

# 河岸深厚覆盖层边坡综合治理实例分析与设计

谭 晨

(中国水利水电第五工程局有限公司 科研设计咨询公司,四川 成都 610066)

**摘要:**针对某水利工程河岸深厚覆盖层边坡防护中存在的问题,采用挂钢筋网喷射混凝土与钢筋石笼网护脚的方法对该边坡进行了防护。通过对边坡进行稳定性计算分析,确定了相关断面的支护设计结构形式。工程实践表明:与常用的护坡方法相比,挂钢筋网喷射混凝土与钢筋石笼网综合护坡的方式不但具有较好的抗冲刷能力,而且可以节省工程造价及施工时间,是一种较好的应对河岸深厚覆盖层边坡的防护形式,能够提升护岸工程的抗洪能力,还能有效减轻洪水灾害的影响。

**关键词:**地质灾害;边坡治理;稳定分析;钢筋石笼;青居水电站

**中图分类号:**TV7;TV52;TV223.2

**文献标志码:**B

**文章编号:**1001-2184(2024)01-0044-06

## Case Analysis and Design of Comprehensive Treatment of Deep Overburden Slope of Riverbanks

TAN Chen

(Scientific Research And Design Consulting Branch, Sinohydro Bureau 5 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610066)

**Abstract:** In view of the problems existing in the slope protection of the deep overburden of the riverbanks of a water conservancy project, the method of hanging reinforced mesh, shotcrete and reinforced gabion mesh foot protection was used to protect the slope. Through the calculation and analysis of the stability of the slope, the supporting design structure of the relevant section is determined. The engineering practice shows that compared with the common slope protection methods, the composite slope protection with reinforced mesh shotcrete and reinforced gabion mesh not only has higher erosion resistance, but also can save the project cost and construction time. It is a better form of slope protection against the deep overburden on the river bank, which can not only improve the flood resistance of the bank protection but also reduce the impact of flood disaster.

**Keywords:** Geological disaster; Slope treatment; Stability analysis; Reinforced stone cage; Qingju Hydropower Station

### 1 概 述

洪水危害河岸边坡的问题是水毁工程中经常面临的问题,尤其是在水电站管辖内的边坡。在边坡支护设计过程中,对于深厚覆盖层的处理方式以及施工工期、河道行洪期间经常会出现一些技术问题,若不能及时采取有效的解决措施,将会严重影响到整个工程的施工安全和主体水工建筑物的安全。笔者以青居水电站为例,论述了其在边坡治理过程中应对深厚覆盖层采用“钢筋挂网喷射混凝土+钢筋石笼网”相结合的支护方案的制定与实际应用过程,旨在为相关设计案例提供参考。

青居水电站系《嘉陵江苍溪至合川段水电开发规划报告》中的第十个梯级,位于四川省南充市高坪区青居镇,距离南充市 17 km。为航电综合

利用的低水头径流式电站。青居水电站由拦河闸坝、厂房、船闸等枢纽建筑物组成,总装机容量为 136 MW,单机容量为 34 MW,共安装 4 台贯流式水轮发电机组,年发电量为 6.625 亿 kW·h,水库正常蓄水位高程为 262.5 m。电站控制集水面积为 76 753 km<sup>2</sup>。

2021 年 10 月 6 日,嘉陵江发生了近 40 年来最大的洪水,洪峰流量达 22 000 m<sup>3</sup>/s。洪水导致青居水电站管辖范围内岸坡及交通道路临江侧的边坡发生破损、垮塌现象。该边坡现状见图 1。不仅对道路安全通行的能力造成严重影响,而且岸坡的损毁给闸坝安全泄洪带来了一定的影响。为确保青居水电站交通道路的安全通行,以及水工建筑物及附属设施的正常功能,需要对青居水电站管辖区域范围内水毁的公路岸坡进行综合治

收稿日期:2023-10-15

理,该项目由中国水利水电第五工程局有限公司承担设计工作,并于2022年1月29日完成了对项目现场的勘查工作,于2月中旬完成项目的设计任务,旨在为施工预留出宝贵的时间,以确保闸

