

盐-冻融弱化因子胁迫下橡胶粉改性水泥 压浆材料试验研究

王晓强¹, 韩晶², 王乾³

(1.西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710068; 2.西安交通工程学院土木工程学院, 陕西 西安 710065;
3.西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 选用典型橡胶水泥类脱空修补材料, 分别控制龄期(1、3 d)和橡胶粉掺量为0%、5%、10%、15%、20%。以实验数据统计分析为基础, 归纳总结在盐-冻融环境下不同龄期、不同掺量的修补材料下动弹性模量、抗压强度、抗折强度和体积膨胀率的弱化趋势。试验结果表明, 掺入橡胶粉后, 压浆材料各项力学指标具有显著提升, 提升效果由优到劣依次为动弹性模量、抗压强度、抗折强度。对于城市主干路而言, 应优先选择提高橡胶粉掺量, 以确保注浆完成后, 路面结构具有较高承载能力。对于交通量较小的城市次干路及以下道路, 应优先考虑增加养生时间。在工程实践中, 应将橡胶粉掺量控制在12%, 以获得最大的工程效果。压浆材料体积膨胀率均控制在3%以内。这表明橡胶水泥类压浆材料在冻融循环作用下, 不仅体积膨胀率较好, 而且稳定性较高。

关键词: 道路工程; 板底脱空; 橡胶类修补材料; 盐-冻融损伤

中图分类号: U416.218

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)09-0228-04

0 引言

水泥混凝土路面作为我国目前常见的道路结构形式之一, 具有刚度大、承载力强、养护费用较少、施工较为简便等优点^[1]。目前, 越来越多的高等级公路采用水泥混凝土路面。同时, 伴随着逐渐超载现象的频繁发生, 水泥混凝土路面逐渐暴露出各种各样的问题, 其中板底脱空现象是较严重的病害之一^[2-3]。

针对水泥混凝土路面在不利环境下其力学性能损伤的问题, 专家学者进行了深入研究^[4-6]。徐存东等^[7]对西北寒旱地区盐冻循环下混凝土结构寿命进行了预测分析, 得到了二次多项式力学衰减模型。冯琦^[8]对粉煤灰再生混凝土在抗硫酸盐环境下的耐久性能进行了分析研究, 得到了其力学性能指标的变化规律。

通过对近年国内外专家学者的研究可知, 目前主要为再生混凝土等的力学性能研究, 而对板底脱空处治材料的研究较少。

1 配合比介绍

1.1 材料种类^[9]

(1)水泥: 采用P·O 42.5硅酸盐水泥。

(2)粉煤灰: 一级粉煤灰。

(3)减水剂: 规格型号为JQ-A增强型。

(4)膨胀剂: UEA型膨胀剂。

(5)早强剂: 甲酸钙早强剂, 以促进浆体早期强度迅速形成。

(6)水: 自来水。

(7)橡胶粉: 采用标准目数为40目的橡胶粉颗粒, 粒径尺寸为0.425 mm。其主要作用是等体积代替砂, 本次替代率分别为0%、5%、10%、15%、20%。

(8)砂: 选用特细砂。

1.2 橡胶水泥压浆材料配合比

板底脱空橡胶水泥压浆材料配合比的设计是确保脱空修补效果的关键, 其各项参数性能满足道路通车的要求, 通过大量实验研究并结合实际情况, 确定了橡胶水泥压浆材料的配合比(见表1)。

2 试验方案设计

2.1 龄期设计

不同于常规混凝土结构通常养生至标准龄期28d开始服役, 道路在板底脱空后, 需尽快恢复交通。针对城市主干路, 通常注浆后1d即开放道路通行。针对次干路及支路, 由于交通量较小, 常在注浆后3d开放道路。因此, 为确保试验结果更加贴合实际情况,

收稿日期: 2023-07-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(51408480)

作者简介: 王晓强(1994—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事道路工程设计与科研工作。

表 1 浆体配合比

编号	组分/(kg·m ⁻³)				减水剂	膨胀剂	早强剂	粉煤灰
	水泥	水	砂	粉煤灰				
1	350	133	741	175	0.5	10	1.6	0
2	350	133	741	175	0.5	10	1.6	5
3	350	133	741	175	0.5	10	1.6	10
4	350	133	741	175	0.5	10	1.6	15
5	350	133	741	175	0.5	10	1.6	20

