

DOI :10.3880/j. issn. 1006-7647. 2011. 02. 016

小湾水电站堆积体边坡支护与锚索技术应用

张德圣¹ ,姜玉松¹ ,吴诗勇²

(1. 安徽理工大学土木建筑学院 ,安徽 淮南 232001 ; 2. 安徽理工大学地球与环境学院 ,安徽 淮南 232001)

摘要 :分析小湾水电站堆积体边坡支护措施 ,研究预应力锚索技术的应用。分析认为 ,研究区边坡支护综合运用了工程护坡和生态护坡等边坡处理技术 ,预应力锚索是其主体工程 ,锚索孔钻孔和灌浆是该技术应用中的难点和重点 ,使用偏心跟管钻进技术和同心跟管钻进技术能有效解决钻孔难以成孔的问题 ,通过在锚索体外裹土工布和细帆布的方法 ,既保证了水泥结石对自由段锚索体的保护 ,又减少了浆量损耗 ,避免浆体浪费。

关键词 :小湾水电站 ;堆积体边坡 ;支护技术 ;预应力锚索

中图分类号 :TV698·2⁺35 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2011)02-0066-05

Reinforcing of deposit slopes of Xiaowan Hydropower Station and application of prestressed anchorage cables//ZHANG De-sheng¹ ,JIANG Yu-song¹ ,WU Shi-yong²(1. School of Architecture and Civil Engineering , Anhui University of Science and Technology , Huainan 232001 , China ; 2. School of Earth and Environment , Anhui University of Science and Technology , Huainan 232001 , China)

Abstract : With regard to the deposit slopes of Xiaowan Hydropower Station , the relevant reinforcing measures were analyzed , and the application of prestressed anchorage cables was highlighted. The results indicate that the slope reinforcements in the study area comprehensively adopt engineering protection and ecological protection techniques. The pre-stressing anchorage cables are the principal part of the engineering , and their drilling and grouting are the difficulty and keystone of the anchorage technology. The technology of concentric drilling and eccentric drilling with pipes can availably solve boring problem. By wrapping geotextile and thin canvas outside the prestressed steel strand , it can make concrete calculi protect steel strand of tensile section and reduce grouting quantity so as to avoid grouting waste.

Key words : Xiaowan Hydropower Station ; deposit slope ; reinforcing technique ; prestressed anchorage cable

边坡失稳常发生在山区 ,一般为边坡高度大于 20 m、边坡坡度大于 50°的高陡边坡。从工程区域的地形地貌特征及现场地质勘测调查成果分析^[1] ,小湾水电站边坡工程的天然潜在失稳体主要集中在第四系覆盖层、全强风化层和强卸荷带内 ,由于高陡边坡无法完全避免 ,故存在部分沿弱风化、卸荷带边坡失稳的可能性。较大规模的覆盖层潜在失稳体主要集中在坝前的左岸饮水沟堆积体和右岸大椿树沟堆积体。在自然状态下堆积体边坡处于基本稳定至稳定状态 ,由于工程建筑的需要 ,部分堆积体被挖除 ,破坏了原有的平衡状态 ,根据堆积体部位的地质条件和结构特征(图 1) ,并结合左岸 2 号山梁饮水沟堆积体的工程水文地质条件 ,堆积体边坡可能存在的失稳滑动面位于堆积体与基岩的接触面附近。

前人已对小湾水电站边坡预应力锚索工程进行

了相关的研究^[2-4]。文献 [2] 主要研究同心跟管成孔工艺 ,文献 [3] 主要介绍锚索施工技术 ,文献 [4] 只是对锚索施工中常见的问题和解决办法进行了初步的探讨和研究。上述文献研究的问题为一般性问题 ,

