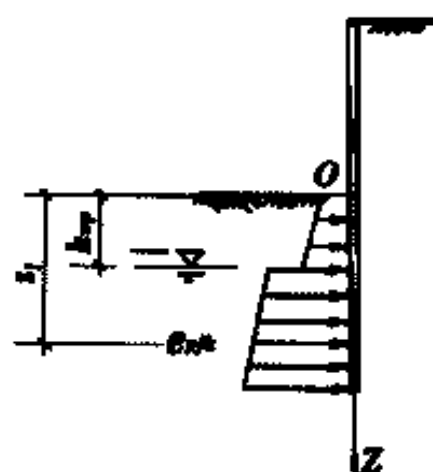


图 4-12 水平抗力标准值计算简图

(2) 基坑内侧水平抗力标准值  $e_{pi}$  宜按下列规定计算(图 4-12)；

a. 对于砂土和碎石土

$$e_{pi} = \sigma_{pi} K_{pi} + 2c_{ik} \sqrt{K_{pi}} + (z_j - h_{wp}) - (1 - K_{pi}) \gamma_w \quad (4-35)$$

式中  $e_{pi}$ ——水平抗力标准值(kPa)；

$\sigma_{pi}$ ——作用于基坑底面以下深度  $z_j$  处的竖向应力标准值(kPa)；

$K_{pi}$ ——第  $i$  层土的被动土压力系数；

$$K_{pi} = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi_{ik}}{2}) \quad (4-36)$$

$z_j$ ——基坑底面以下的计算深度(m)；

$h_{wp}$ ——基坑内侧水位深度(m)；

$\gamma_{mj}$ ——深度  $z_j$  以上土的加权平均天然重度(kN/m<sup>3</sup>)。

b. 对于粘性土及粉土：

$$e_{pi} = \sigma_{pi} K_{pi} + 2c_{ik} \sqrt{K_{pi}} \quad (4-37)$$

c. 作用于基坑底面以下深度  $z_j$  处的竖向应力标准值  $\sigma_{pi}$ ，可按下式计算：

$$\sigma_{pi} = \gamma_{mj} z_j \quad (4-38)$$

## 2. 排桩、地下连续墙嵌固深度计算

### (1) 悬臂式支护结构围护墙的嵌固深度计算

悬臂式支护结构围护墙的嵌固深度设计值  $h_d$  (图 4-13)，宜按下式确定：

$$h_p \sum E_{pi} - 1.2 \gamma_0 h_s \sum E_{ai} \geq 0 \quad (4-39)$$

式中  $\sum E_{pi}$ ——桩、墙底以上基坑内侧各土层水平抗力标准值  $e_{pi}$  [按式(4-35)、式(4-37)计算] 的合力之和(kPa)；

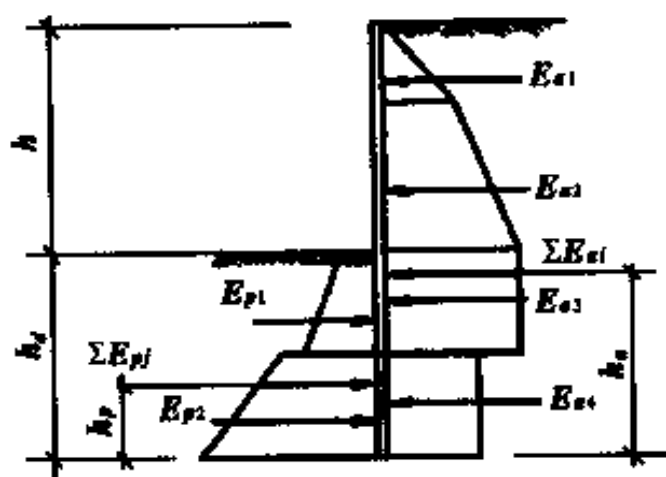


图 4-13 悬臂式支护结构围护墙嵌固深度计算简图

$h_p$ ——合力  $\Sigma E_{pi}$  作用点至桩、墙底的距离(m);

$\Sigma E_{ai}$ ——桩、墙底以上基坑外侧各土层水平荷载标准值  $e_{aik}$  的合力之和(kPa);

$h_a$ ——合力  $\Sigma E_{ai}$  作用点至桩、墙底的距离(m);

$\gamma_0$ ——基坑侧壁重要性系数,取 0.9~1.1。

## (2) 单层支点支护结构围护支点力及墙嵌固深度计算

单层支点支护结构围护墙的支点力(图 4-14)及嵌固深度设计值  $h_d$

(图 4-15)宜按下式计算:

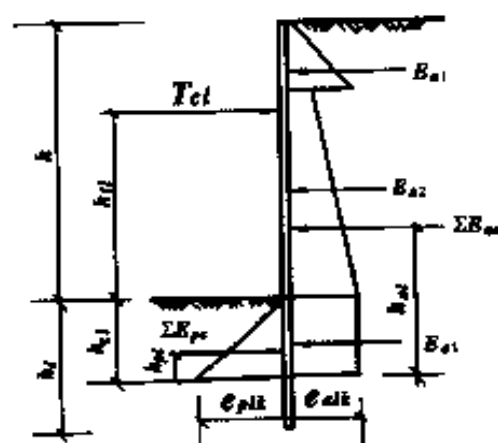


图 4-14 单层支点支护  
结构支点力计算简图

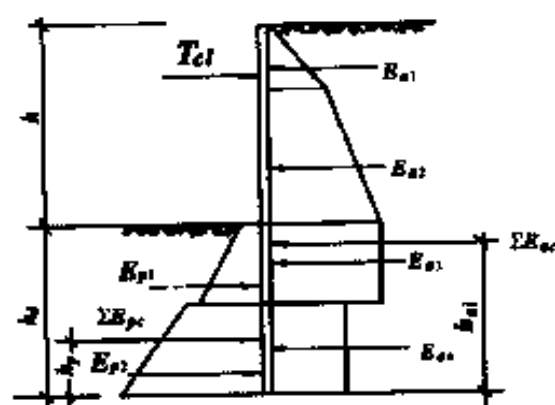


图 4-15 单层支点支护结构  
围护墙嵌固深度计算简图

a. 基坑底面以下,支护结构设定弯矩零点位置至基坑底面的距离  $h_d$ ,按下式确定:

$$e_{aik} = e_{pik} \quad (4-40)$$

b. 支点力  $T_{cl}$ 按下式计算:

$$T_{cl} = \frac{h_{cl} \Sigma E_{ac} - h_{pl} \Sigma E_{pc}}{h_{pi} + h_{cl}} \quad (4-41)$$

式中  $e_{aik}$ ——水平荷载标准值(kPa);

$e_{pik}$ ——水平抗力标准值(kPa);

$h_{cl}$ ——合力  $\Sigma E_{ac}$  作用点至设定弯矩零点的距离(m);

$\Sigma E_{ac}$ ——设定弯矩零点位置以上基坑外侧各土层水平荷载标准值的合力(kPa);

$\Sigma E_{pc}$ ——设定弯矩零点位置以上基坑内侧各土层水平抗力标准值的合力(kPa);



$h_{pd}$ ——合力  $\Sigma E_{pi}$  作用点至设定弯矩零点的距离(m);

$h_{pi}$ ——支点至基坑底面的距离(m);

$h_{cl}$ ——基坑底面至设定弯矩零点位置的距离(m)。

c. 围护墙嵌固深度设计值  $h_d$ , 按下式计算:

$$h_p \Sigma E_{pi} + T_{cl}(h_{pi} + h_d) - 1.2\gamma_0 h_a \Sigma E_{ai} \geq 0 \quad (4-42)$$

### (3) 多层支点支护结构围护墙嵌固深度计算

多层支点支护结构围护墙的嵌固深度设计值  $h_d$ , 按整体稳定条件采用圆弧滑动简单条分法计算(图4-16);

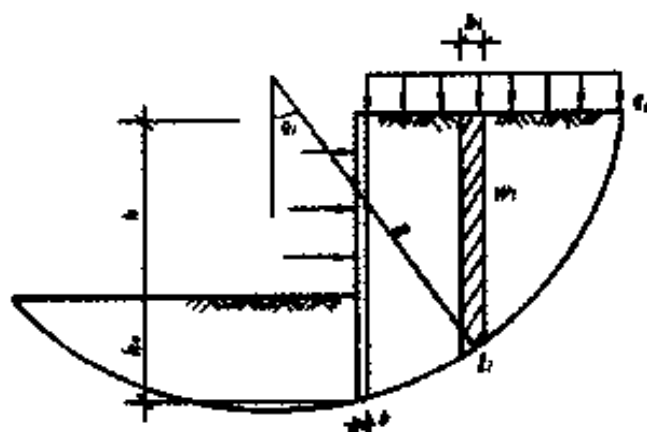


图4-16 多层支点支护结构围护墙嵌固深度计算简图

$$\Sigma c_{ik} l_i + \Sigma (q_0 b_i + w_i) \cos \theta_i \tan \varphi_{ik} - \gamma_k \Sigma (q_0 b_i + w_i) \sin \theta_i \geq 0 \quad (4-43)$$

式中  $c_{ik}$ 、 $\varphi_{ik}$ ——最危险滑动面上第  $i$  土条滑动面上土的固结不排水(快)剪粘聚力(kPa)、内摩擦角标准值( $^{\circ}$ );

$l_i$ ——第  $i$  土条的弧长(m);

$q_0$ ——支护结构外侧地面作用的均布荷载(kN/m);

$b_i$ ——第  $i$  土条的宽度(m);

$\gamma_k$ ——整体稳定分项系数,应根据经验确定,当无经验时可取 1.3;

$w_i$ ——作用于滑裂面上第  $i$  土条的重量,按上覆土层的天然土重计算(kN);

$\theta_i$ ——第  $i$  土条弧线中点切线与水平线夹角( $^{\circ}$ )。

对于均质粘性土及地下水以上的粉土或砂类土,嵌固深度计算值  $h_0$ ,可按式确定:

$$h_0 = n_0 h \quad (4-44)$$

式中  $n_0$ ——嵌固深度系数,当  $\gamma_k$  取 1.3 时,根据三轴试验(当有可靠经验时,可采用直接剪切试验)确定土层固结(不排水)快剪内摩擦角  $\varphi_k$  及粘聚力系数  $\delta = c_k/rh$  ( $c_k$ —粘聚力,  $r$ —土的重度),查表 4-7 取值;

$h$ ——基坑深度(m)。

围护墙的嵌固深度设计值,则为

$$h_d = 1.1h_0 \quad (4-45)$$

嵌固深度系数  $n_0$  值(地面超载  $q_0 = 0$ )

表 4-7

| $\varphi_k$<br>$\delta$ | 7.5  | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 20.5 | 25.0 | 27.5 | 30.0 | 32.5 | 35.0 | 37.5 | 40.0 | 42.5 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.00                    | 3.18 | 2.24 | 1.69 | 1.28 | 1.05 | 0.80 | 0.67 | 0.55 | 0.40 | 0.31 | 0.26 | 0.25 | 0.15 | <0.1 |      |
| 0.02                    | 2.87 | 2.03 | 1.51 | 1.15 | 0.90 | 0.72 | 0.58 | 0.44 | 0.36 | 0.26 | 0.19 | 0.14 | <0.1 |      |      |
| 0.04                    | 2.54 | 1.74 | 1.29 | 1.01 | 0.74 | 0.60 | 0.47 | 0.36 | 0.24 | 0.19 | 0.13 | <0.1 |      |      |      |
| 0.06                    | 2.19 | 1.54 | 1.11 | 0.81 | 0.63 | 0.48 | 0.36 | 0.27 | 0.17 | 0.12 | <0.1 |      |      |      |      |
| 0.08                    | 1.89 | 1.28 | 0.94 | 0.69 | 0.51 | 0.35 | 0.26 | 0.15 | <0.1 | <0.1 |      |      |      |      |      |
| 0.10                    | 1.57 | 1.05 | 0.74 | 0.52 | 0.35 | 0.25 | 0.13 | <0.1 |      |      |      |      |      |      |      |
| 0.12                    | 1.22 | 0.81 | 0.54 | 0.36 | 0.22 | <0.1 | <0.1 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0.14                    | 0.95 | 0.55 | 0.35 | 0.24 | <0.1 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0.16                    | 0.68 | 0.35 | 0.24 | <0.1 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0.18                    | 0.34 | 0.24 | <0.1 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0.20                    | 0.24 | <0.1 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0.22                    | <0.1 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

当嵌固深度下部存在软弱土层时,尚应继续验算下卧层的整体稳定性。

当按上述方法计算确定的悬臂式及单层支点支护结构围护墙的嵌固深度设计值  $h_d < 0.3h$ , 宜取  $h_d = 0.3h$ ; 多层支点支护结构围护墙的嵌固深度设

计值  $h_d < 0.2h$  时, 宜取  $h_d = 0.2h$ 。

当基坑底为碎石土及砂土、基坑内排水且作用有渗透水压力时, 侧向截水的排桩、地下连续墙围护墙除应满足上述计算外, 其嵌固深度设计值尚应按式抗渗透稳定条件确定(图 4-17):

$$h_d \leq 1.20\gamma_0(h - h_{wa}) \quad (4-46)$$

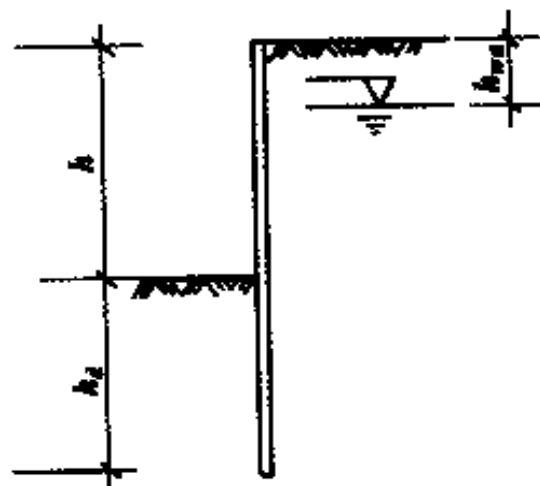


图 4-17 抗渗透稳定计算简图

### 3. 钢板桩打设和拔除计算

(1) 振动锤需要的振幅按下列公式计算:

$$\text{砂土:} \quad A_s = \sqrt{0.8N + L} \quad (4-47)$$

$$\text{粘土、粉土:} \quad A_s = \sqrt{1.6N + L} \quad (4-48)$$

式中  $A_s$ ——需要的振幅(mm);

$N$ ——桩尖所在土层的标准贯入值;

$L$ ——钢板桩长度(m)。

(2) 振动锤需要的偏心矩按下式计算:

$$M_o = \left[ \frac{15A_s + \sqrt{225A_s^2 + (1.56 - A_s)225A_s + 1.56A_sQ_p}}{1.56 - A_s} \right]^2 \quad (4-49)$$

式中  $M_o$ ——需要的偏心矩(N·mm);

$Q_p$ ——钢板桩自重(N);

$A_s$ ——板桩需要的振幅(mm)。

(3) 国产振动锤技术性能

表 4-8

| 技术性能              |   | 北京<br>580 型 | 北京<br>601 型 | 广东<br>7t 型 | 广东<br>10t 型 | 通化<br>601 型 | 成都<br>C-2 型 | 中-160 型     | 江阴<br>DZ5 | 江阴<br>DZ37 |
|-------------------|---|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| 振动力(kN)           |   | 175         | 250         | 75         | 112         | 235         | 80          | 1030 ~ 1600 | 50        | 271        |
| 偏心力矩(N·m)         |   | 302         | 370         | 76.4       | 114.5       | 347         | 70          | 3520        |           |            |
| 振动频率(r/min)       |   | 720         | 720         | 939        | 931         | 720         | 730         | 404 ~ 1010  | 960       | 900        |
| 振幅(mm)            |   | 12.2        | 14.8        | 5.7        | 5.7         | 14          | 13          |             | 7.8       | 6.3        |
| 电机功率(kW)          |   | 45          | 45          | 20         | 28          | 50          | 22          | 155         | 11        | 37         |
| 电机转速(r/min)       |   | 960         | 960         | 980        | 1460        | 860         | 1470        | 735         |           |            |
| 振动箱<br>规格<br>(mm) | 长 | 1010        | 1010        | 1180       | 1095        | 1010        | 1460        | 1630        | 1000      | 1500       |
|                   | 宽 | 875         | 875         | 840        | 744         | 875         | 781         | 1200        | 780       | 1100       |
|                   | 高 | 1650        | 1650        | 1400       | 1157        | 1650        | 2364        | 3100        | 1400      | 1980       |
| 振动锤质量(t)          |   | 2.5         | 2.5         | 1.5        | 2.0         | 2.5         | 1.5         | 11.4        | 0.95      | 3.3        |

(4) 钢板桩拔除阻力按下式计算:

$$F = F_s + F_r \quad (4-50)$$

其中

$$F_s = UL\tau \quad (4-51)$$

$$F_r = 1.2E_aBH\mu \quad (4-52)$$

式中  $F$ ——钢板桩拔除阻力(kN); $F_s$ ——钢板桩与土的吸附力(kN); $U$ ——钢板桩周长(m); $L$ ——钢板桩在不同土中的长度(m); $\tau$ ——钢板桩在不同土中的静吸附力或动吸附力(用于静力拔桩和振动拔桩),见表 4-9。 $F_r$ ——钢板桩的断面阻力(kN); $E_a$ ——作用在钢板桩上的主动力压力强度(kN/m<sup>2</sup>); $B$ ——钢板桩宽度(m); $H$ ——钢板桩在土中的深度(m); $\mu$ ——钢板桩与土体之间的摩擦系数(0.35 ~ 0.40)。

钢板桩在不同土质中的吸附力

表 4-9

| 土 质      | 静吸附力 $\tau_d$<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | 动吸附力 $\tau_v$<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | 动吸附力 $\tau_v$<br>(含水量很少时)<br>(kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 粗砂砾      | 34.0                                  | 2.5                                   | 5.0                                               |
| 中砂(含水)   | 36.0                                  | 3.0                                   | 4.0                                               |
| 细砂(含水)   | 39.0                                  | 3.5                                   | 4.5                                               |
| 粉土(含水)   | 24.0                                  | 4.0                                   | 6.5                                               |
| 砂质粉土(含水) | 29.0                                  | 3.5                                   | 5.5                                               |
| 粘质粉土(含水) | 47.0                                  | 5.5                                   |                                                   |
| 粉质粘土     | 30.0                                  | 4.0                                   |                                                   |
| 粘土       | 50.0                                  | 7.5                                   |                                                   |
| 硬粘土      | 75.0                                  | 13.0                                  |                                                   |
| 非常硬的粘土   | 130.0                                 | 25.0                                  |                                                   |

#### 4. 水泥土墙计算

深层搅拌水泥土桩墙围护墙是用深层搅拌机就地将土和输入的水泥浆强制搅拌,形成连续搭接的水泥土柱状加固体挡墙。水泥土加固体的渗透系数不大于  $10^{-7}$  cm/s,能止水防渗,属重力式挡墙,是利用本身重量和刚度进行挡土和防渗。

水泥土围护墙截面呈格栅形,水泥土的置换率对淤泥不宜小于 0.8,淤泥质土不宜小于 0.7,一般粘性土及砂土不宜小于 0.6。格栅长宽比不宜大于 2。水泥桩间的搭接宽度应根据挡土及止水要求设定,当考虑抗渗作用时,桩的有效搭接宽度不宜小于 150mm;当不考虑止水作用时,搭接宽度不宜小于 100mm;当土质较差时,桩的搭接宽度不宜小于 200mm。

格栅间距应与搅拌桩纵向桩距相协调,一般为桩距的 3~6 倍。

水泥土加固体的强度取决于水泥掺入比(水泥重量与加固土体重量的比值),围护墙常用的水泥掺入比为 12%~14%。常用水泥品种是强度等级为 32.5 的普通硅酸盐水泥。

### (1) 水泥土墙嵌固深度计算

水泥土墙的嵌固深度设计值  $h_d$  的计算, 同于多层支点的排桩、地下连续墙嵌固深度设计值  $h_d$  的计算, 亦宜按圆弧滑动简单条分法进行计算。

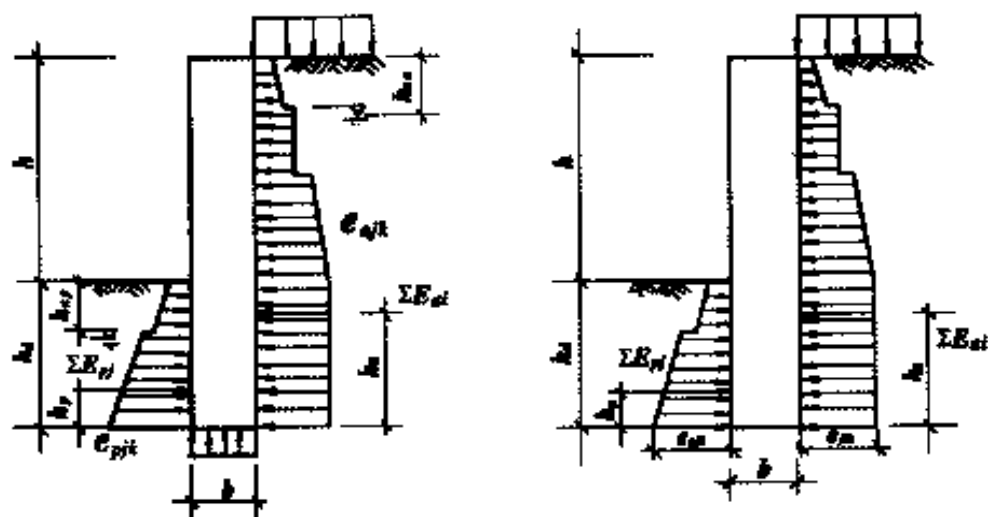
当基坑底的土质为砂土和碎石土, 而且基坑内降排水作用有渗透水压时, 水泥土墙的嵌固深度除按圆弧滑动简单条分法计算外, 尚应按抗渗透稳定条件进行验算。

当按上述方法计算的嵌固深度设计值  $h_d$  小于  $0.4h$  时, 宜取  $0.4h$  ( $h$  为基坑深度)。

### (2) 墙体厚度计算

水泥土墙厚度设计值  $b$ , 宜根据抗倾覆稳定条件计算确定:

a. 当水泥土墙底部位于碎石土或砂土时 (图 4-18a), 墙体厚度设计值宜按下式确定:



(a) 墙底位于碎石土或砂土 (b) 墙底位于粘土或粉土

图 4-18 水泥土墙厚度计算简图

$$b \geq \sqrt{\frac{10(1.2\gamma_0 h_a \Sigma E_{ai} - h_p \Sigma E_{pi})}{5\gamma_w(h + h_d) - 2\gamma_0 \gamma_w(2h + 3h_d - h_{wp} - 2h_{wa})}} \quad (4-53)$$

式中  $b$ ——水泥土墙厚度(m);

$\Sigma E_{ai}$ ——水泥土墙底以上基坑外侧水平荷载标准值的合力之和 (kPa);

$\Sigma E_{pi}$ ——水泥土墙底以上基坑内侧水平抗力标准值的合力之和 (kPa);

$h_a$ ——合力  $\Sigma E_a$  作用点至水泥土墙底的距离(m);

$h_p$ ——合力  $\Sigma E_p$  作用点至水泥土墙底的距离(m);

$\gamma_a$ ——水泥土墙的平均重度( $\text{kN/m}^3$ );

$\gamma_w$ ——水的重度( $\text{kN/m}^3$ );

$h_{\text{外}}$ ——基坑外侧地下水位深度(m);

$h_{\text{内}}$ ——基坑内侧地下水位深度(m);

$h$ ——基坑深度(m);

$h_d$ ——水泥土墙嵌固深度(m);

$\gamma_0$ ——基坑侧壁重要系数,取  $\gamma_0 = 0.9 \sim 1.1$ ,见表 4-1。

b. 当水泥土墙底部位于粘性土或粉土中时(图 4-18b),墙体厚度设计值  $b$ ,宜按下列经验公式计算:

$$b \geq \sqrt{\frac{2(1.2\gamma_0 h_a \Sigma E_a - h_p \Sigma E_p)}{\gamma_a(h + h_d)}} \quad (4-54)$$

当按上述计算方法确定的水泥土墙厚度小于  $0.4h$  时,宜取  $0.4h$ 。

### (3) 正截面承载力验算

水泥土墙厚度设计值,除应符合上述要求外,其正截面承载力尚需符合下述要求:

#### a. 压应力验算

$$1.25\gamma_0\gamma_a z + \frac{M}{W} \leq f_a \quad (4-55)$$

式中  $\gamma_a$ ——水泥土墙平均重度( $\text{kN/m}^3$ );

$\gamma_0$ ——重要性系数,取  $\gamma_0 = 0.9 \sim 1.1$ ;

$z$ ——由墙顶至计算截面的深度(m);

$M$ ——单位长度水泥土墙截面组合弯矩设计值( $\text{kN} \cdot \text{m}$ );

$W$ ——水泥土墙的截面模量( $\text{m}^3$ );

$f_a$ ——水泥土开挖龄期的抗压强度设计值( $\text{kN/m}^2$ )。

#### b. 拉应力验算

$$\frac{M}{W} - \gamma_a z \leq 0.06f_a \quad (4-56)$$

## 5. 土钉墙计算

土钉墙是一种边坡稳定式的支护,基坑坡面有较陡的坡度(不大于 1:

0.1)。它由密集的土钉群、被架固的原位土体、喷射的混凝土面层和必要的防水系统组成。

土钉墙支护用于基坑侧壁安全等级宜为二、三级的非软土地地；基坑深度不宜大于12m，使用期限不宜超过18个月；当地下水位高于基坑底面时，应采取降水或截水措施。目前在软土地地亦有应用。

基坑土方施工时，每挖深1.5m左右，在这一作业面上钻孔插入钢筋（长10~15m左右，纵、横向间距1.5m×1.5m左右），加垫板并灌水泥浆或水泥砂浆；喷射一层混凝土后铺设钢筋网与土钉连接牢固（钢筋直径宜为6~10mm，间距宜为150~300mm）；然后喷射混凝土强度等级不低于C20，厚度不小于80mm的面层，依次进行直至坑底。

### (1) 土钉抗拉承载力计算

土钉计算只考虑土钉的受拉作用。土钉的长度除满足设计抗拉承载力的要求外，同时还应满足土钉墙内部整体稳定性的需要。

对于单根土钉，其抗拉承载力应满足下式要求：

$$1.25\gamma_0 T_{jk} \leq T_{uj} \quad (4-57)$$

式中  $\gamma_0$ ——基坑侧壁重要性系数，取  $\gamma_0 = 0.9 \sim 1.1$ ；

$T_{jk}$ ——第  $j$  根土钉受拉荷载标准值(kN)，按式(4-58)计算；

$T_{uj}$ ——第  $j$  根土钉抗拉承载力设计值(kN)，按式(4-60)计算。

单根土钉受拉荷载标准值，按下式计算：

$$T_{jk} = \xi e_{qjk} S_{xj} S_{yj} \frac{1}{\cos \alpha_j} \quad (4-58)$$

式中  $\xi$ ——荷载折减系数，按下式计算：

$$\xi = \tan \frac{\beta - \varphi_k}{2} \left[ \frac{1}{\tan \frac{\beta + \varphi_k}{2}} - \frac{1}{\tan \beta} \right] \frac{1}{\tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)} \quad (4-59)$$

$\beta$ ——土钉墙坡面与水平面的夹角( $^\circ$ )；

$\varphi_k$ ——土的内摩擦角标准值( $^\circ$ )；

$e_{qjk}$ ——第  $j$  个土钉位置处的基坑水平荷载(土压力和地面荷载产生的侧压力等)标准值(kPa)；

$S_{xj}$ 、 $S_{yj}$ ——第  $j$  根土钉与相邻土钉的平均水平、垂直间距(m)；

$\alpha_j$ ——第  $j$  根土钉与水平面的夹角( $^\circ$ )。



对于基坑侧壁安全等级为二级的土钉抗拉承载力设计值  $T_{uj}$ , 应通过试验确定。基坑侧壁安全等级为三级时,  $T_{uj}$  可按下式计算(图 4-19):

