

# 聚丙烯纤维混凝土在白溪水库 II期面板上的应用

劳俭翁, 郭荣卿

(中国水利水电第十二工程局, 浙江天台 317200)

**【摘要】** 白溪水库钢筋混凝土面板堆石坝II期面板总面积为2.63万 $m^2$ ,浇筑聚丙烯纤维混凝土1.1万 $m^3$ ,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。首次在白溪水库II期面板应用,防裂效果明显,获得了十分宝贵的施工经验。

**【关键词】** 白溪堆石坝;聚丙烯纤维混凝土;应用

中图分类号:TV641.43+TV431.3(255)

文献标识码:B

文章编号:1000-0860(2003)02-0040-04

## 1 概述

白溪水库是一座以供水、防洪为主,兼顾发电、灌溉等具有综合利用效益的大(2)型水利枢纽工程。拦河坝为钢筋混凝土面板堆石坝,坝顶高程177.40m,最大坝高124.4m,坝顶长398.0m,顶宽10m。上游坝坡1:1.4,下游坝坡1:1.25。

面板共分33块,除\*1,\*2,\*33块板宽小于12m以外,其余均为12m宽板块,面板厚度由坝脚(高程53.00m)66.1cm渐变至坝顶(高程174.25m)的30cm,混凝土面板最大斜长达206.41m,面板表面积4.93万 $m^2$ ,混凝土设计总量2.17万 $m^3$ 。

面板混凝土分两期施工, I期面板混凝土设计高程128.50m,最大斜长128.09m,混凝土于2000年1月10日浇筑结束。

II期面板为高程128.50m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 $m^3$ 。

聚丙烯纤维混凝土在国外军事、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有待进一步试验论证。为此,宁波白溪水库建设指挥部委托水利部南京水利科学研究院(南科院)针对白溪大坝II期面板混凝土进行室内试验研究,并将阶段成果在溢洪道进水渠底板进行施工试验,把施工中存在的问题反馈给南科院,然后进行配合比调整。并于2000年8月提供最终配合比。为验证聚丙烯纤维混凝土在大坝面板上施工适宜性,于同年9月在II期面板的少量板块上进行施工工艺性试验。先进行\*1块施工,在总结经验的基础上再进行\*3块和\*9块的施工。经专家组评定,建议在II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,如坍落度及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11月30日在\*28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,抗渗等级W8,抗冻等级F100,含气量4%~5%,机口坍落度6~8cm,二级配混凝土,最大集料粒径<40mm。

### 2.2 面板混凝土配合比

在面板试验块施工前,于2000年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0.0398 $m^3$ ,测试混凝土坍落度偏小,不能达到6~8cm要求,加水300mL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。

## 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

坝顶填筑至高程173.38m,宽约15m,长约400m,根据其

收稿日期:2002-05-13

作者简介:劳俭翁,男,45岁,副总工程师,高级工程师。

表1 聚丙烯混凝土设计配合比

编号	水灰比	砂率/%	坍落度/cm	每立方米混凝土材料用量/kg·m <sup>-3</sup>								
				水泥	粉煤灰	聚丙烯	砂	卵石		Bly-I 1%	NMR 0.75%	水
								5-20 mm	20-40 mm			
A-3	0.425	37	6-8	254	45	0.9	670	595	595	2.99	2.24	127

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,均为14m,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2条溜槽.

3.2 施工工艺

施工工艺流程见图1.

