

毛里塔尼亚沙漠砂混凝土配合比研究及应用

邱岩, 吴震威, 李洪钢

(中交一航局第一工程有限公司)

摘要: 为解决毛里塔尼亚沙漠砂在混凝土工程中应用存在的性能不确定性问题, 通过采用文献综述、实地调查和试验研究相结合的方法, 系统分析了毛里塔尼亚沙漠砂的物理特性及其对混凝土性能的影响。通过试验研究了不同配合比下沙漠砂混凝土的抗压强度和耐久性等关键指标。研究结果表明, 在合理的配合比设计下, 毛里塔尼亚沙漠砂混凝土具有良好的工程性能, 可满足多种工程需求。基于试验数据提出了一套适用于沙漠地区的混凝土配合比设计方法, 并在实际工程应用中得到了验证, 取得了显著效果, 研究结论为毛里塔尼亚及其他沙漠地区的混凝土工程施工提供了科学依据和实践指导。

关键词: 毛里塔尼亚; 沙漠砂; 混凝土; 配合比

0 引言

近年来, 利用沙丘砂制备混凝土逐渐研究增多, 表明其能缓解河砂短缺问题并具有经济和环境效益。然而沙丘砂颗粒细小、级配不良, 限制了其应用。已有研究通过改良配合比和引入矿物填料改善了沙丘砂混凝土的力学性能, 但对其在不同环境和施工条件下的适用性及长期性能研究不足。

本研究基于毛里塔尼亚沙漠砂资源, 提出一种优化的混凝土配合比, 系统探讨其力学性能、耐久性及环境适应性。通过试验与性能评价, 验证沙漠砂在混凝土中的可行性, 并分析其在沙漠地区工程中的应用潜力。

通过首次系统地研究毛里塔尼亚沙漠砂混凝土的综合性能, 填补了该地区相关研究的空白; 提出了适用于沙漠环境的混凝土优化配合比, 为开发经济高效的本地建筑材料提供了理论支持;

探索了沙漠砂混凝土的长期性能和环境适应性, 为沙漠地区建筑行业可持续发展提供了创新性解决方案。研究成果可为类似地区的工程建设提供重要参考。

1 工程概况

毛里塔尼亚渔业监测码头项目地处努瓦迪布以南 10 km 的 Cansado 湾, 主要施工内容包括新建高桩梁板式的 700 m 引桥和 370 m 码头。码头上部结构为现浇梁板结构, 预制构件混凝土总量为 1 652 m³, 混凝土强度等级为 C55; 现浇桩芯 C30 混凝土 6 617 m³; 现浇上部结构 C45、C35 混凝土 5 476 m³。

2 当地混凝土原材料

2.1 水泥

项目所用的水泥选用毛塔努瓦迪布市 CINORD 水泥厂型号为 CEM II/A-L 42.5R 的水泥, 水泥试验数据见表 1。

表 1 水泥试验数据表

品牌	规格	标准稠度/%	初凝时间/min	终凝时间/min	安定性	2 d 抗压强度/MPa	28 d 抗压强度/MPa	烧失量/%	比表面积/(cm ² ·g ⁻¹)
CINORD	CEM II/A-L 42.5R	28.5	183	234	合格	20.2	42.8	2.2	4 250

2.2 粗骨料

本工程采用的粗骨料为当地地下开采的石灰岩经机械破碎而成的碎石。通过对不同粒径规格碎石的筛分试验(试验数据见表 2), 其级配组成符合 JGJ 52—2006《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》的要求, 可满足不同强度等级混凝土的配制需求。该碎石具有优良的物理力学性

能: 表观密度达 2 680 kg/m³, 堆积密度为 1 520 kg/m³, 孔隙率约为 43%, 表明其结构致密, 有利于提高混凝土的密实性。碎石的洛杉矶磨耗系数约为 18, 狄法尔系数为 15 左右, 压碎值仅为 9.8%, 均优于规范限值(洛杉矶磨耗 ≤ 30%, 压碎值 ≤ 20%), 说明该骨料具有较高的抗破碎能力和抗磨损性能。

