

施工与监理

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.02.022

# 北疆高寒区某大型干渠伸缩缝止水材料修补工程研究

贺航<sup>1</sup>, 刘铁思<sup>1</sup>, 何方胜<sup>1</sup>, 李晓庆<sup>2</sup>

(1. 新疆克拉玛依市水务有限责任公司, 新疆 克拉玛依 834000; 2. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 针对北疆高寒区某大型干渠衬砌伸缩缝修补的生产需求,首先探明了渠道结构缝漏水的原因;其次通过对以往修补工作结果的考察并结合现场试验,进行了止水材料的经济技术比选;再次通过室内试验讨论了低温、潮湿以及缝面不洁等特殊施工环境下对聚氨酯密封胶工作性能的影响;最后综合以上成果,确定了相适宜的施工工艺。实践证明,采用推荐方案工程应用良好,可为类似条件下的工程建设提供借鉴和参考。

**关键词:** 伸缩缝; 止水材料; 聚氨酯密封胶; 黏结强度

**中图分类号:** TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)02-0117-04

## Mending Option on Waterstop Materials for the Expansion Joints in a Large Main Canal in Alpine Area of Northern Xinjiang

HE Hang<sup>1</sup>, LIU Tie-si<sup>1</sup>, HE Fang-sheng<sup>1</sup>, LI Xiao-qing<sup>2</sup>

(1. Water Affairs Co. Ltd. of the Karamay City, Karamay 834000, China; 2. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** According to the production demand of the expansion joint repair in a large main canal in alpine area of northern Xinjiang, the following work steps had been performed. First of all, the leakage causes of canal expansion joint were found out. Secondly, on the basis of field test and engineering experience, an eco-technical comparison of waterstop materials was carried out. The working properties of the polyurethane sealant were studied under special construction environment, such as low temperature, humidity and unclean of the joint surface. Finally, the construction technology appropriate to the actual situations was identified. A mending option was successfully applied in practice, which provides a good reference for other projects in similar construction environment.

**Key words:** expansion joints; waterstop material; polyurethane sealant; bonding strength

新疆某引水工程属国家大(2)型Ⅱ等工程,其中输水明渠是我国西北地区首条寒冷、高纬度、长距离(329 km)、跨区域的大型干渠,设计流量为23 m<sup>3</sup>/s,加大流量为28 m<sup>3</sup>/s。渠道采用梯形现浇混凝土

板衬砌型式,局部渠段为浆砌块石直墙衬砌结构,渠床基土为砂砾石、沙土或爆破岩石混合料。干渠于2000年建成运行,渠道衬砌伸缩缝接缝止水材料原设计为沥青砂浆,运行后沥青砂浆老化、剥蚀、脱

落较为严重,先后采用了沥青砂浆、PVC 油膏、聚氨酯密封胶、聚硫密封胶等材料进行伸缩缝修补。虽几经维修,该干渠的部分渠段衬砌仍然出现了较严重的漏水现象,导致渠道底板塌陷、渠基滑塌等病害频发,成为供水工程调水量不能达到设计值的主要因素之一。因此,对该工程而言,研究适宜于工程运行特点的伸缩缝修补方案十分紧迫和必要。

## 1 渠道衬砌结构缝漏水原因分析

针对干渠上大量使用的三种止水材料:沥青砂浆、PVC 油膏、聚氨酯(聚硫)类密封胶,经过现场勘查探明了结构缝漏水原因。

### 1.1 沥青砂浆——止水材料老化冲蚀漏水

干渠伸缩缝接缝止水材料原设计为沥青砂浆,历经 10 多年的运行,沥青砂浆逐渐老化、破损并被水流冲刷带走,形成渗漏通道。现场勘验伸缩缝内充填物多为泥沙和沥青砂浆的颗粒松散混合物,沥青砂浆颗粒含量 < 10% (质量分数),无任何强度,为散粒状态,含水量为 30% 左右,与两侧混凝土无任何黏结强度,渗透系数约为  $2 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ ,渗漏比较严重。综合考察了沥青砂浆的工作性能及破坏特征,可认为在新疆高寒干旱地区,沥青砂浆的耐候性较差,其刚性材料特征与伸缩缝的变形不匹配,在止水要求较高的干渠不适宜采用。

