

季冻地区路用水泥混凝土抗盐冻性能试验研究

曹沈阳¹, 包得祥²

(1. 甘肃省兰州公路管理局, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司)

摘要:为提高季节性冰冻地区水泥混凝土路面的抗盐冻性能,在混凝土中分别掺入纳米 CaCO_3 、钢纤维、粉煤灰、引气剂以及改变水灰比,进行盐冻条件下的冻融循环试验及冻融前后的弯拉强度试验,试验时盐溶液为浓度3%的NaCl溶液,冻融循环试验总次数为200次。测得不同冻融循环次数下混凝土的弯拉强度损失、质量损失和相对动弹模量,并进行横向对比分析。研究表明:掺入1%纳米 CaCO_3 、1%钢纤维、0.01%引气剂及水灰比降为0.38时,均可明显改善混凝土的抗盐冻性能,混凝土弯拉强度分别提高9.7%、12.9%、3.3%和8.1%;掺入15%粉煤灰使混凝土弯拉强度降低9.7%,但抗盐冻性能改善明显。因而建议在季冻地区交通荷载等级为极重和特重的水泥混凝土路面中,在尽量加入引气剂、降低水灰比的基础上,优先考虑掺入纤维、纳米材料,不建议掺入粉煤灰。

关键词: 道路工程; 水泥混凝土路面; 抗盐冻; 纤维; 纳米材料; 粉煤灰

1 引言

水泥混凝土路面具有耐久性好、强度高、水稳定性及高温稳定性良等优点,被广泛应用于道路路面建设中,尤其是乡村道路。目前,中国水泥混凝土路面以普通水泥混凝土路面为主,该路面设置了大量的纵、横向接缝,是整个路面的薄弱部位,在季节性冰冻地区接缝位置常出现唧泥、脱空、错台、开裂等病害,大大影响了行车舒适性,缩短了路面使用寿命。与此同时,接缝的存在使水分更易进入路面结构内部,在春融、秋冻时节,路面混凝土材料将经受冻—融循环作用,若抗冻性能较差,其强度、耐久性将经受严峻的考验,易产生脱空、剥落等病害,大大影响行车舒适性,明显缩短了路面使用寿命,可见混凝土材料的抗冻性能对路面十分重要。尤其是下雪天气路面结冰时,为保证行车安全,

需要在路面上撒布除冰盐,更加速了路面破坏速度。

冻融条件下,水泥混凝土的破坏速度主要受两大因素的影响,一是冻融环境;二是水泥混凝土的抗盐冻性能。大量研究证明:盐冻条件下混凝土的破坏速度远大于一般水冻条件下混凝土的破坏速度。对破坏机理进行研究发现:①盐具有除湿作用,可明显缩短混凝土的饱水时间,加大混凝土的饱水程度;②盐溶液在加速凝结冰融化的过程中,将从混凝土中吸收大量的热量,导致混凝土结构内部形成温度梯度,产生温度应力,大大加速了混凝土的冻融破坏。

为提高混凝土抗盐冻性能,国内外学者开展了大量研究,研究水泥掺量、盐溶液浓度、外加剂、环氧树脂、矿物掺合料、纳米材料等对混凝土抗盐冻性能的影响。研究发现:当盐溶液浓度为2%~4%时,冻融循环作用下混凝土破坏速度最大;在水泥混凝土中,掺入引气剂、减水剂、纤维、矿物掺合料(粉煤灰、硅灰、超细

- *****
- [10] 吕阳. 掺玄武岩纤维的高模量沥青混合料性能试验研究[D]. 扬州大学硕士学位论文,2016.
- [11] 覃潇,申爱琴,郭寅川. 玄武岩纤维沥青胶浆性能试验研究[J]. 建筑材料学报,2016(4).
- [12] 李慧萍,王福满,李晨. 玄武岩纤维对沥青混合料性能影响分析研究[J]. 中外公路,2016(4).

