

弹性聚氨酯灌浆材料的应用性能研究

郑先军,韩德强,江磊,解松,谢鸿鑫

(北京东方雨虹防水技术股份有限公司,北京 101309)

摘要:研制了一种双组分弹性聚氨酯灌浆材料,考察了A、B组分不同比例的固化情况,结果表明,质量比A:B在(0.8~1.2):1范围内都能很好固化,且施工时采用体积比或质量比A:B=1:1对综合性能基本无影响。催化剂用量在0.2%以下时,随着催化剂用量的增加,灌浆材料的可操作时间和凝胶时间急剧缩短;催化剂用量在0.2%以上时,随着催化剂用量的增加,灌浆材料的可操作时间和凝胶时间平稳缩短。该灌浆材料克服了遇水发泡问题,具有良好的贮存稳定性、优异的耐低温性能和良好的粘结性能。

关键词:双组分弹性聚氨酯灌浆材料;固化条件;催化剂;粘结强度;拉伸性能;贮存性能;工程应用

文章编号:1007-497X(2026)-01-0005-06 中图分类号:TU57*8;TU502 文献标志码:A

Research on the Application Performance of Elastic Polyurethane Grouting Material

Zheng Xianjun, Han Deqiang, Jiang Lei, Xie Song, Xie Hongxin

(Beijing Oriental Yuhong Waterproof Technology Co., Ltd., Beijing 101309, China)

Abstract: A two-component elastic polyurethane grouting material is developed and the curing behavior of components A and B in different proportions is explored. The results indicate that the ratio A to B within the range of (0.8~1.2):1 can be well cured. Using either volume or mass ratio of A:B = 1:1 has little impact on overall performance during construction. The operation and gel times decrease sharply with increasing dosage when the catalyst dosage is below 0.2%, and decrease steadily when the catalyst dosage is above 0.2%. This grouting material overcomes the problem of foaming when encounter water. The material exhibits good storage stability, low-temperature resistance and bonding performance.

Key words: two-component elastic polyurethane grouting material; curing condition; catalyst; bonding strength; tensile performance; storage performance; engineering application

0 前言

混凝土因其优异的性能成为当代工程领域中应用最广泛的建筑材料,但混凝土是一种脆性材料,极限拉伸值低、延展性差,在实际工程中受到热胀冷缩、循环荷载等因素影响,普遍存在开裂现象,对后期使用产生影响^[1]。因此,对混凝土裂缝进行修复是工程中

关注的重点,采用灌浆法对混凝土进行修复,是一种重要的手段^[2]。

灌浆法主要通过灌浆泵等泵送设备,输送灌浆材料至混凝土缺陷部位,浆液渗透、扩散并充填至整个缺陷部位,凝胶固化后起到防渗、堵漏的作用^[3]。灌浆材料分无机灌浆材料和化学灌浆材料两大类。无机灌浆材料因其是粉料,无法渗透至混凝土细微裂缝,且也是刚性材料,强度高但韧性不足,不能适应裂缝形变;化学灌浆材料黏度低、可灌性好,能渗透到混凝土细微裂缝,并且能根据工程时间需求调节凝胶时间和

收稿日期:2025-04-08

作者简介:郑先军,男,高级研发工程师,研究方向为聚氨酯材料及化学灌浆材料。联系地址:101309北京市顺义区顺平路沙岭段甲2号,E-mail:zhengxj@yuhong.com.cn。

固化物的力学性能,合适的弹性化学灌浆材料可以适应混凝土活动缝。

化学灌浆材料经历了一个长期发展的过程^[4-5],从最早使用的水玻璃浆料,到中期使用的甲凝、木质素、糠醛树脂、丙凝等灌浆材料,发展至现在使用较多的聚氨酯类、环氧类、丙烯酸盐类灌浆材料。目前使用较多的有三类化学灌浆材料:环氧树脂灌浆材料、丙烯酸盐灌浆材料、聚氨酯类灌浆材料^[6-7]。

