

混凝土大坝表面喷涂聚氨酯保温保湿试验

杜 彬¹,任宗社²,周炳良²

(1. 宜昌天宇科技有限公司 湖北 宜昌 443002; 2. 黄河水电公司拉西瓦建设分公司, 青海 贵德 811700)

摘要 :为模拟高寒、干燥环境下的拉西瓦水电站混凝土大坝的保温保湿措施,选择与拉西瓦水电站所处地理位置及自然气候条件相接近的李家峡水电站大坝,进行自然环境条件下的聚氨酯泡沫材料喷涂试验,考察在低温环境下喷涂不同色彩、不同厚度聚氨酯泡沫以及表面加喷水泥浆等不同喷涂方案下混凝土的保温保湿效果,并通过预埋在聚氨酯保温保湿层下的温度计和湿度计进行长达 2 个月的原形观测和分析。试验结果表明,与常规保温材料相比较,喷涂聚氨酯泡沫材料施工工艺简单,产品性能稳定可靠,具有良好的经济性,各种试验条件下喷涂聚氨酯泡沫均能很好地满足保温保湿效果。

关键词 :混凝土大坝;聚氨酯;保温保湿试验;拉西瓦水电站;李家峡水电站

中图分类号 :TU55+1

文献标识码 :B

文章编号 :1006-7647(2007)02-0062-04

Experimental study on thermal insulation and moisture holding of concrete dams by spraying polyurethane on surface//
DU Bin¹, REN Zong-she², ZHOU Bing-liang²(1. Yichang Tianyu Science & Technology Co., Ltd., Yichang 443002, China; 2. Laxiwa Construction Branch of Yellow River Hydropower Company, Guide 811700, China)

Abstract :The study was performed to simulate thermal insulation and moisture holding measures for the concrete dam of the Laxiwa Hydroelectric Project in high-cold arid regions. The Liji Xia Hydroelectric Project, which is almost at the same geographic position and under the same natural climate condition as those of the Laxiwa Hydroelectric Project, was selected for simulation and prototype observation of effect of thermal insulation and moisture holding by sprayed painting polyurethane. During the tests, the polyurethane foaming materials of different thickness were sprayed at low temperature, and different technologies, such as adding colors and spraying cement mortar on the surface, were also adopted. Then two months' observation was carried out by use of thermometers and moisture meters pre-buried in polyurethane materials and the data obtained was analysed. The result shows that, as compared with other thermal insulation materials, the polyurethane foaming materials are simple in construction, stable and reliable in performance, and low in cost, and the effect of thermal insulation and moisture holding of the dam by sprayed painting polyurethane under different conditions is satisfactory.

Key words :concrete dam; polyurethane; test on thermal insulation and moisture holding; Laxiwa Hydroelectric Project; Liji Xia Hydroelectric Project

拉西瓦水电站位于我国西北高寒地区,地处中纬度内陆高原,属典型的大陆性气候。冬季极端气温低、干燥且昼夜温差大,寒潮频繁且往往伴随大风。多年平均气温 7.2℃,多年月平均最低气温 0.3℃,极端最低气温 -23.8℃。多年平均降雨量 259 mm、蒸发能力 2 004 mm、寒潮出现频率 10.2 次,年冻融循环次数最大 117 次,日温差大于 15℃的天数全年平均 190 d。由于高寒地区大坝的长期保温技术复杂,控制环节及不确定因素较多,为了满足高寒地区建造混凝土高拱坝的保温要求,在拉西瓦水电站大坝开始浇筑混凝土之前拟选择适宜的大坝保

温保湿措施,因此需提前进行大坝保温保湿试验。由于拉西瓦水电站尚处于基坑开挖阶段,暂不具备大坝混凝土结构喷涂聚氨酯试验的条件,因此选择与拉西瓦水电站所处地理位置及自然条件相对接近的李家峡水电站进行试验。

李家峡水电站地处内陆高原腹地,具有典型的大陆性气候特征,冬季漫长、寒冷,夏季凉爽,日温差较大,无霜期短,太阳辐射强。冬季受冷高压控制,天气干冷,常有寒潮侵入。1 月份平均最高气温 2.73℃,平均最低气温 -12.5℃,极端最低气温 -19.8℃,春季到来迟缓,气温回升慢,降雨量少,夏

