



# 和县二水厂取水泵房的沉井施工

□ 高建中

**摘 要** 本文简要阐述了安徽省和县二水厂取水泵房沉井下沉前的计算及施工过程,并对沉井下沉中须注意的问题提出自己的意见。

**关键词** 沉井 施工降水 无压非完整井 下沉 封底

## 1 概况

安徽省和县第二自来水厂取水头工程位于和县城南 毗邻长江,其主体建筑物取水泵房位于长江附近的内河中间,场地标高约 4.6m,其下地质状况表层为淤泥质粉质粘土,层厚 8~10m,层底标高 -4.10m,下层为稍密状态的粉细砂,该砂层埋藏深厚。

取水泵房的平面外轮廓尺寸为 20.8m×16.2m,墙厚 1.2m,中设 1 道纵隔墙和 3 道横隔墙,纵隔墙厚 1.0m,横隔墙厚 0.8m。在工程设计阶段,设计人员考虑到泵房场地的地质条件较差,基坑深、大,放坡困难,故选用了沉井方案。设计沉井的刃脚底高程为 -5.9m;沉井的顶部高程为 5.0m,泵房的上部墙身待沉井完成后继续加高。

其工程特点为①沉井尺寸大;②地下含水量丰富。由于施工人员在开工前注意详细周密的设计,施工中注意认真的控制,从而使沉井的定位误差和沉井斜度都控制在规范要求的范围内。

## 2 沉井的施工

二水厂的沉井施工按以下程序进行:

施工降水→平整场地→铺砂垫层→铺设垫木→制作沉井→拆除垫木→挖土下沉→沉井封底。

### 2.1 施工降水

经勘测,泵房场区地下水稳定水位在 2.30m 左右,地下水属潜水类型,具微承压性。考虑到排水下沉可直接观察土方施工的进展情况,土中的孤石等障碍物易于发现和拆除,下沉时沉井倾斜容易纠正等诸多因素,我们采取了排水下沉。而由于本工程地下水丰富,为避免沉井底部土层不稳定,故采用内径为 0.4m 的无砂混凝土管深井降水,按无压非完整井设计。初拟沉井布置见下图。

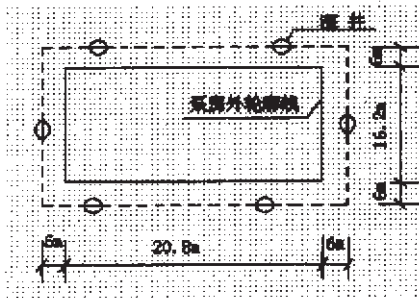


图 1

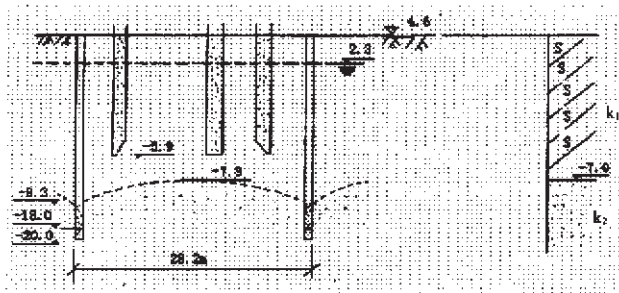


图 2

### 2.1.1 渗透系数的确定

参照《水文地质手册》、《深基坑工程施工手册》及有关沿江地区工程资料分析知,表层淤泥质土层的渗透系数  $K_1 = 4\text{m/d}$ ,层厚  $M_1 = 8.7\text{m}$ ,下层粉细砂层渗透系数  $K_2 = 10\text{m/d}$ ,取层厚  $M_2 = 26.8\text{m}$ 。得综合渗透系数

$$K = \frac{K_1 M_1 + K_2 M_2}{M} = 8.53\text{m/d}$$

### 2.1.2 影响半径的确定

依据  $R = 2S \sqrt{KH}$

式中  $R$ —抽水影响半径

$S$ —降低水位深度 (m)。一般工程降水至建筑物中心 1m 以下即可,考虑沉井底部的土方开挖呈锅底形,故降水至刃脚下 2m 处,即为 -7.9m 高程,所以  $S = 2.3 - (-7.9) = 10.2\text{m}$

$L$ —深井滤水管长度 (m)。深井初拟底部高程为 -20.0m,其中 2m 长沉淀管,降水坡降  $i$  取 1/10,深井从 -9.3m 开始降水,取  $L = -9.3 - (-18) = 8.7\text{m}$

