

水布垭工程中无粘结预应力锚索设计与施工

郭晓刚 叶伟峰

摘要 水布垭工程马崖高边坡、导流洞进出口边坡、防淘墙、地下厂房等部位的加固广泛使用了无粘结预应力锚索,这种锚索的特点是多层防腐保护,针对溶蚀裂隙性岩体特征,加强锚索孔的固结灌浆,简化了锚索灌浆程序,实现了真正的全长一次灌浆。通过锚索结构优化设计,确保锚索施工质量,提高锚索防腐性能和耐久性,对强岩溶裂隙化灰岩地层中进行锚索施工提供了较好的经验。

主题词 水布垭工程 无粘结预应力锚索 结构设计 灌浆程序

1. 概述

水布垭水利枢纽工程位于清江中上游河段,湖北省巴东县水布垭镇,属鄂西中高山地地形。主体建筑物主要有混凝土面板堆石坝、溢洪道、地下电站厂房、放空洞,主要任务是发电,兼顾防洪、航运及其它。水库正常蓄水位 400m,相应库容 45.8 亿 m^3 ,枢纽总装机容量 1600MW,单机容量 400MW。

水布垭工程坝址区地形陡峭,出露地层有二叠系下统茅口组、栖霞组和马鞍组,以及石炭系中统黄龙群、志留系下统纱帽组和泥盆系上统写经寺组。工程存在较多的高陡自然边坡、人工开挖边坡和极为复杂的地下结构,如马崖高边坡、导流洞进出口边坡、防淘墙地下厂房等,其在施工期和运行期的稳定性直接决定着整个工程的成败,必须采取综合措施对之进行加固处理。其中一个主要措施就是使用无粘结预应力锚索对上述部位进行全面加固。

在对国内外无粘结预应力锚索结构设计和研究成果进行广泛调研的基础上,结合水布垭工程溶蚀裂隙性岩体的岩体特征,对锚索结构进行相应的优化设计,加强锚索孔的固结灌浆,简化锚索灌浆程序,实现了真正的一次灌浆成功。本文通过介绍水布垭工程中 2000kN 无粘结预应力锚索的结构设计和施工,以期对强岩溶裂隙性灰岩地层中进行锚索施工提供一定的借鉴性经验。

2. 结构设计

2.1 钢绞线强度利用系数

预应力锚索采用国产高强度、低松弛钢绞线制作,吨位 2000kN,主要指标见表 1。

表一 2000kN 预应力锚索主要指标

设计锚固力 (kN)	设计张拉力 (kN)	钢绞线				设计应力强度 系数	超拉应力强度 系数
		使用标准	级别 MPa	公称直径 (mm)	根数		
2000	2100	GB/T5224-95	1860	15.20	14	0.56	0.63

由于在复杂的岩土体介质中,锚索中多股钢绞线同步张拉时,受力很难保证均匀一致,存在应力分布不均匀性,为保证有一定的安全储备,国内外岩土锚固工程锚索的设计强度一般取值为材料强度的 55% ~ 65%。考虑到水布垭工程马崖高边坡、导流洞进出口边坡、防淘墙、地下厂房等部位的重要性,钢绞线强度利用系数取为 0.56。按此强度利用系数进行计算需 14 根钢绞线。

2.2 锚索型式

随着工程实践的不断增长,人们对预应力锚固体系的耐久性防腐技术问题越来越重视。为防止锚索因地下水的侵蚀而发生断裂失效,岩土锚固工程中逐渐开始使用一次灌浆自由式锚索,即无粘结预应力锚索。这种锚索结构较之传统的两次灌浆全长粘结式结构,具有多层防腐保护,灌

浆工艺简单可靠,可多次补偿张拉等特点。鉴于马崖高边坡、导流洞进出口边坡、防淘墙、地下厂房等部位的重要性和岩溶裂隙性灰岩地层的力学特性,水布垭工程中预应力锚索大多采用了具有多层防腐保护的结构形式,即内锚段去皮洗油钢绞线由封闭的 HDPE(高密度聚乙烯)波纹管及其内外两层水泥结石保护,而自由张拉段钢绞线由钢绞线上涂油脂、PE 塑料包裹和 HDPE 波纹管及其内外两层水泥结石保护。

