

特殊施工环境对聚氨酯止水材料工作特性的影响

邹军¹,唐新军¹,李晓庆¹,高强¹,曹登云²

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆科能防水防护材料有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830022)

摘要: 针对恶劣施工环境或养护条件对聚氨酯密封胶工作特性的影响。利用室内试验,通过人为控制温度,对低温环境、冻融过程、低温固化以及使用界面剂等明渠混凝土衬砌伸缩缝止水材料施工工况进行了模拟试验。考察分析了止水材料的破坏形式、黏结强度和断裂伸长率等指标。试验结果表明:聚氨酯密封胶遭遇冻融过程,或在低温环境下养护固化,其工作性能会有不同程度的下降;尤其是在低温潮湿环境下固化和冻融对聚氨酯密封胶与基材的黏结强度影响显著,工程中应予以足够重视;对于不利(恶劣)的特殊施工环境,使用界面剂可显著提高材料的工作性能。

关键词: 聚氨酯密封胶; 低温; 冻融作用; 黏结强度; 界面剂

中图分类号: TV41 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2016)04-0199-04

Influence of special construction environment on work performance of Polyurethane waterproof material

ZOU Jun¹, TANG Xinjun¹, LI Xiaoqing¹, GAO Qiang¹, CAO Dengyun²

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Xinjiang Keneng Waterproof and Protection Materials Co., LTD, Urumqi 830022, China)

Abstract: In the light of influence of the worse construction environment and curing condition on work performance of polyurethane sealant, the paper used the laboratory tests, artificially controlled temperature, and tested low temperature, process of freezing and thawing, curing at low temperature and primer measure encountered in the construction of sealing joints of concrete lining open channel. It Investigated and analyzed the indicators such as the damage form of sealing material, bond strength and elongation at break. The test results show that when polyurethane sealant meet with the process of freezing and thawing or curing at low temperature, the work performance of polyurethane sealant will have the decline of different degrees. If polyurethane sealant is in damp environment, the effect of Solidification and freezing thawing on the bond strength of polyurethane sealant is very significant, which should be paid more attention in actual engineering. Under special construction environment, to use primer can improved significantly the work performance of sealing material.

Key words: polyurethane sealant; low temperature; effect of freezing and thawing; bond strength; primer

1 研究背景

对于刚性材料衬砌的明渠式大型长距离供(调)水工程来讲,减免渠道渗漏水量和减免因渠道渗漏水而造成的渠堤病害是工程运行维护中的核心工作^[1-3]。因此,较之普通灌溉渠道,此类工程对刚性渠道衬砌伸缩缝止水材料的工作性能有更高的要

求。当前,聚氨酯密封胶以其优异的性能,开始逐渐取代以前工程中常用的沥青油毡、PVC油膏、沥青砂浆等止水材料,在刚性衬砌明渠工程中得以推广使用^[4-6]。但在实际工程应用中也发现,因施工环境及条件不当,聚氨酯密封胶与伸缩缝两侧混凝土板黏结不牢,容易形成渗水通道或被水流从缝中带出,这是导致止水失效主要原因之一^[7-8]。作为目

收稿日期:2016-01-25; 修回日期:2016-04-11

基金项目:新疆水利水电工程重点学科基金资助项目(XJZDXK-2002-10-05)

作者简介:邹军(1990-),男,四川内江人,硕士研究生,研究方向为寒冷干旱区水工结构接缝止水研究。

通讯作者:唐新军(1959-),男,陕西蒲城人,教授,博士生导师,主要从事水工结构工程理论教学与科研工作。

前水工建筑物伸缩缝止水材料的主导,聚氨酯密封胶材料虽然性能优越,但施工工序繁多、环境复杂,影响质量因素多^[9-10]。通过对我国北方地区相关工程的调查显示:因供(调)水运行需要,已建工程的修补工作仅能安排在深秋或初春;受工期限制,新建明渠工程伸缩缝止水材料的施工也往往安排在秋季。在这些时段进行聚氨酯密封胶施工,常会遭遇低温、潮湿等施工环境,与夏季高温、干燥的施工环境相比,决定止水材料工作性能的外部环境差异较大。故本试验针对聚氨酯密封胶在实际工程中所遭遇的特殊施工环境,对其工作特性的影响进行专门研究。

2 试验概况

2.1 试验方法

工程实践表明混凝土刚性渠道伸缩缝止水材料工作性能的核心是止水材料与两侧基材(混凝土)的黏结性能,考虑到本试验结果与现行规范标准方法下结果的对比需要,故本次试验按照现行规范标准方法^[11]。

