

水泥砼路面抗盐冻性能研究*

郭敬业¹, 贾海洋²

(1.河南省机西高速公路建设有限公司, 河南 郑州 450000; 2.河南中原高速公路股份有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 根据砼强度及施工要求确定路用水泥砼配合比, 选择合适的材料及掺量, 在盐冻环境 (NaCl 盐溶液浓度为 3%) 下开展冻融循环及弯拉强度室内试验, 测定不同类型砼经过不同次数冻融循环后的相对动弹性模量、质量损失及弯拉强度, 评价水灰比、引气剂、粉煤灰、钢纤维对路用砼抗盐冻性能的影响。

关键词: 公路; 水泥砼路面; 抗盐冻性能; 冻融循环; 弯拉强度

中图分类号: U418.6 文献标志码: A 文章编号: 1671-2668(2020)01-0081-04

水泥砼路面在长期冻融循环作用下会出现露骨、坑槽等现象, 不仅影响其使用性能, 也会弱化道路美观。特别是雨雪天气, 为保障行车安全, 需撒布融雪剂, 而融雪剂的主要成分是钠盐, 会加速砼路面的冻融破坏。国内外针对水泥砼路面抗盐冻性能作了很多研究, 从结构类型及原材料组合方面进行了很多改进, 也取得了大量成果, 但砼抗盐冻问题仍未解决。该文在水泥砼路面矿料级配设计的基础上, 在盐冻环境下对水泥砼进行冻融循环及弯拉强度试验研究, 测定不同冻融循环作用次数下水灰比、引气剂、粉煤灰和钢纤维对砼质量损失、相对动弹性模量及弯拉强度的影响, 通过优化原材料构成, 改善水泥砼路面的抗盐冻性能, 增加砼结构的使用年限。

1 原材料及配合比设计

1.1 水泥

采用 C52.5 普通硅酸盐水泥, 技术指标见表 1。

表 1 水泥的主要技术指标要求

检测指标	技术要求
标准稠度/%	0.61
烧失量/%	≤3.0
氧化镁含量/%	≤3.0
三氧化硫含量/%	2.0~3.6
细度/%	≤5.5
初凝时间/min	≥60
终凝时间/min	≤300
密度/(g·cm ⁻³)	2.983
28 d 抗压强度/MPa	≥45
28 d 弯拉强度/MPa	≥7.5

1.2 集料

细集料选用天然河砂, 粗集料为石灰岩, 粗、细集料的相关技术指标见表 2, 均满足规范要求。

表 2 粗、细集料的主要技术指标

细集料的 技术指标	试验 结果	粗集料的 技术指标	试验结果	
			5~10 mm	10~25 mm
表观密度/ (g·cm ⁻³)	2.536	表观密度/ (g·cm ⁻³)	2.732	2.748
堆积密度/ (g·cm ⁻³)	1.417	堆积密度/ (g·cm ⁻³)	1.423	1.493
MB 值	0.6	针片状含量/%	3.2	5.4
坚固性/%	4.7	坚固性/%	1.62	3.37
压碎值/%	19	压碎值/%	—	12.3
空隙率/%	34.1	空隙率/%	39.5	42.7
吸水率/%	1.58	吸水率/%	0.44	0.39

1.3 引气剂、粉煤灰及钢纤维

选用 SJ 系列引气剂, 其主要性能指标见表 3, 能较好地改善砼的弯拉强度。粉煤灰能代替部分水泥, 达到减少工程成本及改善砼和易性的效果, 试验

表 3 引气剂的主要性能指标 %

项目	技术指标
含气量	≤4.0
减水率	≥20
28 d 收缩率比	≤130
泌水率	0
3 d	≥220
抗压强度比	7 d ≥200
28 d	≥180

* 基金项目: 国家青年科学基金资助项目(51408553); 河南省重点科技攻关计划项目资助课题(152102210033)

所用粉煤灰的主要技术指标见表4。试验所用钢纤维的抗拉强度不小于800 MPa,长度45 mm,直径0.75 mm。

表4 粉煤灰的主要性能指标

项目	技术指标	项目	技术指标
等级	I级	水量比/%	≤95
细度/%	≤12	含水量/%	≤1
三氧化硫含量/%	≤5	烧失量/%	≤5

表5 5种砼的设计配合比

砼的种类	水/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	水泥/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	粗集料/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	细集料/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	引气剂/ %	减水剂/ %	水灰比	粉煤灰/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	钢纤维/ %
基准砼	145	362	1 249	645	0.01	1.5	0.40	0	0
低水灰比砼	145	382	1 236	637	0.01	1.5	0.38	0	0
无引气剂砼	145	362	1 249	645	0.00	1.5	0.40	0	0
粉煤灰砼	145	308	1 249	630	0.01	1.5	0.40	65	0
钢纤维砼	145	362	1 249	645	0.01	1.5	0.40	0	1

