

阿克苏地区盐渍土环境下混凝土耐久性研究

亓泽霖, 王 成*

塔里木大学水利与建筑工程学院, 新疆 阿拉尔
Email: *1843386187@qq.com

收稿日期: 2021年5月29日; 录用日期: 2021年6月17日; 发布日期: 2021年6月24日

摘 要

在南疆阿克苏地区选取试验地点并设计试验方案, 对不同矿粉掺量的混凝土试块进行现场暴露试验, 分析南疆盐渍土环境下现场暴露的混凝土基于硫酸盐侵蚀的试验数据, 结合当地实际环境和材料因素, 选取试件的相对动弹性模量和相对质量作为评价参数。最终再选用综合评定参数对混凝土在盐渍土环境作用下的损伤过程进行评判, 确定矿粉的最佳掺量。理论分析和试验结果表明, 室外现场暴露试验混凝土在盐渍土环境中发生了复杂的化学反应, 在矿粉掺量为30%时综合损伤评价参数波动最小, 说明矿粉掺量30%为最佳掺量, 此时混凝土耐久性最好。

关键词

混凝土, 矿粉, 盐渍土, 硫酸盐侵蚀, 现场暴露, 耐久性

Study on Durability of Concrete under Saline Soil Environment in Aksu Area

Zelin Qi, Cheng Wang*

School of Water and Construction Engineering, Tarim University, Alaer Xinjiang
Email: *1843386187@qq.com

Received: May 29th, 2021; accepted: Jun. 17th, 2021; published: Jun. 24th, 2021

Abstract

In Aksu area of Southern Xinjiang, the test site is selected and the test scheme is designed. The field exposure test of concrete blocks with different mineral powder contents is carried out. The test data of concrete exposed in the saline soil environment of Southern Xinjiang based on sulfate

*通讯作者。

erosion are analyzed. Combined with the local actual environment and material factors, the relative dynamic elastic modulus and relative quality of the specimens are selected as the evaluation parameters. Finally, comprehensive evaluation parameters are selected to evaluate the damage process of concrete under the action of saline soil environment and to determine the optimal content of mineral powder. Theoretical analysis and test results show that complex chemical reactions take place in the salinized soil environment of concrete exposed to outdoor field test. When the ore powder content is 30%, the parameter fluctuation of comprehensive damage evaluation is the smallest, indicating that the ore powder content is 30%, and the concrete durability is the best.

Keywords

Concrete, Mineral Powder, Saline Soil, Sulfate Attack, On-Site Exposure, The Durability

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

新疆南疆地区是我国新疆“丝绸之路经济带”核心区建设的重点区域,是我国“一带一路”国家战略向西挺进至中亚-欧洲的重要战略节点,因此南疆“丝绸之路经济带”基础设施工程建设至关重要。混凝土具有原材料丰富、经济适用、抗压强度高优点,成为了基础工程建设的首选原材料。由于新疆南疆地区土壤盐渍化程度非常严重,盐渍土壤中 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 等腐蚀性离子所占比例均达到强盐渍土的标准。气候恶劣,昼夜温差高达 20°C ,各类气象灾害如寒潮、霜冻、沙尘暴、干旱、冰雹、暴风雪等极端灾害性天气时有发生[1],使得在本地区内的混凝土建筑物受到盐类侵蚀、干湿循环、冻融循环的影响,混凝土易出现表面起皮、棱角脱落、裂缝长度和深度显著增大的现象,部分体表面积大的混凝土呈蜂窝状[2][3][4],从而严重影响了混凝土的耐久性,大大缩短了混凝土的使用寿命,制约了本地区经济发展。因此开展南疆地区盐渍土环境下混凝土耐久性问题的研究具有重要意义。

