

沙漠砂混凝土在建设工程中的应用技术与性能研究

崔岩¹, 张丽伟¹, 车佳玲²

¹宁夏农垦建设有限公司, 宁夏 银川

²宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏 银川

收稿日期: 2025年10月20日; 录用日期: 2025年11月11日; 发布日期: 2025年11月25日

摘要

随着建筑行业对资源节约与环保要求的不断提高, 利用沙漠砂替代传统河砂制备混凝土成为解决砂资源短缺、降低碳排放的重要途径。本文结合宁夏红崖子奶牛场室外道路工程实践, 系统研究了沙漠砂混凝土的材料选择、配合比设计、施工工艺及质量控制。结果表明, 沙漠砂混凝土在合理替代率下可满足C30强度要求, 且具备良好的工作性、耐久性与表面质量, 适用于道路及工业建筑等工程场景。研究为沙漠砂混凝土的工程化应用与绿色建材推广提供了技术支撑与实践依据。

关键词

沙漠砂, 混凝土, 配合比优化, 施工工艺, 耐久性

Application Technology and Performance Research of Desert Sand Concrete in Construction Projects

Yan Cui¹, Liwei Zhang¹, Jialing Che²

¹Ningxia Agricultural Reclamation Construction Co., Ltd., Yinchuan Ningxia

²School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan Ningxia

Received: October 20, 2025; accepted: November 11, 2025; published: November 25, 2025

Abstract

In response to the issues of carbon emissions in the construction industry and the shortage of engineering sand, this study explores the application technology of desert sand concrete in construction

文章引用: 崔岩, 张丽伟, 车佳玲. 沙漠砂混凝土在建设工程中的应用技术与性能研究[J]. 土木工程, 2025, 14(11): 2731-2736. DOI: 10.12677/hjce.2025.1411292

projects. Through material selection, mix proportion optimization, construction process design, and quality control, combined with field tests in the Hongyazi Dairy Farm outdoor road project, the feasibility of desert sand concrete was verified. The results show that desert sand concrete meets the C30 strength requirement, exhibits good surface quality, and possesses engineering application value, providing a practical basis for the promotion of low-carbon and environmentally friendly concrete.

Keywords

Desert Sand, Concrete, Construction Technology, Mix Proportion, Durability

Copyright © 2025 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

在“十四五”规划推动高质量发展与绿色发展的背景下，混凝土行业亟需探索资源节约与环境友好的可持续发展路径。传统混凝土生产依赖的天然河砂资源日益匮乏，不仅加剧了资源压力，也带来了显著的环境负担[1]。宁夏地区蕴藏丰富的沙漠砂资源，若能有效替代部分天然砂，将有助于缓解区域砂资源供需矛盾、降低建筑领域碳排放，并推动绿色建材技术的发展[2]-[4]。

沙漠砂具有颗粒圆滑、级配集中、比表面积大、含泥量较高等特点[5] [6]，这些特性直接影响其拌合物的工作性、力学性能与耐久性。现有研究表明，沙漠砂替代率是影响混凝土性能的关键因素之一。肖香琨[7]沙漠砂替代率对混凝土力学性能的影响，发现混凝土力学性能随着沙漠砂替代率的增加先升高再降低，其中沙漠砂替代率为30%时，混凝土力学性能最佳。马龙等[8]探究了沙漠砂替代率对再生骨料混凝土性能的影响，认为40%及以下的沙漠砂替代率可提升再生骨料混凝土力学性能。贡力等[9]研究了硫酸盐侵蚀-冻融循环耦合环境中沙漠砂混凝土劣化机制，沙漠砂掺量超过40%时，混凝土损伤程度不断增加；郭雨雨等[10]认为30%的沙漠砂替率可以改善骨料颗粒级配，优化混凝土孔隙结构，提高了混凝土密实性。张萌等[11]研究了沙漠砂取代率对碱激发混凝土工作性能、力学性能的影响，发现掺入20%的沙漠砂改善了混凝土力学性能。尽管沙漠砂混凝土的基础性能已在实验室中得到广泛研究，但其在实际工程中的规模化应用效果、长期性能及配套施工工艺仍有待深入探讨。