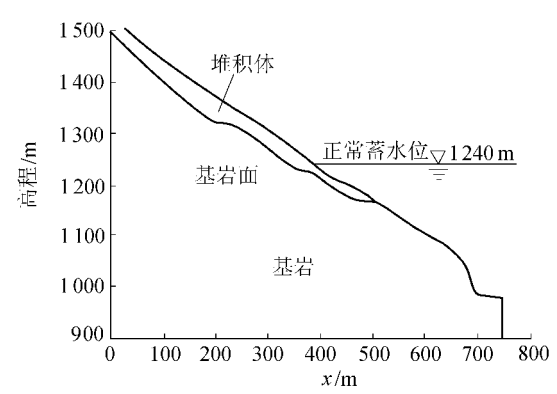


图 1 堆积体边坡纵剖面示意图^[5]

基金项目 :安徽理工大学博士科研启动基金(11050)

作者简介 :张德圣(1974—) ,男 ,安徽肥西人 ,讲师 ,博士 ,从事锚固与注浆研究。E-mail :zhangdesheng7412@tom.com

不是完全针对堆积体这一特殊类型边坡锚索施工进行研究,或者只研究锚索施工的某一方面,未对整个施工中出现的重点问题进行详细的阐述。笔者先从锚索类型及其设计指标入手,然后介绍堆积体边坡锚索施工技术并探讨锚索施工中的难点和重点问题。

1 工程概况及工程地质条件

小湾水电站位于云南省大理自治州南涧县与临沧地区凤庆县交界处的澜沧江中段河段,是澜沧江中下游河段上第2座梯级电站。该电站坝高292 m,为双曲拱坝。研究区边坡工程地质条件复杂。堆积体边坡是小湾水电站边坡工程中的一种典型边坡,饮水沟堆积体边坡和大椿树沟堆积体边坡分布于坝址区上游两岸。堆积体物质组成主要为块石、碎石,有较高的抗剪强度,由于组成堆积体的砂壤土、石、块石、巨石分布极不均匀,部分存在架空现象,故其透水性较强。在堆积体底部与基岩接触带分布着一层颗粒相对较细、厚0.15~8.05 m的坡积层,成分以砾石、粉砾为主^[5-6]。

根据岩土性质,边坡大致可分为岩质边坡、土质边坡和类土质边坡。根据边坡成因,可分为自然斜坡和人工边坡。

研究区边坡类型主要为岩质(花岗片麻岩)边坡和堆积体边坡,以岩质边坡为主,也为人工高边坡。堆积体边坡是小湾工程区一种特殊的边坡类型,主要分布于坝址区左、右两岸饮水沟和大椿树沟部位,该类型边坡给工程建设带来困难。

2 研究区堆积体支护措施

常用边坡护坡方法可分为植被护坡、工程护坡和生态护坡(即工程护坡与植被护坡相结合的护坡类型)3种。研究区堆积体边坡的治理综合运用了上述3种边坡处理技术,为小湾水电站边坡的稳定提供了有效保障。

2.1 深层支护系统

2.1.1 预应力锚索

预应力锚索是研究区边坡支护加固工程中的主体工程,它属于支挡结构防护,适用于深层欠稳定的边坡,既有防护作用,又有加固坡体的作用。预应力锚索可以分为有黏结锚索和无黏结锚索,目前对于锚索施工要求较高的工程一般都采用无黏结锚索。无黏结预应力锚索的施工技术是一种预应力“后张法”的施工新工艺^[7],其工艺原理是利用无黏结预应力筋与周边的混凝土不相黏结的特性,把预先组装好的无黏结预应力钢筋在浇筑混凝土浇筑前按设计

的要求安放,然后进行注浆。预应力锚索对边坡的作用机制主要反映在深层锚固作用、深部悬吊作用、注浆约束作用以及注浆后锚索延长上的摩阻作用等方面^[8-9]。

研究区堆积体边坡护坡所使用的预应力锚索一般采用普通拉力集中型全长无黏结预应力锚索。根据堆积体厚度及滑移面深度,锚索设计孔深为50~75 m,内锚固段长度为8 m或10 m,并保证内锚固段处于稳定的弱风化岩体内,其方位均为垂直边坡走向或蠕滑变形堆积体滑移面,钻孔倾角为水平下倾10°,锚索设计间排距一般为5 m×4 m,采用直径为15.24 mm、高强度、低松弛无黏结预应力钢绞线及HVM标准系列外锚具。研究区锚索数量多、规模大。