应用于裂缝处理的弹性聚氨酯灌浆材料的相关报道比较少。本研究制备了一种弹性聚氨酯灌浆材料,该材料是一种双组分、弹性、无溶剂、低黏度、不发泡的憎水性材料,闪点高,施工安全性好,柔韧性高,适用于干燥和渗水部位的弹性密封,可提升防渗堵漏的可靠性。本文对该弹性聚氨酯灌浆材料的应用环境、固化条件、贮存性能等应用性能进行了研究,并结合具体工程案例介绍了其施工工艺。

1 试验部分

1.1 原材料

弹性聚氨酯灌浆材料,分A、B两组分,按照体积比1:1混合,搅拌均匀制样进行各项性能测试,北京东方雨虹防水技术有限公司;有机金属催化剂,上海凯因化工有限公司。

1.2 性能测试

黏度按照GB/T 2794—2022《胶黏剂黏度的测定》的规定测试A、B组分混合后的初始黏度。

不挥发物含量按照GB 16777—2008《建筑防水涂料试验方法》中溶剂型、反应型固体含量测试方法进行。

拉伸强度和断裂伸长率按照GB/T 2567—2021《树脂浇铸体性能试验方法》的规定采用哑铃型凝胶体,测试周期96 h。

粘结强度按照GB 16777—2008的规定,采用“8”字模进行测试。

凝胶时间按照GB 16777—2008中表干时间的测试方法测试。

可操作时间的测试:A、B组分按体积比1:1混合均匀,采用旋转黏度计按GB/T 2794—2022规定的试验方法测试黏度,从A、B组分混合开始计时,混合浆液黏度达到10 Pa·s的时间即为可操作时间。

2 结果与讨论

本研究制备的弹性聚氨酯灌浆材料满足Q/SY YHF 0094—2015《弹性聚氨酯灌浆材料》的指标要求,基本性能如表1所示。从表1可以看出,该材料具有较高的断裂伸长率和较好的粘结性能,能适应裂缝形变的同时,还能保持与基材的一致性,提高防渗堵漏的可靠性。

表1 弹性聚氨酯灌浆材料的基本性能

项目	标准要求	实测值
初始黏度/(mPa·s)	≤1 000	230
不挥发物含量/%	≥98	99
可操作时间/min	≥30	50
拉伸强度/MPa	≥0.5	1.1
断裂伸长率/%	≥200	403
粘结强度/MPa	≥0.4	0.85

为了验证该弹性聚氨酯灌浆材料在实际工程中的应用效果,本文从应用环境、固化条件以及贮存条件对其应用性能进行了研究。

2.1 应用环境

2.1.1 不同基层粘结性能考察

弹性聚氨酯灌浆材料可以用于湿缝的防渗堵漏,也可用于干燥缝的充填密封,故考察其不同基面的粘结性能,具有实际意义。

弹性聚氨酯灌浆材料与干燥和潮湿水泥基材的粘结性能,按照GB 16777—2008的规定,采用“8”字模进行测试,其中潮湿粘结性能测试用“8”字模提前在水中浸泡24 h后抹去表面水分使用。试样制备时,将弹性聚氨酯灌浆材料按照体积比1:1混合后,均匀涂在试块上,待完全固化后,在标准养护条件下养护7 d。粘结性能测试结果见表2。

从表2可以看出,弹性聚氨酯灌浆材料对水泥基材具有较好的粘结性能,尤其是在干燥基材上。这是

表 2 不同干湿基材的粘结强度

项目	粘结强度/MPa					平均值
	试件 1	试件 2	试件 3	试件 4	试件 5	
干燥基面	0.81	0.90	0.83	0.69	0.91	0.83
潮湿基面	0.22	0.31	0.25	0.28	0.24	0.26

