

# 公路工程中粗集料压碎值与路面抗滑性能关系分析

翟书永 李玉根

河南省大道路业有限公司 河南 郑州 450007

**摘要:** 为明确粗集料压碎值对路面抗滑性能的影响机制,提升公路行车安全水平,本文系统分析粗集料压碎值的核心特性及路面抗滑性能的构成与评价指标,深入探讨压碎值与集料形态、路面耐久性的关联规律,剖析压碎值与磨光值、颗粒级配的协同作用。研究表明,压碎值通过调控集料完整性、棱角性及级配稳定性直接影响抗滑构造形成,通过影响路面结构稳定性间接决定抗滑耐久性。基于此提出集料选材加工、混合料设计施工及预防性养护等优化策略,为公路工程中通过管控压碎值提升路面抗滑性能提供技术参考。

**关键词:** 公路工程;粗集料;压碎值;抗滑性能;关联性

**引言:** 路面抗滑性能是保障公路行车安全的核心指标,其优劣直接关联交通事故发生率。粗集料作为路面结构的核心骨架材料,其性能参数对路面抗滑性能具有决定性影响,其中压碎值表征集料抗破碎能力,与抗滑性能的关联尚未被系统厘清。当前公路运营中,部分路段因集料压碎值管控不当导致抗滑性能快速衰减,影响通行安全。因此,开展粗集料压碎值与路面抗滑性能关系研究,明确二者关联机制并提出优化策略,对完善路面材料选型标准、提升公路工程质量及延长路面服役寿命具有重要现实意义。

## 1 公路工程粗集料核心性能参数

### 1.1 粗集料压碎值的定义与表征意义

粗集料压碎值是衡量粗集料在逐渐增大的静压力作用下抵抗压碎能力的关键技术指标,表征集料颗粒在工程荷载作用下保持自身完整性的能力。该指标本质反映了集料内部结构的致密性、矿物组成的稳定性及颗粒间的结合强度,是评估粗集料在路面结构中承受车辆荷载、抵抗破碎变形能力的核心参数。其数值大小直接关联路面结构的承载稳定性与耐久性,对路面抗滑性能的长效维持具有基础支撑作用,是集料选型与质量控制的重要依据。

### 1.2 粗集料压碎值的测试标准与影响因素

粗集料压碎值测试需遵循现行公路工程集料试验规范,通过特定规格的试筒、压头施加标准荷载,测定试验后一定粒径范围内集料的质量占比以确定压碎值。测试过程的规范性、荷载施加速率、集料级配控制等均会影响测试结果的准确性。影响压碎值的核心因素包括集料的矿物成分与结构、颗粒形态与级配、含水率及前期受力状态等。其中,矿物硬度越高、内部孔隙率越低,集料压碎值越小;颗粒棱角性越显著、级配越合理,其

抗压碎能力越强。

### 1.3 其他关联性能参数(级配、磨耗值、棱角性)概述

粗集料的级配、磨耗值与棱角性是压碎值协同影响路面性能的关键关联参数。级配反映集料颗粒的大小分布规律,直接影响集料嵌挤密度与骨架稳定性;磨耗值表征集料抵抗车轮摩擦、撞击作用的能力,决定路面抗滑性能的耐久性;棱角性则体现集料颗粒的不规则程度,影响颗粒间的嵌挤咬合作用与摩擦力。这些参数与压碎值相互关联、相互制约,共同构成粗集料综合性能评价体系,其协同作用直接决定路面结构的抗滑稳定性与使用寿命<sup>[1]</sup>。

## 2 路面抗滑性能的构成与评价指标

### 2.1 路面抗滑性能的构成

路面抗滑性能的核心构成源于路面与车轮接触面的力学作用及表面形态特性,主要包括两个关键维度:(1)宏观构造层面,即路面表面较大尺度的凹凸形态,其通过增大车轮与路面的接触面积、形成排水通道减少水膜影响,为抗滑性能提供基础支撑,宏观构造的合理性直接决定路面在雨天等恶劣条件下的抗滑稳定性;(2)微观纹理层面,指集料颗粒表面的细微起伏与粗糙度,其通过增强接触面的分子间作用力和机械咬合作用提升摩擦系数,是干燥路面抗滑性能的核心保障,微观纹理的磨损衰减直接影响抗滑性能的长效性。两者协同作用,共同决定路面整体抗滑能力,且均与粗集料性能存在紧密关联。

### 2.2 路面抗滑性能的核心评价指标

结合公路工程实际检测需求,路面抗滑性能的核心评价指标主要包括:(1)构造深度,作为表征路面宏观构造的关键指标,反映路面表面凹凸不平的平均深度,其数值越大,表明路面宏观排水能力和嵌挤作用越强,抗滑

潜力越高,是评估路面雨天抗滑性能的重要依据,检测结果直接指导路面表层混合料的级配设计;(2)摆式摩擦系数(摆值),主要衡量路面微观纹理的抗滑能力,通过模拟车轮滑动过程中的摩擦效应获取,能有效反映干燥及潮湿路面的即时抗滑水平,是判断路面是否满足行车安全要求的核心参数;(3)动态摩擦系数,补充表征不同行车速度下的路面抗滑性能,适配不同等级公路的车速需求,为精准匹配路用抗滑标准提供支撑<sup>[2]</sup>。

