

砼桥面用渗透修复型环氧基层处理剂研究与应用

朱可嘉¹, 苏博文²

(1.湖南高速养护工程有限公司, 湖南 长沙 410003; 2.北京安捷工程咨询有限公司, 北京 100032)

摘要: 用低黏度改性环氧树脂、活性稀释剂、低黏度固化剂及其他助剂为主要原材料, 制备具有超低黏度特性、可对桥面砼进行渗透修复的环氧基层处理剂, 并测试其黏度、拉伸强度和断裂伸长率、与砼正拉黏结强度。结果表明, 该处理剂的黏度仅为 90 MPa·s, 固化产物拉伸强度为 30.5 MPa, 断裂伸长率达 30%, 与砼正拉黏结强度为 4.0 MPa(砼内聚破坏)。将其应用于湖北某长江大桥预制节段接缝处和桥面临时开孔处, 处理后这些部位未出现开裂或漏水现象。

关键词: 桥梁; 砼桥面; 渗透修复型环氧树脂; 基层处理剂

中图分类号: U445.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)02-0130-03

桥面基层处理剂主要分为热熔型基层处理剂、高聚物改性沥青基层处理剂、水性渗透型无机防水剂、反应型树脂类基层处理剂等。国内对桥面基层处理剂的使用不广泛, 且以沥青基冷底子油为主。国外桥面防水系统中较具代表性的是德国的桥面防水系统,《德国桥梁防水技术规程》规定使用环氧树脂材料作为基层处理剂。相比于其他类型基层处理剂, 环氧基层处理剂具有力学性能好、耐久性优异、黏结能力强等优势。但基层处理剂仅强调力学强度是不够的, 桥面砼由于施工等原因很容易产生缺陷, 如裂缝等, 如果无法对这些缺陷进行渗透修复补强, 缺陷部位将成为应力集中的薄弱区域, 很容易再次发生破坏, 最终使整个防水黏结系统失效。为此, 该文对渗透修复型环氧基层处理剂进行研究。

1 试验方案

1.1 试验材料

试验材料包括双酚 A 型环氧树脂 NPEL128, 双酚 F 型环氧树脂 NPEF170, 自制的低黏度高活性环氧树脂 H1, 稀释剂 XY748、XY501A、XY692、XY678、XY636, 偶联剂 KH560, 促进剂 DMP30, 消泡剂 BYK-A530, 固化剂 593、MFA-75、WL-2, 改性胺固化剂 G1, 其中 H1 和 G1 为自制。

1.2 材料配制

(1) A 组分配制。将环氧树脂、稀释剂、偶联剂按一定比例混合, 搅拌均匀后脱泡静置备用。

(2) B 组分配制。将固化剂、消泡剂、促进剂按一定比例混合, 搅拌均匀后脱泡静置备用。

使用时, 将 A、B 组分按计算配比掺加到容器

中, 搅拌均匀即可。

1.3 性能测定方法

(1) 黏度。按照 GB/T 2794—2013 进行黏度测试, 环境温度为 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。

(2) 拉伸强度和断裂伸长率。拉伸强度和断裂伸长率测试按照 GB/T 2567—2008 进行, 养护温度为 23°C , 养护时间为 7 d。

(3) 与砼正拉黏结强度。按照 GB 50728—2011 附录 G 进行与砼正拉黏结强度测试, 养护温度为 23°C , 养护时间为 7 d。

2 渗透修复型环氧基层处理剂的研制

2.1 环氧树脂

选用双酚 A 型环氧树脂 NPEL128、双酚 F 型环氧树脂 NPEF170、低黏度高活性环氧树脂 H1 进行试验。NPEL128 的原材料容易获取, 材料成本在 3 种环氧树脂中最低廉, 因而在建筑胶黏剂中用量最大, 应用范围最广。NPEL170 也是一种常用环氧树脂, 能有效降低环氧胶黏体系的黏度。H1 是一种经过改性后自身黏度大幅降低的环氧树脂, 由于引入了高活性的官能团, 其在低温环境下能更好地进行反应。

(1) 环氧树脂的黏度。黏度测试在 23°C 下进行, 测试结果见表 1。由表 1 可知: NPEL128 树脂的黏度最大; H1 树脂的黏度仅为 $800\text{ mPa}\cdot\text{s}$, 不到

表 1 不同环氧树脂的黏度

环氧树脂	黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	环氧树脂	黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)
NPEL128	13 000	H1	800
NPEF170	3 300		

NPEL128 树脂的 1/10,适用于灌浆材料配制,但必须综合考虑其力学性能后再作评价。

(2) 环氧树脂的力学强度。固定其他试验条件不变,不同环氧树脂的力学性能见表 2。从表 2 可看出:NPEF170 和 NPEL128 树脂的力学性能较接近,但 NPEF170 的黏度仅为 NPEL128 的 1/4,可有效降低环氧胶黏体系的黏度;H1 的力学性能相对于其他 2 种环氧树脂偏低,但其力学性能下降幅度不大,仍表现出较好的力学性能。

