

倒流河水库碾压混凝土双曲拱坝施工方案的优化

冉 蓉

(中国水利水电第五工程局有限公司 国际公司, 四川 成都 610066)

摘要: 碾压混凝土具有施工工艺简单、施工速度快、经济性能好等优势, 但因其需要多种大型施工设备在仓内施工, 因而对场地布置及施工规划提出了较高的要求, 尤其对窄长的碾压混凝土双曲拱坝来说这一点就更显突出。因此, 在施工过程中, 如何有针对性地通过施工方法及工艺优化实现快速施工还需要进一步细化和探讨。对倒流河水库双曲拱坝碾压混凝土施工过程从模板、入仓手段、机械设备、施工工艺优化等方面进行了介绍, 可供类似工程借鉴。

关键词: 倒流河水库; 碾压混凝土; 双曲拱坝; 施工方案优化

中图分类号: TV7; TV51; TV22

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2019)03-0015-05

Construction Scheme Optimization for RCC Double Curved Arch Dam of Backflow River Reservoir

RAN Rong

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610066)

Abstract: RCC has advantages of simple construction technology, rapid construction speed, economical performance and etc. However, higher requirements shall be met for site layout and construction planning as various large construction equipments working in placement unit especially for narrow RCC double curved arch dam construction. Therefore, further refining and discussing shall be made on how to achieve rapid construction by construction method and technology optimization during construction. This paper introduces construction process from formwork to placing method, mechanical equipments and construction technology optimization which may provide reference for similar projects.

Key words: backflow river reservoir; RCC; double curved arch dam; construction scheme optimization

1 概述

倒流河水库工程位于距叙永县城 83 km 的观兴乡海水村 5 社的倒流河墨鱼尖处。其首部枢纽——碾压混凝土双曲拱坝的主要建筑物由左岸非溢流坝段、溢流坝段、右岸非溢流坝段和坝下护坦组成。坝顶高程 1 043 m, 坝顶宽度为 5 m, 坝顶弧长 191.29 m, 最大坝高 60 m, 坝底宽度为 20 m, 建基面高程为 983 m。在大坝左侧非溢流坝段帷幕灌浆廊道底层左侧设置了一条放空管, 放空闸室依坝体上升至顶。在大坝右侧非溢流坝段帷幕灌浆廊道底层排水廊道旁右侧设置了一根生态放水管, 兼为坝下支渠供水。大坝结构见图 1。混凝土大坝设计工程量为 95 008 m³, 其中大坝主体碾压混凝土 59 681 m³, 常态混凝土 20 406 m³, 主要分布在基础及基础处理部位, 变态混凝土 14 921 m³, 主要分布在坝体上下游坝壳部位, 厚

度为 50 cm。

2 主要施工布置方案的优化

2.1 平面布置方案的优化

(1) 筛分拌和系统布置方案的优化。

根据投标阶段的设计文件, 砂石骨料生产系统及混凝土拌和系统等临建设施位于坝址上游左岸山顶, 占地面积约 10 000 m²。在该布置方式中, 料场石料需由主进场路经施工营地、1#施工道路至左坝肩, 混凝土拌和料再经左坝肩运至仓面, 运输距离长且存在重复运输的情况。项目部成立后, 结合现场实际情况将筛分及拌和系统由左坝肩山顶优化到坝址下游 500 m 处, 系统占地 6 000 m²。经计算分析, 筛分系统的生产及储存能力可以满足高峰期混凝土施工强度需要。将筛分及拌和系统由坝基上游优化到下游, 减少了临建开挖量和石料运输上坡与混凝土料再运输下坡的重复消耗, 减少了运距, 提高了施

