

第十三篇

隧道施工勘察、测量

第一章 隧道施工勘察

第一节 地下洞室围岩稳定性评价

地下洞室泛指修建于地下岩土体内,具有一定断面形状和尺寸,并有较大延伸长度的各种形式和用途的建筑。地下洞室是岩土工程中重要组成部分,目前已广泛应用于交通、采矿、水利水电、国防等部门,公路工程建设中的地下建筑物主要是隧道。

由于地应力的存在,地下洞室开挖势必打破原来岩(土)体的自然平衡状态,引起地下洞室周围一定范围内的岩(土)体应力重新分布,产生变形、位移、甚至破坏,直至出现新的应力平衡为止。工程中将开挖后地下洞室周围发生应力重新分布的岩(土)体称为围岩。地下洞室突出的工程地质问题是围岩稳定问题。国内外建筑史上因洞室围岩失稳而造成的事故,为数不少。澳大利亚悉尼输水压力隧洞混凝土衬砌,使用期间,在300m的地段上发现洞内有压水大量渗入围岩而达地表。放空检修发现,三叠系砂岩中节理发育,岩石强度很低,在100m的内水水头作用下,不合要求的衬砌被破坏,洞顶围岩被掀起,出现裂缝错距1.0~2.0cm。因此,围岩的稳定性是地下洞室能否在服务年限内正常使用的关键。

一、围岩压力

(一)围岩应力重新分布的一般特征

洞室开挖前,岩土体一般处于天然应力平衡状态,称一次应力状态或初始应力状态。

在岩体内开挖地下洞室将引起围岩内部的应力重新分布 ,出现二次应力 ,这就打破了原来岩体的自然应力平衡状态 ,势必导致围岩产生变形和破坏 ,而在地下洞室的支护结构上引起应力和位移的变化 ,甚至破坏支护结构。

围岩应力重分布与岩体的初始应力状态及洞室断面的形状等因素有关。如对于侧压力系数 $\lambda = 1$ 的圆形地下洞室 ,开挖后应力重分布的主要特征是径向应力 σ_r 向洞壁方向逐渐减小 ,至洞壁处为零 ,而切向力 σ_θ 在洞壁增大 ,如图 13 - 1 - 1 所示。通常所说的围岩 ,就是指受应力重分布影响的那一部分岩体。

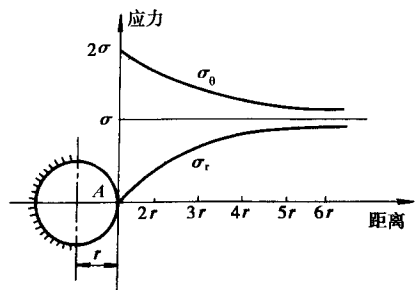


图 13 - 1 - 1 隧道开挖洞周应力状态

由此可见 ,地下开挖后由于应力重分布 ,引起洞周产生应力集中现象。当围岩应力小于岩体的强度极限(脆性岩石)或屈服极限(塑性岩石)时 ,洞室围岩稳定。当围岩应力超过了岩体屈服极限时 ,围岩就由弹性状态转化为塑性状态 ,形成一个塑性松动圈(图 13 - 1 - 2)。在松动圈形成的过程中 ,原来洞室周边集中的高应力逐渐向松动圈外转移 ,形成新的应力升高区 ,该区岩体挤压得紧密 ,宛如一圈天然加固的岩体 ,故称为承载圈。

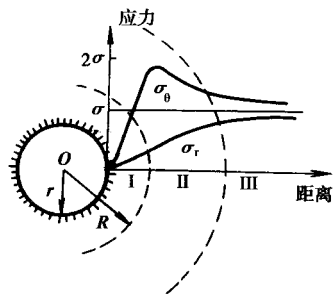


图 13 - 1 - 2 围岩的松动圈和承载圈

I — 松动圈 ; II — 承载圈 ; III — 原始应力区

应当指出 ,如果岩体非常软弱或处于塑性状态 ,则洞室开挖后 ,由于塑性松动圈的不

断扩展,自然承载圈很难形成。在这种情况下,岩体始终处于不稳定状态,开挖洞室十分困难。如果岩体坚硬完整,则洞周围岩石始终处于弹性状态,围岩稳定不形成松动圈。

在生产实践中,确定洞室围岩松动圈的范围是非常重要的。因为松动圈一旦形成,围岩就会坍塌或向洞内产生大的塑性变形,要维持围岩稳定就要进行支撑或衬砌。

(二)围岩压力的类型

洞室围岩由于应力重分布而形成塑性变形区,在一定条件下,围岩稳定性便可能遭到破坏,为保证洞室的稳定,常需进行支护和衬砌,洞室支护和衬砌上便必然受到围岩变形与破坏的岩土体的压力。这种由于围岩的变形与破坏而作用于支护或衬砌上的压力称为围岩压力。

围岩压力是设计支护或衬砌的依据之一,它关系到洞室正常运用、安全施工、节约资金和施工进度等问题,围岩稳定程度的判别与围岩压力的确定紧密相关。

围岩压力就其表现形式可分为如下四类。

1. 松动压力

由于开挖而引起围岩松动或坍塌的岩体以重力形式作用在支护结构上的压力称为松动压力,亦称散体压力。松动压力是因为围岩个别岩石块体的滑动、松散围岩以及在节理发育的裂隙岩体中,围岩某些部位沿软弱结构面发生剪切破坏或拉张破坏等导致局部滑动引起的。

2. 变形压力

开挖必然引起围岩变形,支护结构为抵抗围岩变形而承受的压力称为变形压力。

3. 冲击压力

在坚硬完整岩体中,地下建筑开挖后的洞体应力如果在围岩的弹性界限之内,则仅在开挖后的短时期内引起弹性变形,而不致产生围岩压力。但当建筑物埋深较大,或由于构造作用使初始应力很高,开挖后洞体应力超过了围岩的弹性界限,这些能量突然释放所产生的巨大压力,称为冲击压力。冲击压力发生时,伴随着巨响,岩石以镜片状或叶片状高速迸发而出,因此冲击压力也称岩爆。

4. 膨胀压力

某些岩体由于遇水后体积发生膨胀,从而产生膨胀压力。膨胀压力与变形压力的基本区别在于它是围岩吸水膨胀引起的。膨胀压力的大小,主要取决于岩体的物理力学性质和地下水的活动特征等。

二、洞室围岩的变形与破坏

洞室开挖后,地下形成了自由空间,原来处于挤压状态的围岩,由于解除束缚而向洞

室空间松胀变形,这种变形大小超过了围岩所能承受的能力,便发生破坏,从母岩中分离、脱落,导致坍塌、滑动、隆破和岩爆等。

洞室围岩的变形与破坏程度,一方面取决于地下天然应力、重分布应力及附加应力;另一方面与岩土体的结构及其工程地质性质密切相关。

(一)围岩的变形

导致围岩变形的根本原因是地应力的存在。地下洞室开挖前,岩(土)体处于自然平衡状态,内部储蓄着大量的弹性能,地下洞室开挖后,这种自然平衡状态被打破,弹性能释放,一定范围内的围岩发生弹性恢复变形。另一方面,由于围岩应力重新分布,各点的应力状态发生变化,导致围岩产生新的弹性变形。这种弹性变形是不均匀的,从而导致地下洞室周边位移的不均匀性。

重新分布的围岩应力在未达到或超过其强度以前,围岩以弹性变形为主。一般认为,弹性变形速度快、量值小,可瞬间完成,一般不易觉察。当应力超过围岩强度时,围岩出现塑性区域,甚至发生破坏,此时围岩变形将以塑性变形为主。塑性变形延续时间长、变形量大,发生压碎、拉裂或剪破,塑性变形是围岩变形的主要组成部分。

如果围岩裂隙十分明显或者围岩破坏严重时,节理、裂隙间的相互错位、滑动及裂隙张开或压缩变形将会占据主导地位,而岩块本身的变形成分退居次要地位,按照岩体结构力学的原理,由于岩体中大小结构面的存在,围岩的变形都会或多或少地存在结构面的变形。

此外,由于岩石的流变效应十分明显,围岩长期处于一种动态变化的高应力作用之中,流变也是围岩变形不可忽略的组成部分。

从围岩变形与时间的关系上看,典型的曲线形状如图 13-1-3 所示,它的形状与岩石的蠕变曲线很相似。 OA 段代表围岩开挖初期的变形,它主要是弹性变形和部分塑性变形,这一段时间一般在 $15d$ 至 $30d$; AB 段为围岩应力调整期的变形阶段,这时的变形主要是塑性变形,大约 1 个月或更长; BC 段为围岩的稳定期,这个阶段基本没有变形,时间可长可短,由于地下洞室绝大多数采取了支护措施,一般可保持在使用期限内; CD 段为加速变形阶段,该阶段表明围岩即将破坏,变形成分以结构面的滑移和张裂为主。

从围岩变形与深度的关系上看,如图 13-1-4,变形的分布以地下洞室的表面最大,随着深度的加大,变形将趋于零。曲线上的拐点 A 是弹、塑性区的分界点,变形的零点就是地下洞室对围岩影响范围的终点。

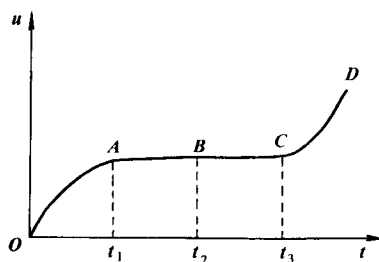


图 13-1-3 围岩变形与时间的关系

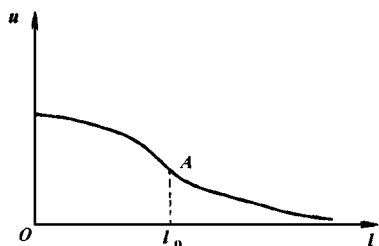


图 13-1-4 围岩变形与深度的关系

(二) 常见围岩破坏类型

洞室开挖后,围岩破坏就其表现形式分为洞顶坍塌、边墙滑落和洞底隆胀。其一,围岩应力重新分布导致洞顶和两帮中部成为最先破坏的起点;其二,结构面的不同组合,形成局部切割块体不稳定而滑移;其三,地下洞室开挖后由于风化作用、围岩遇水软化或围岩本身强度较低,引起地下洞室围岩破坏或围岩膨胀。

1. 洞顶坍塌

亦常称为冒顶。顶板塌落后的形状与地下洞室围岩有很大关系,绝大多数顶板坍塌与结构面的切割有关,边墙的滑落与顶板情形类似,结构面的影响是主要的。地下洞室开挖后底板的隆胀是很常见的,特别是在围岩塑性变形显著、岩性软弱和埋深较大的地下洞室,表现得最明显,有时也造成洞壁挤出现象。实际上,由于我们在地下洞室支护中常常不支护底板,因而几乎所有地下洞室均有不同程度的底板隆胀现象。

2. 岩爆

坚硬而无明显裂隙或者裂隙极细微而不连贯的弹脆性岩体,如花岗岩、石英岩等,在洞室开挖过程中,周壁岩石有时会骤然以爆炸形式,呈透镜体碎片或岩块突然弹出或抛出,并发生类似射击的咣咣声响,这就是所谓“岩爆”。它对地下工程常造成危害,破坏支护、堵塞坑道,或造成重大伤亡事故。

3. 围岩破坏导致的地面沉降

洞室围岩的变形和破坏,导致洞室周围岩体向洞室空间移动。如果洞室位置很深或其空间尺寸不大,围岩的变形破坏将局限在较小范围以内,不致波及地面。但是,当洞室位置很浅或其空间尺寸很大,特别在矿山开发中,地下开采常留下很大范围的采空区,围岩变形与破坏将会扩展或影响波及地面,引起地面沉降,有时会出现地面塌陷和裂缝。

三、地下洞室围岩稳定性的分析方法

(一)影响围岩稳定的因素

地下洞室围岩的稳定与岩性、岩体结构与构造等自然因素有关,与开挖方式、支护形式及时间等人为因素也有关。

1. 岩性

坚硬完整的岩石一般对围岩稳定性影响较小,而软弱岩石则由于岩石强度低、抗水性差、受力容易变形和破坏,对围岩稳定性影响较大。

我们知道岩石由于其矿物成分、结构和构造的不同,物理力学性质差别很大。如果地下洞室围岩为整体性良好、裂隙不发育的坚硬岩石,岩石本身的强度远高于结构面的强度。这种情况下,岩石性质对围岩的稳定性影响很小。

如果地下洞室围岩强度较低、裂隙发育、遇水软化,特别是具有较强膨胀性围岩,则二次应力使围岩产生较大的塑性变形,或较大的破坏区域。同时裂隙间的错动,滑移变形也将增大,势必给围岩的稳定带来重大影响。

2. 岩体结构

块状结构的岩体作为地下洞室的围岩,其稳定性主要受结构面的发育和分布特点所控制,这时的围岩压力主要来自最不利的结构面组合,同时与结构面和临空面的切割关系有密切关系,碎裂结构围岩的破坏往往是由于变形过大,导致块体间相互脱落,连续性被破坏而发生坍塌,或某些主要连通结构面切割而成的不稳定部分整体冒落,其稳定性最差。

3. 地质构造

地质构造对于围岩的稳定性起重要作用,当洞室通过软硬相间的层状岩体时,易在接触面处变形或坍落。若洞室轴线与岩层走向近于直交,可使工程通过软弱岩层的长度较短,若与岩层走向近于平行而不能完全布置在坚硬岩层里,断面又通过不同岩层时,则应适当调整洞室轴线高程或左右变移轴线位置,使围岩有较好的稳定性,洞室应尽量设置在坚硬岩层中,或尽量把坚硬岩层作为顶围。

当洞室通过背斜轴部时,顶围向两侧倾斜,由于拱的作用,利于顶围的稳定。而向斜

则相反,两侧岩体倾向洞内,并因洞顶存在张裂,对围岩稳定不利。另外,向斜轴部多易储存聚集地下水,且多承压,更削弱了岩体的稳定性。

当洞室邻近或处在断层破碎带,若断层带宽度愈大,走向与洞室轴交角愈小,它在洞内出露越长,对围岩稳定性影响便越大。

4. 构造应力的影响

构造应力随地下洞室的埋深增加而增大,因此一般地下洞室埋藏越深,稳定性越差。根据经验,沿构造应力最大主应力方向延伸的地下洞室比垂直最大主应力方向延伸的地下洞室稳定。地下洞室的最大断面尺寸沿构造应力最大主应力的方向延伸时较为稳定,这是由围岩应力分布决定的。一般地质构造复杂的岩层中构造应力十分明显,尽量避开这些岩层,对地下洞室的稳定非常重要。

5. 地下水的影响

围岩中地下水的赋存、活动状态,既影响着围岩的应力状态,又影响着围岩的强度。当洞室处于含水层中或地下洞室围岩透水性强时,这些影响更为明显。静水压力作用于衬砌上,等于给衬砌增加了一定的荷载,因此,衬砌强度和厚度设计时,应充分考虑静水压力的影响。另一方面,静水压力使结构面张开,减小了滑动摩擦力,从而增加了围岩坍塌、滑落的可能性,动水压力的作用促使岩块沿水流方向移动,也冲刷和带走裂隙内的细小矿物颗粒,从而增加裂隙的张开程度,增加围岩破坏的程度。地下水对岩石的溶解作用和软化作用,也降低了岩体的强度,影响围岩的稳定性。

地下洞室围岩的稳定性,除了受到上述天然因素的影响外,人为因素也是不可忽视的,比如开挖方法、开挖强度、支护方法和时间等因素。

(二) 地下洞室围岩稳定性的分析方法

由于不同结构类型的岩体变形和失稳的机制不同,不同类型的地下洞室对稳定性的要求不同,围岩稳定性分析和评价的方法多种多样,目前有以下几种方法。

1. 围岩稳定分类法

围岩稳定分类法是以大量的工程实践为基础,以稳定性观点对工程岩体进行分类,并以分类指导稳定性评价。围岩稳定分类方法很多,大体上可归纳为三类:岩体完整性分类、岩体结构分类、岩体质量的综合分类。

