

机制砂的性能特征与实际工程应用

王晨¹, 姜源^{2,*}

1. 海陆建设(青岛)有限公司, 山东 青岛, 266000
2. 海陆(烟台)环保疏浚有限公司, 山东 烟台, 264000

摘要: 随着大基建的开展, 无节制的开采已导致天然砂资源日趋枯竭, 机制砂作为天然砂的替代砂是实现可持续发展的产品。本文主要介绍机制砂干法制砂和湿法制砂的工艺, 并对机制砂的性能特征进行综述, 并通过实际工程中验证机制砂的试验数据在市政管网回填施工的使用中可以较好的替换天然砂。

关键词: 机制砂; 混凝土; 工程应用; 质量控制

Performance Characteristics of Manufactured Sand and Its Practical Engineering Applications

Chen Wang¹, Yuan Jiang^{2,*}

1. *Sea&Land Construction (Qingdao) Co., Ltd., Qingdao, Shandong, China, 266000*
2. *Sea&Land (Yantai) Environmental Protection Dredging Co.,Ltd., Yantai, Shandong, China, 264000*

Abstract: With the advancement of large-scale infrastructure projects, uncontrolled excavation has led to the increasing depletion of natural sand resources. Manufactured sand, as a substitute for natural sand, is a product that aligns with sustainable development. This article primarily introduces the dry and wet production processes of manufactured sand, provides an overview of its performance characteristics, and validates through practical engineering applications that the tested data of manufactured sand demonstrate its effective replacement of natural sand in cushion layer applications.

Keywords: Manufactured sand; Concrete; Engineering application; Quality control

随着我国基础设施建设的迅猛发展, 对建筑砂石的需求持续保持高位。长期以来, 天然河砂作为细骨料在混凝土中扮演着不可或缺的角色, 其颗粒圆滑、级配良好的特性为混凝土提供了优异的工作性和稳定性^[1]。然而, 无节制的开采已导致天然砂资源日趋枯竭, 并引发河床下切、堤岸崩塌、生态环境恶化等一系列严峻问题。

与天然砂相比机制砂即由岩石、尾矿或建筑废弃物经机械破碎、筛分制成, 公称粒径小于4.75 mm的颗粒^[2], 成为天然砂的理想替代品。与天然砂相比, 机制砂具有来源广泛、生产可控、品质稳定等显著优势, 其推广应用对于保护生态环境、保障国家建设需求具有重大的战略意义。

本文从机制砂的性能、工艺、应用对国内外的研究进行综述, 并结合实际工程对机制砂的进行评价, 最后对机制砂的应用和未来发展的方向提出建议。

1 机制砂工艺

目前机制砂工艺按照石-粉分离一般分为干法制砂与湿法制砂, 干法制砂是一种在整个生产过程中不使用水或仅使用极少量的水作为辅助, 主要依靠风力分选和除尘设备来控制机制砂中石粉含量

的生产工艺^[3]。通过调节选粉机参数，可以精确控制成品砂中的石粉含量，满足不同标准要求。湿法制砂是一种通过水流冲洗来去除机制砂中多余石粉和泥土等杂质的生产工艺，水洗后的机制砂表面清洁，粒型分明，更接近天然河砂的观感，市场接受度高^[4]。制砂工艺优缺点如表1所示。

干法制砂已成为主流和绿色发展的方向。随着高效除尘技术和选粉机性能的提升，干法工艺在环保和产品质量控制上的优势愈发明显。同时，半干法工艺（在筛分等环节少量喷水抑尘，但不进行强力冲洗）作为一种折中方案，也在特定场合得到应用。

表1 干法制砂与湿法制砂优缺点对比

Table 1 Comparison of advantages and disadvantages between dry and wet manufactured sand production methods

	干法制砂	湿法制砂
控制手段	风力分选、除尘	水流冲洗、沉淀
水资源	极少或不用	巨大
石粉含量	精确可控，可灵活调整	难以控制，流失严重，通常偏低
环保重点	粉尘治理	污水和污泥处理
产品特点	石粉含量稳定，观感稍差	洁净，观感好，但级配可能不佳
适用条件	原料洁净、含水率低	原料含泥量高、水源充足