因为灌浆材料中含有异氰酸酯官能团,在固化过程中能与基材表面的羟基反应,与基材连成整体,从而提高了粘结强度;同时,弹性聚氨酯灌浆材料黏度较低,能快速浸润到基材的细微毛细孔中,锚固在基层内,也提高了粘接力。当基层为潮湿基层时,在没有压力的情况下,弹性聚氨酯灌浆材料很难浸润到基材的细微毛细孔中,不能有效锚固在基层内,只能通过异氰酸酯与部分基材上的羟基反应,故潮湿基层的粘结强度小于干燥基层。

2.1.2 水下固化性能考察

聚氨酯材料因含异氰酸酯基团,固化过程中遇到水极易与水反应产生气泡,形成发泡体,导致性能下降,生成发泡体也会降低堵漏密封的效果。为了考察弹性聚氨酯树脂灌浆材料在有水环境应用的真实情况,将弹性聚氨酯灌浆材料的 A、B 组分按照质量比 1:1 混合后,分别倒入 23 ℃(模拟常温)和 50 ℃(模拟高温)水中,考察材料在实际使用时,在水中反应固化以及受水影响是否发泡的情况,见图 1。



图 1 不同温度下材料水下固化情况

从图 1 可以看出,浆液均沉入杯底固化,23 ℃条件下基本不起泡,50 ℃条件杯子上边缘部分有稍许起泡现象,这是浆液中过量的异氰酸酯与水反应所致,但是相对整个浆液来讲,其发泡倍率很低,对实际使用影响较小。这是因为弹性聚氨酯灌浆材料采用的

金属催化剂有较好的催化选择性,能有效催化异氰酸酯与羟基的反应而降低异氰酸酯与水的反应,使材料在固化过程中水的参与度很低,即使在有大量水的情况下发泡也很少。

2.1.3 耐低温性能考察

将弹性聚氨酯灌浆材料的固化物置于低温箱中 48 h 后,取出立即考察其弹性情况,如图 2 所示。从图 2 可以看出,固化物在-43.6 ℃下仍具有良好的柔弹性。表 3 为弹性聚氨酯灌浆材料固化物在低温下的力学性能。从表 3 可以看出,低温下弹性聚氨酯灌浆材料固化物的拉伸强度和粘结强度基本无变化,断裂伸长率略有下降,但仍有较好的弹性,即表明材料固化后,不会因为温度的降低变脆,还能起到很好的防水堵漏作用,可适用于严苛的低温环境(-40 ℃)。这是因为弹性聚氨酯灌浆材料主要的原材料为异氰酸酯和聚醚多元醇,聚醚多元醇结构中含有大量醚键(C—O—C),醚键自由度大且无位阻影响,即使在低温下也能自由旋转,因此分子链在受力时可以更好地发挥其弹性。



图 2 固化物低温弹性考察

表 3 低温条件下力学性能

项目	23 ℃	-20 ℃	-30 ℃	-40 ℃
拉伸强度/MPa	1.10	1.20	1.12	1.16
断裂伸长率/%	403	385	354	320
粘结强度/MPa	0.85	0.82	0.83	0.88

2.2 固化条件

2.2.1 不同配比固化性能考察

为模拟弹性聚氨酯灌浆材料实际施工时可能存在的 A、B 组分配比不当的情况,将 A、B 组分按质量比 0.8:1、0.9:1、1:1、1.1:1、1.2:1 进行配制,不同配比下

的固化情况见图3。由图3可以看出,上述配比的浆液均可正常固化。

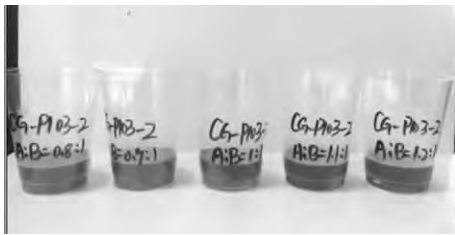


图3 不同配比固化情况

试验中还发现,弹性聚氨酯灌浆材料的A、B组分既可以按照质量比1:1进行配制,也可以按照体积比1:1(对应质量比0.9:1)进行配制,其物理性能差异较小(表4),因此可以根据工程实际需要进行材料配制,采用单液灌浆机或双液灌浆机进行施工。

