

# 白溪水库大坝二期面板聚丙烯纤维混凝土施工

劳俭翁

(中国水利水电第十二工程局 浙江天台 310072)

**摘要** 白溪水库钢筋混凝土面板堆石坝二期面板总面积为 2.63 万 m<sup>2</sup>, 浇筑聚丙烯纤维混凝土 1.1 万 m<sup>3</sup>, 施工期从 2000 年 9 月 20 日至 12 月 5 日, 历时 77d。聚丙烯纤维混凝土比普通混凝土在防裂、阻裂、增韧以及提高混凝土的抗冻、抗渗、抗冲磨、抗冲击、抗老化等方面具有十分优越的性能。它首次在白溪水库二期面板应用, 防裂效果明显, 获得十分宝贵的施工经验, 填补了国内的空白。

**关键词** 堆石坝 聚丙烯纤维混凝土 面板施工 白溪水库

## 1 概述

白溪水库拦河坝为钢筋混凝土面板堆石坝, 坝顶高程 177.4m, 最大坝高 124.4m, 坝顶长 398.0m, 顶宽 10m。上游坝坡 1:1.4, 下游平均坝坡 1:1.52。

面板共分 33 块, 除 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、33<sup>#</sup> 板宽小于 12m 以外, 其余均为 12m 宽, 面板厚度由坝脚(▽53)66.1cm 渐变至坝顶(▽174.25)的 30cm, 混凝土面板最大斜长 206.41m, 面板表面积 4.93 万 m<sup>2</sup>, 混凝土设计总量 2.17 万 m<sup>3</sup>。

面板混凝土分两期施工, 一期面板混凝土设计高程 128.5m, 最大斜长 128.09m, 混凝土于 2000 年 1 月 10 日浇筑结束。二期面板为▽128.5m 以上部分, 最大斜长 78.33m, 混凝土于 2000 年 9 月 20 日开浇至 12 月 5 日结束, 历时 77d, 实际浇筑混凝土 1.1 万 m<sup>3</sup>。

聚丙烯纤维混凝土已在国内外军事、房建、水利等工程中已得到了广泛的应用。这一新材料的应用在我国才刚刚起步, 尤其在水利水电工程中的应用还是空白。白溪水库大坝二期面板工作条件相对较为恶劣, 为改善面板混凝土性能、提高大坝面板工作寿命, 白溪水库建设指挥部有意在白溪大坝面板中采用聚丙烯纤维混凝土。经过大量室内试验, 试制出适用于大坝面板的混凝土配合比。为验证聚丙烯纤维混凝土在大坝面板上施工适宜性, 于 2000 年 9 月在二期面板的少量板块上进行施工工艺性试验。先进

行 1<sup>#</sup> 块施工, 在总结经验的基础上再进行 3<sup>#</sup> 块和 9<sup>#</sup> 块的施工后, 后经专家组评定, 建议在二期面板上全面应用。

通过试验块的经验总结, 对试验块暴露出的问题, 如坍落度、混凝土运输时间控制、压面困难、工序衔接等问题在后续块施工中采取了相应的对策, 并对混凝土拌制方式进行改进, 既保证了混凝土质量, 又大大提高工效。为进一步检验聚丙烯掺量多少对混凝土质量及施工工艺的影响, 于同年 11 月 30 日在 28<sup>#</sup> 块上进行了增加聚丙烯掺量的对比试验。

## 2 面板混凝土配合比

### 2.1 面板混凝土设计指标

混凝土强度等级为 C25, 抗渗标号 S8, 抗冻标号 D100, 含气量 4%~5%, 机口坍落度 6cm~8cm, 二级配混凝土, 最大骨料粒径 <40mm。

### 2.2 面板混凝土配合比

在面板试验块施工前, 于 9 月 19 日在工地试验室对南科院 A-3 配合比进行试拌, 拌制方量 0.0398m<sup>3</sup>, 测试混凝土坍落度偏小, 不能达到 6cm~8cm 要求, 加水 300cc 后, 重新拌制, 实测坍落度为 6.7cm。

通过试拌对 A-3 配合比进行调整, 并经南科院复核, 调整后的混凝土配合比见表 1。

表 1 聚丙烯混凝土设计配合比

编号	水灰比	砂率%	坍落度 cm	每 m <sup>3</sup> 混凝土材料用量(kg/m <sup>3</sup> )								
				水泥	粉煤灰	聚丙烯	砂	卵石 mm	Bly-I1%	NMR0.75%	水	
A-3	0.425	37	6~8	254	45	0.9	670	595	595	2.99	2.24	127