- [13] 刘向杰. 玄武岩纤维沥青混合料路用性能研究[J]. 中外公路,2018(5).
- [14] 杨进,肖鹏飞. 高模量低标号沥青抗车辙性能研究[J]. 石油沥青,2013(3).
- [15] 冯师蓉. 沥青玛蹄脂粘弹性特性的DSR试验研究[D]. 郑州大学硕士学位论文,2007.

收稿日期:2020-09-20(修改稿)

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(编号:CHD2016ZD014)

作者简介:曹沈阳,男,硕士,高级工程师. E-mail:331355498@qq.com

粒化电炉矿渣等)、纳米材料(CaCO_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 等)等材料后均可改善混凝土的抗盐冻性能,但均会影响到混凝土的施工质量和强度等。

目前,国内外学者围绕路用水泥混凝土抗盐冻性能研究,取得了丰硕的成果。研究多基于水泥混凝土冻融循环试验,测得不同冻融循环次数下混凝土的相对动弹模量和质量损失,进而评价其抗冻性能。对于普通水泥混凝土路面而言,弯拉强度是其设计控制指标,但是对于冻融循环作用下其弯拉强度衰减机理缺乏研究。而且,掺入减水剂、引气剂、粉煤灰、纤维、纳米材料等材料时,均可一定程度上改善水泥混凝土的抗盐冻性能,但是哪种材料对混凝土抗盐冻性能改善效果较好,缺乏横向对比。基于此,该文在水泥混凝土配合比设计的基础上,研究水灰比、减水剂、引气剂、粉煤灰、钢纤维、纳米 CaCO_3 等材料对混凝土抗盐冻性能的影响,选用的盐溶液为浓度 3% 的 NaCl 溶液,进行的室内试验包括冻融循环试验和弯拉强度试验,拟通过混凝土抗盐冻性能研究,优化水泥混凝土材料组成,延长路面设计使用寿命。

2 原材料及配合比设计

2.1 原材料

试验中用到的原材料包括水泥、水、粗集料、细集料、引气剂、减水剂、粉煤灰、钢纤维、纳米 CaCO_3 , 现分别对其性能及指标进行论述:

(1) 水泥。普通硅酸盐水泥, 试验测得抗折强度为 8.0 MPa, 密度为 3 150 kg/m^3 。

(2) 水。要求采用洁净无杂质的水, 试验采用市政供水。

(3) 粗集料。粗集料为碎石, 由试验可得: 碎石含泥量为 1.1%, 含水率为 0.3%, 堆积密度为 2 428 kg/m^3 , 表观密度为 2 706 kg/m^3 , 粒径范围为 9.5~26.5、9.5~19、4.75~9.5 mm 共 3 档, 筛分后掺配比例为 4:3:3, 级配上限、下限及合成级配见表 1。

表 1 粗集料级配组成

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%					
	2.36	4.75	9.5	16	19	26.5
上限	5.00	10.00	30.0	50.0	75.0	100
下限	0	0	10.0	30.0	60.0	95
合成级配	1.74	6.12	21.6	38.6	68.3	100

(4) 细集料。细集料采用河砂, 中砂, 细度模数为 2.7, 含泥量为 0.9%, 堆积密度为 1 710 kg/m^3 , 表观

密度为 2 715 kg/m^3 。

(5) 减水剂。减水剂掺量为 1.5%。

(6) 引气剂。引气剂的掺量为 0.01%。

(7) 纳米材料。目前纳米材料种类很多, 常用的包括纳米 SiO_2 、纳米 CaCO_3 、纳米 Fe_2O_3 、纳米 TiO_2 等, 其价格大多数较高, 如纳米 SiO_2 价格为 10 万元/t 以上, 而纳米 CaCO_3 相对便宜, 为 1 万元/t 左右, 考虑经济因素, 该文选用纳米 CaCO_3 进行试验。研究发现: 纳米 CaCO_3 的掺量为 1% 左右时其抗冻、抗渗等耐久性能最佳, 因而选用掺量为 1%。