2. 工程地质类比法

即根据大量实际资料分析统计和总结,按不同围岩压力的经验数值,作为后建工程确定围岩压力的依据。这种方法是常用的传统方法,其适用条件必须是被比较的两个地下工程具有相似的工程地质特征。

3. 岩体结构分析法

(1)借助赤平极射投影等投影法进行图解分析,初步判断岩体的稳定性。

(2)在深入研究岩体结构特征基础上建立地质力学模型,通过有限单元法或边界元计算,得出工程岩体稳定性的定量指标,判断围岩的稳定性。

4. 数学力学计算分析法

岩体稳定性分析正处于由定性向定量的发展阶段,数学力学计算的方法已广泛应用。

5. 模拟试验法

是在岩体结构和岩体力学性质研究的基础上,考虑外力作用的特点,通过物理模拟和数学模拟方法,研究岩体变形、破坏的条件和过程,由此得出岩体稳定性的直观结果。

四、保障地下洞室围岩稳定性的处理措施

研究地下洞室围岩稳定性,不仅在于正确地据以进行工程设计与施工,也为了有效地改造围岩,提高其稳定性。常采用光面爆破、掘进机开挖等先进的施工方法以及对围岩采取灌浆、锚固、支撑和衬砌等加固措施。从工程地质观点出发,保障地下洞室围岩稳定性的途径有二:第一,保护地下洞室围岩原有的强度和承载能力,如及时封闭围岩以防风化,及时衬砌阻止围岩产生过大变形和松动;第二,赋予围岩一定的强度使其稳定性有所提高,如给围岩注浆、封闭裂隙、用锚杆加固危岩等。前者主要是采用合理的施工和保护衬砌方案,后者主要是加固围岩。

(一)合理施工,尽量减少围岩的扰动

围岩稳定程度不同,应选择不同的施工方案。尽可能全断面开挖,多次开挖会损坏岩体。若地下洞室断面较大,一次开挖成型困难时,可采用分部开挖逐步扩大的施工方法,并根据围岩的特征,采用不同的开挖顺序以保护围岩的稳定性。例如,当洞顶围岩不稳定而边墙围岩稳定性较好时,应先在洞顶开挖导洞并立即做好支撑,当洞顶全部轮廓挖出做好永久性衬砌后再扩大下部断面。如整个洞室的围岩均不甚稳定时,则应先开挖侧墙导洞并做好衬砌后,再开挖上部断面。

(二)支撑、衬砌与锚喷加固

支撑是临时性加固洞壁的措施,衬砌是永久性加固洞壁的措施。此外还有喷浆护壁、喷射混凝土、锚筋加固、锚喷加固等。

1. 支撑

支撑按材料可分为木支撑、钢支撑和混凝土支撑等。在不太稳定的岩体中开挖时,

应考虑及时设置支撑,以防止围岩早期松动。支撑是保护围岩稳定性的简易可行的办法。

2. 衬砌

衬砌的作用与支撑相同,但经久耐用,使洞壁光坦。砖、石衬砌较便宜,钢筋混凝土、钢板衬砌的成本最高。衬砌一定要与洞壁紧密结合,填严实其空隙才能起到良好效果。作顶拱的衬砌时,一般还要预留压浆孔。衬砌后,再回填灌浆,在渗水地段也可起防渗作用。

3. 锚喷加固

充分利用围岩自身强度来达到保护围岩并使之稳定的目的。此方法在我国的应用日益广泛,国外采用也很普遍。

锚喷支护是喷射混凝土支护与锚杆支护的简称,其特点是通过加固地下洞室围岩,提高围岩的自承载能力来达到维护地下洞室稳定的目的。它是近三十年来发展起来的一种新型支护方式。这种支护方法技术先进、经济合理、质量可靠、用途广泛,在世界各地的矿山、铁路交通、地下建筑以及水利工程中得到广泛使用。

在支护原理上,锚喷支护能充分发挥围岩的自承能力,从而使围岩压力降低,支护厚度减薄。在施工工艺上,喷射混凝土支护实现了混凝土的运输、浇筑和捣固的联合作业,且机械化程度高,施工简单,因而有利于减轻劳动强度和提高工效;在工程质量上,通过国内外工程实践表明是可靠的。

锚喷支护在危岩加固、软岩支护等方面均有其独到的支护效果,但是到现在为止,锚喷支护仍在发展和完善之中,无论是作用机理的探讨,还是设计与施工方法的研究均有待于科学技术工作者作出新的成就,以缩短理论和实践的差距。

(1) 喷层的力学作用

喷层的力学作用有两个方面。其一是防护加固围岩,提高围岩强度。地下洞室掘进后立即喷射混凝土可及时封闭围岩暴露面,由于喷层与岩壁密贴,故能有效地隔绝水和空气,防止围岩因潮解风化产生剥落和膨胀,避免裂隙中充填料流失,防止围岩强度降低。此外,高压高速喷射混凝土时,可使一部分混凝土浆液渗入张开的裂隙或节理中,起到胶结和加固作用,提高了围岩的强度。其二是改善围岩和支架的受力状态。含有速凝剂的混凝土喷射液,可在喷射后几分钟内凝固,及时向围岩提供了支护抗力(径向力),使围岩表层岩体由未支护时的双向受力状态变为三向受力状态,提高了围岩强度。

(2) 锚杆的力学作用

目前比较成熟和完善的有关锚杆的支护力学原理有悬吊作用、减跨作用和组合作

用。

悬吊作用 悬吊作用认为,锚杆可将不稳定的岩层悬吊在坚固的岩层上,以阻止围岩移动或滑落。这样,锚杆杆体中所受到的拉力即为危岩的自重,只要锚杆不被拉断,支护就是成功的,当然,锚杆也能把结构面切割的岩块连接起来,阻止结构面张开。

减跨作用 在地下洞室顶板岩层打入锚杆,相当于在地下洞室顶板上增加了新的支点,使地下洞室的跨度减小,从而使顶板岩石中的应力较小,起到了维护地下洞室的作用。

组合作用 在层状岩层中打入锚杆,把若干薄岩层锚固在一起,类似于将叠置的板梁组成组合梁,从而提高了顶板岩层的自支承能力,起到维护地下洞室稳定的作用,这种作用称为组合梁作用。另一种组合作用力——组合拱,深入到围岩内部的锚杆,由于围岩变形使锚杆受拉,或在预应力作用下锚杆内受力,这样相当于在锚杆的两端施加一对压力 P 。由于这对力的作用,使沿锚杆方向一个圆锥体范围的岩体受到控制。这样按一定间距排列的多根锚杆的锥体控制区连成一个拱圈控制带,这就是组合拱,组合拱间的围岩相互挤压相当于天然的拱碇,从而起到维护围岩的作用。

4. 灌浆加固

在裂隙严重的岩体和极不稳定的第四纪堆积物中开挖地下洞室,常需要加固以增大围岩稳定性,降低其渗水性。最常用的加固方法就是水泥灌浆,其次有沥青灌浆、水玻璃灌浆等。通过这种办法,在围岩中大体形成一圆柱形或球形的固结层,起到加固的目的。

五、地质作用对公路隧道施工的影响

我国地域辽阔、山岭重丘较多,山区公路建设任务十分繁重。在山峦耸立、地形起伏多变、峡谷深涧、地形蜿蜒曲折的地区,路线可以沿山坡依地形盘山而过,但是往往更为合理的方案是修建隧道穿行。修建隧道可以缩短路线长度、减缓纵坡,从而提高车辆运行速度和改善交通运输条件。因此,在山岭重丘区修建高等级公路,昔日那种‘逢山尽量绕着走’的做法,势必将被隧道所代替。

公路隧道是道路从地层内部或水底通过而修筑的建筑物,主要由洞身和洞门组成。

地壳在长期地质作用下,呈现出各种构造形迹,如倾斜、褶曲、断裂破碎带等,反映到岩体构成上,又产生各种不同的结构形式,这些构造与结构的地质条件直接影响着隧道的稳定与安全,对施工难易程度常常是决定性的因素。

(一)地质构造对隧道施工的影响

1. 水平岩层

在缓倾或水平岩层中,垂直压力大,对洞顶不利,而侧压力小,对洞顶有利。若岩层薄、层间联接差,洞顶常发生坍塌掉块。故隧道位置应选择在岩石坚固、层厚较大、层间胶结好、裂隙不发育的岩层内。

2. 倾斜岩层

(1)如图 13-1-5,若隧道中线与岩层走向垂直或交角很大,沿倾斜方向的洞门仰坡易于滑动,洞门可能发生楔形掉块。开挖时,顺倾斜方向易超挖,逆倾斜方向易欠挖。

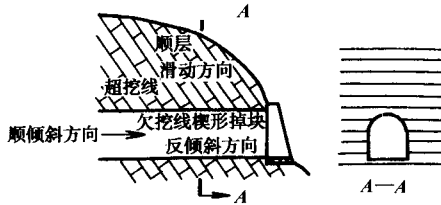


图 13-1-5 隧道中线与岩层走向垂直

(2)如图 13-1-6,若隧道中线与岩层走向平行或交角很小,隧道围岩层厚较薄、较破碎、层间联接差,则隧道两侧边墙所受侧压力不一,易导致边墙变形破坏。

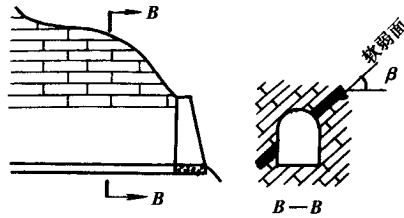


图 13-1-6 隧道的中线与岩层走向平行

3. 褶曲

(1)向斜与背斜初应力状态的改变(图 13-1-7)。

背斜 岩层的产状是正拱形。隧道通过时,拱顶上部岩体重力由于自身的作用,分传给两侧担负,有利于坑道围岩稳定。其裂隙特征是上部受拉,下部受压,张口上大下小。

向斜 岩层产状是倒拱形。隧道拱顶上部岩体重力集中,由于开挖使结构应力释放,易使岩体变形。其裂隙特征与背斜相反,上部受压,下部受拉,张口上小下大。

(2)褶曲对隧道的施工影响

①当隧道轴线与褶曲轴平行时,沿背斜和向斜轴修建隧道都是不利的,应选择在褶曲的两翼的中部通过。隧道通过平缓疏展的褶曲,一般围岩压力比通过挤压紧密的褶曲

为小。

②隧道横穿褶曲,背斜地层呈拱状,岩层被切割成上大下小的楔体,故隧道内坍塌的危险性较小。向斜地层呈倒拱形,岩层被切割成上小下大的楔体,最易形成洞顶坍塌。隧道横穿褶曲比平行褶曲有利,因隧道靠近其一翼通过,易产生较大的偏压。

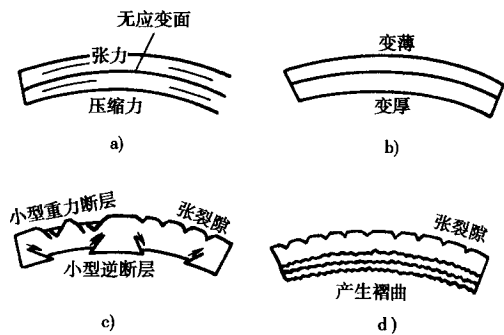


图 13-1-7 褶曲的应力和变形

a) 岩层应力 b) 岩层为柔形的 c) 岩层为脆性的 d) 岩层上硬上软

③在向斜构造中,一般在核部多储存大量地下水,且多具承压性质,施工中常遇较大的突然涌水,而在背斜中的地下水,对围岩稳定性相对要求小。

④在柔性岩层中,往往遇到小褶皱,使岩层更破碎,强度也降低;在脆性岩层中,往往遇到小型断层,使施工更为困难。

⑤在石灰岩层发育的地区,常出现岩溶现象。背斜中岩溶发育多为漏斗及井穴,向斜多为暗河。

4. 断层

(1)断裂的岩层被挤压破碎,成为块石、碎石、角砾及断层泥等,岩体强度降低,围岩压力较大。

(2)断层走向与隧道轴线的交角对隧道施工影响极大。如垂直或交角大,则一般穿过地段较短,围岩压力比较均匀分布;如平行或交角很小,则穿过地段较长,可能产生较大压力。

(3)在软、硬岩不同的岩层中,断裂面的柔性岩石往往形成不透水层,而在脆性岩的破碎角砾带极易储存大量地下水,开挖时常发生承压涌水,危害极大。

(4)可溶岩中,沿构造线方向常有各种形状的岩溶发育,会影响施工。

(5)当隧道通过几组断层时,除了上述问题外,还应考虑围岩压力沿隧道轴线可能重新分布,断层形成上大下小的楔体,可能将其自重传给相邻岩体,使它们的地层压力增加

等。

5. 节理

节理越密,张开越大,对隧道施工影响越大,尤其倾向于隧道的节理对施工影响很大。

(1)节理破坏岩体的整体性、降低了岩石的力学强度和围岩稳定性。

(2)密集的节理易使气体逸散,会降低施工的爆破效果。

(3)节理发育的岩层常是地表水和地下水的通道,水的活动会加速对岩层的溶解破坏,尤其在可溶岩地区易形成溶洞、暗河等。隧道施工开挖时应加强排、防水措施,同时,还应注意防止坍方。

(4)深大的构造节理影响河谷山坡的稳定性,危及隧道安全。

(二)岩石风化作用对隧道施工的影响

(1)风化会使岩石强度显著降低、透水性增加,其完整性受到破坏。

(2)隧道洞口地段施工,若遇到风化残积层时,粘结性不良,对隧道洞口的稳定极为不利。

(3)在一些岩石风化速度很快,如泥质页岩、泥质砂岩中开挖隧道时,不宜暴露时间过长,以免造成施工困难。因为这些岩石在开挖时尚属坚实,但一接触空气和水,表层即风化成细粒,易顺层坍塌。

(三)地下水对隧道施工的影响

地下水按其埋藏条件,可分为上层滞水、潜水和承压水三类。对于隧道工程有影响的是潜水和承压水,施工中较多遇到的是裂隙水。

1. 地下水的侵蚀性影响

(1)碳酸的侵蚀性

普通水泥硬化会生成大量自由的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,它易溶于水,但因为混凝土表面的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与空气中的 CO_2 作用形成一层 CaCO_3 硬壳,会对混凝土起保护作用。当地下水中含有过多的游离的 CO_2 时,就会侵蚀、溶解混凝土中的 CaCO_3 薄壳,又能使内部的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生反应变为易溶于水的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$,被水带走,致使混凝土破坏。地下水中只要含有一定数量的侵蚀性气体 CO_2 ,便具有碳酸性侵蚀,它可以溶解碳酸盐类岩石,腐蚀破坏水泥混凝土构件。

(2)硫酸盐的侵蚀性

水中含有过多的 SO_4^{2-} 离子时,首先会与混凝土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 起作用,生成结晶的 CaSO_4 。其体积增大,使混凝土膨胀,引起构造物开裂破坏。

(3) 镁盐的侵蚀性

主要是由于水中的 Mg^{2+} 与水泥中的 Ca^{2+} 交替,使 $Ca(OH)_2$ 浓度下降,引起混凝土中水化物失去稳定及水解破坏,从而腐蚀混凝土结构物。

2. 隧道穿过含水层时,地下水涌进隧道,将会大大增加排水、掘进和衬砌工作的困难。

3. 地下水可能对隧道工程施工及工程质量造成短期或长期的危害等。

第二节 工程地质勘察的主要方法

在人类的经济活动中,凡规模较大的工程,都必须对建筑场地的工程地质条件进行调查、研究,以求达到合理设计、安全施工、正常使用的目的。工程地质勘察的目的主要是查明工程地质条件,分析存在的地质问题,对建筑地区作出工程地质评价。

工程地质勘察的任务是运用工程地质学的理论和方法,按照不同的勘察阶段的要求,正确反映场地的工程地质条件,并结合工程设计、施工条件、地基处理、开挖、支护等工程的具体要求,进行技术论证和评价,提出岩土工程施工的指导性意见,为设计、施工提供依据,服务于工程建设。

