

# 碾压混凝土在花滩水电站大坝施工中的应用

刘 强

(中国水利水电第十工程局, 四川都江堰, 611830)

**摘 要** 碾压混凝土作为一项筑坝新技术, 正以其独特的优点在工程建设中充分发挥作用。本文根据花滩电站碾压混凝土筑坝施工过程中, 从碾压混凝土原材料试验、配比设计、中间试验以及现场施工的各种方法和参数的选用等多方面作了较为详细的阐述。  
**关键词** 碾压混凝土 配比设计  $V_c$  值 压实率 质量

## 1 工程概述

花滩电站位于雅安地区荥经县花滩镇上游约500 m处, 属青衣江二级支流荥河七级开发规划的第六个梯级。厂址东距荥经县城7 km, 东北距雅安市51.5 km。电站主要建筑物由拦河坝、引水隧洞、调压井、埋藏式压力管道、主副厂房及升压站组成。

流域夏秋受暖湿气流影响, 温湿多雨, 冬春受青藏高原寒流侵袭, 据荥经气象站资料统计, 多年平均降雨量1233.8 mm, 5~9月降雨量占年降雨量79.2%, 10~3月降雨量占年降雨量20.8%, 多年平均气温15.3℃, 极端最高气温34.8℃, 极端最低气温-4.9℃, 多年平均蒸发量1072.9 mm, 多年平均相对湿度82%, 多年平均风速1.3 m/s。

工程区地处新华夏系构造带、香炉山弧形构造带、青龙歹字型构造带的交接部位, 地震基本烈度为IV度。

## 2 坝体结构设计

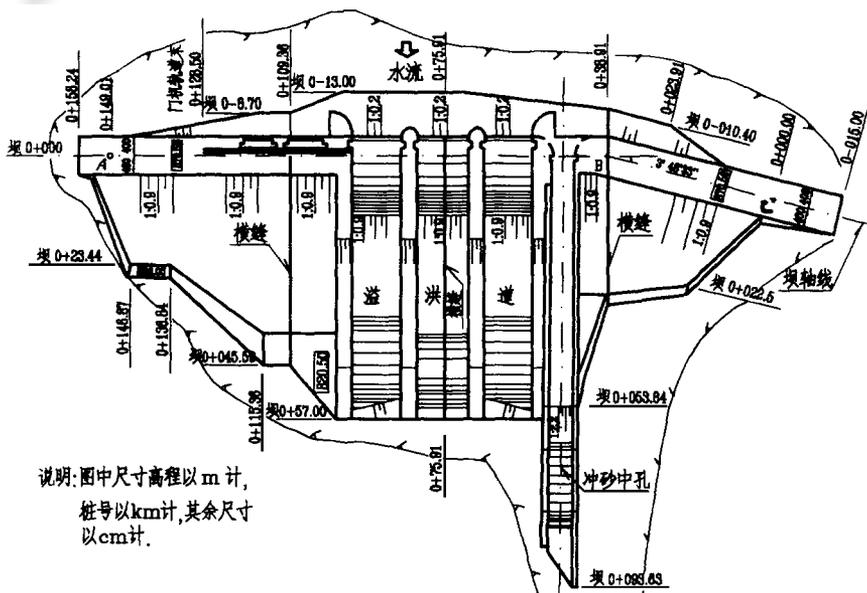
花滩电站大坝原设计为砌石重力坝, 后改为碾压混凝土重力坝。花滩碾压混凝土坝的主要特点是: 高掺粉煤灰, 坝体不设纵缝, 只设四条横缝, 连续浇筑, 连续上升, 全仓面碾压。

### 2.1 坝体布置

花滩电站大坝坝高85.3 m。坝基最宽为70 m, 坝顶宽8 m, 坝顶全长173.24 m。电站装机 $2 \times 1.2$ 万 kW, 坝体混凝土方量29万 $m^3$ , 其中碾压混凝土24万 $m^3$ 。坝体布置见大坝平面布置结构图。

### 2.2 坝体分区

大坝未设纵缝, 只在坝体左、中、右部位设3条横缝。大坝在总体设计上属“金包银”方式。在大坝上下游分别设3 m和1.5 m厚的200号常态混凝土防渗层。坝基在792高程以下的混凝土为200号的基础垫层混凝土, 两侧岸坡与碾压混凝土衔接处, 亦