(8) 钢纤维。采用波纹铣削型钢纤维, 其有效直径为 0.8 mm, 长度为 50 mm, 抗拉强度为 800 MPa。研究发现: 纤维掺量大小对混凝土性能影响较大, 当掺量较小时随着掺量的增加, 混凝土抗冻、抗渗、强度均有所提高, 但是当掺量增加到一定程度, 随着掺量的继续增加, 混凝土性能将有所降低, 最佳掺量一般为 1% 左右, 因而该文选用体积掺量为 1%。

(9) 粉煤灰。掺入粉煤灰可有效改善混凝土孔结构, 提高其抗冻、抗渗性能, 但同时会略微降低混凝土的强度, 因而应合理选择其掺量。研究发现: 最佳掺量一般为 10%~20%。该文选用的掺量为 15%, 掺量计算采用超量取代法, 超量取代系数为 1.2, 选用的粉煤灰质量达到 I 级要求, 其表观密度为 2 250 kg/m^3 。

2.2 配合比设计

对基质水泥混凝土及改变水灰比、掺入引气剂、钢纤维、粉煤灰、纳米 CaCO_3 的混凝土进行配合比设计, 确定的配合比设计如表 2 所示。其中, 确定的基质混凝土的砂率为 34%, 水灰比为 0.40, 减水剂为 1.5% (占水泥质量), 引气剂为 0.01% (占水泥质量)。

3 试验结果与分析

根据表 2 配合比制备 6 种材料的混凝土试件, 每种材料制备 3 组试件, 每组 3 个, 总计 54 个试件。试件尺寸: 长、宽、高分别为 40、10 和 10 cm。试件成型后, 将试件放在养生室养生 28 d 后进行相关试验, 试验采用盐溶液浓度为 3% 的 NaCl 溶液。试验时, 对每种材料的第 1 组试件进行冻融循环试验, 冻融循环总次数为 200 次, 测试每隔 25 次的质量损失和相对动弹模量, 200 次冻融循环后测试其弯拉强度; 第 2 组试件进行 100 次冻融循环试验后测试其弯拉强度; 第 3 组试件养生 28 d 后直接测试其弯拉强度。最后根据第 3 组试件的弯拉强度试验结果计算第 1 组和第 2 组试件

表 2 水泥混凝土配合比设计

材料类型	水/ kg	水泥/ kg	粗集料/ kg	细集料/ kg	引气剂/ %	减水剂/ %	水灰比	粉煤灰 掺量/kg	钢纤维体 积掺量/%	纳米材 料掺量/kg
基质混凝土	146	361	1 248	646	0.01	1.5	0.40	0	0	0
无引气剂	146	361	1 248	646	0	1.5	0.40	0	0	0
低水灰比	146	381	1 235	638	0.01	1.5	0.38	0	0	0
钢纤维	146	361	1 248	646	0.01	1.5	0.40	0	1	0
粉煤灰	146	307	1 248	631	0.01	1.5	0.40	65	0	0
纳米 CaCO ₃	146	357	1 248	646	0.01	1.5	0.40	0	0	3.6

的弯拉强度损失率。

3.1 冻融循环试验结果及分析

对每种材料的第 1 组试件进行 200 次冻融循环试验,每隔 25 次测试其质量损失和相对动弹模量,试验结果如图 1、2 所示。

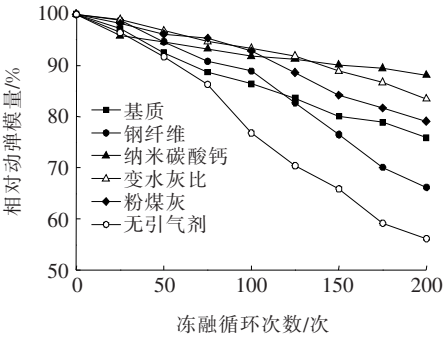


图 1 不同冻融循环次数下混凝土的相对动弹模量

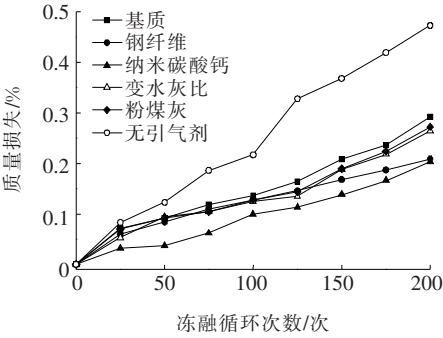


图 2 不同冻融循环次数下混凝土的质量损失

由图 1、2 可知:

(1) 对于基准配合比的水泥混凝土,随着冻融循环次数的增加,混凝土质量损失和相对动弹模量变化明显,经受 200 次冻融循环试验后,其质量损失为 0.29%,相对动弹模量为 75.9%,盐冻条件下水泥混凝土性能退化明显。

(2) 水灰比由 0.40 降为 0.38 后,200 次冻融循环作用下质量损失和相对动弹模量分别为 0.26% 和 83.5%,分别比基准配合比的水泥混凝土减少 10.3%

和增加 10.0%,混凝土抗盐冻性能改善明显。

(3) 当不掺入引气剂时,200 次冻融循环作用下,混凝土的质量损失和相对动弹模量分别为 0.47% 和 56.2%,比基准配合比的水泥混凝土分别增加 62.1% 和减少 25.6%。由此可见,掺入引气剂可明显提高混凝土的抗盐冻性能。

(4) 掺入粉煤灰时,200 次冻融循环作用下质量损失和相对动弹模量分别为 0.27% 和 79.1%,分别比基准配合比的水泥混凝土减少 6.9% 和增加 4.2%。由此可见,掺入粉煤灰可一定程度上提高混凝土的抗盐冻性能,但提高程度有限。

(5) 掺入钢纤维时,200 次冻融循环作用下,质量损失和相对动弹模量分别为 0.21% 和 66.2%,分别比基准配合比的水泥混凝土减少 27.6% 和 12.8%。由此可见,钢纤维的掺入将一定程度上降低混凝土的密度,降低混凝土的相对动弹模量,但同时可降低混凝土的质量损失,减少混凝土的破坏,提高其抗冻性能。

(6) 掺入纳米 CaCO₃ 时,200 次冻融循环作用下混凝土的质量损失和相对动弹模量分别为 0.20% 和 88.1%,分别比基准配合比的水泥混凝土减少 31.0% 和增加 16.1%,水泥混凝土抗盐冻性能改善效果显著。

通过以上分析可知:6 种材料对混凝土抗盐冻性能改善效果为:纳米 CaCO₃ 混凝土>钢纤维混凝土>低水灰比混凝土>粉煤灰混凝土>基准配合比的水泥混凝土(已掺引气剂)>未掺引气剂的混凝土。但以上结果仅从冻融循环作用下混凝土质量损失和相对动弹模量大小变化角度分析,弯拉强度的退化衰减情况尚不可知,需要进一步进行分析。

3.2 弯拉强度试验结果及分析

对冻融循环次数分别为 0、100、200 次的 6 种材料 18 组混凝土试件分别进行弯拉强度试验,试验结果如图 3 所示。

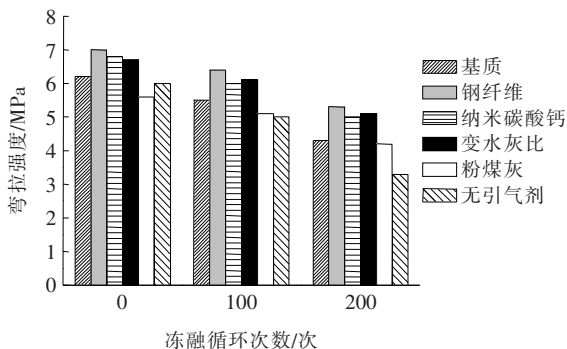


图 3 不同冻融循环次数下混凝土的弯拉强度

由图 3 可知:

(1) 当冻融循环次数为 0 时,基质混凝土、钢纤维混凝土、纳米 CaCO_3 混凝土、变水灰比混凝土、粉煤灰混凝土和未掺引气剂混凝土弯拉强度分别为 6.2、7.0、6.8、6.7、5.6 和 6.0 MPa。由此可见:加入钢纤维、纳米 CaCO_3 及降低水灰比将一定程度上提高混凝土的弯拉强度,与基质混凝土相比分别提高 12.9%、9.7%和 8.1%;掺入粉煤灰及未加引气剂时使混凝土弯拉强度有所降低,分别降低 9.7%和 3.2%。

