

# 砂砾石料含水率快速检测技术的探析及应用

赵红梅

(中国水利水电第五工程局有限公司 中心试验室,四川 成都 610066)

**摘要:**众所周知,面板堆石坝的大坝填筑施工质量控制是以密度控制为主。在传统的检测方法中,含水率的检测时间较长且对粗粒土含水率的试验没有准确、可靠的方法。因此,面对大坝填筑量大、施工节奏快的具体情况,含水率的快速检测成为解决这一问题的重要因素。阐述了通过试验研究分析得出的一套快速、准确、实用性强的含水率快速检测方法,并予以应用,取得了较好的效果,为大方量大坝填筑保证工程质量、加快工程进度提供了必要的保障。

**关键词:**砂砾石料;含水率;快速检测;阿尔特什水利枢纽工程

**中图分类号:**TV7;TV52;TV42;TV41

**文献标志码:** B

**文章编号:**1001-2184(2024)01-0036-04

## Exploration and Application of Rapid Detection Technology for the Moisture Content of Sand and Gravel Materials

ZHAO Hongmei

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

**Abstract:** It is known that the quality control of the face rockfill dam is mainly density control. In the traditional detection method, the detection time of moisture content is long, and there is no accurate and reliable method for the moisture content test of coarse grained soil. Under the condition of large amount of dam filling and fast construction pace, the rapid detection of moisture content has become an important factor in solving the problem. Through the experimental research and analysis, a set of fast, accurate and practical methods for rapid detection of moisture content are expounded and applied, which provide the necessary guarantee for the generous dam filling to ensure the project quality and speed up the project progress.

**Keywords:** Sand and gravel material; Moisture content; Rapid detection; Altash Water Conservancy Project

### 1 概述

阿尔特什水利枢纽工程是叶尔羌河干流山区下游河段的控制性水利枢纽工程,为叶尔羌河干流梯级规划“两库十四级”中的第十一个梯级,在保证向塔里木河生态供水和灌溉用水的前提下,具有满足防洪、发电等综合利用功能。水库总库容为 22.49 亿  $m^3$ ,正常蓄水位高程为 1 820.00 m,最大坝高为 164.8 m,电站装机容量为 755 MW。其挡水坝为混凝土面板砂砾石堆石坝,坝顶宽度为 12 m,坝长 795 m。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、混凝土面板、垫层料区 2A、特殊垫层区 2B、过渡料区 3A、砂砾石料区 3B、爆破料区 3C、水平排水料区 3D,大坝填筑总量约为 2 494 万  $m^3$ 。其中上游主堆石区采用砂砾石料,填筑量达 1 227.8 万  $m^3$ 。

收稿日期:2023-10-15

众所周知,在水利水电工程施工过程中,大方量的填筑需要各个环节紧密衔接。填筑碾压后,其质量控制试验检测环节成为控制施工填筑碾压质量、减小大坝变形的重要前提。为保证大坝填筑施工质量的可靠性,研究分析并细化质量控制方法,优化试验检测质量控制技术,做好施工过程的质量控制成为其关键的一环。然而,采用传统的试坑法检测大坝填筑质量存在工作量大、检测效率低、对施工干扰大的不足;而填筑碾压后的密实度检测试坑法则是由人工完成,一个试坑检测的全程需要花费约三个多小时,试验周期较长,严重制约着现场填筑施工进度。施工单位的技术人员力求突破常规限制,不断开拓创新,探索新的技术手段,创新了不少先进技术,如采用碾压参数过程控制和坑检法相结合的质量双控方法,但至今仍无法突破常规检测方法的局限,依然采用坑检法控制填筑料碾压密实度的质量。

## 2 含水率快速检测的意义及目的

随着现代化机械设备的发展,碾压机械设备亦随之更新换代,目前大型水利工程已采用重型碾压设备(32 t级自行式碾压设备)施工,从而大大提高了大坝填筑施工进度。然而,传统的填筑质量控制试验检测坑检法已严重制约着现场施工进度,因此,提高检测速度已成为试验检测技术人员研究的重要课题。目前,坑检法已得到有效的改进,含水率的快速检测已通过各种各样的现代化电子设备进行了试验论证,但其准确度仍然不高。为了解决这一问题,在阿尔塔什水利枢纽工程大坝填筑施工过程中,试验检测技术人员通过对大坝填筑主堆石料中的砂砾石料进行了重点研究探索,对试验细节和过程处理方面进行了分析研究,经过试验论证,总结出一套较为完整且有效的含水率快速检测技术,具体叙述于后。

