

文章编号: 1672-3031(2017)03-0218-05

HK-966 聚氨酯弹性涂料在寒冷地区面板防冰设计中的应用

周国强

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 对于高寒地区的面板堆石坝, 水位变幅区面板的防结冰设计一直是个较难解决的问题。由于渗透作用, 使渗水进入面板混凝土, 在冬季低温情况下, 面板迎水面和渗入面板的水同时结冰, 造成面板和库面冰体连接在一起, 在水位发生变化时, 对面板产生很大的拖曳力, 很容易造成面板损坏, 长时间的冻融循环, 加速了面板混凝土老化、碳化和开裂现象。本文通过新型防渗涂料 HK-966 在宝瓶水电站工程面板防结冰设计中的成功应用经验, 对 HK-966 的防结冰原理及施工方法进行介绍, 对高寒地区面板的防结冰设计提供了新的思路, 其成功经验值得推广。

关键词: 混凝土面板裂缝; HK-966 聚氨酯弹性涂料; 混凝土面板防结冰设计; 冻融循环

中图分类号: TV641.4

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2017.03.009

1 工程概述

黑河宝瓶水电站地处甘肃省肃南裕固族自治县和青海省祁连县境内省界的黑河上, 为中型三等工程。工程由引水枢纽、引水发电系统及发电厂区三部分组成, 采用混合式开发, 主要任务是发电。大坝为混凝土面板堆石坝, 最大坝高为 93.5 m, 坝顶长 147.0 m, 坝体上游边坡 1:1.45, 下游边坡 1:1.5~1:1.4^[1]。水库正常蓄水位 2 526.0 m, 设计洪水位($P=1\%$) 2 526.0 m, 总库容 2 050 万 m³。电站总装机容量 123 MW, 多年平均发电量 4.137 5 亿 kWh。工程于 2012 年 2 月下闸蓄水, 2012 年 7 月投产发电。工程区多年平均年降水量为 175.4 mm, 多年平均年水面蒸发量为 1 378.7 mm, 平均气温为 8.5 ℃, 绝对最高气温 37.2 ℃(1961.6), 绝对最低气温 -33.0 ℃(1955.1), 日温差较大, 最大冻土深度 1.5 m。

根据黑河宝瓶水电站下游已建西流水水电站面板坝(坝高 146.5 m)、三道湾水电站面板坝(坝高 47.5 m)的运行经验, 这几座电站每年在冬季最枯水期, 均采用了加大流量发电, 将库水位降至发电死水位后, 电站停机, 对工程各部位(特别是隧洞)进行检修, 排除工程隐患的运行方式。在工程检修过程中, 水库进行控制性蓄水, 使水位慢慢回升, 工程检修结束后即可继续投入发电。

冬季检修期间水库库面全部结冰, 在库水位下降过程中, 库冰不能和面板及时脱离, 从而造成较大的拖曳力作用于面板上, 此外, 由于冰面和面板表面处理裂缝的防渗盖片和面板表层止水的加筋封闭盖片相粘接, 在与面板连接的冰层发生倾覆时, 往往会将和其粘连的表止水保护盖片撕扯掉, 造成面板裂缝处理措施的失效和部分表层止水的损坏。西流水电站在 2008 年检修时, 由于库水位下降 16 m, 面板表层的附冰不能及时下滑至库水位, 在中午气温升高时, 大面积的冰体从面板表面突然失稳下滑, 将库水面以下 5 m 左右深度的面板表面埋设的挠度观测墩和多个面板之间结构缝埋设的双向、三向测缝计摧毁, 造成相应观测条带面板挠度监测设施的失效和多个测缝计的失效, 由于在水下无法进行仪器的恢复, 因而对工程的安全监测造成不可弥补的损失^[2]。