工程地质勘察应分阶段进行。常用的设计阶段与步骤有:可行性研究勘察、初步勘察和详细勘察。不同的测设阶段,对工程地质勘测工作有不同的要求,在广度、深度和重点等方面是有差别的。其中可行性研究勘察应符合场地方案确定的要求,初步勘察应符合初步设计或扩大初步设计的要求,详细勘察应符合施工图设计的要求。对工程地质条件复杂或有特殊施工要求的重要工程,还应进行施工勘察;对面积不大,且工程地质条件简单的场地或有建筑经验的地区,可简化勘察阶段。

工程地质勘察的方法主要有工程地质测绘、工程地质勘探、地球物理勘探、工程地质试验、工程地质长期观测等。

一、工程地质测绘

工程地质测绘是工程地质勘察工作中最早进行的和最为根本的一项工作。工程地质测绘就是填绘工程地质图件,通过野外现场的直接调查综合研究勘察区的地质条件,如地层、岩性、地质构造、地貌条件、水文地质等,填绘在适当比例尺的地形图上加以综合

反映。工程地质测绘的目的在于查明勘察区的地貌、地质条件并结合区域地质资料,对场地或建筑地段的稳定性、适宜性作出评价,且为工程地质勘探测试工作及工点布置提供依据。工程地质测绘的特点是经济、快速、有效,是其它勘察工作的基础和依据。为了使测绘工作取得较全面的资料,除了高质量的地表地质调查外,还应进行适当的物探和一些试验工作。多年来,遥感等新技术在工程地质测绘中得到有效的应用。

对于公路工程来说,高速公路、一级公路、二级公路和独立工点,应进行工程地质测绘工作;对三、四级公路的不良地质地段,也可测绘工程地质平面图和纵断面图。工程地质条件简单的一般公路,可不进行地质测绘。

(一)工程地质测绘内容

①调查研究地形、地貌特征、划分地貌单元,分析各地貌单元的形成过程及其与地层、构造、场地稳定性的因果关系。

②查明岩土成因、性质、厚度、时代和分布范围,对岩层应查明风化程度及岩土相互接触关系和软弱夹层特性,对土层应着重分析新近堆积土,对特殊土、岩的类别和工程地质特征应予以查明。

③调查岩层产状,确定地质构造类型,软弱结构面的产状及其性质,包括断层位置、产状、断距、破碎带宽度及充填物的胶结程度。

④研究水文地质条件,调查地下水的天然与人工露头,了解地下水的类型、埋藏与补给条件、水位变化及与地表水的联系,并分析地下水对建筑物的影响。

⑤调查研究各种物理地质作用、现象的发育程度及分布规律。

⑥调查地震烈度大小及影响,确定7度以上的烈度界线。

⑦研究已有建筑物的变形状况及建筑经验。

⑧了解测区天然建筑材料的质、量及其分布等。

(二)工程地质测绘的方法

1. 像片成图法

像片成图法是利用地面摄影或航空(卫星)摄影的像片,先在室内根据判释标志,并结合所掌握的区域地质资料,把判明的地层岩性、地质构造、地貌、水系及不良地质现象等,描述在单张像片上。然后在像片选择需要调查的若干点和路线,据此去实地进行调查、校对修正绘成底图。最后,将结果转绘成工程地质图。

2. 实地测绘法

实地测绘法主要用路线法。沿一定的路线,穿越测绘场地,并沿途详细观测地质情况,把走过的路线和沿线的各种地质界线、地貌界线、构造线、岩层及各种不良地质现象

等填绘在地形图上。观测路线可沿构造线布置,并尽量布置在露头较好的地方。此外观测点的选择也很重要,观测点的布置、密度和定位遵循以下要求:

①在地质构造线、地层接触线、岩性分界线、标准层位和每个地质单元体应有地质观测点。

②观测点的密度应根据场地地貌、地质条件、成图比例尺及工程特点确定,观测点应具有代表性和控制性。

③地质观测点的密度应充分利用天然或人工露头,当露头少时,可按实际情况布置勘测点。

(三)遥感技术在工程地质测绘中的应用

遥感是指根据电磁辐射的理论,应用现代技术中的各种探测器,对远距离目标辐射来的电磁波信息进行接受、传送到地面接受站加工处理成遥感资料,用来探测识别目标物的整个过程。将卫星照片和航空照片的解译应用于工程地质测绘,能很大程度上节省地面测绘的工作量,做到省时、高质、高效、减少劳动强度,节省工程的勘察费用。

1. 应用方法

将遥感资料应用于工程地质测绘中需经过初步解译、野外踏勘和验证以及成图三个阶段。

在初步解译阶段,根据摄影像片上地质体的光学和几何特征,对航空照片和卫星照片进行系统的立体观测,对地貌及第四纪地质进行解译,划分松散沉积物与基岩界线,进行初步构造解译等工作。

第二步是野外踏勘和验证,由于气候、地形、植被等因素变化会使地质信息随地而异,同时由于视域覆盖的影响和遥感影像的特点,使一些资料难以获得,因此需在野外对遥感像片进行检验和补充。在这阶段,需携带图像到野外,核实典型地质图在照片上的位置,并选择一些地段进行重点研究,及在一定间距穿越一些路线,作一些实测地质剖面 and 采集必要的岩性地层标本。现场地质观测点数,宜为工程地质测绘点数的 30% ~ 50%。

最后是成图阶段,将解译取得的资料、野外验证取得的资料以及其它方法取得的资料,集中转绘到地形底图上,然后进行图面结构的分析,如有不合理现象,要进行修正,重新解译。必要时到野外复验,直至整个图面结构合理为止。

2. 遥感影像资料的比例尺

航空比例尺,宜采用 1:25000 ~ 1:100000。

陆地卫星影像宜采用不同时间各个波段的 1:250000 ~ 1:500000 黑白像片和假彩色

合成或其它增强处理的图像。

热红外图像的比例尺不宜小于 1:50000。

二、工程地质勘探

在工程地质勘察过程中,当露头不好,不能判别地下隐蔽的地质情况时,可采用工程地质勘探,此项工作一般在工程地质调查与测绘的基础上,通过采用物探、简易钻探、钻探、原位测试等综合方法进行。

工程地质勘探的主要任务是探明地下有关地质情况,如地层、岩性、断裂构造、地下水位、滑动面位置等。为深部取样及现场原位试验提供场所,利用勘探坑孔可以进行某些项目的长期观测工作以及物理地质现象处理工作。

(一)挖探

挖探是工程地质勘探中最常用的一种方法,可分为坑探和槽探。它就是用人工或机械方式进行挖掘坑、槽,以便直接观察岩土层的天然状态以及各地层之间接触关系等地质结构,并能取出接近实际的原状结构土样,该方法的特点是地质人员可以直接观察地质结构细节,准确可靠,且可不受限制地取得原状结构试样,因此对研究风化带、软弱夹层、断层破碎带有重要的作用,常用于了解覆盖层的厚度和特征。它的缺点是可达的深度较浅,且易受自然地质条件的限制。

1. 坑探

垂直向下掘进的土坑。浅者称试坑,深者称探井。断面一般采用 $1.5\text{m} \times 1.0\text{m}$ 的矩形,深度一般为 $1.5 \sim 2.0\text{m}$,探井深度为 $2 \sim 4\text{m}$ 。坑探用以揭示覆盖层的厚度和性质。

2. 槽探

是一种长槽形开口的坑道,宽 $0.6 \sim 1.0\text{m}$,长度视需要而定,深小于 3m 。常用于追索构造线,查明坡积层、残积层的厚度和性质,揭露地层层序等。

(二)简易钻探

是公路工程地质勘探中经常采用的方法,优点是:体积小,操作简便,进尺较快,劳动强度小。缺点是不能采用原状土样,在密实或坚硬地层内不易钻进或不能使用。常用的简易钻探工具有洛阳铲、锥探和小螺纹钻等。其中小螺纹钻是用人工加固回转转进的,适用于粘性土地层,采取扰动土样,钻进深度小于 $4 \sim 6\text{m}$ 。

(三)钻探

钻探是指用钻机在地层中钻孔,以鉴别和划分地表下地层,并可以沿孔深取样的一种勘察方法。在工程地质勘探中,钻探是直接了解地下地质情况,广泛采用的重要手段。

它可以获得深部地层的可靠地质资料,钻探主要用于桥梁、隧道及大型滑坡等不良地质现象的勘探。

1. 钻探的基本步骤

破碎岩土 使小部分岩土脱离整体而成为粉末、岩土块或岩土芯的现象,岩土借助冲击力、剪切力、研磨和压力来实现破碎。

采取岩土 用冲洗液(或压缩空气)将孔底破碎的碎屑冲到孔外,或者用钻具靠人力或机械将孔底的碎屑或样芯取出地面。

保全孔壁 为了顺利进行钻探工作,必须保护好孔壁,不使坍塌。一般采用套管或泥浆来护壁。

2. 钻探要求

钻孔按技术要求可分为技术性钻孔和一般钻孔。一般钻孔多是为工程需要而布置的,无论从深度上还是取样要求方面低于技术性钻孔。技术性钻孔要布置在地貌、地质构造、地层变化大且具有代表性的部位,采取原状土样。

钻孔深度,一般以结构物类型、工程规模、岩土类别、持力层深度、桥涵及防护等工程基础深度、隧道埋置深度和其它工程处理深度而定,以满足能评价工程地质条件,确定适宜的基础类型和埋深。

3. 钻探方法

钻探根据钻进时破碎岩石的方法,可分为冲击钻进、回转钻进、冲击—回转钻进、振动钻进、冲洗钻进。

冲击钻进 是利用钻具的自重,反复自由下落的冲击力,是钻头冲击孔底以破碎岩石而逐渐钻进,不能取得完整岩芯。

回转钻进 利用钻具回转,是钻头的切削刃或加研磨材料削磨岩石而不断钻进,机械回转钻进可适用于软硬不同的地层。

冲击—回转钻进 它的钻进过程是在冲击与回转综合作用下进行的。适用于各种不同的地层,能采取岩芯,在工程地质勘察中应用也较广泛。

振动钻进 利用机械动力所产生的振动力,使土的抗剪强度降低,借振动器和钻具的自重,切削孔底土层不断钻进。

冲洗钻探 是通过高压射水破坏孔底土层从而实现钻进。该方法适用于砂层、粉土层和不太坚硬粘土层,是一种简单快速的钻探方式。但该方法冲出地面的粉屑往往是各种土层的混合物,代表性很差,给地层的判断、划分带来困难,因此一般情况下不宜采用。

4. 钻探成果

钻探的成果可用钻孔柱状图来表示 图中应标出地质年代、岩土层埋藏深度、岩土层厚度、岩土层底部绝对标高、岩土的描述、柱状图、地下水位、测量日期、岩土取样位置等内容 其比例尺一般为 1:100 ~ 1:500 如图 13-1-8 所示。

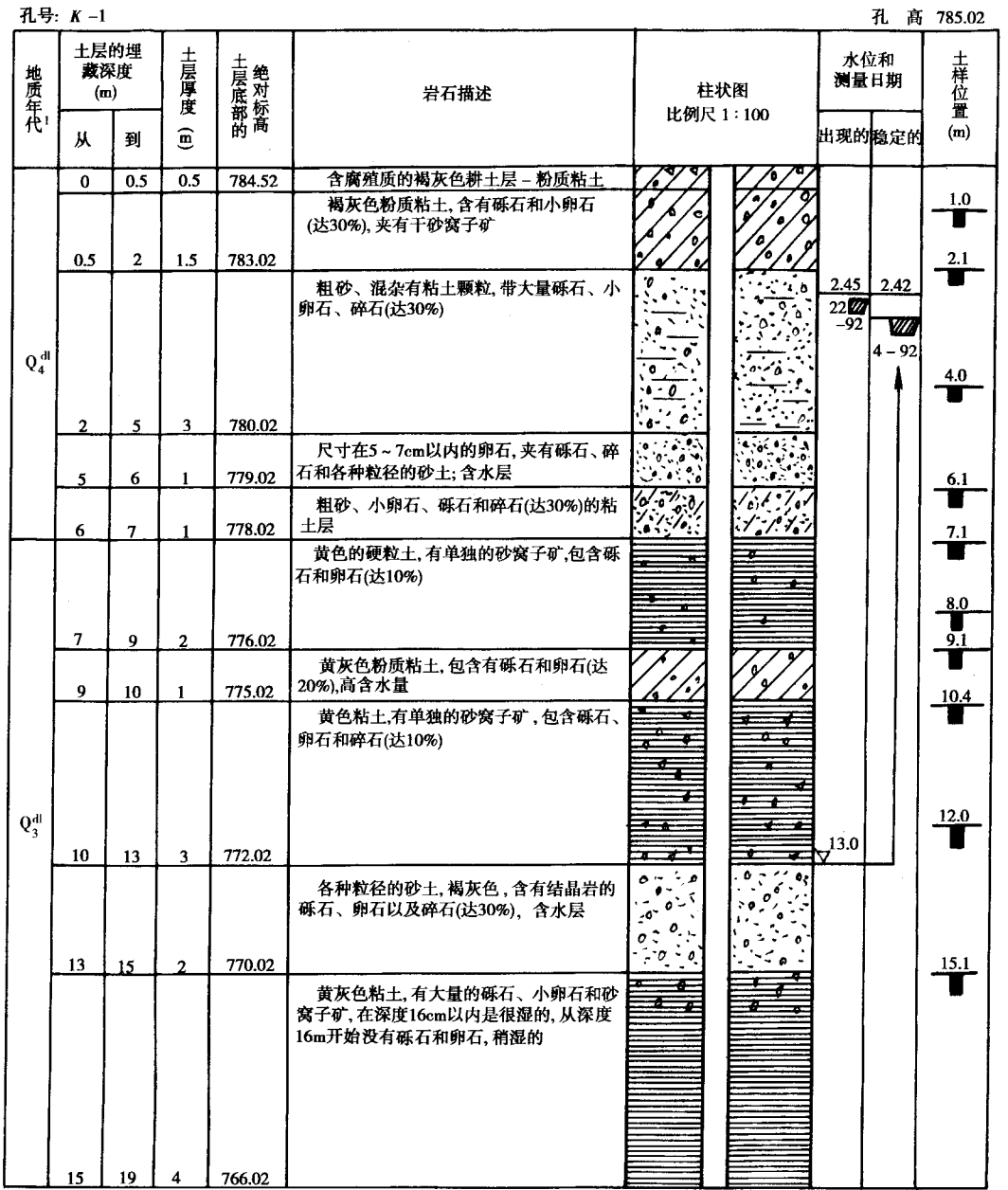


图 13-1-8 钻孔的地质柱状图示例

(四) 地球物理勘探(物探)

地球物理勘探简称物探,它是通过研究和观测各种地球物理场的变化来探测地层岩性、地质构造等地质条件。各种地球物理场有电场、重力场、磁场、弹性波的应力场、辐射场等。由于组成地壳的不同岩层介质往往在密度、弹性、导电性、磁性、放射性及导热性等方面存在差异,这些差异将引起相应的地球物理场的相应变化。通过量测这些物理场的分布和变化特征,结合已知地质资料进行分析研究,就可以达到推断地质性状的目的。物探方法具有速度快、效率高、成本低、搬运轻便等特点,应用较广泛。

但是物探是一种间接的勘探手段,特别当地质体的物理性质差异不太大时,其成果较粗略,故应与其它勘探手段配合使用,则效果更好。

1. 常用的物探方法

有电法勘探、地震波勘探、声波勘探、测井等。在公路工程地质勘察中常用的是电法勘探和弹性波勘探。

①电法勘探,简称电探,是利用仪器测定人工或天然电场中岩土导电性的差异来识别地下地质情况的一种物探方法。电探的方法有很多种,其中常用的是电测深法和电测剖面法。

电测深法 是在地表固定一点为中心测点,逐渐增大供电电极的距离,就可以测得地下不同深度处的视电阻率,从而推断出不同深度的地质情况。用此法可以查明覆盖层、风化层、冻土层的厚度,查明含水层和古河道、掩埋冲积扇的位置,查明溶洞位置及大小,查明滑坡体的滑床的位置,探寻天然建筑材料等。

