

建筑砂石骨料含泥量检测对结构混凝土质量的影响研究

朱炼榕

惠州大亚湾经济技术开发区建设工程质量检测中心 广东 惠州 516081

【摘要】：砂石骨料是结构混凝土的核心原材料，占混凝土总体积七成以上，其含泥量指标直接决定混凝土力学性能、耐久性能与结构稳定性，是建筑工程质量管控的关键参数。为探究含泥量检测精度及含泥量超标对结构混凝土质量的影响机制，本文依托现行国家检测标准，系统阐述砂石骨料含泥量主流检测方法，通过室内对比试验与工程实例分析，研究不同含泥量梯度下混凝土工作性能、抗压强度、抗渗抗冻耐久性的变化规律，明确检测工作中常见误差来源。试验结果表明，骨料含泥量超出规范限值后，混凝土综合性能呈线性衰减趋势，含泥量每提升1%，混凝土28d抗压强度下降8%至12%，抗渗等级显著提升。结合工程质量问题成因，本文提出含泥量精准检测、原材料管控、施工过程优化的一体化质量控制策略，可为建筑结构混凝土质量管控、检测工作规范化开展提供技术参考。

【关键词】：砂石骨料；含泥量检测；结构混凝土；力学性能；耐久性

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.008

引言

在房屋建筑、市政桥梁、公共基础设施等工程建设中，结构混凝土的施工质量直接决定建筑主体结构安全与使用寿命。砂石骨料作为混凝土的骨架材料，分为粗骨料与细骨料，其洁净度是保障混凝土性能稳定的基础。天然砂石开采、机制砂石加工、运输堆放过程中，骨料表面极易附着泥土、粉尘、黏土杂质，此类杂质吸水性强、粘结性差，会破坏水泥石与骨料的界面粘结状态，引发混凝土开裂、强度不足、耐久性衰减等质量缺陷。含泥量是衡量砂石骨料洁净度的核心指标，现行建筑材料规范对不同用途混凝土骨料的含泥量均设置明确限值。实际工程中，多数混凝土质量隐患均与骨料含泥量检测不到位、检测数据偏差、进场管控松懈相关。部分施工单位忽视含泥量常态化检测，仅凭经验判断骨料质量，导致超标骨料投入施工，后期出现结构开裂、表层剥落、渗水等问题，严重影响工程安全与使用年限。因此，规范开展砂石骨料含泥量检测，精准把控含泥量指标，分析其对混凝土质量的影响规律，对提升建筑结构工程施工质量具有重要现实意义。

1 砂石骨料含泥量检测技术与规范要求

1.1 含泥量定义

砂石骨料含泥量指骨料中粒径小于0.075mm的黏土、淤泥、粉尘等杂质的质量占骨料总质量的百分比。区别于骨料自身石粉成分，泥土杂质可塑性强、吸水率高，不具备胶凝活性，会显著干扰混凝土水化反应与骨料界面结合效果，是混凝土质量的主要危害性杂质。

1.2 主流检测方法

依据GB/T 14685-2022《建设用卵石、碎石》与GB/T 14684-2022《建设用砂》规范，目前工程常用的含泥量检测方法为筛洗法与亚甲蓝滴定法，两种方法适配不同骨料类型，检测原理与精度各有差异。筛洗法适用于粗骨料与普通细骨料的

含泥量检测，是施工现场常规检测手段。检测核心流程为选取代表性骨料试样，烘干至恒重后冷却称重，通过清水浸泡、反复冲洗去除表面附着泥土，再采用标准筛筛分、二次烘干称重，通过质量差值计算含泥量。该方法操作简便、设备简易，适配施工现场快速检测，但对细微泥土杂质的分离精度有限，易存在轻微检测误差。亚甲蓝滴定法主要用于机制砂含泥量检测，可精准区分石粉与泥土杂质，规避筛洗法的检测局限性。其原理为利用亚甲蓝染料与黏土矿物的吸附反应特性，通过滴定试验判断骨料中泥粉含量，检测精度更高，适用于高标准结构混凝土的骨料检测工作。

1.3 规范限值标准

现行规范根据混凝土结构强度等级、使用环境，对砂石骨料含泥量划分严格限值。C30及以上高强度结构混凝土，粗骨料含泥量不得大于0.5%，细骨料含泥量不得大于2.0%；C30以下普通混凝土，粗骨料含泥量不得大于1.0%，细骨料含泥量不得大于3.0%；处于潮湿、冻融、腐蚀环境的特种结构混凝土，骨料含泥量限值需进一步降低，严禁超标骨料进场使用。

1.4 检测误差影响因素

检测过程中，试样选取不具代表性、浸泡冲洗不充分、烘干温度与时间不达标、筛分操作不规范等因素，均会导致检测数据偏差。同时，检测人员操作熟练度、试验设备校准状态，也会直接影响含泥量检测结果的准确性，进而导致不合格骨料被误判合格，为混凝土结构质量埋下隐患。