收稿日期: 2016-01-29

作者简介: 周国强(1974-), 男, 宁夏中卫人, 学士, 高级工程师, 主要从事水利水电工程规划设计研究。

E-mail: 549992247@qq.com

2 冬季防混凝土面板结冰措施

宝瓶水电站坝高高，库容大，其冬季运行方式和西流水水电站相似，为了避免类似现象发生，针对宝瓶水电站大坝面板的防冰措施进行了系统的研究^[3]，必选的主要方案如下。

(1) 乳化沥青喷涂方案。先期对面板的裂缝按照要求处理完后，在发电死水位至正常蓄水位之间的面板段采用 2cm 厚的乳化沥青进行喷涂，将库水和面板用乳化沥青层隔离开，利用乳化沥青的深色特点提高本段面板的温度，且乳化沥青本身具有非亲水性能，能够起到对面板的保护作用。该方案的优点是工程处理费用低，工艺简单，投资节省。但缺点为：① 耐久性不佳：乳化沥青暴漏在环境中，经过阳光长时间照射后，易老化、开裂、脱开，失去其保护作用，需要经常对其进行修复方能满足对面板的长期保护作用，其后期运行费用高；② 环保性不佳：乳化沥青本身分解后有毒，容易对水库水质造成污染。

(2) 高压射水扰动方案。先期对面板的裂缝按照要求处理完后，在面板顶端布置一排高压水管，每隔 50 cm 设置一高压喷头，喷头距离面板 10 cm，射水方向平行坝面坡面方向，高压管道采用泵送供水。此防冰措施的原理是对面板部位的水面形成紊流搅动，使水流始终处于运动状态，破坏低流速水流结冰的环境条件，从而达到防治水面结冰的效果。该方案优点是直接利用库水循环使用，不掺加任何外来物质，满足工程环保要求。缺点是工程运行费用较高，除需要单独修建高压供水站外，每年 11 月初至下一年 3 月中旬，除白天上午 10:30—下午 4:30 泵站可以停机外，其余时间需连续运行，每年冬季运行费大致在 100 万元左右。

(3) 气泡干扰方案。先期对面板的裂缝按照要求处理后，在水面以下 50 cm 部位，距离面板 30 cm 的位置设置花管，花管采用可滑动装置，随着水位的升降而升降，花管上每隔 5 cm 设一排气孔，采用高压风对花管进行供风，利用从排气孔连续喷出的空气，在水面形成气帘，对面板表面的库水进行扰动，破坏其结冰条件，达到冰面和面板不连接的效果。该方案优点是利用空气作为介质对水面进行干扰，不产生有毒有害物质，满足工程环保要求。缺点是工程运行费用相对较高，需要单独修建高压供风站，与上一方案类似，每年 11 月初至下一年 3 月中旬每天的大部分时间需连续运行，每年冬季运行费大致在 120 万左右。

(4) HK-966 聚氨酯弹性涂料表面涂抹方案。可对水位变化区的面板裂缝不进行处理，在面板水位变化区喷涂厚度为 1.5 mm 的 HK-966 聚氨酯弹性涂料，在面板和库水位之间直接形成不粘连隔离层，阻断面板和库冰的粘接，且冰面和聚氨酯弹性涂料间也不粘连，能够很好的起到对面板的防冰保护作用。该方案的优点是节省了对面板裂缝的处理工艺，涂料耐久性(耐久性可以达到十年以上)、抗紫外线辐射性能强，无毒无害，满足工程环保运行要求，且一次性投入费用低(仅需一次性投入 86 万元)，对工程的经济运行具有很好的效果。但该方案的施工工序严格，需要专门的施工队伍进行施工。

通过对上述方案的综合对比分析，采用 HK-966 聚氨酯弹性涂料表面涂抹的面板防冰处理方案在技术和经济上均具有较大的优势。

3 HK-966 聚氨酯弹性涂料性能分析

HK-966 聚氨酯弹性涂料是一种由环氧改性的双组分弹性聚氨酯材料，具有高强度和高黏接性，分子中的环氧基团，赋予材料良好的黏接性能，而弹性的聚氨酯成分提供了优良的抗冲磨及抗腐蚀性能，该材料可作为裂缝修补的遮盖材料，使修补后外观保持整洁。同时该材料也可单独对混凝土裂缝、变形缝进行