大坝平面布置结构图

用 200 号常态混凝土过渡,设计最小控制厚度为 1.5 m。坝体内部采用单一级配的 150 号碾压混凝土。

溢洪道以及冲沙中孔的溢流面层为 25 cm 厚的铁钢砂混凝土,冲沙中孔导墙为 40 cm 厚铁钢砂混凝土,溢洪道导墙及边墩为 250 号常态混凝土。为了减少施工干扰,加快施工进度,坝体内的廊道顶拱以及坝体下游非溢流坝段均采用混凝土预制件,并兼作模板,作为坝体的一部分。

### 3 碾压混凝土原材料试验及配合比设计

碾压混凝土对原材料要求十分严格,其性能直接影响到碾压混凝土质量的好坏,因此在施工之前,必须对所选用的材料进行试验,以验证其性能是否满足规范要求,同时也可对混凝土配比设计提供理论依据。在施工前期过程中,我部委托本局试验中心对各种材料做了相应对比试验。

#### 3.1 原材料

大坝主体工程施工用水泥、粉煤灰由花滩电站建设指挥部提供。砂石骨料系电站附近采集的天然骨料及系统生产的人工骨料。

##### 3.1.1 水泥

水泥主要有夹江 425 号加镁水泥(用于大坝基础等部位的微膨胀混凝土)和夹江 425 号、525 号硅酸盐水泥(用于大坝内部碾压和其它常态混凝土)。

##### 3.1.2 粉煤灰

大坝工程使用的粉煤灰为成都华能热电厂静电收尘的干粉煤灰,经对厂家送样及现场抽样进行品质检验确定为三级灰,其化学成分见表 1,物理性能见表 2。

表 1 化学成份组成表

名称	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
成都粉煤灰	52.36	5.71	27.23	2.01	1.27	0.59

表 2 物理性能表

项目	密度 /g·cm <sup>-3</sup>	细度 /%	烧失量 /%	需水量比 /%	三氧化硫含量 /%
厂家送样	2.10	29	8.5	103	0.9
工地抽样	2.08	36	8.7	105	0.94
GBJ146-90 II 级	/	20	8	105	3
GBJ146-90 III 级	/	45	15	115	3

##### 3.1.3 砂石骨料

用于该电站中骨料的原材料系从附近天然采集所得。根据对所有天然料场的勘探可知,各料场粗细骨料总储量 14 155 万 m<sup>3</sup>,各粒径分配不均,其中 80 mm 以上粒径的砾石偏多,其它较少,以 20~40 mm 的粒径尤为短缺。因此,在施工中拟采用人工骨料来解决骨料的用量平衡问题,特设了一座系统的

砂石加工筛分系统,以天然骨料与人工骨料混合使用。根据所需用量,需在混凝土骨料中加入 40% 的人工骨料。

#### 3.1.4 外加剂

为满足碾压混凝土对外加剂的要求,选择具备减水、增强、缓凝,同时兼备好的经济效益,我们对 AE-2、CR、TGM、ZB-1、木钙+糖钙复合剂等六种进行优选试验,通过胶砂强度及减水率试验以及净浆凝结时间优选出 ZB-1、CR 及 AE-2 三种外加剂。

#### 3.2 碾压混凝土配合比设计

##### 3.2.1 砂率选择

碾压混凝土砂率的选择,主要是以减少混凝土的分离,提高可碾性,保证碾压混凝土的密实等为前提,在其它条件不变的情况下,通过砂率变化,观察混凝土拌和物的分离情况,测定 V<sub>c</sub> 值及抗压、劈拉强度以选择最优砂率。二级配的最优碾压砂率为 38%,三级配最优砂率为 34%。

##### 3.2.2 粉煤灰掺量试验成果

粉煤灰是配制碾压混凝土的主要材料之一。掺粉煤灰能节约水泥,降低碾压混凝土的绝热温升值,简化温控措施,增加混凝土的初凝时间(一般大于 10 h),提高可碾性,适宜大仓面连续铺筑。粉煤灰掺量的多少,取决于粉煤灰质量的优劣程度及建筑物所处环境及技术要求和经济效益等因素。试验时通过改变粉煤灰的掺量作了多组对比试验,其成果见表 3、表 4。

