

青山水库土石坝反滤料碾压试验与分析

李中一

中铁二十一局集团第六工程有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i9.6576

[摘要] 反滤料是土石坝工程中的关键组成部分,其压实质量直接关系到坝体的渗透稳定性和结构安全。为确保青山水库大坝反滤料的填筑质量,本项目针对中粗砂及小砾石两种反滤料进行了系统的现场碾压试验。试验通过采用淘汰法,系统研究了铺料厚度、碾压遍数、加水量等关键施工参数对压实效果(干密度、相对密度)的影响规律。结果表明:中粗砂反滤料的最佳参数组合为铺厚50cm,加水量12%,采用22t振动碾静压2遍、振压12遍;小砾石反滤料的最佳参数组合为铺厚56cm(压实后51cm),加水量10%,采用25t振动碾静压2遍、振压10遍。试验成果为大坝反滤料的标准化的、精细化施工提供了科学依据,对保障类似工程的施工质量具有重要的参考价值。

[关键词] 土石坝;反滤料;碾压试验;干密度;施工参数

中图分类号: TV641 **文献标识码:** A

Rolling Compaction Test and Analysis of Filter Material for the Earth-Rock Dam of Qingshan Reservoir

Zhongyi Li

China Railway 21st Bureau Group Sixth Engineering Co.,LTD.

[Abstract] Filter material is a critical component in earth-rock dam engineering, whose compaction quality directly affects the seepage stability and structural safety of the dam. To ensure the filling quality of the filter material for the Qingshan Reservoir dam, systematic field rolling compaction tests were conducted on two types of filter materials: medium-coarse sand and small gravel. Using the elimination method, the tests systematically investigated the influence of key construction parameters such as paving thickness, number of rolling passes, and water content on the compaction effects (dry density, relative density). The results showed that the optimal parameter combination for medium-coarse sand filter material was a paving thickness of 50 cm, water content of 12%, and rolling with a 22t vibratory roller using 2 static passes followed by 12 vibratory passes. For small gravel filter material, the optimal parameter combination was a paving thickness of 56 cm (compacted thickness of 51 cm), water content of 10%, and rolling with a 25t vibratory roller using 2 static passes followed by 10 vibratory passes. The test outcomes provide a scientific basis for the standardized and refined construction of dam filter materials and offer valuable reference for ensuring the construction quality of similar projects.

[Key words] earth-rock dam; filter material; rolling compaction test; dry density; construction parameters

1 引言

1.1 研究背景

青山水库工程是河北省一项重大的水利基础设施,具有防洪、供水等综合效益。其大坝为土石坝与混凝土重力坝相结合的混合坝型,其中土石坝段坝线长、工程量大,对反滤料的填筑质量要求极高。本工程反滤料主要包括中粗砂和粒径较小的小砾石两种。为确保这座高标准大坝的百年大计,杜绝因反滤料施工质量带来的安全隐患,必须采用科学的方法对其碾压施工参数进行优化和验证。

1.2 研究目的与意义

本研究旨在通过系统的现场碾压试验,实现以下目的:

(1) 确定最优施工参数:针对青山水库工程所用的中粗砂及小砾石两种反滤料,通过“淘汰法”试验,系统研究不同铺料厚度、碾压遍数、加水量等关键参数对其压实度(以干密度和相对密度表征)的影响规律,最终确定能达到设计要求的、经济高效的最优施工参数组合。(2) 验证施工可行性:检验所选用的碾压机械设备(25t振动碾)在实际工况下的压实效果和工作效率,评估既定参数下施工的可行性与可控性。(3) 建立施工质量控制标