收稿日期: 2019-04-09

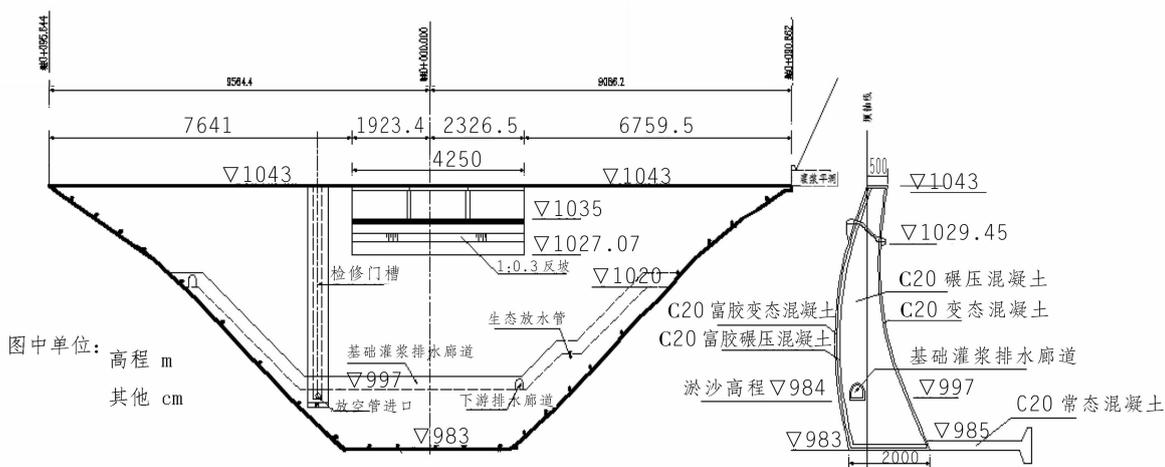


图1 大坝结构示意图

工效率。

(2) 右岸上坝道路的优化。

由于右坝肩上下游侧上坝公路原始地形复杂,边坡陡峭,冲沟较多,根据原设计报告,若按地形走向开挖将导致上坝公路开挖与坝肩开挖相冲突,且因坝肩上下游侧的上坝公路转弯半径较小,无法满足上坝公路安全通行要求,而且右岸上坝公路必须等待大坝浇筑至 1 043 m 高程后且经过桥涵搭接才能贯通。考虑到大坝前期施工及后期运行要求,保证上坝公路安全畅通,项目部根据现场实际情况,与业主、设计、监理单位共同协商,对右坝肩上下游侧的上坝公路路线布置进行了优化,优化后的道路不穿过坝肩,刚好绕至右坝肩外侧通过。

右岸上坝公路布置的优化不仅减小了开挖难度、避免了施工冲突,提前打开了一条施工道路,而且为后期混凝土入仓方式优化创造了条件,同时为水库后期运营提供了安全保障。

2.2 仓面模板规划

目前,国内外在大曲率双曲碾压混凝土拱坝施工中多采用多卡悬臂模板或翻转模板。而多卡悬臂模板只能满足纵横曲率可调这一要求,但模板不能连续翻升;而翻转模板虽然能够满足连续翻升的要求,但不能进行双向曲率调整。由于双曲拱坝具有水平向及竖向双向弯曲的特性,项目部经对类似工程现场进行考察及对比后分析决定采用悬臂双曲可调翻转模板。经放样和计算在铅垂方向上的圆弧,取弦长 2.1 m 时,其最大拱高为 3 mm;水平方向上取弦长 3 m 时,其最大拱高为 9 mm。通过水平调节丝杆可将拱高控制在 4

mm 以内。因此,最终将模板做成 3 m×2.1 m 双曲可调模板,模板面板采用 5 mm 厚钢板。为了适应弧度变化,选择长度为 1.5 m 的平面模板,在两侧各加长度为 0.75 m 的可调模板,背部使用四根可调节螺杆用于调节模板弧度,以满足大坝曲线要求。

悬臂双曲可调翻转模板的采用克服了多卡模板和翻转模板存在的不足之处,不仅可以进行快速连续翻升,而且其双向曲率可调,操作简便快捷、使用安全,高精度地满足了倒流河碾压混凝土双曲拱坝的施工要求,使倒流河碾压混凝土双曲拱坝前后曲面平顺过渡,施工外观质量得到业主及相关单位的好评。

