

文章编号:1672-3031(2021)03-0356-05

采砂扰动砂砾料筑坝质量控制探讨

杨青杰¹, 段媛媛², 李陆明³, 张兆省⁴, 皇甫泽华⁴

(1. 河南科光工程建设监理有限公司, 河南 郑州 450003;

2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 3. 河南省水利科学研究院, 河南 郑州 450003;

4. 河南省前坪水库建设管理局, 河南 郑州 450003)

摘要:前坪水库原规划料场为天然级配砂砾料, 由于人工采砂扰动, 导致原规划料场上层砂砾(卵)石料细颗粒缺失, 改变了料场砂砾(卵)石料天然级配曲线、物理力学参数等。如何针对人工采砂扰动砂砾料开展筑坝质量控制工作是值得探讨的问题。本文依据相关规范和设计技术参数, 从坝料质量控制和压实质量控制两个方面较系统地探讨采砂扰动砂砾料筑坝质量控制进行了探讨, 推荐采用现场密度桶法确定砂砾料最大、最小干密度, 采用不同铺厚、不同碾压遍数和不同含水状态的碾压试验组合确定合适的碾压施工参数和碾压施工工艺, 并采用大坝填筑碾压实时智能化监控系统确保碾压工艺和碾压参数能够落实。前坪水库筑坝质量控制措施和方法可供类似砂砾料筑坝工程质量控制参考使用。

关键词:扰动砂砾料; 筑坝; 质量控制

中图分类号: TV541

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.20200012

1 研究背景

河南省前坪水库是国家重点建设的172项水利工程之一, 位于淮河流域沙颍河支流北汝河上游、洛阳市汝阳县城以西9 km的前坪村。水库以防洪为主, 结合灌溉、供水, 并兼顾发电, 总库容5.84亿 m^3 , 控制流域面积1325 km^2 , 为大(2)型水库。主坝采用黏土心墙砂砾(卵)石坝, 最大坝高90.3 m。坝壳料设计为天然级配砂砾(卵)石料, 砂砾料填筑方量为1300万 m^3 。但由于当地人工采砂较普遍, 导致原规划料场上层砂砾(卵)石料细颗粒缺失, 改变了料场砂砾(卵)石料天然级配曲线、物理力学参数、开采条件等, 产生了约700万 m^3 的采砂扰动砂砾料。

对于采砂扰动料, 原料场设计包线、开采条件、坝的填筑控制标准和碾压施工参数均发生变化。开展筑坝质量控制工作时, 如何针对这种人工采砂条件下的采砂扰动砂砾料, 开展有效的质量控制工作, 是值得探讨的问题^[1]。本文依据相关规范^[2]、设计技术参数, 重点从坝料级配控制和压实质量控制两个方面较系统的对采砂扰动砂砾料筑坝质量控制进行探讨, 可供类似工程质量控制参考使用。

2 料场的级配特点

2012年可研勘察时, 对西沟-鸭兰沟、前坪-上店、上店-汝河桥3个砂砾料场(包括13个砂砾料区)进行了详查精度的地质勘察, 查明砂砾料储量共计1404万 m^3 , 满足工程需要。但由于河道常年采砂, 尤其是2015年6月份以后, 河槽采砂尤为严重。河槽内采砂场多数采用筛选和破碎两种方式开采, 筛选开采主要对料场内砂砾料中细粒组进行, 破碎方式开采则对整个料区进行了开挖。因为

收稿日期: 2020-02-06; 网络首发时间: 2021-03-16

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5020.TV.20210315.1323.001.html>

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC0401601); 国家自然科学基金项目(51679264); 河南省水利科技计划攻关项目(GG201812)

作者简介: 杨青杰(1983-), 工程师, 主要从事水利工程建设与管理研究。E-mail: hfzh@163.com

通讯作者: 张兆省(1962-), 教授级高级工程师, 主要从事水利工程建设与管理研究。E-mail: zzs@hnsi.gov.cn

大规模的采砂活动，造成砂砾料场原级配料储量大幅减少，对工程用料产生严重影响。这种背景下，勘察单位2016年3月份又对原规划料场进行了复核，共布置勘探点79个，主要查明人工扰动料分布范围及深度，每个勘探点均进行了现场筛分试验，料场筛分级配见图1所示。

