

# 阿尔塔什高面板堆石坝施工技术研究

李振谦, 李乾刚, 曹巧玲

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

**摘要:**阿尔塔什面板堆石坝具有坝体砂砾石填筑体量大,施工工期短、填筑强度高特点。针对如何高质量、高效率、快速进行面板堆石坝填筑施工这一重大难题,阐述了通过料场开采规划、试验标准的选取、施工参数的选择、施工设备的选型、合理地进行填筑分期等各项技术手段确保工程各项目标顺利实现的过程,对该高面板堆石坝坝料开采及填筑技术进行了介绍。

**关键词:**阿尔塔什;面板堆石坝;开采;填筑;施工技术

**中图分类号:**TV7;TV52;TV51;TV541

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2020)03-0001-06

## Study on Construction Technology of Aertash High CFRD

LI Zhenqian, LI Qiangang, CAO Qiaoling

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

**Abstract:** Aertash CFRD is characterized by large sand gravel filling volume, short construction period and high filling strength. In view of the major problem of how to carry out the filling construction of CFRD with high quality, high efficiency and fast speed, this paper expounds the process of ensuring the smooth realization of various objectives of the project through various technical means such as quarry planning, selection of test standards, selection of construction parameters, selection of construction equipment and reasonable filling stages. This paper introduces the material mining and filling technology of the high CFRD.

**Key words:** Aertash; CFRD; mining; filling; technology

### 1 工程概述

阿尔塔什水利枢纽工程是叶尔羌河干流梯级规划“两库十四级”中的第十一个梯级,工程位于新疆维吾尔自治区南疆喀什地区莎车县霍什拉甫乡,建成后总库容将达到 22.49 亿  $m^3$ ,调节库容为 12.61 亿  $m^3$ ;正常蓄水位高程 1 820 m。在保证向塔里木河生态供水 3.3 亿  $m^3$  的前提下,工程承担防洪、灌溉、发电等综合利用任务,电站装机容量为 755 MW,枢纽为大(1)型 I 等工程。拦河坝为混凝土面板砂砾石堆石坝,坝长 795 m,坝顶宽度为 12 m,上游坝坡为 1:1.7,下游平均坝坡为 1:1.89,最大坝高 164.8 m,砂砾石基础覆盖层厚 93 m,坝体复合高度(地基覆盖+坝高)达 250 m 级。坝体填筑分区从上游至下游分别为上游盖重区、上游铺盖区、混凝土面板、垫层料区、过渡料区、砂砾料区、利用料区以及爆破石料区。工

程因其超高面板堆石坝、深河床覆盖层、高地震烈度、国内罕见高边坡危岩体处理等特点被业界称为“新疆三峡工程”。

坝体设计填筑方量约为 2 500 万  $m^3$ ,主堆石区为天然砂砾石料,料源为 C1、C3 砂砾石料场。C1 料场位于大坝上游左岸,距坝址 3~4 km,可开采储量为 120 万  $m^3$ ;C3 料场位于大坝下游河床、河漫滩及 I 级阶地,距坝址 1.5~7.8 km,总储量为 2 520 万  $m^3$ 。次堆石区为爆破开采料,料源为 P1 爆破料场。P1 爆破料场位于坝址上游左岸约 1.7~2.5 km,可开采储量大于 3 600 万  $m^3$ 。

### 2 坝体填筑分区及设计指标

#### 2.1 坝体填筑分区

坝体填筑分区从上游至下游分别为上游盖重区(1B)、上游铺盖区(1A)、垫层料区(2A)、特殊垫层区(2B)、过渡料区(3A)、砂砾料区(3B)、爆破料区(3C)和水平排水料区(3D),具体填筑分区情

