

# 苏丹上阿特巴拉水利枢纽博达纳大坝粘土心墙料的生产制备

王元印

(中国水利水电第五工程局有限公司 海外事业部, 四川 成都 610066)

**摘要:**根据对 BU3-QF 土料场各层土料特性进行分析, 确定了粘土心墙料的生产制备方式。通过对“干拌法”和“湿拌法”两种生产制备方式的对比, 得出了“湿拌法”更加高效、快速、产能更高、成本更低, 适合本项目采用的结论并予采用。

**关键词:**粘土心墙料; 干拌法; 湿拌法; 制备; 分析; 上阿特巴拉水利枢纽

中图分类号: TV7; TV52; TV44

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2014)03-0063-02

## 1 工程概述

苏丹上阿特巴拉水利枢纽项目由鲁米拉和博达纳两座大坝及其附属工程组成, 其中博达纳大坝主要由左右岸土堤、左岸土石坝、河床心墙坝及溢洪道组成, 枢纽总长 6 615 m。主要工程量包括土石方填筑 681 万 m<sup>3</sup>, 其中粘土料 349 万 m<sup>3</sup>, 占整个土石方填筑量的 51.3%, 因此, 粘土心墙料的制备能力将直接影响到整个土石坝的填筑施工进度。

该工程采用的是目前广泛运用的薄层铺筑并分层压实的碾压式土石坝。由于防渗土料含水量的高低成为大坝能否快速填筑施工的关键, 因此, 完善而慎重地进行土料特性和生产制备分析就显得尤为重要, 以确保工程填筑施工进度不受粘土料生产制备的影响。

## 2 土料特性

### 2.1 BU3-QF 土料场土料分层及各层料物特性

第一层为高液限、高塑性粘土层, 遇水体积会膨胀, 主要为棉土, 层厚 1~1.8 m(从地表计算为 0~1.8 m 段位置), 呈浅黑色。

第二层为低液限、低塑性土层, 主要为砂质粉土, 层厚 1.62~3.5 m(从地表计算为 1.8~4.5 m 段位置), 呈淡黄色, 较松散干燥。

第三层为高液限、高塑性土层, 主要为粉质粘土, 层厚 6.3~7.7 m(从地表计算为 4.5~10.6 m 段位置), 呈亮褐色, 局部层段含有少量的砾石和钙质结核, 细粒含量较高。

### 2.2 技术规范要求

收稿日期: 2014-05-08

第一层棉土与第二层砂质粉土的颗粒级配曲线基本能满足技术规范要求; 第三层粉质粘土的颗粒级配曲线整体上细料含量较高, 超出技术规范要求, 现场通过立面混合开采来满足级配要求。

第一层棉土的液限和塑性指数符合技术规范要求; 第二层砂质粉土与第三层粉质粘土的液限和塑性指数均超出技术规范要求; 但整个土料场其液限和塑性指数均值完全满足技术规范要求。现场通过立面混合开采能满足技术规范中液限和塑性指数要求。

根据技术规范要求, 只有第一层棉土满足技术规范要求, 第二层砂质粉土与第三层粉质粘土不能单独开采使用, 必须通过对料物进行掺配才能满足技术规范要求。

### 2.3 料场储量与填筑量对比

BU3-QF 土料场位于距离坝址约 1 km 的 SETIT 河右岸上游, 距河岸约 1.5~2.2 km。地形平坦, 原始地面高程为 520~522 m, 最大高差 2 m, 根据野外踏勘作业, 结合业主移交的范围, 初步估算该土料场可开采范围约为 107 万 m<sup>2</sup>, 土料储量 1 091 万 m<sup>3</sup>, 储量丰富, 根据工程量清单得知粘土料填筑总量为 349 万 m<sup>3</sup>, 结合前期围堰施工经验, 开采系数按 1.38 考虑, 共需开采 482.31 万 m<sup>3</sup>, 开采深度约为 4.5 m 左右。单层料物储量不能满足填筑需求, 只有通过多层土料立体混合开采, 料物性能和储量才能满足要求。

### 3 理论掺配方案(“干拌法”)

对土料特性进行分析可知, 可通过对各层土料进行掺配来实现各项指标符合技术规范要求的

目的。

主要措施是将料场第一层棉土料与第二层砂质粉土料掺配,第二层砂质粉土与第三层粉质粘土掺配,通过前期掺配试验,掺配比例按0.4:0.6和0.5:0.5两种进行,即能实现掺拌料满足技术规范要求。

根据理论掺配方案,掺配比例选定为0.5:0.5,确定BU3-QF土料场的土料制备和开采方案,简称“干拌法”,流程为:清表→开挖掺配→堆存平整→筑畦灌水→含水率检测→立面混合开采→运输→上坝填筑。

注:①在第二步骤开挖掺配工序中,需使用反铲对各分块开挖区域按已确定的开采深度进行料物掺配;②第四步骤筑畦灌水深度约为40cm,灌水20~30d(由灌水试验确定);③第五步骤含水率检测中,混合后的土料含水率大于最优含水率(击实试验确定)3%左右即可;④第六步骤立面混合开采方式每次反铲开采立面厚度为30~40cm。

#### 4 “干拌法”存在的问题

在对BU3-QF土料场已完成的35块(100m×100m)区域粘土料制备和开采的观察和数据统计发现:为保证上坝粘土料完全符合技术规范要求,在土料制备前期需投入反铲将不同土料层的土料进行翻拌掺配均匀,两台反铲的月翻拌掺配能力为3块,约13.5万m<sup>3</sup>,已完成135万m<sup>3</sup>。

反铲翻拌掺配过程中并不能将各层土料完全翻拌掺配均匀,土料存在结块现象,在灌水过程中无法保证水的渗透率一致,灌水区域排水后发现局部含水量过高或偏低,在开采时无法正常完全开采利用,出现了料物浪费的情况。

使用该方法制备粘土料导致生产周期加长,设备利用率低,生产制备能力无法完全保证施工高峰期粘土料上坝填筑需求,在施工总进度滞后和成本高投入、低产出的情况下,必须寻求一种缩短粘土料生产制备周期、降低生产成本、加快生产进度、以确保施工总进度的生产方式。

#### 5 土料掺拌的优化(“湿拌法”)

为了提高粘土心墙料的制备和开采效率,确保其不影响大坝填筑施工进度,提高设备利用率,缩短粘土料生产制备周期,确保有足够的高塑限、高液限土料供应河床大坝段防渗墙以下垫层和岩石基础表面以上1.5m的填筑,确保有足够的低

塑限、低液限土料供应坝顶1.5m范围内的填筑。

针对“干拌法”粘土心墙料生产中出现的问题,重新对BU3-QF土料场各料层土料的特性进行分析,发现雨季过后BU3-QF土料场第一层0.3~1.8m的棉土平均天然含水率(30.7%)接近最优含水率 $W_o = 27.3\%$ ,液塑限满足技术要求,细粒含量稍多,可直接用于坝体填筑;第二层1.8~4.5m的砂质粉土和第三层的粉质粘土天然含水率均值为13.4%,低于最优含水率 $W_o = 24.1\%$ ,需灌水进行调节。

根据BU3-QF土料场各料层的特性分析并结合前期勘探结果可知,料场具备分层灌水、分层开采条件,特对土料掺拌进行了优化,简称“湿拌法”,采用了以下几个步骤:

(1)覆盖层清除后灌水调节第一层棉土。当含水率大于最优含水率3%左右时,开采表层0~1.5m的棉土料,直接上坝填筑。

(2)进行1.5~4.5m第二层砂质粉土和第三层粉质粘土的灌水以调节含水率、立面混合开采(开采深度根据现场渗水试验确定)。

通过对BU3-QF土料场的粘土心墙料制备和开采方式“干拌法”(先翻拌掺配,后灌水)及“湿拌法”(先灌水,后翻拌掺配)进行对比可知:

(1)“湿拌法”比“干拌法”减少了一道反铲翻拌掺配和推土机料物平整工序,其中两台反铲(Volvo EC460LC液压反铲,斗容2.1m<sup>3</sup>)的月翻拌掺配量为3块区域(100m×100m),约13.5万m<sup>3</sup>;除去已完成的区域(10块135万m<sup>3</sup>),直接减少后期反铲翻拌掺配量约347万m<sup>3</sup>;

(2)“湿拌法”料物利用率高。由于其水分依靠土壤本身孔隙均匀下渗,没有出现灌水结束后土料含水不均匀的情况,开采时可以全部开采使用;

(3)采用“湿拌法”进行粘土心墙料的生产制备,缩短了粘土料的生产制备周期,提高了BU3-QF土料场的生产能力,将原月产量13.5万m<sup>3</sup>提升至现在的50万m<sup>3</sup>,保证了坝体填筑的料物供应,实现了月平均填筑量从以前的5.6万m<sup>3</sup>提升至现在的27.1万m<sup>3</sup>,高峰期月填筑量达到55万m<sup>3</sup>。

#### 6 结语

(下转第78页)

点使用Power Adj4.0软件进行约束平差计算,TBC软件进行校核计算,求得坝区施工控制网12个点(JⅡ01~JⅡ12)的1954年北京坐标系成果。

以所求得的JⅡ02坐标为起算坐标,JⅡ02至JⅡ11的方向角( $286^{\circ}33'28.98''$ )为起算方位角,对施工控制网中12点进行无约束平差,从而求得1954年北京坐标系,中央子午线 $102^{\circ}$ ,3度分带,高斯正形投影成果。

(2)在高程面990m上控制网平差:以(1)中JⅡ02的1954年北京坐标系下的成果作为起算坐标,JⅡ02至JⅡ11的方向角( $286^{\circ}33'28.98''$ )为起算方位角,将GPS观测边及TCA2003往返精密测距边平均值投影至990m,采用长江勘测科技大学研究所研制的软件“平差数据处理系统”进行无约束网平差,得到抵偿系坐标中的成果。

(3)在大坝独立坐标系下控制网平差:取大坝最右岸导流孔右侧坝段间分缝线与坝轴线交点为基点(设坐标为 $X_{\text{大坝}}=5000$ 、 $Y_{\text{大坝}}=464500$ ),对枢纽进行旋转,使坝轴线与大坝坐标系坐标轴正交,Y轴平行于坝轴线指向右岸,X轴垂直于坝轴线指向下游,以旋转后的JⅡ02大坝坐标( $X=5064.3563$ , $Y=464654.5243$ )作为起算坐标,旋转后的JⅡ02至JⅡ11方向角( $267^{\circ}01'48.58''$ )为起算方位角(将GPS观测边及TCA2003往返精密测距边平均值投影至990m),采用“平差数据处理系统”进行统一平差(采用Power Adj4.0进行校核计算),得到工程独立坐标系的成果。

#### 4 精度统计

表1列出了“力子非”1954年北京坐标系下的检验成果,将其与原有成果相比,该点位在东西方向出现了较大的位移。

表2列出了1954年北京坐标系下控制网中相邻最弱边JⅡ01-JⅡ03的边长相对中误差,其

(上接第64页)

在对两种方法进行对比、分析以及生产性试验后发现,“湿拌法”在设备投入、生产效率、生产制备能力、料物利用等方面都优于“干拌法”,通过“湿拌法”生产制备粘土心墙料,既节约了成本,又提高了效率,还缩短了工期。在苏丹上阿特

表1 起算点检核表

项目	X/m	Y/m
LZF检测坐标	2 926 358.847 1	461 819.012 6
LZF原坐标	2 926 358.83	461 818.96
差值/m	0.017 1	0.352 6

相对精度满足技术要求。表3为1954年北京坐标系下的加密点位精度统计,各点位均满足5mm的技术要求。

表2 最弱边长相对中误差表

项目	实测值	允许值
最弱边(JⅡ01-JⅡ03) 边长相对中误差/mm	1/158 961	1/150 000

表3 点位精度统计表

点名	JⅡ01	JⅡ02	JⅡ03	JⅡ04	JⅡ05	JⅡ06
点位中误差 /mm	1.15	1.16	1.16	1.15	1.15	1.16
点名	JⅡ07	JⅡ08	JⅡ09	JⅡ10	JⅡ11	JⅡ12
点位中误差 /mm	1.14	1.18	1.16	1.17	1.15	1.17

#### 5 结语

大型结构体如水电站大坝或轨道交通的施工、运营和维护离不开平面高精度控制网的建设,因此,布设并维持高精度控制网是非常有必要的。笔者通过金沙水电站的平面控制网建设,介绍了高精度控制网布设、观测和内业数据处理的流程,最后对成果进行了精度统计。结果表明,控制网精度满足设计要求。

#### 参考文献:

- [1] 水电水利工程测量规范,DL/T 5173-2003[S].
- [2] 全球定位系统(GPS)测量规范,GB/T 18314-2009[S].
- [3] 李庆航,黄劲松. GPS测量与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2010.
- [4] 刘大杰,施一民,过静琨. 全球定位系统(GPS)的原理与数据处理[M]. 上海:同济大学出版社,2003.

#### 作者简介:

付庆伟(1978-),男,四川成都人,副主任,工程师,从事水电工程测量技术及管理工作。  
(责任编辑:李燕辉)

巴拉水利枢纽博达纳大坝工程中,目前采用“湿拌法”进行粘土心墙料的生产制备。

#### 作者简介:

王元印(1987-),男,贵州黔西人,处长,助理工程师,学士,从事土石坝工程施工技术和质量管理工作。  
(责任编辑:李燕辉)