

第八篇

水利工程地基处理新技术

第一章 概 论

第一节 地基处理工程的分类及施工特点

一、地基处理的目的

水工建筑物一般建于天然地基上。但天然地基往往不能完全满足要求,如经常遇到深厚覆盖层地基,渗透性大、节理裂隙发育的岩层以及软弱夹层、断层破碎带等地质条件复杂的地基,均需要进行处理,以保证工程运行安全。

根据建筑物地基条件,地基处理的目的大体可归纳为以下几个方面:

1. 提高地基的承载能力,改善其变形特性;
2. 改善地基的剪切特性,防止剪切破坏,减少剪切变形;
3. 改善地基的压缩性能,减少不均匀沉降;
4. 减少地基的透水性,降低扬压力和地下水位,提高地基的稳定性;
5. 改善地基的动力特性,防止液化;
6. 防止地下洞室围岩坍塌和边坡危岩、陡壁滑落;
7. 在地基中设置人工基础构筑物,使其与地基共同承受各种荷载。

二、地基处理工程的分类

由于建筑物对地基的要求和地基的地质条件不同,地基处理工程的种类很多,按处理的方法可分为:

- 1. 灌浆 :有防渗帷幕、固结、接触和回填等水泥灌浆以及化学灌浆。
- 2. 防渗墙 :有钢筋混凝土防渗墙、素混凝土防渗墙、粘土混凝土防渗墙、固化灰浆防渗墙和泥浆槽防渗墙等。
- 3. 桩基 :主要有钻孔灌注桩、振冲桩和旋喷桩等。
- 4. 预应力锚固 :主要有建筑物地基锚固、挡土边墙锚固以及高边坡山体锚固等。
- 5. 开挖回填 :主要有坝基截水槽、防渗竖井、沉箱、软弱地带传力洞、混凝土塞和抗滑桩等。

各种地基处理工程施工方法及适用条件见表 8－1－1。

表 8－1－1 地基处理的方法及适用条件

| 序号 | 处理方法 | 主 要 作 用 | 施 工 方 法 | 一般适用条件 |
|----|--------|-------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | 固结灌浆 | 增加强度及改善变形特性 | 钻孔 ,压力灌注水泥浆 | 围岩及岩石地基 |
| 2 | 回填灌浆 | 增强整体性 | 钻孔 ,压力灌注水泥砂浆 | 接触空隙和地下空洞 |
| 3 | 接触灌浆 | 充填接触带缝隙 | 钻孔 ,压力灌注水泥浆 | 接触面 ,收缩缝 |
| 4 | 帷幕灌浆 | 防 渗 | 钻孔 ,压力灌注水泥(或水 泥粘土)浆 | 岩石 ,砂砾石 |
| 5 | 化学灌浆 | 胶结 ,防渗 ,堵漏 | 钻孔 ,灌注化学浆液 | 粉细砂土 ,岩石及混凝土的 细小裂隙 |
| 6 | 防渗墙 | 防 渗 | 大孔径钻孔 ,浇筑混凝土 | 透水地层 |
| 7 | 混凝土灌注桩 | 提高承载能力 | 钻孔 ,浇筑混凝土 | 粘土 ,砂土 ,砂砾卵石 |
| 8 | 混凝土预制桩 | 提高承载能力 | 机械打入 | 粘土 ,砂土 ,砂壤土 |
| 9 | 钢板桩 | 挡土 ,阻水 | 机械打入 | 粘土 ,砂土 ,砂砾石 |
| 10 | 碎石桩 | 振密、加固 ,排水 | 振冲成孔 ,回填碎石 | 砂土 ,砂壤土 |
| 11 | 旋喷桩 | 固结 ,防渗 | 钻孔 ,高压旋喷水泥浆 | 砂土 ,砂砾石 |
| 12 | 砂桩 | 排水固结 | 机械打孔 ,灌砂 | 粘土 ,砂土 ,砂壤土 |
| 13 | 抗滑桩 | 防止地基滑动 | 钻孔 ,浇筑钢筋混凝土 | 危及建筑物稳定的基岩滑 动面 |
| 14 | 开挖回填 | 地层置换 | 放炮 ,开挖 ,回填混凝土 | 断层破碎带 |
| 15 | 预应力锚固 | 基础与地基加固 | 钻孔 ,布索 ,张拉 ,灌浆 | 坝体锚固及大体积岩块锚 固 |
| 16 | 截水槽 | 防 渗 | 挖沟槽 ,回填不透水材料 | 较浅的透水地层 |
| 17 | 减压井 | 排水 ,降压 | 钻孔 ,下井管 ,填滤料 | 坝下游排水不畅地层 |
| 18 | 夯 实 | 夯 密 | 强夯 | 砂质粘性土 |
| 19 | 预 压 | 压 密 | 预先填土施加压力 | 壤土 ,砂壤土 |
| 20 | 换 土 | 改变土质 | 挖除原土换优质土 | 不良土 |

三、地基处理工程施工特点

1. 地基处理属于地下隐蔽工程 :由于地质条件复杂且情况多变 ,一般难以全面了解。因此 ,施工前必须充分地调查研究 ,掌握比较准确的勘测试验资料。必要时应进行补充地质勘探 ,据以制订相应的技术措施。
2. 施工质量要求高 :水工建筑物地基处理的施工质量 ,关系到工程的安危 ,一般难以全面准确地直接进行检测 ;发生质量事故 ,又难以补救。因此在施工过程中要继续搜集资料 ,及时分析、处理发现的问题 ,确保工程质量 ,不留隐患。
3. 工程技术复杂、施工难度大 :已建或在建工程的地基处理中 ,因地质条件的不同 ,很少有先例可以直接参考套用。因此在施工过程中需要进行室内或现场试验 ,逐步取得各项参数和施工经验 ,以供选择处理方案和解决施工中的技术问题。
4. 工艺要求严格、施工连续性强 :地基处理工程 ,特别是防渗墙和灌浆工程 ,施工环节多 ,工艺要求严格 ,每一作业循环都要求按顺序连续快速进行 ,稍有延误和疏忽 ,就可能造成质量事故和重大经济损失。
5. 工期紧、干扰大 :地基处理工程施工 ,一般会受到汛期和工作面的限制 ,大部分施工先于或与主体工程交错进行 ,施工工期紧、干扰矛盾大。因此需要按枢纽工程施工总进度 ,统筹制定施工措施和施工计划 ,以利地基处理工程施工顺利进行。

第二节 施工设计的依据、内容和步骤

水工建筑物地基处理工程项目繁多 ,地点分散 ,其施工组织设计一般是按单项工程进行编制的。编制施工组织设计时 ,应按施工现场的实际情况 ,协调好与主体建筑物施工的搭接与配合 ,充分预计到施工过程中可能遇到的问题 ,选择合理的施工方案与措施 ,以确保施工顺利进行。

一、设计依据

地基处理工程施工组织设计编制的依据 ,一般为 :

1. 水工建筑物地基处理工程的设计图纸、工程量、质量要求及检查标准等 ;
2. 地基处理工程部位比较详细的工程地质、水文地质的勘测试验资料及报告 ;
3. 枢纽工程施工总进度计划确定的地基处理工程的起迄时间以及施工导流和拦洪

渡汛等有关设计资料；

4. 地基处理工程所在地区的地形地质、水文气象等自然条件以及与有关工程施工协调配合等技术条件；

5. 工程所在地区的当地建筑材料、风水电和劳动力供应等条件的调查分析资料以及施工场区内外交通运输条件；

6. 国家和主管部门颁布的有关规程规范以及国内外先进的施工经验等资料。

二、设计内容

地基处理工程施工组织设计一般应包括以下内容：

1. 分析研究基本资料和施工条件：主要是地基处理工程的结构型式、尺寸、工程量和技术要求；工程部位的工程地质和水文地质特性，交通运输、水文气象、导流渡汛、材料供应以及同其他土建施工要交叉进行的施工环境和作业条件等。

2. 编制施工进度计划：根据枢纽工程施工总进度要求，研究确定各项地基处理工程的施工进度计划；并就施工机械、劳动力等进行必要的平衡调整，绘制各期工程形象进度图表。施工进度计划图表，一般应包括各项施工准备的土建安装工程量及其施工进度、施工强度曲线和劳动力需要量曲线以及主要技术经济指标等。

3. 选择施工方案、拟定施工措施：根据各项地基处理工程的施工进度计划，安排施工程序，确定施工方法，选择主要施工机械设备，选择原材料并进行配合比设计，拟定冬夏季施工和特殊部位的技术措施。必要时，需提出补充勘测、室内及现场试验的计划或意见。

4. 制定具体的施工技术要求：根据各项地基处理工程特点和质量要求，按照有关规程规范，制定各项具体的施工规范和操作规程的实施细则、施工管理制度和施工技术要求。

5. 绘制施工布置图：根据选定的施工方案，绘制交通道路、风水电管线、各项附属设施（包括仓库、制浆站、混凝土拌和站，堆料场、修配间等生产设施和生活设施）和施工机械设备等平面布置图。

6. 编制技术供应计划：根据施工进度和定额资料，分别计算劳动力、主要建筑材料、机械设备及其零配件、器材和风水电等需要量，并提出分年度或各工程分期需要量计划。

7. 编写文字报告。

三、设计步骤

上述各项设计内容的排列次序基本上就是设计的编制顺序，实际工作中需要反复研究才能完成。地基处理工程施工组织设计编制步骤概括如图 8-1-1。

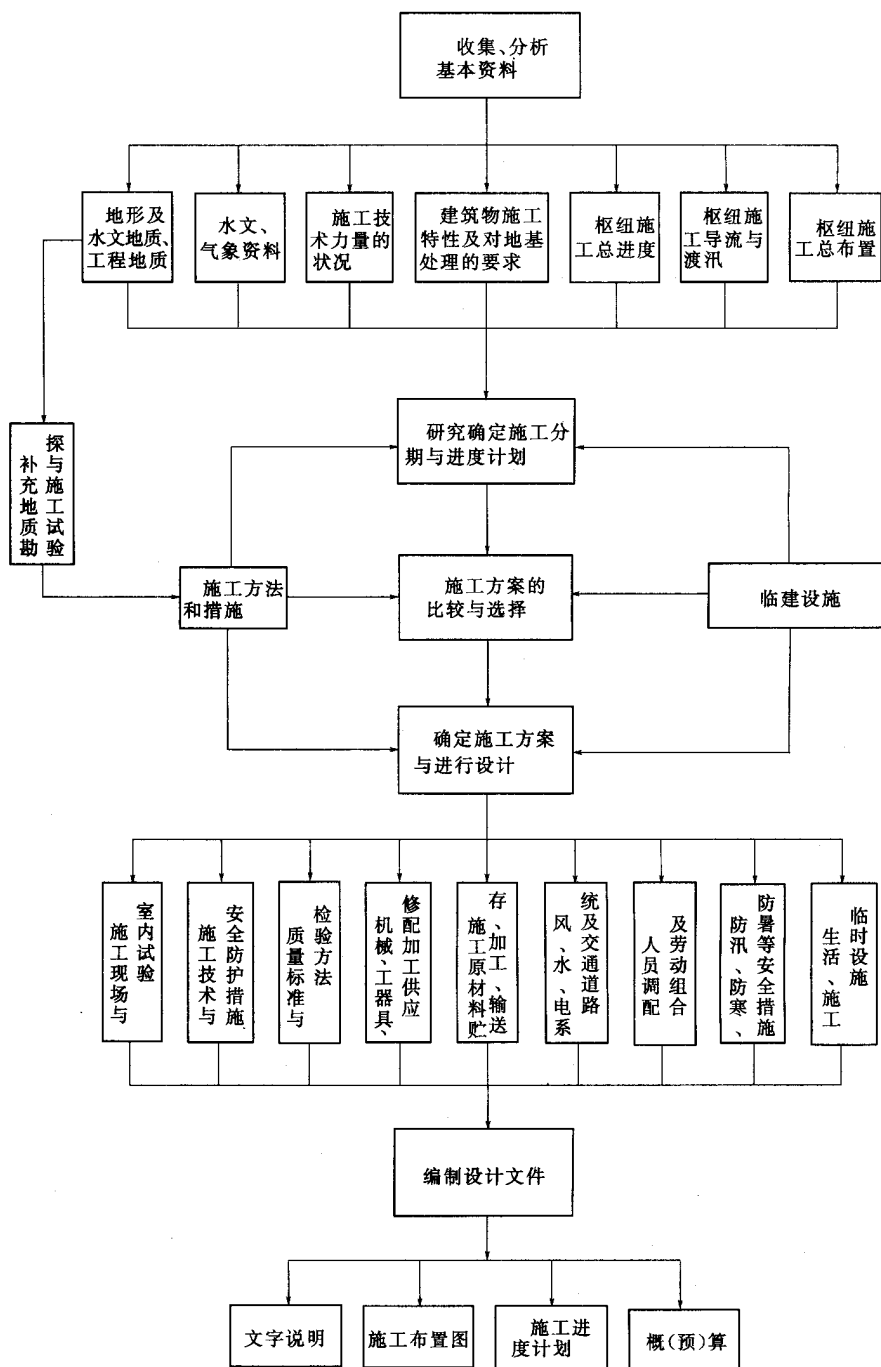


图 8-1-1 地基处理工程施工组织设计编制步骤

第二章 灌浆工程施工技术

第一节 坝基岩石灌浆基本要求

灌浆就是用制浆搅拌机将一定水灰比的水泥、粘土、膨润土或化学处理剂等浆液均匀地拌合后,用灌浆泵注入孔内。其目的是改善地基的天然条件、对建筑物的基础进行处理,达到防渗和加固的要求。灌浆技术经过 200 年的发展历史,已具有各种不同的灌浆工艺和灌浆材料。进入 20 世纪 80 年代以来,随着灌浆技术的研究和实践,推动了灌浆技术的迅速发展。灌浆技术的应用领域不断扩大,在水利水电、矿山、铁道与公路、海港码头、城市建筑、危房处理、地下油库建筑、环境保护与地质灾害处理等领域都有不同程度和要求的灌浆工作任务。灌浆在水利水电工程基础防渗与加固、岩土工程基础止水及补强施工中得到更加广泛的应用,总结了许多宝贵的实践经验。

根据不同的地层情况和灌浆材料,有各种不同的灌浆工艺。目前常用的是常规低压灌浆方法,在微细裂隙地层一般采用超细粒的湿磨水泥灌浆或化学灌浆方法。国际上先进的 GIN 灌浆法已在一些勘测设计院推广应用,并取得良好效果。

一、坝基灌浆一般要求

坝基灌浆有帷幕灌浆和固结灌浆两种。

1. 帷幕灌浆应按分序加密的原则进行。

(1) 由三排孔组成的帷幕,应先进行边排孔灌浆,再进行中排孔灌浆。边排孔宜分为三序进行,中排孔可分为二序或三序施工。

(2) 由两排孔组成的帷幕,宜先进行下游排孔的灌浆,再进行上游排孔的灌浆。每排孔宜分为三序施工。

(3) 单排帷幕灌浆孔应分为三序施工。

2. 帷幕灌浆采用自上而下分段灌浆时,一个坝段或一个单元工程内,后序排上的第一序孔宜在前序排上最后次序孔在岩石中均灌完以后再开始钻进。

同一排上相邻的两个次序孔之间,以及后序排上第一次序孔与其相邻部位前序排上最后次序孔之间,在岩石中钻孔灌浆的间隔高差不得小于 15m。

3. 帷幕后的主排水孔和扬压力观测孔,必须在相邻部位帷幕灌浆检查合格后,才可开始钻进。

4. 固结灌浆宜在有混凝土覆盖的情况下进行。钻孔灌浆必须在相邻部位的混凝土达到 50% 设计强度后,才可开始。

5. 固结灌浆应按分序加密的原则进行,可分为二序或三序施工。

6. 工程必要时应布置观测孔,安设抬动监测装置。灌浆过程中经常观测和记录,严禁抬动值超过设计规定。

二、对灌浆孔的要求

对灌浆孔的一般要求如下:

1. 帷幕灌浆孔宜采用回转式钻机、金刚石钻进或硬质合金钻进。固结灌浆孔可采用适宜的钻机和钻头钻进。

2. 帷幕灌浆孔位置与设计位置的偏差不得大于 10cm。因故变更孔位时,应征得设计同意,并作好记录。孔深应符合设计规定。

3. 帷幕灌浆孔宜选用较小的孔径,一般可采用 91mm、75mm、59mm 孔径。孔壁应光滑、垂直、完整。

4. 钻孔角度与岩体裂隙方向、倾角大小有关。在裂隙倾角很大或接近直立时,如采用直孔灌浆,则浆液的渗透范围有限。这时,应垂直于裂隙面打斜孔灌浆,以便尽可能多地穿过裂隙面。裂隙倾角较小时,应尽可能打垂直孔。

5. 孔距、排距与排列形式。孔距与岩层的裂隙构造程度有关,如裂隙比较宽而岩性坚硬,采用灌浆压力较高,浆液扩散范围广,孔距可以加大。如裂隙很小或岩性较软弱,灌浆压力较低,孔距可小些。钻孔排数一般为 2~3 排,单排者很少。排距 2~4m,孔距采用 2~3m,最密的为 1~0.5m。排列形式采用梅花形或正方形。

6. 根据岩性和裂隙发育程度决定灌浆段长度,一般可采用 5m 一段。裂隙发育、吸浆量大的地层,应适当缩短长度。大裂隙、溶洞等特殊地层,应单作一段进行灌浆。

7. 钻孔宜埋设孔口管,钻机立轴和孔口管的方向必须与设计孔向一致,保证孔向准确。
8. 钻进时应对岩层、岩性与孔内各种情况进行详细记录。
9. 钻孔遇有洞穴、坍塌、掉块时,可先进行灌浆处理,然后再继续钻进。
10. 钻进结束等待灌浆或灌浆结束等待钻进时,孔口均应堵盖,妥加保护。
11. 钻孔深度根据建筑物特性和地质条件而定。灌浆深度根据压水试验的透水率(Lu 值)来控制,以达到相对隔水层为止。相对隔水层的标准,根据不同的水头高度而定。一般情况下,岩石的透水性随钻孔深度的延伸而变小。但在岩溶发育地区,灌浆孔深度应增加。

第二节 灌浆设备机具和灌浆材料

一、灌浆设备和机具

灌浆采用以下设备和机具:

1. 钻探机。宜采用回转式钻机,如XY—2型液压立轴式钻机或其他各式适宜的钻机。
2. 搅拌机。常用搅拌机有ZJ—400L型、GZJ—200型高速搅拌机、NJ—100L型低速搅拌机和200L×2型双层贮浆筒。
3. 灌浆泵。常用灌浆泵有TBW—100/100型灌浆泵或BW250/50型泥浆泵等。灌注纯水泥浆液应采用多缸柱塞式灌浆泵。容许工作压力应大于最大灌浆压力的1.5倍。
4. 压力表。使用压力宜在压力表最大标准值的 $1/4 \sim 3/4$ 之间。压力表应经常进行检定,不合格的压力表严禁使用,压力表与管路之间应设隔浆装置。
5. 灌浆管路。应保证能承受1.5倍的最大灌浆压力。
6. 水泥湿磨机。常用水泥湿磨机有长江科学院研制的JTM135S—1型湿磨机和JTM胶体磨(转速为3000r/min)。
7. 自动记录仪。可采用GJY—Ⅲ型、GY—Ⅳ型或J—3I型等微机自动记录仪,以提高灌浆记录的准确性和工作效率。
8. 灌浆压力大于3MPa时,应采用高压灌浆泵、高压灌浆塞、耐蚀灌浆阀门、钢丝编织胶管、大量程压力表、孔口封闭器或专用高压灌浆塞。

9. 集中制浆站的制浆能力应满足灌浆高峰期所有机组用浆需要。制浆站应配置除尘设备。

10. 所有灌浆设备应作好维护保养,保证正常工作状态,并应有必要的备用量。

二、灌浆材料

灌浆所需材料及一般要求如下:

1. 在一般情况下,水泥品种应采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐大坝水泥。当有耐酸或其他要求时,可用抗酸水泥或其他类特种水泥。所用水泥标号不应低于 425[#]。对水泥细度要求为通过 80 μ m 方孔筛的筛余量不宜大于 5%。使用前应进行细度检测。

2. 使用矿渣硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥灌浆时,应得到设计许可。浆液水灰比应根据地质条件而定。

3. 灌浆用水泥必须符合质量标准,不得使用受潮结块的水泥。采用细水泥时,应严格防潮和缩短存放时间。

4. 灌浆用水应符合拌制水工混凝土用水的要求。

5. 水泥灌浆一般使用纯水泥浆液,在特殊地质条件或有特殊要求时,根据需要,通过现场灌浆试验确定,可使用下列类型浆液:

(1) 细水泥浆液:系指干磨水泥浆液、湿磨水泥浆液或超细水泥浆液。

(2) 稳定浆液:系指掺有少量稳定剂、析水率不大于 5% 的水泥浆液。

(3) 混合浆液:系指掺有掺合料的水泥浆液。

6. 根据灌浆需要,可在水泥浆液中掺入下列掺合料:

(1) 砂:应为质地坚硬的天然砂或人工砂。粒径不宜大于 2.5mm,细度模数不宜大于 2.0, SO_3 含量宜小于 1%,含泥量不大于 3%,有机物含量不大于 3%。

(2) 粘性土:塑性指数不小于 14,粘粒(粒径小于 0.005mm)含量不宜低于 25%,含砂量不宜大于 5%,有机物含量不宜大于 3%。

(3) 其他掺合料。

7. 根据灌浆需要,可在水泥浆液中加入下列外加剂:

(1) 速凝剂:水玻璃、氯化钙、三乙醇胺等。

(2) 减水剂:萘系高效减水剂、木质素磺酸盐类减水剂等。

(3) 稳定剂:膨润土及其他高塑性粘土等。

(4) 其他外加剂。

所有外加剂凡能溶于水的,均应以水溶液状态加入。

8. 各类浆液掺入掺合料和加入外加剂的种类及其掺入量应通过室内浆材试验和现

场灌浆试验确定。

9. 纯水泥浆液一般可不再进行室内试验。其他类型浆液应根据工程需要,有选择地进行各项性能试验。如掺合料的细度和颗分曲线,浆液的流动性或流变参数,浆液的沉降稳定性,浆液的凝结时间,结石的容重、强度、弹性模量和渗透性等。

第三节 帷幕灌浆施工技术

一、二级水工建筑物基岩帷幕灌浆工程,在施工前或施工初期,应根据设计要求和地质条件进行现场灌浆试验,以便合理地确定灌浆技术参数,确保灌浆施工的有效性。

一、帷幕灌浆施工方法

(一) 钻孔

1. 钻机安装

钻机安装应保证稳固、周正、水平。钻机立轴保持垂直,经常检查,及时校正。应使用较长的粗径钻具和质量较好的钻杆,保证钻孔方向满足设计要求。

2. 钻进方法

在保证钻孔质量的前提下,应优先采用小口径钻进。岩溶发育地层,可采用较大孔径开孔。终孔采用 75mm 或 59mm 孔径。

3. 钻孔测斜

钻完每个灌浆段时,应及时测斜。终孔后进行逐段复测。钻孔偏斜值,一般应控制在 1%~2.5%。孔深大于 60m 时,孔底最大允许偏斜值,一般不宜大于孔距。如偏斜超过要求,应及时纠斜。

(二) 钻孔冲洗和压水试验

(1) 灌浆段钻进结束后,应采用高压水冲洗,压力不得超过灌浆压力的 80%。使回水变清后再冲洗 10min,孔内沉积厚度不得超过 20cm。漏水严重的灌浆段,冲洗无回水,可以不必冲洗。

(2) 帷幕灌浆段在灌浆前宜用压力水进行裂隙冲洗,直至回水清净为止。冲洗压力可为灌浆压力的 80%,该值若大于 1MPa,可采用 1MPa。

(3) 帷幕灌浆采用自上而下灌浆法时,先导孔应自上而下分段进行压水试验。各次序灌浆孔的各灌浆段在灌浆前宜进行简易压水。

压水试验应按照钻孔压水试验规程进行吕荣法压水试验。

简易压水压力可为灌浆压力的 80%。该值若大于 1MPa 时,可采用 1MPa,压水 20min。每 5min 测读一次流量。取最后一次流量值计算透水性。

(4)帷幕灌浆采用自下而上分段灌浆时,先导孔仍应自上而下分段进行压水试验。各次序灌浆孔在灌浆前全孔进行一次钻孔冲洗和裂隙冲洗。除孔底段外,各灌浆段在灌浆前可不进行裂隙冲洗和简易压水。

(三) 灌浆方式

基岩灌浆方式有循环式和纯压式两种。帷幕灌浆应优先采用循环式,射浆管距孔底不得大于 50cm。

1. 循环式灌浆

灌浆泵以一定的排量,使浆液通过进浆管、射浆管送入孔内。在一定压力下,泵的排量大于岩石的吸浆量,进入孔段内的浆液,一部分进入岩石裂隙而扩散,其余部分经回浆管返回到地表储浆池中。这种方式能使浆液始终保持循环状态,有利于提高灌浆质量,如图 8-2-1 所示。

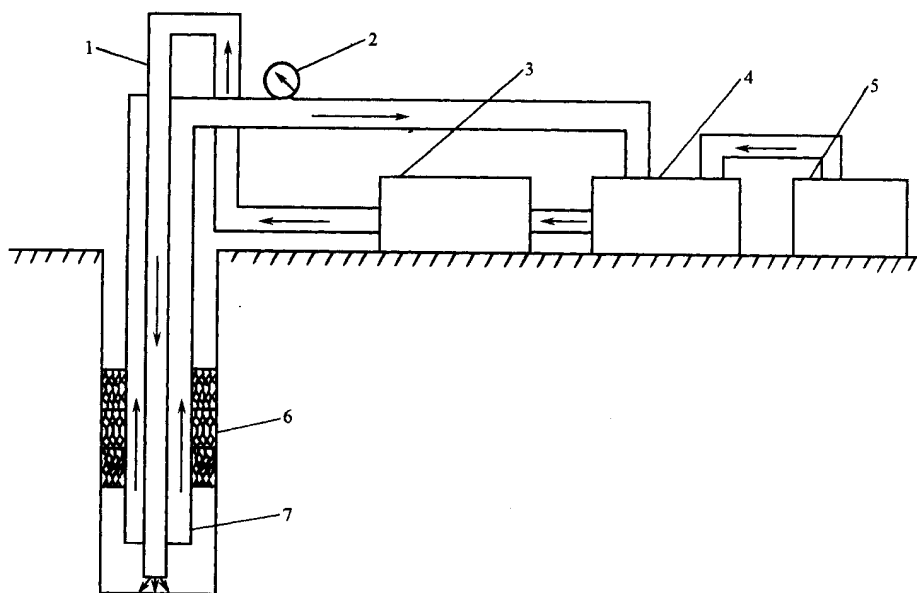


图 8-2-1 循环式灌浆示意图

1—进浆管 2—压力表 3—灌浆泵 4—搅拌机 5—制浆机 6—灌浆塞 7—回浆管

2. 纯压式灌浆

灌入孔内的浆液都扩散到岩石裂隙中去,不再返回地表。纯压式灌浆的浆液不是经常处于运动状态。随着灌浆时间的延长,单位吸浆量逐渐减小,流速逐渐降低,浆液逐渐

沉降,而使裂隙阻塞严重,影响灌浆质量,如图 8-2-2 所示。

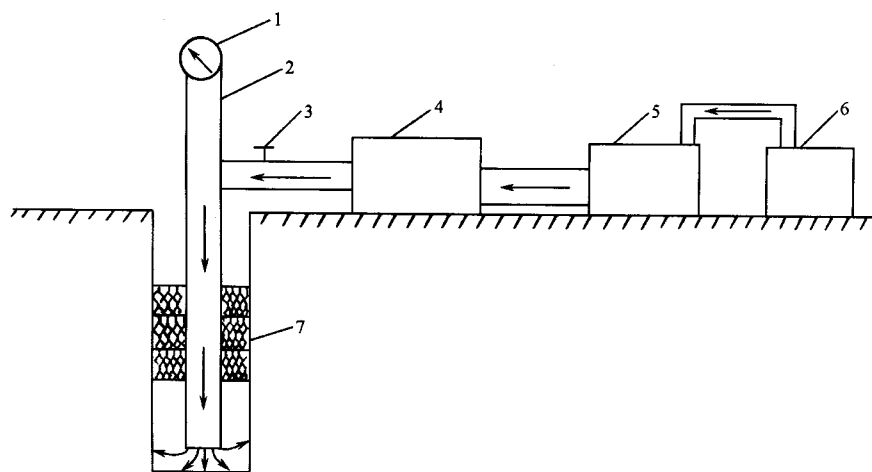


图 8-2-2 纯压式灌浆示意图

1—压力表;2—进浆管;3—阀门;4—灌浆泵;5—搅拌机;6—制浆机;7—灌浆塞

(四) 灌浆工艺

1. 制备浆液

(1) 制浆材料必须称量,其误差应小于 5%。水泥等固相材料宜采用质量称量法。

(2) 各类浆液必须搅拌均匀,并测定浆液密度。

(3) 集中制浆站宜制备水灰比 0.5:1 的纯水泥浆液。输送浆液流速宜为 1.4~2.0m/s。各灌浆地点应测定来浆密度,调制使用。

(4) 寒冷季节施工应做好机房和灌浆管路的防寒保暖工作。炎热季节施工应采取防晒措施。浆液温度应保持在 5~40℃ 之间。若用热水制浆,水温不得超过 40℃。

2. 灌浆方法

(1) 帷幕灌浆段长度宜采用 5m,特殊情况下可适当增减,但最长不得大于 10m。

(2) 帷幕灌浆时,坝体混凝土和基岩接触段应先行单独灌浆并应待凝。接触段在岩石中的长度不得大于 2m。

(3) 采用自上而下分段灌浆时,灌浆塞应塞在已灌段底部以上 0.5m 处,防止漏灌。孔口无涌水的孔段,灌浆结束后可不待凝。但在断层、破碎带等复杂地层则宜待凝。待凝时间应根据地质条件和工作要求而定。

(4) 采用自下而上分段灌浆时,灌浆段长度因故超过 10m 时,应采用补救措施。

3. 灌浆压力

(1) 灌浆压力是帷幕灌浆的关键因素。灌浆压力不足,孔内浆液难以扩散,灌浆压力

过大,则造成材料浪费。灌浆压力宜通过灌浆试验确定,也可通过公式计算或根据经验先行拟定,而后在灌浆施工中加以调整。

(2) 灌浆最大压力取决于灌浆孔段距地表的深度、岩体性质和结构特征。其中基岩的容重、裂隙的连续性和产状等因素,影响最为明显。防止压力过大而造成岩体抬动。

(3) 循环式灌浆,压力表应安装在孔口回浆管路上。压力表读数宜读压力表指针摆动的中间值。当灌浆压力为 5 MPa 或大于 5 MPa 时,也可读峰值。压力表指针摆动范围应小于灌浆压力的 20%,摆动幅度宜作记录。

(4) 灌浆应尽快达到设计压力,但注入率大时应逐渐升压。

4. 浆液变换

(1) 浆液浓度的大小应根据地质条件而定。浓度大适用于强透水岩体,浓度小适用于弱透水岩体。一般可根据压水试验吕荣值来初步确定。在实际工作中根据压力变化情况和灌浆注入量来确定浆液的调配。浆液浓度应由稀到浓,逐渐变换。开灌水泥灰比可采用 5:1,以后按 3:1、2:1、1:1、0.8:1、0.6:1、0.5:1 共七个比级采用。

(2) 浆液变换应遵守下列规定:①当灌浆压力保持不变、注入率持续减少时,或当注入率不变而压力持续升高时,不得改变水灰比;②当某一比级浆液的注入量已超过 300 L 以上或灌注时间已达到 1 h,而灌浆压力和注入率均无改变或改变不显著时,应改浓一级;③当注入率大于 30 L/min 时,可根据具体情况越级变浓。

5. 其他

灌浆过程中,灌浆压力或注入率突然改变较大时,应立即查明原因,采取处理措施。

灌浆过程中,应定时测记浆液密度,必要时测记浆液温度。

(五) 灌浆结束标准和封孔方法

(1) 采用自上而下分段灌浆时,在规定压力下,注入率不大于 0.4 L/min 时,继续灌注 60 min,或不大于 1 L/min 时,继续灌注 90 min,即可结束。

(2) 采用自下而上分段灌浆时,继续灌注的时间可减少为 30 min 和 60 min,即可结束。

(3) 灌浆过程中,应将水泥品种、标号、水灰比、浆液比重、灌浆压力和注入量等数据及时填入记录表中。

(4) 灌浆结束后,用 0.5:1 浓浆进行机械压浆封孔。浓浆从孔底逐渐上升,将孔内积水排至地表,直至孔口冒出浓浆为止。待孔内浆液结石后,孔口空余部分及时进行补封,用水泥砂浆填筑,每次填 0.3 m 左右并捣实,直至封平孔口。

(六) 孔口封闭灌浆法

孔口封闭灌浆法适用于最大灌浆压力大于 3 MPa 的帷幕灌浆工程。小于 3 MPa 的帷幕灌浆工程可参照使用。钻孔孔径宜为 60 mm 左右。

(1) 孔口管必须银牢。埋入岩石深度,根据使用的最大灌浆压力而定。最大灌浆压力为 5MPa 时,埋入深度不宜小于 2m。

(2) 必须使用性能良好的封闭器。在灌浆过程中,灌浆管可在孔口封闭器中心部位灵活地转动和升降,而且不漏浆,并防止其在灌浆孔内被浆液凝住。

(3) 灌浆必须采用循环式自上而下分段灌浆法。灌浆管的外径与孔径之差不宜大于 20mm。如用钻杆作为灌浆管,应采用平接头。

(4) 孔口管段以下的 3~5 个灌浆段,段长宜短些,压力递增宜快。段长和相应的灌浆压力应通过现场灌浆试验确定。以下段长宜为 5m,灌浆压力可达到设计的最大压力。

(5) 灌浆段钻孔冲洗、裂隙冲洗、压水试验或简易压水与常规压力灌浆法相同。

(6) 灌浆宜尽快达到设计压力。但必须注意控制压力,使压力与注入率相适应。在 5~6MPa 压力下,注入率宜小于 10L/min,防止造成地面抬动。

(7) 灌浆浆液比级和变换与常规压力灌浆法相同。

(8) 灌浆过程中应经常转动和上下活动灌浆管。回浆管宜有 15L/min 以上的回浆量,以防灌浆管在孔内被水泥浆凝固。

(9) 灌浆应同时满足以下两个条件,才可结束:①在设计压力下,注入率不大于 1L/min 时,延续灌注不少于 90min;②灌浆全过程中,在设计压力下的灌浆时间不少于 120min。

(10) 每段灌浆结束后,可不待凝。

(11) 帷幕灌浆封孔应采用“置换和压力灌浆封孔法”,以保证封孔质量。

(七) 特殊情况的处理

1. 灌浆中断的处理

(1) 因机械、管路、仪表等出现故障而造成灌浆中断时,应尽快排除故障,立即恢复灌浆。否则应冲洗钻孔,重新灌浆。

(2) 恢复灌浆时,如注入量较中断前减少较多,应使用开灌比级的浆液进行灌注。按依次换比的规定重新灌注。

(3) 恢复灌浆后,若停止吸浆,可用高于灌浆压力 0.1MPa 的高压水进行冲洗,而后恢复灌浆。

2. 串浆处理方法

(1) 相邻两孔段均具备灌浆条件时,可同时灌浆。

(2) 相邻两孔段有一孔段不具备灌浆条件,首先给被串孔段充满清水,以防水泥浆堵塞凝固,影响未灌浆孔段的灌浆质量。并用大于孔口管的实心胶塞放在孔口管上,用钻机立轴钻杆压紧。

3. 冒浆处理方法

(1) 混凝土地板面裂缝处冒浆,可暂停灌浆,用清水冲洗干净冒浆处,再用棉纱堵塞。

(2) 冲洗后用快干地勘水泥加氯化钙捣压封堵,再进行低压、限流、限量灌注。

4. 漏浆处理方法

(1) 浆液在延伸较远的大裂隙通道渗漏在山体周围,可采取长时间间歇(一般在 24h 以上)待凝灌浆方法灌注。如一次不行,再进行二次间歇灌注。

(2) 浆液在大裂隙通道渗漏,但不渗漏到山体周围,可采用限压、限流与短时间间歇(数十分钟)灌浆。如达不到要求,可采取长时间间歇待凝,然后限流逐渐升压灌注。一般反复 1~2 次即可达到结束标准。

5. 固管处理方法

灌注水灰比 1:1 以下的浓浆时,容易发生固管现象。如采用小口径孔口封闭自上而下分段循环灌浆法施工,可解决固管问题。

6. 溶洞和暗河的处理

(1) 溶洞内如有粘土填充物且稳定性较好时,可不必清除,按常规浆液灌注即可。如填充物不密实、不稳定,应冲洗清除,然后投砂、砾石骨料回填再灌注水泥浆液。

(2) 溶洞、暗河通道、漏浆量很大,可采用布袋法灌注。将浓浆液灌入布袋内封好袋口丢入孔内。边投砂、砾石骨料,边投布袋浓浆,边灌双液浆(加速凝剂的浆液)。待通道基本堵塞,待凝 48h 后再扫孔,按常规方法灌注水泥浆液。

(八) 质量检查

1. 质量评定

灌浆质量的评定,以检查孔压水试验成果为主,结合对竣工资料测试成果的分析,进行综合评定。每段压水试验吕荣值满足规定要求即为合格。

2. 检查孔位置的布设

(1) 一般在岩石破碎、断层、裂隙、溶洞等地质条件复杂的部位、注入量较大的孔段附近、灌浆情况不正常以及经分析资料,认为对灌浆质量有影响的部位。

(2) 检查孔在该部位灌浆结束 3~7d 后就可进行。采用自上而下分段进行压水试验,压水压力为相应段灌浆压力的 80%。检查孔数量为灌浆孔总数的 10%,每一个单元至少应布设一个检查孔。

3. 压水试验结束

检查孔压水试验结束后,按技术要求进行灌浆和封孔。检查孔应采取岩心,计算获得率,并进行描述。

4. 压水试验检查

压水试验检查 坝体混凝土和基岩接触段及其下一段的合格率应为 100% ,以下各段的合格率应在 90% 以上 ,不合格段的透水率值不得超过设计规定值的 100% ,且不集中 ,灌浆质量可认为合格。

5. 抽样检查

对封孔质量宜进行抽样检查。

二、应用实例

(一)某水电站坝基灌浆

湖南省水利水电勘测设计院地勘总队在某水电站坝址基础进行灌浆施工 ,取得一定经验。其基本情况如下。

1. 灌浆设备与材料

(1)研制成功 XS—II 型双卧式制浆搅拌机 ,其优点为体积小 ,质量轻 ,制浆速度快 ,制浆浓度大 ,可自动除渣 ,配有储浆能力为 600L 的储浆搅拌桶。该机结构简单 ,性能可靠 ,维修方便 ,造价低廉。适用于岩溶发育、漏浆量大的工程。

(2)灌浆材料采用普通硅酸盐水泥 ,其标号不得低于 425[#]。为改善浆液性能 ,提高结石抗溶蚀能力 ,降低成本 ,在浆液中掺入适量的粘土 ,其用量根据地质情况而定。在集中渗漏通道、溶洞 ,需备砂、砾石、速凝剂和惰性材料 ,如水玻璃与木屑等。

2. 造孔

(1)在岩石破碎、裂隙发育、倾角大的地层 ,采用较小口径钻进 ,能防止夹、卡钻事故。

(2)在岩溶发育、溶洞多的地层 ,应采用 130mm 孔径开孔 ,75mm 孔径终孔 ,如遇大溶洞和暗河 ,便于投入砂、砾石和用布袋法封孔。

3. 灌浆方法

(1)采用孔口封闭或自上而下分段灌浆 ,也可采用自下而上分段灌浆。灌浆段长一般均为 5m。如岩石透水率较小 ,可适当延长 ,但最长不得超过 10m。

(2)灌浆压力控制采用两种方法 :

1)一次升压法 灌浆开始时 ,尽快将压力升到规定压力 ,单位注浆量不限 ,每级浆液浓度达到一定值以后 ,逐级加浓 ,直到单位注浆量达到结束标准 ,即可结束。

2)分级升压法 灌浆开始时 ,将压力分为几个阶段 ,逐级升高到规定的压力值。每个压力阶段中单位注浆量减少到一定值 ,就将压力值升高一级。直到在规定压力下 ,单位注浆量减少到结束标准 ,即结束灌浆。如在某一级压力下 ,单位注浆量超过一定值 ,则应降低一级压力继续灌注。

(3)灌浆方式。为使浆液始终保持循环状态 ,提高灌浆质量 ,在灌浆施工中一般均采

用循环式灌浆。

(4)双液灌浆。如遇岩溶发育、漏浆量较大的地层,可采用双液灌浆。在配置好的水泥浆液中,加入一定浓度的水玻璃。同时分别用泥浆泵送入,经双液混合器,混合均匀后,扩散到孔内裂隙中,可加速水泥浆液的凝固时间以达到堵漏的目的。

(5)浆液浓度的选用。按水泥灌浆技术规范规定,浆液浓度应遵循由稀至浓的原则逐级变换,其水灰比为 8:1、5:1、3:1、2:1、1.5:1、1:1、0.8:1、0.6:1、0.5:1 共九级。

(6)浆液浓度的变换,采用三种方法:

1)限量法:每一级浓度的浆液注入一定量(一般为 400L,但不超过 1000L)后,如果原吸浆量没有改变或改变不显著时,则将浆液浓度变浓一级灌注,如此逐级变浓直至结束。

2)限率法:每一级浓度的浆液,在一定时间内灌入浆液量的多少,作为变换浆液浓度的标准。但根据结束时对浆液浓度要求的不同,确定浆液浓度的变换标准。

3)双限法:在灌浆过程中,根据每一级浓度浆液灌入的总量和单位注入量两个界限,来决定是否变换浆液浓度。

(二)辽宁省汤河水库坝基帷幕灌浆

辽宁省汤河水库坝基,主要岩性为混合花岗岩、花岗片麻岩,风化岩带裂隙发育,浅层渗透性强,必须进行帷幕灌浆加以处理。该任务由辽宁省水利水电勘测设计研究院承担。

(1)灌浆施工,采用单排、大孔距、高压力灌浆工艺。灌浆次序分为三序:一序孔距 8~12m,二序孔在一序孔的基础上将孔距加密为 4~6m,三序孔又在二序孔的基础上将孔距加密为 2~3m。

(2)灌浆材料为 425[#]、525[#] 普通硅酸盐水泥。在耗浆量大的孔段,为了使浆液速凝,在浆液中加入氯化钙(为水泥质量的 2%)。灌浆全部采用纯水泥浆液。

(3)浆液浓度的变换。从稀浆开始,起灌浆液从 10:1、8:1、6:1 灌入。当浆量达到 600L 时,在灌浆压力和吸浆量无明显变化时,浆液可调浓一级。当水灰比为 5:1、4:1、3:1、2:1 和 1:1 时为浓浆。浓浆注入量达到 300L 时,在压力和吸浆量无明显改变时,浆液也可再调浓一级。

(4)灌浆压力根据地质条件、裂隙贯通情况、岩层产状与坝线交角关系等情况,分别选用 0.2~0.8MPa 的压力。上段灌浆压力不宜过大,开灌时压力要低,结束灌浆时压力要大。

(5)灌浆段长一般为 5~8m。全孔采用自下而上逐段灌浆。孔深为 16~28m。灌浆后基岩段封孔采用水泥砂浆封孔,其配比为水:灰:砂 = 1:1:3。

(6)风化岩层灌浆情况分析。强风化岩层裂隙发育,有泥土充填,岩石渗透性较大,

平均单位耗灰量 136.04kg/m 。弱风化岩层裂隙发育,无充填物或少充填,渗透性变化不均,平均单位耗灰量 223.09kg/m 。微风化岩层渗透性较大,平均单位耗灰量 284.16kg/m 。

(7)灌浆效果,从单位耗量来进行分析。一序孔灌浆时,平均单位耗灰量为 244.04kg/m ;二序孔灌浆时,平均单位耗灰量为 160.88kg/m ;三序孔灌浆时,平均单位耗灰量为 99.84kg/m ,仅是一序孔平均单位耗灰量的 41% 。单位耗灰量已明显降低很多。

(8)压水试验检查。三序孔灌前经压水试验检查,岩层透水率大于灌浆标准的试段仅占 2.6% 。坝基全线在一、二序灌浆完成后,坝基地段绝大部分达到防渗帷幕要求。

总之,坝基岩石帷幕灌浆采用单排、大孔距、高压灌浆工艺是成功的,经水库蓄水运行长达 26 年之久,坝基无渗漏,证明专基帷幕灌浆取得良好效果。

第四节 倾斜钻孔成孔灌浆技术

与铅直孔相比,斜孔可以穿透更多的节理裂隙,因而可提高灌浆与排水孔的施工质量和速度,但只有当斜孔的方位与顶角都保持一致时,才能形成连续的排水帷幕和防渗帷幕。由此可见,保持斜孔的方位与顶角是至关重要的,必须有严格的质量控制与相应的措施。

