

集料含泥量与针片状含量对路面性能影响及检测控制

程敏敏

浙江爱丽智能检测技术集团有限公司, 浙江 杭州 311701

DOI:10.61369/ERA.2026050029

摘 要 : 集料作为路面工程的核心组成材料, 其含泥量与针片状含量是影响沥青路面、水泥混凝土路面结构强度、使用性能及服役寿命的关键指标。本文系统分析集料含泥量超标对沥青混合料黏结性能、水稳性及水泥混凝土水化进程、力学强度的劣化机理, 阐明针片状颗粒破坏混合料骨架嵌挤结构、引发应力集中、降低路面承载与抗变形能力的作用机制; 梳理现行水洗法、针片状规准仪法等传统检测技术及图像识别、智能在线监测等新型快速检测方法; 从源头选材、生产加工、现场施工三个维度提出含泥量与针片状含量全过程质量控制措施。严格控制集料含泥量与针片状含量可有效减少路面松散、剥落、车辙、裂缝等病害, 对提升道路工程质量、延长路面使用寿命、降低养护成本具有重要工程意义。

关 键 词 : 集料; 含泥量; 针片状含量; 路面性能

Influence of Mud Content and Flakiness and Elongation Content of Aggregates on Pavement Performance and Their Detection and Control

Cheng Minmin

Zhejiang Aili Intelligent Detection Technology Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311701

Abstract : As a core component material in pavement engineering, the mud content and flakiness and elongation content of aggregates are key indicators that affect the structural strength, service performance, and service life of asphalt and cement concrete pavements. This paper systematically analyzes the deterioration mechanisms of excessive mud content in aggregates on the bonding performance and moisture stability of asphalt mixtures, as well as the hydration process and mechanical strength of cement concrete. It elucidates the mechanisms by which flakiness and elongation particles disrupt the interlocking structure of the mixture, induce stress concentration, and reduce the pavement's load-bearing and deformation resistance capabilities. The paper also reviews current traditional detection techniques such as the water washing method and the flakiness and elongation gauge method, as well as new rapid detection methods such as image recognition and intelligent online monitoring. Quality control measures for the entire process of mud content and flakiness and elongation content are proposed from three dimensions: material selection at the source, production and processing, and on-site construction. Strict control of the mud content and flakiness and elongation content of aggregates can effectively reduce pavement distress such as raveling, spalling, rutting, and cracking, which is of significant engineering importance for improving road quality, extending pavement service life, and reducing maintenance costs.

Keywords : aggregates; mud content; flakiness and elongation content; pavement performance

引言

近年来, 随着我国交通运输量的持续增长, 重载、高频荷载作用下, 路面早期病害问题日益突出, 如沥青路面松散、剥落、车辙, 水泥混凝土路面断板、裂缝等, 不仅降低了路面的使用性能和服役寿命, 还大幅增加了养护维修成本, 影响交通运输的顺畅性与安全性。大量工程实践与研究表明, 集料含泥量超标会破坏集料与胶结料(沥青、水泥)的黏结效果, 降低混合料强度与水稳定性; 针片状颗粒则会破坏混合料的嵌挤骨架结构, 导致路面承载能力下降、抗变形性能不足, 二者均会显著劣化路面综合性能。因此, 深入探究集料含泥量与针片状含量对路面性能的影响机理, 梳理科学高效的检测技术, 制定全过程质量控制措施, 对解决路面早期病害、提升工程质量、延长路面服役寿命具有重要的理论价值与工程实践意义。本文围绕上述核心问题, 系统分析影响机理、梳理检测方法、提出控制措施, 为路面工程集料质量管控提供技术参考与实践指导。

一、集料含泥量对路面性能的影响机理分析

（一）对沥青混合料性能的影响

沥青混合料的性能取决于集料与沥青的黏结及集料嵌挤作用，集料含泥量超标会严重破坏这一平衡，大幅降低其综合路用性能。泥土亲水性强，会在集料表面形成隔离膜，阻碍沥青黏附，导致黏结强度下降、集料剥离，在荷载作用下易出现路面松散、剥落。同时泥强度低、塑性大，会降低混合料强度与承载能力，易产生车辙、沉陷。此外，泥土吸水膨胀，会破坏混合料体积稳定性，降低抗冻性与耐久性，缩短路面寿命，多雨地区更易出现坑槽等病害，影响行车安全。