表 3 粉煤灰掺量试验成果表

级配	水泥品种	每 m <sup>3</sup> 混凝土材料用量/kg					F /%	外加剂 AZ-2 /%	V <sub>c</sub> 值 /%	抗压/MPa		
		W	C	F	S	G				7 d	28 d	90 d
三	夹江	95	85	85	731	1 450	50	0.5	7	8.3	15.0	20.8
三	江	95	77	93	730	1 450	55	0.5	8	7.0	13.2	18.5
三	号	95	68	102	728	1 448	60	0.5	9	6.4	11.8	16.6
二	号	105	114	76	810	1 356	40	0.5	8	11.0	15.8	23.3
二	号	105	105	86	809	1 355	45	0.5	9	9.8	14.0	20.8
二	号	105	95	95	808	1 354	50	0.5	10	8.2	12.0	18.7

表 4 水泥掺粉煤灰水化热试验成果表

名称	粉煤灰掺量/%	0	20	30	40	50	60
夹江 425 号 硅水泥	水化热	3 d	222.6	186.9	168.2	140.2	120.0
		7 d	252.2	224.4	202.8	178.4	156.5
	热峰出现时间/h	18	20	22	23	24	25

从表 3、表 4 中可以看出,三级碾压混凝土粉煤灰掺量以 55% 为宜,二级配以 45% 为宜。同时水泥的水化热均随粉煤灰掺量的增加而降低,若以 50% 粉煤灰代替水泥,7 d 水泥水化热降低 38.1%,说明高掺粉煤灰能明显降低水化热。花滩电站大坝正是利用高掺粉煤灰来降低水化热简化温控措施。

##### 3.2.3 胶材用量的选择

碾压混凝土中胶凝材料用量的多少直接影响混凝土的各项力学及热学性能。为此,应确定在保证工

程质量为前提的最小单位的胶材用量。实验时在保持其它条件不变的情况下,通过对 180, 170, 160 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 三种胶材用量对比来选用,其成果见表 5。

表 5 胶材用量与强度关系成果表

级配	水泥品种	每 $\text{m}^3$ 混凝土材料用量/ $\text{kg}$				F /%	外加剂 /% AE-2	$V_c$ /s	抗压/ $\text{MPa}$		
		W	F+C	S	G				7 d	28 d	90 d
三		95	180	726	1 443	55	0.5	9	8.2	15.1	21.2
三	夹江 424号	95	170	730	1 450	55	0.5	8	7.0	13.2	18.5
三	硅 水 泥	95	160	734	1 457	55	0.5	11	6.2	12.1	17.2
二		105	190	808	1 354	50	0.5	10	8.2	12.0	18.7
二		105	180	812	1 360	50	0.5	13	7.3	10.3	16.2

从表 5 可以看出,对于大坝工程的  $R_{90}150$  号三级配碾压混凝土,其胶凝材料选用  $170 \text{ kg}/\text{m}^3$  可满足要求,若选择较好的外加剂,胶材用量可降低为  $165 \text{ kg}/\text{m}^3$  左右。

### 3.2.4 单位用水量与 $V_c$ 值关系

碾压混凝土拌和物呈干松状,不具流动性,  $V_c$  值的大小反映拌和物振实的难易和流变特性,是衡量拌和物工作度和可碾性的一个指标,而  $V_c$  值主要受用水量的影响,并且很敏感,  $V_c$  值太大拌和物难以碾压密实,  $V_c$  值太小又对振动碾和平仓机的行走不利,只有适宜的  $V_c$  值才能碾压出强度最高的密实混凝土。为了寻找用水量变化对  $V_c$  值及强度的关系,试采用三级配固定胶材用量砂率和外加剂,仅变动用水量,其试验成果见表 6,从试验结果可知  $W$  与  $V_c$  值的关系可调整为  $W \pm 1 \text{ kg}$ ,  $V_c$  值  $\mp 1 \text{ s}$ 。

## 4 中间试验

### 4.1 试验工作概况

为了全面检查碾压混凝土浇筑前的技术准备工作,检测碾压混凝土试验的有关参数(即碾压混凝土配合比、铺料厚度、碾压遍数、层面结合与处理、碾压混凝土压实率等指标),以利大坝工程顺利进行,花滩电站在工地进行了现场碾压试验。