$S'$ —深井内地下水降至滤管上端的高程,  $S' = 2.3 - (-9.3) = 11.6\text{m}$

$H$ —含水层厚度,本深井为无压非完整井,因下层粉砂层埋藏深,故按有效带深度考虑,该值与  $S'$  和  $L$  有关,因

$$\frac{S'}{S' + L} = 0.58, \text{得 } H = 1.75 \times (11.6 + 8.7) = 35.5\text{m}$$

$K$ —土的渗透系数 (m/d),  $K = 8.53\text{m/d}$

代入上式得  $R = 355\text{m}$

(查阅有关资料,粉细砂层的影响半径较小,由于本工程渗透系数较大、降水深度较大,故仍按计算结果取值。)

### 2.1.3 化引半径的确定

$$\text{依据 } r_0 = \beta \frac{a+b}{4}$$

式中  $r_0$ —引用半径 (m)

$\beta$ —系数,查表得  $\beta = 1.18$

$a$ 、 $b$ —矩形长、宽,分别为 32.8m、28.2m

计算得  $r_0 = 18\text{m}$



#### 2.1.4 涌水量的计算

基坑化引半径为  $r_0 = 18\text{m}$  的一口大井且为潜水非完整井, 按《简明施工计算手册》

$$Q = 1.366K \frac{(2H_0 - S)S}{lg \frac{R}{r_0}}$$

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

$K$ — $8.53\text{m}/\text{d}$

$S$ —降水深度  $S = 10.2\text{m}$

$R$ —影响半径  $R = 355\text{m}$

$H_0$ —化引透水层厚度  $H_0 = 35.5\text{m}$

代入上式得  $Q = 5601\text{m}^3/\text{d}$

#### 2.1.5 单井出水量 $q$

依据  $q = 120\pi r_0 l \sqrt[3]{K}$  (建筑基坑支护技术规程)

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

$r_0$ —深井半径 取  $0.2\text{m}$

$l$ —滤管长度  $l = 8.7\text{m}$

$K$ —渗透系数  $K = 8.53\text{m}/\text{d}$

代入上式得  $q = 1339\text{m}^3/\text{d}$

#### 2.1.6 井数计算

$$n = 1.1 \frac{Q}{q}$$

式中  $Q$ —基坑涌水量  $Q = 5601\text{m}^3/\text{d}$

$q$ —单井出水量  $q = 1339\text{m}^3/\text{d}$

代入得  $n = 4.6$  口井

对称安全考虑采用 6 口深井。

#### 2.1.7 验算沉井降水深度

$$\text{依据 } S = H_0 - \sqrt{H_0^2 - \frac{Q \times 1.1}{1.366K} [\lg R_0 - \lg r_0]}$$

式中  $H_0 = 35.5\text{m}$

$Q = 5601\text{m}^3/\text{d}$

$K = 8.53\text{m}/\text{d}$

$R_0 = 355 + 18 = 373\text{m}$

$r_0 = 18\text{m}$

代入上式得  $S = 11.7\text{m} > 10.2\text{m}$  满足施工降水要求

根据上述计算,我们在沉井四周布置了 6 口内径为  $0.4\text{m}$ 、外径为  $0.5\text{m}$  的无砂混凝土管深井,井底达  $-20.0\text{m}$  高程 (2m 沉砂管)。每口井放置 2 个水泵 24h 连续不停抽水,单口井抽水量达  $50 \sim 60\text{m}^3/\text{h}$  和计算结果相似。在沉井下沉过程中,沉井底部一直保持无水施工,未出现涌砂涌土现象。

#### 2.2 沉井制作

泵房的沉井高度为  $10.9\text{m}$ ,考虑到沉井制作质量和施工方便,我们拟定了分节制作、一次下沉的方案。这样可以避免沉井浇筑混凝土脚手架、模板、水力土方机械多次拆装,从而可以大大缩短工期,同时,也可以消除多工种交叉作业和施工现场混乱拥挤的现象 (按此方案,我们进行了沉井下沉和地基稳定的验算)。

沉井井壁的浇筑从  $-5.90\text{m}$  到  $5.0\text{m}$  分 3 节浇筑完毕,混

凝土方量  $1300\text{m}^3$ 。为减少地基应力,在沉井混凝土结构施工之前首先铺设了  $2\text{m}$  厚的砂砾石垫层,砂垫层上铺设垫木以支撑沉井的重量。