2.3 混凝土入仓方式的优化

该工程碾压混凝土工程量近 10 万 m³,工程初期计划对高程 1 005~1 028.45 m 之间的碾压混凝土采用通仓浇筑的方式,采用布置在上游左岸的负压溜筒入仓,仓内配以自卸汽车转运。对于高程 1 028.45 m 以上的碾压混凝土施工,由于受溢流表孔的影响,将混凝土自然分成了两个区段进行浇筑,在左右岸坝肩分别布置了一套负压溜筒,用自卸汽车将混凝土运至左右坝间,通过负压溜筒再采用仓内自卸汽车转运的方式。

项目部组建后,根据类似工程施工方案并结合该工程的实际情况,认为负压溜筒结构复杂,布置及施工期维护难度大,投资较大;而满管溜槽结构简单,安装方便,便于维护,易于操作,项目部经多方论证后最终决定采用满管溜槽方案。满管溜槽由三段组成,第一段为上口尺寸 3 000 mm

×3 000 mm,下口尺寸为 800 mm×800 mm,高度为 3 000 mm 的授料斗;第二段为尺寸为 800 mm×800 mm,长度为 3 000 mm 一节的管身段;第三段为单开液压弧形闸门。以上各部位均选用厚度为 10 mm 的钢板进行加工,法兰盘采用 $\delta=12$ mm 的钢板进行加工,液压弧门及满管溜槽均由相关具有资质的单位生产。

倒流河水库大坝工程通过满管溜槽的使用,建设各方一致认为满管溜槽结构简单,安装方便,投资小,寿命长,维护简单,易于操作。同时,满管溜槽通过弧门的开度控制混凝土在满管中的下料速度,能够保证出料流量的稳定性,物料在满管中的运行速度能够得到控制,溜送过程中无骨料分离现象出现,碾压混凝土 VC 值无明显损失,未曾出现过堵管现象,运输量满足现场施工强度要求。满管溜槽的运用充分体现了碾压混凝土快速化施工的特性,加快了施工进度,确保了碾压混凝土的入仓质量。

3 大坝快速施工仓面的优化

对碾压混凝土而言,仓面大不仅有利于仓面设备效率的发挥,而且有利于减少模板的使用数量和仓面管理的难度。但是,灌浆廊道、排水廊道、泄洪管、生态管等结构物的存在将碾压混凝土大仓位分割成数块,而且不同结构物之间存在多种类型的混凝土,导致碾压混凝土不能连续施工,严重影响到混凝土的施工进度及混凝土层间的结合质量,对混凝土抗渗质量影响较大。为确保碾压混凝土的施工进度及施工质量,项目部结合实际情况,在倒流河水库碾压混凝土施工中对施工方法及施工工艺进行了优化。

3.1 混凝土仓面平仓工艺优化

倒流河碾压混凝土双曲拱坝仓面为长条形且上下游坝面为双曲收缩面,整个大坝由宽短双曲向窄长过渡,由计算得知,坝体最大施工面积约为 1 500 m²,处于 1 012 m 高程以下,根据现场地形,坝体施工具备设备直接入仓条件,混凝土入仓强度及设备的施工效率能够满足平层通仓要求,层间间隔时间在 2 h 以内,能够满足碾压混凝土层间间歇时间施工质量要求,因此,项目部决定对 1 012 m 高程以下采用通仓平层施工的方法进行混凝土浇筑。

随着坝体的上升,仓面逐渐变窄,坝体至 1 012 m 高程后采用满管溜槽入仓,设备直接进入仓内,通道关闭。为避免设备干扰,仓内的设备布置不宜过多,为缩短层间间隔时间,有效地降低因高温多雨季节带来的温控问题、降雨问题对碾压混凝土施工质量的影响,改善层面结合质量,最终决定 1 012~1 030 m 高程采用满管溜槽配自卸汽车入仓斜层平推法施工。

