

# 极端气候条件下混凝土的耐久性研究

王培培<sup>1</sup> 段琪<sup>1</sup> 邓丽娟<sup>2,3</sup> 王怀义<sup>2,3</sup> 杨桂权<sup>2,3</sup> 程宁宁<sup>2,3</sup>

1 新疆工程学院土木工程学院 2 新疆水利水电科学研究院 3 新疆水利水电材料工程技术研究中心

DOI:10.12238/hwr.v8i8.5678

**[摘要]** 随着全球气候变化的加剧,极端气候事件的频发对建筑材料,尤其是混凝土的耐久性提出了更高的挑战。本文通过对混凝土在高温、低温、酸雨和盐雾等极端气候条件下的耐久性进行系统的实验研究,探讨了各种环境因素对混凝土性能的影响。研究结果表明,极端气候条件显著影响混凝土的物理和化学性质,进而影响其结构安全与使用寿命。文章基于实验数据,分析了不同条件下混凝土性能的变化规律,并提出了相应的改进措施,旨在为混凝土结构的设计与施工提供了科学依据。

**[关键词]** 混凝土耐久性; 极端气候; 研究

中图分类号: TV331 文献标识码: A

## Research on the Durability of Concrete under Extreme Climate Conditions

Peijun Wang<sup>1</sup> Qi Duan<sup>1</sup> Lijuan Deng<sup>2,3</sup> Huaiyi Wang<sup>2,3</sup> Guiquan Yang<sup>2,3</sup> Ningning Cheng<sup>2,3</sup>

1 School of Civil Engineering, Xinjiang University of Engineering

2 Xinjiang Institute of Water Resources and Hydropower Science

3 Xinjiang Water Resources and Hydropower Materials Engineering Technology Research Center

**[Abstract]** With the intensification of global climate change, the frequent occurrence of extreme weather events poses higher challenges to the durability of building materials, especially concrete. This article conducts a systematic experimental study on the durability of concrete under extreme weather conditions such as high temperature, low temperature, acid rain, and salt spray, and explores the influence of various environmental factors on the performance of concrete. The research results indicate that extreme weather conditions significantly affect the physical and chemical properties of concrete, thereby affecting its structural safety and service life. Based on experimental data, this article analyzes the changes in concrete performance under different conditions and proposes corresponding improvement measures, aiming to provide scientific basis for the design and construction of concrete structures.

**[Key words]** concrete durability; Extreme climate; Research

气候变化导致的极端气候现象,如高温、寒潮、酸雨和盐雾侵袭,对基础设施尤其是混凝土结构的影响日益凸显。这些极端条件可能加速混凝土的退化过程,影响其力学性能和耐久性,对公共安全构成潜在威胁。尽管现有研究已经在一定程度上揭示了极端气候对混凝土性能的影响,但针对多种复合极端环境因素的系统性研究仍然不足。因此,深入研究极端气候条件下混凝土的反应机理和耐久性变化,对于指导实际工程中混凝土材料的选择和使用具有重要意义。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验材料

本研究选用了普通硅酸盐水泥进行耐久性测试。混凝土的配比按照中国国家标准进行,其中水泥:砂:碎石比例为1:2:4。此外,为了评估外加剂对混凝土耐久性的影响,部分样本中加入

了防冻剂和缓凝剂,这些添加剂的用量根据制造商的推荐比例进行配制。

#### 1.2 实验方法

##### 1.2.1 高温试验方法

本试验旨在评估混凝土在连续高温条件下的性能变化。样本被放置在温度可控的环境箱中,温度设置为60℃,持续时间为72小时,模拟夏季高温的影响。

##### 1.2.2 低温冻融循环试验

冻融试验通过模拟冬季严寒环境下水分冻结和融化的过程,来评估混凝土的耐冻融性能。样本在-20℃的环境中冻结24小时,随后在室温下融化24小时,如此循环进行50次。

##### 1.2.3 酸雨侵蚀试验

为了模拟酸雨对混凝土的侵蚀效应,将混凝土样本暴露于

pH值为4的人造酸雨中,连续喷洒168小时。使用酸性雨水是根据国际气象组织对酸雨的标准配比制备的<sup>[1]</sup>。

#### 1.2.4 盐雾腐蚀试验

盐雾试验用于评估混凝土在盐碱环境下的耐腐蚀性。样本置于含有5%盐水溶液的盐雾箱中,连续暴露120小时。

#### 1.3 数据分析方法

数据分析通过软件如SPSS和Excel进行。初步数据通过Excel进行整理和初步分析,如计算平均值、标准偏差等基本统计数据。之后,利用SPSS进行更深入的统计分析,主要进行方差分析(ANOVA),以确定不同环境因素对混凝土耐久性的影响是否显著。

