

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2023.11.053

聚合物纤维快速修补材料的性能研究及工程应用

梁旭之¹, 伍杰², 刘斌¹, 何流³, 朱乘⁴, 秦仕平⁴

(1.贵州省遵义公路管理局, 贵州 遵义 563099; 2.招商局重庆交通科研设计院有限公司, 重庆市 400067;
3.兰州理工大学, 甘肃 兰州 730050; 4.遵义公路建设养护有限公司, 贵州 遵义 563099)

摘要:为了解决桥梁伸缩缝修补养护周期过长,不利于车辆通行的问题,在现有的快速修补材料配比上,通过掺加聚合物胶粉和聚丙烯纤维,配制出一种早期强度高,且利于施工的水泥基快速修补材料。通过砂浆流动度和凝结时间评价指标和力学性能试验等,得到了聚合物胶粉和聚丙烯纤维的最优单因素掺量均为 2%,在该掺量下,材料流动度能达到 190 mm 左右,凝结时间控制在 20~25 min,2 h 抗折强度和抗压强度分别达到 7.4 MPa 和 26.2 MPa,28 d 抗折强度和抗压强度分别达到 8.5 MPa 和 50 MPa 以上,干缩率小于 0.015%。应用于工程实践中的结果表明,快速修补材料各项性能均满足设计要求并且利于施工,开放交通时间短,是一种理想的桥梁伸缩缝快速修补材料。

关键词: 道路工程;快速修补材料;聚合物胶粉;工程应用

中图分类号: U444

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)11-0222-05

0 引言

桥梁伸缩缝是连接桥梁梁体与桥台之间的重要结构物,其结构的好坏严重影响着行车的安全性和舒适性^[1]。混凝土作为单缝式伸缩缝的重要组成部分,其性能的优劣决定了伸缩缝的服役时间和结构完整性^[2-3]。随着车流量的增加以及长期的车辆荷载冲击,伸缩缝混凝土区域极易产生破损或与路面的黏结脱落,而常规的混凝土区域修补养护时间长,短时间内难以开放交通,极大地影响了交通通行效率^[4-6]。

聚合物胶粉作为有机高分子制品,具有良好的保水性、可塑性和黏结度,能够很好地改善砂浆内部的黏聚性和流动性能,已经广泛运用于砂浆材料中^[7-9]。聚丙烯纤维具有很好的韧性与抗拉强度,掺入砂浆中能够有效提升砂浆的抗冲击性能,提高特种水泥的抗折强度并改善干缩过大现象^[10-11]。因此本文在原有的快速修补材料配比^[12]之上,通过添加聚合物胶粉和聚丙烯纤维,配制出短期强度高、收缩性小并且利于施工的快速修补材料,以期减少施工对交通带来的干扰,达到快速开放交通的效果。同时,为验证其效果,将配制的快速修补材料应用在 G326 国道遵义湄潭段的桥梁伸缩缝维修养护工程中,对材料进行现场施工工艺、性能和应用效果分

收稿日期: 2022-12-19

作者简介: 梁旭之(1975—),男,学士,高级工程师,从事公路养护技术研发、咨询及设计工作。

析,所得结果可为类似的材料开发及工程应用提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 原材料

试验水泥为特种水泥,其化学成分见表 1。硅灰为高活性微硅粉,满足《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736—2002)标准要求。矿渣粉为 S95 级,技术指标见表 2。粉煤灰为 II 级粉煤灰,技术指标见表 3。聚合物胶粉选用瓦克再分散乳胶粉,技术指标见表 4。纤维选用聚丙烯纤维,抗拉强度不小于 400 MPa,断裂延伸率为 30%。细集料为 ISO 标准砂。减水剂为聚羧酸高效减水剂,减水率大于 25%。试验用水满足《水泥胶砂强度检验方法》(GB/T 17671—1999)技术要求。

表 1 2 种水泥的主要化学成分

水泥种类	化学成分 / %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
特种水泥	10.93	28.76	3.24	47.13	4.25	4.69
硅酸盐水泥	21.26	5.98	3.12	62.38	3.81	2.45