2.1.2 抗滑桩

小湾水电站工程区抗滑桩施工主要在坝址区左岸堆积体边坡,2004年12月发现堆积体边坡出现裂缝并有继续增加的趋势,为此除了在坡体上设置堆积体抢险锚索外,同时要进行了抗滑桩施工,以防山体进一步位移。高程1245 m抗滑支挡结构布置在坝顶公路内侧的上、下游,由抗滑桩、挡墙和预应力锚索三部分组成^[10]。抗滑桩地下部分最深近40 m,1~10号桩断面尺寸为3 m×5 m,11~15号桩断面尺寸为4 m×7 m,各桩之间采用钢筋混凝土板墙连接,并在每根桩身和挡墙上分别布置1800 kN级锚索。

2.2 浅层支护系统

浅层支持系统主要包括锚杆、锚筋桩、挂网喷混凝土、网格梁(框架梁)喷混凝土、网格梁植草等支护系统。小湾水电站边坡多为人工开挖形成的高陡边坡,岩石风化破碎,浅层岩土层尤其是堆积体边坡浅层岩土很难在坡面固定,在雨水或其他诱发因素下往往会发生落石、掉块和表层岩土体被冲刷流失等浅层失稳问题。故上述浅层护坡方法在研究区边坡护坡中应用很广。

锚杆施工一般是先用手风钻或潜孔钻造孔,然后注浆插杆。堆积体各级马道及平台外侧按间排距2 m×1.5 m呈梅花形布置2排锁口锚筋桩,30~32 mm钢筋点焊成捆,桩长为9 m,外露0.1 m,外排倾角小于10°。锚筋桩施工采用潜孔钻机或锚杆钻机钻孔后插入锚筋桩灌浆。

挂网喷混凝土通常是先在坡面上进行一定数量的锚杆施工,并预埋排水管,再挂网喷混凝土。所喷射的混凝土在坡面上应具有一定的厚度。网喷混凝土面层虽然不是主要的受力构件,但是能限制坡面鼓胀,加强边界的约束作用,从而削弱土体内部的塑性变形,对抑制土体的开裂变形尤为重要^[9]。在小湾工程区边坡施工中,网喷混凝土一般与浅层锚杆

结合起来使用。

在研究区,网格梁经常与锚索联合使用,此时混凝土网格梁(框架梁)在预应力锚索拉力作用下,较大范围地抑制了边坡变形,从而达到防止整体边坡失稳的目的。在进行网格梁施工时,网格梁中钢筋应与预应力锚索锚墩钢筋或与锚杆焊接起来,以增加其整体刚性。同时,对于边坡表面岩土层为强风化的砂土或破碎岩石以及堆积体坡面,分别进行铺设草皮、栽种植被或喷锚施工,增加边坡表面岩土层的稳定性或整体刚度和强度。

2.3 排水系统

小湾水电站边坡都是采取自上而下梯级式开挖方式,为避免雨水和地下水冲刷破坏开挖边坡,除了在坡面进行浅层防护系统施工外,常在坡面设置系统排水孔,排走地表水和浅层地下水。另外,重点在开挖边坡开口线以外设置坡顶截水沟,并在一定高程的马道上设置系统的坡面排水沟。截水沟、坡面排水沟形成网络与设置的集水井相接,最终通过地下排水洞沿排水明渠汇入澜沧江。

