

文章编号:1673-9469(2012)03-0037-04

## 三峡库区中咀坡大坝筑坝材料碾压试验

韩晨伟<sup>1</sup>,程祖锋<sup>1</sup>,杨柳<sup>2</sup>

(1. 河北工程大学 资源学院,河北 邯郸 056038; 2. 河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**后溪水电站中咀坡大坝为混凝土面板堆石坝,在填筑前进行了大型碾压试验。针对不同填筑区筑坝材料的铺料厚度、铺料方式、碾压遍数、碾压速度、加水量等施工参数进行碾压试验,在获得大量真实有效试验数据的基础上,运用数理统计和EXCEL图表分析法对试验数据进行了综合分析,据此确定合理的施工参数。通过对碾压试验资料的分析提出了合理的填筑施工参数及质量控制指标,并且该工程的碾压试验结果也可为同类工程建设参考。

**关键词:**三峡库区;混凝土面板堆石坝;大型碾压试验;筑坝材料

**中图分类号:**TV641.4+3

**文献标识码:**A

### The material compaction test of Tsui slope of the dam in the San - xia reservoir area

HAN Chen - wei<sup>1</sup>, CHENG Zu - feng<sup>1</sup>, YANG Liu<sup>2</sup>

(1. Resource of College, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:**The Tsui slope of Houxi River Hydropower is a concrete faced rockfill dam, Being filled in large - scale compaction tests have been carried out. To point against the dam compaction of spreading thickness of the dam materials, the way of the material paved, rolled several times, rolling speed, the amount of the adding water and other construction parameters in different reclamation area, based on a large number of real and effective the test data, we used the method of mathematical statistics and EXCEL chart analysis to analysis test data and to determ the reasonable construction parameters. Through the test data analysis the anthor puts forward the reasonable filling construction parameters and quality control index, and the compaction test results can be used for reference of similar projects .

**Key words:**San - xia reservoir rea; concrete faced rockfill dam; large - scale compaction test; dam materia

近几十年来,新型土石方机械的大量投入及填筑施工工艺水平不断提高,同时筑坝材料试验研究的不断深入,极大地拓宽了堆石坝的用料范围和用料模式,为堆石坝更广泛地应用提供了有利条件,弥补了堆石坝长期存在的建设工期长、填筑强度低的不足。随着填筑施工工艺水平不断提高且筑坝材料关系到坝体本身的质量、安全度汛、工程总进度和投资效益,为此本工程采用现场试验,对坝体各种材料的级配、密度、渗透等施工参数进行碾压试验<sup>[1]</sup>。

### 1 工程概况

该水电站工程位于三峡库区长江北岸一级支流大宁河的巫山县境内。该混凝土面板堆石坝坝顶高程 549.0 m,最大坝高 112.0 m,坝顶长度 219.0 m,坝顶宽度 8.0m,大坝面板厚度为 0.3m~0.6m。坝体分为特殊垫层区、过渡区、主堆石区、下游堆石区、灰岩出露区反滤层等填筑区。本次试验涉及到的主堆石区、过渡区、垫层区等主要填筑区初步设计参数见表 1。

表1 主要填筑区的初步设计参数  
Tab.1 Main filling region of the preliminary design parameters

填筑区(料)	主堆石料	过渡料	垫层料
厚度/cm	80	40	40
洒水量(体积比)/%	10~25	10~25	适量
碾压遍数/N	6~8	8~10	3~10
最大粒径/mm	600	300	80
粒径<5mm/%	5~15	15~30	35
粒径<0.075mm/%	<5	<5	4~6
设计干密度/g·cm <sup>-3</sup>	2.15	2.18	2.20
孔隙率(%)/cm·s <sup>-1</sup>	20	18	17
渗透系数/cm·s <sup>-1</sup>	1×10 <sup>-1</sup>	1×10 <sup>-2</sup>	1×10 <sup>-3</sup> ~1×10 <sup>-4</sup>
设计工程量/万m <sup>3</sup>	101.55	6.70	4.68

## 2 碾压试验

### 2.1 碾压试验的目的

(1)复核各填筑料设计参数的合理性;(2)确定最佳施工碾压实验参数及工艺,包括坝体不同区域铺料方式、铺料厚度、碾压遍数、碾压速度、加水量等。

### 2.2 碾压试验材料来源与用量

碾压试验材料源:母料均来自阮村料场灰岩,实测表观密度 2.69 g/cm<sup>3</sup>、和吸水率 0.186%、孔隙率 0.50%、饱和抗压强度平均值 72.6 MPa(大于 40 MPa)、软化系数 0.75~0.90,均满足质量技术要求。因此,该料场采样均满足本工程用料试验指标要求。主、次堆石和过渡料采用阮村料场爆破后经过颗粒级配试验并满足级配设计要求的开挖料;垫层料由砂石料系统生产。