一、斜孔孔口的质量控制

(一)钻孔基础的安装

施工场地必须铺设混凝土板,厚度不宜小于 50cm ,表面需平整,钻机基础螺栓可直接埋在混凝土板中,也可在混凝土板上安装两条槽钢,槽钢上有地脚螺栓孔。

(二)钻机的调试与安装

斜孔施工要求钻机立轴箱间隙不大于 0.5mm 。液压卡盘不会因倾斜而漏油。

二、斜孔孔口管的设置

斜孔孔口管的设置是钻孔能否保持终孔方位与固定顶角的关键。设置方法一般有两种。

(一)开挖浇筑法

有第四纪覆盖时,可开挖深 2.5m 的布孔浅槽,按孔距放置孔口管,用经纬仪测定管

的方位,罗盘仪测定顶角,合格后浇筑混凝土。小浪底单薄分水岭上的灌浆试验,其孔口管就是用此方法固定的。在 60m 深的斜孔施工中,顶角偏离未超过 0.5° ,方位偏离未超过 1° 。

(二)套孔浇筑法

多用于廊道灌浆。在孔位上按钻孔设计的方位与顶角钻,比设计孔径大 2 级、深 2.5m 的钻孔,然后下入孔口管,将测斜仪放入孔口管内,测得的数据合乎要求后再浇入混凝土。如有偏离,可在孔口管下部焊一偏心块,转动偏心块的位置即可调整孔口管的方位与顶角(图 5-2-3)

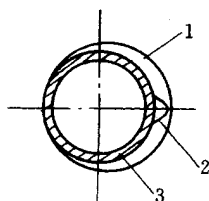


图 8-2-3 孔口管调整示意图

1—孔壁 2—偏心块 3—孔口管

三、钻孔防斜

(一)合理的钻孔结构

主要是指钻孔结构级配的合理性,不可人为地加大钻孔与钻杆钻具间的环状间隙,要满眼钻进。合理的环状间隙是 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 。各种口径只能一级级往下延伸,绝不可跳级变径,否则环状间隙加大,钻孔从几十米至几百米的长轴钻进,过大的环状间隙无疑会增加钻杆的弯曲与震动(表 8-2-1)。

表 8-2-1 金刚石钻进的钻杆级配表

| 钻头直径(mm) | 46 | 59 | 75 | 91 |
|----------|----|----|----|----|
| 钻杆外径(mm) | 43 | 54 | 67 | 67 |

一般金刚石钻头直径与岩芯管直径之差为 $2 \sim 2.5\text{mm}$,是可以满足满眼钻进要求的,但钻杆直径过小,却形不成满眼钻进。为此应在每根钻杆上加扶正接手(图 8-2-4),外径比钻头小 $1.5 \sim 2\text{mm}$,其上开有水槽。合理的钻杆级配是防止孔斜的重要措施,切不可掉以轻心。

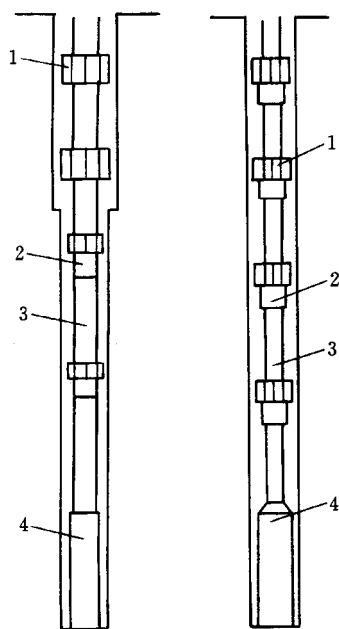


图 8-2-4 钻孔防斜扶正措施示意图
1—扶正接头 2—钻杆接头 3—钻杆 4—钻具

(二) 钻具与钻杆的平直度

弯曲与不均匀磨损严重的岩芯管和钻杆,都会使钻头破岩面受力不均。这不仅引发钻孔弯曲,而且还容易招致事故的发生。所以,在水利水电钻探有关规程上对管材弯曲与磨损的最大允许值作了规定(表 8-2-2),在斜孔施工中更应严格执行之。

| 表 8-2-2 不同工艺的管材弯曲与磨损的最大允许值 | | | | | 单位 :mm |
|----------------------------|--------|--------|----------|-------|--------|
| 钻 进 方 法 | 钻 杆 | | | 钻 芯 管 | |
| | 直径单边磨损 | 直径均匀磨损 | 任意每米长度弯曲 | 壁厚磨损 | 每米弯曲 |
| 钢粒、合金钻进 | < 2 | < 3 | < 3 | 1/3 | < 2 |
| 金刚石钻进 | < 2 | < 3 | < 1 | < 1/3 | < 0.5 |
| 金刚石绳索取芯钻进 | < 1 | < 1.5 | < 1 | < 1/3 | < 0.5 |

斜孔施工应尽量增加钻具长度,以增加其稳定性。地表施工时,钻具长度应不小于 6m,坑道施工时,可串接两根岩芯管,其长度应不小于 4m。

在此还应着重说明的是,岩芯管虽然很直,但三用接头同心度很差时也会使钻具人为弯曲,引起钻孔偏斜。

(三) 钻进参数的合理性

钻压是影响钻孔弯曲的重要因素。长轴扭矩传递,又承受轴向压力,当压力愈大,引

起的纵弯曲与弯曲应力也愈大,容易引起钻孔弯曲。

钻压应根据岩石物理力学性质、钻头唇面积、金刚石的品级、粒度、浓度等进行选择。表镶金刚石钻头以每粒金刚石压力为 $15 \sim 25\text{N}$ 计算;孕镶金刚石钻头按单位唇面积压力 $4 \sim 8\text{MPa}$ 计算。岩体坚硬完整,金刚石晶级高、颗粒大时,可选用较高钻压值。斜孔在开孔与变径时,应选用较低的钻压。转速是根据岩石的物理力学性质及钻头直径选择的。在不产生剧烈震动的前提下,应适当提高转速。在强研磨性、粗颗粒、破碎的岩层中钻进时,应适当降低转速。金刚石钻头的线速度范围可在 $1.5 \sim 3.0\text{m/s}$ 中选用。适当提高转速会提高时效,从而减少钻头在某一深度的停留时间,不致增大孔径和增加钻孔弯曲的几率。

钻进中的冲洗液泵量一般宜取大值,孔底清洁,钻头冷却好,有利提高钻探效率,缩小孔径,对防斜有利。

(四)采用钻铤加压钻进

即改变加压的方式,由地面加压改为孔底加压,以减少钻杆的纵弯曲与弯曲应力,起到防斜作用。

(五)采用孔底马达钻具

整个钻杆不转,用孔底马达带动钻具克取岩石。如果同时配以钻铤加压,那将是非常有效的防斜措施。

(六)稳定组合钻具防斜纠斜

所谓稳定组合钻具就是在靠近钻头一段钻杆柱的适当位置,安装数个直径接近钻头直径的稳定器。在水平或接近水平状态下,这些稳定器相当于支点,斜孔也是如此。稳定器之间的钻杆在重力、给进力及离心力的作用下产生变形,使钻头上仰、下倾或基本保持原方向。稳定组合钻具由钻头、岩芯管、稳定器、钻杆等组成。好的组合方式能发挥防斜与纠斜的作用。

(七)钟摆钻具

钻头与钻杆中心有一个偏心距,偏心距的大小能对孔斜的大小进行调整,使钻孔始终沿着设计的轨迹延伸。

四、定向钻探

所谓定向钻探就是指钻孔沿着一定的轨迹延伸而达到预定深度、方位和顶角的目标。

一种带有孔底发动机的钻具在随钻监测仪器的监视下,进行造斜、纠斜,最后达到靶点。这是当今世界上最先进的钻探技术之一,它应用于油田钻井工程、煤田钻探、矿山钻

探、气体开采、非开挖地下铺缆与铺管工程以及过河钻孔等。

我国廊坊勘探技术研究所于“八五”期间重点开发了这项技术,并获得了成功,率先由湖南衡阳盐矿与地矿 417 队合作,钻成了八对高精度对接孔。即由两个相距数百米的钻孔,在地下数百米深处对接起来,从一井压水,另一井出水的方式开采食盐,达到了高产出、低投入的目的。

斜孔排水特别是帷幕灌浆要求形成的帷幕,不得有超限偏差,否则起不到集中排水和防渗作用。如果采用这种可控的定向排水孔和灌浆孔,其经济效益几乎可达到最大值。尽管这种技术尚未推广到水利水电工程上来,但鉴于它和斜孔排水和灌浆技术结合起来有可喜的前景。

(一)定向钻探的主要专用工具

(1)具有造斜(或纠斜)的长寿螺杆钻具(即孔底马达钻具),用不旋转钻杆控制连续造斜与纠斜。造斜能力的大小取决于钻具与钻杆之间的联接弯接头的弯曲角 γ 、弯接头直径 D 、井斜角 α 以及井身曲率 K 等。表 8-2-3 中所列为我国生产的各种螺杆钻具。

表 8-2-3 小口径螺杆钻主要技术参数

| 钻具型号 | 钻具外径 (mm) | 转子定子 波齿数比 t | 泵 量 (L/min) | 钻头转速 (r/min) | 工作压力差 (MPa) | 输出扭矩 (N·m) | 钻具长度 (m) | 钻具重量 (kg) | 钻头外径 (mm) |
|------|--------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|-------------|--------------|--------------|
| YL56 | 56 | 5/6 | 120~150 | 350~450 | 3.2 | 98 | 2.2 | 25 | 60~75 |
| YL65 | 65 | 5/6 | 180~250 | 300~420 | 3.2 | 176 | 2.6 | 50 | 75~85 |
| YL70 | 70 | 5/6 | 200~350 | 230~350 | 3.2 | 300 | 2.5 | 44 | 85~115 |

(2)具有长寿高钻速的造斜钻头连续造斜,确保其有正确的方位与倾角。

(3)具有高精度测斜定向仪可精确地给造斜工具母线定向和测定每一孔段的倾角与方位角。1994 年以前,国内还没有合适的仪器,多采用进口美国波依尔公司的 OWL—780 型测斜定向仪。近期,我国勘探技术研究所研制成功了 XSC—1 型小口径随钻测斜仪,它的主要技术参数是:探管外径 $\phi=42\text{mm}$;孔内探管耐压 15MPa;钻孔顶角测量范围为 $-90^{\circ}\sim 90^{\circ}$,精度 $\pm 0.25^{\circ}$;钻孔方位角测量范围为 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$,精度 $\pm 1.5^{\circ}$;钻孔测量深度为 $0\sim 1500\text{m}$,精度 $\pm 0.5\text{m}$;孔内探管耐震性为 $50g$ 。

(二)定向孔的施工技术

(1)垂直孔段钻进技术。定向孔的开孔多为直孔,直孔段要垂上,孔斜不能超过 $0.5^{\circ}/100\text{m}$ 。直孔段的防斜措施主要是采用钻铤、满眼钻具(图 8-2-5)、钟摆钻具有井底马达钻具。

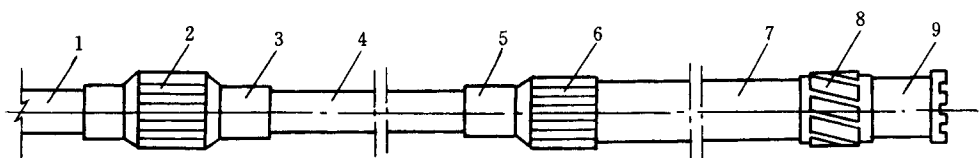


图 8-2-5 满眼钻具示意图

1—钻杆 2—稳定器 3—接头 4—钻杆 5—接头 6—稳定器 7—岩芯管 8—扩孔器 9—钻头

(2)过渡孔段钻进技术。垂直孔段尽管采取了很多措施,但仍会有些偏斜。过渡孔段钻进就是将已偏斜的孔段纠正过来,使其纳入正确的设计轨迹。主要采取孔底马达钻具技术来纠斜。

(3)定向弯曲孔段施工技术。其目的是要打到靶心,即按设计轨迹延伸的孔段,采用螺杆钻具与其相配套的器具,随钻测斜仪和正确的施工技术来完成。

五、钻孔测斜

为保证钻孔质量,一方面采取防斜措施,另一方面要加强监测,使孔斜控制在要求的限度之内,因此对每一灌浆段都要测斜。由于小口径金刚石钻进口径小,使一些纠斜措施难以实施(定向钻探除外),故应提倡以防斜为主,测斜只是一个质量检查手段。

测斜仪由单点发展成为多点,并可屏幕显示。

表 8-2-4、表 8-2-5 列举了常用测斜仪与陀螺测斜仪的技术性能指标,以便根据不同要求选用之。

表 8-2-4 一般钻探常用的主要测斜仪技术性能

| 仪器型号 | JXY—2 | XJL—42 | JGC—40 | JJX—3 | KXP—1 | JXX—1 | D80—2B | MN—30 |
|---------|-------------------------------------|--------------|-------------|---------|-------------------------------------|---------|------------|--------------|
| 技术性能 | | | | | | | | |
| 顶角测量范围 | 0°~60° | 0°~50° | 0°~45° | 0°~50° | 0°~50° | 0°~45° | 0°~40° | 0°~50° |
| 顶角测量精度 | 在 0°~30° ≤±1°; 在 >30° ≤±2° | ±1° | ±30′ | ±30′ | 在 0°~30° ≤±1°; 在 >30° ≤±2° | ±30′ | ±30′ | ±30′ |
| 方位角测量范围 | 0°~360° | 0°~360° | 0°~360° | 4°~356° | 4°~356° | 4°~356° | 4°~360° | 4°~356° |
| 方位角测量精度 | 顶角>4° ±4° | 顶角≥2° ±2° | ±2° | ±4° | ±4° | ±4° | ±2° | 顶角≥5° ±5° |
| 测量方式 | 度盘直读 | 度盘直读 | 感光纸 记录直读 | 直流电桥 | 直流电桥 | 直流电桥 | 照相记录 直读 | 直流电桥 |

| <div>仪 器 型 号</div> | | | | | | | | |
|--------------------|------------|------------|-------------|------------------------|----------------|----------------|-------------------|-------|
| 技 术 性 能 | JXY—2 | XJL—42 | JGC—40 | JJX—3 | KXP—1 | JXX—1 | D80—2B | MN—30 |
| 下孔方法 | 钢丝绳 或钻杆 | 钢丝绳 或钻杆 | 钢丝绳 或钻杆 | 三心电缆 | 三心电缆 | 钢丝绳 | 钢丝绳 ,钻 杆或电缆 | 三心电缆 |
| 状态控制方法 | 钟表 | 钟表 | 晶体管 延时电路 | 电磁铁 | 微电机 | 晶体管 延时电路 | 控制电路 | 电磁铁 |
| 一次下孔测量点数 | 单点 | 单点 | 单点 | 多点 | 多点 | 单点 | 多点 | 多点 |
| 电 源 | | | 直流 6 V | 直流 90 V | 直流 6 ~ 18 V | 直流 6 ~ 15 V | 直流 12 ~ 22.5 V | — |
| 耐液压(MPa) | 7.0 | 10.0 | — | 50.0 | 15.0 | 10.0 | — | — |
| 耐 温(℃) | 80 | — | 150 | 100 | 50 | 60 | — | 130 |
| 孔内探管外径(mm) | 75 | 42 | 40 | 65 | 40 | 40 | 45 | 30 |
| 孔内探管长度(mm) | 1990 | 1703 | 1700 | 1450 (不包括 加长管) | 1260 | 1800 | — | 1100 |
| 孔内探管重量(N) | 330 | 120 | 80 | 200 | 60 | 110 | — | 250 |

表 8－2－5 钻探常用陀螺测斜仪技术性能

| <div>仪 器 型 号</div> | JDL—1 | JXT—1 | JTL—50 | JXT—247 | JTL—38 | ИТ—36 |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|---|---|
| 技 术 性 能 | | | | | | |
| 顶角测量范围 | 0° ~ 30° | 0° ~ 35° | 0° ~ 50° | 0° ~ 35° | 0° ~ 50° | 0° ~ 60° |
| 精 度 | ± 30′ | ± 30′ | ± 30′ | ± 30′ | ± 30′ | ± 30′ |
| 终点角测量范围 | 0° ~ 360° | 0° ~ 360° | 0° ~ 360° | 0° ~ 360° | 0° ~ 358° | 0° ~ 360° |
| 精 度 | ± 6° | ± 6° | ± 6° | ± 6° | $\theta = 5^{\circ} \sim 6^{\circ}, \pm 7^{\circ}$ $\theta = 6^{\circ} \sim 25^{\circ}, \pm 6^{\circ}$ $\theta = 25^{\circ} \sim 50^{\circ}, \pm 8^{\circ}$ | $\theta \geq 5^{\circ}$ $\pm 4^{\circ} \sim 8^{\circ}$ |
| 测量方式 | 直流电位计 | 直流电位计 | 直流电位计 | 直流电位计 | 直流电位计 | — |
| 下孔方法 | 3 芯电缆 | 3 芯电缆 | 3 芯电缆 | 3 芯电缆 | 3 芯电缆 | 3 芯电缆 |
| 状态控制方法 | 控制电路 | 控制电路 | | | | 控制电路 |
| 一次下孔测点个数 | 多点 | 多点 | 多点 | 多点 | 多点 | 多点 |
| 电 源 | 50Hz 220 V | 50Hz 220 V | 50Hz 220 V | 50Hz 220 V | 50Hz 220 V | — |
| 漂 移(°/h) | < ± 6 | < ± 12 | < ± 12 | < ± 20 | < ± 18 | — |
| 耐液压(MPa) | 15.0 | 15.0 | 10.0 | 15.0 | 15.0 | — |

| 仪器型号 | JDL—1 | JXT—1 | JTL—50 | JXT—247 | JTL—38 | ИТ—36 |
|------------|-------------|-------------|-------------|---------|--------|-------|
| 技术性能 | | | | | | |
| 耐 温(℃) | - 10 ~ + 54 | - 10 ~ + 45 | - 10 ~ + 40 | - | - | - |
| 仪器外径(mm) | 89 | 50 | 50 | 47 | 38 | 36 |
| 长度(mm) | 2040 | 1870 | - | - | - | - |
| 重量(N) | 290 | 100 | - | - | - | - |

六、钻进方法的选择

选择最优的钻进方法 ,既能提高工作效率又能保证工程质量 ,降低成本。排水孔主要功能是排出节理裂隙中的水 ,钻孔能穿透节理裂隙愈多愈好。所以在排水洞中的排水孔向是多向的 ,向上、向下、倾斜、水平的钻孔都有采用的可能。因此选择钻进方法时 ,必须考虑这个特点。

金刚石钻进工艺能满足上述要求 ,但由于排水孔孔径有时要求在 100mm 以上 ,钻进坚硬的弱研磨性岩石时效率很低。所以说 ,金刚石钻进工艺在钻排水孔时 ,只适用于中硬以下岩石。

坚硬岩石最优的钻进方法仍是空气潜孔锤钻进 ,这种钻进方法不受任何角度的限制 ,而且效率高 ,成本低。

空气潜孔锤钻进岩粉多 ,在空气干燥、无地下水的干孔中钻进时有堵塞裂隙的缺点 ;在有地下水的钻孔中钻进就不会形成裂隙被严重堵塞现象。

当前的空气钻进已有了很大的发展 ,有了多种低密度介质空气钻进 ,如雾状气、气水混合钻进 ,泡沫钻进 ,泡沫泥浆、充气泥浆钻进等。这类介质钻进会使岩粉凝结成球状 ,不易进入细小裂隙。

空气钻进除正循环外 ,还有反循环与正反混合循环钻进。空气反循环会使钻孔的污染降到最低程度 ,是水井施工的最优方法。

一种贯通式潜孔锤已在无锡定型生产 ,这种贯通式潜孔锤有一中心孔 ,可以取得一种小直径岩芯 ,开创了潜孔锤钻进可以取芯的先例 ,再配以反循环工艺 ,特别有利于斜孔、水平孔与仰孔的施工。

在中硬岩层中的排水孔施工 ,也可考虑采用水力反循环金刚石钻进工艺施工水平孔与仰孔 ,能大幅度提高钻进效率。灌浆施工中 ,绝大部分钻孔是不要取岩芯的 ,因口径小 ,可用金刚石全断面钻进。岩石特别坚硬时 ,也可打潜孔锤。无论是灌浆孔或排水孔 ,成孔后均需进行洗孔。

第五节 进水塔群地基固结灌浆施工技术

一、施工概况

某进水口开挖支护工作按施工计划应在 1995 年 10 月底全部结束,1995 年 6 月中旬应浇筑塔体结构混凝土,并要求在 1997 年 10 月截流之前塔体全部上升至 195m 高程。由于多种原因,造成施工滞后,直至 1996 年 7 月下旬施工才进入塔群基础处理阶段。

为保证按期截流,现场抗施工改变了标书规定的在 1.3m 混凝土压重上钻孔的施工方案。

在进水塔群基础固结灌浆施工之前两个多月,承包商向工程师递交了一份“进口区固结灌浆和建议施工方法说明书”,并在 2 号发电塔上游左侧做了 $24\text{m} \times 14\text{m}$ 共计 40 个孔的试验块。

固结灌浆压力采用 $0.2 \sim 0.4\text{MPa}$,采用自上而下纯压式灌注方法钻灌,基础开挖后,只浇筑了 $0.2 \sim 0.5\text{m}$ 厚的混凝土垫层。固结灌浆分三个工序钻孔,孔距、排距均为 3m ,孔深 $7 \sim 15\text{m}$,灌浆孔向下游倾斜,倾角 60° 。

按工序灌注前 3m ,形成灌浆盖重后,按工序钻灌 3m 以下的部位,直至终孔。最大灌浆段长度不超过 8m ,一般钻灌孔段长度 $4 \sim 6\text{m}$ 。为防止基岩抬动,在钻灌地段相应地布置安装变形观测装置。在 F_{240} 、 F_{241} 断层破碎带上,下挖破碎岩体,采用钢筋混凝土置换措施,并加密破碎带地段的灌浆孔(预埋 PVC 灌浆管,孔距、排距 $2\text{m} \times 2\text{m}$)共计增加 114 孔。为检查固结灌浆效果,在灌浆后布置约占总孔数 5% 的检查孔。在检查孔内进行压水试验,计算灌后吕荣值,并在灌区内测定岩体灌浆前后的超声波(此孔不灌浆)计算动弹模。

二、制浆和灌浆设备

施工中改用了稳定浆液,其水灰比为 $1.2:1$,掺入 3% 的膨润土和 0.5% 的高效塑化剂。

制浆的材料及灌浆的设备工作站放在塔群前沿护坦右侧 175m 平台上,工作站将各种浆液输送到现场灌浆机中。现场灌浆机保持最终混和料的搅拌,并将混和液灌入孔内,灌浆机至灌浆孔的距离小于 60m 。

工作站的制浆和灌浆的主要设备有:

2 个 50t 容量水泥罐配备 7m 长螺旋输送机,用于储放干水泥;

2 个 40m^3 防水罐 ,用于储放膨润土泥浆 ;
 3 个临时棚 ,分别存放膨润土、添加剂和灌浆用沙 ;
 2 个用于分别存放水、添加剂的 1m^3 水池 ;
 1 个 12m 长敞开式大水箱 ;
 1 台 CAPRARIHM 401/8 泵 ,用于向整个工作站和现场的灌浆机供水 ;
 1 台 R250 搅拌机用于制作膨润土泥浆和水—添加剂溶液 ;
 1 台 MORO 1200 型泵 ,用于把膨润土泥浆输送到现场灌浆机 ;
 1 台 IM20 搅拌机用于制作水泥—膨润土拌和液 ;
 1 台 R3000 型搅拌机 ,在适当条件下把水泥—膨润土拌和浆液送到现场灌浆机内 ;
 1 台 BALLERINI C2 泵 ,用于向移动式灌浆机提供基本的水泥—膨润土拌和液 ;
 1 台 IME 搅拌机用于制作拌和沙浆 ;
 1 个 R3000 型搅拌机 ,用于在适当的情况下向要灌入的孔内供应拌和沙浆 ;
 TURO T4—65 型和 FLYGT 2125 型各种泵 ;
 电气盘。

IME 拌和机由以下部分组成 :

水泥—膨润土拌和液称重箱 ;
 水泥—膨润土拌和液的进料斗 ;
 称沙重量的电子秤 ;
 灌浆用沙进料斗的斜道 ;
 混合液秤 ;
 电动空压机。

工作站的布置见图 8-2-6 ,灌浆主要的机械设备见表 8-2-6。

移动式现场灌浆机的主要设备有 :

2 台 M100 自容配料拌和机 ;
 1 台 IRPO 自容灌浆机 ;
 1 台电动空压机 ;
 1 个电气板。

附属设备有 :

(1) 灌浆记录仪。为计量每个孔吸浆的真实时间、实际灌浆压力和数量 ,采用一个电子单频灌浆记录仪。该仪器安装在灌浆孔稍上游方向的 $3/4$ 供浆管线上。灌浆记录仪为“中国水利水电基础工程公司科研所制造的 J31 型” ,可自动监测记录浆液流动的速度及灌浆压力 ,并将实际收集的数据打印出来。

(2) 灌浆栓塞。采用的灌浆栓塞有液压膨胀式双塞(PETROMETALICBIMBAR 1—R—63)和机械式单塞。双塞的两个橡皮塞间距可根据工程师的要求进行调整(1.5m、2.0m、3.0m) ,单阶段灌浆时 ,在孔口安装机械式膨胀单个塞。所有各类栓塞 ,其封闭孔口最有效的承载压力为 3MPa。

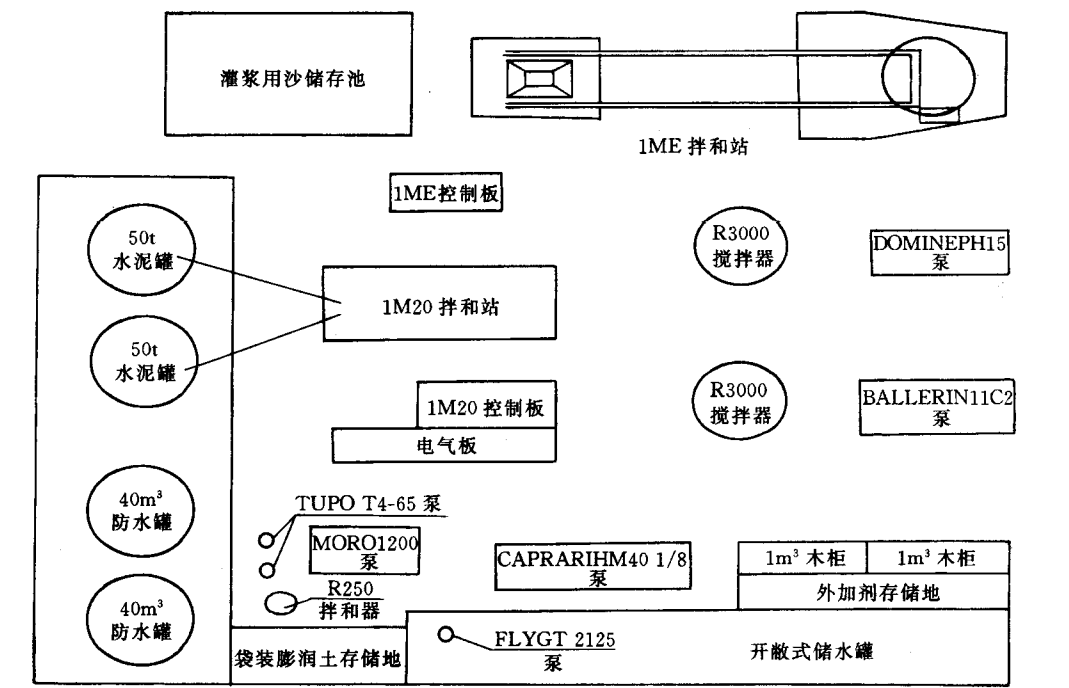


图 8-2-6 灌浆工作站布置图

表 8-2-6 制浆和灌浆机械设备表

| 设备型号 | 设备名称 | 生产能力 (m³/h) | 功 率 | 尺寸(m) | 重 量 (kg) |
|------------|-------|------------------|--------|-------------|---------------|
| R250 | 拌和机 | 3 | 7.5HP* | 2.2×1.3×1.3 | 575 |
| R250 | 搅拌机 | 3 | 4HP | 2.2×1.3×1.3 | 575 |
| R3000 | 搅拌机 | ... | | ... | ... |
| 1M20 | 搅拌机 | 20 | 25kw | ... | ... |
| 1ME | 搅拌机 | ... | 31HP | ... | ... |
| DOWIN PH15 | 液压灌浆泵 | 9.5 | 30HP | 2.0×1.0×1.5 | 1220 |
| M100 | 拌和机 | 3.5 | 500W | 1.5×1.1×2.2 | 380 |
| IRP0 | 自容灌浆机 | 1.92 | 25HP | 2.5×1.1×1.6 | 1300 |

* 1HP = 745.7W。

三、固结灌浆斜孔的方位与倾角

各个进水塔基础开挖到建基面以后 ,对基础岩体的各类结构面(浆径)进行了施工地质编录并用 GJMZ 程序进行了灌浆斜孔方位的优选计算 ,现列表 8-2-7 举例说明塔群中 4 个塔基的计算成果。

表 8-2-7 固结灌浆斜孔最优方位计算表

| 项 目 引水建筑物基础名称 | 最优固结灌浆斜孔 | | | 施工固结灌浆斜孔 | | | 两者相差倍数 ①/② |
|----------------------|----------|-----|-------|-----------|-----|-------|---------------|
| | 方位 | 倾角 | 效益系数① | 方位 | 倾角 | 效益系数② | |
| 2 号孔板塔基础 | NE80° | 60° | 3.28 | SE112°58′ | 60° | 2.96 | 1.11 |
| 3 号孔板塔基础 | NW350° | | 3.55 | | | 2.53 | 1.40 |
| 2 号明流塔基础 | NW340° | | 4.86 | | | 3.28 | 1.48 |
| 3 号发电塔基础 | NE20° | | 2.86 | | | 1.00 | 2.86 |

表 8-2-7 中施工固结灌浆斜孔的产状 ,是在标书设计中 ,GJMZ 程序尚未编制完成 ,但只知斜孔灌浆比铅直孔灌浆效果好而设定的。当 GJMZ 程序编制完成后 ,经过实践证明为正确后而进行了表 8-2-7 的计算。尽管计算表明斜孔固结灌浆斜孔方位存在着最优值 ,比标书设计中采用的斜孔要好 1.11~2.86 倍 ,但由于改变设计指标会招致外国承包商索赔问题 ,因而只好作罢。

此外 ,还要在此着重说明的是 ,斜孔的效益系数大小与斜孔倾角的陡缓成反比。也就是说 ,这里的固结灌浆斜孔倾角小于 60°时 ,其效益系数还会更大些。

四、钻斜孔

确定钻孔位置后 ,开钻前钻臂的角度使用气泡水平仪核对检查 ,用于钻孔测量的装置为西安石油勘探十八仪器总厂生产的 DU2—D 磁性多点仪。

对于基础平坦部位 ,采用 66kW 桅杆 4~6m 的 Deutz F6L912 型或与此相当的履带钻机。

对于边坡部位 ,采用 DIAMEC 250/251 型放在支架台上的小型钻机。所有灌浆孔采用旋转冲击钻钻孔成型 ,正常钻孔直径为 75mm ,钻孔和冲洗一般采用清水 ,如钻孔孔壁出现不稳定的情况 ,在钻孔循环水中加入 FORAMOUSSED2 型聚合稳定剂。

五、灌浆及压水试验管路系统布置

灌浆及压水试验管路系统布置现场施灌及压水试验的管路系统布置如图 8-2-7、图 8-2-8 所示。

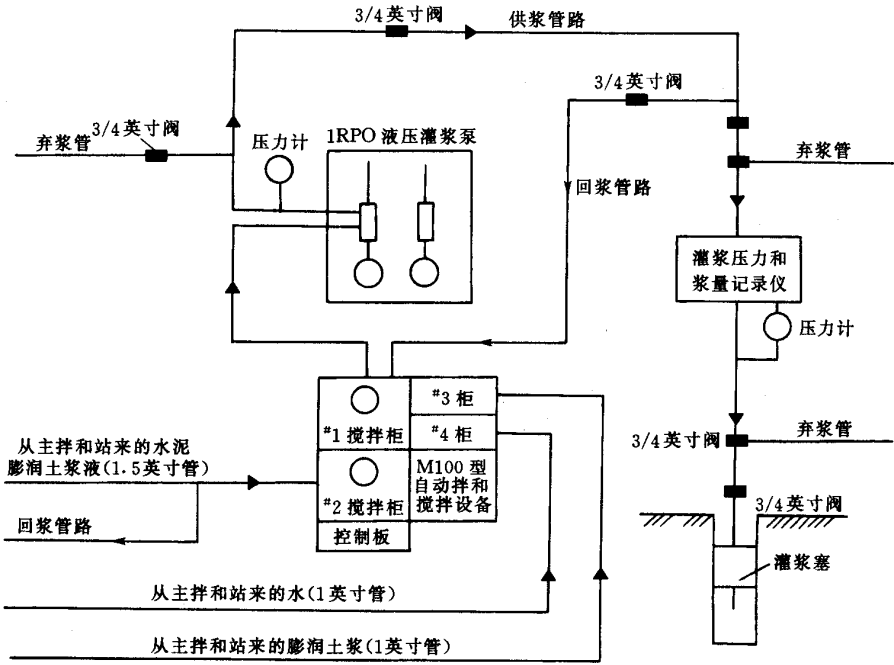


图 8-2-7 水泥、膨润土灌浆系统管路示意图

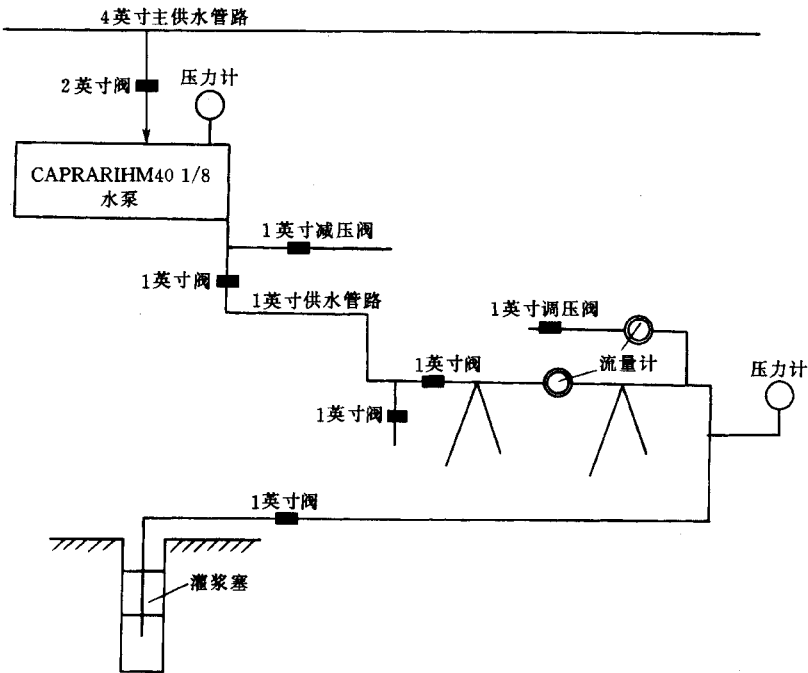


图 8-2-8 压水试验管路图(注:1英寸=2.54cm)

六、灌浆结束标准和封孔方法

在规定的压力下测得吸浆量小于 $0.7\text{L}/\text{min}$,再注浆 10min ,确认为拒绝吃浆 ,灌浆完成 20min 内 ,折除孔内的灌浆塞。

完成灌浆后 ,每个孔都应用稠浆从孔底向上回填。

七、特殊情况处理

钻孔 :所有偏离规定倾角和方位大于 5° 的灌浆孔都要废弃掉 ,这些废弃的孔都要从孔底起用浆液填死 ,然后按要求重新钻替代孔。

钻孔时如钻杆或钻头断掉 ,应采用适当的钩拉工具捞出后恢复钻孔工作 ,以保证连续的钻孔 ,如操作失败 ,采取其它措施需经工程师同意。

灌浆 :若测得要灌浆的浓度、粘度、温度等超出规定的范围 ,应从搅拌机中除去这批浆液 ,在下一批配料之前应调查出失败的原因。

灌浆时若灌浆设备出现故障 ,应立即拆除坏的部件更换新部件 ,要保证灌浆工作的连续性。

第六节 导流洞环形固结灌浆施工技术

一、技术要求

灌浆施工应在固结灌浆处的混凝土强度超过规定的 28 天最小抗压强度值 ,且周围 10m 内的回填灌浆完成 7 天后才能进行。

隧洞中 ,每个灌浆孔中最后一个灌浆塞 ,应留在埋入混凝土衬砌中的 PVC 管内。灌浆塞的末端应位于混凝土支付线内 ,使得混凝土、喷混凝土和岩体之间的收缩缝同时得到接缝灌浆。

固结灌浆应从 I 序灌浆孔开始。II 序灌浆孔的灌浆 ,需等孔周围 25m 范围内的所有 I 序灌浆孔都已灌完后 ,才能开始进行。III 序灌浆孔的灌浆 ,需等孔周围 25m 范围内的所有 II 序灌浆孔都已灌完后 ,才能开始进行。正在灌浆或已灌浆但未超过 24h 的孔周围 10m 范围内不能钻灌浆孔。

二、灌浆材料制浆和灌浆设备

固结灌浆用的浆液由水泥、膨润土、水和高效塑化剂组成。灌浆拌和用水要新鲜、干净,水中不含有害的油、土、有机物碱、酸、盐及其它杂质,并符合 AC1318《钢筋混凝土建筑规范要求》。拌和时,灌浆中的水温要低于 25°C ,高于 5°C 。固结灌浆中用的水泥为 425 普通硅酸盐水泥。高效塑化剂应从同一厂家购置,以保证其相容性。要采用分散性好的钠膨润土。

封孔浆液的沙应由清洁坚硬的沙粒组成,不含有机质、粘土块及杂质,含水量应小于其干密度的 3%,细度模数小于 2。

灌浆材料用高速机械拌和机进行拌和。拌和机配备可精确检测灌浆材料的装置,以便控制配合比。灌浆泵在最大流量压力为 3MPa 时的泵能力至少是 $110\text{L}/\text{min}$ 。灌浆泵的位置距灌浆孔不超过 60m 。

灌浆设备的布置:由联接泵和孔、又返回搅拌器的供浆管路构成一个连续的回路,并由压力表控制灌浆集管的压力,即在泵出口处装一个压力表,另一个压力表放在灌浆孔下游紧靠回浆阀前面。

三、钻孔

所有的孔都要按顺序、方位布置,应钻到工程师要求的深度。

根据技术规范要求,钻孔只能用清水冲洗。钻孔内不能使用泥浆。不能在钻杆上使用油脂、涂料、泥浆或其它润滑剂来帮助钻进。

四、灌前准备

固结灌浆孔在钻孔完成后,除要求做压水试验的孔外,都要马上进行清洗。对要做压水试验的一些孔,要在试验之前压水清洗。钻孔要用通过插到孔底的清洗管压出的水气混合物进行清洗,直到清水返回地面,然后再连续用清水冲洗 10min 。

五、灌浆方法和方式

导流洞初期采用水灰比由 5:1 到 1:1 的变浆法进行灌浆。变浆条件为当某一级别浆液的注入量已达 $300\text{L}/\text{min}$ 以上,灌注时间超过 1h 后,或者注入量大于 $30\text{L}/\text{min}$ 时,可越级加浓灌注。

后来考虑到频繁变浆破坏了灌浆的连续性并影响到施工进度,改用了稳定浆液进行固结灌浆(表 8-2-8)施工。通过稳定浆液试验,选用的浆液类型及各项指标如表 28-

2-8 所示。

表 8-2-8 固结灌浆稳定浆液指标表

| 水灰比 | 密度 (g/cm ³) | 粘度 (s) | 外加剂添加量 | | 不同时段析水率(min) | | | | | | | |
|--------------|-----------------------------|-------------|-----------|-------------|----------------|----|----|----|------|------|------|------|
| | | | 膨润土 水泥 | R1000 水泥 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 | 120 |
| W/C = 0.8 :1 | 1.61 | 39"48 | 2% | 0.50% | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1% | 0.2% | 0.3% | 0.3% |

注 表中 R1000 为减水剂。

对局部破碎带仍沿用变浆法灌浆 ,只使用 1 : 1 ~ 0.81 两种浆液 ,变浆条件及结束标准不变。

导流洞分两个部分灌浆 :一部分是台车不能完成的底拱上的 1 或 2 个孔 ;一部分是由台车来完成的 9 或 10 个孔。灌浆是先底拱施灌 ,然后待顶部孔全部钻完后由下往顶从两边向上施灌。由于台车长 5.4m ,故在两个 I 序孔上 ,一环进行钻孔 ,一环进行灌浆。

六、灌浆压力

导流洞灌浆的效果取决于饱和压力的大小。饱和压力是指钻孔的灌浆段正在饱和时的最大压力 ,这是实施灌浆工程的技术规范中一般限制的压力。如果饱和压力太低 ,灌注的浆液只能在灌浆段周围岩体中渗入小的体积 ;如果饱和压力太高 ,使较宽的裂隙张开 ,可能发生新的裂隙 ,而产生的新空隙要用浆液来填充 ,这会造成不必要的浪费和延长设备的使用时间。在上述两个极端值之间 ,应根据岩体条件(渗透性、裂隙性质、强度)确定适当的灌浆压力 ,以便更好地达到灌浆目的。

导流洞的灌浆压力依据灌浆孔的位置及地质条件确定如下 :底拱为 0.4MPa ,侧墙为 0.5MPa ,顶拱为 0.6MPa。

七、灌浆结束标准和封孔方法

灌浆结束标准以灌浆孔内所有段都达到“ 不再吸浆 ”为标准。按规定压力注浆时 ,当吸浆率小于 0.4L/min 且持续 30min 仍无变大的趋势时 ,可视为达到了不再吸浆的要求。而后 ,按下列步骤封孔 :

- 1. 首先把 0.5 :1(水 :水泥的重量比)的水泥浆用灌浆泵将孔灌满 ,在 0.2MPa 的设计压力下灌注 30min ,关闭灌浆塞的孔口阀门 ,待孔内浆液凝固后 ,取下灌浆塞。也可采用风砂枪喷射 0.3 :1(水 :砂 :水泥的重量比)的砂浆封孔。
- 2. 凿除孔口 20cm 的 PVC 管。
- 3. 孔壁 20cm 涂粘合剂。
- 4. 使用托盘和手风镐把 A2 砂浆推入所剩 20cm 的孔内 ,捣实后抹平。

5. 涂上养护剂。

第七节 可防止浆力劈裂的高压灌浆技术

一、高压灌浆的目的

隆巴迪(Lombardi)等人,为了对宽大裂隙限制其灌浆量,而对可灌性较差的灌段提高灌浆压力,以期各灌段都有一个大致相当的浆液扩散半径,因而提出了GIN灌浆法。这种方法除了对宽大裂隙采用低压灌浆外,其它对大多数岩体都是采用等于或大于 3MPa 的高压灌浆方法。这种灌浆方法除了有可能引起软弱地质结构面发生浆力劈裂,导致浆液浪费外,它具有能增大浆液扩散半径,浆液灌入稳定时间短和灌浆效果良好等优点。

抽水蓄能电站的工作水头大多在 300m 以上。因此,在竖井下部和引水隧的围岩,必然承受非常高的运行水头压力。在这些地段,再用低于 3MPa 的压力进行灌浆,显然是不合适的。

在高坝的坝基和坝肩,特别是在高拱坝的坝基和坝肩,对岩体防渗和强度都有很高的要求,甚至把岩体透水率降低到 1Lu 以下,把有缺陷的岩体弹模提高到和新鲜岩体相近的程度。

一般来说,通过高压灌浆可以达到充填岩体的张开裂隙,减少渗透,增加岩体的变形和弹性模量,对隧洞衬砌也可施加预应力等目的。然而,在含有软弱地质结构面的岩体内,高压灌浆又常常会引起浆力劈裂,使高压灌浆目的难以达到。

二、高压灌浆可能引起的浆力劈裂

高压灌浆在地表特别在隧洞表层将引起跑浆、串浆和渗浆等一系列具有独特性的困难。

在岩体的较深部,岩体内常常含有软岩层面、泥化夹层、硬岩层面、软弱岩脉、沉积和喷发的间歇面、缓倾角裂隙、低应力面等软弱地质结构面。为了论述方便,我们将它们分为硬质结构面(不含泥),把含有泥或云母岩脉等结构面称之为软质地质结构面。地质结构面的抗张(拉)强度很小,不要说在高压作用下会引起浆力劈裂,即使在低压力作用下,甚至在 0.3MPa 压力作用下,它们也会发生浆力劈裂。这种浆力劈裂不仅引起大量

的浆液流失,招致浪费,更重要的是,由于浆力劈裂,灌段内的灌浆压力急剧下降,使不劈裂的岩体也难以灌入浆液,造成整个灌段的灌浆失败。欲要达到高压灌浆的目的,必须防止高压灌浆引起浆力劈裂现象的发生。

