

沙漠砂替代天然砂的喷射混凝土施工工艺适配性研究

高玉虎

天津市金凤来仪科技有限公司 天津

【摘要】随着天然砂资源日益匮乏，沙漠砂替代天然砂用于喷射混凝土成为研究热点。研究沙漠砂替代天然砂在喷射混凝土施工工艺中的适配性，对缓解资源压力、拓展混凝土材料应用具有重要意义。分析沙漠砂物理化学特性，探究其对喷射混凝土工作性能、力学性能及耐久性的影响。结果表明，经处理的沙漠砂可在一定程度上满足喷射混凝土施工要求，为沙漠砂在喷射混凝土工程中的推广应用提供理论依据与技术支持。

【关键词】沙漠砂；天然砂替代；喷射混凝土；施工工艺；适配性

【收稿日期】2025 年 2 月 12 日 **【出刊日期】**2025 年 3 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.202500098

Study on adaptability of jet concrete construction technology with desert sand replacing natural sand

Yuhu Gao

Tianjin Jinfenglaiyi Technology Co., Ltd, Tianjin

【Abstract】 As natural sand resources become increasingly scarce, desert sand has been used as an alternative to natural sand in shotcrete applications, making it a research hotspot. Studying the compatibility of desert sand with natural sand in shotcrete construction techniques is crucial for alleviating resource pressure and expanding the application of concrete materials. This study analyzes the physicochemical properties of desert sand and explores its impact on the workability, mechanical properties, and durability of shotcrete. The results show that treated desert sand can meet the construction requirements of shotcrete to some extent, providing theoretical basis and technical support for the promotion and application of desert sand in shotcrete projects.

【Keywords】 Desert sand; Natural sand replacement; Shotcrete; Construction technology; Adaptability

引言

天然砂是混凝土生产的重要原材料，但长期开采导致资源短缺与生态破坏。沙漠砂储量丰富，将其替代天然砂用于喷射混凝土，既能缓解资源危机，又能降低工程成本。沙漠砂颗粒细小、级配不良、含泥量高，直接使用会影响喷射混凝土性能与施工质量。深入研究沙漠砂替代天然砂的喷射混凝土施工工艺适配性，探索合理应用途径，对推动混凝土行业可持续发展至关重要。

1 材料特性分析

在自然界的砂石资源体系中，沙漠砂与天然砂犹如性格迥异的孪生兄弟，各自承载着独特的物理化学密码。从外观形态观察，沙漠砂颗粒普遍呈现出纤细体态，如同被岁月反复打磨的微小珍珠，粒径分布范

围狭窄，多集中于极为精细的区间。这些细微颗粒比表面积巨大，犹如无数张开的“小嘴”，在与水相遇时贪婪地汲取水分，使得混凝土制备过程中的需水量显著攀升。与此同时，沙漠砂光滑如缎的表面与圆润的棱角，使其在混凝土内部难以形成稳固的机械咬合，就像一群难以紧密相拥的光滑玻璃珠，导致新拌混凝土的和易性大打折扣，给施工操作带来重重挑战。

从化学成分的角度来看，沙漠砂可以被视作一个极为复杂的化学元素集合体。在这个集合体中，二氧化硅以其压倒性的比例占据着主导地位，这使得沙漠砂具备了潜在的高强度特性，仿佛是其内在的基因。沙漠砂中高含量的泥质成分却像是一颗潜在的“定时炸弹”，这些泥粉杂质不仅会像海绵一样吸收混凝土中的外加剂，从而削弱这些外加剂的效能，而且还会

干扰水泥水化的正常进行^[1]。想象一下，水泥水化过程就像是一场精心编排的化学反应交响乐，而泥粉杂质的介入就像是不请自来的不和谐音符，它们打乱了整个反应的节奏，导致混凝土内部结构无法充分发育，最终影响到混凝土的强度增长和耐久性。深入研究和分析这些沙漠砂的材料特性，是打开其在混凝土应用领域潜力之门的钥匙。

从资源利用与工程需求的角度来看，沙漠砂的这些特性恰似一把双刃剑，既是横亘在工程建设领域前的巨大挑战，也为行业革新带来了宝贵机遇。不同于传统建筑用砂，沙漠砂在颗粒形态、矿物成分和表面性质上展现出截然不同的特性。这些独特的物理化学属性，犹如一道道严苛的考题，要求工程技术人员必须突破传统思维的桎梏，摒弃固有的材料配方与施工模式，以开拓者的姿态，在未知的领域中探索全新的材料组合与施工工艺。与此同时，浩瀚无垠的沙漠腹地，蕴藏着储量惊人的砂资源^[2]。这些沉睡在黄沙之下的宝藏，若能通过科学合理的手段加以利用，将如同为日益枯竭的天然砂资源注入一剂“强心针”，有效缓解当前建筑行业面临的资源短缺困境。在资源危机与技术瓶颈的双重压力下，沙漠砂的利用问题展现出矛盾与统一的辩证关系。