（二）对水泥混凝土路面性能的影响

随着建筑行业工业化发展，预制构件与商品混凝土的广泛应用，对混凝土性能稳定性要求越发严格^[1]。水泥混凝土路面的强度主要来源于水泥水化反应形成的胶结体与集料的结合作用，含泥量超标会直接影响水泥的水化进程及集料与水泥石的黏结质量，进而降低混凝土的力学性能与耐久性^[2]。一方面，泥颗粒会吸附水泥颗粒及水化产物，阻碍水泥的正常水化反应，导致水泥水化不充分，混凝土的抗压强度、抗折强度显著降低，无法满足路面承载要求。研究表明，当集料含泥量超过规范限值1倍时，水泥混凝土的抗压强度会下降15%~25%，抗折强度下降10%~20%，易导致路面出现断板、裂缝等病害^[3]。另一方面，泥颗粒的存在会增加混凝土的用水量，为保证混凝土的工作性，需增加水泥用量，不仅提高了工程造价，还会导致混凝土内部水化热增加，收缩量增大，易产生温度裂缝与干缩裂缝。

二、集料针片状含量对路面性能的影响机理分析

（一）对混合料结构性能的影响

路面混合料的结构稳定性依赖于集料颗粒间的嵌挤咬合作用，针片状颗粒的存在会破坏这种嵌挤结构，导致混合料的结构稳定性下降^[4]。对于沥青混合料而言，针片状颗粒由于形状不规则，颗粒间的接触面积小、嵌挤力弱，在车辆荷载反复作用下，易发生颗粒转动、位移，导致混合料内部空隙率增大、密度下降，结构松散^[5]。同时针片状颗粒的受力性能差，在荷载作用下易折断、破碎，产生细小颗粒，进一步破坏混合料的骨架结构，导致路面出现车辙、沉陷等变形病害^[6]。对于水泥混凝土而言，针片状颗粒与水泥石的黏结面积小，且受力时易产生应力集中，导致水泥石与集料的结合面出现裂缝，进而影响混凝土的整体强度与结构稳定性。

（二）对路面使用性能的负面影响

针片状含量超标不仅会影响混合料的结构性能，还会对路面的使用性能产生多方面的负面影响，缩短路面的使用寿命^[7]。针片状颗粒易折断、破碎，会导致路面表层集料脱落，使路面出现起砂、松散现象，影响路面的平整度与抗滑性能，增加车辆行驶的颠簸感，降低通行舒适性，同时也会增加交通事故的风险^[8]。针片状颗粒破坏了混合料的骨架结构，导致路面的承载能力下降，

在车辆荷载反复作用下，易产生车辙、沉陷、裂缝等病害，增加养护成本。此外，针片状颗粒的存在会降低路面的抗冻性与抗水损害能力，在冻融循环与雨水侵蚀作用下，路面病害会进一步加剧，缩短路面的使用寿命^[9]。例如在重载交通路段，针片状含量超标的沥青路面，使用1~2年后就可能出现明显的车辙与松散现象，需要进行大面积养护维修。

三、集料含泥量与针片状含量的试验检测方法

（一）含泥量检测技术与标准

我国现行规范对集料含泥量的检测方法有明确规定，主要采用水洗法，适用于粗集料、细集料的含泥量检测，核心原理是通过水洗去除集料中的细颗粒杂质，称量杂质质量与集料总质量的比值，得到含泥量^[10]。具体检测步骤如下，称取一定质量的集料试样，放入洗砂容器中，加入适量的水，充分搅拌，使集料表面的泥颗粒与集料分离；通过标准筛（0.075mm）过滤，将洗净的试样收集起来，烘干至恒重；称量洗净试样烘干后的质量，计算含泥量，即含泥量 = （集料试样质量 - 洗净试样烘干质量） / 集料试样质量 × 100%。检测过程中，需注意避免集料颗粒的流失，确保洗砂充分，烘干温度控制在105 ± 5℃，烘干时间不少于4h，直至恒重。现行相关标准主要有《公路工程集料试验规程》JTG 3432-2024、《建设用砂》（GB/T 14684-2022）、《建设用卵石、碎石》（GB/T 14685-2022）、JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》，其中对不同用途、不同规格集料的含泥量限值作出了明确规定，检测结果需符合相应标准要求，否则判定为不合格集料，不得用于路面施工。