坝下游人民群众的生命财产安全以及华能嘉陵江公司2022年防洪度汛工作和安全生产工作的顺利进行。

该电站辖区内交通道路临江侧的边坡工程区



图1 边坡现状图

位于嘉陵江干流青居镇下游2 km的安乐坝平直河段、已建青居电站闸坝下游。该处河流呈N30°W流向,与岩层走向基本一致,为顺向不对称“U”型河谷。河床宽度为230 m,左岸为侵蚀岸,岸坡多为基岩陡坡,其高度大于30 m,坡度约为50°;右岸为开阔的河漫滩及I级阶地。河漫滩宽160 m,地面高程为254~264 m,I级阶地的宽度大于1 000 m,地面高程为269~270 m。工程区出露的地层为侏罗系遂宁组(J<sub>2sm</sub>)紫褐色砂质黏土岩,岩性不均一,为泥钙质胶结。

工程区覆盖层主要为冲积堆积,可分为两层:

(1)Q<sub>4</sub><sup>2al</sup>分布于现代河床及右漫滩,厚约5~16 m。其上部为灰、灰褐色细砂层,厚约3~10 m;下部为灰色砂卵石层,厚约2~6 m,粒径为4~6 cm,其中较大粒径为10~15 cm,呈中密~密实。

(2)Q<sub>4</sub><sup>1al</sup>分布于右岸I级阶地及前缘,厚约10.8~12.9 m。其表层为褐黄色亚砂土,厚约5.5 m;下部为砾卵石,呈中密~密实,粒径以4~8 cm为主。

现场勘测到的土体、岩体物理力学参数见表1、2。

表1 土体物理力学参数表

项目	天然密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	抗剪强度		压缩模量 E <sub>s</sub> /MPa	压缩系数 /s	渗透系数 /(cm·s <sup>-1</sup> )	允许 坡降	允许承载力 /MPa
		内摩擦角 /°	凝聚力 /kPa					
砂砾卵石	2.23	28~30	0	25~35	0.03	4×10 <sup>-2</sup> ~6×10 <sup>-2</sup>	0.10~0.12	0.30~0.40
细砂	1.90	20~22	0	15~18	0.05	5×10 <sup>-4</sup> ~6×10 <sup>-4</sup>	0.20~0.30	0.12~0.15
亚砂土	1.80	16~18	15~20	12~15	0.06	3×10 <sup>-5</sup> ~5×10 <sup>-5</sup>	0.30~0.35	0.10~0.12

表2 岩体物理力学参数表

项目	天然密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	抗剪断强度		抗剪强度		变形模量 E <sub>0</sub> /GPa	泊桑比	允许承载力 /MPa
		tgφ /	C /MPa	tgφ	C /MPa			
砂质黏土岩 (弱风化)	2.40	0.60~0.70	0.30~0.50	0.42~0.45	0	0.50~0.70	0.32~0.36	0.80~0.90

## 2 边坡治理工程设计

### 2.1 设计方案制定的思路

经过地质勘察及对边坡断面进行的分析得知:该边坡为下缓上陡,其下部坡度为  $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ,上部坡度为  $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ,下部岩性为砂卵石,上部为亚砂土,且因砂卵石和亚砂土抗冲刷能力较差,受嘉陵江洪水冲刷常发生垮塌、牵引而造成上方公路路基坍塌;对此,考虑到采用水泥砂浆锚杆会产生塌孔现象,故在治理方案制定时优先选用自进式中空注浆锚杆与挂网喷混凝土结合的方式护坡。

由于工程所在地基岩埋藏较深且边坡脚位于嘉陵江岸边,需要考虑边坡脚处的抗冲刷措施。在对混凝土挡墙和钢筋石笼网挡墙进行分析对比后最终确定了设计方案,修复工程需按照《水利水电工程等级划分及洪水标准》SL 252—2017<sup>[1]</sup>达到 20 a 一遇的防洪设计要求。

(1)采用混凝土挡土墙方案。按照《防洪标准》GB 50201—2014<sup>[2]</sup>和《水利水电工程等级划分及洪水标准》SL 252—2017 确定其等级为 4 级后按照《水工挡土墙设计规范》SL 379—2007<sup>[3]</sup>中的有关规定进行挡墙抗滑及抗倾覆稳定计算后得知:需将混凝土挡墙基础埋至基岩内才能够满足抗滑稳定验算要求。若按照混凝土挡墙施工则需要考虑在基础放坡开挖施工时采用的临时措施,如选用土石围堰开挖线会大面积侵占河道,不利于河道行洪,而且坡脚处为砂卵石层,透水率较高,进而增加了基坑排水工程量;而且采用混凝土挡墙开挖基础工程量较大、混凝土挡墙截面较大,其边坡垮塌长度近 180 m,导致混凝土用量大,且其挡墙支护模板以及混凝土的养护时间亦导致施工周期较长。若选用钢板桩围堰施工,因其临时措施资金占比额度较大不利于工程的开展。