三、高压灌浆之前的试验

最大可能的建筑物地基渗漏原因是高运行水头超过岩体的原位(地)应力,引起支配岩体渗透性的裂隙发生水力劈裂,产生劈裂性的严重渗漏。在进行高压灌浆之前,应了解岩体的初始水力劈裂张开压力的大小以及最小原位应力的大小和方向。

(一)水力劈裂试验

在水力劈裂试验之前,应全面了解试验岩体的状态。对纯坚硬岩体,试验按 7 级(或 9 级)压力级差,最大压力应是拟采用的高压灌浆压力或可能的水力劈裂压力。当试验压力最大升高到 6MPa,然后减压,再以 2MPa 的级差(2、4、6、4、2MPa)或以 1.5MPa 的级差(1.5、3、4.5、3、1.5MPa)升压,严格监控向孔内送水的增减,试验往复循环,以确定初始水力劈裂的张开压力。当在某一级压力下(也可以采用多点小级差压力进行试验),向孔内送水量突增,水压力骤降,这就表明岩体内发生了水力劈裂。

对含有相对软弱地质结构面的岩体,其试验方法与纯坚硬岩体的方法相似,唯在最高压力和级差压力选择方面有些差异:如果用五个点,可用 0.5、1.0、1.5、1.0MPa 和 0.5MPa 级差压力;如用七个点,可用 0.3、0.7、1.1、1.5、1.1、0.7MPa 和 0.3MPa 级差压力。

(二)原位应力试验

原位应力试验一般是在岩芯孔内进行。试验采用水力劈裂技术确定最小原位应力的大小和方向。试验位置的选择,应首先与水工建筑物的位置结合起来考虑,例如在抽水蓄能电站高压引水隧的中间,竖井下弯管处。当优选灌浆斜孔产状时,GJMZ 程序对原位应力的大小和方向已给予了充分考虑。

四、高压灌浆的步骤

(一)接触灌浆

为了限制在地表引起的跑浆和保证高压灌浆的顺利进行,初期先以较低的压力,在坝基混凝土盖板及隧洞衬砌与岩体间,进行接触灌浆。一般来说,这种接触灌浆的孔深 3m、排距 9m,在 1MPa 的压力作用下,每分钟吸灰量小于 1kg,且持续 20min,即认为终止吃浆,灌浆结束。这种浅层固结,可以限制下序固结灌浆时的抱浆和渗浆。

(二)固结灌浆

固结灌浆是为高压灌浆作准备的,其灌浆斜孔布置如图 8-2-9 所示。

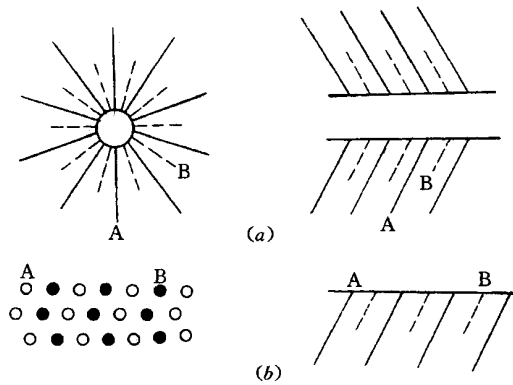


图 8-2-9 高压灌浆斜孔布置示意图

(a) 隧洞 (b) 坝基

A—固结灌浆斜孔 B—高压灌浆斜孔

隧洞下平段和坝基等处的固结灌浆都用 GJMZ 程序对灌浆斜孔的产状进行了优选计算,使其倾角在 60° 的情况下尽可能多地穿过裂隙面。如图 8-2-9 所示,在直径 8.7m 的引水隧洞中,沿径向布置 10 个固结灌浆孔,两孔夹角 36° ,排距 8m,孔深 18m。第一步先灌 10 个孔中的奇数孔,最终灌浆压力用到 2.75MPa;第二步再灌 10 个孔中的偶数孔,灌浆压力同奇数孔。这样的固结灌浆以后,用较低灌浆压力的浆液充填了张开裂隙,使得下阶段的高压灌浆能接近盖板或隧洞衬砌,可形成一个应力梯级。

(三) 高压灌浆

在固结灌浆孔中间,如引水隧洞中,相邻两固结灌浆孔的夹角为 36° ,在 36° 夹角的平分线上布置高压灌浆孔。这样,在同一固结灌浆钻孔的断面上,同时布置带有偶奇编号的 10 个孔,排距 8m,孔深 9m。第一步先灌 10 个孔中的奇数孔,最终灌浆压力用到 4.5MPa (或者更大或者较小些)。固结灌浆时,把灌浆压力的停浆压力限制到 2.75MPa,先用这一道相对较低压力的灌浆,以保证坝基或围岩裂隙完全灌注,防止高压灌浆时,浆液漏入隧洞或抬起盖板,严重影响灌浆效果。其后,为了限制高压灌浆跑浆,其吸灰量限制在 130kg/m 以下。每一步灌浆可用上升法或下降法,均灌到 4.5MPa 左右。灌浆结束后,灌浆塞留在灌浆孔中至少 12h 以后方可取出。

(四) 开挖或扩孔回填后的高压灌浆

高压灌浆时,软弱地质结构面容易引起浆力劈裂。前述的高压灌浆方法,对于不含泥的硬质地质结构面来说,只要严格按照前述的灌浆程序灌浆,高压灌浆的目的是有可能达到的。但对含泥或含软弱物质的软质地质结构面来说,就是严格按照前述的灌浆程序灌浆,由于软质地质结构面与灌浆水泥难以胶结,在其容许灌浆压力的作用下,浆液与

软质结构面有某种程度的粘合,但在高压浆液的作用下,将发生浆力劈裂。如果停灌一段时间再进行高压灌浆,它仍会发生再次浆力劈裂。要想把它灌成可以承受高压工作水头的程度是不可能的。

在坝基或隧洞围岩中,遇到软质地质结构面时,应尽可能将其挖除 3m,而后回填混凝土。在高压灌浆的钻孔中遇到软质地质结构面时,用扩孔的大直径钻头将其钻除一部分,而后封孔,再用常规直径的钻头钻穿,继续按规定进行高压灌浆。

(五) 浆液配比

所有的灌浆都是纯水泥浆灌注。大多数孔是用比表面积为 $5500\text{cm}^2/\text{g}$ 或 $550\text{m}^2/\text{kg}$ 的水泥灌注。

在整个灌浆过程中,浆液配比和稠度由程序给定且密切监控,以便在保证最好的灌浆效果前提下使用最稠的浆液。净水泥浆的标准配比变化范围为 5:1 到 0.8:1(水与水泥体积之比),灌浆中按这个次序逐渐加浓。尤其当灌浆压力超过 2.75MPa 时,实际灌浆的趋势是浆液加浓速度加快。

浆液加浓的准则是在吸浆率无明显减少的情况下,灌注规定数量的水泥。

用 2.75MPa 以上压力时,进一步修正浆液配比有助于控制浆液渗透。用高灌浆时,如果漏浆严重,浆液立即加浓到 1.5:1 或 1:1,若遇到渗漏不能控制的部位,1:1 配比浆液仍在最远处溢出,则灌浆中断。

作者建议用稳定浆液灌注。在一般情况,用 1:1 的稳定浆液灌注,如果漏浆严重,可用 0.75:1 的稳定浆液灌注。

五、高压灌浆的效果评价

(一) 衬砌应力计的安装

在高压灌浆的隧洞中,应布置测点,监测由于高压灌浆引起衬砌的环向应力的增加,以便计算出衬砌结构受到的平均预应力。

(二) 透水率试验

在竖井下部和下部隧洞内,按 5 级或 7 级水头差(最高水头用以 2.75MPa),进行多组压水试验,以计算和了解岩体透水率的变化。同时用 5 个或 7 个水头差(最高水头用到 4.5MPa)进行压水试验,以了解高压灌浆后能否提高坝基或隧洞围岩的原位应力。

(三) 物探试验

选择灌过浆与未灌浆的两条隧洞(后者原岩与前者原岩类似)进行地震波试验和声波发射试验,以对比了解岩体的改善程度。

第三章 防渗墙施工技术

第一节 防渗墙类型及应用

一、防渗墙类型

防渗墙类型按墙体结构形式和墙体材料分类列于表 8－3－1。

表 8－3－1 防渗墙类型

| 防渗墙类型 | | | 特 点 | 适 用 条 件 |
|---------|-------|----|---|--|
| 按结构形式分类 | 桩柱型 | 搭接 | 单孔钻进后浇注混凝土建成桩柱 ,桩柱间搭接一定厚度成墙 ,不易塌孔。造孔精度要求高 ,但搭接厚度不易保证 ,难以形成等厚度的墙 | 各种地层 ,特别是深度较浅、成层复杂、容易塌孔的地层。多用于低水头工程 |
| | | 联接 | 单号孔先钻进建成桩柱 ,双号孔用异形钻头和双反弧钻头钻进 ,可联接建成等厚度墙、施工工艺及机具较复杂 ,不易塌孔 ,但接缝多 | 各种地层 ,在特殊条件下 ,多用于地层深度较大的工程 |
| | 槽板型 | | 将防渗墙沿轴线方向分成一定长度的槽段 ,各槽段分期施工 ,槽段间采用不同联接型式连接成墙。接缝少 ,工效高 ,墙厚均匀 ,防渗效果好。措施不当易发生塌孔现象和不易保证墙体质量 | 采用不同机具 ,适用各种不同深度的地层 ,限于目前条件 ,多用于深度 70m 以内的工程 |
| | 板桩灌注型 | | 打入特制钢板桩 ,提桩注浆成墙 ,工效高 ,墙厚小 ,造价低 | 深度较浅的松软地层 ,低水头堤、闸、坝防渗处理工程 |

| 防渗墙类型 | | 特 点 | 适 用 条 件 |
|---------|-----------|---|------------------|
| 按墙体材料分类 | 混凝土 | 普通混凝土 ,抗压强度和弹性模量较高 ,抗渗性好 | 一般工程 |
| | 粘土混凝土 | 抗渗性好 ,抗压强度 $80 \sim 100\text{kgf/cm}^2$,弹性模量一般低于 $2.2 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ | 一般工程 |
| | 钢筋混凝土 | 能承受较大的弯矩和应力 | 结构有特殊需要时 |
| | 自凝灰浆和固化灰浆 | 灰浆固壁、自凝成墙、或泥浆固壁然后向泥浆内掺加凝结材料成墙 ,强度低 ,弹模低 (柔) ,塑性较好 | 目前多用于低水头或临时性工程 |
| | 少灰混凝土 | 利用开挖渣料 ,掺加粘土和少量水泥 ,采用岸坡倾灌法浇筑成墙 | 临时性工程 ,或有特殊要求的工程 |

二、防渗墙应用

在一般情况下 ,对松散砂砾石地基的防渗处理 ,采用防渗墙较其它处理措施具有工程量小、施工简便、受地层条件制约较少、运动可靠等优点。在水利水电工程中 ,除用作大坝和围堰的地基(包括堰身)防渗外 ,并用来对已建成的病险土石坝进行加固、防渗处理。

我国水利水电工程中 ,已建成的部分防渗墙主要技术指标见表 8－3－2。

表 8－3－2 水利水电工程中已建成的防渗墙主要技术指标

| 作用 | 坝 型 | 工 程 名 称 | 坝(堰)高 (m) | 墙厚 (m) | 最大墙深 (m) | 水力比降 | 截水面积 (m ²) | 防渗墙施工时间 (年·月) |
|------|---------------|-------------|------------------|-------------|---------------|------|----------------------------|--------------------|
| 坝基防渗 | 心墙土石坝 | 毛家村水电站 | 80.5 | 0.8 | 40.0 | 83.0 | 7831 | 1962.4 ~ 1962.12 |
| | | 碧口水电站 | 101 | 1.3 | 41.0 | 77.0 | 3100 | 1970.3 ~ 1971.7 |
| | | 察尔森水库 | 39.7 | 0.6 | 20.0 | 76.6 | 20851 | 1974.4 ~ 1977.8 |
| | 斜墙土石坝 | 密云水库 | 66.0 | 0.8 | 44.0 | 80.0 | 18876 | 1959.11 ~ 1960.5 |
| | | 南谷洞水库 | 73.5 | 0.8 | 51.3 | 91.0 | 2913 | 1968.4 ~ 1969.1 |
| | | 十三陵水库 | 29.0 | 0.8 | 57.5 | 40.0 | 20790 | 1969.12 ~ 1970.9 |
| | | 西斋堂水库 | 58.0 | 0.7 | 56.0 | | 6230 | 1970.12 ~ 1971.6 |
| | 混凝土闸 (坝) | 猫跳河四级水电站 | 39.5 | 1.0 | 30.9 | 51.0 | 935 | 1970.5 ~ 1970.9 |
| | | 映秀湾水电站 | 17.0 | 0.8 | 29.4 | 12.5 | 4169 | 1966.3 ~ 1969.5 |
| | | 渔子溪一级水电站 | 27.8 | 0.8 | 32.0 | 23.5 | 2342 | 1969.1 ~ 1969.10 |
| | | 下苇甸水电站 | 19.5 | 0.7 | 39.5 | 22 | 4550 | 1974.11 ~ 1975.6 |
| | 导流围堰 | 龚嘴水电站(上) | 35.0 | 0.8 | 47.8 | 75 | 8062 | 1966.6 ~ 1967.4 |
| | | 龚嘴水电站(下) | 19.0 | 0.8 | 52.0 | | | 1967.4 ~ 1967.7 |
| | | 乌江渡水电站 | 23.0 | 0.85 | 20.9 | 29.0 | 334 | 1972.1 ~ 1972.3 |
| | | 葛洲坝水电站(纵) | 16.0 | 0.8 | 30.0 | 31.2 | 20321 | 1974.11 ~ 1976.7 |
| | | 安康水电站 | | 0.6 | 9.6 | | 511 | 1977.1 ~ 1977.2 |

| 作用 | 坝 型 | 工 程 名 称 | 坝(堰)高 (m) | 墙厚 (m) | 最大墙深 (m) | 水力比降 | 截水面积 (m ²) | 防渗墙施工时间 (年·月) |
|------------|-------|---------|--------------|-----------|-------------|------|---------------------------|------------------|
| 坝体防 渗补强 | 心墙土石坝 | 金川峡水库 | 35 * | 0.7 | 38.0 | | 4480 | 1965.10 ~ 1966.3 |
| | | 澄碧河水库 | 70.0 | 0.8 | 55.2 | | 14175 | 1972.7 ~ 1974.3 |
| | | 黄羊河水库 | 52.0 | 0.8 | 64.4 | | 5430 | 1973.4 ~ 1974.9 |
| | | 洪潮江水库 | 33.0 | 0.65 | 34.0 | | 4411 | 1974.9 ~ 1976.3 |
| | | 柘林水库 | 62.0 | 0.8 | 61.2 | | 28300 | 1975.9 ~ 1978.1 |

* 建墙时坝高 21m ,建墙后加高至 35m。

第二节 施工技术

一、施工方法选择

(一)冲击钻进造槽孔方法

目前国内多沿用钢丝冲击钻机造孔。在砂卵石地层中 ,每个槽孔的施工通常采用先钻主孔、后劈打副孔成槽的方法。根据操作经验 ,在土质尤其是在粘性土地层中 ,一般多采用顺序钻主、副孔 ,再扫除主、副孔之间的小墙成槽的方法。

1. 主、副孔划分

主孔长度一般为设计最小墙厚 ,副孔长度根据地层性质来划分 ,在疏松地层中副孔可长些 ,密实或粘聚力大的地层 ,副孔要短些。按目前常采用的造孔和排渣方法 ,一般土质地层副孔长 $l=(1.0\sim 1.25)d$;砂砾石地层副孔长 $l=(1.2\sim 1.5)d$, d 为主孔直径。主、副孔划分示意 ,见图 8-3-1。

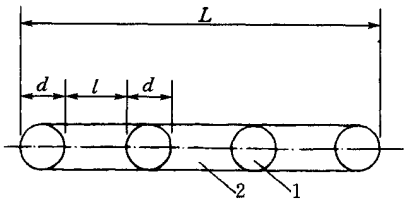


图 8-3-1 主、副孔划分示意

1—主孔 2—副孔

L —槽孔长 ; d —主孔长 ; l —副孔长

2. 单元槽段施工

防渗墙是由许多个单元槽段套接而成的 ,一般分两期施工 ,先施工的槽段为一期槽

段 后施工的槽段为二期槽段 ,或各单元槽段不分期顺序施工 ,以形成一道连续等厚度的墙 ,见图 8-3-2。

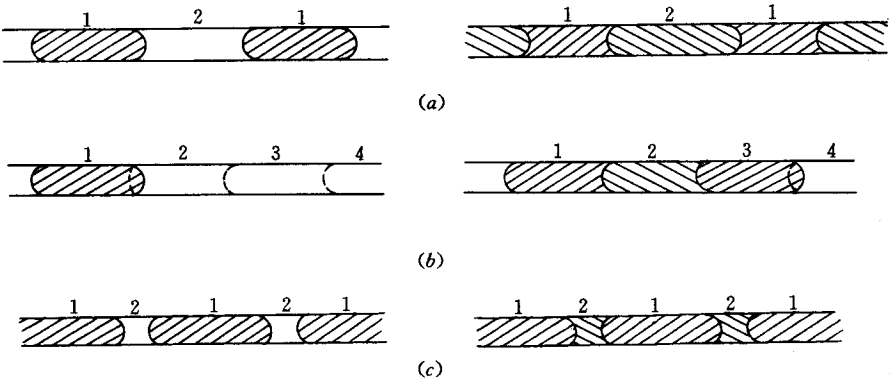


图 8-3-2 槽孔划分及施工顺序

(a)分期施工 (b)顺序施工 (c)双反弧接头孔连接施工

1、2、3—表示施工顺序

槽段的划分 根据第二节所述槽段长度划分的依据和原则确定。槽段长度一般为 6 ~ 12m ,槽孔越长 ,接缝越少 ,墙的整体防渗性能越好。在地层稳定、混凝土浇筑能力大的情况下 ,可适当增大槽孔长度 ,但应统筹规划和进行经济比较分析。

3. 造孔方法

冲击钻造孔方法及适用条件 ,见表 8-3-3。

表 8-3-3 冲击钻造孔方法及适用条件

| 造 孔 方 法 | 示 意 图 | 造孔方法说明 | 适 用 条 件 |
|-----------|-------|-----------|-----------------|
| 分层平打法 | | 分层连续套打成槽 | 基岩、混凝土、大孤石和淤泥层等 |
| 主孔钻凿副孔劈打法 | | 先钻主孔后劈打副孔 | 一般砂砾石地层 |
| 主孔连续钻打法 | | 先钻主孔后处理小墙 | 粘土等土质地层 |

4. 冲击钻造孔的配套设备和主要器具

参见表 8-3-4。

表 8-3-4 每台冲击钻机的配套设备和主要器具表

| 设备器具名称 | | 泥浆搅拌机 | 泥浆泵 | 电焊机 | 十字钻头 | 空心钻头 | 抽砂筒 | 接砂斗 | 刷子钻头 | 双反弧钻头 |
|--------|----|-------|--------|-----|----------------|-------------|------|--------------|-------------|--------|
| 配备 | 单位 | 1~2 | 6~10 | 台 | 个 | 个 | 个 | 个 | 个 | 个 |
| | 数量 | (m³) | (m³/h) | 1 | 2~3 | 2~3 | 1~2 | 2~3 | 全工地 2~3 | 视需要决定 |
| 用途 | | 拌制泥浆 | 输送泥浆 | 焊钻头 | 用于砂砾石、基岩和混凝土造孔 | 用于粘土、壤土地层造孔 | 清孔抽砂 | 砂砾石地层中劈打副孔时用 | 刷除混凝土接头上的泥皮 | 用于钻接头孔 |

(二)回转钻进造槽孔方法

钻孔方法可分为单孔钻进法和钻孔错位分层钻进法。

1. 单孔钻进法

单孔钻进法可一次钻到设计深度或者分层钻进。钻进方法的施工程序见图 8-3-3。即先钻单号孔,后钻双号孔,再用专用钻具扫除单、双号孔间的小墙。

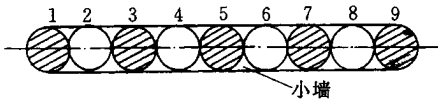


图 8-3-3 单孔钻进法施工程序

2. 钻孔错位分层钻进法

如图 8-3-4(图中 h 代表每次分层钻进的深度,一般 $2\sim 4\text{m}$)。先钻两端孔到设计深度,再钻单号孔达某一施工计划深度,然后钻孔中心错开半个孔位距离,钻双号孔达第二层深度。如此轮换直达设计深度。

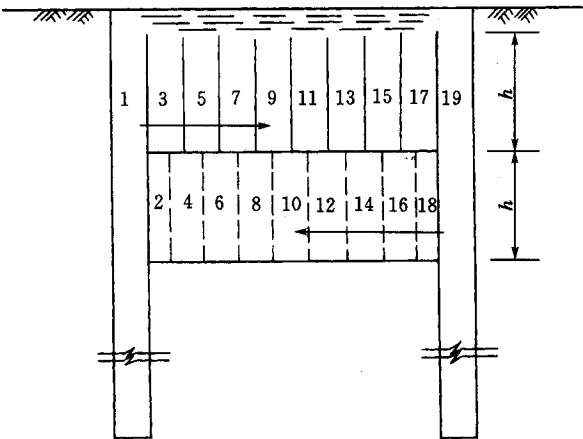


图 8-3-4 钻孔错位分层钻进法

钻孔宜采用泥浆循环出渣。泥浆循环有正循环和反循环两种。

泥浆正循环是用泥浆泵由泥浆池将泥浆经过钻杆、钻头压送到孔底,再由孔内流出返回泥浆池。泥浆反循环是把泥浆直接压入或自流输入钻孔内,藉泥石泵,经由钻头、钻杆抽吸至泥浆池,泥浆净化后重复使用。选用何种出渣方法,要根据孔径、地层和技术设备条件等研究确定。一般多使用反循环,因其钻进效率远高于正循环钻进。反循环造孔示意图见图 8-3-5。

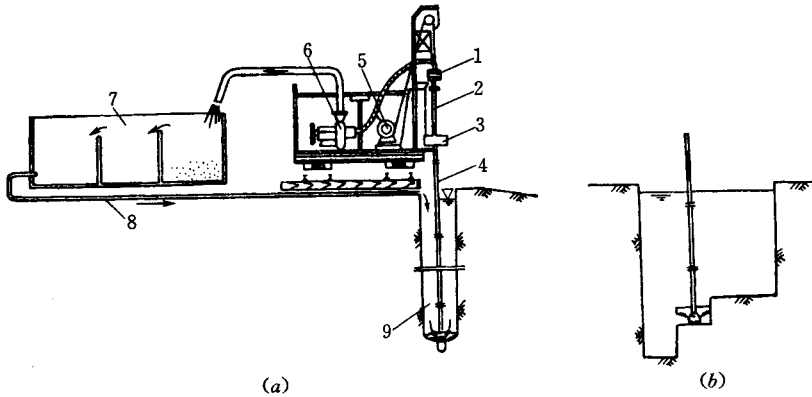


图 8-3-5 反循环钻机回转造槽孔示意图

(a)反循环钻机造孔作业 (b)分层平打作业

1—水龙头 2—主动钻杆 3—回旋钻盘 4—钻杆 5—卷扬机;
6—泥石泵,7—泥浆沉淀池 8—回浆管路 9—槽孔

(三) 抓斗开挖槽孔方法

抓斗开挖槽孔,一般是以导孔作为导向。两个导孔的间距等于抓斗全张开时的幅度加导孔直径,通常称两钻一抓法。由于这种方法使抓斗在作业时受挖掘阻力均衡,垂直精度较高,因此适用范围广,开挖深度也较深。

当在软弱地层或抓掘深度较浅时,也可不用导孔,直接用抓斗顺序挖掘。这种方法随深度增加而垂直误差增大。当孔深大于 10m 时,应采用导孔法。

二、槽孔质量控制和检验

分析已建成的 60 多道防渗墙的成墙质量,可以肯定防渗墙的可靠性。但每项工程成墙后均发现程度不同的缺陷和问题,主要原因是由于施工管理和质量控制检验不严格。

(一) 孔形验收

孔形验收,一般包括有孔位、孔宽、孔深和孔斜等项。应对主、副孔及两孔之间的孔

形进行严格检验。当施工设备没有自动测斜装置时 ,目前常用的方法是 :

1. 沿槽孔校验轴线位置、并定出主、副孔中心 ;
2. 利用钻机用钢丝绳悬吊钻头 ,在自重作用下沿钻孔中心测定偏离中心位置 ,钻头直径等于欲测深度处的墙厚 ;
3. 从槽孔的一端 ,每隔 20 ~ 40cm 往另一端移动一个测定点 ,孔口测定位置要固定好 ,逐点由浅至深测量出不同深度时 ,钢丝绳在孔口测点偏离钻孔中心的距离和方向 ,然后按相似三角形原理计算 ,求得某段底部或全孔底部的孔斜值。习惯换算成孔斜率表示方法 ,见图 8-3-6。

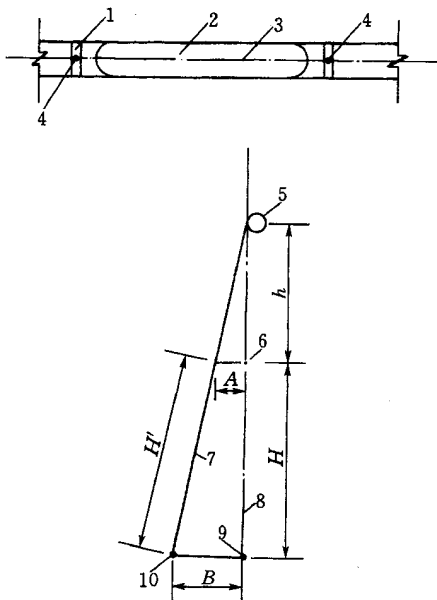


图 8-3-6 悬吊钻头自重测斜法示意图

1—设置槽口横木梁 2—槽孔 3—槽口设计中心线 4—槽口设计轴线标点 5—桅杆天轮 ;
6—槽口测量基准点 7—钢丝绳 8—槽孔中心线 9—欲测点的位置 ;10—钻头中心位置
 H —设计孔深 ; H' —测量深度 ; h —桅杆高度 ; A —钢丝绳在槽口测定距离 ; B —被测定处底部

$$\text{偏斜距离 } B \approx \frac{(H' + h)}{h} \cdot A$$

孔形检验 ,需要时特制一个宽度相当于防渗墙设计厚度 ,长度稍小于槽孔的钢筋笼来进行 ,把它放入槽内 ,上、下提动 ,如能顺利通过 ,即证明孔形合格。

孔斜验收也可用超声波垂直精度测定装置以测定槽壁形状 ,利用发射超声波对准欲测孔壁处 ,并接收抵达孔壁后反射回来的声波 ,根据各测点发出声音至接收声音的时间差 ,测定距离 ,计算出孔斜。此法能掌握各深度处的孔形状态 ,测定简便 ,节省劳力 ,且精度较高 ,但要注意控制距测定面的测距和孔内泥浆质量。当测距过小和泥浆含砂量或比

重较大时 ,测定误差较大。

(二)清孔验收

清孔是减少墙体沉降 ,保证墙体质量和整体防渗效果的关键工序。清孔验收的主要目的 检验槽内泥浆质量是否满足清孔规定要求 ,以保证混凝土浇筑质量 ;检验槽底泥砂沉积厚度是否小于允许标准 ,以保证防渗墙与基岩的接触质量。

槽底沉积厚度 ,一期墙段接头处泥皮状态 ,因施工方法、地层组成及泥浆质量不同而有很大差异。一般常用的清孔方法是使用钢丝刷钻头紧贴一期槽孔的混凝土接合面 ,分段上下反复提动 ,刷掉泥皮 ,并规定最低限刷洗次数 ,用抽砂筒掏出掉入孔内的泥皮杂质及钻孔时残留于孔底的沉渣 ,同时补充新鲜泥浆(习惯称“ 换浆 ”) ,直掏到槽底沉积物厚度和槽内泥浆经过检测各项规定指标符合要求为止 ;也可使用吸砂泵、空气吸泥器方法进行清孔 ,其换浆效果好、速度快 ,但要避免在松散地层中塌孔。采用上述方法时 ,要慎重制定相应的施工管理措施。

检查沉渣厚度和孔内泥浆质量的方法：

1. 槽孔内泥浆的检验

用带有上下活门的取样罐放至取样深度 ,取出泥浆进行测试。一般测试项目有 :泥浆比重、含砂量和粘度等。

2. 槽底泥砂沉积厚度的试验

通常使用测针和测锤方法。将测针与测锤放至预测点的同一位置 ,分别量出放入深度 ,二者之差即为泥砂沉积厚度。

检验测量要在清孔换浆结束后一小时进行。根据目前国内多用当地粘土制浆和沿用的造孔工艺 ,清孔后泥浆的检验标准 :孔内泥浆比重 ≤ 1.3 ,粘度 $\leq 30s$,含砂量 $\leq 12\%$;孔底沉积厚度 $\leq 10cm$ 。

清孔、验收按常用方法需用台班数 ,参见表 8-3-5。

表 8-3-5 清孔验收台班数参考表

| 槽孔容积 (m ³) | 清 孔 (台班) | 验 收 (台班) |
|----------------------------|---------------|---------------|
| < 100 | 1.0 | 0.5 |
| 100 ~ 200 | 1.5 | 1.0 |
| 200 ~ 300 | 2.0 | 1.5 |
| 300 ~ 400 | 2.5 | 2.0 |
| > 400 | 3.0 | 2.5 |

三、板桩灌注墙施工

板桩灌注防渗墙 ,也叫沉桩薄防渗墙。用振动沉桩方法把规格一般为“ U ”形、高约 85cm、翼缘宽约 30cm 的钢板桩打入地层。为了加快沉桩速度 ,在桩体上焊有注浆管 ,于沉桩的同时 ,注入润滑浆液 ,沉桩达要求深度后 ,边拔桩边注入水泥膨润土浆液 ,直至地面。后沿墙轴线逐次移动桩位 ,重复操作 ,建成连续墙。邻接桩体搭接宽度控制在 10 ~ 15cm ,以保证板桩体连续性。

钢板桩腹板和翼缘板厚约 26mm ,下端(桩尖)加厚达 50 ~ 100mm ,此厚度相当于成墙厚度。

注入浆体的配合比和墙体性质指标 ,列于表 8 - 3 - 6。

表 8 - 3 - 6 浆液配合比及性能指标

| 编号 | 浆 液 配 合 比 (kg) | | | | | | 抗压强度 R_{28} (kgf/cm ²) | 渗透系数 (cm/s) |
|----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|--|-------------------------------------|
| | 水泥 | 膨润土 | 粘土 | 砂子 | 水 | 石粉 | | |
| 1 | 50 | 15 | 370 | 550 | 500 | | 5 ~ 10 | 10 ⁻⁵ ~ 10 ⁻⁷ |
| 2 | 22 | 10 | | | 100 | 100 | | |

若浆体中掺入适量的碳酸钠和磷酸盐 ,能使浆体结石保持一定的含水量 ,防止墙体开裂。

这种防渗墙只适用于低水头建筑物及不含大块石的地层 ,一般施工效率 30 ~ 40m²/台班。

四、自凝灰浆防渗墙施工

自凝灰浆防渗墙的造孔方法 ,基本上与一般混凝土防渗墙相同 ,此灰浆既作为钻孔时固壁之浆液 ,又在钻孔完成后自行凝结 ,成为防渗墙体材料 ,从而省去了清孔和混凝土浇筑两道工序 ,使施工大为简化。由于该灰浆有凝结性质 ,要求快速开挖 ,在灰浆凝结前成槽。

开挖工具通常用反铲和抓斗进行。反铲挖槽可连续成墙 ,适用深度在 12m 以内 ,抓斗挖槽一般都分期成槽 ,最大深度可达 60m。图 8 - 3 - 7 示意抓斗施工情况。

自凝灰浆由低热水泥、膨润土、掺少量缓凝剂(亚硫酸盐木质素或糖蜜等)制成 ,其材料配合比 ,参见表 8 - 3 - 7 ,国外工程的实例配合比 ,见表 8 - 3 - 8。

掺加亚硫酸盐木质素或糖蜜 2%(与水泥重量之比) ,灰浆的初凝时间可推迟到 48h 以后。

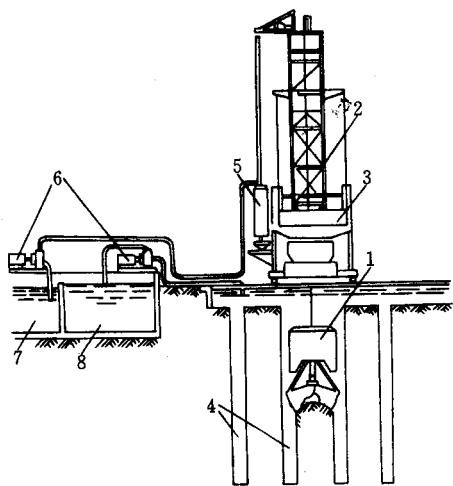


图 8-3-7 抓斗成槽示意图

1—导板抓斗 2—钻抓机架 3—出土机构 4—导孔 5—导孔钻机；
6—泥浆泵 7—清洁浆池 8—泥浆沉淀池

表 8-3-7 自凝灰浆材料配合比

| 材 料 配 合 比 | | | | 抗压强度 $R_{28}(\text{kgf/cm}^2)$ | 弹性模量 $E(\text{kgf/cm}^2)$ |
|----------------------------|----------------------------|-----------|----------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 水 泥 (kg/m^3) | 膨润土 (kg/m^3) | 灰水比 | 亚硫酸盐木质素 (%) | | |
| 200 ~ 400 | 30 ~ 60 | 0.2 ~ 0.4 | 1 ~ 2 | 2 ~ 15 | 400 ~ 3000 |

表 8-3-8 自凝灰浆配合比实例

| 使 用 或 提 出 单 位 | | 水 (kg) | 水泥 (kg) | 膨润土 (kg) | 缓凝剂(kg) | | 掺合料(kg) | | |
|----------------|---------------|-------------|--------------|---------------|----------------|-----|-----------|-----|----------|
| | | | | | 木质素 | 糖蜜 | 砂 | 粉煤灰 | 石粉 |
| 法国软土防渗公司 | 实验室 推荐配比 | 1000 | 250 | 20 | | 2.5 | | | |
| | | 1000 | 100 ~ 300 | 30 ~ 50 | 水泥重的 1 % ~ 2 % | | | | |
| 西德布洛姆巴赫特坝 | 防渗墙试验 施工推荐 | 1000 | 300 | 50 | 4.0 | | 30 ~ 40 | | 50 ~ 150 |
| | | 1000 | 200 ~ 300 | 40 ~ 60 | 水泥重的 2 % | | | | |
| 新加坡上布尔司土坝防渗墙 | | 841 | 252 | 32 | 1.3 | | | 126 | |
| 美国提尔登铁矿尾坝防渗墙施工 | | 1000 | 165 | 40 | 3.5 | | | | |
| 法国里昂市地下铁道试验墙段 | | 930 | 230 | 30 | 30 | 3.4 | | | |

五、钢筋笼的下设

(一) 下设钢筋笼对槽孔质量要求

1. 保证槽孔规定的宽度 ,孔壁必须平直 ,不得有孔曲、梅花孔、小墙残体及探头石等。

每个槽段的孔底起伏形状在保证嵌入基岩深度要求的前提下,另须提出设计要求,以便制造钢筋笼。

2. 各单孔和接头孔的孔斜率均须在允许的范围内。

3. 必须保证清孔质量。由于下设钢筋笼延长了浇筑混凝土前槽孔内泥浆的沉淀时间,下设钢筋笼时可能刮落槽壁的泥皮,若清孔措施不力,将会使孔底沉积超过要求,降低防渗墙嵌入基岩的工程质量。

(二) 钢筋笼制作

钢筋笼按槽孔长度和宽度分块加工。槽孔较深时沿槽孔深度方向分成若干节,每节长度要根据起吊设备条件、搭合焊接时间而定,各节之间,随下设随焊接,直至要求深度。一期槽孔钢筋笼的宽度应空出接头孔的部分,其厚度与钢筋设计保护层厚度有关,一般应小于槽孔宽度 20cm。

钢筋笼按设计配筋图制成,要确保钢筋的正确位置、根数和间距,并按规定焊接牢固。钢筋的直径和间距由设计决定。但按一般混凝土配合比设计最小间距不能小于 10cm。混凝土浇筑时,为克服水平钢筋阻碍导管上下活动,宜将纵向钢筋设于钢筋笼的里侧,水平钢筋设在外侧。为防止搬运和起吊过程中钢筋笼变形,需布置一些斜拉钢筋和承重钢筋。

制作钢筋笼注意事项:

1. 配筋前,应将钢筋上的铁锈清除干净,各部位的钢筋规格,必须符合设计要求;
2. 按设计要求控制钢筋笼外形尺寸,竖向筋的偏斜不得超过 2%;
3. 加工好的钢筋笼要进行编号,标明上游面、下游面和上、下端。应放置在平整的场地上,以免变形;
4. 笼的底部轮廓必须与槽孔基岩面底线吻合;
5. 一个槽孔的钢筋笼,必须在清孔前全部制作完毕。

(三) 钢筋笼组装与下设

钢筋笼组装下设前应正确量测主钢筋的长度和接头长度,做出标志。利用钻机或吊车起吊,在孔口焊接加长,逐节随焊随下,直至下完为止。起吊设备能力,应满足起吊联结成整体钢筋笼的重量。

下设钢筋笼注意事项:

1. 在下设前应检查钢筋笼制作质量,经堆放和运输后是否变形,编号是否正确,并认真勘察施工场地,排除干扰;
2. 在下设时须由专人检查是否对准槽孔的中心位置,保证准确、垂直地入;
3. 接长每节钢筋笼的焊接应集中力量尽快焊好,并保证竖向钢筋的垂直精度;
4. 为减少孔内淤积厚度,若钢筋笼下设时间过久,宜下入风管或浆管至孔底,扰动悬

浮岩屑减少孔底淤积；

5. 若钢筋笼下设时受阻严重,不能强行施压,以防钢筋笼变形或槽壁坍塌,应及时研究相应措施。

六、灌浆孔的设置

在防渗墙以下的地层中有时需要设置灌浆帷幕。若设计单排孔帷幕时,经常采用以下几种方法设置灌浆孔:①成墙后通过墙体中心钻孔;②通过墙上游侧地层钻孔;③浇筑混凝土时预埋灌浆管或预留灌浆孔。

若需设置多排帷幕、增加幕厚,灌浆孔位置要沿墙中心上下游错开一定距离,相应布置。图 8-3-8 示意墙侧钻孔法布置。图 8-3-9 示意有钢筋笼预埋管布置与定位。图 8-3-10 示意无钢筋笼预埋管的布置与定位。

(一) 墙上钻孔法

一般作为墙体质量检查孔或补充地质勘探孔。此种钻孔法,要严格掌握钻孔垂直度,不得横向穿透防渗墙体,故对操作技术和机具精度要求甚高,并必须制定钻孔的封孔方法和检查措施。当采用通过墙体钻孔方法进行墙下灌浆时,应慎重研究方案。尤其是在较薄的防渗墙上钻较深的孔最易横向穿透墙体,在没有确保质量的措施时是不宜采用的。

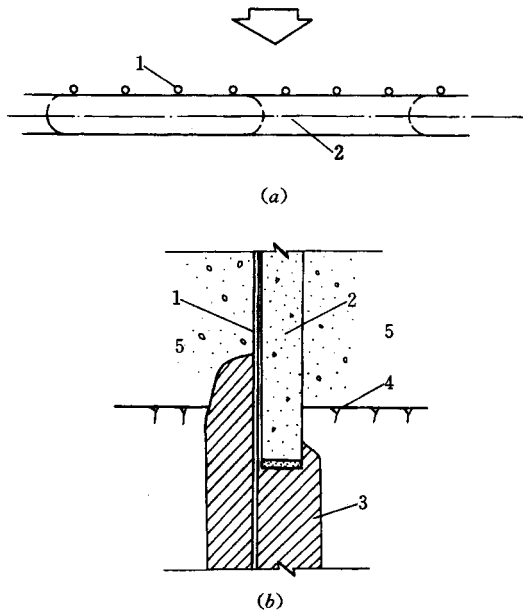


图 8-3-8 墙上游侧地层钻孔法布置示意图

(a)平面布置 (b)横剖面

1—帷幕灌浆钻孔 2—混凝土防渗墙 3—灌浆帷幕 4—基岩 5—砂砾石层

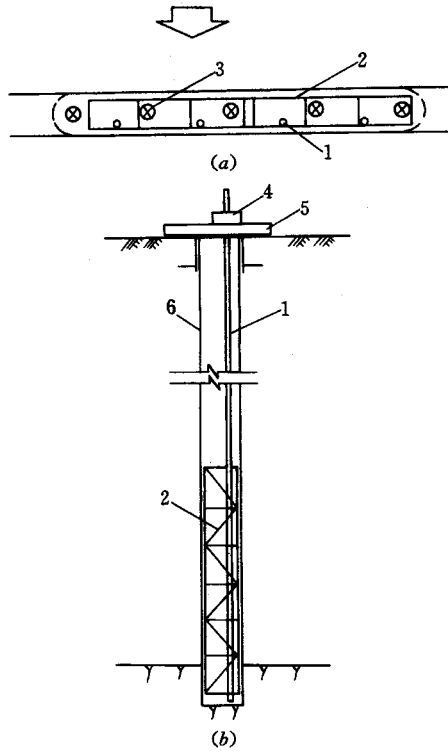


图 8-3-9 有钢筋笼预埋管布置与定位示意图

(a)平面布置 (b)横剖面

1—预埋管 2—钢筋笼 3—导管 4—管夹 5—孔口架 6—槽孔

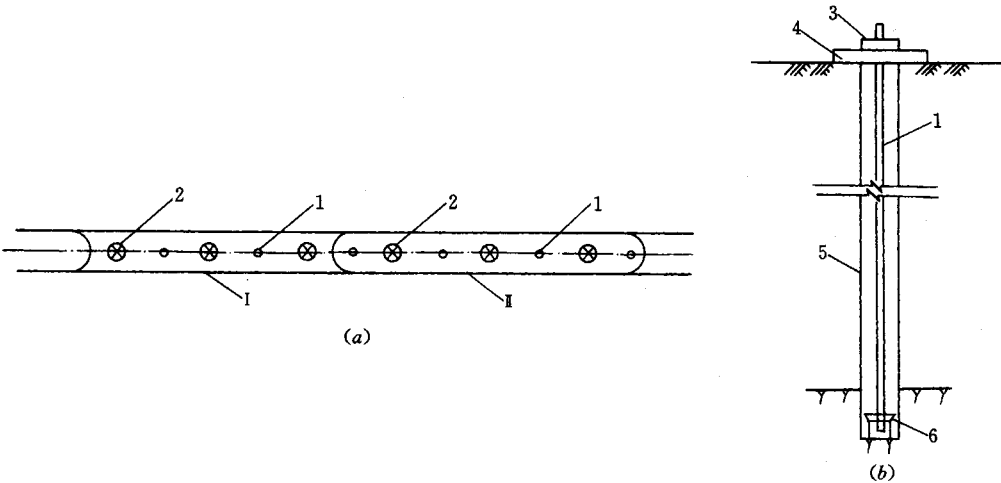


图 8-3-10 无钢筋笼预埋管布置与定位示意图

(a)平面布置 (b)横剖面

1—预埋管 2—导管 3—管夹 4—孔口架 5—槽孔 6—定位盘与管脚支承架；
I——一期槽孔；II——二期槽孔

(二) 墙侧钻孔法、

设计采用一排灌浆帷幕时 ,钻孔一般布置于防渗墙上游侧的地层内。这样钻孔不损伤墙体 ,灌浆与防渗墙施工之间的干扰少。在深孔的情况下 ,要统筹研究孔位布置和钻孔的孔斜率 ,以便保证灌浆帷幕的连续性和与防渗墙体的结合部位的质量。

有时在一、二期墙体接头处 ,由墙侧钻孔灌浆 ,以提高墙体连接处的防渗效果。

(三) 预埋灌浆管法

预埋灌浆管 ,在我国施工中使用较多。一般预埋管直径为 108 ~ 147mm ,埋管间距多为 1.5 ~ 3.0m。埋管深度目前最深达 61.2m。

为保证预埋管位置准确和避免在浇筑混凝土时发生移位、弯曲 ,常采用如下措施 :

- 1. 若墙内配置钢筋时 ,则把预埋管脚和管的中部位置与钢筋笼(网)固定在一起 ,同钢筋笼一起下设 ;
- 2. 若墙内不配置钢筋时 ,应在预埋管管脚加设支承架和定位盘 ,并在管的中部加设导向环 ;
- 3. 在预埋管的上端用卡管器等专用设施固定在槽口板上。

预埋管法 ,如采取的措施得当 ,均可取得预期效果。此法有减少钻孔工程量、不损伤防渗墙体和缩短工期等优点。但在深孔中预埋管 ,管子容易产生过大的弯曲和消耗大量管材。