（二）针片状含量检测技术与标准

集料针片状含量的检测方法主要有两种，手工筛析法（适用于粗集料）与图像分析法（适用于各类集料），其中手工筛析法是工程实践中最常用的方法，核心原理是通过专用量规，筛选出针状、片状颗粒，称量其质量与集料总质量的比值，得到针片状含量。手工筛析法的具体步骤如下，称取一定质量的粗集料试样，筛选出粒径大于4.75mm的颗粒（细集料一般不检测针片状含量）；使用针片状颗粒专用量规，逐一检测试样颗粒；称量筛选出的针片状颗粒质量，计算针片状含量，即针片状含量 = （针片状颗粒质量 / 集料试样质量） × 100%。检测过程中，需注意量规的使用规范，确保颗粒尺寸测量准确，避免误判。图像分析法是一种较为先进的检测方法，通过图像采集设备获取集料颗粒的图像，利用软件对颗粒的长、宽、厚进行自动测量，筛选出针片状颗粒并计算含量，具有检测效率高、精度高、自动化程度高的优点，适用于大规模、快速检测。现行相关标准与含泥量检测标准一致，对不同等级路面、不同用途集料的针片状含量限值作出了明确规定，检测结果需符合标准要求。

（三）快速检测与智能监控技术探索

随着路面工程质量管控要求的提高，传统的手工检测方法已难以满足大规模、高效率的检测需求，快速检测与智能监控技术逐渐应用于集料含泥量与针片状含量的检测中，有效提升了检测

效率与精度。在含泥量快速检测方面，目前已研发出便携式含泥量检测仪，其原理是通过检测集料的电导率、吸水率等指标，间接反映含泥量，检测时间短（每批次检测时间不超过10min），操作简便，适用于现场快速筛查不合格集料，可有效减少手工检测的工作量。在针片状含量快速检测方面，图像识别技术得到广泛应用，通过便携式图像采集设备与智能分析软件，可实现集料针片状含量的快速检测，检测精度与手工检测相当，且检测效率提升3-5倍，适用于生产加工现场与施工工地的快速检测。此外，智能监控技术已开始应用于集料生产加工全流程，通过在破碎机、筛分机等设备上安装传感器与图像采集设备，实时监测集料的加工过程，自动检测含泥量、针片状含量等指标，一旦发现指标超标，立即发出预警信号，及时调整加工参数，实现集料质量的实时监控与动态调整。

四、施工过程中的质量控制措施

（一）源头控制措施

集料质量的源头控制是保障路面性能的基础，核心是选择合格的集料开采场地与供应商，从源头减少含泥量与针片状含量超标的风险。严格筛选集料开采场地，优先选择地质条件良好、杂质含量少、颗粒形状规则的采石场、采砂场，避免选择土质含量高、风化严重的场地。开采前需对场地的集料进行抽样检测，确认含泥量、针片状含量等指标符合规范要求后，方可进行开采。选择信誉良好、生产能力强、质量管控严格的供应商，签订供货合同，明确集料的质量标准、检测要求及违约责任，要求供应商提供每批次集料的质量检测报告，确保集料质量可追溯。

（二）生产加工过程控制

集料生产加工过程是控制含泥量与针片状含量的关键环节，需通过优化加工工艺、加强设备管理，确保集料质量符合要求。在含泥量控制方面，加工前需对原材料进行清洗，采用水洗设备去除集料表面的泥土、杂质，清洗后的集料需烘干至规定含水率，避免水分携带泥颗粒；加工过程中，定期清理加工设备（如破碎机、筛分机），防止设备内壁附着的泥土混入集料中；加工后的集料需分类堆放，堆放场地需硬化处理，设置防雨、防尘设施，避免雨水冲刷、灰尘污染导致含泥量增加。在针片状含量控制方面，优化破碎工艺，选择合适的破碎机类型（如反击式破碎