为此，本文以宁夏红崖子奶牛场干草棚建设项目为依托，开展沙漠砂混凝土的现场制备与施工试验，重点研究其施工工艺参数优化与质量控制方法，系统评估其路用性能，以推动沙漠砂混凝土从实验室研究向工程实践的转化。

2. 材料与方法

2.1. 原材料

水泥为宁夏石嘴山赛马水泥厂生产的P·O 42.5 R水泥；粉煤灰为宁夏大坝电厂生产的I级粉煤灰；细骨料为细度模数为3.4的机制砂与毛乌素沙漠砂(图1)，沙漠砂不仅实现了就地取材、降低运输成本，也符合资源循环与环保理念；沙漠砂的高温适应性与抗风化能力，使其特别适用于宁夏地区干燥多风的气候条件。粗骨料为旺元砭业提供的5 mm~25 mm碎石；拌合水为宁夏当地自来水；减水剂为萘系液体减水剂，减水率为15%~25%。试验配合比见表1。



Figure 1. Mu Us desert sand
图 1. 毛乌素沙漠砂

Table 1. Experimental mix proportion (kg/m³)
表 1. 试验配合比(kg/m³)

设计强度	水泥	粉煤灰	沙漠砂	机制砂	石子	水	减水剂
C30	253.5	136.5	239.2	558.1	1056.8	156.0	12.5
C35	273.0	117.0	228.1	532.1	1093.9	156.0	11.7

2.2. 试验方法

2.2.1. 地面预处理

施工前进行详细的地面勘察与测量，确保地面平整度与坡度符合排水设计要求。对存在沉降、裂缝或障碍物的区域进行修复与清理，并进行注水润湿处理(图 2)，以增强地基与混凝土层的粘结性能，防止后期开裂。



Figure 2. Ground preprocessing: (a) ground leveling; (b) water injection to moisten
图 2. 地面预处理: (a) 地面整平; (b) 注水润湿

2.2.2. 混凝土搅拌工艺

混凝土搅拌是施工过程中至关重要的一步，它直接影响着最终混凝土的质量和性能。在混凝土搅拌过程中，按照预先确定的配合比设计，提前准备好水泥、石子、粉煤灰和沙漠砂等原材料进行适量的搅拌，以确保混凝土拥有所需的强度、耐久性和其他性能特点。在搅拌过程中采用二次投料法与分段搅拌工艺，严格控制搅拌时间与速度，确保各组分散布均匀(图 3)。搅拌过程中实时监测环境温湿度，以保证混凝土拌合物的稳定性。



Figure 3. Concrete mixing and transportation
图 3. 混凝土搅拌与运输

2.2.3. 浇筑与表面处理

采用分层浇筑与高频振捣工艺，确保混凝土密实度，避免蜂窝、孔洞等缺陷。在抹面阶段，针对沙漠砂混凝土易失水干缩的问题，控制抹面时机与次数，采用机械与人工相结合的方式保证表面平整(图 4)。



Figure 4. Vibration smoothing of test section
图 4. 试验段振动抹平

2.2.4. 养护与硬化控制

为了防止混凝土在早期干燥过快，红崖子奶牛场干草棚项目养护过程通常涉及覆盖保湿膜，这有助于减缓水分蒸发，保持混凝土的湿度，促使水泥颗粒充分水化。同时，混凝土表面应定期喷水养护(图 5)，达到保湿的作用。根据气候条件和混凝土的特性，需要每天多次喷水或湿润，以确保养护期间水分的持续供应。