表 2 不同环氧树脂的力学性能

环氧树脂	抗拉强度/MPa	伸长率/%
NPEL128	55.8	1.6
NPEF170	55.0	1.7
H1	46.2	3.3

综合考虑不同环氧树脂的黏度与力学性能,低黏度高活性环氧树脂 H1 更适宜用于环氧基层处理剂制备,后续试验主体树脂均使用 H1。

2.2 稀释剂

由于 H1 环氧树脂的黏度较大,难以满足对细微、深层裂缝的灌注要求,掺入稀释剂来降低环氧胶黏剂的黏度,改善其施工性能。

选用 5 种不同种类活性稀释剂进行试验,其中 XY748(碳十二至十四烷基缩水甘油醚)、XY501A(丁基缩水甘油醚)和 XY692(苄基缩水甘油醚)属于单官能度活性稀释剂,XY678(新戊二醇二缩水甘油醚)属于双官能度活性稀释剂,XY636(三羟甲基丙烷三缩水甘油醚)属于三官能度高性能活性稀释剂。5 种活性稀释剂均含有环氧基团,可参与固化反应,最后成为固化产物三维交联网络结构的一部分。由于 5 种稀释剂均可参与固化反应,其对固化产物性能的不利影响远小于非活性稀释剂,同时具有不挥发、更环保的特性。

2.2.1 稀释剂对环氧胶黏体系黏度的影响

将不同种类稀释剂以不同掺量掺入低黏度环氧树脂 H1 中,混合均匀后,在 23 ℃ 下测试环氧胶黏体系的黏度,结果见图 1。

从图 1 可看出:稀释剂的掺入可大幅降低环氧胶黏体系的黏度,但随着稀释剂掺量的增大,胶黏体系黏度的下降趋势放缓。从稀释效果来看,最好的是丁基缩水甘油醚 XY501A,最差的是三羟甲基丙烷三缩水甘油醚 XY636。总体来说,单官能度活性稀释剂的稀释效果较好,官能度高的稀释剂的稀释效果较差。原因是单官能度活性稀释剂的掺入,使

环氧胶黏的分子链间距增大,导致分子间作用力减小,内摩擦阻力也减小,黏度下降;而多官能度稀释剂本身含有多个官能团,与主体环氧树脂的分子间作用力更大,因而其稀释效果较差。

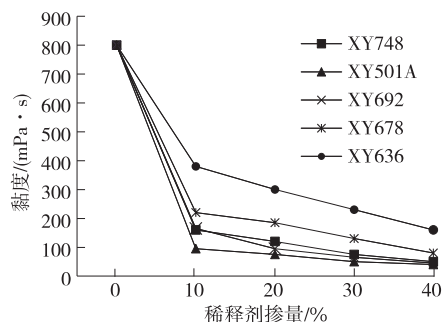


图 1 不同稀释剂对环氧胶黏体系黏度的影响

2.2.2 稀释剂对固化产物拉伸性能的影响

将混合均匀的胶黏剂放在 23 ℃ 环境中固化 7 d 后,测试其拉伸强度及断裂伸长率,结果见图 2、图 3。

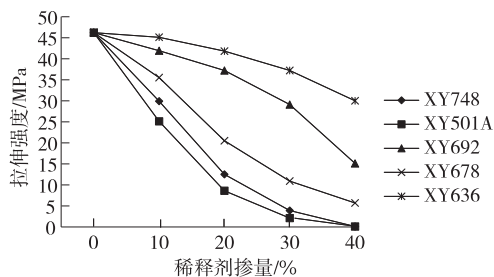


图 2 不同稀释剂对环氧胶黏体系拉伸强度的影响

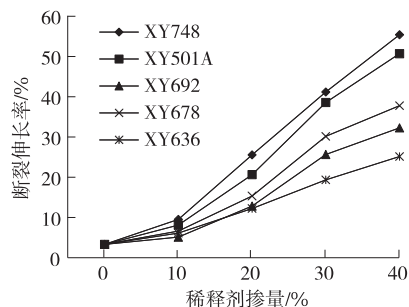


图 3 不同稀释剂对环氧胶黏体系断裂伸长率的影响

从图 2 可看出:随着稀释剂掺量的增大,固化产物的拉伸强度下降,其中单官能度稀释剂下降尤为明显,其次是双官能度稀释剂,影响最小的是多官能度稀释剂。这是因为稀释剂官能团越多,形成的固化产物交联密度越大,力学强度越好。虽然单官能度稀释剂的稀释效果优异,但对力学性能的影响太大,尤其是 XY748 和 XY501A。这是由于其为线性分子结构,分子链柔性较好,同时与固化体系交联密