本次选择 1d 及 3d 作为压浆材料的养生龄期,以期更加贴合路面在压浆处治后力学性能的变化规律。

2.2 盐损环境

在我国西北地区,土地盐渍化现象逐年加重,其对路面结构会产生严重影响,甚至产生纵横向裂缝及沉陷。为了指导我国盐渍化地区道路压浆后力学性能的影响,以更好贴合实际工程从而指导应用,本文选取 3%NaCl+5%Na₂SO₄ 的混合溶液来模拟北方盐损特殊地区的自然环境。

2.3 冻融环境

本文采用不同橡胶粉掺量的压浆材料进行试验研究,并将养生至指定龄期的试件分别冻融循环 25、50、75、100、125、150、175 和 200 次后进行力学试验研究。主要的研究力学指标内容包括动弹性模量、抗压强度和抗折强度。物理指标包括体积膨胀率。

3 试验结果与分析

3.1 动弹性模量

由图 1 及图 2 可知:

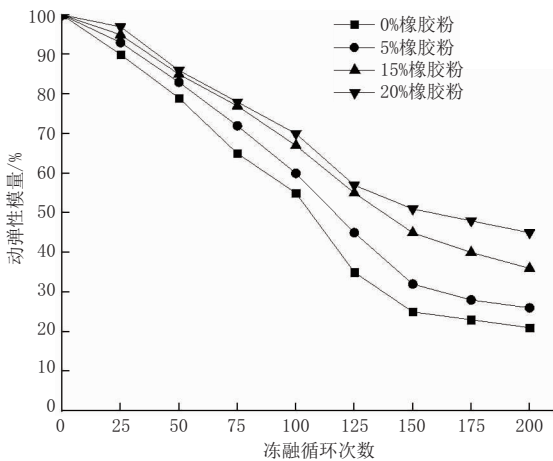


图 1 1 d 龄期不同橡胶粉掺量动弹性模量折线图

(1)在盐-冻融作用下,掺加橡胶粉比未掺加橡胶粉的压浆材料具有更好的动弹性模量。两种龄期材料的动弹性模量衰减速率均为先增大后减小。冻融循环试验结束后,掺加 20%橡胶粉的试件动弹性

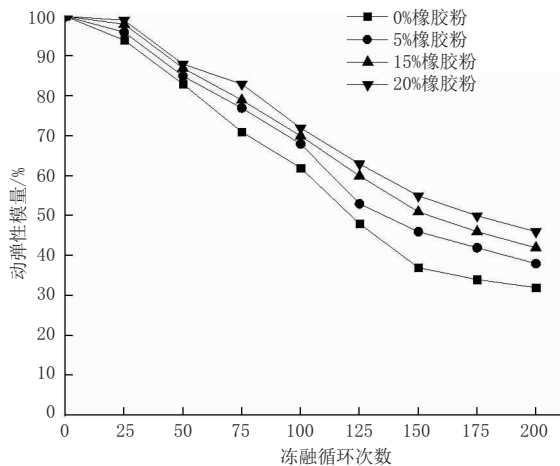


图 2 3 d 龄期不同橡胶粉掺量动弹性模量折线图

模量损失 56.1%,未掺加橡胶粉的试件动弹性模量损失 68.5%。

(2)随着橡胶粉掺量增加,试件抗盐-冻融能力逐渐增强,但当掺量由 15%提升至 20%时,模量损失率相差较小,其中 1 d 龄期的试件,二者损失率差值最大为 9.3%;3 d 龄期的试件,二者相比损失率差值最大仅为 3.4%。因此,适量的橡胶粉掺量不仅可达到预期效果,还可最大限度地节省工程造价。

(3)增加养生龄期和提高橡胶粉掺量均可减少动弹性模量的衰减。当养生龄期由 1 d 增加至 3 d 时,动弹性模量损伤最大可减少 18.3%。当提高橡胶粉掺量时,最大减少了 24.8%,这表明通过提高橡胶粉掺量可有效降低试件的动弹性模量的损伤程度。因此,对于城市主干路而言,应优先选择提高橡胶粉掺量,以确保注浆完成后,路面具有较高的承载能力。对于交通量较小的城市次干路及以下道路,应优先考虑增加养生时间。