聂彦锋等[5]应用粗糙集理论(RST),通过建立混凝土硫酸盐侵蚀评价指标重要性关系数据模型,对各个评价参数指标的权重进行了计算。结果表明,超声波波速和长度变化率的权重系数最大,回弹值次之,质量变化率和侵蚀深度最小。高润东等[6]通过宏观和微观两种观测研究不同配合比混凝土在干湿循环作用下受硫酸盐侵蚀的劣化规律。汪廷秀等[7]研究了干湿交替-硫酸盐溶液耦合作用下混凝土损伤劣化过程,结果表明干湿循环作用下硫酸盐对混凝土的损伤是由于侵蚀产物与盐结晶膨胀综合作用下不断积累所造成的并且干湿交替加剧了混凝土在硫酸盐溶液中的损伤程度。并且矿物掺合料的加入能显著提高混凝土抗硫酸盐侵蚀的能力。杨英姿等[8]在不同的养护制度下掺加与未掺加防冻剂混凝土抗压强度、经过50次冻融循环强度损失率和渗透系数,参照防冻剂标准JC475提出了负温混凝土结构损伤评价参数和未来防冻剂的设计方向。结果表明适当延长正温养护时间是提高混凝土耐久性的重要措施。蒋卫东等[9]在盐渍土地区对混凝土的抗腐蚀和抗渗性能进行了现场试验。结果表明在混凝土中掺入粉煤灰和减水剂的方法能够改善混凝土抗硫酸盐腐蚀的性能和抗渗性能,并且盐渍土地区粉煤灰掺量为40%时,混凝土耐久性较高。

综上所述,根据学者的研究可知,在干湿循环作用下对混凝土的损伤程度最为严重,当在混凝土中掺入矿物质时,可以明显提高混凝土的抗硫酸盐侵蚀能力和抗渗性能。

目前, 混凝土耐久性研究主要集中在以某地区所存在的自然环境为基础, 进行室内模拟加速方面的试验, 模拟的因素较为单一, 所以研究成果较难运用到同时遭遇冻融破坏、冻胀破坏硫酸盐腐蚀等多因素作用的南疆阿克苏地区。基于学者们对混凝土耐久性的研究成果, 南疆阿克苏地区作为盐渍土地区的一个典型区域, 年均降水量 42.4~94.4 毫米, 日照时间较长, 其中年日照数为 750~3029 小时, 太阳辐射量较大, 太阳总辐射量为 5340~6220 兆焦/平方米, 环境条件较为恶劣, 测量不同矿粉掺量的混凝土在不同时间段内的质量和动弹性模量, 通过比较分析得出一种更加适合南疆盐渍土地区的矿粉掺量。

2. 原材料与试验方法

2.1. 原材料

新疆阿拉尔多浪水泥公司生产的 42.5 普通硅酸盐水泥, 其各项性能见表 1。粗集料采用新疆阿拉尔正达商混站提供的卵石, 卵石粒径分别为 5 mm~20 mm 和 20 mm~40 mm; 细集料采用新疆阿拉尔正达商混站用砂, 细度模数为 2.7, 属于中砂, 粒化高炉矿渣采用新疆阿拉尔热电厂生产的矿粉; 减水剂采用新疆阿拉尔正达商混站提供的高性能减水剂, 减水率为 27%。水采用阿拉尔自来水。

Table 1. Performance index of ordinary Portland cement

表 1. 普通硅酸盐水泥的性能指标

标准稠度 用水量%	烧失量 %	细度 %	凝结时间/min		抗折强度/Mpa		抗压强度/Mpa	
			初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
27	4.26	7.10	135	185	5.8	8.3	27.9	49.0

2.2. 配合比

为了客观的研究现场暴露地区环境对混凝土耐久性的影响, 结合新疆南疆地区的气候条件、地理环境以及本地区土壤中所含有的腐蚀性离子, 基于不同矿粉掺量对混凝土抗侵蚀能力的区别, 本试验设计了 5 种矿粉掺量的混凝土试样, 具体配合比如表 2 所示。

Table 2. Mix proportion of concrete

表 2. 混凝土配合比

编号	矿粉掺量 (%)	水泥 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	砂 (kg/m ³)	石(kg/m ³) 5~20 mm	石(kg/m ³) 20~40 mm	矿粉 (kg/m ³)	减水剂 (kg/m ³)	水灰比
NA10	0	374	146	696	592	592	0	3.74	0.39
NA11	10	337	146	696	592	592	37	3.74	0.43
NA12	20	299	146	696	592	592	75	3.74	0.49
NA13	30	262	146	696	592	592	112	3.74	0.56
NA14	40	224	146	696	592	592	150	3.74	0.65
NA15	50	187	146	696	592	592	187	3.74	0.78

2.3. 试验方案

采用表 2 配合比制作混凝土试块, 试件尺寸为 100 mm × 100 mm × 400 mm, 养护 24 h 后拆模, 标准养护 28 d 后将试件埋入土中。试件两端分别标记 A 端和 B 端, 在长度方向标记试件编号, 沿长度方向将 B 端埋入土中, 埋置深度为 200 mm, A 端朝上暴露在空气中。