准：为后续大规模反滤料填筑施工提供权威、详实的作业指导依据和验收参照标准,实现施工过程的标准化和精细化管控。

2 工程概况与试验材料

2.1 工程概况

青山水库位于河北省邢台市信都区,坝址坐落在子牙河流域白马河干流上。水库总库容1.29亿 m^3 ,土石坝段坝顶长1975m,最大坝高45.0m。

2.2 试验材料

试验针对两种反滤料：中粗砂：料源取自库区天然河床砂砾料,经加工配制而成。设计要求含泥量(粒径 $<0.075mm$) $\leq 5\%$,压实后渗透系数 $k>1\times 10^{-3}cm/s$,级配需满足连续要求。小砾石：兼作反滤料与排水体料,同样源于库区河床料,经清洗加工。含泥量 $<5\%$,压实后渗透系数 $k>1\times 10^{-2}cm/s$,级配需满足严格控制的最大粒径(31.5mm)及各筛孔通过率要求。两种料源均质地坚硬,抗水性和抗风化能力强。

3 试验方案与方法

3.1 试验设备与人员

试验主要设备包括：22t自行式振动压路机(激振力 $>400kN$)、挖掘机、装载机、自卸汽车、推土机、洒水车等。检测仪器主要包括：水准仪、GPS、灌砂法设备(用于中粗砂)、挖坑灌水法设备(用于小砾石)、电子天平等。试验由项目部及专业试验人员共同完成,确保过程规范、数据可靠。

3.2 试验场地布置

试验场地经平整、压实处理,基础沉降量小于 $1mm/遍$,平整度小于 $10mm$ 。每个试验区面积为 $6m\times 10m$,两侧预留 $2m$,两端预留 $6m$ 作为非工作区。采用白灰精确划分试验单元,并按 $1.5m\times 1.5m$ 网格布设沉降测点。

3.3 试验方法

采用“淘汰法”进行参数组合试验,反滤料碾压试验机械组合见下表1。固定其他参数,依次变动铺厚、碾压遍数、加水量,逐步缩小范围,寻找最优解。

表1 反滤料碾压试验机械组合

碾压机械	分区	碾压参数组合		点数	碾压方式
		铺料厚度(cm)	振动碾压遍数		
25t自行式 振动平碾	单元1	50	静2振8	6	进退错距法
	单元2	50	静2振10	6	
	单元3	50	静2振12	6	
	单元4	80	静2振8	6	
	单元5	80	静2振10	6	
	单元6	80	静2振12	6	
	单元7	100	静2振8	6	
	单元8	100	静2振10	6	
	单元9	100	静2振12	6	

说明：振动碾一去一回为两遍

铺料与整平：自卸汽车运料,采用后退法或进占法卸料,反铲挖掘机配合推土机铺料。用水准仪严格控制铺料厚度与平整

度。加水：采用运输途中与坝面相结合的方式洒水。加水量按填筑方量的体积百分比进行计量和控制。碾压：振动碾在场外启动至工况稳定后,按“进退错距法”沿坝轴线方向进行碾压,行驶速度控制在 $2km/h$ 以内。

检测：(1)中粗砂：采用挖坑灌砂法检测压实后的干密度和孔隙率。(2)小砾石：采用挖坑灌水法检测压实后的干密度,并计算相对密度。试坑直径 $1.0m$,深度为碾压层厚。