2.4 其他支护措施

在研究区除了进行以上边坡支护措施外,还进行了坡脚反压回填、削坡减载以及在堆积体内部施工排水隧洞等边坡防护技术。

3 小湾水电站边坡预应力锚索施工技术

小湾水电站边坡多为人工高边坡,大部分边坡开挖坡度较陡(设计坡度一般为 45°),按照垂直高差20m为一台阶进行分级开挖和支护。由于研究区边坡的工程地质条件极其复杂,特别是两岸堆积体广泛分布且卸荷裂隙发育,开挖边坡的安全稳定性需要用锚固工程来支持和保证,而且锚固量亦相当大。预应力锚索作为一种永久加固手段,是小湾水电站左岸边坡乃至整个水电站边坡支护加固工程中的主体工程。

3.1 预应力锚索类型及其设计指标

3.1.1 预应力锚索类型

预应力锚索是指通过钻孔(或预留孔道)将主要承受拉力的钢绞线、高强度钢丝设置于稳定地层内(或稳固构筑物上),并在被加固体表面通过张拉产生预应力使被加固体双面受压的结构物^[1],主要由锚固段、自由段及锚头3部分组成(图2)。按照不同的分类标准,预应力锚索类型不同。如根据锚索所处的岩层可将锚索分为土锚和岩锚,根据钢绞线外有无保护层可将锚索分为有黏结锚索和无黏结锚索,根据锚固段结构受力状态可将锚索分为拉力型锚索、压力型锚索和荷载分散型锚索。

3.1.2 预应力锚索设计指标

小湾水电站工程边坡分布范围广泛,工程地质与水文地质条件极其复杂,尤其是分布于两岸的堆积体边坡。研究区边坡高且陡,地质条件差,断层裂隙发育,地下水埋深较浅,堆积体厚度较大。根据边坡地形、地质特点,采用的锚索分为有黏结锚索和无黏结锚索(以无黏结锚索为主),主要有1000kN、1800kN、3000kN和6000kN等各种吨位级别锚索,设计锚索数量上万根(束)。

拉力型锚索的锚固段采用纯水泥浆或水泥砂将锚固段部分固结在被锚固的稳定部位,该类锚索结构简单、施工方便、造价较低。但这种锚索作为永久性锚索,其防护性能差,内锚固段受力机理不尽合理。压力型锚索的受力机理为浆体受压,被锚固体受压范围更大,从而可提供更多的锚固力,较大荷载位于锚索的根部,靠近孔口方向荷载明显变小。该类型锚索能充分利用有效锚固段,但对钻孔壁的承载力和钻孔直径大小有苛刻的要求。荷载分散型锚索能将施加的预应力分散在整个锚固段上,不仅使锚固段内应力值减小,还可使其应力沿锚固段分布更加均匀。缺点是张拉程序复杂、施工进度慢等。普通拉力型锚索不仅结构形式简单,施工、张拉方便快捷,而且还可以采用全长黏结式锚索,锚索体成本低,适用于大规模施工。经比较研究并结合实际情况,小湾水电站边坡主要施工的锚索类型为一般拉力集中型锚索(即普通拉力型锚索)。

3.2 预应力锚索施工技术

预应力锚索施工流程主要包括造孔、锚索制作与安装、锚索体灌浆、锚墩施工、张拉与封锚等施工工艺,具体工序如图3所示。

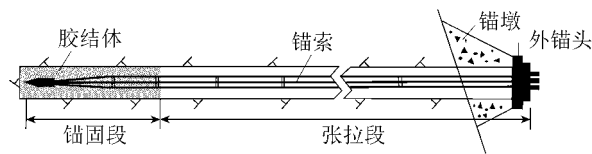


图2 预应力锚索结构简图

3.2.1 钻孔

放孔样是钻孔的前期工作,施工单位根据设计要求在边坡上标出孔位及方位角等相关参数。此外,还要进行钻孔前的其他准备性工作,如搭设排架等。根据DL/T5083—2004《水电水利工程预应力锚索施工规范》^[12],应按设计要求测定孔位,孔位坐标误差应小于或等于10cm,方位角误差应小于或等于 3° 。方位角是小湾水电站边坡锚索施工中不可忽略的参数。