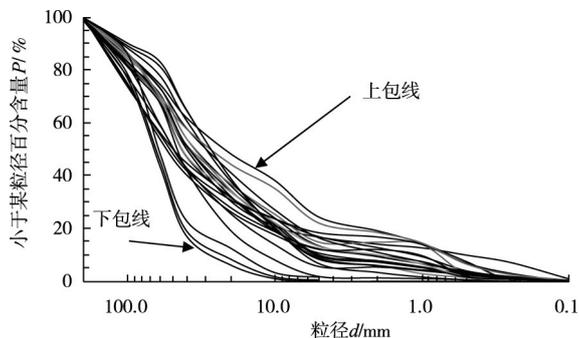


图1 料场级配

由筛分结果可知，人工开采扰动后部分料粒级配曲线坡度较陡，甚至出现水平段，呈现缺少细粒组现象，近半数均为级配不良砂砾料，且离散性较大。尤其是上游部分砂砾料场与下游砂砾料场大部分区域的人工扰动料颗粒较粗，一般为4 cm以上，缺失细颗粒粒径组。

3 采砂扰动砂砾料筑坝质量控制

根据前坪水库料场砂砾料的级配特点，筑坝质量控制重点从坝料质量控制和碾压质量控制两方面进行。在料场开采环节，采用合适的开采工艺，严格控制级配指标。在上坝碾压环节，对摊铺工艺和碾压施工工艺及碾压参数进行控制，并依照规范对碾压层进行干密度检测，对压实效果进行评估。

3.1 坝料质量控制 对于上坝砂砾料，按图2所示的级配包线进行控制，保证上坝砂砾料级配在图2所示的级配包线范围之内。在开采坝料时，首先要确保开采区域在勘察单位提供的料场复核及开采区域内^[3-5]。对于各开采区域，在开采施工前进行料场级配复核，确定开采区域内天然级配料及人工扰动料的部位，做好现场开采规划。开采过程中现场质量控制人员加强对料场的动态控制，开采时首先使用推土机及挖掘机清除料场表层的杂物，再按照料场规划要求统一堆放在规定的位置，并注意开采区域泥土夹层的清理^[6-8]。

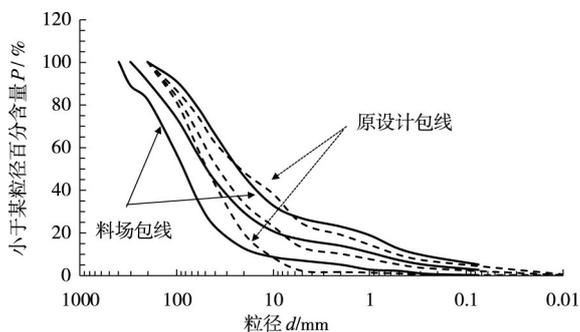


图2 原设计级配包线与料场

天然级配料的开采采用立面混合方式，以利于各料层掺混，使开采料能达到较合理的级配^[8-9]。人工扰动料采用平铺立采或混合开采的方式，以保证不同粒组含量比例合理。开采过程中部分扰动料含砂量过少，采用粗、细砂砾料混合装车，现场卸料过后再进行混掺，以保证砂砾料级配合理。对于超径颗粒或砂砾料大粒径过于集中问题，在装运过程中利用挖掘机进行排除或调整处理。

总的来说，在料场的开采过程中，经过现场质量控制人员的全过程监控，砂砾料开采质量基本

表1 不同含砾量砂砾料筑坝质量控制干密度

(单位: g/cm^3)

级配线	上包线	复核	上平均线	平均线	下平均线	下包线
P_3 含量/%	75.5	78.0	80.0	83.3	88.2	93.1
质量控制干密度	2.242	2.298	2.311	2.299	2.250	2.196

