

白杨镇水库混凝土面板坝坝料碾压试验研究

杨建明¹, 刘录录², 杨海华³

(1. 塔城地区白杨河引水工程建设管理局, 新疆 塔城 834700; 2. 新疆水利水电勘测设计研究院地质勘察研究所, 乌鲁木齐 830091; 3. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

摘 要: 为了得到准确的坝料碾压指标, 本文对白杨镇水库坝料进行了室内的不同含砾率下的相对密度试验和现场碾压试验。室内试验得到了坝料的标准曲线, 并通过现场碾压试验对曲线进行修正, 使给出的标准曲线能准确的控制坝体填筑的质量; 并结合现场碾压试验给出了合理的坝料填筑的碾压参数, 为面板堆石坝填筑过程中的质量控制提供可靠依据。

关键词: 碾压试验; 碾压参数; 标准曲线; 干密度

中图分类号: TV641.43

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)04-0237-04

Study on compaction test of dam material covered with concrete faceplate in Baiyangzhen reservoir

YANG Jianming¹, LIU Lulu², YANG Haihua³

(1. Baiyang River Water Diversion Project Construction Authority of Tacheng Area, Tacheng 834700, China;

2. Geological Survey Institute, Xinjiang Institute of Water Conservancy and Hydropower Survey and Design, Urumqi 830091, China;

3. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to get accurate dam material rolling indicator, the paper conducted the indoor relative density and in-situ roller compaction test to Baiyangzhen reservoir dam material under different gravel content. The indoor test obtained the standard curve of dam material, and correct the curve through the field rolling test, so the standard curve can accurately control the quality of dam filling; combined with the field compaction test, it gave the reasonable rolling parameters of dam filling. The result can provide reliable basis for the quality control in construction of concrete face rockfill dam.

Key words: compaction test; roller compaction parameter; standard curve; dry density

混凝土面板砂砾石坝因具有安全、经济、适应性强、施工方便等优点, 受到国内外坝工界的普遍重视, 并被越来越多的用于高坝大库。在砂砾石筑坝材料工程特性的研究中发现, 由于室内试验的填筑方法与现场施工完全迥异, 同时受试验用料缩尺效应的影响, 使得室内试验测定的参数指标不能全面、真实地反应砂砾石料在大坝填筑碾压状态下的相似特性^[1-4]。因此, 大多数面板砂砾石坝工程在进行筑坝材料室内试验后, 在填筑施工前均需要进行筑坝材料的现场碾压试验, 以便得到更加准确、合理的碾压参数^[5-7]。本文针对白杨镇水库筑坝砂砾石料偏细的情况, 为确定坝料的压实特性, 采用现场辅助碾压试验后的标准曲线来修正室内试验的标准曲线(在不同控制标准下(0.80、0.85、0.90)的干密度与含砾率(P_s)关系曲线, 称之为标准曲线), 修正后

的曲线作为现场筑坝过程中的填筑标准。试验通过对不同铺料厚度、不同碾压遍数下坝料的颗粒级配、表层沉降量、压实干密度、渗透系数等指标的综合分析, 最终确定坝体填筑料的碾压参数。

1 试验材料

试验用料位于坝址以东2 km处, 为天然戈壁石料。根据地质资料给出的10组颗粒级配曲线显示, 料场级配变化不大, 室内试验可考虑采用平均线进行试验。现场试验前对料场级配进行了复测, 从10组复测的级配曲线得出, 砂砾石料的最大粒径为800 mm, 混合料含泥量为2%~5%之间, 小于设计值8%的要求, 细料含量为40%左右, 料场细料含量偏多, 但级配相对稳定。根据设计要求, 坝壳料的碾压试验用料的控制粒径为800 mm, 可全级配上料,