综上所述,如果按照该方案修缮则该边坡在嘉陵江汛期来临之际施工期存在极大的安全隐患;若不进行修缮,临江交通道路将封停一年,而且汛期江水将会导致该边坡破坏更加严重,待第二年嘉陵江枯期到来再进行修缮其费用会大大增加。

(2)采用钢筋石笼网方案。该结构系采用钢筋框架矩形箱体,在箱内装填块石用于各类挡水工程和防冲建筑物。钢筋石笼结构整体性好,具有缓冲作用,能够有效降低水流的冲刷能力。笼

内填筑的块石能够减小浪压冲击力和破坏力度。钢筋石笼网的建造速度较快,待基础修理平整后将钢筋加工成设计尺寸大小后将粒径符合规范要求的块石填入<sup>[4]</sup>。施工时还能够避免在河道进行围堰施工,进而减少了基坑排水费用以及基础大开挖费用。

由于钢筋笼内的石块具有空隙,且因块石表面粗糙,具有较强的透水性,将其作为公路边坡的护脚措施仍存缺陷,当洪水冲刷以及水流浸泡时间较长时,进而背水面将会出现流沙现象,导致因流沙引起的边坡局部失稳。因此,对于这种情况,项目部采用将笼内的块石采用土工布包裹以及将石笼主筋和自进式锚杆进行焊接、根据水流冲刷的方向垂直布置插入基岩中的措施予以解决。该措施的实施不仅消除了水流对背水面砂石冲刷出现的流沙现象,而且提高了石笼网的抗冲刷能力和应对洪水水流冲刷的能力;该措施加强了边坡坡脚防冲结构的整体性,确保了整个护岸的结构稳固。

### 2.2 设计方案

(1)边坡支护。将边坡上部原有边坡进行削坡处理后将松散的浮石和泥渣清除后对坡面缝隙进行了封闭处理。根据地质人员推荐的坡比将边坡分为两段:马道以下坡比为 1:3,马道以上坡比为 1:1.25。将处理后的坡面采用 6 m 长、 $\Phi 28$  自进式中空注浆锚杆进行锚固,其间距采用 3 m  $\times$  3 m,与 DN50 PVC 排水管(间距 1 m  $\times$  1 m)呈梅花型布置。锚固后的边坡坡面采用挂网喷射混凝土,首先喷 5 cm 厚的混凝土,然后挂  $\Phi 8$  钢筋网,复喷 10 mm 厚的混凝土。喷射混凝土面层宜沿边坡纵向 20 m 的长度设置竖向伸缩缝,伸缩缝宽 20 mm,缝内填硬质泡沫板。边坡典型断面结构设计情况见图 2。

(2)钢筋石笼。对于坡脚的支护方式采用将新建的钢筋石笼网相互堆叠在边坡坡脚处用焊接的方式相连,内裹土工布以消除水流对背水面砂石的冲刷,将钢筋石笼网下部设锚杆焊接并插入基岩。钢筋石笼的主筋采用  $\Phi 20$  钢筋,次筋采用  $\Phi 12$  钢筋在现场制作焊接成长 2 m  $\times$  1 m  $\times$  1 m (长  $\times$  宽  $\times$  高)的钢筋笼。其底部与石笼主筋焊接的锚杆采用  $\Phi 25$  中空注浆锚杆。石笼网结构设计情况见图 3。