2 骨料含泥量对结构混凝土质量的影响试验

2.1 试验方案设计

为量化分析骨料含泥量对混凝土质量的影响，本次试验采用单一变量原则，固定水泥、水、减水剂、骨料级配等原材料参数，仅调整砂石骨料含泥量，设置五组梯度试样，含泥量分别为0.5%、1.5%、2.5%、3.5%、4.5%。试验采用P.O 42.5普

通硅酸盐水泥,天然河砂、5至25mm连续级配碎石,设计混凝土强度等级为C30,标准养护环境温度 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不低于95%。分别测试各组混凝土坍落度、3d、7d、28d抗压强度、抗渗等级指标。

2.2 试验数据结果

通过标准化试验检测,获取不同含泥量下混凝土各项性能参数,具体试验数据如下表所示。

表1 具体试验数据

组别	1	2	3	4	5
骨料含泥量(%)	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5
坍落度(mm)	125	122	118	112	105
3d 抗压强度(MPa)	18.6	17.2	15.3	13.1	10.8
7d 抗压强度(MPa)	24.8	23.1	20.6	18.2	15.5
28d 抗压强度(MPa)	32.5	30.1	27.3	23.8	20.2
抗渗等级	P8	P8	P6	P6	P4

2.3 影响机理分析

2.3.1 对混凝土工作性能的影响

混凝土工作性能主要通过坍落度体现,直接决定施工和易性与浇筑质量。泥土杂质颗粒细小、比表面积大,具备极强的吸水特性。骨料含泥量升高时,泥土会吸附混凝土拌合水中的自由水分与减水剂成分,导致混凝土有效拌合水量不足,浆体粘稠度提升,流动性显著下降。由试验数据可知,含泥量从0.5%提升至4.5%时,混凝土坍落度从125mm降至105mm,降幅达16%。坍落度不足会造成混凝土浇筑振捣不密实,内部产生蜂窝、麻面、空洞等缺陷,直接影响结构成型质量。

2.3.2 对混凝土力学性能的影响

力学性能是结构混凝土承载能力的核心保障,抗压强度是最关键的控制指标。水泥水化形成的水泥石需与骨料表面紧密粘结,形成整体受力结构,而骨料表面附着的泥土属于惰性杂质,无法与水泥浆体产生胶凝反应,会在骨料与水泥石之间形成软弱夹层,大幅降低界面粘结强度。同时,泥土吸水后会在混凝土内部形成细微孔隙,增大结构孔隙率,降低混凝土密实度。

根据试验数据计算,可得出强度衰减规律,核心计算公式

如下:

$$\Delta f = k \times \omega$$

式中, Δf 为混凝土28d抗压强度衰减(MPa), k 为强度衰减系数,取值1.8至2.2, ω 为骨料含泥量(%)。含泥量超标后,混凝土各龄期强度持续下降,含泥量4.5%时,28d抗压强度较规范限值试样下降37.8%,远低于C30混凝土设计强度,无法满足结构承载要求。早期强度衰减更为明显,会直接影响混凝土拆模时间与施工进度,同时增大结构早期开裂风险。

2.3.3 对混凝土耐久性能的影响

混凝土耐久性决定建筑结构长期使用性能,主要包括抗渗、抗冻、抗碳化等指标。骨料含泥量过高导致混凝土内部孔隙增多、密实度下降,水分与外界腐蚀介质极易渗入结构内部。抗渗性能试验显示,含泥量超过2.5%后,混凝土抗渗等级从P8降至P6及以下,结构防水防渗能力大幅减弱,潮湿环境下易出现内部钢筋锈蚀问题。在抗冻性能方面,内部孔隙滞留的水分低温冻结后会产生体积膨胀,挤压混凝土内部结构,造成表层剥落、内部开裂。

3 工程实例质量问题分析

3.1 工程概况

本次分析对象为某城市住宅小区二期建筑工程,项目包含多栋高层住宅,主体结构采用钢筋混凝土框架结构,梁板、剪力墙等核心承重构件均采用C30强度等级结构混凝土。项目施工阶段原材料管控体系不完善,砂石骨料进场验收环节简化,未严格执行批次含泥量专项检测,仅依靠施工人员肉眼判定骨料洁净度,为后续混凝土结构质量缺陷埋下隐患。项目主体结构浇筑施工完成并养护28d后,现场排查发现多处结构质量问题,随即委托第三方检测单位开展专项质量检测与成因分析。

3.2 现场质量检测结果

第三方检测人员对现场砂石骨料原材料及实体混凝土结构进行抽样检测,原材料检测结果显示,现场堆放的细骨料含泥量检测值为3.2%,C30高强度结构混凝土用细骨料规范限值为2.0%,超标幅度明显;粗骨料含泥量检测值为1.2%,超出规范0.5%的限值要求,整体骨料洁净度不满足主体结构施工标准。同时采用回弹法对梁板、剪力墙等核心构件混凝土强度进行检测,检测数据表明,该批次结构混凝土28d抗压强度均值为25.6MPa,未达到C30混凝土设计强度要求。多数构件强度偏差处于10%至18%区间,局部区域混凝土存在强度不足、整体性较差的问题。外观质量检查发现,结构表层存在细微网状裂缝、局部起砂、表层疏松等典型质量缺陷。