### 1.2 PVC 油膏——止水材料流失漏水

在伸缩缝修补初期使用了大量的 PVC 油膏进行修补,渠道所处区域在夏季地表温度达 60 °C 以上,PVC 油膏出现受热流淌现象,经过 2~3 年后,尤其是阳面伸缩缝中的 PVC 油膏损失殆尽,形成渗漏隐患。

### 1.3 聚氨酯类密封胶——止水材料黏结失效漏水

聚氨酯(聚硫)类密封胶在建筑工程、水利工程中表现出优良的工作性能,但在该干渠伸缩缝修补工程中未实现设计目标,主要原因如下:

① 施工工艺。修补用的聚氨酯(聚硫)密封胶均为双组分,其黑、白料的搅拌均匀充分是材料发挥优良性能的前提。现场查勘发现,之前已施工的密封胶固化物存在黑白相间的现象,甚至有整团呈胶水状的白料。可以判断双组分聚氨酯(聚硫)密封胶在施工时未充分搅拌均匀,从而导致止水材料黏接失效而漏水。

② 施工环境。受生产运行管理要求,干渠停水时间为每年的 10 月下旬—次年 4 月初,因此渠道

的维修时间仅能安排在 10 月下旬至 11 月上旬。2009 年—2014 年的 10 月下旬当地气温统计结果显示,最高温度平均为 7.6 °C,最低温度平均为 2.3 °C。如此低温环境将对高分子止水材料固化物的成分与结构产生较大影响,材料的工作性能大打折扣。另外,在 3 个渠段对伸缩缝体内物质进行探查时,发现缝体内的物质都处于水饱和状态(渠道停水 12 d 后),该潮湿环境对止水材料与混凝土的黏结强度也造成了严重的不利影响。

## 2 材料选择现场试验

### 2.1 材料现场试验成果分析

根据伸缩缝漏水成因,结合工程伸缩缝修补实际情况,对三种材料进行现场试验。其中:PVC 油膏为减少其热流淌性,在其中掺入了 3% 的石棉粉;聚氨酯密封胶为双组分(A:B=1:4);增强型聚氨酯密封胶为止水材料高端产品。试验渠段选择在干渠 H13 涵洞 14+400 处,渠道断面为梯形,现浇混凝土板衬砌,伸缩缝间距为 3 m,缝宽 2 cm,缝体结构整齐。现场进行了闭水试验和拉拔试验。其中,闭水试验:以试验材料为外包裹,内部设置空腔,充填小石,充水打压,记录其压力峰值;测试时间为 2015 年 3 月 14 日,试验现场温度为 5 °C;每平行组试件为 5 个。拉拔试验:将试验材料涂刷在混凝土板上,固化后采用分体式智能黏结强度检测仪进行拉拔;测试时间 2015 年 3 月 25 日,试验现场温度为 3 °C;每平行组试件为 3 个。

根据现场的闭水试验和拉拔试验可知,增强型聚氨酯密封胶性能稳定,离差小,弹性好,但其他性能与聚氨酯密封胶(普通型)相比较,未显现出明显的优势,初步分析可能为低温环境下固化物反应不充分造成的。PVC 油膏与聚氨酯密封胶在闭水试验和拉拔试验时的性能指标相近,从伸缩缝止水功能角度来选择,聚氨酯密封胶的破坏形式要优于 PVC 油膏,但若考察 PVC 油膏在一年中的性状变化过程,则聚氨酯密封胶的这一优势不再显著。当地表温度达到 20 °C 以上时,PVC 油膏开始软化,内部黏结强度降低,与混凝土界面黏结强度增加,并随着温度的增加,与混凝土界面呈“口香糖”式的黏结方式;当地表温度达到 60 °C 以上时,PVC 油膏开始流淌;进入秋冬季后,PVC 油膏受冷收缩呈现更多的“刚性”,与混凝土界面成为薄弱环节。

2018 年 10 月对试验现场进行了勘查,检验长

期运行工况下各止水材料的性状(4 年运行),情况如下:PVC 油膏整体性较好,但部分缝体存在流淌现象,有的已流失殆尽;聚氨酯密封胶整体性好,工作性能正常;增强型聚氨酯密封胶部分缝体内部出现层块状,层面毛糙,剥离深度有的已接近缝体深度。分析可能是在低温环境下施工,固化时间长,反

