

水利工程砂石骨料质量检测控制要点与优化措施

王 赛

塔城水利工程质量检测有限公司 新疆 塔城 834700

摘 要：砂石骨料作为水利工程混凝土的主要组成材料，其质量直接影响混凝土的工作性能、力学性能和耐久性能。针对水利工程对混凝土高强度、高抗渗、高抗冻的特殊要求，本文系统阐述了砂石骨料质量检测的关键控制指标，包括颗粒级配、含泥量、泥块含量、针片状颗粒含量、压碎指标、坚固性、碱活性及有害物质含量等，分析了各项指标的检测方法、标准限值及常见偏差原因。在此基础上，从料源选择、开采加工、运输堆放、检测频率与方法优化、信息化管理等方面提出了系统的质量优化措施。研究表明，建立全过程、多层级的质量检测与控制体系，结合先进检测技术和动态管理手段，可显著提升砂石骨料质量的稳定性和合格率，为水利工程混凝土质量保障提供坚实基础。

关键词：水利工程；砂石骨料；质量检测；控制要点；优化措施

引言

砂石骨料是水利工程混凝土中用量最大的组成材料，每立方米混凝土中骨料约占总体积的 70%~80%。骨料质量的优劣直接决定混凝土拌合物的和易性、硬化后的强度、体积稳定性以及抗渗、抗冻、抗侵蚀等耐久性能。水利工程，特别是大坝、泄洪建筑物、输水隧洞等重要水工结构，长期承受水压、水流冲刷、冻融循环及化学侵蚀等复杂作用，对混凝土骨料提出了更为严格的要求。然而，当前部分水利工程在砂石骨料质量控制方面仍存在诸多问题：料源复杂多变，骨料级配不良、含泥量超标等质量波动现象时有发生；检测工作存在频次不足、方法不统一、数据处理不规范等问题；对骨料碱活性等潜在危害缺乏足够重视。这些问题若得不到有效控制，将严重威胁水利工程的结构安全和长期运行效益。因此，系统梳理砂石骨料质量检测的控制要点，提出切实可行的优化措施，对于提升水利工程质量具有重要的现实意义。

1 砂石骨料质量检测的主要控制指标

1.1 颗粒级配

颗粒级配是衡量骨料粒径分布合理性的核心指标。良好的级配可使骨料堆积密实度最大，减少空隙率，进而降低水泥浆体用量，提高混凝土密实度和经济性。对于粗骨料，通常采用筛分法测定各粒径级别的累计筛余百分率，要求符合连续级配或间断级配的设计要求。水利工程中，粗骨料最大粒径应根据结构断面尺寸、钢筋间距及施工条件确定，一般不宜大于 80mm。对于细骨料（砂），级配评定采用细度模数和级配区指标，细度模

数宜控制在 2.4~2.8 之间，级配应处于 II 区。级配不良会导致混凝土泌水、离析或粘聚性差，影响泵送施工和硬化后性能。

1.2 含泥量与泥块含量

含泥量是指骨料中粒径小于 0.075mm 的颗粒含量，泥块含量则指粒径大于 1.18mm（粗骨料）或 0.6mm（细骨料）且经水洗后仍存在的泥质颗粒含量。泥及泥块的存在会包裹骨料表面，阻碍水泥浆与骨料的粘结，增加用水量，降低混凝土强度和耐久性。水利工程对抗冲磨、抗冻融性能要求高的部位，对含泥量控制更为严格。根据现行规范，对于有抗冻、抗渗或其他特殊要求的混凝土，粗骨料含泥量不应大于 0.5%，泥块含量不应大于 0.2%；细骨料含泥量不应大于 1.5%，泥块含量不应大于 0.5%^[1]。检测方法主要采用水洗筛分法，含泥量较大时可辅助使用沉降法。

1.3 针片状颗粒含量

针片状颗粒是指长度大于平均粒径 2.4 倍或厚度小于平均粒径 0.4 倍的颗粒。这类颗粒在混凝土中易发生断裂和取向排列，增加空隙率，降低混凝土流动性，且影响骨料与水泥石的界面粘结强度。水利工程中，针片状颗粒含量一般要求不超过 10%~15%，对抗震、抗冲击有特殊要求的结构应控制在更低水平。检测采用规准仪法或游标卡尺法，需注意不同类型骨料（卵石、碎石）的判定标准略有差异。

1.4 压碎指标

压碎指标反映骨料抵抗压碎破坏的能力，间接表征

骨料强度。采用压碎指标测定仪对骨料施加标准压力,测定通过规定筛孔的细料质量百分率。压碎指标越小,骨料强度越高。水利工程中,粗骨料的压碎指标根据混凝土强度等级确定:对于 C50 及以上高强度混凝土,压碎指标不宜大于 10%;对于 C30~C45 混凝土,不宜大于 12%;对于 C30 以下混凝土,不宜大于 16%。对于有抗冲磨要求的部位,应选用压碎指标更低的骨料。