过渡料碾压试验用料的控制粒径为 400 mm,超径颗粒在取料时用避超筛进行剔除。

2 试验设计

2.1 室内相对密度试验

为得到较可靠的关系曲线,以坝料级配曲线的上、下包线含砾率作为边界,选择砾石含量为 40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80% 进行人工配料,每组级配料用量 100kg,进行粗粒料的相对密度试验,均进行平行试验,以保证试验结果的可靠性。测定最小干密度时,试验采用固定体积法,按《土工试验规程》SL237-054-1999 方法进行^[8];最大干密度试验采用振动击实法,以模拟堆石坝现场施工振动碾振动压实过程。试验采用粗粒料相对密度仪,试桶尺寸为 $\phi 300\text{ mm} \times 360\text{ mm}$,试样顶部静载 14 kPa,振动频率为 20Hz,振动历时不少于 8 min。根据试验结果绘制最大、最小干密度与不同砾石含量的关系曲线,按照设计要求推算出相对密度为 0.85 及 0.90 时对应的干密度曲线。

2.2 现场碾压试验

考虑到白杨河地区冬季气温较低,采用洒水碾压容易造成冬季施工过程中出现冰冻情况;并且坝料的细料含量较高,易出现洒水后陷车、翻浆等情况,所以现场碾压试验采用不洒水干碾。现场试验场地布置由辅助碾压试验场地和正式碾压试验场地两部分组成。辅助碾压试验场地按照设计要求坝壳料铺土厚度为 80 cm,共有两个碾压单元。正式碾压试验场地按照碾压试验设计中 3 种铺土厚度(80、100、120 cm)、4 种碾压遍数(6、8、10、12 遍)进行 12 种分区组合,共分 12 个碾压单元,每个单元尺寸为 10 m $\times$ 15 m,周边填 2 m 宽约束料,碾压试验前对地基进行平整夯实,平整后采用 25 t 自行式振动碾进行压实。

在试验中配有液压反铲挖掘机、装载机、推土机、洒水车以及自行振动碾各一台,自卸汽车两辆。振动碾选用:“洛阳”动碾,一拖(洛阳)建筑机械有限公司生产,型号为 LSS2502,工作性能参数见表 1。

2.3 标准曲线的推求

坝料填筑的压实标准通常以相对密度控制,施工前先通过试验确定填筑料的最大和最小干密度,是控制施工质量的重要依据。室内相对密度试验受试验仪器尺寸的限制,不能采用料场原级配进行试验,往往采用《土工试验规程》(SL237-1999)中提出的剔除法、等量代替法、相似级配法、混合法等方法进行试

料的替代,但同时也指出这几种方法都有一定的局限性,无法精确地反映原级配料的 最大、最小干密度。在工程实践中也证明这些方法确有不足之处,经常会出现相对密度大于 1 或反复碾压也达不到压实标准,难以满足工程实际的需要。所以本次试验提出了标准曲线的概念,把标准曲线作为碾压试验的控制指标和施工中压实度检测工作的依据。

表 1 碾压设备机械参数表 t, Hz, kN, mm, km/h, m						
设备型号	工作质量	振动频率	激振力	名义振幅	行驶速度	碾宽
LSS2502	25	38/28	400/300	2.0/1.0	I 2、II 4 III 10.5	2.2

标准曲线推求试验先在室内对坝料进行超径剔除,测定不同含砾率下最大、最小干密度,绘制最大、最小干密度标准曲线;然后在料场进行现场辅助碾压试验。按照设计要求,坝壳料铺土厚度为 80 cm,进行现场振动碾压,当沉降量几乎为零时,认为此时坝壳料碾压达到最大压实度^[9],通过试验得出此时的最大干密度和颗粒级配情况,计算小于 5 mm 颗粒及大于 60 mm 颗粒含量,对室内标准曲线进行修正,最终得到坝体填筑料的最大和最小干密度曲线,即现场标准曲线,以此作为坝料现场碾压试验的控制标准,此次试验得出的现场标准曲线见图 1。

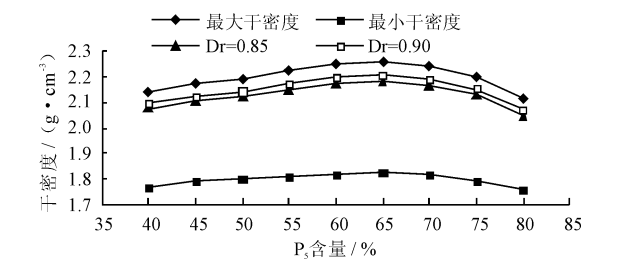


图 1 坝壳料标准曲线

2.4 碾压试验

(1)测量放线:在碾压好的场地上,用白灰线按布置要求布设试验分区并在场外设置分区控制边桩及技术要求标牌。结合边桩,在各测点上用石灰标记,也可用全站仪实测各测点的坐标位置,并进行水准测量,获得高程基准。