Figure 5. Regular moisturizing maintenance
图 5. 定期湿润养护

3. 结果与讨论

3.1. 现场试验结果

混凝土无离析、泌水现象，适配“分层浇筑 + 高频振捣”的施工需求；经抹面与保湿养护，混凝土表面平整光滑，无蜂窝、孔洞、干缩裂缝，外观质量符合工程验收标准。标准养护 28 d 后，混凝土抗压强度达到设计要求，满足宁夏红崖子奶牛场室外道路及干草棚地面的承载需求；抗渗试验中，混凝土在 0.6 MPa 压力下 6 h 内无渗水现象，抗渗等级满足工程要求，可抵御宁夏季节性雨水渗透；经 25 次冻融循环后，混凝土质量损失率 $\leq 3\%$ ，强度损失率 $\leq 10\%$ ，无明显剥落、裂缝，适配宁夏冬季低温环境。

3.2. 材料检验与质量控制

针对材料选择与检验环节，我们需进一步加强对沙漠砂等关键材料的选择和检验工作。首先，在材料选择阶段，要建立严格且全面的筛选标准，结合项目所在地的气候条件、工程设计要求，深入研究沙漠砂的物理化学特性，从源头上把控材料品质。在检验环节，不仅要依据现行国家标准和行业规范，运用先进的检测设备与科学的检测方法，对沙漠砂的颗粒级配、含泥量、坚固性等指标进行精准检测，还要建立常态化抽检机制，定期对库存材料和进场材料进行复查，形成多维度、全过程的质量管控体系，确保沙漠砂等材料质量稳定可靠且完全符合工程建设要求，为项目的顺利推进和长期安全运行筑牢根基。

3.3. 配合比与工艺协同优化

沙漠砂混凝土因砂粒特性、物理化学性能与普通混凝土存在差异，为充分发挥其优势并保障工程质量，需紧密结合沙漠砂混凝土的特点，系统且全面地优化施工工艺。在混凝土搅拌环节，充分考虑沙漠砂颗粒细、表面积大、吸水性强等特性，精确调整配合比，优化搅拌时间与搅拌速度，通过采用二次投料法、分段搅拌等技术，让水泥、水、骨料以及外加剂充分融合，确保混凝土各组分分布均匀。在浇筑过程中，依据沙漠砂混凝土流动性和凝结时间特点，合理规划浇筑路线与高度，运用分层浇筑、斜向浇筑等方式，配合高频振捣棒、附着式振捣器等设备，控制振捣时间与频率，避免过振或漏振，以此保证混凝土的密实性，消除内部孔洞、蜂窝等缺陷。在混凝土表面处理阶段，针对沙漠砂混凝土易出现表面失水快、干缩裂缝等问题，及时采取有效的养护措施，同时优化抹面工艺，严格把控抹面时间与次数，从而确保混凝土的表面质量，使混凝土结构具备良好的外观和耐久性，为工程的长期稳定运行奠定坚实基础。

3.4. 全过程质量监控与维护

为切实保障工程质量与安全，需建立系统且完善的定期检查混凝土使用状况和维护的机制。首先，制定详细的检查周期，针对不同环境条件和使用年限的混凝土结构，设定差异化的检查频率。在检查过程中，采用先进的检测技术，如超声波检测、雷达扫描等，对混凝土的内部缺陷、强度变化、裂缝发展等状况进行全面且精准地检测。同时，安排专业技术人员通过目视观察、敲击检测等传统手段，仔细检查混凝土表面是否存在剥落、侵蚀、碳化等现象，并做好详细记录。一旦发现混凝土出现强度下降、裂缝扩展等可能出现的问题，迅速组织专家团队进行评估分析，制定科学合理的处理方案，及时开展修补、加固等维护工作。通过这样规范化、科学化的机制，延缓混凝土的老化和损坏进程，从而显著延长混凝土的使用寿命，确保建筑工程长期稳定运行。

3.5. 本研究的贡献与创新点

以红崖子奶牛场工程为依托，首次在宁夏地区验证了沙漠砂混凝土在道路与工业建筑中的适用性，

提供了可复制的工程案例；提出“无预处理沙漠砂 + 二次投料搅拌 + 保湿养护”的一体化工艺，兼顾性能与经济性，适配西北干旱地区；建立“材料 - 过程 - 后期”全过程监控机制，为沙漠砂混凝土工程质量保障提供技术框架。