材料用量:堆石料 3 000 m<sup>3</sup>,铺料厚度 80 cm;过渡料 1 500 m<sup>3</sup>,铺料厚度 40 cm;垫层料 1 000 m<sup>3</sup>,铺料厚度 40 cm。

### 2.3 碾压试验程序及工艺

试验程序:场地平整压实→检查碾压机具工况→填筑铺料→初步检查铺料厚度→洒水→布置方格网测点→测量铺料厚度→振动碾压→测量压实沉降值→挖试坑取样检查(干密度)。

铺料:(1)主次堆石料采用进占法铺料,推土机平料,人工配合找平,洒水车按堆石体积比例加水。(2)过渡料采用后退法铺料,推土机平料,人工控制铺料厚度,铺料过程中注意剔除超径大石。(3)垫层料铺料方法采用后退法铺料,推土机平料,人工辅助平料。(4)主、次堆石料压实厚度为 80 cm,过渡料

压实厚度为 40 cm,垫层料压实厚度为 40 cm,铺料完毕后,根据场外控制测点,测量铺料厚度。

加水量:(1)主次堆石料一场分为 2 个实验单元,场地范围为 36 m×50 m,有效铺料面积为 28 m×40 m,按 10%、15%、20%、25% 加水量控制加水。(2)过渡料一场分为 2 个实验单元,有效铺料面积为 560 m<sup>2</sup>,按 10%、15%、20%、25% 加水量控制加水。(3)垫层料一场分为 1 个试验单元,有效铺料面积为 560 m<sup>2</sup>,按 3%、6%、9% 加水量控制<sup>[2-4]</sup>。

## 3 实验结果

### 3.1 堆石料试验结果

(1)堆石料碾压试验结果汇总见表 2;(2)堆石料碾压试验前后颗粒级配曲线见图 1。

### 3.2 过渡料试验结果

(1)过渡料碾压试验结果汇总见表 3;(2)过渡料碾压试验前后颗粒级配曲线见图 2。

### 3.3 垫层料碾压试验结果

(1)垫层料碾压试验结果汇总表 4;(2)垫层料碾压试验前后颗粒级配曲线见图 3。

### 3.4 试验结果分析

(1)通过上述堆石料碾压前颗粒分析试验看,采用的爆破石料颗粒级配均在设计所要求的堆石料颗粒级配包络线范围内;从过渡料碾压前颗粒分析试验看,采用的爆破石料剔除大于 30mm 以上块石后,颗粒级配在包络线范围内;从垫层料碾压前颗粒分析试验看,砂石料系统加工生产的垫层料在包络线范围内,因此该次采用的碾压试验爆破料、加工料均满足设计要求。

(2)从现场堆石料碾压试验成果看,堆石料干密度和沉降率分析堆石料碾压 6 遍后干密度 2.1 g/cm<sup>3</sup>~2.11 g/cm<sup>3</sup>,接近设计值,碾压 8 遍后干密度 2.19 g/cm<sup>3</sup>~2.2 g/cm<sup>3</sup>,孔隙率 18.4%~18.5%,干密度大于设计值 2.15 g/cm<sup>3</sup>,孔隙率小于设计值 20%,干密度与孔隙率完全能满足设计要求,碾压 10 遍后干密度和沉降率与碾压 8 遍相比较都趋于稳定。试坑中粗颗粒咬合好细颗粒充填均较紧密,无架空现象。从试坑的透水性情况看,渗透系数最大值 5.7 cm/s,最小值 0.23 cm/s,总体试坑透水性能良好,能满足堆石料对渗透的要求。

(3)从过渡料碾压试验成果看,碾压6遍后,平均干容重小于设计要求,碾压8遍后,平均干容重为 $2.22 \text{ g/cm}^3$ ,该指标大于设计所要求的 $2.18 \text{ g/cm}^3$ ,孔隙率为 $17.0\% \sim 17.9\%$ ,该指标小于设计所要求的 $18.0\%$ ,两项指标均满足设计要求,从碾压遍数与沉降率关系曲线可看出,碾压8遍至10

遍后沉降率已趋于稳定,试坑中大小石料咬合充填均很紧密,无架空现象,压后级配良好略偏离设计级配包络线。从试坑的透水性情况看,渗透系数最大值 $4.7 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$ ,最小值 $1.2 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ ,透水性能良好,能满足过渡料对渗透的要求。