(四) 预留灌浆孔法

预留灌浆孔是将预埋在混凝土中的管子拔出来 ,在墙中留下一个灌浆孔。预留孔法具有预埋管法之优点 ,而管模可以周转使用 ,减少管材消耗。预埋钢管的起拔方法有 :

- 1. 热拔法 :即在管子的外壁上涂刷一定厚度的热熔性涂料 ,预埋在混凝土中 ,待混凝土终凝后可加热融化涂料 ,增加滑润 ,拔出钢管。
- 2. 冷拔法 :拔管是在混凝土浇注一段时间后进行。槽内混凝土上升一定高度 ,混凝土达到初凝后即可起拔。一般浇混凝土后约 3h 扭动管子 4.5h 起拔 ,掺加粉煤灰等外加剂时起拔时间延迟至 6 ~ 7h。

表 8 - 3 - 9 系海子水库和葛洲坝围堰预留灌浆孔的技术指标。

表 8 - 3 - 9 海子水库和葛洲坝围堰预留灌浆孔技术指标

| 工程名称 | 预留孔数 (个) | 总长度 (m) | 孔 深 (m) | 平均孔深 (m) | 起拔力 (tf) |
|----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 海子水库防渗墙 | 206 | 4324.00 | 8 ~ 42 | 25.0 | 0.6 ~ 1.0 |
| 葛洲坝围堰防渗墙 | 99 | 2991.79 | 23.3 ~ 39.6 | 32.5 | 8 ~ 15.2 |

七、观测仪器的埋设

埋设观测仪器主要目的是为了监测防渗墙的工作状态 ,判断工程运行安全 ,验证设计并为科学研究等提供资料。

(一)观测仪器及观测项目。观测仪器及观测项目见表 8-3-10。

表 8-3-10 防渗墙观测仪器及观测项目

| 观测项目 | 观测仪器 | 观 测 内 容 |
|--------|-----------------------|--------------------------------|
| 防渗效果 | 渗压计 | 墙两侧的水力梯度变化 |
| 墙身结构应力 | 大应变计 无应力计 钢筋应力计 | 墙体应变应力 混凝土自生体积变形 钢筋应力 |
| 土压力 | 土压力盒 | 墙体正向及侧向土压力 |
| 不均匀沉降 | 沉降管 | 墙身及坝体的沉降量 ,推求墙受到的附加剪力及其引起的应力分布 |

(二)仪器埋设和观测注意事项

1. 观测仪器的埋设与安装 ,要严格按设计要求、施工设计及有关技术规程进行 ;
2. 安装仪器的槽段、槽壁与孔底应平整。埋设与安装时 ,慎重操作和检查 ,防止损坏仪器 ;
3. 充分做好安装前各项准备工作 ,尽量缩短仪器安装下设时间 ,减少孔底沉淀 ,防止事故 ;
4. 仪器安装结束后 ,要进行检查验收 ,经专职技术人员签证才能开始浇筑混凝土。混凝土浇筑时对上升速度 ,混凝土高差应提出专门要求 ,并切实制定确保浇筑质量和避免事故的可靠措施 ;
5. 混凝土浇筑后 ,应及时将仪器电缆引至临时观测站 ,妥善保护 ,严防弄乱或损坏 ;
6. 应按规定时间对仪器进行观测 ;
7. 对观测资料应及时整理校对 ,避免差错 ,如发现异常情况 ,应及时查明原因 ,采取处理措施 ;
8. 绘制竣工图表 ,写出仪器埋设总结 ;
9. 设计、施工及科研单位必须及时组织检查验收和移交工作 ,并总结经验 ,推广观测新技术 ,不断提高仪器埋设及观测技术水平。

八、混凝土防渗墙接头施工

混凝土防渗墙一般划分为若干槽段施工 ,相邻两槽段的衔接部分称为接头 ,常用的接头方式有钻凿式和预留式两种。对接头孔施工常采用套打 1 钻、双反弧、接头管和拉

管成孔等方法 ,可参考表 8 - 3 - 11 选用。

表 8 - 3 - 11 防渗墙接头施工特点及适用条件

| 施工方法 | 施 工 特 点 | 适 用 条 件 |
|--------|---|---|
| 套打 1 钻 | 一期槽孔混凝土浇筑后 ,在其两端主孔位置套打 1 钻 | 施工简便 ,适于各种地层 ,增加工程量 ,不易保证接头质量 |
| 双反弧 | 在两相邻槽孔间留下约一钻长度 ,待混凝土浇筑后 ,打留下的长度 ,并用双反弧钻头 ,钻除四个角 | 适于一般粘土或砂砾石地层 ,孔深不宜超过 40m ,若超过 40m 时 ,须有相应措施 |
| 接头管 | 在一期槽孔内下入接头管 ,待混凝土浇筑后 ,拔出接头管 ,形成接头孔 | 适于各种地层 ,其深度根据起拔能力决定 ,用在孔深 40m 以内 ,孔径 0.6 ~ 0.8m |
| 拉管 | 当孔深较大时 ,在一期槽孔内距孔底 15 ~ 20m 范围下接头管 ,上部用钢丝绳或细管牵引 ,当混凝土达初凝时 ,边提管边连续浇筑混凝土 ,直至结束 | 适于各种地层 ,拉管长度根据混凝土上升速度和初凝时间决定。用在孔深 70m 以内 ,孔径 0.6 ~ 0.8m |

第四章 软基加固新技术

第一节 软基加固目的和分类

软基加固的目的是为了改善建筑物地基土体的力学性质 ,提高承载能力 ,增加抗滑稳定 ,减少压缩变形 ;有些是为了改善土体的渗透性质 ,减少渗漏量 ,防止渗透变形。按施工方法的原理 ,软基加固可以分为 :

1. 置换处理。包括部分或全部开挖换土法、爆破挤淤换土法等 ;
2. 密实处理。表层密实处理有碾压、夯实、振实、掺料密实等方法 ;深层密实处理有爆破、强夯、振冲、堆载预压和各种设桩挤实法 ;
3. 排水处理。包括管道、渠道、水井、井点排水、砂井、纸板、塑料板排水 ,以及加热、电渗排水等 ;
4. 胶结处理。包括冻结、烧结、静压灌浆、高压喷射、机械搅拌、电化学胶结等方法。

软基的加固 ,可以使用一种方法或几种方法综合治理。一般说来 ,对于砂性土 ,多进行密实和胶结处理 ;对于粘性土特别是软粘土 ,主要是进行排水处理 ,或者置换加排水处理 ,也可以进行胶结处理。

在水利水电工程的设计和施工中 ,要根据建筑物的型式、荷载条件 ,对防止沉陷、滑动、渗透等要求以及加固区域详细的工程和水文地质情况 ,选择最好的加固方法 ,求得最佳的技术经济效果。

第二节 边坡降水和开挖

一、降水的目的

土方边坡稳定与地下水有密切关系 ,在地下水的浸泡下土体抗剪强度下降 ,同时土体还会受到浮力(即静水压力)和渗透力(即动水压力)的作用 ,边坡容易失稳导致滑坡。此外 ,对于细砂和粉砂土层的边坡 ,地下水常常导致流砂和管涌 ,在粘土层中则可能出现基坑隆起 ,这些对施工都十分不利。在土方外运方面 ,挖方含水量过高还会对城市道路造成污染 ,因此 ,在土方开挖前和开挖过程中 ,以及地下结构施工期间 ,做好地下水的处理工作 ,保持基坑土体干燥十分重要。

流砂和管涌是基坑土方工程施工需要防止的两大危害性现象。土具有透水性 ,土质不同 ,相同水力梯度下水在其中的渗透速度也不一样 ,砂性土渗透速度大些 ,粘性土小些。工程上通常用渗透系数 k 来表示水在土中通过的难易程度 ,渗透系数 k 也是反映地下水动力作用的一个参数 ,渗透系数 k 可以通过室内土的渗透试验或现场抽水试验来测定 ,各种土的渗透系数变化范围如表 8-4-1 所示。

表 8-4-1 土的渗透系数参考值

| 名称 | 渗透系数 (cm/s) | 名称 | 渗透系数 (cm/s) |
|------|------------------------|-------|------------------------|
| 粘土 | $< 10^{-7}$ | 粉砂、细砂 | $10^{-3} \sim 10^{-4}$ |
| 粉质粘土 | $10^{-6} \sim 10^{-7}$ | 中砂 | $10^{-1} \sim 10^{-3}$ |
| 粘质粉土 | $10^{-4} \sim 10^{-6}$ | 粗砂、砾石 | $10^2 \sim 10^{-1}$ |

地下水的渗流对土单位体积内的骨架产生的压力称为动水压力 ,动水压力方向为地下水渗流方向 ,大小等于水的重度与水力梯度的乘积 ,即

$$G_d = \gamma_w \cdot i \tag{8-4-1}$$

式中 G_d 为动水压力(kN/m^3); γ_w 为水的重度(kN/m^3); i 为水力梯度 , $i = \Delta H / L$ [ΔH 为水头差(m); L 为渗流路径(m)]

当渗流自上向下时 ,动水压力方向与重力方向一致 ,这将增加作用于土粒之间的压力(粒间压力) ,反之 ,当渗流自下向上时 ,动水压力方向与重力方向相反 ,这将减少作用于土粒之间的压力(粒间压力)。当自下而上的动水压力等于或大于土的浮重度 γ' 时 ,土

粒之间的压力消失,于是土粒处于悬浮状态,土体随水流动,这种现象叫做流砂现象。

动水压力等于土的浮重度时的水力梯度叫做临界水力梯度 i_{cr} , $i_{cr} = \gamma' / \gamma_w$ 。

在地下水位以下开挖基坑,如从基坑中直接排水(如明排法),将导致地下水向上流动而产生自下而上的动水压力,可使坑底隆起,当水力梯度大于临界值时,就会出现流砂现象,这种现象在细砂、粉砂和粘质粉土中极易发生。流砂现象发生时,土体完全丧失了承载能力,工人无法立足,施工条件恶化,土方边挖边冒,很难达到设计深度。流砂严重时会引起边坡塌方,地基土体流动造成地基被掏空,使周边地表下陷或建筑物地基破坏,导致地下管线破坏和建筑物下沉、倾斜甚至倒塌。

当土层主要由粗细相差较大的两类土粒组成时,如果水力梯度很大,足以在土孔隙中引起紊流运动,细土粒会被冲动而陆续沿着粗土粒之间的孔隙随水流走,导致土体结构的破坏,土体失去稳定,这种现象叫做管涌。管涌现象发生时,将会破坏地基土强度,形成空洞,产生地表塌陷,影响基坑周围建筑物和地下构筑物的安全。

流砂和管涌现象是可以防止的。从流砂和管涌现象产生机理上可以看出,只要减少水力梯度,不利的地下水动水压力就可以减少或消除。工程上一般有以下几种措施;

1. 设置防渗帷幕,如采用冻结法,或者打设板桩、搅拌桩或地下连续墙,使渗水长度 L 增加,从而减小水力梯度 i 。
2. 水下挖土,使水头差 ΔH 减小,从而减小水力梯度 i 。
3. 人工降低地下水位,使基坑内挖方土层的动水压力消除。

二、降水措施

基坑开挖的降水一般有两种途径:①明排法;②人工降水法。

明排法是在基坑开挖至地下水位时,在基坑范围内基础外开挖排水沟,间隔一定距离设集水井,然后用水泵将水抽走,这是一种边挖边排的降水措施,对于粘土层浅挖边坡较为有效,但无法处理流砂和管涌现象。

人工降水法是在基坑开挖前预先在基坑四周埋设一定数量的滤水管或滤水井,用抽水设备抽水,使地下水位降落到坑底以下,同时在基坑开挖时仍不断抽水。这种方法可使所挖的土始终处于干燥状态,从根本上防止流砂现象的发生,改善了工作条件,同时由于土中水被排走后,动水压力减小或消除,边坡可以放陡,减少挖土量,而且由于水流向下,动水压力作用使土颗粒间的压力增加,坑底土层更为密实,这种方法在城市地下工程施工中广泛应用。对于大开挖基坑来说,由于开挖深度较浅,经常采用轻型井点或管井井点降水两种方式。

采用正铲挖掘机、铲运机、推土机等机械挖方时,应使地下水位经常低于开挖底面不

少于 $0.5m_0$ 。

三、开挖

由于种种原因,现场常常出现施工工况和原设计条件不相符合的情况,或者设计中难以考虑到的施工情况,此时必须对基坑边坡重新验算,如果安全度不足,应采取相应的补救措施。所以施工过程中应注意:

1. 不要在已开挖的基坑边坡的影响范围内进行动力打入或静力压入的施工活动,如必须打桩,应对边坡削坡和减载,打桩采用重锤低击、间隔跳打。
2. 不要在基坑边坡顶堆加重荷载,若需在坡顶堆载或行使车辆时,必须对边坡稳定进行核算,控制堆载指标。
3. 施工组织设计应有利于维持基坑边坡稳定,如土方出土宜从已开挖部分向未开挖方向后退,不宜沿已开挖边坡顶部出土,应由上至下的开挖顺序,不得先切除坡脚。
4. 注意地表水的合理排放,防止地表水流入基坑或渗入边坡。
5. 采用井点等排水措施,降低地下水位。
6. 注意现场观测,发现边坡失稳先兆(如产生裂缝时)立即停止施工,并采取有效措施,提高施工边坡的稳定性,待符合安全度要求时方可继续施工。

为了在边坡中防止边坡失稳,提高施工安全,可以采取如下的防止措施:

(一) 边坡修坡

改变边坡外形,将边坡修缓或修成台阶形(图 8-4-1)这种方法的目的是减少基坑边坡的下滑重量,因此,必须结合在坡顶卸载(包括卸土)才更有效果。

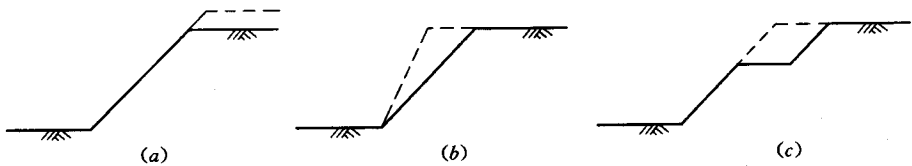


图 8-4-1 边坡修坡

(a) 坡顶卸土 (b) 坡度减小 (c) 台阶放坡

(二) 设置边坡护面

设置基坑边坡混凝土护面的目的是为了控制地表排水经裂缝渗入边坡内部,从而减少因为水的因素导致土体软化和孔隙水压力上升的可能性。护面可以作成 10cm 混凝土面层,为增加边坡护面的抗裂强度,面层内部可以配置一定的构造钢筋(如 $\Phi 6 @ 300$),如图 8-4-2 所示。

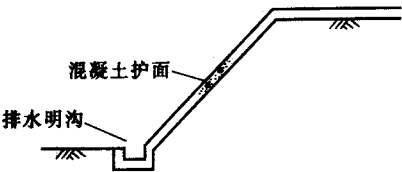


图 8-4-2 基坑边坡设置混凝土护面

(三) 边坡坡脚抗滑加固

当基坑开挖深度大,而边坡又因场地限制不能继续放缓时,可以通过对边坡抗滑范围的土层进行加固(如图 8-4-3)。采用的方法有:设置抗滑桩、旋喷法、分层注浆法、深层搅拌法等。采用这种方法的时候必须注意加固区应穿过滑动面并在滑动面两侧保持一定范围。

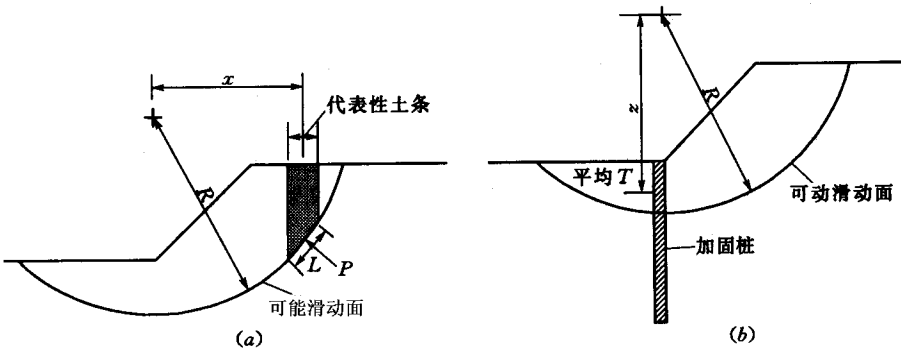


图 8-4-3 基坑边坡坡脚抗滑加固

第三节 水泥土搅拌桩和 SMW 工法施工技术

水泥土搅拌桩是用水泥作固化剂,通过特制的深层搅拌机械,在地基深处就地将软粘土和水泥浆强制拌和,使软粘土硬结成具有整体性、水稳性和足够强度的水泥土。硬结后的水泥土在地基中形成水泥土搅拌桩,从而提高地基强度和增大变形模量。连续搭接的水泥土搅拌桩可形成止水帷幕。搅拌桩可连续布置,将地基加固成所需要的几何形状。不仅可处理软粘土,也可处理可塑状的粘土与含 30% 左右粒径小于 10cm 的杂填土,且处理后不增加地基的附加荷载。可利用桩周面积大的特点,充分发挥软弱地基的承载力,降低地基的沉降量。但若遇到地基中有大块石等障碍物时,必须清除后才能搅拌成桩。对中粗砂、砾石地层及硬塑的粘土层也无法进行深层搅拌成桩。水泥土搅拌桩在基坑工程中主要有如下用途:

1. 直接作为深基坑开挖的侧向支挡结构；
2. 用于稳定或加固基坑(或沟槽)底部,以防止土体隆起,增大支挡结构的被动土压力和减小变形；
3. 用于河岸或天然边坡抗滑稳定,并作为止水帷幕；
4. 配合柱列式钻孔灌注桩或钢板桩等支挡结构,作为止水帷幕；
5. 加固锚碇板桩墙,以减小土锚应力,并止水防渗。

一、水泥土搅拌桩施工机械

目前国产搅拌桩施工机械较常用的有 3 种型号,即①SJB 系列深层搅拌机,②GZB—600 型深层搅拌机,③GPP—5 型深层喷射搅拌机。其中 SJB 系列是双搅拌轴,中心管输浆式搅拌机,采用水泥浆为固化剂,也可用水泥砂浆或掺入粉煤灰等工业废料作为固化剂。GZB—600 型是单搅拌轴,只能用纯水泥浆为固化剂,不能用其它固化剂。GPP—5 型是粉体喷射式搅拌机,主要用水泥粉或石灰粉作为固化剂,它也可和灰浆泵相连而用水泥浆搅拌。

SJB—1 型深层搅拌机,由电动机、减速机、搅拌轴、搅拌头、中心管、输浆管、横向系板、单向球形阀等组成,如图 8-4-4 所示。两台电机分别通过减速器使直径为 70cm 的搅拌头回转切割软土,并与从输浆管压入软土的固化剂强制拌和形成水泥土。水泥土搅拌桩成 8 字形,外包尺寸为 $0.7\text{m} \times 1.2\text{m}$,面积为 0.71m^2 。施工时,与深层搅拌机配套使用的有 10t 以上的起吊桩架、灰浆泵、两个 200L 容积的灰浆拌制机、 0.4m^3 的灰浆集料斗、冷却水泵等。

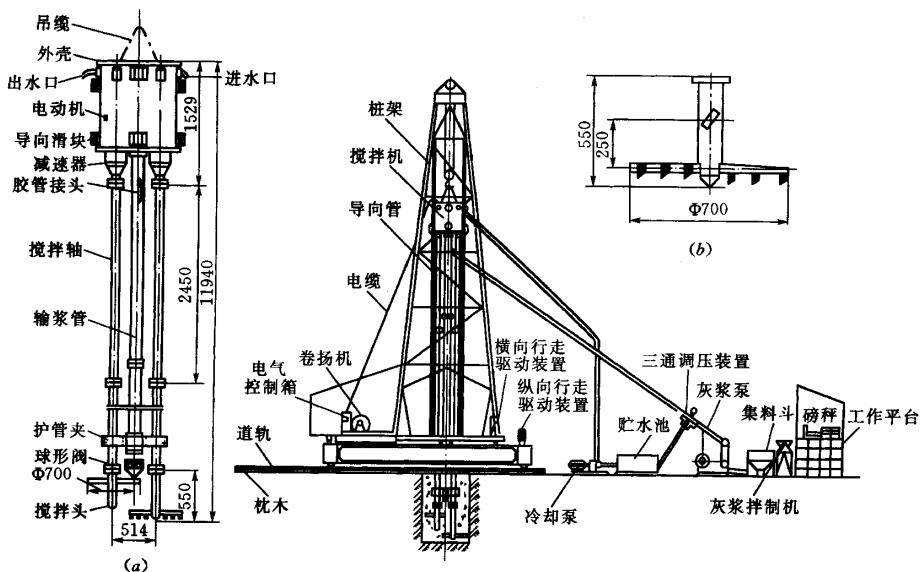


图 8-4-4 SJB 系列深层搅拌机配套设备

SJB 系列深层搅拌机除 SJB—1 型设备外 ,还有 SJB30 型及 SJB40 型 ,它们与设计有关的主要技术参数如下 :搅拌头数量 2 个 ,搅拌头距离 515mm ,搅拌头直径 700mm ,一次加固处理面积 0.71m^2 ,提升速度 $0.2 \sim 1.0\text{m}/\text{min}$,加固深度 ,SJB—1 型为 $10 \sim 12\text{m}$,SJB40 型为 $15 \sim 18\text{m}$,加固效率为 $40\text{m}/\text{台班}$ 。

GZB—600 型深层搅拌机及其配套设备见图 8—4—5 ,有如下几个部分组成 :

- (1) 动力部分。两台 30kW 电机 ,各连接一台 2K—H 行星齿轮减速器。
- (2) 搅拌轴和输浆管。单轴叶片输浆方式 ,水泥浆由中空轴经喷浆叶片沿着旋转方向输入土中 ,搅拌轴外径 $\Phi 129\text{mm}$,轴内输浆管外径 $\Phi 76\text{mm}$ 。
- (3) 搅拌头 :设有搅拌叶片和喷浆叶片 ,两层叶片相距 0.5m ,成桩直径 600mm ,喷浆叶片上开有 3 个喷浆口。

GZB—600 型深层搅拌机所需配套设备 :PM2—15 型灰浆计量配料装置、两台 500L 的灰浆拌制机、 0.18m^3 的集料斗、PA—15—B 型灰浆泵、测定灌浆压力、流量计量的电磁流量计。

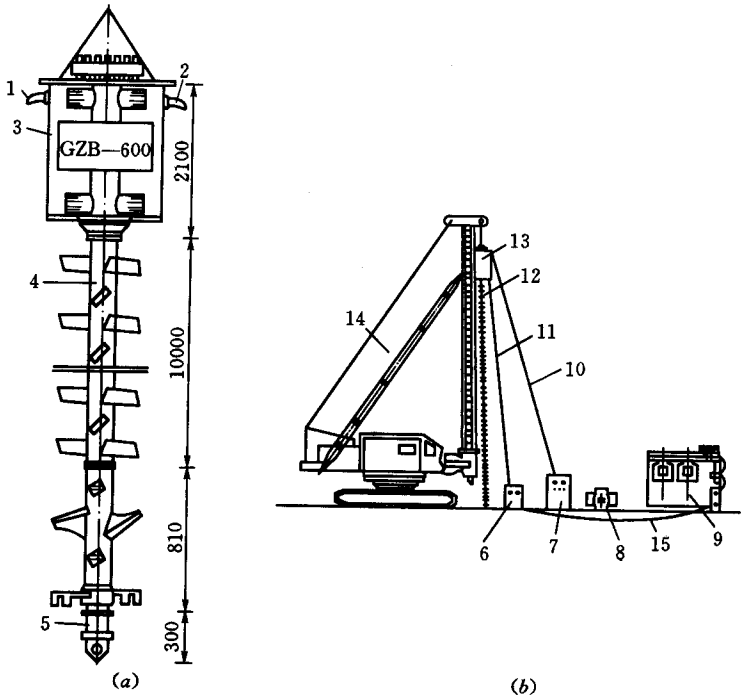


图 8—4—5 GZB—600 型深层搅拌机

(a) 主机 (b) 配套设备

- 1—电缆接头 2—进浆口 3—电动机 4—搅拌机 5—搅拌头 6—流量计 7—控制柜 ;
- 8—低压变压器 9—PM—15 泵送装置 ;10—电缆 ;11—输浆胶管 ;12—搅拌轴 ;
- 13—搅拌机 ;14—打桩机 ;15—电缆

GPP—5 型深层喷射搅拌机由两大部分组成：

(1) 粉喷主机(钻机)。安装在液压步履式底座上,包括井架、传动装置、变速箱、液压系统、蜗轮减速箱、转盘、钻杆及钻头、加减压装置及电气系统等。

(2) 粉体发送系统(粉体喷射机)。包括灰罐、粉体发送器、电动葫芦、输送管道、主副空气压缩机、监控仪表、电气开关、阀门等。其工作原理是:利用空气压缩机提供风源,通过节流阀调节风量,进入气水分离器,然后以干风送至粉体发送器喉管,与转鼓输出的水泥粉或石灰粉相遇混合而成为气粉混合物,进入钻机的旋转龙头,经空心钻杆而喷入地层,参见图 8-4-6。

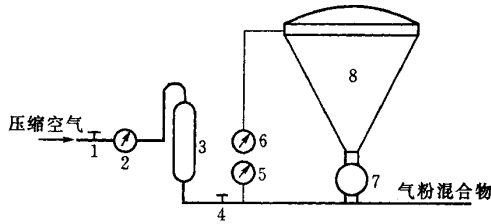


图 8-4-6 粉体发送系统工作原理

1—节流阀 2—流量计 3—气水分离器 4—安全阀 5—管道压力表；
6—灰罐压力表 7—发送器转鼓 8—灰罐

地基加固最大深度 12.5m,提升速度为 0.48m/min、0.8m/min、1.47m/min 三档,最大送粉压力为 0.5MPa,钻头的标准直径为 500mm,其叶片形状能保证在反向旋转提升时对土体产生压密作用,不致使灰土向地面翻起而降低加固质量。

二、水泥土搅拌桩施工工艺

搅拌桩施工需做好以下准备工作：

1. 依据工程地质勘察资料,进行室内配合比试验,结合设计要求,选择最佳水泥掺入比,确定搅拌工艺；
2. 依据设计图纸,编制深层搅拌法施工方案,做好现场平面布置,安排好打桩施工流程,布置水泥浆制备及泵送系统,且考虑泵送距离宜小于 50m；
3. 探明并清理施工现场的地下、地面及空中障碍物,以利安全施工；
4. 按设计要求,进行现场测量放线,定出每一个桩位,钉上小木桩。

水泥土搅拌桩施工,可采用一次喷浆、二次补浆或重复搅拌,施工工艺步骤如下：

1. 定位:起重机悬吊搅拌机到桩位,定位对中；
2. 预搅下沉:启动搅拌机电机,放松起重机钢丝绳,等搅拌头转动速度正常后,使搅拌头叶片自上而下边旋转边切土边沉入土中,直至拟加固深度；

3. 喷浆搅拌提升 配制水泥浆 ,开启灰浆泵 ,待水泥浆到达搅拌头后 ,将搅拌机略为提升 ,边喷浆边搅拌 ,使水泥浆与软土掺和 ;

4. 重复搅拌下沉 搅拌头提升到地面时 ,关闭灰浆泵 ,再次将搅拌机搅拌下沉 ;

5. 补浆搅拌提升或重复搅拌提升 根据一次喷浆记录 ,在一次喷浆量比比配喷浆量偏低的桩段 ,开启灰浆泵 ,边喷浆边搅拌提升 ,或在喷浆量符合配比要求的桩段 ,仅搅拌提升 ,使软土与水泥浆充分拌和 ;

6. 加固完毕 搅拌机提升至地面后 ,即完成一根搅拌桩 ,逐次将搅拌机移至新的桩位 ,重复 1~5 程序。

施工过程中要把握如下施工要点 :

1. 施工中控制深层搅拌机的提升速度 ,它是控制注浆量、搅拌均匀程度、保证加固效果的关键 ,必须连续匀速进行。

2. 水泥掺量取决于需求的加固体强度 ,一般为加固土重的 7%~15%。具体掺量需由现场试验确定 ,在没有试验数据的情况下 ,可参考如下工程经验取值 ;当水泥掺量为 8%时 ,加固体强度为 0.24MPa ;当水泥掺量为 10%时 ,加固体强度为 0.6~0.7MPa(天然土强度仅为 0.06MPa)。如掺入量过少时 ,水泥和土的反应过弱 ,固化强度低 ,搅拌不易均匀。如用水泥砂浆作固化剂时 ,则水泥砂浆的配合比应为 1.1~1.2(水泥:黄沙 ,重量比) ,为增加水泥砂浆的和易性 ,利用泵送 ,宜加入木质素磺酸钙做减水剂 ,掺入量为水泥重量的 0.2%~0.25% ,由于木钙有缓凝性 ,为此 ,再加入硫酸钠(掺量为水泥重的 1%)和石膏(为水泥重量的 2%) ,水泥浆稠度为 1~14cm。

3. 每个台班加固完毕 ,必须立即用水清洗贮料罐、砂浆泵、深层搅拌机及相应的管道 ,以免水泥浆凝固而影响继续使用。

GZB—600 型深层搅拌机的工艺顺序与 SJB 系列大致相似 ,不同之处在于 SJB 系列采用中心管输浆 ,而 GZB—600 型则用叶片喷浆。

GPP—5 型深层喷射搅拌机以干法施工为主 ,且行走轴系统为液压步履式 ,移动转向都很方便 ,其施工工艺顺序如下 :

1. 驱动液压步履机构 ,前后左右移动钻机 ,使钻头正确对准桩位 ,并保持垂直 ;

2. 开启主空压机 ,打开送灰管道 ,调整风量风压后送风 ,钻机正钻给进 ,风压控制在 100~150kPa ;

3. 钻头钻进至设计加固深度 ,钻机换档 ,反向转动 ;

4. 开启副空压机 ,待料管压力和送灰管压力已调试至正常(前者略大于后者 20~50kPa)后 ,开启发送器阀门进行喷粉及提升 ;

5. 钻头提升至设计桩顶标高后停止送粉 ,钻头换向旋转提升至地面 ,成桩完毕 ,钻机

移至另一桩位。

在成桩作业过程中,一方面根据地质条件合理选择钻机旋转速度、提升速度及喷粉流量,以保证喷粉均匀和搅拌充分,另一方面对桩顶 2~3m 以及其它需要加强的部位还可实施局部复搅复喷,以满足设计要求。

三、水泥土搅拌桩的质量控制与检验

(一)质量控制

为了保证搅拌桩的施工质量和基坑开挖的安全,设计人员需在图纸上对施工工艺的如下方面作专门说明:

1. 施工停浆(粉)面必须高出桩顶设计标高 0.5m,在开挖基坑时,则将该高出部分先行挖除;
2. 严格按设计确定的数据控制喷浆和搅拌提升速度,误差不得大于 $\pm 10\text{cm}/\text{min}$;
3. 桩的垂直偏差不得超过 1%,桩位偏差不得大于 50mm,桩径偏差不得大于 4%;
4. 预搅下沉时一般不宜冲水,只有遇较硬土层而下沉太慢时,方可适量冲水,但必须考虑冲水对桩身强度的影响;
5. 以水泥浆作固化剂时,拌制后应有防止浆液离析的措施;
6. 施工中因故停浆(粉),宜将搅拌机下沉至停浆(粉)点以下 0.5m,待恢复供浆(粉)时,再搅拌提升;
7. 喷浆(粉)口到达桩顶设计标高时,宜停止提升,搅拌数秒,以保证桩头均匀密实;
8. 桩与桩搭接时间不应大于 24h,如间歇时间太长,搭接质量无保证时,应采取局部补桩或注浆措施;
9. 做好每根桩的施工记录,深度记录误差不大于 10mm,时间记录误差不大于 5s;
10. 当设计要求桩体插筋时,必须在成桩后 2~4h 内插毕;
11. 作为挡墙的桩体顶面如设计要求铺筑路面时,应当尽早铺筑,并使路面筋与锚固筋连成一体,路面未完成前,基坑不得开挖。

(二)质量检验要求

为确保搅拌施工质量,可选用下述方法进行质量检验:

1. 施工原始记录:详尽、完善、如实记录并及时汇总分析,发现不符合要求的立即纠正;
2. 开挖检验:可以根据工程设计要求,选取一定数量的桩体进行开挖,检查加固柱体的外观质量、搭接质量、整体性等;
3. 抽样检查:在桩身搅拌成型时,立即用套管压入取出水泥土样,制成试块,按龄期进行早期 7d 及 90d 强度试验,这样在 7d 左右就可预测施工桩强度的质量是否符合设计要求。

4. 采用标准贯入或轻便杆探等动力触探方法检查桩体的均匀性和现场强度。轻便触探是对龄期已达 7d 的桩用 N_{10} 检验,一般的桩身 N_{10} 击数比原地基土 N_{10} 击数增加一倍以上时,可以认为施工桩的强度符合设计要求。

5. 取样检验 经触探检验对桩身强度有怀疑的桩,应在龄期 28d 时从开挖外露桩柱体中凿取试块或采用岩芯钻取芯样(约 $\Phi 100$)制成试块测定其强度,与室内制作的试块进行强度比较,必要时进行芯样的渗透试验,测定其渗透系数。

6. 用地质雷达探测深层搅拌桩有无断桩、裂缝、缩颈、空洞等现象以及桩之间在垂直方向上的搭接情况,判断搅拌桩防渗体的连续性和防渗效果。

(三)SMW 工法施工

SMW 工法是在水泥土搅拌桩施工后插入型钢,在基坑围护功能完成后,再对型钢进行回收,图 8-4-7 为日本常用的工艺流程图。

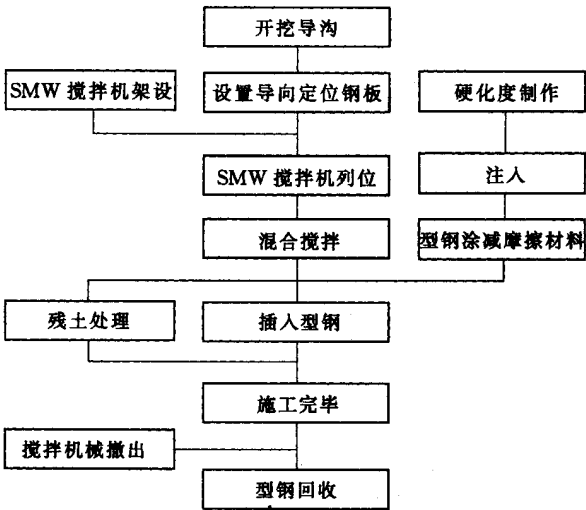


图 8-4-7 SMW 工法工艺流程图

在搅拌过程中,注入地层的浆液有一部分会流返地面,须沿挡墙施作一沟槽。沟槽边设固定支架,以便固定插入的 H 型钢。H 型钢的回收,目前还比较困难。

第四节 钻孔灌注桩施工技术

钻孔灌注桩根据其成孔方法的不同,分为泥浆护壁(湿作业)成孔灌注桩和干作业成孔灌注桩等,其适用范围见表 8-4-2。

表 8-4-2 各种成孔方法适用的范围

| 项次 | 项目 | | 适 用 范 围 |
|----|--------|--------|--------------------------|
| 1 | 泥浆护壁成孔 | 冲抓冲击 | 碎石土、砂土、粘性土及风化岩 |
| | | 回转钻潜水钻 | 粘性土、淤泥、淤泥质土及砂土 |
| 2 | 干作业成孔 | 螺旋钻 | 地下水位以上的粘性土、砂土及人工填土 |
| | | 钻孔扩底 | 地下水位以上的坚硬、硬塑的粘性土及中密以上的砂土 |
| | | 机动洛阳铲 | 地下水位以上的坚硬、硬塑的粉性土及中密以上的砂土 |
| | | 锤击振动 | 地下水位以上的粘性土、黄土及人工填土 |

一、泥浆护壁成孔灌注桩

(一)施工机械

泥浆护壁成孔灌注桩的施工机械有三类：冲击成孔钻机、潜水电钻机和地质回转钻机。冲击成孔钻机主要有 CZ 型和 YKC 型等型号，它是通过卷扬机悬吊冲锤的冲击力把硬土或岩层破碎成孔，泥渣部分挤入孔壁，大部分用掏渣筒掏出。

冲孔方法优点是适应范围较广，对于有孤石的砂卵石层、坚硬土层、岩层均有效，对流砂层亦能克服，而且，孔壁较坚实，可避免坍方。

潜水电钻机是近年来发展应用较广的一种钻机，其特点是将电机、变速机构加以密封，并同底部钻头连接在一起，组成一个专用钻具，可潜入孔内作业，其构造如图 8-4-8 所示，潜水电钻多以正循环方式排泥。潜水电钻体积小、重量轻、机器结构轻便简单、机动灵活、成孔速度较快，宜用于地下水位高的轻硬土层，如淤泥质土、粘性土以及砂质土等，其常用钻头为笼式钻头。换用合适钻头，可钻入岩层。通常的钻孔深度为 50m，可钻直径 600~5000mm 的桩孔。

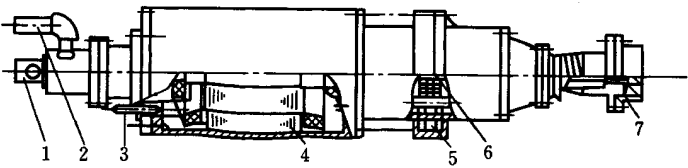


图 8-4-8 潜水电钻构造示意图

- 1—提升盖 2—进水管 3—电缆 4—潜水电机；
5—行星减速机 6—中间进水管 7—钻头接箍

地质回转钻机是目前华东地区钻孔灌注桩施工用得最多的施工机械，该钻机由机械

动力传动 ,配以笼式钻头 ,可多档调速或液压无级调速 ,以泵吸或气举的反循环或正循环方式进行钻进。它适用于松散土层、粘土层、砂砾层、软硬岩层等多种地质条件。

(二)施工工艺

泥浆护壁成孔灌注桩的施工工艺流程见图 8-4-9。

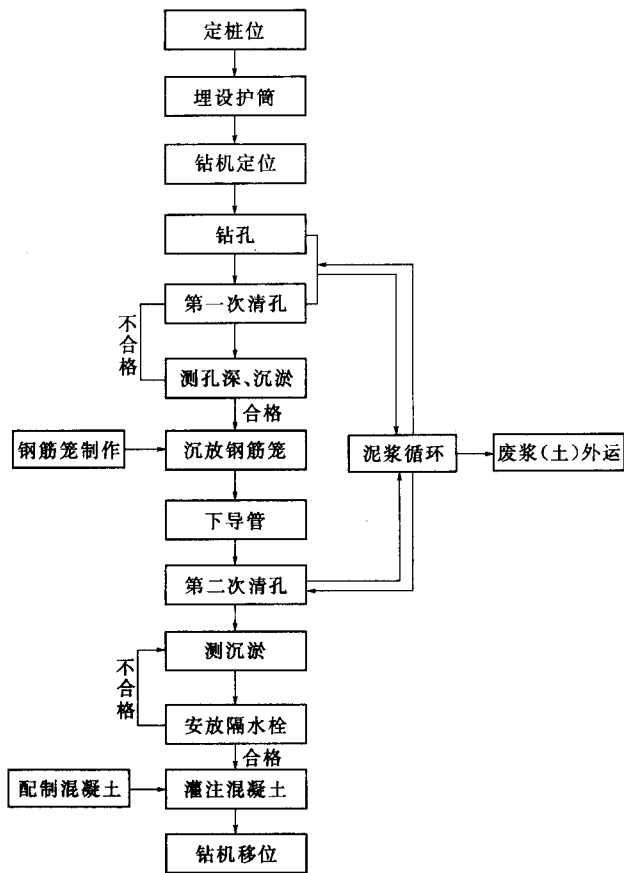


图 8-4-9 灌注桩湿作业成孔施工工艺流程图

1. 成孔施工。成孔施工前应根据工程特点、地质情况和机械设备条件合理选择成孔施工方法 ,正式施工前必须进行不少于 2 个孔的试成孔 ,以便核对地质资料 ,检验所选设备、机具、施工工艺以及技术要求是否合适 ,并根据地质情况和成孔工艺配置合适的护壁泥浆。根据出渣方式的不同 ,成孔作业可分为正循环成孔和反循环成孔两种。

(1)正循环成孔 :正循环成孔是从地面向钻管内注入一定压力的泥浆水(孔壁稳定液) ,泥浆水压送至孔底后 ,与钻孔产生的泥渣搅拌混合 ,然后经由钻管与孔壁之间的空腔上升并排出地面。混有大量泥渣的泥浆水经沉淀、过滤并作适当处理后 ,可再次重复使用 ,形成泥浆循环。沉淀后的废液或废土可用车运走。正循环方法是国内常用的一种

成孔方法,这种方法由于泥浆水在空腔内的流速不大,所以出土效率较低。正循环法的泥浆循环系统由泥浆池、沉淀池、循环槽、泥浆泵等设备组成,并有排水、清洗、排废等设施。

(2)反循环成孔(如图 8-4-10 所示):反循环法成孔是将钻孔时孔底混有大量的泥渣的泥浆水通过钻管的内孔抽吸到地面,新鲜泥浆水则由地面直接注入桩孔。反循环法吸泥有两种方式,即反循环泵方式和空气升液方式。反循环泵方式是钻管上端有软管与离心泵连接,吸泥时先用真空泵排出软管与钻管中的空气,再启动离心泵抽吸泥水。空气升液方式是钻管底端附近喷吹压缩空气,产生比重较小的空气和泥水的混合物,形成管内外的比重差值,由此在管内产生向上的水流。空气升液方式装置简单,成孔深度大,排泥和清孔效果好,但孔内较浅时,不能喷出空气,所以最初的 7m 需用其它方式排泥。此外,这种方式抽水效率比反循环泵方式低 30%~50%。反循环法的泥浆循环也是由泥浆池、沉淀池、循环槽、砂石泵、除渣设备等组成,并设有排水、排废浆等设施。地面循环系统一般分为自流回灌式和泵送回灌式两种,循环方式可根据施工场地、地层和设备情况合理选择。

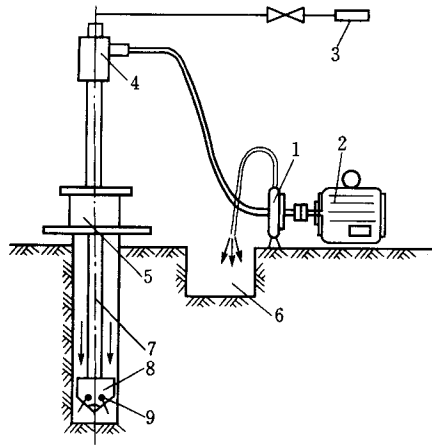


图 8-4-10 反循环回转钻进原理示意图

1—砂石泵 2—电机 3—真空泵 4—水接头 5—回水器；

6—沉淀池 7—钻具 8—钻头 9—进渣口

2. 护壁与清孔。在孔口需埋设护筒,护筒的作用是固定桩位,保护孔口,提高孔内水位,防止地面水流入,增加孔内静水压力以维护孔壁稳定,并兼作钻进导向。护筒可用混凝土预制、钢板卷制或木材制成,要求有足够的刚度。在钻进过程中,应随时补充泥浆,调整泥浆比重,泥浆的作用是泥浆夹带被钻头削碎的土颗粒不断溢出孔口,达到连续钻进,连续排土,加固保护孔壁,防止地下水渗入而造成塌孔。在粘土和亚粘土中成孔时,

可用水泵喷射清水,使清水和孔中钻头切削下来的土颗粒混成泥浆,称自造泥浆护壁。排渣泥浆比重控制在 $1.1 \sim 1.2$;在易坍孔的砂土和较厚的夹砂层中成孔时,应设置循环泥浆池和泥浆泵,用比重为 $1.1 \sim 1.3$ 的泥浆护壁;在穿过砂夹卵石层时,可提高泥浆比重到 $1.3 \sim 1.5$ 。

钻孔达到设计要求深度后,应尽量把孔底沉渣捞清,以免影响桩的承载力,当用冲孔机成孔时,吊入清孔导管,用水泵压入清水换浆;用潜水电钻孔时用循环换浆法,即让钻头继续在原位旋转,继续注水,用清水换浆,如孔壁土质较好不易坍孔时,可用空气吸泥机清孔,气压为 0.5MPa ,使导管内形成强大高压气向上涌,被搅动的泥渣随高压气流上涌从喷口排出,直至孔口喷出清水为止,本法能使冲碎的卵石、石块由泥浆带出。

当用原土造浆的孔,清孔后的泥浆比重应控制在 1.1 左右,孔壁土质较差,用循环泥浆的孔,应控制在 $1.15 \sim 1.25$ 。在清孔过程中,必须随时补充足够的泥浆,以维持浆面稳定。清孔检查合格后应在 30min 内下钢筋笼并浇筑好混凝土。不能在规定时间内下钢筋笼时,需重新清孔。