融循环次数下砼的相对动弹性模量、质量损失及弯拉强度。砼标准试件尺寸为150 mm×150 mm×550 mm。试验前将养生24 d的标准试件放入浓度为3%的NaCl溶液中浸泡4 d,液体高出试件顶面3 cm左右,检测其初始相对动弹性模量、质量及弯拉强度。试验时试件冻2 h、融2 h为一次冻融循环,冻结温度为-18℃,融冰温度为15℃左右,每25次冻融循环测定一次相对动弹性模量及质量损失,每100次测定一次弯拉强度。

2.1 水灰比的影响

对基准砼、低水灰比砼分别开展盐冻环境下冻融循环试验及弯拉试验,检测相对动弹性模量、质量损失及弯拉强度与冻融循环次数的关系,试验结果见图1~3。

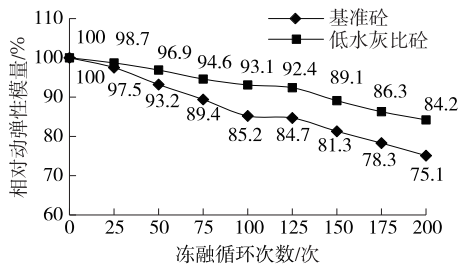


图1 水灰比对砼相对动弹性模量的影响

由图1可知:低水灰比砼能减缓冻融循环作用下相对动弹性模量的下降,100和200次冻融循环作用下相对动弹性模量比基准砼分别提高9.27%、

1.4 配合比设计

基准砼、低水灰比砼、无引气剂砼、粉煤灰砼及钢纤维砼的设计配合比见表5。

2 抗盐冻性能试验分析

影响砼抗盐冻能力的因素很多,包括原材料、施工环境、工艺及养护质量等。进行冻融循环试验和弯拉强度试验,NaCl盐溶液浓度为3%,测定不同冻

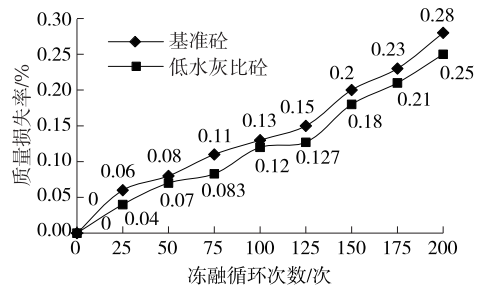


图2 水灰比对砼质量损失的影响

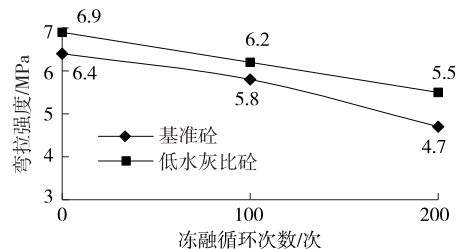


图3 水灰比对砼弯拉强度的影响

12.12%。

由图2可知:低水灰比砼能降低冻融循环作用下质量损失,100和200次冻融循环作用下质量损失比基准砼分别降低7.69%、10.71%。

由图3可知:低水灰比能改善砼的弯拉强度,0、100和200次冻融循环作用下弯拉强度比基准砼分别提高7.81%、6.90%、17.02%。

综上,低水灰比不仅能改善砼的弯拉强度,还能增强砼的抗盐冻能力。

2.2 引气剂的影响

对基准砼及未掺引气剂的砼分别开展盐冻环境下冻融循环试验及弯拉试验,检测相对动弹性模量、质量损失及弯拉强度与冻融循环次数的关系,试验结果见图4~6。

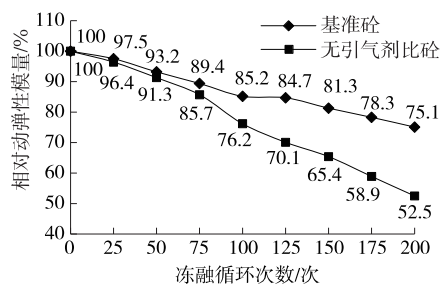


图4 引气剂对砼相对动弹性模量的影响

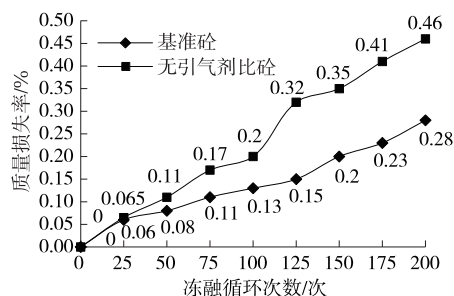


图5 引气剂对砼质量损失的影响

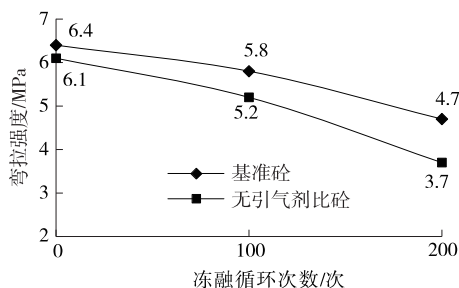


图6 引气剂对砼弯拉强度的影响