(2) 冻融循环次数为 200 次时,基质混凝土、钢纤维混凝土、纳米 CaCO_3 混凝土、降低水灰比混凝土、粉煤灰混凝土和未掺引气剂混凝土的弯拉强度损失率分别为 30.6%、24.3%、26.5%、23.9%、25.0%和 45%。由此可见:掺入钢纤维、纳米 CaCO_3 、粉煤灰和引气剂以及降低水灰比均可有效延缓冻融循环作用下弯拉强度的衰减,提高其抗盐冻性能。

从弯拉强度试验结果来看,6 种材料的抗盐冻性能优劣对比情况为:降低水灰比混凝土>钢纤维混凝土>粉煤灰混凝土>纳米 CaCO_3 混凝土>基质混凝土>无引气剂混凝土。

4 结论

(1) 冻融循环作用下,掺入引气剂、粉煤灰、纳米 CaCO_3 、钢纤维及降低水灰比均可减少盐冻条件下混凝土的质量损失和相对动弹模量的降低速度,延缓弯拉强度的衰减,提高季冻区混凝土的抗盐冻性能。

(2) 掺入钢纤维、纳米 CaCO_3 、引气剂及降低水灰比可分别提高混凝土弯拉强度 12.9%、9.7%、3.3%

和 8.1%,掺入粉煤灰使混凝土弯拉强度降低 9.7%,因而在交通荷载等级为极重和特重的路面中不建议使用粉煤灰改善混凝土的抗盐冻性能。

(3) 为提高季冻区水泥混凝土路面的抗盐冻性能,在尽量加入引气剂、降低水灰比的基础上,优先考虑掺入钢纤维、纳米材料。

通过以上研究可知:盐冻条件下混凝土性能衰减明显,应当引起足够的重视,掺入减水剂、引气剂、钢纤维、粉煤灰、纳米 CaCO_3 均可提高水泥混凝土弯拉强度(除粉煤灰外),改善其抗盐冻性能。可是,任何一种措施对混凝土抗盐冻性能的改善程度均有限,在季节性冰冻比较严重的地区,应当在考虑经济因素的同时,采取多种技术措施,综合改善混凝土的抗盐冻性能。

参考文献:

- [1] 刘建伟,张翥,申俊敏,等.水泥混凝土路面国内外现状和发展新对策[J].中外公路,2016(4).
- [2] 李志军.水泥混凝土抗盐冻性能试验研究[D].长安大学硕士学位论文,2018.
- [3] 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].长安大学硕士学位论文,2015.
- [4] 李中华.寒冷地区道路混凝土抗盐冻剥蚀性能研究[D].哈尔滨工业大学博士学位论文,2009.
- [5] 吴泽媚.氯盐和冻融对混凝土破坏特征及机理研究[D].南京航空航天大学硕士学位论文,2012.
- [6] 何志鹏,夏举佩,郑森.外加剂对磷石膏基复合胶凝材料性能的影响[J].硅酸盐通报,2016(6).
- [7] 张影,申力涛.环氧树脂混凝土冻融性能试验研究[J].中外公路,2018(1).
- [8] 覃丽坤,宋宏伟,王秀伟.海水环境下粉煤灰混凝土的抗冻融性研究[J].中外公路,2015(6).
- [9] 牛晓伟,王永维,李强,等.多壁碳纳米管/水性环氧树脂复合改性多孔水泥混凝土性能研究[J].公路,2017(1).
- [10] Chatterji S. Freezing of Air-Entrained Cement-Based Materials and Specific Actions of Air-Entraining Agents[J]. Cement and Concrete Composites, 2003, 25 (7): 759-765.
- [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] 黄娟,韩雪.纳米改性路用混凝土抗盐冻性能试验研究[J].中外公路,2018(2).