(2)铺料整平:采用自卸汽车运料至试验场地规定点卸料,对砂砾石坝料采用后退法铺料(即汽车在碾压完毕的作业面上行走),以避免砂砾石坝料分离。按计划要求的铺料厚度用推土机摊铺整平,并用带有刻度的尺杆控制铺料厚度,厚度误差控制在 $\pm 5\text{ cm}$ 范围以内。

(3)碾压:经过现场试验检测与观察,25 t 自行式振动碾,达到较好生产效率时,振动频率为 28/38 Hz,行走速度为 2.0 ~ 2.4 km/h。碾压时先静碾 1 遍,后动碾 6、8、10 或 12 遍,按前进、后退全振不错位法法进行碾压作业,即振动碾滚筒宽度在同一条碾压带上进退碾压。两条碾压条带之间的搭接宽度为 10 ~ 20 cm,往返一个来回为碾压两遍。

(4)碾压后质量检测试验:碾压试验中主要进行了碾压后表层沉降、土料颗粒级配、压实干密度和渗透系数分析 4 方面的试验工作。测量表层沉降用全站仪对测量记录的各测点对应放线,用白色石灰标记各测点,然后实测并记录碾压前后各测点的高程。土料级配检测应在坝料铺填面上选定测试点,并用石灰做好圆圈标记,在圈内挖坑取样,坑深应与铺土厚度相同,对取出的坝料进行颗分试验,纪录碾压前的级配,然后在试坑内铺设塑模,并将各粒组坝料均匀混掺后回填到试坑内,待碾压完后,取出塑模范围内的坝料再次进行级配检测^[10]。密度试验采取试坑灌砂法(标准砂粒径:0.25 ~ 0.5 mm),先标定砂子的密度,做平行试验,取平均值;试坑的大小依据料的最大粒径按规范要求确定,其深度穿透整个铺土层;颗粒分析采用筛分法,该项试验与干密度测试同时进行。原位渗透试验在碾压作业面上选取测试点,采用单环法进行渗透系数的检测,试坑深度与环高相等,记录单位时间内的渗水量。

3 结果和分析

3.1 表层沉降

在辅助碾压试验时做了第一次表层沉降测量工作,测量结果见图 2。

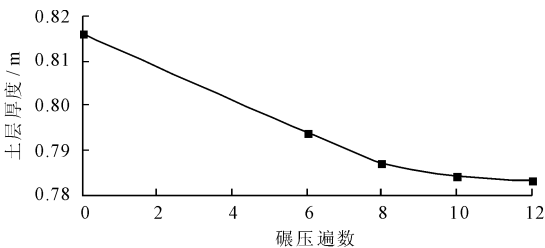


图 2 土层厚度 - 碾压遍数关系曲线

从沉降变化曲线看出,铺土厚度为 0.816 m 时,碾压 0 ~ 8 遍时沉降变形较大,8 ~ 12 遍以后趋于平缓,沉降变形基本稳定。在正式碾压试验中通过测量不同铺料厚度的表层沉降变化与辅助碾压试验的变化趋势一致,在碾压 0 ~ 8 遍时,其沉降量与碾压遍数呈线性关系,说明随着碾压作用,土层被快速压

密实;当碾压遍数在 8 ~ 12 遍时,沉降量与碾压遍数曲线逐渐变缓,沉降量变化越来越小,说明随着碾压遍数的增加,压实后的土层很难被进一步压实。所以从土层碾压过程的沉降量变化可知最佳碾压遍数应在 8 遍左右,这样可以保证土层被压密实而不发生机械费用浪费。