应未充分,形成的固化物是“半成品”,受天气影响反复冻融,最终材料呈层块状破坏。

2.2 材料比选

根据现场试验,并结合以往的修补经验,对 PVC 油膏、聚氨酯密封胶、增强型聚氨酯密封胶三种材料进行经济技术比较,结果见表 1。

表 1 三种材料的经济技术比较

Tab. 1 Eco-technical comparison of three materials

止水材料	缝体结构 (宽×深)/ (cm×cm)	材料费/ (元·m <sup>-1</sup> )	总造价/ (元·m <sup>-1</sup> )	施工说明	工作性能
PVC 油膏	2×5	9.45	16.45	热施工,控制困难	高温流淌,低温弹性小
PVC 油膏	2×6	11.34	18.34	热施工,控制困难	高温流淌,低温弹性小
聚氨酯密封胶	2×3	11.14	17.14	冷施工,操作方便	高温稳定性好,低温有弹性
增强型聚氨酯密封胶	2×3	17.14	23.14	冷施工,操作方便	高温稳定性好,低温弹性好, 受环境影响大

注: PVC 油膏施工控制困难,因此修补工程要求缝体深度为 5~6 cm,以确保质量。

由表 1 可知,与其他两种材料相比,增强型聚氨酯密封胶价格较高,其工作性能受施工环境的影响较大。聚氨酯密封胶与 PVC 油膏价格相当,施工方便程度与工作性能方面具有较明显优势。根据《渠道防渗工程技术规范》(GB/T 50600—2010)对伸缩缝止水材料推荐建议:“宜采用黏结力强、变形能力大、耐老化、在当地最高气温下不流淌、最低气温下仍具有柔性的弹塑性止水材料”,综合比选结果,推荐采用聚氨酯密封胶作为干渠伸缩缝的止水材料。

3 特殊施工环境下聚氨酯密封胶性状试验

该干渠伸缩缝修补面临着较为恶劣的施工环境:低温、潮湿和缝体混凝土界面不清洁,为此进行了针对性的室内试验研究<sup>[1]</sup>。

3.1 试验装置与方法

参考《建筑密封材料试验方法 第 8 部分:拉伸粘结性的测定》(GB/T 13477.8—2017),试验模具采用水泥砂浆板“工”字模,水泥砂浆基材尺寸为 75 mm×25 mm×12 mm,测试聚氨酯密封胶为双组分(A:B=1:4),宽度为 20 mm。主要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能采用 DL-1000 型电子拉力试验机测定,平行试验每组 3 个试件。黏结强度按下式计算:

$$T_s = P/S \tag{1}$$

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,mm<sup>2</sup>。

断裂伸长率按下式计算:

$$E = 100 \times (W_1 - W_0) / W_0 \tag{2}$$

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。

3.2 试验成果分析

3.2.1 低温潮湿养护对聚氨酯力学性能的影响

将制备好的试件置于不同环境温度、不同干湿环境(无水环境,有水环境:试件底部放置于含饱和水的砂层上),考察养护环境的影响,结果见表 2。

表 2 聚氨酯在不同养护环境下的力学性能试验结果

Tab. 2 Work performance of polyurethane sealant under different curing conditions

养护环境	龄期/d	断裂伸 长率/%	黏结强度/ MPa	破坏形式
无水环境,-6℃	7	667	0.27	界面破坏
无水环境,-2℃	28	182	0.44	界面破坏
无水环境,20℃	7	323	0.68	界面破坏
无水环境,5℃	7	388	0.60	界面破坏
有水环境,5℃	7	181	0.41	界面破坏

从表 2 可以看出,低温至 5℃ 时对聚氨酯密封胶性能影响尚不大,但遭遇低温和有水环境共同作用时将聚氨酯密封胶性能产生较大影响。有水环境较无水环境(5℃)断裂伸长率、黏结强度分别降低了 53.4% 和 31.7%。环境温度<5℃ 时,低温将对聚氨酯密封胶的固化时间有较大影响,如-6℃ 无水环境下黏结强度仅为 0.27 MPa,而断裂伸长率