大坝在 1 030~1 042.5 m 高程被溢洪道分为左右两岸,由于坝顶宽度仅为 5 m,坝体操作仅限于单种单次设备操作,即自卸车整仓卸料完成后出仓,推土机统一进行铺料,铺料完成后推土机出仓,振动碾再进行碾压。当坝体混凝土施工至 1 030 m 高程时,坝体相对较宽,设备可以错车施工,最终决定利用左岸满管溜槽对右岸混凝土采用斜层平推方式施工;当右岸混凝土斜坡至顶时,利用右岸乡村道路采用汽车直接入仓,继续对右岸实施斜层平推法浇筑上升至顶;左岸由于放空闸室部位较宽,可方便设备错车,因此,左岸利用满管溜槽进行平层通仓浇筑至顶。混凝土入仓方式优化情况见图 2。

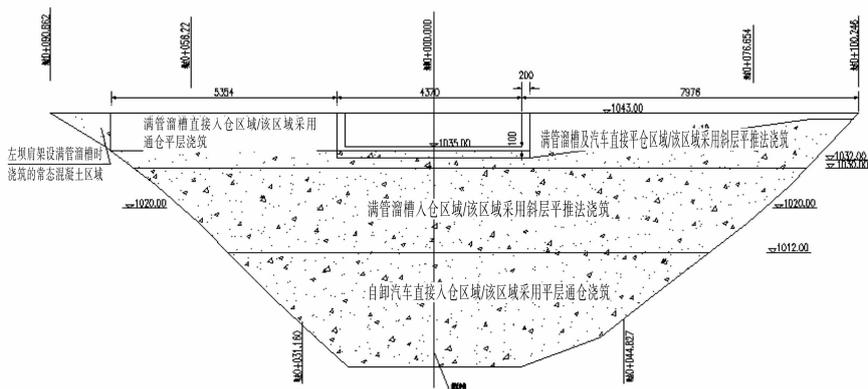


图 2 混凝土入仓方式规划图

针对倒流河碾压混凝土为长条形仓面且上下游坝面为双曲收缩面的情况,在施工中,根据不同的施工环境及施工条件灵活地分别采用通仓平层法、斜层平推法作为施工手段,充分利用了现有设备,同时减少了仓面施工设备的干扰,在入仓强度降低的情况下,缩短了层间间隔时间,有效地减少了因高温多雨季节带来的温控问题、降雨问题以及对碾压混凝土施工质量的影响。特别是在1 030~1 042.5 m高程段仓面逐渐变窄的情况下采用斜层平推法施工,直接解决了仓内施工设备需要频繁进出仓的问题,达到了减少投入、提高工效、降低成本和改善层面结合质量的目的。经大坝蓄水后的实际检验,层间结合良好,结合部位无漏水现象发生。

3.2 帷幕灌浆廊道及排水廊道层的设计及施工优化

在大坝河床段高程997 m处设有帷幕灌浆及排水廊道,帷幕灌浆廊道距上游坝面3 m,灌浆廊道断面尺寸为2.5 m(宽)×3 m(高),排水廊道尺寸为2 m(宽)×2.5 m(高),灌浆廊道长77.99 m,廊道两端随两岸地形延升。在帷幕灌浆廊道底层左侧大坝设有一顺河流向的排水廊道,排水廊道长11.84 m。在帷幕灌浆廊道上层大坝左侧设有一顺河流向的交通廊道,用于交通和排水(图3)。多个廊道分布将997 m高程处的仓位划分为三个区域,给碾压混凝土施工带来诸多不便;同时设计的挡水坝997 m高程从上游开始依次布置为厚50 cm C20 二级配富胶变态混凝土、厚150 cm C20 二级配富胶碾压混凝土、厚50 cm C20 碾压混凝土、帷幕灌浆廊道(廊道周边均采用厚50 cm 变态 C20 混凝土)、C20 碾压混凝土、C20 变态混凝土。