3.6. 研究局限与未来方向

未深入探索 40%~60% 高替代率下的工程性能，无法验证实验室结论在工程中的适用性；未开展 SEM、XRD 等微观分析，无法从水化产物、界面过渡区角度解释性能变化机制。未来开展高替代率(40%~60%)沙漠砂混凝土的工程试配，结合微观分析验证强度提升机制；长期跟踪工程性能，建立沙漠砂混凝土在干旱地区的耐久性评价体系；完善相关施工规程与质量标准，推动沙漠砂混凝土从“案例应用”向“规模化推广”转化。

4. 结论

- (1) 沙漠砂混凝土在宁夏地区实际工程中具备良好的适用性，能够满足 C30 强度与施工性能要求。
- (2) 通过配合比优化、工艺控制与全过程质量管理，可有效提升混凝土的密实性、表面质量与耐久性。
- (3) 后续应进一步研究高替代率下沙漠砂混凝土的长期性能与微观机理，完善相关施工规程与标准，推动其在大体积混凝土与高性能结构中的广泛应用。

基金项目

宁夏农垦建设有限公司技术开发合同“低碳、环保型砵系列建筑材料的研究与开发”(技术合同登记号：2022640101000054)。

参考文献

- [1] 刘毓彬, 黄勇, 鱼瑞, 等. 天然沙漠砂混凝土配合比优化研究[J]. 硅酸盐通报, 2024, 43(12): 4406-4416.
- [2] 刘海峰, 姜彦杰, 孙竟鹏, 等. 硫酸盐冻融下沙漠砂混凝土抗冻性能及基于 GM(1, 1)模型强度预测[J]. 功能材料, 2024, 55(12): 12151-12161.
- [3] 秦东阳, 刘海峰, 朱立晨, 等. 干湿循环作用下沙漠砂混凝土抗硫酸盐侵蚀性能研究[J]. 工业建筑, 2023, 53(11): 207-213, 220.
- [4] 刘海峰, 刘一江, 姜彦杰, 等. 冻融循环作用下沙漠砂混凝土抗冻性能研究[J]. 工业建筑, 2023, 53(S1): 616-622.
- [5] Liu, M., Liu, E., Hao, J.L., Sarno, L.D. and Xia, J. (2023) Hydration and Material Properties of Blended Cement with Ground Desert Sand. *Construction and Building Materials*, **389**, Article ID: 131624. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131624>
- [6] 刘超, 林鑫, 朱超, 等. 风积沙应用于混凝土的研究进展[J]. 材料科学与工程学报, 2022, 40(4): 695-705.
- [7] 肖香琼. 沙漠砂置换率对混凝土力学性能影响研究分析[J]. 广东建材, 2025, 41(3): 164-167.
- [8] 马龙, 刘海峰, 车佳玲, 等. 硅酸钠改性与沙漠砂协同作用再生混凝土单轴抗压性能[J/OL]. 铁道科学与工程学报: 1-14. <https://doi.org/10.19713/j.cnki.43-1423/u.T20251369>, 2025-10-23.
- [9] 贡力, 赵学昊, 许天乐, 等. 硫酸盐环境下沙漠砂混凝土抗冻耐久性及其界面微观结构研究[J/OL]. 材料导报: 1-15. <https://link.cnki.net/urlid/50.1078.TB.20250528.1139.032>, 2025-10-23.
- [10] 郭雨雨, 周海龙, 张洁, 等. 养护温度与沙漠砂替代率对机制砂混凝土抗压强度与孔结构的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2025, 43(1): 45-52.
- [11] 张萌, 窦智, 王泽平, 等. 碱激发矿渣/粉煤灰沙漠砂混凝土的基本力学性能及微观特性[J]. 材料导报, 2025, 39(18): 109-119.