4 试验成果与分析

4.1 中粗砂反滤料碾压试验成果

通过系统试验,得到了不同铺厚(50cm, 80cm, 100cm)下,干密度随碾压遍数(静2振N遍)的变化关系曲线,见下图1、2、3。

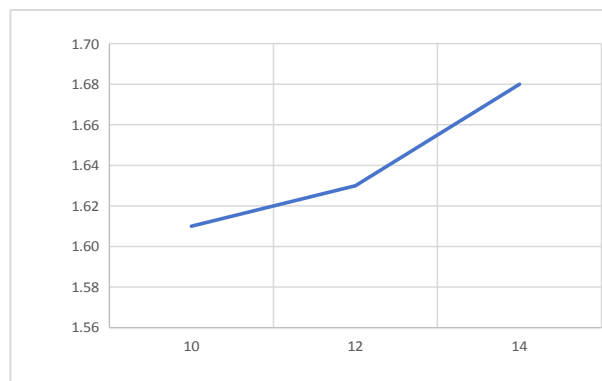


图1 铺砂厚度50cm厚碾压遍数与干密度关系

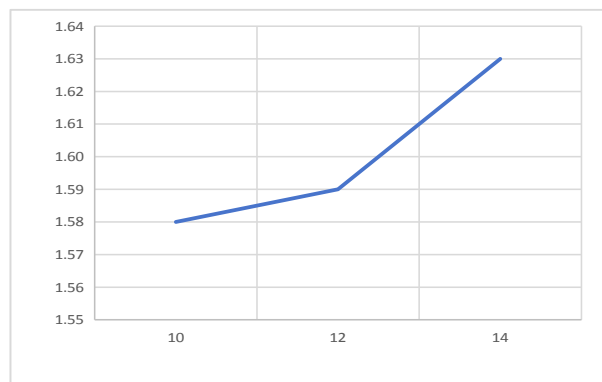


图2 铺砂厚度80cm厚碾压遍数与干密度关系

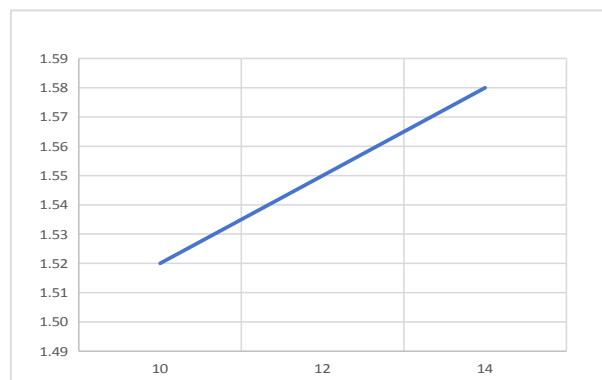


图3 铺砂厚度100cm厚碾压遍数与干密度关系

分析曲线及检测数据可知:

随着碾压遍数的增加,干密度呈现先快速增加后逐渐趋于稳定的变化规律。当铺层厚度过大时(如80cm、100cm),即使增加碾压遍数,也难以达到设计要求的压实度。最优参数:最终确定中粗砂反滤料的最佳施工参数为:铺料厚度50cm,加水量12%,采用25t振动碾,以静压2遍+振压12遍的组合进行碾压,行车速度不大于2km/h。此参数下,干密度最高,压实效果最优。

