

文章编号: 1006-6616(2003)02-0154-07

预应力锚索在十三陵抽水蓄能电站上池 西北坡加固中的应用

汪西海, 王连捷, 葛增军, 吴满路, 武刚

(中国地质科学院地质力学所, 北京 100081)

摘要: 十三陵抽水蓄能电站上池位于蟒山山顶, 不仅蓄水发电, 而且作为“天池”为十三陵游览区增加了又一新的景色供游人观赏。本文以十三陵抽水蓄能电站上池西北坡塌滑体锚索锚固为例, 系统论述了预应力锚索在地质灾害防治中的应用。

关键词: 十三陵; 蓄能电站; 预应力; 锚索锚固

中图分类号: P472

文献标识码: A

0 引言

地质灾害调查和区域地壳稳定性评价是地质力学所研究的重要内容之一。而20世纪90年代开始的国际减轻自然灾害的十年计划, 容监测、预报和防护于一体的地质灾害预警系统研究代表了当前地质灾害领域的发展趋势。作为首都地区电力调剂的一项重大水电工程项目, 十三陵抽水蓄能电站由上池、下池、厂房和引水隧道组成。下池利用十三陵水库, 厂房和引水隧道置于山体之内, 上池位于蟒山山顶。由于上池西北坡地质条件复杂, 受地应力卸荷影响, 岩体破碎, 边坡稳定性差, 极易造成滑坡、坍塌等地质灾害, 严重威胁电站的安全运行。为了保证工程质量, 防止日后地质灾害发生, 保证电站的长期安全供电, 地质力学研究所在完成电站工程的地应力测量之后, 又于1994年在上池西北坡对可能的塌滑体进行了预应力锚索锚固。

1 地质背景^①

十三陵抽水蓄能电站位于燕山西南部的蟒山地带。该地区大地构造属阴山纬向构造带, 以古生代寒武系的碳酸盐岩为基底, 其上为中生代侏罗系盖层, 由安山熔岩、安山质角砾岩、安山质凝灰岩和钙质胶结的砾岩组成, 全部工程置于侏罗系盖层之中。岩系、岩相变化

收稿日期: 2003-05-12

作者简介: 汪西海(1952-), 男, 高级工程师, 主要从事工程地质、地应力测量等方面的研究工作。

①胡海涛, 等。十三陵抽水蓄能电站施工期中工程地质问题的咨询报告。

较大，彼此间的接触关系复杂。有的地方为砾岩与火山岩连续沉积，间互成层，似为整合关系；有的地方为“断裂不整合破碎接触关系”，古风化壳的分布不规则。

上池岩性由软硬相间的安山熔岩与凝灰岩组成，走向 $N75^{\circ}E$ ，倾向 SE ，倾角 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ，倾角较缓，凝灰岩经层面错动，形成夹层风化，有的地方已泥化，浸水后发生软化，残余抗剪强度仅为 $f_r = 0.19 \sim 0.25 \text{MPa}$ 。四周断裂构造和节理十分发育，将岩体切割成碎裂结构，主要断裂有两组：一组走向 $N20^{\circ} \sim 60^{\circ}W$ ，倾向 SW ；另一组走向 $N10^{\circ}E$ 左右，两组倾角均较缓，小于 40° ，断层带宽 $0.5 \sim 2 \text{m}$ ，大的可至 $10 \sim 20 \text{m}$ ，其中最大的为北坡 f_{206} 断裂，走向 $N0^{\circ} \sim 20^{\circ}W$ ，倾向 SW ，倾角 $35^{\circ} \sim 48^{\circ}$ ，它与凝灰岩夹层或砾岩、安山岩交接面及西缘的 f_{214} 断裂组成切割滑棱体。

2 预应力锚索结构及设计

2.1 预应力锚索结构

预应力锚索加固岩体的实质就是通过锚索对被加固的岩体预先施加压应力，以限制岩体有害变形的发展，从而保持围岩的稳定。预应力锚索结构主要由锚固段、自由段、锚梁、支座、锚具等部分组成。锚固段是锚索给岩体内提供预应力的根基；自由段是连接内外锚固段的锚索体部分，通过对锚索的张拉，使自由段产生弹性变形而实现预应力；锚梁、支座及锚具是锚索借以提供张拉预应力和锚固锁定的部位。图 1 为锚索结构示意图^[1]。

