

[补充信息]

路用高抗滑集料耐磨性能评价与机理分析

熊锐^{1,✉}, 杨发², 关博文¹, 谢超¹, 李立顶³, 盛燕萍¹, 陈华鑫¹

1 长安大学材料科学与工程学院, 西安 710061

2 云南省交通投资建设集团有限公司, 昆明 650200

3 吉林大学交通学院, 长春 130022

[Supplementary Information]

Wear Resistance of Highly Anti-skid Aggregate for Pavement: Evaluation and Mechanism Analysis

XIONG Rui^{1,✉}, YANG Fa², GUAN Bowen¹, XIE Chao¹, LI Liding²,

SHENG Yanping¹, CHEN Huaxin¹

1 School of Materials Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061

2 Yunnan Communications Investment & Construction Group Co., Ltd, Yunnan Kunming 650200

3 School of Transportation, Jilin University, Changchun 130022

原材料

本文选用的集料分别为山西阳泉 88#煅烧铝矾土和 75#煅烧铝矾土、陕西秦岭花岗岩以及陕西咸阳玄武岩等四种集料, 其基本物理力学性能指标如表 s1 所示。

表 s1 集料基本物理性能

Table s1 Basic physical properties of aggregates

Aggregate type	Apparent density g/cm ³	Surface dry density g/cm ³	Bulk density g/cm ³	Water absorption n%	Crushing value/%	LA %	Vickers-hardness Hv
88# calcined bauxite	3.431	3.352	3.171	1.462	7.74	10.61	1 721.33
75# calcined bauxite	3.145	3.034	2.982	5.189	18.67	13.82	1 184.85
Granite	2.826	2.782	2.743	0.511	12.5	21.1	884.85
Basalt	3.035	2.952	2.885	0.787	11.5	12.9	520.46

试验方法

(1) 洛杉矶磨耗试验

为研究不同转数条件下集料形态特征与集料抗磨耗性能的关系,从四种集料中筛选了 4.75mm-9.5mm, 9.5mm-13.2mm 两种粒径的粗集料各 2500g,混合后四种试样总质量分别为 5000g;然后,每种集料按照 0 次、500 次、1000 次、1500 次、2000 次进行磨耗试验。为避免在长期磨耗过程中钢球对集料造成的破碎影响,仅选用 4 个钢球参与磨耗试验。

(2) 维氏硬度试验

维氏硬度作为一种常用的压入硬度,通过测量抛光表面不同单点的硬度并取平均值,可以有效避免划痕硬度测量方法造成的在同一矿物的相同晶面不同方向上测定出不同硬度数值的误差^[1]。鉴于此,本文选择维氏硬度作为不同集料主要硬度评价指标。本文使用 HVS50 型自动转搭数显维氏硬度计和彩色 3D 激光显微镜来测量样品的维氏硬度,维氏硬度测试方法为:使用带有金刚石压头维氏硬度计进行压入式测试材料,其形状为正方形底座的右棱锥形,相对面之间的角度为 136°,承受 10kg 的负载,作用时间为 15s。使用显微镜测量卸荷后集料表面留下凹痕的两个对角线,并计算它们的平均值,之后计算压痕斜面面积,维氏硬度由公式(1)计算:

$$Hv = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 1.854 \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

式中: Hv 是维氏硬度 (Hv), F 是施加在金刚石上的力 (kgf), d 是压头留下的对角线的平均长度 (mm)。

(3) 分形维数获取

为获取粗集料的宏观轮廓形态特征,本文通过索尼 DSC-RX100M2 数码相机采集集料在不同磨耗周期时的图像,再通过 Image Pro Plus (IPP) 软件处理得出用于定量分析的形态学指标,主要包括分形维数和轴向系数等三维形状指标以及棱角参数等棱角指标。具体计算方法如下^[2,3]:

①分形维数/Fractal Dimension——用于定量描述图形与曲线自相似性的参数。本文采用小岛法对集料颗粒分形维数进行测量计算,其计算公式如下:

$$D = \log (P_E / \delta) / [\log \alpha_0 + \log (A^{1/2} / \delta)] \quad (2)$$

式中: P_E 和 A 分别为封闭分形曲线周长和面积, δ 为测量码尺; α_0 是无量纲常数,称作形状因子。

②轴向系数/Aspect, 表征颗粒的针片状大小,轴向系数越大,颗粒的针状性越大。它反映了集料颗粒宏观整体状态和特征,其计算公式如下:

$$Aspect = \frac{Axis(major)}{Axis(minor)} \quad (3)$$

其中: Axis (major): 颗粒等效椭圆的主轴; Axis (minor): 颗粒等效椭圆的次轴。

③费雷特直径/ Feret diameter——对不规则颗粒大小的描述常用的参数。经过该颗粒的中心,任意方向的直径称为一个费雷特直径,每隔 10° 方向的一个直径都是一个费雷特直径,一般将 36 个费雷特直径总和起来描述一个颗粒。

④棱角参数/Angularity Parameter, 用外切多边形周长与等效椭圆周长之间的差异来表征颗粒的棱角特性,其值越大,则表明棱角性越丰富,其计算公式如下:

$$AngularityParameter = \left(\frac{Perimeter_{convex}}{Perimeter_{(ellipse)}} \right)^2 \quad (4)$$

其中: Perimeter (ellipse) 为颗粒等价椭圆周长。

参考文献:

[1] CAI Li-qing. Vickers Hardness Experiment and Analysis of Main Effective Factors[J]. Physics Examination and Testing. 2008, 26(5):21-23 (in Chinese) .

蔡丽清. 维氏硬度试验及其主要影响因素分析[J]. 物理测试. 2008, 26(5):21-23.

[2] Wang Hainian, Hao Peiwen, Xiao Qingyi, et al. Digital image evaluation method for angularity of coarse aggregates[J]. Journal of Southeast University(Natural Science Edition). 2008, 38(4):637-641 (in Chinese) .

汪海年, 郝培文, 肖庆一, 等. 粗集料棱角性的图像评价方法[J]. 东南大学学报(自然科学版). 2008, 38(4):637-641.

[3] LI Xiaoyan, BU Yin, WANG Hainian, et al. Research on Quantitative Evaluation of Morphological Characteristic of Coarse Aggregate[J]. Journal of Building Materials, 2015, 18(3):524-530 (in Chinese) .

李晓燕, 卜胤, 汪海年, 等. 粗集料形态特征的定量评价指标研究[J]. 建筑材料学报. 2015, 18(3):524-530.