表 7 碾压混凝土现场试验配合比表

序号	水泥品种及标号	设计混凝土龄期及标号	水灰比	砂率/%	粉煤灰/%	每 $\text{m}^3$ 混凝土材料用量/ $\text{kg}$										备注
						胶凝材料		砂	石子			水	外加剂			
						水泥	粉煤灰		小石	中石	大石		型号	掺量		
1	夹江加镁 硅水 425 号	$R_{90}$ 150 号	0.576	33	55	74	91	710	443	590	443	95	ZB-1	0.45% 0.743		
2	夹江加镁 硅水 425 号	$R_{90}$ 150 号	0.576	33	55	74	91	710	443	590	443	95	CR	0.3% 0.495		
3	夹江加镁 硅水 425 号	$R_{90}$ 150 号	0.576	33	55	74	91	粉煤灰 21 + 砂 689	443	590	443	95	CR	0.3% 0.495	粉煤灰代 砂 3%	
4	夹江加镁 硅水 425 号	$R_{90}$ 150 号	0.558	32	55	74	91	粉煤灰 21 + 砂 670	451	590	451	92	ZB-1	0.45% 0.743	粉煤灰代 砂 3%	

表 6  $W$  与  $V_c$  值的关系成果表

级配	水泥品种	砂率 /%	水灰比	每 $\text{m}^3$ 混凝土材料用量/ $\text{kg}$					$V_c$ 值 /s
				W	C	F	S	G	
三	夹江硅水 425 号	34	0.563	90	72	88	738	1 472	17
三	夹江硅水 425 号	34	0.625	100	72	88	729	1 454	8
三	夹江硅水 425 号	34	0.656	105	72	88	725	1 444	4

碾压试验块共分六块,其中 I、II、III 块为进行同等铺料厚度(30 cm)下,不同种配合比的试验(对应 1 号、2 号、3 号配合比)。II、IV、V 块为进行同种配合比(2 号)条件下不同铺料厚度的压实试验(对应 30 cm、40 cm、50 cm); I 和 VI 块为进行不同种配合比(1 号、4 号)同等铺料厚度下的层间结合试验。

### 4.2 预定参数的试验成果及评价

#### 4.2.1 对室内试验配比的检验

由于现场试验利用大坝基础常态混凝土浇筑间隙进行,为了不影响大坝浇筑工期,因此所采用的水泥为当时拌和楼料仓中的加镁硅酸盐 425 号水泥、成都热电厂粉煤灰。外加剂选用 ZB-1 和 CR 两种,根据室内试验的部分成果采用了如表 7 的配合比。

经现场试验表明:表 7 中 1 号~ 4 号配合比都是可行的,其混凝土拌和物可碾压性好,抗分离性能较好,从其外观检测,采用粉煤灰代砂的配合比可碾压性相对更好,混凝土拌和物浆体富裕。

#### 4.2.2 拌和参数试验

现场试验采用的是搅拌常态混凝土的 HL 115-3F1500 自落式拌和机搅拌楼。试验时分别对拌和容量、投料顺序、拌和时间进行了多组试验,最终选定拌和容量为  $1.0 \text{ m}^3/\text{罐}$ ,拌和时间 150 s,投料顺序按大石+小石+中石+砂—水泥+粉煤灰—水+外加剂。按此参数拌和结果为拌和物均匀性好,基本不粘罐,混凝土完全合格。

#### 4.2.3 混凝土运输

现场试验混凝土运输采用 T815-2 型自卸汽车直接运输入仓,退铺法卸料。由于试验场离拌和楼很近,因此汽车预先冲洗干净后,在拌和楼与试验场之

间采用铺设草袋以确保汽车入仓干净。试验表明,卸料时若采用两点退卸或一次性快速卸料均能有效防止产生骨料分离现象,使分离减到较小程度。

#### 4.2.4 铺料及平仓

现场试验中铺料采用的是D80推土机平仓,平仓厚度按不同试验块进行一次性铺料,据试验结果表明,这种一次性铺料不论是在骨料分离、压实度、层间结合上均能满足要求。

#### 4.2.5 造缝

现场试验共作了两种方法造缝,即铁皮造缝和人工打孔造诱导缝。试验表明,铁皮造缝在铺料完毕后进行,对振动碾压具有一定的干扰,且较麻烦,造缝不齐;人工打孔法在碾压完毕进行,按所设定缝位划线打孔,便于施工,干扰小,造缝整齐。从结果上看,两种方法均能达到目的,因此在实际施工时采用打诱导孔法。