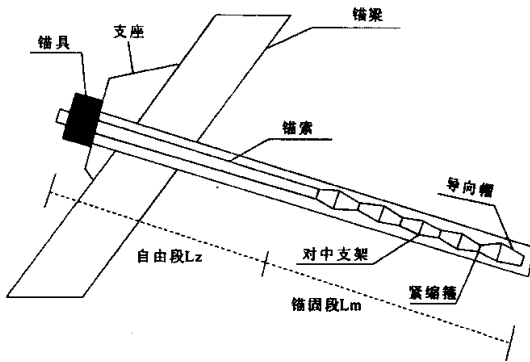


图 1 预应力锚索结构示意图

Fig.1 Sketch map of prestress anchor cable structure

2.2 锚固段、自由段长度的确定

在岩体锚固中，锚固段的设计是关键，为保证锚索设计的安全与经济，应充分利用锚索提供的粘结能力，设计合理的锚固深度。根据静力平衡条件，在确定了锚固力足以平衡岩层面的侧压力和下滑力后，其锚固段的长度主要取决于索体与水泥浆体界面之间的粘结力（握裹力）和水泥浆体与岩孔壁界面之间的粘结力^[2]。因此，在设计锚固段时，分别用 l_{m1} 来表示按索体与浆体的粘结力计算的单孔锚固段长度，用 l_{m2} 来表示按浆体与岩孔壁之间的粘结力计算的单孔锚固段长度。设计时假设锚固段应力是均匀分布的，即索体与浆体之间、浆体

与岩孔壁之间应力分布服从均匀分布^[3], 因此, 按索体与浆体界面和浆体与岩孔壁界面计算的单孔锚固段长度分别见公式(1)和(2)^[4]:

$$l_{m1} = mp/n\pi d\tau_a \quad (1)$$

$$l_{m2} = mp/\pi D\tau_b \quad (2)$$

式中: l_{m1} ——按索体与浆体界面计算的单孔锚固段长度;

m ——安全系数, 永久工程一般取 1.5~2.0;

p ——单孔锚索的设计张拉力;

d ——单根钢绞线的直径;

n ——锚索所组成的钢绞线的根数;

τ_a ——钢绞线与浆体的粘结强度;

l_{m2} ——按浆体与岩孔壁界面计算的单孔锚固段长度;

D ——锚固段钻孔直径;

τ_b ——浆体与钻孔壁岩石粘结力。

显然, 在设计锚索单孔锚固段长度时, 应取它们中最弱的一个界面作为设计单孔锚固段长度的依据。由于索体与水泥浆体界面之间的粘结力比水泥浆体与岩孔壁界面之间的粘结力小, 所以应根据 l_{m1} 来确定锚固段的长度。实际上, 索体与水泥浆体界面的应力分布并非是均匀分布的, 往往使得其实际约束强度值比均匀分布的约束强度小, 因而在生产实际工程应用中, 对公式 1 进行了修正, 修正后的公式如下^[3]:

$$l_m = kmp/n\pi d\tau_a \quad (3)$$

式中: l_m ——为修正后按索体与浆体界面计算的单孔锚固段长度;

k ——为修正系数。

一般情况下, $1 \leq k \leq 2$, 当 k 取 1 时, 即认为索体与水泥浆体界面的应力分布是均匀分布的。十三陵抽水蓄能电站上池西北坡锚索锚固段长度一般在 10~12m 之间, 该值略大于理论计算值, 主要考虑了多种因素的影响。实践证明, 这种设计是安全的。

自由段根据锚固体的深度及锚梁、锚垫板、锚具的厚度来确定。

2.3 锚索布置

锚索布置如图 2 所示, 第一排锚索位于 536.0m 高程处, 共有 12 根, 设计孔深为 33~37m 之间, 倾角 25°; 第二排锚索位于 548.0m 高程处, 共有 18 根, 设计孔深在 38~42m 之间, 倾角同样为 25°。两排锚索之间的行距为 12m, 锚索间距为 4m, 设计张拉吨位为 120 吨。

3 施工工艺

3.1 造孔

钻孔设备使用全液压力头式 MD-50 型钻机, 用潜孔锤钻进。该钻机结构简单, 重量轻, 全液压控制, 操作方便, 是用于地质灾害防治中滑坡和危岩体锚固的理想造孔设备。空压机风量为 20m³, 压力为 20MPa。造孔前, 事先搭好操作平台, 浇灌好钢筋混凝土锚梁, 在浇灌锚梁时预埋锚垫板和预留锚索孔。钻机到位后, 根据设计孔径和孔口坐标, 安装钻具, 调整好方位角和倾角, 接好风管即可开钻作业。钻孔时一般按设计的孔深超钻 30~50cm, 终孔后用高压风吹净孔内的岩粉, 保持孔内清洁, 将孔口用堵物塞好备用。

