

SK 天冬聚脲防冰拔复合防护体系试验及工程应用研究

杨伟才¹ 付颖千²

(1. 中国水利水电科学研究院材料所 北京 100038; 北京中水科海利工程技术有限公司 北京 100038)

摘要: 北方严寒地区大坝上游面聚氨酯保温层容易发生冰层拉拔破坏的问题, 本课题采用 SK 天冬聚脲复合氟改性天冬聚脲耐候面漆涂层材料的复合防护体系为防冰拔防护方案, 进行了防冰拔涂层室内试验研究。试验结果表明, 本复合防护体系与聚氨酯保温层具有良好的附着力和优异的抗冰拔能力。现场应用证明复合防护体系施工涂刷效果均较好, 满足现场防冰拔防护的要求, 防护方案作为丰满水电站保温层防冰拔最终处理技术方案得到推广应用。

关键词: 丰满大坝 SK 天冬聚脲 冰拔破坏 聚氨酯保温

中图分类号:

文献标识码: A

文章编号: 1000-0860(2014)

1 研究背景

我国北方地区气候严寒、昼夜温差大且寒潮频繁, 极易引起混凝土坝体产生表面裂缝, 从而威胁水工结构的整体性和耐久性。根据坝体混凝土温度控制的需要, 主要采取在坝体表面喷涂硬质聚氨酯的方式进行保温。由于聚氨酯保温层为多孔结构材料, 长期泡水后亲水饱和, 冬季库水结冰后冰层与混凝土聚氨酯保温层粘接在一起时, 随着库水位变动, 厚厚的冰层会对聚氨酯保温层产生拉拔、推动、撞击现象, 从而造成保温层发生冰拔破坏。

国内多个工程大坝上游面都发生了聚氨酯保温层被冰层拉拔破坏的问题, 影响工程的安全运行。而对大坝保温层防冰拔防护目前国内外尚无成功经验及案例可以借鉴。为预防聚氨酯保温层可能遭受冰拔破坏的问题, 本文依托丰满电站大坝重建工程, 进行了大坝上游面聚氨酯保温层表面防冰拔涂层试验研究, 评价SK天冬聚脲防冰拔性能并进行了现场应用, 为严寒地区水工建筑物防冰拔防护提供借鉴。

2 防冰拔材料介绍

目前结构防冰除冰方法可分为主动防冰和被动防冰2种【1-2】。主动方法即加热、电解、机械作用等对结冰部位进行防冰除冰, 但它耗能高, 操作复杂。实施难度较大; 被动防冰技术相对简单易行, 主要是指涂覆防冰涂层防冰, 主要是利用涂层的疏水性, 减小冰在表面的聚集程度和粘附强度。考虑丰满大坝聚氨酯保温层的使用条件, 本试验采用SK天冬聚脲复合氟改性天冬聚脲耐候面漆的复合防护体系为保温层防冰拔方案, 进行聚氨酯保温层防冰拔涂层试验研究。

SK 天冬聚脲涂层材料属于纯脂肪族聚脲材料, 材料固含量高, 超过 90%以上, 粘度小, 仅有 1500 左右, 因此与保温层浸润性好, 其中不含增塑剂, 交联密度更高, 耐候性更强, 吸水率更低; SK 天冬聚脲防冰拔涂层材料性能指标如下表 1 所示:

收稿日期: 2020年8月16日

基金项目: 中国水科院基础创新团队资助项目 (SM0145B632017)

作者简介: 杨伟才 (1979—), 男, 河南郑州人, 高级工程师, 硕士, 主要从事水工建筑物修补加固技术及新材料的开发研

表 1 SK 天冬聚脲防冰拔涂层材料性能指标

项目	性能要求	实测值	试验方法
固含量 (%) (两组分混合)	≥80	92	GB/T16777或 GB/T23446
表干时间 (h)	≤2	1.5	
拉伸强度 (MPa)	≥15	16.2	
断裂伸长率 (%)	≥280	312	
撕裂强度 (N/mm)	≥40	83	
黏结强度 (MPa)	≥2.5或基材破坏	6.4	
硬度 (邵A)	≥60	96	
吸水率 (%)	5	0.8	
紫外线老化			