秋季短且凉爽,坝地区气候干燥,年降水量少,多年平均降水量 331 mm,蒸发能力 1881 mm。

试验场地选择在李家峡水电站大坝坝后 9 号坝段 2 059.0 ~ 2 087.0 m 高程。考虑到李家峡水电站建于 20 世纪 90 年代,大坝内部温度和湿度已基本稳定,因此本次试验主要研究在自然环境条件下喷涂不同厚度的聚氨酯材料对大坝表面温度和湿度的影响效果,而不考虑混凝土内部温度和湿度的影响。

试验主要目的在于:①针对拉西瓦水电站工程施工的要求,使喷涂聚氨酯设备的选型及施工设备的改造达到或满足工程施工条件;②模拟拉西瓦水电站工程的保温保湿材料进行施工原形观测,取得低温环境下聚氨酯泡沫保温保湿效果资料;③在了解材料性能的同时对彩色聚氨酯和聚氨酯表面加水泥浆保护面的保温保湿情况进行观测分析。

1 试验材料

多年来,大坝工程的保温防裂一般采用泡沫塑料板或纸板,或采用泡沫塑料板加聚氯乙烯薄膜及聚苯乙烯泡沫塑料板,以及保温被、聚乙烯气垫薄膜、聚乙烯泡沫塑料被等,这些材料在使用过程中存在施工工艺复杂、保温效果不稳定等问题^[1]。近年来,喷涂聚氨酯保温材料由于具备制作简单、产品性能稳定可靠、热导率低等优点,已成功地应用于新疆石门子碾压混凝土拱坝的保温保湿^[2],为大坝混凝土的抗裂提供了新途径。

1.1 聚氨酯泡沫材料

聚氨酯是氨基甲酸酯高聚物的简称,具有较高的抗扯断强度、抗撕裂强度、耐磨性和突出的抗冲击性能,并具备良好的装饰性能和优良的耐化学腐蚀性能,因此,人们常以其作为成膜物质合成保护涂料,广泛应用于装饰和防腐领域。近年来,随着反应喷涂成型技术的发展和成熟,聚氨酯具备了不污染环境、不需加热、节约能源、快速固化、施工期短等优点。聚氨酯的理化性能见文献[3]。

在聚氨酯泡沫发泡过程中,材料反应都是以较快的速度同时进行着。在催化剂存在下,有的反应甚至在几秒钟内就能大部分完成,最后形成一高分子量和具有一定交链度的聚氨酯泡沫体。

1.2 聚氨酯泡沫的色泽

由于聚氨酯泡沫的颜色是黄色,在长时间日照影响下会逐步变成茶色,影响到大坝的美观。为解决这一问题,笔者所在公司经过一系列的试验研究,已完成彩色硬质泡沫保温保湿材料的配制,在取得良好色彩效果的同时,对聚氨酯泡沫的强度和密度无任何不利影响,产品在尺寸稳定性及耐化学药品

性方面都有良好的表现^[4]。

a. 尺寸稳定性。聚氨酯泡沫在受热或冷冻情况下,其尺寸和体积会发生一定的变化,变化率大小与泡沫的原料类型、结构、密度、成型条件、发泡剂种类和环境等因素有关。聚氨酯泡沫在 100 ℃ 以下气温环境中,尺寸不会发生明显的变化,长期处于低温状态具有较好的耐低温性能。在 - 24 ~ - 35 ℃ 温度范围内,聚氨酯泡沫的尺寸变化率小于或等于 1%。

b. 耐化学药品性。聚氨酯泡沫能耐多种有机溶剂。在一些极性较强的溶剂里会发生膨胀现象,在较浓的酸和氧化剂中则会发生分解现象。聚醚型彩色聚氨酯泡沫的耐化学药品性见表 1。

表 1 聚醚型彩色聚氨酯泡沫的耐化学药品性

试剂品种	耐化学药品情况		试剂品种	耐化学药品情况	
	24 ℃	52 ℃		24 ℃	52 ℃
汽油	好	—	盐水(10%)	优良	好
柴油	优良	优良	松节油	优良	—
煤油	好	好	马达油	优良	优良
甲苯	优良	—	苯	优良	—
硫酸(10%)	好	好	盐酸(10%)	好	好
盐酸(浓)	起反应	起反应	硫酸(浓)	起反应	起反应