表 2 矿粉的技术指标

等级	密度 / (g·cm ⁻³)	烧失量 / %	含水量 / %	比表面积 / (m ² ·kg ⁻¹)
S95	2.89	0.21	0.22	415

表3 II级粉煤灰的技术指标 单位:%

细度 (45 μm方孔筛筛余)	需水量比	烧失量	含水量	SO ₃ 含量
19.5	97.8	6.9	0.63	1.77

表4 聚合物胶粉的技术指标

固含量/%	灰质/%	表观密度/(g·cm ⁻³)
98	10	0.55

1.2 材料配比设计

快速修补材料应在短期内达到较高的抗折强度和抗压强度,并且具有良好的流动度和凝结时间以利于施工。结合课题组前期研究基础^[12],本试验采用的基础配比为水泥质量:砂质量=1:1.1,水灰比0.33;矿物掺合料采用外掺法,替代水泥用量,其中硅灰6%、矿粉2%、粉煤灰4%;减水剂掺量为胶凝材料的0.03%。在此基础上对聚合物胶粉和纤维的用量进行筛选,其中聚合物胶粉掺入量为胶凝材料的0%~8%,以2%为1个梯度进行试验;聚丙烯纤维掺入量为胶凝材料的0%~4%,以1%为1个梯度进行试验。

1.3 性能测试方法

(1)力学性能试验。水泥砂浆的成型、养护参照《水泥胶砂强度检验方法》,采用40 mm×40 mm×160 mm的三联模成型试件,进行砂浆抗折强度和抗压强度试验。

(2)流动度试验。水泥砂浆流动度试验参照《水泥胶砂流动度测定方法》(GB/T 2419—2005)进行,运用跳桌进行试验,控制频率为1次/s,共25次。振动结束,用直尺沿坐标轴方向分2次测量其直径,取平均值,该平均值即为该水泥砂浆的流动度。

(3)凝结时间。水泥胶砂凝结时间试验参照《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080—2002),采用贯入阻力法测定修补砂浆的初凝和终凝时间,从加水起开始计时。

(4)干缩试验。根据《水泥胶砂干缩试验方法》(JC/T 603—2004)进行试验,采用三联试模,制作25 mm×25 mm×280 mm两端预埋铜钉头试件。将试件带模养护,24 h后脱模将试件放入干缩养护室中,并用比长仪测量试件长度,记为初始长度 L_0 ,之后测量各龄期(从放入干缩养护室中开始计算)的长度后按规范计算出其收缩率,精确至 1.0×10^{-6} 。

2 结果与讨论

2.1 流动度及凝结时间

不同掺量下聚合物胶粉及聚丙烯纤维对材料流动度和凝结时间的影响见图1~图4。

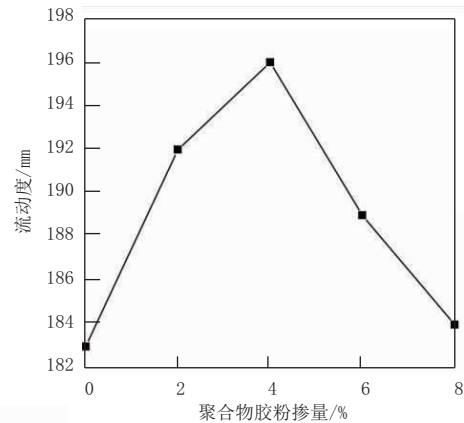


图1 聚合物胶粉对材料流动度的影响

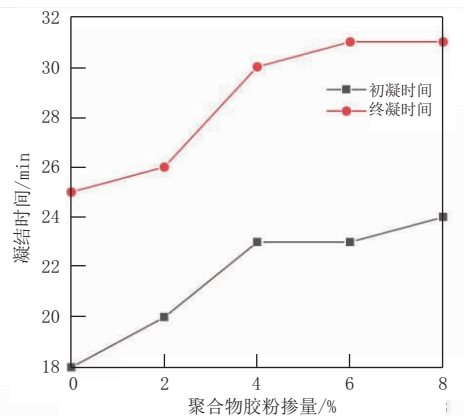


图2 聚合物胶粉对材料凝结时间的影响

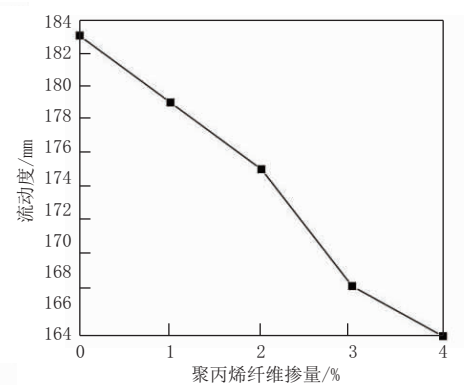


图3 聚丙烯纤维对材料流动度的影响

由图1可知,材料中加入聚合物胶粉对砂浆的流动度起到了明显的改善作用,流动度得到不同程度的提升。掺量在4%以内时,流动度随着掺量的增加提升最大,之后又随着掺量的增加而出现衰减,当掺量达到8%时,流动度较掺量为4%时发生了较大程度的减少^[13]。

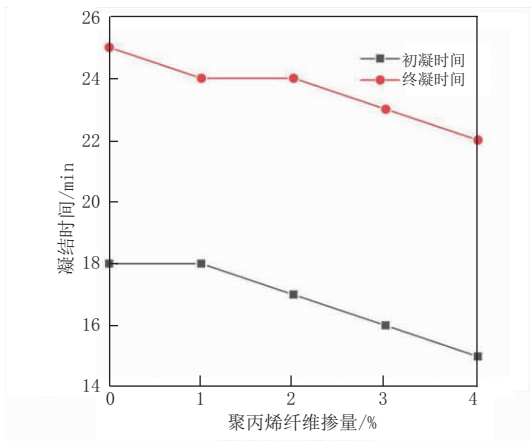


图4 聚丙烯纤维对材料凝结时间的影响

由图2可知,材料的凝结时间随着聚合物胶粉掺量的增加而增加,在掺量为4%时提升最为明显,之后无明显增加。由此可以看出,少量的聚合物胶粉

水化溶解后,产生的极细颗粒具有滚珠效应,改善了水泥浆体的流动性能,使凝结时间延长;而随着聚合物胶粉掺量的增加,产生的胶粉颗粒将形成聚合物薄膜,阻碍水分的流动,使得水泥浆体流动度降低,凝结时间无明显提升。

由图3和图4可知,砂浆的流动度随着聚丙烯纤维掺量的增加而逐渐降低,并且掺量越多,流动度降低越明显,凝结时间也随着聚丙烯纤维掺量的增加而降低。这是由于聚丙烯纤维掺在砂浆中,随着搅拌逐渐形成了网状分布,增大了砂浆中的黏滞力,阻碍了砂浆中液体的流动,从而导致砂浆流动度降低,砂浆更容易凝结,凝结时间降低^[14]。

2.2 抗折强度和抗压强度

不同掺量下的聚合物胶粉和聚丙烯纤维对材料抗折强度、抗压强度的影响见表5。

表5 聚合物胶粉和聚丙烯纤维对材料力学性能的影响

编号	掺合料种类	掺量/%	抗折强度/MPa			抗压强度/MPa		
			2 h	1 d	28 d	2 h	1 d	28 d
1	无	0	6.6	7.4	7.5	23.8	42.3	53.6
2	聚合物胶粉	2	7.2	8.1	9.1	25.9	45.8	56.1
3	聚合物胶粉	4	7.1	7.9	8.8	25.1	45.4	55.5
4	聚合物胶粉	6	6.8	7.5	8.2	23.7	44.6	54.2
5	聚合物胶粉	8	6.6	7.2	7.6	22.2	42.5	52.8
6	聚丙烯纤维	1	6.9	7.6	8.6	24.2	43.6	55.8
7	聚丙烯纤维	2	7.3	8.3	9.3	24.6	44.8	56.3
8	聚丙烯纤维	3	7.4	8.1	8.8	24.7	44.4	55.7
9	聚丙烯纤维	4	7.4	8.2	8.9	25.0	43.9	54.9
10	聚合物胶粉、聚丙烯纤维	各2,双掺	7.4	8.3	9.4	26.2	46.1	56.5

由表5可知,随着聚合物胶粉掺量的增加,材料的抗折强度、抗压强度都呈现先增加后减少的趋势,且随着龄期的增加,该趋势更加明显。这是由于少掺量的聚合物胶粉能够增加砂浆的流动度,从而使得砂浆内部更加密实,随着水泥水化作用的进行,力学强度更高;当超过4%的掺量后,砂浆流动度降低,并且掺量过高会取代一部分特种水泥的硬化效果,使得砂浆力学强度降低。聚丙烯纤维对材料的抗折强度提升明显,随着掺量的增加逐渐趋于稳定,而对材料的抗压强度仅有小幅提升,影响不大。分析得到随着聚丙烯纤维的加入,材料内部流动度降低,纤维逐渐网状化,提升了砂浆的韧性,从而大幅提高了材料的抗折强度,并使其长期的抗压强度有所提升。

综上,选用聚合物胶粉掺量2%、聚丙烯纤维掺

量2%为最佳掺量,此时砂浆的抗折强度与抗压强度均达到最大值(见表5)。在最优配方条件下所测试的材料流动度能达到190mm左右,凝结时间在20~25min范围内。

2.3 干缩性能

选定聚合物胶粉、聚丙烯纤维掺量均为2%进行试验,分别测试试件3d、7d、14d、28d和56d的收缩量,以此来对比分析。聚合物胶粉、聚丙烯纤维对砂浆干缩性能的影响见图5。

