



团 体 标 准

T/JSCTS 98—2026

沥青路面用钢渣预处理技术规范

Technical specification for pretreatment of steel slag for asphalt pavement

2026-06-11 发布

2026-08-01 实施

江苏省综合交通运输学会 发 布
中 国 标 准 出 版 社 出 版

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 钢渣粗集料 2

 4.1 粒径规格 2

 4.2 物理指标 3

 4.3 化学指标 3

 4.4 体积膨胀率 4

5 预处理 4

 5.1 一般规定 4

 5.2 自然陈化处理 4

 5.3 浸水陈化处理 4

 5.4 酸溶液处理 4

 5.5 固碳处理 4

 5.6 有机硅溶液处理 4

6 检验 5

附录 A（规范性） 钢渣粒形技术要求及测试方法 6

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏永钢集团有限公司提出。

本文件由江苏省综合交通运输学会归口。

本文件起草单位：江苏永钢集团有限公司、东南大学、苏州交通投资集团有限责任公司、苏州交通工程集团有限公司、苏州三创路面工程有限公司。

本文件主要起草人：胡俊辉、罗桑、任晓健、王新明、刘进步、胡靖、朱海亚、陆卫、路明鉴、徐汉江、袁希一、万奇林、吴鑫、范文忠、朱孔进、朱惠勇、赵伟翔、张刚、朱宇昕、王丽丽、殷金海、闻舞、张翼、李昊、刘珂昕、姜长博。

沥青路面用钢渣预处理技术规范

1 范围

本文件规定了沥青路面用钢渣预处理的钢渣粗集料、预处理和检验。
本文件适用于沥青路面用钢渣的预处理。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB/T 25824—2010 道路用钢渣
- GB 28664 炼钢工业大气污染物排放标准
- JTG 3432—2024 公路工程集料试验规程
- JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
- YB/T 148 钢渣中全铁含量测定方法
- YB/T 4328 钢渣中游离氧化钙含量测定方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

钢渣粗集料 steel slag coarse aggregate
经预处理后用于沥青路面粗集料的钢渣。

3.2

粒形 particle shape
通过图像分析对钢渣粗集料的几何特征进行统计、描述、评价的指标。

3.3

钢渣粗集料孔隙率 steel slag coarse aggregate porosity
钢渣粗集料中孔隙体积占总体积的百分比。

3.4

金属铁 metallic iron
钢渣粗集料中以单质或合金形态物理嵌布的铁元素。

3.5

游离氧化钙 free calcium oxide
钢渣粗集料中游离状态存在的活性氧化钙。

3.6

膨胀率 dilatation

钢渣粗集料在浸水后产生的体积膨胀变化量与原体积之比。

3.7

重金属浸出含量 heavy metal leaching content

钢渣粗集料重金属元素析出含量。

3.8

陈化处理 aging treatment

钢渣粗集料通过自然堆积或浸水以降低体积不安定性的方法。

3.9

酸溶液处理 acid solution treatment

钢渣粗集料通过浸泡或喷洒酸溶液以降低体积不安定性的方法。

3.10

有机硅溶液处理 silicone solution treatment

钢渣粗集料通过喷洒有机硅溶液以降低体积不安定性的方法。

4 钢渣粗集料

4.1 粒径规格

4.1.1 破碎工艺

钢渣破碎宜采用机械破碎工艺,可选用颚式破碎机、圆锥破碎机、反击式破碎机、立轴冲击式破碎机等设备,并应根据破碎工艺及粒形要求进行选型与配置。

4.1.2 粒径

钢渣粗集料的粒径规格应符合表 1 的规定。

表 1 钢渣粗集料粒径规格

规格名称	粒径 mm	方孔筛孔径的质量通过率/%									公称粒径 mm
		37.5 mm	31.5 mm	26.5 mm	19.0 mm	13.2 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	0.6 mm	
S1	25~30	100	90~100	—	0~10	0~5	—	—	—	—	19~31.5
S2	20~25	—	100	90~100	0~10	0~5	—	—	—	—	19~26.5
S3	15~20	—	—	100	90~100	0~10	0~5	—	—	—	13.2~19
S4	10~20	—	—	100	90~100	—	0~10	0~5	—	—	9.5~19
S5	10~15	—	—	—	100	90~100	0~10	0~5	—	—	9.5~13.2
S6	5~10	—	—	—	—	100	90~100	0~15	0~5	—	4.75~9.5
S7	3~10	—	—	—	—	100	90~100	40~70	0~20	0~5	2.36~9.5
S8	3~5	—	—	—	—	—	100	90~100	0~15	0~3	2.36~4.75