#### 4.2.6 混凝土碾压

现场试验的碾压工具采用了德国宝马振动碾BW202AD、BW75S和国产CA25振动碾。根据不同配合比、不同铺料厚度的试验碾压参数分析,其结果为:

(1)采用BW202AD,碾压层厚30cm时,碾压遍数按无振2遍,再有振8遍,最后无振2遍,可满足规范要求。

(2)采用BW202AD,碾压层厚40cm时,碾压遍数按先无振2遍,再有振8遍,最后无振2遍,可满足规范要求。

(3)采用BW202AD,碾压层厚50cm时,碾压遍数按先无振动2遍,再有振16遍,最后无振2遍,可满足规范要求。

(4)采用CA25,碾压层厚30cm时,碾压遍数按先无振2遍,再有振6~7遍,最后无振2遍,可满足规范要求。

综上所述,主体工程施工时可根据实际仓号的大小,选择碾压层厚度为30cm或40cm,以先无振2遍,再有振8~10遍,再无振2遍为宜,这样既可保证在混凝土初凝时间内连续碾压,又能达到规范要求,同时可提高生产率。

另外,从碾压试验的情况看,边界部位采用BW75S小振动碾无法压实厚为30cm的混凝土。根据有关振动能量计算,在主体工程碾压时,BW75S型振动碾以碾压15cm层厚为宜。

#### 4.2.7 层间结合试验

现场试验时对层面处理采用了两种方法,即人工凿毛和高压风水冲毛。人工凿毛在混凝土终凝以

后进行,其特点是表层混凝土浪费大,费工费时;高压风水冲毛在混凝土初凝以后、终凝以前进行,其特点是易于操作,不费工费时,但操作不当同样造成表层混凝土流失太多。根据其它工程经验采用混凝土表面处理剂,其费用高、经济性差。因此在实际施工时采用了高压风水冲毛,层面处理好后,进行下一次混凝土浇筑时表层铺1.5cm厚的高一级砂浆,根据最终取样结果显示其层间结合效果良好。

#### 4.3 质量检测

现场试验时的质量检测主要是针对 $V_c$ 值、压实度以及28d抗压强度而言。

##### 4.3.1 $V_c$ 值的检测

现场试验中 $V_c$ 值的检测采用了国产HGC-1型维勃工作度仪。试验时以拌和机出料口 $8 \pm 2$ s控制,同时为了检测 $V_c$ 值变化对压实效果的影响,对相应仓面也作了 $V_c$ 值测试,其结果见表8。

表8  $V_c$ 值检测结果表

部 位	拌和机出口/s	仓面/s	备 注
配合比1号	8.6	9.0	平均值
配合比2号	11.9	12.2	平均值
配合比3号	15.5	15.8	平均值
配合比4号	11.7	11.9	平均值

试验时,由于气温在8~12左右,运距又较近,因此 $V_c$ 值几乎没有什么损失,试验表明,对 $V_c$ 值在8~15s时,压实效果较好,而当 $V_c$ 值大于15s,通过及时调整拌和楼用水量,降低 $V_c$ 值后,压实效果也能得到控制。

##### 4.3.2 压实率的检测

现场试验压实度的检测采用了进口MC-III型和国产的核子密度仪各一台,两台仪器均在试验前通过在标准块下进行过标定,检测近于稳定。从所测得压实度的结果来看,最佳压实度的获得与配合比、 $V_c$ 值、碾压遍数等都有关。

##### 4.3.3 抗压强度检测

现场试验中对不同配合比混凝土进行了7d、28d抗压强度测定,其结果见表9。

表9 抗压强度检测结果表

配合比 编号	石子级配	$V_c$ 值 /s	抗压强度/MPa		备 注 外加剂
			7 d	28 d	
1号	30 40 30	8	7.0	11.1	ZB-1
2号	30 40 30	12	5.13	9.0	CR
3号	30 40 30	15	5.0	9.35	CR
4号	30 40 30	11		11.4	ZB-1