4.2 小砾石反滤料碾压试验成果

试验测试了不同加水量(5%, 10%, 15%)和不同碾压遍数(静2振8、10、12、16、20、26遍)下的压实效果。

加水量影响:在相同碾压遍数下,加水量为10%时,所得干密度值最大。加水量与干密度关系曲线见下图4。

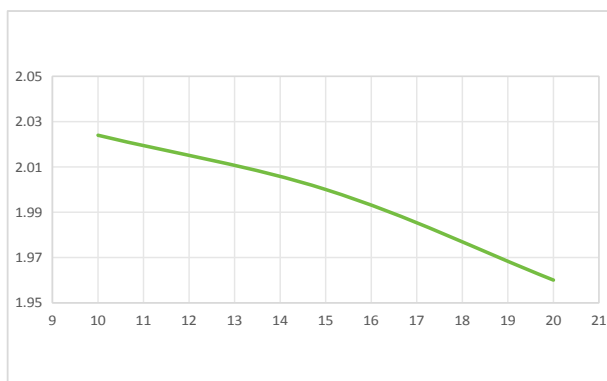


图4 加水量与干密度关系曲线

可以得出:水量过少则润滑不足,难以充分压实;水量过多则孔隙水压力会抵消部分压实功,并可能引起材料迁移,导致密度降低。

碾压遍数影响:干密度随碾压遍数增加而增大,碾压遍数与干密度关系曲线见下图5。

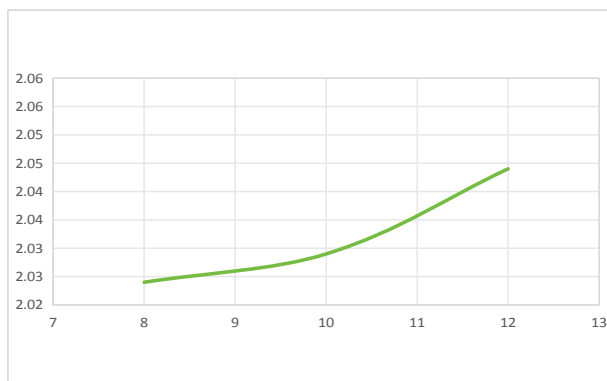


图5 碾压遍数与干密度关系曲线

但在静2振10遍以后,继续增加遍数(至16、20、26遍),干密度增长微乎其微。

可以得出:表明压实功已达到边际效应极限,静2振10遍为经济有效的选择。铺厚与压实厚度:试验确定铺松厚度为56cm时,经碾压后压实厚度为51cm,压实效果良好。相对密度验证:

根据送检资料,小砾石最小干密度为 $1.46\text{g}/\text{cm}^3$,最大干密度为 $2.11\text{g}/\text{cm}^3$ 。现场碾压试验达到的干密度计算其相对密度均满足设计不低于0.75的要求。最优参数:小砾石反滤料的最佳施工参数为:铺料厚度56cm,加水量10%,采用25t振动碾,以静压2遍+振压10遍的组合进行碾压。

5 结论与建议

5.1 研究结论

通过对青山水库土石坝反滤料的现场碾压试验,得出以下结论与建议:

现场碾压试验是确定反滤料乃至所有坝料施工碾压参数的必不可少环节,能有效找到经济、可靠的最优参数组合。

中粗砂与小砾石因其颗粒特性差异,其最优施工参数不同,施工中必须分类、分参数进行严格控制。中粗砂需更注重加水量控制,而小砾石对碾压遍数的响应更为敏感。

青山水库反滤料推荐施工参数:中粗砂:22t振动碾,铺厚50cm,加水量12%,静2振12遍,速度 $\leq 2\text{km}/\text{h}$ 。小砾石:25t振动碾,铺厚56cm,加水量10%,静2振10遍,速度 $\leq 2\text{km}/\text{h}$ 。

5.2 建议

建议在大规模施工中,严格进行过程控制,特别是装车、运输、铺料过程中的级配复核与分离防治,以及加水量的精准控制,确保施工质量均匀稳定,满足设计指标。

本试验成果成功解决了青山水库反滤料填筑施工的技术难题,为工程高质量建设提供了坚实保障,其方法及结论对类似水利工程具有重要的借鉴意义。

参考文献

- [1]刘杰.土石坝渗流控制理论基础及工程经验教训[J].水利学报,2006,37(5):633-641.
- [2]Lambe T W,Whitman R V.Soil mechanics[M].John Wiley & Sons,1991.
- [3]中华人民共和国国家发展和改革委员会.DL/T 5129-2013 碾压式土石坝施工规范[S].北京:中国电力出版社,2013.
- [4]中华人民共和国水利部.SL 274-2020 碾压式土石坝设计规范[S].北京:中国水利水电出版社,2020.
- [5]顾淦臣.土石坝工程经验与创新[M].北京:中国水利水电出版社,2011.
- [6]中华人民共和国水利部.GB/T 50123-2019 土工试验方法标准[S].北京:中国计划出版社,2019.
- [7]Fell R,MacGregor P,Stapledon D,et al.Geotechnical engineering of dams[M].CRC Press,2014.
- [8]邢台市青山水库工程建设指挥部.青山技总第1号:邢台市青山水库工程土石坝坝料开采、加工及碾压专项施工试验技术要求[Z].2024.

作者简介:

李中一(1994--),男,汉族,山西吕梁人,硕士研究生,工程师,研究方向:水利土木。