4.2 物理指标

- 4.2.1 钢渣粗集料应为经过冲洗、晾晒等处理后的钢渣,颗粒干燥、洁净。
- 4.2.2 钢渣粗集料的几何特征指标满足附录 A 的要求。
- 4.2.3 钢渣粗集料应符合表 2 的规定。其他物理力学性能技术指标,包括磨光值(表面层)、沥青黏附性、水洗法小于 0.075 mm 颗粒含量、坚固性、针片状颗粒含量等应满足 JTG F40 的要求。

表 2 钢渣粗集料物理力学性能技术要求

指标	单位	技术要求	检测(试验)方法
钢渣粗集料孔隙率	%	≤ 8	JTG 3432—2024 中的 T0309
表观相对密度	—	≥ 3.1	JTG 3432—2024 中的 T0304
吸水率	%	≤ 2.5	JTG 3432—2024 中的 T0307
压碎值	%	≤ 16	JTG 3432—2024 中的 T0316
磨耗值	%	≤ 22	JTG 3432—2024 中的 T0321
软弱颗粒含量	%	≤ 2.8	JTG 3432—2024 中的 T0320

4.3 化学指标

4.3.1 金属铁含量

按照 YB/T 148 进行测试,金属铁含量应低于 2.0%。

4.3.2 游离氧化钙含量

按照 YB/T 4328 进行测试,游离氧化钙的含量应低于 2.5%。

4.3.3 重金属浸出含量

钢渣粗集料应按照以下方法进行测试,浸出液中重金属浓度应符合表 3 的要求。

- a) 以蒸馏水为浸提液,将钢渣粗集料或钢渣沥青混合料分别置于蒸馏水中,质量比为钢渣粗集料:蒸馏水=1:20,钢渣沥青混合料:蒸馏水=1:2。置于 60℃恒温环境中浸提。
- b) 将溶液静置 2 d 后,取上部清液 10 mL 作为检测试样。
- c) 采用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)对溶液进行测试。

表 3 钢渣粗集料中的重金属浸出含量要求

元素	单位	技术要求
铬(Cr)	mg/L	≤ 0.1
镉(Cd)	mg/L	≤ 0.005
铅(Pb)	mg/L	≤ 0.015
砷(As)	mg/L	≤ 0.05
钡(Ba)	mg/L	≤ 0.01
硒(Se)	mg/L	≤ 0.02
银(Ag)	mg/L	≤ 0.05

4.4 体积膨胀率

体积膨胀率试验方法应按 JTJ 3432—2024 中的 T0348 的规定执行,钢渣粗集料体积膨胀率技术要求应符合 GB/T 25824—2010 中表 4 的规定。而当钢渣粗集料用于上面层时,其体积膨胀率要满足小于或等于 1.5% 的要求。

5 预处理

5.1 一般规定

5.1.1 钢渣粗集料应采用陈化处理,也可采用酸溶液处理、有机硅溶液处理以及固碳的处理方式。

5.1.2 陈化处理分为自然陈化和浸水陈化。通过陈化处理降低游离氧化钙含量及浸水膨胀率。

5.1.3 通过酸溶液处理降低游离氧化钙含量及浸水膨胀率。

5.1.4 通过固碳处理降低游离氧化钙含量及浸水膨胀率。

5.1.5 通过有机硅溶液裹附,在钢渣粗集料表面形成膜,避免金属氧化物析出。

5.2 自然陈化处理

5.2.1 自然陈化时间应不低于 6 个月。

5.2.2 应在钢渣粗集料堆存处铺设防扬尘网罩,避免扬尘。钢渣粗集料堆放过程中的粉尘排放应符合 GB 28664 和地方有关规定。

5.2.3 贮存应符合 GB 18599 的有关规定。

5.3 浸水陈化处理

5.3.1 采用常温浸水陈化时,时间不应低于 14 d。

5.3.2 采用 60℃ 条件浸水陈化时,时间不应低于 7 d。

5.3.3 浸水陈化后置于自然环境下干燥。

5.3.4 钢渣粗集料浸水过程中产生的水宜循环使用,外排废水应满足规范 GB 8978 要求。

5.4 酸溶液处理

将乙酸(醋酸)与蒸馏水进行混合,配制浓度为 5%~15% 的酸溶液,将钢渣粗集料在酸溶液中浸泡。浓度为 5%~10% 时,宜浸泡 18 h~36 h;浓度为 10%~15% 时,宜浸泡 12 h~18 h。