由图4可知:未掺引气剂时,冻融循环作用下砼的相对动弹性模量降幅较大,100和200次冻融循环作用下的相对动弹性模量比基准砼分别降低10.56%、30.09%。

由图5可知:未掺引气剂砼的质量损失显著变大,100和200次冻融循环作用下质量损失比基准砼分别增大53.85%、64.29%。

由图6可知:未掺引气剂砼的弯拉强度显著降低,0、100和200次冻融循环作用下弯拉强度比基准砼分别降低4.69%、10.34%、21.28%。

综上,引气剂的掺入不仅能改善砼的弯拉强度,而且抗盐冻能力得到增强。

2.3 粉煤灰的影响

对基准砼及掺粉煤灰的砼分别开展盐冻环境下冻融循环试验及弯拉试验,检测相对动弹性模量、质量损失及弯拉强度与冻融循环次数的关系,试验结果见图7~9。

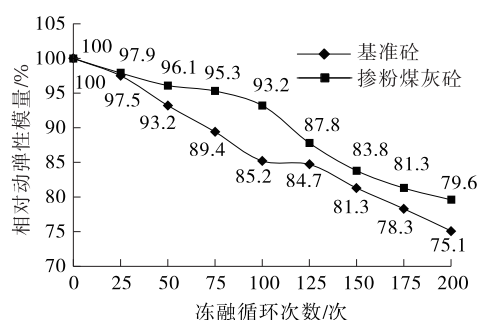


图7 粉煤灰对砼相对动弹性模量的影响

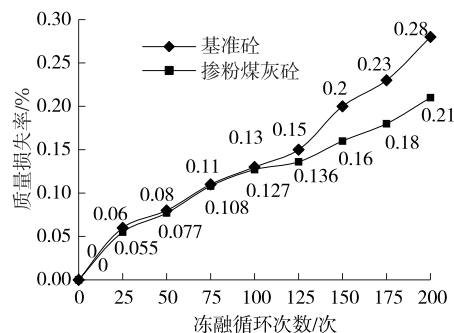


图8 粉煤灰对砼质量损失的影响

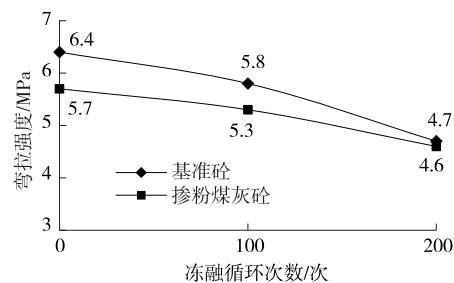


图9 粉煤灰对砼弯拉强度的影响

由图7可知:粉煤灰的掺入能减缓冻融循环作用下砼相对动弹性模量的降低,100和200次冻融循环作用下相对动弹性模量比基准砼分别提高9.39%、5.99%。

由图8可知:粉煤灰的掺入能降低冻融循环作用下砼质量损失,100和200次冻融循环作用下质量损失比基准砼分别降低2.31%、25.00%。

由图9可知:粉煤灰的掺入能降低砼的弯拉强度,0、100和200次冻融循环作用下弯拉强度比基准砼分别降低10.94%、8.62%、2.13%。

可见,粉煤灰的掺入虽然降低了砼的弯拉强度,但显著改善了砼的抗盐冻能力。

2.4 钢纤维的影响

对基准砼及掺钢纤维砼分别开展盐冻环境下冻融循环试验及弯拉试验,检测相对动弹性模量、质量损失及弯拉强度与冻融循环次数的关系,试验结果见图10~12。

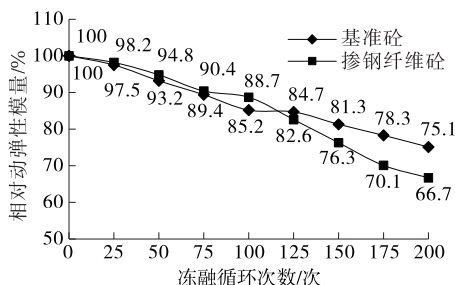


图10 钢纤维对砼相对动弹性模量的影响

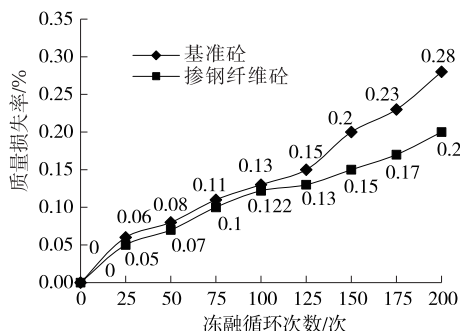


图11 钢纤维对砼质量损失的影响

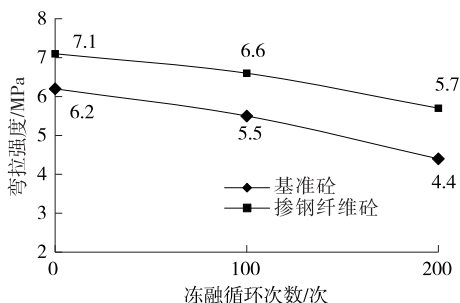


图12 钢纤维对砼弯拉强度的影响

由图10可知:冻融循环次数小于100次时,钢纤维的掺入能减缓砼相对动弹性模量降低的速度;冻融循环次数大于100次时,钢纤维的掺入可显著加快砼相对动弹性模量降低的速度;100和200次冻融循环作用下掺钢纤维砼的相对动弹性模量比基准砼分别提高4.11%、降低11.19%。