为667%,可以判断密封胶固化尚未完成。因此在施工中应尽可能减小潮湿环境的不利影响,同时避免在低于5℃的环境下完成固化过程。

### 3.2.2 冻融循环对聚氨酯密封胶性能的影响

试件标准养护7d后,施加冻融过程(-5、5℃环境交替静置12h,冻融循环7次),试验结果见表3。由表3可以看出,已完成固化的密封胶在遭遇冻融循环后,聚氨酯密封胶工作性能改变较大。冻融作用下,有水环境断裂伸长率、黏结强度分别下降70.3%、58.8%,无水环境断裂伸长率、黏结强度分别下降71.8%、14.7%,表明保障渠床的干燥有利于止水材料功能的实现。

表4 界面不洁对聚氨酯密封胶材料性能的影响

Tab.4 Influence of unclean interface on properties of polyurethane sealant

界面情况	断裂伸长率/%	断裂伸长率降低百分比/%	黏结强度/MPa	黏结强度降低百分比/%	破坏形式
干净界面	224.80	—	0.372	—	界面破坏
粘灰界面	124.81	-44.48	0.291	-21.71	界面破坏
油污界面(润滑油)	91.56	-59.27	0.249	-33.15	界面破坏
油污界面(柴油)	153.72	-31.62	0.297	-20.11	界面破坏

## 4 施工工艺要求

① 采用日照或烘烤方式,保障低温下聚氨酯密封胶原材料在10℃以上;为保障反应充分和施工和易性须增加稀释剂。

② 保障A、B料拌和均匀,A料宜一层一层卷入B料混合,宜采用手提电钻搅拌器或专用密封胶搅拌设备搅拌5min以上,如遇低温,应增加搅拌时间至10min,搅拌的混合物应达到均匀、无色差。增加闭水试验环节(便携式压水装置)以评价密封胶配制质量。

③ 缝体清理完后,须晾晒2~3d,然后注胶,并进一步加强密封剂与两侧混凝土的黏结强度,具体做法为:a.增加缝面清扫工序,可采用毛刷或吹风机;b.密封胶填满伸缩缝后,采用小木棍贴缝面来回“拉”“压”3~5遍,增加密封胶与两侧基材的黏结强度。

## 5 结语

2018年、2019年对已施工的聚氨酯密封胶修补工程进行了检查,完好率达到98%以上。本工程对当前渠道伸缩缝主流止水材料的适应性进行考察,尤其针对低温、潮湿以及缝面不洁等特殊施工环境,提出了适宜的施工工艺要求,拓展了聚氨酯密封胶

表3 冻融循环条件下聚氨酯密封胶工作性能指标

Tab.3 Work performance of polyurethane sealant after freeze-thaw cycles

养护环境	断裂伸长率/%	黏结强度/MPa	破坏形式
无水环境	323	0.68	界面破坏
有水环境(冻融)	96	0.28	界面破坏
无水环境(冻融)	91	0.58	界面破坏

### 3.2.3 界面污物对聚氨酯密封胶性能的影响

由于是修补工程,缝体混凝土界面与新浇筑混凝土界面有很大不同,其干净程度将对止水材料性能造成较大影响<sup>[2]</sup>,因此室内试验也考察了界面存在污物对聚氨酯密封胶性能的影响,结果见表4。

的应用范围,可为类似条件下的工程建设提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] 邹军.特殊施工环境下渠道伸缩缝聚氨酯止水材料粘结性能的试验研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2016.  
ZOU Jun. The Experimental Study for Cohesive Property of Polyurethane Sealing Material in Expansion Seam of Channel under the Special Construction Environment [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2016 (in Chinese)
- [2] 刘义钢,栾顺成.市政工程项目中伸缩缝漏水修复做法[J].中国给水排水,2014,30(8):99-101.  
LIU Yigang, LUAN Shuncheng. Introduction to expansion joint leakage repair method in municipal engineering projects[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(8): 99-101 (in Chinese).

作者简介:贺航(1968—),男,新疆克拉玛依人,大专,工程师,供水研究所所长,从事给排水技术研究和管理工作。

E-mail: xjklmyhh@126.com

收稿日期:2019-10-18

修回日期:2019-11-08

(编辑:丁彩娟)