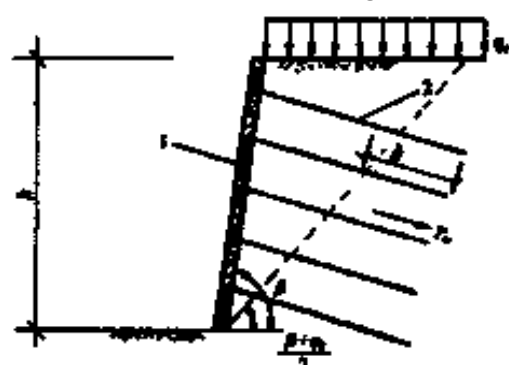


图 4-19 土钉抗拉承载力计算简图

1 喷射混凝土面层; 2—土钉

$$T_{uj} = \frac{1}{\gamma_s} \pi d_{uj} \sum q_{sik} l_i \quad (4-60)$$

式中  $\gamma_s$ ——土钉抗拉抗力分项系数, 取 1.3;

$d_{uj}$ ——第  $j$  根土钉锚固体直径(m);

$q_{sik}$ ——土钉穿越第  $i$  层土土体与锚固体间极限摩阻力标准值(kPa), 应由现场试验确定, 如无试验资料, 可按表 4-10 采用;

$l_i$ ——第  $j$  根土钉在直线破裂面外穿越第  $i$  稳定土体内的长度(m), 破裂面与水平面的夹角为  $\frac{\beta + \varphi_k}{2}$ 。

土体与锚固体之间的极限摩擦阻力标准值

表 4-10

| 土层种类 | 土的状态 | $q_{sik}$ (kPa) |
|------|------|-----------------|
| 淤泥质土 |      | 20 ~ 30         |
| 粘性土  | 软 塑  | 35 ~ 45         |
|      | 硬 塑  | 65 ~ 80         |
|      | 坚硬   | 55 ~ 65         |
|      | 可 塑  | 45 ~ 55         |
| 粉 土  | 中 密  | 60 ~ 110        |
| 砂性土  | 松 散  | 50 ~ 90         |
|      | 密 实  | 170 ~ 220       |
|      | 中 密  | 130 ~ 170       |
|      | 稍 密  | 90 ~ 130        |

注: 表中数值系采用直孔一次常压灌浆工艺的计算值。当采用二次灌浆、扩孔工艺时可适当提高。

## (2) 喷射混凝土面层计算

在上体自重及地面均布荷载  $q$  作用下,喷射混凝土面层所受侧向压力  $e_0$  (kPa)可按式估算:

$$e_0 = e_{01} + e_a \quad (4-61)$$

$$e_{01} = 0.7 \left( 0.5 + \frac{s-0.5}{5} \right) e_1 \leq 0.7 e_1 \quad (4-62)$$

式中  $e_a$ ——地面均布荷载  $q$  引起的侧压力(kPa);

$e_1$ ——土钉位置处由土体自重产生的侧压力(kPa);

$s$ ——相邻土钉水平间距和垂直间距中的较大值(m)。

喷射混凝土面层按以土钉为支座的连续板进行强度验算,作用于面层上的侧压力,在同一间距内可按均布考虑,其反力作为土钉的端部拉力。验算内容包括板在跨中和支座截面处的受弯、板在支座截面处的冲切等。

## (3) 土钉墙整体稳定性验算

土钉墙应根据施工期间不同开挖深度及基坑底面以下可能发生的滑动面,采用圆弧滑动简单条分法(图4-20)按下式进行验算:

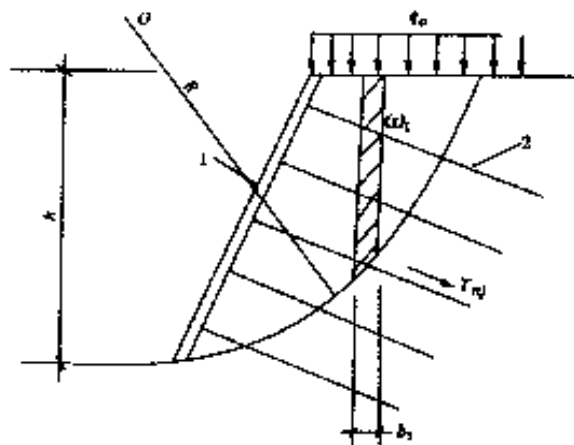


图 4-20 土钉墙内部整体稳定性验算简图

1—喷射混凝土面层;2—土钉

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n c_{ik} L_i s + s \sum_{i=1}^n (\omega_i + q_0 b_i) \cos \theta_i \tan \varphi_{ik} \\ & + \sum_{j=1}^m T_{nj} \left[ \cos(\alpha_j + \theta_j) + \frac{1}{2} \sin(\alpha_j + \theta_j) \tan \varphi_{ik} \right] \\ & - s \gamma_k \gamma_0 \sum_{i=1}^n (\omega_i + q_0 b_i) \sin \theta_i \geq 0 \end{aligned} \quad (4-63)$$

式中  $n$ ——滑动体分条数;

$m$ ——滑动体内土钉数;

$\gamma_k$ ——整体滑动分项系数,可取 1.3;

$\gamma_0$ ——基坑侧壁重要性系数,取 0.9 ~ 1.1;

$\omega_i$ ——第  $i$  分条土重(kN/m),滑裂面位于粘性土或粉土中时,按上覆土层的饱和土重度计算;滑裂面位于砂土或碎石类土中时,按上覆土层的浮重度计算;

$q_0$ ——地面均布荷载(kPa);

$b_i$ ——第  $i$  分条宽度(m);

$c_{ik}$ ——第  $i$  分条滑裂面处土体固结不排水(快)剪粘聚力标准值(kPa);

$\varphi_{ik}$ ——第  $i$  分条滑裂面处土体固结不排水(快)剪内摩擦角标准值( $^{\circ}$ );

$\theta_i$ ——第  $i$  分条滑裂面处中点切线与水平面夹角( $^{\circ}$ );

$\alpha_j$ ——土钉与水平面之间的夹角( $^{\circ}$ );

$L_i$ ——第  $i$  分布滑动面处弧长(m);

$s$ ——计算滑动体单元厚度(m);

$T_{nj}$ ——第  $j$  根土钉圆弧滑裂面外锚固体与土体的极限抗拉力(kN)。

按下式计算:

$$T_{nj} = \pi d_{nj} \sum q_{ik} L_{ni} \quad (4-64)$$

式中  $d_{nj}$ ——第  $j$  根土钉锚固体直径(m);

$q_{ik}$ ——土钉穿越第  $i$  层土土体与锚固体间极限摩阻力标准值(kPa),应由现场试验确定,如无试验资料,可采用表 4-10 确定;

$L_{ni}$ ——第  $j$  根土钉在圆弧滑裂面外穿越第  $i$  层稳定土体内的长度(m)。

上述计算,适用于以钢筋作为中心钉体的钻孔注浆型土钉。对于其他类型的土钉如注浆的钢管击入型土钉或不注浆的角钢击入型土钉,亦可参照上述计算原则进行土钉墙支护的稳定性分析。

## 五、地基处理

地基处理是为提高地基承载力,改善其变形性质或渗透性质而采取的人工处理地基的方法。

### (一)换填垫层法

换填垫层法是挖去地表浅层软弱土层或不均匀土层,回填坚硬、较粗粒径的材料,并夯压密实,形成垫层的地基处理方法。

1. 垫层的厚度 $z$ 应根据需置换软弱土的深度或下卧土层的承载力确定,并符合下式要求:

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (5-1)$$

式中  $p_z$ ——相应于荷载效应标准组合时,垫层底面处的附加压力值(kPa);

$p_{cz}$ ——垫层底面处土的自重压力值(kPa);

$f_{az}$ ——垫层底面处经深度修正后的地基承载力特征值(kPa)。

垫层底面处的附加压力值 $p_z$ 可分别按下列公式计算:

条形基础

$$p_z = \frac{b(p_k - p_c)}{b + 2z \tan \theta} \quad (5-2)$$

矩形基础

$$p_z = \frac{bl(p_k - p_c)}{(b + 2z \tan \theta)(l + 2z \tan \theta)} \quad (5-3)$$

式中  $b$ ——矩形基础或条形基础底面的宽度(m);

$l$ ——矩形基础底面的长度(m);

$p_k$ ——相应于荷载效应标准组合时,基础底面处的平均压力值(kPa);

$p_c$ ——基础底面处土的自重压力值(kPa);

$z$ ——基础底面下垫层的厚度(m);

$\theta$ ——垫层的压力扩散角( $^\circ$ ),宜通过试验确定,当无试验资料时,可

按表 5-1 采用。

压力扩散角  $\theta(^{\circ})$

表 5-1

| 换填材料<br>$z/b$ | 中砂、粗砂、砾砂、圆砾、<br>角砾、石屑、卵石、碎石、矿渣 | 粉质粘土、<br>粉煤灰 | 灰 土 |
|---------------|--------------------------------|--------------|-----|
| 0.25          | 20                             | 6            | 28  |
| $\geq 0.50$   | 30                             | 23           |     |

注:1. 当  $z/b < 0.25$ , 除灰土取  $\theta = 28^{\circ}$  外, 其余材料均取  $\theta = 0^{\circ}$ , 必要时, 宜由试验确定;

2. 当  $0.25 < z/b < 0.5$  时,  $\theta$  值可内插求得。

垫层的厚度一般为 0.5 ~ 2.5m, 不宜大于 3.0m, 否则费工费料, 不够经济, 但也不宜小于 0.5m, 垫层过薄则效果不明显。

对于浅层软土厚度不大的工程, 应置换掉全部软土。对需换填的软弱土层, 按公式(5-1)确定垫层厚度时, 需要用试算法, 即预估算一个厚度, 再按式(5-1)校核, 如不能满足要求时, 再增加垫层厚度, 直至满足要求为止。

2. 垫层底面的宽度应满足基础底面应力扩散的要求, 可按下式确定:

$$b' \geq b + 2z \tan \theta \quad (5-4)$$

式中  $b'$ ——垫层底面宽度(m);

$\theta$ ——压力扩散角, 可按表 5-1 采用; 当  $z/b < 0.25$  时, 仍按表中  $z/b = 0.25$  取值。

整片垫层底面的宽度可根据施工的要求适当加宽。

垫层顶面宽度可从垫层底面两侧向上, 按基坑开挖期间保持边坡稳定的当地经验放坡确定。垫层顶面每边超出基础底边不宜小于 300mm。

3. 换填垫层的承载力宜通过现场载荷试验确定, 并应进行下卧层承载力的验算。对安全等级为三级的建筑物及一般不太重要的、小型、轻型或对沉降要求不高的工程, 在无试验资料或经验时, 当施工达到规范要求的压实标准(表 5-2)后, 可以参考表 5-3 所列的承载力特征值取用。地基承载力特征值是由载荷试验测定的地基土压力变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值, 其最大值为比例界限值。

各种垫层的压实标准

表 5-2

| 施工方法     | 换填材料类别                      | 压实系数 $\lambda_c$ |
|----------|-----------------------------|------------------|
| 碾压、振密或夯实 | 碎石、卵石                       | 0.94 ~ 0.97      |
|          | 砂夹石 (其中碎石、卵石占全重的 30% ~ 50%) |                  |
|          | 土夹石 (其中碎石、卵石占全重的 30% ~ 50%) |                  |
|          | 中砂、粗砂、砾砂、角砾、圆砾、石屑           | 0.94 ~ 0.97      |
|          | 粉质粘土                        |                  |
|          | 灰土                          | 0.95             |
|          | 粉煤灰                         | 0.90 ~ 0.95      |

注:1. 压实系数  $\lambda_c$  为土的控制干密度  $\rho_d$  与最大干密度  $\rho_{dmax}$  的比值;土的最大干密度宜采用击实试验确定,碎石或卵石的最大干密度可取  $2.0 \sim 2.2 \text{ t/m}^3$ ;

2. 当采用轻型击实试验时,压实系数  $\lambda_c$  宜取高值,采用重型击实试验时,压实系数  $\lambda_c$  可取低值;

3. 矿渣垫层的压实指标为最后二遍压实的压陷差小于 2mm。

垫层的承载力

表 5-3

| 换填材料                        | 承载力特征值 $f_{ak}$ (kPa) |
|-----------------------------|-----------------------|
| 碎石、卵石                       | 200 ~ 300             |
| 砂夹石 (其中碎石、卵石占全重的 30% ~ 50%) | 200 ~ 250             |
| 土夹石 (其中碎石、卵石占全重的 30% ~ 50%) | 150 ~ 200             |
| 中砂、粗砂、砾砂、圆砾、角砾              | 150 ~ 200             |
| 粉质粘土                        | 130 ~ 180             |
| 石屑                          | 120 ~ 150             |
| 灰土                          | 200 ~ 250             |
| 粉煤灰                         | 120 ~ 150             |
| 矿渣                          | 200 ~ 300             |

注:压实系数小的垫层,承载力特征值取低值,反之取高值;原状矿渣垫层取低值,分级矿渣或混合矿渣垫层取高值。

4. 垫层下卧层的变形量可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 的变形计算部分计算。有关垫层的模量应根据试验或当地经验确定,在无试验资料或经验时,可参照表 5-4 选用。

垫层模量 (MPa)

表 5-4

| 模量<br>垫层材料 | 压缩模量<br>$E_s$ | 变形模量<br>$E_0$ |
|------------|---------------|---------------|
| 粉煤灰        | 8 ~ 20        |               |
| 砂          | 20 ~ 30       |               |
| 碎石、卵石      | 30 ~ 50       |               |
| 矿渣         |               | 35 ~ 70       |

注:压实矿渣的  $E_0/E_s$  比值可按 1.5 ~ 3 取用。

5. 换填垫层的施工参数应根据垫层材料、施工机械设备及设计要求等通过现场试验确定,以求获得最佳夯压效果。在不具备试验条件的场合,可按表 5-5、表 5-6 选用。为保证分层压实质量,应控制机械碾压速度。

垫层的每层铺填厚度及压实遍数

表 5-5

| 施工设备         | 每层铺填厚度(m)   | 每层压实遍数            |
|--------------|-------------|-------------------|
| 平碾(8 ~ 12t)  | 0.2 ~ 0.3   | 6 ~ 8(矿渣 10 ~ 12) |
| 羊足碾(5 ~ 16t) | 0.2 ~ 0.35  | 8 ~ 16            |
| 硅式夯(200kg)   | 0.2 ~ 0.25  | 3 ~ 4             |
| 振动碾(8 ~ 15t) | 0.6 ~ 1.3   | 6 ~ 8             |
| 插入式振动器       | 0.2 ~ 0.5   |                   |
| 平板式振动器       | 0.15 ~ 0.25 |                   |

垫层施工机械的选择及施工控制含水量

表 5-6

| 换填材料       | 施工机械               | 施工控制含水量               |
|------------|--------------------|-----------------------|
| 粉质粘土<br>灰土 | 平碾、振动碾、羊足碾、硅式夯、柴油夯 | $\omega_{op} \pm 2\%$ |
| 粉煤灰        | 平碾、振动碾、平板振动器、蛙式夯   | $\omega_{op} \pm 4\%$ |
| 矿渣         | 平板振动器、平碾、振动碾       |                       |
| 砂石         | 平板式振动器             | 15% ~ 20%             |
|            | 平碾、蛙式夯             | 8% ~ 12%              |
|            | 插入式振动器             | 饱和                    |

注： $\omega_{op}$ ——最优含水量。

## (二)强夯法和强夯置换法

1. 强夯法是反复将夯锤提到高处使其自由落下,给地基以冲击和振动能量,将地基土夯实的地基处理方法。

(1)强夯法有效加固深度是反映处理效果的重要参数,又是选择地基处理方案的重要依据。强夯法创始人梅那曾提出下式来估算影响深度  $H$ :

$$H \approx \sqrt{Mh} \quad (\text{m}) \quad (5-5)$$

式中  $M$ ——夯锤质量(t);

$h$ ——落距(m)。

国内外大量试验研究和工程实测资料表明,采用梅那公式估算有效加固深度将会得出偏大的结果。由于影响有效加固深度的因素很多,所以《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 规定:强夯法的有效加固深度应根据现场试夯或当地经验确定。在缺少试验资料或经验时可按表 5-7 预估。

强夯法的有效加固深度(m)

表 5-7

| 单击夯击能<br>(kN·m) | 碎石土、砂土等<br>粗颗粒土 | 粉土、粘性土、湿陷性<br>黄土等细颗粒土 |
|-----------------|-----------------|-----------------------|
| 1000            | 5.0 ~ 6.0       | 4.0 ~ 5.0             |
| 2000            | 6.0 ~ 7.0       | 5.0 ~ 6.0             |



| 单击夯击能<br>(kN · m) | 碎石土、砂土等<br>粗颗粒土 | 粉土、粘性土、湿陷性<br>黄土等细颗粒土 |
|-------------------|-----------------|-----------------------|
| 3000              | 7.0 ~ 8.0       | 6.0 ~ 7.0             |
| 4000              | 8.0 ~ 9.0       | 7.0 ~ 8.0             |
| 5000              | 9.0 ~ 9.5       | 8.0 ~ 8.5             |
| 6000              | 9.5 ~ 10.0      | 8.5 ~ 9.0             |
| 8000              | 10.0 ~ 10.5     | 9.0 ~ 9.5             |

注:强夯法的有效加固深度应从最初起夯面算起。

(2)强夯锤质量及锤底静接地压力值。强夯锤质量  $M$  可取  $10 \sim 40t$ , 常用的夯锤质量为  $10 \sim 25t$ , 夯锤的落距多采用  $8 \sim 25m$ 。强夯锤底面形式宜采用圆形或多边形, 锤底面积宜按土的性质确定, 锤底静接地压力值可取  $25 \sim 40kPa$ , 对于细颗粒土锤底静接地压力宜取较小值, 锤底面积不宜小于  $6m^2$ ; 对于粗颗粒土锤底静接地压力宜取较大值, 锤底面积为  $3 \sim 4m^2$ 。

(3)夯击次数和遍数。夯点的夯击次数, 应按现场试夯得到的夯击次数的夯沉量关系曲线确定, 并应同时满足以下条件: 最后两击的平均夯沉量不宜大于下列数值: 当单击夯击能小于  $4000kN \cdot m$  时为  $50mm$ ; 当单击夯击能大于  $4000 \sim 6000kN \cdot m$  时为  $100mm$ ; 当单击夯击能大于  $6000kN \cdot m$  时为  $200mm$ ; 夯坑周围地面不应发生过大的隆起; 不因夯坑过深而发生提锤困难。

夯击遍数应根据地基土的性质确定, 可采用点夯  $2 \sim 3$  遍, 对于渗透性较差的细颗粒土, 必要时夯击遍数可适当增加。最后再以低能量满夯  $2$  遍, 满夯可采用轻锤或低落距锤多次夯击, 锤印搭接。

(4)夯击能  $E(kN \cdot m)$  按下式计算:

$$E = Mh \quad (5-6)$$

式中  $M$ ——强夯锤重( $kN$ );

$h$ ——强夯锤落距( $m$ )。

(5)两遍夯击之间的时间间隔, 取决于土中超静孔隙水压力的消散时间。当缺少实测资料时, 可根据地基土的渗透性确定, 对于渗透性较差的粘性土地基, 间隔时间不应少于  $3 \sim 4$  周; 对于渗透性好的地基可连续夯击。

(6)夯击点位置可根据基底平面, 采用等边三角形、等腰三角形或正方

形布置。第一遍夯击点间距可取夯锤直径为 2.5 ~ 3.5 倍,第二遍夯点位于第一遍夯击点之间。以后各遍夯击点间距可适当减小。对处理深度较深或单击夯击能较大的工程,第一遍夯击点间距宜适当增大。

(7) 强夯处理范围应大于建筑物基础范围,每边超出基础外缘宽度  $b(m)$  应满足下式要求:

$$b = \left( \frac{1}{2} \sim \frac{2}{3} \right) h < 3m \quad (5-7)$$

式中  $h$ ——基底下设计处理深度(m)。

2. 强夯置换法是将重锤提到高处使其自由落下形成夯坑,并不断夯击坑内回填的砂石、钢渣等硬粒料,使其形成密实的墩体的地基处理方法。

(1) 强夯置换墩的深度由土质条件决定,除厚层饱和粉土外,应穿透软土层,达到较硬土层上。深度不宜超过 7m。常用夯击能在  $5000kN \cdot m$  以下。

(2) 单击夯击能应根据现场试验决定,在初选时可按图 5-1 中的实线(平均值)与虚线(下限)所代表的公式估计:

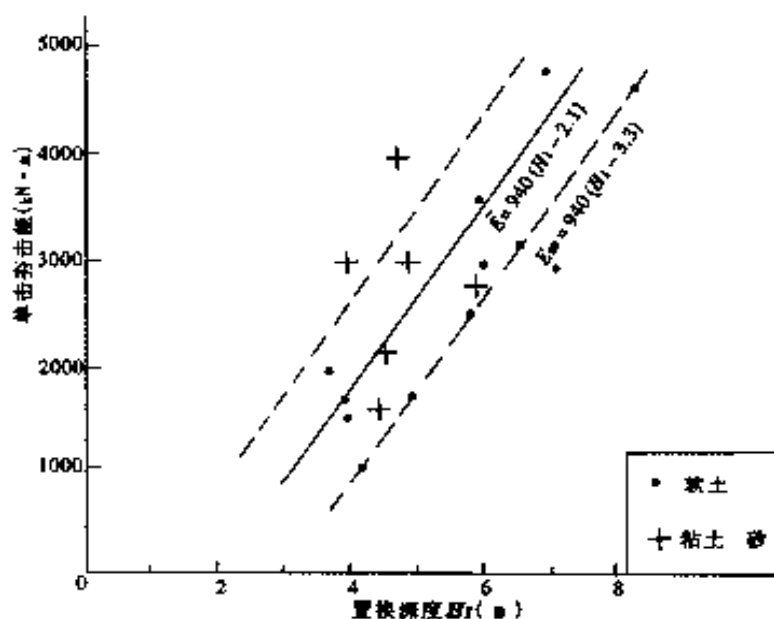


图 5-1 夯击能与实测置换深度的关系

较适宜的夯击能  $\bar{E} = 940(H_1 - 2.1) (kN \cdot m) \quad (5-8)$

夯击能量低值  $E_w = 940(H_1 - 3.3) (kN \cdot m) \quad (5-9)$

式中  $H_1$ ——置换墩深度(m)。

初选夯击能宜在  $\bar{E}$  与  $E_w$  之间选取,高于  $\bar{E}$  则可能浪费,低于  $E_w$  则可能

达不到所需的置换深度。

(3)墩位布置宜采用等边三角形或正方形。对独立基础或条形基础可根据基础形状与宽度相应布置。

(4)墩间距应根据荷载大小和原土的承载力选定,当满堂布置时可取夯锤直径的2~3倍。对独立基础或条形基础可取夯锤直径的1.5~2.0倍。墩的计算直径可取夯锤直径的1.1~1.2倍。

### (三)灰土挤密桩法和土挤密桩法

灰土挤密桩法或土挤密桩法是利用横向挤压成孔设备成孔,使桩间土得以挤密。用灰土或素土填入桩孔内分层夯实形成灰土桩或土桩,并与桩间土组成复合地基的地基处理方法。

1. 处理地基的面积,应大于基础或建筑物底层平面的面积,并应符合下列规定:

(1)当采用整片处理时,超出建筑物外基础底面外缘的宽度 $b$ (m)应符合下式要求:

$$b = \frac{1}{2}h \geq 2m \quad (5-10)$$

式中  $h$ ——处理土层厚度(m)。

(2)当采用局部处理时,超出基础底面的宽度 $b$ (m),应满足下式要求:

对非自重湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基:

$$b = 0.25B \geq 0.50m \quad (5-11)$$

对自重湿陷性黄土地基:

$$b = 0.75B \geq 1m \quad (5-12)$$

式中  $B$ ——基础底面宽度(m)。

2. 处理地基的深度,应根据建筑场地的土质情况、工程要求和成孔及夯实设备等综合因素确定。对地下水位以上的湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基,可处理地基的深度为5~15m。

3. 桩孔直径宜为300~450mm,并可根据所选用的成孔设备或成孔方法确定。

4. 桩孔宜按等边三角形布置,如图5-2所示。桩孔之间的中心距离,可为桩孔直径的2.0~2.5倍,也可按下式估算:

$$s = 0.95d \sqrt{\frac{\eta_c \rho_{dmax}}{\eta_c \rho_{dmax} - \bar{\rho}_d}} \quad (5-13)$$

式中  $s$ ——桩孔之间的中心距离(m);

$d$ ——桩孔直径(m);

$\rho_{dmax}$ ——桩间土的最大干密度  
( $t/m^3$ );

$\bar{\rho}_d$ ——地基处理前土的平均干  
密度( $t/m^3$ );

$\eta_c$ ——桩间土经成孔挤密后的  
平均挤密系数,对重要工  
程不宜小于0.93,对一般  
工程不应小于0.90。

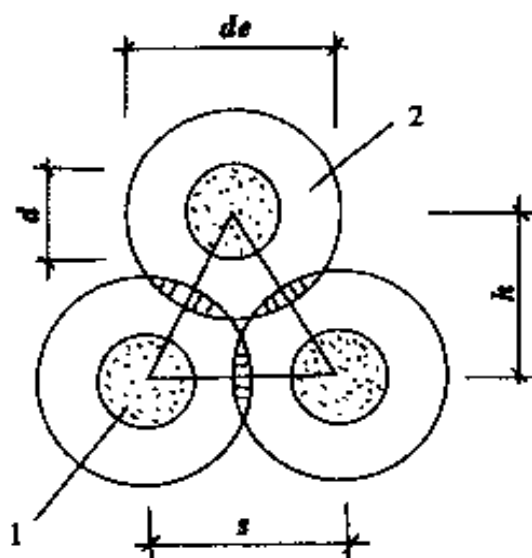


图5-2 等边三角形布桩计算简图  
1—桩体;2—分担的处理地基面积

桩间土的平均挤密系数  $\eta_c$ ,应按下式计算:

$$\eta_c = \frac{\bar{\rho}_{d1}}{\rho_{dmax}} \quad (5-14)$$

式中  $\bar{\rho}_{d1}$ ——在成孔挤密深度内,桩间土的平均干密度( $t/m^3$ ),平均试样数  
不应少于6组。

5. 桩孔的数量可按下式估算:

$$n = \frac{A}{A_e} \quad (5-15)$$

式中  $n$ ——桩孔的数量;

$A$ ——拟处理地基的面积( $m^2$ );

$A_e$ ——一根土或灰土挤密桩所承担的处理地基面积( $m^2$ ),即:

$$A_e = \frac{\pi d_e^2}{4} \quad (5-16)$$

$d_e$ ——一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径(m);

桩孔按等边三角形布置:  $d_e = 1.05s$ ;

桩孔按正方形布置:  $d_e = 1.13s$ 。

6. 桩孔内的填料,应根据工程要求或处理地基的目的确定,桩体的夯实  
质量宜用平均压实系数  $\bar{\lambda}_c$  控制。

$$\text{即} \quad \bar{\lambda}_c = \frac{\bar{\rho}_{do}}{\rho_{dmax}} \quad (5-17)$$

式中  $\bar{\rho}_{do}$ ——桩孔全部深度内的填料,经分层夯实的平均干密度( $\text{t/m}^3$ );  
 $\rho_{dmax}$ ——桩孔内填料通过击实试验求得最优含水量状态下的最大干密度( $\text{t/m}^3$ )。

当桩孔内用灰土或素土分层回填、分层夯实时,桩体内的平均压实系数  $\bar{\lambda}_c$  值,均不应小于 0.96。

消石灰与土的体积配合比,宜为 2: 8 或 3: 7。

桩顶标高以上应设置 300 ~ 500mm 厚的 2: 8 灰土垫层,其压实系数不应小于 0.95。

7. 成孔时,地基土宜接近最优(或塑限)含水量,当土的含水量低于 12% 时,宜对拟处理范围内的土层进行增湿,增湿土的加水量可按下式估算:

$$Q = v \bar{\rho}_d (w_{op} - \bar{w}) k \quad (5-18)$$

式中  $Q$ ——计算加水量( $\text{m}^3$ );  
 $v$ ——拟加固土的总体积( $\text{m}^3$ );  
 $\bar{\rho}_d$ ——地基处理前土的平均干密度( $\text{t/m}^3$ );  
 $w_{op}$ ——土的最优含水量(%),通过室内击实试验求得;  
 $\bar{w}$ ——地基处理前土的平均含水量(%);  
 $k$ ——损耗系数,可取 1.05 ~ 1.10。