钻孔是锚索施工的重要环节,也是小湾水电站边坡锚索施工中的难题。因为小湾水电站边坡地质

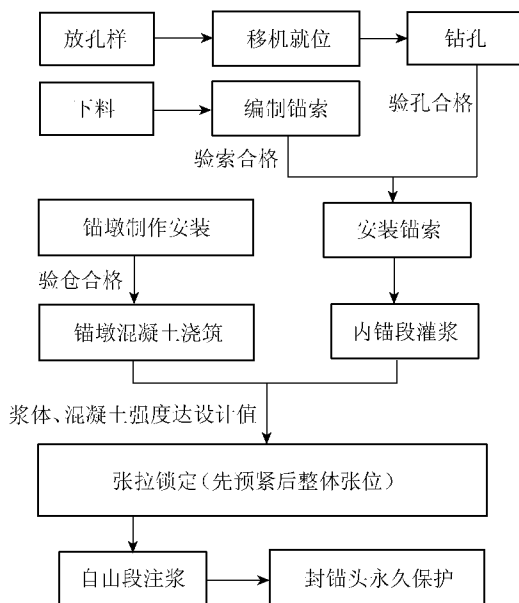


图3 锚索施工流程

条件极为复杂,边坡岩石风化深度较大,边坡岩体卸荷裂隙发育以及地下水位较高等因素使得成孔率很低,经常出现卡钻、掉钻、串风、掉钻、漏风等工程问题,造孔难以成孔。另外,分布于电站坝址区两岸的堆积体也给锚索施工带来极大的困难。采用常规的固壁灌浆方法,再进行2次或3次扫孔仍然难以成孔,同时还出现耗浆量大的问题,在右岸耗浆量大的工区最大下浆量达到60多t。

经设计、监理与施工方三方共同研究决定,在右岸进行边坡锚固生产工艺适应性试验,在左岸进行探索性钻孔施工。在右岸边坡锚固生产工艺适应性试验施工中发现,普通冲击钻适用于完整岩石,对于破碎岩石和堆积体钻孔,由于塌孔、卡钻、漏风或不返风等现象时常发生,钻进困难,而使用螺旋钻杆钻进和跟管钻进施工技术更容易满足施工要求。在左岸边坡锚索钻孔施工中,2号山梁锚索钻孔时经常发生孔内事故,卡钻、掉钻、塌孔、掉块以及打断套管、管靴等事故时有发生。钻孔时,人们尝试使用固壁灌浆成孔技术,但是,由于施工区域特殊的工程地质、水文地质以及构造地质等因素,固壁灌浆成孔成本高且成孔周期长,根本不能满足施工工期要求,尤其不能满足2号山梁抢险锚索施工要求。所以,固壁灌浆成孔技术不值得在小湾水电站工程中推广应用。经探索性钻孔施工,施工单位主要应用偏心跟管钻进和同心跟管钻进技术,并推动跟管钻进技术更趋成熟。

偏心跟管钻进的工作原理是:通过冲击器的震动冲击作用,带动偏心钻具进行钻孔,钻进时,在离心力与摩擦力的作用下,偏心轮朝外偏出从而达到扩大孔径的目的,再通过稳杆器的冲击带动套管跟

进,钻孔产生的岩粉通过稳杆器上的键槽吹出孔外;结束钻孔时,反转操作使得偏心轮收拢提出套管,套管留在孔内护壁成孔。同心跟管钻进的工作原理:钻杆和套管分内外连接在钻机动力头上,钻进时中心钻头依靠冲击器钻进,而套管管靴设计为空心钻头,依靠动力头配置的强大震动冲击使套管与中心钻头同时取得进尺。施工单位结合国内外钻机特点,尝试采用同心跟管技术造孔。但是,同心跟管钻进技术及钻孔所使用的相关材料有待进一步的提高和改善^[2-3]。此外,在小湾水电站边坡锚索造孔过程中,施工单位结合采用向孔内加入水玻璃或喷射混凝土等技术进行堵漏,但效果不是很好。孔内摄像是选择性地对某些锚索孔进行的,目的是为了获得更多的地质资料,指导后期锚索孔施工。