度低,导致拉伸强度下降明显。为满足桥面基层处理剂力学强度要求,不宜选用 XY748 和 XY501A 稀释剂。XY636 稀释剂虽然对力学强度的影响较小,但其降黏效果一般,考虑到裂缝修复胶黏剂需具有良好的修复效果,尤其在低温下要具有较低的黏度,故不考虑选用 XY636 稀释剂。XY692 稀释剂虽然是单官能度稀释剂,但其分子结构中含有苯环,刚性大,故采用 XY692 稀释剂的固化产物的力学强度较高。

鉴于桥面受振动荷载的影响较大,桥面环氧基层处理剂应具有一定的柔韧性,参考 ASTM C881 中相关技术指标,固化产物的断裂伸长率应大于 30%。从图 3 可看出:所有稀释剂的掺入均使固化产物的断裂伸长率增大,其中效果最好的是

XY748。XY748 属于长链分子结构,柔性好,断裂伸长率大。

综合比较各种稀释剂的降黏效果、对拉伸强度及断裂伸长率的影响,单官能度稀释剂 XY692 更适合用于对基体树脂进行降黏。后续试验采用 XY692 稀释剂对基体树脂进行稀释,掺量为 30%。

2.3 固化剂

采用 H1 自制树脂作为基体树脂,掺入掺量为 30% 的 XY692,混合均匀,制成环氧树脂 A 剂,再掺入 4 种不同类型低黏度固化剂(改性脂肪胺 593、改性脂环胺 MFA-75、改性芳香胺 WL-2、自制改性杂胺 G1)进行试验,测试 23 ℃ 环境下混合物的黏度、固化体系的适用期及 23 ℃、7 d 固化条件下拉伸性能和黏结强度,结果见表 3。

表 3 不同固化剂对环氧胶黏体系性能的影响

固化剂	适用期(23 ℃)/min	黏度(23 ℃)/(mPa·s)	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	与砼正拉黏结强度/MPa
593	40	90	32.6	15	4.0,且砼内聚破坏
MFA-75	30	150	36.5	12	3.8,且砼内聚破坏
WL-2	200	105	27.3	28	4.3,且砼内聚破坏
G1	52	90	30.5	30	4.0,且砼内聚破坏

从表 3 可看出:综合考虑适用期、黏度及拉伸性能,自制改性胺固化剂 G1 的综合性能最优,黏度仅为 90 mPa·s,适用期为 52 min,23 ℃、7 d 固化后拉伸强度为 30.5 MPa,断裂伸长率为 30%,与砼正拉黏结强度为 4.0 MPa,且砼内聚破坏,符合环氧基层处理剂的技术要求,故采用改性胺固化剂 G1。

通过上述对不同组分的分析与选择,最终确定表 4 所示渗透修复型环氧基层处理剂 A、B 组分的配方,A 组分:B 组分=3:1(质量比)。

表 4 渗透修复型环氧基层处理剂 A、B 组分的配方

组分	材料	配比/份
A	H1 自制环氧树脂	100
	XY692 稀释剂	30
	KH560 偶联剂	1.5
B	G1 固化剂	100
	DMP30 促进剂	1
	BYK-A530 消泡剂	0.5

3 应用实例

湖北某大桥是跨越长江的重要节点工程,大桥及连接线全长 39 km,属于预制拼装砼桥梁。由于施工阶段存在临时开孔、细微裂缝等问题,同时由于

桥面板接缝处砼刚性防水性能偏弱,节段接缝处存在渗水隐患。为此,采用渗透修复型环氧基层处理剂对桥面砼基层进行处理。主要施工工艺如下:

(1) 基面处理。使用抛丸机或采用人工打磨方式对需涂刷基层处理剂的区域进行打磨,清除各种污渍与浮浆。

(2) 配制环氧基层处理剂。为保证 A、B 组分充分反应,使其性能最佳,环氧基层处理剂必须按比例称量,并使用电动搅拌机搅拌至完全混合均匀。配置量根据各段施工区域面积计算确定。

(3) 涂刷环氧基层处理剂。为保证桥面排水口、转角等处的有效黏结,先用毛刷涂刷桥面排水口、转角等处,其余部分采用滚筒进行均匀涂布。环氧基层处理剂用量按 500 g/m² 控制,不得堆积与漏涂。对于节段接缝处及桥面开孔处,应在其周边不小于 500 mm 的范围内进行环氧基层处理剂涂布,以保证工程质量。

(4) 撒布石屑。为更好地与上部防水层黏结,基层处理剂施工完成后,立即在其可操作时间(约 30 min)内将 0.6~1.18 mm 粒径石屑均匀撒布至环氧基层处理剂表面,撒布率为 75%。可采用人工撒

(下转第 135 页)