2 喷涂工艺

喷涂聚氨酯材料工艺,笔者已获得了国家实用新型专利^[5]。施工试验前,对施工地的气候条件、聚氨酯泡沫的特性、喷涂聚氨酯材料的工艺进行了详细分析,预估了喷涂聚氨酯硬质泡沫施工过程中可能遇到的问题,制定并遵循了以下原则:

a. 顺序原则。在喷涂聚氨酯硬质泡沫材料时应按照自上而下或自下而上的顺序原则进行施工,有效地控制喷涂质量。

b. 分层喷涂原则。在喷涂施工中分层喷涂是主要的施工工艺。喷涂聚氨酯泡沫材料时,一般一次喷涂厚度不得超过 15 mm,这样可保证聚氨酯在发生反应时能得到充分的空间。如果一次喷涂太厚,泡沫就有可能穿孔,得不到良好的闭孔率,直接导致泡沫质量问题。

c. 均匀分散原则。喷涂施工中,喷涂的聚氨酯硬质泡沫材料应该均匀分散,在喷涂前要正确地选用喷枪及喷枪枪嘴,一般平喷主要选用平喷或者圆喷枪嘴。若在喷涂过程中不能做到均匀分散,喷涂后所形成的泡沫就会凹凸不平,影响大坝美观和质量,而且浪费聚氨酯材料。

d. 恒温原则。聚氨酯硬质泡沫材料在从原料桶内通过一级泵提取后直到喷枪喷出之前,要求能够恒温在该材料的最佳反应温度范围内。

e. 安全原则。施工过程中施工人员要与化学

品接触,在喷涂时还必须保持一定的压力和温度,因此必须时刻遵循‘安全第一’的原则。

3 试验布置

3.1 试验分区

把试验区分为 4 个部分,各部分分区及喷涂材料情况如图 1 所示。喷涂试验施工时段为 1 月 2~7 日,其中 A 区选择在气温相对较低的时段施工,以测试聚氨酯泡沫加喷水泥面在寒冷温度环境下的保温保湿效果及耐久性、外观质量等。



图 1 喷涂聚氨酯泡沫试验分区示意图

3.2 现场测温测湿仪器的安装

在各试验区内分别埋设 2 组或 3 组温度计和湿度计,每组由 3 支温度计和 1 支湿度计组成。在 D 区和 B 区分别加装 3 支温度计,在 A 区加装 2 支湿度计。

温度计为电阻式测温计,埋设时紧贴混凝土面,测温计被保温材料覆盖并喷涂到要求厚度后,即开始测温,测温时间为 2 个月。温度计和湿度计的埋设情况见表 2。

4 测试结果分析

通过埋设在聚氨酯保温保湿层下的温度计和湿度计长时间的原形观测,取得了大量的温度及湿度数据,据此进行了实测温度和实测湿度分析。

4.1 实测温度分析

测温时段自 2006 年 1 月 3 日至 3 月 16 日。在这两个半月,出现了 3 个典型阶段,即日温度变化

阶段、温度上升阶段和温度骤降阶段,如图 2 所示。

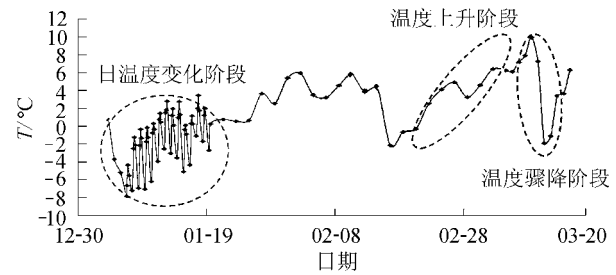


图 2 实测气温变化

4.1.1 日温度变化阶段

在 1 月 8~16 日期间,每天测温次数均为 4 次,分别为 9:00,14:00,17:00 和 20:00,其中 9:00 和 20:00 的温度分别接近全天最低气温和最高气温。