### 3 公路工程中粗集料压碎值与路面抗滑性能关联性分析

#### 3.1 压碎值对集料形态的影响

粗集料压碎值与集料形态存在直接且显著的关联性,压碎值通过调控集料颗粒的物理形态特征,间接作用于路面抗滑性能的形成与维持,具体关联表现为:(1)颗粒完整性关联,压碎值越低,集料抵抗外力破碎的能力越强,在公路工程常见的碎石生产颚式破碎、运输颠簸及摊铺碾压等全流程受力环节中,保持原有形态完整性的概率越高,可有效避免因颗粒破碎产生过多细料堵塞混合料空隙,从而保障集料颗粒间充足的有效接触面积,为摩擦作用提供基础;反之,压碎值过高时,集料颗粒在上述荷载作用下易发生断裂、崩解,产生大量不规则碎屑,不仅破坏自身形态稳定性,还会干扰混合料整体结构形成。(2)棱角性保留关联,低压碎值集料通常具备更优的矿物致密性,其颗粒棱角在受力过程中不易磨损、钝化,能更好地保留不规则凸起与咬合边缘,这种形态特征可显著提升颗粒间的嵌锁力度;而高压碎值集料的棱角部位因矿物结构稳定性不足,易在外力作用下崩落,导致颗粒趋于圆化,大幅降低颗粒间的嵌挤摩擦效应,削弱路面抗滑的结构基础。(3)级配稳定性关联,压碎值通过影响颗粒破碎程度调控集料级配状态,低碎值集料在施工及运营初期的受力过程中破碎量少,级配波动较小,能快速形成稳定的骨架密实结构,为路面宏观构造和微观纹理的构建提供可靠基础;高压碎值集料因颗粒易破碎,会导致实际级配偏离设计方案、趋于偏细,破坏原本设计的骨架嵌挤体系,进而直接影响路面抗滑构造的成型质量与功能发挥。

#### 3.2 压碎值与路面耐久性的间接关联

粗集料压碎值通过影响路面结构稳定性,间接关联抗滑性能的耐久性,二者的间接关联贯穿路面使用寿命全过程,核心关联逻辑体现在:(1)荷载承载稳定性关联,低压碎值集料构建的路面骨架结构承载能力更强,在长期车辆荷载反复作用下,尤其是在重载交通路段的高频次碾压工况中,不易发生颗粒下沉、位移或二次破

碎,能长期维持路面抗滑构造的形态完整性;高压碎值集料构成的骨架结构稳定性不足,在持续荷载作用下易出现结构致密化,导致路面宏观构造深度衰减加快,抗滑性能逐步下降,难以满足长期行车安全需求。(2)水稳定性关联,压碎值显著影响集料与结合料的黏结稳定性,低压碎值集料表面相对完整,与沥青或水泥等结合料能形成更稳定的黏结界面,可有效减少雨水渗透对界面的侵蚀破坏,避免因集料脱落导致抗滑构造缺失;高压碎值集料因颗粒破碎产生的细料表面积大,易与水混合形成泥浆状物质,大幅削弱集料与结合料的黏结强度,加速路面剥落、松散等病害发育,进而破坏抗滑性能连续性与稳定性。(3)抗疲劳损伤关联,低压碎值集料的颗粒强度与形态稳定性更优,能降低路面结构在长期循环荷载下的疲劳损伤累积,延缓路面开裂、变形等病害的产生,为抗滑性能的长效维持提供坚实的结构保障;高压碎值集料易在疲劳荷载作用下发生持续破碎,进一步加剧路面结构的损伤程度,导致路面抗滑性能提前进入快速衰减期,缩短路面抗滑功能的有效服役年限。以高速公路表层沥青路面为例,采用压碎值 $\leq 26\%$ 的玄武岩集料路段,其抗滑构造深度在运营3年后的衰减率不足15%,而采用压碎值32%的同类集料路段,衰减率超过28%,直观体现了压碎值通过影响路面耐久性间接作用于抗滑性能的关联规律。这种间接关联表明,压碎值不仅影响抗滑性能的初始水平,更决定了抗滑性能的长期稳定效果,是路面抗滑耐久性控制的关键间接指标,对公路工程的长期运营安全与养护成本控制具有重要意义<sup>[3]</sup>。