电测剖面法 是以测量电极和供电电极间距保持不变,而将测点沿一定剖面线移动,逐点进行电阻率测量,所测得的视电阻值就表示某一深度范围内岩层沿剖面方向上的变化情况。用此法可以查明陡倾的岩层、断层、含水层、古河道、暗河位置。

②弹性波勘探,是利用人工激发震动,研究弹性波在地质体中的传播规律,以判断地下情况和岩体的特性和状态。弹性波勘探包括地震勘探和声波勘探。

地震勘探法 用人工震源在岩体中产生弹性波,可探测大范围内覆盖层厚度和基岩起伏,探查含水层、追索古河道位置,查寻断层破碎带,测定风化层厚度和岩土的弹性参数等。

声波勘探法 原理同上,但只能探测小范围内的岩体,如地下洞室围岩进行分类,测定围岩松动圈,检查混凝土和帷幕灌浆质量,划分岩体和钻孔地层剖面等。

2. 物探的应用

作为钻探的先行手段,了解隐蔽的地质界线、界面或异常点;

作为钻探的辅助手段,自钻孔之间增加地球物理勘察点,为钻探成果的内插、外推提供依据;

作为原位测试手段,测定岩土体的波速、动弹性模量、特征周期、土对金属的腐蚀等参数。

3. 物探的注意事项

物探工作的测区,一般不宜超过地质测绘的范围,但对物探解释和有对比价值的点,可不受此限;

在测区内测线的方向、间距及测点的疏密、激发点与接收点的距离与布置形式,应按物探方法并结合地形等情况确定,以减少影响地质解释精度的因素;

物探网的最佳布置方案应沿路线中线、桥梁、隧道轴线方向布设测线;

不同的地质体或构造,应有 2~3 条物探测线穿过,每条测线上至少有 3 个以上的测点,地质条件复杂时可适当加密。

三、试验

工程地质试验是取得工程设计所需的各项计算指标数值的重要手段和依据,是对土石工程性质进行定量评价时必不可少的方法。

工程地质调查测绘与勘探工作,只能对土石的工程性质进行定性的评价,要进行准确的定量评价必须通过试验工作。

工程地质试验分为室内试验和野外试验两种。室内试验是通过仪器对采集的样品进行测试、分析,取得所需数据,野外试验结合工程实际情况在原位进行,亦称原位测试。

(一) 室内试验

包括岩、土的物理、水理、力学、化学等试验内容,室内试验一般在中心试验室进行。如工程规模大,试验多,可考虑在现场设置工地试验室,就地进行试验。

室内试验虽然具有边界条件、排水条件和应力路径容易控制的优点,但是由于试验需要取试样,而土样在采集、运送、保存和制备等方面不可避免地受到不同程度的扰动,特别是对于饱和状态的砂质粉土和砂土,可能根本取不上土样,这使测得的力学指标严重“失真”。因此,为了取得可靠的力学指标,在工程地质勘察中,必须进行一定的相应数量的野外现场原位试验。

(二) 工程地质原位测试

测试的主要项目有:载荷试验、静力触探试验、动力触探试验、标准贯入试验、十字板剪切试验、旁压试验、现场剪切试验、波速测试、岩土原位应力测试、块体基础振动测试

等。

1. 载荷试验

载荷试验就是在一定面积的承压板上向地基逐级施加荷载,并观测每级荷载下地基变形特性,从而评定地基的承载力,计算地基的变形模量并预测实体基础的沉降量。它反映的是承压板以下 1.5~2.0 倍承压板直径或宽度范围内地基强度、变形的综合性状。由此可见,该方法犹如基础的一种缩尺真型试验,是模拟建筑物基础工作条件的一种测试方法,因而利用其成果确定的地基容许承载力最可靠、最有代表性。当试验影响深度范围内土质均匀时,此法确定该深度范围内土的变形模量也比较可靠。

(1)按承压板的形状,载荷试验可以分为平板载荷试验和螺旋板载荷试验。其中,平板载荷试验适用于浅层地基,螺旋板载荷试验适用于深层地基和地下水位以下的土层,常规的载荷试验是指平板载荷试验。

(2)载荷试验目的

确定地基上的临塑荷载、极限承载力,为评定地基土的承载力提供依据,这是载荷试验的主要目的;

确定地基上的变形模量、不排水抗剪强度和地基土基床反力系数。

2. 静力触探试验

静力触探(CPT)是用静力将探头以一定的速率压入土中,同时用压力传感器或直接用量测仪表测试土层对探头的贯入阻力,以此来判断、分析地基土的物理力学性质。

(1)静力触探具有测试连续、快速、效率高、功能多,兼有勘探与测试双重作用的优点,测试数据精度高,再现性好。静力触探试验适用于粘性土、粉土、疏松到中密的砂土,但对碎石类土和密实砂土难以贯入,也不能直接观测土层。

(2)静力触探试验的目的

划分土层和定名,估算地基土的物理力学参数,评定地基土的承载力,选择桩基持力层,估算单桩极限承载力,判断沉桩可能性。

3. 动力触探

动力触探(DPT)是利用一定的锤击动能,将一定规格的探头打入土中,根据每打入土中一定深度所需的能量来判定土的性质,并对土进行分层的一种原位测试方法。所需的能量体现了土的阻力大小,一般可以以锤击数来表示。

(1)动力触探试验具有设备简单、操作及测试方法简便、适用性广等优点,对难以取样的砂土、粉土、碎石土,对静力触探难以贯入的土层,动力触探是一种非常有效的勘探测试手段。它的缺点是不能对土进行直接鉴别描述,试验误差较大。

(2) 适用范围和目的

动力触探适用于强风化、全风化的硬质岩石、各种软质岩石和各类土。它可应用于以下目的：

划分土层，确定土的物理力学性质，如确定砂土的密实度和粘性土的状态；评定地基土和桩基承载力；估算土的强度和变形参数等。

4. 标准贯入试验

标准贯入试验 (SPT) 是利用一定的锤击动能，将一定规格的贯入器打入钻孔孔底的土层中，根据打入土层中所需的能量来评价土层和土的物理力学性质。标准贯入试验中所需的能量用贯入器贯入土层中 30cm 的锤击数 $N_{63.5}$ 来表示，一般写作 N ，称为标贯击数。

标准贯入试验实质上是动力触探试验的一种。它和动力触探的区别主要是它的触探头不是圆锥形，而是标准规格的圆筒形探头，由两个半圆管合成，且其测试方式有所不同，采用间歇贯入方法。

(1) 标准贯入试验的优点是设备简单，操作方便，土层的适应性广，且贯入器能取出扰动土样，从而可以直接对土进行鉴别。

(2) 标准贯入试验适用于砂土、粉土和一般粘性土。它适用于评价砂土的紧密状态和粉土、粘性土的稠度状态，评价土的强度参数、变形参数、地基承载力、单桩极限承载力、沉桩可能性、判定砂土和粉质粘土的液化等。

5. 十字板剪切试验

十字板剪切试验 (VST) 是用插入软粘土中的十字板头，以一定的速率旋转，测出土的抵抗力矩，然后换算成土的抗剪强度。它是一种快速测定饱和软粘土层快剪强度的一种简单而可靠的原位测试方法。这种方法测得的抗剪强度值相当于试验深度处天然土层的不排水抗剪强度，在理论上它相当于三轴不排水剪的粘聚力值或无侧限抗压强度的一半 ($\varphi = 0$)。

(1) 十字板剪切试验具有对土扰动小、设备轻便、测试速度快、效率高等优点，因此在我国沿海软土地区被广泛使用。

(2) 适用的范围和目的

十字板剪切试验适用于饱和软粘土 ($\varphi_u = 0$)。应用的目的：计算地基承载力；确定桩的极限端承力和摩擦力；确定软土地区路基、海堤、码头、土坝的临界高度；判定软土的固结历史。

四、长期观测

长期观测主要指短期内不能查明的,需要进行多年的季节性观测工作才能掌握其变化规律的工程地质条件。

观测工作可以在勘测设计阶段进行,也可以在施工阶段进行,还可以在运营阶段进行。

长期观测针对工程需要进行安排,主要内容有以下几方面:

- (1)对不良地质活动情况的观测与监测;
- (2)对岩土受到施工作用及其反应情况的监测;
- (3)对施工和运营使用期的工程监测;
- (4)对环境条件在施工过程中可能发生的变化进行监测。

第三节 勘察资料的内业整理

工程地质勘察过程中,外业的测绘、勘察和试验等成果资料,应及时整理,绘制草图,以便随时指导补充、完善野外勘察工作。勘察末期,应系统、全面地综合分析全部资料,以修改补充勘察中编绘的草图,然后编制正式的文字报告和图件等。它可为规划、设计、施工部门提供参考,是最重要的基础资料。

一、工程地质勘察报告书

在工程地质勘察的基础上,根据勘测设计阶段任务书的要求,结合各工程特点和建筑区工程地质条件编写工程地质勘察报告书。它是整个勘察工作的总结,内容力求简明扼要,清楚实用,论证确切,并能正确全面地反映当地的主要地质问题。

(一)工程地质勘察成果报告的内容

工程地质勘察成果报告的内容,应根据任务要求、勘察阶段、地质条件、工程特点等具体情况确定,主要包括以下内容:

- (1)勘察目的、要求和任务;
- (2)拟建工程概述;
- (3)勘察方法和勘察任务布置;

(4) 场地地形、地貌、地层、地质构造、岩土性质、地下水、不良地质现象的描述与评价；

(5) 场地稳定性和适宜性的评价；

(6) 岩土参数的分析与选用；

(7) 岩土利用、整治、改造方案；

(8) 工程施工和使用期间可能发生的岩土工程问题的预测、监控和预防措施的建议；

(9) 必要的图件。

(二) 单项报告内容

除综合性岩土工程勘察报告外,也可根据任务要求,提交单项报告,主要有:

(1) 岩土工程测试报告；

(2) 岩土工程检验或监测报告；

(3) 岩土工程事故调查与分析报告；

(4) 岩土利用、整治或改造方案报告；

(5) 专门岩土工程问题的技术咨询报告。

二、工程地质图表

工程地质勘察报告应附必要的图表,这些图表是根据各勘察设计阶段的测绘、勘探和试验所得资料,进行分析整理编制而成的。

几种常用的图表有:

(一) 综合工程地质平面图

简称工程地质图,在图中表示与工程有关的各种地质条件,如地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、物理地质作用现象等,并对工程建筑场地进行综合评价。

(二) 勘探点平面布置图

勘探点平面布置图是在地形图上标明工程建筑物、各勘探点(包括探井、探槽、钻孔等)、各现场原位测试点以及勘探剖面线的位置,并注明各勘探点、原位测试点的坐标及高程。

(三) 地层综合柱状图

反映场地(或分区)的地层变化情况,在图上标明层厚、地质年代,并对岩土的特征和性质进行概括的描绘,有时还附有各岩土层的物理力学性质指标。

(四) 工程地质剖面图

以地质剖面图为基础,反映地质构造、岩性、分层、地下水埋藏条件、各分层岩土的物

理力学性质指标等。它的绘制依据是各勘探点的成果和土工试验成果。

由于勘探线的布置常与主要地貌单元或地质构造轴线相垂直或与建筑物轴线相垂直,因此工程地质剖面图能最有效地揭示场地地质条件。

(五)土工试验成果表

主要有抗剪强度线、压缩曲线等,一般由土工试验室提供。

(六)现场原位测试图件

包括载荷试验、标准贯入试验、十字板剪切试验等的成果图件。

(七)其它专门图件

对于特殊地质条件及专门性工程,根据各自的特殊需要,绘制相应的专门图件等。

第四节 隧道工程地质勘察实施要点

公路隧道有山岭隧道与河底隧道之分。山岭隧道又可分为越岭隧道与山坡隧道两种。越岭隧道是穿越分水岭或山岭垭口的隧道,这种隧道可能有较大的深度和长度;山坡隧道是为避让山坡上的悬崖峭壁以及雪崩、山崩、滑坡等不良地质现象而修建的隧道,这种隧道长短不一。

隧道多是路线布设的控制点,长隧道可影响路线方案的选择。隧道勘察工作通常包括两项内容:一是隧道方案与位置的选择;一是隧道洞口与洞身的勘察。前者除隧道方案的比较外,有时还包括隧道展线或明挖的比较;对重点隧道或工程地质和水文地质条件复杂的隧道,应进行区域性的工程地质调查、测绘。当地下水对隧道影响较大时,应进行地下水动态观测,并计算隧道涌水量。

一、隧道工程地质问题

最常遇到的工程地质问题主要包括:山岩压力及洞室围岩的变形与破坏问题;地下水及洞室涌水问题;洞室进出口的稳定问题。

(一)山岩压力及洞室围岩的变形与破坏问题

岩体在自重和构造应力作用下,处于一定的应力状态。在没有开挖之前岩体原应力状态是稳定的,不随时间而变化。隧道开挖后,原来处于挤压状态的围岩,由于解除束缚而向洞室空间松胀变形,这种变形超过了围岩本身所能承受的能力,便发生破坏,从母岩

中分离、脱落,形成坍塌、滑移、底鼓和岩爆等。山岩压力通常指围岩发生变形或破坏而作用在洞室衬砌上的力。山岩压力和洞室围岩变形破坏是围岩应力重分布和应力集中引起的。因此,研究山岩压力,应首先研究洞室周围应力重分布和应力集中的特点,以及研究测定围岩的初始应力大小及方向,并通过分析洞室结构的受力状态,合理地选型和设计洞室支护,选取合理的开挖方法。

(二)地下水及洞室涌水问题

当隧道穿过含水层时,将会有地下水涌进洞室,给施工带来困难。地下水也是造成塌方和围岩失稳的重要原因。地下水对不同围岩的影响程度不同,其主要表现为:

①以静水压力的形式作用于隧道衬砌;

②使岩质软化,强度降低;

③促使围岩中的软弱夹层泥化,减少层间阻力,易于造成岩体滑动;

④石膏、岩盐及某些以蒙脱石为主的粘土岩类,在地下水的作用下发生剧烈的溶解和膨胀而产生附加的山岩压力;

⑤如地下水的化学成分中含有有害化合物(硫酸、二氧化碳、硫化氢等),对衬砌将产生侵蚀作用;

⑥最为不利的影响是突然发生的大量涌水,常造成停工和人身伤亡事故,在洞室工程地质勘测中,应对可能涌水的地点提出准确的预测。

(三)有害气体

在洞室掘进中,常会遇到各种对人体有害的易于燃烧、爆炸的地下气体,特别是当洞室通过煤系、含油、含炭或沥青的地层时,遇到地下气体的机会更多。这些有害气体是沼气、二氧化碳及硫化氢等。在地下工程的工程地质勘察过程中,应细心测定洞室通过岩层的各种有害气体,提出通风措施及其它安全防护措施,以确保工程的顺利进行。

④洞口稳定问题

洞口是隧道工程的咽喉部位,洞口地段的主要工程地质问题是边、仰坡的变形问题。其变形常引起洞门开裂、下沉或坍塌等灾害。

二、隧道位置选择的一般原则

(一)洞身位置的选择

隧道洞身位置的选择,主要以地形、地质为主综合考虑。在实际工作中,宜首先排除显著不良地质地段,按地形条件拟定隧道及接线方案,然后再进行深入的地质调查。综合各方面因素,最后选定隧道洞身的位置。

1. 选择地质构造简单、地层单一、岩性完整、无软弱夹层、工程地质条件较好的地段,在倾斜岩层中,以隧道轴线垂直岩层走向为宜。

2. 选择在山体稳定、山形较完整、山体无冲沟、无山洼等次地形切割不大、岩层基本稳定的地段通过。

3. 选择地下水影响小、无有害气体、无矿产资源和不含放射性元素的地层通过。隧道通过工程地质及水文地质条件极复杂地段,一般伴随有特殊不良地质问题发生,而这些问题发生有一个漫长变化的过程,在一般勘察阶段的短短几个月中是难以对这些问题有深入的了解,所以对其变化规律的认识和预测它的发展,需要安排超前工程地质和水文地质工作。