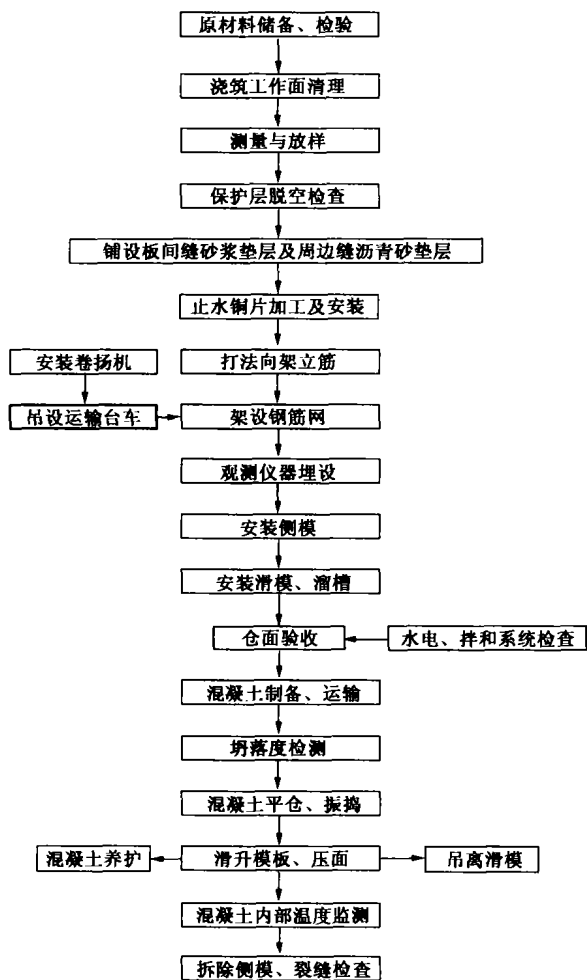


图1 单块面板施工工艺流程框图

3.3 混凝土浇筑

3.3.1 混凝土拌制

3.3.1.1 混凝土拌制方式的选择

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,故混凝土坍落度难以控制.(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)产生效率低.为减少粘在搅拌筒壁上水泥砂浆,每次进料前都要用榔头敲打一阵后,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.为慎重起见,于2000年10月13日,在现场做先干拌1min后,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

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1次	第2次	第3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,于2000年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 /°C	水 温 /°C	混凝土 温度 /°C	实测坍 落度 /cm	机口 编号	均匀 性 /g·kg <sup>-1</sup>	机尾 编号	均匀 性 /g·kg <sup>-1</sup>	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.

3.3.1.2 坍落度的调整

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,滑行困难,入仓后难易振捣,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4~6cm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2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)完全满足混凝土运输质量,途中运输在15min之内。仓面采用溜槽运输,为避免因日晒、雨淋而影响混凝土质量,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

#### 3.3.3.1 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,并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 $\phi 30$ 和 $\phi 50$ 两种振捣器,其数量比普通混凝土振捣多1~2台,振捣时严格按照要求操作,确保混凝土内部密实。

#### 3.3.3.2 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坝现象等因素确定,\*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。

#### 3.3.3.3 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6~7人),且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试验块上进行了掺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。

### 4.2 现场生产性试验

2000年11月24日,在坝顶做A-4配合比生产性试验。试

表4 设计配合比

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

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

2000年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。详见第5节。

## 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。Ⅱ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

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/℃		15.1	32.5	4.0	577
水温/℃		16.7	28	7.5	576
混凝土温度/℃		18.8	29.5	10.5	575
坍落度/cm	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

在#3试验块浇筑时对纤维均匀性做了检测,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

#### 5.3.1 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

表6 #1 试验块混凝土力学性能对比试验成果

级配 编号	坍落度 /cm	抗压强度/MPa			劈拉强度/MPa		抗冻 等级	抗渗 等级
		3d	7d	28d	7d	28d		
A-3 调级配	3.0	24.2	30.6	39.5	1.62	2.64	>F100	>W12
A-3 (不掺 纤维)	3.6	20.0	25.9	34	1.41	1.70	<F100	>W12

学性能指标明显好于不掺纤维的混凝土。

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

表 7 #28 试验块混凝土力学性能试验成果

级配 编号	抗压强度/MPa					劈拉强度/MPa		抗折强 度/MPa	抗冻 等级	抗渗 等级
	3 d	7 d	28 d	60 d	90 d	7 d	28 d			
A-4	20.7	30.0	37.5	39.4	42.7	1.6	2.25	3.4	>F100	>W8

### 5.3.2 II 期面板混凝土质量评定

二期面板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

项 目	抗压强度 /MPa	抗渗 等级	抗冻 等级	劈裂抗拉强度 /MPa	抗折强度 /MPa
最大值	50.1	>W12	>F150	2.94	3.4
最小值	29.2	>W8	>F100	2.1	
平均值	38.8				
组数(n)	108	7	6	15	1

## 6 结 语

在 II 期面板开浇前, 我局对班组长以上的施工及管理人员

(责任编辑 欧阳越)