### 4 压碎值与其他集料性能的协同作用

#### 4.1 磨光值与抗滑性能的直接关联及与压碎值的协同效应

磨光值与路面抗滑性能存在直接且核心的关联,具体表现为:(1)核心关联逻辑,磨光值本质表征集料颗粒表面抵抗轮胎长期摩擦磨光的能力,其数值高低直接对应集料表面微观纹理的保留能力,数值越高,微观纹理在行车荷载反复作用下越不易磨损钝化,进而持续为路面抗滑性能提供核心支撑;(2)与压碎值的功能差异,压碎值聚焦集料的力学强度特性,核心作用是保障集料颗粒在荷载作用下的形态完整性,避免因颗粒破碎破坏路面骨架结构;磨光值则聚焦集料表面的耐磨耐久性,核心作用是维持路面长期运营中的微观抗滑纹理,二者在功能维度形成互补;(3)协同影响机制,二者共同构成集料抗滑性能的核心保障体系,仅具备低压碎值而磨光值不足的集料,虽能维持颗粒完整性,但表面易磨光导致抗滑性能快速衰减;仅具备高磨光值而压碎值过高

的集料,虽表面耐磨,但颗粒易破碎导致抗滑构造失效,只有二者协同匹配,才能实现路面抗滑性能的初始水平与长期稳定性双重保障。

#### 4.2 颗粒级配与构造深度的关系及与压碎值的协同效应

颗粒级配与路面构造深度存在直接关联,且与压碎值形成显著的协同作用,具体关联逻辑为:(1)级配构造对构造深度的直接影响,合理的颗粒级配通过不同粒径颗粒的有序嵌挤,形成连续且稳定的孔隙结构,该结构是路面宏观构造深度的核心载体,能有效提升路面排水能力与车轮接触摩擦力;级配的连续性均匀性直接决定孔隙结构的稳定性,进而影响构造深度的大小与持久度;(2)压碎值对级配稳定性的调控作用,压碎值通过影响集料颗粒的抗破碎能力,间接决定级配的长期稳定性;压碎值过高时,集料在生产、施工及运营荷载作用下易破碎产生细颗粒,这些细颗粒会填充级配形成的孔隙,破坏原有孔隙结构的完整性,导致构造深度降低;压碎值较低时,集料颗粒抗破碎能力强,能长期维持设计级配的形态,保障孔隙结构稳定,进而维持构造深度的设计水平;(3)协同作用核心,合理级配为构造深度提供初始结构基础,低压碎值为级配稳定性提供力学保障,二者协同作用才能确保路面宏观抗滑构造的初始形成与长期维持,共同支撑路面抗滑性能的稳定发挥<sup>[4]</sup>。

### 5 优化压碎值提升抗滑性能的策略

#### 5.1 集料选材与加工工艺优化

围绕压碎值优化的集料选材与加工策略核心在于提升集料本质性能与形态稳定性,具体包括:(1)科学选材管控,明确不同等级公路的压碎值控制阈值,优先选用矿物致密、抗压强度高的集料类型,同时建立进场前压碎值抽检机制,杜绝不合格集料投入使用;(2)加工工艺调整,优化破碎设备参数与流程,采用多段式破碎工艺减少颗粒过度破碎,控制破碎过程中的粒径分级精度,同步保留集料原生棱角性,避免加工环节导致压碎值劣化。

#### 5.2 混合料设计与施工控制

通过混合料设计与施工管控协同保障压碎值优势发挥,

策略要点为:(1)混合料级配优化,结合压碎值特性设计适配的级配方案,构建稳定的骨架嵌挤结构,预留合理孔隙率,避免高压碎值集料破碎后细料填充孔隙;(2)施工过程管控,严格控制摊铺与碾压参数,避免过度碾压导致集料二次破碎,同时加强混合料拌和均匀性控制,确保集料与结合料黏结充分,提升结构整体稳定性。

#### 5.3 预防性养护技术应用

依托预防性养护延缓压碎值相关的抗滑性能衰减,关键措施包括:(1)定期性能监测,建立路面抗滑指标与集料压碎值关联的长期监测体系,精准识别抗滑性能衰减趋势;(2)及时养护干预,针对压碎值较高路段的抗滑衰减问题,提前采用表面封层、微表处等技术,补充路面抗滑纹理,减少集料进一步破碎与磨损,延长抗滑性能服役周期。

结束语:本文通过系统研究明确了粗集料压碎值与路面抗滑性能的内生关联,分析了压碎值通过集料形态调控直接影响抗滑构造、通过结构稳定性间接影响抗滑耐久性的作用路径,验证了其与其他集料性能的协同效应。提出的多维度优化策略为工程实践提供了可行方案。后续研究可聚焦不同气候与交通工况下压碎值的动态控制标准,结合新型检测技术实现抗滑性能的精准预判与管控。强化粗集料压碎值管控对提升公路行车安全、降低养护成本具有重要价值,应在公路工程实践中持续推广应用。

#### 参考文献:

- [1]林瑞慧.基于加速磨光试验的不同粗集料对沥青路面抗滑耐久性影响及经济环境效益分析[J].福建交通科技,2024(11):1-8.
- [2]富华.基于石灰岩的沥青路面抗滑耐磨性能影响分析[J].交通世界,2025(31):58-60.
- [3]段文超.石灰岩粗集料沥青路面抗滑耐磨性能研究[J].山西交通科技,2021(1):35-38+53.
- [4]龙承梁,余忠磊.沥青路面抗滑性能影响因素研究[J].公路交通技术,2023,39(1):54-59.