应于地基处理前 4 ~ 6d,将需增湿的水通过一定数量和一定深度的渗水孔,均匀地浸入拟处理范围内的土层中。

## (四) 砂石桩法

砂石桩法是采用振动、冲击或水冲等方式在地基中成孔后,再将碎石、砂或砂石挤压入已成的孔中,形成砂石构成的密实桩体,并和原桩周土组成复合地基的地基处理方法。

1. 砂石桩直径,根据地基土质情况和成桩设备等因素确定,通常采用 300 ~ 800mm。对饱和粘性土地基宜选用较大的直径。

2. 砂石桩孔位布置和间距:

砂石桩孔位宜采用等边三角形或正方形位置,如图 5-3 所示。

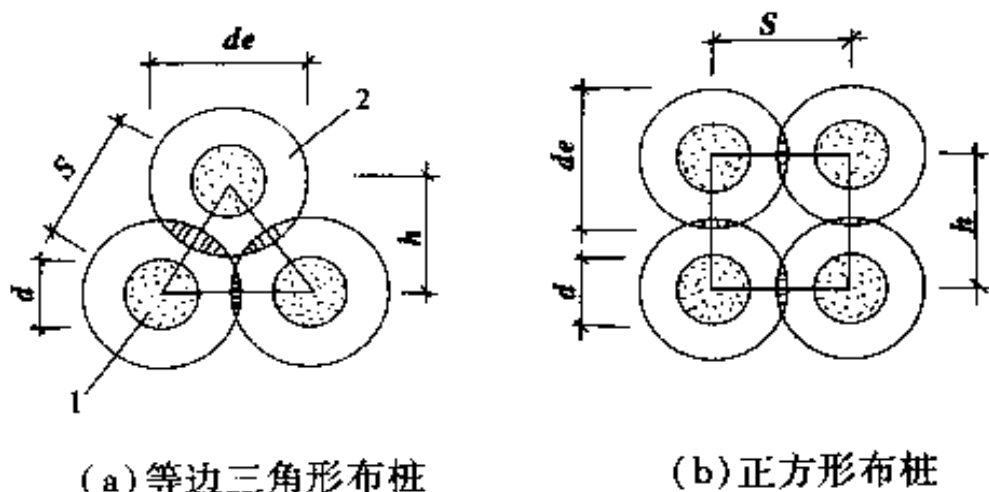


图 5-3 砂石桩布桩形式

1—桩体;2—桩有效挤密范围

砂石桩的间距应通过现场试验确定。对粉土和砂土地基,不宜大于砂石桩直径的 4.5 倍;对粘性土地基不宜大于砂石桩直径的 3 倍。砂石桩的间距也可按下列公式估算。

(1) 松散粉土和砂土地基可根据挤密后要求达到的孔隙比  $e_1$  来确定。

等边三角形布置

$$s = 0.95\xi d \sqrt{\frac{1+e_0}{e_0-e_1}} \quad (5-19)$$

正方形布置

$$s = 0.89\xi d \sqrt{\frac{1+e_0}{e_0-e_1}} \quad (5-20)$$

$$e_1 = e_{\max} - D_{r1}(e_{\max} - e_{\min}) \quad (5-21)$$

式中  $s$ ——砂石桩间距(m);

$d$ ——砂石桩直径(m);

$\xi$ ——修正系数,当考虑振动下沉密实作用时,可取 1.1~1.2;不考虑振动下沉密实作用时,可取 1.0;

$e_0$ ——地基处理前砂土的孔隙比,可按原状土样试验确定,也可根据动力或静力触探等对比试验确定;

$e_1$ ——地基挤密后要求达到孔隙比;

$e_{\max}$ 、 $e_{\min}$ ——砂土的最大、最小孔隙比,可按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T50123 的有关规定确定;

$D_{ri}$ ——地基挤密后要求砂土达到的相对密实度,可取 0.70 ~ 0.85。

(2) 粘性土地基:

等边三角形布置

$$s = 1.08 \sqrt{A_e} \quad (5-22)$$

正方形布置

$$s = \sqrt{A_e} \quad (5-23)$$

式中  $A_e$ ——一根砂石桩承担的处理面积( $m^2$ );

$$A_e = \frac{A_p}{m} \quad (5-24)$$

式中  $A_p$ ——砂石桩的截面积( $m^2$ );

$m$ ——面积置换率,  $m = d^2/d_e^2$  ( $d$ ——桩身平均直径;  $d_e$ ——根桩分担的处理地基面积的等效圆直径)。

3. 砂石桩桩长可根据工程要求和工程地质条件通过计算确定:

(1) 当松软土层厚度不大时,砂石桩桩长宜穿过松软土层。

(2) 当松软土层厚度较大时,对按稳定性控制的工程,砂石桩桩长应不小于最危险滑动面以下 2m 的深度;对按变形控制的工程,砂石桩桩长应满足处理后地基变形量不超过建筑物的地基变形允许值并满足软弱下卧层承载力的要求。

(3) 对可液化的地基,砂石桩桩长应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的有关规定采用。

(4) 桩长不宜小于 4m。

4. 砂石桩处理范围应大于基底范围,处理宽度宜在基础外缘扩大 1 ~ 3 排桩。对可液化地基,在基础外缘扩大宽度不应小于可液化土层厚度的 1/2,并不应小于 5m。

5. 砂石桩桩孔内的填料量应通过现场试验确定,估算时可按设计桩孔体积乘以充盈系数  $\beta$  确定,  $\beta$  可取 1.2 ~ 1.4。

即

$$G_o = \frac{1}{4} \pi d^2 l \beta \rho_s \quad (5-25)$$

式中  $G_o$ ——桩孔内的填料量(t);

$d$ ——桩的直径(m);

$l$ ——桩长(m);

$\beta$ ——充盈系数;

$\rho_{ds}$ ——砂石填料的密度( $t/m^3$ ),粗砂  $\rho_{ds} = 1.6 \sim 1.7$ ;碎石、卵石  $\rho_{ds} = 1.6 \sim 1.8$ 。

当施工中地面有下沉或隆起现象,则填料数量应根据现场具体情况予以增减。

## (五)振冲法

振冲法是在振冲器水平振动和高压水的共同作用下,使松砂层振密,或在软弱土层中成孔,然后回填碎石等粗粒料形成桩柱,并和原地基土组成复合地基的地基处理方法。

1. 振冲桩处理范围应根据建筑物的重要性和场地条件确定,当用于多层建筑和高层建筑时,宜在基础外缘扩大1~2排桩。当要求消除地基液化时,在基础外缘扩大宽度不应小于基底下可液化土层厚度的1/2。

2. 桩位布置,对大面积满堂处理,宜用等边三角形布置;对单独基础或条形基础,宜用正方形、矩形或等腰三角形布置。

3. 振冲桩的间距应根据上部结构荷载大小和场地土层情况,并结合所采用的振冲器功率大小综合考虑。30kW振冲器布桩间距可采用1.3~2.0m;55kW振冲器布桩间距可采用1.4~2.5m;75kW振冲器布桩间距可采用1.5~3.0m。荷载大或对粘性土宜采用较小的间距,荷载小或对砂土宜采用较大的间距。

4. 桩长的确定:当相对硬层埋深不大时,应按相对硬层埋深确定;当相对硬层埋深较大时,按建筑物地基变形允许值确定;在可液化地基中,桩长应按要求的抗震处理深度确定。桩长不宜小于4m。

在桩顶和基础之间宜铺设一层300~500mm厚的碎石垫层。

5. 桩体材料可用含泥量不大于5%的碎石、卵石、矿渣或其他性能稳定的硬质材料,不宜使用风化易碎的石料。常用的填料粒径为:30kW振冲器20~80mm;55kW振冲器30~100mm;75kW振冲器40~150mm。

6. 振冲桩的平均直径可按每根桩所用填料量计算。

7. 振冲桩复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定,也可用单桩和处理后桩间土承载力特征值按下式估算:



$$f_{spk} = mf_{pk} + (1 - m)f_{ak} \quad (5-26)$$

$$m = d^2/d_e^2 \quad (5-27)$$

式中  $f_{spk}$ ——振冲桩复合地基承载力特征值(kPa);

$f_{pk}$ ——桩体承载力特征值(kPa),宜通过单桩载荷试验确定;

$f_{ak}$ ——处理后桩间土承载力特征值(kPa),宜按当地经验取值,如无经验时,可取天然地基承载力特征值;

$m$ ——桩土面积置换率;

$d$ ——桩身平均直径(m);

$d_e$ ——一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径;

等边三角布桩:  $d_e = 1.05s$

正方形布桩:  $d_e = 1.13s$

矩形布桩:  $d_e = 1.13 \sqrt{s_1 s_2}$

$s, s_1, s_2$  分别为桩间距、纵向间距和横向间距。

对小型工程的粘性土地基如无现场载荷试验资料,复合地基的承载力特征值也可按下式估算:

$$f_{spk} = [1 + m(n - 1)]f_{ak} \quad (5-28)$$

式中  $n$ ——桩土应力比,在无实测资料时,可取 2~4,原土强度低取大值,原土强度高取小值。

8. 振冲处理地基的变形计算应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 有关规定。复合土层的压缩模量可按下式计算:

$$E_{sp} = [1 + m(n - 1)]E_s \quad (5-29)$$

式中  $E_{sp}$ ——复合土层压缩模量(MPa);

$E_s$ ——桩间土压缩模量(MPa),宜按当地经验取值,如无经验时,可取天然地基压缩模量。

$n$ ——桩土应力比,在无实测资料时,对粘性土可取 2~4,对粉土和砂土可取 1.5~3,原土强度低取大值,原土强度高取小值。

9. 不加填料振冲加密宜进行现场工艺试验,确定不加填料振密的可能性、孔距、振密电流值、振冲水压力、振后砂层的物理力学指标等。

用 30kW 振冲器振密深度不宜超过 7m,75kW 振冲器不宜超过 15m。

10. 不加填料振冲加密孔距可为 2~3m,宜用等边三角形布孔。

## (六) 水泥粉煤灰碎石桩法

水泥粉煤灰碎石桩(CFG 桩)法是由水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂等混合料加水拌和形成高粘结强度桩,并由桩、桩间土和褥垫层一起组成复合地基的地基处理方法。

1. 水泥粉煤灰碎石桩可只在基础范围内布置,桩径宜取 350 ~ 600mm。桩距应根据设计要求的复合地基承载力、土性、施工工艺等确定,宜取 3 ~ 5 倍桩径。

2. 桩顶和基础之间应设置褥垫层,褥垫层厚度宜取 150 ~ 300mm,当桩径大或桩距大时褥垫层厚度宜取高值。褥垫层材料宜用中砂、粗砂、级配砂石或碎石等,最大粒径不宜不大于 30mm。

3. 水泥粉煤灰碎石桩复合地基承载力特征值,应通过现场复合地基载荷试验确定,也可按下式估算:

$$f_{spk} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1 - m)f_{sk} \quad (5-30)$$

式中:  $f_{spk}$ ——复合地基承载力特征值(kPa);

$m$ ——面积置换率;

$R_a$ ——单桩竖向承载力特征值(kN);

$A_p$ ——桩的截面积( $m^2$ );

$\beta$ ——桩间土承载力折减系数,宜按地区经验取值,如无经验时可取 0.75 ~ 0.95,天然地基承载力较高时取大值;

$f_{sk}$ ——处理后桩间土承载力特征值(kPa),宜按当地经验取值,如无经验时,可取天然地基的承载力特征值。

4. 单桩竖向承载力特征值  $R_a$  的取值,应符合下列规定:

(1) 当采用单桩载荷试验时,应将单桩竖向极限承载力除以安全系数 2。

(2) 当无单桩载荷试验资料时,可按下式估算:

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + q_p A_p \quad (5-31)$$

式中:  $u_p$ ——桩的周长(m);

$n$ ——桩长范围内所划分的土层数;

$q_{si}$ 、 $q_p$ ——桩周第  $i$  层土的侧阻力、桩端端阻力特征值(kPa),可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 - 2002 有关

规定确定；

$l_i$ ——第  $i$  层土的厚度(m)。

5. 桩体试块抗压强度平均值应满足下式要求：

$$f_{cu} \geq 3 \frac{R_a}{A_p} \quad (5-32)$$

式中  $f_{cu}$ ——桩体混合料试块(边长 150mm 立方体)标准养护 28d 的立方体抗压强度平均值(kPa)。

6. 地基处理后的变形计算应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 的有关规定执行。复合土层的分层与天然地基相同,各复合土层的压缩模量等于该层天然地基压缩模量的  $\xi$  倍, $\xi$  值可按式确定：

$$\xi = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} \quad (5-33)$$

式中  $f_{ak}$ ——基础底面下天然地基承载力特征值(kPa)。

变形计算经验系数  $\psi_s$  根据当地沉降观测资料及经验确定,也可采用表 5-8 数值。

变形计算经验系数  $\psi_s$

表 5-8

| $\bar{E}_s$ (MPa) | 2.5 | 4.0 | 7.0 | 15.0 | 20.0 |
|-------------------|-----|-----|-----|------|------|
| $\psi_s$          | 1.1 | 1.0 | 0.7 | 0.4  | 0.2  |

注： $\bar{E}_s$  为变形计算深度范围内压缩模量的当量值,应按式计算：

$$\bar{E}_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{E_{si}}} \quad (5-34)$$

式中  $A_i$ ——第  $i$  层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；

$E_{si}$ ——基础底面下第  $i$  层土的压缩模量值(MPa),桩长范围内的复合土层按复合土层的压缩模量取值。

地基变形计算深度应大于复合土层的厚度,并符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 中地基变形计算深度的有关规定。

## (七)单液硅化法和碱液法

1. 单液硅化法是采用硅酸钠溶液注入地基土层中,使土粒之间及其表面形成硅酸凝胶薄膜,增强了土颗粒间的联结,赋予土耐水性、稳固性和不湿陷性,并提高土的抗压和抗剪强度的地基处理方法。按其灌注溶液的工艺,分为压力灌注和溶液自渗两种。

(1)单液硅化法应由浓度为 10% ~ 15% 的硅酸钠( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ )溶液(俗称水玻璃),掺入 2.5% 氯化钠组成。其相对密度宜为 1.13 ~ 1.15,并不应小于 1.10。

加固湿陷性黄土的溶液用量,可按下式估算:

$$Q = V \bar{n} d_{N1} \alpha \quad (5-35)$$

式中  $Q$ ——硅酸钠溶液的用量( $\text{m}^3$ );

$V$ ——拟加固湿陷性黄土的体积( $\text{m}^3$ );

$\bar{n}$ ——地基加固前,土的平均孔隙率;

$d_{N1}$ ——灌注时,硅酸钠溶液的相对密度;

$\alpha$ ——溶液填充孔隙的系数,可取 0.60 ~ 0.80。

硅酸钠溶液的模数值( $\text{SiO}_2\%/\text{Na}_2\text{O}\%$ )宜为 2.5 ~ 3.3,其杂质含量不应大于 2%。

(2)当硅酸钠溶液的浓度大于加固湿陷性黄土所要求的浓度时,应将其加水稀释,加水量可按下式估算:

$$Q' = \frac{d_N - d_{N1}}{d_{N1} - 1} \times q \quad (5-36)$$

式中  $Q'$ ——拟稀释硅酸钠溶液的加水量( $\text{t}$ );

$d_N$ ——稀释前,硅酸钠溶液的相对密度;

$q$ ——拟稀释硅酸钠溶液的质量( $\text{t}$ )。

(3)采用单液硅化法加固湿陷性黄土地基,灌注孔的布置应符合下列要求:

a. 灌注孔的间距:压力灌注宜为 0.80 ~ 1.20m;溶液自渗宜为 0.40 ~ 0.60m;

b. 加固拟建的设备基础和建(构)筑物的地基,应在基础底面下按等边三角形满堂布置,超出基础底面外缘的宽度,每边不得小于 1m;

c. 加固既有建(构)筑物和设备基础的地基,应沿基础侧向布置,每侧不

宜少于2排。

当基础底面宽底大于3m时,除应在基础每侧布置2排灌注孔外,必要时,可在基础两侧布置斜向基础底面中心以下的灌注孔或在其台阶上布置穿透基础的灌注孔,以加固基础底面下的土层。

(4)溶液注入压力,对压力灌注工艺,灌注溶液的压力值由小逐渐增大,但最大压力不宜超过200kPa。对溶液自渗工艺,是将配好的硅酸钠溶液注满各灌注孔,溶液面宜高出基础底面标高0.50m,使溶液自行渗入土中。

2. 碱液法是将加热后的碱液(即氢氧化钠溶液),以无压自流方式注入土中,使土粒表面融合胶结形成难溶于水的,具有高强度的钙、铝硅酸盐络合物,从而达到消除黄土湿陷性,提高地基承载力的地基处理方法。

当100g干土中可溶性和交换性钙镁离子含量大于 $10\text{mg}\cdot\text{eq}$ 时,可采用单液法,即只灌注氢氧化钠一种溶液加固;否则,应采用双液法,即需采用氢氧化钠溶液与氯化钙溶液轮番灌注加固。

(1)碱液加固地基的深度应根据场地的湿陷类型、地基湿陷等级和湿陷性黄土层厚度,并结合建筑物类别与湿陷事故的严重程度等综合因素确定。加固深度宜为2~5m。

对非自重湿陷性黄土地基,加固深度可为基础宽度的1.5~2.0倍。对Ⅱ级自重湿陷性黄土地基,加固深度可为基础宽度的2.0~3.0倍。

(2)碱液加固土层的厚度 $h$ ,可按下式估算:

$$h = l + r \quad (5-37)$$

式中  $l$ ——灌注孔长度,从注液管底部到灌注孔底部的距离(m);

$r$ ——有效加固半径(m)。

(3)碱液加固地基的半径 $r$ ,宜通过现场试验确定。当碱液浓度和温度符合规定时,有效加固半径与碱液灌注量之间,可按下式估算:

$$r = 0.6 \sqrt{\frac{V}{nI \times 10^3}} \quad (5-38)$$

式中  $V$ ——每孔碱液灌注量(L),试验前可根据加固要求达到的有效加固半径按式(5-39)进行估算;

$n$ ——拟加固土的天然孔隙率。

当无试验条件或工程量较小时, $r$ 可取0.40~0.50m。

(4)每孔碱液灌注量可按下式估算:

$$V = \alpha \beta \pi r^2 (l + r) n \quad (5-39)$$

式中  $\alpha$ ——碱液充填系数,可取 0.6~0.8;

$\beta$ ——工作条件系数,考虑碱液流失影响,可取 1.1。

(5) 当采用碱液加固既有建(构)筑物的地基时,灌注孔的平面布置,可沿条形基础两侧或单独基础周边各布置一排。当地基湿陷较严重时,孔距可取 0.7~0.9m,当地基湿陷较轻时,孔距可适当加大至 1.2~2.5m。

(6) 灌注孔可用洛阳铲、螺旋钻成孔或用带有尖端的钢管打入土中成孔,孔径为 60~100mm,孔中填入粒径为 20~40mm 的石子,直到注液管下端标高处,再将内径 20mm 的注液管插入孔中,管底以上 300mm 高度内填入粒径为 2~5mm 的小石子,其上用 2:8 灰土填入并夯实。

(7) 碱液可用固体烧碱或液体烧碱配制,加固  $1\text{m}^3$  黄土需要 NaOH 量约为干土质量的 3%,即 35~45kg。碱液浓度不应低于 90g/L,常用浓度为 90~100g/L。

双液加固时,氯化钙溶液的浓度为 50~80g/L。

(8) 配溶液时,应先放水,而后徐徐放入碱块或浓碱液。溶液加碱量可按下列公式计算:

a. 采用固体烧碱配制每  $1\text{m}^3$  浓度为  $M$  的碱液时,每  $1\text{m}^3$  水中的加碱量为:

$$G_s = \frac{1000M}{P} \quad (5-40)$$

式中  $G_s$ ——每  $1\text{m}^3$  碱液中投入的固体烧碱量(kg);

$M$ ——配制碱液的浓度(g/L),计算时将 g 化为 kg;

$P$ ——固体烧碱中,NaOH 含量的百分数(%)。

b. 采用液体烧碱配制每  $1\text{m}^3$  浓度为  $M$  的碱液时,投入的液体烧碱量  $V_1$  为:

$$V_1 = 1000 \frac{M}{d_N N} \quad (5-41)$$

加水量  $V_2$  为:

$$V_2 = 1000 \left( 1 - \frac{M}{d_N N} \right) \quad (5-42)$$

式中  $V_1$ ——液体烧碱体积(L);

- $V_2$ ——加水的体积(L);  
 $d_N$ ——液体烧碱的相对密度;  
 $N$ ——液体烧碱的质量分数。

(9) 应在盛溶液桶中将碱液加热到 90℃ 以上才能进行灌注,灌注过程中桶内溶液温度应保持不低于 80℃。

(10) 灌注碱液的速度宜为 2 ~ 5 L/min。

(11) 碱液加固施工,应合理安排灌注顺序和控制灌注速率。宜间隔 1 ~ 2 孔灌注,并分段施工,相邻两孔灌注的间隔时间不宜少于 3d。同时灌注的两孔间距不应小于 3m。

(12) 当采用双液加固时,应先灌注氢氧化钠溶液,间隔 8 ~ 12h 后,再灌注氯化钙溶液,后者用量为前者的 1/2 ~ 1/4。

## (八) 预压法

预压法是对地基进行堆载或真空预压,使地基土固结的地基处理方法。

### 1. 堆载预压法计算

#### (1) 选择排水竖井参数

对深厚软粘土地基,应设置塑料排水带或砂井等排水竖井。当软土层厚度不大或软土层含较多薄粉砂夹层,且固结速率能满足工期要求时,可不设置排水竖井。排水竖井分普通砂井、袋装砂井和塑料排水带。

a. 排水竖井的直径,普通砂井直径可取 300 ~ 500mm,袋装砂井直径可取 70 ~ 120mm。塑料排水带的当量换算直径可按下式计算:

$$d_p = \frac{2(b + \delta)}{\pi} \quad (5-43)$$

式中  $d_p$ ——塑料排水带当量换算直径(mm);

$b$ ——塑料排水带宽度(mm);

$\delta$ ——塑料排水带厚度(mm)。

b. 排水竖井的平面布置可采用等边三角形或正方形排列(图 5-4)。竖井的有效排水直径  $d_e$  与间距  $l$  的关系为:

等边三角形排列  $d_e = 1.05l$

正方形排列  $d_e = 1.13l$

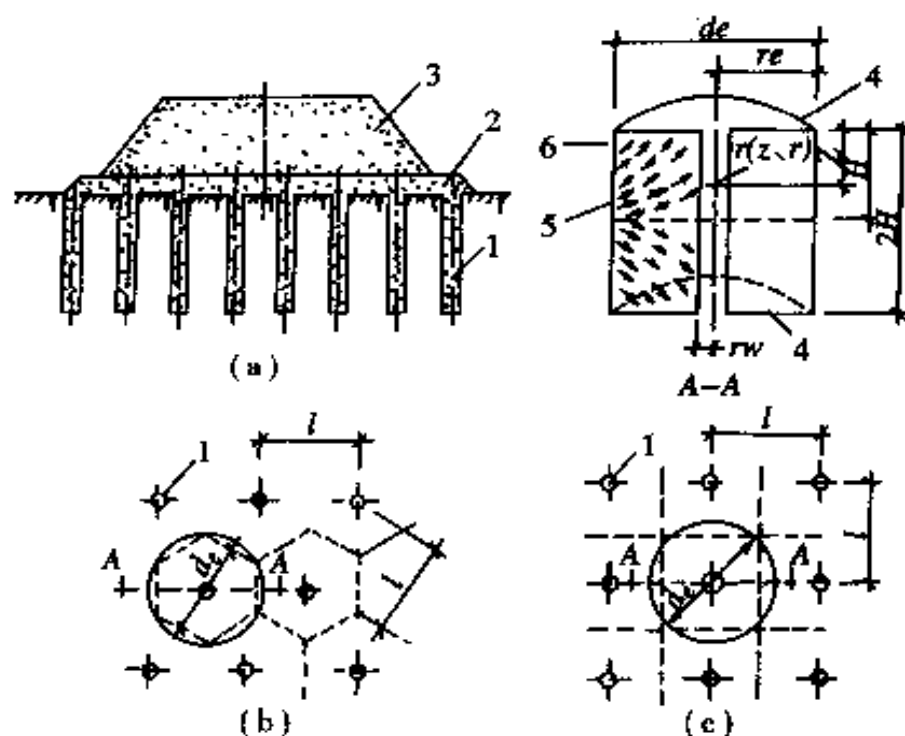


图 5-4 砂井平面布置及影响范围土柱体剖面  
(a) 砂井剖面; (b)、(c) 砂井三角形、正方形排列

1—砂井; 2—砂垫层; 3—堆载预压;  
4—排水面; 5—水流途径; 6—无水流经过此界线

排水竖井的间距  $l$  (m) 可根据地基土的固结特征和预定时间内所要求达到的固结度确定, 可按井径比  $n$  选用。

$$n = \frac{d_c}{d_w} \quad (5-44)$$

式中  $d_c$ ——竖井的有效排水直径 (m);

$d_w$ ——竖井直径 (m), 对塑料排口带可取  $d_w = d_p$ 。

塑料排水带或袋装砂井的间距可按  $n = 15 \sim 22$  选用, 普通砂井的间距可按  $n = 6 \sim 8$  选用。

c. 排水竖井的深度应根据建筑物对地基的稳定性、变形要求和工期确定。

对以地基抗滑稳定性控制的工程, 竖井深度至少应超过最危险滑动面 2.0m。

对以变形控制的建筑, 竖井深度应根据在限定的预压时间内需完成的变形量确定。竖井宜穿透受压土层。



## (2) 计算预压参数

a. 预压荷载大小应根据设计要求确定。对于沉降有严格限制的建筑,应采用超载预压法处理,超载量大小应根据预压时间内要求完成的变形量通过计算确定,并宜使预压荷载下受压土层各点的有效竖向应力大于建筑物荷载引起的相应点的附加应力。

预压荷载顶面的范围应等于或大于建筑物基础外缘所包围的范围。

加载速率应根据地基土的强度确定。当天然地基土的强度满足预压荷载下地基的稳定性要求时,可一次性加载,否则应分级逐渐加载,待前期预压荷载下地基土的强度增长满足下一级荷载下地基的稳定性要求时方可加载。

b. 计算预压荷载下饱和粘性土地基中某点的抗剪强度时,应考虑土体原来的固结状态。对正常固结饱和粘性土地基,某点某一时间的抗剪强度可按式计算:

$$\tau_h = \tau_0 + \Delta\sigma_z \cdot U_t \tan\varphi_{cu} \quad (5-45)$$

式中  $\tau_h$ —— $t$  时刻,该点土的抗剪强度(kPa);

$\tau_0$ ——地基土的天然抗剪强度(kPa);

$\Delta\sigma_z$ ——预压荷载引起的该点的附加竖向应力(kPa);

$U_t$ ——该点土的固结度;

$\varphi_{cu}$ ——三轴固结不排水压缩试验求得的土的内摩擦角( $^\circ$ );

c. 预压荷载下地基的最终竖向变形量可按式计算:

$$s_f = \xi \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} h_i \quad (5-46)$$

式中  $s_f$ ——最终竖向变形量(m);

$e_{0i}$ ——第  $i$  层中点土自重应力所对应的孔隙比,由室内固结试验  $e-p$  曲线查得;

$e_{1i}$ ——第  $i$  层中点土自重应力与附加应力之和所对应的孔隙比,由室内固结试验  $e-p$  曲线查得;

$h_i$ ——第  $i$  层土层厚度(m);

$\xi$ ——经验系数,对正常固结饱和粘性土地基可取  $\xi = 1.1 \sim 1.4$ 。荷载较大、地基土较软弱时取较大值,否则取较小值。

变形计算时,可取附加应力与土自重应力的比值为 0.1 的深度作为受压层的计算深度。

d. 一级或多级等速加载条件下,当固结时间为  $t$  时,对应总荷载的地基平均固结度可按式计算:

$$\bar{U}_t = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{q}_i}{\sum \Delta p} \left[ (T_i - T_{i-1}) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta} (e^{\beta T_i} - e^{\beta T_{i-1}}) \right] \quad (5-47)$$

式中  $\bar{U}_t$ —— $t$  时间地基的平均固结度;

$\dot{q}_i$ ——第  $i$  级荷载的加载速率 (kPa/d);

$\sum \Delta p$ ——各级荷载的累加值 (kPa);

$T_{i-1}, T_i$ ——分别为第  $i$  级荷载加载的起始和终止时间 (从零点起算)