4. 对低等级公路隧道选址,原则上应尽量避让各种不良地质现象地段;但对于高等级公路,往往受路线等级的限制,不可避免地经过各种不良地质现象地段,在不良地质现象区选择隧道位置总的原则是:

- ①尽量避让,以免对隧道造成毁灭性、破坏性影响。
- ②尽量选择在影响范围小、影响距离短、影响时间短的地段。
- ③通过各方面因素综合考虑,把不良地质的影响减少到最低限度。

(二)洞口位置选择

洞口位置选择应分清主次,综合考虑,全面衡量。在保证隧道稳定性、安全性、没有隐患的前提下再考虑造价、工期等因素。一般应根据周围的地质环境、地表径流、人工构造物、地表和地下水等因素对隧道的影响综合考虑。高速公路、一级公路和风景区洞门设计力求与环境相协调,隧道洞门应与隧道轴线正交,关于隧道洞口位置选择的具体要求如下:

- 1. 确保洞口、洞身的稳定,不留地质隐患。
- 2. 便于施工场地布置,便于运输和弃渣处理,少占或不占可耕地。
- 3. 洞口外接线工程数量少、里程短、工程造价低等。
- 4. 对于水下隧道,主要应考虑地表水对洞口倒灌的影响。

(三)隧道围岩的稳定性

隧道围岩系指隧道周围一定范围内,对隧道稳定性能产生影响的岩体。山体压力是评定隧道围岩稳定性的主要内容,也是隧道衬砌设计的主要依据。

围岩分类是初步设计阶段勘察工程地质评价的主要内容。围岩分类采用多因素、多指标、定性、定量相结合的原理,以使围岩分类定性准确,且具有定量指标。隧道围岩分类仍然采用了铁道部的围岩分类方案,可参阅有关文献,此处不再赘述。

三、隧道工程地质勘察要点

(一)初步勘察阶段

主要是通过地表露头的勘察或采用简单的揭露手段来查明隧道区地形、地貌、岩性、构造等以及它们之间的关系和变化规律,从而推断不完全显露或隐埋深部的地质情况。通过测绘主要弄清对隧道有控制性的地质问题(如地层、岩性、构造),进而对隧道工程地质与水文地质条件作出定性的评价。

对不良地质现象地区隧道应充分利用现有的地质资料和航空照片、卫星照片等遥感信息资料,通过大量的野外露头调查或人工简易揭露等手段来发现、揭露不良地质现象的存在,找出它们之间的关系以及变化规律。

根据对各种勘察资料进行的综合分析、论证,按比选结果推荐最佳方案。

(二)详细勘察阶段

详勘内容主要有三个方面:一是核对初勘地质资料;二是勘探查明初勘未查明的地质问题;三是对初勘提出的重大地质问题作深入细致的调查。

1. 地质调查与测绘的范围、测点、物探网的点线范围和布设,物探方法的运用和钻探孔、坑、槽的数量与位置等,应与初勘时未能查明的地质条件相适应,但对隧道有影响的大构造和复杂地质地段,勘察追踪范围可适当放大。

2. 重点调查隧道通过的严重不良地质、特殊地质地段,以确定隧道准确位置的工程地质条件。

3. 实地复核、修改、补充初勘地质资料,对初勘遗漏、隐蔽的工程地质问题,应适当加大调绘范围和工作量。

第二章 隧道工程测量

第一节 概 述

隧道测量的主要任务,在隧道的勘测设计阶段是提供选址地形图和地质填图所需的测绘资料,在施工阶段是保证隧道的相向开挖能按规定精度正确贯通,并使各项建筑物以规定精度按照设计位置修建。

勘测设计阶段的测量工作,主要是为了满足设计需要而测绘地形图,一般应测绘 1:2000 或 1:5000 的带状地形图,宽度为隧道中线两侧 100 ~ 200m。为了配合隧道设计工作的需要,在初步设计和施工阶段还要绘制一些工程设计用图,如隧道线路方案平面图,隧道洞身工程地质横断面图,正洞口及各辅助坑道口的纵断面图等。

在施工阶段,主要是根据隧道施工所要求的精度和工作顺序安排相应的测量工作。施工阶段的主要测量工作包括:隧道开挖之前先做好洞外的地面控制测量,地面控制测量又分为平面控制测量和高程控制测量,然后将地面控制网中的坐标和高程传递到洞内,称为联系测量;开挖以后,必须按照与地面控制测量统一的坐标系统,建立洞内控制网,再根据洞内控制导线标定隧道中线及其衬砌位置,保证隧道的正确贯通和施工;隧道贯通以后,还要进行实际贯通误差的测定和线路中线的调整。

工程完工以后,还要进行竣工测量,检查施工质量,为交付运营提供各种测量数据。营运以后,还要定期进行沉降、位移观测。

第二节 地面控制测量

一、踏勘选点

(一) 收集资料

在布设地面控制网之前,应收集隧道所在地区的 1:2000 或 1:5000 大比例尺地形图、隧道所在地段的路线平面图、隧道的纵、横断面图、各竖井、斜井、水平坑道和隧道的相互关系位置图、隧道施工的技术设计及各个洞口的机械、房屋布置的总平面图等。除此之外,还应收集该地区原有的测量资料,如附近国家级高级导线点和三角点的资料等。

(二) 现场踏勘

在对所收集到的资料进行阅读、研究之后,须对隧道所穿越的地区进行详细踏勘。踏勘路线一般是沿着隧道路线的中线,以一端洞口向另一端洞口前进。行进中观察和了解隧道两侧的地形、水源、居民点以及人行便道的分布情况。在此期间,应特别留意两端洞口路线的走向、地形,以及施工设施的布置情况。结合现场情况,对地面控制布设方案进行更为具体、深入的研究。

(三) 选点布网

如果隧道地区有大比例尺地形图,则在图上选点布网,然后将其测设到实地上。如果没有大比例尺地形图,就只能到现场踏勘进行实地选点,确定布设方案。通常可根据定测时所确定的路线位置及隧道的进、出口、斜井、平洞等的桩位置进行选点布网。在每个洞口附近应布设不少于三个的平面控制点(包括洞口投点及与其相联系的导线点或三角点)和两个水准点,作为以后进行洞内测量的依据。对于桥、隧紧密相连或隧道相连的情况,一般要布设统一的控制网,以利于路线中线的正确连接。洞口设点应便于施工中线的放样,便于联测洞外控制点及向洞内测设导线。向洞内传递方位的定向边长度不宜小于 300m。设点桩位的高度要适当,埋设必须稳固可靠,以利于长期使用和保存。如施工中桩位受到破坏或发生变动,则应按原测精度予以恢复或另行移设。洞口水准点应布设在洞口附近土质坚实、通视良好、施测方便、便于保存且高度适宜的地方。每个洞口的两个水准点间的高差,以安置一次水准仪即可联测为佳。

隧道地面控制网应布设何种形式为宜,应根据隧道的长短、隧道经过的地区地形情

况、所用仪器情况,以及建网费用等方面进行综合考虑。

二、地面导线测量

导线测量是建立隧道洞外平面控制的常用方法之一。

在直线隧道中,为了减少导线测距误差对隧道横向贯通的影响,应尽可能将导线沿着隧道的中线布设。导线点数不宜过多,以减少测角误差对横向贯通的影响。对于曲线隧道,导线亦应沿两端洞口连线布设成直伸型导线为宜,并应将曲线的起、终点以及曲线切线上的两点包含在导线中。这样,曲线的转角即可根据导线测量结果计算出来,据此便可将路线定测时所测得的转角加以修正,从而获得更为精确的曲线测设元素。在有横洞、斜井和竖井的情况下,导线应经过这些洞口,以减少洞口投点。为了增加校核条件,提高导线测量的精度,一般都使其组成闭合环,也可以采用主、副导线闭合环,副导线只观测转折角。为了便于检查,保证导线的测角精度,应考虑增加闭合环个数以减少闭合环中的导线点数。例如,在大环中的适当位置连通主、副导线,分成若干小闭合环。也可以按闭合导线的要求施测全部边和角,以提高导线的可靠性。

为了减小仪器误差对测角精度的影响,导线点之间的高差不宜过大,视线应高出旁边障碍物或地面 1m 以上,以减小地面折光和旁折光的影响。对于高差较大的测站,可采用变动仪高法进行多组观测,取多组观测的均值作为该站的最后结果。导线环的水平角观测,应以总测回数的奇数测回和偶数测回分别观测导线的左角和右角,并在测左角起始方向配置度盘位置。测站的圆周闭合差 Δ 按下式计算。

$$\Delta = \text{左角均值} + \text{右角均值} - 360^\circ$$

对于三、四等导线 Δ 的限差可取 $\pm 2.0''$ 。

导线环角度闭合差的限差可按下式计算

$$\omega_x = 2 m''_{\beta} \sqrt{n} \quad (13-2-1)$$

式中 m''_{β} ——测角中误差(″);

n ——导线环内角的个数。

导线的边长可采用光电测距仪或全站仪。仪器在使用前要进行检定,施测时应考虑气象改正和棱镜常数改正。

三、地面三角测量

地面三角测量一般布设成线形三角锁,测量一条或两条基线。由于近年来光电测距仪的广泛应用,使精密测边与测角一样简便,所以常采用测数条边或全部边的边角网进

行测量。在布设三角网时,应以满足隧道横向贯通的精度要求为准,而不以最弱边和相对精度为准。三角网尽可能布设为垂直于贯通面方向的直伸三角锁,而且要使三角锁的一侧靠近隧道线路中线。此外,还应将隧道两端洞外的主要控制点纳入网中,这样可以减少起始点、起始方向以及测边误差对横向贯通的影响。三角锁的图形一般为三角形,传距角一般不小于 30° 。个别图形强度过差,可采用大地四边形。三角形的个数及推算路线上的三角点点数宜少,因此必要时可适当降低图形强度。每个洞口附近应布设不少于三个的三角点,如个别点直接作为三角点有困难,亦可以采用插点的方式。三角锁与插点是主网和附网的关系,属于同级。插点应以与主网相同的精度进行观测,并与主网一起平差。

布网时还须考虑与路线中线控制桩的联测方式。如路线交点、转点以及曲线主点等应尽可能纳入主网或插点,当洞口控制桩在曲线上时,还应考虑切线方向的标定问题。

三角锁的基线由因瓦基线尺或精密光电测距仪测定,而后者更为简便。当只设一条起始边时,其在三角锁中的位置可灵活选择。如三角锁近于严格直伸,则测距精度也可适当放低。当三角锁设计两条基线时,这两条基线应选在相向开挖的两个洞口附近,而且测距精度应符合式(13-2-2)的要求

$$\frac{m_b}{b} \leq \frac{m''_r}{\rho''} \quad (13-2-2)$$

式中 $\frac{m_b}{b}$ ——基线测量相对中误差;

m''_r ——方向观测中误差(");

ρ'' ——206265"。

在定出方向观测的精度后,即可确定基线测量的精度。如方向观测中误差 $m''_r = \pm 1''$,则基线测量相对中误差 $\frac{m_b}{b} < \frac{1}{200000}$ 。由此可以选择基线测量的仪器和方法。

隧道三角锁通常用方向观测法测量水平角,观测要严格遵循精密测角的原则。由于隧道三角网三角点间高差较大,观测方向的竖直角也较大,因此轴系误差对测角影响较大,所以在测角前一定要对仪器进行严格检验和校正。

观测时要在测站观测的各目标中选择一个距离适中、成像清晰、竖直角较小的方向作为零方向。这样在各测回的观测中便于找到零方向。在观测过程中,可每隔 2~3 测回将仪器和目标重新对中一次。

为了减弱旁折光对方向观测的影响,最好把全部测回数分配在不同的时间段,然后取各时间段观测结果的平均值。

在方向观测作业结束后,应按方向观测值计算三角形角度闭合差,以检查是否满足限差要求。三角形角度闭合差的限差按式(13-2-3)计算

$$f_{\beta} = 2m''_r \sqrt{6} \quad (13-2-3)$$

式中 m''_r ——三角网所需的方向观测中误差。

三角网实际方向观测中误差应按式(13-2-4)计算

$$m''_r = \pm \sqrt{\frac{\omega\omega}{6n}} \quad (13-2-4)$$

式中 ω ——三角网中各三角形的角度闭合差,以(")为单位;

n ——三角网中三角形的个数。

按式(13-2-4)计算的實際方向观测精度应不低于三角网所要求的方向观测精度。隧道三角网的平差通常采用按方向条件平差法进行计算。

四、地面水准测量

作为隧道高程控制的地面水准测量,除了特别长、大、困难的隧道外,一般情况下采用三、四等水准测量即可满足精度要求,而且布设形式多为单一水准路线,测量采用往、返测的方法。最后成果取往、返测高差的平均值就可以了。

隧道水准点的高程,应与路线水准点采用统一高程。因此,一般是采用洞口附近一个路线水准点的高程作为起算高程。如遇特殊情况,也可暂时假定一个水准点的高程作为起算高程,待与路线水准点联测后,再将高程系统统一起来。

布设水准点时,每个洞口附近埋设的水准点应不少于两个,两个水准点之间的高差以安置一次仪器即可联测为宜。而且,水准点的埋设位置应尽可能选在能避开施工干扰、稳定坚固的地方。

目前,光电测距三角高程测量已可以替代三、四等水准测量了,因此隧道高程控制测量亦可采用此法,并与地面平面控制测量进行联合作业以减小外业的劳动强度。

五、GPS 控制测量

用 GPS 定位技术作隧道地面控制测量,只需要在洞口外布点即可。对于直线隧道,洞口控制点应选在路线中线上,另外再布设两个定向点,定向点要与洞口点通视,但定向点间可不通视。对于曲线隧道,还应将曲线的主要控制点,如曲线起、终点,切线上的主点纳入网中。

GPS 控制测量时不要求点之间相互通视,而且对于网的图形也没有严格的要求,因

此点的选择较传统的控制测量要简便,但 GPS 点要求有良好的观测环境。如 GPS 点上空要开阔,不能选在隐蔽或其周围有高大障碍物的地方,否则会影响 GPS 卫星信息的接收;要避免无线电发射台及高压输电线,防止磁场对卫星信号的干扰;要避免大面积的水域或对电磁波反射强烈的物体,以减弱多路径效应的影响等。

如图 13-2-1 所示,为采用 GPS 定位技术而布设的一种隧道地面控制网,图中两点间连线为独立基线,网中每个点均有三条独立基线相连,故有良好的可靠性。

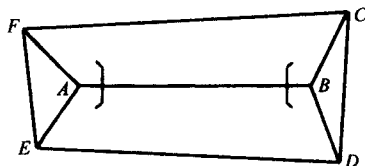


图 13-2-1

由于 GPS 测量具有定位精度高、观测时间短、布网与观测简便,以及可以全天候作业等优点,所以将会在隧道地面控制测量中得到广泛地应用。

此外,GPS 测量同样也可用于隧道高程控制,但尚须作进一步的研究和实践。

第三节 路线进洞测量和进洞关系数据的计算

一、路线进洞测量

隧道贯通误差的大小,除与洞外、洞内控制测量的精度密切相关外,与隧道路线中线的测定精度也有密切关系。由于隧道横向贯通中误差只有几十毫米,路线中线测量的精度一般不能满足隧道横向贯通的精度要求。

图 13-2-2 所示为一直线隧道,A、B、C、D 为路线中线测量定出的四个转点,理论上应位于同一直线上,但因路线中线测量的精度远低于洞内、外控制测量的精度,实际上四点并不共线。在这种情况下,如果按照 AB 方向和 DC 方向进洞,即使洞内测量再不产生误差,AB、DC 延长之后在贯通面上的中线位置将分别为 F 和 G,仅仅由于路线中线测量误差而产生的贯通误差就有可能使其超限。因此,为了避免路线测量精度过低所导致的影响,通常是将 A、B、C、D 四点纳入地面控制网,或以必要的精度进行联测。这样就可以精确判定 A、B、C、D 四点是否位于同一直线上,也使各点的点位,各点之间的距离,