表2 堆石料碾压试验检测结果

Tab.2 The compaction test results of rockfill material

碾压遍数/N	铺料厚度/cm	湿密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	含水率/%	干密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	空隙率/%	渗透系数/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
6		2.13	1.3	2.10	22.0	-
8	90.2	2.21	0.8	2.19	18.5	-
10	加水量/10%	2.23	0.8	2.21	17.8	-
6		2.13	1.3	2.10	21.9	$0.4 \times 10^{-1}$
8	90.2	2.22	1.1	2.20	18.4	$2.5 \times 10^{-1}$
10	加水量/15%	2.25	1.2	2.22	17.5	$2.5 \times 10^{-1}$
6		2.16	2.3	2.11	21.6	-
8	85.2	2.25	2.3	2.20	18.5	-
10	加水量/20%	2.25	2.0	2.21	17.7	-
6		2.17	2.3	2.12	21.3	-
8	85.2	2.26	2.4	2.20	18.2	-
10	加水量/25%	2.27	2.6	2.22	17.8	-

注:过渡料比重为 $2.69 \text{ g/cm}^3$

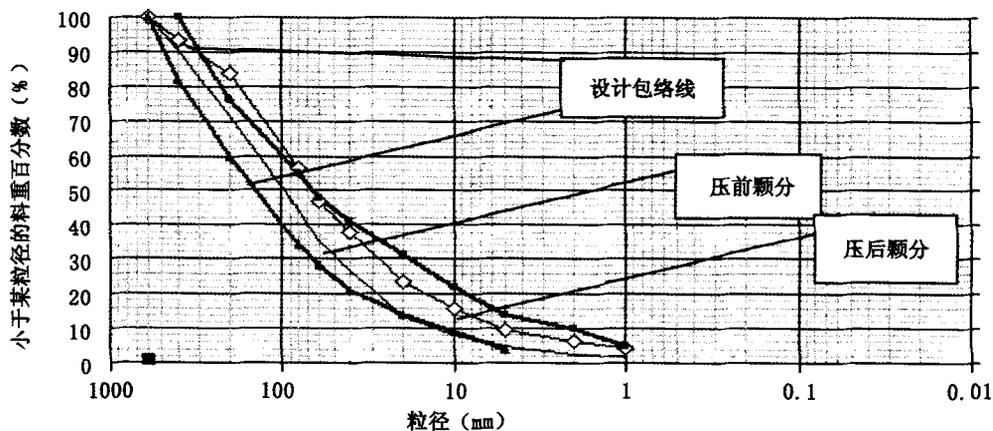


图1 堆石料碾压试验前后颗粒级配曲线

Fig.1 The particle grading curve of rockfill material

表3 过渡料碾压试验检测结果

Tab.3 Transition material rolling test detection results

碾压遍数/N	铺料厚度/cm	湿密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	含水率/%	干密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	空隙率/%	渗透系数/ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
6		2.19	1.3	2.15	20.1	-
8	45.1	2.26	1.7	2.22	17.5	-
10	加水量(10%)	2.27	1.8	2.23	17.0	-
6		2.18	1.6	2.15	20.3	$4.1 \times 10^{-1}$
8	45.1	2.27	1.9	2.22	17.0	$3.1 \times 10^{-1}$
10	加水量(15%)	2.28	1.3	2.25	16.4	$3.2 \times 10^{-2}$
6		2.21	2.4	2.16	19.9	-
8	43.7	2.27	2.3	2.22	17.5	-
10	加水量(20%)	2.28	2.2	2.23	17.2	-
6		2.22	2.8	2.18	19.8	-
8	43.7	2.26	2.3	2.21	17.9	-
10	加水量(25%)	2.27	2.3	2.22	17.5	-