能满足设计级配要求,对于不符合设计要求的砂砾料,及时采取了处理措施。

3.2 压实质量控制 压实质量控制主要包含施工工艺及碾压参数控制和压实检测结果控制两个环节^[10]。施工工艺和碾压参数控制以现场碾压试验得到的碾压参数及建议的碾压工艺为依据,压实检测控制则以设计填筑标准为依据。在正式上坝碾压之前,首先对计划上坝砂砾料进行现场碾压试验和相对密度试验。通过现场碾压试验确定的碾压施工参数为:铺料厚度为80 cm,并按照体积控制洒水

10%饱和,用26 t自行式振动碾,开强震档,控制行车速度在3 km/h以内。通过相对密度试验确定相应料场级配包线范围内不同含砾量级配对应的最大、最小干密度,并进一步确定设计填筑标准对应的施工质量控制干密度。为了能更好的反映施工现场实际情况,在现场采用大型密度桶法确定了砂砾料的最大、最小干密度,据此给出了设计压实标准相对密度为0.8(原设计压实标准相对密度为0.75)时的施工质量控制干密度,见表1和图3所示。

(1)碾压施工工艺及碾压参数控制。碾压施工工艺和碾压参数控制主要涉及两个方面的内容,一是在卸料和摊铺过程中发生粗、细分离时采取处理措施,避免由于粗、细分离而造成碾压不合格的情况出现。二是确保碾压参数能够完全落实,包括铺料厚度、振动碾吨位、行驶速度、振动强度,碾压遍数和搭接宽度等。现场碾压试验表明,砂砾料压实效果受含水状态影响很大,洒水与不洒水相比,洒水对保证压实效果的作用非常明显。因此,在砂砾料碾压施工中,按照施工碾压工艺建议的10%的体积含水率进行充分洒水,保证洒水量和洒水的均匀性十分重要。

大坝施工碾压过程的控制,是整个大坝建设管理的难题。采用常规的大坝碾压施工现场管理模式,很难保证大坝施工严格按照推荐的碾压参数和碾压工艺进行,容易发生错碾、漏碾等问题,相应的难以保证大坝填筑质量^[11-14]。随着高精度卫星定位技术、物联网、云计算及大数据技术的发展,结合土石坝结构设计和填筑施工组织设计特点,采用智能化监控系统进行大坝填筑施工管理,确保严格按照推荐的碾压参数和碾压工艺进行大坝填筑碾压施工,对保证大坝填筑质量十分关键^[15-17]。在施工过程中,通过实时监控系统,将碾压机械的施工坐标点、碾压轨迹、碾压遍数、碾压速度、碾压振动频率、铺料厚度以及坝料实时压实特征,传输到计算机终端以图形的方式展示给工程建设管理人员,为大坝填筑施工管理、施工质量控制以及施工现场的动态调度提供了重要的技术手段。

(2)压实质量检测及评估。坝面碾压之后,对碾压层进行试坑开挖,采用灌水法检测碾压层干密度。由于直接测得的指标是开挖砂砾料的质量、灌水的体积以及砂砾料的含水率,干密度是间接换算得到的参数,其准确性受直接测试指标的影响,尤其是灌水测量体积时最容易引入试验误差。现场干密度检测采用的钢环直径为150 m、高度为20 cm。试坑开挖点选择相对平整的区域,检测过程中保证钢环固定。试坑开挖直径不小于设计级配最大粒径的3~5倍,开挖深度与碾压层厚度相当。前坪水库设计级配最大粒径为200~400 mm,试坑开挖直径不能小于1.2 m,开挖深度约为70 cm。试坑坑底及坑壁浮土可能导致测量的试坑体积小于实际值,因此注意坑壁和坑底浮土的清理和压实平整。灌水采用的塑料薄膜有较好的柔韧度,以保证塑料薄膜在水压力作用下与钢环内壁和试坑壁贴合紧密,较准确的测得试坑体积。

