

# 分区设计在安家林水库上游坝坡防护中的应用

孙庆磊<sup>1</sup>, 鹿新高<sup>2</sup>, 曹 强<sup>3</sup>

(1. 山东农业大学勘察设计院, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学水利土木工程学院, 山东 泰安 271018; 3. 山东省水利疏浚工程处, 山东 济宁 272021)

**摘要** 以安家林水库护坡优化设计为例, 结合护坡分区设计的原理和方法, 提出了上游护坡优化设计方案, 即“植草砖生态护坡 + 预制混凝土异型连锁块护坡 + 浆砌石井字网格护坡 + 坝前抛石护脚”方案。安家林水库除险加固后已安全运用 2 个冬季, 结果显示: 该方案符合国家对水库除险加固工程设计的指导精神, 满足水库防洪安全运用的需求。

**关键词** 病险水库 除险加固 坝坡防护 分区设计

**中图分类号** TV861      **文献标识码** B      **文章编号** 1006-7647(2010)S1-0089-04

护坡工程在水库安全运行中起着非常重要的作用。上游护坡是水库坝坡最重要的外部保护层, 是水陆交错带, 在保障坝体安全、保持水土、美化环境、调节气候等方面具有重要的功能。随着人们生活水平的不断改善, 人们对生活环境的景观需求也在逐渐增强。处于城市郊区的水库, 如何与周边环境相和谐, 既满足防洪运用、工程安全及投资经济的要求, 又满足工程的景观需要, 越来越受到人们的普遍关注。护坡设计是实施护坡工程的前提与基础, 面对中小型病险水库存在的原始资料少、安全隐患多、工作经费有限等诸多问题, 探讨技术可行、安全可靠、节省投资及美化环境的护坡优化设计方案, 显得尤为迫切。

## 1 分区设计理念的提出

目前, 护坡形式主要有干砌块石护坡、浆砌块石护坡、抛石护坡、混凝土预制块护坡、现浇混凝土护坡、井字网格护坡、拱形网格护坡和水泥裹砂喷射混凝土护坡等。护坡的主要作用是保护坝坡, 防止雨水冲刷、风浪淘刷、冰层破坏, 防止动物洞穴及直根系植物生长, 同时具有美化环境的功能。为使护坡充分发挥其作用, 进行优化设计就显得尤为重要。据有关统计资料显示: 水库兴利水位以上和死水位以下约占总护坡面积 55% 的坝面为“安全区”, 从未出现过破坏; 兴利水位以下到死水位以上 45% 的坝面为“可能破坏区”, 其中主河槽靠近兴利水位 15%

~ 20% 的坝面为重点破坏部位<sup>[1]</sup>。同时, 据大量护坡毁坏调查统计资料分析结果表明: 护坡毁坏部位均在死水位以上 3 ~ 5 m 到兴利水位之间, 且在常年经常保持的水位线上。过去在工程实践中多采用单一护坡方式, 往往不能兼顾各方面的要求, 达不到优化设计的目的。因此, 在水库护坡设计中, 应根据水库具体情况, 结合水库护坡不同部位受浪压力程度不同的特点, 依据技术可行、安全可靠、就地取材、环境美观、方便施工、投资最省的原则, 综合考虑各种因素和需求, 进行护坡分区设计, 汇集多种护坡设计方案的优点, 满足多样需求, 达到安全可靠、经济美观、生态环保的目的, 形成较优的设计方案。在安家林水库护坡设计与实施过程中, 引入分区设计理念, 在综合考虑工程安全、经济、美观、生态、环保等因素的基础上, 结合水库护坡不同部位受浪压力程度不同的特点, 提出了分区设计的优化护坡方案, 即“植草砖生态护坡 + 预制混凝土异型连锁块护坡 + 浆砌石井字网格护坡 + 坝前抛石护脚”, 从而达到了安全可靠、经济美观、生态环保的优化设计与实施目的。

## 2 设计实例及实施分析

### 2.1 工程概况

安家林水库始建于 1966 年, 位于泰安市泰山区泰前办事处东北部, 坐落大汶河流域泮汶河支流柴草河上, 水库流域面积为 20 km<sup>2</sup>, 主河道长为 8.5 km,