2.2 试件制作与试验控制

试验模具为水泥砂浆板“工”字模(如图1所

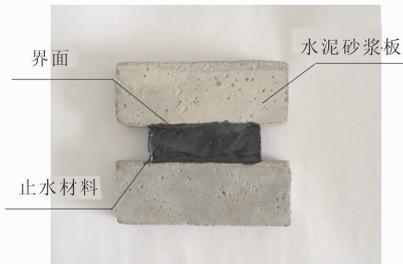


图1 聚氨酯拉伸黏结性能测定用“工”字模

密封胶胶体宽度尺寸(两基材板间距)以12 mm控制,采用游标卡尺测定试件试验前的宽度,断裂伸长率按式 $E = 100 \times (W_1 - W_0) / W_0$ 计算,式中: E 为断裂伸长率,%; W_0 为试件的原始宽度,mm; W_1 为试件破坏时的拉伸宽度,mm。

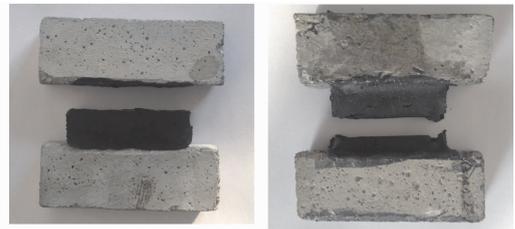
3 试验结果分析

3.1 低温环境对标养条件下聚氨酯密封胶工作性能的影响

该组试验主要模拟聚氨酯固化完成后出现低温环境其工作性能的变化情况,试验中将制备好的试件标准养护7 d,然后将试件放置特定温度 T_1

(示),水泥砂浆板基材尺寸为75 mm × 25 mm × 12 mm。试验用止水材料为工程上目前普遍使用的双组份聚氨酯密封胶,按A料:B料=1:4质量配比进行混合配制。充分搅拌均匀后,用两块水泥砂浆板和两块隔离垫块组装成空腔,然后将配制好的聚氨酯密封胶嵌填在空腔内,制备成试件,各种工况下平行试件3个。试验中的标准养护条件为:温度 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(50 \pm 5)\%$ 。

本试验主要研究在低温、低温潮湿、冻融等特殊施工环境下对聚氨酯密封胶工作性能的影响,重点考察聚氨酯密封胶与两侧水泥砂浆板的破坏形式、黏结强度以及材料的断裂伸长率等指标。止水材料拉伸黏结性测定所采用的试验仪器为DL-1000型电子拉力试验机(最大试验力:1000 N,示值准确率 $\pm 1\%$;拉伸长度:800 mm),将符合试验要求的试件装入拉力试验机,拉伸速率控制在5~6 mm/min范围内,直至将试件拉伸破坏为止^[12]。黏结强度按式 $T_s = P/S$ 计算,式中: T_s 为黏结强度,MPa; P 为最大拉伸值,N; S 为试件截面积,mm²。材料拉伸破坏有两种形式:一种为黏结破坏,即密封胶与黏结基材界面发生的破坏现象;另一种为内聚破坏,即密封胶本体发生破坏。两种破坏形式如图(2)所示。



(a) 黏结破坏

(b) 内聚破坏

图2 聚氨酯密封胶拉伸破坏形式

(20°C)、 T_2 (0°C)、 T_3 (-10°C)、 T_4 (-20°C)、 T_5 (-30°C)的恒温箱,静置4 h,取出后立刻用拉力试验机测定试样的黏结性能。5个温度组试件破坏形式均为黏结破坏,测定结果见图3。

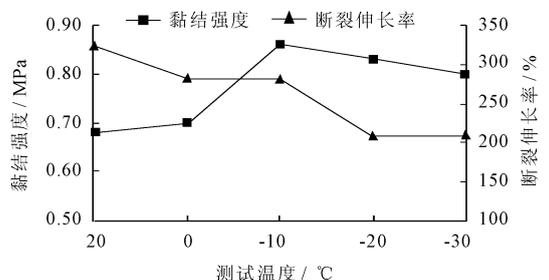


图3 不同测定温度下材料工作性能指标

如图 3 所示,被测材料的断裂伸长率随温度降低而降低,其中 $T_5(-30^\circ\text{C})$ 组时最小, $E = 208\% > 200\%$, 依然符合规范规定值^[13], 说明该聚氨酯密封胶在低温下断裂伸长率性能良好。

材料的黏结强度则随着温度降低呈现出增长的变化趋势, $T_1(20^\circ\text{C})$ 组聚氨酯密封胶试件平均黏结强度 $T_s = 0.68 \text{ MPa}$, 温度在 0°C 以下的三个温度组 T_3 、 T_4 、 T_5 试件的 T_s 值均有不同程度的增长, 其中 $T_3(-10^\circ\text{C})$ 组增长最大, $T_s = 0.86 \text{ MPa}$, 增长率为 25.54%。