(2) 氟改性耐候面漆

氟改性耐候面漆是在天冬聚脲树脂的基础上经过加成引入氟碳树脂的基团,使其具有更加优异的耐候性,制作出来的涂料漆膜的耐候性强;表面能低,摩擦系数小,附着在其表面上的物质很容易就脱离,适用于涂层表面耐候性防护。材料的具体性能指标如下表 2 所示:

表 2 氟改性耐候面漆性能指标

测试项目	检测结果	检测标准
表干时间 (h)	2h	GB/T1728-1989
QUV (B) (4000h)	色差 $\Delta E \leq 2.9$	GB1767-7989
耐冲击性	50cm (正、反)	GB/T 1732-1993
柔韧性	1mm	GB/T 1731-1993
耐磨性	48mg	GB/T 1768-2006
附着力	基材被拉坏	GB-T5210-1985
接触角	85.52°	GB/T 24368-2009
耐酸性	漆膜完好,无异常	GB1763-79
耐碱性	漆膜完好,无异常	GB1763-79

3 试验部分

3.1 聚脲涂层和聚氨酯保温层结合试验

为研究防冰拔涂层材料与聚氨酯保温层之间的结合方法及施工工艺,进行防冰拔涂层材料与聚氨酯保温层结合试验。试验分别在未打磨和打磨的保温层试件表面分别刮涂防冰拔聚脲涂层复

合防冰拔体系。

3.2 涂层与保温层粘接测试

为检验防冰拔涂层和聚氨酯保温层之间的粘接力,采用 SW-TJ10 型粘结强度检测仪对防冰拔试件进行粘接强度测试。

3.3 冰粘接力测试

目前冰粘附强度的测试目前尚未形成统一的测试标准^[3]。为检验防冰拔层与冰层之间的粘接强度,本实验在低温试验箱内制作了专门的冰粘接力试件,采用拉拔仪设备测试冰层与聚氨酯保温层和防冰拔涂层之间的粘接强度。

3.4 抗压抗剪强度测试

试验参照 SL352-2006 《水工混凝土试验规程》中的水泥砂浆抗压强度试验的试验尺寸和拉伸试验器具为检验防冰拔试件抗冰压力变形能力,本实验成型 10cm*10cm 防冰拔抗压试件和 10cm*40cm 的抗剪试件,采用万能试验机进行抗压变形和抗剪变形试验。

3.5 接触角测试

防结冰性能与物体表面的润湿性较为相关,通常情况下,润湿性通过测量液体在固体表面的接触角来表征^[4]。为检验防冰拔涂层材料的疏水性能,试验采用接触角测定仪测试了 SK 天冬聚脲材料和氟改性耐候面漆材料的接触角。

4 试验结果分析

4.1 聚脲涂层和聚氨酯保温层结合试验

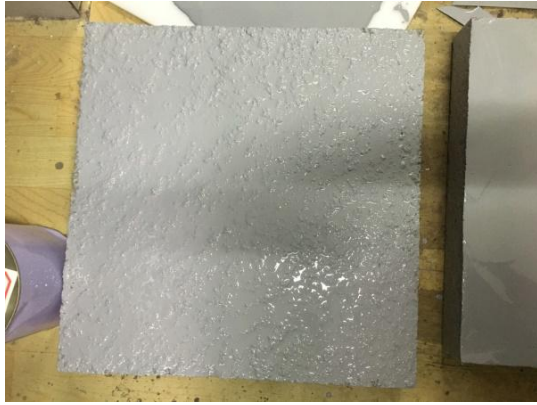
聚氨酯保温层表面凹凸不平,十分粗糙,直接涂刷聚脲无法形成光洁平整表面;试验采用聚氨酯刨平机对保温层表面进行打磨削平,打磨后表面叫平整,效果良好。具体效果见照片 1~照片 6。