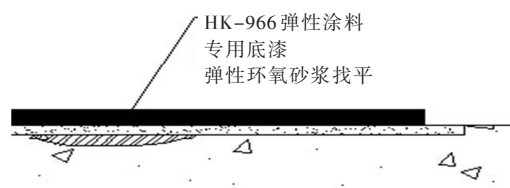


图1 HK-966 聚氨酯弹性涂料施工示意

表面封闭、灌缝施工。而HK-G2低黏度环氧材料作为HK-966聚氨酯弹性涂料涂刷前的封闭底漆，能有效渗透入混凝土的表层毛细孔，形成良好的抗渗层^[4]。其施工示意图1，材料性能见表1。

表1 HK-966聚氨酯弹性涂料主要性能指标

项 目	指 标		测试标准
外观	A组份	浅黄色透明黏稠液体	
	B组份	灰或黑色膏状体	
密度/(g/cm ³)	1.40±0.10		
失黏时间/h	≤3		GB/T 13477.5-2002
不透水性	0.4MPa, 30min, 不透水		
拉伸强度/MPa	≥5.0		
断裂伸长率/%	≥100		GB/T 16777-2008
黏接强度/MPa	湿	≥1.5	
	干	≥4或坏底材	

封闭底漆为极低黏度的环氧树脂材料，能有效渗透入混凝土的表层毛细孔，使环氧材料扎根于混凝土面上，形成良好的抗渗层，同时混凝土面上的坑洞、砂眼等缺陷采用低弹性模量的弹性环氧砂浆进行找平修补，有效释放粘结面的应力，使涂层不开裂、不脱落，增强修补基面的可靠性。

聚合物材料在使用或运行期间，由于受众多环境因素(光、热、氧、潮湿、应力、化学侵蚀等)的影响，其性能(强度、弹性、硬度、颜色等)逐渐变坏，如外观上变色发黄、变脆发硬，物化性质上分子量、溶解度、玻璃化温度的增减，力学性能上强度、弹性的消失等等，这些现象统称为老化。聚合物材料的老化方式主要有光氧化、热氧化、化学侵蚀和生物侵蚀等。

针对HK-966聚氨酯弹性涂料作为面板表面保护材料，其自身耐久性对工程处理的效果的影响很大，因此针对HK-966聚氨酯弹性涂料开展长期耐久性试验，以检验其材料自身耐久性。

制作8字模黏结试件和28 d龄期HK-966哑铃条试件，将试样直接暴露在大气环境中，测试其1个月、2个月、3个月、6个月及24个月物理性能，观察其性能变化数据，从而判断其耐老化性能^[5]。相关测试数据见表2。

表2 HK-966弹性涂料大气老化试验结构

老化时间	8字模黏结强度/MPa	哑铃片拉伸性能	
		延伸率/%	拉伸强度/MPa
原始值	2.4	155	5.40
1个月	2.9	132	5.63
2个月	2.4	129	6.49
3个月	3.7	129	6.63
6个月	3.6	121	7.34
12个月	3.5	123	7.32
24个月	3.7	120	7.35

从表2数据可知，HK-966弹性涂料在大气中放置两年后，经历最高气温43℃（地表极值温度56℃），最低气温-6℃，并经雨、雪、霜、台风等各种复杂气候条件，材料扯断伸长率在初期有一定下降，但老化测试2个月后，测试值相对稳定；拉伸强度基本稳定，并有一定增长；黏结性能逐步增长并在3个月后趋于稳定，从材料性能增长曲线看，该在大气环境中该产品老化性能是可靠的。