3.2 抗压强度

由图 3 及图 4 可知:

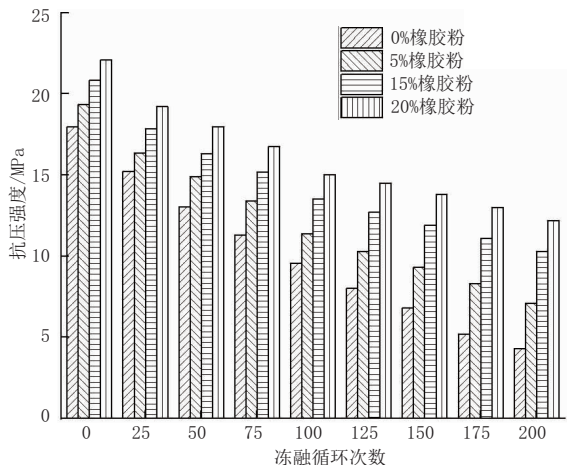


图 3 1 d 龄期不同橡胶粉掺量抗压强度柱状图

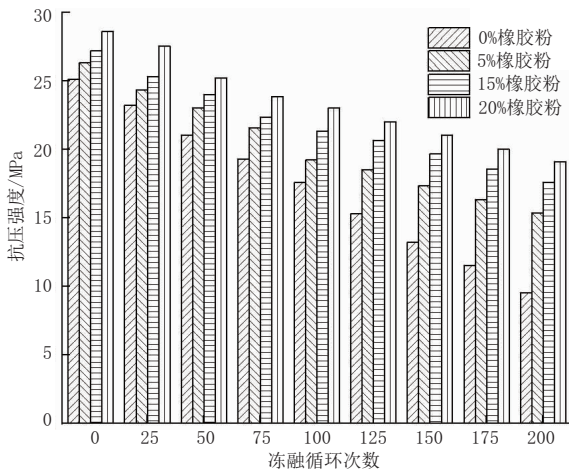


图4 3 d龄期不同橡胶粉掺量抗压强度柱状图

(1)同龄期下,掺加橡胶粉后试件的抗压强度值更高,并且随着橡胶粉掺量的增加,抗压强度也越来越大。养生龄期1 d的试件强度增长幅度最大为22.9%,养生龄期3 d的试件强度增长幅度最大为13.85%。这是由于随着养生时间的增长,水泥本身强度的增长效果已远远大于掺加橡胶粉带来的作用。因此,对于急需开放交通的道路,可增加橡胶粉的掺量,以获得更好的处治效果。

(2)未掺加橡胶粉时,试件抗压强度的衰减速率随冻融循环次数的增加而增加;在掺入橡胶粉时,试件抗压强度的衰减速率呈现出先增大后减小趋势。且随着掺量的增加,衰减速度减小,其最大差值为8.9%。该变化规律随着养生龄期的减少而越明显。

3.3 抗折强度

由图5及图6可知:

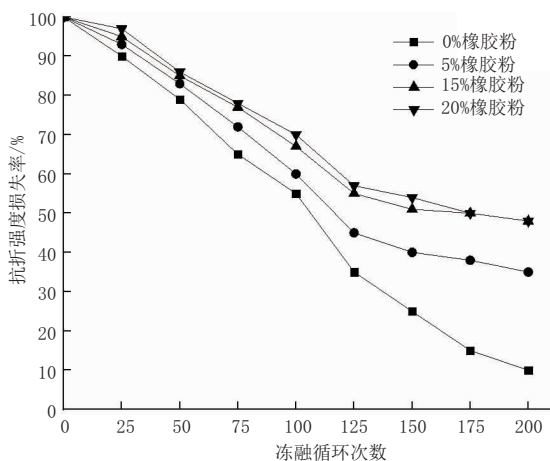


图5 1 d龄期不同橡胶粉掺量抗折强度损失率

(1)掺加橡胶粉后,试件的抗折强度具有较高的稳定性,且随着橡胶粉掺量的增加呈现先增强后减弱的趋势。1 d龄期的试件,在200次冻融条件下,未掺加橡胶粉的试件抗折强度损失率为88.3%;掺入