各线段的坐标方位角具有较高的精度。

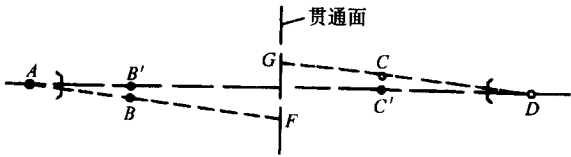


图 13-2-2

在实际作业时,应将两端洞口点即 A 点和 D 点标定。 A 、 D 两点的连线即作为隧道路线中线的平面理论位置,并以此为准。为了路线进洞照准方向方便,则可在两端洞口附近,在 AD 方向增设方向标,如可将 B 点移设至 B' 点,将 C 点移设至 C' 点。但 B' 、 C' 两点不能作为直线隧道的标准控制点使用,否则又会带来误差。当作为方向标使用时, B' 点距 A 点, C' 点距 D 点的距离不应过近,一般应在 200m 以上。

对于曲线隧道也有类似的情况。如图 13-2-3 所示,该隧道进口端为曲线,出口端为直线。图中 A 、 B 、 C 、 D 、 E 为路线中线测量所设之点。由于测设精度较低, AB 与 ED 的延长线将不会交于 C 点,且在 C 点上测出的转角也有较大误差,由此计算的曲线测设元素也含有较大误差,如果根据这些数据进洞,势必带来较大的贯通误差。因此, A 、 B 、 C 、 D 、 E 等点也必须纳入地面控制网或与其进行联测,从而取得各点的精确坐标,然后即可确定各点及各线段之间的精密关系,并可反算出精确的转角值,以此推算曲线测设元素。根据这些精确的数据,才能避免路线测量误差的影响。

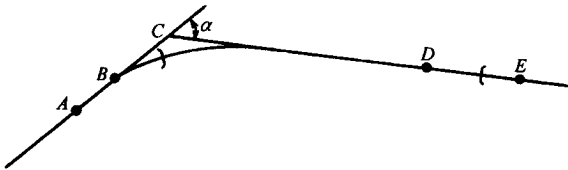


图 13-2-3

实际作业时,通常都是确定两端洞口外的曲线切线方向。确定的方法,可以在两洞口附近的地面上各定出切线上的两个控制点,通常称为转点,如图 13-2-3 中的 A 、 B 和 E 、 D 点。亦可定出 A 、 C 、 E 三点作为控制点, C 点作为两切线的交点。

所以,无论直线隧道,还是曲线隧道,应先选定洞口控制点、切线控制点及曲线交点等作为路线标准控制点标定在地面上,再与地面控制网进行联测。这样,隧道路线中线就与洞外、洞内控制测量取得了紧密的关系。根据这些关系,即可进行路线中线的计算,并按设计的中线在洞内放样以至贯通。

二、路线进洞关系数据的计算

路线进洞关系数据的计算,是指根据地面控制测量中所得到的洞口控制点的坐标及与之相联系的控制点的坐标和方向,计算进洞的数据,用以指示隧道的开挖方向。

(一) 直线进洞关系数据的计算

直线隧道通常在洞口设置两个控制点,如图 13-2-4 所示, A 、 B 、 C 、 D 为路线测量时设置的四个转点, A 、 D 作为两洞口标准控制点。在布设地面控制网时,将四点纳入网中,在得到四点的精密坐标值之后,即可反算 AB 、 CD 和 AD 的坐标方位角及直线长度。 AD 与 AB 坐标方位角之差即为 β_1 之值; DA 与 DC 坐标方位角之差即为 β_2 之值,于是 B 点对于 AD 的垂距 BB' 、 C 点对于 AD 的垂距可计算出

$$\left. \begin{aligned} BB' &= AB \sin \beta_1 \\ CC' &= CD \sin \beta_2 \end{aligned} \right\} \quad (13-2-5)$$

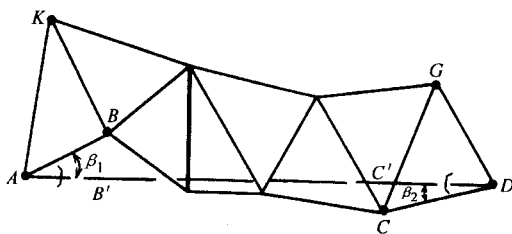


图 13-2-4

为了测设 B' 点,可将经纬仪置于 B 点,后视 A 点,逆时针拨角 $(90^\circ - \beta_1)$,按视线方向量出 BB' 长度取得 B' 点。同法可测设 C' 点,此时 B' 、 C' 即在 AD 直线上, B' 、 C' 即可作为方向标使用。以上 B' 、 C' 方向标的测设,通常称为隧道控制点的移桩。

路线进洞时,将经纬仪置于 A 点(D 点),瞄准 B' 点(C' 点),即得出进洞的方向。为了避免仪器轴系误差的影响,通常采用正倒镜分中定向的方法。洞内路线中线各点的坐标应根据标准控制点 A 、 D 的坐标计算,而不能使用 B' 、 C' 点计算。

当洞口仅设置一个控制点时,亦如图 13-2-4 所示的 A 和 D 点,这两点为标准控制点。这时,只要将 A 、 D 点纳入地面控制网中,取得 A 、 D 两点的精密坐标值,即可反算出 AD 方向的坐标方位角。 AK 、 DG 的坐标方位角亦可通过坐标反算求得, $\angle KAD$ 和 $\angle GDA$ 也就可以算出。进洞时将经纬仪置于 A 、 D 点,即可后视 K 、 G 点拨角得到进洞的方向。

(二) 曲线进洞关系数据的计算

曲线进洞时先计算洞口中线插点的测设数据,测设出该点,然后计算由该点进洞的数据,测设出该点的切线方向。

1. 圆曲线进洞

如图 13-2-5 所示,设 M 、 N 、 P 、 Q 为曲线两切线上的转点,是标准控制点,已纳入地面控制网,它们的坐标已知。按照圆曲线测设方法可计算出交点 JD 、圆心 O 、曲线上的主点的坐标。将曲线上的主点纳入地面控制网的坐标系,据此即可计算洞口曲线中线插点 A 的坐标。

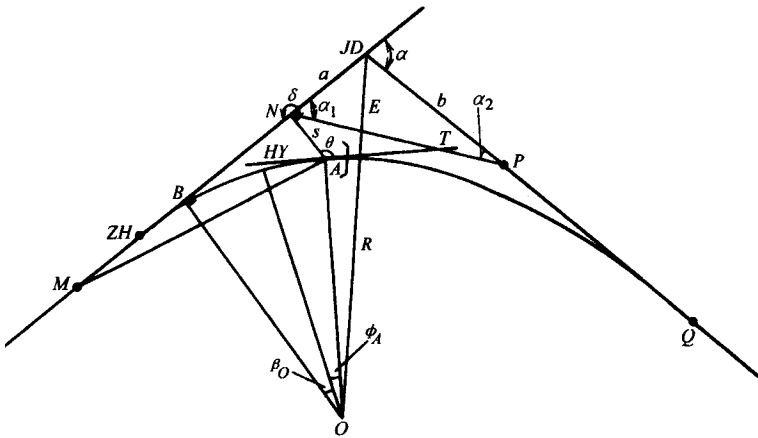


图 13-2-5

曲线中线点 A 一般应选在距洞口位置数米至数十米的地方,必须与地面其他控制点能够通视,且便于向洞内引测中线。该点的中线里程应为整桩号。

A 点坐标求得后,即可以极坐标法测设 A 点,计算 A 点的测设数据 δ 和 S 。测设时将经纬仪置于 N 点上,后视 M 点,拨 δ 角,然后沿视线方向量取 S 距离,即得 A 点。

进洞方向实际上就是 A 点的切线方向,只要计算出图中的放样角 θ 即可

$$\alpha_{AT} = \alpha_{OA} + 90^\circ \text{ (右转。左转为 } \alpha_{AT} = \alpha_{OA} - 90^\circ \text{)} \quad (13-2-6)$$

$$\theta = \alpha_{AT} - \alpha_{AN} \text{ (右转。左转为 } \theta = \alpha_{AN} - \alpha_{AT} \text{)} \quad (13-2-7)$$

将仪器置于 A 点,后视 N 点,拨 θ 角定出 A 点的切线方向。切线方向定出后,按 A 点里程和需要测设的曲线桩里程,用曲线测设的方法施测进洞。

2. 缓和曲线进洞

如图 13-2-6 所示,参照圆曲线进洞计算和缓和曲线的测设方法计算出交点坐标,然后根据 A 点里程按式 (13-2-9) 计算 A 点的切线支距法坐标,再经坐标的旋转和平

一、联系三角形定向

采用联系三角形进行竖井定向时,在井架上悬挂两个重锤于洞内,待其稳定后,在地面上根据控制点测定两垂线的坐标以及垂线连线的坐标方位角。在井下根据垂线坐标及其连线的坐标方位角,以确定洞内导线的起算坐标及坐标方位角。

(一) 由地面用钢丝悬挂重锤向洞内投点

投点常采用单荷重投影法。如图 13-2-7 所示,投点时先在钢丝上挂以较轻的荷重,用绞车徐徐将其往下投入井中,然后在井底换上作业重锤,放入盛有水或机油的桶内,但不能与桶壁接触。桶在放入重锤后须加盖,以防止滴水冲击。

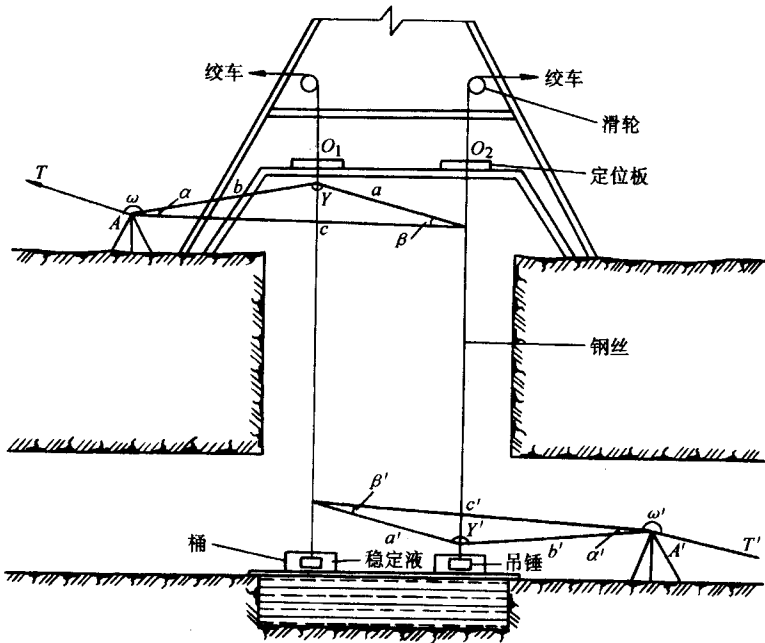


图 13-2-7

为了调整和固定钢丝在投影时的位置,在井上设有定位板。通过移动定位板,可以改变垂线的位置。

(二) 井上、井下的连接测量

在连接测量中,通常采用联系三角形。如图 13-2-7 所示, A 为地面上的近井控制点, O_1 、 O_2 为两垂线, A' 为洞内近井点,将作为洞内导线的起算点。观测在两垂线稳定的情况下进行,在地面上观测 α 角和连接角 ω ,并丈量三角形的边长 a 、 b 、 c ;在井下观测 α' 角和连接角 ω' ,并丈量三角形边长 a' 、 b' 、 c' 。

角度测量通常采用 J_2 级经纬仪,用方向观测法观测 6 测回。为减小仪器对中误差对测角的影响,测角时应进行三次对中,每次对中将基座位置变换 120° 。有条件时可采取强制对中措施。

联系三角形的边长丈量应使用具有 mm 分划的钢卷尺。钢尺在使用前应进行检验。丈量时应施加检验时的拉力,并记录测量时的温度。每边须丈量 6 次,并改变钢尺的读数位置,读数估读到 0.1mm。同一边长各次观测值的互差不应大于 2mm。

此外,两垂线间距,井上、井下所量结果之差一般应不大于 2mm。量得的垂线间距离 a 与按余弦定理计算所得距离之差亦不应大于 2mm

$$a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bccos\alpha} \quad (13-2-9)$$

为了提高传递方向的精度,可利用定位板移动垂线的位置,使其在不同的三个位置上进行观测,这样就得到洞内导线的三组起算数据,取其平均值作为最后结果。

(三)联系三角形的平差计算

在角度 ω 、 α 取各测回观测值的平均值、边长 a 、 b 、 c 进行尺长改正和温度改正并取平均值之后,即可进行联系三角形的平差计算,计算方法可参阅《工程测量》、《桥隧控制测量》等教材。

二、光学垂准仪与陀螺经纬仪联合进行竖井联系测量

用光学垂准仪在井下投点以取得洞内导线的起始坐标,用陀螺经纬仪在井下测定起始边的坐标方位角。这种方法比起传统的三角形联系测量要方便、快捷,并具有较高的精度。

(一)光学垂准仪的投点方法

为了检核,一般在井上选定三个点位,用光学垂准仪进行投点。投点方法为:首先在井口上设置盖板,在选定点位处开一 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 的孔,然后将仪器置于该处,另搭支架且不能与井盖接触,供观测者站立其上,进行观测。观测时将仪器严格整平并对准孔心。井下设置移动觇牌,如图 13-2-8 所示。觇牌用金属板制成,一般为 $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ 方形或直径为 50cm 圆形,用红、白或黄、黑油漆漆成对称图形,图形中心有如针眼粗细的小孔,使用时平置井底地面。通过移动觇牌,使觇牌中心小孔恰好在仪器视准轴上,再由此小孔将点定出。为了消除仪器轴系误差的影响,投点时,照准部平转 90° 为一盘位,共测四个盘位,每一盘位向井下投一点,如不重合,则取四点的重心作为一测回的投点位置。

每个点位须进行四个测回,四个测回投点的重心作为最后采用的投点位置。然后用仪器瞄准该投点,视线投在井盖上定出井上相应的点位,这样在井上、井下共定出三对相

对应的点。最后检查井上两点距离与井下对应两点距离之差, $\leq 2\text{mm}$ 即合乎要求。测得井上点的坐标, 即可作为井下相应点的坐标。

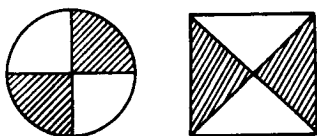


图 13-2-8

(二)陀螺经纬仪测定洞内定向边的坐标方位角

首先在地面上选择控制网中的一条边,以长边为好,且该边坐标方位角的精度高。同时在洞内选择一条定向边,也以长边为好,可在该边两端点安置仪器进行观测。

如图 13-2-9 所示,在地面选定边的一端 A 上安置仪器,测定该边 AB 的陀螺方位角 m (陀螺经纬仪测定的是真方位角,亦称地理方位角,但由于陀螺轴、望远镜视准轴和观测目镜的光轴不在同一竖直面内,使得所测得的方位角与真方位角不一致,故称陀螺方位角,其差值称为仪器常数)。再将仪器迁至井下定向边的一端点 P 上,如图 13-2-10 所示,测得定向边 PO 的陀螺方位角 m 。