4 宝瓶水电站大坝面板防冰设计

聚氨酯的分子式为(C₁₀H₈N₂O₂·C₆H₁₄O₃)_x，又名2-乙基-2-(羟甲基)-1,3-丙二醇与双(异氰酸根合甲基)苯的聚合物，当A、B两种成分按照比例掺配后，将发生催化反应，形成全部饱和的大分子聚合物，使分子键全部饱和，不再接纳水分子，从而达到非亲水性特性，使材料在水下直接和水形

成分离层,起到阻断其表面水和面板之间的渗水通道,并形成分离结构,起到隔离作用。由于HK-G2低黏度环氧底漆能有效渗透入混凝土的表层毛细孔,使环氧材料扎根于混凝土面上,形成良好的抗渗层。施工时在面板表面先涂刷HK-G2低黏度环氧底漆,再在其上部涂刷HK-966防水涂料,涂料和底胶能够很好的粘接在一起形成整体。当涂料干燥以后,形成非亲水性的胶体状凝固结构,质地柔软,当库水位上升至涂刷防水涂料的面板部位时,由于涂料的非亲水性隔离作用,在面板表面混凝土和水体之间形成隔离层,使水流无法和面板混凝土直接接触。在冬季结冰时,由于防水涂料的阻隔作用,使库面冰体和面板之间形成隔离缝,阻断了面板和冰体的连接,从而阻止了冰体对面板的损害。

根据宝瓶水电站运行特点,经过对各种面板冬季防冰处理方案的分析,设计采用了对面板发电死水位2 519.0 m以上水位变化区的面板表面全部采用HK-966高强度聚氨酯弹性涂料喷涂的防冰处理措施。该涂料能够很好的封闭面板表面裂缝或微裂缝,阻止库水和面板直接相连接,在冬季能够阻止面板表面直接形成冰层并与库冰形成粘连,能够很好的防止面板表面结冰,对面板起到很好的保护作用。喷涂时将面板,周边缝部位的止水盖板全部喷涂,以防止水库水位变动时,冰体对面板产生拉剪破坏。

根据喷涂高程计算,总喷涂面积1 916.0 m²,喷涂厚度为1.5 mm,其具体处理措施及施工工艺如下:清理需涂刷部位的面板混凝土表面,预先封补处理混凝土面裂缝;在混凝土面用HK-966高强弹性涂料进行封闭防渗施工。

(1)施工工序如下:①磨基面:用打磨机清理基面,高压水冲净浮尘;②喷涂底胶:处理完成裂缝后,采用气动手持式砂浆喷涂机(选 $\phi 3 \sim 5$ mm小孔喷嘴)在混凝土基面均匀喷涂一道HK-G2环氧浆液黏合剂,固化5~6 h;③喷涂HK-966涂料:采用气动手持式砂浆喷涂机(选 $\phi 8 \sim 10$ mm大孔喷嘴)HK-966分两次喷涂,第一道喷涂完毕后,等表干(3~6h)后进行第二道喷涂;④喷涂底胶和HK-966必须在正温情况下进行施工。

(2)施工注意事项:①要尽量保证基面平整干燥,没有浮尘;②喷涂作业时,避免出现凹凸不平,要从左到右,从上到下等有序喷涂;③用电动搅拌机搅拌HK-966涂料,保证A、B组分混合均匀,喷涂施工需添加3%~5%的专用稀释剂调稀黏度,混合均匀后在0.5 h内用完;④裂缝处需预先进行封闭处理;⑤喷涂结束后,及时清理喷壶,防止材料堵死喷头。

宝瓶水电站大坝面板经过以上防结冰处理后,从2012年7月投入运行至今(2015年),经过3个冬季运行期降低水位的运行,冰面和面板始终都是分离的,随着水位的降低,由于冰面失去了对面板的拖曳作用,使冰面在水位临空部位及时出现崩塌现象,随着库水位的降低,冰面随时发生崩塌而漂浮于水面上,没有发生由于整体突然坍塌而破坏面板监测设施的现象。