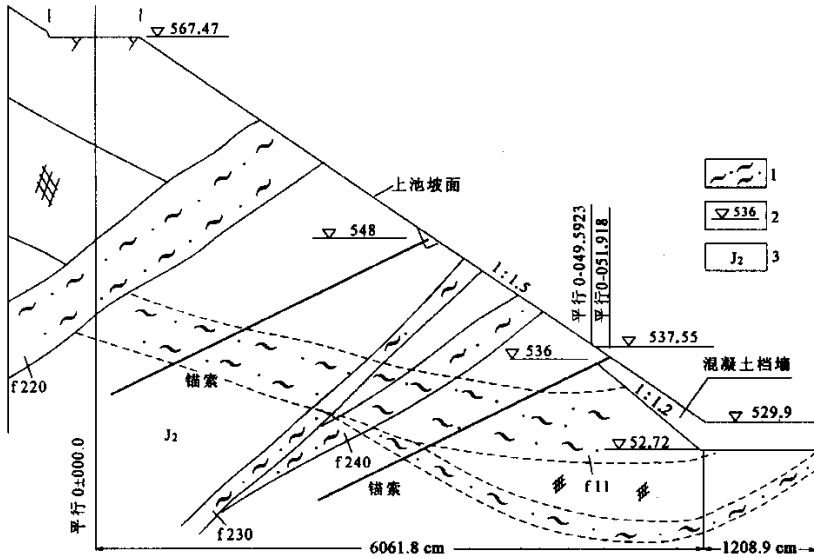


图 2 上池西北坡的锚索加固剖面图

Fig.2 Profile of anchor line reinforcement in northwestern slope of Shangchi

1. 断层破碎带; 2. 标高 (m); 3. 中侏罗统

由于上池西北坡地层复杂, 岩石破碎, 当钻孔穿越风化岩层和破碎带时, 往往要出现断层泥和地下水, 钻孔漏风, 岩屑难以排除, 卡钻、塌孔、埋钻现象严重。如果处理不当, 不仅钻孔作废, 甚至连钻具也无法取出。针对上述情况, 对地层复杂, 岩屑排出困难的钻孔, 使用高压、大风量的空压机作业; 对岩屑排出困难的钻孔钻进时加发泡剂, 增加岩屑的排出量, 减少卡钻现象; 对岩石破碎, 塌孔现象严重的钻孔, 进行固壁灌浆。为提高凝固效果, 采用水泥浆加水玻璃的混合液作为灌浆浆液进行固壁, 待水泥凝固后再重新钻孔。

3.2 编索

锚索材料选用天津市预应力钢丝二厂生产的 $7 \times \phi_{15.24\text{mm}}$ 高强度低松弛预应力钢绞线, 其抗拉强度 $\geq 1860\text{MPa}$, 屈服强度 $\geq 1580\text{MPa}$, 伸长率 $\geq 3.5\%$, 松弛级别 II 级。

编索前根据锚索长度用无齿锯切断钢绞线, 钢绞线长度应为锚索设计长度, 并考虑下料时的误差, 一般应多取 $100 \sim 200\text{mm}$ 的富余量。将切好的钢绞线分别量出锚固段和自由段长度, 在自由段涂刷防腐剂涂料, 待涂刷的防腐剂涂料干透后, 安装橡胶套管, 套管两端用高压胶布绑扎, 防止水及水泥浆液渗入涂层。

在平整的场地上架设作业台架, 将准备好的钢绞线平顺地放在台架上, 在锚固段每隔 1.5m 左右安装对中支架, 钢绞线不能相互交叉和重迭, 以防张拉时受力不均匀。两对中支架之间用铁丝扎一道紧缩箍, 以增加钢绞线与浆体的握裹力。

3.3 下索

下索前用探测管检测锚孔质量及核对孔深, 并以高压风再次将孔内的岩粉和积水吹净后即可下索。下索时, 应防止锚索扭压、弯曲, 注浆管跟随锚索一同放入钻孔, 注浆管头部距孔底宜为 $50 \sim 100\text{mm}$ 。为控制注浆量, 在锚索的锚固段和自由段的分界处安装注浆监视传感

