

# 砂子级配对混凝土强度性能影响的研究

王功文

中国能建广西局菲律宾奎松北陆上风电项目部

DOI:10.32629/etd.v6i7.18253

**[摘要]** 为明确砂子颗粒级配对混凝土工作性能与强度发展的影响规律,本文结合项目原材料的情况,开展了不同级配砂样在细度模数2.2~3.0范围内的拌合物性能与抗压强度对比试验。采用统一水胶比与骨料级配,检测坍落度、扩展度、泌水率与28d抗压强度指标,结合粒径结构特征分析各级配对性能响应变化。结果表明,砂子级配对混凝土拌合物流动性、黏聚性及力学强度均具有显著调节作用,中粗型复配级配在结构密实性与骨架支撑能力之间达到较优平衡,形成良好的强度性能表现。本文通过菲律宾陆上风电工程项目的实践,较好的解决混凝土性能、强度保证率、质量保证三大难题,实现了工艺简单,投入少,降低混凝土的生产成本5~10%,取得良好的经济效益,具有广阔的推广价值。

**[关键词]** 砂子级配; 混凝土性能; 抗压强度; 细度模数

**中图分类号:** TV331 **文献标识码:** A

## Study on the Influence of Sand Gradation on Concrete Strength Performance

Gongwen Wang

China Energy Engineering Corporation Guangxi Bureau Nanning Xingdian Concrete Co., Ltd.

**[Abstract]** To clarify the influence of sand particle gradation on the workability and strength development of concrete, a comparative test was conducted on mixtures with different gradation sand samples within the fineness modulus range of 2.2 to 3.0, based on the project's raw material conditions. Using a uniform water-binder ratio and aggregate gradation, the slump, spread, bleeding rate, and 28-day compressive strength were measured. The performance response variations under different gradations were analyzed in conjunction with particle size structural characteristics. The results indicate that sand gradation significantly regulates the fluidity, cohesion, and mechanical strength of concrete mixtures. The medium-coarse composite gradation achieves an optimal balance between structural compactness and skeletal support capacity, resulting in favorable strength performance. Through the practice of the Philippine onshore wind power project, this study effectively addresses three major challenges: concrete performance, strength assurance rate, and quality assurance. It achieves simple processes, reduced investment, and a 5-10% decrease in concrete production costs, yielding substantial economic benefits and broad application potential.

**[Key words]** sand gradation; concrete performance; compressive strength; fineness modulus

### 引言

菲律宾某风力发电工程项目位于临海附近的山顶上,需在高荷载、低腐蚀环境中长期保持稳定性能。细骨料级配作为影响浆体分布均匀性与骨料嵌固密实度的重要参数,直接关系到强度形成效率与早期工作性表现。项目部现有的中砂源多样,颗粒组成差异显著,砂子级配控制难度上升,导致混凝土性能波动问题频发,制约配合比优化与质量控制精度<sup>[1]</sup>。为明确不同级配条件下混凝土性能变化规律,本文基于典型风电基础混凝土设计参数,开展砂子级配调整试验,分析其对拌合物性能与抗压强度的具体影响,提出具有应用指导意义的选配优化建议。

### 1 试验材料

#### 1.1 原材料

1.1.1 水泥: 选用菲律宾规模最大的水泥生产商Republic Cement生产的普通硅酸盐水泥,其物理性能见表1。

1.1.2 粉煤灰: 选用菲律宾本地的粉煤灰生产商Pozzolanic生产的煤灰,其细度模数为6.9%,烧失量为3.45%,需水量比为97%。

1.1.3 细骨料: 使用菲律宾本地的骨料生产商Supreme Elite Resources Inc.生产的人工砂,其品质见表2(抽样检测)。

1.1.4 粗骨料: 使用菲律宾本地的骨料生产商Reina生产的粗骨料,其品质见表2(抽样检测)。

表1 水泥物理性能检验结果表

水泥品种	标准稠度需水量 (%)	细度 (%)	凝结时间 (h:min)		安定性	抗折强度 (MPa)		抗压强度 (MPa)	
			初凝	终凝		3d	28d	3d	28d
Republic	24.8	3.8	2:45	3:43	合格	4.1	7.6	25.8	39.6
HOLCIM	27.3	4.0	3:15	3:47	合格	3.8	6.7	20.2	32.5

表2 砂子、石子检验结果表

材料名称	细度模数	表观密度 (kg/m <sup>3</sup> )	体积密度 (kg/m <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	含泥量 (%)	含石量 (%) (5mm)	级配组成 (%)			颗粒集中区间 (mm)
							≥19.5mm	≥9.5mm	≥4.75mm	
砂子I	2.2	2650	1545	40.8	0.6	30.2	6.2	95.4	98.7	0.3mm~0.6mm
砂子II	2.6	2650	1560	39.8	0.5	39.3	2.5	99.2	99	颗粒分布较均衡
砂子III	2.8	2650	1570	40.6	0.5	41.5	/	/	/	偏粗型, 细度模数2.8, 粗颗粒占比45%
砂子IV	3.0	2650	1580	41.2	0.7	42.3	/	/	/	2.36mm以上颗粒比例约52%
砂子V	2.7	2650	1565	40.2	0.4	41.8	/	/	/	复配型
3/4 石子	/	1630	1630	36.2	0	/	6.2	95.4	98.7	连续级配
3/8 石子	/	1530	1530	40.3	0	/	2.5	99.2	99	连续级配