收稿日期:2020-04-10

况见图1。

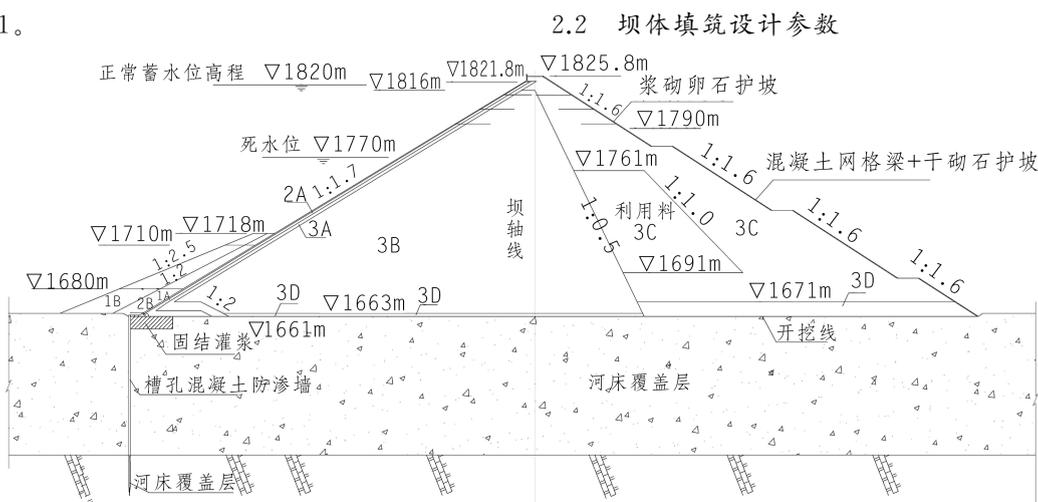


图1 面板堆石坝典型剖面示意图

(1)上游铺盖区 1A:其料源为泄水建筑物出口开挖的低液限粉土。上游铺盖料利用运输和推平设备自然压实,不进行碾压,以避免对混凝土面板产生有害的影响。

(2)上游盖重区 1B:可采用开挖弃渣等任意粗粒材料,填筑要求同 1A 区。

(3)垫层料区 2A:要求  $D_{\max} \leq 60$  mm,粒径小于 5 mm 的含量为 30%~45%,粒径小于 0.075 mm 的含量少于 8%,将渗透系数控制在  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  cm/s。设计相对密度  $D_r \geq 0.9$ 。采用 C3 料场筛分料,两岸沿岸坡向下游延伸填筑 20 m。

(4)特殊垫层区 2B:采用 C3 料场粒径小于 20 mm 的筛分料。碾压层厚 0.2 m,采用小型机械碾压,填筑标准要求相对密度  $D_r \geq 0.9$ 。

(5)过渡料区 3A:料源同垫层料,过渡料采用 C3 料场筛除粒径 150 mm 以上的砂砾料,级配连续,填筑标准要求相对密度  $D_r \geq 0.9$ 。

(6)砂砾料区 3B:砂砾料由 C1、C3 料场开采上坝填筑。填筑标准要求相对密度  $D_r \geq 0.9$ 。

(7)爆破料区 3C:由 P/1、P/2、P/2-1 石料场爆破开采或采用枢纽开挖利用料,要求粒径小于 0.075 mm 的含量  $< 5\%$ ,  $D_{\max} \leq 600$  mm,设计孔隙率  $n \leq 19\%$ 。

(8)水平排水料区 3D:采用 P1 料场的爆破堆石料,要求粒径 5 mm 以下的含量小于 15%,粒径 0.1 mm 以下的含量小于 5%。

### 3 料场规划及开采

#### 3.1 垫层料与过渡料生产

#### 2.2 坝体填筑设计参数

大坝填筑垫层料(2A)为 50.53 万  $m^3$ 、特殊垫层料(2B)为 0.63 万  $m^3$ 、过渡料(3A)为 59.16 万  $m^3$ ,总计需求产量为 110.32 万  $m^3$ 。垫层料、过渡料加工系统布置于 C3-1 砂砾石料场内<sup>[1]</sup>,加工系统主要由受料坑、篦条筛、给料机(GZG150-180 型、GZG130-150 型)、振动筛、胶带机构成。系统采用的主要工艺:天然砂砾石料通过筛分去除超径石以获得成品垫层料与过渡料。其生产工艺为:在指定的 C3-1 砂砾石料场,采用 1.6  $m^3$  液压反铲开采原料,40 t 自卸汽车运输至筛分系统卸料平台卸入受料坑,受料坑上部设自制的篦条筛(篦条间距为 150 mm)。