从上表可以看出,两种外加剂比较,混凝土强度以掺ZB-1的较高, $V_c$ 值亦为掺ZB-1的混凝土较小,实际施工中其泛浆和压实效果好,以粉煤灰代砂

3% 与掺相同外加剂比较, 又以粉煤灰代砂 3% 的混凝土较好。

## 5 大坝施工

### 5.1 混凝土入仓方式及道路布置

由于花滩电站坝址两岸坡较陡, 河谷狭窄, 因此对不同高程采用不同的入仓方式。在 842 高程以下采用自卸汽车自拌和楼料直接入仓的方式。在 842 高程以上采用自卸汽车运料至坝肩集料斗, 由卷扬机或局部配真空溜筒的上坝方式。对于入仓道路的布置, 在 842 高程下用原开挖施工公路。其中 800 高程以下由河床内的下基坑道路入仓, 道路随混凝土面升高而升高; 800~ 814 高程采用河床道路入仓, 河床逐步垫高的方式; 814~ 821 高程的混凝土运输采用右岸 813.5 高程的平台; 821~ 830 高程段采用右岸 822 高程处的上山公路入仓; 830~ 842 高程利用上右岸 832.5 平台的道路, 最初在路口处向下挖 2 m, 以后随仓面的升高路面也随之加高。

采用汽车直接入仓时, 汽车由设立在右岸导流洞出口处的跨明渠桥上的高压水洗车, 洗车点至大

坝入口之间道路先采用中粗碎石铺面, 然后上铺一层小石, 增加沥水功能, 以确保大坝内混凝土不被染上污物, 混凝土的工作度及水灰比不受改变。

### 5.2 混凝土的生产

花滩电站混凝土生产拌和系统布置在大坝下游约 300 m 处沿途为宽阔平整的碎石路面。由于距离近, 混凝土在运输过程中  $V_c$  值散失小, 有利于混凝土的振动压实。系统的主要设备为 HL 115-3F1500 自落式拌和机搅拌楼和 HL 90-ZQ 1500 强制式拌和机搅拌楼。根据试验参数确定自落式拌和机拌和时间为 150 s, 强制式为 120 s。两座拌和楼形成自动化拌和系统, 骨料从成品料仓经地弄皮带机上料至拌和楼料仓, 然后经进料层、称料层、搅拌层最后至出料层。

### 5.3 混凝土施工中的配合比

用于本工程的碾压混凝土按三级配  $R_{90} 150$  号设计, 在施工时根据实际情况, 砂率选用 33%, 石子比例为大石 : 中石 : 小石 = 30 : 40 : 30, 碾压混凝土含气量为 1%, 配合比按 85% 的强度保证率设计。对于不同的外加剂其配合比见表 10。

表 10 碾压混凝土施工配合比表

水 泥 品 种	混 凝 土 及 标 号	配 合 比	水 灰 比	砂 率 /%	$V_c$ 值 /s	每 $m^3$ 混凝土材料用量 / $kg \cdot m^{-3}$									
						胶凝材料		砂	小 石	中 石	大 石	水	外 加 剂		
						c	F 55%								
夹江	$R_{90} 150$ 号	1 4 34 9 01	0.58	33	8-12	74	90	711	443	591	433	95	ZB-1 0.5% 0.820		
425 号	$R_{90} 150$ 号	1 4 12 8 56	0.58	33	8-12	77	94	705	439	586	439	99	CR 0.3% 0.513		
硅水	$R_{90} 150$ 号	1 4 09 8 80	0.55	33	8-12	78	95	708	441	588	441	95	AE-2 0.5% 0.865		

### 5.4 混凝土卸料和平仓

大坝碾压混凝土施工时, 卸料按条带进行, 一次性卸料, 每条带卸料完毕立即进行平仓, 平仓时采用 D85 推土机作业。铺料厚度在仓面大的时候按 30 cm 铺料, 仓面小的时候按 40 cm 铺料, 均按一层摊铺, 对局部不平整或骨料分离部位采用人工修整辅助。在铺料时为确保各层铺料厚度均匀, 施工时在仓号四周用醒目的红油漆标注了各层的铺料厚度, 此方法方便施工简易可行, 优点明显。

### 5.5 混凝土碾压

根据现场试验的结果, 对不同铺料厚度按不同的碾压遍数进行。碾压机械主要采用的是 BW 202AD 作业。施工时由现场施工员、技术人员以及操作员同时记录好各条带的碾压遍数, 并控制好碾压方向应垂直水流方向, 若碾压遍数已达到预计遍数而压实度未达到要求, 核子密度测量员应立即通知操作员以及施工员和技术人员, 并监督进行再

碾压, 直至压实度达到要求。

另外, 在碾压过程中要控制好振动碾的行走速度, 控制在 1.0~ 1.5 km/h 以内, 各条带之间的搭接宽度为 10~ 20 cm, 端头部位为 100 cm 左右。