作者简介: 孙庆磊(1982—), 男, 山东郓城人, 助理工程师, 主要从事水利工程勘测设计工作。E-mail: sunqinglei2003@163.com

干流平均坡降为 4.4% 水库总库容 819 万  $\text{m}^3$ ,是一座以防洪为主,兼顾灌溉、养殖等综合利用的小(1)型水库,设计洪水标准为 50 年一遇,校核洪水标准为 500 年一遇,地震设防烈度为 VI 度。水库由大坝、溢洪道、放水洞 3 部分组成。大坝为黏土心墙砂壳坝,坝体总长 1010 m,最大坝高 23 m ;上游坝坡高程 179.35 m 处设戕台,宽 1.0 m,戕台以上坡比 1:2.0,以下坡比 1:2.25 ;干砌石护坡厚 0.35 m,砂卵石垫层厚 0.45 m 护坡石多为中风化片麻状花岗岩,部分强风化,块径小、厚度薄、重量轻、锤击易碎、抗冲刷及抗风化能力差 护坡砌筑质量差,松动、错位、缺失、塌陷严重。一般沉陷为 0.6 ~ 0.8 m,最大达 1.0 m ;桩号 0+260 ~ 0+560 范围内出现大面积滑坡。护坡垫层厚度不均匀,粒径及颗粒级配不符合要求,局部无垫层。工程建设受当时施工技术和经济条件限制,水库防洪标准低,施工质量差,特别是经过 40 多年的运行,许多设施老化,隐藏着诸多重大安全隐患,严重威胁下游 4 个镇、64 个村庄、9.2 万人、约 1.07 万  $\text{hm}^2$  农田和泰山东部新区、辛大铁路、泰莱高速及水库下游 40 余家大中型企业的安全,见图 1。



图 1 加固前的安家林水库

## 2.2 上游坝坡坡比设计

经复核,现状上游坝坡抗滑稳定不满足规范要求。根据实测坝体横断面,考虑坝型、坝高、土料性质、运用情况、地基条件等因素,采用培厚放缓坝坡方案加固坝坡。依据类似工程经验初选坝坡,经稳定计算对坡比进行修正。确定上游坝坡高程 179.35 m 处设戕台,顶宽 2 m,戕台以上坡比为 1:2.5,以下坡比 1:2.75。

## 2.3 上游护坡设计

### 2.3.1 第 I 区植草砖生态护坡设计

第 I 区为设计洪水位以上坝坡,是护坡的“安全区”。由于坝坡平时不受风浪袭击,没有隐患,在高水位情况下坝坡一般可以承受短历时的大风浪袭击。目前中小型水库正常蓄水位多在兴利水位以下、死水位以上 3 ~ 5 m 的范围 ;近 20 年来水量较少,农田灌溉、城市供水量日趋增加,有关水行政主

管部门对水库汛前水位进行限制,调查表明该水库很少达到兴利水位,超过兴利水位的情况更少、且历时较短。为节约资金,同时防止发生高于设计标准的洪水时出现风浪卷坡险情,按设计洪水位加波浪影响高度控制分区线,拟定第 I 区护坡为高程 188.58 m 以上部分。

该水库位于泰山风景区内,是人们休闲、旅游、度假的重要场所之一。为使该区段既满足防洪、工程安全、保持水土的要求,又构建优美的自然景观和生态环境,同时兼顾工程施工技术简单、投资最省、运行管理方便等特点,现采用了一种融现代水利学、环境学、生物学、生态学、美学等多学科为一体的新型生态护坡技术<sup>[2]</sup>——铰链式植草砖生态护坡。混凝土植草砖是一种既能防冲固沙又具备生态保护、美化环境,且能适合本地区施工及生长条件的绿化混凝土护坡结构形式,其护砌整体性能、防护强度、易于操作等方面均好于其他结构形式<sup>[3]</sup> ;在淮河入海水道防护工程中进行了成功运用。

混凝土植草砖要求为机制、高压、强振、蒸汽养护的预制混凝土构件,经计算厚 150 mm,采用抗压强度标号为 C25,抗冻标号为 F150 ;混凝土植草砖内留框格,填满营养土,种植无种子的须根系植物,可根据景观需要,制作美丽的图案。