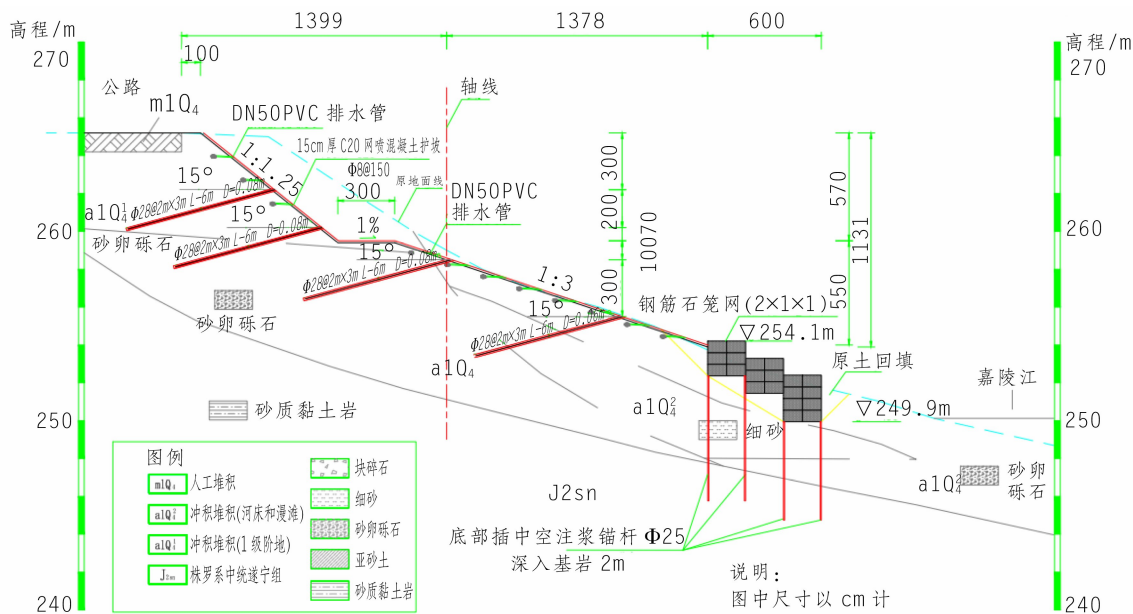


图 2 边坡典型断面结构设计图

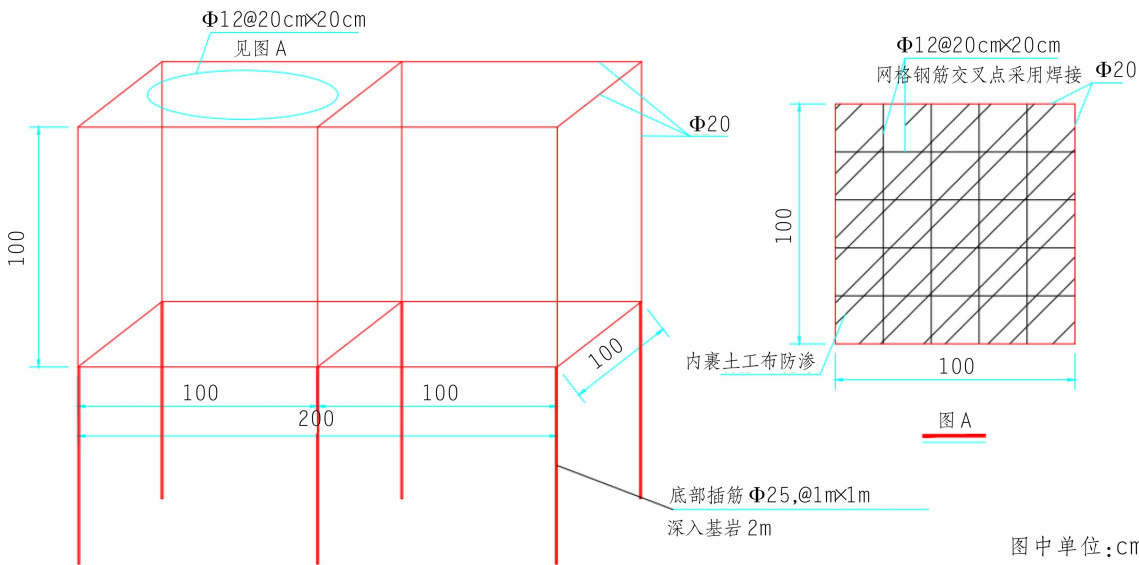


图 3 石笼网结构设计图

表 3 抗滑稳定安全系数标准表

运用条件	边坡级别				
	1	2	3	4	5
正常运用条件	1.30~1.25	1.25~1.20	1.20~1.15	1.15~1.10	1.10~1.05
非正常运用条件 I	1.25~1.20	1.20~1.15	1.15~1.10	1.10~1.05	
非正常运用条件 II	1.15~1.10	1.10~1.05	1.05~1.00		

2.3 边坡稳定性计算

按照《防洪标准》GB 50201-2014 和《堤防工程设计规范》GB 50286-2013 确定该边坡的等级为 4 级<sup>[5]</sup>。

根据《水电工程水工建筑物抗震设计规范》NB 35047-2015<sup>[6]</sup> 和《中国地震动参数区划图》中的有关规定,该工程场地的地震烈度小于 VI 级,故不需要进行抗震设计。经对计算得出的结果进