机、圆锥式破碎机），调整破碎参数（如破碎腔间隙、转速），减少针片状颗粒的产生；加工过程中，通过筛分设备筛选出针片状颗粒，单独堆放，严禁混入合格集料中；定期对破碎设备进行维护保养，确保设备运行正常，避免因设备故障导致针片状含量超标。此外，每批次集料加工完成后，需进行抽样检测，检测合格后方可入库备用。

（三）现场施工质量控制

现场施工过程中的质量控制，核心是严格执行进场检测、合理堆放、规范使用，确保不合格集料不进入施工环节。严格执行集料进场检测制度，每批次集料进场后，需由专业检测人员进行抽样检测，检测项目包括含泥量、针片状含量等，检测合格后方可进场使用；对于检测不合格的集料，需及时清理出场，严禁使用。其次，集料进场后，需按规格、类型分类堆放，设置明显的标识牌，堆放场地需硬化、平整，做好防雨、防尘、防污染措施，避免不同规格、不同质量的集料混合堆放，同时防止泥土、杂质混入集料中。此外，在路面混合料搅拌过程中，需严格控制集料的用量，确保混合料配合比符合设计要求；搅拌前，需再次检查集料的质量，避免因堆放过程中污染导致含泥量、针片状含量超标；搅拌过程中，确保搅拌均匀，使集料与胶结料充分结合，提升混合料的性能。施工过程中，定期对现场使用的集料进行抽样复检，及时发现问题并采取整改措施，确保路面施工质量。

五、结束语

本文围绕集料含泥量与针片状含量对路面性能的影响及检测控制展开系统研究，结合工程实践与相关标准，全面剖析了二者对沥青路面、水泥混凝土路面性能的劣化机理，梳理了传统检测与新型智能检测技术的应用要点，提出了从源头、生产到现场施工的全过程质量控制措施，形成了一套较为完整的集料质量管控思路。随着路面工程质量管控要求的不断提高，集料质量检测与控制技术仍有进一步优化的空间。未来可结合智能化、数字化技术，进一步完善集料快速检测设备与智能监控系统，提升检测效率与精度；同时深入研究不同地质条件、不同交通荷载下集料质量指标的合理限值，为路面工程集料质量管控提供更精准的技术支撑。

参考文献

[1] 张秦. 建筑用砂含泥量对混凝土性能影响的试验研究 [J]. 实验室检测, 2025, 3(21): 60-62.
[2] 黄海波. 集料含泥量快速检测方法的研究与应用 [J]. 广东建材, 2025, 41(04): 49-52.
[3] 周康祥. 细集料含泥量对标准化拌制混凝土性能的影响 [J]. 中国标准化, 2022, (12): 163-165+173.
[4] 陈建斌. 集料含泥量对混凝土性能的影响分析 [J]. 福建建材, 2020, (10): 17-18+40.
[5] 孙玉齐, 张鑫华. 全自动集料含泥量分析机集成控制系统设计 [J]. 住宅与房地产, 2020, (23): 139+142.
[6] 程景芳. 集料含泥量对沥青混合料水稳定性影响探究 [J]. 工程建设与设计, 2020, (09): 203-205.DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2020.05.074.
[7] 曹越. 高含泥量集料对混凝土拌合物性能的影响及对策分析 [J]. 建材与装饰, 2020, (03): 57-58.
[8] 刘鹏飞. 针片状颗粒含量对沥青混合料路用性能的影响分析 [J]. 交通世界, 2024, (36): 13-15.DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2024.36.033.
[9] 刘曼曼, 王磊, 刘亚涛. 粗集料针片状颗粒含量对沥青混凝土性能的影响研究 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12(13): 80-82+87.DOI: 10.19981/j.CN23-1581/G3.2022.13.018.
[10] 边建民, 任亚伟. 针片状含量对排水沥青混合料路用性能的影响 [J]. 交通世界, 2021, (28): 137-139.DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2021.28.065.