对各温度组黏结强度数据进行正态均值差的 t 检验(见表 1), 结果显示温度组可分为两个组段, 组段 1 (T_1 、 T_2) 数据无差异 ($P > 0.05$), 组段 2 (T_3 、 T_4 、 T_5) 数据无差异 ($P > 0.05$), 组段 1 与组段 2 有显著差异 ($P < 0.05$)。即以 0°C 为拐点, 0°C 以下三个温度组 T_3 、 T_4 、 T_5 黏结性能的影响因素及因素影响水平是一致的, 分析认为组段 2 黏结强度值增加的原因是低温环境导致聚氨酯固化物柔性降低, 需要提供附加拉伸力克服聚氨酯因低温造成的内部冻结力。该组试验表明, 对于已完成固化的聚氨酯密封胶, 低温环境对其黏结强度影响较小, 但可使材料的断裂伸长率降低。

表 1 各温度组试件黏结强度数据的 t 检验结果

结果	(T_1, T_2)	(T_3, T_4)	(T_3, T_5)	(T_4, T_5)	$((T_1, T_2), (T_3, T_4, T_5))$
P 值	0.306	0.347	0.327	0.42	0.034
	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	<0.05
判别情况	无差异	无差异	无差异	无差异	差异显著

3.2 冻融循环对标准养护下聚氨酯密封胶性能的影响

该组试验主要模拟聚氨酯固化完成后出现冻融过程对其工作性能的影响, 试验中将制备好的试件标准养护 7 d, 然后施加冻融过程, 先将试件放置温度 (-5°C) 恒温箱, 静置 12 h, 然后将试件放置温度 (5°C) 恒温箱, 静置 12 h, 冻融循环 7 次。冻融过程中恒温箱内设置了潮湿环境(将试件置于水中, 水深 3 mm, 约为试件 1/4 高度)和干燥环境(置于恒温箱)两类环境, 冻融过程完成后将试件取出, 用拉力试验机测定试样的黏结性能, 试件破坏形式均为黏结破坏。试验结果见表 2。

根据表 2 可以看出两类冻融环境下黏结强度数据的标准差都较小, 数据值较为集中。聚氨酯密封胶在潮湿环境下遭遇冻融过程, 冻融作用显著, 黏结

强度值较标准养护条件下(7 d)的 T_s 值降低了 58.82%。在干燥环境下虽然遭遇冰点上、下温度交替, 但由于缺少水分参与, 冻融作用微弱, 因此对黏结强度影响较小, 较标准养护条件下(7 d)的 T_s 值仅降低了 14.71%。

两类冻融环境下断裂伸长率数据的标准差较大, 数据离散, 总体上经历冻融过程, 材料的断裂伸长率都大为降低, 其值分别为 96% 和 91%。

以上试验结果可以看出, 在实际工程中即使施工时基材界面干燥, 并完成固化(7 d 养护), 但如果渠堤含水率高, 在遭遇多次冻融过程后, 聚氨酯密封胶的工作性能将显著降低。

表 2 冻融循环条件下聚氨酯密封胶工作性能指标

冻融环境	平均断裂	组内数据	平均黏	组内数据
	伸长率	标准差	结强度	标准差
	$E / \%$	$S / \%$	T_s / MPa	S / MPa
潮湿环境	96	19	0.28	0.025
干燥环境	91	61	0.58	0.023

3.3 低温环境下固化的聚氨酯密封胶工作性能

该试验主要模拟在低温环境下施工对聚氨酯密封胶工作性能的影响, 根据我国北方地区的气候特点, 同时考虑供(调)水工程对维修时间的限定要求, 主要考察了 10 月份中、下旬室外环境温度, 设定低温养护条件为 5°C 。考虑到维修工程常遇到潮湿环境, 因此设置了低温潮湿环境(将试件置于饱和水的砂层上)和低温干燥环境(置于恒温箱)两类养护环境进行对照。同时试验中还考察了不同养护龄期对聚氨酯密封胶工作性能的影响。试验中试件的破坏形式均为黏结破坏, 但破坏过程有差别, 潮湿环境养护条件下的试件破坏是整个界面一起被拉开, 界面分离时间较短; 干燥环境养护条件下的试件破坏则是试件一端缓慢延伸拉开, 界面分离时间长。试验测试结果见表 3。