### 3 混凝土施工

#### 3.1 现场施工准备

##### 3.1.1 混凝土拌和系统布置

坝顶填筑至▽173.38m后,宽约15m,长约400m,根据其长条形地势,采用一条龙布置方案,将100m的拌和系统长龙布置在坝顶。本系统配置0.75m<sup>3</sup>拌和机3台、16m长皮带机2台、电子秤配料机4台、ZL30装载机1台。

##### 3.1.2 坝面布置

坝坡上布置2台钢筋运输台车,2台3t卷扬机,2套无轨滑动模板,4台5t卷扬机。每套滑模采用2台卷扬机牵引,每台钢筋台车用1台卷扬机牵引,牵引系统由卷扬机、配重块和滑轮组成。坝面布置有混凝土卸料受料斗,后面连接溜槽,控制混凝土入仓,斜溜槽设置在钢筋网上,并用铁丝固定,每个仓面设置两条溜槽。

#### 3.2 施工工艺

施工工艺见工艺流程图1。

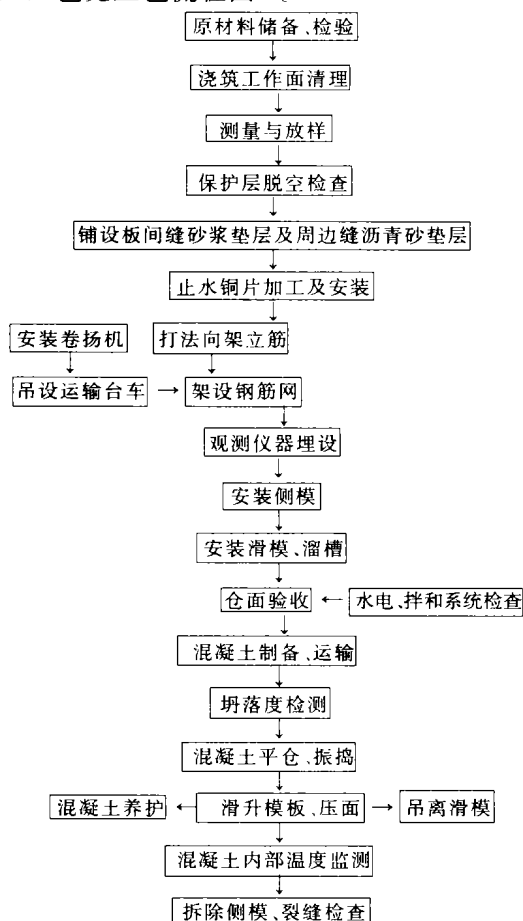


图1 单块面板施工工艺流程框图

#### 3.3 混凝土浇筑

##### 3.3.1 混凝土拌制

###### (1) 混凝土拌制方式

为便于计量,每拌混凝土按0.591m<sup>3</sup>配料(三袋水泥)。砂石料称量由电子秤完成,水泥、粉煤灰、聚丙烯、外加剂人工投放,各种材料设专人投放,并做好记录。

根据级配报告,混凝土拌制时间为5min,先干拌1min,后湿拌4min,即先按中石、小石、水泥、粉煤灰、聚丙烯顺序进料,再干拌,然后加水及液体外加剂,再湿拌。

经过试验块和前期几块面板施工,发现先干拌、后湿拌的拌制方法存在以下问题:

1) 混凝土坍落度变化较大。因干拌时水泥、聚丙烯、黄砂、粉煤灰粘贴在搅拌机筒壁上,拌制后的混凝土坍落度较大。经敲打筒壁后,粘在筒壁上的砂浆掉下,然后加入新的拌和料,而加水量不变,拌制后的混凝土坍落度又变小,故混凝土坍落度难控制。

2) 环境污染严重。干拌时水泥、粉煤灰、聚丙烯飞扬,使工作环境受到严重污染,并造成材料损失。

3) 生产效率低。为减少粘贴在搅拌筒壁上水泥砂浆,每次进料前都要用榔头敲打,再进料拌制混凝土,且经常停机,用人工凿除刀片上的砂浆。

针对上述问题,我局提出取消干拌程序,直接湿拌。为慎得起见,10月13日,在现场做干拌1min,湿拌4min与湿拌4min的对比试验,试验成果见表2。

表2 干拌湿拌对比试验成果表

拌和形式与时间	抗压强度(MPa)		均匀性 (kg/m <sup>3</sup> )	坍落度(cm)		
	3d	28d		第一次	第二次	第三次
干拌1min、湿拌4min	24.2	39.5	0.905	6.9	5.3	3.2
湿拌4min	24.1	42.7	0.89	6.4	6.1	6.5