垫层料的生产通过自制的篦条筛(2A 料受料坑上的篦条间距为 150 mm),底部设置给料机,经给料机送至胶带机后到振动筛(振动筛为双层筛,上层间距为 100 mm,下层间距为 60 mm),在振动筛筛除无用料后,将剩余的物料经胶带机输送到各自的成品料堆堆存或直接上坝。对于筛出的超径料或运至回采挖区回填,或就近进行料场河道的维护。

过渡料的生产通过自制的篦条筛(3A 料受料坑上的篦条间距为 150 mm),经篦条筛筛除超径料后至给料机,经给料机送至胶带机后直接输送至堆放料场或直接使用。

#### 3.2 砂砾石料开采

大坝砂砾料填筑的总需求量约为 1 227 万  $m^3$ (直接利用料 15 万  $m^3$ 、上游 C1 料场开采 100 万  $m^3$ 、二次倒运 60 万  $m^3$ 、C3 料场开采 1 052 万

m<sup>3</sup>)。大坝有效施工时段共 31 个月, 高峰填筑强度发生在 2017 年, 砂砾料高峰期开采强度达到 79.6 万 m<sup>3</sup>/月(自然方)。

由于新疆叶尔羌河具有特有的坝址输沙总量较大的特点, 工程截流后, 坝址上游料场汛期易出现不同程度的淤砂, 坝址下游料场因具有地势平坦、料场表面河水为网状结构分布且河床地下水水位浅、汛期水位涨幅迅速等特点, 项目部针对砂砾石料场开采提出了“汛前上游料场优先开采, 下游料场主槽优先成型, 滩槽紧随其后”的开采理念, 解决了季节性水位变化河道砂砾石料场开采的技术难题。

2017 年 5 月 31 日汛前填筑料源主要以上游 C1 砂砾石料场供应为主, 下游 C3 料场右岸先锋槽开挖为辅, 并按照“先近后远, 分段分区”的方式进行开采。开挖设备以 1.6 m<sup>3</sup> 液压反铲为主, 运输设备以 20 m<sup>3</sup> 自卸汽车为主。开采时, 利用天然河床比降条件, 水上部分从上游向下游方向开

采, 开采厚度可达 1.5 m, 水下部分从下游向上游方向开采, 开采深度可达 3.5 m, 每次开采宽度为 100~200 m, 层厚控制以外露的临界水面为主。

### 3.3 爆破料开采

大坝爆破料填筑总需求量约为 928 万 m<sup>3</sup>, 根据料场地形条件和岩石情况, 石方开挖采用露天深孔台阶爆破方法从上而下分台阶逐级开挖<sup>[2]</sup>, 台阶高度为 13~15 m, 边坡采用大孔距预裂爆破, 对于岩石顺层边坡, 坡度倾角约为 1:0.5, 其他部位边坡均为 1:0.3, 马道宽按照 5 m、3 m、3 m 依次进行放坡。

#### 3.3.1 爆破生产性试验

为了获得合理的爆破参数<sup>[3]</sup>, 料场开采前, 根据坝料级配要求和爆区岩石条件, 选用了不同的爆破参数进行爆破试验, 试验采用的参数见表 1。每次爆破后均进行了筛分试验, 所获得的筛分曲线见图 2。

对 3 次爆破试验成果数据进行分析得知: 针

表 1 P1 爆破料场爆破试验参数表

实验日期	孔径 /mm	孔数 /个	孔深 /m	孔距 /m	排距 /m	堵塞长度 /m	装药量 /kg		装药结构	爆破方量 /m <sup>3</sup>	单耗 /kg·m <sup>-3</sup>
							乳化	膨化			
第 1 次爆破试验	105	22	15~17	3.7	3.7	2.5~3	2 016	0	间隔 2~3 m	4 150	0.49
第 2 次爆破试验	115	21	13~25	5	3	2.5~3	24	1 775	混合装药	3 850	0.47
第 3 次爆破试验	115	19	14~17	4	4	3~4	624	1 100	连续	4 000	0.43

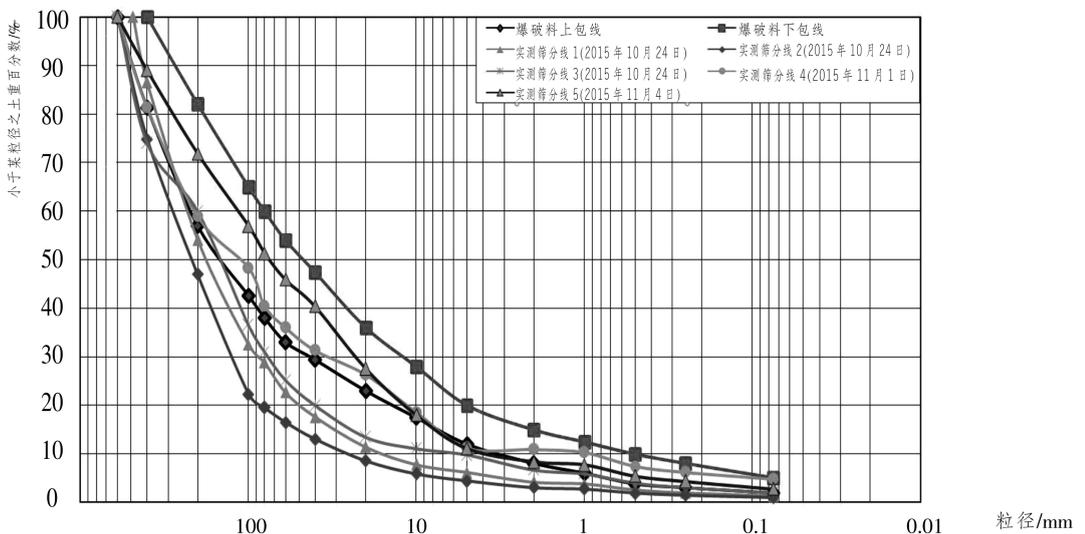


图 2 P1 料场爆破料颗粒大小分布曲线图

对 P1 爆破料场的岩石条件, 爆破参数选用直径 为 115 mm 的 CM351 型钻机造孔, 呈矩形布孔,

孔深为13~15 m,孔排距为4 m×4 m,采用膨化硝酸炸药为主,配有一定比例的2#岩石乳化炸药,连续耦合装药,单耗0.43 kg/m<sup>3</sup>,采用排间起爆,爆破试验后的颗分试验成果满足设计要求;通过计算各筛分料的不均匀系数和曲率系数,得出爆破料级配良好、满足堆石料设计要求的结论。

### 3.3.2 石方挖运

挖装设备主要以1.6 m<sup>3</sup> 液压反铲为主,运输设备主要以38 t 自卸汽车运输为主。根据对单月填筑强度要求、料场场内面积、上坝运输距离、道路运输能力、设备有效工作时间、设备有效利用率进行综合计算得知:高峰期配备5台1.6 m<sup>3</sup> 液压反铲和45台20 m<sup>3</sup> 自卸汽车即可满足爆破料上坝强度要求。

## 4 坝体填筑施工

### 4.1 坝体临时断面的填筑及分区

根据阿尔塔什坝导流度汛标准,2015年10

月底~2017年9月底围堰挡水度汛;2017年10月初~2019年7月底坝体临时断面挡水度汛。按照在导流洞泄洪、坝体能抵御100 a一遇洪水的度汛标准,坝体必须在2017年5月底之前填筑至1715 m高程。2019年7月底下闸蓄水后,按照在1#深孔放空排沙洞、2#深孔和中孔泄洪洞联合泄流,坝体能抵御200 a一遇洪水的度汛标准,坝体必须在2019年7月底将二期面板浇筑至1776 m高程。

为使坝体均衡上升,同时又能满足高峰填筑强度要求并能充分利用新疆地区3~5月份最佳的气温条件进行分期面板混凝土浇筑,按照阿尔塔什导流度汛标准要求,将坝体进行了分期、分区填筑施工,具体的坝体分期、分区填筑情况见图3。大坝填筑分期工程量、填筑强度以及施工时段见表2。

### 4.2 上坝道路布置

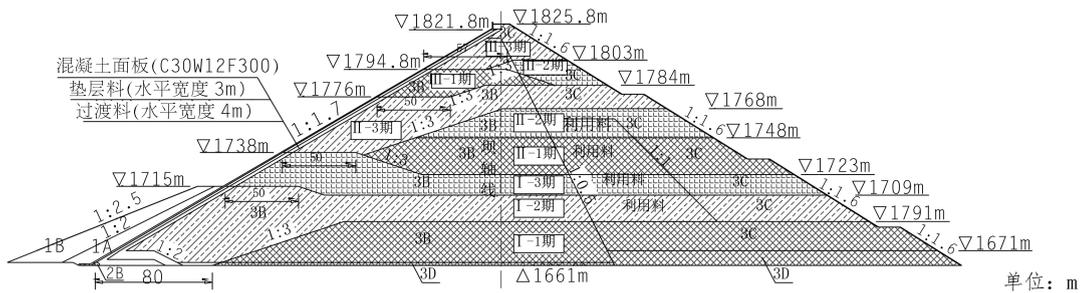


图3 坝体分期、分区填筑示意图

表2 大坝填筑分期工程量及强度表

分期断面	施工时段	施工天数 /d	完成量 /万 m <sup>3</sup>	月平均填筑强度 /万 m <sup>3</sup>	
大坝填筑 I 期	I-1 期	20160321~20161231	285	510	53.7
	I-2 期	20170301~20170531	91	490	161.5
	I-3 期	20170601~20170831	91	402	132.5
大坝填筑 II 期	II-1 期	20170901~20171231	121	412	102.1
	II-2 期	20180301~20180531	91	184	60.7
	II-3 期	20180601~20180831	91	217	71.5
大坝填筑 III 期	III-1 期	20180901~20181231	121	131	32.5
	III-2 期	20190301~20190531	91	45	14.8
	III-3 期	20190601~20190831	91	120	39.6

在面板堆石坝施工过程中,上坝道路的布置是论证大坝填筑施工技术经济效果很重要的一个方面,道路的合理布置不仅直接关系到上坝成本,而且直接制约上坝强度<sup>[4]</sup>。阿尔塔什大坝填筑为

为了满足经济合理、高峰期车流量通行条件,结合料场分布、大坝分期填筑时段、地形地貌等条件,在坝址上、下游共布置了4条上坝道路,具体道路布置情况如下:

(1)第 1 条上坝道路位于坝址上游左岸,道路起点接 P1 料场底部 13#-1 道路范围,起点高程 1 702 m,道路终点接左岸坝肩,终点高程 1 715 m,路面宽度为 9 m,路面结构为砾石路面。

(2)第 2 条上坝道路位于坝址上游左岸,道路起点接 P1 料场底部 13#-1 道路范围,起点高程 1 702 m,道路终点接左岸坝肩,终点高程 1 750 m,路面宽度为 9 m,路面结构为砾石路面。

(3)第 3 条上坝道路布置于坝址下游左岸,道路起点接原 12# 县道,起点高程 1 690 m,终点接坝后之字路,终点高程 1 690 m,路面宽 9 m,采用砾石路面。

(4)第 4 条上坝道路布置于坝址下游右岸,道路起点接 3# 施工道路,起点高程为 1 709 m,终

点接坝后之字路长 1 710 m,路面宽 9 m,采用混凝土路面。

C1 砂砾石料场和 P1 爆破料场均分布于坝址上游,上坝道路需跨过左岸趾板进入坝体轮廓线内并与坝区填筑道路连接组成坝料填筑区的运输体系。为满足高峰期大坝填筑强度要求,分别在左岸岸坡 1 715 m 和 1 750 m 高程修建跨趾板道路,跨趾板道路由路堑开挖、单跨简支梁钢桥、混凝土挡墙+回填砂砾石路基组成;为防止跨趾板段出现堵车现象,跨趾板段钢栈桥设置为双车道(重车道、空车道)通行并由专人负责交通指挥。

#### 4.3 碾压试验

通过试验确定的填筑碾压参数见表 3。

#### 4.4 填筑施工方法

表 3 坝体碾压施工参数表

名称	填筑层厚/mm	加水量/%	碾压遍数/遍	碾压/夯实设备	振动碾的行车速度/km·h <sup>-1</sup>	备注
垫层料	200	8	16	3.5 t 振动碾	≤2	
特殊垫层	200	8	16	3.5 t 振动碾	≤2	
过渡料	400	5	8	26 t 振动碾	≤2	振动碾均采用激振碾压
砂砾料	800	10	10	32 t 振动碾	≤3	
爆破料	800	10	8	32 t 振动碾	≤3	
排水料	800	10	8	32 t 振动碾	≤3	

(1)上游坡面固坡施工技术。阿尔塔什大坝上游坡面的固坡采用挤压边墙混凝土施工方法,由垫层料垂直碾压取代了坡面斜坡碾压施工工艺,即:在每填筑一层垫层料之前,采用边墙挤压机作出一条半透水的混凝土边墙(墙身高度为 40 cm,上游坡比为 1:1.7,顶部宽度为 10 cm,底部宽度为 83 cm,内侧坡比为 8:1,边墙混凝土强度为 C3~C5),待其强度达到 50%后,紧跟其内侧铺填垫层料且碾压合格后再重复这一工序,以形成完整、具有一定强度的混凝土临时坝面。挤压边墙混凝土由混凝土拌和站进行集中拌制,采用 10 m<sup>3</sup> 混凝土搅拌罐车运输至挤压边墙施工作业面并与挤压边墙同向、同步行走进行边墙混凝土施工。挤压边墙成型 1 h 后,提前进行垫层料的铺填,成型 3 h 后(抗压强度不低于 1 MPa)即可进行垫层料碾压施工。

(2)垫层料、过渡料的填筑。垫层料施工质量的好坏对挤压施工质量及面板均匀受力起至关重要的作用。填筑时,若单一选择重型设备进行碾

压,易造成成型后的挤压边墙出现向上游位移增量,另外,易造成挤压边墙接缝部位表面混凝土脱落,若单独采用小型机械设备碾压,不仅易造成碾压费用的增加,而且易造成单层填筑施工时段延长。因此,为了避免上述不利因素影响,填筑料源采用 40 t 自卸车运输至填筑面后用 1.6 m<sup>3</sup> 的液压反铲摊铺,边角部位由人工使用铁锹辅助摊铺,垫层料铺料厚度为 200 mm,过渡料铺设厚度为 400 mm,各种料源的洒水均按照 8% 控制,碾压设备选用 3.5 t 振动碾、26 t 振动碾、手持平板夯三种机械设备进行综合碾压。即:①靠近挤压边墙 0~0.2 m 范围,采用手持平板夯进行夯实,打夯时间不小于 90 s;②挤压边墙至下游 0.2~1.5 m 范围,采用 3.5 t 自行车式振动碾激振碾压 16 遍,将行车速度控制在 2 km/h;③1.5~7 m 范围,采用 26 t 自行车式振动碾激振碾压 8 遍,将行车速度控制在 2 km/h。

(3)堆石料填筑。随着重型机械设备的出现,使土石坝施工效率更高、降低了运输和填筑堆石

的费用,在大坝填筑过程中,碾压设备的选择对施工质量和经济性影响较大,因此,阿尔塔什项目大坝的填筑分别采用 26 t 振动碾和 32 t 振动碾进行了碾压试验及成本测算<sup>[5]</sup>,最终选取了最优的碾压参数(即铺料厚度 80 cm,32 t 自行式振动碾激振碾压(砂砾料碾压 10 遍,爆破料碾压 8 遍),洒水 10%,将行车速度控制在 3 km/h)。坝料采用 1.6 m<sup>3</sup> 液压反铲装料,40 t 自卸汽车运输上坝并采用后退法和进占法综合卸料,SD32 推土机摊铺,坝料采用坝外加水和坝内补水 2 种方式进行加水,32 t 自行式重型振动平碾碾压,碾宽 2.2 m,振动频率为 0~28 Hz,名义振幅为 1.83 mm,激振力为 590 kN 无级可调,岸坡部位采用小型振动碾和液压平板夯夯实碾压以保证岸坡接坡质量。鉴于该地区蒸发量较大且砂砾石料吸水较小的特性,现场洒水后应及时碾压,以免水分蒸发及大量流失而影响碾压效果。

## 5 施工质量控制

### 5.1 数字化实时监控系統

数字化实时监控系統较传统人工控制碾压参数具有明显的技术优势,作为辅助质量检测工具

和质量初步判断依据在工程施工中得到了良好的应用。其在质量控制方面的重要性主要体现在以下几个方面:

(1)碾压参数实时监控。系統对振动碾行走速度、振动频率、碾压遍数、行走轨迹等参数进行实时管理,发现振动碾行走速度超速时进行报警。

(2)碾压合格率统计。系統能实时进行统计分析,发现偏差及时调整。所生成的数据报表实现了对工程过程控制的追溯和分析。

(3)数据回放。系統实现了对施工记录的全面、长时间保存、具有数据回放功能,从而为后期坝体填筑质量评定、理论研究及沉降分析等提供了重要的依据。

### 5.2 大坝填筑干密度检测情况

阿尔塔什大坝填筑相对密度标准试验突破了传统室内振动台法标准试验方法,采用现场大型原级配相对密度试验法进行试验,相对密度控制的最大密度、最小密度指标均对比室内振动台法标准试验有所提高,且有效地减小了坝体沉降变形。取样结果表明:各种坝料填筑施工质量满足设计要求(表 4)。

表 4 坝体各填筑料质量检测情况表

料别	取样组数/组	干容重 /g·cm <sup>-3</sup>	孔隙率 /%	实测渗透系数 /cm·s <sup>-1</sup>	相对密度
垫层料	1 688	2.35~2.38	/	3.2×10 <sup>-4</sup> ~8.4×10 <sup>-4</sup>	≥0.9
特殊垫层料	23	2.07~2.12	/	/	≥0.9
过渡料	547	2.38~2.41	/	3.2×10 <sup>-3</sup> ~2.2×10 <sup>-3</sup>	≥0.9
砂砾料	3 118	2.35~2.42	/	2.2×10 <sup>-3</sup> ~9.2×10 <sup>-2</sup>	≥0.9
爆破料	375	/	16.6~18.7	1.0×10 <sup>-2</sup> ~8.3×10 <sup>-2</sup>	/
排水料	59	/	16.1~18.4	自由排水	/

### 5.3 坝体沉降变形收敛情况

坝体沉降监测数据显示,2019 年 11 月 1 日,坝 0+475 典型监测断面坝体最大沉降量在 0+475 断面的坝下 0-081 位置,其总沉降量 621.1 mm 中有 367.7 mm 的沉降量是由坝基沉降贡献的,坝基沉降量占总沉降量的 59.2%,坝体实际最大沉降量占目前大坝填筑高度(151.3 m)的 0.17%,与同类工程类比,该工程目前施工期沉降量略偏小。

## 6 结 语

(1)通过精心组织,精选设备参数以及质量检测与试验工作的创新,阿尔塔什水利枢纽工程大坝单月填筑强度突破 171.51 万 m<sup>3</sup>。其中 2017

年 9 个月内完成坝体填筑量 1 200 万 m<sup>3</sup>,全年平均月强度超过 130 万 m<sup>3</sup>。

(2)数字化监控系统的应用对坝体填筑碾压参数控制具有积极的促进作用,碾压参数控制是保障坝体填筑施工质量的重点,现场试验检测结合实时碾压轨迹监测记录的进行可以提升试验检测的代表性,加强对施工薄弱环节的质量控制。

(3)在坝体高强度填筑要求下如何进行料场开采、坝面管理及设备保障是工程控制的重点,以上各项保障措施均基于工程施工实践的总结,笔者希望能为类似工程施工起到相应的参考作用。

(下转第 74 页)

该组合钢混工字钢梁采用专用架桥机进行施工,属施工技术创新,解决了目前常规施工技术存在较大风险、施工周期长、施工成本太高而无法满足要求等问题。该专用架桥机取得的有益效果是:该设备施工工效高、结构合理、制造工艺通用、安全可靠、移动灵活、安拆方便,满足施工要求。该组合工字梁架设施工工艺与现行施工技术相比,可以减少汽车吊安装施工平台修筑、横向顶推安装搭设临时支架工程量、减少焊接高空作业等,为类似工程的安装施工提供了一种思路,值得借鉴。

参考文献:

(上接第6页)

参考文献:

[1] 胡安静,虞舜,刘启.甲岩水电站混凝土面板堆石坝坝料利用概述[J].云南水力发电,2017,18(增2):110-114+130.

[2] 丁晓唐,覃牧,崔恩豪.白鹤滩水电站料场补充开采规划优选设计[J].中国水利科技进展,2018,38(5):43-47.

[3] 李明.小中甸水利枢纽砂石料场开采加工和施工优化方案[J].中国水利,2018,41(16):25-26.

[4] 刘经彪.双江口300m级别砾石土心墙堆石坝实施阶段填筑道路规划[A].四川省水力发电工程学会2018年学术交流暨“川云桂湘粤青”六省(区)施工技术交流会[C].四川

(上接第10页)

6 结语

振冲法加固地基应用广泛,对处理堆石坝基础具有以下优点:

- (1)施工机具简单、施工工艺容易操作,施工速度快,质量容易控制,地基加固效果好。
- (2)与传统开挖换填工艺相比,避免了出现深基坑、大开挖等施工情况,降低了安全风险,节约了投资。

参考文献:

[1] 中国建筑工程总公司.地基与基础工程施工工艺标准[M].

[1] 石传金.工字钢钢混叠合梁的施工控制要点[J].山西建筑,2010,36(18):308-309.

[2] 刘小军,严力江.用工字钢梁架设公路跨线桥的施工[J].西部探矿工程,2004,16(6):142-143.

[3] 王志杰.液压顶推系统在钢梁安装中的应用[J].工程建设与设计,2016,64(5):117-119.

[4] 王树栋.钢梁与钢筋混凝土板结合梁安装技术[J].石家庄铁道学院学报,1997,10(1):69-72.

[5] 李铁成,周耀坤.焊接工字钢梁剪切屈后效应的研究[J].北方交通大学学报,1987,13(4):39-47.

作者简介:

钟长海(1983-),男,四川中江人,高级工程师,从事高速公路施工技术与管理工... (责任编辑:李燕辉)

省水力发电工程学会,2018.

[5] 冯鹏程,冉念.古瓦水电站混凝土面板堆石坝填筑施工的质量控制[J].四川水力发电,2019,17(2):48-50,53+140.

作者简介:

李振谦(1987-),男,甘肃庆阳人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

李乾刚(1988-),男,河南商丘人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

曹巧玲(1986-),女,甘肃定西人,工程师,从事水利水电工程经营管理工... (责任编辑:李燕辉)

北京:中国建筑工业出版社,2003.

[2] 龚晓南.地基处理手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.

[3] 徐至钧.建筑地基处理工程手册[M].北京:中国建材工业出版社,2005.

[4] 建筑地基处理技术规范,JGJ79-2012[S].

[5] 水电水利工程振冲法地基处理技术规范,DL/T 5214-2016[S].

作者简介:

潘红岭(1986-),男,河南濮阳人,项目总工程师,工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作... (责任编辑:李燕辉)

(责任编辑:李燕辉)

世界第一井——赞比亚下凯富峡调压井衬砌施工全部完成

5月29日,经过636个日日夜夜的艰苦奋斗,赞比亚下凯富峡调压井顶部牛腿混凝土浇筑完成,标志着由中国水电五局承建的世界最大的调压井——下凯富峡超大型异形调压井衬砌施工全部完成。调压井混凝土衬砌总体分为四个阶段:一是阻抗板下部定型模板和组合模板的混凝土浇筑;二是阻抗板上部滑模作为内模和组合模板共同完成闸室段浇筑;三是闸室穹顶以上井筒滑模衬砌;四是调压井顶部牛腿组合模板浇筑。赞比亚下凯富峡电站调压井具有独特的设计体型,具有“开挖直径大、断面不规则、混凝土结构体型复杂、井口平台面积小”等特点,享有“世界第一井”的特殊身份。该调压井底部设置5个过流道连接5条发电洞;闸室设计为暗埋式倒悬穹顶结构,在开挖阶段和井筒一并开挖完成,在混凝土衬砌阶段通过带防渗钢板的混凝土墙壁将井筒和闸室分割独立。井筒内设置5个闸门槽,在衬砌时由异形滑模体一并衬砌完成。顶部设置牛腿体型,为保障牛腿体型结构连续,在5个闸门槽顶部设计悬空梁。总体上,混凝土结构设计新颖,体型复杂,其结构设计技术难度处于世界前列,对施工技术提出了严峻的挑战。该调压井开挖井深133.2m,最大开挖直径50.8m,最大开挖跨度62.42m,衬砌后最大衬砌跨度为35.75m,衬砌最大壁厚为10.9m,设计混凝土8.5万m³,钢筋6382t。

(中国水电五局 供稿)