经过总结宝瓶水电站防结冰经验,目前对宝瓶水电站下游的三道湾水电站面板坝、西流水水电站面板坝都采用了相同的措施对水位变化区的面板进行了防结冰设计处理,从运行情况看,其运行良好,完全解决了长期以来面板和库冰粘接的问题,消除了面板冬季运行存在的安全隐患,确保冬季运行期库水位发生变化时面板的运行安全。

5 结论

冰体和建筑物相连接,在冰体发生位移时将对建筑物产生一定的拖曳拉剪作用,当超过建筑物的承受荷载时,将造成建筑物破坏。由于HK-966涂料的独特性能,能够阻断水渗入其附属的结构物表面,从而避免了建筑物外部的冰体和建筑物相连接,很好地保护了冰体对建筑物结构的破坏,其防结冰处理方式简单经济,效果明显,在高寒地区水位变幅区面板的防结冰处理中为较为简单有效的处理方案,其经验值得借鉴推广。

高寒地区处于水位变幅区的水工建筑物斜面薄体结构,当冬季发生较大水位变化时,造成建筑

物结构面粘接的冰面上下变幅较大,对建筑物的安全产生较大影响时,若采用HK-966涂料进行防结冰防护处理,使冰面和建筑物结构面分离,减小建筑物承受冰体产生的拉剪力,预计能够很好的解决冰体对建筑物产生的破坏作用,确保建筑物的长期安全运行。

对于高寒地区的露天挡水闸门,在冬季需要运行时,往往由于闸门较薄,通过闸门在门上游迎水面沿闸门挡水面板形成和闸门连接为一体的较大结冰体,冬季运行时由于冰体体积大,远远超过闸门启闭机的容量,造成闸门无法启闭,一般采用将闸门搭棚覆盖封闭,内部升温,使闸门和上游冰体脱落后才能启闭的方式进行启闭,这样耗时耗力,运行极不经济,若对以上运行条件下的闸门迎水面板也采用HK-966涂料涂刷进行防结冰防护处理,预计能够使闸门和上游的冰体分离,这样可方便冬季启闭运行安全。

参 考 文 献:

- [1] 混凝土面板堆石坝设计规范:DL/T 5016-2011[S].
- [2] 水工建筑物抗冻胀设计规范:DL 5028-1998[S].
- [3] 混凝土结构耐久性设计规范:GB/T 50476-2008[S].
- [4] 建筑防水涂料试验方法:GB/T 16777-2008[S].
- [5] 建筑密封材料试验方法 第5部分:表干时间的测定:GB/T 13477.5-2002[S].

Application of HK-966 elastic coating in the design of concrete panel anti-icing of Baoping hydropower station

ZHOU Guoqiang

(Cesec Aecom Consultants Co., Ltd, Lanzhou 730000, China)

Abstract: For a concrete Face Rockfill Dam (CFRD) built in a cold region, the freezing resistance design of concrete face slabs in water level fluctuation zone is a rather difficult task. As water can permeate into concrete, the water at upstream face and inside concrete face slabs will freeze due to low temperature in winter. Concrete face slabs are connected with the ice of reservoir. When reservoir water level changes, great drag force will be applied on face slabs, which may cause the damage of face slabs. With long-term circle of freezing and thawing, the aging, carbonizing and cracking of concrete face slabs will develop. The paper introduces the successful experience of the freezing resistance design for the face slabs of Boping CFRD by using the new type HK-966 watertight coating. The mechanism of the freezing resistance of HK-966 coating is analyzed and the method of construction is presented. The application of HK-966 freezing resistance coating provides a new idea for the freezing resistance design of CFRDs built in cold regions and its experience can be used as reference for other projects.

Keywords: cracks of CFRD; HK966 elastic polyurethane coating; freezing resistance design of concrete face slab; freezing and thawing circle

(责任编辑:王冰伟)