表 2 碎石筛分试验数据表

规格/ mm	筛孔直径 31.5 mm 通过率/%	筛孔直径 25 mm 通过率/%	筛孔直径 16 mm 通过率/%	筛孔直径 10 mm 通过率/%	筛孔直径 5 mm 通过率/%	筛孔直径 2.5 mm 通过率/%	筛孔直径 1.25 mm 通过率/%	筛孔直径 0.63 mm 通过率/%	底盘剩 余量/%
2~8				100	66	7	2	0	0
8~20	100	94	43	10	0.2	0.2			0
14~28	100	88	24	1	0	0			0

注：碎石的表现密度为 2 680 kg/m³，洛杉矶磨耗系数为 18 左右，狄发尔系数为 15 左右，压碎值为 9.8%。

表 2 数据显示，8~20 mm 规格碎石在关键筛孔 25 mm 的通过率为 94%，16 mm 筛孔通过率为 43%，呈现良好的连续级配特征；而 2~8 mm 细骨料在 5 mm 筛孔的通过率为 66%，可有效填充粗骨料间的空隙。14~28 mm 大粒径骨料在 16 mm 筛孔通过率 24%，适合用于本码头项目的混凝土施工。不同粒径规格的骨料可按工程需求进行级配优化组合。

2.3 细骨料

通过对毛里塔尼亚当地细骨料充分调查，发现其国内细骨料主要分为 4 种类型，其特性指标及资源情况如下：

1) 南方雨季河道冲击砂，细度模数在 1.8~

2.0 左右，属于Ⅲ区细砂，但是河砂资源已经濒临枯竭；

2) 机制砂，细度模数在 2.5~3.1 左右，产量很小无法满足项目使用需求；

3) 沙漠砂，细度模数在 0.6~1.2 左右，砂源充足，价格便宜；

4) 贝壳砂，细度模数在 2.0~3.1 左右，氯离子含量为 0.082%，不符合质量要求。

经过对当地拌合站的考察，基本采用沙漠砂加机制砂的混合比例配制混凝土，一些研究文献也多是两者混合。沙漠砂与机制砂的混合比例约为 4:6，经过考察和试验，绘制机制砂和沙漠砂筛分曲线，见图 1。