表4 不同配比对性能的影响

A:B	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%
体积比 1:1	1.10	391
质量比 0.8:1	1.15	389
质量比 0.9:1	1.08	403
质量比 1:1	1.00	398
质量比 1:1.1	1.07	392
质量比 1:1.2	1.13	382

2.2.2 催化剂用量对性能的影响

弹性聚氨酯灌浆材料的A、B组分按配比混合后,浆液即开始发生化学反应,其黏度随着时间的延长而增大,若黏度增长过快,可操作时间变短,将影响浆液的可灌性,甚至造成材料固化堵塞设备。此外,在保证弹性聚氨酯灌浆材料具有适宜可操作时间的同时,后期还应有较快的反应固化速度,避免过量注浆。考察弹性聚氨酯灌浆材料A组分中催化剂的用量对可操作时间和固化时间的影响,结果如图4所示。其中可操作时间是A、B组分混合开始计时至浆液黏度达到 $10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 的时间,固化时间是按照GB/T 16777—2008中表干时间测试方法测得。

由图4可以看出,随着催化剂的用量增加,浆液的可操作时间和固化时间均逐步缩短,这是由于随着

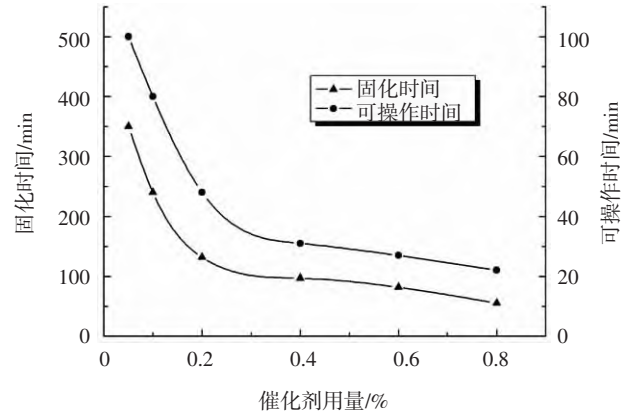


图4 催化剂用量对可操作时间和固化时间的影响

催化剂用量的增加,导致异氰酸酯与聚醚多元醇反应速度进一步加快。从图4还可以看出,当催化剂用量为0.2%时,浆液的可操作时间为48 min,固化时间为130 min,较为适宜。

2.3 不同温度贮存性能考察

为了验证产品的稳定性,对弹性聚氨酯灌浆材料的A、B组分进行了30 d和60 d的储存性能考察,如表5所示。可以看出在常温(23℃)及高温(50℃)条件下,经过30 d和60 d的贮存,弹性聚氨酯灌浆材料的黏度基本无变化,表明具有良好的贮存稳定性。

表5 不同温度下贮存黏度变化对比

项目		23℃	50℃
1 d 黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	A组分	189	189
	B组分	270	270
30 d 黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	A组分	193	201
	B组分	271	270
60 d 黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	A组分	195	207
	B组分	270	272

3 工程应用

武汉市武昌区东湖某别墅地下室出现渗漏情况,根据现场勘察,现场有用发泡聚氨酯维修过的痕迹,但出现了复漏,渗漏部位为原结构与二次结构接缝处;根据混凝土密实度检测反馈,混凝土结构有蜂窝、孔洞等不密实现象(图5)。根据实际情况,决定用上述弹性聚氨酯灌浆材料进行处理。