将某碾压层试坑开挖检测干密度与相应级配含砾量点绘于图3,可得图4设计压实干密度与试坑

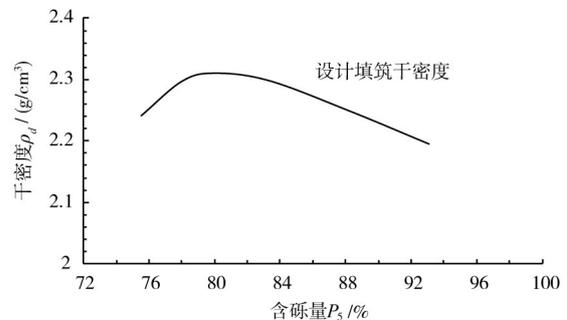


图3 筑坝质量控制干密度与含砾量关系

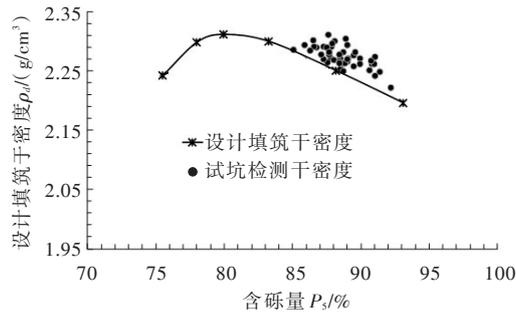


图4 填筑质量检测结果

检测干密度相对位置关系。由图4可见，试坑开挖检测干密度均在设计填筑干密度质量控制线以上。说明在建议的碾压施工工艺和施工参数下，碾压干密度能满足填筑质量控制的要求。大坝原设计压实标准相对密度为0.75，且采用室内试验确定的最优级配下的最大干密度为2.20 g/cm³。在新的料场条件下，为了更好地控制填筑质量，将设计压实标准提高到0.80，且采用现场大型相对密度试验，得到最优级配下最大干密度为2.398 g/cm³，显著大于室内试验值。现场碾压试验表明，采用合适的碾压参数，能够经济高效的达到设计压实标准相对密度0.80的要求。大坝沉降监测资料表明，大坝施工期最大沉降量为47 cm，约为坝高的0.5%，与设防烈度为7度及以下的同等规模黏土心墙砂砾石坝相比，前坪水库大坝沉降控制效果较理想，说明大坝填筑质量较好。

4 结语

前坪水库筑坝砂砾料为采砂扰动料，级配变化范围大，甚至有细料缺失。针对采砂扰动砂砾料的特点，质量控制工作强调料场级配复核，并在开采时采用合适的开采方式，使坝料级配满足要求。填筑碾压施工时，采用智能化监控系统进行大坝填筑施工管理，可以实现对大坝填筑施工过程中铺料厚度、碾压轨迹、碾压遍数、碾压速度、碾压振动频率以及坝料实时压实特征的动态实时监控，保证大坝碾压施工质量。干密度检测结果表明，在严格控制坝料质量，且碾压施工工艺和碾压参数落实到位的情况下，碾压效果能够满足设计压实标准的要求。

大坝填筑压实质量良好，与在现场采用实际上坝料确定其最大、最小干密度有直接关系，也与筑坝填筑时良好的质量控制密切相关。在设计填筑相对密度指标下，推荐采用现场大型相对密度桶法代替室内试验方法，确定可反映施工现场实际的砂砾料质量控制干密度，对保障大坝压实质量十分关键。采取合适的开采工艺，控制上坝料质量，并通过不同铺厚、不同碾压遍数及不同含水状态的现场碾压试验组合，推荐合理的碾压施工参数和施工工艺很有必要。采用智能化监控系统进行大坝填筑施工管理，严格按照推荐的碾压参数和碾压工艺进行大坝填筑碾压施工，是施工环节保证大坝填筑质量的重要技术手段，对土石坝填筑质量控制具有普遍意义。