2 性能影响研究

当沙漠砂涉足喷射混凝土领域，犹如一位外来者闯入一个既定的生态系统，必然引发一系列连锁反应。在工作性能方面，沙漠砂对混凝土拌合物的影响可谓“牵一发而动全身”。其超高的需水量使得原本流动性良好的混凝土拌合物变得“步履蹒跚”，坍落度急剧下降，就像失去水分的泥浆，难以自如地流动与铺展。粘聚性的变差更使得混凝土在喷射过程中如同散沙，无法紧密抱团，导致大量物料在喷头与受喷面之间弹射、坠落，造成严重的回弹浪费。同时，因难以形成均匀密实的喷射层，混凝土内部容易出现空洞、蜂窝等缺陷，极大地影响施工质量与效率，给喷射施工带来巨大的操作难度与成本压力。

在力学性能表现上，沙漠砂与喷射混凝土的“合作”充满了变数与博弈。当替代率处于合理区间时，通过巧妙调整水泥用量、骨料级配等配合比参数，就像一位经验丰富的厨师精心调配食材，能够充分激发沙漠砂的潜在优势，使混凝土在凝结硬化后依然能保持良好的强度性能，满足工程结构的承载需求。一旦替代率突破临界点，沙漠砂的劣势便会迅速凸显^[3]。

过多的细颗粒与杂质破坏了混凝土内部的紧密结构，削弱了颗粒间的粘结力，导致混凝土在受力时如同脆弱的积木城堡，强度大幅下降，无法承受预期的荷载，严重威胁工程结构的安全性与稳定性。

耐久性是衡量混凝土长期服役性能的重要指标，而沙漠砂的加入无疑给混凝土的耐久性考验增添了新的难题。混凝土犹如一座坚固的堡垒，抗渗性与抗冻性是其抵御外界侵蚀的关键防线。沙漠砂中的泥粉等杂质如同隐藏在堡垒内部的“叛徒”，它们的存在会在混凝土内部形成无数微小的孔隙与通道，降低混凝土的密实度，使得水分、有害化学物质等侵蚀介质能够轻易渗入内部。在冻融循环作用下，这些侵入的水分反复冻结、融化，如同一次次“微型爆炸”，不断冲击混凝土结构，加速其劣化进程^[4]。长期来看，混凝土的耐久性将受到严重损害，大大缩短工程结构的使用寿命，增加后期维护与修复成本。

3 工艺优化措施

面对沙漠砂在喷射混凝土应用中暴露出的诸多问题，工程技术人员如同技艺精湛的工匠，从多个维度展开工艺优化的创新实践。在骨料级配调整方面，沙漠砂单一的粒径分布是制约混凝土性能的关键因素。通过引入粗骨料或不同粒径的砂进行合理搭配，就像为单调的乐曲加入丰富的音符，能够构建起更加科学合理的颗粒级配体系。这些不同粒径的骨料相互填充、嵌挤，在混凝土内部形成紧密的堆积结构，如同精心搭建的砖石城墙，显著提高了混凝土的密实度。同时，优化后的级配还能改善混凝土拌合物的流动性与粘聚性，减少喷射过程中的阻力，为实现高效、优质的喷射施工奠定基础。

外加剂的合理选用与精准使用，堪称沙漠砂混凝土工艺优化的“点睛之笔”。高效减水剂如同神奇的“魔术师”，能够显著降低混凝土的用水量，在不影响强度的前提下，大幅改善混凝土的工作性能。它通过分散水泥颗粒，释放被包裹的水分，使混凝土拌合物变得更加轻盈、流动自如，有效解决了沙漠砂需水量大导致的坍落度损失问题^[5]。引气剂则像一位“空气建筑师”，在混凝土内部引入无数微小、封闭且均匀分布的气泡，这些气泡犹如一个个“缓冲垫”，在冻融循环过程中吸收膨胀应力，缓解水分冻结产生的破坏力，从而显著提升混凝土的抗冻性与抗渗性，增强其抵御外界侵蚀的能力。