为了分析方便,定义混凝土表面保温系数为 K ,其计算公式如下:

$$K = \frac{A_f}{A_0} \tag{1}$$

式中: A_f 为混凝土表面温度变幅; A_0 为气温变幅。在这里,温度变幅均指每日变幅。 K 值越小就意味着保温措施效果越好。

由图 3 数据可知,A 区的 K 值平均为 0.22,B 区的 K 值平均为 0.28,C 区的 K 值平均为 0.28,D 区的 K 值平均为 0.24。可见,保温效果最好的是 A

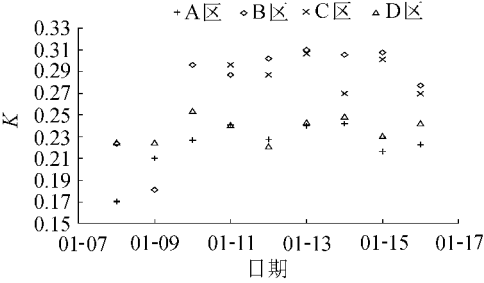


图 3 各种方案混凝土表面保温系数 K

区,其次是 D 区,C 区的保温效果与 B 区大致相同。

4.1.2 温度上升阶段

温度上升阶段如图 2 所示,从 2 月 16 日至 3 月 10 日,历时 23 d,气温从 $-2.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 上升到 $9.95\text{ }^{\circ}\text{C}$,变

表 2 试验仪器在不同深度的埋设情况

仪器名称	1 号仪器	2 号仪器		3 号仪器	4 号仪器	5 号仪器	6 号仪器	7 号仪器	8 号仪器	9 号仪器
	混凝土表面	混凝土内 1.5 cm	混凝土内 3 cm	混凝土内 5 cm	混凝土表面	混凝土内 1.5 cm	混凝土内 5 cm	混凝土表面	混凝土内 1.5 cm	混凝土内 5 cm
温度计	Tp1.5	Tp1.5	—	Tp1.5	Tp1.5	Tp1.5	Tp1.5	—	—	—
湿度计	Hp1.5	—	Hp1.5	—	—	—	—	—	—	—
温度计	Tp5	Tp5	—	Tp5	Tp5	Tp5	Tp5	Tp5	Tp5	Tp5
湿度计	Hp5	—	Hp5	—	—	—	—	—	—	—
温度计	Tps	Tps	Tps	Tps	Tps	Tps	Tps	—	—	—
湿度计	Hps ^①	—	Hps ^②	—	—	—	—	—	—	—
温度计	Tpc	Tpc	—	Tpc	Tpc	Tpc	Tpc	Tpc	Tpc	Tpc
湿度计	Hpc	—	Hpc	—	—	—	—	—	—	—

注 T 表示温度计,H 表示湿度计,p1.5 表示喷涂 1.5 cm 厚聚氨酯,p5 表示喷涂 5 cm 厚聚氨酯,ps 表示喷涂 5 cm 厚聚氨酯加喷水泥面,pc 表示喷涂 5 cm 厚彩色聚氨酯,①表示加设 1 支 3 号仪器,②表示加设 1 支 4 号仪器。

化幅度为 12.1℃。

图 4 显示各种方案保温效果优劣与日温度变化阶段的结果一致,即在混凝土表面,D区与A区温度上升最少,C区次之,B区表面温度上升最大。

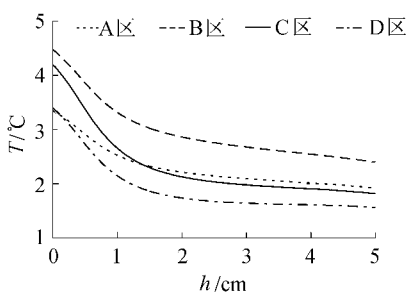


图 4 不同深度处混凝土温度变化

从不同深度处混凝土温度上升的情况看,混凝土表面至 1.5 cm 深度范围内温度变化梯度较大,而 1.5 ~ 5.0 cm 深度范围内混凝土温度变化较缓慢。由此可见,混凝土表层应该是温度应力分析的重点。

温度上升阶段气温共上升 12.1℃,B区方案混凝土表面温度上升了 4.5℃,表面保温系数 K 为 0.37,远大于日温度变化阶段的表面保温系数 0.28,其他方案的结果也类似,这说明保温措施的保温效果与温度变化作用时间是相关的,在评价保温材料保温效果时应注意时间因素。

