

西北地区盐碱环境下混凝土水闸冻融性能研究

孟苗苗, 纪纓芯, 杨春景, 王建伟

(黄河水利职业技术学院, 河南 开封 475000)

摘要: 本文旨在评估西北地区寒冷气候下不同除冰盐对水闸混凝土性能的影响。研究在实验室条件下, 选取三种常见除冰盐 (CaCl_2 、 NaCl 、 MgCl_2) 对不同类型混凝土进行了盐结垢试验。结果表明, CaCl_2 溶液对混凝土的破坏作用最强, 导致其性能显著劣化; NaCl 溶液次之; MgCl_2 溶液对混凝土的劣化程度最小, 表现出较好的保护效果。研究表明, 合理选择除冰盐对延长水闸混凝土使用寿命至关重要, 尤其在寒冷和盐碱环境下, 为基础设施管理提供了重要依据。

关键词: 表面结垢; 抗冻融; 除冰盐; 水闸混凝土

中图分类号: TU528.36

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2025) 05—0138—03

Research on the Freeze-Thaw Performance of Concrete Sluices in Saline-Alkali Environments in Northwest China

Meng Miao-miao, Ji Ying-xin, Yang Chun-jing, Wang Jian-wei

(Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng 475000, Henan, China)

Abstract: This study aims to evaluate the impact of different deicing salts on the performance of concrete sluices in the cold climate of Northwest China. Under laboratory conditions, three commonly used deicing salts (CaCl_2 , NaCl , and MgCl_2) were selected to conduct salt scaling tests on different types of concrete. The results indicate that CaCl_2 solution causes the most severe damage, leading to significant deterioration of concrete performance, followed by NaCl solution, while MgCl_2 solution exhibits the least deterioration and provides better protection. The findings highlight the importance of selecting appropriate deicing salts to prolong the service life of concrete sluices, particularly in cold and saline-alkali environments, offering crucial insights for infrastructure management.

Keywords: surface scaling; freeze-thaw resistance; deicing salt; concrete sluices

漂浮物可能会沉底从而越过拦漂排^[17]。

因此, 对新结构的进一步研究以及结合智能化机械设备的研究都需要深入研究, 以提高拦污清污的效率。

参考文献:

- [1] 李应周, 曾理, 毛新莹, 等. 大型水利枢纽工程中水工结构的设计要点分析 [J]. 珠江水运, 2024, (24): 44-6.
- [2] 张馨月, 向娇, 高千红. 三峡水库水面漂浮物对近坝段水体重金属的影响初探 [J]. 三峡生态环境监测, 2020, 5(02): 37-43.
- [3] 长江勘测规划设计研究有限责任公司. 水利水电工程进水口设计规范 [Z]. 中华人民共和国水利部. 2020: 89.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司. 渠化工程枢纽总体设计规范 [Z]. 行业标准 - 交通. 2009: 46P.A4.
- [5] 吴丹, 曹思奇, 康雪, 等. 我国水治理现状评估与展望 [J]. 水利水电科技进展, 2019, 39(01): 7-14.
- [6] 王利卿, 刘志强. 径流水电站前池水位自动控制研究 [J]. 河南水利与南水北调, 2015, (23): 63-6.
- [7] Mohd Shah M N, Ahmad F, Abdullah M S, et al. Design and development of trash trap of stream for mini hydro [J]. Materials Today: Proceedings, 2021, 46: 2105-11.

[8] 庄正新. 葛洲坝水利枢纽工程导漂清污问题研究 [J]. 大坝与安全, 1996, (01): 59-68.

[9] 李佳才. 葛洲坝二江电厂 QW100-CW 型清污机的研制与应用 [J]. 华中电力, 1992, (06): 48-53.

[10] 彭君山. 葛洲坝电站排漂清污措施的研究 [J]. 人民长江, 1990, (11): 1-6.

[11] 张益华. 浅谈三峡—葛洲坝联合运行对葛洲坝电站的影响 [J]. 华中电力, 2011, 24(05): 75-8.