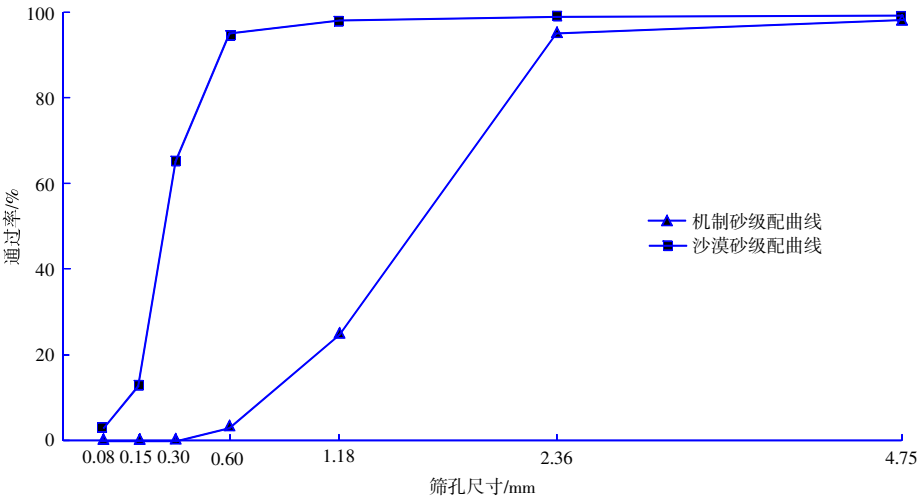


图 1 机制砂和沙漠砂筛分曲线

沙漠砂细度模数在 0.6~1.2，粒径小于 0.63 mm，主要集中在 0.15 mm 以上，曲率系数为 1.1，

不均匀系数为 2.3，为特细砂，有些甚至比特细砂还细，级配差，机制砂、沙漠砂试验数据见表 3。

表 3 机制砂、沙漠砂试验数据表

种类	细度模数	表观密度/ (kg·m ⁻³)	堆积密度/ (kg·m ⁻³)	紧密密度/ (kg·m ⁻³)	含泥量/%	砂当量/%	Cl ⁻ 含量/%	SO ₃ 含量/%	碱活性/%	轻物质含量/%
机制砂	2.6	2 610	1 350	1 500	8.8		0.002		合格	
沙漠砂	0.9	2 650	1 530	1 670	0.4	83	0.062	0.19	合格	0.1

2.4 外加剂和掺合料

混凝土使用的减水剂为 SIKA TEMPO 10(液体)

高效减水剂；当地没有矿粉、粉煤灰等掺合料，国外采购运输时间长，经济性差，不考虑添加。

3 混合砂混凝土试配

根据 BJJ 19—65《特细砂混凝土配制及应用

规程》^[1]和当地资料, 对机制砂和沙漠砂按不同比例进行混凝土试配, 结果见表 4。

表 4 不同比例混合砂配合比对比

CEM II/A-L 42.5R 水泥/(kg·m ⁻³)	细骨料/(kg·m ⁻³)	5~25 mm 碎石/(kg·m ⁻³)	SIKA 减水剂/(kg·m ⁻³)	水/(kg·m ⁻³)	机制砂占总用砂量的比例/%
367	480	1 392	5.51	165	100
367	480	1 392	5.51	165	50
367	480	1 392	5.51	165	33
367	480	1 392	5.51	165	10

通过试验对比, 机制砂掺量越高, 混凝土坍落度越小, 坍落度损失越快, 分析原因主要是机制砂石粉含量较高、棱角太多造成的, 当地淡水资源缺乏, 清洗机制砂中石粉不现实, 因此放弃使用机制砂。

4 沙漠砂混凝土配制及应用

根据对以上不同掺量沙漠砂配合比进行对比, 选择全部使用沙漠砂作为混凝土细骨料。以预制 C55 混凝土、桩芯 C30 混凝土为例, 按照 JTS 202—2011《水运工程混凝土施工规范》^[2]规定进行配合比设计, 考虑到沙漠砂为特细砂, 配合比设计时尽量降低砂率。C55 混凝土配合比在实际预制过程中, 工作性能良好, 能够满足西非沙漠地区高温环境下施工。C55 混凝土配合比见表 5。

表 5 C55 混凝土配合比

CEM II/A-L 42.5R 水泥	沙漠特细砂	14~28 mm 碎石	8~20 mm 碎石	2~8 mm 碎石	SIKA 减水剂	水
480	438	128	1 093	100	5.76	172

经试验检测, 使用 100%沙漠特细砂配制的 C55 混凝土 28 d 抗压强度为 63.8 MPa, 满足现场施工要求。

在使用导管法灌注 C30 桩芯混凝土时, 首先使用了表 6 中的 1 号配合比, 但在施工过程中遇到了导管堵塞现象。经分析发现主要原因是砂率过低且大粒径碎石比例较高, 在入管遇到泥浆后砂浆被冲散, 碎石聚集造成堵管。为解决此问题,

参照欧洲标准 BS 882: 1992 Specification for aggregates from natural sources for concrete 中对混凝土骨料级配的相关要求^[3], 对混合物配比进行了调整。去除了粒径 14~28 mm 碎石, 将 2~8 mm 碎石比例提高到碎石总掺量的 50%, 将砂掺量从 437 kg/m³ 提高至 600 kg/m³, 配合比见表 6。

表 6 C30 混凝土配合比调整对比

编号	CEM II/A-L 42.5R 水泥	沙漠特细砂	14~28 mm 碎石	8~20 mm 碎石	2~8 mm 碎石	SIKA 减水剂	水
1 号	395	437	131	1 132	97	3.95	182
2 号	395	600		622	622	4.74	180