行分析得知:边坡在正常使用状态下能够满足相关抗滑稳定要求。采用 Midas GTS NX 有限元

分析边坡典型断面稳定系数的情况见图 4;根据强度折减法计算出的边坡稳定系数见表 4。

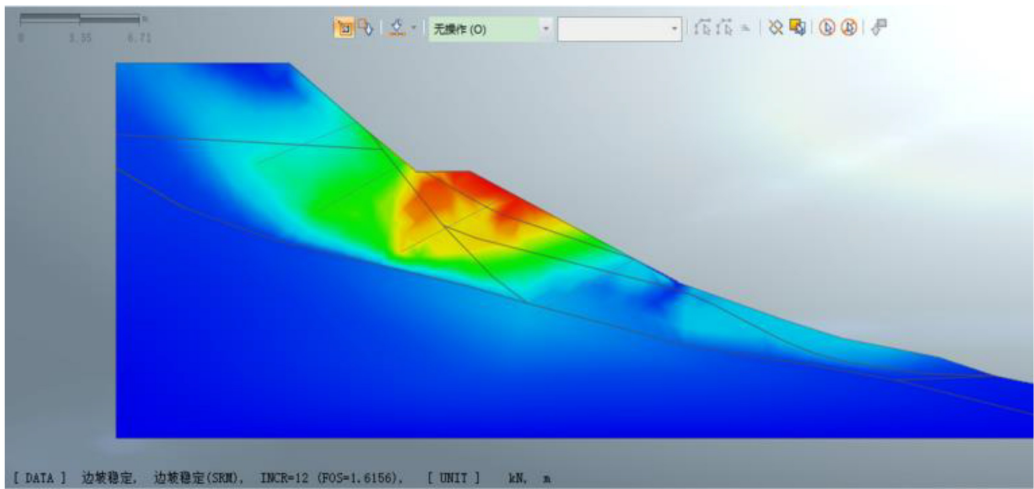


图 4 Midas GTS NX 有限元分析边坡典型断面稳定系数示意图

表 4 边坡稳定性计算分析结果表

项目	滑动稳定系数 $K_c$	$[K_c]$	工况
抗滑安全系数	1.61	1.15	正常

### 3 施工工艺与技术要求

#### 3.1 施工工艺流程

坡面削坡清理→测量放样→布置孔洞→第一次检查验收→自进式锚杆安装→自进式锚杆锚固入基岩→锚杆焊接钢筋石笼网底部→制作钢筋石笼网→初次喷射混凝土→钢筋挂网→第二次检查验收→复喷混凝土→喷射混凝土养护→厚度检查。

#### 3.2 施工注意事项

(1)喷射混凝土应按下列规定进行:

①钢筋网的钢筋规格和质量、网格尺寸必须满足相关规范要求。钢筋使用前应进行除锈、除污处理。钢筋网应沿开挖面平行铺设,并应与锚杆(或钢筋)连接牢固。

②喷射混凝土应采用分段分片依次作业的方式,喷射顺序为自下而上。当喷射混凝土采用分层喷射时,其后一层混凝土需要在前一层混凝土终凝后进行。若终凝 1 h 后再进行喷射,应先用风、水清洗喷层面。

③喷射混凝土必须填满钢筋与面层之间的空隙并与钢筋粘结良好,钢筋网混凝土保护层的厚度应符合相关规范及设计要求。

(2)自进式中空锚杆的注浆应按下列规定

进行:

①自进式锚杆安装前需要保持锚杆中孔以及钻头的畅通性,若有孔内异物堵塞时,应及时进行清理。

②锚杆钻至设计深度后,需要及时用水和高压风清洗钻孔、直至钻孔口返水或返气时方能将钻机和连接套卸下。

③杆体注浆宜采用纯水泥浆或 1:1 的水泥砂浆,砂浆中砂子的粒径不应大于 1.0 mm。

(3)钢筋石笼的安装应按下列规定进行:

①钢筋笼与自进式锚杆焊接时,其交叉点采用焊接连接,钢筋的弯折一定要满足相关规范要求,搭接焊必须保证单面为  $10d$ ,双面为  $5d$  的搭接要求( $d$  为钢筋直径),每处交叉点都应焊接到位,严禁出现漏焊现象。

②对钢筋笼内抛填的块石要求为:块石应精心摆放,块石的大小应搭配合理,施工时石料应有选择性的分层填筑,笼内的填石块粒径应不小于钢筋间距,直径为 25~40 cm,中间可用较小的石块填塞且必须分层填筑密实,避免出现同粒径块石过分集中或石料架空等施工缺陷,严禁强力抛掷冲击钢筋网。