[12] 胡剑杰, 钱军祥. 葛洲坝枢纽二江电站进口拦漂排重建设计 [J]. 水电与新能源, 2024, 38(02): 54-7+61.

[13] Dams S Co. FLOATING DEBRIS AT RESERVOIR DAM SPILLWAYS [R], 2017.

[14] 蔡莹, 李书友, 黄明海. 汉江碾盘山电站水力一体拦导漂排设计研究 [J]. 长江科学院院报, 2021, 38(10): 99-103+11.

[15] 尼珂, 陈景祥. 前置拦污栅在大流量低水头电站中的应用 [J]. 人民珠江, 2013, 34(04): 65-6.

[16] 张保求, 郑程遥, 钟祖兵, 等. 大距离管式拦污排的设计与应用 [J]. 水电能源科学, 2008, 26(06): 112-4.

[17] 李镇江, 罗斌, 韦启升, 等. 大藤峡水利枢纽工程治漂方式研究 [J]. 人民珠江, 2023, 44(S2): 450-5.

在冬季的寒冷气候下，混凝土结构常常面临着雪覆盖和冻融循环的挑战，这会导致混凝土结构的劣化，严重影响了结构的安全性和耐久性^[1]。为了应对这一问题，混凝土管理人员通常会选择使用除冰盐来融化积雪，以减轻荷载对结构的作用^[2]。然而，除冰盐的选择对混凝土的性能有着至关重要的影响。

水闸混凝土是水利工程中重要的建筑材料，具有承载能力强、耐久性好等优点。然而，在某些地区，水闸混凝土会受到盐冻破坏的影响，导致结构性能下降，严重时甚至会导致工程事故^[3,4]。关于除冰盐的应用，深入了解混凝土暴露于不同盐环境时的行为可以为选择适当的除冰剂提供所需的额外信息。因此，本文旨在探讨水闸混凝土除冰盐的选择对冬季下雪以及寒冷气候下混凝土结构材料的劣化影响。

本文通过在受控的实验室条件下评估不同类型的除冰盐在低温下对混凝土的影响。考虑了三种不同有效温度范围的常用除冰盐 NaCl、CaCl₂、MgCl₂。通过标准盐结垢试验测定了这些混凝土在盐存在下的抗冻融性能。

1 材料与方法

1.1 混凝土类型的选择

选择了三种常用类型的水闸混凝土，A 型混凝土的抗盐抗冻融侵蚀性能较差，因而在该混合物中未加入引气剂；在有盐的情况下，混凝土掺合料 B、C 具有较高的抗冻性。B 型混凝土是构造型混凝土，C 型则是为了制造要求低水灰比的预制混凝土构件。所选混凝土类型的示意图如图 1 所示。

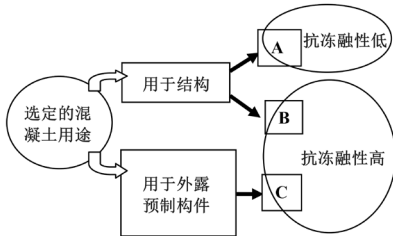


图 1 混凝土的选型

1.2 组成材料和混合设计

所有混合料均采用当地可获得的 CEM I 42.5 型水泥、破碎骨料和自来水。在混合物中加入一种磺酸萘甲醚凝聚型高效减水剂以获得所需的浓度。根据标准，所有设计的混凝土混合物的设计抗压强度等级为 C30/37，A 和 B 混凝土混合料的设计稠度等级为 S3，混凝土混合料 C 设计为土湿润混凝土。所有试验混合物的配合比设计见表 1。

2 结果与讨论

2.1 新混凝土性能

根据标准测量了混凝土类型的空气含量、坍落度和密度，如表 2 所示。B 型和 C 型混凝土达到了较高的空

气含量水平，这两种混凝土的相应密度低于 A 型混凝土的密度。A 型混凝土达到了目标浓度等级（S3），B 型混凝土达到的浓度等级为 S4。

表 1 混凝土配合比设计

标签	A	B	C
水泥, kg/m ³	410	410	410
水, kg/m ³	175	175	142
细骨料, kg/m ³	839	789	830
粗骨料, kg/m ³	1021	960	1010
引气剂, l/m ³	-	0.26	0.30
强塑剂, l/m ³	5.54	5.54	5.54