除了材料层面的优化，喷射设备参数的精细调控

同样不可或缺。喷射压力、喷头与受喷面的距离和角度等参数,如同控制喷射施工的“方向盘”,直接影响着施工质量与效率。合适的喷射压力能够确保混凝土拌合物以恰到好处的速度与力度附着在受喷面上,既避免因压力过大导致物料过度回弹,又防止因压力不足造成喷射层松散不密实^[6]。精确调整喷头与受喷面的距离和角度,则可以使物料均匀覆盖,减少喷射盲区与堆积现象,确保喷射层厚度均匀、表面平整。通过对这些设备参数的反复试验与优化,实现了施工工艺与沙漠砂特性的完美契合,有效提升了喷射混凝土的施工质量与工程效益。

4 适配性验证

为了验证沙漠砂替代天然砂在喷射混凝土施工工艺中的适配性,科研与工程团队展开了一场严谨而全面的探索之旅。在实验室试验阶段,研究人员如同严谨的科学家,精心设计并开展了大量对比试验。他们以替代率、配合比参数、工艺条件等为变量,构建起一个庞大而复杂的试验矩阵。每一组试验都如同一个微型工程现场,研究人员对混凝土的工作性能、力学性能、耐久性等指标进行细致入微的观测与分析。从新拌混凝土的坍落度、扩展度测试,到硬化混凝土的抗压、抗折强度检测,再到耐久性试验中的抗渗、抗冻循环测试,每一个数据的背后都凝聚着研究人员对材料性能的深度探索与理解。

实际工程模拟是验证适配性的重要环节,它将实验室成果置于真实的工程环境中接受检验。模拟试验尽可能还原了不同地域、不同工况下的施工场景,从寒冷干燥的北方地区到湿热多雨的南方环境,从地下隧道的狭小空间到高耸建筑的外立面施工,全方位模拟了沙漠砂喷射混凝土可能面临的各种挑战。在模拟过程中,工程人员严格按照优化后的施工工艺进行操作,实时监测施工过程中的各项参数与混凝土性能变化^[7]。通过对比模拟工程与传统工程的施工质量、效率及成本,评估沙漠砂喷射混凝土工艺的实际可行性与经济合理性,为其大规模工程应用积累宝贵经验。

大量试验与实际工程模拟的结果令人振奋。经过科学合理的材料选择、精细的配合比设计以及系统的工艺优化,沙漠砂在喷射混凝土施工中展现出良好的适配性。新拌混凝土的工作性能得到显著改善,喷射过程中的回弹量大幅降低,施工效率明显提升;硬化混凝土的力学性能满足工程设计要求,耐久性也达到

预期标准^[8]。这些成果不仅为沙漠砂在建筑领域的资源化利用提供了坚实的技术支撑,也为解决天然砂资源短缺问题、推动建筑行业绿色可持续发展开辟了新的道路,预示着沙漠砂有望成为未来喷射混凝土施工的重要原材料之一。

5 结语

沙漠砂替代天然砂用于喷射混凝土施工工艺适配性研究取得一定成果。明确了沙漠砂特性对喷射混凝土性能的影响规律,提出了有效的工艺优化措施,并通过试验与模拟验证了适配性。未来,应进一步深入研究沙漠砂的预处理技术,降低其含泥量与需水量;开展长期性能监测,评估替代后混凝土在复杂环境下的耐久性;加强产学研合作,推动沙漠砂在喷射混凝土工程中的大规模应用,促进混凝土行业的绿色可持续发展。

参考文献

- [1] 李梦赢,贾能,刘泽伟.纳米材料改性隧道初支混凝土渗透性能研究[J/OL].铁道科学与工程学报,1-13[2025-05-19]
- [2] 黄淼.硫酸盐及氯盐耦合作用下高性能喷射混凝土退化规律及机理研究[J].建筑工人,2025,46(05):46-49.
- [3] 周璇,董增强,张卫卫,等.硫酸盐侵蚀作用下喷射混凝土力学性能与耐久性研究[J].河南科学,2025,43(05):755-760.
- [4] 于宏放.隧道湿喷混凝土回弹率控制的关键技术[J].水泥,2025,(05):89-91+94.
- [5] 胡伟.公路隧道建设中喷射混凝土支护施工工艺研究[J].科技资讯,2024,22(23):181-183.
- [6] 杨超,李龙,贾奇.隧道喷射混凝土施工工艺[J].中华建设,2024,(08):142-144.
- [7] 陈刚.水利工程喷射混凝土配合比设计与施工工艺试验[J].四川水泥,2024,(03):161-164+167.
- [8] 程曦,刘肖凡,陈林,等.喷射型多孔混凝土在水库消落区护坡中的喷射性能及施工工艺研究[J].水利水电快报,2023,44(12):54-58.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS