

# 混凝土面板堆石坝填筑技术在大雪山水库工程中的应用

董荣 方寿军

(临沧市水利水电勘测设计研究院,云南 临沧 677000)

**【摘要】** 混凝土面板堆石坝填筑技术是整个拦河坝施工控制环节中比较重要技术,采取合适的填筑技术可以有效提高坝体填筑料密实度,以此来解决拦河坝不均匀沉降及大幅度沉降等问题。本文以大雪山水库为例,从坝体填筑控制标准、坝体填筑工艺流程、坝体填筑现场检测结果等方面,详细介绍了混凝土面板堆石坝的填筑技术。采用此填筑技术可有效改善坝体和面板的应力变形特性,防止后期堆石料有较大位移以及混凝土面板产生挤压破坏。

**【关键词】** 混凝土面板堆石坝;填筑;技术;大雪山水库

中图分类号: TV641

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2018)01-052-06

## Application of concrete face rockfill dam filling technology in Daxueshan Reservoir Project

DONG Rong, FANG Shoujun

(Lincang Municipal Water Conservancy and Hydropower Survey Design Institute, Lincang 677000, China)

**Abstract:** Concrete Face Rockfill Dam Filling Technology is a more important technology in the whole barrage construction control link. Appropriate filling technology is adopted for effectively improving the dam filling compactness, thereby solving the problems of barrage uneven settlement, serious settlement, etc. In the paper, Daxueshan Reservoir is adopted as an example, the filling technology of concrete face rockfill dam is introduced in detail in the aspects of dam body filling control standard, dam body filling process flow, dam body filling field test result, etc. The filling technology can be adopted for effectively improving the stress deformation characteristics of dam body and face, and preventing subsequent larger displacement of rockfill dam, and extrusion failure by the concrete face.

**Key words:** concrete face rockfill dam; filling; technology; Daxueshan Reservoir

### 1 工程概况

大雪山水库为中型屯蓄工程,位于永德县大雪山乡大炉厂村旧寨自然村。是云南省临沧市第一座混凝土面板堆石坝,坝顶高程 2008.50m,最大坝高 78.5m,坝顶宽 8m,坝轴线长 176m,总库容 1510.1 万 m<sup>3</sup>。

坝体填筑分区为黏土区(1A)、盖重区(1B)、特殊

垫层区(2B)、垫层区(2A)、过渡区(3A)、主堆石区(3B)、次堆石区(3C)、块石护坡(3D),分区填筑如图 1 所示。虚线以下为度汛坝体。钢筋混凝土面板是坝体唯一防渗薄板,要求水库在运行期间混凝土面板不发生开裂或较大位移,各堆石区起到支撑面板的作用,故要求各堆石区不产生不均匀沉降或较大沉降,且满足渗透要求。坝体采用薄层碾压法施工,具有较高填筑

密实度,有利于改善坝体和面板应力变形特性。

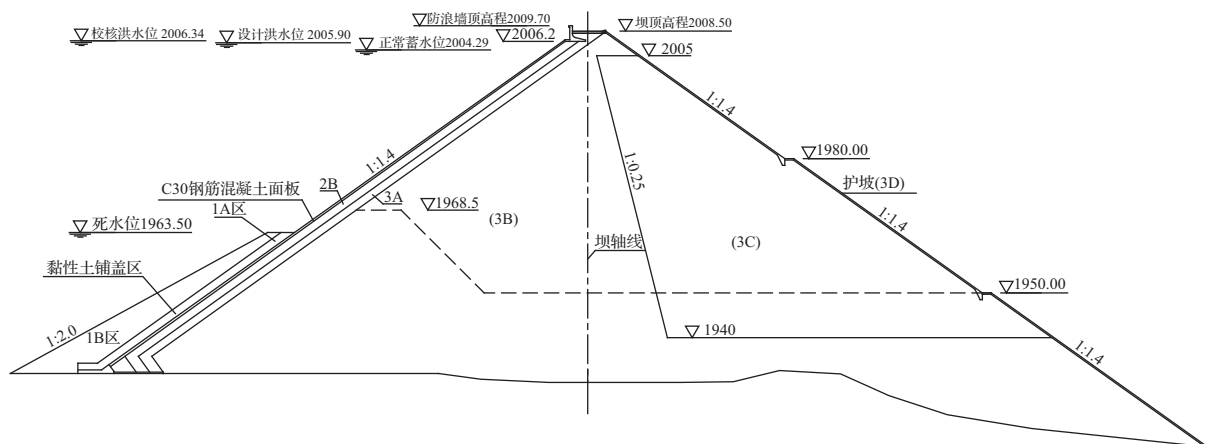


图1 坝体填筑分区(单位:m)

## 2 坝体填筑控制标准

### 2.1 碾压试验

参照已建面板堆石坝的理论成果,当坝体的填筑密实度从相对较低的数值提高到较高的数值时,坝体和面板的变形有明显的改善;但是当堆石体填筑密实度提高到一定的程度后,坝体和面板变形的减小趋势逐渐减缓,改善坝体和面板受力状况的效果不明显<sup>[2]</sup>。结合工程实际情况,在技术上可行、经济上合理的条件下,合理确定堆石体的压实密实度。

通过大坝填筑料碾压试验,确定填筑参数(填筑料铺层厚度、碾压遍数、碾压机具、加水量等)。

a. 碾压试验场地采用推土机、反向铲人工配合平

整,经振动平碾压实得到碾压场地。

b. 碾压试验范围包括:主堆石料、次堆石料、过渡料、垫层料。特殊垫层料碾压参数参照垫层料。

c. 碾压试验铺料厚度:主堆石料为100cm,次堆石料为100cm,过渡料为50cm,垫层料为50cm。铺料方式为进占法,平料方式为推土机加人工。

d. 在碾压前,各碾压材料都充分洒水浸润。

e. 特殊垫层料和垫层料为弱风化石灰岩人工轧制而成,过渡料为弱风化石灰岩,主堆料为微、弱风化花岗片麻岩,次堆料为强、弱风化花岗片麻岩。

### 2.2 坝体填筑标准

根据碾压试验成果,确定拦河坝填筑施工参数。

大坝填筑控制标准见表1,填筑材料级配如图2所示。

表1 大坝填筑控制标准

项目	特殊垫层料	垫层料	过渡料	主堆石料	次堆石料
岩性	弱风化石灰岩人工轧制而成 (观音岩料场)		弱风化石灰岩 (大炉场料场)	微、弱风化花岗片麻岩 (火地料场)	强、弱风化花岗片麻岩 (火地料场)
比重	2.70	2.70	2.70	2.75	2.74
孔隙率/%	≤20	≤20	≤22	≤24	≤26
干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	≥2.16	≥2.16	≥2.11	≥2.10	≥2.05
铺料厚度/cm	≤45	≤45	≤45	≤100	≤100
洒水	碾压前坝面上应洒水浸润				
碾压机械	YZ12B 型全液压自行式振动碾			YZTY25 型拖式振动碾	
铺料方式	进占法				

续表

项目	特殊垫层料	垫层料	过渡料	主堆石料	次堆石料
碾压遍数	10	10	10	12	8
最大粒径/mm	≤40	≤80	≤300	≤800	≤1000
小于5mm含量	35%~50%	30%~50%	≤18%	≤20%	≤20%
小于0.1mm含量	5%~8%	5%~12%	≤5%	—	—
小于0.075mm含量	—	—	—	≤5%	≤5%
渗透系数/(cm/s)	$1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-1} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^{-1} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^{-1} \sim 1.0 \times 10^{-3}$
激振力/kN	255			600	
行车速度/(km/h)	2~3				