表 2 新混凝土性能

标签	A	B	C
空气含量, %	1.3	5.4	3.8
坍落度, cm	15	18	0
密度, kg/m ³	2485	2350	2430

2.2 硬化混凝土性能

按照 EN 12350 系列标准的要求，在 28 d 后测量抗压和抗弯强度，结果如表 3 所示。与 A 型混凝土相比，B 型混凝土的抗压强度低是由于其内部存在大量的孔隙和较小的密度。C 型混凝土的高抗压强度是由于其水胶比低于其他两种混凝土类型。

表 3 28d 后的硬化混凝土特性

标签	A	B	C
抗压强度, MPa	51.7	46.4	56.6
抗弯强度, MPa	7.4	7.4	8.8

2.3 盐结垢试验

采用标准法测量混凝土抗结垢性，样品由三个 15 cm × 15 cm × 15 cm 的立方体组成。将样品在 20℃、100% 相对湿度条件下固化 28 d，然后在 20 ± 2℃、65 ± 5% 相对湿度条件下养护 7 d，再将样品进行 25 次冻融循环，其中试验室内空气温度在冻结阶段达到 -20 ± 2℃，在解冻阶段达到 +20 ± 2℃。冻结期 16 ~ 18 h，解冻期 6 ~ 8 h。在暴露前，将 3% 的除冰盐（NaCl）溶液倒在测试样品的表面，在整个测试过程中，液体高度保持在 3 mm。

以 5 次循环为周期，对试件的表面剥落量和最大损伤深度进行测试，25 次冻融循环后的平均累积质量损失最大值为 0.20 g/m²，其中平均值来自 3 个试件的测量结果。此外，3 次测量的最大最终质量损失不应超过 0.25 g/m²。

2.4 盐结垢试验结果

图 2- 图 4 给出了 A、B 和 C 型混凝土暴露于不同类型除冰盐的 5、10、15、20 和 25 个冻融循环后的平均质量损失量。

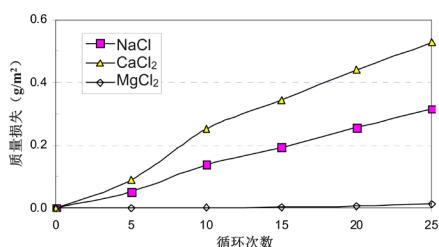


图 2 A 型混凝土的累积质量损失

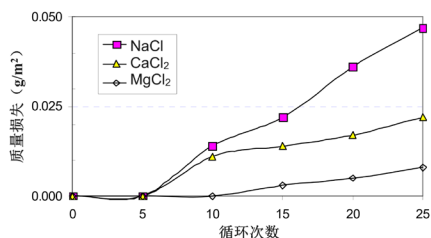


图 3 B 型混凝土的累积质量损失

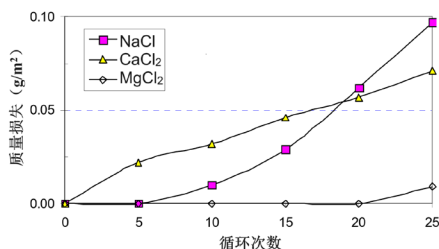


图 4 C 型混凝土的累积质量损失

除冰盐类型对混凝土类型质量损失的影响是明显的。对于 A 型混凝土, CaCl_2 溶液的降解速度最快, 最终质量结垢也最大。对于 B 和 C 型混凝土, 这种趋势不太明显, 其中从表面上按比例计算的最终质量与测试方法的估计测量不确定度具有相同的数量级。当 MgCl_2 溶液倒在测试表面上时, 破坏性最小的结垢作用发生, 其中结垢质量的最最终量远低于 0.20 g/m^2 的阈值水平。综上所述, A 型混凝土的结垢率随冻融循环次数的增加而减小; B 型和 C 型混凝土的质量从表面脱落, 结垢率很小, 说明结垢过程是稳定的。