### 5.6 层面结合处理及造缝技术

花滩电站大坝碾压混凝土层面结合处理采用先打毛然后铺一层 200 号砂浆的办法。打毛在最初阶段采用的是 RCC 表面处理剂, 其效果较好, 但费用较高, 经济性差, 而且最终还是要冲洗, 因此最后换成由高压风枪在混凝土初凝后、终凝前冲毛, 或用钢刷直接刷毛的方式, 该办法行之有效, 省事省工。砂浆的摊铺由自卸汽车在仓内进行多点卸料, 然后由人工配手推刮具(自制)铺料, 尽量要求均匀铺厚为 1.5 cm。

对于造缝技术, 根据设计, 花滩大坝共设四条横缝, 不设纵缝, 其中左右坝段横缝为键槽造缝, 只有中间坝段的横缝为打孔造缝。打孔采用的是 CLQ 15

风动潜孔钻,每次造孔在混凝土层间间隙终凝后进行,造孔深度按每次上升高度(一般为3.0m)进行,造孔间距为1.0m,造好孔后用干砂充填。

### 5.7 异种混凝土间的施工

花滩电站大坝设计为“金包银”型式,在实际施工过程中,根据两岸坡的灌浆要求,两岸边坡的常态混凝土先于碾压混凝土施工。碾压混凝土与常态混凝土之间的结合部按常态混凝土回填施工,碾压两层(指小层)浇筑一次常态混凝土,结合部宽按1.0m考虑。常态混凝土与碾压混凝土之间的结合面按施工缝处理,其搭接部位应由振捣器加以振捣密实。

上游面常态混凝土及下游面溢流出口高程以下部份(以上采用预制模板)常态混凝土与碾压混凝土同步交替上升,宽度按设计要求分别为3.0m、1.5m。

### 5.8 模板工艺

由于花滩大坝纵向长度不大,同时又受地形限制,模板多在上下游面使用,而每次上升的高度又控制在3.0m左右,因此模板用量不大,故在实际施工时采用了人工组立定型钢模板,这与上下游面为常态相适应,其拉模筋不干扰振动碾压施工。

在坝下游面非溢流坝段为了减化模板工艺,加快施工进度,采用了预制模板。模板之间采用预留1/4圆弧相接,其拼装后形成天然装饰缝,以减小模板拼接不齐而产生的不良视差。

### 5.9 混凝土养护

在施工间隙期间,碾压混凝土终凝后即开始养护工作。对水平施工层面,养护工作持续至上一层碾压混凝土开始铺筑为止;对永久暴露面,宜养护28d以上。养护时,采用人工洒水的办法,由专人负责,以确保混凝土质量。

## 6 碾压混凝土的质量管理

花滩电站大坝碾压混凝土质量管理首先从健全机构着手,建立项目部质检站,以实验室提供数据为依据,实行班组、工区技术、项目质检员内部三检制。对碾压混凝土的各项技术层层把关,并根据花滩电站的实际情况着重对以下方面进行检测和控制。

### 6.1 原材料的检测与控制

碾压混凝土原材料除按规范规定的要求进行检测外,针对花滩电站工程的实际情况,主要是严格控制粗骨料在40~80mm粒径的超径颗粒,另外,因本地砂样来源广、波动大,实际施工时按砂子细度模数 $\pm 0.2$ ,砂率相应 $\pm 1\%$ 控制,确保了混凝土质量。

### 6.2 拌和物的检测和控制

花滩电站碾压混凝土拌和物的检测主要依据HGC-1型维勃工作度仪测其 $V_c$ 值,其质量控制根据除按规范进行外,主要控制在于常对拌和楼称料及混凝土拌和物均匀性定期标定。 $V_c$ 值的大小根据天气加以控制,一般保持6~8s,小雨调整在15~20s,有风及有太阳时调整在5~7s,以保证在碾压时 $V_c$ 值满足施工规范要求。

### 6.3 碾压混凝土压实密度的检测与控制

现场对碾压混凝土密度的检测采用了进口MC-III型核子密度仪。该仪器有散射和透射两种测量法。电站大坝施工时主要采用导向板打孔透射法测压实密度,每个孔按三个不同的测量深度测得压实密度和相对压实率,然后取其平均值作为测量最终结果。测点的选择为每一条带至少一个检测点,每铺筑100m<sup>2</sup>至少有一个检测点,每层至少3个检测点。根据检测结果随时反馈到技术部和实验室以及现场技术人员,以便及时调整碾压遍数及配合比。