设 A_0 和 A 分别为地面已知边 AB 和井下定向边 PQ 的真方位角; r_0 和 r 分别为地面 AB 边和井下 PQ 边的子午线收敛角; α_0 和 α 分别为已知边 AB 和定向边 PQ 的坐标方位角; Δ 为仪器常数。由图 13-2-9 和图 13-2-10 所示可得

$$\alpha = A - r = m + \Delta - r \quad (13-2-10)$$

因为

$$\Delta = A_0 - m_0 = \alpha_0 + r_0 - m_0 \quad (13-2-11)$$

所以

$$\alpha = \alpha_0 + (m - m_0) + \delta_r \quad (13-2-12)$$

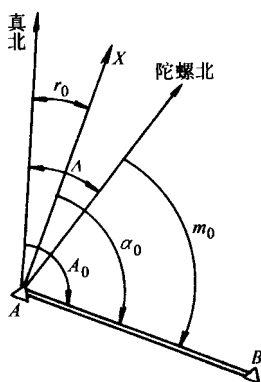


图 13-2-9

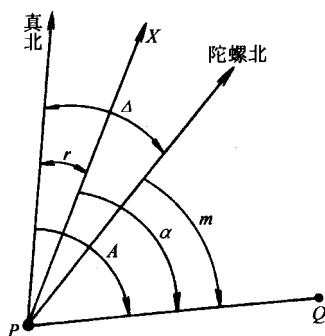


图 13-2-10

式中 $\delta_r = (r_0 - r)$, 为地面与井下两测站子午线收敛角之差, 其值可按下式计算

$$\delta_r'' = \frac{y_A - y_P}{R} \tan \varphi \rho'' \quad (13-2-13)$$

式中 R ——地球半径;

φ ——当地的纬度;

ρ'' —— $206265''$;

y_P, y_A ——地上和井下两测站点的横坐标。

三、竖井传递高程的方法

由竖井传递高程, 是通过测量井深而将地面水准点的高程传递至井下的水准点, 高程传递应独立进行两次, 其互差应满足限差要求。

(一) 钢尺导入法

钢尺导入法是传统的竖井传递高程的方法。如图 13-2-11 所示, 将钢尺悬挂在支架上, 尺的零端垂下, 并在该端挂一重锤, 其重量应为检定时的拉力。井上、井下各安置一台水准仪。由地面上的水准仪在已知水准点 A 的水准尺上读取读数 α , 而在钢尺上读取读数 m ; 由井下水准仪在钢尺上读取读数 n , 而在洞内水准点 B 的水准尺上读取读数 b 。为避免钢尺上下移动对测量结果的影响, 井上、井下读取钢尺读数 m, n 必须在同一时刻进行。变更仪器高, 并将钢尺升高或降低, 重新观测一次。观测时应量取井口和井下的温度。

洞内水准点 B 的高程可按下式计算

$$H_B = H_A + a - [(m - n) + \Delta l + \Delta t] - b \quad (13-2-14)$$

式中 Δt ——钢尺温度改正数;

Δl ——钢尺尺长改正数。

为了进行检核起见,一般应由地面上 2 个以上水准点将高程传递到洞内的两个水准点上。

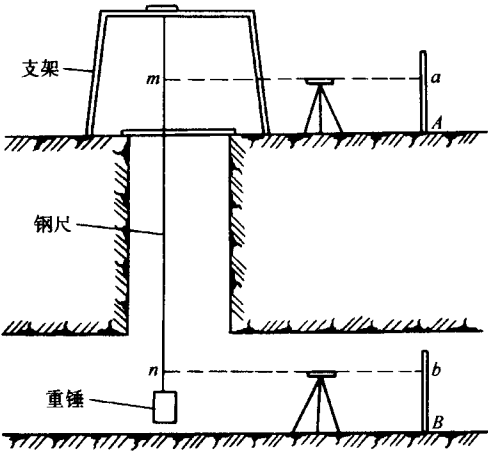


图 13-2-11

(二) 用光电测距仪传递高程

这种方法是用光电测距仪代替钢尺测定竖井的深度,操作简便,精度高。但由于观测的是竖直距离,就需按仪器的外部轮廓加工一个支架,支架由托架和脚架组成,测量时将仪器平放在托架上,使仪器竖轴处于水平位置。

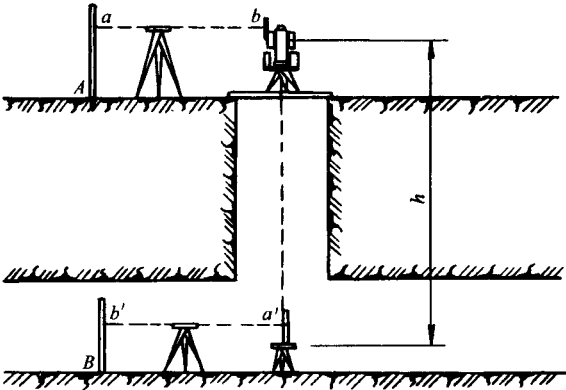


图 13-2-12

如图 13-2-12 所示,将光电测距仪安置在地面井口盖板上的特制支架上,并使仪器竖轴水平,望远镜竖直瞄准井下预置的反射棱镜,测出井深 h 。在井上、井下各置一台水准仪。由地面上的水准仪在已知水准点 A 的水准尺上读取读数 a ,在测距仪横轴位置

(发射中心)立尺读取读数 b ;由井下水准仪在洞内水准点 B 的水准尺上读取读数 b' ,将尺立于反射棱镜中心读取读数 a' 。井下水准点 B 的高程即可按下式算出

$$H_B = H_A + (a - b) + (a' - b') - h \quad (13-2-15)$$

式中 h ——经气象改正及仪器加、乘常数改正后的距离值。

第五节 洞内控制测量

一、洞内导线测量

导线测量是建立地下平面控制的主要形式。洞内导线测量的目的是以必要的精度,按照地面控制测量统一的坐标系统,建立洞内的平面控制系统。根据洞内导线的坐标,就可以测设隧道中线、放样隧道衬砌位置及其他附属设施,定出隧道开挖的方向,保证相向开挖的隧道在规定的精度范围贯通。

地下导线的起始点通常设在隧道的洞口、横洞或斜井口,这些点的坐标是由地面控制测量测定的。

(一)洞内导线的特点

洞内导线须随隧道的掘进不断向前延伸,而且在隧道贯通之前,就得依据导线测设路线中线进行隧道施工放样,因此,洞内导线具有以下特点:

(1)应尽可能提高导线临时端点(开挖面前的导线点)的点位精度。

(2)每次建立新点,必须检测前一个老点,及时察觉由于山体压力或洞内施工、运输等影响而产生的点位位移。

(3)导线测量工作时断时续,所隔时间的长短,取决于施工开挖的进展速度。

(4)导线是在开挖的坑道内敷设,其形状取决于坑道的形状。

(二)洞内导线的布设方法

布设洞内导线时,应考虑保证横向贯通,另外还应考虑其点位能保证放样的精度。这两个要求互有矛盾,前者要求布设长边导线,后者则要求点位的密度。故地下导线常采用分级布设的方法,一般分为下列三种:

1. 施工导线

在开挖面向前推进时,用以进行放样而指导开挖的导线,其边长为 25 ~ 50m。

2. 基本导线

当掘进 100 ~ 300m 时 ,即可选择一部分施工导线点敷设边长为 50 ~ 100m 精度要求较高的基本导线。

3. 主要导线

当掘进超过 1km 时 ,为了保证贯通精度 ,可选择一部分基本导线点来敷设边长为 150 ~ 300m 的主要导线。

以上导线的布置 ,如图 13 - 2 - 13 所示 ,A、B、C、D 为主要导线 ,a、b、c 为基本导线 ,1 2 3 ... ,11 为施工导线。

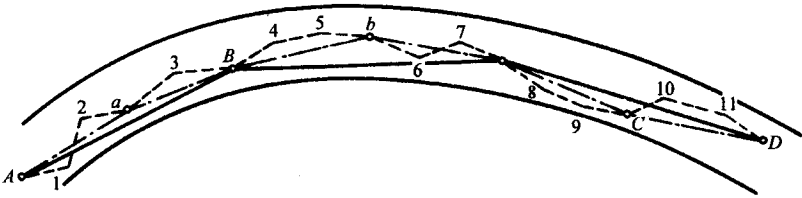


图 13 - 2 - 13

支导线的角度采用经纬仪测回法 ,测多个测回后 ,测回差在限差允许范围内后取平均值作为最后角值。支导线在设立新点之前 ,应对前面角度进行检查。边长采用钢尺量距或光电测距。

洞内控制测量除了采用支导线形式外 ,有时还采用主、副导线杯。如图 13 - 2 - 14 所示 ,主导线为 A - 1 - 2 - 3 - ... ,副导线为 A - 1' - 2' - 3' - ...。主副导线隔 2 ~ 3 条边组成一个闭合环。主导线既测角、又测边 ,而副导线则只测角、不测边。通过角度闭合差可以评定角度观测的质量和提提高测角精度 ,对提高导线端点的横向点位精度有利。但导线点坐标只能沿主导线进行传算。

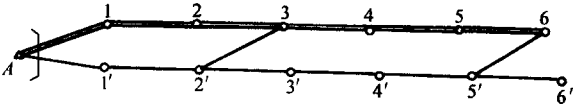


图 13 - 2 - 14

在大型隧道中 ,还可以采用导线网的形式。导线网一般设成若干彼此相连的带状导线环 ,如图 13 - 2 - 15 所示。网中所有边角全部观测。导线网除可对角度进行检核外 ,由于测量了全部边长 ,故计算坐标有两条传算路线 ,对导线点坐标亦能进行检核。

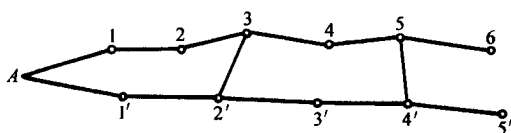


图 13-2-15

(三) 洞内导线点的埋设

洞内导线点一般采用地下挖坑,然后浇灌混凝土并埋入铁制标心的方法埋设,这与一般导线点的埋设方法基本相同。但是由于洞内狭窄,施工及运输繁忙,且照明差,桩志露出地面极易撞坏,故标石顶面应埋在坑道底面以下 10~20cm 处,上面盖上铁板或厚木板。为便于找点,应在边墙上用红油漆注明点号,并以箭头指示桩位,作好点之记。导线点兼作高程点使用时,标心顶面应高出桩面 5mm。

二、洞内水准测量

洞内水准测量的目的,是为了在洞内建立一个与地面统一的高程系统,以作为隧道施工放样的依据,确保隧道在竖向正确贯通。

洞内水准测量的方法与地面水准测量方法基本相同,但由于隧道施工的具体情况,又具有以下特点:

1. 在隧道贯通之前,洞内水准路线均为支水准路线,因此须用往返测量进行检核。由于洞内施工场地狭小,施工繁忙,还有水的浸害,会影响到水准标志的稳定性,故应经常性地由地面水准点向洞内进行重复的水准测量,根据观测结果以分析水准标志有无变动。

2. 有时为了测量需要,可将水准点埋设于坑道顶部或边帮上,观测时应倒立水准尺,记录的水准读数则为负值。

3. 为了满足洞内衬砌施工的需要,水准点的密度一般要达到安置仪器后,可直接后视水准点就能进行施工放样而不需要迁站的要求。洞内导线点亦可用作水准点。一般情况下,水准点的间距不大于 200m。

4. 隧道贯通后,在贯通面附近设置一个水准点 E ,由进、出口水准点 J 、 C 引进的水准路线均连测至 E 点上。这样, E 点就得到两个高程值 H_{JE} 和 H_{CE} ,实际的高程贯通误差为

$$f_h = H_{JE} - H_{CE} \quad (13-2-16)$$

当 f_h 不大于限差时,即可求取高程贯通点 E 的高程。若贯通面进口一侧与出口一侧的水准路线长度大致相等,则取 H_{JE} 与 H_{CE} 的算术平均值作为 E 点高程;若路线长度

相差较大,则应取加权平均值,其权由水准路线长度而定。其他各水准点高程则按距离进口水准点或出口水准点的路线长度成比例进行调整。

第六节 隧道贯通误差的测定与调整

隧道贯通后,应及时地进行贯通测量,测定实际的横向、纵向和竖向贯通误差。若贯通误差在容许范围之内,就可认为测量工作已达到预期目的。不过,由于存在着贯通误差,它将影响隧道断面扩大及衬砌工作的进行。因此,应该采用适当的方法将贯通误差加以调整,从而获得一个对行车没有不良影响的隧道中线,并作为扩大断面、修筑衬砌以及铺设道路的依据。

一、贯通误差的测定方法

(一) 纵、横向贯通误差的测定

如果是采用中线法贯通的隧道,当隧道贯通之后,应从相向测量的两个方向各自向贯通面延伸中线,并各钉一个临时桩 A 和 B' 如图 13-2-16 所示。量测出两个临时桩 A 、 B 之间的距离,即得出隧道的实际横向贯通误差; A 、 B 两临时桩的里程之差,即为隧道的实际纵向贯通误差。

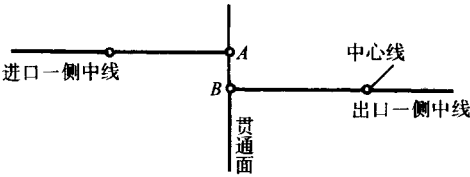


图 13-2-16

以上方法对于直线隧道与曲线隧道均适用,只是曲线隧道贯通面方向是指贯通面所在曲线处的法线方向。

如果是用导线作洞内平面控制的隧道,则可在实际贯通点附近设一临时桩点 E ,如图 13-2-17 所示,分别由贯通面两侧的导线测出其坐标。由进口一侧测得的 E 点坐标为 x_J 、 y_J ;由出口一侧测得的 E 点坐标为 x_c 、 y_c ,则实际贯通误差为

$$f = \sqrt{(x_c - x_J)^2 + (y_c - y_J)^2} \tag{13-2-17}$$

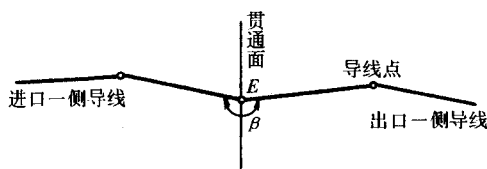


图 13-2-17

如果是直线隧道,通常是以路线中线方向作为 x 轴,此时横向、纵向贯通误差分别为

$$\begin{aligned} f_H &= y_c - y_J \\ f_Z &= x_c - x_J \end{aligned} \quad (13-2-18)$$

如果是曲线隧道,如图 13-2-18 所示,设贯通面方向与实际贯通误差 f 的夹角为 φ ,可按下式计算

$$\varphi = \arctan \frac{y_c - y_J}{x_c - x_J} - \alpha_G \quad (13-2-19)$$

式中 α_G 为贯通面方向的坐标方位角,可根据贯通点在曲线上的里程计算。在 φ 角算得后,即可计算横向、纵向贯通误差

$$\left. \begin{aligned} f_H &= f \cos \varphi \\ f_Z &= f \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (13-2-20)$$

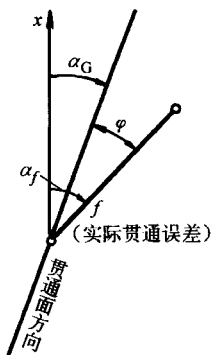


图 13-2-18

(二) 方位角贯通误差的求取

如图 13-2-17 所示,将仪器安置在 E 点上,测出转折角 β ,将进、出口两边的导线连通,就能求出导线的角度闭合差,这里称为方位角贯通误差,它表示测角误差的总影响。

二、贯通误差的调整

调整贯通误差 ,原则上应在隧道未衬砌地段上进行 ,一般不再变动已衬砌地段的中线。所有未衬砌地段的工程 ,在中线调整之后 ,均应以调整后的中线指导施工。

(一)用洞内导线控制贯通的隧道

如图 13-2-19 所示 ,自进口控制点 J 至导线点 A 为进口一端已建立的洞内导线 ;自出口控制点 C 至导线点 B 为出口一端已建立的洞内导线 ,这些地段已由导线测设出中线 ,并据此衬砌完毕。 A 、 B 之间是尚未衬砌的调线地段。在隧道贯通后 ,以 A 、 B 两点作为已知点 ,在其间构成含贯通点 E 的附合导线 ,因此 ,在调线地段可作以下调整 :