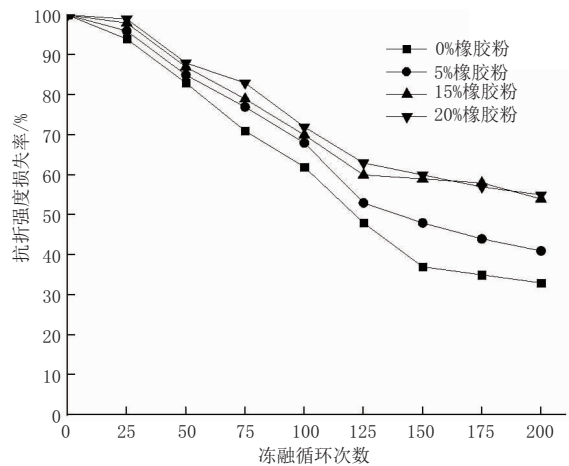


图6 3 d龄期不同橡胶粉掺量抗折强度损失率

橡胶粉后,抗折强度损失率最小为52%。同等试验条件下,3 d龄期的试件未掺加橡胶粉试件的抗折强度损失率为67.5%;掺入橡胶粉后,抗折强度损失率相比最大减少了22.5%。

(2)无论何种龄期,在冻融循环次数达到125次以后,15%和20%掺量试件的强度损失率之差在5%以内。这表明适量地增加橡胶粉掺量,可最大限度地减少强度损失率。

3.4 体积膨胀率

体积膨胀率的研究作为板底压浆材料不可缺少的研究环节之一,主要原因是:当板底产生脱空,其病害所处位置往往很难将浆体完全注满脱空区域,这就要求材料本身具有较好的膨胀能力,以尽快地填满整个病害区域,提高路面整体的稳定性。

由图7及图8可知:

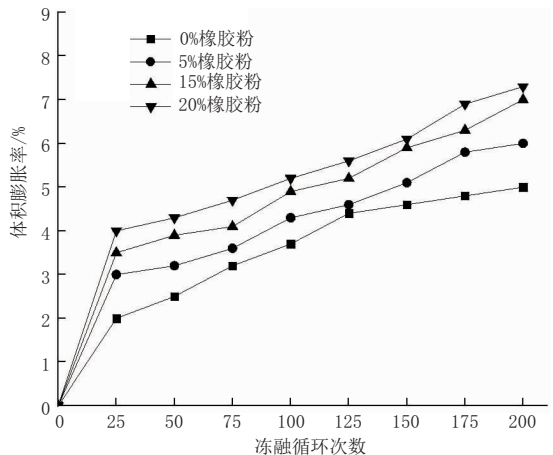


图7 1 d龄期不同橡胶粉掺量体积膨胀率

(1)试件的体积膨胀率随冻融循环次数的增加而呈现先增大后减小的趋势。其主要原因是:在冻融循环作用下,试件内部的空隙率吸收水分,从而凝结成微小的固体,使得体积增大。龄期越小,该现象越明显。1 d龄期材料体积膨胀率最大为7.3%,3 d龄期

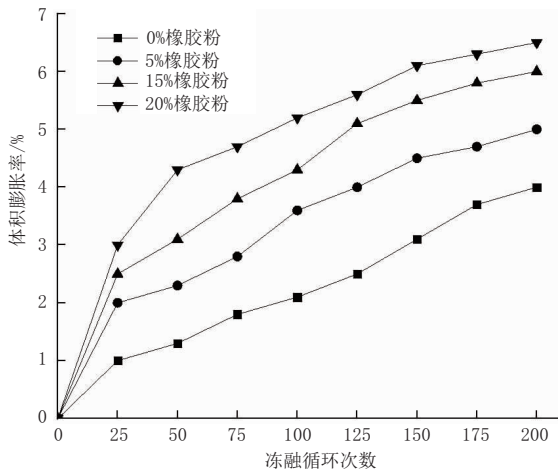


图 8 3 d 龄期不同橡胶粉掺量体积膨胀率

材料体积膨胀率最大为 6.5%。

(2)通过增加橡胶粉的掺量,可提高试件的体积膨胀率。当橡胶粉掺量增加至 20%时,其体积膨胀率均控制在 3%以内。这表明橡胶水泥类压浆材料在冻融循环作用下,不仅体积膨胀率较好,而且稳定性较高。