### 2.3.2 第 II 区预制混凝土异型连锁块护坡设计

第 II 区为高程 188.58 m 以下至上游坡戕台之间的坝坡,是护坡的“容易破坏区”。该部位为常年水位作用区,水深大、库面吹程长,浪压力大是该区护坡损坏的主要原因。预制混凝土块为异型连锁块,可在预制件厂加工,机械化程度高 结构整体性好,对不均匀沉陷、伸缩变形有较好的适应性 抗渗、抗冻性能优良 视觉效果美观,与环境协调 施工技术简单,施工速度快,节省工期。在安徽淮北大堤加固<sup>[4]</sup>中已成功应用,故第 II 区设计选择采用预制混凝土异型连锁块护坡。

预制混凝土异型连锁块抗压强度为 C25,抗渗标号为 W4,抗冻标号为 F150。采用全自动机械液压高频率振动成型工艺完成,因此砌块不仅具有密实、均匀和强度高的稳定内在质量,而且外观好,生产效率高,既能满足工程的需要,也能起到美化环境的作用<sup>[4]</sup>。现场预制混凝土块抗冻、抗渗性能差,易破坏。故预制混凝土块制作过程中需掺加具有引气作用的外加剂,采用蒸汽养护工艺养护。

为防止相互影响,第 I 区和第 II 区分区处设置 M10 的浆砌石防滑齿槽,尺寸为  $1.2 \text{ m}^2 \times 0.8 \text{ m}^2$ 。第 II 区和第 III 区之间戕台采用厚 0.6 m 的 M7.5 的浆砌片石砌筑,每 10 m 设 1 条宽为 20 mm 的伸缩缝,缝

间塞填橡塑板。

### 2.3.3 第Ⅲ区浆砌石井字网格护坡设计

第Ⅲ区为上游坡戕台至抛石护脚平台之间的坝坡,是护坡的“可能破坏区”。该区位于死水位以上3~5 m,水面吹程相对较短,水深很浅,产生的浪压力有限,仅会引起轻微护坡损坏。井字网格护坡适于浪压力较小的坡面,井字网格由水平梁和竖向格组成,梁格间铺砌块石,网格在坡面上形成具有整体刚度的平面框架结构,其本身可以承受浪压力及水流的冲(退)刷作用,同时增强护坡的整体性和稳定性。当护坡局部塌陷或受风浪作用而破坏时,可将毁坏限制在一定范围内,防止毁坏影响范围扩大。目前在山东省的米山水库<sup>[5]</sup>中应用效果较好。考虑该区经常处于水下,不影响美观,确定第Ⅲ区采用井字网格护坡。

井字网格梁跨5.0 m、梁间距7.0 m,梁格尺寸按结构计算和构造要求确定,宽0.8 m,厚0.6 m,分缝处格、梁断面尺寸为 $0.6\text{ m}^2 \times 0.6\text{ m}^2$ 。为合理利用坝坡拆除过程中挑选的满足设计要求的石料,节约工程造价,井字格梁采用浆砌石砌筑。主河槽部位控制网格尺寸,坝肩部位适当放宽。为适应温度变化和均匀沉降,网格设变形缝,纵、横向每3跨格梁设1条变形缝,缝间距为15~21 m。同时在网格布置及尺寸变化处设缝,使结构受力条件合理。为增加网格刚度,改善格梁两端受力条件,在水平梁和竖向格交点处设补角,其尺寸同梁厚度。在梁、格间采用原坝坡优选块石铺设护坡,块石要求规整、坚硬,厚度大于或等于20 cm,长度和宽度控制在30~50 cm,质量大于或等于30 kg,抗压强度大于或等于40 MPa。为确保护坡安全,在上游坝脚设置M10的浆砌石护脚,尺寸为 $1.2\text{ m}^2 \times 0.8\text{ m}^2$ 。