2.3 内锚头设计

多层保护无粘结锚索内锚段长度的确定,必须保证波纹管外灌浆水泥结石体不沿孔壁滑移,波纹管与其内外水泥结石体不剪开,同时钢绞线与周围水泥结石体不脱开。根据现有规程规范 GB50086 - 2001《锚杆喷射混凝土支护技术规范》,考虑水布垭工程溶蚀裂隙性岩体强度特性,

并参照其它大型水利水电工程实践经验,经计算确定 2000kN 无粘结预应力锚索内锚固段长度一般为 6.0m,对围岩特性较差部位,应加深锚索至完整岩体或根据实际情况适当加长内锚固段长度。

2.4 外锚头防腐保护

有关研究资料表明,无粘结预应力锚索结构腐蚀破坏的最薄弱环节在于外锚头部位。因此在水布垭工程锚索设计中,特别强调对外锚头作永久防锈处理。二期砼浇筑之前,应将锚具、钢绞线外露头、钢垫板表面水泥浆及锈蚀等清理干净,并将一二期砼结合面凿毛,涂刷一道环氧基液,然后浇筑二期砼。

2.5 锚索构造

2000kN 无粘结预应力锚索的构造见图 1。

图1 2000kN无粘结预应力锚索构造图

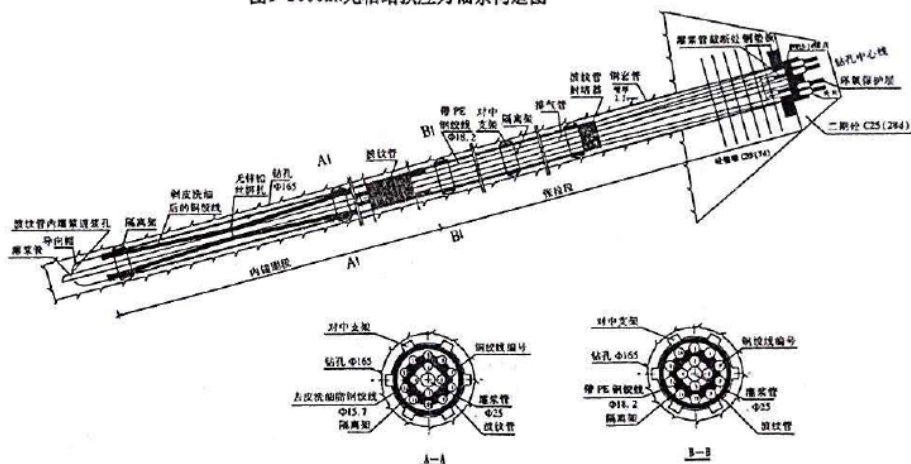


图1 2000kN 无粘结预应力锚索构造图

3. 施工工艺

3.1 钻孔

钻孔孔径采用 $\Phi 165\text{mm}$, 应优先采用潜孔钻造孔, 以使孔壁保持一定的粗糙度, 利于锚索灌浆后水泥结石与孔壁具有良好的粘结效果。锚孔钻进过程中如遇岩溶洞穴、塌孔或掉钻影响进一步钻进时, 应先进行固结灌浆处理, 而后继续钻进。如果在灌浆过程中发现严重串孔、冒浆、岩溶洞穴漏浆不起压, 应根据具体情况采取嵌缝、低压、浓

浆、间歇灌浆、灌水泥砂浆、细骨料砼、加速凝剂等方法进行处理。钻孔发现内锚段为较大的岩溶洞穴或断层破碎带时,应加深至较完整的岩体内。

清江水布垭水利枢纽位于灰岩岩溶地区,坝基岩体主要为二叠系下统茅口组和栖霞组灰岩,其中茅口组地层岩溶发育,属强岩溶化地层,栖霞组属强岩溶化与弱岩溶化岩组互层。同时,NNE-NE向裂隙、岸边卸荷裂隙均较发育。在强岩溶裂隙性灰岩地层中,利用锚孔进行围岩固结灌浆,有十分明显的效果,但施工过程中应考虑其对边

坡稳定的影响程度。通过固结灌浆可以大大降低锚孔的漏浆程度,对于保证锚索灌浆一次成功具有重要的意义,而且对边坡坡面和结构围岩整体稳定有利。

3.2 锚索灌浆

水布垭工程无粘结锚索采用真正意义上的二次灌浆工艺,其结构设计见图1。灌浆管插入孔底,波纹管内外同时进浆,分设排气管伸出孔口,孔口安装灌浆钢罩,装置构造见图2。为保证波纹管内灌浆质量,在波纹管口设置封堵器,封堵器由波纹管、隔离对中支架、石棉、锚索体、灌浆管、环氧砂浆、捆扎铅丝等组成。锚索灌浆工艺流程如下:

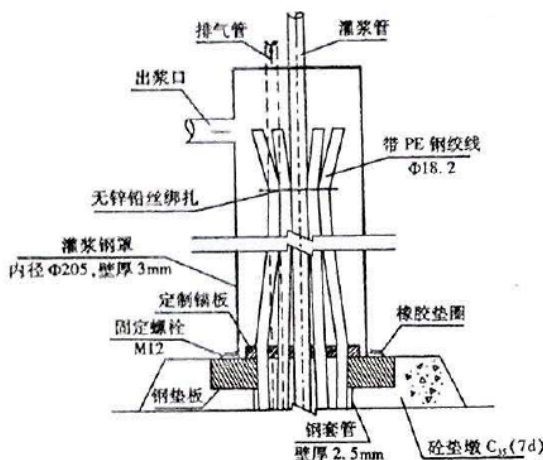


图2 锚索灌浆装置示意图

(1)在钢垫板上用螺钉固定灌浆定制锚板,厚2cm,锚板上开孔孔位与锚索张拉时的工作锚具一致,另增设一个 $\Phi 20\text{mm}$ 排气管。

(2)在定制锚板、钢垫板、外露钢绞线PE护套表面均匀涂抹一层润滑油,以便于灌浆后剥离表面粘结的水泥结石。

(3)利用钢垫板已钻设的螺栓孔固定灌浆钢罩,灌浆管与排气管伸出灌浆钢罩,钢罩朝上的一侧开设一个 $\Phi 18\text{mm}$ 出浆管,钢罩与钢垫板之间应设置橡胶垫圈,防止灌浆时漏浆。

(4)灌浆水泥采用42.5级普通硅酸盐水泥,水泥浆标号为C35(7d)。灌浆采用水泥浓浆灌注,水泥浆水灰比为0.35~0.4:1。

(5)灌浆时灌浆管进浆,排气管上安装压力表,采用有压循环灌浆法。开始灌浆时敞开排气

管,以排出气体、水和稀浆,回浓浆时逐步关闭排气阀,使回浆压力达到0.2~0.3MPa,吸浆率小于0.4升/min时,再屏浆30min即可结束。

3.3 张拉

灌浆达到设计强度,即可进行张拉。为保证张拉控制力的准确性,在张拉作业前须对张拉设备系统(包括千斤顶、油管、压力表等)进行“油压值—张拉力”的率定。安装工作锚具、限位板、夹片、千斤顶及工具锚,张拉时应记录每一级荷载伸长值和稳压时的变形量,且与理论伸长值和规定的变形量进行比较,如果实测伸长值大于计算伸长值10%或小于5%时,应查明原因并作相应的处理。锚索张拉时,先对单根钢绞线进行预紧,预紧时单根张拉力30kN,再将所有钢绞线一起分级张拉到2250kN时进行超载锁定。张拉过程中,升荷速率每分钟不宜超过设计应力的1/10,当达到每一级控制力后稳压5min即可进行下一级张拉,达最后一级张拉力后,稳压10min即可锁定。

4. 结语

无粘结预应力锚索结构设计与研究成果在水布垭工程中的应用表明:

(1)岩锚工程属隐蔽性工程,其施工质量对边坡和结构稳定至关重要,应规范化施工,加强质量监督,对关键工序须监理工程师旁站。

(2)对压水试验透水率较大的孔段必须进行固结灌浆,这是保证锚索灌浆一次成功的关键,而且对边坡坡面和结构围岩整体稳定有利。

(3)水布垭工程中2000kN无粘结预应力锚索的结构设计合理,灌浆工艺操作简单,是真正的一次灌浆工艺,适合于在强岩溶裂隙性灰岩地层中进行施工。

参考文献

- [1]程良奎,中国岩土锚固技术的应用与发展,岩土锚固工程技术的应用与发展[M],北京:万国学术出版社,1996.11
- [2]高峰、杨启贵,三峡工程岩锚加固技术现场试验论证,人民长江[J],Vol. 29, NO. 1, 1998年1月
- [3]翟才旺,廖忠刚,刘宗仁,小浪底工程中3000kN双层保护预应力锚索设计与施工,岩土锚固新技术[M],人民交通出版社,1998.11