### 2.1 砂砾石料含水率快速检测方法

目前,对于含水率试验,其试验方法主要有烘干法、酒精燃烧法、比重法、炒干法等。烘干法为室内试验的标准方法;酒精燃烧法则适用于简易测定细粒土含水率;比重法适用于砂类土<sup>[1]</sup>;炒干法则适用于最大粒径不大于60 mm的粗颗粒土<sup>[2]</sup>。在大坝填筑过程中,各种填筑料的粒径均不同。在阿尔塔什工程中,砂砾石料的最大粒径为600 mm。然而,现有的试验规程仅适用于粒径不大于60 mm的粗颗粒土。但仅取粒径不大于60 mm的颗粒土进行含水率试验其试验结果不能代表坑检全料的含水率,而只测细颗粒土含水率时其试验结果值偏大。为研究出砂砾石料含水率的快速检测方法,项目部技术人员进行了大量的试验研究,将湿试样筛分至粒径为5 mm,按 $d < 5 \text{ mm}$ 、 $d > 5 \text{ mm}$ 测定其

各自的含水率( $d$ 为粒径),按级配加权平均计算出试坑全试样的含水率代表值。

### 2.2 粒径小于5 mm颗粒的含水率试验

对于粒径小于5 mm的颗粒,其各类土含水率试验主要采用烘干法、酒精燃烧法、炒干法进行<sup>[3]</sup>。而烘干法对于砂类土而言按相关规程要求不少于6 h,且烘干后还要放入干燥器内冷却至室温后方可称量质量,其不适用于快速检测要求。一般情况下,采用炒干法进行含水率试验可以满足快速检测的要求。根据试验对比分析,炒干法试验结果的差值离散性较小,试验速度快,其精度能够满足规范要求,在大坝各类填筑料质量控制密度试验中,为粒径小于5 mm各类土的含水率试验快速检测的首选。

### 2.3 粒径大于5 mm颗粒的含水率试验

该堆石坝砂砾石料为河滩自然堆积形成的天然级配料。经检测,其鹅卵石的吸水率为0.2~0.4,砂砾石料填筑施工参数确定的加水量体积比为10%。经填筑碾压后进行检测得知:砂砾石料中的粗颗粒基本处于饱和面干状态,粗颗粒含水率变化不大。因此,在填筑过程中,砂砾石料的料源比较固定。为了减少每次试验所用试样的数量、加快试验速度,在大坝填筑施工前,通过测定粗颗粒土表面吸着含水率平均值,在现场填筑质量控制密度检测过程中,仅需检测粒径小于5 mm土的含水率。通过现场坑检全料颗粒级配分析试验,根据各粒径级颗粒含量百分数按加权法计算出坑检全料的总含水率<sup>[4]</sup>。粗颗粒按照粒径 $>100 \text{ mm}$ 、 $100 \sim 80 \text{ mm}$ 、 $80 \sim 60 \text{ mm}$ 、 $60 \sim 40 \text{ mm}$ 、 $40 \sim 20 \text{ mm}$ 、 $20 \sim 10 \text{ mm}$ 、 $10 \sim 5 \text{ mm}$ 分组<sup>[5]</sup>分别进行含水率试验。砂砾石料粗颗粒含水率试验检测成果分析见表1。

表1 砂砾石料粗颗粒含水率试验检测成果分析表

检测项目	粒径/mm	取样组数/组	最大值/%	最小值/%	平均值/%
含水率 /%	>100	58	0.4	0.2	0.3
	100~80	58	0.5	0.2	0.3
	80~60	58	0.5	0.2	0.4
	60~40	58	0.6	0.3	0.4
	40~20	58	0.8	0.4	0.6
	20~10	58	1.0	0.5	0.7
	10~5	58	1.2	0.6	0.8

试验结果表明:砂砾石料粗颗粒含水率变化不大,粗颗粒基本处于饱和面干状态,各粒径级含水率平均值为 0.5%。在施工质量控制过程中,根据坑检全料颗粒级配分析试验结果计算其加权平均含水率。

### 3 砂砾石料含水率快速检测成果分析

根据设计指标及现行规范要求,项目部技术

表 2 砂砾石料现场填筑质量控制含水率试验检测成果分析表

检测项目	取样组数 / 组	最大值 / %	最小值 / %	平均值 / %
粒径 < 5 mm 颗粒含水率	4 131	9.4	3.2	6.0
粒径 > 5 mm 颗粒含水率	4 131	1.2	0.4	0.8
加权平均含水率	4 131	3.3	1.0	2.0