照片 1 未打磨前保温层表面



照片 2 刨平机打磨后保温层表面情况



照片 3 不打磨直接涂刷 SK 天冬聚脲



照片 4 打磨后涂刷聚脲并复合氟改性耐候面漆

防冰拔涂层与保温层之间的涂刷结合试验表明，不打磨直接刮涂防冰拔聚脲涂层表面不平整，涂层厚薄不均，不满足保温层防冰拔的要求。先打磨保温层表面然后涂刷防冰拔聚脲涂层的方式表面光滑平整，可形成较好的防渗涂层表面。

4.2 涂层与保温层粘接测试

粘接试验结果见表 3，防冰拔聚脲涂层与聚氨酯保温层粘接强度达到 0.58MPa 以上，从照片 6 可以看出，试件均从聚氨酯保温层内部断裂，粘接效果良好。

表 3 涂层与保温层粘接强度测试结果

序号	试验项目	龄期 (d)	粘接强度 (MPa)	断裂情况	聚脲厚度 (mm)
1	防冰拔层与保温层粘接	7	0.58	聚氨酯内部断裂	2.12
2		7	0.85	聚氨酯内部断裂	2.36



照片 5 拉拔检测粘接情况



照片 6 防冰拔层与基层拉拔破坏效果

4.3 冰粘接力试验

从表 4 可以看出，冰与防冰拔涂层之间的粘接力仅有 0.0027MPa，是冰与保温层基层粘接力的十分之一左右，防冰拔涂层可以降低保温层受冰拔破坏的风险。

表 4 冰粘接力试验结果

序号	试验项目	龄期	粘接强度 (MPa)	断裂部位
----	------	----	------------	------

1	冰与聚氨酯保温层粘接测试	3	0.035	从界面断开
2	冰与防冰拔涂层粘接测试	3	0.0027	从界面断开

4.4 抗压抗剪测试结果

试验结果表明：在 0.3MPa 的压力作用下，试件变形位移 $S < 0.5\text{mm}$ ，表明保温层在压力作用下变形较小，在冰压力作用下不会发生抗压破坏。抗剪试验表明，在压力作用下，防冰拔涂层与基面保温层粘接良好，在接触面边部没有发生剪切破坏。

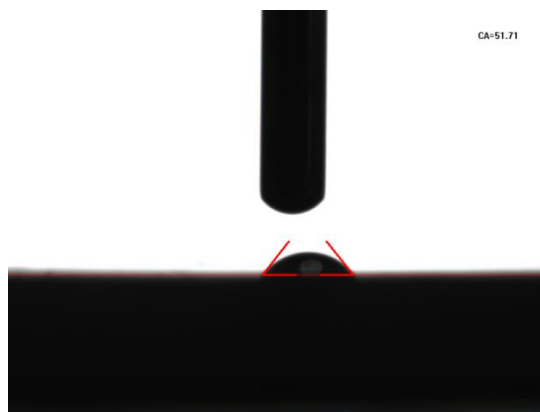
试验表明聚氨酯保温层表面涂刷防冰拔涂层之后，在冰推力作用条件下，不会发生过大的压缩变形，在冰层与保温层接触边缘不会发生剪切破坏。

表 5 抗压抗剪试验结果

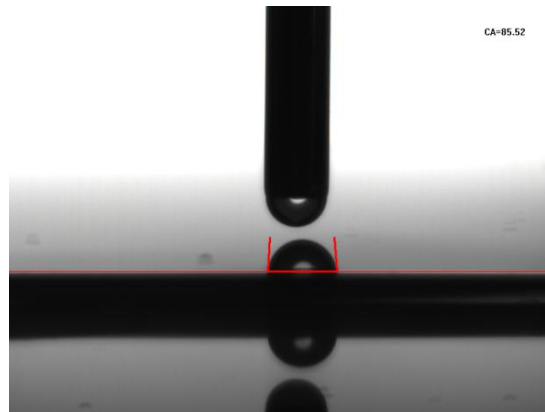
序号	试验项目	测试压力 (MPa)	抗压变形 (mm)	抗剪变形	备注
1	保温层抗压变形测试	0.3	0.3	界面未破坏	
2		0.5	0.5	界面未破坏	