(d), 当计算第  $i$  级荷载加载过程中某时间  $t$  的固结度时,  
 $T_i$  改为  $t$ ;

$\alpha, \beta$ ——参数,根据地基土排水固结条件按表 5-9 采用。对竖井地基,表中所列  $\beta$  为不考虑涂抹和井阻影响的参数值。

$\alpha, \beta$  值 表 5-9

| 排水固结<br>条件<br>参数 | 竖向排<br>水固结<br>$\bar{U}_s > 30\%$ | 向内径向<br>排水固结             | 竖向和向内<br>径向排水固<br>结(竖井穿<br>透受压土层)                 | 说 明                                                                                                                                                        |
|------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha$         | $\frac{8}{\pi^2}$                | 1                        | $\frac{8}{\pi^2}$                                 | $F_n = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$<br>$c_h$ ——土的径向排水固结系<br>数 (cm <sup>2</sup> /s);<br>$c_v$ ——土的竖向排水固结系<br>数 (cm <sup>2</sup> /s); |
| $\beta$          | $\frac{\pi^2 c_v}{4H^2}$         | $\frac{8c_h}{F_n d_w^2}$ | $\frac{8c_h}{F_n d_w^2} + \frac{\pi^2 c_v}{4H^2}$ | $H$ ——土层竖向排水距离<br>(cm);<br>$\bar{U}_s$ ——双面排水土层或固结<br>应力均匀分布的单面<br>排水土层平均固结度                                                                               |

【例 5-1】 地基为淤泥质粘土层, 固结系数  $c_h = c_v = 1.8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ , 受压土层厚 20m, 袋装砂井直径  $d_w = 70\text{mm}$ , 采用等边三角形排列, 间距  $l = 1.4\text{m}$ , 深度  $H = 20\text{m}$ , 砂井底部为不透水层, 砂井打穿受压土层, 预压荷载总压力  $P = 100\text{kPa}$ , 分两级等速加载(图 5-5)。试求加荷开始后 120d 受压土层之平均固结度(不考虑竖井井阻和涂抹影响)。

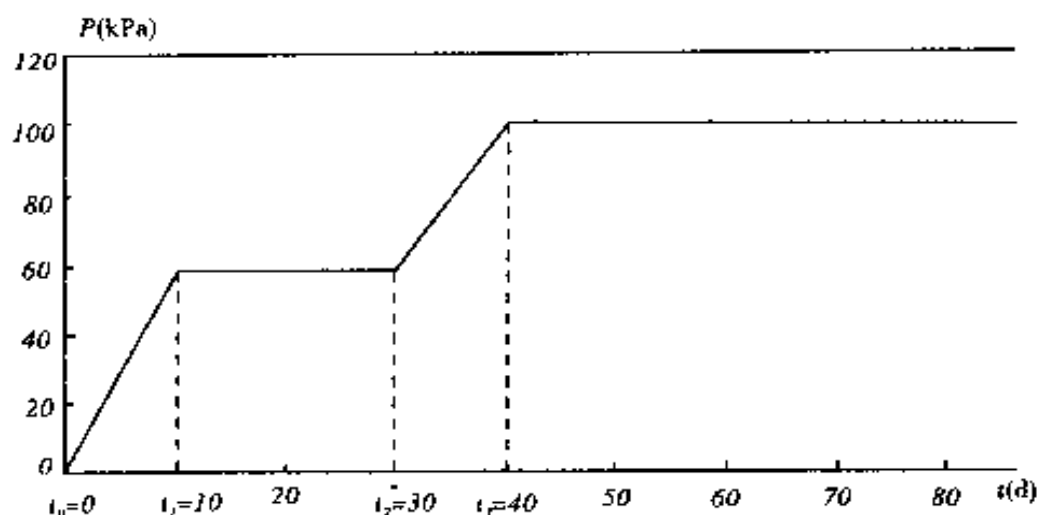


图 5-5 两级等速加载过程

【解】 受压土层平均固结度包括径向排水平均固结度和向上竖向排水平均固结度两部分, 按公式 5-47 计算。

其中由表 5-9 得:

$$\alpha = \frac{8}{\pi^2} = 0.81$$

$$\beta = \frac{8c_h}{F_n d_e^2} + \frac{\pi^2 c_v}{4H^2} = \frac{8 \times 1.8 \times 10^{-3}}{2.3 \times 147^2} + \frac{3.14^2 \times 1.8 \times 10^{-3}}{4 \times 2000^2}$$

$$= 2.908 \times 10^{-7} (1/\text{s}) = 0.0251 (1/\text{d})$$

$$d_e = 1.05l = 1.05 \times 1.4 = 1.47 (\text{m})$$

$$n = \frac{d_e}{d_w} = \frac{1.47}{0.07} = 21$$

$$F_n = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

$$= \frac{21^2}{21^2 - 1} \ln(21) - \frac{3 \times 21^2 - 1}{4 \times 21^2} = 2.3$$

$$\text{第一级荷载加荷速率 } \dot{q}_1 = \frac{60}{10} = 6 \text{ kPa/d}$$

第二级荷载加荷速率  $\dot{q}_2 = \frac{40}{10} = 4 \text{ kPa/d}$

$$\begin{aligned}\bar{U}_1 &= \sum \frac{\dot{q}_i}{\sum \Delta p} \left[ (T_i - T_{i-1}) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta} (e^{\beta T_i} - e^{\beta T_{i-1}}) \right] \\ &= \frac{\dot{q}_1}{\sum \Delta p} \left[ (t_1 - t_0) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta} (e^{\beta t_1} - e^{\beta t_0}) \right] \\ &\quad + \frac{\dot{q}_2}{\sum \Delta p} \left[ (t_3 - t_2) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta} (e^{\beta t_3} - e^{\beta t_2}) \right] \\ &= \frac{6}{100} \left[ (10 - 0) - \frac{0.81}{0.0251} e^{-0.0251 \times 120} (e^{0.0251 \times 10} - e^0) \right] \\ &\quad + \frac{4}{100} \left[ (40 - 30) - \frac{0.81}{0.0251} e^{-0.0251 \times 120} (e^{0.0251 \times 40} - e^{0.0251 \times 30}) \right] \\ &= 0.93\end{aligned}$$

e. 当排水竖井采用挤土方式施工时,应考虑涂抹对土体固结的影响。当竖井的纵向通水量  $q_w$  与天然土层水平向渗透系数  $k_h$  的比值较小,且长度又较长时,尚应考虑井阻影响。瞬时加载条件下,考虑涂抹和井阻影响时,竖井地基径向排水平均固结度可按下式计算:

$$\bar{U}_r = 1 - e^{-\frac{8c_h}{F\alpha_k^2} t} \quad (5-48)$$

$$F = F_n + F_s + F_r \quad (5-49)$$

$$\text{其中 } F_n = \ln(n) - \frac{3}{4} \quad n \geq 15$$

$$F_s = \left( \frac{k_h}{k_s} - 1 \right) \ln s$$

$$F_r = \frac{\pi^2 L^2 k_h}{4 q_w}$$

式中  $\bar{U}_r$ ——固结时间  $t$  时竖井地基径向排水平均固结度;

$k_h$ ——天然土层水平向渗透系数 ( $\text{cm/s}$ );

$k_s$ ——涂抹区土的水平向渗透系数,可取  $k_s = \left( \frac{1}{5} \sim \frac{1}{3} \right) k_h$  ( $\text{cm/s}$ );

$s$ ——涂抹区直径  $d_s$  与竖井直径  $d_w$  的比值,可取  $s = 2.0 \sim 3.0$ ,对中等灵敏粘性土取低值,对高灵敏粘性土取高值;

$L$ ——竖井深度 ( $\text{cm}$ );

$q_w$ ——竖井纵向通水量,为单位水力梯度下单位时间的排水量 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )。

对砂井,其纵向通水量按下式计算:

$$q_w = k_w \cdot A_w = k_w \frac{\pi d_w^2}{4} \quad (5-50)$$

式中  $k_w$ ——砂料渗透系数 ( $\text{cm}/\text{s}$ );

$A_w$ ——竖井截面积 ( $\text{cm}^2$ );

$d_w$ ——竖井直径 ( $\text{cm}$ )。

一级或多级等速加荷条件下,考虑涂抹和井阻影响时竖井穿透受压土层地基之平均固结度可按式(5-47)计算,其中  $\alpha = \frac{8}{\pi^2}$ ,  $\beta = \frac{8c_h}{F d_w^2} + \frac{\pi^2 c_v}{4H^2}$ 。

f. 对排水竖井未穿透受压土层的地基,应分别计算竖井范围土层的平均固结度和竖井底面以下受压土层的平均固结度,通过预压使该两部分固结度和所完成的变形量满足设计要求。

【例 5-2】 地基为淤泥质粘土层,水平向渗透系数  $k_h = 1 \times 10^{-7} \text{cm}/\text{s}$ ,  $c_h = c_v = 1.8 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ , 涂抹区土的渗透系数  $k_s = \frac{1}{5} k_h = 0.2 \times 10^{-7} \text{cm}/\text{s}$ , 砂料渗透系数  $k_w = 2 \times 10^{-2} \text{cm}/\text{s}$ , 取  $s = 2$ 。袋装砂井为等边三角形排列,直径  $d_w = 70 \text{mm}$ , 间距  $l = 1.4 \text{m}$ , 深度  $H = 20 \text{m}$ , 砂井底部为不透水层,砂井打穿受压土层。预压荷载总压力  $P = 100 \text{kPa}$ , 分两级等速加载(图 5-5)。试求加载后 120d 受压土层的平均固结度。

【解】 受压土层在加载开始后的平均固结度按公式 5-47 及 5-49 计算。

$$\text{其中 } \alpha = \frac{8}{\pi^2} = 0.81$$

$$\beta = \frac{8c_h}{F d_w^2} + \frac{\pi^2 c_v}{4H^2}$$

$$F = F_n + F_c + F_s$$

$$d_c = 1.05l = 1.05 \times 1.4 = 1.47 \text{m}$$

$$n = \frac{d_c}{d_w} = \frac{1.47}{0.07} = 21$$

$$q_w = k_w \times \pi \frac{d_w^2}{4} = 2 \times 10^{-2} \times 3.14 \times \frac{7^2}{4} = 0.769 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$F_n = \ln(n) - \frac{3}{4} = \ln(21) - \frac{3}{4} = 2.29$$

$$F_r = \frac{\pi^2 L^2 k_h}{4 q_w} = \frac{3.14^2 \times 2000^2}{4} \times \frac{1 \times 10^{-7}}{0.769} = 1.28$$

$$F_s = \left( \frac{k_h}{k_s} - 1 \right) \ln s = \left( \frac{1 \times 10^{-7}}{0.2 \times 10^{-7}} - 1 \right) \ln 2 = 2.77$$

$$F = 2.29 + 1.28 + 2.77 = 6.34$$

$$\beta = \frac{8 \times 1.8 \times 10^{-3}}{6.34 \times 147^2} + \frac{3.14^2 \times 1.8 \times 10^{-3}}{4 \times 2000^2} = 1.06 \times 10^{-7} (1/\text{s}) = 0.0092 (1/\text{d})$$

$$\dot{q}_1 = \frac{60}{10} = 6 \text{ kPa/d} \quad \dot{q}_2 = \frac{40}{10} = 4 \text{ kPa/d}$$

$$U_i = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{q}_i}{\sum \Delta p} \left[ (T_i - T_{i-1}) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta t} (e^{\beta T_i} - e^{\beta T_{i-1}}) \right]$$

$$= \frac{\dot{q}_1}{\sum \Delta p} \left[ (t_1 - t_0) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta t} (e^{\beta t_1} - e^{\beta t_0}) \right]$$

$$+ \frac{\dot{q}_2}{\sum \Delta p} \left[ (t_3 - t_2) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta t} (e^{\beta t_3} - e^{\beta t_2}) \right]$$

$$= \frac{6}{100} \left[ (10 - 0) - \frac{0.81}{0.0092} e^{-0.0092 \times 120} (e^{0.0092 \times 10} - e^0) \right]$$

$$+ \frac{4}{100} \left[ (40 - 30) - \frac{0.81}{0.0092} e^{-0.0092 \times 120} (e^{0.0092 \times 40} - e^{0.0092 \times 30}) \right]$$

$$= 0.68$$

## 2. 真空预压法计算

真空预压法是通过覆盖于竖井地基表面的不透气薄膜内抽真空,而使地基固结的地基处理方法。真空预压法处理地基必须设置排水竖井。

(1) 排水竖井的间距可按堆载预压法的规定选用。

砂井的砂料应选用中粗砂,其渗透系数应大于  $1 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 。

(2) 真空预压区边缘应大于建筑物基础轮廓线,每边增加量不得小于 3.0m。每块预压面积宜尽可能大且呈方形。

(3) 真空预压的膜下真空度应稳定地保持在 650mmHg(86627Pa)以上,

且应均匀分布,竖井深度范围内土层的平均固结度应大于 90%。

(4) 当建筑物的荷载超过真空预压的压力,且建筑物对地基变形有严格要求时,可采用真空-堆载联合预压法,其总压力宜超过建筑物的荷载。

(5) 真空预压地基最终竖向变形可按堆载预压法的方法计算,其中  $\xi$  可取 0.8~0.9。真空-堆载联合预压法以真空预压为主时,  $\xi$  可取 0.9。

(6) 真空预压所需抽真空设备的数量,可按加固面积的大小和形状、土层结构特点,以一套设备可抽真空的面积为 1000~1500m<sup>2</sup> 确定。

## (九) 地基承载力、变形和稳定性计算

1. 基础底面的压力,可按下列公式确定:

(1) 当轴心荷载作用时

$$p_k = \frac{F_k + G_k}{A} \leq f_a \quad (5-51)$$

式中  $p_k$ ——相应于荷载效应标准组合时,基础底面处的平均压力值(kPa);

$F_k$ ——相应于荷载效应标准组合时,上部结构传至基础顶面的竖向力值(kN);

$G_k$ ——基础自重和基础上的土重(kN);

$A$ ——基础底面面积(m<sup>2</sup>);

$f_a$ ——修正后的地基承载力特征值(kPa)。

(2) 当偏心荷载作用时

$$p_{kmax} = \frac{F_k + G_k}{A} + \frac{M_k}{W} \leq 1.2f_a \quad (5-52)$$

$$p_{kmin} = \frac{F_k + G_k}{A} - \frac{M_k}{W} \quad (5-53)$$

式中  $M_k$ ——相应于荷载效应标准组合时,作用于基础底面的力矩值(kN·m);

$W$ ——基础底面的抵抗矩(m<sup>3</sup>);

$p_{kmax}$ ——相应于荷载效应标准组合时,基础底面边缘的最大压力值(kPa);

$p_{kmin}$ ——相应于荷载效应标准组合时,基础底面边缘的最小压力值(kPa)。

当偏心距离  $e > b/6$  时(图 5-6),  $p_{kmax}$  应按下式计算:

$$p_{kmax} = \frac{2(F_k + G_k)}{3la} \quad (5-54)$$

式中  $l$ ——垂直于力矩作用方向的基础底面边长(m);  
 $a$ ——合力作用点至基础底面最大压力边缘的距离(m)。

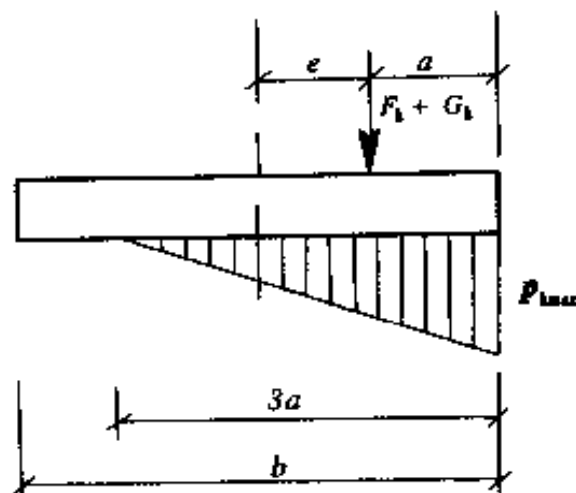


图 5-6 偏心荷载( $e > b/6$ )下基底压力计算示意

$b$ ——力矩作用方向基础底面边长

2. 地基承载力特征值可由载荷试验或其他原位测试、公式计算、并结合工程实践经验等方法综合确定。

3. 计算地基变形时,地基内的应力分布,可采用各向同性均质弹性体理论。其最终变形量可按下式计算:

$$s = \psi_s s' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{a}_i - z_{i-1} \bar{a}_{i-1}) \quad (5-55)$$

式中  $s$ ——地基最终变形量(mm);

$s'$ ——按分层总和法计算出的地基变形量;

$\psi_s$ ——沉降计算经验系数,根据地区沉降观测资料及经验确定,无地区经验时可采用表 5-10 的数值;

$n$ ——地基变形计算深度范围内所划分的土层数(图 5-7);

$p_0$ ——对应于荷载效应准永久组合时的基础底面处的附加压力(kPa);

$E_{si}$ ——基础底面下第  $i$  层土的压缩模量(MPa),应取土的自重压力至土的自重压力与附加压力之和的压力段计算;



$z_i, z_{i-1}$ ——基础底面至第  $i$  层土、第  $i-1$  层土底面的距离(m);

$\bar{\alpha}_i, \bar{\alpha}_{i-1}$ ——基础底面计算点至第  $i$  层土、第  $i-1$  层土底面范围内平均附加应力系数,可按表 5-11 采用。

沉降计算经验系数  $\psi_s$

表 5-10

| $\bar{E}_s$ (MPa)     | 2.5 | 4.0 | 7.0 | 15.0 | 20.0 |
|-----------------------|-----|-----|-----|------|------|
| 基底附加压力                |     |     |     |      |      |
| $p_0 \geq f_{sk}$     | 1.4 | 1.3 | 1.0 | 0.4  | 0.2  |
| $p_0 \leq 0.75f_{sk}$ | 1.1 | 1.0 | 0.7 | 0.4  | 0.2  |

注:  $E_s$  为变形计算深度范围内压缩模量的当量值,应按下式计算:

$$\bar{E}_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{E_{si}}}$$

式中  $A_i$ ——第  $i$  层土附加应力系数沿土层厚度的积分值。

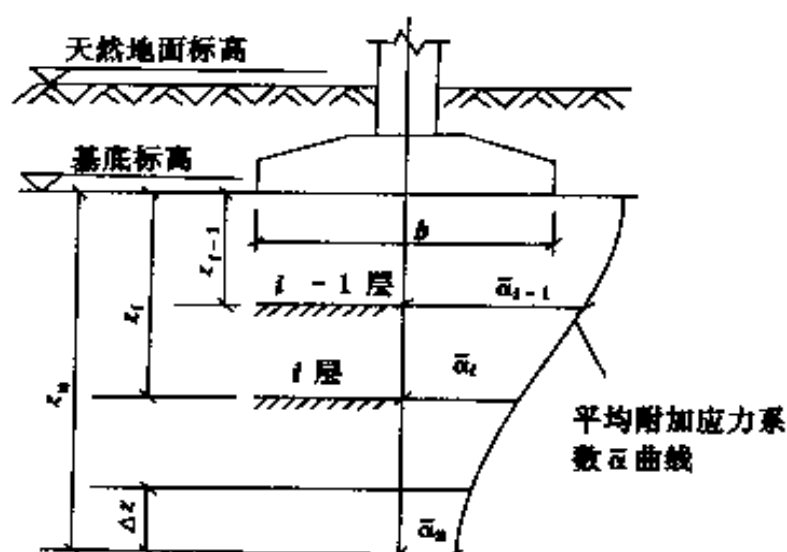
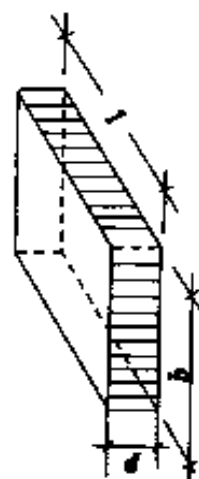


图 5-7 基础沉降计算的分层示意图



矩形面积上均布荷载作用下角点的平均附加应力系数  $\alpha$

表 5-11

| $z/b$ \ $l/b$ | 1.0    | 1.2    | 1.4    | 1.6    | 1.8    | 2.0    | 2.4    | 2.8    | 3.2    | 3.6    | 4.0    | 5.0    | 10.0   |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0           | 0.2500 | 0.2500 | 0.2500 | 0.2500 | 0.2500 | 0.2500 | 0.2500 | 0.2500 | 0.2500 | 0.2500 | 0.2500 | 0.2500 | 0.2500 |
| 0.2           | 0.2496 | 0.2497 | 0.2497 | 0.2498 | 0.2498 | 0.2498 | 0.2498 | 0.2498 | 0.2498 | 0.2498 | 0.2498 | 0.2498 | 0.2498 |
| 0.4           | 0.2474 | 0.2479 | 0.2481 | 0.2483 | 0.2483 | 0.2484 | 0.2485 | 0.2485 | 0.2485 | 0.2485 | 0.2485 | 0.2485 | 0.2485 |
| 0.6           | 0.2423 | 0.2437 | 0.2444 | 0.2448 | 0.2451 | 0.2452 | 0.2454 | 0.2455 | 0.2455 | 0.2455 | 0.2455 | 0.2455 | 0.2456 |
| 0.8           | 0.2346 | 0.2372 | 0.2387 | 0.2395 | 0.2400 | 0.2403 | 0.2407 | 0.2408 | 0.2409 | 0.2409 | 0.2410 | 0.2410 | 0.2410 |
| 1.0           | 0.2252 | 0.2291 | 0.2313 | 0.2326 | 0.2335 | 0.2340 | 0.2346 | 0.2349 | 0.2351 | 0.2352 | 0.2352 | 0.2353 | 0.2353 |
| 1.2           | 0.2149 | 0.2199 | 0.2229 | 0.2248 | 0.2260 | 0.2268 | 0.2278 | 0.2282 | 0.2285 | 0.2286 | 0.2287 | 0.2288 | 0.2289 |
| 1.4           | 0.2043 | 0.2102 | 0.2140 | 0.2164 | 0.2180 | 0.2191 | 0.2204 | 0.2211 | 0.2215 | 0.2217 | 0.2218 | 0.2220 | 0.2221 |
| 1.6           | 0.1939 | 0.2006 | 0.2049 | 0.2079 | 0.2099 | 0.2113 | 0.2130 | 0.2138 | 0.2143 | 0.2146 | 0.2148 | 0.2150 | 0.2152 |
| 1.8           | 0.1840 | 0.1912 | 0.1960 | 0.1994 | 0.2018 | 0.2034 | 0.2055 | 0.2066 | 0.2073 | 0.2077 | 0.2079 | 0.2082 | 0.2084 |
| 2.0           | 0.1746 | 0.1822 | 0.1875 | 0.1912 | 0.1938 | 0.1958 | 0.1982 | 0.1996 | 0.2004 | 0.2009 | 0.2012 | 0.2015 | 0.2018 |
| 2.2           | 0.1659 | 0.1737 | 0.1793 | 0.1833 | 0.1862 | 0.1883 | 0.1911 | 0.1927 | 0.1937 | 0.1943 | 0.1947 | 0.1952 | 0.1955 |
| 2.4           | 0.1578 | 0.1657 | 0.1715 | 0.1757 | 0.1789 | 0.1812 | 0.1843 | 0.1862 | 0.1873 | 0.1880 | 0.1885 | 0.1890 | 0.1895 |
| 2.6           | 0.1503 | 0.1583 | 0.1642 | 0.1686 | 0.1719 | 0.1745 | 0.1779 | 0.1799 | 0.1812 | 0.1820 | 0.1825 | 0.1832 | 0.1838 |
| 2.8           | 0.1433 | 0.1514 | 0.1574 | 0.1619 | 0.1654 | 0.1680 | 0.1717 | 0.1739 | 0.1753 | 0.1763 | 0.1769 | 0.1777 | 0.1784 |

续 表

| $\frac{l/b}{z/b}$ | 1.0    | 1.2    | 1.4    | 1.6    | 1.8    | 2.0    | 2.4    | 2.8    | 3.2    | 3.6    | 4.0    | 5.0    | 10.0   |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3.0               | 0.1369 | 0.1449 | 0.1510 | 0.1556 | 0.1592 | 0.1619 | 0.1658 | 0.1682 | 0.1698 | 0.1708 | 0.1715 | 0.1725 | 0.1733 |
| 3.2               | 0.1310 | 0.1390 | 0.1450 | 0.1497 | 0.1533 | 0.1562 | 0.1602 | 0.1628 | 0.1645 | 0.1657 | 0.1664 | 0.1675 | 0.1685 |
| 3.4               | 0.1256 | 0.1334 | 0.1394 | 0.1441 | 0.1478 | 0.1508 | 0.1550 | 0.1577 | 0.1595 | 0.1607 | 0.1616 | 0.1628 | 0.1639 |
| 3.6               | 0.1205 | 0.1282 | 0.1342 | 0.1389 | 0.1427 | 0.1456 | 0.1500 | 0.1528 | 0.1548 | 0.1561 | 0.1570 | 0.1583 | 0.1595 |
| 3.8               | 0.1158 | 0.1234 | 0.1293 | 0.1340 | 0.1378 | 0.1408 | 0.1452 | 0.1482 | 0.1502 | 0.1516 | 0.1526 | 0.1541 | 0.1554 |
| 4.0               | 0.1114 | 0.1189 | 0.1248 | 0.1294 | 0.1332 | 0.1362 | 0.1408 | 0.1438 | 0.1459 | 0.1474 | 0.1485 | 0.1500 | 0.1516 |
| 4.2               | 0.1073 | 0.1147 | 0.1205 | 0.1251 | 0.1289 | 0.1319 | 0.1365 | 0.1396 | 0.1418 | 0.1434 | 0.1445 | 0.1462 | 0.1479 |
| 4.4               | 0.1035 | 0.1107 | 0.1164 | 0.1210 | 0.1248 | 0.1279 | 0.1325 | 0.1357 | 0.1379 | 0.1396 | 0.1407 | 0.1425 | 0.1444 |
| 4.6               | 0.1000 | 0.1070 | 0.1127 | 0.1172 | 0.1209 | 0.1240 | 0.1287 | 0.1319 | 0.1342 | 0.1359 | 0.1371 | 0.1390 | 0.1410 |
| 4.8               | 0.0967 | 0.1036 | 0.1091 | 0.1136 | 0.1173 | 0.1204 | 0.1250 | 0.1283 | 0.1307 | 0.1324 | 0.1337 | 0.1357 | 0.1379 |
| 5.0               | 0.0935 | 0.1003 | 0.1057 | 0.1102 | 0.1139 | 0.1169 | 0.1216 | 0.1249 | 0.1273 | 0.1291 | 0.1304 | 0.1325 | 0.1348 |
| 5.2               | 0.0906 | 0.0972 | 0.1026 | 0.1070 | 0.1106 | 0.1136 | 0.1183 | 0.1217 | 0.1241 | 0.1259 | 0.1273 | 0.1295 | 0.1320 |
| 5.4               | 0.0878 | 0.0943 | 0.0996 | 0.1039 | 0.1075 | 0.1105 | 0.1152 | 0.1186 | 0.1211 | 0.1229 | 0.1243 | 0.1265 | 0.1292 |
| 5.6               | 0.0852 | 0.0916 | 0.0968 | 0.1010 | 0.1046 | 0.1076 | 0.1122 | 0.1156 | 0.1181 | 0.1200 | 0.1215 | 0.1238 | 0.1266 |
| 5.8               | 0.0828 | 0.0890 | 0.0941 | 0.0983 | 0.1018 | 0.1047 | 0.1094 | 0.1128 | 0.1153 | 0.1172 | 0.1187 | 0.1211 | 0.1240 |