2 机制砂性能特征

机制砂是以岩石、卵石、矿山废石和尾矿等为原料，经除土处理，由机械破碎、整形、筛分、粉控等工艺制成的，级配、粒形和石粉含量满足要求且粒径小于4.75 mm的颗粒，机制砂由于其生产工艺（如破碎方式）所致，机制砂通常表现出“粒形不规则、表面粗糙、棱角性显著”的形态特征如图1所示，通过图1中机制砂与天然砂的对比可以明显看出，左边的机制砂与右边天然砂形态特征差异，这也作为辨别两者的一种依据，且机制砂内部常含有一定量的石粉。

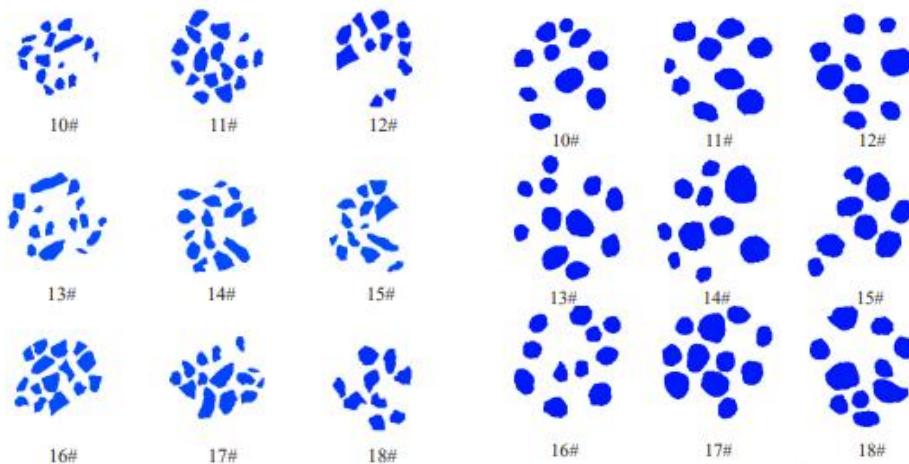


图1 机制砂与天然砂图形学计算样品轮廓二值化图^[5]

Fig. 1 Binarized Image of Sample Contours in the Graphical Computation of Manufactured Sand versus Natural Sand

这些独特的性能特征是一把“双刃剑”。一方面，粗糙的表面和丰富的棱角有助于增强水泥石与骨料间的机械咬合力，从而可能提升混凝土的力学强度；适量的石粉能起到微集料填充效应，改善混凝土的孔隙结构，提高密实度。但另一方面，这些特征也显著改变了新拌混凝土的流变行为。不规则粒形和高表面粗糙度会增大颗粒间的摩擦阻力，导致混凝土流动性降低、需水量增加；而石

粉含量若超出最佳范围，则会大量吸附自由水与减水剂，加剧混凝土黏度，甚至对工作性、耐久性及体积稳定性产生不利影响。

尽管机制砂已在实际工程中得到广泛应用，但学术界与工程界对其性能特征的系统性认识仍显不足。特别是，机制砂的颗粒形貌、级配组成与石粉含量等关键参数之间相互耦合，共同影响着水泥基材料从流变、硬化到长期性能的整个生命周期行为，其内在作用机理尚未被完全揭示。现有研究多侧重于单一因素的影响，缺乏多尺度、多参数协同作用的系统性表征与机理分析。

3 机制砂在实际工程中的应用

干法精品机制砂在高精品干法机制砂具有级配无极可调、质量更好、成本更低等优势，可广泛用于交通工程项目^[6]。在桥梁工程中，某大型桥梁工程桥墩通过严格筛选机制砂的粒形、级配、石粉含量，合理优化胶凝材料体系，可成功配制出满足工程需求的高性能混凝土。实际应用效果验证，该混凝土具备良好的力学性能，其7天强度达标率高，抗碳化、抗渗、早期抗裂性能均达到L-V级标准，说明在科学的配合比设计和严格的施工控制下，机制砂不仅能有效替代日益紧缺的河砂，更能通过其特性提升混凝土的密实度，为大型基础设施可持续发展提供了可靠的技术路径^[7]。