由表 2 可知:在砂砾石料现场填筑施工质量控制过程中,通过含水率快速检测方法判断出砂砾石料粗颗粒含水率变化不大,其含水率变化主要是由颗粒级配中细料含量的多少及细料含水率和粗颗粒表面含水率的大小决定。细颗粒吸着含水率较大,粗颗粒吸着含水率较小,当细颗粒含量较多时,加权平均含水率亦随之偏大,而粗颗粒吸着含水率较小,基本处于饱和面干状态。

### 4 应用效果分析

鉴于阿尔塔什工程大坝填筑施工控制指标要求高、填筑量大、施工工期紧张,坝体填筑高峰期月填筑量达 171.51 万 m<sup>3</sup>,且因面板坝坝体填筑

表 3 大坝砂砾石料填筑碾压质量试验检测成果汇总表

检测项目与单位	检测组数 / 组	合格率 / %	最大值	最小值	平均值	标准差	设计指标	检测结果
粒径 < 0.075 mm 颗粒含量 / %	3 217	100	2.4	1.0	1.5	/	/	/
粒径 < 5 mm 颗粒含量 / %	3 217	100	25.7	15.0	20.8	/	/	/
最大粒径 / mm	3 217	100	422	300	344	/	/	/
相对密度	3 217	100	0.98	0.9	0.93	/	≥ 0.90	满足设计要求
渗透系数 / (cm · s <sup>-1</sup> )	58	/	8.2 × 10 <sup>-2</sup>	1.9 × 10 <sup>-3</sup>	6.1 × 10 <sup>-3</sup>	/	/	/
干密度 / (g · cm <sup>-3</sup> )	3 217	100	2.42	2.28	2.38	0.04	/	满足规范要求

备注:取样所测定的干密度其平均值不小于设计值,标准差不宜大于 0.05 g/cm<sup>3</sup>。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。

(2)从坝体整体沉降变形分析出发对同一高程(横向)进行比较得知:中部测点沉降量最大,两侧测点沉降量逐渐减小;对不同高程(纵向)进行比较得知:高程越低,沉降量越大。总体来看,坝体内部沉降呈连续渐变变化,纵、横向分布基本协调,各测点沉降量与上覆堆石体厚度有关坝基、坝体各测点沉降量分布规律性较好,符合土石坝沉

人员对阿尔塔什大坝坝体填筑碾压压实质量进行了系统的试验检测质量控制,对砂砾石料填筑检测了 4 131 组,检测出的含水率最大值为 3.3%,最小值为 1.0%,平均值为 2.0%。从填筑试验检测成果分析数据看:含水率快速检测方法在施工中的应用可行。砂砾石料现场填筑质量控制过程中含水率试验检测成果分析见表 2。

质量的好坏直接关系到坝体的安全运行,故该工程质量控制压力大。为了不影响工程进度安排,项目部技术人员从技术创新的角度出发,探索出含水率快速检测方法并予以应用,为现场施工节约了时间。

(1)通过对大坝施工过程中砂砾石料填筑碾压质量控制试验检测成果数据进行分析得知所检测的各项结果均满足设计和相关规范要求。一次验收合格率达到 100%。在工期紧张、高强度施工过程中,所研制出的砂砾石料含水率快速检测技术起到了重要作用。大坝砂砾石料填筑碾压质量试验检测成果见表 3。

降变形分布的一般规律;与同等类型工程类比,该工程目前的沉降量略偏小。大坝沉降量分布情况见图 1。

(3)从大坝施工质量检测数据及坝体沉降数据来看,其各项指标均在设计控制范围以内。本次结合传统质量控制经验与方法,通过对砂砾石料含水率快速检测技术进行探索建立的一套完