3. 下钢筋笼。钢筋骨架,应一次绑好,直径 1m 以上的桩的钢筋骨架,箍筋应与主筋点焊以防止变形。保护层厚度 $4 \sim 5\text{cm}$,采用在骨架外侧绑扎水泥垫块控制,钢筋笼在起吊、运输和安装中应采取措施防止变形,起吊吊点宜设在加强箍筋部位,吊放钢筋笼应注意勿碰孔壁,并防止塌壁和将泥土杂物带入孔内。如钢筋笼过长时,可分段制作、分段吊放,纵筋的连接须用焊接,可先将下段挂在孔内,吊高第二段进行焊接,逐段焊接逐段放下。要特别注意焊接质量,同一底面上的接头数量不得大于纵筋数量的 50% ,相邻接头的间距不小于 500mm 。吊入后校正位置垂直,勿使扭曲变形,钢筋定位后必须在 4 天内浇筑混凝土以防坍孔。

4. 水下混凝土浇筑正式拌制混凝土前应进行试配,对骨料的要求如下:骨粒粒径,卵石不宜大于 50mm ,碎石不宜大于 40mm ,配钢筋的桩不宜大于 30mm ,并不得大于钢筋间最小净距的 $1/3$,坍落度为 $16 \sim 22\text{cm}$ 。有条件的应尽量采用商品混凝土。

混凝土灌注是确保成桩质量的关键工序,灌注前应做好一切准备工作,保证混凝土灌注连续紧凑地进行。单桩混凝土灌注时间不宜超过 8h ,混凝土灌注的充盈系数不得小于 1 ,也不宜大于 1.3 。

混凝土灌注过程中导管应始终埋在混凝土中,严格控制导管不提出混凝土面,导管埋入混凝土面的深度以 $3 \sim 10\text{m}$ 为宜,最小埋入深度不得小于 2m ,导管应勤提勤拆,一次提留拆管不得超过 6m 。混凝土灌注中应防止钢筋笼上拱,混凝土实际灌注高度应比设计桩顶标高高出一定高度,高出的高度应根据桩长、地质条件和成桩工艺等因

素确定,其最小高度不宜小于桩长的 5% ,且不小于 2m ,保证设计标高以下的混凝土符合设计要求。

二、干作业成孔灌注桩

(一) 施工机械与成孔

国内常用的干作业成孔灌注桩施工机械有螺旋钻孔机和机动洛阳挖孔机。

螺旋钻孔机由主机、滑轮、螺旋钻杆、钻头、滑动支架、出土装置等组成。主要利用螺旋钻头切削土壤,被切的土块随钻头旋转,并沿螺旋叶片上升而被推出孔外。螺旋钻孔机适用于地下水位以上的匀质粘土、砂性土及人工填土。步履式螺旋成孔机如图 8-4-11 所示。

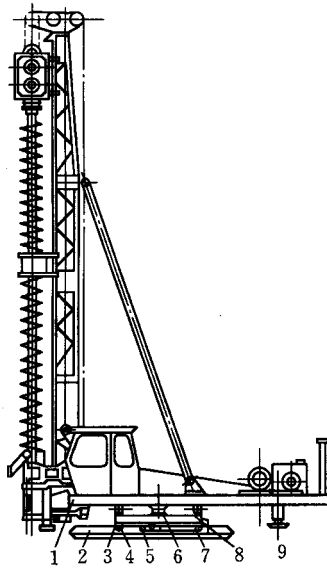


图 8-4-11 步履式全螺旋钻孔机

- 1—上盘 2—下盘 3—回转滚轮 4—行车轮 5—钢丝绳滑轮;
6—回转中心轴 7—行车油缸 8—中盘 9—支盘

粘性土中成孔大多采用 45 号钢制的锥式钻头或耙式钻头。齿尖处镶有硬质合金刀头,最适宜于穿透填土层,能把碎砖破成小块。平底钻头,适用于松散土层。

机动洛阳挖孔机由提升机架、滑轮组、卷扬机及机动洛阳铲组成。提升机动洛阳铲到一定高度后,靠机动洛阳铲的冲击能量来开孔挖土,每次冲铲后,将土从铲具钢套中倒弃,适宜于地下水位以下的一般粘性土、黄土和人工填土地基。

干作业成孔钻孔灌注桩的工艺流程见图 8-4-12。

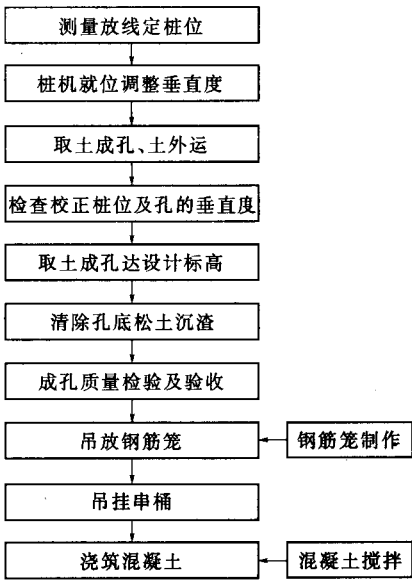


图 8-4-12 钻孔灌注桩干作业成孔施工工艺流程图

(二)清孔

钻到预定深度后 ,应用探测器检查桩孔直径、深度和孔底情况 ,将回落土及淤泥清除干净 ,泥浆取出可使用旋转取土器 ,松散干土可用小勺或冲击取土器 ,螺旋钻机成孔时的清土 ,可利用钻机本身。方法是 :在原深处回抹清土 ,然后停止回转 ,提钻卸土 ,注意空转清土时不得加深钻进 ,提钻时不得回转钻杆 ,成孔后应加盖保护。

(三)浇筑混凝土

钢筋骨架的要求与泥浆护壁成孔灌注桩相同 ,应在钢筋笼放入后再次测量孔内虚土厚度 ,符合要求后浇筑混凝土 ,坍落度要求 8~10cm ,浇筑时应分层进行 ,分层振插密实。一般每层约 0.5~0.6m ,最大不得超过 1.5m。较深的桩最好用能伸到孔底的长杆式振动器(电动或风动)振捣混凝土 ,或用长竹杆人工插捣 ,2m 以上的桩用普通振动器捣实 ,若是扩底成孔灌注桩 ,混凝土的浇筑应第一次先浇到扩大头约 1/2 高处 ,即安设钢筋笼 ,继续浇筑混凝土达到扩底部位顶面并振捣密实后 ,再分层浇筑桩身部分混凝土 ,为防止混凝土离析 ,浇筑时桩孔中应挂长串桶。

三、质量控制与检验

桩墙施工中 ,易出现桩身夹泥 ,断桩以及桩位偏移过大 ,垂直度偏差过大等现象使桩墙在开挖过程中漏泥漏水 ,对周围环境造成不利影响。因此在设计文件中 ,对桩身施工质量及垂直度有明确规定。通常钻孔灌注桩中心轴线允许偏差 $\pm 50\text{mm}$,垂直度不大于 $1/150H$ (H 为桩长)。

基于以上因素,钻孔桩围护结构的设计应特别注意结构的施工因素,在具体设计时,应取比地下连续墙更高的安全度。

对于地质条件复杂或成桩质量可靠性较低的灌注桩,应进行成桩质量检测,检测方法可采用可靠的动测法。对于大直径桩还可采取钻取岩心、预埋管超声检测法进行检测。检测的数量根据具体情况由设计确定。

第五节 板桩施工技术

一、板桩的施工机具

板桩的施工机具很多,按照打入方式的不同可分为下述几种:

1. 冲击打入机械。有自由落锤、蒸汽锤、空气锤、液压锤、柴油锤等。
2. 振动打入机械。这类机械既可用于打桩还可用于拔桩,常用的是振动打拔桩锤。
3. 振动冲击打桩机械。这种机械是在振动打桩机的机体与夹具间设置冲击机构,在激振机产生上下振动的同时,产生冲击力,使施工效率大大提高。

4. 静力压入机械。靠静力将板桩压入土中,常用液压压桩机及钢索卷扬机压桩机。

板桩施工的顺利进行在很大程度上决定于施工机械的选择,选用机械时,除主要考虑土质情况和作业能力外,还需考虑打(拔)板桩的种类(钢板桩、混凝土板桩)、数量、尺寸、形状,尤其是板桩的重量与长度,往往这两个因素是主要的,同时选用的机械要满足噪声、振动等公害控制要求,并结合现场的条件,如交通状况、地形、脚手架等情况。

结合考虑上述条件,使选定的机械既经济、安全,又能确保施工效率。

二、准备工作

在板桩施工前的准备工作包括平面布置放样、板桩检验、围檩设置。

板桩的设置位置应便于基础施工,即在基础结构边缘之外并留有支、拆模板的余地。

板桩的平面布置,应尽量平直整齐,避免不规则的转角,以便充分利用标准板桩和便于设置支撑。

用于基坑临时支护的钢板桩,应进行外观检验,包括长度、宽度、厚度、高度等是否符合设计要求,有无表面缺陷,端头矩形比及垂直度和锁口形状等。对桩上影响打设的焊接件应割除,如有割孔、断面缺损等应补强,若有严重锈蚀,应量测断面实际厚度,以便计

算时予以折减。

除上述外观检验外,还要对各种缺陷进行矫正,如表面缺陷矫正,端部矩形比矫正,桩体挠曲校正,桩体扭曲矫正,桩体截面局部变形及锁口变形矫正等。混凝土板桩应达到设计强度的 100%,且混凝土的龄期已在 28d 以上方可施打,冬季浇灌的混凝土,无论在蒸汽中养护或露天养护,都必须达到设计强度的 100% 后方可施打。施打前要严格检查桩的截面尺寸是否符合设计要求,误差是否在规范允许范围之内,特别对桩的相互咬合部位,无论凸榫或凹榫均须详细检查以保证桩的顺利施打和正确咬合,凡不符合要求的均要进行处理。板桩的运输、起吊、堆放均要保证不损坏桩身,并不使桩身出现裂缝。

围檩设置 在板桩墙两侧平行于板桩墙需设置围檩导框,利于控制板桩定位并能起到保持板桩打入的垂直度和桩墙面平直的作用。围檩通常由导柱和导框组成,其形式分单面和双面,单层和双层以及多层,锚固式和移动式,刚性和柔性等多种。导桩可用型钢和钢管,也可采用特制的混凝土板桩。导柱间距 3 ~ 5m,双面围檩之间的间距一般比板桩墙厚度大 8 ~ 15mm,其打入土中深度以 5m 左右为宜。导框底面距地面高度设为 50mm,双层或多层导框的层高间距按导框刚度情况而定,但不宜过大。围檩应结构简单,牢固和设置方便。围檩每次设置长度按施工具体情况而定,同时可以考虑周转使用。导框宽度略大于板桩厚度 3 ~ 5cm。板桩在导框内打入时,可采用单桩打入法,如采用屏风法打桩可在板桩全部插入土中后,并在拆除围檩导框后再将桩打入地下,围檩形式参见图 8-4-13。

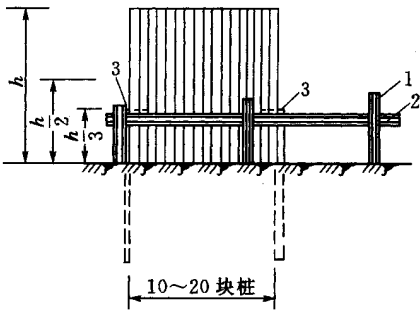


图 8-4-13 导架及屏风式打入法

1—围檩桩 2—导梁 3—两端先打入的定位钢板桩

混凝土异型桩设置 异型板桩包括转角用的角桩,调整桩墙轴线方向倾斜的斜截面桩,调整桩墙长度尺寸的变宽度桩以及起向导和固定桩位作用的导桩等。异型板桩可用钢材制作或采用其他种类桩,如 H 型钢等。转角桩制作比较复杂,板桩墙转角也可以不采用角桩而施工成 T 型封口(即转角处板桩墙不咬合,而相互垂直贴合)。

三、打桩施工

打桩机械移动方式 打桩机械可站在板桩墙一侧平行于板桩墙移动前进,边打边走,或跨在桩墙轴线上沿轴线方向前进或后退打桩,见图 8-4-14。采取后一方式打桩,可利用打桩机械本身控制和调整桩墙轴线方向的偏侧,并有利于保证板桩凹凸榫之间的紧密咬合。

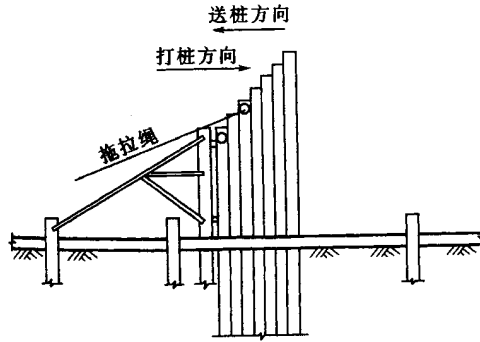


图 8-4-14 起、始打桩程序

导桩施工:初始打桩可设导桩引桩保持打一根桩定位准确。当板桩墙较长而采取分段施工时,也可根据具体情况逐一设置导桩(图 8-4-15)。

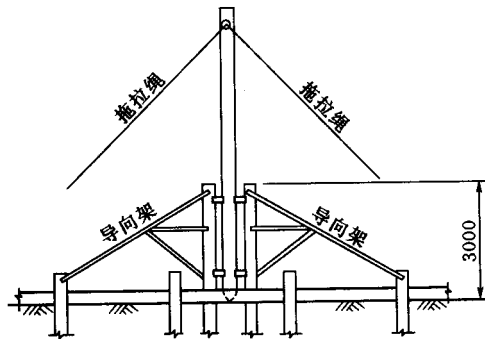


图 8-4-15 导桩的就位、限定

斜截面桩施工(亦称斜锥桩):由于挤土等情况,板桩凹凸榫较难在全长范围内均紧密咬合,桩墙会产生沿轴线方向倾斜,倾侧过大时,施工将很困难。此时可通过打入斜截面桩即楔子桩进行调整。斜截面桩打入数量及位置应根据施工经验及情况而定。

转角施工 转角处可采取特制钢桩如图 8-4-16 所示,两根 H 型钢桩焊接成型,也可采用 T 字形封口。为保证转角处的尺寸准确,也可先施工转角处的桩而后打其

它桩。

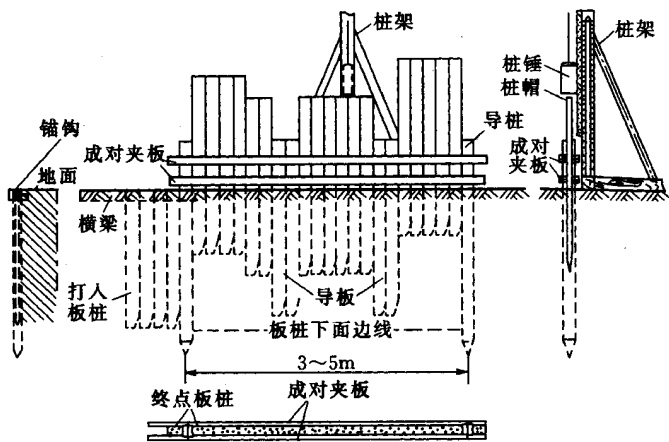


图 8-4-16 打设板桩程序

四、打桩技术

板桩打设方法可分为‘单独打入法’和‘屏风式打入法’两种。

单独打入法是从板桩墙的一角开始 ,逐块(或两块)打设 ,直至工程结束。

屏风式打入法是将 10~20 根板桩成排插入导架内 ,呈屏风状 ,然后再分批施打。该打入法又可按屏风组的排数 ,分为单屏风、双屏风和全屏风。单屏风应用最为普遍 ,双屏风多用于轴线转角处施工 ,全屏风只用于要求较高的轴线闭合的施工。

屏风法施工时(如图 8-4-17),每排桩插桩数量为 10~20 根为宜 ,如果一次插桩数量过多 ,在桩打入时 ,由于板桩间挤压力较大 ,打桩较困难并容易把桩打坏。当土层较硬时 ,可采用钢制桩尖 ,在桩上端及桩顶加钢板套箍或增加钢筋 ,并提高混凝土标号以提高板桩锤击能力。

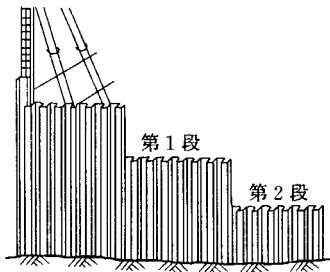


图 8-4-17 屏风法打板桩

两种打入法的优缺点及适用条件如表 8-4-3 所示。

表 8-4-3 单独打入法及屏风式打入法优缺点比较表

| | 优 点 | 缺 点 | 适 用 条 件 |
|--------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 单独打入法 | 打入方法简便迅速不需辅助支架 | 易使板桩向一侧倾斜,误差积累后不易纠正 | 板桩墙要求不高,板桩长度较小的情况 |
| 屏风式打入法 | 可减少倾斜误差累积,阻止大的倾斜,易于实现封闭合拢,保证施工质量 | 桩位的自立高度较大,必须注意插桩稳定和施工安全,较单独打入法施工速度慢 | 除个别情况外均适用 |

由于钢板桩的长度是定长的,因此在施工中常必须焊接。为了保证钢板桩自身的强度,接桩位置不可在同一平面上,必须采用相隔一根上下颠倒的接桩方法,如图 8-4-18 所示。

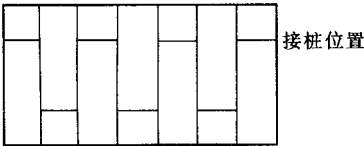


图 8-4-18 钢板桩的接桩位置

由于目前多采用 U 形及 Z 形板桩,根据板桩与板桩之间的锁扣方式,可分为大锁扣扣打施工法及小锁扣扣打施工法。

(1)大锁扣扣打施工法。这种方法从板桩墙的一角开始,逐块打设,每块之间的锁扣并没有扣死,如图 8-4-19(a)所示。

(2)小锁扣扣打施工法。此种方法也从板桩墙的一角开始,逐块打设,且每块之间的锁扣均要求锁好,如图 8-4-19(b)所示。

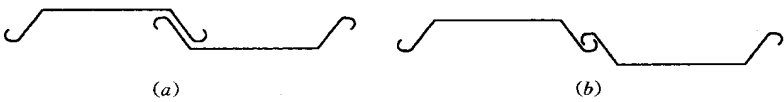


图 8-4-19 钢板桩打设方式

(a)大锁扣扣打施工法示意图 (b)小锁扣扣打施工法示意图

此两种方法的优缺点及适用条件见表 8-4-4。

表 8-4-4 大锁扣和小锁扣优缺点比较

| 比较内容 施工方法 | 优 点 | 缺 点 | 适 用 条 件 |
|--------------|----------|----------------------------|----------------------------|
| 大锁扣扣打施工法 | 打入方法简便迅速 | 板桩有一定倾斜度,不止水,整体性较差,钢板桩用量较大 | 仅适用于强度较好透水性差,对围护系统要求精度低的工程 |

| 比较内容 | 优点 | 缺点 | 适用条件 |
|----------|--------------------------------------|------------|----------------|
| 施工方法 | | | |
| 小锁扣扣打施工法 | 能保证施工质量,且止水效果、支护效果均较佳,相对上种施工法,钢板桩用量小 | 相对上种打法复杂缓慢 | 大都采用此种方法,适用范围广 |

选用吊车将板桩吊至插桩点处进行插桩,插桩时锁口要对准,每插入一块即套上桩帽并轻轻加以锤击。在打桩过程中,为保证板桩的垂直度,用两台经纬仪在两个方向加以控制。为防止钢板桩锁扣中心线平面平移,同时在围檩上预先计算出每一块板桩的位置,以便随时检查校正。

板桩应分几次打入,第一次由 20m 高打至 15m,第二次则打至 10m,第三次打至导梁高度,待导架拆除后第四次才打至设计标高。打桩时,开始打设的第一、二块板桩的打入位置和方向要确保精度,它可以起样板导向作用,一般每打入 1m 就应测量一次。

板桩墙的设计水平总长度,有时并不是板桩标准宽度的整数倍,或者板桩墙的轴线较复杂,板桩的制作和打设有误差等,均会给板桩墙的最终封闭合拢施工带来困难,这时候可采用以下几种方法:

- 1)异形板桩法;
- 2)连接件法;
- 3)骑缝搭接法;
- 4)轴线调整法。

五、打桩施工标准

- 1. 板桩插入垂直度不得超过 0.5% ;
- 2. 板桩施工平面位置不允许偏差 100mm ;
- 3. 板桩施工垂直度允许偏差 1% ;
- 4. 板桩用于防渗时板桩间缝隙不得大于 20mm ,用于挡土时不得大于 25mm ;
- 5. 板桩轴线允许偏差 20mm ,板桩施工桩顶标高允许偏差 $\pm 100\text{mm}$ 。

在打设过程中,如发现有超过上述允许值应及时纠正。

六、钢板桩的拔除

在进行回填土的时候,要拔除钢板桩,以便修整后重复使用,拔除前要研究钢板桩拔除顺序、拔除时间及坑孔处理方法。

拔桩多采用振动拔桩,由于振动,拔桩时可能会发生带土过多,从而引起土体位移及地面沉降,给施工中的地下结构带来危害,并影响邻近建筑物、道路及地下管线的正常使

用。这一点在拔桩时应充分重视,注意防止。如采用跳拔方法,即隔一根拔一根。

对于封闭式钢板桩墙,拔桩的开始点宜离开角桩 5 根以上。拔桩的顺序一般与打设顺序相反。

拔除钢板桩宜采用振动锤或振动锤与起重机共同拔除,后者只用于振动锤拔不出的钢板桩,需在钢板桩上设吊架,起重机在振动锤振拔同时向上引拔。

振动锤产生强迫振动,破坏板桩与周围土体间的粘结力,依靠附加的起吊克服拔桩阻力将桩拔出。拔桩时,可先用振动锤将锁口振活以减少与土的粘结,然后边振边拔,为及时回填桩孔,当将桩拔至比基础底板略高时,暂停引拔。用振动锤振动几分钟让土孔填实,对阻力大的钢板桩,还可采用间歇振动的方法。对拔桩产生的桩孔,需及时回填以减少对邻近建筑物等的影响,方法有振动挤实法和填入法,有时还需在振拔时回灌水,边振边拔并回填砂子。

第六节 振冲碎石桩施工技术

振冲法加固砂土和软粘土地基是目前我国软弱地基处理的重要手段之一。地基振冲加固技术自 1976 年引进我国工业及民用建筑地基处理以来,发展很快,并取得明显效果。这种技术具有速度快、质量好、造价低等优点,可以就地取材,广泛运用当地砂石骨料,不使用钢筋、水泥等三大原材料。

20 多年来,我国在应用与发展振冲加固技术的领域和范围正在逐步扩大。利用振冲加固技术处理松散粉砂、中粗砂、淤泥质软弱土、软粘土、粉土及回填土等,都很有成效。从建筑领域已经扩展到水利、水电、冶金、交通等部门,取得明显的经济效益和社会效益。

一、振冲碎石桩加固地基机理

振冲碎石桩是利用振动水冲法施工工艺,在地基中制成很多以石料组成的桩体。桩与原地基土共同构成复合地基,以提高地基承载力。根据所处理的地基土质的不同,可分为振冲挤密法和振冲置换法两种。在砂性土中制桩的过程对桩间土有挤密作用,称为振冲挤密。在粘土中制成的碎石桩,主要起置换作用,故称为振冲置换。两种加固法的加固机理如下。

(一) 振冲挤密加固机理

振冲挤密加固砂性土地基的主要目的是提高地基土承载力、减少变形和增强抗液化性。振孔中填入的大量石料被强大的水平振动力挤入周围土中,这种强制挤密使砂土的

相对密度增加,孔隙率降低,干土重度与内摩擦角增大,土的物理性能改善,使地基承载力大幅度提高。同时形成桩的碎石具有良好的反滤性,在地基中形成渗透性良好的人工竖向排水减压渠道,可有效地消散和防止超静孔隙水压力的增高,防止砂土产生液化,加快地基的排水固结。振冲挤密法见图 8-4-20。

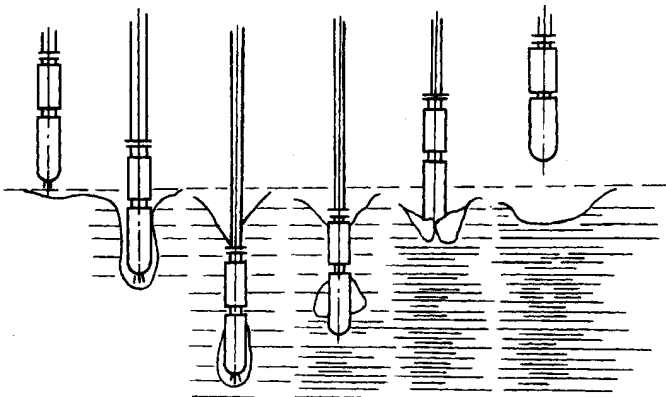


图 8-4-20 振冲挤密法

(二) 振冲置换加固机理

粘性土地基,特别是饱和软土,土的粘粒含量多,粒间结合力强,渗透性低。在振动力作用下,土中水不易排走。碎石桩的作用不是使地基挤密,而是置换。施工时通过振冲器借助其自身质量、水平振动力和高压水将粘性土变成泥浆排出孔外,形成略大于振冲器直径的孔。再向孔中灌入碎石料,并在振冲器的侧向力作用下,将碎石挤入孔中,形成具有密实度高和直径大的桩体。它与粘性土构成复合地基。所制成的碎石桩是粘土地基中一个良好的排水通道,它能起到排水井的效能,并且大大提高孔隙水的渗透路径,加速软土的排水固结,使地基土承载力提高,沉降稳定加快。振冲碎石桩还可提高土体抗剪强度,增大土体的抗滑稳定性,振冲置换法见图 8-4-21。

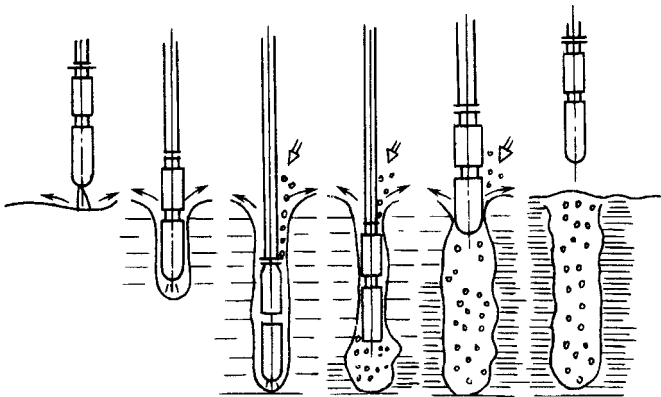


图 8-4-21 振冲置换法

二、振冲加固机械设备

振冲加固主要机械设备有：

1. 振冲器。一般采用江苏省江阴振冲器厂生产的 ZCQ—30 型振冲器。其技术参数为：电动机功率 30kW，振动频率 1450 次/min，额定电流 60A，偏心矩 5.7cm，不平衡部分质量 67.5kg，动力矩 38.8N·m，振动力 91.42kN，振幅 5mm，外径 351mm，长度 1900mm，质量 940kg。还有 ZCQ—75 型振冲器。
2. 吊车。常用的有 QY16t 和 QY—20t 两种。
3. 装载设备。装载设备有 ZL20A、ZL30A 等型号。
4. 碎石桩机。采用移动旋转式单臂碎石机，吊臂总长 14m，横断面 35cm×35cm。吊臂倾角可调范围 55°~85°。采用 ZS—J 型卷扬机，单绳牵引能力 20kN，卷扬速度 18m/min。
5. 供水设备。采用多级离心式清水泵，压力 600~1000kPa，流量 20~30m³/h。污水泵功率 3kW。

三、施工方法

(一) 施工方案

根据现场实际情况，合理布置施工机具，安排施工工序。利用工程降水井或河流清水供水，集中供电，集中排污，往复式移动作业方案，保证工程顺利进行。

(二) 施工步骤

1. 清除障碍物，平整场地，通水通电，合理布置排污槽、集污池、泥浆处理场地。
2. 按设计要求供应石料，要求粒径 20~50mm，最大不超过 80mm。
3. 布置桩位，中心偏差不大于 3cm。
4. 设备安装调试可结合工程桩打试验桩 2~3 根，了解地层情况。通过试验确定主要技术参数，如密实电流、留振时间、加密段长度、填料数量、水压、水量等。
5. 振冲器头尖部对准桩位，中心偏差不大于 5cm。启动水泵和振冲器，调整水压到 0.4~0.7MPa，水量 200~400L/min。将振冲器以 1~2m/min 的速度沉入地基中，并观察振冲器电流变化。
6. 当振冲器到设计深度后，在孔口填料，用振冲器挤密。当电流达到 50~60A 时，上提振冲器 0.2~0.5m，再加填料振密。如此反复进行，逐段成桩。对每段桩的电流及填料数量、留振时间均要作好记录。
7. 通过排污槽将振冲过程中返出的泥浆排到集污池，再用排污泵将泥浆排到沉

淀池。

(三) 质量控制措施

1. 造孔技术参数。如电流、水压、水量的大小,直接影响成桩孔径大小。应根据岩性软硬情况不断调整好造孔速度。松散中粗砂层、密实状粗砂和砾石与淤泥质土层造孔速度各不相同。

2. 成桩技术参数。如加密电流、水压、水量与留振时间的选定,对成桩质量关系很大。加固淤泥质土层采用大水量、高水压成桩,含泥量少,成桩强度高。在低水压、小水量条件下成桩,孔内泥土与碎石混合,桩质量会大大降低。

3. 加密段长度控制。成桩加密段长度的控制,直接影响到碎石桩质量。加密段过长,容易引起断桩;加密段过短,留振时间长,会扩大桩径。由于加密速度不均、段长不等将导致成桩孔径大小不均而呈葫芦状,这是应该避免的。

4. 填料数量多少对桩体密实性影响很大。相同岩性的钻孔,每延米填料应该相同。如果填料量有较大差异,必须查清原因,防止产生断桩或坍孔等质量事故。

四、质量检验

振冲碎石桩加固地基,其质量检验要到完工后一段时间让其稳定后进行。主要检验项目有桩位偏差、桩径、桩密实度、复合地基承载力等。复合地基承载力,采用静载试验或标准贯入试验和静力触探法进行检验。

五、应用实例

1. 安徽岩土工程公司 1993 年 8~12 月承担合芜高速公路某标段基础任务。该段地基较软弱,表层为耕植土,下部多为流塑性淤泥质土层、粉砂层等。桥涵基础部分采用振冲碎石桩处理。该标段 26 个桥涵共设计碎石桩 2600 余根,处理深度 8~12m,桩径 800mm,桩位布置采用正方形和等边三角形,桩间距 1.5~2m。由于地基较软弱,施工中经常遇到成孔困难和振冲器提升阻力大等现象。大部分桩填料超方,成桩桩径超过 1m。该工程实际完成总工作量近 3 万延米,碎石填量 2 万 m^3 。经验收工程全部合格,达优良标准。

2. 水利部东北勘测设计研究院工程勘察总公司承担吉林省某办公大楼基础处理任务。地层条件自上而下为杂填土、可塑粉质粘土、可塑偏软粉质粘土、可塑偏硬粉质粘土、硬塑粉质粘土、坚硬粉质粘土等。埋深约为 6.2m。振冲碎石桩工程全部采用等边三角形布桩,桩距 1.5m,桩径 760mm,桩长 5~7m。处理后复合地基承载力要求达到 250kPa,经静载试验结果,实际达到 275~395kPa,完全满足要求。

3. 辽宁省水利水电勘测设计研究院承担大连市引碧工程大沙河倒虹吸地基处理任务。地层条件主要为松散、软弱的粉土、粘性土、淤泥质粉土、细、中、粗砂、砂砾石与片麻岩全风化地层,边坡不稳定,易产生沉降、流砂和液化现象。地下水埋藏浅,河谷渗漏量大,水量丰富,施工开挖艰难,地基加固处理难度大。该院采用振冲碎石桩进行加固处理。淤泥质土碎石桩径 1000mm。经静压试验,承载力均大于 400kPa,最大沉降量为 10 ~ 30mm。动测复合地基承载力基本值为 359 ~ 533kPa,均超过设计要求的 210kPa。中细砂段桩径 800mm。经静压试验,承载力基本值为 800 ~ 1000kPa,最大沉降量为 7.5 ~ 13mm,均超过设计要求。

1. 安徽岩土工程公司于 1996 年 12 月至 1997 年 2 月承担淮北市工商银行相南办事处综合楼地基振冲碎石桩施工任务。地基承载力较低,上部为杂填土,以下为沉积粉土,局部夹粉质粘土、粘土、粉质粘土(含钙质结核)。完成振冲碎石桩 664 根,桩径 800mm,桩长 6~5m。桩位采用等腰三角形布置,桩距约 1.05m。处理后的复合地基承载力要求 180kPa。全部工程碎石填量约 2500m³。经垂直静荷载试验,承载力超过 200kPa,完全满足设计要求。

实践证明,利用振冲碎石桩加固软土地基是地基处理的一项先进技术,它具有技术合理、质量优良、生产高效等优点,在工业和民用建筑、水利和交通等领域已被广泛应用。

振冲过程中的排污和用水问题,将限制该技术在城市建设中的发展和应用,应该在技术措施上研究出经济合理、技术可行的办法。机械化程度应该配套,以提高效率。该项技术在推广应用过程中,应进一步加强研究和总结工作,以促进该项技术的发展和完善,更好地为社会主义建设服务。

第七节 振动沉管灌注桩施工技术

一、发展前景

改革开放以来,随着建筑事业的发展,振动沉管灌注桩在软土地基处理中,已被广泛应用。沉管灌注桩与打入式预制桩、钻孔灌注桩相比,具有许多明显的优点。与预制桩相比,具有能适应地质条件变化、成桩可长可短、上效高、造价低、质量能得到保证等优点。与钻孔灌注桩相比,有施工现场无泥浆污染、效率高、造价低、施工周期短等优点,在建筑业中具有广阔的发展前景。

沉管灌注桩适用于粘性土、粉土、淤泥质土、砂土与填土,在厚度较大、灵敏度较高的淤泥和流塑状态的粘性土等软弱地层中采用时,应制定质量保证措施,并经工艺试验成功后方可正式施工。

实践证明,振动沉管灌注桩在施工过程中,因受地质条件变化、沉桩工艺、技术操作等因素影响,如在某工序中出现漏洞,就会导致不同程度的隐患,尤其是断桩、缩径、夹泥、吊脚等质量问题的发生,严重危及工程结构的安全,应引起高度重视,并分析原因,采取有效措施,把质量事故减少到最低限度,努力提高工程质量。

二、振动沉管工作原理

振动沉管工作原理是将振动器与沉管刚性地连接形成一个振动体系。振动器内是由两组对称而又偏心的锤体同步而又反向旋转运动,转动时所产生离心力与水平分力相互抵消、垂直分力大小相等方向相同,相互叠加,形成周期性的激振力振冲地层,产生振动形成强迫振动体系,从而使沉管击入地层。

三、振动沉管灌注桩施工流程

(一)施工前准备工作

施工前,应对工程地质条件、设计方案和技术要求进行认真研究,制定有效措施,确保工程质量满足设计要求。

1. 桩头种类的选择

采用桩尖活瓣施工时,会给下钢筋笼带来困难。应采取预制头代替桩尖活瓣。预制头混凝土标号不大于 C30。钢筋布置应视地基土和持力层的强度而定,保障桩头不被打碎,周边不被剪切。

(1)一般预制头直径大于桩管直径,使桩管外径与桩孔之间有一定环状间隙。在沉管和拔管过程中,可减少摩阻力和桩管上下刮泥等不利因素。

(2)采用预制头有利于地下水和被扰动的土体中孔隙水压力升高,形成超静孔隙水压力沿着桩管外径和桩孔环状面积之间聚集。由于混凝土的灌注而排出地表,灌注质量得以保证。

2. 预制头和桩管配套的选用

一次单打成桩,选用预制头直径(d_2)、桩管外径(d_0)、成桩直径(d_1)的相关式为

$$\frac{d_2 + d_0}{2} \approx d_1。$$

当一次单打成桩不能满足设计桩径和承载力要求时,可采取复打(即二次单打)成桩,使桩径扩大、桩侧摩阻力增加,从而提高单桩承载力。

(1) 单打时不宜采用大桩头配小桩管,因桩身成形较差,桩侧摩阻力较小。摩擦桩切忌采用。

(2) 一次复打效果较好,多次复打效果不明显。还应注意地面垂直隆起,对先打的桩会产生竖向拉应力的危害。

3. 打桩试验

施工前应作打桩试验,以检验电源、机械设备运行情况、锤头激振力对土层穿透能力、沉桩标高和贯入度控制、工艺流程、技术措施和工效等,是否满足施工要求。如发现地质条件与提供的数据不符,应与有关单位及时研究解决,确保施工质量。

(二) 振动沉管桩施工程序

应根据土质情况和荷载要求,分别选用单打法、复打法和反插法。单打法适用于含水量较小的土层,且宜采用预制桩尖;复打法与反插法适用于饱和土层。

1. 桩机就位

桩机就位后应调平底盘、调直立柱,使桩管垂直对正预制头,并使桩管和预制头轴线一致。防止桩身偏斜和桩顶水平位移。施工场地地下水位较高时,应在沉管前预灌适量混凝土封底止水,确保灌注质量。

2. 沉管

(1) 沉管终孔深度以设计桩底标高或沉管最高贯入度进行分别控制。摩擦桩必须保证设计桩长。当采用沉管法成孔时,桩管入土深度的控制以设计标高为主,以贯入度(或贯入速度)为辅。端承桩当采用沉管法成孔时,桩管入土深度的控制以贯入度(或贯入速度)为主,与设计持力层标高相对照为辅。

(2) 施工过程中必须保持正常供电(额定电压不小于 380V),保证振动锤的激振力,使桩尖顺利沉入硬岩层或持力层。单打法必须严格控制最后 30s 的电流、电压值。终孔前贯入速度不大于 $1 \sim 2\text{cm/min}$,并加压抬机 1 次,即可停机。

(3) 较硬地基打桩时,沉管和桩尖贯入难以穿透硬土层中,可根据具体情况采取预钻孔和桩管底部安装取土器分层取土等方法,穿透硬土层后再继续沉管造桩。

(4) 在地下水丰富的地层施工,为防止水进入桩管导致混凝土离析,可先灌注 0.6m^3 混凝土封桩尖,平衡地下水压力,再沉管至桩底标高、灌注混凝土拔管成桩。

(5) 地下水非常丰富地层,取土后提管时水即充满孔内,混凝土预封桩尖后振动沉管时,水不能及时排入地层,桩尖和桩管象活塞一样下不去。可在取土器外焊两根 $\phi 30\text{mm}$ 螺杆,取土后在孔壁上形成两道水槽,沉管便可下沉。

(6) 沉管遇到淤泥层,淤泥和水易进入桩管,导致混凝土夹泥事故。可采取沉管到淤泥层顶部即停止振动,依靠锤和桩管自身质量沉管到淤泥层底部再振动沉管。

(7)当沉管遇到硬塑地层,不易沉到桩底标高时,可将桩尖提离孔底 $0.3 \sim 0.5\text{m}$,停振 $15 \sim 20\text{min}$,该层粘土经地下水浸润后结合力松弛,即能振动沉管到达桩底标高。

(8)在硬粘土夹层或砂层上部,应增大该处桩的横截面积,提高桩的整体端承载力。桩底应进行 $2 \sim 3$ 次反插,扩大桩底端承载面积。

(9)在较软地层应采用全孔一次(或两次)复打,在局部较软地层采用局部一次复打或局部两次复打,以提高单桩承载力。

(10)如持力层较软,贯入度难以达到设计要求,应增加桩长,或向较软的持力层投入碎石和砂,增大其密实度,提高端承力。

(11)为加快施工进度,应用钢丝绳加压、加长活瓣桩尖、减小桩尖阻力、采用大的振动锤等措施,提高穿透能力。

(12)一个工地均有深桩与浅桩时,应考虑沉管存在挤密和压实效应,应先打深桩后打浅桩,以加快施工进度。

(13)选用耐震电机装配的振动锤和符合规格的电缆、坚固的桩机以及中空式振动箱,以减少机械事故,加快下钢筋笼速度。

3. 安放钢筋笼

待沉管结束后,用钢绳吊起钢筋笼下放到桩管内,按设计标高要求定位,而后灌注混凝土。此时钢筋笼吊着定位,周围有混凝土保护着。此工艺称为“压力吊装钢筋笼”。其优点是定位准确,保证护层,减少振动变形和松脱。但因混凝土在初凝前处于流塑状态,当临时沉桩时桩间距有限,地基土易扰动,会使钢筋笼在自身质量压力下发生位移,低于设计标高,应采取措施保证定位。

4. 混凝土灌注

(1)当桩较短时,应一次灌注,使桩管内混凝土柱高度适当高出地面标高,一次灌注到位。当桩身较长时,应分多次灌注。每次续灌前,应保持桩管内不少于 2m 高度的混凝土,即保持一定的自身质量压力,保证灌注质量。

(2)复打法灌注混凝土:

1)混凝土的充盈系数不得小于 1.0 ;对于混凝土充盈系数小于 1.0 的桩,宜全长复打。对可能有断桩和缩径的桩,应采用局部复打。成桩后的桩身混凝土顶面标高应不低于设计标高 500mm 。全长复打桩的入土深度直接近原桩长,局部复打应超过断桩或缩径区 1m 以上。

2)全长复打桩第一次灌注混凝土应达到自然地面;前后两次沉管的轴线应重合;复打施工必在第一次灌注的混凝土初凝前完成。

5. 拔管

(1)单管法施工 桩管内混凝土灌满后,先振动 5~10s,再开始拔管。边振边拔,每拔 0.5~1.0m,停拔振动 5~10s,如此反复,直至桩管全部拔出。在一般土层中,拔管速度宜为 1.2~1.5m/min,用活瓣桩尖时宜慢,用预制桩尖时可适当加快。在软弱土层中,宜控制在 0.6~0.8m/min。

(2)反插法施工 桩管内混凝土灌满后,先振动再拔管。每次拔管高度 0.5~1.0m,反插深度 0.3~0.5m。在拔管过程中,应分段添加混凝土,保持管内混凝土面始终不低于地表面或高于地下水位 1.0~1.5m 以上。拔管速度应小于 0.5m/min,在桩尖处 1.5m 范围内,宜多次反插以扩大桩的端部断面;穿过淤泥夹层时,应放慢拔管速度,减少拔管高度和反插深度。在流动性淤泥中不宜使用反插法。

(3)复打法施工,在拔管时应随时清除粘在管壁上和散落在地面上的泥土。拔管速度要均匀,对一般地层以 1m/min 为宜,在软的土层宜控制在 0.3~0.8m/min。

(4)在拔管过程中,当桩管底端接近地面标高 2~3m 段关键部位,应精心操作,严格控制拔管速度和高度。必要时应采取短停拔(0.3~0.5m)长留振(15~20s)的技术措施。严防断桩和缩颈隐患发生,确保灌注质量。

(5)当桩管拔出地表后,检查桩顶混凝土,如未达到设计标高时,必须把桩顶浮浆和泥土清理干净,然后补灌混凝土,并穿插振捣密实,防止断桩。

(6)混凝土灌注充盈系数小于 1.0 的桩,说明成桩已出现吊脚、涌砂、缩颈和断桩现象。应及时进行复打加以补救。

6. 养护

从沉桩开始到桩身成形,混凝土进入养护期,28d 达到设计强度。在养护期应注意事项:

(1)混凝土在初凝前处于流塑状态,当邻桩施工时由于桩距有限、土层软硬不均,桩周土易被挤密扰动,已打的桩被挤成畸形、桩顶混凝土被挤出地表,或桩位偏移、桩身倾斜,使桩径变小,影响桩基工程质量,应及时解决。

(2)在沉桩过程中,桩机移动时,应避免已打的桩位,防止桩顶破损和断桩事故发生。

(3)基坑开挖和裁桩时,桩身混凝土养护应不少于 14d,没有达到一定强度不得裁桩。裁桩方法,按设计要求尺寸进行。严禁从桩顶重锤横向猛击,确保桩顶与承台有效连接。

四、混凝土质量控制

(一)混凝土配合比

由于水泥品种、工程所处环境以及粗、细骨料材质各异,因此混凝土配合比不可能一样。应根据设计标号、工作特性、当地材料质量等,进行混凝土配合比的设计。

首先通过计算得出“初步设计配合比”,然后经试验室试验调整,得出符合施工和易性要求的“基准配合比”,再经过强度复核,求出满足设计要求的“试验室配合比”,最后根据施工现场砂、石含水率情况,计算出“施工配合比”。