表3 不同砂子级配混凝土拌合物性能测试和28d抗压强度测定成果表

序号	强度等级	水灰比	粉煤灰掺量 (%)	外加剂掺量 (%)	坍落度 (mm)	扩展度/mm	泌水率/%	抗压强度 (MPa)		凝结时间 (h:min)		黏聚性描述
								7d	28d	初凝	终凝	
M1	C40	0.39	20.9	1.2	180	305	2.83	30.4	45.2	3:00	6:00	局部泌水轻微
M2	C40	0.39	20.9	1.2	170	332	2.38	32.0	47.8	3:00	6:00	黏聚性较强
M3	C40	0.39	20.9	1.2	180	351	2.07	33.4	49.7	3:00	6:00	黏聚性良好
M4	C40	0.39	20.9	1.2	180	367	1.86	34.9	51.3	3:00	6:00	均匀稳定
M5	C40	0.39	20.9	1.2	170	348	1.74	34.4	50.6	3:00	6:00	

1.1.5外加剂: 使用SikaPlast-317Plus PH高效减水混凝土, 液态, 掺量1.2~1.6%, 减水率18.3~24.6%。

1.1.6拌合用水为pH值7.1的河流水, 总溶解固体450mg/L, 氯离子200mg/L以内。

### 1.2混凝土配合比及强度测定

混凝土配合比设计以C40强度等级为基础, 设定水胶比为0.39, 碎石用量保持在978kg/m<sup>3</sup>±40kg/m<sup>3</sup>范围内, 砂用量根据砂率变动在880kg/m<sup>3</sup>~930kg/m<sup>3</sup>之间, 砂率控制在37%~43%区间<sup>[2]</sup>。依据砂子颗粒级配参数设置五组试验编号M1~M5, 对应不同细度模数与粒径分布特征的砂样类型。试配结果汇总如下, 详见表3。

上述试验组中除砂子级配变量外, 其他原材料参数保持一致, 配比控制逻辑旨在排除干扰因子影响, 突出砂子颗粒分布变化对混凝土拌合物工作性与强度性能的作用关系, 形成稳定可

比的分析基础。混凝土初始设计坍落度控制在180mm±10mm, 该成果运用于风电基础现场浇筑作业, 满足各项技术指标要求。

## 2 试验方法

### 2.1砂子颗粒级配筛分

筛分操作对应五组砂子级配变量编号M1~M5, 所用砂样来源一致, 试样质量控制在1000g±5g范围内。每组砂样置于105℃烘箱中干燥4h, 冷却至常温后进行称量与筛分准备<sup>[3]</sup>。筛具规格为φ300mm金属框标准筛, 筛孔尺寸设置为4.75mm~0.15mm共六级, 依粒径递减顺序依次叠放, 筛网层数对应粒径区间一致配置。筛分过程中将试样均匀置于最上层筛网上, 依序叠放筛具并加装密封盖与底盘, 置入振筛设备中进行机械筛分, 振动频率设定为250r/min, 振幅1.5mm, 振筛持续时间为10min<sup>[4]</sup>。筛分过程中每隔2min人工轻敲筛框, 以辅助颗粒充分分离。筛分完成后依次拆解筛网, 自上而下取出各筛层残留颗粒, 使用精度为0.01g的电

子天平称量筛余质量,记录各粒径级别颗粒质量并计算占比。筛分环境温度控制在 $24^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,保持平台无振动干扰,筛具与接盘清洁无残留。

### 2.2 混凝土拌合物性能测定

各组混凝土拌合物按M1~M5编号依次搅拌制备,原材料计量精度控制在水泥 $\pm 1\%$ 、水 $\pm 0.5\%$ 、砂石 $\pm 1\%$ 、外加剂 $\pm 0.2\%$ ,拌合设备为卧式强制搅拌机,额定容量60L,先将碎石、砂子与水泥干混60s,再缓慢加入计量水与外加剂溶液,继续搅拌120s,形成均匀拌合物。坍落度测定采用标准锥形筒法,单位精确至1mm。扩展度测试采用水平钢板底板,测量误差不得超过5mm<sup>[5]</sup>。保水性试验以静置泌水法进行,30min内观察表层泌水量,计算泌水率。黏聚性与均匀性评估采用目视法观察,记录是否存在浆体析水、骨料下沉等现象。

### 2.3 混凝土试件制备与养护

混凝土试件制备采用圆柱体模具,各组砂子级配变量编号对应M1~M5,成型的试件置于养护池中进行浸泡养护,养护环境温度保持在 $24^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度大于95%,养护期统一为28d,试件编号、组别、配合比与对应砂子级配信息一一对应<sup>[6]</sup>。