器。

3.4 注浆

注浆泵使用 UB3 型隔模式电动灰浆泵,其构造特点是在活塞前面有一块软质隔膜,活塞用液体作中间媒介,工作时电动机通过齿轮传动使活塞往复运动,灰浆经吸入球阀至隔膜室,当隔膜被压时,灰浆冲开上球阀压到管道中。

注浆材料使用 525# 普通硅酸盐水泥配制的水泥浆,其灰水比为 1:0.45。为增加灌浆密实度,改善浆体灌注时的流动性,提高浆体强度,在搅拌灰浆时添加 U 型膨胀剂和 N 型高效减水剂。灌浆时,用注浆泵将搅拌好的浆液压入,自孔底向上灌浆,随着浆液的灌入,慢慢将注浆管向上拔出,注意在拔管过程中应保证注浆管口始终埋在浆体中,并控制注浆压力。

注浆结束后,要注入清水将泵体内和注浆管道清洗干净,不得留有余灰。冬季作业时,还要注意将泵体和注浆管道的水放净,防止冻冰,以保证注浆泵球阀正常工作和注浆管的畅通。

3.5 张拉

张拉设备使用 YCW150 型千斤顶和与之配套的 ZB4/500 型电动油泵;工作锚和工具锚全部选用广西柳州市建筑机械总厂生产的 OVM 锚具。

YCW 系列千斤顶具有连续递进的重复张拉性能,千斤顶的行程为 200mm。千斤顶的油缸、前后端盖和穿心套构成“不动体”,而活塞为“运动体”,当“不动体”和“运动体”配上不同的附件,运动体向外移动时,即可进行张拉。

张拉锚索前需对张拉设备进行标定,由于每台千斤顶液压配合面实际尺寸和表面粗糙度不同,密封圈和防尘圈松紧程度不同,造成千斤顶内摩擦阻力不同,而且,摩阻要随油压高低、使用时间的变化而改变。所以,张拉前要对千斤顶和使用的油压表、油管一起进行配套标定。标定时,将千斤顶、油管、压力表和高压油泵连接好,在压力机上用千斤顶主动出力的方式反复试验几次,取平均值,绘出千斤顶出力(KN)和压力表指示的压强(MPa)曲线,作为锚索张拉时的依据。

千斤顶与电动油泵的连接如图 3 所示。张拉时将 B 路截止阀(回油阀)打开,A 路截止阀关闭即可启动油泵电机,向张拉缸供油进行张拉,同时调节节流阀,以控制油压高低和张拉速度。在活塞外伸时,工具锚夹片可自行夹紧钢绞线,而工作锚中的夹片因受限位盘的支托而不会退出。当张拉到设计控制应力时,关闭 A 路节流阀,打开截止阀(回油阀),使 A 路压力慢慢降至零。由于钢绞线束的回缩,工作锚的夹片被带入锚板内而自行锁定。锚索锁定后,关闭 B 路截止阀(回油阀),打开节流阀,活塞回程,完成一次张拉循环。如果锚索较短,一次张拉循环就可以达到张拉控制应力;如果锚索较长,一次张拉达不到设计要求,则必须继续二次张拉,直至达到设计要求为止。

张拉采用分级稳压张拉,每级稳压持荷时间保持在 3~5 分钟,记录钢绞线伸长量,观察油压表指针有无回落现象,核定张拉力和伸长量是否一致,要求张拉完成后理论伸长量和实际伸长量之差不超过 6%。为了提高锚索各钢绞线受力的均匀度,采用先单根预张拉,预张拉一般为控制应力的 10%,然后进行整体张拉。为了减少预应力锚索的松弛损失,一般要进行超张拉,超张拉吨位一般为控制应力的 10%~15%。锚索锁定后,若发现明显的预应力损失时,应进行补偿张拉。