续表

| $\frac{l}{b}$<br>$\frac{z}{b}$ | 1.0    | 1.2    | 1.4    | 1.6    | 1.8    | 2.0    | 2.4    | 2.8    | 3.2    | 3.6    | 4.0    | 5.0    | 10.0   |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6.0                            | 0.0805 | 0.0866 | 0.0916 | 0.0957 | 0.0991 | 0.1021 | 0.1067 | 0.1101 | 0.1126 | 0.1146 | 0.1161 | 0.1185 | 0.1216 |
| 6.2                            | 0.0783 | 0.0842 | 0.0891 | 0.0932 | 0.0966 | 0.0995 | 0.1041 | 0.1075 | 0.1101 | 0.1120 | 0.1136 | 0.1161 | 0.1193 |
| 6.4                            | 0.0762 | 0.0820 | 0.0869 | 0.0909 | 0.0942 | 0.0971 | 0.1016 | 0.1050 | 0.1076 | 0.1096 | 0.1111 | 0.1137 | 0.1171 |
| 6.6                            | 0.0742 | 0.0799 | 0.0847 | 0.0886 | 0.0919 | 0.0948 | 0.0993 | 0.1027 | 0.1053 | 0.1073 | 0.1088 | 0.1114 | 0.1149 |
| 6.8                            | 0.0723 | 0.0779 | 0.0826 | 0.0865 | 0.0898 | 0.0926 | 0.0970 | 0.1004 | 0.1030 | 0.1050 | 0.1066 | 0.1092 | 0.1129 |
| 7.0                            | 0.0705 | 0.0760 | 0.0806 | 0.0844 | 0.0877 | 0.0904 | 0.0949 | 0.0982 | 0.1008 | 0.1028 | 0.1044 | 0.1071 | 0.1109 |
| 7.2                            | 0.0688 | 0.0742 | 0.0787 | 0.0825 | 0.0857 | 0.0884 | 0.0928 | 0.0962 | 0.0987 | 0.1008 | 0.1023 | 0.1051 | 0.1090 |
| 7.4                            | 0.0672 | 0.0725 | 0.0769 | 0.0806 | 0.0838 | 0.0865 | 0.0908 | 0.0942 | 0.0967 | 0.0988 | 0.1004 | 0.1031 | 0.1071 |
| 7.6                            | 0.0656 | 0.0709 | 0.0752 | 0.0789 | 0.0820 | 0.0846 | 0.0889 | 0.0922 | 0.0948 | 0.0968 | 0.0984 | 0.1012 | 0.1054 |
| 7.8                            | 0.0642 | 0.0693 | 0.0736 | 0.0771 | 0.0802 | 0.0828 | 0.0871 | 0.0904 | 0.0929 | 0.0950 | 0.0966 | 0.0994 | 0.1036 |
| 8.0                            | 0.0627 | 0.0678 | 0.0720 | 0.0755 | 0.0785 | 0.0811 | 0.0853 | 0.0886 | 0.0912 | 0.0932 | 0.0948 | 0.0976 | 0.1020 |
| 8.2                            | 0.0614 | 0.0663 | 0.0705 | 0.0739 | 0.0769 | 0.0795 | 0.0837 | 0.0869 | 0.0894 | 0.0914 | 0.0931 | 0.0959 | 0.1004 |
| 8.4                            | 0.0601 | 0.0649 | 0.0690 | 0.0724 | 0.0754 | 0.0779 | 0.0820 | 0.0852 | 0.0878 | 0.0893 | 0.0914 | 0.0943 | 0.0938 |
| 8.6                            | 0.0588 | 0.0636 | 0.0676 | 0.0710 | 0.0739 | 0.0764 | 0.0805 | 0.0836 | 0.0862 | 0.0882 | 0.0898 | 0.0927 | 0.0973 |
| 8.8                            | 0.0576 | 0.0623 | 0.0663 | 0.0696 | 0.0724 | 0.0749 | 0.0790 | 0.0821 | 0.0846 | 0.0866 | 0.0882 | 0.0912 | 0.0959 |

续表

| $\frac{l/b}{z/b}$ | 1.0    | 1.2    | 1.4    | 1.6    | 1.8    | 2.0    | 2.4    | 2.8    | 3.2    | 3.6    | 4.0    | 5.0    | 10.0   |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 9.2               | 0.0554 | 0.0599 | 0.0637 | 0.0670 | 0.0697 | 0.0721 | 0.0761 | 0.0792 | 0.0817 | 0.0837 | 0.0853 | 0.0882 | 0.0931 |
| 9.6               | 0.0533 | 0.0577 | 0.0614 | 0.0645 | 0.0672 | 0.0696 | 0.0734 | 0.0765 | 0.0789 | 0.0809 | 0.0825 | 0.0855 | 0.0905 |
| 10.0              | 0.0514 | 0.0556 | 0.0592 | 0.0622 | 0.0649 | 0.0672 | 0.0710 | 0.0739 | 0.0763 | 0.0783 | 0.0799 | 0.0829 | 0.0880 |
| 10.4              | 0.0496 | 0.0537 | 0.0572 | 0.0601 | 0.0627 | 0.0649 | 0.0686 | 0.0716 | 0.0739 | 0.0759 | 0.0775 | 0.0804 | 0.0857 |
| 10.8              | 0.0479 | 0.0519 | 0.0553 | 0.0581 | 0.0606 | 0.0628 | 0.0664 | 0.0693 | 0.0717 | 0.0736 | 0.0751 | 0.0781 | 0.0834 |
| 11.2              | 0.0463 | 0.0502 | 0.0535 | 0.0563 | 0.0587 | 0.0609 | 0.0644 | 0.0672 | 0.0695 | 0.0714 | 0.0730 | 0.0759 | 0.0813 |
| 11.6              | 0.0448 | 0.0486 | 0.0518 | 0.0545 | 0.0569 | 0.0590 | 0.0625 | 0.0652 | 0.0675 | 0.0694 | 0.0709 | 0.0738 | 0.0793 |
| 12.0              | 0.0435 | 0.0471 | 0.0502 | 0.0529 | 0.0552 | 0.0573 | 0.0606 | 0.0634 | 0.0656 | 0.0674 | 0.0690 | 0.0719 | 0.0774 |
| 12.8              | 0.0409 | 0.0444 | 0.0474 | 0.0499 | 0.0521 | 0.0541 | 0.0573 | 0.0599 | 0.0621 | 0.0639 | 0.0654 | 0.0682 | 0.0739 |
| 13.6              | 0.0387 | 0.0420 | 0.0448 | 0.0472 | 0.0493 | 0.0512 | 0.0543 | 0.0568 | 0.0589 | 0.0607 | 0.0621 | 0.0649 | 0.0707 |
| 14.4              | 0.0367 | 0.0398 | 0.0425 | 0.0448 | 0.0468 | 0.0486 | 0.0516 | 0.0540 | 0.0561 | 0.0577 | 0.0592 | 0.0619 | 0.0677 |
| 15.2              | 0.0349 | 0.0379 | 0.0404 | 0.0426 | 0.0446 | 0.0463 | 0.0492 | 0.0515 | 0.0535 | 0.0551 | 0.0565 | 0.0592 | 0.0650 |
| 16.0              | 0.0332 | 0.0361 | 0.0385 | 0.0407 | 0.0425 | 0.0442 | 0.0469 | 0.0492 | 0.0511 | 0.0527 | 0.0540 | 0.0567 | 0.0625 |
| 18.0              | 0.0297 | 0.0323 | 0.0345 | 0.0364 | 0.0381 | 0.0396 | 0.0422 | 0.0442 | 0.0460 | 0.0475 | 0.0487 | 0.0512 | 0.0570 |
| 20.0              | 0.0269 | 0.0292 | 0.0312 | 0.0330 | 0.0345 | 0.0359 | 0.0383 | 0.0402 | 0.0418 | 0.0432 | 0.0444 | 0.0468 | 0.0524 |

4. 建筑物的地基变形允许值

表 5-12

| 变 形 特 征                       | 地基土类别      |           |
|-------------------------------|------------|-----------|
|                               | 中、低压缩性土    | 高压缩性土     |
| 砌体承重结构基础的局部倾斜                 | 0.002      | 0.003     |
| 工业与民用建筑相邻柱基的沉降差               |            |           |
| (1) 框架结构                      | 0.002 $l$  | 0.003 $l$ |
| (2) 砌体墙填充的边排柱                 | 0.0007 $l$ | 0.001 $l$ |
| (3) 当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构       | 0.005 $l$  | 0.005 $l$ |
| 单层排架结构(柱距为 6m)柱基的沉降量(mm)      | (120)      | 200       |
| 桥式吊车轨面的倾斜(按不调整轨道考虑)           |            |           |
| 纵向                            | 0.004      |           |
| 横向                            | 0.003      |           |
| 多层和高层建筑的整体倾斜 $H_g \leq 24$    | 0.004      |           |
| $24 < H_g \leq 60$            | 0.003      |           |
| $60 < H_g \leq 100$           | 0.0025     |           |
| $H_g > 100$                   | 0.002      |           |
| 体型简单的高层建筑基础的平均沉降量(mm)         | 200        |           |
| 高耸结构基础的倾斜 $H_g \leq 20$       | 0.008      |           |
| $20 < H_g \leq 50$            | 0.006      |           |
| $50 < H_g \leq 100$           | 0.005      |           |
| $100 < H_g \leq 150$          | 0.004      |           |
| $150 < H_g \leq 200$          | 0.003      |           |
| $200 < H_g \leq 250$          | 0.002      |           |
| 高耸结构基础的沉降量(mm) $H_g \leq 100$ | 400        |           |
| $100 < H_g \leq 200$          | 300        |           |
| $200 < H_g \leq 250$          | 200        |           |

注:①本表数值为建筑物地基实际最终变形允许值;

②有括号者仅适用于中压缩性土；

③ $l$  为相邻柱基的中心距离 (mm)； $H_g$  为自室外地面起算的建筑物高度 (m)；

④倾斜指基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离的比值；

⑤局部倾斜指砌体承重结构沿纵向 6 ~ 10m 内基础两点的沉降差与其距离的比值。

5. 地基变形计算深度  $z_n$  (图 5-7), 应符合下式要求:

$$\Delta s'_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta s'_i \quad (5-56)$$

式中  $\Delta s'_i$  ——在计算深度范围内, 第  $i$  层上的计算变形值;

$\Delta s'_0$  ——在由计算深度向上取厚度为  $\Delta z$  的土层计算变形值,  $\Delta z$  见图 5-7 并按表 5-13 确定。

如确定的计算深度下部仍有较软上层时, 应继续计算。

$\Delta z$  的取值

表 5-13

| $b$ (m)        | $b \leq 2$ | $2 < b \leq 4$ | $4 < b \leq 8$ | $8 < b$ |
|----------------|------------|----------------|----------------|---------|
| $\Delta z$ (m) | 0.3        | 0.6            | 0.8            | 1.0     |

6. 当无相邻荷载影响, 基础宽度在 1 ~ 30m 范围内时, 基础中点的地基变形计算深度也可按下列简化公式计算:

$$z_n = b(2.5 - 0.4 \ln b) \quad (5-57)$$

式中  $b$  ——基础宽度 (m)。

在计算深度范围内存在基岩时,  $z_n$  可取至基岩表面; 当存在较厚的坚硬粘性土层, 其孔隙比小于 0.5、压缩模量大于 50MPa, 或存在较厚的密实砂卵石层, 其压缩模量大于 80MPa 时,  $z_n$  可取至该层土表面。

7. 地基稳定性可采用圆弧滑动面法进行验算。最危险的滑动面上诸力对滑动中心所产生的抗滑力矩与滑动力矩应符合下式要求:

$$M_R / M_S \geq 1.2 \quad (5-58)$$

式中  $M_S$  ——滑动力矩;

$M_R$  ——抗滑力矩。

8. 位于稳定土坡坡顶上的建筑,当垂直于坡顶边缘线的基础底面边长小于或等于3m时,其基础底面外边缘线至坡顶的水平距离(图5-8)应符合下式要求,但不得小于2.5m:

条形基础

$$a \geq 3.5b - \frac{d}{\tan\beta} \quad (5-59)$$

矩形基础

$$a \geq 2.5b - \frac{d}{\tan\beta} \quad (5-60)$$

式中  $a$ ——基础底面外边缘线至坡顶的水平距离;

$b$ ——垂直于坡顶边缘线的基础底面边长;

$d$ ——基础埋置深度;

$\beta$ ——边坡坡角。

当基础底面外边缘线至坡顶的水平距离不满足式(5-59)和(5-60)的要求时,可根据基底平均压力按公式(5-58)确定基础距坡顶边缘的距离和基础埋深。

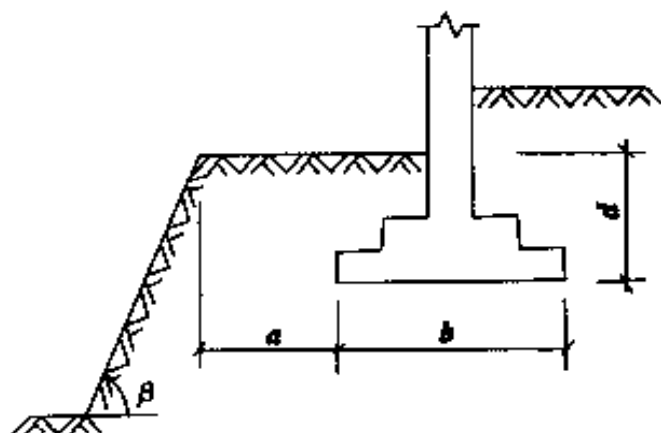


图5-8 基础底面外边缘线至坡顶的水平距离示意

当边坡坡角大于45°、坡高大于8m时,尚应按式(5-58)验算坡体稳定性。



## 六、桩基础工程

### (一) 预制桩沉桩施工控制计算

#### 1. 沉桩控制贯入度计算

打预制钢筋混凝土桩的设计质量控制,通常是以贯入度和设计标高两个指标来检验。桩端位于坚硬、硬塑的粘性土、碎石土、中密以上的砂土或风化岩层等时,以贯入度控制为主,桩尖标高可作为参考。桩尖位于一般土层时,以桩端设计标高控制为主,贯入度可作为参考。打桩贯入度的检验,一般是以桩最后 10 击的平均贯入度应该小于或等于通过荷载试验(或设计规定)确定的控制数值,当无试验资料或设计无规定时,控制贯入度可以按以下动力公式计算:

$$S = \frac{nAQH}{mp(mp + nA)} \times \frac{Q + 0.2q}{Q + q} \quad (6-1)$$

式中  $S$ ——桩的控制贯入度(mm);

$Q$ ——锤重力(N);

$H$ ——锤击高度(mm);

$q$ ——桩及桩帽重力(N);

$A$ ——桩的横截面积( $\text{mm}^2$ );

$p$ ——桩的安全(或设计)承载力(N);

$m$ ——安全系数:对永久工程, $m=2$ ;对临时工程, $m=1.5$ ;

$n$ ——桩材料及桩垫有关系数:钢筋混凝土桩用麻垫时, $n=1$ ;钢筋混凝土桩用橡木垫时, $n=1.5$ ;木桩加桩垫时, $n=0.8$ ;木桩不加垫时, $n=1.0$ 。

如已作静荷载试验,应该以桩的极限荷载  $P_k$  (kN) 代替公式中的  $mp$  值计算。

## 2. 打桩安全距离计算

打(沉)桩安全距离通常以振幅值来评价,如果仅考虑瑞利波效应以及由于土并非完全弹性体而引起的振动能量消耗,则面波的竖向分量的振幅可按下式计算:

$$A_r = A_0 \sqrt{\frac{r_0}{r}} \cdot e^{-a(r-r_0)} \quad (6-2)$$

式中  $A_r, A_0$ ——分别为距震源  $r$  和  $r_0$  处的竖向分量的振幅(mm);

$a$ ——土的能量吸收系数(1/m),与土质情况有关,对松软饱和细粉砂、粉质粘土、粉土为 0.01 ~ 0.03 1/m;对很湿的粉质粘土、粘土为 0.04 ~ 0.06 1/m;对稍湿的和干的粉质粘土、粉土为 0.07 ~ 0.10 1/m。

以振幅为评价标准的常用界限图见图 6-1;根据对结构物的损害及人的感受程度即可查得相应的允许振幅值。然后采用试算法计算打桩安全距离。

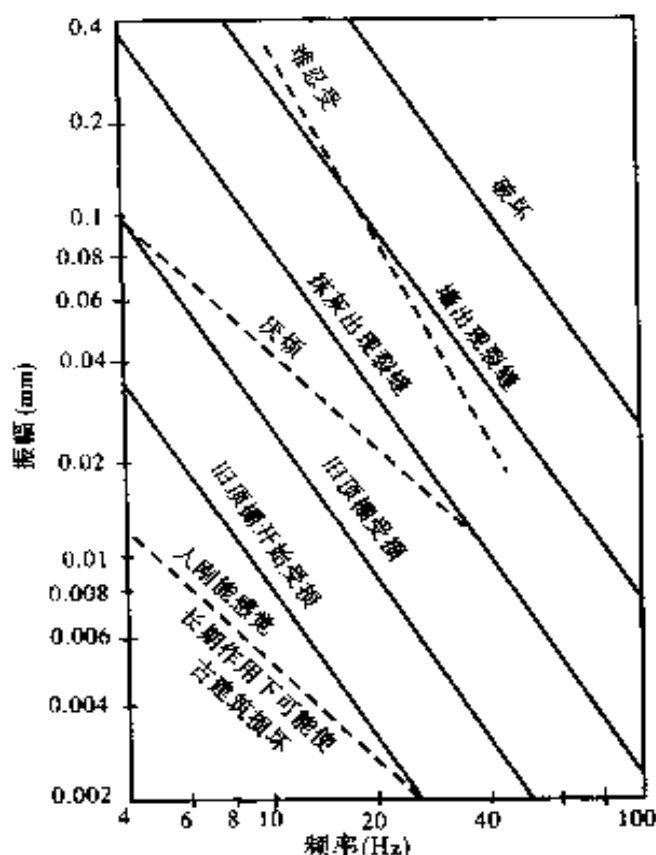


图 6-1 振动对结构物损害及人的感受程度的判定标准图

【例 6-1】 建筑桩基工程采用 DZ40-A 振动锤沉桩施工,地基土为很

湿的粉质粘土,根据测试资料,在离沉桩  $r_0 = 15\text{m}$  处,地面最大振幅  $A_0 = 0.05\text{mm}$  (频率  $9\text{Hz}$ ),试求附近砖混结构房屋基本不受危害的最小安全距离。

【解】由图 6-1 知,如以人刚能感觉,旧顶棚仅轻微受损作为安全界限,则当频率为  $9\text{Hz}$  时,最大振幅  $A_r = 0.015\text{mm}$  左右为评价标准,采用试算法计算安全距离  $r$  值。很湿粉质粘土,取  $\alpha = 0.05(1/\text{m})$ 。

设  $r = 25\text{m}$  时,由公式 6-2 得:

$$\begin{aligned} A_r &= A_0 \sqrt{\frac{r_0}{r}} \cdot e^{-\alpha(r-r_0)} = 0.05 \times \sqrt{\frac{15}{25}} \times e^{-0.05(25-15)} \\ &= 0.05 \times \sqrt{0.6} \times \frac{1}{e^{0.5}} = 0.023\text{mm} > 0.015\text{mm} \end{aligned}$$

再设  $r = 30\text{m}$  时得:

$$A_r = 0.05 \times \sqrt{\frac{15}{30}} \times e^{-0.05(30-15)} = 0.017\text{mm} > 0.015\text{mm}$$

又设  $r = 32\text{m}$  时得:

$$A_r = 0.05 \sqrt{\frac{15}{32}} \times e^{-0.05(32-15)} = 0.0146\text{mm} \approx 0.015\text{mm}$$

故近似计算沉桩安全距离为  $32\text{m}$ 。

### 3. 打入式钢管桩按以下规定验算桩身局部压曲

当  $\frac{t}{d_s} = \frac{1}{50} \sim \frac{1}{80}$ ,  $d_s \leq 600\text{mm}$ , 锤击应力小于钢材屈服强度时,可不进行压曲验算。

当  $d_s \leq 600\text{mm}$ ,按下式验算:

$$0.388E \frac{t}{d_s} \leq f_y \quad (6-3)$$

当  $d_s \leq 900\text{mm}$ ,还应按下式验算:

$$14.5E \left(\frac{t}{d_s}\right)^2 \leq f_y \quad (6-4)$$

式中  $t$ ——钢管桩壁厚( $\text{mm}$ );

$d_s$ ——钢管桩外径( $\text{mm}$ );

$E$ ——钢材的弹性模量( $\text{N/mm}^2$ );

$f_y$ ——钢材屈服强度设计值( $\text{N/mm}^2$ )。

#### 4. 桩的锤击压应力验算

打桩过程中,由于桩材内部产生锤击压力,桩的头部会压屈、压碎。它对木桩和钢筋混凝土桩的危害性很大。桩的锤击压应力按下式计算:

$$\sigma_p = \frac{\alpha \sqrt{2eE\gamma_p H}}{\left[1 + \frac{A_c}{A_H} \sqrt{\frac{E_c \cdot \gamma_c}{E_H \cdot \gamma_H}}\right] \left[1 + \frac{A}{A_c} \sqrt{\frac{E \cdot \gamma_p}{E_c \cdot \gamma_c}}\right]} \quad (6-5)$$

式中  $\sigma_p$ ——桩的锤击压应力(kN/m<sup>2</sup>);

$A_H$ 、 $A_c$ 、 $A$ ——分别为锤、桩垫、桩的净截面面积(m<sup>2</sup>);

$E_H$ 、 $E_c$ 、 $E$ ——分别为锤、桩垫、桩的弹性模量;一般钢筋混凝土桩  $E = 2.1 \times 10^7$  kPa; 钢桩  $E = 2.1 \times 10^8$  kPa; 木桩  $E = 1.0 \times 10^7$  kPa, 或按实测值;

$\gamma_H$ 、 $\gamma_c$ 、 $\gamma_p$ ——分别为锤、桩垫、桩的重度(kN/m<sup>3</sup>);

$H$ ——落锤高度(m);

$\alpha$ ——锤型系数,自由落锤,  $\alpha = 1$ ; 柴油锤,  $\alpha = \sqrt{2}$ ;

$e$ ——锤击效率系数,用落锤打桩机时,  $e = 0.6$ ; 用柴油锤打桩机时,  $e = 0.8$ 。

按以上计算式计算,如果  $\sigma_p$  大于桩的允许锤击应力,在锤击能量相同的条件下,可以采用限制锤的重量、降低锤的下落高度或改变桩垫材料等办法,或不使用大于桩截面的锤,以控制桩头产生的锤冲应力值,避免桩头破裂,桩身断裂。

### (二) 爆扩桩扩大头直径及人工挖孔桩护壁厚度计算

#### 1. 爆扩桩扩大头直径

爆扩桩扩大头直径一般应通过爆扩成型和荷载试验来确定,如无试验资料,可按下式估算:

$$D = K \sqrt[3]{C} \quad (6-6)$$

式中  $D$ ——爆扩大头直径(m);

$C$ ——爆扩炸药用量(kg);

$K$ ——与土质有关的影响系数。

对坡积粘土、粉质粘土,  $K$  取 0.7 ~ 1.1; 冲积粘土  $K$  取 1.25 ~ 1.30; 残积

可塑粉质粘土  $K$  取 1.15 ~ 1.30; 沉积可塑粉质粘土  $K$  取 1.02 ~ 1.21; 黄土类粉质粘土  $K$  取 1.19; 卵石层  $K$  取 1.07 ~ 1.18; 松散角砾  $K$  取 0.94 ~ 0.99; 稍湿粉粘土 (干密度 > 1.35)  $K$  取 0.8 ~ 1.0, (干密度 < 1.35)  $K$  取 1.0 ~ 1.2。

施工过程中, 可以通过混凝土的浇灌总量按下式来核算扩大头直径:

$$D = 2 \sqrt[3]{\frac{3(V-AH)}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6(V-AH)}{\pi}} \\ = 1.24 \sqrt[3]{V-AH} \quad (6-7)$$

式中  $D$ ——爆扩大头直径(m);

$V$ ——两次灌入混凝土总量( $m^3$ );

$A$ ——桩柱孔截面积( $m^2$ );

$H$ ——桩柱深度(m)。

## 2. 人工挖孔桩扩壁厚度计算

(1) 分段现浇混凝土护壁厚度, 一般取受力最大处, 即地下最深段护壁所承受的土压力及地下水的侧压力由计算确定, 设混凝土护壁厚度为  $t$  (m), 则可按下式计算:

$$t \geq \frac{KN}{f_c} \quad (6-8)$$

$$\text{或} \quad t \geq \frac{K_p D}{2f_n} \quad (6-9)$$

式中  $N$ ——作用在护壁截面上的压力( $N/m^2$ ),  $N = p \times \frac{D}{2}$ ;

$p$ ——土和地下水对护壁的最大侧压力( $N/m^2$ );

$$\text{对无粘性土: 当挖孔无地下水时, } p = \gamma H \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (6-10)$$

$$\text{当有地下水时, } p = \gamma h \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

$$+ (\gamma - \gamma_w)(H - h) \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) + (H - h) \gamma_w \quad (6-11)$$

对粘性土: 当挖孔无地下水时,

$$p = \gamma H \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - 2c \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (6-12)$$

$$\begin{aligned} \text{当有地下水时, } p = & \gamma H \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - 4c \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \\ & + (\gamma - \gamma_w)(H - h) \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) + (H - h)\gamma_w \end{aligned} \quad (6-13)$$

式中  $\gamma$ ——土的重度( $\text{kN/m}^3$ );  
 $\gamma_w$ ——水的重度( $\text{kN/m}^3$ );  
 $H$ ——挖孔桩护壁深度(m);  
 $h$ ——地面至地下水位深度(m);  
 $D$ ——挖孔桩或圆形构筑物外直径(m);  
 $f_c$ ——混凝土的轴心抗压强度预计值( $\text{N/mm}^2$ );  
 $\varphi$ ——土的内摩擦角( $^\circ$ );  
 $c$ ——土的粘聚力( $\text{kN/m}^2$ );  
 $k$ ——安全系数,取  $k = 1.65$ 。

(2) 砖砌护壁厚度验算:

砖砌护壁所承受的环向应力  $\sigma_n$  按下式计算:

$$\sigma_n = \frac{pD}{2t} \quad (6-14)$$

砖砌护壁所承受的径向应力  $\sigma_s$  在圆壁外侧等于  $p$ , 而内侧等于  $\sigma$ , 壁厚方向的分布呈抛物线, 可取平均值按下式计算:

$$\sigma_s = \frac{P}{2} \quad (6-15)$$

砖砌护壁上的  $\sigma_n$  和  $\sigma_s$  应小于砖砌体的抗压强度设计值  $f$  ( $\text{N/mm}^2$ ) 和水泥砂浆缝的抗剪强度设计值  $f_v$  ( $\text{N/mm}^2$ )。

$$\sigma_n < f \quad (6-16)$$

$$\sigma_s < f_v \quad (6-17)$$

式中  $t$ ——砖砌护壁厚度(mm);  
 $D$ ——挖孔桩的外直径(mm);  
 $P$ ——土和地下水对砖砌护壁的最大侧压力( $\text{N/mm}^2$ ), 按混凝土护壁厚度计算中  $P$  值计算公式(6-10)~(6-13)计算。

### (三) 单桩竖向极限承载力标准值计算

1. 当根据单桥探头静力触探资料确定混凝土预制桩单桩竖向极限承载力标准值时, 如无当地经验可按下式计算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + \alpha p_{sk} A_p \quad (6-18)$$

式中  $Q_{uk}$ ——单桩竖向极限承载力标准值(kN);

$Q_{sk}$ 、 $Q_{pk}$ ——分别为单桩总极限侧阻力和总极限端阻力标准值(kN);

$u$ ——桩身周长(m);

$q_{sik}$ ——用静力触探比贯入阻力值估算的桩周第  $i$  层土的极限侧阻力标准值(kPa);

$l_i$ ——桩穿越第  $i$  层土的厚度(m);

$\alpha$ ——桩端阻力修正系数, 见表 6-1;

$p_{sk}$ ——桩端附近的静力触探比贯入阻力标准值(平均值)(kPa);

$A_p$ ——桩端面积( $m^2$ )。

桩端阻力修正系数  $\alpha$  值

表 6-1

| 桩入土深度(m) | $h < 15$ | $15 \leq h \leq 30$ | $30 < h \leq 60$ |
|----------|----------|---------------------|------------------|
| $\alpha$ | 0.75     | 0.75 ~ 0.90         | 0.90             |

注: 桩入土深度  $15 \leq h \leq 30m$ ,  $\alpha$  值按  $h$  值直线内插;  $h$  为基底至桩端全断面的距离(不包括桩尖高度)。

(1)  $q_{sik}$  值应结合土工试验资料, 依据土的类别、埋藏深度、排列次序, 按图 6-2 折线取值;