4.5 接触角测试

接触角试验结果表明：SK 天冬聚脲的接触角 $CA=51.71^\circ$ ，疏水性能一般，而氟改性耐候面漆的接触角为 $CA=85.52^\circ$ ，较天冬聚脲的接触角大 33.8° ，疏水性能较好，在天冬聚脲表面涂覆一层氟改性天冬树脂面漆，可以提高防冰拔涂层的抗冰粘接能力，提高天冬聚脲涂层长期耐候能力。测试结果如照片 7 和 8 所示。



照片 7 天冬聚脲测试结果 $CA=51.71^\circ$



照片 8 氟改性耐候面漆测试结 $CA=85.52^\circ$

5 工程应用

2018年丰满电站大坝上游面聚氨酯保温层采用SK天冬聚脲防冰拔复合防护体系进行了现场应用，涂刷面积1万平方米，工程2019年6月蓄水，经过一个冬季的运行，除个别部位保温层发生挤压破坏以外，整个保温层基本没有发生冰拔破坏的现象，证明SK天冬聚脲防冰拔复合防护体系具有良好的抗冰拔防护效果。



照片 9 SK 天冬聚脲防冰拔复合防护体系运行一年效果

照片 10 防冰拔涂层细观效果

6 结论

针对严寒地区大坝聚氨酯保温层冰拔破坏的问题,本课题选择SK天冬聚脲材料复合氟改性耐候面漆作为防冰拔防护涂层体系。室内性能试验表明,防冰拔涂层体系力学性能优异,与保温层之间的结合良好,与冰层之间粘接力非常小,满足大坝聚氨酯保温层表面防冰拔处理的要求。丰满电站现场应用结果表明,采用SK天冬聚脲复合氟改性耐候面漆的复合防护体系施工涂刷效果均较好,没有流挂和鼓包情况的发生,满足现场防冰拔防护的要求,经过一年运行,整体效果良好,可为北方严寒地区水工建筑物防冰拔防护提供借鉴。

参 考 文 献:

- [1] Cao L, Jones A K, Sikka V K, et al. Anti-icing superhydrophobic coatings[J]. Langmuir, 2009, 25(21): 12 444-124 48.
- [2] Menini R, Ghalmi Z, Farzaneh M. Highly resistant icephobic coatings on aluminum alloys[J]. Cold Regions Science and Technology, 2011, 65(1): 65-69.
- [3] 吕健勇, 王健君. 防冰涂料研究进展[J]. 涂料技术与文摘, 2014, 35(8): 37-41.
- [4] 罗金, 涂料防结冰性能测试进展[J]. 消费导刊, 2019, 16:87.

SK 天冬聚脲防冰拔复合防护体系试验及工程应用研究

Study and engineering application of SK polyaspartic polyurea composite protection system against ice drawing

YangWeiCai¹ FuYingQian²

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China 2.BEIJING IWHR-KHL.Co.Ltd, Beijing 100038,)

Abstract: The polyurethane thermal insulation layer on the upstream face of the dam in the severe cold area of North China may be damaged by the ice layer, In this paper, SK polyaspartic polyurea composite fluorine modified polyaspartic polyurea composite protection system is used to prevent ice pull-out damage, The laboratory test of anti icing coating was carried out. The test results show that the composite protective system has good adhesion and excellent anti icing ability with

polyurethane insulation layer. The field process test shows that the application effect of the composite protection system is good, which meets the requirements of anti icing construction on site. The protection scheme has been widely applied as the final treatment technical scheme for anti ice pulling of thermal insulation layer of FengMan Hydropower Station.

Key words: SK polyaspartic polyurea, ice drawing damage, polyurethane insulation, Polyurethane insulation