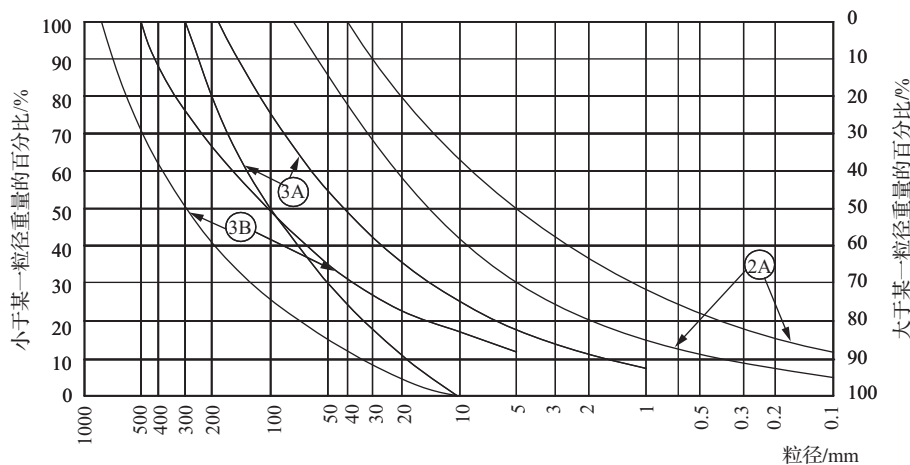


图2 大雪山水库拦河坝工程填筑材料级配曲线  
3A-过渡区;3B-主堆石区;3C-次堆石区

### 2.3 挤压边墙

挤压边墙能够对面板堆石坝的应力应变产生影响,可以改善面板受力状态和变形,也可以使缝变形较大部位的变形减小,对堆石体影响不大<sup>[3]</sup>。工程采用BJY40型边墙挤压机制作一个低强度、低弹模、半透水、连续的干贫混凝土小墙。挤压边墙的控制标准见表2,挤压边墙混凝土施工配合比见表3。

表2 挤压边墙的控制标准

项目	干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	渗透系数/(cm/s)	弹性模量/MPa	抗压强度/MPa
技术指标	2.15	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	5000~7000	<5

表3 挤压边墙混凝土施工配合比

项目	材料用量/(kg/m <sup>3</sup> )				速凝剂掺量/%
	水	水泥	砂	小石	液体速凝剂
配合比	96	80	864	1296	0.6

## 3 坝体填筑工艺流程

### 3.1 坝体填筑流程

在面板堆石坝填筑施工方式上,不同的填筑施工分区会产生堆石体变形时序的不同,而坝体的最终沉降变形也必将受到一定程度的影响<sup>[2]</sup>。坝体填筑流程:主堆区和技压边墙→次堆区和过渡区→垫层区→过渡区和技压边墙→垫层区。全断面回填流程图如图3所示。

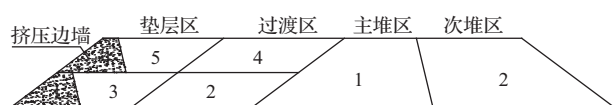


图3 全断面回填填筑流程

(1、2、3、4、5 为各填筑材料填筑顺序)

### 3.2 施工程序流程

坝体填筑各单元工程严格按照基础面处理、测量放线、运料、卸料和平料、洒水、碾压、质检等施工程序流程进行施工。

**a. 基础面处理。**拦河坝基础清基完成后,还是有部分杂草、树根、腐殖土等存在,需要在填筑坝料前二次清除;存在反坡现象的地方利用液压破碎锤处理;做好基础面排水工作;采用浆砌石封堵各探洞。

**b. 测量放线。**要求每层填筑前都对各填筑区交界线、各区边界线和铺料厚度进行放线,利用石灰线和油漆线进行标示。特别是对挤压边墙放线要求极其严格,以免挤压边墙超出设计位置,占用混凝土面板尺寸。对各填筑区进行放线处理,可以避免各材料欠碾和漏压。

**c. 运料。**主堆料、次堆料、过渡料、垫层料、特殊垫层料都进行单车控制,技术人员在料场对每车石料的级配和岩性进行控制;垫层料和特殊垫层料在上料前洒水搅拌,防止粗细料分离。主堆料、次堆料和过渡料通过爆破开采方法,要求开采级配曲线成连续分布,不均匀系数  $C_u > 15$ , 曲率系数  $C_c 1 \sim 3$ 。主堆料、次堆料和过渡料采用反向铲装料,15t 自卸汽车运输到填筑部位;垫层料和特殊垫层料利用装载机上料,15t 自卸汽车运输到填筑部位。