### 2.3.4 第Ⅳ区坝前抛石护脚设计

第Ⅳ区为死水位以上0.6 m以下的坝坡,为护坡的“安全区”。该区常年位于水下,一般不会损坏,采用抛石护脚不影响水库景观效果。抛石护脚法是一种较传统的护面措施,在美国等发达国家应用较多,具有施工简单、对坝体沉降适应性强、有利于坝坡稳定的特点。根据有关统计该类护坡损坏率较小,在新疆的苏库恰克水库<sup>[6]</sup>、山东的跋山水库<sup>[7]</sup>及吉林的尼尔基水利枢纽<sup>[8]</sup>中已得到成功运用。又因安家林水库拆除了大量的石料,就地取材方便,可节省投资,缩短工期。综合考虑以上因素,确定该区段采用抛石护脚方案。

抛石护脚顶宽不小于3 m,临水侧设计坡比为1:1,抛石与坝坡接触部位按反滤原则设置垫层。抛石护脚可以在不降低库水位的情况下进行水下施

工,抛石采用原护坡小块径石料,先小后大,较大的块石抛在面层。抛石填筑标准按孔隙率不大于28%控制,采用挤淤法施工,高出死水位以上采用振动碾压压实。

### 2.3.5 护坡反滤垫层设计

反滤层和垫层的作用:①排水作用。避免在护坡底面产生过高的孔隙水压力,影响护坡的稳定;②反滤作用。防止岸坡土体被侵蚀;③护坡与坝面土体之间的隔离作用。如果不设置反滤层或设计不当,护坡工程的整体作用就难以发挥。反滤垫层缺失的不良影响不会马上表现出来,但可能会在若干年后,引起护坡的塌陷或护面的滑坍,进而造成险情<sup>[9]</sup>。因此,护坡底部需设置反滤垫层。经优选采用反滤效果好、造价低廉、施工方便、质量易控制的土工布反滤。根据被保护土的类型、颗分资料、渗透系数及抗剪强度等指标,结合排水反滤对土工布保土性、透水性和防堵性的要求<sup>[10]</sup>,选用400 g/m<sup>2</sup>宽幅短纤针刺土工布,厚度不小于3 mm,等效孔径(095)为0.09 mm,断裂强力为12.5 kN/m,撕破强力不小于350 N,顶破强度为2.7 kN。土工布下铺设100 mm厚的砂垫层,其上铺设100 mm厚的20~40 mm碎石保护层,见图2。



图2 加固后的安家林水库

## 3 结 语

通过对安家林水库护坡工程的分区设计及实践应用,结合加固后护坡已安全运用2个冬季可知,采用“植草砖生态护坡+预制混凝土异型连锁块护坡+浆砌石井字网格护坡+坝前抛石护脚”的设计方案,不仅达到了工程安全、投资经济、取材方便的目的,而且满足了自然和人文景观要求。据不完全统计,目前山东省尚有近2000座中小型病险水库需要加固,200余万m<sup>2</sup>护坡需要采取加固措施,全国范围内更多,在资金有限的情况下,根据坝面不同区域浪压力大小的不同,结合库区的特点和周围环境,对部分水库护坡采取分区优化设计更加合理,投资最省。但在运用分区设计方法时, (下转第105页)

计》的相关要求进行施工。

混凝土采用导管法灌注,导管内径为300 mm,导管用厚度不小于4 mm的钢板卷制而成,2节导管之间用丝扣连接,提升机械采用16t汽车式吊车。

5.4.1 钢筋笼吊放与定位

钢筋笼吊放采用三点起吊,以防钢筋笼产生永久变形。在施工过程中应采取有效的钢筋定位措施,确保钢筋保护层的厚度符合设计要求。因此,在钢筋笼外部应设置定型生产的混凝土垫块,每道4个,灌注混凝土前应仔细检查混凝土垫块的位置、数量及紧固程度,确保钢筋笼不移位,保证混凝土保护层的施工质量。在下设钢筋笼过程中,钢筋笼要保持竖直,钢筋笼中心线与桩中心线尽量重合,向下放送时速度要慢,减少钢筋笼对孔壁的刮蹭。钢筋笼安放时采用双吊钩脱钩装置,将钢筋笼固定在设计标高,防止钢筋笼掉落孔底。钢筋笼安放偏差应满足:横向偏差不大于20 mm,竖向偏差不大于50 mm。