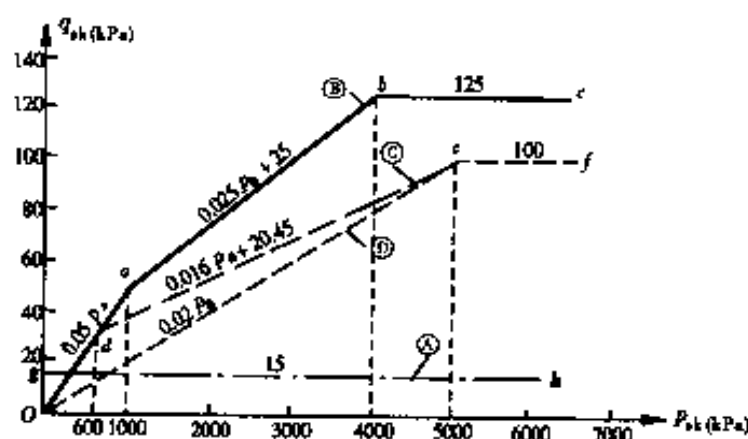


图 6-2  $q_{sk} - p_{sk}$  曲线

注: 图 6-2 中, 直线 ①(线段  $gh$ ) 适用于地表下 6m 范围内的土层; 折线 ②

(线段  $oabc$ ) 适用于粉土及砂土土层以上(或无粉土及砂土土层地区)的粘性土;折线③(线段  $odef$ ) 适用于粉土及砂土土层以下的粘性土;折线④(线段  $oef$ ) 适用于粉土、粉砂、细砂及中砂。

当桩端穿越粉土、粉砂、细砂及中砂层底面时,折线④估算的  $q_{sk}$  值需乘以表 6-2 中系数  $\xi_s$  值。

系数  $\xi_s$  值

表 6-2

| $p_s/p_{st}$ | $\leq 5$ | 7.5  | $\geq 10$ |
|--------------|----------|------|-----------|
| $\xi_s$      | 1.00     | 0.50 | 0.33      |

注:①  $p_s$  为桩端穿越的中密~密实砂土、粉土的比贯入阻力平均值; $p_{st}$  为砂土、粉土的下卧软土层的比贯入阻力平均值;

② 采用的单桥探头,圆锥底面积为  $15\text{cm}^2$ ,底部带 7cm 高滑套,锥角  $60^\circ$ 。

(2)  $p_{sk}$  可按下式计算:

当  $p_{sk1} \leq p_{sk2}$  时

$$p_{sk} = \frac{1}{2}(p_{sk1} + \beta \cdot p_{sk2}) \quad (6-19)$$

当  $p_{sk1} > p_{sk2}$  时

$$p_{sk} = p_{sk2} \quad (6-20)$$

式中  $p_{sk1}$ ——桩端全截面以上 8 倍桩径范围内的比贯入阻力平均值(kPa);  
 $p_{sk2}$ ——桩端全截面以下 4 倍桩径范围内的比贯入阻力平均值(kPa),  
 如桩端持力层为密实的砂土层,其比贯入阻力平均值  $p_s$  超过 20MPa 时,则需乘以表 6-3 中系数  $C$  予以折减后,再计算  $p_{sk2}$  及  $p_{sk1}$  值;

$\beta$ ——折减系数,按  $p_{sk2}/p_{sk1}$  值从表 6-4 选用。

系数  $C$

表 6-3

| $p_s$ (MPa) | 20 ~ 30 | 35  | > 40 |
|-------------|---------|-----|------|
| 系数 $C$      | 5/6     | 2/3 | 1/2  |

折减系数  $\beta$

表 6-4

| $p_{sk2}/p_{sk1}$ | $\leq 5$ | 7.5 | 12.5 | $\geq 15$ |
|-------------------|----------|-----|------|-----------|
| $\beta$           | 1        | 5/6 | 2/3  | 1/2       |

注:以上两表可内插取值。



2. 当根据双桥探头静力触探资料确定混凝土预制桩单桩竖向极限承载力标准值时,对于粘性土、粉土和砂土,如无当地经验时可按下式计算:

$$Q_{uk} = u \sum l_i \cdot \beta_i \cdot f_{si} + \alpha \cdot q_c \cdot A_p \quad (6-21)$$

式中  $f_{si}$ ——第  $i$  层土的探头平均侧阻力(kPa);

$q_c$ ——桩端平面上、下探头阻力(kPa),取桩端平面以上  $4d$  ( $d$  为桩的直径或边长)范围内按土层厚度的探头阻力加权平均值,然后再和桩端平面以下  $1d$  范围内的探头阻力进行平均;

$\alpha$ ——桩端阻力修正系数,对粘性土、粉土取  $2/3$ ,饱和砂土取  $1/2$ ;

$\beta_i$ ——第  $i$  层土桩侧阻力综合修正系数,按下式计算:

粘性土、粉土:  $\beta_i = 10.04(f_{si})^{-0.55}$

砂土:  $\beta_i = 5.05(f_{si})^{-0.45}$

注:双桥探头的圆锥底面积为  $15\text{cm}^2$ ,锥角  $60^\circ$ ,摩擦套筒高  $21.85\text{cm}$ ,侧面积  $300\text{cm}^2$ 。

3. 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向极限承载力标准值时,宜按下式计算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \quad (6-22)$$

式中  $q_{sik}$ ——桩侧第  $i$  层土的极限侧阻力标准值(kPa),如无当地经验值时,可按表 6-5 取值;

$q_{pk}$ ——极限端阻力标准值(kPa),如无当地经验值时,可按表 6-6 取值。

4. 根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系,确定大直径桩 ( $d \geq 800\text{mm}$ ) 单桩竖向极限承载力标准值时,可按下式计算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum \psi_{si} q_{sik} l_{si} + \psi_p q_{pk} A_p \quad (6-23)$$

式中  $q_{sik}$ ——桩侧第  $i$  层土的极限侧阻力标准值(kPa),如无当地经验值时,可按表 6-5 取值,对于扩底桩变截面以下不计侧阻力;

$q_{pk}$ ——桩径为  $800\text{mm}$  的极限端阻力标准值(kPa),可采用深层载荷板试验确定;当不能进行深层载荷板试验时,可采用当地经验值或按表 6-6 取值,对于干作业(清底干净)可按表 6-7 取值;

对于混凝土护壁的大直径挖孔桩,计算单桩竖向承载力时,其设计桩径取护壁外直径;

$\psi_{sk}, \psi_p$ ——大直径桩侧阻、端阻尺寸效应系数,按表 6-8 取值。

桩的极限侧阻力标准值  $q_{sik}$  (kPa)

表 6-5

| 土的名称 | 土的状态                   | 混凝土<br>预制桩 | 水下钻<br>(冲)孔桩 | 沉管<br>灌注桩 | 干作业<br>钻孔桩 |
|------|------------------------|------------|--------------|-----------|------------|
| 填土   |                        | 20 ~ 28    | 18 ~ 26      | 15 ~ 22   | 18 ~ 26    |
| 淤泥   |                        | 11 ~ 17    | 10 ~ 16      | 9 ~ 13    | 10 ~ 16    |
| 淤泥质土 |                        | 20 ~ 28    | 18 ~ 26      | 15 ~ 22   | 18 ~ 26    |
| 粘性土  | $I_L > 1$              | 21 ~ 36    | 20 ~ 34      | 16 ~ 28   | 20 ~ 34    |
|      | $0.75 < I_L \leq 1$    | 36 ~ 50    | 34 ~ 48      | 28 ~ 40   | 34 ~ 48    |
|      | $0.50 < I_L \leq 0.75$ | 50 ~ 66    | 48 ~ 64      | 40 ~ 52   | 48 ~ 62    |
|      | $0.25 < I_L \leq 0.5$  | 66 ~ 82    | 64 ~ 78      | 52 ~ 63   | 62 ~ 76    |
|      | $0 < I_L \leq 0.25$    | 82 ~ 91    | 78 ~ 88      | 63 ~ 72   | 76 ~ 86    |
|      | $I_L \leq 0$           | 91 ~ 101   | 88 ~ 98      | 72 ~ 80   | 86 ~ 96    |
| 红粘土  | $0.7 < a_w \leq 1$     | 13 ~ 32    | 12 ~ 30      | 10 ~ 25   | 12 ~ 30    |
|      | $0.5 < a_w \leq 0.7$   | 32 ~ 74    | 30 ~ 70      | 25 ~ 68   | 30 ~ 70    |
| 粉土   | $e > 0.9$              | 22 ~ 44    | 22 ~ 40      | 16 ~ 32   | 20 ~ 40    |
|      | $0.75 \leq e \leq 0.9$ | 42 ~ 64    | 40 ~ 60      | 32 ~ 50   | 40 ~ 60    |
|      | $e < 0.75$             | 64 ~ 85    | 60 ~ 80      | 50 ~ 67   | 60 ~ 80    |
| 粉细砂  | 稍密                     | 22 ~ 42    | 22 ~ 40      | 16 ~ 32   | 20 ~ 40    |
|      | 中密                     | 42 ~ 63    | 40 ~ 60      | 32 ~ 50   | 40 ~ 60    |
|      | 密实                     | 63 ~ 85    | 60 ~ 80      | 50 ~ 67   | 60 ~ 80    |
| 中砂   | 中密                     | 54 ~ 74    | 50 ~ 72      | 42 ~ 58   | 50 ~ 70    |
|      | 密实                     | 74 ~ 95    | 72 ~ 90      | 58 ~ 75   | 70 ~ 90    |
| 粗砂   | 中密                     | 74 ~ 95    | 74 ~ 95      | 58 ~ 75   | 70 ~ 90    |
|      | 密实                     | 95 ~ 116   | 95 ~ 116     | 75 ~ 92   | 90 ~ 110   |
| 砾砂   | 中密、密实                  | 116 ~ 138  | 116 ~ 135    | 92 ~ 110  | 110 ~ 130  |

注:①对于尚未完成自重固结的填土和以生活垃圾为主的杂填土,不计算其侧阻力;

② $a_w$  为含水比,  $a_w = w/w_L$  ( $w$ —含水量,  $w_L$ —液限);

③对于预制桩,根据土层埋深  $h$ ,将  $q_{sik}$  乘以下表修正系数;

| 土层埋深 $h$ (m) | $\leq 5$ | 10  | 20  | $\geq 30$ |
|--------------|----------|-----|-----|-----------|
| 修正系数         | 0.8      | 1.0 | 1.1 | 1.2       |

④ $I_L$ —粘性土的液性指标; $e$ —粉土的孔隙比。

桩的极限端阻力标准值  $q_{pk}$  (kPa)

表 6-6

| 土的名称  | 土的状态<br>桩型             | 预制桩入土深度 (m)  |                 |                  |              | 水下钻(冲)孔桩入土深度 (m) |             |             |             |
|-------|------------------------|--------------|-----------------|------------------|--------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
|       |                        | $h \leq 9$   | $9 < h \leq 16$ | $16 < h \leq 30$ | $h > 30$     | 5                | 10          | 15          | $h > 30$    |
| 粘性土   | $0.75 < I_L \leq 1$    | 210 ~ 840    | 630 ~ 1300      | 1100 ~ 1700      | 1300 ~ 1900  | 100 ~ 150        | 150 ~ 250   | 250 ~ 300   | 300 ~ 450   |
|       | $0.50 < I_L \leq 0.75$ | 840 ~ 1700   | 1500 ~ 2100     | 1900 ~ 2500      | 2300 ~ 3200  | 200 ~ 300        | 350 ~ 450   | 450 ~ 550   | 550 ~ 750   |
|       | $0.25 < I_L \leq 0.50$ | 1500 ~ 2300  | 2300 ~ 3000     | 2700 ~ 3600      | 3600 ~ 4400  | 400 ~ 500        | 700 ~ 800   | 800 ~ 900   | 900 ~ 1000  |
|       | $0 < I_L \leq 0.25$    | 2500 ~ 3800  | 3800 ~ 5100     | 5100 ~ 5900      | 5900 ~ 6800  | 750 ~ 850        | 1000 ~ 1200 | 1200 ~ 400  | 1400 ~ 1600 |
| 粉 土   | $0.75 \leq e \leq 0.9$ | 840 ~ 1700   | 1300 ~ 2100     | 1900 ~ 2700      | 2500 ~ 3400  | 250 ~ 350        | 300 ~ 500   | 450 ~ 650   | 650 ~ 850   |
|       | $e \leq 0.75$          | 1500 ~ 2300  | 2100 ~ 3000     | 2700 ~ 3600      | 3600 ~ 4400  | 550 ~ 800        | 650 ~ 900   | 750 ~ 1000  | 850 ~ 1000  |
| 粉 砂   | 稍 密                    | 800 ~ 1600   | 1500 ~ 2100     | 1900 ~ 2500      | 2100 ~ 3000  | 200 ~ 400        | 350 ~ 500   | 450 ~ 600   | 600 ~ 700   |
|       | 中密、密实                  | 1400 ~ 2200  | 2100 ~ 3000     | 3000 ~ 3800      | 3800 ~ 4600  | 400 ~ 500        | 700 ~ 800   | 800 ~ 900   | 900 ~ 1100  |
| 细 砂   |                        | 2500 ~ 3800  | 3600 ~ 4800     | 4400 ~ 5700      | 5300 ~ 6500  | 550 ~ 650        | 900 ~ 1000  | 1000 ~ 1200 | 1200 ~ 1500 |
| 中 砂   | 中密、密实                  | 3600 ~ 5100  | 5100 ~ 6300     | 6300 ~ 7200      | 7000 ~ 800   | 850 ~ 950        | 1300 ~ 1400 | 1600 ~ 1700 | 1700 ~ 1900 |
| 粗 砂   |                        | 5700 ~ 7400  | 7400 ~ 8400     | 8400 ~ 9500      | 9500 ~ 10300 | 1400 ~ 1500      | 2000 ~ 2200 | 2300 ~ 2400 | 2300 ~ 2500 |
| 砾 砂   |                        | 6300 ~ 10500 |                 |                  |              | 1500 ~ 2500      |             |             |             |
| 角砾、圆砾 | 中密、密实                  | 7400 ~ 11600 |                 |                  |              | 1800 ~ 2800      |             |             |             |
| 碎石、卵石 |                        | 8400 ~ 12700 |                 |                  |              | 2000 ~ 3000      |             |             |             |

续表

| 土的名称  | 土的状态<br>桩型             | 沉管灌注桩入土深度(m) |             |             |             | 干作业钻孔桩入土深度(m) |             |             |  |
|-------|------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|--|
|       |                        | 5            | 10          | 15          | $h > 15$    | 5             | 10          | 15          |  |
| 粘性土   | $0.75 < I_L \leq 1$    | 400 ~ 600    | 600 ~ 750   | 750 ~ 1000  | 1000 ~ 1400 | 200 ~ 400     | 400 ~ 700   | 700 ~ 950   |  |
|       | $0.50 < I_L \leq 0.75$ | 670 ~ 1100   | 1200 ~ 1500 | 1500 ~ 1800 | 1800 ~ 2000 | 420 ~ 630     | 740 ~ 950   | 950 ~ 1200  |  |
|       | $0.25 < I_L \leq 0.50$ | 1300 ~ 2200  | 2300 ~ 2700 | 2700 ~ 3000 | 3000 ~ 3500 | 850 ~ 1100    | 1500 ~ 1700 | 1700 ~ 1900 |  |
|       | $0 < I_L \leq 0.25$    | 2500 ~ 2900  | 3500 ~ 3900 | 4000 ~ 4500 | 4200 ~ 5000 | 1600 ~ 1800   | 2200 ~ 2400 | 2600 ~ 2800 |  |
| 粉土    | $0.75 \leq e \leq 0.9$ | 1200 ~ 1600  | 1600 ~ 1800 | 1800 ~ 2100 | 2100 ~ 2600 | 600 ~ 1000    | 1000 ~ 1400 | 1400 ~ 1600 |  |
|       | $e \leq 0.75$          | 1800 ~ 2200  | 2200 ~ 2500 | 2500 ~ 3000 | 3000 ~ 3500 | 1200 ~ 1700   | 1400 ~ 1900 | 1600 ~ 2100 |  |
| 粉砂    | 稍密                     | 800 ~ 1300   | 1300 ~ 1800 | 1800 ~ 2000 | 2000 ~ 2400 | 500 ~ 900     | 1000 ~ 1400 | 1500 ~ 1700 |  |
|       | 中密、密实                  | 1300 ~ 1700  | 1800 ~ 2400 | 2400 ~ 2800 | 2800 ~ 3600 | 850 ~ 1000    | 1500 ~ 1700 | 1700 ~ 1900 |  |
| 细砂    |                        | 1800 ~ 2200  | 3000 ~ 3400 | 3500 ~ 3900 | 4000 ~ 4900 | 1200 ~ 1400   | 1900 ~ 2100 | 2200 ~ 2400 |  |
| 中砂    |                        | 2800 ~ 3200  | 4400 ~ 5000 | 5200 ~ 5500 | 5500 ~ 7000 | 1800 ~ 2000   | 2800 ~ 3000 | 3300 ~ 3500 |  |
| 粗砂    |                        | 4500 ~ 5000  | 6700 ~ 7200 | 7700 ~ 8200 | 8400 ~ 9000 | 2900 ~ 3200   | 4200 ~ 4600 | 4900 ~ 5200 |  |
| 砾砂    |                        | 5000 ~ 8400  |             |             |             | 3200 ~ 5300   |             |             |  |
| 角砾、圆砾 | 中密、密实                  | 5900 ~ 9200  |             |             |             |               |             |             |  |
| 碎石、卵石 |                        | 6700 ~ 10000 |             |             |             |               |             |             |  |

注:①砂土和碎石类土中桩的极限端阻力取值,要综合考虑土的密实度,桩端进入持力层的深度比  $h_b/d$  ( $h_b$  为桩

端进入持力层深度,  $d$  为桩径), 土愈密实,  $h_b/d$  愈大, 取值愈高。

②表中沉管灌注桩系指带预制桩尖沉管灌注桩。

干作业桩(清底干净,  $D = 800\text{mm}$ ) 极限端阻力标准值  $q_{pk}$  (kPa)

表 6-7

| 土的名称    |       | 状 态                    |                     |              |
|---------|-------|------------------------|---------------------|--------------|
| 粘性土     |       | $0.25 < I_L \leq 0.75$ | $0 < I_L \leq 0.25$ | $I_L \leq 0$ |
|         |       | 800 ~ 1800             | 1800 ~ 2400         | 2400 ~ 3000  |
| 粉 土     |       | $0.75 < e \leq 0.9$    | $e \leq 0.75$       |              |
|         |       | 1000 ~ 1500            | 1500 ~ 2000         |              |
| 砂土、碎石类土 |       | 稍 密                    | 中 密                 | 密 实          |
|         | 粉 砂   | 500 ~ 700              | 800 ~ 1100          | 1200 ~ 2000  |
|         | 细 砂   | 700 ~ 1100             | 1200 ~ 1800         | 2000 ~ 2500  |
|         | 中 砂   | 1000 ~ 2000            | 2200 ~ 3200         | 3500 ~ 5000  |
|         | 粗 砂   | 1200 ~ 2200            | 2500 ~ 3500         | 4000 ~ 5500  |
|         | 砾 砂   | 1400 ~ 2400            | 2600 ~ 4000         | 5000 ~ 7000  |
|         | 圆砾、角砾 | 1600 ~ 3000            | 3200 ~ 5000         | 6000 ~ 9000  |
|         | 卵石、碎石 | 2000 ~ 3000            | 3300 ~ 5000         | 7000 ~ 11000 |

注:① $q_{pk}$ 取值宜考虑桩端持力层土的状态及桩进入持力层的深度效应,当进入持力层深度  $h_b$  为:  $h_b \leq D$ ,  $D < h_b < 4D$ ,  $h_b \geq 4D$ ;  $q_{pk}$ 可分别取较低值、中值、较高值。

②砂土密实度可根据标贯击数  $N$  判定,  $N \leq 10$  为松散,  $10 < N \leq 15$  为稍密,  $15 < N \leq 30$  为中密,  $N > 30$  为密实。

③当对沉降要求不严时,可适当提高  $q_{pk}$  值。

1 大直径灌注桩侧阻力尺寸效应系数  $\psi_{si}$ 、端阻力尺寸效应系数 $\psi_p$ 

表 6-8

| 土的类别        | 粘性土、粉土                  | 砂土、碎石类土                 |
|-------------|-------------------------|-------------------------|
| $\psi_{si}$ | 1                       | $(\frac{0.8}{d})^{1/3}$ |
| $\psi_p$    | $(\frac{0.8}{D})^{1/4}$ | $(\frac{0.8}{D})^{1/3}$ |

注:表中  $D$  为桩端直径,  $d$  为桩直径。

5. 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定钢管桩单桩

竖向极限承载力标准值时,可按下式计算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = \lambda_s u \sum q_{sik} l_i + \lambda_p q_{pk} A_p \quad (6-24)$$

$$\text{当 } h_b/d_s < 5 \text{ 时} \quad \lambda_p = 0.16 \frac{h_b}{d_s} \cdot \lambda_s \quad (6-25)$$

$$\text{当 } h_b/d_s \geq 5 \text{ 时} \quad \lambda_p = 0.8 \cdot \lambda_s \quad (6-26)$$

式中  $q_{sik}$ 、 $q_{pk}$ ——取与混凝土预制桩相同值(表6-5、表6-6);

$\lambda_p$ ——桩端闭塞效应系数,对于闭口钢管桩  $\lambda_p = 1$ ,对于敞口钢管桩宜按式(6-25)、(6-26)取值;

$h_b$ ——桩端进入持力层深度;

$d_s$ ——钢管桩外直径;

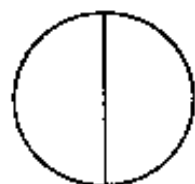
$\lambda_s$ ——侧阻挤土效应系数,对于闭口钢管桩  $\lambda_s = 1$ ,敞口钢管桩  $\lambda_s$  宜按表6-9确定。

敞口钢管桩侧阻挤土效应系数  $\lambda_s$

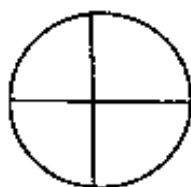
表 6-9

| $d_s$ (mm)  | $\leq 600$ | 700  | 800  | 900  | 1000 |
|-------------|------------|------|------|------|------|
| $\lambda_s$ | 1.00       | 0.93 | 0.87 | 0.82 | 0.77 |

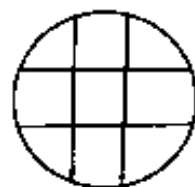
对于带隔板的半敞口钢管桩,以等效直径  $d_e$  代替  $d_s$  确定  $\lambda_s$ 、 $\lambda_p$ ;  $d_e = d_s/\sqrt{n}$ ; 其中  $n$  为桩端隔板分割数(如图6-3)。



$n=2$



$n=4$



$n=9$

图 6-3 隔板分割

6. 嵌岩桩单桩竖向极限承载力标准值,由桩周土总侧阻、嵌岩段总侧阻和总端阻三部分组成。当根据室内试验结果确定单桩竖向极限承载力标准值时,可按下式计算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{rk} + Q_{pk} \quad (6-27)$$

$$Q_{sk} = u \sum_{i=1}^n \xi_{si} q_{sik} l_i \quad (6-28)$$

$$Q_{rk} = u \xi_r f_{rc} h_r \quad (6-29)$$

$$Q_{pk} = \xi_p f_{rc} A_p \quad (6-30)$$

式中  $Q_{sk}$ 、 $Q_{sk}$ 、 $Q_{pk}$ ——分别为土的总极限侧阻力、嵌岩段总极限侧阻力、总极限端阻力标准值(kN)；

$\xi_{si}$ ——覆盖层第  $i$  层土的侧阻力发挥系数；当桩的长径比不大( $l/d < 30$ )，桩端置于新鲜或微风化硬质岩中且桩底无沉渣时，对于粘性土、粉土，取  $\xi_{si} = 0.8$ ，对于砂类土及碎石类土，取  $\xi_{si} = 0.7$ ；对于其他情况，取  $\xi_{si} = 1$ ；

$q_{sik}$ ——桩周第  $i$  层土的极限侧阻力标准值，根据成桩工艺按表 6-5 取值(kPa)；

$f_{rc}$ ——岩石饱和单轴抗压强度标准值(kPa)，对于粘土质岩取天然湿度单轴抗压强度标准值；

$h_r$ ——桩身嵌岩(中等风化、微风化、新鲜基岩)深度(m)，超过  $5d$  时，取  $h_r = 5d$ ；当岩层表面倾斜时，以坡下方的嵌岩深度为准；

$\xi_s$ 、 $\xi_p$ ——嵌岩段侧阻力和端阻力修正系数，与嵌岩深径比  $h_r/d$  有关，按表 6-10 采用。

嵌岩段侧阻和端阻修正系数

表 6-10

| 嵌岩深径比 $h_r/d$  | 0.0   | 0.5   | 1     | 2     | 3     | 4     | $\geq 5$ |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 侧阻修正系数 $\xi_s$ | 0.000 | 0.025 | 0.055 | 0.070 | 0.065 | 0.062 | 0.050    |
| 端阻修正系数 $\xi_p$ | 0.500 | 0.500 | 0.400 | 0.300 | 0.200 | 0.100 | 0.000    |

注：当嵌岩段为中等风化岩时，表中数值乘以 0.9 折减。

7. 对于桩身周围有液化土层的低承台桩基，当承台下有不小于 1m 厚的非液化或非软弱土时，土层液化对单桩极限承载力的影响可将液化土层极限侧阻标准值乘以土层液化折减系数计算单桩极限承载力标准值。土层液化折减系数  $\psi_L$  按表 6-11 确定。

土层液化折减系数  $\psi_L$

表 6-11

| 序号 | $\lambda_N = \frac{N_{63.5}}{N_{cr}}$ | 自地面算起的液化土层深度 $d_L$ (m) | $\psi_L$ |
|----|---------------------------------------|------------------------|----------|
| 1  | $\lambda_N \leq 0.6$                  | $d_L \leq 10$          | 0        |
|    |                                       | $d_L > 10$             | 1/3      |

| 序号 | $\lambda_N = \frac{N_{63.5}}{N_{cr}}$ | 自地面算起的液化<br>上层深度 $d_L$ (m) | $\psi_L$ |
|----|---------------------------------------|----------------------------|----------|
| 2  | $0.6 < \lambda_N \leq 0.8$            | $d_L \leq 10$              | 1/3      |
|    |                                       | $d_L > 10$                 | 2/3      |
| 3  | $0.8 < \lambda_N \leq 1.0$            | $d_L \leq 10$              | 2/3      |
|    |                                       | $d_L > 10$                 | 1.0      |

注:① $N_{63.5}$ 为饱和土标准贯入击数实测值; $N_{cr}$ 为液化判别标准贯入击数临界值;

②对于挤土桩,当桩距小于 $4d$ ,且桩的排数不少于5排、总桩数不少于25根时,上层液化折减系数可取 $2/3 \sim 1$ 。

当承台底非液化土层厚度小于1m时,土层液化折减系数按表6-11降低一档取值。

#### (四)特殊条件下桩基竖向承载力验算

1. 当桩端平面以下受力层范围内存在软弱下卧层时,应按下列规定验算软弱下卧层的承载力。

(1)对于桩距 $s_a \leq 6d$ 的群桩基础,按下列公式验算:

$$\sigma_z + \gamma_i z \leq q_{uk}^* / \gamma_q \quad (6-31)$$

$$\sigma_z = \frac{\gamma_0 (F + G) - 2(A_0 + B_0) \cdot \sum q_{uk} l_i}{(A_0 + 2t \cdot \tan\theta)(B_0 + 2t \cdot \tan\theta)} \quad (6-32)$$

式中  $\sigma_z$ ——作用于软弱下卧层顶面的附加应力(kPa),如图6-4a;

$\gamma_i$ ——软弱层顶面以上各土层重度按土层厚度计算的加权平均值(kN/m<sup>3</sup>);

$z$ ——地面至软弱层顶面的深度(m);

$q_{uk}^*$ ——软弱下卧层经深度修正的地基极限承载力标准值(kPa);

$\gamma_q$ ——地基承载力分项系数,取 $\gamma_q = 1.65$ ;

$s_a$ ——桩中心距(m);

$d$ ——桩身设计直径(m);

$F$ ——作用于桩基承台顶面的竖向力设计值(kN);



$G$ ——桩基承台和承台上土自重设计值(kN)；

$q_{sik}$ ——用静力触探比贯入阻力值估算的桩周第  $i$  层土的极限侧阻力标准值(kPa)；

$l_i$ ——桩穿越第  $i$  层土的厚度(m)；

$t$ ——硬持力层厚度(m)；

$\gamma_0$ ——桩基重要性系数,按建筑桩基安全等级确定,对于一、二、三级分别取  $\gamma_0 = 1.1、1.0、0.9$ ;对于柱下单桩按提高一级考虑;对于柱下单桩的一级建筑桩基取  $\gamma_0 = 1.2$ ;