3.2.2 锚索制作与安装

首先进行钢绞线下料,其长度要考虑孔深、锚墩厚度和张拉用索体长度,下料长度经验公式为

$$L = L_{孔} + L_{墩} + L_{张}$$

式中: L 为下料的长度; $L_{孔}$ 为孔深; $L_{墩}$ 为锚墩厚度; $L_{张}$ 为张拉所需要的索体长度。

对于无黏结锚索,锚固段要剥掉PE管并清洗干净,这是锚索编制的一道重要工序。传统的清洗方法比较繁琐^[13],笔者在施工中探索性地使用木料锯末加棉纱的方法代替传统的用有机油类加棉纱等方法清洗锚固段,既干净快捷、省工省时又能充分利用资源^[4]。然后按照设计要求编制锚索,整个编索过程要挂牌施工,严格管理,避免张冠李戴的现象发生。

把编制好且验收合格的锚索从工地临时加工场地人工送至施工边坡马道,再由施工平台上、下的人员以上拉下推的方式把锚索体送入孔内至规定深度后锚索安装完成。

3.2.3 锚索灌浆与锚墩施工

锚索灌浆分为内锚固段灌浆和自由段灌浆。对于无黏结锚索灌浆,可以进行锚索孔一次性灌浆至孔口出浆为止。灌浆材料必须合格,并按水灰比要求制作浆液。根据小湾水电站边坡特有的工程地质条件,总结出在无黏结锚索自由段采用外包土工布和细帆布的办法来减少灌浆量,避免浆体流失,保证水泥结石对自由段锚索的保护作用。具体做法是:在锚固段和自由段之间设置止浆包,在自由段外包裹土工布和细帆布;土工布和细帆布包裹时要呈现布袋形状,袋体分为2层(内层为土工布,外层为细帆布),用手工缝纫机缝制,包裹直径约为孔径的1.1~1.2倍。土工布的特性是透气、透水和不透浆,而细帆布具有透气、透水和耐磨的特性,从而起到保

护内层土工布的作用。灌浆时,浆液先灌满锚固段部分(止浆包作用)随后进入自由段部分直至填满,由于锚索体外裹材料与岩体松散堆积体或破碎基岩的有效隔离,避免了浆体的流失。

外锚墩为钢筋混凝土结构,钢筋制作要严格按照施工图纸进行。清理掉锚索孔周边岩体表面软弱岩层或松动岩块及其他杂物,把制作好的外锚墩钢筋安装到位。随后立仓,清洗仓面,验收合格后进行锚墩混凝土浇筑,并进行养生。

3.2.4 张拉

待锚索注浆浆体强度和锚墩混凝土强度达到设计强度后即可进行锚索张拉工作。锚索张拉分为预紧张拉和整体张拉两部分,先预紧张拉,后整体张拉。张拉前要对张拉力用千斤顶、压力表和测力计进行联合率定,绘制张拉力~压力表读数关系曲线,以便张拉时参照。

预紧张拉是为了将锚索中所有钢绞线绷直调匀,使整体张拉时各根钢绞线能均匀受力。整体张拉按照一定次序进行,每级张拉要稳压一段时间后,再进行下一级别张拉,至最后一级张拉稳压后锁定。张拉时,在每级张拉稳压时间内用钢尺测量锚索张拉实际伸长值,并做好记录,如果锚索实际伸长值小于理论伸长值的5%或大于理论伸长值的10%时,要停止张拉,待查明原因后再进行张拉。由设计方监测锚索的具体数量及位置,在张拉中要安装测力计同步测试张拉荷载,张拉锁定后,观测最后锁定预应力值及后期预应力损失情况。