(二)把好混凝土配料与拌制质量关

1. 混凝土质量由技术人员进行指导、检查和监督,并设专人负责,严格按照混凝土配合比配料。

2. 把好选料关,不符合质量要求的水泥、砂、石料不得采用。如采用风化砂,其中含砂块时,必须经筛选后才能使用。

3. 混凝土配料时应按各种材料用量称重,搅拌均匀,符合混凝土的和易性、流动性、粘聚性和保水性要求。经常检查坍落度,确保混凝土质量满足设计要求。

4. 按规定采取试块,在试验室进行试验,确定混凝土抗压强度是否满足设计标号要求。

5. 混凝土搅拌因故停放一段时间后,会逐渐变稠而失去塑性。应立即返回搅拌机加入适量的水和水泥,重新搅拌均匀后才能使用。如停放时间较长、完全失去塑性,必须报废。

6. 桩身设置钢筋笼时,混凝土坍落度宜为 $80 \sim 100\text{mm}$ 。粗骨料最大粒径不应大于 50mm ,并不得大于钢筋最小净距 $1/3$ 。素混凝土或插筋时坍落度宜为 $60 \sim 80\text{mm}$,粗骨料最大粒径不应大于 70mm ,并不得大于桩管内径的 $1/4$ 。

五、质量事故及预防措施

(一)单桩承载力达不到设计要求

1. 原因

(1) 桩垂直度超出规范允许值 1% 的范围,从而降低桩的承载力。原因是桩管弯曲,桩基立柱垂直度不符合规定,开孔遇到坚硬物。

(2) 桩尖未进入设计的持力层。

(3) 预制桩尖不符合要求。预制桩尖混凝土强度偏低或配筋不合要求,沉管时桩尖被打坏进入管内,上拔沉管时桩尖被带上一高度后,又振落孔内,在桩端留下空隙形成掉脚桩。

(4) 复打桩的成桩直径达不到设计要求,导致单桩承载力偏低,不能满足设计要求。

2. 预防措施

(1) 经常检查沉管,发现弯曲及时校正,桩机立柱必须调好垂直度才可施工;将坚硬物取出再施工。

(2)当沉管达到预定深度后,必须按规定标准测定最后贯入度,且锤头电机的电流、电压应符合规定的标准。

(3)对预制桩尖进行严格检查,混凝土强度达不到要求、配筋不符合要求的桩尖不得使用。

(4)先用设计的预制桩尖成桩,再用一个直径比前者更大的预制桩尖进行复打,可达到预期效果。

(二)断桩、缩径

1. 原因

(1)拔管过快或过慢。拔管过快,混凝土未充分振实、地基土回弹,造成缩径或断桩;拔管过慢,使混凝土在管内振动过长而发热,导致混凝土初凝时间提前,混凝土与沉管壁粘结,上拔沉管时造成缩径或断桩。

(2)混凝土坍落度过小,使沉管在上拔规定时间内,混凝土未振实而形成空洞。

(3)沉管内混凝土桩压力减小。沉管拔至距地面较近时,管内混凝土存留不够,压力减小,加之地基土回弹,在距地面 $2\sim 3\text{m}$ 的范围内容易形成缩径、断桩。

(4)沉管时,由于地层的水平挤压力将邻桩挤压,发生水平位移,造成桩身被剪切、断裂或缩径。

2. 预防措施

(1)拔管速度必须按规定严格控制,沉管上拔 $0.5\sim 1.0\text{m}$,停拔振动 $5\sim 10\text{s}$,停拔时间不宜过长。

(2)混凝土坍落度必须严格控制在规定范围内。

(3)在沉管内比预计的混凝土量多加 $0.1\sim 0.2\text{m}^3$,从而增加管内混凝土柱的压力。沉管将拔出地面时,拔管速度放慢,多次留振、停拔。

(4)在粉质粘土及一般土层中施工,桩间距不小于 $3.5d$ 。在淤泥质土中施工桩间距不小于 $6d$,如果小于此数,必须进行跳打。如施工的桩位与混凝土刚初凝的桩位距离过小,也应进行跳打。

(三)桩身混凝土达不到设计要求

1. 原因

(1)搅拌混凝土时,水泥、砂、石、水未进行称量。

(2)桩身混凝土搅拌不均匀。

(3)桩身混凝土夹泥或离析。在含水地层中施工,地下水进入沉管造成混凝土离析;沉管在取土后,管内泥土未清除干净,在灌注混凝土过程中脱落,造成桩身混凝土夹泥。

2. 预防措施

(1)混凝土材料必须按照配合比严格进行称量。

(2)未加外加剂的混凝土至少要搅拌 2min。加外加剂的混凝土至少要搅拌 3min,使混凝土充分搅拌均匀。

(3)在含水地层中施工,必须进行封底,防止地下水进入沉管,造成混凝土离析。沉管在取土后,管内泥土应清除干净。

(四)钢筋笼上浮或下沉

1. 原因

(1)钢筋笼悬挂固定装置失灵。

(2)邻近桩施工时,钢筋笼受振下沉。

(3)邻近桩施工,地层侧向挤压严重,使未凝固的桩身混凝土挤出,带动钢筋笼上浮。

2. 预防措施

(1)下钢筋笼前,必须检查钢筋笼悬挂固定装置是否完好,发现问题,及时解决。

(2)将钢筋笼在地面固定,邻桩施工振动时使其不下沉。

(3)地层侧向挤压严重时,进行跳打施工,减少地层的侧向挤压。

六、质量检查与验收

(一)成桩质量检查

成桩质量检查主要包括成孔、钢筋笼制作与安放、混凝土搅制及灌注等三个工序过程的质量检查。

1. 混凝土搅制应对原材料质量与计量、混凝土配合比、坍落度、混凝土强度等级等进行检查。

2. 钢筋笼制作应对钢筋规格、焊条规格、品种、焊口规格、焊缝长度、焊缝外观与质量、主筋和箍筋的制作偏差等进行检查。

3. 在灌注混凝土前,应严格按照有关施工质量对已成孔的中心位置、孔深、孔径、垂直度、钢筋笼安放的实际位置等进行认真检查,并填写相应质量检查记录。

4. 沉桩桩位偏差应按桩基施工规范有关规定进行检查。

(二)单桩承载力检测

为确保实际单桩竖向极限承载力标准值达到设计要求,应进行单桩静荷载试验。检测桩数不少于桩基施工规范规定的要求。

(三)桩基工程验收资料

1. 工程地质勘察报告、桩基施工图、图纸会审纪要、设计变更单及材料代用通知单等。

2. 施工组织设计、施工方案及执行中变更情况等。
3. 桩位测量放线图,包括工程桩位线复核签证单。
4. 成桩质量检查报告与单桩承载力检测报告。
5. 基坑挖至设计标高的基桩竣工平面图与桩顶标高图。

振动沉管灌注桩的优点很多,在软土地基处理中有很强的适应性和广阔的发展前景。对其不足之处应在实践中不断改进操作、完善施工工艺,加强质量管理,采取有效的技术措施,杜绝断桩、缩径,消除隐患,确保施工质量满足设计要求。

第五章 预应力锚固技术

第一节 预应力锚固技术发展简史及其应用概况

预应力锚固技术的最大特点,是尽可能少地扰动被锚固的土体或岩体,并通过锚固措施合理地提高可利用岩体或土体的强度。所以预应力锚固技术是最为高效和经济的加固技术,因此得到了各行各业的高度重视和迅速的发展。

在土木工程建筑中,利用钢丝或钢绞线具有较高抗拉强度的特性,用于建筑和加固各种工程,已取得良好的效果。早在 20 世纪初,预应力锚杆就作为一种新的支护手段,用于西利西安的矿山开采。进入 30 年代以后,阿尔及利亚的舍尔法坝采用预应力锚杆加固取得了成功,参见图 8-5-1。20 世纪 50~70 年代,越来越多的工程应用了预应力锚固技术。这种高效、经济的预应力锚固技术,近年来又得到了迅速发展,目前已广泛地应用于工业民用建筑、桥梁、矿山建设、高陡边坡、大型地下洞室的围岩加固、大型弧门闸墩加固、坝基的加固以及各种建筑物的维护和补强。预应力锚杆的结构类型不仅种类繁多,而且越来越先进。在国际上对单根预应力锚杆施加的锚固力已达 13000kN。在我国 1989 年成功地应用了 6000kN 级预应力锚杆加固了丰满水电站的#51 坝段的坝基,预应力锚杆长度达到了 61.2m,见图 8-5-2。以后龙羊水电站又采用了 10000kN 级预应力锚杆实施了对左岸边坡的加固。目前,在水利水电建设中,应用预应力锚固技术已十分普遍。葛洲坝、白山、漫湾、二滩、李家峡、岩滩、小浪底、三峡等大中型工程都不同程度的采用了预应力锚固技术。国际上预应力锚杆应用情况见表 8-5-1~表 8-5-3,我国水利水电工程近几年采用预应力锚杆加固岩体与水工建筑物情况见表 8-5-4 及表 8-5-5。

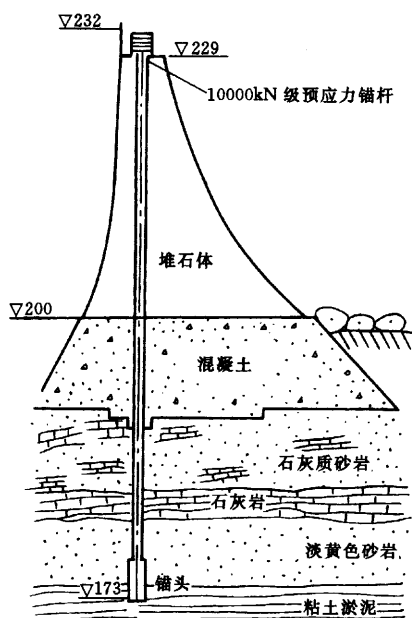


图 8-5-1 阿尔及利亚的舍尔法坝
(1934 年世界上第一例采用预应力锚杆加固坝体)

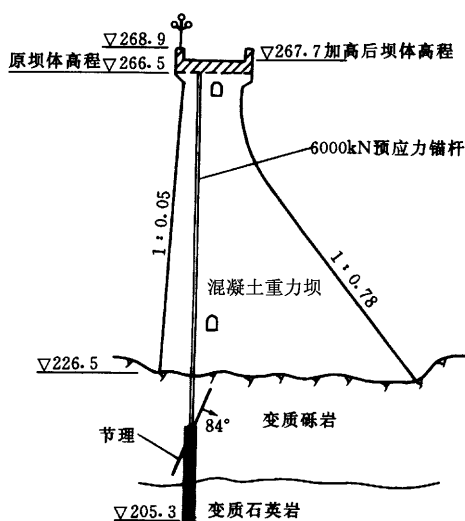


图 8-5-2 丰满水电站#51 坝段坝基加固
(我国第一座采用 6000kN 级预应力锚杆加固坝基)

第二节 预应力锚杆基本工作机制

一、对围岩的整体加固作用

由于受构造运动和各种自然因素的影响,岩体通常是非均质和各向异性的,不仅完整程度不同,其力学性质也有很大差异。在物理力学性能差异较大的岩体上和岩体中修建水工建筑物会遇到各种各样的工程问题,其中最为常见的是稳定问题。此外,为了节省工程投资,减少工程量,设计者往往千方百计地利用岩体的固有承载能力,但岩体中固有承载能力如何利用,软弱破碎岩体如何改造,都是工程设计者所需解决的问题。

预应力锚固技术因能充分发挥岩体固有承载能力,并可根据岩体的实际情况,有效改造软弱破碎及不稳定岩体,因此是合理利用其承载能力的最好方法之一。预应力锚杆对围岩的整体加固主要有以下作用:

(一) 限制围岩有害变形发展,对围岩提供支护抗力

图 8-5-3 是隧道开挖后围岩变形 Δt 与支护抗力(p_i)之间关系的特征曲线。它清楚地表明,欲使围岩产生的变形越小,则需提供的支护抗力越大。如果允许围岩产生较大的变形,则可施加较小的支护抗力,当围岩变形超过允许值时,围岩就产生破坏,形成作用于结构体上的“松散压力”,此时支护结构所承受的荷载反而增大。因此理想的设计是,以最小的支护抗力维护围岩稳定,及时有效地限制围岩有害变形的发展。在特征曲线的 K 点处进行支护是最合理和最经济的。采用预应力锚固技术,可以及时、提供均匀支护抗力,有效地限制围岩有害变形的发展,维护围岩的整体稳定。

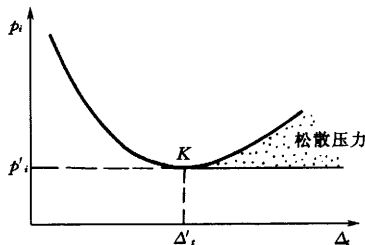


图 8-5-3 围岩变形与支护特征曲线

预应力锚杆对围岩整体的锚固作用,主要表现在可以充分利用预应力钢材具有较高

的抗拉强度和一定程度的抗剪强度来加固岩层 ;还可以采用预应力锚杆锁紧围岩介质 ,提高围岩之间的摩擦阻力 ,通过咬合作用 ,使不稳定的表层与未遭破坏影响并依然具有较高承载能力的深层岩体形成整体。

预应力锚固技术对松散岩层的锚固作用 ,已被美国 Lang 用砾石在下述试验中证实 :在一个金属桶中填满了粒径为 10mm 的砾石 ,填石料桶中预先设置许多螺栓 ,将砾石振动捣实至一定程度 ,然后在砾石表面对螺栓施加压力 ,此时当料桶旋转向下时 ,不但砾石不滚出 ,而且由于预应力产生侧向压力的作用 ,还能使砾石从中间向桶壁传递较大荷载。这充分证明了预应力锚杆对松散岩体的锚固作用。

(二)调整围岩中的应力状态 ,提高围岩稳定性

为了研究预应力锚杆对围岩的加固机理 ,许多工程技术人员进行了光弹试验 ,图 8 - 5 - 4 是单根预应力锚杆引起的围岩的应力状态 ,图 8 - 5 - 5 是群锚之间的围岩应力状态。

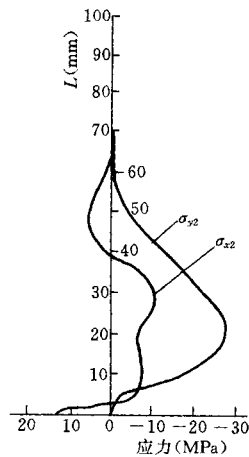


图 8 - 5 - 4 单根预应力锚杆对围岩中的应力调整作用

($P = 400\text{N}$, $q = 0$)

σ_y —径向应力 ; σ_x —横向应力 ;

负为压应力 ,正为拉应力

试验表明 ,单根锚杆能引起附近围岩产生双向压应力状态 ,在洞表层出现径向拉力 ,围岩内则出现横向拉应力。压应力区对围岩稳定是有利的 ,拉应力区对围岩稳定是不利的。

对于锚杆群 ,也是形成一个双向受压区。整个锚杆群使洞室上方形成一个双向受压带 ,由于这个双向受压带在洞室上方 ,显然利于围岩稳定。为防止表层的拉应力 ,采用普

通砂浆锚杆是有效的方法。

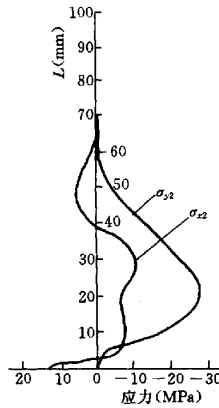


图 8-5-5 群锚对围岩应力的调整作用

($P = 400\text{N}$, $q = 0.6\text{MPa}$)

为了探讨预应力锚杆调整应力场的情况,还用有限单元法进行了计算,计算结果如图 8-5-6 所示。图左边是毛洞的应力状态,在岩洞上方产生较大的拉力区,洞室是难于稳定的,预应力锚杆加固后,洞室上方的拉力区转移到锚杆端部围岩上方,保证了岩洞上方有一个受压区,改善了围岩的应力状态,有利于围岩稳定。显然,压缩带的厚度(B)愈大对围岩的稳定愈有利。压缩带厚度 B 与锚杆的长度 L 和间距 D 的比值 $K = \frac{D}{L}$ 有关: K 愈大, B 愈大。模型试验表明,当 $K = 1.5$, $B = 0.15L$;当 $K = 2$, $B = 0.3L$;当 $K = 3$, $B = 0.6L$,即预应力锚杆布置愈密,压缩带愈厚。但是,预应力锚杆过密,经济性不好。一般来说,选用 $K = 3$ 、 $B = 0.6L$ 较为妥当。对于系统布置的预应力锚杆,锚杆间距选用锚杆长度的三分之一,大致可以获得锚杆长度之半的压缩带厚度。整体加固围岩时,一般可以按此选择预应力锚杆的参数。

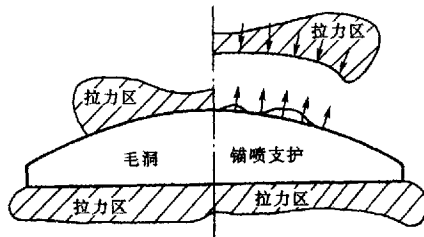


图 8-5-6 有限元法计算结果比较

二、对层状岩层的加固作用

对层状岩层施加预压应力后,预应力锚杆不仅可将若干岩层穿联在一起,将薄层变成厚层形成更厚的岩层,由于预压应力的作用,还可使层间摩阻力增大,从而增强层状岩层的稳定性并提高其承载能力。在层状岩层中,预应力锚杆的布置方向十分重要,它直接涉及到预应力锚固的效果。预应力锚杆与岩层的法线夹角为 α ,预应力为 P , P 可分解为两个力:正压力 N 和上提力 S , $N = P\cos\alpha$, $S = P\sin\alpha$ 。显然, N 大,则 S 小, S 大则 N 小, N 大,则层面间的摩擦力增大。当预应力锚杆垂直层面时,其值最大,此时,上提力 S 为零;上提力 S 大,因对围岩施加一个向上的推力,则同样可以防止沿层面的滑动。

三、对不稳定岩体的局部加固机理

岩体中由于各种结构面的组合,经常有局部的不稳定块体产生。这种不稳定块体几乎所有工程都能遇到。由几组软弱结构面切割形成的不稳定岩块,其运动形态为滑动、转动、倾倒、坍塌等。对于滑动、转动、倾斜等,均可参照层状围岩加固分析方法,视具体情况确定锚杆的参数。如需详细分析计算,则可采用赤平极射投影与实比例投影相结合的方法,对岩块进行稳定性分析,预应力锚杆可化为外加力系。对于可能坍塌的岩块,预应力锚杆可按悬吊作用进行计算分析。此时,预应力锚杆必须穿过不稳岩块,锚固在稳定围岩上,据此确定锚杆的长度。

第三节 预应力锚固技术的新进展

预应力锚固技术由于可以充分调动围岩的固有承载能力,改善围岩和结构的应力状态,所以得到了迅速的发展和广泛的应用,主要表现在以下几方面。

一、应用领域与范围扩展迅速

预应力锚固技术在国际国内都均有着广泛的应用领域,例如地下工程的围岩加固,各种自然边坡、人工边坡的加固,各种建筑物的基础加固,结构物内部的应力调整,高层建筑深基坑的加固,不稳定岩质边坡的加固,甚至不稳定土体的加固等,应用的部门涉及到水利水电工程、铁路隧道、公路、桥梁、工业民用建筑等各个领域。目前,在工程应用上已形成了三个体系,即桥梁预应力技术、结构预应力技术、岩土工程预应力技术。其中,

桥梁预应力技术发展最快。因为采用预应力技术可以实现大跨度跨越,且承载力大,斜拉桥、立交桥已广泛应用。结构预应力技术能解决许多大型工程的结构稳定、强度等难题。例如,超高结构的电视塔抗倾覆问题、大跨度厅堂的承载力问题,采用了预应力技术就能迎刃而解。

(一) 地下工程的应用

预应力锚杆应用于地下工程是从 20 世纪 70 年代开始的,1972 年总字 306 部队、北京市市政工程研究所、海军后勤部设计研究局共同研制了 600kN 胀壳式预应力锚杆。该锚杆的张拉段采用 6 根钢绞线组成。随之应用在某地下飞机库(37m 跨断裂的双曲钢筋混凝土拱架的加固),该工程共用了 32 根大锚杆,从而控制住了断裂带衬砌的变形,获得了良好的效果,首次显示了预应力锚杆对大跨度地下工程具有优越的支护作用。随后,又在 405 大跨度工程穿越千枚岩断层带、龟山大洞室加固等工程中得到应用。在实践中,发现胀壳式内锚头锚固效果受岩体的性状影响较大,适应性受限制,因而又开始了二次注浆预应力锚杆的研究。二次注浆预应力锚杆首先在地质条件较差的大跨度“丁”字形洞室中应用,该洞室尺寸为 24m×24m,位于古生代寒武系地层中,岩层倾角平缓,以结核条带状灰岩为主在拱顶 15~20m 处以泥质泥灰岩为主。拱顶岩石主要是暗紫色块状泥灰岩与深灰色中厚层泥灰岩互层,间杂灰黄色薄层泥灰岩与暗紫色泥灰岩互层。层间多为泥质胶结物,结合力差。泥质泥灰岩抗风化能力弱,开挖后数月就风化成薄片状。岩石含泥量高,粘土含量占 53%,岩层松软,遇水易软化。岩石强度低,其抗压强度一般为 15.1~19.5MPa,最低只有 7.2MPa。由于地层古老,曾经受多次地壳构造运动的破坏,岩石产状紊乱,节理裂隙极为发育,纵横分布。张性节理密集又互相切割,局部有高岭土充填。扭压破裂面发育,岩层异常破碎,渗水严重,岩体力学强度及整体稳定性极差,岩石坚硬系数仅为 1~2,稳定性系数为 1~1.5。

在“丁”字形洞室交叉部位采用 500kN 级预应力锚杆,共 60 根,长度为 24m,联系拱块及加强拱部位布置 500kN 级预应力锚杆 51 根,长 14m。二次注浆锚杆首次在该工程获得成功,随后又在 409 工程成功地处理了塌方,实现了对软岩的预应力加固。在此基础上又开发了 600kN 级、900kN 级及 1200kN 级预应力锚杆,均保证了二次注浆的密实和加固效果。

预应力锚杆由于国防部门的成功应用,在水电部门随着大型地下洞室的兴建,对岩体加固也提出了新的要求,首先在白山水电站地下厂房、继而在丰满水电站泄洪洞成功应用了 600kN 级胀壳式预应力锚杆。进入 20 世纪 80 年代,随着地下工程的增多,地质条件的多样化及洞室尺寸的加大,对预应力锚固技术也提出了更高的要求。十三陵、二滩、鲁布革、小浪底大型洞室的建设,要求预应力锚杆提供的锚固力进一步加大,使水利

水电的地下工程应用预应力锚杆提供的锚固力加大到 1500kN ,内锚固段也由机械式发展成为胶结式。

预应力锚杆在煤炭系统中的地下工程中 ,也有普通的应用。

(二)边坡加固的应用

水利水电工程中采用预应力锚杆加固的工程很多 ,不论是天然边坡还是人工边坡 ,几乎所有的工程均存在稳定问题 ,最早采用预应力锚杆加固的是镜泊湖扩建工程的进水口 ,采用水下岩塞爆破开挖 ,为防止边坡滑动 ,采用了 20 根 1100kN 级预应力锚杆加固边坡。该锚杆采用胀壳式内锚头 ,高强度钢丝作张拉段。钢丝与锚头连接采用爆接技术 ,外锚头采用螺杆式钢锚头。由于采用预应力锚杆的加固方案可节省 50% 的工期 ,同其它加固措施比较 ,还可节省投资 20% ~ 50%。由于预应力锚固对边坡的扰动最小 ,因此得到了更为广泛的应用 ,最为典型的边坡加固工程是漫湾水电站的边坡加固。

1987 年 1 月 ,漫湾水电站 ,大坝和厂房范围内的左岸边坡发生 10 万 m^3 的塌滑 ,严重影响了工程建设 ,通过稳定复核 ,需要对长 310m 的边坡提供 $4.34 \times 10^6 \text{kN}$ 的阻滑力进行加固。龙羊峡、李家峡水电站 ,由于河谷狭窄 ,山体陡峻 ,两岸岩体质量差 ,风化严重 ,岩体破碎 ,再加顺坡节理影响 ,边坡稳定性差 ,对两电站的建设危害极大。李家峡电站采用了 600 ~ 3000kN 级预应力锚杆进行加固 ,仅 600kN 级预应力锚杆就用了 1227 根 ;龙羊峡水电站采用了 2000 ~ 10000kN 级预应力锚杆共 237 根 ,对两岸边坡进行了加固 ,总锚固力为 828000kN。

在工程建设中 ,为解决工程布置的要求 ,在山体中开挖成高陡边坡 ,为了保证工程的安全运行 ,均采用了预应力锚杆进行锚固。例如小浪底进口高边坡 ,坡高 108.5 余 m ,坡度为 1:0.1 ~ 1:0.2 ,岩体风化严重 ,断层和层理发育 ,边坡稳定性受到影响。为此采用了 1000 ~ 2000kN 级预应力锚杆 ,共 414 根进行了全面加固 ,总锚固力达到 522000kN。

三峡工程是世界瞩目的巨型水电站 ,总长 6442m、高 170m 的五级船闸 ,边坡高度最大的二、三级闸室的两侧边坡共布置 1000kN 预应力锚杆 226 根 ,3000kN 预应力锚杆 203 根 ,直立墙及中隔墩共布置 3000kN 级预应力锚杆达 1684 根 ,还布置了一定数量的随机预应力锚杆 ,预应力锚杆之多 ,堪称预应力锚杆应用之最。

铁道、冶金、城建交通等部门的边坡工程都有采用预应力锚杆加固的实例。例如 ,位于福建省漳平市南 23km 处之梅剑铁路 K1 + 790 ~ + 888 左侧边坡 ,由于切割山体坡脚形成临空面 ,加之岩层风化剥落 ,致使边坡开裂、膨胀变形。曾先后进行过三次整治。1990 年 9 月 ,受强台风影响 ,该边坡再次出现险情 ,上部出现纵向拉张裂缝 ,中下部鼓胀变形 ,坡脚挡墙产生水平裂缝 ,严重地威胁到梅剑铁路及鹰厦铁路的运营安全。经研究 ,采用了以预应力锚杆为主的综合整治方案。边坡上部设置了四级减载平台 ,共减载土方

约 6000m^3 。边坡中、下部设计了 135 根预应力锚杆,实际施工锚杆 137 根。其中 630kN 级锚杆 60 根,360kN 级锚杆 77 根,锚杆长 $11.5 \sim 27.5\text{m}$,总锚固吨位 65520kN 。

采用预应力锚杆对深基坑进行加固,不仅占地少,安全可靠,施工速度快,还可节省投资 20%,因此得到了更为广泛的应用。例如上海太平洋饭店基坑面积为 6000m^2 ,深 11.65m ,邻近地带还有公路和正在建设的扬子江大酒店,该工程共布置 4 层间距 1.86m 、长度为 30m 的预应力锚杆,锚杆张拉荷载为 $400 \sim 720\text{kN}$ 。北京王府井宾馆、京城大厦、上海人民广场地下停车场、上海龙华污水处理厂沉淀池等,都应用了预应力锚固技术,并取得了良好的经济效果。

(三) 基础加固的应用

大坝或其它建筑物的地基中,往往存在对坝基稳定有一定影响的软弱结构面,或者由于坝基岩体软弱、破碎,使大坝或其它水工建筑物的抗滑稳定安全系数降低。加大正应力,进而增强其抗滑稳定性,采用预应力锚杆是经济、有效的加固措施之一。

国外于 20 世纪 40 年代就开始应用预应力锚杆加固坝基。例如阿尔及利亚的舍尔法坝、美国的密尔顿湖坝、摩洛哥的拉勒泰克豪斯特(Lallata Kerhoust)坝等,都采用预应力锚杆增加大坝与坝基的摩擦力以提高其稳定性。

我国应用预应力锚杆技术加固地基始于 20 世纪 60 年代,水电系统是应用预应力锚杆最早的部门。例如梅山水库大坝,坝高 88.24m ,1962 年由于坝基断层,裂隙发育,完整性很差,再加上缓倾角节理的存在,造成右岸坝头和坝基不稳定,抗滑安全系数仅为 0.95。为此采用了预应力锚杆进行加固,安装预应力锚杆 110 根,施加预压应力 277140kN 。加固后,坝基抗滑稳定安全系数提高到 1.05,满足了大坝稳定要求,同时减少了渗漏量。又如麻石支墩大头坝基础,共安装预应力锚杆 99 根,施加的锚固力为 220500kN ,双牌溢流坝下游,共安装预应力锚杆 274 根,提供锚固力 893750kN ;丰满大坝共布置 361 根预应力锚杆,提供的总锚固力为 707250kN ,在 #51 坝段安装了 6000kN 级大吨位预应力锚杆。

此外,还有石泉等大坝基础,也相继采用了预应锚杆进行加固。除大坝地基以外,一些闸室、导墙,也采用预应力锚杆抵抗上浮力或抗倾覆。

(四) 坝体加固的应用

为满足防洪、取水或增加发电量的需要,有时需对已建坝体进行改造、加高。坝体加高后,如何解决坝体抗滑稳定,是一个很重要的问题。通过预应力锚杆对坝体提供足够的正应力,是解决坝体稳定的重要途径之一,也是十分经济的办法[见图 8-5-7(a)],由于运行或其它原因,已修建的水工建筑物出现裂缝和其它局部破坏,影响工程的安全运行,需要采取加固补强措施,应用预应力锚固技术也是非常简便可行的方法[见图 8-5-

(b) 例如丰满水电站建成于 20 世纪 40 年代,已运行 50 余年,坝体混凝土老化,质量变差。近几年,为提高坝体混凝土质量,除采用灌浆补强外,还对坝体进行了加高、加厚,并在上游增设防渗面板等处理措施,为解决防洪和减少弃水,还提高坝顶高程 1.2m,并采用了预应力锚固技术。预应力锚杆施工不仅从廊道伸向坝基,还有部分锚杆从坝顶垂直伸入到坝基。单根锚杆施加预应力达 6000kN,锚杆长度达 61.2m,是我国目前单根张拉力最大并且长度最长的预应力锚杆,对提高坝体稳定性起到了至关重要的作用。

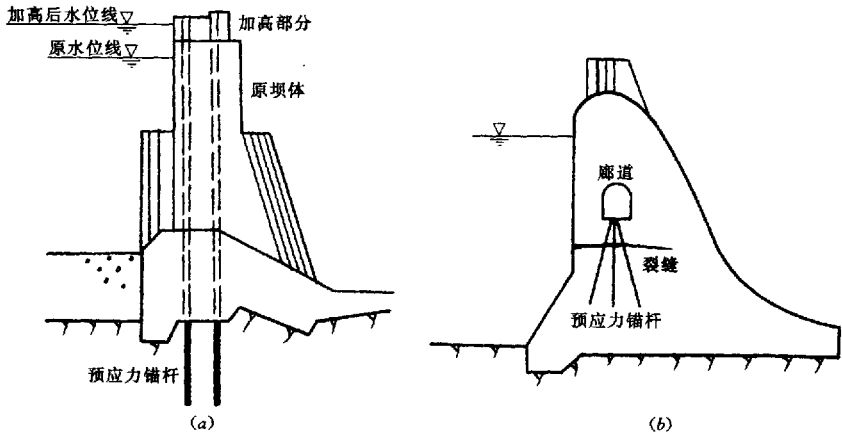


图 8-5-7 坝体加高与补强

又如,葛洲坝水库采用了 124 根 600kN 级预应力锚杆加固了坝体裂缝,潘家口水库则采用 9 根 3000kN 级预应力锚杆加固了 197.0m 高程的裂缝,有效地抑制了水平裂缝的发展;白山水电站也在 347.5m 高程用 26 根 600kN 级预应力锚杆有效地加固了平行坝轴线的贯穿[#]15 坝段的裂缝,保证了按时下闸蓄水。

(五) 预应力闸墩加固的应用

在大型水利水电工程中,由于弧门推力加大,闸墩将承受较大拉应力,对于尺寸不能过大的闸墩来说,这是十分危险的。为改善支撑结构的工作条件,优化闸墩的结构设计,确保弧门的安全运行,在闸墩中布置一定数量的预应力锚杆,将闸墩中的拉应力控制在允许的范围之内是最有效的办法。美国在 20 世纪 50 年代,首先在弧形闸门的闸墩上应用了这种技术。20 世纪 70 年代,我国葛洲坝大江、二江的泄水闸表孔,首先布置 30 根张拉力为 3157kN 级预应力锚杆,随后,鲁布革、岩滩、水口、安康、二滩、铜街子、东风、漫湾以及小浪底的排砂洞,均应用了预应力锚杆。拟建的大藤峡水利枢纽,弧门的最大推力将达 58829kN,采用预应力锚杆的设计张拉力将达到 4700kN。

(六) 压力隧洞环形锚束的预应力衬砌

压力隧洞中,由于衬砌将承载较高的内水压力,在内水压力作用下,衬砌将出现较大拉

应力。这是普通钢筋混凝土衬砌所不能容许的。为了改善衬砌结构的工作状态,减小衬砌厚度,只能采用预应力结构。目前我国为使衬砌形成预应力,一种方法是对围岩及衬砌进行高压预应力灌浆,例如白山高压引水隧洞的高压灌浆式预应力衬砌;另一种方法是采用环形锚束对衬砌施加预应力,例如隔河岩压力引水隧洞和天生桥一级压力引水隧洞。小浪底排砂洞在总结隔河岩环锚预应力衬砌经验的基础上,对环锚预应力衬砌结构进行了改进,通过室内外 1:1 的模型试验研究和现场模拟试验,已成功应用于工程实践。

小浪底排砂洞应用环形锚束施加预应力的总长度为 2169m,洞径 6.5m,衬砌厚度 650mm。采用无粘结预应力锚束双环布置,每束由 8 根 $\phi \times 75$ 钢绞线组成,共 4320 束,每束张拉力为 1674kN,材料强度利用系数为 0.75。实测结果表明,无粘结预应力筋的摩擦系数为 0.032,张拉时千斤顶和偏转器的预应力损失为 12%,衬砌中获得了较均匀的预压应力,其外围平均压应力为 5.15MPa,内圈平均压应力为 7.16MPa。

二、预应力锚杆张拉力的提高

预应力锚杆张拉力大小与张拉机具、内锚固段承载能力和外锚头的性能有关。随着预应力锚杆应用领域和范围的扩大,对锚杆张拉的要求越来越高,在国外单根预应力锚杆的张拉力早在 20 世纪 30~40 年代就已达到 10000kN,据目前掌握的资料,其最大张拉力已达 13000kN。我国于 1965 年在梅山大坝基础加固中应用的钢丝束预应力锚杆,单根的最大张拉力为 3240kN。进入 20 世纪 70 年代,我国应用的预应力锚杆单根张拉力大多数为 300~1100kN。为了适应我国预应力锚固技术的发展,国家在“七五”期间专门安排了高坝基础高吨位预应力锚固技术的研究,其中主要内容之一便是高吨位张拉千斤顶的研制。1989 年我国首台 60000kN 级张拉设备研制成功,并于 1989 年在丰满坝基一次张拉成功。接着,上海黄浦大桥、杨浦大桥相继应用 6000kN 的张拉设备,完成了两座斜拉桥的施工,使我国预应力加固水平提高到了新的阶段。所以,20 世纪 80 年代以后,我国预应力锚杆的张拉力大多为 3000~6000kN。以后石泉水库大坝的加固,又将我国单根预应力锚杆的吨位提高到了 8000kN,在“八五”期间西北勘测设计研究院在龙羊峡岸坡的加固中,又应用了 10000kN 级的预应力锚杆,使我国的预应力锚杆的张拉力达到了国际先进水平。

三、预应力锚固体系的研制取得新进展

预应力锚杆的锚固体系,主要由外锚头(外锚固端)、内锚固段(内锚头)和锚束三部分组成。锚杆的三个组成部分型式不同,锚杆体的类型也不同。随着预应力锚固技术的发展,锚杆体的种类也越来越多。区别锚杆体的类型,主要依据外锚头的结构类型。

内锚固段的主要类型有两种 :一种为机械式锚固段 ,由金属加工而成 ,例如胀壳式等 ;另一种为胶结式 ,胶结式锚固段可以用水泥砂浆 ,也可以用树脂做胶结材料。

锚束是采用抗拉强度较高的材料制成的提供锚固力的部件。目前应用的材料主要有高强钢丝、高强钢丝制成的钢绞线及精轧螺纹钢筋。近几年新开发的锚束材料还有无粘线预应力钢绞线等。

(一)关于锚夹具

锚夹具是外锚头的重要组成部分 ,而锚夹具的关键部件是锚板和夹片 ,它们直接影响张拉和锁定的效果。对锚板和夹片的要求是 :锚杆张拉时不断丝、能自锁 ,锁定时锚杆回缩量要小。因此对锚板和夹片加工的要求非常严格 ,工艺也非常精良。

20 世纪 60 年代 ,我国刚开始应用预应力锚杆时 ,没有专门的锚夹具 ,外锚头是采用钢筋混凝土墩头锚 ,由于施工复杂 ,占用场地大 ,预应力不易保持 ,而且张拉力也比较小。“七五”期间在研制单束预应力锚杆为 6000kN 的张拉设备时 ,还专门研制了 6000kN 级的锚固机具(包括工具锚、工作锚 ,锚夹片) ,并形成了 1000kN、2000kN、3000kN 及 6000kN 级系列预应力锚夹具。其锚固效果、锚具的回缩量、自锁能力、锚夹具的生产工艺、精度要求 ,均达到了国外同类产品的水平 ,现在已形成品种齐全 ,适应各种预应力级别锚杆的需要 ,并经国际 ISO9000 认证的系列产品。目前我国生产的锚夹具品种 ,主要有 OVM 锚、DM 锚、GLM 锚、XM 锚、LM 锚和 YFM 锚。这些锚夹具也在国内各种锚固工程中广泛应用 ,有些产品还进入了国际市场。

(二)关于内锚固段

内锚固段主要有两种锚固方式 :一种为机械式锚固 ,另一种为胶结式锚固。

1. 机械式内锚固段

机械式内锚固段又称内锚头 ,其构造见图 8-5-8。

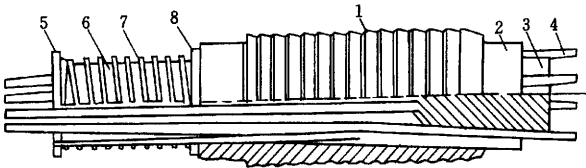


图 8-5-8 机械式内锚头结构

- 1—外夹片 2—锥筒 3—六棱锚塞 4—钢绞线 ;
5—托圈 6—套管 7—机簧 8—垫圈

机械式锚固段有许多优点 ,施工简便 ,可以实现快速张拉。如大型地下洞室的顶拱加固 ,锚杆垂直向上 ,灌浆困难 ,采用机械式锚固段则施工简便 ,而且锚固效果较好。机

机械式锚固段主要靠凹凸不平的金属夹片与孔壁的咬合和摩擦提供张拉力。当锚杆拉紧后,锚固段与孔壁处于紧密接触状态,随着拉力的增加,咬合力和摩擦力也随之增加。由于锚固段凸起部分靠张拉力嵌于岩石内一定深度,这无疑增大了锚杆的锚固效果。但是,由于锚固段部位的岩体软硬差别较大,遇到较坚硬的岩石,锚固段凸起部分嵌入岩石内的深度不可能很深,靠咬合提高的锚固力将受限制,而遇到软弱岩石,锚固段凸起部分嵌入岩石的深度可能较深,但由于岩石软弱,当对锚杆施加张拉力时,首先被破坏的是锚固段部位的岩体。锚固段部位岩体一旦破坏,锚杆的张拉力也就无法维持了。其次,机械式锚固段尺寸不可能很大,孔壁的咬合力和摩擦力也不可能太高。根据已建工程的经验,机械式锚固段所提供的锚固力,一般情况下为 1000kN 左右。

当锚固工程的环境温度较低,胶结材料处于受冻或胶结材料较长时间不凝结时,应采用机械式锚固段。

为了迅速提供支护抗力和制止“危岩”塌滑,必须立即张拉时,应尽可能采用机械式锚固段。我国初期应用的预应力锚杆由于吨位小,多用这种型式内锚头。

2. 关于胶结式内锚固段

随着单根锚杆张拉力的加大,早强注浆材料的研制成功,目前不论多大吨位的预应力锚杆其内锚固段,均采用了胶结式。胶结式内锚固段的长度,主要受两个因素制约:一是锚固段的胶结材料同孔壁的粘结力,二是胶结材料同钢丝或钢绞线的握裹力。

试验资料表明,当对预应力锚杆施加张拉力时,锚根的摩阻力分布是不均匀的,并呈倒三角形分布,见图 8-5-9(a),为改善锚固段区域的应力状态,日本等国对锚固段的结

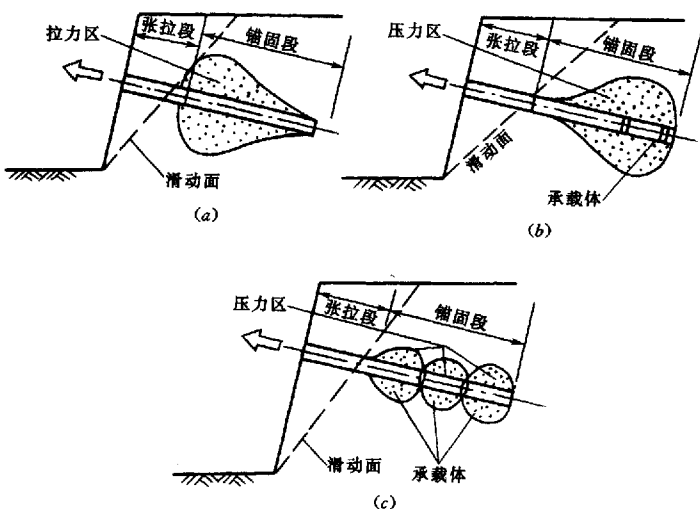


图 8-5-9 各种型式锚固段应力分布示意图

(a) 常规锚固段应力分布 (b) 压缩集中型锚固段应力分布 (c) 压缩分散型锚固段应力分布

构型式做了改进,将锚固段做成压缩型或分散压缩型,将锚固段区域的拉应力变为压应力,大大改善了锚固段的应力状态,扩展了预应力锚杆的使用范围,为发展高荷载预应力锚杆创造了条件。这种型式的锚头已引入我国,压缩型及分散压缩型锚头构造见图 8-5-10。其锚固段应力分布状态,见图 8-5-9(b)和图 8-5-9(c)。

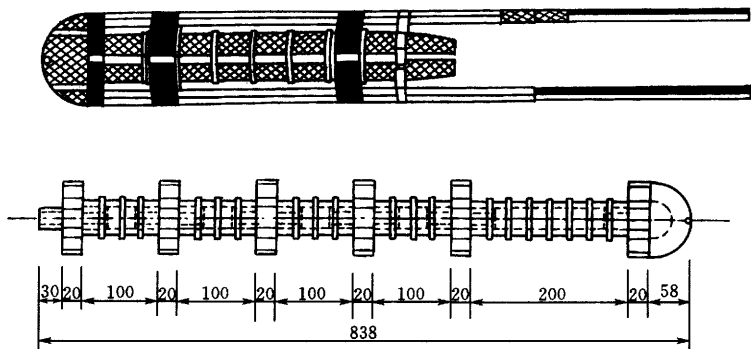


图 8-5-10 压缩集中型及压缩分散型锚固段结构(单位:mm)

(三)关于锚杆体

锚杆体又称锚束,俗称预应力锚杆的自由段。一般采用高强预应力钢丝或高强预应力钢绞线。

锚束是为预应力锚杆提供张拉力实现对工程的加固载体。其工作机理是,当对高强钢丝或钢绞线施加张拉力时,钢丝或钢绞线将伸长,如果再将两端联接锚束的锚固段和外锚头锁定,锚束的伸长量不能回缩,此时对锚固介质产生压应力,从而达到加固的目的。对于永久的锚固工程,必须要求锚束的伸长量长期保存,这就要求锚束的材料,具有良好的弹性和低松弛特性,以保证预应力损失小、锚固效果好。

我国生产的预应力钢丝和预应力钢绞线均为定型产品,并制定了国家标准 GB/T—5223—1995 和 BG/T—5224—1995,预应力锚杆设计、施工、试验及验收均应以此为标准。

在实际锚固工程中,为了施工安装方便,也可以采用强度较大的精轧螺纹钢筋作为锚杆材料。丰满坝体加固时,采用了精轧螺纹钢筋做为锚杆材料,取得了较好的加固效果。

无粘结式预应力锚杆是近几年发展起来的具有特殊防腐、防锈性能的可以使预应力筋自由伸缩的预应力锚杆,已开始广泛地用于各种工程的加固。例如小浪底进、出口边坡加固和地下厂房加固,几乎全部是采用这种类型的锚杆。日本生产的无粘结预应力锚杆的基本结构见图 8-5-11,包裹尺寸见表 8-5-6。我国也开始生产这种类型的预应

力锚杆,其结构尺寸及包裹材料见表 8-5-7 和表 8-5-8。锚杆体采用的包裹材料应有一定强度,以防止因运输或施工过程中造成破损而失去双层保护的作用。此外还要求包裹材料对锚杆不产生腐蚀作用并具有化学稳定性。