在埋置之前, 对试件进行初始数据采集, 其中包括试件质量 M , A, B 端的动弹性模量 E_A, E_B , 并且每隔 30 d 采集 1 次试件的质量和动弹性模量。由于现场暴露环境比较复杂, 不确定因素较多, 为确保试验的严谨性和准确性, 将误差降到最小, 本试验选取新疆南疆阿克苏地区八团 1 个现场暴露试验点埋置试块, 此点埋置 6 种配合比的试件, 每种水灰比的试件 3 个, 此暴露点共 18 个试件。

根据《土工试验方法标准》[10]对暴露点土质进行分析, 分析结果如表 3。其中, n 和 m 分别是每千克土质中所测项目的物质的量和质量。根据《岩土工程勘察规范》[11]结合数据计算可知八团试验点为盐渍土地区。

Table 3. Soil analysis results
表 3. 土质分析结果

序号	离子	八团点分析结果			九团点分析结果		
		n/mmol	m/mg	质量分数/%	n/mmol	m/mg	质量分数/%
1	CO ₃ ²⁻	0	0	0	0	0	0
2	HCO ₃ ⁻	0	0	0	0	0	0
3	Cl ⁻	228.82	8123	8.123	276.59	9819	9.819
4	SO ₄ ²⁻	137.68	13,217	13.217	112.16	10,767	10.767
5	Ca ²⁺	2.30	92	0.092	3.03	121	0.121
6	Mg ²⁺	23.19	566	0.564	22.91	559	0.557

在混凝土服役过程中混凝土耐久性评价指标参考文献[12]分别选用相对质量评价参数 ω_1 和相对动弹性模量评价参数 ω_2 , 混凝土耐久性损伤评价指标参考文献[13]选用优化后的综合损伤评价参数 ω 。其计算式如下:

相对质量评价参数 ω_1 计算公式为

$$\omega_1 = \frac{M - 0.95}{0.05}$$

相对动弹性模量评价参数 ω_2 计算公式为

$$\omega_2 = \frac{E - 0.6}{0.4}$$

综合损伤评价参数 ω 计算公式为

$$f(x) = \begin{cases} -A\omega_1^2 B\omega_2^2 & \omega_1, \omega_2 \text{同时小于} 0 \\ A\omega_1^2 B\omega_2^2 & \omega_1, \omega_2 \text{大于} 0 \end{cases} \quad (3)$$

A 为相对质量评价有效损伤系数; B 为相对动弹性模量评价有效损伤系数。 $\omega_1 \geq 1$ 时, $A = 1/\omega_1^2$, 当 $\omega_1 \leq 1$ 时, $A = 1$; 当 $\omega_2 \geq 1$ 时, $B = 1/\omega_2^2$, 当 $\omega_2 \leq 1$ 时, $B = 1$ 。

3. 试验结果与数据分析

八团试验点试件的损伤评价参数

不同矿粉掺量的试件在南疆阿克苏地区 300 d 现场暴露, 随着现场暴露天数的增加, 相对质量评价参数 ω_1 、相对动弹性模量评价参数 ω_2 及综合损伤评价参数 ω 的变化如图 1 至图 5。其中 ω_A 代表试块 A 端综合损伤评价参数, ω_B 为 B 端综合损伤评价参数; ω_{2A} 则代表试块 A 端相对动弹性模量, ω_{2B} 代表 B 端相对动弹性模量。

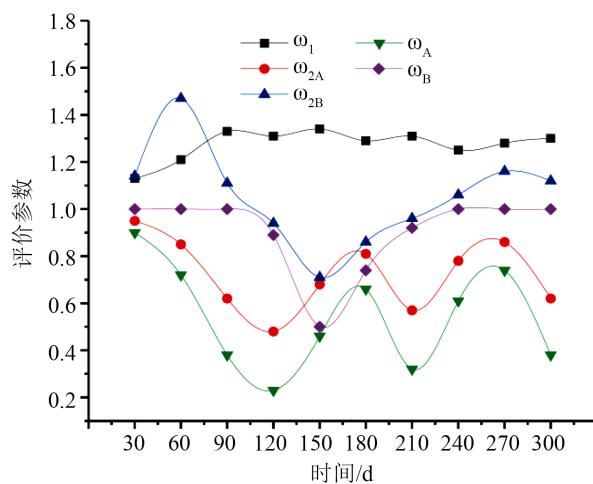


Figure 1. Damage evaluation parameters of group NA11 in eight test sites
 图 1. 八团试验点 NA11 组各损伤评价参数