由图5可见,不同种类的材料收缩率都随着龄期的增加而增大,在28d到56d中逐渐趋于缓慢。聚合物胶粉和聚丙烯纤维都能减缓材料的收缩性,其中聚合物胶粉减缓材料的收缩性效果更好。这是由于少量的聚合物胶粉可使砂浆内部气孔减少,试

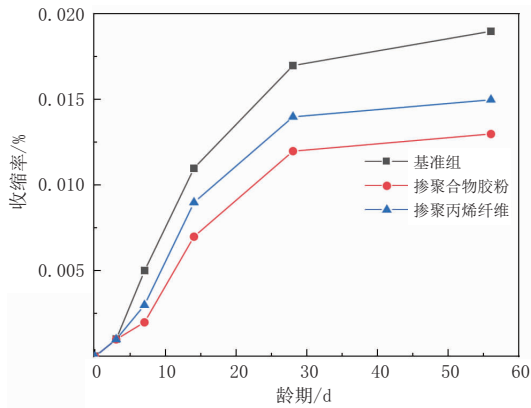


图5 聚合物胶粉、聚丙烯纤维对砂浆干缩性能的影响
件更为密实,从而降低了后期养护中的收缩。聚丙烯纤维可在试件内部形成网状结构,增加试件的黏聚性,也会减少后期水泥水化作用带来的收缩。

3 工程应用

3.1 工程概况

工程应用项目地点为G326国道(秀山-河口),是贵州省路网结构中的重要组成部分,大部分路段距上次大中修已有10 a以上,随着交通量的不断增长,沿线桥梁产生了一定的病害。贵州省遵义市国省干线桥梁定期检查结果表明,部分桥梁伸缩缝已经出现了不同程度的病害,削弱了桥梁的通行能力和服务水平,影响桥梁结构的运营安全和结构的耐久性。

本次示范工程主要对G326国道遵义湄潭段的新田坝大桥和叶家坝大桥2处桥梁伸缩缝混凝土进行维修更换。伸缩缝长度为11 m,宽度为0.8 m,开槽深度约0.2 m,类型为单缝式型钢伸缩缝,其主要病害为型钢断裂、混凝土区域破损和混凝土与路面黏结区域破坏(见图6)。



图6 桥梁伸缩缝病害现状

3.2 工程施工

(1)切缝、开槽。对需要拆除的伸缩缝区域两边进行精准切割,与原路面分割开来,确保无误后,利用风镐进行混凝土区域的破碎,开槽深度大于15 cm,破碎完成后切割掉旧型钢,并在施工后清理干净凹槽。

(2)安装新型钢。新型钢放入凹槽后,调整高度和原路面的平整度,调整完成后采用钢条焊接定位。

(3)混凝土浇筑。在新材料中加入质量分数为40%的5~15 mm石子搅拌30 s,之后加水搅拌60 s,浇筑进凹槽中,再抹平基面(见图7)。混凝土搅拌均匀后最好静置1~2 min,待气泡溢出后再浇筑;本材料自密实,无需振动。



图7 施工现场浇筑

(4)养护、通车。浇筑完成30 min后,材料达到凝结时间,在表面盖上浸满水的纺纱布进行养护。浇筑完2 h后揭开纺纱布,清理现场,开放交通。

3.3 现场检测

对现场拌合混凝土材料进行取样检测,内容包括流动度、凝结时间、2 h抗折强度和抗压强度、1 d抗折强度和抗压强度。检测结果见表6。

表6 快速修补材料施工现场检测结果

技术指标	检测值	设计值
流动度/mm	193	≥180
凝结时间/min	25	≥20
2 h 抗折强度/MPa	6.8	≥5
2 h 抗压强度/MPa	26.4	≥25
1 d 抗折强度/MPa	7.5	≥7
1 d 抗压强度/MPa	43.6	≥40
开放交通时间/min	150	≤180

由表6可知,示范工程中的伸缩缝混凝土流动度、凝结时间等性能与最优配方下材料的室内性能相当,抗压强度和抗折强度略低于室内测试值,其各项指标均满足设计要求,工程应用效果良好。本研究成果可为其他项目应用提供技术指导。