$A_0、B_0$ ——桩群外缘矩形面积的长、短边长(m),如图 6-4a;

$\theta$ ——桩端硬持力层压力扩散角,按表 6-12 取值。

桩端硬持力层压力扩散角  $\theta$

表 6-12

| $E_{s1}/E_{s2}$ | $t = 0.25B_0$ | $t \geq 0.50B_0$ |
|-----------------|---------------|------------------|
| 1               | 4°            | 12°              |
| 3               | 6°            | 23°              |
| 5               | 10°           | 25°              |
| 10              | 20°           | 30°              |

注:① $E_{s1}、E_{s2}$ 为硬持力层、软下卧层的压缩模量;

②当  $t < 0.25B_0$  时,  $\theta$  降低取值。

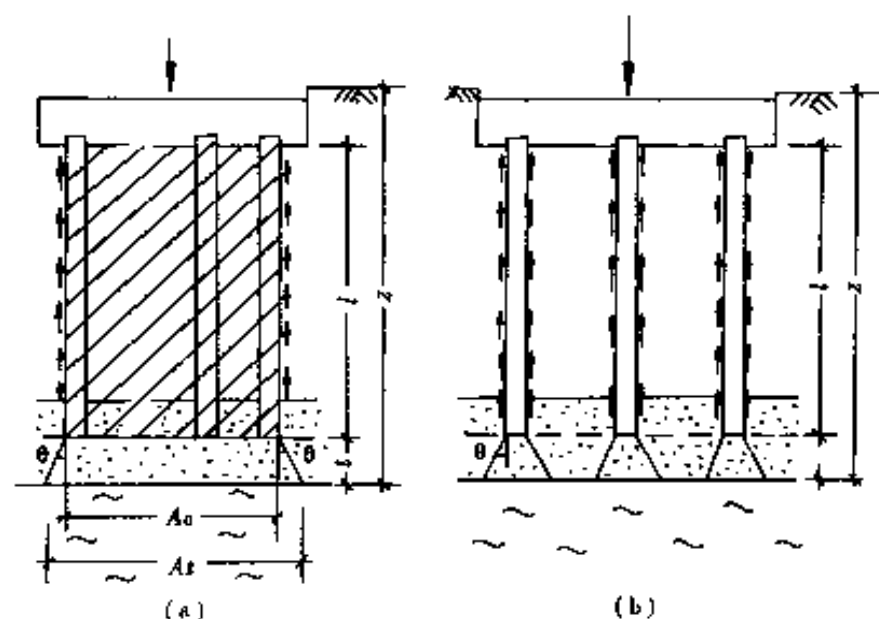


图 6-4 软弱下卧层承载力验算

(2) 对于桩距  $s_a < 6d$ 、且硬持力层厚度  $t < (s_a - D_e) \cdot \cot\theta/2$  的群桩基础 (图 6-4b), 以及单桩基础, 按式 (6-31) 验算软弱下卧层的承载力时, 其  $\sigma_z$  按下式确定:

$$\sigma_z = \frac{4(\gamma_0 N - u \sum q_{sk} l_i)}{\pi(D_e + 2t \cdot \tan\theta)^2} \quad (6-33)$$

式中  $N$ ——桩顶轴向压力设计值(kN);

$D_e$ ——桩端等代直径(m), 对于圆形桩端,  $D_e = D$ ; 方形桩,  $D_e = 1.13b$  ( $b$  为桩的边长); 按表 6-12 确定  $\theta$  时,  $B_0 = D_e$ ;

$D$ ——桩端扩底设计直径(m);

$u$ ——桩身周长(m)。

2. 桩周土沉降可能引起桩侧负摩阻力时, 应根据工程具体情况考虑负摩阻力对桩基承载力和沉降的影响; 当缺乏可参照的工程经验时, 可按下列规定验算。

(1) 对于摩擦型基桩取桩身计算中性点以上侧阻力为零, 按下式验算基桩承载力:

$$\gamma_0 N \leq R \quad (6-34)$$

(2) 对于端承型基桩除应满足上式要求外, 尚应考虑负摩阻力引起基桩的下拉荷载  $Q_g^n$ , 按下式验算基桩承载力:

$$\gamma_0 (N + 1.27 Q_g^n) \leq 1.6 R \quad (6-35)$$

式中  $R$ ——基桩的竖向承载力设计值(kN), 只计中性点以下部分侧阻值及端阻值;

$Q_g^n$ ——下拉荷载(kN), 按公式 6-40 确定。

(3) 当土层不均匀或建筑物对不均匀沉降较敏感时, 尚应将负摩阻力引起的下拉荷载计入附加荷载验算桩基沉降。

3. 桩侧负摩阻力及其引起的下拉荷载, 当无实测资料时可按下列规定计算。

(1) 单桩负摩阻力标准值可按下列公式计算:

$$q_{sn}^n = \xi_s \sigma'_i \quad (6-36)$$

当降低地下水位时:  $\sigma'_i = \gamma'_i \cdot z_i \quad (6-37)$

$$\text{当地面有满布荷载时: } \sigma'_i = p + \gamma'_i \cdot z_i \quad (6-38)$$

式中  $q_{si}^n$ ——第  $i$  层土桩侧负摩阻力标准值(kPa);

$\xi_n$ ——桩周土负摩阻力系数,可按表 6-13 取值;

$\sigma'_i$ ——桩周第  $i$  层土平均竖向有效应力(kPa);

$\gamma'_i$ ——第  $i$  层土层底以上桩周土按厚度计算的加权平均有效重度(kN/m<sup>3</sup>);

$z_i$ ——自地面起算的第  $i$  层土中点深度(m);

$p$ ——地面均布荷载(kPa)。

负摩阻力系数  $\xi_n$

表 6-13

| 土 类     | $\xi_n$     |
|---------|-------------|
| 饱和粘土    | 0.15 ~ 0.25 |
| 粘性土、粉土  | 0.25 ~ 0.40 |
| 砂 土     | 0.35 ~ 0.50 |
| 自重湿陷性黄土 | 0.20 ~ 0.35 |

注:①在同一类土中,对于打入桩或沉管灌注桩,取表中较大值,对于钻(冲)挖孔灌注桩,取表中较小值;

②填土按其组成取表中同类土的较大值;

③当  $q_{si}^n$  计算值大于正摩阻力时,取正摩阻力值。

对于砂类土,也可按下式估算负摩阻力标准值:

$$q_{si}^n = \frac{N_i}{5} + 3 \quad (6-39)$$

式中  $N_i$ ——桩周第  $i$  层土经钻杆长度修正的平均标准贯入试验击数。

(2)群桩中任一基桩的下拉荷载标准值可按下式计算:

$$Q_g^n = \eta_n \cdot u \sum_{i=1}^n q_{si}^n l_i \quad (6-40)$$

$$\eta_n = s_{ax} \cdot s_{ny} \frac{1}{[\pi d (\frac{q_{sn}^n}{\gamma'_{sn}} + \frac{d}{4})]} \quad (6-41)$$

式中  $Q_g^n$ ——基桩的下拉荷载标准值(kN);

$n$ ——中性点以上土层数;

$l_i$ ——中性点以上各土层的厚度(m);

$\eta_n$ ——负摩阻力桩群效应系数;

$s_{ax}, s_{ay}$ ——分别为纵横向桩的中心距(m);

$q_s^n$ ——中性点以上桩的平均负摩阻力标准值(kPa);

$\gamma'_m$ ——中性点以上桩周土加权平均有效重度(kN/m<sup>3</sup>)。

注:对于单桩基础或按式(6-41)计算群桩基础的 $\eta_n > 1$ 时,取 $\eta_n = 1$ 。

(3) 中性点深度 $l_n$ 应按桩周土层沉降与桩沉降相等的条件计算确定,也可参照表6-14确定。

中性点深度 $l_n$

表6-14

| 持力层性质            | 粘性土、粉土  | 中密以上砂   | 砾石、卵石 | 基岩  |
|------------------|---------|---------|-------|-----|
| 中性点深度比 $l_n/l_0$ | 0.5~0.6 | 0.7~0.8 | 0.9   | 1.0 |

注:① $l_n, l_0$ ——分别为中性点深度和桩周沉降变形土层下限深度;

②桩穿越自重湿陷性黄土层时, $l_n$ 按表列值增大10%(持力层为基岩除外)。

4. 承受拔力的桩基,应按下列公式同时验算群桩基础及其基桩的抗拔承载力,并按现行《混凝土结构设计规范》GBJ10 验算基桩材料的受拉承载力。

$$\gamma_0 N \leq U_{pk} / \gamma_s + G_{gp} \quad (6-42)$$

$$\gamma_0 N \leq U_k / \gamma_s + G_p \quad (6-43)$$

式中  $N$ ——基桩上拔力设计值(kN);

$U_{pk}$ ——群桩呈整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值(kN),根据公式(6-45)确定;

$U_k$ ——基桩的抗拔极限承载力标准值(kN),根据公式(6-44)确定;

$\gamma_s$ ——桩侧阻力分项系数;

$G_{gp}$ ——群桩基础所包围体积的桩土总自重设计值除以总桩数(kN),地下水位以下取浮重度;

$G_p$ ——基桩(土)自重设计值(kN),地下水位以下取浮重度,对于扩底桩应按表6-15确定桩、土柱体周长,计算桩、土自重设计值。

5. 群桩基础及其基桩的抗拔极限承载力标准值应按下列规定确定。

(1) 对于一级建筑桩基,基桩的抗拔极限承载力标准值应通过现场单桩上拔静载荷试验确定。

(2) 对于二、三级建筑桩基,如无当地经验时,群桩基础及基桩的抗拔极限承载力标准值可按下列规定计算:

a. 单桩或群桩呈非整体破坏时,基桩的抗拔极限承载力标准值可按下列式计算:

$$U_k = \sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i \quad (6-44)$$

式中  $U_k$ ——基桩抗拔极限承载力标准值(kN);

$u_i$ ——破坏表面周长(m),对于等直径桩取  $u = \pi d$ ;对于扩底桩按表 6-15 取值;

$q_{sik}$ ——桩侧表面第  $i$  层土的抗压极限侧阻力标准值(kPa),可按表 6-5 取值;

$\lambda_i$ ——抗拔系数,按表 6-16 取值。

扩底桩破坏表面周长  $u_i$

表 6-15

| 自桩底起算的长度 $l_i$ | $\leq 5d$ | $> 5d$  |
|----------------|-----------|---------|
| $u_i$          | $\pi D$   | $\pi d$ |

抗拔系数  $\lambda_i$

表 6-16

| 土 类    | $\lambda_i$ 值 |
|--------|---------------|
| 砂 土    | 0.50 ~ 0.70   |
| 粘性土、粉土 | 0.70 ~ 0.80   |

注:桩长  $l$  与桩径  $d$  之比小于 20 时,  $\lambda_i$  取小值。

b. 群桩呈整体破坏时,基桩的抗拔极限承载力标准值可按下列式计算:

$$U_{sk} = \frac{1}{n} u_l \sum \lambda_i q_{sik} l_i \quad (6-45)$$

式中  $u_l$ ——桩群外围周长(m)。

6. 季节性冻土上轻型建筑的短桩基础,应按下式验算其抗冻拔稳定性:

$$\eta_f q_f u z_0 \leq \frac{U_k}{\gamma_s} + N_G + G_p \quad (6-46)$$

式中  $\eta_f$ ——冻深影响系数,按表 6-17 采用;  
 $q_f$ ——切向冻胀力设计值(kPa),按表 6-18 采用;  
 $z_0$ ——季节性冻土的标准冻深(m);  
 $N_G$ ——按基本组合计算的桩顶永久荷载产生的轴向力设计值(kN);  
 $U_k$ ——标准冻深线以下单桩的抗拔极限承载力标准值(kN),按公式 6-44 确定。

$\eta_f$  值

表 6-17

| 标准冻深(m)  | $z_0 \leq 2.0$ | $2.0 < z_0 \leq 3.0$ | $z_0 > 3.0$ |
|----------|----------------|----------------------|-------------|
| $\eta_f$ | 1.0            | 0.9                  | 0.8         |

$q_f$  (kPa) 值

表 6-18

| 冻胀性分类<br>土类            | 弱冻胀     | 冻 胀     | 强冻胀      | 特强冻胀      |
|------------------------|---------|---------|----------|-----------|
| 粘性土、粉土                 | 30 ~ 60 | 60 ~ 80 | 80 ~ 120 | 120 ~ 150 |
| 砂土、砾(碎)石(粘、粉粒含量 > 15%) | < 10    | 20 ~ 30 | 40 ~ 80  | 90 ~ 200  |

注:①表面粗糙的灌注桩,表中数值应乘以系数 1.1 ~ 1.3;

②本表不适用于含盐量大于 0.5% 的冻土。

7. 膨胀土上轻型建筑的短桩基础,应按下式验算其抗拔稳定性:

$$u \sum q_{ei} l_{ei} \leq \frac{U_k}{\gamma_s} + N_G + G_p \quad (6-47)$$

式中  $U_k$ ——大气影响急剧层下稳定土层中桩的抗拔极限承载力标准值(kN),按公式 6-44 确定;

$q_{ei}$ ——大气影响急剧层中第  $i$  层土的极限胀切力设计值(kPa)(取标准值乘以荷载分项系数  $\gamma_c = 1.27$ )由现场浸水试验确定;

$l_{ei}$ ——大气影响急剧层中第  $i$  层上的厚度(m)。

## 七、民用建筑施工测量

### (一) 距离测量计算

#### 1. 钢尺检定

在建筑施工测量中常用钢尺量距。钢尺因材料和刻画误差的影响,其实际长度往往不等于名义长度(尺上所注的长度),这样就需要加尺长改正数。钢尺受到不同的拉力,也会使尺长改变。为避免拉力改正,则使用时都采用标准拉力,即30m钢尺拉力为100N、50m钢尺拉力为150N。钢尺的长度还会在不同温度条件下改变。因此,必须采用以温度 $t$ 为变量的函数式来表示尺长,这就是尺长方程式。其一般形式为:

$$l_t = l_0 + \Delta l + \alpha(t - t_0)l_0 \quad (7-1)$$

式中  $l_t$ ——钢尺在温度 $t^\circ\text{C}$ 时的实际长度(m);

$l_0$ ——钢尺的名义长度(m);

$\Delta l$ ——尺长改正数,即钢尺在温度 $t_0$ 时的改正数, $\Delta l = l_t - l_0$ (m);

$\alpha$ ——钢尺的膨胀系数,一般钢卷尺当温度变化 $1^\circ\text{C}$ 时为 $11.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ;不锈钢卷尺为 $14.0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ;

$t_0$ ——钢尺检定时的温度( $^\circ\text{C}$ );

$t$ ——钢尺使用时的温度( $^\circ\text{C}$ )。

较精确的钢尺出厂时必须经过检定,注明钢尺检定的温度、拉力和尺长。但钢尺经过长期使用,尺长方程式中的 $\Delta l$ 会起变化,故钢尺使用一个时期后必须重新检定,以求得新的尺长方程式。

钢尺的检定周期为1年,检定项目共3项,见表7-1。

钢尺检定标准:标准温度为 $20^\circ\text{C}$ ;标准拉力为49N;尺长允许误差(平量法)见表7-2。

钢尺检定项目

表 7-1

| 序号 | 检定项目       | 检定类别 |     |
|----|------------|------|-----|
|    |            | 新制的  | 使用中 |
| 1  | 外观及各部分相互作用 | +    | +   |
| 2  | 线纹宽度       | +    | -   |
| 3  | 示值误差       | +    | +   |

注:表中“+”表示应检定;“-”表示可不检定。

钢尺尺长允许误差

表 7-2

| 等级<br>规格 | I 级                                     | II 级                                    |
|----------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
|          | $\Delta = \pm (0.1 + 0.1L) (\text{mm})$ | $\Delta = \pm (0.3 + 0.2L) (\text{mm})$ |
| 30m      | $\pm 3.1 \text{mm}$                     | $\pm 6.3 \text{mm}$                     |
| 50m      | $\pm 5.1 \text{mm}$                     | $\pm 10.3 \text{mm}$                    |

注: $\Delta$ ——尺长允许误差(mm);

$L$ ——钢尺长度(m)。

钢尺检定方法:

(1)比长检长法,是指被检定钢尺与检定过已有尺长方程式的钢尺进行比较。检定时宜在阴天或背阴处进行,使温度变化不大。将两尺并排放在地面上,在钢尺的起始端同时施加标准拉力,并将两尺末端的刻度对齐,在零分划附近读出两尺的差数。当两钢尺的膨胀系数相同时,根据标准尺的尺长方程式推算出被检定钢尺的尺长方程式。

【例 7-1】 标准钢尺的尺长方程式为:

$$l_{t1} = 30 + 0.004 + 1.2 \times 10^{-5} \times (t - 20) \times 30 (\text{m})$$

被检定钢尺名义长度也为 30m,比较时的温度为 24℃。当两尺使用标准拉力比较,被检测钢尺比标准钢尺短 0.007m。试推算被检定钢尺的尺长方程式。

【解】  $l_{t1} = l_{t0} + 0.007 (\text{m})$

$$l_{t0} = 30 + 0.004 + 1.2 \times 10^{-5} \times (24 - 20) \times 30 - 0.007 = 30 - 0.00156 (\text{m})$$



被检定钢尺的尺长方程式为:

$$l_{t_0} = 30 - 0.00156 + 1.2 \times 10^{-5} \times (24 - t_0) \times 30 (\text{m})$$

不考虑尺长改正数  $\Delta l$  因温度升高的变化,其被检定钢尺的尺长方程式中,检定时的温度换算以  $20^\circ\text{C}$  为准,则尺长方程式为:

$$l_{t_0} = 30 + 0.004 + 1.2 \times 10^{-5} \times (t - 20) \times 30 - 0.007 (\text{m})$$

$$l_{t_0} = 30 - 0.003 + 1.2 \times 10^{-5} \times (t - 20) \times 30 (\text{m})$$

(2) 在已知长度的两固定点间量距法,是在专业比尺场进行,  $AB$  两点间直线距离用标准钢尺,按精密量距法多次往返丈量,求其平均值  $D$  作为该基准线的真实长度。再将被检定钢尺用同法丈量,求其平均值  $D'$ 。被检定钢尺每量  $1\text{m}$  的尺长改正数为  $\frac{D - D'}{D'}$ 。若被检定钢尺的名义长度为  $l_0$ ,则该钢尺的尺长改正数为  $\Delta l = \frac{D - D'}{D'} l_0$ ,从而求得被检定钢尺的尺长方程式。

【例 7-2】 用标准钢尺丈量基准线真实长度为  $149.969\text{m}$ ,用名义长度为  $30\text{m}$  的被检定钢尺丈量基准线的长度为  $150.014\text{m}$ ,丈量时的平均温度为  $+14^\circ\text{C}$ 。试确定被检定钢尺的尺长方程式。

【解】 长度改正数为:

$$\Delta l = \frac{D - D'}{D'} l_0 = \frac{149.969 - 150.014}{150.014} \times 30 = -0.009 (\text{m})$$

被检定钢尺的尺长方程式为:

$$l_t = 30 - 0.009 + 1.2 \times 10^{-5} \times (t - 14) \times 30 (\text{m})$$

换算成  $20^\circ\text{C}$  检定温度时的尺长方程式为:

$$l_t = 30 - 0.009 + 1.2 \times 10^{-5} \times (20 - 14) \times 30 = 30 - 0.007 (\text{m})$$

$$l_t = 30 - 0.007 + 1.2 \times 10^{-5} \times (t - 20) \times 30 (\text{m})$$

## 2. 钢尺量距的一般方法

钢尺量距的一般方法能够满足精度要求到厘米的一般施工放线丈量的要求。量距至少由两人在两点间边定线边丈量,如图 7-1 所示。

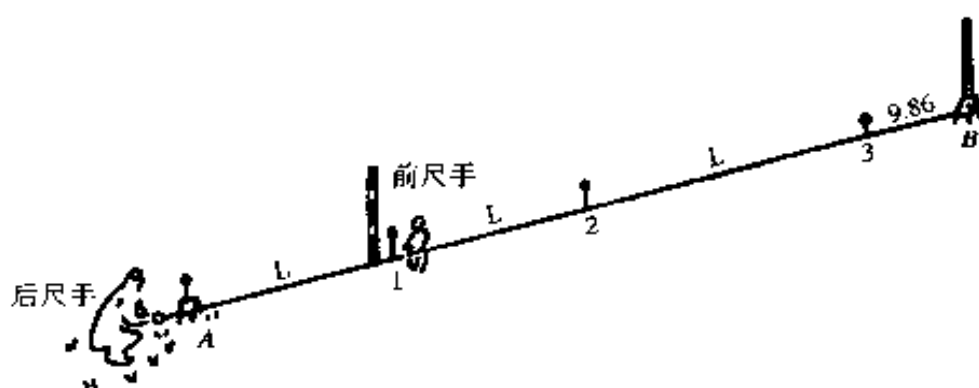


图 7-1 平坦地面距离丈量

平坦地面丈量的水平距离为：

$$l_{AB} = nl + l' \quad (7-2)$$

式中  $l_{AB}$ ——为 AB 两测点之间的水平距离，即往距，若返回 BA 丈量则为

$l_{BA}$ ，称为往返丈量法(m)；

$n$ ——整尺段数；

$l$ ——整尺段长度(m)；

$l'$ ——不足一整尺的余长(m)。

计算精度：

$$\text{较差 } d = |D_{\text{往}} - D_{\text{返}}|$$

$$\text{平均值 } \bar{D} = \frac{1}{2}(D_{\text{往}} + D_{\text{返}})$$

精度

$$K = \frac{d}{\bar{D}} = \frac{1}{\frac{\bar{D}}{d}} \quad (7-3)$$

式中  $D_{\text{往}}$ ——往测值(m)；

$D_{\text{返}}$ ——返测值(m)；

$d$ ——较差，即往返测量的绝对误差值(m)；

$\bar{D}$ ——往、返测平均值(m)；

$K$ ——精度。

倾斜地面距离丈量的斜量法，如图 7-2 所示，其水平距离为：

$$l_{AB} = l \cos \alpha \quad (7-4)$$

$$l_{AB} = \sqrt{l^2 - h^2} \quad (7-5)$$

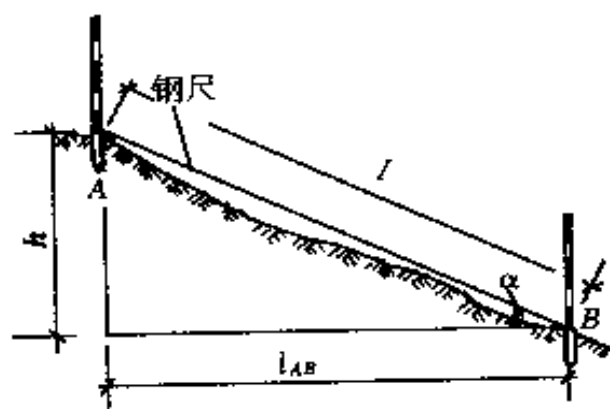


图 7-2 倾斜地丈量距离

### 3. 钢尺量距的精密量距法

精密量距的步骤: 经纬仪定线, 如图 7-3 所示; 水准仪测各桩顶间高差; 钢尺丈量, 如图 7-4 所示。

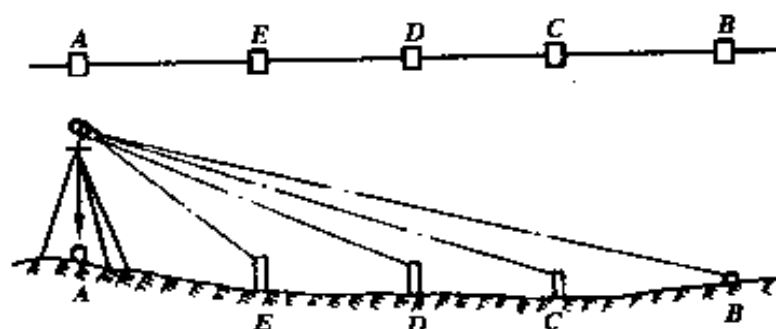


图 7-3 经纬仪定线

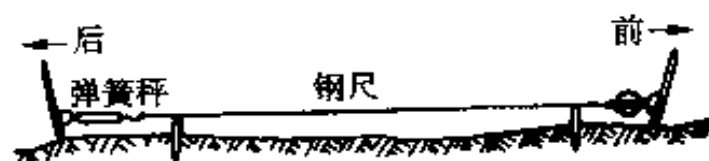


图 7-4 精密丈量读数

测量成果计算:

$$(1) \text{尺长改正数} \quad \Delta D_l = \frac{l_{\text{实}} - l_{\text{名}}}{l_{\text{名}}} D' \quad (7-6)$$

$$(2) \text{温度改正数} \quad \Delta D_t = \alpha (t - t_0) D' \quad (7-7)$$

$$(3) \text{倾斜改正数} \quad \Delta D_h = -\frac{h^2}{2D'} \quad (7-8)$$

$$(4) \text{改正数之和} \quad \Sigma \Delta D = \Delta D_l + \Delta D_t + \Delta D_h \quad (7-9)$$

$$(5) \text{实际距离} \quad D = D' + \sum \Delta D \quad (7-10)$$

式中  $l_n$ ——钢尺名义长(m);  
 $l_{\text{实}}$ ——钢尺实长(m);  
 $D'$ ——名义距离(m);  
 $h$ ——两点间高差(m);  
 $\alpha$ ——钢尺线膨胀系数,一般取  $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ;  
 $t$ ——量距时的温度( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $t_0$ ——钢尺检定时温度( $^{\circ}\text{C}$ )。

【例 7-3】 精密量距记录见表 7-3,试进行丈量成果计算。

【解】 精密量距成果计算见表 7-3。

精密量距记录计算表

表 7-3

| 钢尺号码;No:12      钢尺膨胀系数:0.000012    钢尺检定时温度 $t_0$ :20 $^{\circ}\text{C}$ |          |             |             |             |                              |           |                   |                   |                   |                   |  |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| 钢尺名义长度: $l_0$ :30m    钢尺检定长度 $l'$ :30.005m    钢尺检定时拉力:100N              |          |             |             |             |                              |           |                   |                   |                   |                   |  |
| 尺段<br>编号                                                                | 实测<br>次数 | 前尺读数<br>(m) | 后尺读数<br>(m) | 尺段长度<br>(m) | 温度<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | 高差<br>(m) | 温度<br>改正数<br>(mm) | 倾斜<br>改正数<br>(mm) | 尺长<br>改正数<br>(mm) | 改正后<br>尺段长<br>(m) |  |
| A~1                                                                     | 1        | 29.4350     | 0.0410      | 29.3940     | +25.5                        | +0.36     | +1.9              | -2.2              | +4.9              | 29.3976           |  |
|                                                                         | 2        | 510         | 580         | 930         |                              |           |                   |                   |                   |                   |  |
|                                                                         | 3        | 025         | 105         | 920         |                              |           |                   |                   |                   |                   |  |
|                                                                         | 平均       |             |             | 29.3930     |                              |           |                   |                   |                   |                   |  |
| 1~2                                                                     | 1        | 29.9360     | 0.0700      | 29.8660     | +26.0                        | +0.25     | +2.2              | -1.0              | +5.0              | 29.8714           |  |
|                                                                         | 2        | 400         | 755         | 645         |                              |           |                   |                   |                   |                   |  |
|                                                                         | 3        | 500         | 850         | 650         |                              |           |                   |                   |                   |                   |  |
|                                                                         | 平均       |             |             | 29.8652     |                              |           |                   |                   |                   |                   |  |
| 2~3                                                                     | 1        | 29.9230     | 0.0175      | 29.9055     | +26.5                        | -0.66     | +2.3              | -7.3              | +5.0              | 29.9057           |  |
|                                                                         | 2        | 300         | 250         | 050         |                              |           |                   |                   |                   |                   |  |
|                                                                         | 3        | 380         | 315         | 065         |                              |           |                   |                   |                   |                   |  |
|                                                                         | 平均       |             |             | 29.9057     |                              |           |                   |                   |                   |                   |  |