3.1 方案设计



图5 现场勘察情况

采用结构外侧帷幕注浆+混凝土密实度修复+混凝土裂缝修复的方案,修复混凝土结构的自防水防护系统。

3.1.1 结构外侧帷幕灌浆技术

结构外侧帷幕灌浆技术可以固结外侧回填层,最大程度地封堵住渗漏水,或者最大程度地减少渗入水量,降低渗水扩散量。结构外侧帷幕灌浆采用水泥浆,水泥为普通硅酸盐水泥,满足标准 GB 175—2023《通用硅酸盐水泥》,强度等级 42.5,水灰比 0.5。

3.1.2 混凝土密实度修复技术

混凝土密实度修复技术是将弹性聚氨酯灌浆材料注入混凝土结构的内部,将蜂窝麻面、孔洞等结构缺陷填充密实,阻断窜水通道,恢复结构本身自防水功能。

3.1.3 裂缝修复技术

裂缝修复技术是将弹性聚氨酯灌浆材料注入混凝土裂缝中,密实裂缝,阻断窜水通道,使混凝土形成一个整体,达到防水效果。

3.2 施工工艺

3.2.1 结构外侧帷幕注浆施工工艺

1) 布孔数量间距 1.5~2.0 m,打孔深度必须穿透结构混凝土至回填层。

2) 开孔后,将预先加工好的注浆孔口管马牙扣端缠上纱布,丝扣端上好管套,注浆管砸入孔内,管套拧下,将球阀安装到注浆孔口管的丝头上。注浆前,先压水试验,开动注浆泵用清水冲孔,作耐压试验。

3) 将吸水泥浆管拧紧上牢放在水泥浆桶内,按照设计好的浆液配比,利用供液阀门调整好流量,进行注浆工作。注浆过程中,控制注浆压力为静水压的 1.5

倍以下,随时调整浆液配比。如跑浆量较大,可采用间歇式注浆,但间歇的时间不宜过长。每个孔注浆结束后,必须用清水冲洗净注浆管路。

3.2.2 混凝土密实度修复技术施工工艺

1) 注浆方式

从室内侧打作业探孔(注浆孔),将弹性聚氨酯灌浆材料采用有压灌注作业方式注入混凝土结构深层,使之深入混凝土结构的迎水面一侧修复结构缺陷。

2) 灌注布点

实际工程中的作业探孔布点,以渗漏最严重的区域中心为初始点、梅花型布点扩展,孔距 0.5~1.0 m。

3) 作业探孔营造

作业探孔钻孔深度应靠近混凝土围护结构的迎水面一侧,一般为背水面一侧向外至混凝土围护结构厚度的 3/4 或 4/5 处。

4) 灌注控制

注浆的控制由注浆机出口压力、注浆流量、浆料注入总量综合控制。以注浆机出口压力、单位时间内的注入量推估注浆头口环境压力及浆料扩散范围。注浆压力控制在 0.15~0.20 MPa。

3.2.3 裂缝修复技术施工工艺

1) 沿裂缝两侧 10 cm、45°倾斜交叉钻孔,孔距 30~50 cm,钻孔至混凝土厚度的 1/2 至 1/3 处。

2) 安装注浆针头。

3) 用自来水清洗裂缝。

4) 用灌浆泵灌注弹性聚氨酯灌浆材料。注浆压力为 0.15~0.20 MPa,分 2 次灌注,间隔时间为 20 min 左右。

5) 拆除注浆针头,封堵孔洞。表面涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料,按粉料:水=1:(0.35~0.40)(质量比)配制使用。用硬毛刷均匀涂刷 3 次,每遍刷完后养护,表面发白后即可涂刷下一遍。

3.3 修复效果

修复处理后 72 h 观察到室内湿渍明显减轻;7 d

(下转 第 14 页)