### 2.4 混凝土抗压强度测定

每组试件养护至龄期满28d后移出养护池静置4h,表面擦干后进行编号核对与外观检查,剔除掉角、裂纹与明显缺陷试件<sup>[7]</sup>。试验室环境温度控制在 $24^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,试件在加载前处于自然干燥状态,加载平台无明显振动,试验设备保持良好校准状态。

## 3 成果分析

### 3.1 拌合物性能分析

不同砂子级配对混凝土拌合物性能表现出显著差异,详见下表5。砂样由细颗粒主导向粗颗粒主导演变过程中,坍落度随细度模数上升整体增长,由170mm,提升至180mm,表明粗颗粒比例扩大使骨料间滑移性增强,浆体流动阻力减小,垂流动性改善。扩展度由305mm上升至367mm,反映中粗颗粒含量提升形成更稳定的骨架支撑,提高水平铺展能力。泌水率由2.83%降至1.74%,说明粗粒间隙被细颗粒填充后,自由水析出量减少,保水性与界面结合状态改善。黏聚性由“浆体分离明显”转为“黏聚性良好”,说明砂子颗粒分布趋于粗化后,混合物均匀性与抗离析能力得到显著提升。M5虽具最高级配连续性,但粗细比例趋于中性,浆体包裹度上升导致流动性略降,坍落度回落至170mm。由此可见,拌合物性能受砂子粒径匹配关系主导,过细易失稳,过粗虽流动增强但均匀性下降,当粒径分布与砂率形成平衡状态时,拌合物工作性能达到最优。

### 3.2 抗压强度分析

砂子颗粒分布对混凝土力学承载性能影响显著,骨架密实程度、浆体黏结强度及界面过渡区完整性均受级配特征控制。表4所示,抗压强度随细度模数增加呈明显上升趋势。M1中细颗粒占比偏高,砂浆层厚度增大、骨架支撑不足,内部孔隙率

上升,强度仅达45.27MPa。M2粒径分布趋于均衡,砂浆填充与骨料搭接关系改善,抗压强度提升至47.83MPa。M3中粗颗粒含量扩大,颗粒间接触密度增强、浆体渗透空间减小,强度继续上升至49.79MPa。M4以大粒径砂为主,骨架压密效果最显著,承载力达到峰值51.37MPa,体现粗砂主导结构的优势。M5复配型虽然粒径连续性最优,但粗细颗粒比例趋向中性,骨架主导作用被部分削弱,浆体黏结层比例上升,强度略回落至50.63MPa。整体趋势表明,砂子级配优化并非单纯依赖连续化分布,而取决于粗细颗粒匹配程度与砂率协调关系。当粗颗粒比例与细料填充形成稳定骨架结构时,内部密实性与应力传递路径更为合理,混凝土强度达到最优区间,为风电基础混凝土配比调整提供可靠级配优化依据。

## 4 结论

砂子颗粒级配对混凝土拌合物性能与抗压强度影响显著,是调控性能的重要变量之一。

(1)细度模数提升过程中,拌合物坍落度、扩展度与保水性持续改善,粒径分布越合理,骨料滑移性越强、浆体分布越均匀,整体工作性表现越优。

(2)抗压强度随粒径粗化与结构密实度增强而上升,M4组表现出最大承载力,粗砂主导骨架支撑效果明显。

(3)复配型M5各性能指标虽略低于M4,但粒径分布连续性最优,保水性、均质性与界面稳定性表现更佳,强度接近峰值,综合适应性更强,具备良好工程应用潜力。

(4)复合型砂子的粒径分布连续性最优,在保持水灰比的情况下,能够提升混凝土强度保证率,减少配合比的成本,具有广阔的推广价值,供同类项目借鉴。

### [参考文献]

- [1]闫腾飞,杨伟.砂石级配优化对高性能混凝土强度的影响[J].江西建材,2025,(08):96-97+100.
- [2]韩梅.砂石级配对混凝土工作性能的影响及其检测标准研究[J].居舍,2025,(21):178-180.
- [3]秦婷钰,陈梦涵,王建旭,等.砂石骨料对混凝土性能的影响及其质量控制[J].价值工程,2025,44(20):21-23.
- [4]李桂云.砂石级配对混凝土性能影响的检测技术研究[J].实验室检测,2025,3(13):109-111.
- [5]朱本黎.砂石骨料对混凝土性能的影响与检测[J].散装水泥,2025,(01):246-248.
- [6]陈正虎,苏延峰,黄俊玮,等.低碱高强植生混凝土力学性能及耐久性性能研究[J].建筑技术开发,2025,52(10):136-139.
- [7]李雯霞.骨料种类、级配和粒径对透水混凝土性能影响研究[J].中国建材科技,2025,34(03):49-53.

### 作者简介:

王功文(1986--),男,壮族,广西乐业人,本科,工程师,研究方向:工程施工技术。