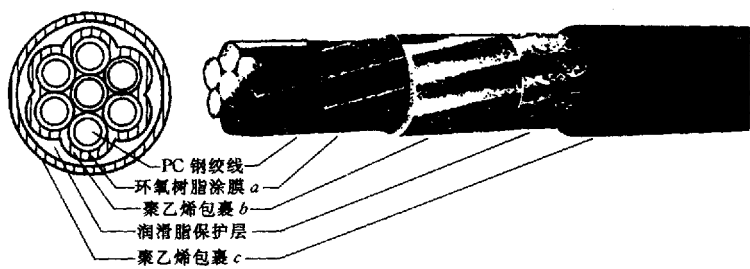


图 8-5-11 无粘结式预应力锚杆基本结构

表 8-5-6 锚杆包裹材料厚度表

| 锚杆材料 | 标准外径 (mm) | 涂膜式包裹厚度 (mm) | | | 标准润滑脂涂数量 (g/m) |
|---------|----------------|-------------------|-----|-----|---------------------|
| | | a | b | c | |
| 7 股钢丝绞合 | 20.0 | 0.1 | 0.6 | 1.0 | 36 |

表 8-5-7 我国生产喷涂钢绞线参数

| 钢绞线种类 | 12.7 钢绞线 | 15.2 钢绞线 |
|---------------|-----------|-----------|
| 标准外径(mm) | 13.6 | 16.1 |
| 标准单位重量(g/m) | 793 | 1123 |
| 标准被膜厚度(mm) | 0.14 | 0.14 |
| 标准被膜重量(g) | 17.6 | 21.0 |
| 被膜材料 | 日本产环氧树脂粉末 | 日本产环氧树脂粉末 |

表 8-5-8 我国生产无粘结预应力筋参数

| 钢绞线种类 | 12.7 喷涂钢绞线 (按日本标准) | 15.2 喷涂钢绞线 (按日本标准) | 15.2 光面钢绞线 (我国建议标准) |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 无粘结筋外径 (mm) | 16.8 | 19.3 | 17.8 ~ 18.5 |
| 无粘结筋重量 (g/m) | 891 | 1239 | 840 ~ 870 |
| PE 厚度 (mm) | 1.1 | 1.1 | 0.8 ~ 1.2 |
| PE 重量 (g/m) | 51 | 59 | 30 ~ 60 |
| 建筑脂用量 (g/m) | 47 | 57 | ≥35 |

四、胶结材料强度进一步提高

为了提高锚固效果,缩短内锚固段长度,并使胶结式内锚头尽快提供锚固力,在胶结材料的研究方面做了大量的试验研究工作。研究表明,当采用水泥浆为胶结材料时,其配比为硅酸盐 525 号水泥,水灰比 0.38,掺入 10% EA 型复合膨胀剂和 0.6% UNF—5 高效减水剂,7 天强度可达 55.3MPa,28 天强度为 81.3MPa。这就进一步扩大了高吨位预应力锚杆的应用范围。

五、原位监测技术得到重视和加强

预应力锚固技术是一种较为成熟而又处于发展中的加固措施,工序比较复杂,种类繁多,应用广泛,而且制约因素较多,又多用于隐蔽工程。为了进一步推动新技术和保证工程安全,许多工程特别是一些重要工程都非常重视原位监测工作,布置了大量的观测仪器和设备。例如小浪底进出口边坡及地下厂房的加固布置了测力计、测斜仪、多点位移计;白山大坝裂缝的加固还布置了测缝计和位移计;李家峡、漫湾及三峡船闸的高边坡加固以及葛洲坝船闸的加固等,均布置了观测仪器。原位监测不仅为加固工程的安全性做出了及时的评价,而且还指导了预应力锚杆的施工,也为进一步揭示预应力锚杆的工作机制,总结预应力锚固设计经验和提高设计水平提供了依据。

由于各工程单位对原位监测的重视,为原位监测技术的发展提供了条件,研制出了一批精度高、性能稳定、测量方便的监测仪器,例如 6000kN、3000kN、2000kN、1000kN 预应力锚杆测力器,性能稳定的测斜仪、多点位移计、收敛计等。

第四节 锚杆施工准备

锚杆施工质量的优劣,直接影响锚杆的承载能力。同时,根据工程条件和地质条件,选择适宜的施工方法,对提高施工效率和取得良好的经济效益也至关重要。因此事先应对施工方法和所使用的材料进行充分的研究,并认真组织施工。在施工过程中,如遇与原设计条件有差异时,应及时报告设计人员,并提出处理办法。锚杆施工具有隐蔽性强和专业性强的特点,施工人员的经验直接影响到施工质量,所以应由具有一定施工经验的专业化施工队伍承担。锚杆的施工主要包括施工准备、材料选择、锚杆钻孔、杆体制作与安放、锚杆注浆及张拉锁定等工序。

一、施工前的调查

锚杆是埋入地层中的受拉部件,属于隐蔽工程,为顺利进行锚杆施工,施工前应对下列事项进行调查核实:

1. 工程计划、锚固计划、设计图纸、地层性状等基础资料是否齐备完整。
2. 地下水状态及水质:在钻孔和注浆过程中需用大量的水,要考虑地下水是否可以利用。另外,应调研地下水对钻孔方法、注浆数量和浆液浓度的影响,并采取相应的对策。
3. 地下埋设物和障碍物:这些在规划设计阶段已考虑的问题,在施工前应再度进行细部检查复核,实际确认无影响后方可施工。
4. 锚固工程周边的情况:掌握周边各种建筑物、构筑物及交通道路和其他情况对锚杆施工的影响并确定对策。
5. 废弃物的处理:对钻孔、注浆及冲洗注浆设备和管路排出的污水污物,必须进行适当处理。
6. 作业限制、环保法律、地方法规:应充分了解并掌握这些法律、法规对确定工程进度和管理的影响。
7. 其他:对施工空间、各种设备、辅助设施、工程用道路、与其他工种的配合关系、安全、卫生管理、气象条件等都需要进行相应的检查。

二、施工组织设计

锚固工程开工前,应详细制订施工组织设计,确定施工方法、施工材料、施工机械、施工程序、质量管理、进度计划、成本计划和安全管理等事项。锚固工程的施工组织设计一般应包括以下项目。

1. 工程概况:工程名称、工程地点、工程量、工期、地质情况。
2. 设计对锚固工程的要求。
3. 锚固工程材料。
4. 施工机械。
5. 施工组织。
6. 施工平面布置及临时设施。
7. 施工程序及各工种人员的配备。
8. 工程进度计划。
9. 施工管理及质量控制计划。

- 10. 安全、卫生管理计划。
- 11. 应交付工程验收的各种技术资料。
- 12. 编制施工管理程序示意图 ,该框图的一般模式见图 8-5-12。

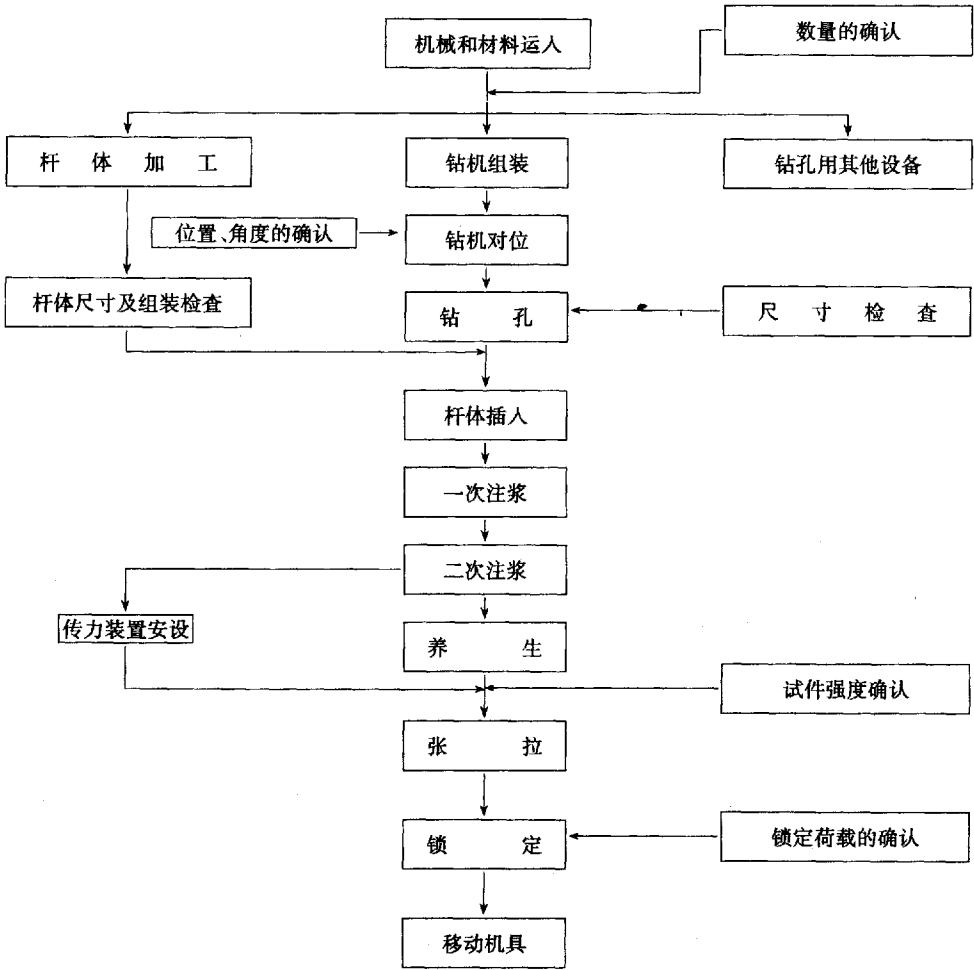


图 8-5-12 锚固工程施工管理程序示意图

为使锚杆施工顺利进行 ,还应对以下事项给予足够重视 ,并做出实施计划 :

1. 用水量及有关给排水设施。锚杆钻孔洗孔及注浆时所必需的给排水设备 ,视地层、地质、工法、工程规模和施工条件而有所不同 ,套管钻机一般要求每分钟 150 ~ 350L 的水量 ,给水栓宜每隔 50m 左右设置一个。钻孔时使用的清水在孔内与土砂混合成为泥浆从孔口溢出 ,应在钻机后方设置集水坑 ,澄清后作为循环水使用。
2. 供电。钻机、水泵、搅拌机、注浆泵、焊机、张拉设置等电力设备容量 ,视工程规模和使用机型而异 ,一般每组需 30 ~ 100kW。分电箱最好每 100m 内设置一个。

3. 作业空间。锚固工程所需的作业空间 视施工条件而不同 ,一般可参考下列标准 :

①搅拌站及水泥库。一般在钻机工作的背侧设置搅拌站和水泥库 ,场地面积 $50 \sim 100\text{m}^2$;

②杆体加工场地。要与锚杆设计长度相适应 ,并应考虑加工后杆体的存放和运至安放地点的通道 ;

③钻孔作业的空间。不同类型的钻机要求的作业空间也不相同。与锚固工作面平行方向需 $4 \sim 6\text{m}$,垂直方向需 $6 \sim 10\text{m}$ 。安设角度在 $30^\circ \sim 45^\circ$ 的情况 ,需净空高度 $4 \sim 5\text{m}$ 。土层锚杆钻孔作业大都在基坑、地槽的开挖面上进行钻进 ,由于雨水和钻孔用水的渗透 ,会软化作业面使作业效率降低 ,因而排水问题显得特别重要。常用的简便方法是采用砂、砾均铺或铺设脚手板 ;

④作业脚手架。由于作业面的坡度大或作业空间不合适时 ,有必要搭设脚手架。对于预应力长锚杆的施工 ,一般要搭设每平方米承载力至少达 5kN 的重型刚性脚手架 ,其上可安设重量约 1000kg 的钻机。对可接近性差的锚固现场 ,比如在陡岩坡上钻凿锚杆孔则只能安装轻型或悬挂式脚手架 ,同时也只能使用重量最轻的钻机。

第五节 锚杆钻孔技术

锚杆孔的钻凿是锚固工程费用最高和控制工期的关键工序 ,也是影响锚固工程经济效果的主要因素。毫无疑问 ,必须选用最为有效的钻孔方法 ,并认真细致地计划钻孔作业的进度。

锚杆孔的钻凿应满足设计图纸所示的孔径、长度和倾角 ,采用适宜的钻孔方法确保精度 ,要使其后续的杆体插入和注浆作业能顺利地进行。

一、一般要求

1. 在钻孔过程 ,对锚固区段的位置和岩土分层厚度进行验证。如计划的锚固地层过分软弱 ,则要采取注浆加固或变更锚固地层。

2. 根据不同的岩土条件 ,应选用不同的钻机和钻孔方法 ,以保证在杆体插入和注浆过程中孔壁不致塌陷 ,钻孔直径符合设计要求 ,不致使孔壁过分扰动。

3. 钻孔用水以清水为好 ,膨润土悬浊液和泥浆水都会减弱锚杆的锚固力 ,应避免使用。钻孔用水对周边地基和锚固层地基有不良影响时 ,应考虑采用无水钻孔法。

4. 锚固长度区段内的孔壁如有沉渣或粘土附着,会使锚杆锚固力下降,因此要求用清水充分清洗孔壁。

5. 施工过程若有地下水从钻孔内流出,必要时应采取注浆堵水,以防止锚固段浆液流出而影响锚杆的锚固力。

6. 可采用透水试验或从钻孔时送入水的回流情况判断地层的透水程度。

7. 对于滑坡整治和斜坡稳定等工程,钻孔水会产生不良影响,可采用固结灌浆以改良地层或采用无水钻孔法。

8. 对于砂卵石地层、易塌孔地层宜采用套管护壁钻进方式成孔。

二、钻孔精度

钻孔精度视结构物的重要程度和使用目的而有所不同。钻孔过程,应经常检查钻孔的准直度,一般偏离轴线的钻孔误差为钻孔长度的2%。

我国工程建设标准化协会编制的《土层锚杆设计与施工规范(CECS 22:90)》规定:

1. 锚杆水平方向孔距误差不应大于50mm,垂直方向孔距误差不应大于100mm;
2. 钻孔底部的偏斜尺度等不应大于锚杆长度的3%。

国际后张法预应力混凝土学会(FIP)编制的注浆锚杆规范(1982年)提出的钻孔精度如下:

1. 钻孔入口点的允许误差为 $\pm 75\text{mm}$;
2. 钻孔入口点与轴线的倾角、水平角的允许误差为 $\pm 2.5^\circ$ 以下;
3. 锚杆孔任何长度上偏离轴线的允许误差不大于锚杆长度的1/30。

三峡水利枢纽永久船闸高边坡预应力锚索设计钻孔精度为1%,这是国内外锚固工程中不多见的难度非常大的钻孔偏斜控制要求。冶金工业部建筑研究总院与四平东北岩土工程公司和武警水电部队三峡工程指挥部合作,采取研制的DKM水平锚索钻孔机和一整套钻孔偏斜控制方法,使平均长度达40m的锚索钻孔偏斜率控制在1%以内。钻孔偏斜控制的要点是:

(一)设置支点,纠正偏斜

根据该场地的岩性,采用在冲击器和钻杆连接处设支点导正器(主导正器),离主导正器一定距离设钻杆导正器(付导正器),有效地解决了钻头向上或向下的倾斜,保证了钻头按预定的轴线方向钻进。支点纠偏的前提条件是:

1. 岩石坚硬,具有支承钻具的能力;
2. 起支点作用的导正器具有良好的强度、抗冲击性和耐磨性,并具有一定的长度和直径;

3. 钻杆具有适宜的刚度和质量；
4. 钻机应具有合适的钻速和钻压。

实际采用的主导正器直径为 $\phi 140 \sim 150\text{mm}$,长 $80 \sim 100\text{mm}$,付导正器直径为 $\phi 130 \sim 140\text{mm}$,长 $150 \sim 330\text{mm}$ 。

主付导正器的距离由冲击器、钻杆在主导正器处转角为零的条件按结构力学计算 ,三峡永久船闸预应力锚索计算距离为 6.03m ,实际钻进时距离控制在 $4.5 \sim 7.5\text{m}$ 。

(二)采用适宜刚度和重量的钻具

钻具的重量和刚度不仅影响主付导正器的距离 ,还会影响支点的调节作用 ,不利于控制钻孔的偏斜 ,同时还对钻孔速度 ,排碴产生较大影响 ,不利于发挥钻具的效率。冲击器钻头与钻杆的刚度和重量要匹配 ,以获得高精度钻孔。

(三)适时调整导正器的参数

钻进过程中随时进行孔斜的自检并相应调整导正器的参数 ,第一次初检在孔深 20m 左右 ,以后每钻进 5m 左右自检一次 ,根据钻孔偏斜的不同情况 ,适时地调整导正器的参数。

(四)合理的钻进工艺参数

合理的钻进工艺参数及操作工艺是控制孔斜的基础 ,钻压一般为 $6 \sim 10\text{kN}$,钻具钻速 30r/min ,风压 $0.9 \sim 1.1\text{MPa}$,风量为 $15\text{m}^3/\text{min}$ 。

三、钻孔机械和钻孔方法

锚杆孔一般分为两类 ,一类是荷载较小的短锚杆的钻孔 ,另一类是传递较大拉力的长锚杆的钻孔。

(一)小直径短锚杆的钻孔

在岩石上钻凿短锚杆的钻孔(孔径小于 45mm ,长度小于 4.0m) ,一般采用气动冲击钻机。用于加固地下大型洞室的锚杆孔的钻凿 ,也可使用高效移动式单臂或多臂凿岩台车。国内一些单位也曾研制并使用专门用作锚杆成孔、安装的机具。

(二)大直径长锚杆的钻孔

承载力大的锚杆一般要求采用大直径($60 \sim 168\text{mm}$)的深钻孔($5 \sim 50\text{m}$)。可以用冲击钻、旋转钻或两者相结合的方式钻凿长的锚杆孔。应当根据岩土类型、钻孔直径和长度、接近锚固工作面的条件、所用冲洗介质的种类以及锚杆类型和所要求的钻进速度来选择合适的钻机。

在岩石中钻孔 ,宜采用气动冲击钻机和相配套的潜孔冲击器和钻头 ,如漫湾水电站边坡预应力锚杆加固工程采用 $\text{KQJ} - 100\text{B}$ 和 $\text{QZ} - 100\text{K}$ 钻机 ,白山水电站地下厂房预

应力锚索工程采用 YQ－100A 及 YQ－100B 潜孔钻机 ,三峡永久船闸高边坡预应力锚固工程采用 DKM 型、MGJ50 型、MD50 型、MKJ2 型、MZ165 型、SM－400 型、KR804 型钻机。常用钻机的技术性能见表 8－5－9～表 8－5－13。DKM 型钻机和 MD50 型钻机的外形见图 8－5－13 和图 8－5－14。

表 8－5－9 便携式潜孔钻机技术性能

| 技术性能 | 钻 机 型 号 | | | 技术性能 | 钻 机 型 号 | | |
|-----------------|----------|----------|---------|--------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| | QZJ－100B | QZJ－100D | QZ100K | | QZJ－100B | QZJ－100D | QZ100K |
| 钻孔直径 (mm) | 100 | 95 | 105 | 耗风量 (m ³ /min) | 12 | 9.0 | 12 |
| 钻孔深度 (m) | 60 | 60 | 30 | 配用冲击器 | CIR 系列 | CLR 系列 | J 系列 |
| 一次行程 (m) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 外形尺寸 (m×m×m) | 2.38×0.4 ×0.47 | 2.38×0.4 ×0.47 | 2.65×0.46 ×0.37 |
| 使用风压 (MPa) | 0.5～0.7 | 0.5～0.7 | 0.5～0.7 | 主机质量 (kg) | 550 | 600 | 255 |
| 使用水压 (MPa) | 0.8～1.0 | 0.8～1.0 | — | 最大分解质量 (ks) | 195 | 200 | — |

表 8－5－10 履带式潜孔钻机技术性能

| 技 术 性 能 | | 钻 机 型 号 | | |
|----------------------------|------|----------------|----------------|----------------|
| | | KQ－250 | KQ－150 | KQD－80 |
| 钻孔直径(mm) | | 230～250 | 150～170 | 80～120 |
| 钻孔深度(m) | | 16 | 17.5 | 30.0 |
| 回转扭矩(N·m) | | 8620、6920 | 2400、2316、2060 | — |
| 推进力(kN) | | 30 | 4.1～19.0 | 10.0 |
| 一次推进行程(m) | | 8.5 | 9.0 | 3.0 |
| 除尘方式 | | 湿(自带)干(另配) | 湿(自带)干(另配) | 湿(自带)干(另配) |
| 行走方式 | | 电动覆带自行 | 电动覆带自行 | 电动覆带自行 |
| 行走速度(km/h) | | 0.77 | 1.0 | 1.0 |
| 爬坡能力(°) | | 10 | 14 | 20 |
| 使用风压(MPa) | | 0.5～0.7 | 0.5～0.7 | 0.5～0.7 |
| 耗风量(m ³ /min) | | 30 | 17.5 | 9.0 |
| 使用油压(MPa) | | 4.10 | — | — |
| 供电电压(V) | | 380 | 380 | — |
| 电机总容量(kW) | | 387、397.5 | 58.5 | 33.0 |
| 外形尺寸 ,长×宽×高 (m×m×m) | 钻架立起 | 10.2×5.9×21.3 | 12.0×3.1×38.6 | |
| | 钻架平放 | 20.5×5.9×5.1 | 6.6×3.1×12.9 | 6×2.5×2.8 |
| 质 量 (t) | | 45 | 14 | 8 |

表 8－5－11 高观压履带式潜孔钻机技术性能

| 技 术 性 能 | | 钻 机 型 号 | | | |
|----------------------------------|------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | | KQG－165 | KQG－150 | KQG－100 | CM－351 |
| 钻孔直径(mm) | | 165 | 165 | 115 | 105～115 |
| 钻孔深度(m) | | 60 | 17.5 | 30 | 60 |
| 钻具转速(r/min) | | 0～30 | 24、33、49 | 38.6 | — |
| 一次推进行程(m) | | 1.6 | 9.0 | 3.0 | 3.66 |
| 推进力(kN) | | — | 15 | 10 | 13.6 |
| 除尘方式 | | — | 湿(自带)干(另配) | 干(另配型)FC16 | 干(另配)湿(自带) |
| 行走速度(km/h) | | 2.0 | 1.0 | 1.0 | — |
| 爬行能力(°) | | 25 | 14 | 20 | 26 |
| 使用风压(MPa) | | 1.76 | 1.05～2.5 | 0.5～1.2 | 1.05～2.46 |
| 耗风量(m³/min) | | 16.2 | 8～26 | 12 | 17～21 |
| 使用电压(V) | | 380 | 380 | 380 | 380 |
| 电机总容量(kW) | | 18.5 | 70 | 38.5 | 18.34 |
| 外形尺寸 ,长 × 宽 × 高 (m × m × m) | 钻架立起 | 3.1 × 1.4 × 3.5 | 6.6 × 3.1 × 12.9 | — | — |
| | 钻架平放 | 3.1 × 1.4 × 2.2 | 12 × 3.1 × 3.9 | 7.1 × 2.6 × 2.8 | 2.8 × 2.2 × 1.4 |
| 质 量 (t) | | 5.2 | 16.5 | 9.0 | 5.0 |

表 8－5－12 MD－50 型锚杆钻机技术性能

| 项 目 | | 单 位 | 主 要 钻 进 方 法 | |
|-------|----------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| | | | 潜孔锤跟管钻进 | 常规潜孔锤钻进、螺旋钻进 |
| 钻进能力 | 孔 径 | mm | φ150(开孔)φ114(终孔) | φ110～φ150 |
| | 孔 深 | m | 钻孔 50 跟管 15 | 50 |
| | 钻杆规格 | mm | φ89 × 1000 | φ89 × 1500 |
| | 钻孔角度 | ° | －10～90 | －10～90 |
| 钻机性能 | 钻 速 | r/min | 正反转 :20、40、56、60、111、167 六档 | |
| | 额定提升力 | kN | 25 | 25 |
| | 给进行程 | mm | 1700 | 1700 |
| | 额定给进力 | kN | 17 | 17 |
| 电 动 机 | | — | Y180M－4 ,13.5kW ,1470r/m | |
| 质 量 | | kg | 主机 500 ,泵站 215(不含电机) 操作台 160。 | |
| 外形尺寸 | 主 机 ,长 × 宽 × 高 | mm × mm × mm | 垂直钻进 :2060 × 700 × 3008 | |
| | | mm × mm × mm | 运输状态 :2970 × 700 × 1205 | |

表 8-5-13 DKM 型水平钻机技术参数

| 项 目 | 参 数 | 项 目 | 参 数 |
|------------|----------|--------------|-------------------|
| 钻进深度(m) | 100 | 转速(r/min) | 20 ~ 30 |
| 钻孔直径(mm) | 59 ~ 180 | 扭矩(N·m) | 72000 |
| 钻孔角度(°) | 0 ± 30 | 电机功率(kW) | 21 |
| 给进行程(mm) | 1700 | 整机重量(kg) | 1100 |
| 给进力(kN) | 0 ~ 20 | 最大单件质量(kg) | 120 |
| 起拔力(kN) | 0 ~ 40 | 外形尺寸(m) | 2.75 × 1.25 × 1.2 |

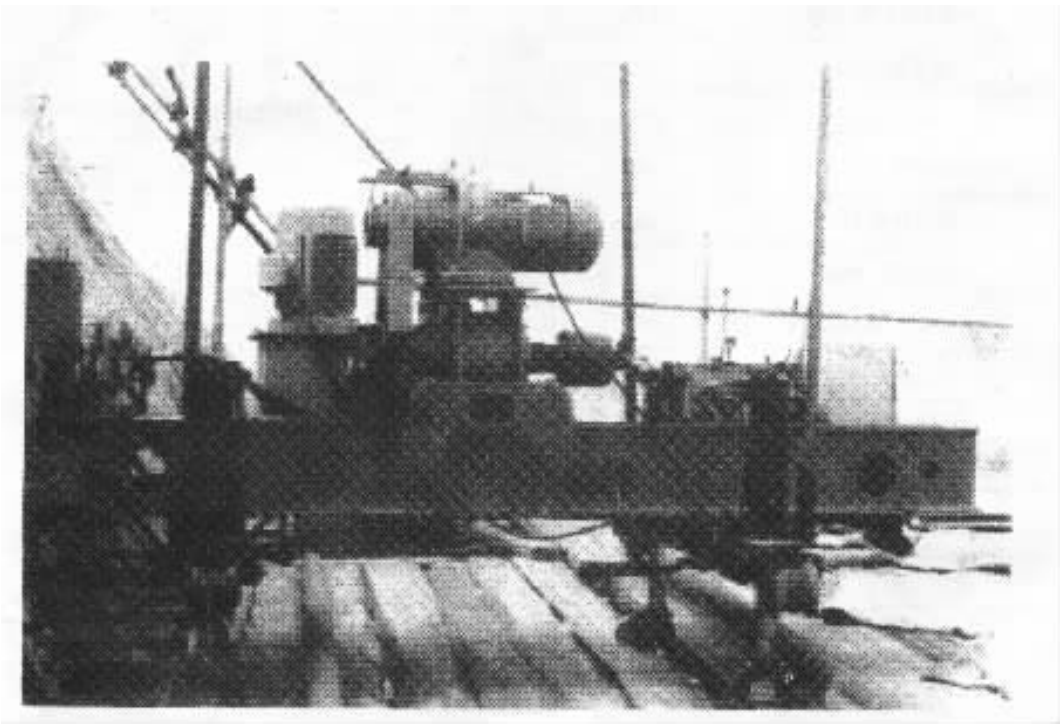


图 8-5-13 DKM 型钻机

潜孔钻用的潜孔冲击器分有阀和无阀两种冲击方式 ,有阀冲击器主要有 QCW 系列、DHD 系列和 CIR 系列。CIR、DHD 系列冲击器的技术参数见表 8-5-14。

为潜孔钻机配备的空气压缩机主要有中低风压($\leq 0.7\text{MPa}$)的活塞式电动柴油空压机 ,中风压($0.7 \sim 1.2\text{MPa}$)的螺杆式柴油空压机 ,高压($\geq 1.5\text{MPa}$)的双级螺杆式柴油空压机 ,主要型号有柳州产空压机、英格索兰公司产 VHP700、VHP750、Atlas 公司产系列空压机。从提高成孔速度考虑 ,应首选中高压空压机和无阀冲击器。

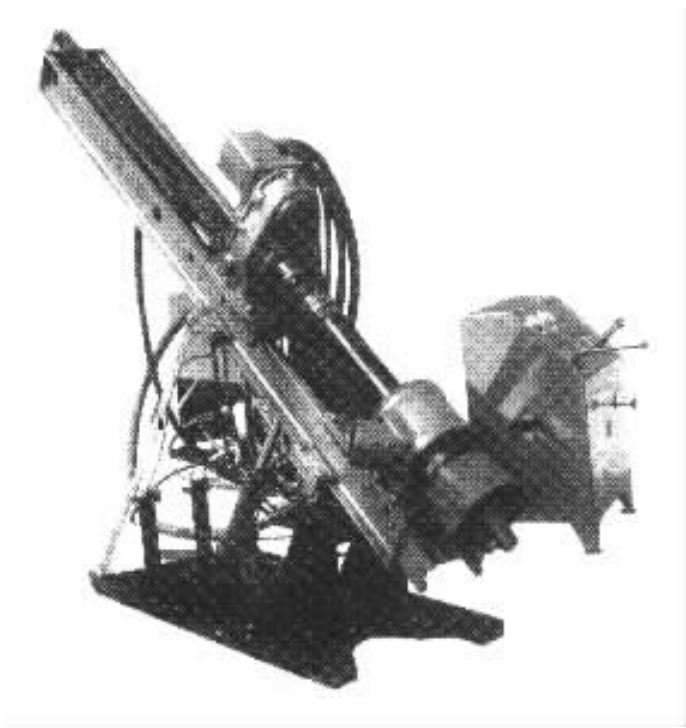


图 8－5－14 MD－50 型钻机

表 8－5－14 CIR、DHD 系列冲击器技术参数

| 产品型号 | CIR90 | CIR150 | CIR170 | CIR200W | DHD340A | DHD350R | DHD360 |
|--------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------|-------------------|------------|--------------------------|
| 钻孔直径(mm) | 90、100、130 | 155、165 | 175、185 | 200 | 105、115 | 131 | 152、165 |
| 外径(mm) | 80 | 136.5 | 159 | 182 | 92 | 114 | 136 |
| 总长(mm) | 795 | 904 | 1022 | 1252 | 1138 | 1387 | |
| 重量(kg) | 85 | 89 | 102 | 180 | 47 | 68.5 | 126 |
| 风压(MPa) | 0.5 ~ 0.7 | 0.5 ~ 0.7 | 0.5 ~ 0.7 | 0.5 ~ 0.7 | 0.7 ~ 2.1 | 0.7 ~ 2.1 | 0.7 ~ 2.1 |
| 耗风量 (m ³ /min) | 7.2 | 15.9 | 18 | 20 | 3.5 ~ 18 | 5.7 ~ 20 | 8.5 ~ 25 |
| 配用钎头 | QT－90 B、C、D | CIR150－17 A、B | CIR170－17 A、B | CIR200W－16 | DHD340A－15 A、B | DHD350R－17 | DHD360－19A DHD360－19B |
| 冲击频率(次/分) | 820 | 800 | 790 | 835 | 810 ~ 1470 | 850 ~ 1510 | 820 ~ 1475 |

在土层中钻孔 ,一般采用回转式、冲击回转式和回转冲击反循环式钻进方式 ,目前国内土锚工程中采用的钻机主要有 :

1. 意大利土力公司 SM 系列钻机 (图 8－5－15) ,为全液压多功能钻机 ,适用于各类土层钻孔 ,带有履带行走机构和冲击钻进功能 ,主要采用清水循环护壁套管钻进 ,该机在北京的砂卵石地层锚杆工程中广泛采用。

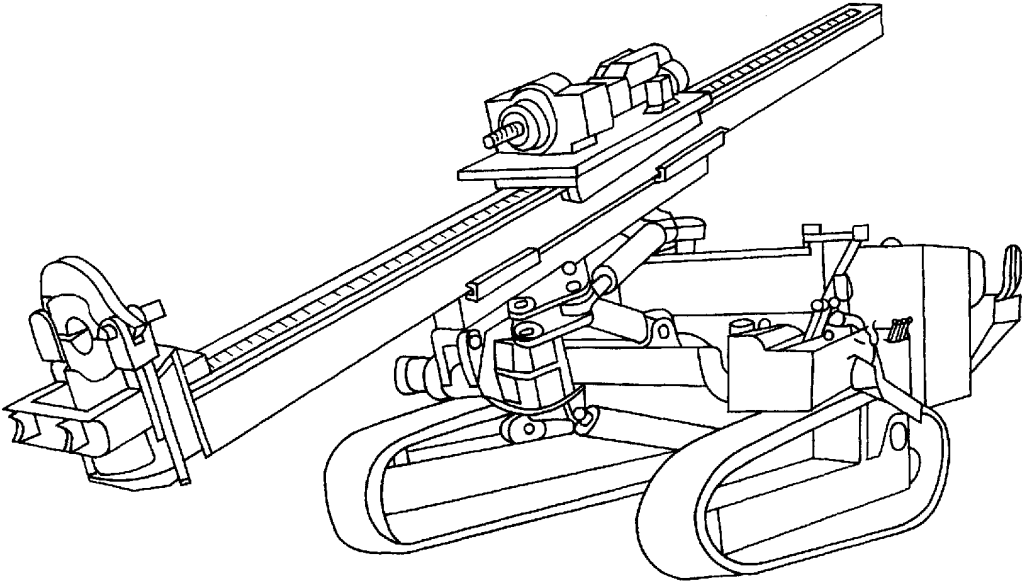


图 8-5-15 意大利 SM 型钻机外貌图

2. 英格索兰钻机、日本 MCD 型钻机 其性能与意大利 SM 钻机相似 在北京的许多锚杆工程中得到应用。图 8-5-16 为日本 MCD-8 型钻机在工作的情况。

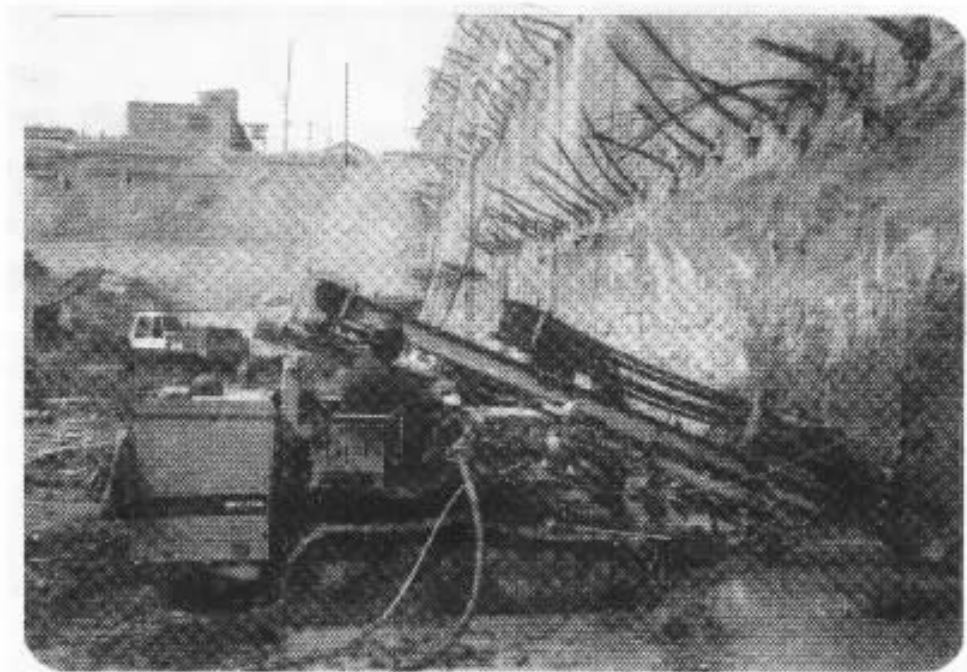


图 8-5-16 日本 MCD-8 型钻机在中国银行营业办公楼基坑工地工作的情况

3. 香港产 HD-90、120 钻机 ,其性能与 SM 钻机相似 ,在北京、深圳、广州等地的锚杆工程中广泛应用。

4. 国产的 YTM87 型钻机 ,该机是轮胎式底盘(现已改为步履式行走机构) ,电力驱动的全液压无冲击钻机。既可使用螺旋钻杆的干式钻孔 ,也可使用带护壁套管的湿式钻孔 ,该机可在水平和垂直方向的任意角度上钻孔。该机的主要构造如图 8-5-17 ,图 8-5-18 为该机的外貌 ,该机在深圳、广州、北京、南宁等地的土锚工程中得到了推广应用。

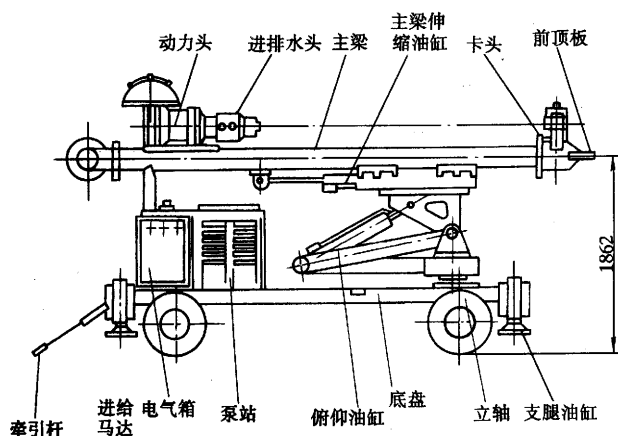


图 8-5-17 YTM87 型土锚钻机的主要构造

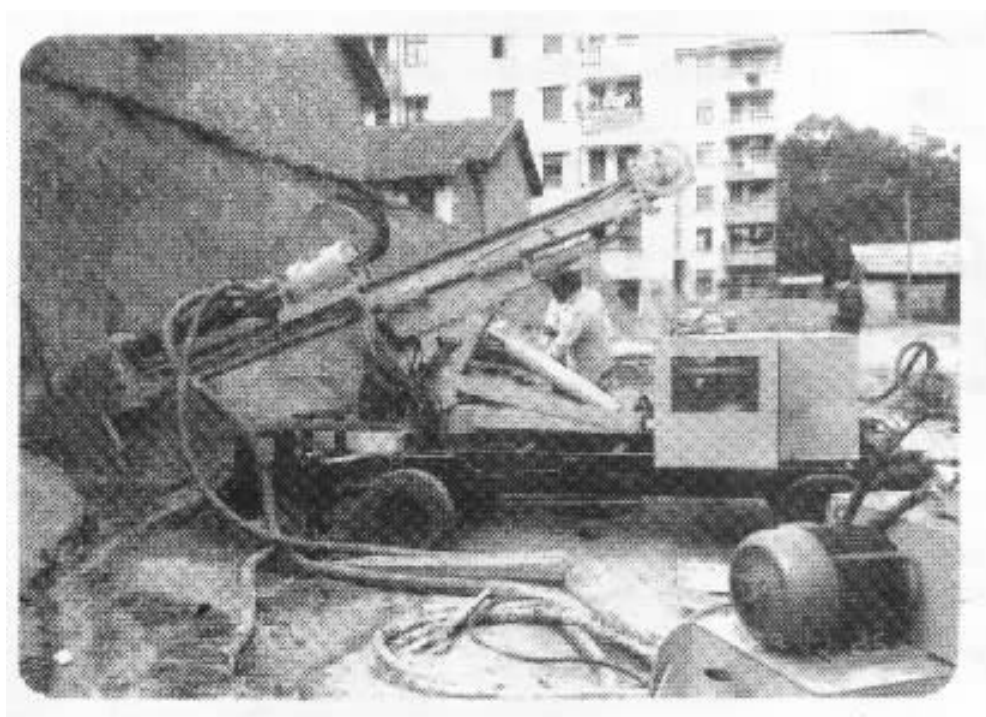


图 8-5-18 YTM87 型土锚钻机的外貌

5. 国产的土星 881L 型钻机。该机是卧式底盘 ,在轨道上行走 ,电机功率为 30kW , 钻孔直径为 150mm ,成孔采用护壁套管和内螺旋钻杆同时钻进 ,内螺旋钻杆用来向孔外排土 ,钻孔深度可达 30m 以上。

此外 ,国内的大多数土锚工程还使用地质钻机和自制的干作业螺旋钻机 ,如 SQ100 型、东风 30 型、SGZ - 1 型地质钻机和 MD 系列钻机、MK5 系列钻机和 MG 系列钻机等。特别是无锡探矿机械厂生产的 MD - 50 型钻机备有专门的跟管钻进钻具(钻杆、套管、偏心钻头等) ,在不稳定地层 ,用套管护壁开孔 ,常规球齿钻头潜孔锤冲击回转钻进终孔。 钻孔效率高 ,成孔质量好 ,适用于卵石层及砂砾层中的钻孔。

国内外用于土层中钻孔的机具性能参数见表 8 - 5 - 15。

表 8 - 5 - 15 国内外土锚钻机的技术性能

| 技 术 性 能 | 钻 机 型 号 | | | | | |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | RPD - 65LC | RPD - 65HC | HB101 | HR105 | WD101 | YTM87 |
| 钻孔直径(mm) | 101 ~ 137 | 60 ~ 80 | 127 | — | 168 | 150 |
| 钻孔深度(m) | 60 | 150 | — | — | — | — |
| 扭矩(N·m) | 4000 | 1000 | 950 | 6000 | 9300 | 7350 |
| 冲击次数(次/min) | 1350 | 2000 | 1800 | 1800 | — | — |
| 转速(r/min) | — | — | 0 ~ 140 | 0 ~ 55 | 0 ~ 212 | — |
| 给进力(kN) | 40 | 40 | 25 | 25 | 60 | 45 |
| 钻臂总长(m) | 2.6 | 2.6 | 6.25 | 6.25 | 9.55 | 4.51 |
| 电机功率(kW) | 50 | 50 | 74 | 74 | 74 | 37 |
| 质量(t) | 6.8 | 6.6 | 8.3 | 8.3 | 12.95 | 3.75 |
| 外形尺寸 ,长 × 宽 × 高 (m × m × m) | 5.7 × 2.1 × 2.3 | 5.7 × 2.1 × 2.3 | 6.6 × 2.3 × 2.2 | 6.6 × 2.3 × 2.2 | 6.2 × 2.1 × 2.7 | 4.5 × 2.0 × 2.3 |

总之 ,应当根据地层的类型、钻孔的直径和长度、锚固现场的条件、所用的冲洗介质、锚杆的类型、所要求的钻孔速度和钻孔成本来选择合适的钻机 ,在大多数情况下 ,地层的类型和钻孔的大小是最重要的两个因素。Mc Gregor 根据地层类别和钻孔直径编制了最合适钻孔方法的指南 ,如图 8 - 5 - 19 所示。在粘性土中钻孔最适合的钻机是带十字钻头和螺旋钻杆的回转钻机 ,在松散土和软弱岩层中 ,使用带球形合金钻头的旋转钻机效果较好 ,在坚硬岩层中钻凿直径较小的钻孔 ,使用通过空气冲洗的冲击钻机最为简便 ,而钻凿直径较大的钻孔 ,最好使用带金刚石钻头和潜孔冲击器的旋转钻机并以水作冲洗介质。

冲洗方法明显影响着钻孔速度和钻孔质量。气洗法是冲击钻机和旋转钻机常用的方法。在干燥岩层中使用气洗效果良好 ,如果风量充足也可用于湿岩层。水洗方法最适用于旋转式取芯钻孔和套管护壁钻孔 ,但在粘性土、泥灰岩层中钻孔 ,使用水洗要慎重 ,因为水洗会降低这类地层的力学性能 ,影响锚固体与周围地层之间的粘结强度。无论采

用什么冲洗方法 ,锚杆钻孔长度都应增加 50 ~ 70cm ,以便收容冲洗残留的岩块和土块 , 钻孔结束时 ,应从底部向上继续冲洗至少 10min。

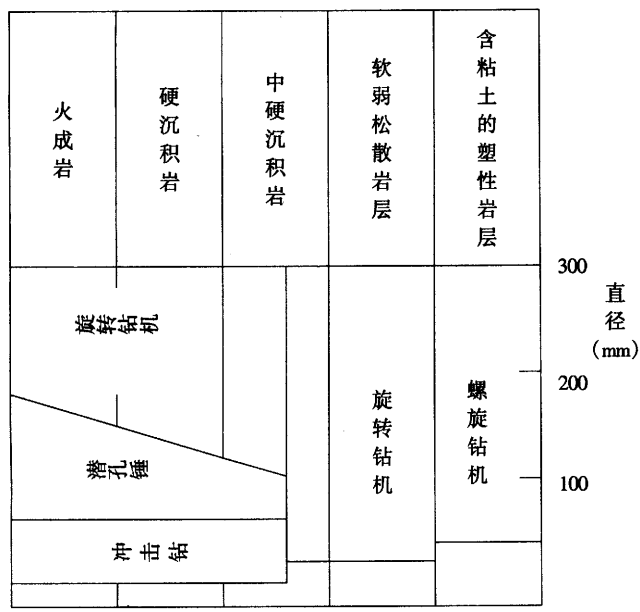


图 8 - 5 - 19 根据岩层类别和孔径大小来选取合适的钻孔方法

锚固现场的可接近性和环境条件是选择钻孔方法和钻孔设备的决定性因素。通常锚杆是成排水平成行布置的 , 轮式钻机具有较大的优越性 ,国内普遍采用带步履行走机构的钻机 ,在基坑内施工时常用履带式钻机。

