

# 冬期混凝土施工快速保温方案的研究

刘烈志, 高卓辉

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

**摘要:** JC 水电站 20 号、21 号导流明渠改建坝段集中在冬季低温时段施工, 受外界气候环境影响很大, 温控防裂难度大, 需要优选大坝混凝土保温方案以确保大坝混凝土防裂安全, 保障混凝土的整体施工质量。从工程实际出发, 阐述了对混凝土冬期施工快速保温方案进行的研究, 所取得的经验可为后续类似工程借鉴。

**关键词:** JC 水电站; 冬期施工; 快速保温; 聚苯乙烯保温板; 聚氨酯

**中图分类号:** TV7; TV52; TV43

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2023)03-0063-04

## Study on Rapid Thermal Insulation Scheme for Concrete Construction in Winter

LIU Liezhi, GAO Zhuohui

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066)

**Abstract:** The #20 and #21 dam sections of JC Hydropower Station, which are reconstructed from diversion open channels, are constructed in the low temperature season in winter. Due to the great impact of the external climate environment, it is difficult to control temperature and prevent cracking. It is necessary to optimize the dam concrete insulation scheme to ensure the crack prevention safety of dam concrete and ensure the overall construction quality of concrete. Based on the engineering practice, this paper introduces the research on the rapid insulation construction scheme in winter, which provides reference for the application in subsequent similar projects.

**Key words:** JC Hydropower Station; winter construction; rapid insulation; polystyrene insulation board; polyurethane

### 1 概述

JC 水电站是雅鲁藏布江干流中游桑日至 JC 峡谷段流域规划 5 级电站中的第 5 级, 位于西藏自治区山南地区 JC 县境内, 平均海拔 3 200 m, 为 II 等大(2)型工程, 拦河大坝为混凝土重力坝。

JC 水电站位于西藏高寒高海拔地区, 多年平均气温 9.2℃、极端最高气温和极端最低气温分别为 32℃ 和 -16.6℃, 气温年变幅与日变幅大, 呈现出冬春季节干燥多风, 年冻融循环次数多, 气温骤降频繁等气候特点。该大坝 20 号、21 号坝段为导流明渠改建坝段, 为满足电站下闸蓄水的整体工期要求, 集中在低温季节进行混凝土浇筑施工, 导致施工期内受外界气候环境影响很大, 温控防裂难度大, 因此, 迫切需要优选大坝混凝土保温方案, 以确保大坝混凝土防裂安全, 保障混凝土的整体施工质量。本文阐述了大坝混凝土保温方

案进行的研究。

### 2 保温施工方案的选定

针对该电站 20 号、21 号导流明渠改建坝段所处的低温气候环境条件, 按照混凝土温控技术及规范要求(混凝土内外温差应 $\leq 16^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>, 拆模后的混凝土表面需紧贴保温材料使得混凝土表面放热系数 $\beta \leq 3.1 \text{ kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ <sup>[2]</sup>), 设计单位在改建坝段选取试验仓位初拟了两种保温方案: (1) 在试验仓位的下游面拆模后粘贴 5 cm 厚聚苯乙烯保温板, 其防火等级不低于 B1 级, 导热系数 $\leq 0.034 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ 的方案; (2) 待试验仓位上游面混凝土拆模后均匀喷涂 5 cm 厚聚氨酯, 其防火等级不低于 B1 级, 导热系数 $\leq 0.024 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ 的方案<sup>[3]</sup>。两种方案中的横缝面拆模后均采用 5 cm 厚聚乙烯保温卷材封闭覆盖保温, 水平分仓仓面均采用一层塑料薄膜和 5 cm 厚聚苯乙烯保温卷材压紧覆盖, 并在仓面中心位置埋设

收稿日期: 2023-03-18

温度计和距上下游混凝土结构线边缘 10 cm 位置埋设温度计进行测温的方式,通过对保温施工效率和保温效果进行验证后优选最佳方案。

## 2.1 粘贴聚苯乙烯保温板方案

### 2.1.1 保温板的选取

聚苯乙烯保温板选用拉萨梓欣新型材料科技

有限公司生产的绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫板,其规格为 1 200 mm×600 mm×50 mm,其必须存储在干燥、通风、阴凉处,运输过程中严禁挤压、碰撞,进场使用前需进行委外第三方检测且其检测结果必须满足设计要求。聚苯乙烯保温板主要性能指标见表 1<sup>[4]</sup>。

表 1 聚苯乙烯保温板主要性能指标表

序号	检测参数	标准要求	检测结果	单项判定
1	外观质量	表面平整,无夹杂物,颜色均匀,不应有明显影响使用的可见缺陷,如气泡,裂口,变形等	表面平整,无夹杂物,颜色均匀,无可见缺陷,如气泡,裂口,变形等	合格
2	厚度/mm	±3 mm	0~+2	合格
3	密度/kg·m <sup>-3</sup>	≥32 kg·m <sup>-3</sup>	32	合格
4	导热系数(平均温度为 25℃)/W·(m·k) <sup>-1</sup>	≤0.034	0.03	合格
5	压缩强度/kPa	≥250	268	合格
6	吸水率(浸水 96 h)/%	≤1%	0.82	合格
7	燃烧性能(B1 级)	试件火焰尖端未达到刻度线,无引燃滤纸现象	符合	合格

### 2.1.2 施工工艺流程及技术要求

(1)施工工艺流程。粘贴前的施工准备→清扫混凝土表面灰尘→保温板涂刷万能胶→粘贴保温板→质量检查。

(2)技术要求。

①粘贴前应将保温材料、胶水涂刷工具转运至作业面并采用吊笼作为施工平台进行施工。

②粘贴前应将混凝土表面清扫干净,避免因其表面有灰尘而导致的粘贴不牢靠、易脱落。

③粘贴时作业人员应严格在保温板四边以及中心位置均匀涂刷上居饰宝万能胶。

④粘贴保温板时应从下往上、同一高度进行,对于上下相邻保温板之间的接缝位置应错缝施工,严禁一条缝至顶。两板接头应紧密接触,杜绝出现接缝不严现象。

⑤粘贴时应将保温板压紧使其紧贴混凝土面,遇到有弧度面时应将保温板裁剪成相应大小规格的尺寸满刷胶水后实施粘贴。

⑥粘贴时应先贴同一水平高度范围的混凝土面,贴完后再进入下一水平高度的混凝土面进行粘贴。

⑦粘贴后必须仔细排查保温板的粘贴质量,确认其是否存在松动、不牢靠、歪斜、不严缝等现象,如有应及时进行返工处理。

### 2.1.3 质量标准

混凝土浇筑完成、达到拆模标准后方可实施拆模,拆模后立即组织施工人员进行保温板施工,严格要求必须采用 5 cm 厚聚苯乙烯保温板。粘贴应保证牢靠、不歪斜、不脱落、错缝施工、接缝严密。

## 2.2 喷涂聚氨酯方案

### 2.2.1 喷涂材料的选取

聚氨酯保温喷涂材料选用四川英丰新材料有限公司生产的聚氨酯材料,其储存应干燥、遮光、凉爽、通风良好,储存温度为 10℃~25℃,运输过程禁止严重震荡与日光暴晒,进场使用前须进行委外第三方检测,待其检测结果满足设计要求后方可使用。聚氨酯硬质泡沫塑料的主要性能指标见表 2<sup>[5]</sup>。

### 2.2.2 喷涂施工工艺流程及技术要求

(1)施工工艺流程。喷涂前的准备工作→埋设厚度标识→喷涂机械开机试枪→正式喷涂→质量检查→满足设计要求后停止喷涂作业、清洗喷枪。

(2)技术要求。

①喷涂时作业人员应严格按照设计要求的厚度(5 cm)以间距 1 m×1.5 m 做好厚度标识。

②聚氨酯由 A : B 两组分组成,施工时按 1 : 1 的比例掺和聚合后喷涂。

表 2 聚氨酯硬质泡沫塑料主要性能指标表

序号	检测参数	标准要求	检测结果	单项判定
1	密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\geq 30$	45	合格
2	导热系数(平均温度 $25^\circ\text{C}$ )/ $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{k})^{-1}$	$\leq 0.024$	0.02	合格
3	抗压强度 /kPa	$\geq 150$	175	合格
4	吸水率 /%	$\leq 3$	1.7	合格
5	燃烧性能(B1 级)	试件火焰尖端未达到刻度线,无引燃滤纸现象	符合	合格

③喷涂时应先开机预热,同时将 A、B 组分料和料源输送管道预热至  $25^\circ\text{C}$  左右,待空压机气压达到  $0.8 \text{ MPa}$  时同时打开空压机气阀和喷涂机开关先进行试枪,若聚氨酯正常喷涂即可进行正式喷涂;如果其不能带压正常喷涂则应查明具体原因处理后再喷。

④正式喷涂过程中,应遵循垂直方向先低后高、水平方向从左到右或从右到左的次序连续不间断进行喷涂,喷涂应匀速,移动速度不应过快,喷涂过程中作业人员应严格做好保护措施。

⑤按喷涂 2 次到设计厚度的标准施喷,如果局部厚度不满足要求时可进行多次喷涂直至其满足设计要求。喷涂完成后要求其厚度均匀,表面平整。

⑥喷涂完成后经检查验收合格后应及时采用清洗剂对输送管道和喷枪进行清洗,清洗完毕应将清洗物妥善处理,不得随意乱倒;喷涂用的

相关设备应处于关机状态并实施规范放置、覆盖,对于未用完的聚氨酯应回收仓库统一存放,不得留置在现场。

### 2.2.3 质量标准

混凝土浇筑完成达到拆模标准后拆模,拆模后及时采用九旭 JNJX-III (H 型) 聚氨酯喷涂机在混凝土面进行聚氨酯喷涂。喷涂时应做好厚度标识,掌握喷涂速度以保证聚氨酯连续喷涂厚度均匀、达到设计要求的  $5 \text{ cm}$  厚且聚氨酯附着在混凝土面上不脱落。

### 2.3 试验仓位取得的效果

两种保温方案在试验仓位取得的工效、保温效果以及防裂效果均在表 3 中列出。试验仓位效果统计情况见表 3。

## 3 方案比选

两种方案的主要技术经济特点均在表 4 中列出,其优缺点比较情况见表 4。

表 3 试验仓位效果统计表

方案	工效	保温效果				防裂效果	备注	
		试验仓位	上游侧温度 / $^\circ\text{C}$	仓面中心位置温度 / $^\circ\text{C}$	与仓面中心的温差 / $^\circ\text{C}$			设计要求的内外温差 / $^\circ\text{C}$
喷涂聚氨酯	2 人进行聚氨酯的喷涂施工,其中 1 人操作 JNJX-III (H 型) 聚氨酯喷涂机械并协同喷涂,1 人在工作面上用喷枪进行喷涂施工,每喷涂 $10 \text{ m}^2$ 耗时约 $20 \text{ min}$	20 号-5	26.8	27.8	1	$\leq 16$	无裂缝产生	两种方案同一时段测得的温度
		20 号-6	26.4	27.5	1.1			
		21 号-4	26	27.6	1.6			
		21 号-5	26.2	27.7	1.5			
		21 号-6	26.5	27.4	0.9			
粘贴聚苯乙烯保温板	3 人进行聚苯乙烯保温板的粘贴施工,其中 1 人负责转运长 $\times$ 宽为 $120 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ 的保温板,1 人进行粘贴胶水的涂抹,1 人进行粘贴,每 $10 \text{ m}^2$ 耗时约 $200 \text{ min}$	20 号-5	21.3	27.8	6.5	$\leq 16$	出现 2 条龟裂纹,其长度为 $30 \sim 50 \text{ cm}$	两种方案同一时段测得的温度
		20 号-6	21.6	27.5	5.9			
		21 号-4	20.9	27.6	6.7			
		21 号-5	21.2	27.7	6.5			
		21 号-6	20.6	27.4	6.8			

(1) 从两种方案的优缺点看:无论是喷涂聚氨酯方案,还是粘贴聚苯乙烯保温板方案均已在同类工程中得到广泛应用,均能有效解决混凝土

保温的问题。但此次改建坝段所处的施工时段为冬歇,温度为全年最低时段,为了确保混凝土防裂安全,需要提高保温施工的效率。从这一角度出

表4 两种方案之优缺点比较表

序号	方案	优点	缺点
1	喷涂聚氨酯方案	(1)技术成熟; (2)喷涂耗时短,能快速有效解决保温问题; (3)不需要另行搭设施工作业平台,可利用多卡模板外部作业平台施工; (4)发泡固化后附着力强、不易掉落	(1)喷涂需均匀、厚度一致,对喷枪移动速度掌握要求高; (2)作业人员需做好防护,佩戴好防护面具; (3)对喷涂料有温度要求,需要做好储料桶和机械的保温,温度过低时喷涂料无法聚合; (4)购买保温材料的成本相对较高
2	粘贴聚苯乙烯保温板方案	(1)技术成熟; (2)能有效解决保温问题; (3)购买保温材料成本相对较低	(1)需要搭设专门的作业平台,转运材料相对繁琐; (2)辅材、人工成本投入相对较高; (3)施工效率低,耗时相对较长,导致其表面出现龟裂; (4)风大易脱落,导致返工处理成本增加

发,喷涂聚氨酯方案较优。

(2)从施工作业整体成本看:粘贴聚苯乙烯保温板每  $\text{m}^2$  原材料的成本相对于聚氨酯喷涂材料要低,但投入的人工成本和粘合剂辅材相对较高,其整体成本投入相对较高。从这一角度出发:喷涂聚氨酯方案较优。

(3)从施工方面看:粘贴聚苯乙烯保温板的施工难度相对较大,施工时尚需搭设专用作业平台且其粘贴不到位、易脱落需要进行返工处理,且其耗时相对较长,混凝土暴露时间过长易导致裂缝产生的风险,使高空作业的安全风险增大,进而增加了质量管控和安全管控的压力。相对而言,喷涂聚氨酯利用多卡模板外部作业平台进行施工安全风险相对较低,施工更为简单、快捷。虽然其对作业人员操作的技术要求相对较高,但施工质量更容易得到保证。

综上所述,虽然两种方案都可以实现保温的目的,但聚苯乙烯保温板原材料成本相对较低,只是由于其投入的人力和辅材相对较多、施工历时过长、返工处理情况时有发生,对混凝土防裂安全存在不可预知的风险且施工安全风险相对较高。因此,在该施工段内对该部位工程最终采用了机械喷涂聚氨酯保温方案。该方案虽然对作业人员喷涂操作技术要求高,施工时需佩戴防护用具并严禁烟火,对原材料和机械加热有温度要求,存在喷层厚度局部不均等较多不利因素,但其均可以通过采取合理的措施解决各个环节出现的问题,严把喷涂质量,实现提质增效。

#### 4 保温技术特点及实施效果

(1)不在冬歇时段施工混凝土其保温一般采用保温卷材或保温板的方式,而对于冬歇低温时段内的混凝土施工,其温控防裂难度大,混凝土拆模后需要及时对混凝土进行保温,以避免其长时

间暴露在外、因内外温差过大而导致裂缝的产生,而采用机械喷涂聚氨酯保温材料的方案能够有效解决冬期混凝土施工快速保温的问题。

(2)采用该方案施工不仅能达到精干高效的目的,其次能降低耗材和人工的投入,进而起到降本增效的作用,使其达到双重效果,取得较好的效益。

(3)该方案自2020年1月开始实施延续至当年5月底,通过对喷涂质量进行严格控制,对混凝土温度进行实时监测以及对每一浇筑层进行仔细的排查均未发现裂缝,达到了有效保温、防裂的目的,工程实践表明该方案合理可行。

#### 5 结语

JC水电站通过优化保温施工方案提高了保温施工效率,解决了冬期混凝土施工保温不及时带来的一系列质量问题,同时减轻了现场质量管控和安全管控的压力,减少了保温的返工处理,加快了工程进度,降低了施工成本,保障了冬期混凝土施工质量,得到业主、监理的一致好评,所取得的经验可为其它类似工程施工提供借鉴与参考。

#### 参考文献:

- [1] 混凝土重力坝设计规范, NB/T 35026-2014[S].
- [2] 水工混凝土施工规范, DL/T5144-2015[S].
- [3] 李绍辉, 宋名辉, 陈自强, 等. 高寒地区大体积混凝土临时越冬保温技术[J]. 水利水电技术, 2016, 47(6): 120-123.
- [4] 绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS), GB/T 10801.2-2018[S].
- [5] 喷涂聚氨酯硬泡体保温材料, JC/T998-2006[S].

#### 作者简介:

刘烈志(1982-),男,四川宜宾人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;

高卓辉(1986-),男,陕西西安人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)