#### 2.2.1 砂垫层铺设厚度的验算

初拟砂垫层厚度  $h_s$  为  $2\text{m}$ 。

$$\text{依据 } \frac{G}{L + 2h_s \tan \theta} + r_s h_s \leq [f]$$

式中  $G$ —沉井的自重 ( $\text{kN}$ )

$$G = 10.9 \times 1.2 \times 25 = 327\text{kN}/\text{m}$$

$L$ —垫木长,试取  $L = 2.5\text{m}$

$Q$ —砂垫层压力扩散角 取  $Q = 22.5^\circ$

$r_s$ —砂的容重 取  $r = 16\text{kN}/\text{m}^3$

$[f]$ —地基极限承载力 取为  $110\text{kPa}$

经验算在地基上铺设  $2\text{m}$  厚的砂垫层可满足沉井制作后的地基承载力要求,根据砂垫层的宽度应满足应力扩散角  $b \geq L + 2h + g$ ,砂垫层底宽取  $4.5\text{m}$ ,顶宽取  $2.7\text{m}$ 。

#### 2.2.2 垫木排数计算

$$\text{依据 } n = \frac{G}{Af}$$

式中  $n$ —每米垫木的根数,垫木的尺寸为

$$0.25\text{m} \times 0.20\text{m} \times 2.5\text{m}$$

$G$ —沉井井壁单位长度的重力,

$$G = 10.9 \times 1.2 \times 25 = 327\text{kN}/\text{m}$$

$A$ —每根垫木与砂垫层接触的底面积 ( $\text{m}^2$ ), 取

$$0.2 \times 2.5 = 0.5\text{m}^2$$

$f$ —砂垫层承载力的设计值 取  $f = 200\text{kPa}$

经计算  $n = 3$  根/ $\text{m}$

#### 2.2.3 垫木强度验算

沉井下面的垫木,支撑着整个沉井的重量,垫木座落在砂垫层上,其断面须满足强度要求。垫木长  $2.5\text{m}$ ,向沉井内外侧各伸出  $0.65\text{m}$ ,伸出部分按悬臂计算,每延长米井壁由 3 根垫木支撑。

##### 1 按抗弯承载力计算其弯矩

$$M = -\frac{1}{2}ql^2$$

其中  $q = 43.6\text{kN}$ ,  $l = 0.65\text{m}$

代入上式得  $M = -9.2\text{kN} \cdot \text{m}$

$$\text{又依据 } \sigma = \frac{M}{W} = \frac{M}{\frac{1}{6}bh^2}$$

式中  $b = 0.25\text{m}$

$h = 0.20\text{m}$

代入上式得  $\sigma = 5.52\text{N}/\text{mm}^2 \leq [f] = 13\text{N}/\text{mm}^2$

##### 2 抗剪承载力 (最大剪力发生在刃脚处)

$$\text{依据 } \tau_{\max} = \frac{3}{2} \frac{V}{bh}$$

其中  $V$ —刃脚处剪力为  $43.6 \times 0.65 = 28.34\text{kN}$

得  $\tau_{\max} = 0.85\text{N}/\text{mm}^2 < 1.5\text{N}/\text{mm}^2$

从以上验算中知,垫木按 3 根/ $\text{m}$  布置是安全的。实际施



工中在工程完成后垫木无一损坏。

### 2.3 沉井下沉

沉井下沉前既要考虑沉井须有足够的重量,克服各种阻力,顺利下沉到设计标高,同时由于此沉井采取分节制作一次下沉,沉井自重较大,又必须考虑地基能满足承载力的要求,在沉井的下沉时,防止一旦抽去垫木沉井突然下沉而失去控制。

#### 2.3.1 下沉系数的确定

##### 1) 确定沉井井壁外壁上的总摩阻力

依据  $R_f = V \times (h_0 - 2.5) f$

其中  $R_f$ —沉井外壁和土的总摩阻力(kN)

$V$ —沉井外壁周长,  $V = 74m$

$h_0$ —沉井入土深度,  $h_0 = 10.9m$

$f$ —土与沉井壁单位面积的摩阻力,  $f = 17kN/m^2$

代入上式得  $R_f = 10\ 567kN$

##### 2) 确定下沉系数

依据  $K = \frac{G}{R_f + R_1 + R_2}$

式中  $K$ —沉井下沉系数

$G$ —沉井自重,  $G = 32\ 500kN$

$R_f$ —沉井与土的总摩阻力,  $R_f = 10\ 567kN$

$R_1$ —刃脚踏面的地基反力,  $R_1 = 22\ 825kN$

$R_2$ —纵横隔墙上的地基反力,  $R_2 = 12\ 625kN$

代入上式得  $K = 0.7 \leq 1$

另按  $K = \frac{G}{R_f}$

得  $K = 3.0 \geq 1.1$

从以上两式的计算中得知,在沉井下沉到设计高程后,凭借沉井和土的摩阻力及底部刃脚的阻力可保持沉井的最终稳定;同时,如果清除刃脚附近的土方,在仅有摩阻力存在的情况下,沉井也很易下沉。