5.4.2 下设导管

水下灌注采用的是双密封圈丝扣连接方式的导管,该类型导管密封性能良好,不容易漏水。导管单节长度为2.6 m,底节长度为4.0 m,另配备若干0.3~1.0 m的短节。导管使用前要进行压水试验,检验合格的导管方能使用。导管下设总长度应根据混凝土灌注前实际孔深确定,保证导管下端距孔底30~50 cm。

5.4.3 清孔

导管下设完成后及时测量沉渣厚度。应确保灌注前沉渣满足设计图纸要求(设计图纸无要求时,必须满足规范要求)。若沉渣超标应采取有效的清孔措施,直至将孔内沉渣全部抽出、符合设计和规范要求。

5.4.4 水下混凝土灌注

水下混凝土灌注时每次应灌注足够的数量,保证导管埋深不小于2 m,严禁导管提出混凝土面,同时也不能埋管太深(不宜大于6 m),以免提管困难。灌注时应由专人测量导管埋深及管内外混凝土面的高差,并填写水下混凝土浇筑记录。正常浇灌时,严格控制进料速度,以保持混凝土面均匀连续上升,上升速度不小于2 m/h。

5.5 护筒起拔

灌注完成后,清理出护筒上的吊环,套上钢丝绳套,利用吊车缓缓提出护筒,防止落入大土块,影响桩顶混凝土质量。

5.6 导管及护筒冲洗

灌注过程中拔出的导管要及时用清水冲洗,清洗时应注意清洗导管接头部位。护筒拔出后要及时

清除掉护筒内壁的混凝土和外壁的黏土。

6 结 语

电力工程地基处理目前主要以桩基础为主,其桩基础又以钻孔灌注桩为主,成孔方式现多采用旋挖钻机成孔,具有速度快、质量高的优点,已在全国电力工程中广泛采用。通过新疆某电厂桩基施工实践,总结出旋挖钻孔灌注桩施工工法、可能出现的问题及预防措施,为今后类似工程桩基施工提供参考。

参考文献:

[1] 周红军.旋挖钻进技术适用性的初步研究[J].探矿工程,2009,36(8):39-45.  
[2] 王曦,徐辉雄.旋挖钻机施工中常见问题分析及对策[J].探矿工程,2008,35(4):58-59.  
[3] 陶坤.旋挖钻机在桩基础施工中的应用与分析[J].探矿工程,2007,34(2):37-39.  
[4] 姜彬霖,黄绍勇,张成亚.旋挖钻机在海南东方电厂桩基施工中的应用效果[J].探矿工程,2008,35(10):47-48.

(收稿日期 2010-04-15 编辑 骆超)

(上接第91页)具体如何分区,各分区采用何种护坡形式,应视具体情况而定。

参考文献:

[1] 张加福,卫永立.土坝护坡损坏的原因及加固措施浅析[J].山西水利,2002(2):49-50.  
[2] 付为国.镇江滨江堤岸生态护坡工程设计及植被效应研究[J].中国农村水利水电,2008(12):96-102.  
[3] 奚建猛,刘松.混凝土植草砖在堤防护坡工程中的运用[J].江苏水利,2006(6):31-33.  
[4] 王柯银.新型混凝土预制水利护坡砌块在除险加固工程中的应用[J].治淮,2003(12):40-42.  
[5] 徐爱良,孙国成,谭登高,等.混凝土网格护坡在米山水库坝坡加固中的应用[J].山东水利,2005(12):40-41.  
[6] 陈海军.抛石防浪护坡在苏库恰克水库的设计分析和实际应用[J].科技创新导报,2009(15):50-52.  
[7] 闫启余,郝夕明,徐同田.抛石挤淤试验研究及其在水库大坝加固工程中的应用[J].治淮,2002(11):29-30.  
[8] 李晓岩,于来广,郑奕芳.尼尔基土石坝上游护坡形式的选择[J].东北水利水电,2000(10):27-28.  
[9] 孙东亚,丁留谦,姚秋玲.关于改进我国堤防工程护坡设计的建议[J].水利水电技术,2007,38(2):44-48.  
[10] 徐又建.水利工程土工合成材料应用技术[M].河南:黄河水利出版社,2000.

(收稿日期 2009-12-01 编辑 方宇彤)