(4)土工布应按下列标准选择:300 g/m<sup>2</sup> 防渗土工布的技术指标为:单位面积质量偏差为 300 g;断裂强度为  $\geq 15$  kN/m;CBR 顶破强力为  $\geq 2.9$  kN;撕破强力为  $\geq 0.42$  kN,厚度偏差为  $\geq 2.2$  mm。

## 4 结语

青居水电站“10·6”洪灾水毁治理工程交通道路边坡段由浙江第一水电建设集团股份有限公司承建。根据设计方案并结合施工单位的部署,该项目方案于2022年4月1日开工,6月1日完工,总工期共计61个日历天。该项目的实施明显减少了边坡护脚的土方开挖,在很大程度上节约了工程量,使得其工期较短,投资较少(该段投资仅为127.87万元)。实践证明:该方案与传统网喷混凝土挡土墙相比对河岸边深厚覆盖层边坡的治理具有明显的优势,运用该方案可以弥补传统“网喷+混凝土挡墙”护坡工程量大、工程造价高且工期长等方面存在的不足。笔者通过对挂钢筋网喷射混凝土加钢筋石笼网综合护坡方式的设计

(上接第43页)

度其平均值不小于设计值,标准差不宜大于 $0.05\text{ g/cm}^3$ ;当样本数小于20组时,应按合格率不小于90%、不合格点的干密度不低于设计干密度的95%控制”的要求,所检测到的相对密度最小值为0.90,最大值为0.98,平均值为0.94,一次合格率达99%。

通过相关技术研究,加强了对坝料填筑碾压质量试验检测控制的管理,采用数理统计的方法进行了数据分析,其结果表明:经对含特细砂砾石料碾压参数进行优化后,为大坝碾压施工的质量提供了可靠参数,达到了课题研究的预期目标,解决了含特细砂砾石料碾压不密实的缺陷,使含特细砂砾石料得到了合理的利用。

## 6 结语

通过对含特细砂砾石料碾压特性进行深入研究,在料场开采施工过程中,根据砂砾石料场自然形成的河滩砂砾石料自身条件,对不同级配类别的填筑料制定了切实可行的控制措施和合理的控制参数,对施工人员进行必要的培训和交底,加强了对施工过程的控制并采取了较好的预控措施,同时针对料场出现的不同类别级配料的情况

特点及其在河岸边深厚覆盖层边坡治理中的应用,对该方案的优点进行了介绍与分析,希望能对相关设计人员提供帮助。

### 参考文献:

- [1] 水利水电工程等级划分及洪水标准,SL 252-2017[S].
- [2] 防洪标准,GB 50201-2014[S].
- [3] 水工挡土墙设计规范,SL 379-2007[S].
- [4] 林海. 浅谈石笼网在河道治理工程中的设计及施工技术[J]. 科技与生活, 2011,4(7):2.
- [5] 堤防工程设计规范,GB 50286-2013[S].
- [6] 水电工程水工建筑物抗震设计规范,NB 35047-2015[S].

### 作者简介:

谭晨(1997-),男,四川成都人,助理工程师,学士,从事水利水电工程设计工作。

(编辑:李燕辉)

进行了不同级配类型的相对密度试验,以控制其最大干密度和最小干密度,使不同颗粒级配的砂砾石料在大坝填筑中得到了合理的利用,很好地控制了坝体填筑质量。现阶段监测成果表明:填筑坝体的沉降率很小,说明在填筑过程中实施的质量控制措施可行且有效。该研究成果对缩短高强度填筑时间、保证填筑质量及坝体稳定等方面起到了极大的作用;同时,课题组取得的研究成果将对后续开工建设的同类型工程施工控制方法的制定具有重要的指导意义,为形成含特细砂砾石料填筑碾压标准、工法提供了科学的理论依据和实践数据,对行业中类似工程的施工具有极大的推动作用。

### 参考文献:

- [1] 土石筑坝材料碾压试验规程,NB/T 35016-2013[S].
- [2] 土工试验方法标准,GB/T 50123-2019[S].
- [3] 混凝土面板堆石坝施工规范,SL 49-2015[S].
- [4] 水电水利工程土工试验规程,DL/T 5355-2006[S].
- [5] 水电水利工程粗粒土试验规程,DL/T 5356-2006[S].

### 作者简介:

张芳军(1983-),男,甘肃定西人,工程师,从事水利水电工程试验检测技术工作。

(编辑:李燕辉)