由于冲击钻机工作时噪音很高并会产生大量粉尘 ,在城市住宅区、建筑物附近及地下洞室内施工会遇到噪声和空气污染的问题 ,正被水洗旋转钻机所取代。

四、锚杆孔的扩孔方法

为了增加锚杆的承载力 ,有时需在钻孔底部进行扩孔处理 ,这可通过专用的扩孔机具或在孔内放置少量炸药进行扩孔。到目前为止国外许多公司(如法国的 Soletanche 公司、Calweld 公司 ,德国 Klamm 公司 ,意大利 Fondedidle 公司)已研制出复杂程序和工作效率及扩孔效果不同的扩孔机具 ,可把钻孔扩大到原来的 4 倍。但机械扩孔不可避免地存在着如何排出孔内切削物的难题 ,尽管精心操作 ,仍会发生卡钻或形不成理想扩孔的情况 ,仅适用于密实土和粘性土层中钻孔的扩孔。目前国内已有几个单位正在进行机械扩孔的机具及工艺研制工作。爆破扩孔适用于所有地层 ,与机械扩孔相比 ,扩孔直径通常较大且形状不规则 ,既可在钻孔完成后未插锚杆之前进行 ,也可在钻孔中注入水泥浆并

插入锚杆后进行 ,两者都可获得良好扩孔效果。我国攀枝花钢铁公司中部站土层锚杆挡墙工程 ,曾成功地采用了爆扩技术。该工程锚杆处于砂质粘土层中 ,在完成 $\phi 130\text{mm}$ 钻孔后 ,插入锚杆预应力筋 ,炸药预先捆成圆柱状放置于钻孔底部 ,然后孔内灌满水 ,开始引爆 ,使孔内的泥水冲出孔外 ,钻孔底部形成了 $0.6 \sim 1.0\text{m}$ 的扩大头 ,这种锚杆每孔装药量约 $0.5 \sim 1.0\text{kg}$,其抗拔力与不采用扩孔的锚杆相比大 $1.0 \sim 2.0$ 倍。

五、锚杆孔的渗透性

岩石锚杆钻孔完成后 ,往往需要对钻孔进行渗透性试验。根据渗透性试验中水的损失量 ,可确定锚杆灌注最适宜的水泥浆及其防腐措施、所要求的浆液量和最适宜的注浆压力。如果水损失量相当大 ,必须首先用较稠的浆液进行固结灌浆 ,来封堵渗透的地层 , 24h 后重新钻孔再次进行渗透试验。

六、锚杆钻孔记录

锚杆钻孔应按表 8 - 5 - 16 的要求进行认真细致的记录 ,以便更加详细地揭示地层内部情况。

表 8 - 5 - 16 锚杆钻孔记录表

| 工程名称： | | 施工单位： | | | | | | |
|---------|------|----------------|----------------|------|---------------|---------------|---------------|-----|
| 设计钻孔长度： | | 设计钻孔直径： | | | | | | |
| 钻机型号： | | 钻孔日期： | | | | | | |
| 锚杆编号 | 地层类别 | 钻孔直径 (mm) | 套管直径 (mm) | 钻孔时间 | 钻孔长度 (m) | 套管长度 (m) | 钻孔倾角 (°) | 备 注 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

记录人：

- 注：1. 备注栏记录钻孔过程中出现的情况 ,如塌孔、缩颈、地下水及相应的处理方法；
2. 扩孔锚杆可增加扩孔长度和直径两栏。

第六节 锚杆注浆技术

通常采用水泥浆或水泥砂浆灌入锚杆孔 ,其硬化后形成坚实的灌浆体 ,将锚杆与周围地层锚固在一起并保护锚杆预应力筋 ,浆液还可对周围地层进行加固 ,一方面提高了锚杆的承载力 ;另一方面提高了周围地层的强度和力学指标。水泥浆的成分及拌制和注

入方法决定着灌浆体与周围岩土体的粘结强度和防腐保护效果。

一、水泥浆的成分

灌注锚杆的水泥浆通常采用质量良好新鲜的普通硅酸盐水泥和干净水掺入(或不掺入)细砂配制搅拌而成的。水泥龄期应不超过一个月,强度应大于 $P_{32.5}$ 。压力型锚杆最好采用更高强度的普硅水泥,以提高锚杆的抗压强度。水泥随着存放时间的延长会变质,在潮湿或过热条件下会降低质量。

拌合水中不应含有影响水泥正常凝结和硬化的物质,不得使用污水。硫酸盐含量按 SO_4^{2-} 计算超 1%、氯盐含量超过水泥重量的 0.1%、含有糖分或悬浮有机物质的水是不能使用的。一般情况下,凡适合于饮用的水都可以作为水泥的拌合用水。

浆液中所用的砂应是不含任何垆垆质土的粒径不大于 2.0mm 的细砂,砂的含泥量按重量计不得大于 3%,砂中云母、有机质、硫化物和硫酸盐等有害物质的含量按重量计不宜大于 1%,砂与水泥的重量比通常在 1:1 ~ 1:3,水泥砂浆只能用于一次注浆。

水灰比对水泥浆的质量有特别重要的作用,过量的水会使浆液产生泌水,降低强度并产生较大的收缩,这将降低浆液硬化后的耐久性,硬化浆体强度与水灰比之间的关系如图 8-5-20 和图 8-5-21 所示。实践表明,灌注锚杆的水泥浆最适宜的水灰比为 0.4 ~ 0.45,采用这种水灰比的灰浆具有泵送所要求的流动度,易于渗入小形开口和孔隙之中,硬化浆体有足够的强度和防水性,收缩也小。为了加速或延缓凝固,防止在凝固过程中的收缩和诱发膨胀,当水灰比较小时增加浆液的流动度及预防浆液的泌水等,可在浆液中加入外加剂(见表 8-5-17),浆体的强度一般 7d 不应低于 20MPa,28d 不应低于 30MPa,压力型锚杆浆体强度 7d 不应低于 25MPa,28d 不应低于 35MPa。使用外加剂对获得优质水泥浆起着极其重要的作用,建议不要同时使用数种外加剂以获得水泥浆的综合效应,因使用外加剂的经验有限,通常在施工前进行掺外加剂的浆体试验,来获得最佳的掺量和所要求的浆液质量。

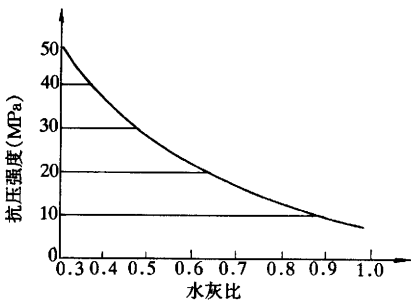


图 8-5-20 用水量对灰浆抗压强度的影响

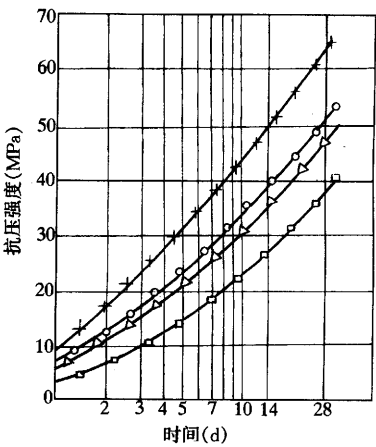


图 8-5-21 不同水灰比的普硅水泥浆强度随时间增长的曲线
1—水灰比 = 0.40 2—水灰比 = 0.45 3—水灰比 = 0.5 4—水灰比 = 0.6

表 8-5-17 水泥浆用外加剂

| 外 加 剂 | 名 称 | 掺量(占水泥重量的百分比) | 说 明 |
|-------|---------|-----------------|------------|
| 早强剂 | 三乙醇胺 | 0.05 % | 加速凝结、硬化 |
| 缓凝剂 | 木质黄酸钙 | 0.2 % ~ 0.5 | 缓凝并增大流动度 |
| 膨胀剂 | 铝 粉 | 0.005 ~ 0.02 % | 膨胀量可达 15 % |
| 抗泌剂 | 纤维素醚 | 0.2 % ~ 0.3 % | 起防泌作用 |
| 减水剂 | UNF-5 等 | 0.6 % | 增强并减少收缩 |

二、水泥浆的拌制

拌制优质水泥冰必须遵循以下一些基本原则：

- 1. 水泥和砂子必须按重量计算；
- 2. 在向搅拌机输送水泥和砂子之前,先把最佳水灰比所需的水量送入搅拌机；
- 3. 向搅拌机加入任何一种外加剂,均需在搅拌时间过半后送入；
- 4. 机械搅拌时间不应少于 2min,应避免用人工搅拌；
- 5. 拌好的浆液存入时间不得超过 120min。

浆液拌好后应存放于特制的容器内,并使其缓慢拌动,因此一般使用双桶搅拌机或自循环搅拌机,使浆液能连续地供给注浆泵。

应当使搅拌机、注浆泵和液浆管处于非常干净的状态,以保证最佳的输出量和顺利操作。在设备运的整个过程中都必须有人看管,以防止过滤器、搅拌机出口或注浆管的弯头和连接处发生故障,影响注浆作业。

三、注浆设备和工艺

水泥浆是采用注浆泵通过高压胶管和注浆管注入锚杆孔的,注浆泵的操作压力范围

为 0.1 ~ 12.0MPa ,通常采用挤压式或活塞式两种注浆泵 ,挤压式注浆泵可注入水泥砂浆 ,但压力较小 ,仅适用于一次注浆或封闭自由段的注浆 ,目前应用较多的注浆泵及其技术参数见表 8 - 5 - 18。在锚杆的钻孔长度上 ,根据注浆压力和注浆方法应让浆液通过 12 ~ 25mm 的注浆管 ,一般是 PVC 软塑料管 ,该塑料管离钻孔底部的距离通常为 150 ~ 250mm ,并每隔 2m 左右就用胶带将注浆管与锚杆预应力筋相连 ,注浆后可将此管拔出也可留在钻孔内 ,在插入预应力筋时 ,应防止注浆管端部发生堵塞 ,通常在端部临时包裹密封材料 ,浆液在压力作用下冲破密封材料注入孔内。

表 8 - 5 - 18 锚杆注浆用泵技术参数

| 型 号 | 注浆压力(MPa) | 注浆流量(L/min) | 出口直径 | 适用范围 | 备 注 |
|----------|-------------|---------------|------|--------------|-----|
| UBJ1.8 | ≤1.5 | 30 | 38 | 一次注浆 | 挤压式 |
| UBJ3 | ≤2.0 | 50 | 50 | | |
| BW150 | ≤7.0 | 32 ~ 150 | 32 | 一次注浆 二次注浆 | 活塞式 |
| BW250 | ≤7.0 | 35 ~ 166 | 50 | | |
| 2SNS | ≤8.0 | 63 ~ 135 | | | |
| HBW50/15 | ≤1.5 | 50 | | 一次注浆 | |

对于可重复灌浆的锚杆 ,注浆常分为一次注浆和二次高压注浆两种注浆方式。一次注浆是通过绑扎在预应力筋上的插入孔底一定距离(通常为 150mm)的注浆管 ,浆液从孔底一次将钻孔注满直至从孔口流出的注浆方法 ,也是目前广泛采用的最简便注浆方法。这种方法要求锚杆预应力筋的自由段预先进行处理 ,采取有效措施确保预应力筋不与浆液接触 ,并具有良好的防腐效果 ,一般的做法是先在预应力筋上涂油脂后套 PVC 软管或缠塑料布。二次高压注浆是在一次注浆形成圆柱状灌浆体的基础上 ,对锚杆锚固段进行二次(或多次)高压劈裂注浆 ,使浆液向周围地层挤压渗透 ,形成直径较大的锚固体并提高锚杆周围地层的力学性能 ,大大提高了锚杆承载能力的注浆方法。这种方法通常在一次注浆后 4 ~ 24h 进行 ,具体间隔时间由浆体强度达 5 MPa 左右而加以控制。该注浆方法需随预应力筋绑扎二次注浆管和密封袋或密封卷 ,注浆完成后不拔出二次注浆管。二次高压注浆非常适用于承载力低的软弱地层中的锚杆。

所用的注浆压力取决于注浆的目的和方法、地层的质量、注浆部位的上覆地层厚度等因素 ,通常锚杆的注浆压力不超过 2MPa。有些公司(如法国的土锚杆公司)认为 ,锚杆的承载力与锚杆注浆压力之间有直接的关系 ,实践表明 ,锚杆的承载力随注浆压力的增加而增大。英国的 ATC 有限公司也进行过类似的试验 ,从试验得出的结论是 ,当注浆压力超过 4.0MPa 时 ,锚杆承载力的增加是非常有限的。

四、注浆记录

锚杆注浆的质量决定着锚杆的承载力 ,必须认真做好注浆记录 ,锚杆注浆记录见表 8

- 5 - 19。

表 8 - 5 - 19 锚杆注浆记录表

| | | | | | | | |
|-------|------|-------|--------|-----------------|--------------|------|-----|
| 工程名称： | | | | 施工单位： | | | |
| 注浆设备： | | | | 注浆日期 | | | |
| 锚杆编号 | 注浆方式 | 材料及配比 | 注浆起止时间 | 注浆压力 (MPa) | 注浆量 (L) | 地层描述 | 备 注 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

记录人：

注 注浆材料及配比应包括外加剂的名称和掺量。

第七节 锚杆传力结构

锚杆的预应力必须通过传力结构传递给被加固的地层 ,达到有效加固岩土体的目的 ,根据锚杆应用的领域和被加固地层的特点不同 ,锚杆的传力结构形式也有所区别 ,常用的传力结构有以下几种：

一、基坑工程中锚杆的传力结构

基坑工程常采用锚杆背拉支护桩的结构形式 ,无论是混凝土灌注桩还是钢板桩 ,必须在锚杆水平方向上用钢制连梁或混凝土连梁将桩与锚杆连接在一起 ,锚杆处设置钢斜承件或将混凝土梁作成斜面 ,使锚杆轴线方向与斜面垂直 ,当锚杆张拉时能均匀地对支护桩作用支点力。桩锚结构的锚杆头部构造见图 8 - 5 - 22。施工时由于支护桩的表面不可能在一个平面内 ,必须采取凿除桩表面保护层或在钢梁上焊钢板使钢梁与每一根支护桩紧密接触 ,锚杆斜承件应焊在钢梁锚杆处。混凝土梁应考虑桩梁连接的措施 ,防止梁的下沉滑移。

二、边坡工程中锚杆的传力结构

锚杆广泛应用的一个领域是边坡加固工程。边坡坡面按岩性分为硬岩边坡面和软岩(含土层)边坡面 ,在硬岩边坡面上锚杆常采取混凝土墩的传力结构(图 8 - 5 - 23) ,在软岩边坡面上锚杆常采用混凝土井字梁或立柱的传力结构(图 8 - 5 - 24)。当采用混凝土垫墩作传力结构时 ,混凝土的设计强度不宜低于 C_{30} ,混凝土墩的厚度和尺寸应按有关

规范设计计算,其最小厚度不应小于 100mm。混凝土墩内常设置锚下结构件(包括垫板和螺旋筋)。

软岩坡面应采取整体性好的混凝土井字梁等传力结构,井字梁的计算按有关规范进行,应考虑坡面地层的承载力确定井字梁的底面尺寸,井字梁交叉处设置锚杆,锚杆处井字梁应增设钢筋。施工时应使井字梁紧贴坡面,梁表面与锚杆轴线垂直,锚杆锚头下设锚下结构。锚杆工程质量与验收

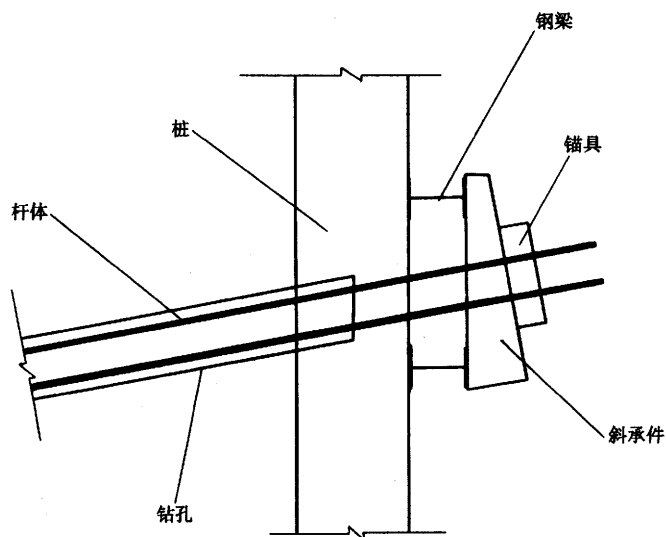


图 8-5-22 钢梁传力结构示意图

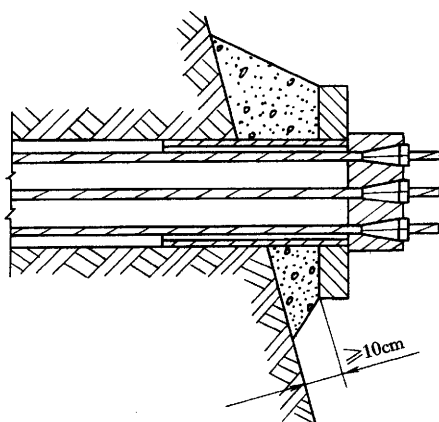


图 8-5-23 混凝土墩座

第八节 锚杆工程质量与验收

工程验收的目的是确认和检验工程的施工质量能否达到设计要求,对锚固工程而言,验收的主要内容是检验锚杆的锚固性能(如锚头的位移、预应力值大小等),在锚杆验收时测试的数据应与锚杆试验的结果进行对比,并以锚杆试验结果为标准来判断被检验锚杆是否合格。

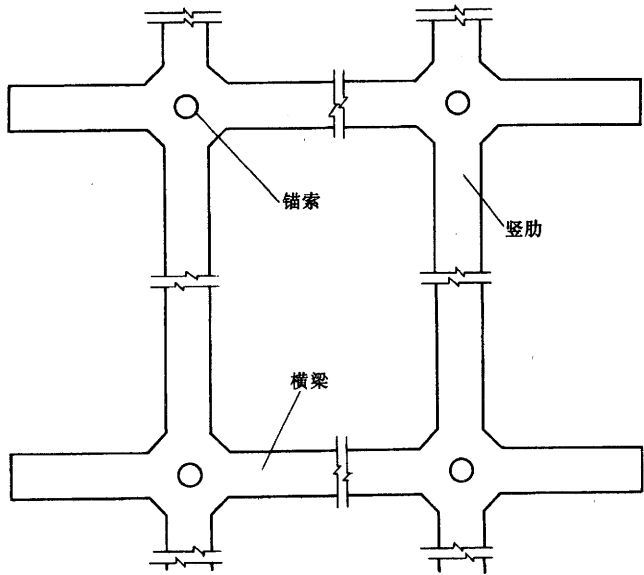


图 8-5-24 井字梁传力结构

一、质量

为了保证锚杆的施工质量,施工时应遵守下列规定:

1. 在确定锚杆施工单位时,应对其资质特别是其施工经历进行审查。
2. 在施工过程中,必须建立健全各项规章制度,完善质量保证体系。
3. 各关键施工工序必须设立专职负责人,认真做好质量的自检与互检。
4. 施工人员必须严格按照各工序制定的施工操作规程或规定进行施工。
5. 所有施工用机械、材料、配件必须进行详细的检查或检验。
6. 锚杆施工流水作业时,上一道工序不合格或未经验收的施工阶段成品,不得进入

下一道工序。

7. 在施工的全过程中 ,必须认真做好施工记录和施工日记 ,将参数记入锚杆的施工记录表 ,作为竣工验收资料的必备内容的一部分。

8. 当发生质量事故时 ,施工单位应及时提出事故报告 ,并与设计等人员共同提出处理措施。

二、验收

锚杆施工完成后 ,应按设计要求和质量合格条件进行验收 ,锚杆工程验收时应提供下列资料 :

1. 原材料出厂合格证 ;
2. 原材料抽样检查或检验报告 ;
3. 代用材料合格证及试验报告 ;
4. 施工用设备、仪器仪表的检验表或率定报告 ;
5. 各工序的施工记录 ;
6. 锚杆验收试验等试验报告 ;
7. 钻孔过程中发现异常地层的性质、层位、深度等情况及相应的处理措施 ;
8. 设计变更文件及图纸 ;
9. 隐蔽工程检查验收记录 ;
10. 工程质量问题的调查和处理文件 ;
11. 施工总结报告和竣工图。

对于设计要求进行监控量测的工程 ,还应提交下列报告或资料 :

1. 实际测点布置图 ;
2. 使用的量测手段及仪器 ;
3. 量测仪器检验结果报告 ;
4. 量测元件标定结果 ;
5. 量测原始记录表及其分析报告。

表 8-5-1 国外一些地下工程使用预应力锚杆概况

| 国 家 | 工程名称 | 跨度 (m) | 高度 (m) | 地层、岩性 | 永久支护结构 | 锚索及锚杆 | | 预应力 (kN) | 建成年份 |
|-----|--------|-------------|-------------|--|-----------------------------|------------------|----------------|------------------------|------|
| | | | | | | 长度(m) | 间距(m) | | |
| 瑞 士 | 毕阿斯卡 | 30.0 | 25.0 | 片麻岩 | 预应力锚杆 ,顶拱和边墙钢筋混凝土衬砌 | 8 ~ 13 | | 800 | 1959 |
| 瑞 士 | 涅恩达兹 | 19.1 | 24.1 | 泥质页岩 | 预应力锚杆 ,顶拱和边墙钢筋混凝土衬砌 | 15 | | 1250 | 1959 |
| 意大利 | 别列扎尔 | 17.0 | 35.0 | 泥质岩 | 锚杆在边墙的一侧 ,顶拱钢筋混凝土衬砌 ,边墙喷混凝土 | 9 | | 1250 | 1962 |
| 西班牙 | 毕北依 | 18.0 | 30.0 | 片麻岩 | 预应力锚杆 ,顶拱和边墙钢筋混凝土衬砌 | 5 ~ 10 | | 顶拱 100 边墙 400 ~ 600 | 1963 |
| 卢森堡 | 维安登 | 17.0 | 29.3 | 粘土页岩 | 预应力锚杆 ,顶拱和边墙钢筋混凝土衬砌 | 9.5 ~ 13.5 | 4 × 4 | 900 ~ 1250 | 1963 |
| 前西德 | 泽金登 | 23.0 | 29.6 | 裂隙副片麻岩 | 预应力锚杆 ,顶拱和边墙钢筋混凝土衬砌 | 10 ~ 15 | 1 × 2 | 90 ~ 1700 | 1966 |
| 瑞 士 | 洪格林 | 30.0 | 27.0 | 石灰岩、泥灰岩 | 预应力锚杆和普通锚杆 ,喷混凝土厚 15cm | 4 | 2 × 2.5 | 80 | |
| | | | | | | 11.4 ~ 18.4 | 3 × 4 | 1250 ~ 1700 | 1967 |
| 奥地利 | 柯普斯 | 29.0 | 24.0 | 石灰岩 | 预应力锚杆 ,顶拱钢筋混凝土衬砌 ,边墙喷混凝土 | 5 ~ 7 | 2.5 × 3 | 200 | 1967 |
| | | | | | | 15 | 3 | 1050 | 1969 |
| 意大利 | 列克·德里奥 | 21.0 | 60.5 | 裂隙片麻岩 | 预应力锚杆 ,顶拱钢筋混凝土衬砌 | 15 ~ 30 3 ~ 5 | 3 × 3 3 × 3 | 190 ~ 1000 50 ~ 110 | 1971 |
| 印 度 | 奇布罗 | 18.0 | 32.5 | 裂隙石灰岩 | 预应力锚杆 ,顶拱钢筋混凝土衬砌 | 23.5 | 2.8 × 4.6 | 600 | |
| 智 利 | 埃里·托罗 | 24.5 | 39.5 | 裂隙花岗闪长岩 | 预应力锚杆 ,顶拱和部分边墙钢筋混凝土衬砌 | 4 15 ~ 17 | 3 × 5 3 × 5 | 180 1700 | |
| 西 德 | 瓦尔德克第二 | 33.5 | 54 | 裂隙砂岩和页岩 | 预应力锚杆 ,钢丝网喷混凝土 | 20 ~ 28 4 ~ 6 | 4 × 6 | 1700 120 | 1974 |
| 瑞 士 | 费 陶 | 30.5 | 27.0 | 石灰质泥灰岩 | 预应力锚杆及锚杆 ,喷混凝土加钢筋网 | 11 ~ 13 4 | | 1140 ~ 1400 160 | 1967 |
| 加拿大 | 丘吉尔瀑布 | 24.0 | 46.9 | 花岗片麻岩 , $f_c = 15 \sim 16$ 局部有构造破碎带 | 喷混凝土加钢筋网 | 4.5 ~ 7.5 | | | |

表 8-5-2 预应力锚杆加固与加高混凝土坝

| 坝 名 | 国 家 | 原建 年代 | 坝 型 | 最大坝高 (m) | 顶 长 (m) | 坝体混凝土 方 量 (万 m³) | 锚杆施工 年 代 | 锚杆根数 | 单根锚杆 预应力 (kN) | 备 注 |
|--------|-------|----------|------|---------------|--------------|--------------------------|-------------|------|-----------------------|-------------------------------|
| 舍尔法 | 阿尔及利亚 | 1882 | 重力坝 | 37.5 | 156 | 4.5 | 1934 | 37 | 1000 | 原坝加高 ,每根锚杆由 630φ5 组成 |
| 本尼·巴德尔 | 阿尔及利亚 | 1944 | 连拱坝 | 73.0 | 350 | | 1952 | | | 原坝高 10m ,1955 年加高 7m |
| 卡法尔萨 | 埃塞俄比亚 | 1910 | 重力坝 | 17.0 | 250 | | 1955 | 268 | 700 | 原坝高 10m ,1955 年加高 7m |
| 克拉拉克 | 澳大利亚 | 1949 | 重力拱坝 | 67.0 | 332.5 | 20.1 | 1966 | | | 原高为 61m ,加高 6m 增混凝土 600m³ |
| 斯勃纳尔主坝 | 澳大利亚 | 1925 | 重力坝 | 38.6 | 278 | 6.3 | 1965 | 75 | 1350 | 原高 24m ,加高 4.6m |
| 斯勃纳尔付坝 | 澳大利亚 | 1925 | 重力坝 | 28.6 | 186 | 2.4 | 1965 | 42 | 650 | 原高 24m ,加高 4.6m |
| 柯因那 | 印度 | 1964 | 重力坝 | 103.0 | 805 | 130.0 | 1968 | 70 | 2700 | 1967 年水库诱发地震产生多条水平裂缝 |
| 蒙拉隆 | 法国 | | 拱坝 | 32.0 | 173 | 1.3 | 1954 | | | 原坝高 20m ,1954 年加高 12m |
| 德努 | 法国 | | 拱坝 | 32.0 | 137 | | 1949 | | 12000 | 原坝高 30m ,后加高 5m |
| 拉依昂 | 美国 | 1915 | 重力坝 | 25.0 | 381 | | 1970 | | 4000 ~ 9000 | 锚杆孔径 203mm ,深 36 ~ 49m 用以加固坝体 |

表 8-5-3 新建预应力混凝土坝

| 坝 名 | 国 家 | 原建 年代 | 坝 型 | 最大坝高 (m) | 顶 长 (m) | 坝体混凝土 方 量 (万 m³) | 锚杆施工 年 代 | 锚杆根数 | 单根锚杆 预应力 (kN) | 备 注 |
|--------|-------|----------|--------|---------------|--------------|--------------------------|-------------|------|-----------------------|---|
| 埃尔勒斯第纳 | 巴西 | 1954 | 重力坝 | 15.0 | 400 | 0.9 | 1955 | | 2500 | |
| 丁 丁 | 阿尔及利亚 | 1963 | 连拱坝 | 82.0 | 510 | 27.6 | 1961 | | | 各支墩用锚杆和扁千斤顶加预应力 ,混凝土方量由重力坝 83 万 m³ 减为 27.6 万 m³ |
| 米多班克 | 澳大利亚 | 1966 | 支墩坝 | 43.0 | 265 | 6.5 | 1964 | | 2700 | 锚杆在支墩内斜度 35° ,由 72 根 φ7mm 钢丝组成 |
| 六塔克尼亚 | 澳大利亚 | 1962 | 重力坝 | 49.0 | 282 | 9.2 | 1961 | 430 | 2000 | 采用锚杆 ,将坝体方量由 18.4 万 m³ 减为 9.2 万 m³ ,节省投资 20% |
| 克卢尼 | 澳大利亚 | 1967 | 重力坝 | 30.0 | 204 | 2.8 | 1965 | 204 | 2000 | 每延米坝体加预应力 200t 锚杆按单排布置 ; 间距 1.0m |
| 里帕尔斯 | 澳大利亚 | 1968 | 双曲拱坝 | 42.0 | 207 | 4.4 | 1966 | 36 | 700 | 两岸重力墩用锚杆加固 ,左岸墩用 12 根 ,右岸墩 24 根 |
| 勒帕斯 | 法 国 | 1964 | 拱坝 | 22.0 | 180 | 0.9 | 1943 | | | |
| 拉西斯 | 法 国 | 1954 | 拱坝加支墩坝 | 34.0 | 300 | 1.2 | 1949 | 2 | 12000 | 主坝为拱坝 ,右岸副坝为支墩坝 ,其间重力墩用 2 根锚杆加固 |

表 8-5-4 国内主要水利水电工程预应力锚杆应用情况

| 预应力锚固部位 | 工程名称 | 建筑物尺寸 (m) | 锚固部位 | 地质概况 | 预应力锚杆 锚固力级别 (kN) | 总锚固力 (kN) | 预应力锚 杆长度 (m) | 预应力锚 杆数量 (根) | 内锚头 | | 外锚头 | 锚杆体 |
|---------|-----------|----------------|-------|----------------------------------|--------------------------|----------------|----------------------|----------------------|--------|-------------|------------------------|--|
| | | | | | | | | | 型式 | 长度 (m) | | |
| 坝基加固 | 梅山水库坝基加固 | 坝高 88.24 | 坝基 | | 2400 | | | 110 | 胶结式 | | | 123 × ϕ 5 钢丝束 |
| | 麻石水库坝基加固 | | 坝基 | 绿泥石云母石英岩 ,性脆 ,抗风化力差 ,易沿片理开裂 | 3400 | 220500 | 40 | 99 | 胶结式 | | | |
| | 双牌水库坝基加固 | 坝高 58.8 | 坝基 | 泝盆系紫红色砂岩 ,板岩层 ,倾向下游 ,倾角 8° ~ 20° | 3250 | 893750 | | 273 | 胶结式 | | 钢筋混凝土锚头 | 160 × ϕ 5 钢丝束 |
| | 丰满水电站坝基 | 坝高 90.5 | 坝基 | 二叠系变质砾岩和石灰岩 ,34 ~ 40 坝段存在挤压破碎带 | 6000 | | 60.10 | | 胶结式 | 13.6 | | 42 × 7 × ϕ |
| | 丰满水电站坝基 | 坝高 90.5 | 坝基 | 二叠系变质砾岩和石灰岩 ,34 ~ 40 坝段存在挤压破碎带 | 2170 2750 | 42690 | 32.2 ~ 77.2 | 17 | 胶结式 | 95 ~ 12.5 | | |
| | 石泉水库坝基加固 | 坝高 650.0 | 坝基 | | 5884 7840 | 178500 | 42 ~ 75.0 | 29 1 | 胶结式 | 10 | OVM15 × 33 OVN15—43 | 33 × 7 × ϕ 5 43 × 7 × ϕ 5 |
| 坝体加固 | 稜窝水库坝体加固 | 坝高 50.3 | 坝体 | | 600 | 70680 | | 124 | | | | |
| | 潘家口水库坝体加固 | 坝高 107.5 | 坝体 | | 3000 | 2700 | 29 ~ 31 | 9 | 胶结式对穿式 | | | |
| | 丰满大坝坝体加固 | 坝高 90.5 | 坝体 | | 650 ~ 2300 | 526750 | 30.65 ~ 57.5 | 361 | | 7 ~ 10 | | |
| | 白山水电站坝体加固 | 坝高 149.5 | 坝体 | | 600 | | | 26 | 对穿式机械式 | | | |
| | 泾惠渠坝体 | | 坝基坝体 | | 3000 | 138000 | | 50 | 胶结式 | | X M 15—19 | |
| | 铜街子导流明渠挡墙 | | 不工建筑物 | | 3200 | 115000 | 30 ~ 40 | 36 | 胶结式 | 4.0 | | |

| 预应力锚固部位 | 工程名称 | 建筑物尺寸 (m) | 锚固部位 | 地质概况 | 预应力锚杆锚固力级别 (kN) | 总锚固力 (kN) | 预应力锚杆长度 (m) | 预应力锚杆数量 (根) | 内锚头 | | 外锚头 | 锚杆体 |
|---------|-------------|----------------------|------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|-----|-------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | | | | | 型式 | 长度 (m) | | |
| 地下洞室 | 白山水电站地下厂房 | 121.5×25.0×52.75 | 高边墙 | 混合花岗岩 | 600 | 14400 | | 24 | 胀壳式 | | | |
| | 江垭水电站地下厂房 | 107.75×20.70×47.15 | 高边墙 | 中厚层含滑石质灰岩及白云质灰岩 | 1000 250 | 208000 20500 | 30、18、20 17、15、12 9 | 208 82 | 胶结式 | 3.8 | QM15—12 QM15—8 OVN15—2 | 钢绞线 |
| | 小浪底地下厂房 | 251.5×26.2×6.44 | 顶拱 | 中厚、巨厚层砂岩、顶拱有数条软弱夹层 | 1500 | 168000 | 25.0 | 168 | 胶结式 | 8 和 6 | | 无粘结 |
| | 丰满泄洪洞集渣坑 | ×11.0×41.0 | 边墙 | 二叠系变质砾岩 | 500 | 23500 | 10～12 | 47 | 胀壳式 | | 星形外锚头 | 6×7× ϕ 4 钢绞线 |
| | 碧品水电站引水隧洞 | ϕ 12.90×866.671 | 塌方处理 | 薄片状绢云母石英千枚岩 | 300 | 30000 | | 100 | 胀壳式 | | | |
| | 十三陵抽水蓄能电站 | | 边墙 | | | | | | | | | |
| 边坡 | 十三陵抽水蓄能电站上池 | | 边坡 | 松软凝灰岩、风化、穿插正常斑岩岩脉 | 1000 | 29000 | 20 | 29 | 胶结式 | 6.0 | OVM | 低松弛 钢绞线 |
| | 温湾水电站左岸边坡 | | 边坡 | 单一流纹岩、风化较深 ,顺坡节理发育 | 1000 1600 3000 | 1505000 32000 1902000 | | 1505 20 634 | 胶结式 | 5.0 8～10 | OVM | 7×7× ϕ 5 19×7× ϕ 5 |
| | 天生桥二级厂房边坡 | | 边坡 | 强风化砂页岩夹泥岩 ,滑动带夹泥厚度为 200～300mm | 3000 1200 | 295200 | 32～27 | 246 | 胶结式 | 7～10 | | 10×7× ϕ 5 钢绞线 |
| | 隔河岩厂房高边坡 | | 边坡 | 灰岩、页岩、灰岩岩溶发育 | 1898 | 410184 | 40 | 216 | 胶结式 | 8 | | 15×7× ϕ 5 |
| | 李家峡水电站坝肩 | | 边坡 | | | | 42 | | 胶结式 | | | |
| | 二滩水电站尾水渠 | | 边坡 | 玄武质火山碎屑岩 ,有正长岩脉穿插、块状结构 | 3000 2000 | 287000 | 26～48 | 87 13 | 胶结式 | 8 6 | 19×7× ϕ 5 13×7× ϕ 5 | |
| | 三峡永久船闸 | | 人工边坡 | 前震旦系侵入花岗岩 | 1000 3000 | | 25～50 | 226 1887 | 胶结式 | | | |

| 预应力 锚固 部位 | 工程名称 | 建筑物尺寸 (m) | 锚固部位 | 地质概况 | 预应力锚杆 锚固力级别 (kN) | 总锚固力 (kN) | 预应力锚 杆长度 (m) | 预应力锚 杆数量 (根) | 内锚头 | | 外锚头 | 锚杆体 |
|-----------------|------------------|----------------|---------------|-------------------------------------|--|--------------------------|----------------------|----------------------|-----|-------------|-----|---|
| | | | | | | | | | 型式 | 长度 (m) | | |
| 边 坡 | 乌 鲁 瓦 提 水利枢纽 | | 边坡 | 元古系云母石英征岩夹钙质 片岩、绿泥石片岩及云母石英片 岩 | 1000 | | 25 | | 胶结式 | 10 | | |
| | 小浪底水 利枢纽进口 | | 边坡 | 三叠系巨厚层泥质粉砂岩 | 400、600 800、1000 1200、1500 2000 | | 20 ~ 40 | | 胶结式 | | | |
| | 小浪底水 利枢纽出口 | | 边坡 | 三叠系、厚层、巨厚层粉砂岩 | 2000 3000 | 446000 330000 | 20 ~ 50 30 ~ 55 | 223 110 | 胶结式 | | | |
| | 镜泊湖水 电站进水口 | | 边坡 | 闪长岩、局部为花岗岩 | 1000 | | | 20 | 胀壳式 | | | |
| | 三 丙 链 子 崖岸坡 | | 岩坡 | | 3000 2000 1000 | 160000 96000 10000 | 20 ~ 50 | 50 60 100 | 胶结式 | 5 ~ 10 | OVM | $19 \times 7 \times \phi 5$ $12 \times 7 \times 5$ $7 \times 7 \times \phi 5$ |
| | 碧 口 水 电 站进水口 | | 边坡 | 凝灰岩夹薄片状千枚岩 | 4500 | 90000 | 30 ~ 35 | | 胶结式 | 8 | | |
| | 满 拉 水 电 站进水口 | | 边坡 | 上部为细砂岩夹少量粉砂岩 和石英砂岩 ;下部为辉绿岩 | 2175 | 60713 | 12 ~ 29 | 28 | 胶结式 | 10 | | |
| | 天 荒 坪 抽 水蓄能电站 | | 下库右 岸边坡 | 稳定性差 | 2500 | | 35 ~ 40 | | | 8 | | |
| | | | 开关站 边坡 | 开挖后结构面切割产生滑坡 | 600、1000 1500、2000 2500 | | 25 ~ 40 | | | 8 | | |
| | | | 左岸 3.29 滑坡 | 同体滑坡 | 1500、2000 2500 | | 25 ~ 40 | | | 8 | | |

表 8-5-5 国内部分工程预应力闸墩结构

| 工程名称及建筑物 | | 孔 口 特 征 | | | 支 承 结 构 | | 预应力体系 (按锚具分) | 主锚束结构 | 施加预应力 | | 完建年份 |
|------------|-------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|----------------|----------------|------|
| | | 尺寸 (m ²) | 水头 (m) | 弧门推力 (kN) | 型 式 | 尺寸(m) 长 × 宽 × 高 | | | 单束张长 (kN) | 总施加力 (kN) | |
| 葛洲坝 水电站 | 三江不沙闸 | 12 × 10.5 | 23 | 边墩 14000 | 深梁式闸墩 | 12 × 5 × 6 | 墩头锚 | 162 ϕ 5mm 高强钢丝 | 3000 | 30000 | 1977 |
| | 二江泄水闸 | 12 × 12 | 29 | 中墩 42000 边墩 21000 | 简单锚块式 | 9.9 × 6 × 5 6.5 × 6 × 5 | 墩头锚 | 84 ϕ 7mm 高强钢丝 | 3450 | 90000 57000 | 1981 |
| | 大江泄水闸 | 12 × 19.5 | 24.5 | 中墩 40000 边墩 20000 | 简单锚块式 | 10.5 × 6 × 5 7.1 × 6 × 5 | 墩头锚 | 84 ϕ 7mm 高强钢丝 | 3450 | 90000 63000 | 1985 |
| 龙羊峡 水电站 | 底孔泄水道 | 5 × 7 | 127 | 边墩 36750 | 深梁式闸墩 | 6.2 × 5 × 7 | 墩头锚 | 84 ϕ 7mm 高强钢丝 | 3620 | 64000 | 1986 |
| | 深孔泄水道 | 5 × 7 | 102 | 边墩 27500 | 深梁式闸墩 | 6.2 × 5 × 7 | 墩头锚 | 84 ϕ 7mm 钢绞线 | 3620 | 48000 | 1987 |
| | 中孔泄水道 | 8 × 9 | 60 | 边墩 22650 | 深梁式闸墩 | 8 × 8 × 5 | XM 锚 | 26 根 7 ϕ 5mm 钢绞线 | 4186 | 54000 | 1988 |
| 鲁布革 水电站 | 表孔溢洪道 | 13 × 17.6 | | 中墩 28000 边墩 14000 | 简单锚块式 闸墩 | 8.8 × 5 × 5 | XM 锚 | 16 根 7 ϕ 5mm 钢绞线 | 2300 | 69000 14100 | 1989 |
| 安康 水电站 | 中孔泄水道 | 11 × 12 | 26.4 | 中墩 35000 | 复杂锚块式 闸墩 | 6.4 × 5 × 4.2 | XM 锚 | 19 根 7 ϕ 5mm 低松弛钢丝 | 2950 | 55800 49528 | |
| | 表孔溢洪道 | 15 × 19 | 18.68 | 边墩 30800 | | 5.6 × 5.5 × 4.4 | | | | | |
| 岩淮 水电站 | 表孔溢洪道 | 15 × 21.5 | 21 | 中墩 45397 边墩 22697 | 简单锚块式 闸墩 | 9.8 × 5.5 × 5 | DVF—Z 锚 | 85 ϕ 7mm 低松弛钢丝 | 3293 | 98970 65860 | |
| 二淮 水电站 | 中孔泄水道 | 6 × 5 | 80 | 边墩 17000 | 深梁式闸墩 | 6 × 3 × 5 | 墩头锚 | | 2000 | 20000 | |
| 水口 水电站 | 溢流表孔 | 18 × 22 | 22 | 中墩 432000 | 简单锚块式 | 8.4 × 5 × 5.5 | DVF—Z 锚 | 84 ϕ 7mm 低松弛钢丝 | 3150 | 94500 | |

| 工程名称及建筑物 | | 孔 口 特 征 | | | 支 承 结 构 | | 预应力体系 (按锚具分) | 主锚束结构 | 施加预应力 | | 完建年份 |
|----------|------------------|--------------------------|-------------|-----------------------|---------|----------------------|-------------------|------------------------------------|----------------|----------------|------|
| | | 尺寸 (m ²) | 水头 (m) | 弧门推力 (kN) | 型 式 | 尺寸(m) 长 × 宽 × 高 | | | 单束张长 (kN) | 总施加力 (kN) | |
| 铜街子水电站 | 溢流表孔 | 14 × 17.5 | 17.5 | 边墩 15000 | 简单锚块式 | 5.3 × 5 × 5.5 | 墩头锚 | 162φ5mm 高强钢丝 | 3540 | 30000 | |
| 东风水电站 | 中孔泄水道 | 5 × 6 | | 边墩 18500 | 深梁式闸墩 | 14 × 4 × 5 | | | 3000 | 36000 | |
| 小浪底水利枢纽 | 排沙洞 | 4.4 × 4.5 | 122 | 边墩 2219 | 深梁式闸墩 | 12.6 × 5 × 5 | QM 锚 | 23 根 7φ5mm 钢绞线 | 4290 | 64350 | |
| 温湾水电站 | 泄洪冲沙孔 | 5 × 3 | | 中墩 35000 边墩 175000 | 深梁式闸墩 | | | | | | |
| 大藤峡水电站 | 泄水高孔 | 14 × 25 | 25 | 59829 | 简单锚块式 | 9 × 5 × 7 | | | 4700 | 14100 | 拟建 |
| 李家峡水电站 | 左中孔 | 8 × 10 | 60 | 52800 | 预应力大梁 | 8 × 5 × 6 | QM | 21 根 7φ5mm 钢绞线外 侧平衡束 19 根 7φ5mm | 3600 | 127200 | 1995 |
| | 右中孔 | 8 × 10 | 60 | 52800 | | 8 × 5 × 6 | HM | | 3600 | 127200 | 1995 |
| | 底 孔 | 5 × 7 | 80 | 31000 | | 5 × 4.5 × 5 | OVM | | 3200 | 104000 | 1995 |
| 大峡水电站 | 表孔溢洪道 (带胸墙) | 11 × 15 | 22.0 | 中墩 23230 边墩 13115 | 复杂锚块式 | 5.8 × 5.29 × 5 | XM | 19 根 7φ5mm 低松弛钢绞线 | 3460 | 69200 51900 | 1997 |
| 宝珠寺水电站 | 中孔 | 13 × 15 | 20.5 | 25349 | 简单锚块式 | 5 × 6 × 2.5 | DHF—Z | 12 根 7φ7mm 低松弛预应力高强钢丝 | 3856 | 77120 | 1997 |