## 2 结果

### 2.1 高温条件下的性能表现

研究对混凝土样本在高温条件下进行了物理和化学性能测试,结果如表1所示:

表1 高温条件下混凝土的主要物理和化学指标的变化

测试指标	试验前平均值	试验后平均值	标准偏差(试验前)	标准偏差(试验后)	变化百分比 (%)
抗压强度 (MPa)	32.5	29.4	1.2	1.5	-9.54
弯曲强度 (MPa)	5.6	5.1	0.3	0.4	-8.93
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2350	2332	5	6	-0.77
吸水率 (%)	4.2	6.1	0.25	0.35	+45.24
pH值	12.5	11.8	0.2	0.3	-5.60

研究还进行了方差分析,结果表明,高温对混凝土的各项性能指标的影响均具有统计学意义( $p < 0.05$ )。表中数据也表明,高温对混凝土的物理和化学性能均产生了显著影响,特别是在抗压强度、吸水率和pH值方面<sup>[2]</sup>。

### 2.2 低温冻融条件下的性能表现

本研究部分旨在分析低温冻融循环对混凝土耐久性的影响。研究将混凝土样本置于模拟冬季环境的冻融循环中,评估了其物理和力学性能的变化。具体如表2所示:

表2 经历50个冻融循环后的主要性能测试结果

测试指标	冻融前平均值	冻融后平均值	标准偏差(冻融前)	标准偏差(冻融后)	变化百分比 (%)
抗压强度 (MPa)	32.5	26.8	1.3	1.4	-17.54
弯曲强度 (MPa)	5.6	4.2	0.4	0.3	-25.00
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2350	2320	6	7	-1.28
吸水率 (%)	4.2	6.5	0.35	0.40	+54.76
劈裂抗拉强度 (MPa)	3.4	2.6	0.18	0.20	-23.53

研究还进行了方差分析,结果表明,融循环对混凝土的各项性能指标的影响均具有统计学意义( $p < 0.05$ )。表中数据也表明,低温冻融循环对混凝土的耐久性有显著的负面影响,导致了混凝土材料力学性能的全面下降和结构完整性的减弱。

### 2.3 酸雨条件下的性能表现

本部分研究了酸雨对混凝土结构及其化学性质的侵蚀效

果。具体如表3所示:

表3 酸雨暴露前后混凝土的主要物理和化学性能指标的变化

测试指标	酸雨前平均值	酸雨后平均值	标准偏差(酸雨前)	标准偏差(酸雨后)	变化百分比 (%)
抗压强度 (MPa)	32.5	28.0	1.2	1.4	-13.85
弯曲强度 (MPa)	5.6	4.5	0.3	0.4	-19.64
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2350	2328	6	8	-0.94
吸水率 (%)	4.2	7.4	0.35	0.50	+76.19
表面pH值	12.5	10.2	0.2	0.25	-18.40

研究还使用了SPSS软件对数据进行方差分析(ANOVA),结果表明,所有测试指标的变化均具有显著性( $p < 0.05$ ),表明酸雨对混凝土性能有显著的负面影响。表中数据也表明,酸雨对混凝土的侵蚀作用显著,主要表现为抗压强度和弯曲强度的下降、密度和表面pH值的降低以及吸水率的增加<sup>[3]</sup>。这些结果强调了在酸雨频发地区,混凝土结构的耐酸化处理和保护措施的重要性,以保证其长期的结构安全性和功能性。

### 2.4 盐雾条件下的性能表现

本部分集中于盐雾对混凝土耐腐蚀性的影响,具体如表4所示:

表4 混凝土样本在盐雾暴露前后的主要物理和化学性能指标的变化

测试指标	盐雾前平均值	盐雾后平均值	标准偏差(盐雾前)	标准偏差(盐雾后)	变化百分比 (%)
抗压强度 (MPa)	32.5	30.2	1.2	1.3	-7.08
弯曲强度 (MPa)	5.6	5.1	0.3	0.4	-8.93
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2350	2340	5	6	-0.43
吸水率 (%)	4.2	5.5	0.25	0.35	+30.95
表面pH值	12.5	11.6	0.2	0.25	-7.20

研究还利用SPSS软件对数据进行了方差分析(ANOVA),结果显示所有测试指标的变化均具有显著性( $p < 0.05$ ),表明盐雾环境对混凝土性能产生了显著的负面影响。表中数据也显示,盐雾环境对混凝土的耐腐蚀性产生了显著的负面影响,主要体现在抗压强度和弯曲强度的降低、吸水率的增加以及pH值的降低。这些变化表明在设计海洋或沿海地区的混凝土结构时,需要采取额外的防护措施以提高其耐腐蚀性,保证结构的长期稳定和安全<sup>[4]</sup>。