1.5 坚固性

坚固性是指骨料在气候、环境变化或其他物理因素作用下抵抗破碎的能力,通常采用硫酸钠溶液浸泡法测定质量损失百分率。水利工程中的水工混凝土长期处于干湿交替、冻融循环环境,骨料坚固性不足会导致混凝土表面剥落、内部微裂纹扩展。规范要求,有抗冻要求的混凝土,骨料坚固性质量损失率不应大于 5%;无抗冻要求时不应大于 8%^[2]。对于严寒地区的重要水工建筑物,应进一步收紧限值。

1.6 碱活性

碱活性是骨料与水泥中碱金属离子发生化学反应导致混凝土膨胀开裂的性质。碱骨料反应一旦发生,难以遏制,被称为混凝土的“癌症”。水利工程大坝等大体量混凝土结构,由于碱骨料反应破坏作用缓慢但破坏力极大,必须高度重视。检测方法包括岩相法、砂浆棒快速法、岩石柱法等。岩相法用于初步鉴定骨料中是否含活性矿物成分;砂浆棒快速法测定 14d 或 28d 膨胀率,当膨胀率小于 0.10% 可判定为无潜在危害,大于 0.20% 判定为具有潜在危害。对于被判定为具有潜在碱活性的骨料,应采取抑制措施,如使用低碱水泥、掺加粉煤灰或矿渣粉、控制混凝土总碱量等。

1.7 有害物质含量

骨料中可能含有云母、轻物质、有机物、硫化物及硫酸盐等有害物质。云母为片状矿物,与水泥浆粘结力弱,含量过高会降低混凝土强度,细骨料中云母含量不宜大于 1%。轻物质如煤屑、贝壳等,同样影响强度,含量不应大于 1%。有机物质会延缓水泥水化,影响凝结时间和强度发展,采用比色法检测,要求颜色不深于标准色。硫化物和硫酸盐在水作用下可能生成钙矾石导致膨胀破坏,其含量按 SO_3 计不应大于 0.5%。

1.8 表观密度、堆积密度与空隙率

表观密度反映骨料的实际密实程度,一般要求大于 2500kg/m^3 。堆积密度和空隙率则用于评价骨料颗粒堆积的紧密程度,空隙率宜控制在 40%~45% 之间。空隙率过大将增加水泥浆用量,影响混凝土经济性和体积稳定性。检测方法采用容量筒称重法。

2 砂石骨料质量检测的方法与标准

2.1 抽样方法及频率

抽样是质量检测的基础环节,抽样方法必须具有代表性。对于料场或骨料堆,应按不同粒径和分区分别取样,取样点应在料堆顶、中、底及周边均匀分布,去除表层 200mm 以上覆盖层后采集。对于生产线的连续出料,应按时间间隔或产量吨位进行系统抽样。水利工程中,粗骨料和细骨料的常规检测频次一般为每 400m^3 或 600t 取样一次;当料源、生产工艺发生变更或质量波动较大时,应加密检测。对于碱活性等特殊项目,同一料源至少进行一次全面鉴定,后期可定期抽查。

2.2 主要检测方法评述

颗粒级配采用标准套筛进行机械或手工筛分,应注意筛分时间和防止颗粒堵塞。含泥量和泥块含量采用淘洗筛分法,需严格控制水温、冲洗压力和筛洗时间。针片状颗粒含量使用针片状规准仪或游标卡尺测量,检测人员应经过培训以减少主观误差。压碎指标试验需注意加载速度和稳定持荷时间。坚固性试验应严格控制硫酸钠溶液浓度和浸泡-干燥循环制度^[3]。碱活性试验周期较长,可优先使用快速法进行初判,必要时进行长期法验证。所有检测仪器应定期校准,试验环境应符合标准要求。

2.3 结果评定与异常处理

检测结果应与相应规范及设计要求进行比对判定。当某项指标不合格时,应首先复核试验过程是否存在误差,必要时进行复检。若确认不合格,应根据不合格严重程度采取处理措施:轻微超标可采取筛分、水洗等后处理措施;严重超标应作废料处理,并追溯生产环节查找原因。对于连续出现不合格的料源,应暂停使用并重新进行料源评价。

3 砂石骨料质量的优化控制措施

3.1 料源选择与评价优化

料源是骨料质量的先天条件,必须进行充分的地质勘察和可行性论证。在工程前期,应在拟开采料场进行系统勘探取样,全面分析骨料的物理力学性能、化学矿物组成及碱活性潜在风险。优先选用岩石致密、强度高、耐久性好、无碱活性的料源。当不得不采用具有一定碱活性的骨料时,必须同时配套抑制措施并经过验证。对于大型水利工程,建议设置备用料源,防止因主料源质量波动或储量不足影响工程进度。料源评价应形成完整的专题报告,通过专家评审后方可纳入使用。