3.6 封孔注浆及封锚

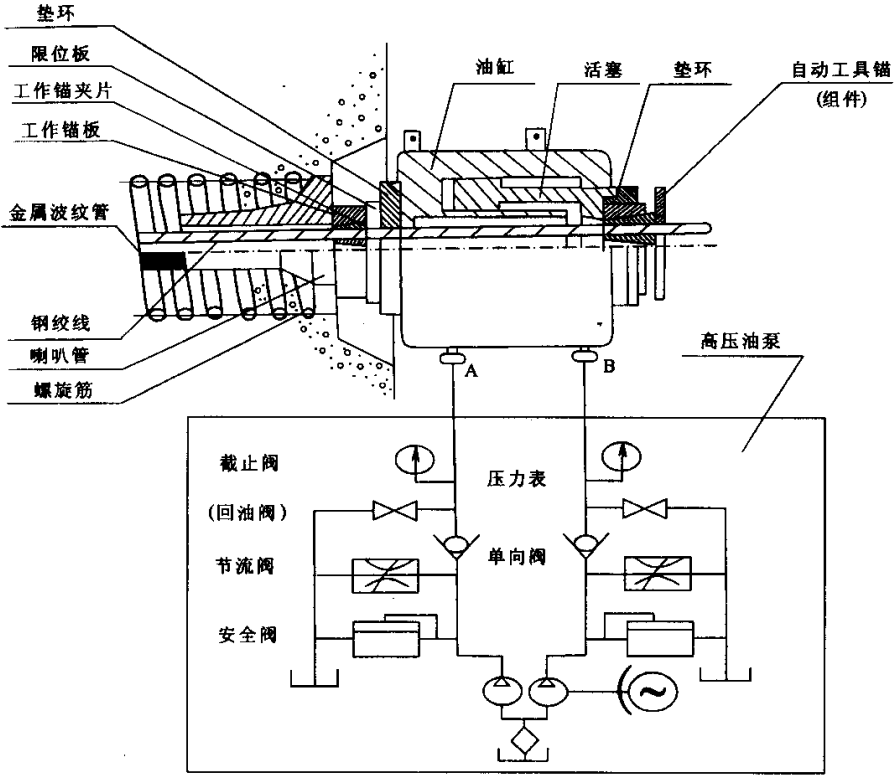


图 3 千斤顶与电动油泵连接示意图^①

Fig.2 The link schematic drawing of jack and electric oil pump

补偿张拉后，即可进行封孔注浆。封孔注浆后，从锚具量起，钢绞线留 80 ~ 120mm，用无齿锯将多余部分截去，用混凝土将外露钢件密封，以作永久性保护。

4 结语

预应力锚索加固岩体的实质就是通过锚索对被加固的岩体预先施加压应力，限制岩体有害变形的发展，从而保持围岩的稳定。它具有充分调用和明显提高岩土自身强度和自稳能力，工艺简单，适应性强等特点，在边坡、基坑、挡墙、坝体、隧道、地下工程等方面得到了广泛地应用。锚索锚固在十三陵抽水蓄能电站上池边坡中的成功应用表明，采用预应力锚索进行滑坡等地质灾害工程的治理，既能缩短工期，又可节约投资，是一种行之有效的防护手段。十三陵上池加固后至今已有多多年，没有发生滑坡等灾害，为电站的安全运行起到了保证作用。

随着国民经济的发展，大量公路、铁路、水电、城建等基础工程项目的开工建设，预应

^①柳州市建筑机械总厂，YCW 型系列千斤顶使用说明书。

力锚索锚固技术必将在地质灾害治理中发挥越来越重要的作用。

参加此项工作的还有地质力学研究所的马越和杜德平同志，造孔由勘探技术研究所的朱永宜等同志完成，再此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 黄晓华, 黄世明. 京珠高速公路粤境南十六标高边坡治理工程实践 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13 (1): 53 ~ 56.
- [2] 聂志红, 方理刚, 李亮, 等. 滑坡整治工程中预应力锚索锚固段应力测试与分析 [J]. 岩土工程界, 2002, 5 (5).
- [3] 丁多文, 白世伟, 刘泉声. 预应力长锚索锚固深度模型试验研究, 工程勘察, 1995, (4): 14 ~ 17.
- [4] 程良奎, 等. 岩土加固实用技术 [M]. 地震出版社, 1994.

APPLICATION OF PRESTRESSING FORCE ANCHORED CABLE IN THE FASTENING THE NORTHWESTERN SLOPE OF SHISANLING PUMPED STORAGE POWER STATION

WANG Xi-hai, WANG Lian-jie, GE Zeng-jun, WU Man-lu, WU Gang

(*Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China*)

Abstract: The upper reservoir of Shisanling pumped storage power station is located at the top of Mangshan Mountain. It is used not only for sluice and electricity generating, but also a new sight sport as “sky pond” in Shisanling recreation area. Taking the anchoring of northwestern collapse-body at the upper reservoir of Shisanling pumped storage power station as an example, this paper systematically elaborate the application of prestressing anchored cable in of the prevention of geologic hazard.

Key words: Shisanling; storage power station; prestressing force; anchored cable and anchoring