## 3 讨论

### 3.1 对比分析

实验结果显示,在极端气候条件下,混凝土的性能普遍下降。在高温和低温冻融循环中,混凝土的抗压强度和弯曲强度显著减少,吸水率增加,表面pH值下降。这些变化与理论预期相符,即极端温度会破坏混凝土的微观结构,导致其机械性能下降。然而,在酸雨和盐雾环境中观察到的混凝土性能劣化超出了某些初步预期,特别是吸水率的显著增加和pH值的快速下降,表明化

学腐蚀作用比预期的要剧烈。这可能是因为实验中使用的混凝土配方对于化学侵蚀的抵抗力不足,或是环境条件比标准实验条件更加苛刻。

### 3.2 影响因素分析

极端气候条件下影响混凝土耐久性的主要因素包括温度波动、化学侵蚀和物理冻融作用。高温加速了水化反应的速度,导致早期水化不完全,影响最终硬化结构的完整性。低温冻融循环造成的水分冻结和融化破坏了混凝土内部结构,增加了微裂纹。酸雨和盐雾则通过化学反应侵蚀混凝土的表面和内部结构,降低了其整体的结构完整性和保护钢筋的碱环境。此外,环境中的CO<sub>2</sub>也可能通过碳化反应进一步降低混凝土的pH值,加速钢筋的腐蚀。

### 3.3 改进措施

基于以上分析,研究提出了以下几项改进混凝土配方或施工工艺的建议,以提高其在极端气候条件下的耐久性:一是改进混凝土配方,通过添加聚合物纤维或使用更高标号的水泥来增强混凝土的抗裂和抗冻融能力;使用硫铝酸盐水泥或添加矿物掺合料如粉煤灰、硅灰等,以提高混凝土的抗硫酸盐侵蚀能力和增加其密实度;调整水胶比减少孔隙率,减少吸水率,提高混凝土的抗化学侵蚀能力<sup>[5]</sup>。二是优化施工工艺,在高温条件下施工的混凝土应采取喷雾养护或覆盖湿布等方法保持适当的湿度,防止水分过快蒸发;在极端低温条件下施工时,使用加热的拌合水或采取保温措施,确保混凝土在适宜的温度下硬化;对于暴露在酸雨和盐雾环境中的混凝土结构,可在表面涂覆防腐涂层,如环氧树脂涂层,以增加其化学稳定性和防水性。

通过这些改进措施,可以显著提高混凝土在极端环境条件下的性能,延长其使用寿命,保障结构的安全和功能性。

## 4 总结

### 4.1 研究总结

本研究深入探讨了极端气候条件对混凝土耐久性的影响,包括高温、低温冻融、酸雨和盐雾环境。结果显示,这些条件显著降低了混凝土的机械性能,增加了吸水率,降低了pH值,影响了其结构完整性。

### 4.2 应用前景

研究成果揭示了通过改进混凝土配方和施工工艺以适应特定环境条件的可能性。这些发现对于提高海洋或沿海地区以及冬季严寒地区的基础设施的耐久性和安全性具有重要的实际应用价值。

### 4.3 研究局限与未来展望

尽管本研究提供了宝贵的见解,但局限于实验条件与现场条件的差异可能影响结果的普遍适用性。未来的研究应考虑更广泛的环境因素和更长时间的暴露测试,以及探索新的混凝土材料和保护技术,以进一步提升混凝土结构在极端环境下的表现。

## 5 结语

本研究揭示了混凝土在极端气候条件下的行为和性能退化,强调了环境因素对建筑材料耐久性的显著影响。通过系统的实验,本文不仅提高了我们对混凝土材料在不同环境应激下反应的理解,也为工程实践中混凝土的应用提供了改进方向。未来,探索更为高效的材料配方和保护措施,以适应不断变化的环境压力,将是确保基础设施长期安全与稳定的关键。

### [参考文献]

- [1]王宁.高海拔严苛服役环境特种水泥水化硬化及混凝土性能研究[D].西南科技大学,2023.
- [2]付延攀.基于微环境作用的混凝土结构碳化寿命评估[D].三峡大学,2023.
- [3]付建村.基于耐久性的季冻区混凝土桥桥面铺装结构-材料-施工协同优化研究[D].长安大学,2022.
- [4]刘焯均.极端干燥养护环境对混凝土性能影响试验研究[D].郑州大学,2021.
- [5]毕志远.气候变化条件下石墨烯混凝土抗压性能及其微观性能研究[D].哈尔滨工业大学,2020.

### 作者简介:

王培培(2002--),男,汉族,山东省日照市人,本科在读,研究方向:混凝土,水利工程,土木工程。