3.2 开采与加工工艺优化

开采方式应根据岩石特性和料场地形选择,采用台阶式分层开采,避免混入覆盖层泥土和风化层。破碎筛分工艺是关键环节,应合理配置颚式破碎机、圆锥破碎机或反击式破碎机,根据岩石硬度选择合适的破碎段数(通常两段或三段破碎)。为提高骨料粒形,可增设整形机改善针片状含量。筛分系统应配备足够的筛分面积和适宜孔径的筛网,定期检查筛网磨损情况,防止超径和逊径颗粒超标。水洗系统对于降低含泥量至关重要,应保证足够的水压和水量,并设置沉砂池回收细砂。加工全过程应实施自动化控制,减少人为因素导致的质量波动。

3.3 运输与堆放管理优化

骨料在运输和堆放过程中易发生二次破碎、离析和污染。运输车辆应密封良好,避免洒漏和混入泥土。不同粒径、不同料源的骨料必须分仓堆放,堆场地面应硬化并设置排水设施,防止积水浸泡和地面泥土混入。骨料堆高度不宜过大,避免底部颗粒压碎。细骨料堆放时间不宜过长,防止含水率变化过大和雨淋板结。在雨季,应设置防雨棚或覆盖防水布。装卸作业应采用分层取料方式,不得从堆底直接掏取,以免引起离析。

3.4 检测频率与方法优化

常规检测应严格按照规范频率执行,但对于重要工程或质量不稳定时期,应提高检测频次。建议引入快速检测技术,如使用激光粒度分析仪快速测定细骨料级配,使用微波水分仪实时监测砂的含水率,以便及时调整混凝土拌合用水量。针对含泥量、针片状含量等关键指标,可增设在线图像识别系统,实现连续监测和异常报警^[4]。检测数据的记录应实现电子化、格式化,便于统计分析。建议建立骨料质量数据库,绘制各指标随时间的变化曲线,运用统计过程控制方法识别质量异常趋势,变事后检测为事中控制。

3.5 信息化与可追溯管理优化

应用物联网和大数据技术构建砂石骨料全过程质量管理平台。在开采、破碎、筛分、运输各环节安装传感器和视频监控,实时采集工艺参数和质量数据。采用二维码或射频识别技术,实现每批骨料从生产到使用的全程追溯。建立质量预警模型,当检测数据超过控制限时自动推送报警信息至相关人员。信息化管理不仅可以提高检测效率,还能积累大量基础数据,为施工企业优化配合比、降低成本和预防质量事故提供决策支持。

3.6 人员培训与制度建设优化

应建立定期培训考核制度,确保检测人员熟练掌握标准方法和操作规范,尤其对于针片状颗粒鉴别、碱活

性矿物鉴定等主观性较强的项目,应通过平行比对试验保证一致性。同时,应完善质量管理制度,明确料源、生产、运输、检测各环节的责任主体和奖惩措施。对于检测不合格批次,必须执行明确的处置流程:标识、隔离、复检、评审、处置,并做好完整记录。建立质量分析例会制度,定期分析检测数据,查找质量波动原因,制定持续改进措施。

4 优化措施的实施效果预估

上述优化措施实施后,预期可在多方面提升砂石骨料质量水平。料源评价优化从源头规避了先天性质量缺陷;开采加工工艺改进显著降低针片状含量和含泥量,提高颗粒级配的稳定性;运输堆放管理减少二次污染和离析;信息化管理和动态检测使质量波动能被及时发现和纠正,合格率可望提高至98%以上。更重要的是,建立全过程质量可追溯体系后,一旦混凝土出现性能异常,可快速定位骨料批次和来源,分析原因并采取措施,避免问题扩大化。从经济角度分析,虽然初期投入检测设备和信息化系统会增加一定成本,但通过减少废料、降低水泥用量、延长结构寿命,全生命周期效益十分显著。

5 结语

砂石骨料质量检测是水利工程质量管理的关键环节。本文系统梳理了颗粒级配、含泥量、泥块含量、针片状含量、压碎指标、坚固性、碱活性、有害物质等关键指标的标准与检测方法,提出从料源、开采加工、运输堆放、检测频率、信息化管理及人员制度等方面优化措施。水利工程建设须贯穿“源头把关、过程控制、动态检测、信息追溯”原则。当前机制砂应用比例提高、绿色矿山要求趋严,检测技术面临新挑战。未来方向包括:开发针对机制砂石特性(石粉含量、级配特征)的专用标准与评价体系;推广现场快速检测与在线监测装备;应用AI实现智能识别与预警;构建区域性骨料质量数据中心。通过持续技术创新与管理优化,为安全耐久、绿色环保的水利基础设施提供可靠材料保障。

参考文献

- [1] 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,(1):246-248.
- [2] 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.
- [3] 邓晴. 水工混凝土水泥、砂石骨料检测及质量控制[J]. 珠江水运,2022,(21):15-17.
- [4] 吴跃文. 砂石骨料对混凝土性能的影响与检测[J]. 砖瓦,2022,(7):39-41.