参 考 文 献：

- [1] 崔武文. 工程建设监理[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2009.
- [2] 中华人民共和国水利部. 水利工程施工监理规范(SL 288-2014)[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [3] 周春意. 白云水电站混凝土面板堆石坝的施工监理[J]. 人民长江, 1996, 27(5): 33-35.
- [4] 张启勇, 张晓亮. 浅谈监理在混凝土面板堆石坝填筑施工中的主要工作[J]. 水利建设与管理, 2010(12): 53-54.
- [5] 陈圣平. 天生桥一级水电站堆石坝坝体填筑质量监理[J]. 红水河, 1997, 16(4): 62-64.
- [6] 聂相田, 戎建国, 王博. 水利工程施工监理平行检测研究[J]. 人民黄河, 2009, 31(10): 111-113.
- [7] 陈立博, 谭峰屹, 胡哲猛, 等. 新疆阿尔塔什水利枢纽面板堆石坝砂砾石料填筑施工工艺研究[J]. 水利水

- 电快报, 2019, 40(3): 34-38.
- [8] 谭峰屹, 陈立博, 胡林, 等. 阿尔塔什水利枢纽工程围堰砂砾料填筑施工工艺研究[J]. 施工技术, 2017, 46(S2): 110-113.
- [9] 李乾刚, 石永刚, 孙晓晓. 阿尔塔什大坝填筑砂砾石料高强度开采施工技术[J]. 四川水利, 2019, 40(4): 111-114.
- [10] 王宗强. 浅谈砂砾料填筑施工与压实质量控制[J]. 吉林水利, 2014(8): 57-59.
- [11] 刘谊. 浅议大寨田水库砂砾料填筑压实标准及质量控制[J]. 内蒙古水利, 2011(4): 135-136.
- [12] 李震. 堤防工程施工砂砾料质量控制分析[J]. 今日科苑, 2009(2): 159.
- [13] 张辉, 张力, 黄元. 尼尔基主坝砂砾料填筑与质量控制[J]. 黑龙江水利科技, 2006(5): 31.
- [14] 孙建华, 朱永涛, 徐阳. 滦河防洪工程砂砾料填筑施工质量控制[J]. 南水北调与水利科技, 2003(5): 42-43.
- [15] 陈祖煜, 赵宇飞, 邹斌, 等. 大坝填筑碾压施工无人驾驶技术的研究与应用[J]. 水利水电技术, 2019, 50(8): 1-7.
- [16] 贾金生, 赵春, 缪伦, 等. 胶凝砂砾石坝施工质量监控系统开发及应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2018, 16(1): 1-8.
- [16] 李康达, 杨玉生, 柳莹, 等. 采砂改变级配砂砾料筑坝压实特性及碾压施工参数研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2020, 18(5): 401-407.

Discussion on quality control of sand and gravel dam construction with sand mining disturbance

YANG Qingjie¹, DUAN Yuanyuan², LI Luming³, ZHANG Zhaosheng⁴, HUANGFU Zehua⁴

(1. Henan Keguang Project Construction Supervision Co.Ltd., Zhengzhou 450003, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. Henan Provincial Water Conservancy Research Institute, Zhengzhou 450003, China;

4. Henan Qianping Reservoir Construction Management Bureau, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Due to the disturbance of artificial sand mining, the gravel grading of Qianping reservoir planning gravel yard is discrete, and the original design envelope, mining conditions, dam filling control standards and rolling construction parameters have changed. How to carry out the quality control of dam construction against the disturbed sand gravel material by artificial sand mining is a problem worthy of discussion. According to the relevant specifications and design technical parameters, the quality control of dam construction with disturbed sand and gravel materials is discussed systematically from two aspects of dam material quality control and compaction quality control. It is recommended to use the field density barrel method to determine the maximum and minimum dry density of sand gravel material, and use the rolling test combination with different paving thickness, different rolling times and different water content state to determine the appropriate rolling construction parameters, and the real-time intelligent monitoring system is adopted to ensure the implementation of rolling technology and rolling parameters. The quality control measures and methods of Qianping reservoir dam construction can be used as reference for similar gravel dam construction projects.

Keywords: disturbed gravel; dam construction; quality control

(责任编辑: 祁 伟)