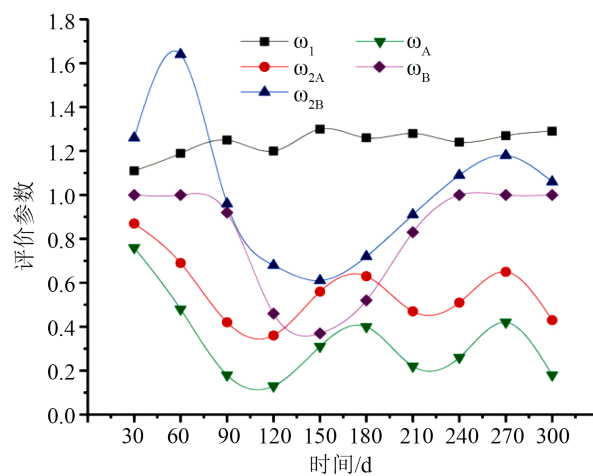


Figure 2. Damage evaluation parameters of group NA12 in eight test sites
 图 2. 八团试验点 NA12 组各损伤评价参数

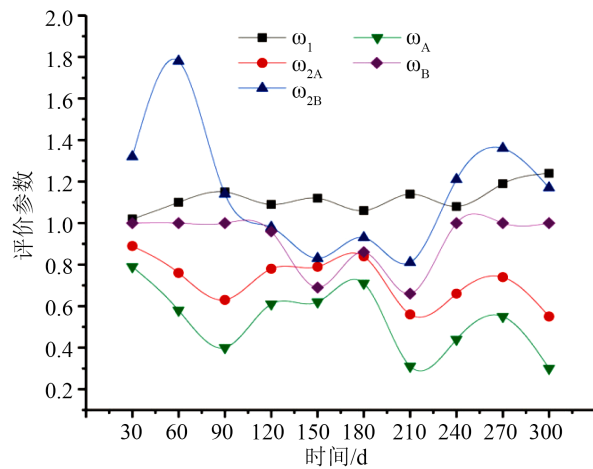


Figure 3. Damage evaluation parameters of group NA13 in eight test sites
 图 3. 八团试验点 NA13 组各损伤评价参数

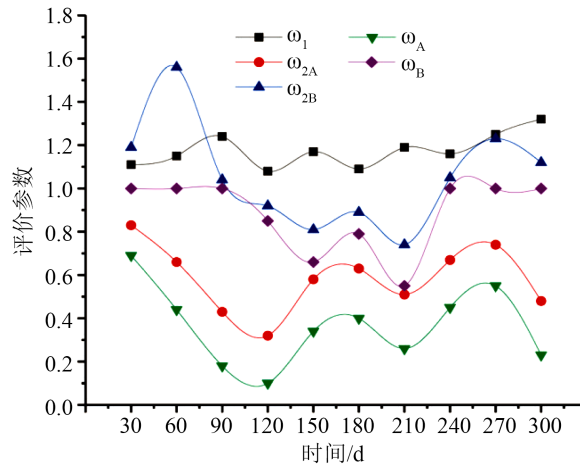


Figure 4. Damage evaluation parameters of group NA14 in eight test site
 图 4. 八团试验点 NA14 组各损伤评价参数

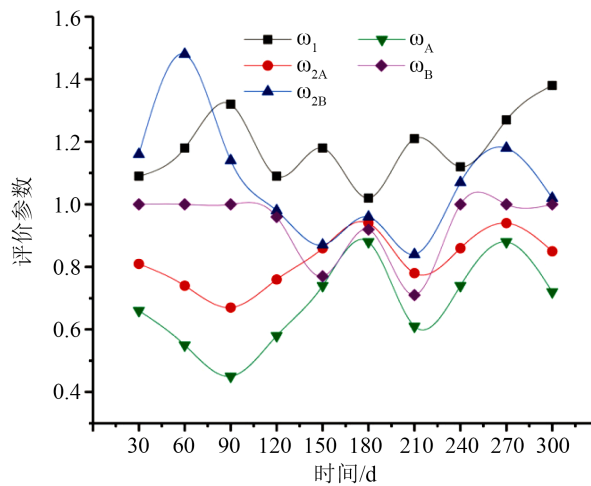


Figure 5. Damage evaluation parameters of group NA15 in eight test site
 图 5. 八团试验点 NA14 组各损伤评价参数