3.2.5 锚索永久保护

锚索的耐久性和防腐性不可忽视。目前,国内主要应用水泥浆包裹钢绞线以及用水泥砂浆或混凝土包裹锚头来达到索体和锚头防腐的目的。

小湾水电站工程中,有黏结锚索张拉完成并验收合格后经监理工程师同意,向锚索孔内灌浆至孔满,待孔内水泥浆液干缩后,继续向孔内注浆,填满孔口不满部分。而无黏结锚索一般采取一次性灌浆至孔满为止,然后向孔口不满部分填满浆液即可。注浆结束24h之后,可以用手提式砂轮机对锚索外露超长部分钢绞线进行切割,切割后的钢绞线在工作锚具外的外露长度一般为15~20cm。清除工具锚头上的水泥浆和杂物,随后立仓并浇筑混凝土进行封锚处理,作永久保护,注意要对锚头混凝土进行养生处理。

4 结 论

a. 小湾水电站工程区堆积体边坡是一种特殊

类型的边坡,其工程地质条件相当复杂,治理难度大,边坡支护技术综合采用了工程护坡和生态护坡等技术。

b. 预应力锚索是小湾水电站堆积体边坡工程中的主体工程,锚索孔钻孔和灌浆是该技术应用中的难点和重点。其中,出现上述难题的主要原因是工程地质条件差。在研究区采用固壁灌浆技术来加固围岩效果很差,不宜在研究区推广应用。

c. 对于研究区锚索钻孔难以成孔的问题,经试验和探索性施工发现,使用偏心跟管钻进技术和同心跟管钻进技术效果甚佳。

d. 堆积体边坡锚索施工中,灌浆时所遇到的主要难题是耗浆量很大,通过在锚索体外包裹土工布和细帆布的办法,既保证了水泥结石对自由段锚索体的保护,又降低了耗浆量,避免不必要的浆体流失。

参考文献:

- [1] 刘兴宁,王国进,陈宗荣.动态设计中的小湾水电站边坡工程[J].水力发电,2004,30(10):30-32.
- [2] 邓文明.同心跟管成孔工艺的应用与研究[J].湖南水利水电,2005(4):26-27.
- [3] 张德圣,潘勇,林舸.小湾水电站边坡预应力锚索施工[J].建铁道筑,2009(2):71-73.
- [4] 张德圣,林舸,龚发雄,等.小湾水电站预应力锚索施工常见问题初步探讨[J].施工技术,2006,35(9):67-70.
- [5] 潘亨永,杜建成,胡小明,等.小湾左岸坝前堆积体高边坡稳定性分析[J].人民珠江,2000(4):24-26.
- [6] 陈砺,祁豫疆.小湾水电站左岸坝前堆积体结构特征及稳定性研究[J].云南水力发电,2000,16(1):26-30.
- [7] 邓衍武.无黏结预应力锚索技术的应用与监理要点[J].山西建筑,2008,34(9):188-189.
- [8] 陈肇元,崔京浩.土钉支护在基坑工程中的应用[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2000:5-155.
- [9] 汤连生,宋明健,廖化荣,等.预应力锚索复合土钉支护内力及变形分析[J].岩石力学与工程学报,2008,27(2):410-417.
- [10] 代成良,方政林,张西香.小湾水电站左岸堆积体边坡失稳综合治理[J].云南水力发电,2009,25(1):45-48.
- [11] 陈发达.岩土工程中的预应力锚索设计[J].路基工程,2005(3):36-39.
- [12] DL/T5083—2004 水电水利工程预应力锚索施工规范[S].
- [13] 卞俊威,孙雪琦.预应力锚索在省道327线滑坡加固工程中的应用[J].西部探矿工程,2008(1):51-53.

(收稿日期:2010-06-04 编辑:方宇彤)