3.2 碾压前后级配检验

图 3 为坝料颗粒级配试验结果,图中分别画出了坝料碾压前的平均级配曲线和碾压 10 遍后取样筛分得到的平均级配曲线。从图中可以看出,碾压前后坝料的颗粒级配曲线变化不大,反而碾压后的曲线更加光滑。说明坝料经碾压后,其中少部分易碎颗粒受碾压激振力的作用发生了破碎,填充到大颗粒骨架形成的孔隙中;碾压后坝料的不均匀系数变化不大,曲率系数由 0.6 变为 0.9,所以碾压后坝料的级配要优于碾压前,因此可以断定,坝料在碾压施工过程中虽发生轻微破碎,但不影响坝料填筑指标,反而有利于密实度的提高。

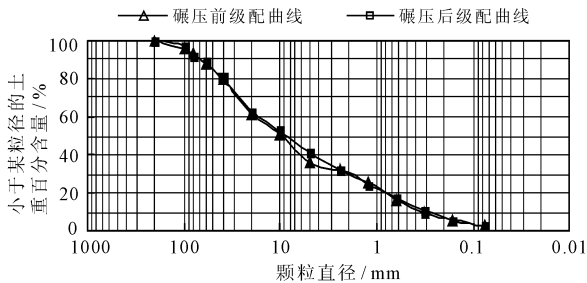


图 3 现场碾压前后颗粒级配变化曲线

3.3 干密度试验

碾压试验场地各单元测点干密度试验结果汇总见表 2。可以看出铺土厚度为 80 和 100 cm 土层经过碾压均可以达到较好的密实度,说明铺土厚度在小于 100 cm 时能很好的结合碾压设备使土层压密实;而土层铺土厚度在 120 cm 时,底层个别试验点密度偏小,在试验时发现土层表层比较密实,但下部较疏松,主要原因是铺土厚度较大,振动碾的激振力传递不到底层,致使坝料密实度较低。所以在施工过程中坝料的铺土厚度应不大于 100 cm,使碾压后土层能得到较大的密实度。现场碾压试验的坝料碾压后干密度与所给出的标准曲线基本一致,说明标准曲线与实际情况相符,可用于施工过程中,作为坝料填筑的质量控制标准。

3.4 原位渗透试验

在碾压试验场地各单元上均进行了原位渗透试验,其结果见表 3。从表中看到不同碾压参数下坝

料的渗透系数均在 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 数量级,变化不大,渗透性能良好,满足设计要求的渗透系数大于 10^{-3} 。可以看出,虽然坝料的细料含量($d < 5\text{ mm}$)在 40% 左右,但填筑后坝料内部形成了有效的孔隙使水在自重作用下顺畅地排出,坝体内部不会产生渗透压力,保证了坝体的稳定性。

表 2 碾压试验场地各单元测点干密度试验结果汇总表

cm, %, g/cm³

铺土厚度	碾压遍数	指标	试验值			平均值
80	6	< 5 mm 含量	35.90	42.40		39.20
		ρ_{dmax}	2.17	2.19		2.18
	8	< 5 mm 含量	44.90	44.50		44.70
		ρ_{dmax}	2.20	2.17		2.190
	10	< 5 mm 含量	34.40	40.30		37.40
		ρ_{dmax}	2.23	2.28		2.26
100	6	< 5 mm 含量	45.10	35.70	43.40	41.40
		ρ_{dmax}	2.19	2.18	2.18	2.18
	8	< 5 mm 含量	41.3	39.00	40.10	39.30
		ρ_{dmax}	2.26	2.22	2.19	2.22
	10	< 5 mm 含量	36.40	41.70		39.10
		ρ_{dmax}	2.24	2.26		2.25
120	6	< 5 mm 含量	37.5	39.1		38.3
		ρ_{dmax}	2.15	2.17		2.16
	8	< 5 mm 含量	40.8	31.9		36.4
		ρ_{dmax}	2.07	2.23		2.15
	10	< 5 mm 含量	37.6	46.2		41.9
		ρ_{dmax}	2.28	2.15		2.22