对比现场暴露试验八团试验点不同配合比的 NA11、NA12、NA13、NA14、NA15 和 NA16 六组试块，相对质量评价参数 ω_1 的波动趋势为先上升后下降，重复交替，NA13 的取值为 1.12，NA14 的取值为 1.17，NA15 的取值为 1.18，由上述对比可以看出 NA13 波动最平缓，NA11 波动最剧烈。从整体来看，5 组试件的相对质量 ω_1 虽然都出现了波动，但是其值都在 1.0 以上，则表明在现场暴露 300 天内试件的质量较标准条件下养护 28 天有所增强，其主要原因是由于盐渍土中的硫酸盐与水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生了置换反应生成了石膏，进一步与铝酸钙反应生成钙矾石。

八团试验点配合比相同的试块，相对动弹性模量评价参数 ω_1 值呈上下浮动。在图 1 中 60 天时，此时 ω_{2B} 值为 1.47；在 150 天时 ω_{2B} 的值为 0.71，下降到了波谷的谷底，150 天到 270 天呈逐渐上升的趋势，在 270 天 ω_{2B} 的值为 1.16，达到了又一个波峰；之后便开始下降，300 天时， ω_{2B} 的值为 1.12。

图 2 为矿粉掺量为 20% 的混凝土试件，在 60 天时， ω_{2B} 的值为 1.64，到达了第一个波峰；随后便开始下降，到 150 天时， ω_{2B} 的值为 0.61，达到了第一个低谷；从 150 天便开始上升，270 天时 ω_{2B} 的值为 1.18，达到了第二个波峰，270 天到 300 天呈现下降的趋势，在 300 天时 ω_{2B} 的值为 1.06。由此可见 ω_{2B} 呈现出波动性。

由图 3 曲线 ω_{2B} 可以看出, ω_{2B} 的值在 60 天时为 1.78, 达到了第一个高峰, 从开始的 1.00 到 60 天的 1.78, 说明混凝土在初期的时候性能是增强的。 ω_{2B} 的值在 90 天时值为 1.14, 在 120 天时 ω_{2B} 的值为 0.98, 在 150 天时 ω_{2B} 的值为 0.83 达到了一个低谷, 60 天到 90 天这段时间里 ω_{2B} 下降幅度要远大于 90 天到 120 天的下降幅度, 从 120 天到 150 天的下降幅度较 90 天到 120 天略有升高, 但是依旧小于 60 天到 90 天的下降幅度。在 180 天时 ω_{2B} 的值为 0.93 达到了第二个高峰, 210 天时 ω_{2B} 的值为 0.81, 达到了第二个低谷, 在此之后又出现上升的趋势, 在 270 天时 ω_{2B} 的值为 1.36, 迎来了第三个高峰, 300 天 ω_{2B} 的值又下降为 1.17, 由此可见 ω_{2B} 在 0 天到 300 天这段时间里波动频率较为频繁。

由图 4 ω_{2B} 可以看出, 在 60 天时 ω_{2B} 的值为 1.56, 迎来了第一个高峰, 150 天时 ω_{2B} 的值为 0.81, 达到了第一个低谷; 210 天时 ω_{2B} 的值为 0.74, 又迎来了第二个低谷且小于第一个低谷, 从 210 天到 300 天 ω_{2B} 的值一直呈上升趋势, 300 天时 ω_{2B} 的值为 1.12。

图 5 中矿粉的掺量已经达到了 50%, ω_{2B} 依旧是在 60 天时达到了第一个波峰, 此时值为 1.48, 从 60 天到 150 天一直呈下降趋势, 在 150 天时 ω_{2B} 的值为 0.87, 达到了第一个低谷。

210 天时 ω_{2B} 值为 0.84, 此时为第二个低谷, 在 150 到 180 天这段时间内, ω_{2B} 曲线波动较为平缓, 在 210 天以后到 300 天, ω_{2B} 波动幅度变大, 在 270 天时迎来了第二个波峰, 此时波峰值为 1.18。

与 B 端相比 A 端暴露在空气中, 所处环境较为复杂, 要考虑太阳辐射、温差、湿度、温度等因素, 而 B 端埋在土中, 与土壤中腐蚀性离子发生化学反应, 并与自身的水化产物反应生成硫酸铝钙晶体, 这些晶体填充到内部孔隙中使得混凝土自身变得更加密实, 因此相比于 A 端, B 端波动规律更好, 所以在进行耐久性综合损伤评价参数计算和研究盐渍土地区混凝土损伤破坏时宜选择波动较为规律的 B 端。