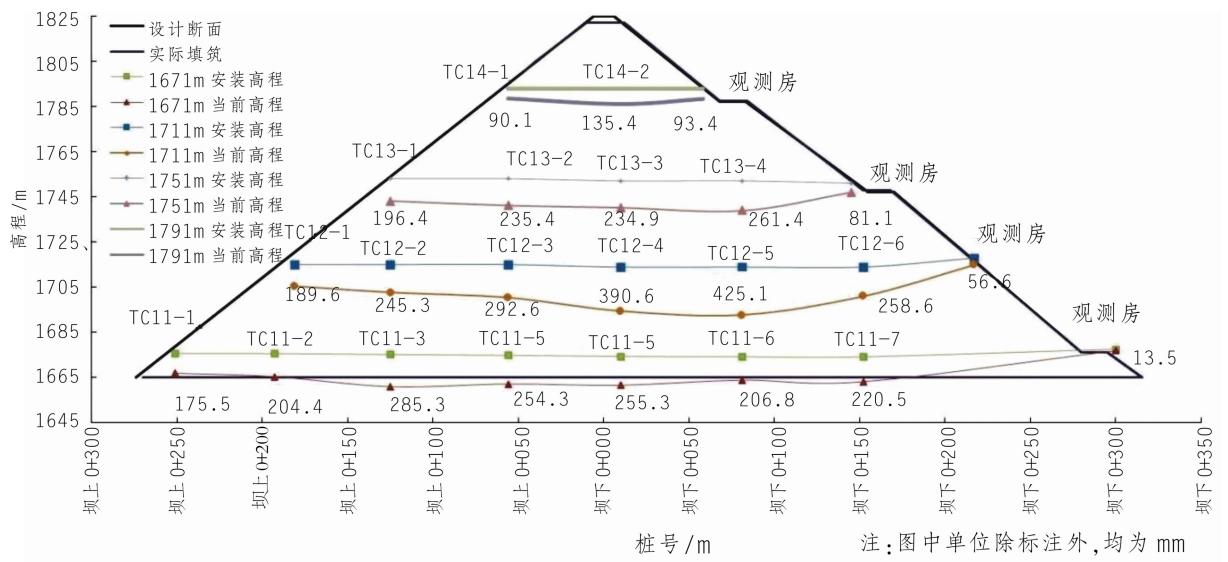


图1 大坝沉降量分布示意图

整、有效、准确、快速的质量控制体系在阿尔塔什水利枢纽工程大坝填筑中得到了有效应用,加快了施工进度,强有力地保障了大坝高强度的填筑施工,保障了施工进度计划,同时亦保障了对大坝填筑施工质量的有效控制,保障了大坝稳定安全运行。

## 5 结语

通过对砂砾石料含水率快速检测技术进行的研究与应用,该检测方法为现场连续施工起到了良好的推动作用。根据对试验成果进行分析得知:砂砾石料含水率快速检测方法在大坝填筑质量控制中可行且有效,该研究成果对缩短高强度填筑时间、保证坝体填筑质量及坝体

~~~~~

(上接第 35 页)

量。通过对每个批次的原材料进行合格性检测,对外加剂配置浓度进行实时检测,对混凝土拌合物的性能及出机口温度进行检测,对入仓混凝土及环境温度进行实时检测后将其控制在相关范围之内。通过以上措施的实施,保证了混凝土拌合物实际配合比的准确性,进而减弱了影响混凝土凝结时间和抗压强度的因素。为保证调压井混凝土的浇筑质量,加快施工进度,必需提前准确预测混凝土强度的增长趋势,从而确定滑模提升的时间。

混凝土的脱模时间从拌合物出机口时间起算,通过文中所述方法和条件得出的线性方程,结合混凝土脱模强度可以反推出脱模时间,从而为滑膜施工提供数据支撑,加快施工进度,节约试验成本;也可以通过不同脱模时间点求得相应的混

稳定等方面起到了重要作用,所取得的经验对同类型的填筑料起到了很好的借鉴作用,同时,试验成果对后续开工建设的同类工程施工控制方法的选择具有重要的指导意义。

## 参考文献:

- [1] 土工试验规程,SL 237-1999[S].
- [2] 水电水利工程土工试验规程,DL/T 5355-2006[S].
- [3] 水电水利工程粗粒土试验规程,DL/T 5356-2006[S].
- [4] 土石筑坝材料碾压试验规程,NB/T 35016-2013[S].
- [5] 土工试验方法标准,GB/T 50123-2019[S].

## 作者简介:

赵红梅(1984-),女,甘肃陇南人,工程师,从事水利水电工程试验检测工作。(编辑:李燕辉)

凝土强度,从而优化施工方案,提高施工质量。此次研究取得的结果可为类似项目提供参考,结合实际情况确定脱模时间。

## 参考文献:

- [1] 水工建筑物滑动模板施工技术规范,SL 32-2014[S].
- [2] 水工混凝土施工规范,SL 677-2014[S].
- [3] 水工混凝土试验规程,SL/T 352-2020[S].
- [4] 何世玲,刘立新. 同条件养护试件检验结构实体混凝土强度研究[J]. 武汉理工大学学报,2006,28(9): 76-79.
- [5] 黄莹,谢友均,刘宝举. 粉煤灰掺量和细度对水泥凝结时间的影响[J]. 水泥,2003,30(12): 4-6.

## 作者简介:

杨军(1995-),男,甘肃天水人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与试验检测工作;  
冀祥(1995-),男,河南驻马店人,助理工程师,从事市政工程施工技术与试验检测工作。(编辑:李燕辉)