花滩电站大坝为重力式碾压混凝土坝,其碾压混凝土设计密度值为2.42g/cm<sup>3</sup>,实际控制中以相对压实率大于98%作为控制标准。

## 7 结 论

碾压混凝土作为本世纪的一项新技术、新工艺,其特点在花滩电站大坝工程施工中主要表现为:

(1)快速:由于坝体不分纵缝,减少横缝,模板工艺相对减化,再加之混凝土水化热低以及温峰滞后,因此一次浇筑仓号加大,而且碾压混凝土多为连续入仓,快速上升,因此就大大加快了施工进度。

(2)机械化程度高:碾压混凝土的整个工艺从毛料开采—成品料生产—拌和运输—平仓碾压,均采用机械化作业,这样就加快了施工进度,提高了经济效益,保证了工程质量。

(3)经济:碾压混凝土的经济性主要在于其高掺粉煤灰。一般来说粉煤灰的出厂价远低于水泥出厂价,若运费对粉煤灰的经济不构成影响,则显然每立方米混凝土单价就远低于常态混凝土。

综上所述,碾压混凝土筑坝作为我局的一项新技术、新工艺,已在花滩电站实际施工中充分显示其优越性。

作者简介

刘 强 男 中国水利水电第十工程局二分局 助理工程师

(收稿日期:1998-06-11)

## ABSTRACT

### System Science and Technology

#### —Reviews on History and Tentative Plan for Future Reform in Our Bureau

Ma Shimian

(Chinese 10<sup>th</sup> Construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract** The paper describes great changes occurred with system reform and development of science and technology in the 10<sup>th</sup> Bureau. The views and suggestions are presented in relation to property right, improvement of internal structure, reform of three systems and prosperity of the Bureau by means of science and education.

**Key words** the 10<sup>th</sup> construction bureau, history, reform, tentative plan

#### Application of Tunneling Machine in Irrigation Project for Water Diversion from Datonghe to Qinwangchuan

Xue Jihong

(Chinese 10<sup>th</sup> construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract** Main parts, backup, auxiliary facilities and construction organizations for tunneling machine used in irrigation project for water diversion from Datonghe to Qinwangchuan are introduced. The problems of the tunneling machine in construction and improvement in construction method are summarized. Rapid construction rates will be achieved by using tunneling machine in long tunnel at hydropower project.

**Key words** double shield, tunnel boring machine, backup, construction technique, construction organizations, construction method

#### Application of RCC for Dam Construction at Huatan Hydropower Station

Liu Qiang

(Chinese 10<sup>th</sup> construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract** RCC technique for dam construction is playing an important role with its unique advantages. The paper gives a description in detail on RCC raw material test, mix design, intermediate test and selection of various construction methods and parameters in construction of the Huatan RCC dam.

**Key words** RCC, mix design, Vc value, compactness, quality

#### Damage Analysis on Material for Hydraulic Metal Structures

Nai Deyuan

(Chinese 10<sup>th</sup> construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract** Damage ratio of material for hydraulic metal structures during manufacture is analyzed according to practical experience. The proposed damage ratio is provided for the reference to manufactory.

**Key words** penstock, gate, damage ratio of steel

#### Rapid Construction for Underground Powerhouse at Taipingyi Hydropower Station

Du Yaling

(Chinese 10<sup>th</sup> construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

**Abstract** The underground powerhouse at the Taipingyi hydropower station is consisted of 28 caverns with large size, many cavern intersections, large amount of rock bolts and shotcrete and crane beams on rock wall. The actual construction period for underground project (22.5 months) meets that specified in the Contract two months ahead of time, in which tunnel excavation, open cut, rock bolts, shotcrete were completed and 2 x 125t overhead cranes were installed. 816t penstock installation was completed in 59 days. Construction period for tailrace tunnel meets that specified in the Contract one year ahead of time. The project is excellent. No serious accident happened during construction. For the 10<sup>th</sup> Bureau, the internal mechanism reform is deepened, technology and management is improved by construction of such large and complex underground powerhouse.

**Key words** Taipingyi hydropower station, underground powerhouse, rapid construction