表 3 聚氨酯在不同低温养护环境下工作性能试验结果

养护环境 与温度	龄期 T / d	平均断裂	平均黏	组内数据
		伸长率 $E / \%$	结强度 T_s / MPa	标准差 S / MPa
潮湿环境 5°C	7	181	0.41	0.047
	14	128	0.43	0.066
	28	115	0.45	0.025
干燥环境 5°C	7	388	0.60	0.024
	14	193	0.74	0.037
	28	167	0.56	0.046

对两类养护环境 6 组黏结强度试验数据进行分析,组内数据最大标准差 $S = 0.066$,说明试验组组内数据离散程度小、一致性好。干燥环境低温养护条件下的黏结强度 ($T_{s-7d} = 0.60$ Pa) 比标准养护条件下的黏结强度 ($T_{s-7d} = 0.68$ MPa) 降低了 11.76%,降幅不大。干燥环境低温养护条件下各龄期试件的黏结强度值在 0.56 ~ 0.74 MPa 范围,说明低温环境(5℃)养护条件虽然使材料的黏结性能有所降低,但影响不大。而潮湿环境低温养护条件 ($T_{s-7d} = 0.41$ MPa) 则降低了 39.71%,降幅较大,各龄期试件的黏结强度数值基本一致,可以判断止水材料与基材的黏结强度是由初期固化时所处环境的潮湿程度直接决定的,与后期龄期的长短关系不大。

材料断裂伸长率指标,除干燥环境低温养护条件下(7 d)的平均断裂伸长率值 $E = 388\% > 200\%$ 外,其余情况 E 值均 $< 200\%$ 。低温情况下潮湿与干燥环境的材料断裂伸长率随着龄期的增加其值明显下降,断裂伸长率的降低与界面黏结强度降低有直接关系。

3.4 涂刷界面剂对聚氨酯密封胶工作性能的影响

实际工程中如遇到低温、潮湿、界面清洁度不足等不利施工环境,通常使用界面剂作为加强措施,即在填充聚氨酯密封胶作业前预先在基材表面涂覆界面剂,用于增强聚氨酯与基材之间的黏结力和封闭基材表面缺陷、阻隔水汽。本试验对使用界面剂的效果也进行了对比,试验结果见表 4。

表 4 特殊施工环境下使用界面剂的效果

特殊施工环境	平均黏结强度 T_s / MPa		增长率/%	平均断裂伸长率 E / %		增长率/%
	无界面剂	有界面剂		无界面剂	有界面剂	
标养 7 d 置于 0℃	0.70	0.77	10.00	282	298	5.67
标养 7 d 置于 -10℃	0.86	1.04	20.93	280	367	31.07
标养 7 d 置于 -20℃	0.83	1.05	26.51	208	296	42.31
标养 7 d 置于 -30℃	0.80	0.85	6.25	207	256	23.67
标养 7 d 潮湿环境冻融	0.28	0.63	125.00	96	238	147.92
标养 7 d 干燥环境冻融	0.58	0.77	32.76	91	240	163.74

注:本试验所用界面剂为郝斯特界面剂。

对于标养 7 d 后置于低温环境情况,涂刷界面剂后各温度组 (T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5) 材料的工作性能指标均有不同程度的提高。试件破坏形式为内聚破坏(见图 2(b));黏结强度增加幅度 6.25% ~ 26.51%,断裂伸长率增加幅度 5.67% ~ 42.31%。对于标养 7 d 后冻融情况,涂刷界面剂后材料的工作性能指标得到较大改观,尤其是潮湿环境下的冻融情况,黏结强度增加了 125.00%,其值与标准养护 7d 情况值相近;同时断裂伸长率增加了 147.92%,其值也大于 200%。

4 结论

(1) 聚氨酯密封胶虽然具有优良的性能,但遭遇冻融过程,或在低温环境下养护固化,其工作性能将有不同程度的下降。

(2) 潮湿环境对聚氨酯密封胶与基材的黏结性能影响显著,本试验模拟的潮湿环境是试件制备完成后再将试件置于潮湿环境,如若是在试件制备时界面为潮湿情况将影响更大。因此,对于潮湿环境

下的聚氨酯密封胶施工应给予足够的重视。

(3) 干燥环境下,即使在低温(5℃),只要保障 7 d 的养护条件,其黏结强度值的降低较小,但低温养护、冻融过程对材料的断裂伸长率影响较大,其值低于 200%。因此实际工程中若仅以黏结强度为设计目标,聚氨酯密封胶可在低温 5℃ 时施工,这将为工程维修提供了一定的时间余地。

(4) 对于低温环境、低温冻融过程情况,尤其是潮湿环境下的低温冻融情况,涂刷界面剂将显著提高止水材料的工作性能。

(5) 受试验设备限制,试验对特殊施工环境进行了一定的概化处理,特殊施工环境下聚氨酯密封胶工作性能的影响有待进一步深入和细致研究。

参考文献:

- [1] 万晖.长距离明渠输水系统运行调度控制方式研究[D].南京:河海大学,2006.
- [2] 何武全,刘群昌.我国渠道衬砌与防渗技术发展现状与趋势[J].中国农村水利水电,2009(6):3-6.