3.3 质量问题成因分析

结合试验数据与现场施工情况分析,骨料含泥量超标是本

次混凝土质量缺陷的核心成因。其一，骨料表面附着的大量泥土杂质隔绝了水泥浆体与骨料的粘结界面，形成结构性软弱夹层，大幅降低混凝土界面粘结强度与整体密实度，直接造成混凝土抗压强度大幅衰减，无法满足设计承载标准。其二，泥土杂质高吸水性的特点消耗混凝土拌合体系自由水分，降低混凝土拌合和易性，施工现场浇筑振捣过程中，混凝土流动性不足，导致构件内部存在细微空隙、密实度不均，进一步加剧强度离散与表层开裂问题。

3.4 整改处理措施及实施效果

针对本次工程质量隐患，项目结合检测结果制定专项整改方案。一是全面清退现场所有不合格砂石骨料，重新采购合规原材料，严格执行进场批次抽检制度，确保粗细骨料含泥量严格控制在规范限值以内。二是对强度不足、开裂严重的局部结构构件进行置换浇筑，剔除不合格混凝土结构，采用合规骨料配置的C30混凝土重新浇筑施工。三是完善原材料检测与质量管控制度，细化含泥量检测流程，落实专人专项检测、监理复核验收机制。整改完成并经标准养护后，第三方复检结果显示，新进骨料含泥量全部达标，整改后结构混凝土28d抗压强度均值稳定在31.5MPa至33.0MPa区间，抗渗、抗冻性能均满足设计及规范要求，结构外观无开裂、起砂等缺陷，整体工程质量达标。本次工程整改实例充分验证，精准的含泥量检测与严格的骨料质量管控，是保障结构混凝土施工质量的关键。

4 质量控制优化策略

4.1 规范含泥量检测工作

建立砂石骨料进场常态化检测制度，严格按照规范流程开展筛洗法、亚甲蓝法检测工作，杜绝目测估测、简化检测流程等不规范操作。检测前对试验设备进行校准，规范试样选取、烘干、冲洗、筛分全流程操作，减少人为误差与设备误差。针对高强度、高耐久性要求的结构混凝土，增加检测频次，对进场骨料实行批次抽检，不合格骨料严禁进场使用，留存完整检测数据台账。

参考文献：

- [1] 曹健.石灰岩矿开采生产砂石骨料含泥量控制方法[J].石材,2026,(2):16-18.
- [2] 杨公青.建筑用砂石骨料含泥量与压碎指标对工程质量的影响研究——有效提升工程质量稳定性[J].中国品牌与防伪,2026,(3):223-225.
- [3] 刘国栋.图像处理技术在砂石骨料质量检测中的应用[J].石材,2026,(2):10-12.
- [4] 崔鑫,边文同,王忠锋,等.砂相对含泥量检测方法的分析研究[J].路基工程,2023,(2):56-61.
- [5] 武雅珠.砂石骨料检测方法的分析[J].内蒙古煤炭经济,2021,(23):141-143.

4.2 强化原材料源头管控

优选资质齐全、产能稳定的砂石骨料供应商，固定原材料采购渠道，从源头把控骨料质量。要求供应商完善骨料生产、清洗、筛分工艺，减少开采与加工过程中的泥土掺杂问题。骨料运输过程中做好覆盖防护，避免沿途扬尘、泥土附着，进场堆放时分区存放，设置防雨、防污染设施，避免二次污染导致含泥量升高。

4.3 优化混凝土配合比与施工工艺

结合骨料实际含泥量指标动态优化混凝土配合比，在含泥量轻微超标时，可适当调整拌合水量与减水剂掺量，补偿泥土杂质造成的水分吸附损失，改善混凝土和易性。严格把控拌合、浇筑、振捣、养护全流程施工质量，保证混凝土振捣密实，杜绝空洞、蜂窝等施工缺陷。延长潮湿养护时间，降低混凝土早期收缩开裂风险，弥补骨料轻微杂质带来的性能损耗。

4.4 建立全过程质量追溯体系

构建骨料采购、检测、进场、使用、验收全流程追溯机制，明确各岗位质量管控责任。检测人员、施工管理人员、监理人员各司其职，做好原材料检测记录、施工日志、验收记录，出现质量问题可精准溯源。定期开展检测人员技能培训，规范检测操作流程，提升质量管控意识，从制度层面规避含泥量管控不到位引发的质量问题。

5 结论

砂石骨料含泥量检测是结构混凝土质量管控的核心环节，检测精度与管控水平直接决定混凝土工作性能、力学性能与耐久性能。骨料含泥量超标会显著降低混凝土流动性与密实度，破坏骨料与水泥石的界面粘结结构，造成混凝土强度衰减、抗渗抗冻性能下降，引发结构开裂、起砂、强度不足等质量缺陷。含泥量越高，混凝土性能衰减幅度越大，对建筑结构安全与使用寿命的负面影响越显著。在后续建筑工程施工中，需高度重视砂石骨料含泥量的常态化、精准化检测，严格执行规范限值标准，落实全过程质量管控，从原材料环节杜绝混凝土质量隐患，切实提升建筑结构工程施工质量与安全性。