表 3 碾压试验场地各单元测点渗透试验结果汇总表

s, mL, cm², cm/s

测点位置	时间	加水量	渗透面积	渗透系数
1 m 6 遍表层	1800	6100	531.98	6.37×10^{-3}
1 m 6 遍表层	600	10300	531.98	3.23×10^{-2}
1 m 8 遍表层	600	1445	531.98	4.53×10^{-3}
1 m 8 遍深层	600	3155	531.98	9.88×10^{-3}
1 m 10 遍表层	600	1725	531.98	5.40×10^{-3}
0.8 m 8 遍表层	600	1840	531.98	5.76×10^{-3}
0.8 m 8 遍表层	420	12215	531.98	5.47×10^{-2}
0.8 m 6 遍表层	300	980	531.98	6.14×10^{-3}
0.8 m 6 遍表层	300	9315	531.98	5.84×10^{-2}
0.8 m 10 遍表层	420	665	531.98	2.98×10^{-3}
1.2 m 6 遍表层	300	930	531.98	5.83×10^{-3}
1.2 m 6 遍深层	300	2745	531.98	1.72×10^{-2}
1.2 m 8 遍表层	300	995	531.98	6.23×10^{-3}
1.2 m 8 遍深层	180	4400	531.98	4.59×10^{-2}
1.2 m 10 遍表层	300	890	531.98	5.58×10^{-3}
1.2 m 10 遍深层	300	2330	531.98	1.46×10^{-2}

通过以上试验结论可以得出,白杨镇水库坝料

填筑的较为合理的碾压参数为:铺土厚度 100 cm,碾压 8 遍。这样既可以满足坝体的填筑质量要求,而不出现过压现象致使机械使用的浪费。

4 结 语

通过对白杨河引水工程白杨镇水库混凝土面板坝筑坝坝料的碾压试验研究,首先对坝料碾压试验方法有了较大的改进,密度的控制并未按传统方式提出统一的筑坝质量控制指标,而是采用标准曲线法根据坝料含砾率(P_5 含量)的不同而采取不同的质量控制指标。该方法能更准确地判断筑坝过程的压实度,也可避免由于料场级配发生变化而引起的碾压密度难以控制的情况。标准曲线法的应用对本工程的质量控制有重要的指导意义,也对同类工程的填筑施工具有一定的参考价值。其次对碾压试验检测结果进行了分析,单层坝料碾压后沉降量约为 3 cm,并且坝料未发生明显的破碎情况,不影响坝料的填筑指标;坝料在不同碾压参数下的渗透系数均在 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 数量级,说明坝料在碾压后整体渗透性较好,满足设计要求;干密度试验中铺土厚度为 80 和 100 cm 土层碾压后的干密度均满足控制指标,坝料在偏细的情况下也可以达到密实。根据碾压试验结果,推荐碾压参数坝壳料铺土厚度为 100 cm,碾压 8 遍。

参考文献:

[1] 李体建. 面板堆石坝现场填筑碾压试验方法探讨[J]. 贵州水力发电,2002,16(4):83-84.

[2] 李 鹏. 宽级配大粒径粗粒土填筑标准的确定方法及应用[D]. 西安:西安理工大学,2006.

[3] 张 岩,燕 乔,许小东,等. 300m 级超高混凝土面板堆石坝若干问题探讨[J]. 人民黄河,2010,32(11):128-129+132.

[4] 燕 乔,吴晓铭,张 岩. 碾压压实度对高面板堆石坝应力变形的影响[J]. 水力发电,2010,36(5):34-37.

[5] 易钟谋. 大坝填筑及其碾压施工技术研究[J]. 水利技术监督,2012(5):34-37.

[6] 邹 武,陈建飞,曹雪廷,等. 张河湾电站上水库坝体垫层料碾压试验研究[J]. 土工基础,2012,26(5):108-111.

[7] 李 晨,梁艳萍. 当地材料筑坝碾压试验工艺及应当注意的几个问题[J]. 科技信息,2009(9):665+610.

[8] 南京水利科学研究院. SL237-1999 土工试验规程[S]. 北京:中国水利水电出版社,1999.

[9] 张 俊,李锁霖. 砂砾料干料填筑碾压试验[J]. 西部探矿工程,2001,13(z1):22-23.

[10] 彭汉军,唐懿. 吉林台一级水电站面板砂砾-堆石坝的碾压试验[J]. 水电站设计,2008,24(1):72-76.