钢尺号码;No:12      钢尺膨胀系数:0.000012    钢尺检定时温度  $t_0$ :20℃  
 钢尺名义长度: $l_0$ :30m    钢尺检定长度  $l'$ :30.005m    钢尺检定时拉力:100N

| 尺段<br>编号 | 实测<br>次数 | 前尺读数<br>(m) | 后尺读数<br>(m) | 尺段长度<br>(m) | 温度<br>(℃) | 高差<br>(m) | 温度<br>改正数<br>(mm) | 倾斜<br>改正数<br>(mm) | 尺长<br>改正数<br>(mm) | 改正后<br>尺段长<br>(m) |
|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 3~4      | 1        | 29.9235     | 0.0185      | 29.9050     | +27.0     | -0.54     | +2.5              | -4.9              | +5.0              | 29.9083           |
|          | 2        | 305         | 255         | 050         |           |           |                   |                   |                   |                   |
|          | 3        | 380         | 310         | 070         |           |           |                   |                   |                   |                   |
|          | 平均       |             |             | 29.9057     |           |           |                   |                   |                   |                   |
| 4~B      | 1        | 15.9755     | 0.0765      | 15.8990     | +27.5     | +0.42     | +1.4              | -5.5              | +2.6              | 15.8975           |
|          | 2        | 540         | 555         | 985         |           |           |                   |                   |                   |                   |
|          | 3        | 805         | 810         | 995         |           |           |                   |                   |                   |                   |
|          | 平均       |             |             | 15.8990     |           |           |                   |                   |                   |                   |
| 总和       |          |             |             | 134.9686    |           |           | +10.3             | -20.9             | +22.5             | 134.9805          |

注:尺段长度 = 前尺读数 - 后尺读数

## (二) 标高测设计算

### 1. 由已知高程推算未知高程的计算

如图 7-5 所示:  $M$  点的已知高程为  $H_M$ ,  $N$  点的欲求高程为  $H_N$ ,  $a$  为后视读数,  $b$  为前视读数,  $H_i$  为视线高。

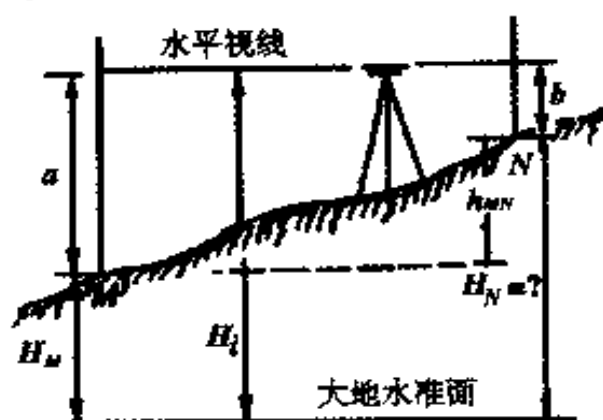


图 7-5 水准测量原理

### (1) 视线高法公式

$$\begin{cases} H_i = H_M + a \\ H_N = H_i - b \end{cases} \quad (7-11)$$

即  $\begin{cases} \text{视线高} = M \text{ 点已知高程} + \text{后视读数} \\ N \text{ 点欲求高程} = \text{视线高} - \text{前视读数} \end{cases}$

### (2) 高差法公式

$$\begin{cases} h_{MN} = a - b \\ H_N = H_M + h_{MN} \end{cases} \quad (7-12)$$

即  $\begin{cases} \text{高差} = \text{后视读数} - \text{前视读数} \\ N \text{ 点欲求高程} = M \text{ 点已知高程} + \text{高差} \end{cases}$

后视读数( $a$ ):水准仪在已知高程点上水准尺的水准读数。

前视读数( $b$ ):水准仪在欲求高程点上水准尺的水准读数。

视线高( $H_i$ ):水准仪视线的高程。

**【例 7-4】**  $M$  点已知高程  $H_M = 53.714\text{m}$ ,  $M$  点上的后视读数  $a = 1.672\text{m}$ ,  $N$  点上的前视读数  $b = 1.102\text{m}$ , 用两种公式计算  $N$  点欲求高程  $H_N = ?$

**【解】** (1) 视线高法

$$H_i = H_M + a = 53.714\text{m} + 1.672\text{m} = 55.386\text{m}$$

$$H_N = H_i - b = 55.386\text{m} - 1.102\text{m} = 54.284\text{m}$$

### (2) 高差法

$$h_{MN} = a - b = 1.672\text{m} - 1.102\text{m} = 0.570\text{m}$$

$$H_N = H_M + h_{MN} = 53.714\text{m} + 0.570\text{m} = 54.284\text{m}$$

## 2. 测设已知高程(设计标高)的计算

根据施工场地附近的水准点,用水准测量的方法,把设计标高在地面上或建筑物的立面上测设并标定出来。例如在平整场地、开挖基槽、定基础、室内地坪、道路、管线高度时均需将设计标高测设在施工现场并设立必要的标志。如图 7-6 所示,即在已知后视点高程和前视点设计高程的条件下,求出前视点标尺应有的读数,并把底部的高度标定出来,该位置就设计标高。

可由两种方法,计算出前视读数。

由仪器高法测设:由式(7-11)  $H_N = H_i - b$

移项可得:

$$b = H_i - H_N \quad (7-13)$$

上式含义是:前视读数 = 仪器视线高 - 设计标高

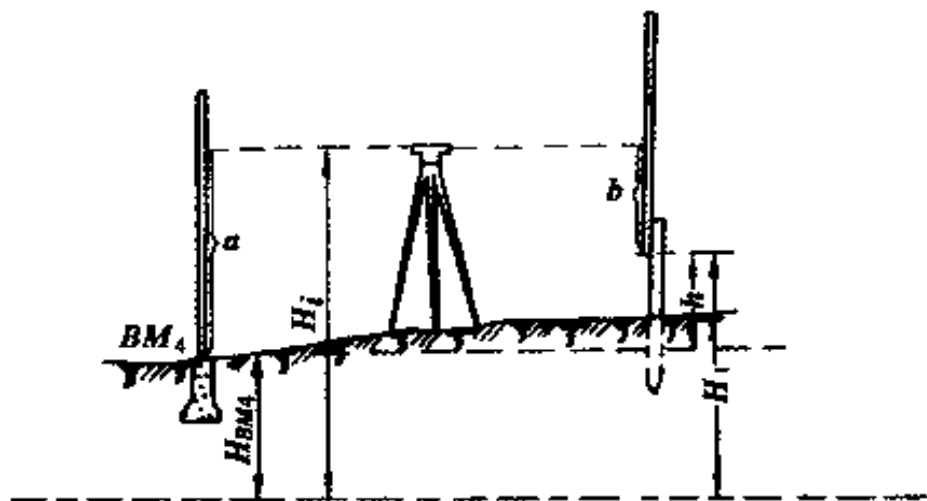


图 7-6 设计标高的测设

由后视读数与两点高差测设:由式(7-12)  $H_N = H_M + (a - b)$

移项可得:

$$b = a - (H_N - H_M) = a - h_{MN} \quad (7-14)$$

上式含义是:前视读数 = 后视读数 - 计算高差。

【例 7-5】 某工程测设设计标高如图 7-6 所示,已知水准点  $BM_4$  的高程  $H_4 = 32.863\text{m}$ ,欲测设出设计标高  $H_i = 34.25\text{m}$  的高程。

【解】 在两点间安置仪器,后视  $BM_4$  点上的标尺读数为  $a = 1.924\text{m}$ ,则视线高为

$$H_i = H_4 + a = 32.863 + 1.924 = 34.787(\text{m})$$

计算设计标高的前视读数,即

$$b = H_i - H_i = 34.787 - 34.25 = 0.537(\text{m})$$

将水准标尺竖立在需测设设计标高处的木桩侧面,观测员指挥扶尺员将水准尺上下缓缓移动,当中丝读数恰好为  $0.537\text{m}$  时停住,通知扶尺员沿尺底在木桩侧面画一条水平线,其水平线就是设计标高的位置。

为检查  $a$ 、 $b$  读数,可用两次仪器高进行校核。

### 3. 控制基坑(槽)开挖深度计算

如图 7-7 所示,当基槽将近挖到槽底标高时,为了控制挖槽深度,通常用测设水平桩控制。在设置水平控制桩时,一般比槽底设计标高高出 0.3 ~ 0.5m,自拐角处 3 ~ 4m 位置设置,在槽壁上每隔一段距离设置一个。

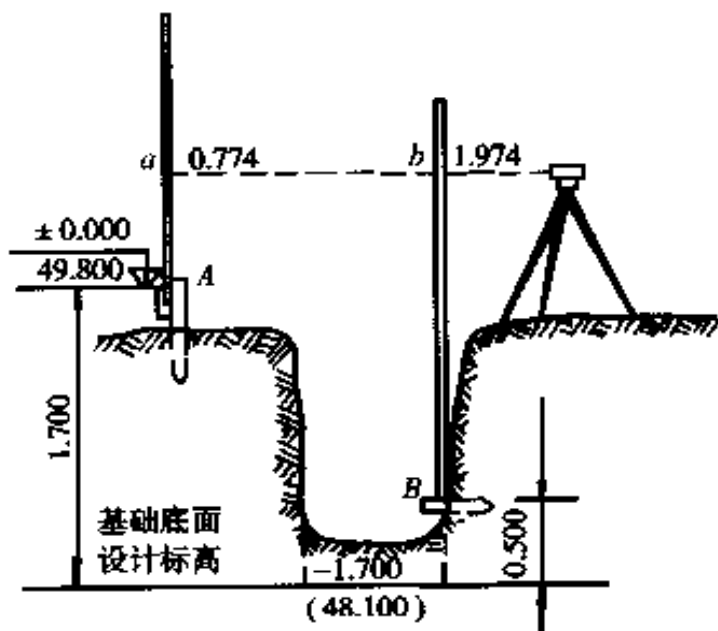


图 7-7 水平横桩测设

计算水平桩的前视读数的公式为:

$$H_B = H_A + a - b \quad (7-15)$$

式中  $H_B$ ——水平桩高;

$H_A$ ——龙门板高程(标高);

$a$ ——后视读数;

$b$ ——前视读数。

即  $b = 49.800 + 0.774 - (48.100 + 0.500) = 1.974(\text{m})$

### 4. 深基础标高传递计算

A 为水准点,为了在深基础底面测设所需高程  $H_B$ ,用悬挂的钢尺(零刻画在下端)代替一根长水准尺,尺子下端挂一锤球,其重相当于钢尺检验时的拉力,用两架水准仪在地面和深坑内进行观测,如图 7-8 所示。

在地面安置水准仪,对 A 标尺读数为  $a_1$ ,对钢尺读数为  $b_1$ ;在坑内安置水准仪,对钢尺读数为  $a_2$ ,对 B 标尺读数为  $b_2$ 。按下式计算:



$$H_B - H_A = h_{AB} = (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2)$$

则

$$b_2 = a_2 + (a_1 - b_1) - h_{AB} \quad (7-16)$$

根据  $b_2$  值,可在  $B$  点定出高程  $H_B$ 。

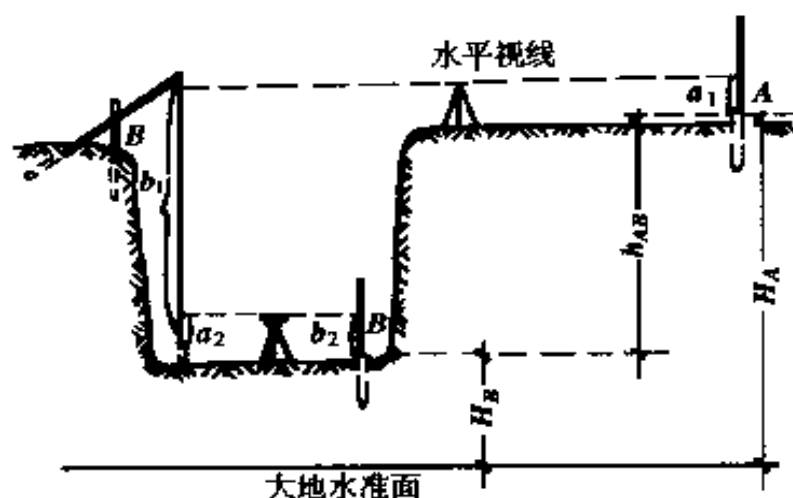


图 7-8 基槽标高传递

### (三) 水平角测设计算

水平角测设,通称测设已知角,是根据一条已知方向线(始边)和一个给定的角值,测出地面上另一条未知方向线(终边),使这条方向线与已知方向线的夹角等于给定的角值。测设已知角是施工定位、放线的核心工作。

#### 1. 经纬仪测设水平角

(1) 水平角值(图 7-9)按下式计算:

$$\text{水平角值}(\beta) = \text{前视读数} - \text{后视读数} (\text{取值范围是 } 0 \sim 360^\circ)$$

(7-17)

$\beta = (+)$  为顺时针角;

$\beta = (-)$  为逆时针角。

水平角是两相交直线在水平面上投影的夹角。后视边是水平角的始边,其读数为后视读数;前视边是水平角的终边,其读数为前视读数。

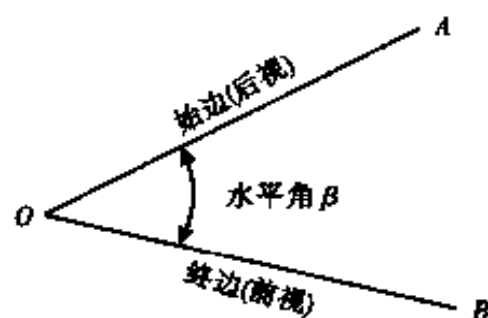


图 7-9 水平角

(2) 测设方法如图 7-10 所示,  $O$  为测设点,  $OA$  为已知边(后视边),  $\beta$  为需要测设的已知数值水平角, 测设角  $\beta$  得  $OB$

方向线(前视边)。

在测设点  $O$  安置经纬仪,盘左照准  $A$  点,读得度盘读数  $\alpha$ (后视读数),顺时针转动望远镜,在读数显微镜中,读得  $\beta + \alpha$ (前视读数),固定望远镜,在前视方向上定出  $B_{左}$  点。

倒转望远镜,盘右照准  $A$  点,顺时针方向转动望远镜,如法在前视方向上定出  $B_{右}$  点。

若  $B_{左}$  与  $B_{右}$  两点间的距离在允许值之内,取  $B_{左}$  与  $B_{右}$  连线的中点  $B$  为前视方向点。因此得  $\angle AOB$  为测设的已知水平角  $\beta$ 。

(3)  $B_{左}$  与  $B_{右}$  两点间距离的允许值根据前视距的长短有不同要求。若设  $O$ 、 $B$  两点的距离为  $100\text{m}$ ,测角误差限定在  $12''$  以内,则:

$$B_{左} B_{右} = 2x = 2 \times 100 \tan 12'' = 2 \times 100 \times 0.000058 = 0.012(\text{m})$$

从上式可知,当前视距离为  $100\text{m}$  时,  $B_{左} B_{右}$  两点间的距离允许值为  $1.2\text{cm}$ ,则前视距离越短,这个限值越小,反之即大。

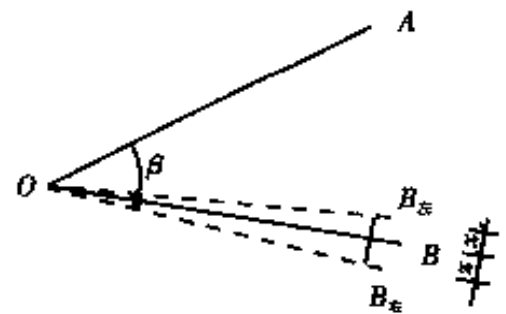


图 7-10 测设水平角

## 2. 水平角的简易测设

(1) 根据勾股定理测设直角,如图 7-11 所示,  $B'C^2 = B'B^2 + BC^2$ ,则利用斜边为 5,一直角边为 4,另一直角为 3 的假设,在已知直角已知点上进行实地距离交会,测设直角。

在已知直线  $AB$  的  $B$  点测设直角,先由  $B$  点量出 3 的倍数长度得  $B'$ ,然后分别以  $B$ 、 $B'$  为圆心,用 4 的倍数长度和 5 的倍数长度为半径画弧,两弧交于  $C$  点,则  $\angle B'BC$  为所测设直角。

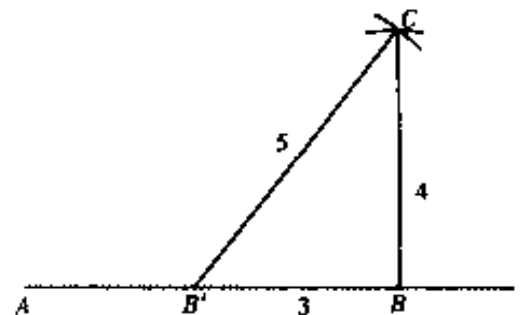


图 7-11 根据勾股定理  
测设直角

(2) 根据三角函数关系测设任意角,如图 7-12 所示的边角关系是:

$$\begin{aligned} BC &= AB \cdot \tan \alpha \quad (\alpha < 90^\circ) \\ \text{或} \quad BC &= AB \cdot \tan(180 - \alpha) \quad (90^\circ < \alpha < 180^\circ) \end{aligned} \quad (7-18)$$

$AB$  为已知线段,  $\alpha$  为已知测设角。先在  $B$  点作直角  $\angle ABC$ , 然后在  $BC$  上量取  $BC = AB \cdot \tan \alpha$ , 连接  $AC$ , 则  $\angle CAB$  为所测设的  $\alpha$  角。

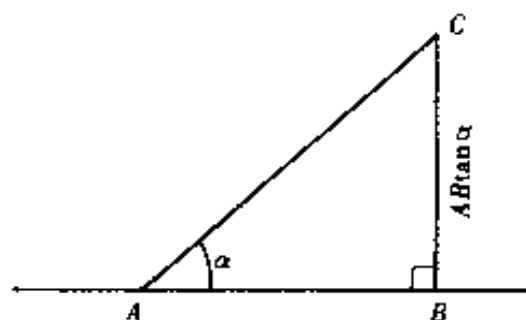


图 7 - 12 测设任意角

# 八、土方工程冬期施工

## (一) 土的冻结深度计算

### 1. 土的冻结深度计算公式

表 8-1

| 地 表 情 况           | 冻结深度计算公式                                                                                                      |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 无雪和草皮覆盖           | $H_0 = 0.28 \sqrt{\sum T_m + 7} - 0.5$                                                                        |
| 无保温               | $H = A(\sqrt{P_0} + 0.018P_0)$                                                                                |
| 松土保温              | $H = A'(\sqrt{P_0} + 0.018P_0)$                                                                               |
| 翻松耙平(深度为:25~30cm) | $H = \alpha(4P - P^2)$                                                                                        |
| 覆雪保温              | $H = A(\sqrt{P_0} + 0.018P_0) - \lambda h_{\text{雪}}$ $H = \frac{60(4P - P^2)}{\beta} - \lambda h_{\text{雪}}$ |

### 2. 表中符号意义

$H_0$ ——在地表无雪和草皮覆盖条件下的全年标准冻结深度(m);

$\sum T_m$ ——低于0℃的月平均气温的累计值(取连续10年以上的年平均值),以正号代入;

$H$ ——土的冻结深度(cm);

$A$ ——系数,对粘土、粉质粘土取2.5;对粉砂、细砂取3.0;

$P_0$ ——冻结指数,  $P_0 = \sum tT$ ;

$t$ ——土的冻结天数(d);

$T$ ——土体冻结期间的室外平均气温(℃),以正号代入;

$A'$ ——系数,根据  $P_0$  值由表8-2查用;

$\alpha$ ——土的防冻计算系数,按表8-3取用;

$P$ ——冻结指数,  $P = \frac{\sum tT}{1000}$ ;

系数  $A'$  值

表 8-2

|     | $P_0$ | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  |
|-----|-------|------|------|------|------|------|------|
| 粘性土 | $A'$  | 0.63 | 0.68 | 0.70 | 0.75 | 0.83 | 0.92 |
| 砂类土 | $A'$  | 0.76 | 0.82 | 0.84 | 0.90 | 1.00 | 1.10 |
|     | $P_0$ | 700  | 800  | 900  | 1000 | 1500 | 2000 |
| 粘性土 | $A'$  | 1.00 | 1.08 | 1.17 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| 砂类土 | $A'$  | 1.20 | 1.30 | 1.40 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |

注:表面翻松 25cm,并耙平。

土的防冻计算系数  $\alpha$ 

表 8-3

| 冻结指数 $P$        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.1             | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
| 防冻计算系数 $\alpha$ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 15              | 16  | 17  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  | 30  | 30  |

$h_{\text{中}}$ ——雪的平均覆盖厚度,按历年气象资料或现场实测资料取值 (cm);

$\lambda$ ——雪的平均热导系数,松填雪取  $\lambda = 3$ ,堆雪或撒雪取  $\lambda = 2$ ,初融雪取  $\lambda = 1.5$ ;

$\beta$ ——雪对土的冻结影响系数,砂土取  $\beta = 1.12$ ,粉土取  $\beta = 1.08$ ,粉质粘土取  $\beta = 1.06$ ,粘土取  $\beta = 1.00$ 。

## (二)保温材料防冻覆盖层厚度计算

面积较小的地面防冻,可以直接用保温材料覆盖,覆盖层厚度按下式计算:

$$h = \frac{H}{\beta} \quad (8-1)$$

式中  $h$ ——保温材料覆盖层厚度 (cm);

$H$ ——不保温时土的冻结深度 (cm);

$\beta$ ——各种材料对土的冻结影响系数,按表 8-4 选用。

各种材料对土的冻结影响系数  $\beta$ 

表 8-4

| 土的种类 | 保 温 材 料 |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |      |
|------|---------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|      | 树叶      | 刨花  | 锯末  | 干炉渣 | 茅草  | 膨胀珍珠岩 | 炉渣  | 芦苇  | 草帘  | 泥炭土 | 松散土 | 密实土  |
| 砂土   | 3.3     | 3.2 | 2.8 | 2.0 | 2.5 | 3.8   | 1.6 | 2.1 | 2.5 | 2.8 | 1.4 | 1.12 |
| 粉土   | 3.1     | 3.1 | 2.7 | 1.9 | 2.4 | 3.6   | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.9 | 1.3 | 1.08 |
| 粉质粘土 | 2.7     | 2.6 | 2.3 | 1.6 | 2.0 | 3.5   | 1.3 | 1.7 | 2.0 | 2.3 | 1.2 | 1.06 |
| 粘土   | 2.1     | 2.1 | 1.9 | 1.3 | 1.6 | 3.5   | 1.1 | 1.4 | 1.6 | 1.9 | 1.2 | 1.00 |

注:1. 表中数值适用于地下水位低于 1m 以下。

2. 当地下水位较高时(饱和水的),其值可取 1.0。

3. 松散材料表面应加以盖压,以免被风吹走。

【例 8-1】 基坑地基土为粘土,由 11 月 6 日开始冻结,于冻结前翻松地面 25cm,并耙平,11 月平均气温为  $-2.2^{\circ}\text{C}$ ,12 月的平均气温为  $-9^{\circ}\text{C}$ ,试求到 1 月 1 日止该基坑土的冻结深度。若再铺炉渣保温防冻,需铺炉渣多厚。

【解】 受冻时间 11 月 25d,12 月 31d。

$$\text{则 } P = \frac{\sum tT}{1000} = \frac{25 \times 2.2 + 31 \times 9}{1000} = 0.334$$

查表 8-3 得  $\alpha = 17.34$

基坑土的冻结深度为:

$$H = \alpha(4P - P^2) = 17.34 \times (4 \times 0.334 - 0.334^2) = 21.2(\text{cm})$$

铺炉渣保温防冻,查表 8-4 得  $\beta = 1.1$

$$\text{炉渣铺设厚度 } h = \frac{H}{\beta} = \frac{21.2}{1.1} = 19.3(\text{cm})$$

### (三)冻胀性地基容许受冻深度计算

冻胀性地基土容许受冻深度按下式计算:

$$H = \frac{1}{w_a - w_p} \quad (8-2)$$

式中  $H$ ——冻胀性地基土容许受冻深度(cm);

$w_0$ ——受冻地基土实际含水率(%)；

$w_p$ ——受冻地基土塑限(%)。

建筑基底下允许残留冻土层厚度  $h_{\max}$  (m)

表 8-5

| 基底平均压力(kPa) |      |     | 90   | 110   | 130   | 150   | 170   | 190   | 210   |
|-------------|------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 弱冻胀土        | 方形基础 | 采暖  | —    | 0.94  | 0.99  | 1.04  | 1.11  | 1.15  | 1.20  |
|             |      | 不采暖 | —    | 0.78  | 0.84  | 0.91  | 0.97  | 1.04  | 1.10  |
|             | 条形基础 | 采暖  | —    | >2.50 | >2.50 | >2.50 | >2.50 | >2.50 | >2.50 |
|             |      | 不采暖 | —    | 2.20  | 2.50  | >2.50 | >2.50 | >2.50 | >2.50 |
| 冻胀土         | 方形基础 | 采暖  | —    | 0.64  | 0.70  | 0.75  | 0.81  | 0.86  | —     |
|             |      | 不采暖 | —    | 0.55  | 0.60  | 0.65  | 0.69  | 0.74  | —     |
|             | 条形基础 | 采暖  | —    | 1.55  | 1.79  | 2.03  | 2.26  | 2.50  | —     |
|             |      | 不采暖 | —    | 1.15  | 1.35  | 1.55  | 1.75  | 1.95  | —     |
| 强冻胀土        | 方形基础 | 采暖  | —    | 0.42  | 0.47  | 0.51  | 0.56  | —     | —     |
|             |      | 不采暖 | —    | 0.36  | 0.40  | 0.43  | 0.47  | —     | —     |
|             | 条形基础 | 采暖  | —    | 0.74  | 0.88  | 1.00  | 1.13  | —     | —     |
|             |      | 不采暖 | —    | 0.56  | 0.66  | 0.75  | 0.84  | —     | —     |
| 特强冻胀土       | 方形基础 | 采暖  | 0.30 | 0.34  | 0.38  | 0.41  | —     | —     | —     |
|             |      | 不采暖 | 0.24 | 0.27  | 0.31  | 0.34  | —     | —     | —     |
|             | 条形基础 | 采暖  | 0.43 | 0.52  | 0.61  | 0.70  | —     | —     | —     |
|             |      | 不采暖 | 0.33 | 0.40  | 0.47  | 0.53  | —     | —     | —     |

注：(1)本表只计算法向冻胀力，如果基侧存在切向冻胀力，应采取防切向力措施。

(2)本表不适用宽度小于0.6m的基础，矩形基础可取短边尺寸按方形基础计算。

(3)表中数据不适用于淤泥、淤泥质土和欠固土。

(4)表中基底平均压力数据为永久荷载标准值乘以0.9，可以内插。

#### (四)冻土融解的循环针法计算

循环针法是在冻土中按预定的位置钻孔，将循环针插入孔中，热量通过土传导，使冻土逐渐融解。循环针分蒸汽循环针与热水循环针两种，其施工

方法都一样。循环针法适用于热源充足,工程量较小的土方工程。

### 1. 循环针组数的计算

通常融化冻土都超过一昼夜,因此在布置时要分若干组,每组的融化面积应当等于一昼夜所能挖掘的数值,组数  $m$  由下式计算:

$$m = \frac{t}{24} + 1 \quad (8-3)$$

式中  $t$ ——土融化总时间(h);

24——一昼夜 24h。

第一组开始融化,经一昼夜再融化第二组,依此类推。

### 2. 管道的直径 $D$ (cm) 的计算

$$D = 0.06 \sqrt{\frac{nQ_{\text{水}}}{v}} \quad (8-4)$$

式中  $Q_{\text{水}}$ ——管线中的容水数量(L);

$v$ ——管道中的流水速度(m/s);

$n$ ——管线中每小时水的回转次数,按下式计算:

$$n = \frac{Q}{4.19Q_{\text{水}} T} \quad (8-5)$$

式中  $Q$ ——融化冻土所需热量(kJ/h);

$T$ ——来水与回水的温度差,通常为 2~10℃。

### 3. 离心水泵的功率 $N$ (W) 的计算

$$N = \frac{10V \cdot \sum h}{m} \quad (8-6)$$

式中  $V$ ——每小时的流量(L/h);

$m$ ——设备的有效系数,取 0.5;

$\sum h$ ——管线中总扬程损失。

管线中总扬程损失,对 50mm 的管道,流速为 0.62m/s 时为 0.011m/m; 68mm 的管道,流速为 0.36m/s 时为 0.003m/m。此外,应将循环针底部标高和锅炉水面标高的高度差所引起的扬程损失计算在内。