4.1.3 温度骤降阶段

从 3 月 10 ~ 12 日,经历了 1 次寒潮,2 d 内气温从 9.95℃下降到 -1.9℃,平均每日气温下降 6℃。温度骤降过程中,不同深度混凝土内部温度变化趋势与温度上升阶段大致相当(见图 5)。主要不同点在于,寒潮历时短所以其表面保温系数与日温度变化阶段类似,B区 K 为 0.28,D区 K 为 0.23。

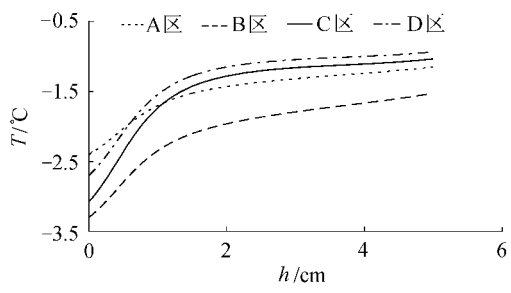


图 5 寒潮过程中不同深度混凝土温度变化

4.2 实测湿度分析

图 6 是 B 区方案中混凝土湿度变化过程线,坝址区域湿度在 30% ~ 60% 之间变化,平均值为 43.2%,如果没有保湿措施,混凝土表面将出现较大的干缩应力。

图 6 表明,在喷涂聚氨酯泡沫后,混凝土的湿度逐渐上升并且很快稳定,保持在 74% ~ 78% 之间,基本不受外界湿度变化的影响,混凝土表面与 3 cm

深处湿度差也由开始时的 20% 下降到 2%,说明聚氨酯泡沫的保湿效果非常显著。

其他几种方案结果与 B 区方案类似。

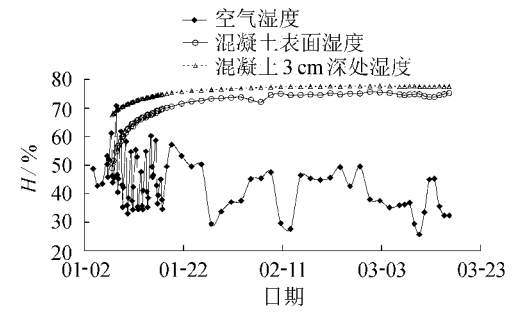


图 6 B 区方案中混凝土湿度变化过程

5 结 语

通过分析可以看出,由于聚氨酯材料本身导热系数很低的特性,采用喷涂施工工艺时,聚氨酯泡沫和大坝表面黏结能力良好,无论采取 A、B、C、D 中的哪种方案,在高寒、干燥条件下聚氨酯泡沫均具有良好的保温保湿效果,很好地满足了混凝土大坝表面的保温保湿要求。

a. 聚氨酯泡沫材料的保温保湿效果显著,表面喷涂 1.5 cm 厚的聚氨酯泡沫即可取得良好的保温保湿效果。

b. 喷涂厚度相同时,彩色聚氨酯泡沫保温层的保温保湿效果稍逊色于本色聚氨酯泡沫,聚氨酯泡沫表面加喷水泥面对提高混凝土的保温保湿效果有一定作用,但效果不显著。

c. 与水利水电工程应用的其他保温保湿工艺相比,聚氨酯泡沫材料由于采用喷涂技术,可节省黏结费用和铺设工时,材料利用率高,具有良好的经济效益。

参考文献:

[1] 杜彬. 聚氨酯硬质泡沫在大坝工程中的应用研究[J]. 水利水电科技进展, 2002, 22(4): 14-16.
[2] 李鹏辉, 杜彬, 刘光廷, 等. 石门子碾压混凝土拱坝采用聚氨酯硬质泡沫保温保湿的效果分析[J]. 水利水电技术, 2002(6): 37-38.
[3] 杜彬, 程加明. 聚氨酯保温、保湿材料在新疆石门子水库工程中应用[J]. 水利水电施工, 2002(2): 22-25.
[4] 方禹声, 朱吕民. 聚氨酯泡沫塑料[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994.
[5] 刘光廷, 杜彬, 李鹏辉, 等. 一种防表面裂缝的大坝[P]. 中国专利 ZL 01 2 59064.9, 2001-09-14.

(收稿日期 2006-04-30 编辑: 高建群)