4 结 语

(1)聚合物胶粉最佳掺量为2%,聚丙烯纤维最佳掺量为2%。在该掺量下,材料流动度能达到190 mm左右,凝结时间控制在20~25 min,2 h抗折强度和抗压强度分别达到7.4 MPa和26.2 MPa,28 d抗折强度和抗压强度分别达到8.5 MPa和50 MPa以上,干缩率小于0.015%。

(2)少量的聚合物胶粉能改善砂浆的流动度,提高凝结时间,增加材料的力学强度,改善干缩性,但过多的聚合物胶粉会形成聚合物薄膜,影响砂浆密实性,使其力学强度降低。

(3)聚丙烯纤维随着掺量的增加会降低砂浆的流动度,减少凝结时间,但能大幅提高砂浆抗折强度,对抗压强度影响不大。

(4)通过把快速修补材料应用于G326国道实际工程当中,验证得到材料的流动度、凝结时间、抗折强度和抗压强度均满足设计要求,可推广应用于类似工程之中。

参考文献:

- [1] 刘孝.桥梁伸缩缝施工工艺及要点分析[J].中国高科技,2022(9):68-69.
- [2] 王延平,赵晓峰.公路桥梁伸缩缝病害案例分析[J].交通科技,2013(增刊1):37-39.
- [3] 刘淑娟.普通公路桥梁伸缩缝的病害原因分析及维修措施[J].科学技术创新,2017(3):248.
- [4] 张海涛.高速公路桥梁伸缩缝病害原因分析和快速维修更换工艺[J].交通标准化,2012(2):123-125.
- [5] 史文兴.高等级公路桥梁伸缩缝常见病害分析及维修养护措施[J].交通世界,2016(22):31-33.
- [6] 王凯,葛翠翠,李柏殿,等.公路桥梁伸缩缝过渡区混凝土修复技术研究[J].硅酸盐通报,2017,36(8):2838-2843.
- [7] 韩雨生,李娜,韩微微.聚合物和矿物掺合料对水泥砂浆性能的影响研究[J].路基工程,2017(5):119-124.
- [8] 曾德亮,刘艳,闫东波,等.聚合物砂浆作为道路养护材料的应用研究[J].新型建筑材料,2020,47(9):119-122.
- [9] 刘磊,魏镇,李庆涛.聚合物砂浆强度发展规律的研究[J].混凝土,2020(5):102-104.
- [10] 罗炉,雷宗建,颜加俊.聚丙烯纤维改性砂浆力学性能研究[J].湖南交通科技,2017,43(3):62-66.
- [11] 丁明浩,高玥,方明胜,等.聚丙烯纤维砂浆物理力学性能试验研究[J].华南地震,2014,34(增刊1):80-84.
- [12] 李萍,何流,梁旭之,等.桥梁伸缩缝快速修补材料配制及性能研究[J].公路交通技术,2023,39(2):114-119.
- [13] 康明旭,黄乙纯,鲁耀刚,等.掺聚合物胶粉的硫铝酸盐水泥砂浆耐久性研究[J].四川水泥,2018(11):7-8.
- [14] 秦龙,迟玉萌,杨晨熙,等.聚丙烯纤维对水泥砂浆性能影响研究[J].江苏建筑,2022(4):105-108,120.

(上接第221页)

调整顶力参数和注浆工艺等措施,保障工程顺利实施。

5 结 语

本文以山地城市大口径顶管工程应用为例,介绍了顶管顶力估算方法,为顶管管材选择、顶管设备选型提供了参考。分析了地表沉降原因,介绍了沉降估算方式,提出在顶管施工中土体损失率的控制对于顶管工程的沉降控制尤其重要。同时,分析了影响顶力的主要因素,并提出了相应的施工控制措施,为其他类似项目设计及施工提供一定参考。

参考文献:

- [1] CECS246-2008,给水排水工程顶管技术规程[S].
- [2] 陈杨,马保松,曾聪.顶管施工的地表沉降数值分析和顶力计算[J].中国给水排水,2020,36(20):27-31.
- [3] 丁传松.直线及曲线顶管施工中的顶推力研究[D].南京:南京工业大学,2004.
- [4] 韩焯,李宁,Standing J R. Peck公式在我国隧道施工地面变形预测中的适用性分析[J].岩土力学,2007,28(1):23-28,35.
- [5] 刘建航,侯学渊.盾构法隧道[M].北京:中国铁道出版社,1991.
- [6] 马龙飞,马保松.顶管顶进力计算方法综述与探究[J].特种结构,2019,36(3):26-35.
- [7] 向安田,朱合华,丁文其.顶管施工中顶力和平均摩阻力与顶程关系分析[J].岩土力学,2008,29(4):1005-1009.