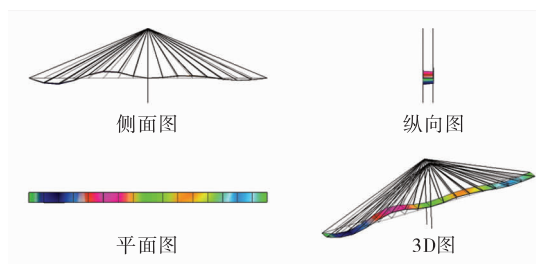


图 7 5 阶实测模态分析($f_5=1.607$ Hz)

4 结论

(1) 试验荷载作用下, 番海大桥主桥在 10~60 km/h 无障碍行车工况下的实测冲击系数均小于理论冲击系数, 结构冲击效应无明显异常。

(2) 番海大桥主桥在 10~30 km/h 有障碍行车工况下的最大冲击系数为 0.142, 大于无障碍行车工况下冲击系数理论值(0.05), 桥面不平整或坑槽会增加汽车对桥面的冲击效应。

(3) 试验桥跨的实测频率与理论频率接近, 且大于理论频率, 说明结构实际刚度大于理论刚度。

(上接第 132 页)

布或机械自动撒布方式。

(5) 养护。环氧基层处理剂施工完成后, 进行养护并保护其表面, 养护时间不低于 12 h, 同时严禁各种车辆行驶和行人踩踏。养护期间, 如遇下雨, 使用塑料薄膜覆盖。

养护 1 d 后, 对施工部位进行钻孔拉拔试验。随机选择 3 个测点, 使用钻机钻孔, 孔径为 50 mm; 将钢制圆形拉拔头用 AB 胶黏结于环氧基层处理剂表面, 使用黏结强度拉拔仪进行拉拔试验。3 个测点的拉拔强度实测值分别为 3.65、3.25、3.46 MPa, 平均值为 3.45 MPa, 大于规范要求的 1.7 MPa, 且全部为砼内聚破坏。

施工完毕至今已近 2 年, 未发现节段接缝处和桥面临时开孔处开裂或漏水情况, 整体运行状况良好。

4 结论

(1) 相对于普通双酚 A 型环氧树脂和普通双酚 F 型环氧树脂, 自制的环氧树脂 H1 在保证固化产物力学强度的前提下, 能有效降低环氧胶黏体系的黏度, 适宜用于环氧基层处理剂制备。

(2) 稀释剂能有效降低环氧胶黏体系的黏度,

参考文献:

- [1] 湛润水, 胡钊芳. 公路桥梁荷载试验[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [2] 姚惠发, 王军文, 张运波. 离石矮塔斜拉桥成桥静动载试验研究[J]. 铁道建筑, 2007(4): 26—29.
- [3] 朱保华. 矮塔斜拉桥的动力特性及地震响应分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [4] 崔爱民. 银滩黄河大桥静动载试验研究[J]. 桥梁建设, 2002, 32(5): 23—25.
- [5] 田志勇, 刘康, 蒲黔辉. 新民岷江特大桥静动载试验研究[J]. 公路工程, 2012, 37(4): 135—137.
- [6] 秦顺全. 斜拉桥安装的无应力状态控制法[J]. 桥梁建设, 2003, 33(2): 31—34.
- [7] 杨茂华, 黎东龙. 某矮塔单索面斜拉桥荷载试验分析[J]. 公路与汽运, 2019(4): 139—142+145.
- [8] 曾德礼. 大跨度桥梁承载能力鉴定研究[J]. 桥梁建设, 2018, 48(5): 43—47.

收稿日期: 2021—06—16

其中单官能度稀释剂的降黏效果明显, 力学强度下降也十分显著。多官能度稀释剂的降黏效果差, 对固化产物力学强度的影响不大。苜基缩水甘油醚虽然属于单官能度稀释剂, 但由于其分子结构中含有苯环, 其降黏效果显著, 还能有效降低稀释剂对固化产物力学强度的影响。

(3) 最终制得的环氧基层处理剂的初始混合黏度仅为 90 mPa·s, 力学性能也符合各项要求, 适用于桥面砼基层处理及修复。实际应用结果表明, 它能保证桥面防水层的黏结, 阻断桥面砼被水侵蚀破坏, 防水效果显著。

参考文献:

- [1] 叶林宏. 高速铁路桥面防水基层处理与高渗透改性环氧新材料的应用[J]. 新型建筑材料, 2009, 36(11): 69—74.
- [2] 孙曼灵. 环氧树脂应用原理与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [3] 张玉龙. 环氧胶黏剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017.
- [4] 陈晓龙, 朱华, 张晓华, 等. 低黏度裂缝修复用压注胶的制备与性能研究[J]. 新型建筑材料, 2014, 31(7): 58—60.

收稿日期: 2021—04—27