骨料调整前后整体筛分曲线如图 2 所示。

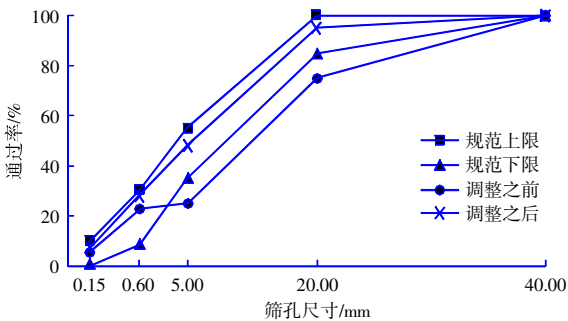


图 2 C30 混凝土配合比骨料调整前后筛分曲线对比

经调整后的混凝土坍落更均匀, 没有出现中间部位碎石聚集现象, 流动性和均匀性较好, 从而避免再次发生堵管现象并提升施工效率, 混凝土前后状态对比如图 3 所示。



图 3 骨料调整前后 C30 混凝土状态对比

5 特细砂混凝土力学性能及耐久性
沙漠特细砂 C55 混凝土经过 3 个月的预制生

产，混凝土强度统计见表 7。沙漠特细砂 C30 桩芯混凝土经过 1 个月的生产，强度统计见表 8。

表 7 沙漠特细砂C55混凝土 28 d 抗压强度统计

混凝土生产时间	组数/组	平均值/MPa	标准差/MPa	变异系数/%	最大值/MPa	最小值/MPa	极差/MPa
2023 年 8 月	21	62.2	1.3	2.09	63.8	59.5	4.3
2023 年 9 月	21	62.3	2.6	4.17	64.5	60.6	3.9
2023 年 10 月	20	60.8	0.9	1.48	62.6	59.7	2.9

表 8 沙漠特细砂C30混凝土28 d 抗压强度统计

混凝土生产时间	组数/组	平均值/MPa	标准差/MPa	变异系数/%	最大值/MPa	最小值/MPa	极差/MPa
2023 年 10 月	20	40.8	1.5	3.68	43.4	38.0	5.4

根据表 7、表 8 的检测数据可知，预制 C55 混凝土与现浇 C30 混凝土的强度等级均达到设计要求，且其抗氯离子渗透电量分别为 1 434.46 C 和 1 761.13 C，满足现行 JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》关于海洋环境下混凝土耐久性指标的相关要求，表明本项目所采用混凝土在强度及耐久性方面均符合使用性能和设计标准的要求。

6 结语

通过对毛里塔尼亚沙漠砂混凝土配合比进行系统研究，深入探讨了其在工程应用中的潜力。通过对混凝土性能的试验分析，发现在适当的配合比下，毛里塔尼亚沙漠砂混凝土具有良好的工程性能，能够满足多种工程需求。此外，提出了一套基于沙漠砂的混凝土配合比设计方法，经实际工程验证，取得了显著效果，解决了施工过程中的难题。研究成果为毛里塔尼亚及其他类似沙漠地区的混凝土工程提供了重要的理论基础和实

践指导。然而，由于试验条件的限制，未能全面考虑不同材料条件(如掺入粉煤灰等掺合料)对混凝土的影响；尽管研究提出了初步的配合比优化方案，但仍有进一步提升混凝土性能和降低生产成本的空间。未来的研究可以进一步探讨不同材料的混合应用，以进一步优化沙漠地区混凝土的性能和可持续性。此外，还可以对混凝土生产和应用过程中的环境影响与经济效益进行更深入的研究，以促进该领域的发展和进步。

总的来说，本研究为沙漠地区的建筑材料开发提供了有益的探索，并为进一步研究奠定了基础。后续应在解决现有不足的基础上，继续推动沙漠地区可持续建筑材料的创新与应用，以应对建筑行业对资源节约和环保材料的需求。

参考文献：

[1] BJC 19—65,特细砂混凝土配制及应用规程[S].
[2] JTS 202—2011,水运工程混凝土施工规范[S].
[3] BS 882:1992,Specification for aggregates from natural sources for concrete[S].