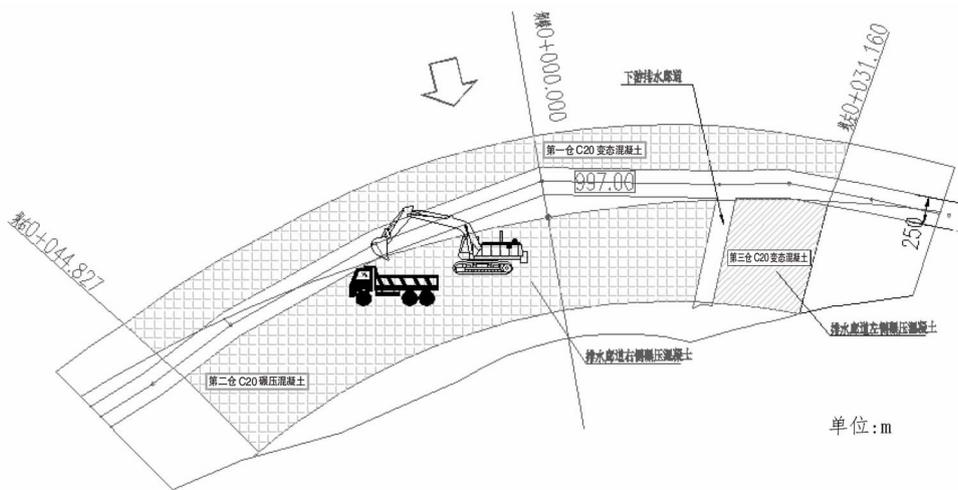


图3 廊道层施工平面布置图

由于帷幕灌浆廊道上游面距坝面宽度仅为3 m,仓面狭窄且存在多种性态的混凝土,碾压设备无法进行施工。经与设计及监理工程师协商,对帷幕灌浆廊道采用现浇模式,将廊道上游面多种混凝土调整为变态混凝土;同时,项目部根据现场实际情况,分三个仓块进行施工,即帷幕灌浆廊道上游为第一仓块,采用变态混凝土施工;帷幕灌浆廊道下游排水廊道右侧为第二仓块,采用碾压混凝土施工;帷幕灌浆廊道下游排水廊道左侧为第三仓块,采用变态混凝土施工,帷幕灌浆廊道及排水廊道周边为变态混凝土。变态混凝土的浇筑方式采用台阶式浇筑,由自卸汽车运输,反铲入仓,

加浆振捣。碾压混凝土采用自卸车运输直接入仓、推土机摊铺平仓、振动碾碾压压实的方式施工,廊道周边变态混凝土随同碾压混凝土同层摊铺,加浆振捣施工。具体的施工分仓分层及施工方法见图4。

997 m高程帷幕灌浆廊道及排水廊道的施工优化充分利用了现场设备,在保证施工进度及施工质量的前提下,解决了因廊道将坝体分割成局部区域而无法进行碾压施工的难题,保证了廊道上游面混凝土及廊道周边混凝土的合理过渡及良好结合,加快了施工进度,保证了施工质量。

3.3 溢流表孔段的施工

溢流坝段长 42.5 m, 包括 3 个表孔, 表孔上设交通桥。混凝土包括碾压混凝土、富胶碾压混凝土、变态混凝土、常态混凝土, 工序及工艺衔接难度大。溢流表孔挑流鼻坎挑出坝体长 2.631

m, 高 2.327 m, 宽 42.2 m。溢流表孔挑流鼻坎牛腿结构尺寸较大, 悬空高度为 44 m, 施工环境复杂, 分层浇筑剖面见图 5。

溢流表孔段主要采用悬臂可调翻转模板, 下

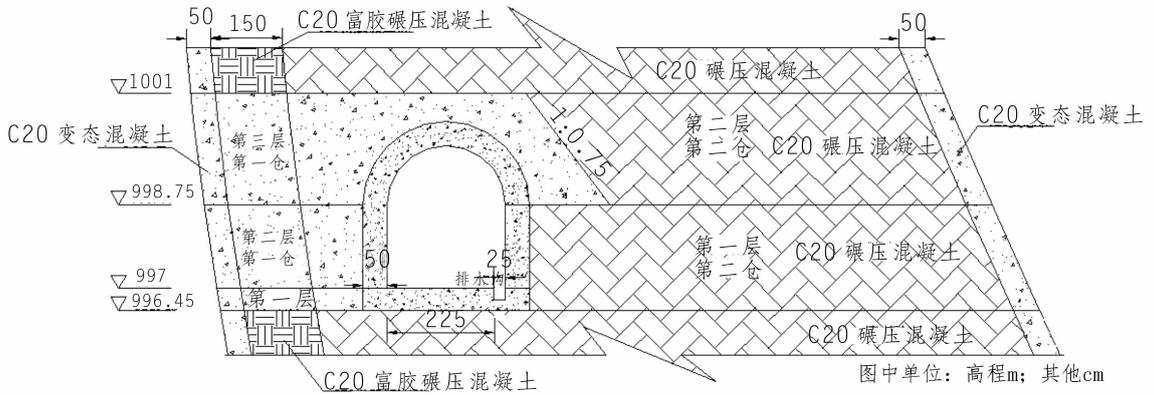


图 4 997 m 高程廊道层施工规划图

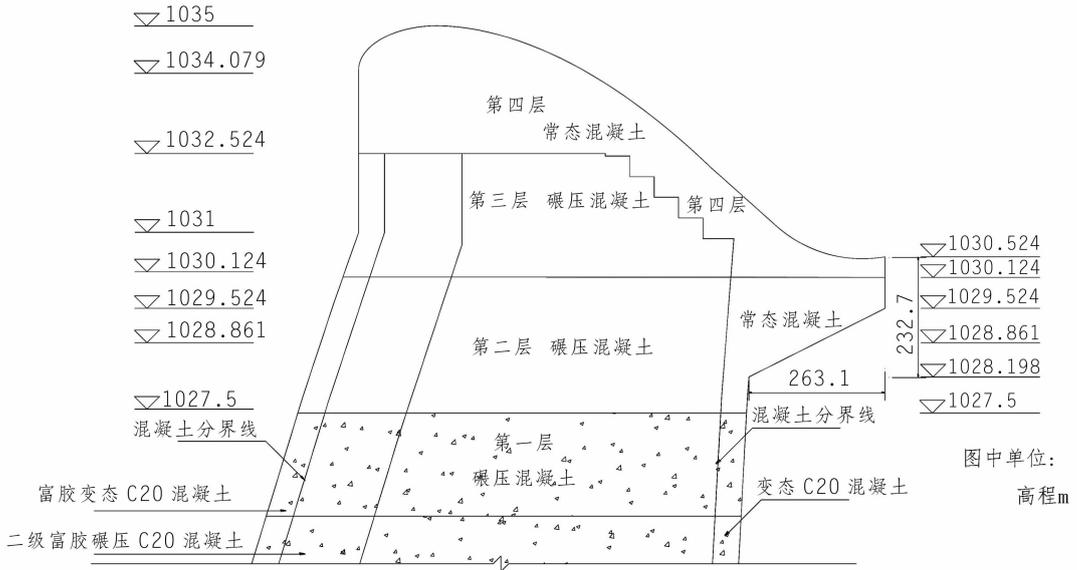


图 5 溢流坝段分层浇筑剖面图(图中单位: 高程 m; 其他 cm)

游挑流鼻坎结构采用钢模板组装, 模板的支撑加固主要采用内拉外撑体系相结合的方式, 在混凝土分层施工时通过预埋工字钢形成挑流鼻坎混凝土悬挑支撑平台及操作平台。

为使挑流鼻坎部位的混凝土与主体碾压混凝土有效结合, 挑流鼻坎部位的 C30 常态混凝土和碾压混凝土同层同步上升。牛腿部位的混凝土在上升过程中要时刻关注混凝土状态, 防止冷仓。在挑流鼻坎混凝土浇筑过程中, 应均匀上升并随时观察模板情况, 防止模板变形。

牛腿部位的常态混凝土结合碾压混凝土施工同步上升, 使碾压混凝土及牛腿部位的常态混凝土结合良好, 减少了施工环节, 节约了施工资源, 加快了施工进度。

4 结 语

项目部针对倒流水库双曲拱坝碾压混凝土施工环境狭小, 坝体窄长, 结构复杂, 涉及混凝土种类多, 施工工艺标准要求各有不同的具体情况, 对各项工艺进行了规划布局, 灵活利用现场环境、

(下转第 40 页)

试验,将实际效果与预期结果对比后进行方案的调整优化,根据调整的数据,严格控制施工质量,以减

少爆破对边坡岩体的破坏,保证施工安全。

浅孔和深孔的爆破参数见表2。

表2 浅孔和深孔爆破参数表

爆破方式	炮孔类型	炮孔深度 H	炮孔直径 d	底盘最小抵抗线 W_p	超钻深度 h	同排炮孔间距 a	炮孔排距 b	单位用药量 q 取值	前排炮孔用药量 Q	后排炮孔单孔用药量 Q	堵塞长度
浅孔爆破	主爆孔	3 m	42 mm	1.5 m	0.3 m	1.8 m	1.6 m	0.45 kg/m ³	3.6 kg	3.9 kg	1 m
	预裂孔	3.7 m	42 mm	1.5 m	0.3 m	0.6 m		线密度 0.18 kg/m		单孔装药量 $Q=0.67$ kg	1.1 m
深孔爆破	主爆孔	6 m	80 mm	2.5 m	1 m	2.9 m	2.5 m	0.45 kg/m ³	12.24 kg	12.66 kg	2.5 m
	预裂孔	6.7 m	80 mm	2.5 m	1 m	1 m		线密度 0.34 kg/m		单孔装药量 $Q=2.28$ kg	2.8 m

此外,为避免因爆破产生的飞石给下方作业面造成损害,对爆破产生的飞石距离进行了计算,同时,在爆破过程中采取弱松动爆破、增长堵塞长度、对炮区覆盖炮被等措施控制飞石距离。

4 结 语

工程技术人员结合地勘资料,对危岩体的失稳破坏模式进行了分析,采取了有针对性的施工开挖处理方案,所取得的主要成果如下:

(1)对勘察到的31块危岩体失稳模式进行了定性分析,采取整体开挖、部分开挖、主被动网支护和锚索锚杆支护等施工手段进行了处理。

(2)结合危岩体与水工建筑物的相对位置,依据自上而下的施工顺序和危岩体高程位置将危岩体群分为4期进行处理,针对分期和分区结果采取不同的施工治理对策,为危岩体群的开挖支护提供指导。

(3)在危岩爆破施工中,通过大量生产性爆破试验,确定出一套符合该工程的爆破参数,有效地

控制了爆破飞石对相邻施工工作面的影响,节约了施工成本。处理过程中基本未再次生成次生危岩,保证了施工安全。

(4)采用索道取代重型机械设备道路进行材料运输,在节约成本的同时提高了施工效率。整个危岩体的处理工期比设计预计工期提前2.5个月。危岩体治理工程的提前完工,为保证大坝施工总体进度奠定了基础。

参考文献:

[1] 刘卫华,罗倩,黄润秋,等.溪洛渡水电工程坝区高边坡危岩体分类及稳定性评价[J].水利水电科技进展,2008,28(4):48-51.

作者简介:

许德顺(1974-),男,四川成都人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;
李亚军(1984-),男,四川成都人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;
栗浩洋(1994-),男,四川成都人,在读硕士研究生,研究方向:水工结构与水利工程施工。(责任编辑:李燕辉)

(上接第19页)

材料、设备对各种施工工艺进行了优化,使各种工艺工序合理有序衔接,减少了施工环节,在保证施工质量的前提下节约了资源,降低了成本,加快了施工进度,得到了参建各方的好评。

作者简介:

冉蓉(1977-),男,陕西渭南人,项目总工程师,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

激发第一动力 创新引领高质量发展

近日,四川省企业联合会、四川省企业家协会、四川省技术创新服务中心、四川经济日报社联合发布“2018年四川企业技术创新发展能力100强”榜单(以下简称“技术创新发展能力100强”)。水电五局位列百强榜第2位。本次百强发布会以“技术创新 荣耀四川”为主题,旨在树立技术创新典范企业和人物,大力推进四川企业产业转型升级,争创一流企业,推动四川经济可持续发展。在发布会上,水电五局还上榜了四川企业技术创新发展最具潜力20强、四川企业发明专利拥有量100强、四川企业技术创新发展能力研究与试验经费投入100强。

(供稿 袁幸朝)