- (3):237-239.
- [3] 王玉峰,李伟,张亚晴,等.内掺水泥基渗透结晶型防水材料混凝土配合比设计及性能研究[J].新型建筑材料,2024,51(4):120-123.
- [4] 邓涛,黄伟,杨涛,等.不同侵蚀环境下水泥基渗透结晶型防水材料对砂浆的性能影响[J].混凝土与水泥制品,2025(3):48-53.
- [5] 王克明.水泥基渗透结晶型防水材料对混凝土性能影响的研究[J].新材料·新装饰,2025,7(5):9-12.
- [6] 候世珺,黄伟,贺雄飞,等.水泥基渗透结晶型防水材料的制备及性能[J].安徽工业大学学报(自然科学版),2022,39(2):153-158,164.
- [7] 凌子枫,贺雄飞,候世珺,等.水泥基渗透结晶型防水材料的性能及作用机理研究[J].化工矿物与加工,2022,51(6):17-20.
- [8] 刘玉君.以绿色节能理念为核心的建筑屋面防水设计[J].建设科技,2024(4):38-41.
- [9] 陶艳梅,王文博.水泥基渗透结晶型材料与纳米材料对混凝土性能影响的检测分析[J].实验室检测,2025,3(12):77-79.
- [10] 郑仕跃,朱应,关瑞士,等.水泥基渗透结晶型防水材料性能优化试验研究[J].公路,2022,67(12):352-357.
- (编辑:潘文亮)

(上接 第 09 页)

后湿渍消失;经过 2 个雨季检验,无复漏,取得了良好的效果。

4 结论

本文研究了弹性聚氨酯灌浆材料的应用环境、固化条件、贮存性能等应用性能,得出如下结论:

1)考察了弹性聚氨酯灌浆材料 A、B 组分不同比例时的固化情况,结果表明,质量比 A:B=(0.8~1.2):1 范围内,材料都能很好地固化;且施工时采用体积比或质量比 A:B=1:1,对性能基本无影响。

2)弹性聚氨酯灌浆材料在水中固化成树脂状,固化后性能有保证,克服了普通聚氨酯材料在有水情况下的发泡问题。

3)考察了不同催化剂用量对可操作时间和凝胶时间的影响,结果表明,催化剂用量在 0.2% 以下,随着催化剂用量的增加,可操作时间和凝胶时间急剧缩短,催化剂用量在 0.2% 以上,随着催化剂用量的增加,可操作时间和凝胶时间平稳缩短。

4)弹性聚氨酯灌浆材料具有优异的耐低温性能,能在 -40℃ 下正常使用;在干燥、潮湿基层均具有良好的粘结性能,尤其是干燥基层;在常温和 50℃ 环境放置,均有很好的贮存稳定性。

弹性聚氨酯灌浆材料应用于武汉东湖某别墅渗漏修复,取得了良好的应用效果,可为类似工程提供参考。

参考文献:

- [1] Safiuddin M, Kaish A, Woon C-O, et al. Early-age cracking in concrete: Causes, consequences, remedial measures, and recommendations[J]. Applied Sciences, 2018, 8(10): 1730.
- [2] 张芳.混凝土裂缝修复技术及材料的研究[D].大庆:大庆石油学院,2009.
- [3] Tong F, Yang J, Duan M Q, et al. The numerical simulation of rock mass grouting: A literature review[J]. Engineering Computations, 2021, 39(5): 1902-1921.
- [4] 姜瑜,郭飞,孔恒,等.注浆材料的现状与发展策略[J].化工新型材料,2022,50(1):282-286.
- [5] 黄月文,区晖.高分子灌浆材料应用研究进展[J].湖南水利水电,2019(2):23-26.
- [6] 白炼,邹涛,李珍,等.CW-GAC 丙烯酸盐化学灌浆材料的合成及其性能研究[J].长江科学院院报,2010,27(6):66-70.
- [7] 张健,魏涛,韩炜,等.CW520 丙烯酸盐灌浆材料交联剂合成及其浆液性能研究[J].长江科学院院报,2012,29(2):55-58.

(编辑:丁春花)