(上接第 39 页)

### 3 在紫坪铺水利枢纽工程的验证和预测

该工程 #1、#2 导流隧洞 III、IV 类围岩开挖进尺情况, 其影响因子为: 围岩为 III、IV 类时, 开挖跨度 13.0 m, 采用三臂钻钻孔, 施工习惯暂按正常考虑, 确定其影响因子分别划入  $X_{12}$ ,  $X_{23}$ ,  $X_{33}$ ,  $X_{42}$ , 从表 4 查出, 相应的频数比分别为 0.32, 0.32, 0.56, 0.40, 将它们与  $X_{12}$ ,  $X_{23}$ ,  $X_{33}$ ,  $X_{42}$  所对应的模糊分级频率用矩阵乘法多因子线性综合, 即:

$$\begin{bmatrix} 0.32 & 0.32 & 0.56 & 0.40 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 0.30 & 0.41 & 0.29 \\ 0.18 & 0.34 & 0.48 \\ 0.13 & 0.40 & 0.47 \\ 0.32 & 0.49 & 0.20 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0.354 & 0.660 & 0.590 \end{bmatrix}$$

从该例的综合结果看出, 以 0.660 数值最大, 故该隧洞在 III、IV 类围岩条件下, 采用多臂钻造孔时, 按正常施工习惯, 其合理循环进尺为正常循环 ( $2 \leq W \leq 4$ ), 这一预测结果与该工程初步设计阶段采用工程类比法, 以及施工阶段承包商考虑多种综合因素后确定的进尺参数 ( $W=2.5 \sim 3.0$  m) 一致。

该工程 #1、#2 导流隧洞均穿过  $F_3$  大断层 (宽 75~90 m), 属 V 类围岩, 上部开挖断面为 14.1~7.0 m, 采用中心留核部, 环形开挖, 手风钻打孔, 管棚法施工, 本模型预测的正常循环进尺为

进行了详细的技术交底, 并对一期面板施工工艺欠佳工序提出改进方案, 使操作人员心中有数, 避免盲目施工, 并实施机关干部值班制度, 及时解决施工问题。

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。

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。混凝土的内在质量是好的, 各项指标均满足设计要求。

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 4~6 cm, 仓面 2~3 cm, 此值可保证运输、入仓、振捣、滑模及抹面的顺利进行。

每立方米掺 1.2 kg 纤维比掺 0.9 kg 纤维对提高混凝土抗裂有好处, 但出模后抹面比较困难。

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 F100 提高到 F200。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和提高耐久性。

$W=1.0 \sim 1.5$  m, 当循环进尺  $W > 2.0$  m 时, 其施工习惯倾向冒进。该断层在前期开挖中, 循环进尺达到 2.5~3.0 m, 虽然将小管棚改为大管棚, 但由于进尺过长, 出现来不及进行初期支护而塌方的事故, 对导流洞工期造成较大影响。该断层后期施工中, 循环进尺均控制在 1.5 m 以内, 施工趋于安全, 开挖及支护正常化。

导流隧洞施工支洞围岩主要为 II 类, 开挖断面为 8 m × 7 m, 采用三臂钻钻孔, 按上述方式采用本模型对该工程的循环进尺进行评价, 当循环进尺  $W=3.0 \sim 3.5$  m 时, 属正常施工习惯、合理循环进尺; 当循环进尺  $W > 3.8$  m 且接近 4 m 时, 其施工习惯倾向冒进。该支洞施工过程中, 多数循环进尺接近 4 m, 出现较多的超欠挖等不利情况, 证明该模型回报结果正确。

## 4 结 语

在本方法中, 考虑到循环进尺级别划分的模糊性, 探索并设计出模糊分级隶属函数, 这样, 落入某决策因子级别中的个例所对应的某循环进尺级别的分级频率不再是分明的, 而是模糊频数。这意味着, 一个个例不仅代表它本身, 也代表了与之相近的一群, 故模糊分级统计更能反映预测的循环进尺的实际合理性。应用该模型对二滩、大桥、漫湾、隔河岩等若干工程的隧洞开挖循环进尺进行回报, 其结果与实际施工情况相吻合, 说明该方法对地下工程施工具有一定的指导意义。

(责任编辑 林雁庆)