注:过渡料比重为 $2.69 \text{ g/cm}^3$

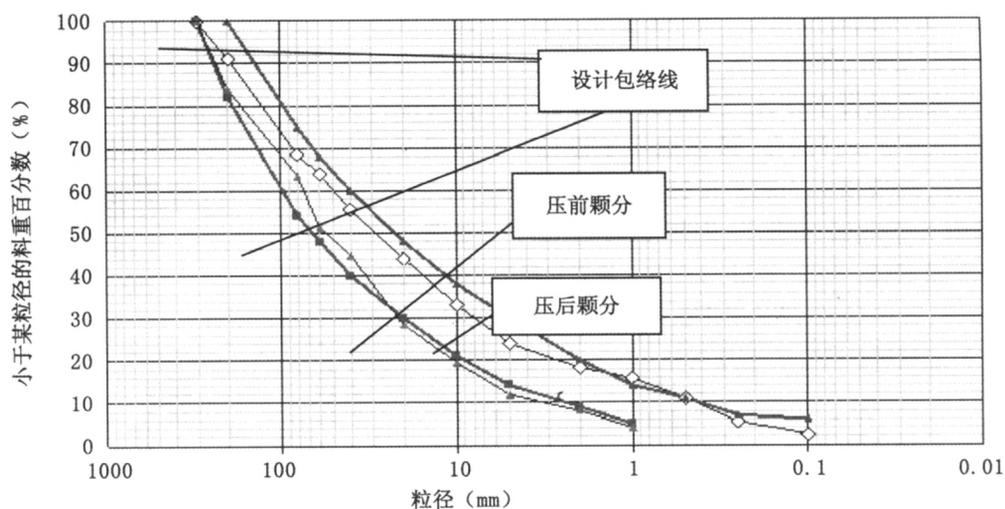


图2 过渡料碾压试验前后颗粒级配曲线

Fig.2 The particle grading curve of transition material before and after rolling test

表4 垫层料碾压试验检测结果

Tab.4 Cushion material rolling test results

加水量/%	碾压遍数/N	湿密度/ $g \cdot cm^{-3}$	含水率/%	干密度/ $g \cdot cm^{-3}$	孔隙率/%	渗透系数/ $cm \cdot s^{-1}$
3		2.27	2.1	2.22	17.6	-
6	6	2.32	3.2	2.24	16.7	$8.7 \times 10^{-4}$
9		2.30	3.8	2.23	17.8	-
3		2.30	2.0	2.25	16.4	-
6	8	2.33	3.1	2.26	15.9	$5.2 \times 10^{-4}$
9		2.33	3.6	2.25	16.5	-
3		2.31	1.9	2.26	15.9	-
6	10	2.34	3.0	2.27	15.7	$2.8 \times 10^{-4}$
9		2.33	3.4	2.25	16.4	-

注:过渡料比重为  $2.69 g/cm^3$

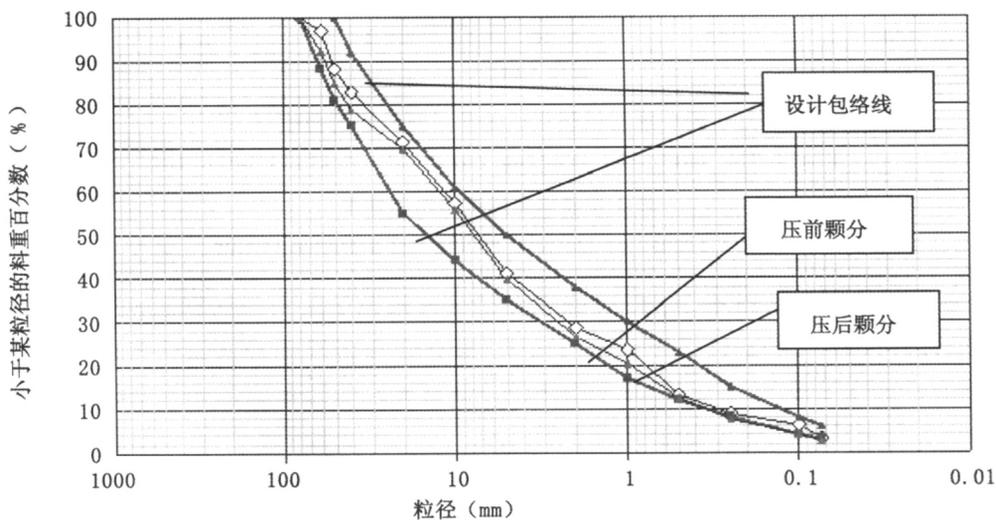


图3 垫层料碾压试验前后颗粒级配曲线

Fig.3 The particle grading curve of cushion material before and after rolling test

石光洁如镜、蘑菇石粗犷浑厚,介于中间的肌理数不胜数,带出明显的时代特征。

#### 4 结语

厦门大学“嘉庚建筑”在新旧交替的时代背景下,引入西方的建筑样式,再根据地方的自然条件特点、传统建筑文化、地方建筑技艺进行本土化工作,使其功能上满足新式学校教育的需要,空间上更为适合地方的气候条件;形式上新旧结合,更易于产生亲切感;取材上更为经济,技术上更为可行,投资上更为节约。面对全球文化逐渐趋同的今天,“嘉庚建筑”如何立足自身文化,博采他者所长,彰显自身特色的做法,无疑值得人们学习与思考。

#### 参考文献:

- [1] 陈嘉庚. 南侨回忆录[M]. 新加坡:南洋印刷社,1946.
- [2] 陈志宏. 近代“民族形式”建筑思潮在福建的传播与影响[J]. 福建工程学院学报, 2006. 4(6):786-790.
- [3] 庄景辉. 厦门大学嘉庚建筑[M]. 厦门:厦门大学出版社, 2011.
- [4] 张智民. 大学气象, 嘉庚风貌 - 集美大学银江新校区

(上接第40页)

(4)通过垫层料碾压前、后颗粒分析试验看,满足垫层料设计颗粒级配范围的要求,级配连续且良好。不同加水量的垫层料在碾压6遍后干密度为 $2.22 \text{ g/cm}^3 \sim 2.24 \text{ g/cm}^3$ ,均大于设计要求的干密度 $2.20 \text{ g/cm}^3$ ,孔隙率 $16.7\% \sim 17.8\%$ ,满足设计要求 $18.0\%$ ,沉降率碾压8遍趋于稳定。从试坑的透水性情况看,渗透系数最大值 $9.5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ,最小值 $1.2 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ,因是半透水结构,含水量随试验时间的推移有所变化,但均能满足渗透系数和孔隙率的要求<sup>[5-6]</sup>。

#### 4 结论

对于主堆石料铺料80 cm、次堆石料铺料80 cm和过渡料铺料厚度40 cm,碾压8遍及以上即可达到设计压实要求;垫层料铺料厚度40 cm,碾压6遍能达到设计压实要求。因此,本次试验达到了预期的目标,更重要的是该工程填筑碾压合理参数为工程的顺利实施提供可靠的技术依据,

扩建设计[J]. 华中建筑,2008. 26(7):81-87.

- [5] 庄景辉. 厦门大学嘉庚建筑[M]. 厦门:厦门大学出版社, 2011.
- [6] 朱晨光. 陈嘉庚建筑图谱[M]. 香港:天马出版有限公司, 2004.
- [7] 缪远. 传历史文脉:承嘉庚风格 - 厦门大学嘉庚风格建筑楼群赏析[J]. 工业建筑, 2008. 38(5):126-129.
- [8] 华黎. 建造的痕迹[J]. 建筑学报,2011(6):42.
- [9] 侯幼彬. 中国建筑美学[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 1997.
- [10] 薛佳薇, 冉茂宇. 华园石建筑细部的建构解析[J]. 华侨大学学报:自然科学版, 2008. 29(3):451-454.
- [11] 陈嘉庚. 陈嘉庚致陈延庭函[M]. 集美校委会藏,1923.
- [12] 罗林,杨永生,顾孟潮. 20世纪中国建筑[M]. 天津:天津科学技术出版社,1999.
- [13] 陈嘉庚. 在集美华侨学生补习学校开校式讲话(1954.2.23)[Z]//王增炳,陈毅明,林鹤龄. 陈嘉庚教育文集. 福州:福建教育出版社,1989:277
- [14] 姜传宗. 选择与创造 - 南安老人活动中心的创作与探索[J]. 建筑学报,2002(11):10-13.
- [15] 王绍森. 厦门大学芙蓉6学生公寓设计[J]. 建筑学报,2001(3):40-42.

(责任编辑 刘存英)

同时试验结果对今后同类工程建设的借鉴也有十分重要的作用。

#### 参考文献:

- [1] 陆佑楣. 我国水电开发与可持续发展[J]. 水利水电, 2005, 31(2):1-4.
- [2] 吴磊,田北平. 对无粘结预应力框架结构的施工力学分析[J]. 四川理工学院学报:自然科学版, 2009, 22(4):122-125.
- [3] DL/T 5128-2009, 混凝土面板堆石坝施工规范[S].
- [4] DL/T 5129-2001, 碾压式土石坝施工规范[S].
- [5] MLTH·TJ02-2006, 坝体填筑施工技术要求[S].
- [6] SL237-1999, 土工试验规程[S].
- [7] 王庆乐,周彬. 基于强度折减法对水电站坝头边坡稳定性分析[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2010, 27(1):33-37.
- [8] 李利飞,谢方媛,许道军,等. 动荷载作用下路基沉降规律试验研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2012, 29(2):7-10.

(责任编辑 徐博会)