由图11可知:钢纤维的掺入能降低冻融循环作用下砼的质量损失,100和200次冻融循环作用下

质量损失比基准砼分别降低6.15%、28.57%。

由图12可知:钢纤维的掺入能改善砼的弯拉强度,0、100和200次冻融循环作用下弯拉强度比基准砼分别增大14.52%、20.00%、29.55%。

可见,钢纤维的掺入对砼短期抗盐冻能力不利,但对长期抗盐冻能力有利,掺入钢纤维能改善砼的弯拉强度和抗盐冻能力。

3 结论

通过盐冻环境下冻融循环及弯拉强度试验,分析基准砼、低灰比砼、无引气剂砼、粉煤灰砼及钢纤维砼的弯拉强度及抗盐冻能力,得到以下结论:

(1) 低水灰比砼能减缓冻融循环作用下相对动弹性模量及质量损失的降低,改善砼的弯拉强度和抗盐冻能力。

(2) 引气剂的掺入能增强冻融循环作用下砼的相对动弹性模量,降低质量损失,改善砼的弯拉强度和抗盐冻能力。

(3) 粉煤灰的掺入能减缓冻融循环作用下砼的相对动弹性模量及质量损失的降低,虽然弯拉强度有所降低,但能显著改善砼的抗盐冻能力。

(4) 钢纤维的掺入对砼短期抗盐冻能力不利,但对长期抗盐冻能力有利,钢纤维的掺入能改善砼的弯拉强度和抗盐冻能力。

参考文献:

- [1] 李理,杨万斌,刘茉莉.硅灰对混凝土抗冻性能影响的试验研究[J].河北省科学院学报,2012,29(2).
- [2] 杨晨晨,白英,田晓宇,等.掺纤维橡胶混凝土抗冻性能研究[J].硅酸盐通报,2016,35(10).
- [3] 朱昀喆.纳米改性混凝土的抗盐冻性能及其改性机理研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2015.
- [4] 张二芹.聚合物改性水泥混凝土的力学性能及耐久性研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2016.
- [5] 周梅,赵华民,徐秒,等.橡胶细集料掺量及粗细程度对混凝土抗盐冻性能的影响[J].硅酸盐通报,2014,33(7).
- [6] 何东坡,胡英杰.季冻区掺粉煤灰水泥混凝土路面耐久性研究[J].公路,2010(5).
- [7] 付二全.内蒙古严寒地区水泥混凝土路面抗冻性能试验研究[D].西安:长安大学,2015.
- [8] 朱方之,赵铁军,王鹏刚.内掺和外涂硅烷防水混凝土抗盐冻剥蚀性能研究[J].硅酸盐通报,2015,34(8).
- [9] 张永存,李青宁,房辰泽.基于微观分析的纤维混凝土力

(下转第97页)