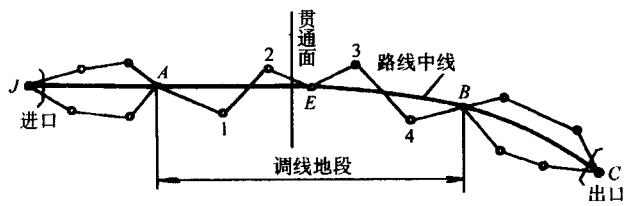


图 13-2-19

(1)以附合导线 $A-1-2-E-3-4-B$ 计算角度闭合差(即方位角贯通误差) ,并平均分配至附合导线的角度上。

(2)以调整后的角度 ,推算附合导线各边的坐标方位角 ,进而与边长推算各边的坐标增量 ,并计算坐标增量闭合差 f_x 、 f_y (对于直线隧道 ,中线方向为 x 轴方位 , f_x 、 f_y 即是纵、横向贯通误差)。

(3)将 f_x 、 f_y 按与边长成比例的原则对各边的坐标增量进行改正 ,最后算出调整后的各点坐标。

(4)以调整后的坐标作为未衬砌地段施工中线放样的依据。

(二)用中线法贯通的隧道

1. 调线地段为直线

调线地段为直线时 ,一般采用折线法进行调整。

如图 13-2-20 所示 ,在调线地段两端各选一中线点 A 和 B ,连接 AB 而形成折线。如果由此而产生的转折角 β_1 和 β_2 在 $5'$ 之内 ,即可将此折线视为直线 ,如果转折角在 $5' \sim 25'$ 时 ,则按表 13-2-1 中的内移量将 A 、 B 两点内移 ;如果转折角大于 $25'$ 时 ,则应加设半径为 4000m 的圆曲线。

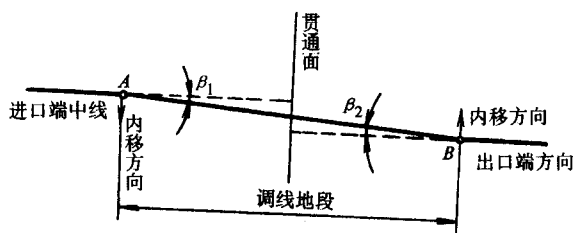


图 13-2-20

表 13-2-1 转折角在 $5' \sim 25'$ 时的内移量

转折角/(°)	内移量/mm	转折角/(°)	内移量/mm
5	1	20	17
10	4	25	26
15	10		

2. 调线地段为圆曲线

当调线地段全丽位于圆曲线上时,应根据实际横向贯通误差,由调线地段圆曲线的两端向贯通面按长度比例调整中线位置,如图 13-2-21 所示。

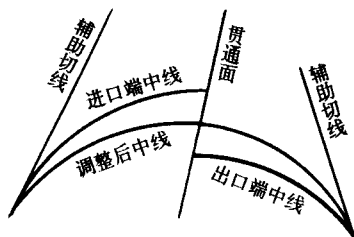


图 13-2-21

3. 贯通点在曲线始、终点附近,调线地段有直线和曲线

贯通点在曲线始、终点附近时,将曲线始、终点的切线延伸,理论上应与贯通面另一侧的直线重合。但是,由于贯通误差的存在,实际出现的情况是既不重合,也不平行。因此,通常应先将两者调整平行,然后再调整,使其重合。

(三)调整平行

调整平行采用调整圆曲线长度的方法。

如图 13-2-22 所示,进口端曲线的 HZ 点在贯通面附近,由 HZ 点将曲线切线延伸与出口端为直线的中线相交于 K 点,其交角为 β ,为使曲线切线平行于出口端中线,可将圆曲线增加或减少一段弧长(图中为增加。增加与减少取决于 β 角的正负。 β 角为正值

需增加,反之需减少。 β 角的计算见下文),使这段弧长所对的圆心角等于 β 。这样, YH 点移至 YH' 点, HZ 点移至 HZ' 点,而由 HZ' 点作出的切线必然由原切线方向旋转一 β 角,而与出口端中线平行。此时交点由 JD 移至 JD' ,转角由 α 增加 $-\beta$ 值而变为 α' ,切线长也相应增加。

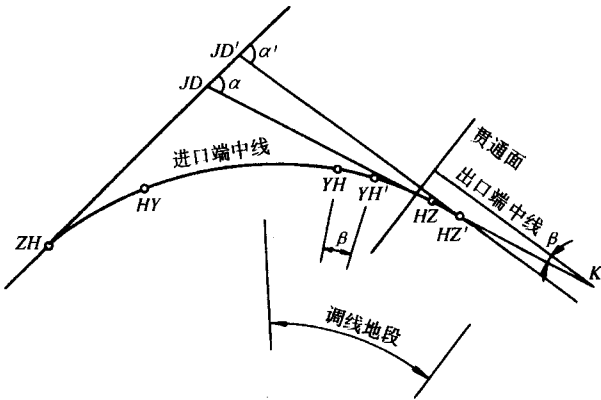


图 13-2-22

β 角值采用以下方法计算：

图 13-2-23 所示为图 13-2-22 所示的局部放大图。为求得 β 角值,由 HZ 点沿切线延伸至 C 点,量出 HZ 点至 C 点的长度为 l ,由 HZ 点和 C 点分别量出至出口端中线的垂距 d_1 和 d_2 , β 角即可算出

$$\beta = \frac{d_1 - d_2}{l} \rho'' \tag{13-2-21}$$

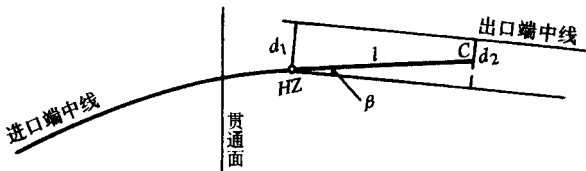


图 13-2-23

β 角的精度与测量 d_1 、 d_2 的精度以及 l 的长度有关。一般情况下, d_1 和 d_2 的测量中误差应达到 $\pm 1\text{mm}$ 。对于 l 的长度,若 β 角欲达到 $10''$ 的精度, l 应不短于 60m ;若 β 角欲达到 $30''$ 的精度, l 应不短于 20m ;若 β 角欲达到 $1'$ 的精度, l 应不短于 5m 。 l 丈量准确至 cm 。

设圆曲线半径为 R ,圆曲线需增、减的弧长为

$$L = R\beta/\rho \quad (13-2-22)$$

由上述可以看出,当 $d_1 > d_2$, β 为正值, L 亦为正值,圆曲线需增长;反之,当 $d_1 < d_2$, β 为负值, L 亦为负值,圆曲线就需减短。

(四)调整重合

调整重合采用调整曲线始、终点的方法。

如图 13-2-24 所示, JD' 的 HZ' 为调整平行后交点和缓直点所处的位置。欲将调整平行后的切线与出口端中线重合,只需将曲线的 ZH 点沿其切线方向连同整个曲线推移一段距离 m 。此时, ZH 移至 ZH' , JD' 移至 JD'' , HZ' 移至 HZ'' , 这样,两端中线就完全重合。 m 值可按式求得

$$m = \frac{s}{\sin \alpha'} \quad (13-2-23)$$

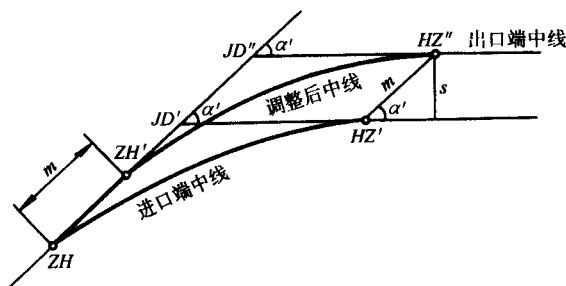


图 13-2-24

式中 s ——调整平行后的切线与出口端中线的距离;

α' ——调整平行后的转角。

第七节 隧道施工测量

一、隧道洞内中线的测设

洞内中线测量在隧道施工过程中,是一项经常性的工作。隧道掘进洞内之后,首先须建立临时中线,以指导导坑的开挖。随后应测设正式中线,指导隧道的全面开挖和作为隧道衬砌工程的依据。

洞内临时中线点的埋设 ,一般采用混凝土包裹木桩 ,在其上钉上小钉的桩志 ,点名为该点的里程桩号。正式中线点的桩志与洞内导线点的桩志形式相同 ,为混凝土金属标志 ,但一般可利用已埋设的临时中线点桩志 ,重新测定后使用。

中线点的间距视施工需要而定。一般在直线地段 ,临时中线点为 20 ~ 40m 一个点 ,正式中线点为 90 ~ 150m 一个点 ;在曲线地段 ,临时中线点为 10 ~ 30m 一个点 ,正式中线点为 60 ~ 100m 一个点。

洞内中线的测设方法可分成导线法和中线法两类。导线法是以洞内导线为依据测设中线点 ,中线法则根据路线中线来测设。

(一)导线法

用导线作为洞内控制的隧道 ,其中线应根据导线来测设。通常的做法是 :

- 1. 根据欲测设的中线点的里程桩号 ,计算其坐标。
- 2. 选定用来测设中线点的导线点作为置仪点。
- 3. 根据置仪点与中线点的坐标 ,计算以置仪点为极点的极坐标测设元素。
- 4. 将仪器置于置仪点上 ,用极坐标法测设中线点。

由于导线法中所涉及的计算与测设已在“公路路线测量”一章中详细论及过 ,这里不再赘述。

需要指出的是 ,如果使用全站仪进行洞内中线测设 ,只要计算出中线点的坐标 ,输入全站仪 ,在测设时 ,仪器通过操作会自动转换为极坐标 ,无须再自行计算。

(二)中线法

用中线法测设中线点 ,若为直线 ,则通常采用正、倒镜分中法进行测设 ,若为曲线 ,则由于洞内空间狭窄 ,一般多采用测设灵活的偏角法或弦线支距法、弦线偏距法等。

二、隧道施工放样

(一)开挖断面的放样测量

开挖断面必须确定断面各部位的高程 ,通常采用的方法叫腰线法。如图 13 - 2 - 25 所示 ,将水准仪置于开挖面附近 ,后视已知水准点 P 读数 α ,即得仪器视线高程

$$H_i = H_p + \alpha \tag{13 - 2 - 24}$$

根据腰线点 A 、 B 的设计高程 ,可分别计算出 A 、 B 点与仪器视线间的高差 Δh_A 、 Δh_B

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_A &= H_A - H_i \\ \Delta h_B &= H_B - H_i \end{aligned} \right\} \tag{13 - 2 - 25}$$

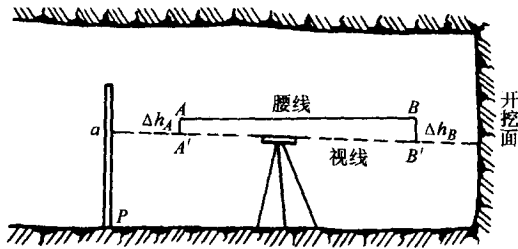


图 13-2-25

先在边墙上用水准仪放出与视线等高的两点 A' 、 B' ，然后分别量测 Δh_A 、 Δh_B ，即可定出点 A 、 B 。 A 、 B 两点间的连线即是腰线。根据腰线就可以定出断面各部位的高程及隧道的坡度。

在隧道的直线地段，隧道中线与路线中线重合一致，开挖断面的轮廓左、右支距（指与断面中线的垂直距离）亦相等。在曲线地段，隧道中线由路线中线向圆心方向内移一个 d 值，如图 13-2-26 所示。由于标定在开挖面上的中线是依路线中线标定的，因此在标绘轮廓线时，内侧支距应比外侧支距大 $2d$ 。

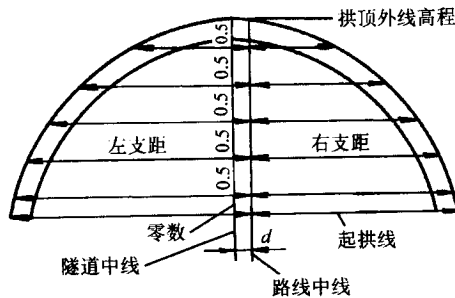


图 13-2-26

拱部断面的轮廓线一般用五寸台法测出。如图 13-2-26 所示，自拱顶外线高程起，沿路线中线向下每隔 0.5m 向左、右两侧测量其设计支距，然后将各支距端点连接起来，即为拱部断面的轮廓线。

墙部的放样采用支距法，曲墙地段自起拱线高程起，沿路线中线向下每隔 0.5m 向左、右两侧按设计尺寸测量支距。直墙地段间隔可大些，可每隔 1m 测量支距定点。

（二）激光指向仪及其应用

我国自 20 世纪 70 年代以来，先后研制成多种激光指向仪，并已广泛地应用于指示直线隧道的掘进方向。激光发射器发射出可见红橙色光，经过聚焦系统射出，在掘进工作面形成可见的圆形光斑，有效射程可达 500m。激光指向仪的安置与使用如下。

1. 激光指向仪的安置

指向仪安置地点距掘进工作面的距离应不小于 70m ,以防爆破而引起仪器振动或损坏。根据仪器的性能 ,在保证光斑清晰和稳定的前提下 ,视具体情况进行安置。

图 13-2-27 所示是在锚杆上安装指向仪 ,步骤如下 :

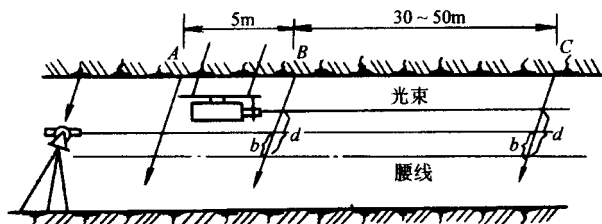


图 13-2-27

(1) 用经纬仪在隧道中设置三个以上的中线点 A、B、C ,并在中线垂球线上标出腰线位置 ,B、C 两点间距为 30~50m。

(2) 在安置指向仪的中线处顶板上按一定的尺寸固定四根锚杆 ,再将带有长孔的两根角钢安在锚杆上。

(3) 将仪器的托板用螺栓与角钢相连 ,根据前后的中线移动仪器 ,使之处于中线方向上 ,然后把螺栓固紧。

(4) 将电缆从电源经开关引入仪器接线箱内。

(5) 调整仪器 ,正确标定光束方向 ,使光束为与腰线平行的一条中线。

2. 注意事项

(1) 安装完毕后 ,测量人员应将光束与隧道中腰线的关系向施工人员交代清楚。

(2) 施工人员在使用前应检查光束是否偏离正确位置 ,发现问题应及时通知测量人员进行检查调整。

(3) 隧道每掘进 100m ,要求进行一次检查测量 ,并根据测量结果调整腰线。

(4) 仪器的电源电压与外线电压要一致 ,外壳要接地。

(5) 用后及时关闭。

第八节 隧道竣工测量

隧道竣工后 ,为了检查主要结构物和建筑物以及路线位置是否符合设计要求 ,并提

供竣工文件所需的资料,也为将来运营中的维修工程等提供测量控制点,必须进行竣工测量。

在进行竣工测量时,首先进行中线测量,从隧道一端测至另一端。在测量时,直线地段每 50m 的点,曲线地段每 20m 的点,以及以后需要加测的断面处,如洞身断面变换处和衬砌类型变换处,应打临时中线桩或标志。如遇施工中埋设的中线点标志,即进行检测。在检测时应该对其里程及其与中线的偏差进行检测。此外,对洞身断面变换处和衬砌类型变换处的里程也应核对。在中线测量闭合后,于直线地段每 200m 左右埋设一个永久中线点。曲线地段应在曲线主点埋设永久中线点。如果主点之间曲线过长,则可适当加设永久中线点,使相邻各点能相互通视。永久中线点埋设之后,应在边墙上标明点的名称及里程。永久中线点的埋石与洞内导线点的埋石相同。施工中已有的中线点,如其间距和埋石均符合要求时,可不再埋设新点。

洞内水准点每公里应埋设一个,短于一公里的隧道应至少埋设一个或两端洞门附近各设一个。水准点的编号和高程应标记在隧道的边墙上。洞内水准点应附合到洞外水准点上,平差后确定各点高程。

中线测量已在欲测断面处打有临时中线桩,据以测绘每个断面处隧道的实际净空,包括拱顶高程、路线中线左、右起拱线的宽度、铺底或仰拱高程。测量的方法一般采用支距法,以路线中线为准。最后应绘出断面净空图。