#### 3 拆除垫木后靠仅刃脚面阻力的下沉稳定系数

在拆除垫木后,沉井直接落入土面,在无摩阻力的情况下,沉井是否会突沉的验算

依据  $K = \frac{G}{R_1 + R_2}$

代入上式得  $K = 0.91 < 1$

说明沉井拆除垫木后在不考虑摩阻力的情况下,沉井可以保持稳定。随着沉井的入土加大,沉井与地的摩阻力也逐渐加大,需要逐渐挖取沉井刃脚附近土方后沉井才会下沉。

#### 2.3.2 沉井下沉过程中的措施

##### 2.3.2.1 下沉

1) 沉井下沉时首先要抽出垫木,我们采取分组、分区同步进行,次序为:小隔墙→中隔墙→矩形宽边→矩形长边;

2) 抽垫木时,应隔花对称同时抽出;

3) 沉井偏重的长边方向多留一组垫木;

4) 每抽一根垫木,立即用小砾石填实,开始抽垫木时,沉井下沉均匀,回填砂砾石比较充分,当继续抽垫木时,下沉量逐渐加大,甚至来不及回填,故在开始抽垫时应充分回填捣实。

(见图3)

5) 要特别注意,在矩形沉井的长边上,距短边0.15L位置的四组垫木与撑架最后同步拆除。

#### 2.3.2.2 挖土

1) 本工程采用人工挖土和机械挖土相结合的办法,砂垫层采用人工清除。其土方采用高压水枪破土、拌合成泥浆后再用泰兴吸泥泵吸出送到井外。

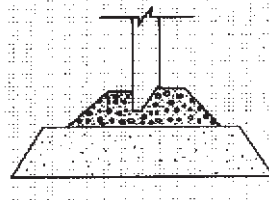


图3

2) 挖土方法采用从中间向

四周扩散的方法,挖土呈锅底形,逐渐向刃脚迫近,使下沉量控制在较小范围内。

3) 由于沉井的重心偏纵隔墙方向,因此在土方开挖时按照偏重的方向少挖土,偏轻的方向多挖土的原则以保持沉井的均匀下沉。

4) 在刃脚踏面达到接近高程时,暂停土方开挖,观察沉降情况,测下沉速率,在沉井下沉到设计高程后,中间隔墙进行抛石加固,增加土的阻抗力,保持沉井的稳定。

#### 2.4 封底

2.4.1 在临近高程时,停止挖土,让其自沉,待沉井达设计标高且稳定后进行封底施工。

2.4.2 由于本工程是采用干封底的方法,封底以前,首先清除锅底的淤泥,对刃脚处清洗干净并凿毛处理,抛大石块、碎石整平,然后浇筑混凝土,混凝土浇筑分格分层对称进行,不得中途停止,避免产生施工缝造成渗漏现象。

2.4.3 在封底混凝土未达到设计强度前将继续保持深井降水,避免水压力对封底混凝土造成破坏。

#### 2.5 沉井的抗浮稳定验算

2.5.1 在沉井封底后,我们立即进行沉井外围的土方回填工作,这样可以使降水停止后,增大沉井和周围土体的摩擦力,抵消部分地下水对沉井的浮力。抗浮稳定计算:

依据  $K = \frac{G + f}{F}$

式中  $K$ —抗浮安全系数

$G$ —沉井的重量,  $G = 32\ 500kN$

$f$ —沉井与周围土体的摩阻力,  $f = 10\ 567kN$

$F$ —浮力,  $F = 20.8 \times 16.2 \times [2.3 - (-5.9)] \times 10$   
 $= 27\ 630kN$

代入上式得  $K = 1.56 \geq 1.25$

从计算结果知沉井不会产生上浮问题,故在封底混凝土达到龄期后,我们就停止了降水工作。

#### 3 沉井施工中有关问题的处理体会

3.1 本工程完成后井壁未发现有任何的渗漏水现象。混凝土结合面做成阴阳接头,注重施工缝接头处理,取得较好效果。

3.2 由于下沉系数比较大,有沉井下沉过快的现象,我们采取沿沉井四周刃脚处用人工回填硬塑性粘性土并夯实以增加下沉的总摩阻力,同时我们采用的深井降水也有助于地基的固结,提高地基的承载力。

3.3 测量观测是沉井下沉时的一项很重要的工作,我们随时观测随时纠偏,不使误差积累。

作者单位:安徽省水利建筑安装总公司