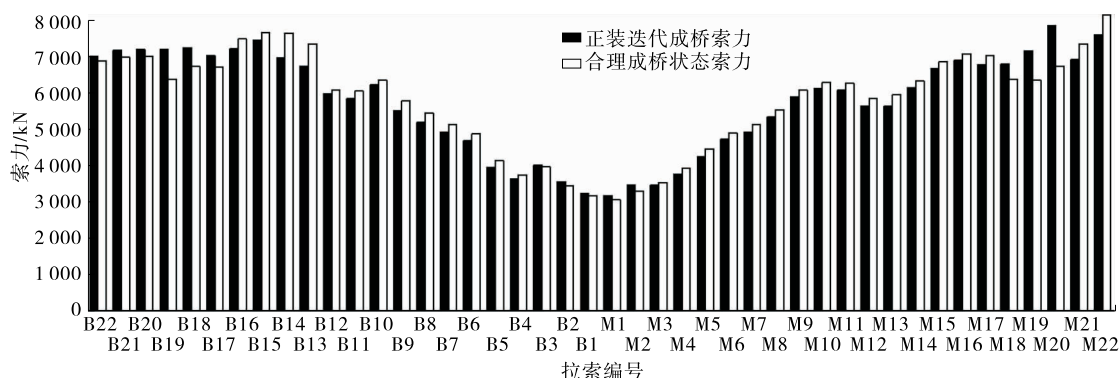


图 5 合理成桥状态与正装成桥索力对比

龙后合龙段配重和体系转换导致尾索索力产生一定变化,但基本符合施工索力误差要求;主梁弯矩吻合较好,仅部分梁段有一定误差,满足施工成桥要求。

4 结论

采用适合于砼斜拉桥的正装迭代法,结合实际情况进行预应力砼斜拉桥施工期索力计算,主要结论如下:

(1) 正装迭代法可方便快捷地计算砼斜拉桥施工阶段的初始张拉力,且能和施工工序同步进行实时调整和修正。

(2) 选取的目标参数不同对计算结果的影响不大,理论上关键内力参数的选取越多越有利于提高计算结果的精确性。

(3) 正装计算后部分索力存在误差,可利用影响矩阵法在合龙后进行局部索力调整。

参考文献:

- [1] 邵旭东.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 林元培.斜拉桥[M].北京:人民交通出版社,1994.
- [3] 秦顺全.无应力状态控制法斜拉桥安装计算的应用[J].

桥梁建设,2008,38(2).

- [4] Chaolin Song, Rucheng Xiao, Bin Sun. Optimization of cable pre-tension forces long-span cable-stayed bridges considering the counterweight [J]. Engineering Structures, 2018, 172.
- [5] 陈明生.大跨度斜拉桥几何非线性变形和受力状态的影响[J].中国公路,2018(12).
- [6] 辛克贵,冯仲.大跨度斜拉桥的施工非线性倒拆分析[J].工程力学,2004,21(5).
- [7] 林驰.基于非线性正装迭代法的三塔结合梁斜拉桥施工索力确定[J].武汉理工大学学报,2012,34(9).
- [8] 黄春亮.正装迭代法求解矮塔斜拉桥初张索力研究[J].公路与汽运,2017(1).
- [9] 王新征,王宗华.正装迭代法在确定斜拉桥成桥状态索力中的应用[J].公路工程,2015,40(2).
- [10] Leandro Arosio. Canonical models for the forward and backward iteration of holomorphic maps [J]. The Journal of Geometric Analysis, 2017, 27(2).
- [11] 车鑫,刘旭.部分斜拉桥动力特性及颤振稳定性分析[J].公路交通科技:应用技术版,2018(10).
- [12] JTG/T F50—2011,公路桥涵施工技术规范[S].

收稿日期:2019-04-07

(上接第 84 页)

- 学性能及耐久性研究[J].混凝土,2016(8).
- [10] 李中华.寒冷地区道路混凝土抗盐冻剥蚀性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
- [11] 孙长征,朱凡凡,赵同峰,等.超细矿物掺合料混凝土

抗盐冻性能的试验研究[J].混凝土,2016(10).

- [12] 倡传铭.聚合物改性水泥砼力学性能及耐久性能研究[J].公路与汽运,2018(6).

收稿日期:2019-04-25

(上接第 94 页)

- [11] 左敏,江克斌.转体桥平转球铰转体过程应力计算方法研究[J].铁道标准设计,2015(12).
- [12] JTG/T F50—2011,公路桥涵施工技术规范[S].

- [13] 唐清明.大跨度超宽变截面不平衡配重连续梁转体施工控制[J].施工技术,2017,46(5).

收稿日期:2019-02-26