4 结 语

(1)在盐-冻融循环作用下,橡胶水泥类压浆材料各项力学指标具有明显的优势。这表明橡胶粉的掺入,使压浆材料的力学性能得到显著提升。其提升效果由优到劣依次为动弹性模量、抗压强度、抗折强度。

(2)对于城市主干路而言,应优先选择增加橡胶粉掺量,以确保注浆完成后,路面结构具有较高承载

能力。对于交通量较小的城市次干路及以下道路,应优先考虑增加养生时间。

(3)随着橡胶粉掺量的增加,试件的抗盐-冻融能力逐渐增强。但当橡胶粉掺量达到一定数值后,其抗盐-冻融效果趋于平缓。因此,在工程实践中,建议将橡胶粉掺量控制在 12%,以获得最大效果。

(4)试件体积膨胀率均控制在 3%以内,表明材料体积膨胀率较好,且稳定性较高。

参考文献:

- [1] 朱洪洲,张瑞,吴小军,等.不同基层类型水泥混凝土路面温度应力的差异[J].公路交通科技,2023,40(3):8-16.
- [2] J ALEXANDRE BOGAS, J DE BRITO, DUARTE RAMOS. Freeze-thaw resistance of concrete produced with fine recycled concrete aggregates[J].Journal of Cleaner Production, 2016(115):294-306.
- [3] 范晓燕,侯忠非,台电仓.基于复合路面板底脱空对路面弯沉影响分析研究[J].公路,2022(3):65-70.
- [4] 张一奔,徐飞,郑山锁.冻融损伤混凝土研究综述[J].混凝土,2021(3):10-13.
- [5] 肖力光,李正鹏.混凝土耐久性的影响因素及研究进展[J].混凝土,2022(12):1-5,16.
- [6] 宁喜亮,韩丰.混凝土渗透性试验方法研究进展[J].混凝土,2023(3):12-18.
- [7] 徐存东,李智睿,李欣达,等.盐冻循环下混凝土结构的寿命预测[J].混凝土,2021(11):29-32,37.
- [8] 冯琦,王宇斌.粉煤灰再生混凝土在干湿循环-抗硫酸盐侵蚀耦合条件下的耐久性研究[J].混凝土,2021(5):42-45,50.
- [9] 王晓强,王乾.无机水泥类脱空修补材料冻融损伤试验研究[J].混凝土,2018(3):75-78.

(上接第 227 页)

度均增大,且增长幅度明显。因此,通过降低路面材料太阳辐射吸收率,能够显著降低路面温度。

(5)随着混合料比热容的增大,各面层结构的温度均有所降低,上面层温度受比热容影响最明显,但整体下降幅度较小。

(6)随着热传导率的增大,上面层温度明显下降,中面层、下面层温度明显上升,且速率逐渐增大,表明上面层材料热传导率对结构整体温度的影响较为显著。

参考文献:

- [1] 王骏飞,骆卫忠,袁飞.温度场下城市沥青路面车辙成因力学机理分析[J].工程技术研究,2023,8(9):22-24.

- [2] 赵玉璧,吴玉,林家琛.基于温度场的 BRT 沥青路面结构永久变形特性分析[J].交通科技,2022(6):6-10.
- [3] 李文克,武书华.严酷气候条件下 SBS 改性沥青路面结构温度场研究[J].北方交通,2022(7):57-61.
- [4] 郭学东,孙明志,韩硕,等.沥青混凝土温度应力影响因素分析[J].公路,2015,60(11):31-37.
- [5] 康晓革,郑耀,张慧梅.基于连续变温的沥青路面温度场与应力场有限元分析[J].公路,2020,65(1):191-195.
- [6] 梁学文.沥青路面温度场分布规律的回归分析[J].交通世界,2016(12):38-39.
- [7] 邱欣,陶珏强,施俊庆,等.热夹层条件下沥青路面温度梯度分布特征研究[J].浙江师范大学学报(自然科学版),2017,40(2):221-227.
- [8] 游思增,王金昌.大粒径沥青碎石基层道路温度场实测研究[J].低温建筑技术,2016,38(8):11-13,23.