5 种水胶比试件 B 端综合评价参数 ω_B , 从开始暴露到 90 天时间里, 较为平稳, 从 90 天到 150 天时间内 5 种水胶比试件 ω_B 均呈现下降的趋势, 则表明在这这段时间内由于受到外部侵蚀环境的影响, 5 种水胶比试件性能均降低。在此之后呈现波动式变化, 其中后 150 天(150~300 天)内的综合损伤评价参数值比前 150 天(0~150 天)略高, 则说明后 150 天由于混凝土内部水化反应的增强, 混凝土试件的性能得到了提升。从总体看 5 种水胶比试件 ω_B 值均在 0~1.0 内波动, 则说明试件在八团试验点暴露 300 天后均发生了一定程度的损伤。

通过图 1 至图 5 可以看到, 在八团试验点中, 综合损伤评价参数, 矿粉掺量为 30% 的试件波动最为平缓, 则说明矿粉掺量为 30% 时混凝土耐久性最优。

4. 结论

1) 相对动弹性模量评价参数 ω_1 和相对动弹性模量评价参数 ω_2 能够更直观地表征出现场暴露环境下混凝土的劣化过程, 单独选用一个评价参数并不能客观地去衡量现场暴露环境下混凝土的耐久性, 综合考虑相对质量和相对动弹性模量优化后的综合损伤评价参数 ω 可以较好地表征出南疆盐渍土地区现场暴露混凝土的耐久性能。

2) 通过综合损伤评价参数曲线可以看出, 当矿粉体积掺量为 30% 时, 波峰与波谷之间的数值相差最小, 且波动趋势较为平缓, 从而可知当矿粉体积掺量为 30% 时, 混凝土耐久性能较好。

3) 综合相对质量评价参数、相对动弹性模量评价参数和优化后综合损伤评价参数来看, 矿粉掺量低于 30% 时或矿粉掺量高于 30% 时, 参数波动相比于 30% 较为剧烈, 由此可知矿粉掺量为 30% 为矿粉最佳掺量。

基金项目

兵团区域创新引导计划项目(2018BB045)兵团重点领域科技攻关计划项目(2019AB016)。

参考文献

- [1] 魏秀月. 基于南疆气候特征的兵团小城镇规划方法研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2015.
- [2] 周纲, 李少荣, 王掌军, 王冲锋. 盐渍土地区混凝土腐蚀状况调查分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2011, 28(4): 121-126.
- [3] 张洪亮, 朱月风, 韩劲草. 青海氯盐渍土地区半埋混凝土耐久性研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2015, 38(6): 804-809.
- [4] 张俊喜, 易博, 林德源, 陈云翔, 戴念维, 洪毅成. 盐渍土环境下钢筋混凝土腐蚀的电化学研究[J]. 建筑材料学报, 2016, 19(2): 390-396+403.
- [5] 聂彦锋, 钱春香. 基于 RST 的混凝土硫酸盐侵蚀评价指标分析及损伤程度预测[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2013, 43(03): 594-598.
- [6] 高润东, 赵顺波, 李庆斌, 陈记豪. 干湿循环作用下混凝土硫酸盐侵蚀劣化机理试验研究[J]. 土木工程学报, 2010, 43(2): 48-54.
- [7] 汪廷秀, 高建明, 丁平华, 陈吓敏, 刘艳玲. 干湿交替作用下混凝土抗硫酸盐侵蚀性能研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2011(2): 17-21.
- [8] 杨英姿, 高小建, 邓红卫, 巴恒静. 负温混凝土耐久性与结构损伤评价参数[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(10): 39-43.
- [9] 蒋卫东, 陈啸, 闫俊, 刘斌. 盐渍地区抗腐蚀混凝土耐久性试验研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2008(2): 280-283.
- [10] GB/T 50123-2019 土工试验方法标准[S].
- [11] GB 50021-2019 岩土工程勘察规范[S].
- [12] 乔宏霞, 周茗如, 朱彦鹏, 何忠茂. 混凝土抗硫酸盐腐蚀性的参数评价[J]. 粉煤灰综合利用, 2008(5): 3-6.
- [13] 乔宏霞, 路承功, 李宇, 关利娟. 宁夏盐渍土地区现场暴露混凝土耐久性损伤评价试验[J]. 建筑科学与工程学报, 2016, 33(6): 44-52.