在某城市市政管网施工中，管道回填采用中粗砂回填，受国家环保和资源控制政策的影响，当地建材市场无合法天然砂供应源，遂选用机制砂代替天然中粗砂进行管道沟槽回填施工。对机制中粗砂、天然砂原材料进行实验室检测如图2所示，机制砂重型击实最大干密度1.89g/cm³，天然砂重型击实最大干密度1.92g/cm³，两种原材料筛分结果偏差不大。使用机制中粗砂进行管道回填试验段施工，对机制砂回填完成之后压实度检测结果可达到95%以上，合格率100%；回填砂段路床段弯沉值进行检测，检测结果均小于383.1，合格率100%，经过机制中粗砂施工工艺试验段，压实度满足设计要求，弯沉试验检测承载能力符合设计要求，机制砂可在管道沟槽回填施工中代替天然砂。

机制砂可通过鄂破，圆锥破，反击破，冲击破等机器联合作业，粉碎后得到的机制砂材料；与天然河沙相比，货源稳定且供应充足。通过使用机制砂代替天然砂进行管道回填施工，有效解决了材料供应问题，确保工程顺利实施。同时在辽宁市场天然（中）砂价格68元/吨；机制砂（中砂）价格41元/吨；工程中使用机制砂代替天然砂成本可节约40%。市政管网施工中中112km管道沟槽回填约需要30万方回填砂，整个工程可节约近800万元材料费用。

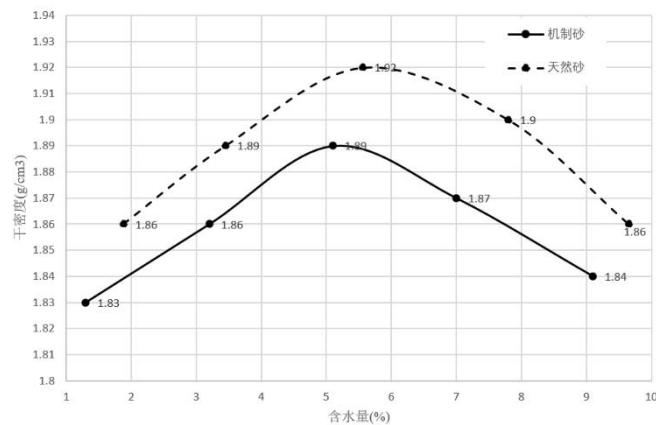


图2 机制砂与天然砂含水量与最大干密度对比关系图

Fig. 2 Relationship between Water Content and Maximum Dry Density: Manufactured Sand vs. Natural Sand

4 结论

无节制的开采已导致天然砂资源日趋枯竭，机制砂具有来源广泛、生产可控、品质稳定等显著

优势，实际工程中验证机制砂的检测数据在回填的使用中可以较好的替换天然砂，同时在桥梁工程和道路工程中也有一定的应用。后续机制砂的使用与研究应该与工程实际结合，科学配置机制砂，严格从母岩性能、粒形、级配、石粉含量，外加大量与天然砂的对比试验保证耐久性以满足实际工程需要，机制砂的推广应用对于保护生态环境、保障国家建设需求具有重大的战略意义。

参考文献

- [1] 葛好升, 孙振平, 董璐欣, 等. 机制砂的性能特点及应用技术研究[J]. 混凝土世界, 2023, (08): 72-81.
- [2] 刘文添, 李亚, 吴凯旋. 机制砂混凝土研究现状综述[J]. 广州建筑, 2024, 52(04): 115-120.
- [3] 张力云, 彭白君. 干法精品机制砂在高速路面项目建设中的应用分析[J]. 四川建材, 2025, 51(08): 209-211.
- [4] 王延超. 湿法制机制砂在高性能混凝土中的应用[J]. 散装水泥, 2025, (01): 38-40.
- [5] 许闽, 杨克条, 王海巧, 等. 一种机制砂、河砂、海砂鉴别评价方法研究[J]. 水泥, 2025, (08): 71-75.
- [6] 王国友, 赵爽, 陶军, 等. 机制砂在交通工程中的应用探析[J]. 江苏建筑, 2020, (S1): 68-69+72.
- [7] 卢伟. 机制砂在混凝土应用中的优点与缺点分析[J]. 中国住宅设施, 2025, (08): 146-148.

¹ 第1作者简介：王晨（1992-），男，学士学位，工程师，研究方向：道路与桥梁工程。E-mail: 614944160@qq.com。

* 通讯作者简介：姜源（1992-），男，学士学位，工程师，研究方向：港口航道工程建设。E-mail: jylc88@163.com。