**d. 卸料和平料。**主堆料、次堆料、过渡料、垫层料、特殊垫层料都是采用进占法卸料,重车不能经过已经碾压合格的部位。主堆料和次堆料采用 T165 和 T140 推土机进行平料;过渡料、垫层料、特殊垫层料采用反向铲进行平料,在平料过程中,发现超径石,利用东空 151 液压破碎锤现场解小使用。存在粗料集中现象时利用反向铲分散处理。在同一填筑层,较粗一级

填筑材料不得占用相邻较细一级填筑料断面,次堆料不能侵占主堆料位置,主堆料不能占用过渡料区,过渡料不能占用垫层料位置<sup>[3]</sup>。超过部位采用反向铲挖出。主堆区和次堆区与岸坡结合部位,利用方向铲回填较细坝料。

**e. 洒水。**在拦河坝左岸布置一条直径 80mm 的镀锌钢管,从左岸水池引水,负责对各填筑材料洒水和挤压边墙养护用水;各材料在碾压之前必须充分洒水浸润,减小各堆石料的摩擦角,提高坝体材料的密实度。

**f. 碾压。**主堆料和次堆料采用 YZTY25 型拖式振动碾进行碾压,过渡料、垫层料和特殊垫层料采用 YZ12B 型全液压自行式振动碾进行碾压。初期,河床较窄,平行坝轴线碾压效果达不到要求,采用垂直坝轴线碾压;到高程 1940.00m,施工场地增大,采用平行坝轴线碾压。在碾压前先对碾压面进行人工和机械平整,有石块突出部位,利用液压破碎锤进行平整处理,以免影响碾压效果。垫层料、特殊垫层料与挤压边墙和混凝土防渗墙结合部位,YZ12B 型全液压自行式振动碾不能碾压到的部位采用打夯机和小压路机进行碾压。主堆料和次堆料与岸坡结合部位,YZTY25 型拖式振动碾不能碾压到的部位,采用 YZ12B 型全液压自行式振动碾进行碾压。

**g. 质检。**质检是施工程序流程最关键的部分,是对填筑质量的检测。现场检测的主要有主堆料、次堆料、过渡料、垫层料、特殊垫层料。主堆料、次堆料、过渡料、垫层料检测中为每一填筑层随机抽取 1~3 组样品;特殊垫层料每一填筑层填筑量很少,采取每 25 层随机抽取 1~3 组样品;边墙挤压 C5 混凝土每 3 填筑层,测定抗压强度 1~3 组,渗透和弹模每 6 填筑层取 1~2 组。室外检测主要测定湿密度、室外渗透系数、堆石料级配。湿密度采用试坑注水法测定;室外渗透系数测定时利用测定坑容积后的水,用木棍把塑料薄膜往水中压下,露出半边坑壁,测定一坑水需要多少时间渗完,借此估计渗透系数;堆石料级配采用现场筛分,20mm 以下的细料经拌和抽取部分样品到室内筛

分。室内检测主要检测含水率和比重,利用恒温箱烘干,测定含水率后推算混凝土干密度,利用比重反推孔隙率。监理工程师进行旁站监理,根据规定进行坝体填筑的质检和取样试验。如经验收合格后,即可以转入下一道工序,否则重新进行碾压,直至合格。

#### 4 坝体填筑现场检测结果

施工过程中对坝料填筑质量进行检测,检测项目主要为干密度、空隙率、渗透系数、筛分级配。主堆料、

次堆料、过渡料、垫层料部分质量检测结果见表4~表7,颗粒级配曲线如图4~图7所示。检测结果表明,试验结果全部达到设计和规范要求,碾压参数能满足施工要求。颗粒级配曲线中有部分级配曲线不在包络线内,但干密度、孔隙率、渗透系数都满足设计和规范要求。设计级配曲线主要保证堆石料密实度,如果能满足干密度、空隙率、渗透系数要求,但是不在级配包络线,也认定为填筑合格。

表4 主堆料质量检测结果

填筑层数	铺料厚度/cm	干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	孔隙率/%	渗透系数/(cm/s)	小于5mm含量/%	小于0.075mm含量/%	级配曲线	质量评定
设计值	≤100	≥2.10	≤24	$1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-2}$	≤20%	≤5%	图4	—
第14层	75	2.31	16.9	$1.1 \times 10^{-1}$	17.5	1.1		合格
第20层	85	2.26	18.7	$5.0 \times 10^{-1}$	10.4	0.8		优良
第27层	98	2.25	18.2	$1.8 \times 10^{-1}$	7.3	1		合格
第32层	98	2.22	19.3	$1.1 \times 10^{-1}$	4.7	0.5		优良
第37层	98	2.2	20	$1.6 \times 10^{-1}$	5.9	0.4		合格

表5 次堆料质量检测结果

填筑层数	铺料厚度/cm	干密度/(g/cm <sup>3</sup> )	孔隙率/%	渗透系数/(cm/s)	小于5mm含量/%	小于0.075mm含量/%	级配曲线	质量评定
设计值	≤100	≥2.05	≤26	$1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-3}$	≤20%	≤5%	图5	—
第1层	91	2.15	21.8	$2.2 \times 10^{-1}$	7.7	0.7		合格
第5层	94	2.32	15.6	$1.0 \times 10^{-1}$	6.7	0.8		优良
第9层	96	2.21	19.6	$3.7 \times 10^{-2}$	6.6	1.2		合格
第13层	96	2.12	22.6	$1.7 \times 10^{-1}$	11	1.4		合格
第14层	92	2.16	20	$5.5 \times 10^{-2}$	7.1	0.7		优良

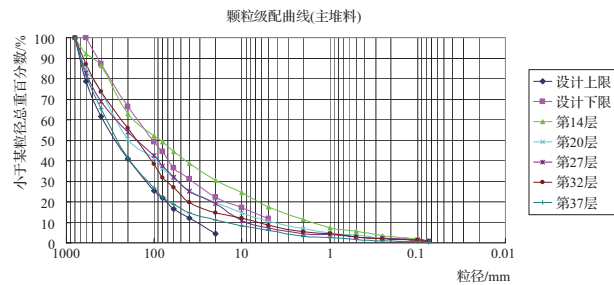


图4 主堆料颗粒级配曲线

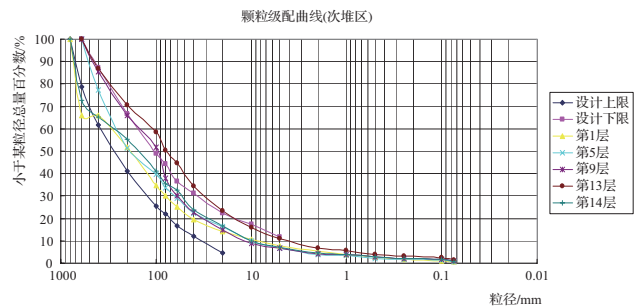


图5 次堆料颗粒级配曲线



表6 过渡料质量检测结果

填筑层数	铺料厚度/ cm	干密度/ (g/cm <sup>3</sup> )	孔隙率/ %	渗透系数/ (cm/s)	小于5mm 含量/%	小于0.1mm 含量/%	级配曲线	质量评定
设计值	≤45	≥2.11	≤22	$1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-2}$	≤18%	≤5%	图6	—
第7层	45	2.27	15.9	$1.3 \times 10^{-1}$	5.2	0.6		合格
第17层	46	2.29	15.2	$1.1 \times 10^{-1}$	4.1	1.2		合格
第27层	47	2.18	19.2	$2.4 \times 10^{-1}$	7.3	2.2		优良
第37层	48	2.28	15.6	$1.9 \times 10^{-1}$	7.1	0.6		合格
第57层	47	2.21	18.1	$1.7 \times 10^{-1}$	6.2	0.8		优良

表7 垫层料质量检测结果

填筑层数	铺料厚度/ cm	干密度/ (g/cm <sup>3</sup> )	孔隙率/ %	渗透系数/ (cm/s)	小于5mm 含量/%	小于0.1mm 含量/%	级配曲线	质量评定
设计值	≤45	≥2.16	≤20	$1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-3}$	30% ~ 50%	5% ~ 12%	图7	—
第6层	46	2.42	10.4	$1.3 \times 10^{-2}$	33.6	3.3		合格
第16层	47	2.36	12.6	$1.8 \times 10^{-2}$	33.8	6.7		合格
第26层	47	2.18	19.3	$1.8 \times 10^{-2}$	47.3	6.3		优良
第46层	47	2.32	14.1	$1.4 \times 10^{-2}$	33.8	10.1		合格
第56层	47	2.24	17	$1.3 \times 10^{-1}$	44	5.9		合格

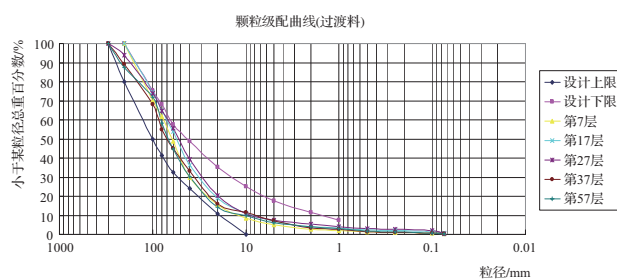


图6 过渡料颗粒级配曲线

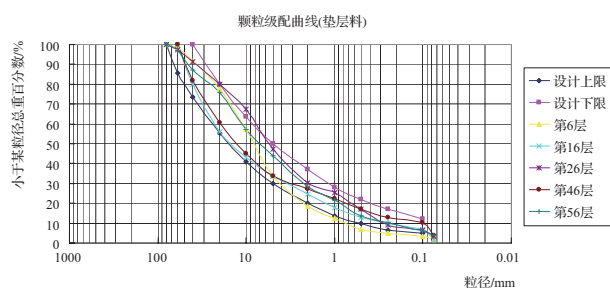


图7 垫层料颗粒级配曲线

## 5 结语

大雪山水库工程混凝土面板堆石坝填筑运用现代填筑技术,利用振动碾,进行薄层碾压堆石施工,材料经过碾压后具有较高的填筑密实度,能够防止后期堆石料有较大位移,防止混凝土面板产生挤压破坏。

a. 通过碾压试验得到碾压参数。现场严格按照大坝填筑控制标准进行施工;经现场检测,得出各项试验结果都能达到设计要求和规范要求。

b. 引进BJY40型边墙挤压机对垫层料进行施工,替代传统工艺垫层料的超填、削坡、修整、斜坡碾压、坡面防护等施工工序,垫层料碾压质量得到保证,施工进度大大加快,坡面抵御暴雨冲蚀能力显著加强。

c. 利用挤压边墙,坝前铺设土工膜,拦河坝可以作为度汛坝;通过在拦河坝填筑“抬头坝”,减少填筑

方量,缩短施工期,拦河坝可以安全度汛。

d. 采用国内外堆石坝工程较少采用的花岗片麻岩作为主堆料和次堆料。根据岩石特性,采用薄层碾压技术,碾压过后表层细料利用推土机推到两岸坡,然后用反向铲回填岸坡结合缝,从而保证渗透和岸坡结合密实。堆石料经过碾压后,有一定的破碎率,但经过抽检,结果还是满足设计和规范要求,说明控制碾压参数可以控制细颗粒的含量,确保细颗粒不影响堆石料透水性。◆

## 参考文献

- [1] 蒋国澄,赵增凯. 中国混凝土面板堆石坝20年回顾[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [2] 李海潮. 混凝土面板堆石坝施工技术及应用:公伯峡大坝施工理论与实践[M]. 郑州:黄河水利出版社,2008.
- [3] 罗先启,葛修润. 混凝土面板堆石坝应力应变分析方法研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.