从图 2-图 4 可以看出, 三种类型的混凝土均达到了目标阻垢率。A 型混凝土的抗结垢性明显小于 B 型和 C 型混凝土, 25 次冻融循环后, A 型、B 型和 C 型混凝土在 NaCl 溶液中的累积平均质量损失分别为 0.315 、 0.046 和 0.097 g/m^2 。然而, 所进行的测试具有很大的测量不确定性。

图 5 为 A 型混凝土暴露于 CaCl_2 溶液中质量损失最大时测量值的散点分布。在对试件进行标定时, 对被测表面的最大损伤深度进行了测量。这是一项主观性试验, 最大损伤深度的位置是由操作人员评估的, 但这种方法的确可以提供一个整体的表面劣化程度。

表 4 分别列出了所有测试混凝土类型的平均损伤深度及其随时间的发展情况, 以及冻融循环次数。结果表明, 测量深度与质量损失的变化趋势相同。在不含引气剂的 CaCl_2 溶液中, A 型混凝土损伤深度最大, 其损伤

深度随着冻融循环次数增加而增加, B 型混凝土的损伤值最小。

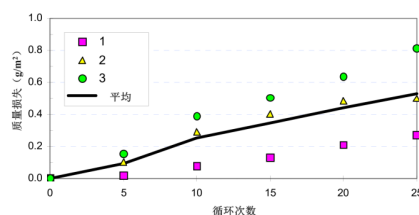


图 5 3 个 A 型混凝土试样暴露于 CaCl_2 溶液中测量值的散点

表 4 不同类型混凝土暴露于不同除冰盐溶液经冻融循环后的平均损伤深度

类型	盐类型	冻融循环周期				
		5	10	15	20	25
A	NaCl	0.5	0.8	0.9	1.1	1.4
	CaCl_2	0.5	0.7	0.9	1	1.2
	MgCl_2	0	0.1	0.2	0.2	0.3
B	NaCl	0	0.2	0.3	0.3	0.4
	CaCl_2	0	0.2	0.3	0.4	0.5
	MgCl_2	0	0	0.1	0.1	0.2
C	NaCl	0	0.3	0.5	0.6	0.7
	CaCl_2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5
	MgCl_2	0	0	0	0	4

3 结论

本文通过室内试验, 评价了不同除冰盐对水闸混凝土力学性能的影响。研究表明, 除冰盐的选用对混凝土结构的冻融破坏起到了重要的作用。室内试验中, 在混凝土表面涂上 CaCl_2 后, 其劣化程度最大(用鳞片表面来衡量)。

值得注意的是, 本研究使用的三种除冰盐溶液都具有相同的质量浓度(3%)。为了从实验上证实不同盐的结果, 还应在不同盐浓度水平下进行盐结垢试验。当设计用于暴露在盐结垢过程中的结构混凝土时, 实验室盐结垢测试在 NaCl 溶液中进行的。然而, 其他类型的除冰盐, 或其混合物, 由于其不同的作用温度范围, 也经常在实践中应用。本文的研究结果表明, 这三种除冰盐对混凝土的破坏性更强。因此, 当暴露于同类型除冰盐的各种组合时, 应制定额外的测试方法来评估混凝土的性能。

参考文献:

- [1] 陈越. 混凝土结构的安全性和耐久性探讨 [J]. 散装水泥, 2019,(05):22-24.
- [2] 王晨飞, 牛荻涛, 焦俊婷. 除冰盐环境下纤维混凝土的耐久性研究 [J]. 硅酸盐通报, 2016,35(10):3126-3131.
- [3] 丛培良, 陈拴发, 陈华鑫. 除冰盐对沥青混凝土性能的影响 [J]. 公路, 2011,(06):180-184.
- [4] 杨晓明, 孙国君. 除冰盐环境下混凝土冻融损伤深度的试验研究 [J]. 自然灾害学报, 2020,29(01):49-56.

基金项目: 开封市科技发展计划项目“复合侵蚀环境下再生混凝土破坏机理研究”(2403103)