从表2试验成果看,湿拌4min能满足设计要求,为寻找最佳搅拌时间,10月23日,在坝顶拌和系统做湿拌时间的对比试验,检测结果见表3。

表3 湿拌时间对比试验成果

时间	拌和时 间 min	气温 ℃	水温 ℃	砼温 ℃	实测坍 落度 cm	机口 编号	均匀性 g/kg	机尾 编号	均匀性 g/kg	抗压 强度 MPa
14:18	4	28	24	25.5	4.5(目测)					
14:30	4	28	24	25.5	4.2	1#	0.3276	2#	0.3403	41.4
14:50	4	28	24	25.5	5.1	3#	0.3647	4#	0.3955	
15:00	5	27	24	26.5	3					
15:10	5	27	24	26.5	3.2	5#	0.3608	6#	0.3774	43.4
15:22	5	26	24	26.5	3.4	7#	0.3714	8#	0.3800	

经过上述试验,最终选择湿拌5min方式拌制混凝土。

### (2) 坍落度调整

坍落度大小直接影响混凝土的运输、振捣、强度及外观质量。坍落度过大混凝土运输过程中易分离,混凝土强度达不到设计值,且出模后混凝土易下塌,表面平整度差;坍落度过小混凝土在溜槽中易发生堵塞现象,滑模困难,入仓后难以振捣,滑模时阻力大,易拉裂。因该混凝土坍落度损失较快,现场试验室的试拌结果1h后坍落度为零。实际施工中坍落度0.5h后损失1/2。为寻求最佳坍落度,在施工过程中经常检测机口和仓面坍落度,并结合施工时振捣、滑模、压面等情况及时调整机口坍落度。将机口坍落度控制在4cm~6cm范围内,比配合比设计值低2cm。

### 3.3.2 混凝土运输

混凝土运输由场外运输和仓面运输两部分组成。因拌和系统布置在坝顶,运距较短,故采用0.4m<sup>3</sup>机动翻斗车(工程车)完全满足砼运输质量,途中运输在15min之内。仓面采用溜槽运输,为避免因日晒、雨淋而影响砼质量,同时也为防止飞石伤人,溜槽顶面采用防雨布遮盖。

### 3.3.3 混凝土浇筑

#### (1) 混凝土入仓、振捣

工程车将成品混凝土送至所浇块坝顶受料斗,由溜槽至浇筑仓面,采用人工移动溜槽端部,不断调整混凝土入仓部位,使仓面混凝土面高度均匀,并辅以人工平仓。入仓后停留片刻,再进行振捣,出模后的平整度较好。仓面设 $\phi 30\text{mm}$ 和 $\phi 50\text{mm}$ 两种振捣器,其数量比普通混凝土振捣多1台~2台,振捣时严格按照要求操作,确保混凝土内部密实。

#### (2) 模板滑升

模板滑升速度的控制要根据入仓强度、振捣质量、坍落度大小,是否抬模及出模后是否存在塌坍现象等因素确定,1#试验块平均滑升速度1.711m/h,3#试验块平均滑升速度1.721m/h,最大滑升速度1.898m/h,最小1.576m/h。后续块施工最大滑升速度3.12m/h,最小0.71m/h,平均1.92m/h。

#### (3) 压面

混凝土出模后立即进行一次压面,待混凝土初凝结束前完成二次压面。从实际施工情况看,此种混凝土比普通混凝土抹面难度大,工作效率低,抹

面泥工增加1倍(安排6人~7人),不易使混凝土面光滑平顺。

### 3.3.4 养护

二次压面结束后立即覆盖塑料薄膜,终凝后掀掉薄膜,覆盖草帘,并进行不间断的洒水养护。

## 4 28# 试验块施工

为进一步检验聚丙烯掺量多少对混凝土质量及施工工艺的影响,在28#块上进行了掺1.2kg/m<sup>3</sup>聚丙烯混凝土试验。

### 4.1 混凝土设计配合比

28#试验块采用A-4配合比,由南科院提供,见表4。

表4 设计配合比

编号	水灰比	砂率 %	坍落度 cm	每 m <sup>3</sup> 混凝土材料用量(kg/m <sup>3</sup> )								
				水泥	粉煤灰	聚丙烯	砂	卵石 mm	Bly-1	NMR	水	
							5~20	20~40	1%	0.75%		
A-4	0.41	37	6~8	253	45	1.2	686	610	610	2.98	2.24	123

### 4.2 现场生产性试验

11月24日,在坝顶做A-4配合比生产性试验。试验结果表明:该种混凝土几乎无泌水,保水性好,坍落度30min后损失近1/2;砂浆富余,易振捣;抹面难度比A-3调配合比混凝土大一些;聚丙烯纤维的均匀性控制在-13%~+7.5%范围之内,平均值为1.17kg/m<sup>3</sup>,误差为-2.5%。