(下转第 208 页)

水平为 1.18 ~ 2.36 mm。

(3) 加入胶粒能明显改善其冻融质量损失率, 质量损失率随着胶粒掺量的增大呈间歇性变化, 掺量为 15% 时, 质量损失率明显优于基准混凝土。胶粒掺量对混凝土抗冻性影响最大, 最优掺量值大约在 15% ~ 30%。

参考文献:

- [1] 韩君, 于晓飞, 周德洪. 废旧橡胶粉改性沥青的高温性能研究[J]. 山西建筑, 2016, 42(4): 117 - 118.
- [2] 史新亮. 废旧轮胎橡胶路面混凝土性能研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2008.
- [3] 潘东平. 橡胶混凝土的应用和研究概况[J]. 橡胶工业, 2007, 54(3): 182 - 185.
- [4] 李锐, 王玲. 橡胶集料混凝土研究进展综述[J]. 混凝土, 2006(4): 91 - 95.
- [5] 沙涛. 橡胶颗粒混凝土技术性能分析及改良工艺研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [6] 杨春峰, 叶文超, 杨敏. 废旧橡胶混凝土的耐久性研究进展[J]. 混凝土, 2012(4): 61 - 63.
- [7] 张冬梅. 混凝土耐久性的分析与提高措施[J]. 科技信

息, 2014(9): 185, 225.

- [8] 叶兴丽. 橡胶颗粒混凝土配制及性能研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [9] 叶文超. 橡胶混凝土耐久性试验研究[D]. 沈阳: 沈阳大学, 2013.
- [10] 谢李, 娄宗科. 橡胶混凝土抗冲磨性能的研究[J]. 水资源与水利工程学报, 2014, 25(2): 188 - 191.
- [11] 韩春翠. 碾压橡胶混凝土力学性能研究[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [12] 杨卫坤, 袁群, 冯凌云, 等. 橡胶混凝土拌合物性能试验研究[J]. 人民黄河, 2011, 33(9): 122 - 124.
- [13] 杨春峰, 杨敏, 吴文辉. 废旧橡胶混凝土工作性能试验研究[J]. 混凝土, 2013(5): 83 - 86.
- [14] 王涛, 洪锦祥, 缪昌文, 等. 橡胶混凝土的试验研究[J]. 混凝土, 2009(1): 67 - 69.
- [15] 田艳凤, 李赞成, 高艳青. 废旧橡胶粉改性混凝土渗透性能试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2015(9): 86 - 89.
- [16] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T5150 - 2001, 水工混凝土试验规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

(上接第 202 页)

- [3] 雷声隆, 罗强, 张瑜芳, 等. 防渗渠道输水损失的估算[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(3): 7 - 10.
- [4] 赵小点, 杨路华, 孙建勋, 等. 渠道衬砌形式对防渗效果的影响[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(3): 165 - 168.
- [5] 张慧莉, 汪有科, 孙坤君. PTN 新型渠道接缝材料研制[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(1): 38 - 41.
- [6] 中华人民共和国水利部. GB/T 50600 - 2010 渠道防渗工程技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [7] 顾占云. 渡槽伸缩缝漏水的原因及处理措施[J]. 工程实践, 2010(6): 77 - 78.
- [8] 傅柯. 黑河渠道砖厂渡槽伸缩缝渗漏原因分析及治理[J]. 山西建筑, 2014, 40(22): 249 - 251.
- [9] 成万龙. 关于南水北调工程施工中密封胶施工技术分析[J]. 河南水利与南水北调, 2014(13): 46 - 47.
- [10] 王晓军. 密封胶施工技术在水利工程施工中的应用[J]. 湖南水利水电, 2014(5): 24 - 26.
- [11] 全国轻质与装饰修建筑材料标准化技术委员会. GB/T 13477 - 2002 建筑密封材料试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [12] 靳昊, 易忠来, 李化建, 等. 聚氨酯嵌缝材料老化性能初探[J]. 聚氨酯工业, 2014, 29(6): 22 - 24 + 44.
- [13] 全国轻质与装饰修建筑材料标准化技术委员会. JC/T 482 - 2003 聚氨酯建筑密封胶[S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2003.