### 4.3 试验块施工

11月30日,在28#试验块使用A-4配合比进行混凝土浇筑,并做了相关试验。

## 5 混凝土检测成果

### 5.1 现场施工检测成果

施工阶段检测项目包括坍落度、温度、含气量;二期面板检测结果见表5。

表5 混凝土浇筑时温度、坍落度、含气量测试汇总表

测试项目	设计值	实测平均值	实测最大值	实测最小值	频数
气温(°C)		15.1	32.5	4.0	577
水温(°C)		16.7	28	7.5	576
混凝土温(°C)		18.8	29.5	10.5	575
坍落度(°C)	6~8	5.7	8.2	2.9	419
含气量(%)	3~5	4.56	6.0	3.6	81

## 5.2 纤维均匀性检测

### 5.2.1 3# 试验块

在 3# 试验块浇筑时对纤维均匀性作了检测,取混凝土样品重 2310g,筛分后经烘干纤维称重约 0.89g,含量约为 0.88kg/m<sup>3</sup>,从样品中观测纤维在混凝土中分布较均匀,但未做单位体积纤维根数测定。

## 5.3 混凝土力学性能检测

### (1) 试验块混凝土力学性能检测

在 1# 试验块用 A-3 调配合比做一组掺与不掺纤维的对比试验。试验结果见表 6。从表中可以看出,掺纤维后的混凝土力学性能指标明显好于不掺纤维的混凝土。

表 6 1# 块混凝土力学性能对比试验成果表

级配编号	坍落度 cm	抗压强度 MPa		劈拉强度 MPa		抗冻 标号	抗渗 标号
		3d	7d	28d	7d		
A-3 调级配	3.0	24.2	30.6	39.5	1.62	2.64	D>100 S16
A-3(不掺纤维)	3.6	20.0	25.9	34	1.41	1.70	D<100 S16

在 28# 块做了增加纤维掺量的试验,纤维掺量由 0.9kg/m<sup>3</sup> 增至 1.2kg/m<sup>3</sup>,其力学性能指标见表 7。

表 7 28# 块混凝土力学性能试验成果表

级配编号	抗压强度 MPa			劈拉强度 MPa			抗折 MPa	抗冻 标号	抗渗 标号
	3d	7d	28d	60d	90d	7d			
A-4	20.7	30.0	37.5	39.4	42.7	1.6	2.25	3.4	D>100 S>8

### (2) 二期面板混凝土质量评定

二期混凝土质量评定结果见表 8

表 8 II 期面板混凝土质量评定结果

	抗压强度(MPa)	抗渗(s)	抗冻(D)	劈裂抗拉(MPa)	抗折(MPa)
最大值	50.1	>14	>150	2.94	3.4
最小值	29.2	>8	>100	2.1	
平均值	38.8				
组数(n)	108	7	6	15	1

## 6 结 语

聚丙烯纤维混凝土施工工艺虽不复杂,但仍有别于常规混凝土,在施工过程中应注意以下几个问题:

(1)在二期面板开浇前,我局对班组长以上的施工及管理人员进行了详细的技术交底,避免盲目施工,同时实施机关干部值班制度,及时解决施工问题。

(2)严把混凝土拌和材料计量关,除砂石料由电子秤计量外,水泥、粉煤灰、聚丙烯纤维、外加剂均采用人工投放,为避免误投,采用专人投放,确保计量准确。

(3)精心施工,混凝土拌和均匀,振捣密实及时做好面板混凝土的养护及保护工作。混凝土的内在质量及各项指标均满足设计要求。

(4)纤维混凝土宜在 30℃ 以下气温施工,坍落度最佳控制范围为:出机口 4cm~6cm,仓面 2cm~3cm,此值可保证运输、入仓、振捣、滑模及抹面的顺利进行。

(5)每 m<sup>3</sup> 掺 1.2kg 纤维比掺 0.9kg 纤维有利于提高混凝土抗裂性能,但出模后抹面比较困难。

(6)试验表明,掺入聚丙烯纤维后能减少混凝土干缩约 7%,开裂指数约 60%,提高极限拉伸约 8%,降低弹性模量约 9%,提高弯曲韧性系数 35%,抗冻等级从 D100 提高到 D200。掺入改性聚丙烯特种纤维可以明显减少混凝土收缩和开裂,改善混凝土的变形性能并提高耐久性。

## ⑥ 金银台水利枢纽开工

该工程是四川省“十五”重点项目,也是全国唯一在内陆河流进行渠化的试点工程。工程位于四川省南充、阆中市境内,是嘉陵江干流规划十六级电站中的第五个梯级。上游紧接沙溪场梯级,下游与已建成的红岩子梯级相接。是经航运、发电灌溉、环境治理、旅游开发等综合利用工程。金银台航电枢纽工程由泄洪闸、冲砂闸、发电厂房、左右挡水坝和船闸五部分组成。总装机容量 120MW,年发电量 5.8 亿千瓦时。库容 1.6 亿 m<sup>3</sup>。