5.5 固碳处理

5.5.1 固碳处理应在密闭空间(如气膜)中进行。

5.5.2 二氧化碳体积浓度宜为 40%~80%。

5.5.3 处理时间宜为 48 h~72 h。

5.5.4 反应温度宜为常温,相对湿度宜保持在 60%~90%。

5.6 有机硅溶液处理

5.6.1 将 5% 有机硅、45% 蒸馏水和 50% 无水乙醇配制成 5% 浓度的有机硅溶液。

5.6.2 可采用喷雾的形式,将有机硅溶液充分均匀地喷洒于钢渣粗集料上,常温下静置 2 h。

6 检验

6.1 物理力学指标按每 1 000 t 为一批进行抽检,指标应符合表 2、4.4 和 JTG 3432—2024 的要求;化学指标按每 5 000 t 为一批进行抽检,不足 5 000 t 时至少抽检 1 次,指标应符合 4.3 的要求。

6.2 在进行质量检验时,按随机抽样法,从每批钢渣堆放料堆内部取足够数量的钢渣样品,从 4 处以上取样混合后按分料器法或四分法进行处理,抽取的试样应具有代表性。

附录 A

(规范性)

钢渣粒形技术要求及测试方法

A.1 技术要求

钢渣粗集料几何特征要求见表 A.1。

表 A.1 钢渣粗集料几何特征要求

指标	技术要求
纵横比	≥ 0.67
扁平比	≥ 0.67
球度	≥ 0.6
凸起比	≥ 0.7
粗糙度	≥ 0.1

A.2 测试方法

采用工业 CT 或三维激光/结构光扫描获取单颗粒三维体数据或点云数据,经分割与表面重建获得颗粒三维实体模型(体素体/三角网格)。基于三维模型计算主轴尺寸、体积、表面积、凸包特征及表面起伏特征,并据此计算各粒形指标。

A.3 仪器设备与软件

A.3.1 工业 CT 或三维扫描设备满足下列要求。

- 能输出颗粒三维体数据(CT 体素)或三维点云/网格模型。
- 具备尺度标定能力。
- 空间分辨率满足指标需求:
 - 当用于粒形(主轴比、椭圆度、球度等)评价时,分辨率宜不大于颗粒特征尺寸的 1/200;
 - 当用于粗糙度评价时,分辨率宜不大于预期粗糙度特征尺度的 1/5。

注:钢渣密度高、易产生 CT 伪影时,优先采用三维激光/结构光扫描或采用束硬化校正等措施。

A.3.2 分析软件具备以下功能:

- 三维分割(阈值/区域生长等)与去噪;
- 表面重建(三角网格);
- 几何量测(体积、表面积、凸包、主轴、等效球直径、椭球拟合等);
- 批处理与结果导出。

A.4 试样与取样

A.4.1 试样随机取样,避免人为挑选规则或极端形态颗粒。

A.4.2 每批试样数量不应少于 100 粒;当按粒径分档评价时,每一粒径档不少于 50 粒。

A.4.3 试样洁净、干燥;对表面附着粉尘或疏松物需清理,但不改变颗粒真实形貌。

A.5 扫描与数据获取

A.5.1 尺度标定

采用设备标定工具或标定块完成三维尺度标定,标定误差满足 A.8 的重复性要求。

A.5.2 扫描方式

A.5.2.1 工业 CT:应设置合适的电压、电流与曝光参数,必要时进行束硬化校正、环状伪影校正。

A.5.2.2 三维激光/结构光:应完成多角度扫描并拼接,保证无明显缺口;对高反光点可采用消光处理,但不应改变宏观形貌。

A.5.3 数据输出

应输出颗粒三维体数据或点云/网格数据;宜统一采用同一数据格式与坐标单位(mm)。

A.6 三维重建与基础量测

A.6.1 分割与去噪

应采用阈值或区域生长等方法将颗粒与背景分离;对孔洞、噪点可进行形态学去噪或小连通域剔除。处理规则应固定并记录。

A.6.2 表面重建

将三维体数据或点云生成封闭三角网格模型;网格应无自交、无明显破面。必要时可进行轻度平滑以消除测量噪声,但不得改变宏观棱角与起伏特征;平滑参数应固定并记录。

A.6.3 基础几何量

计算每一颗粒:

- a) 体积 V ;
- b) 表面积 S ;
- c) 凸包体积 V_{ch} 与凸包表面积 S_{ch} ;
- d) 三主轴长度 $a、b、c(a \geq b \geq c)$,主轴可采用 PCA 主轴、最小体积外接包围盒或等效方法(同一工程保持一致);
- e) 等效球直径 D_{eq} 按公式(A.1)计算。

$$D_{eq} = \left(\frac{6V}{\pi} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

D_{eq} ——颗粒的等效球直径(假设颗粒体积与球体体积相等时的直径),单位为毫米(mm)
 V ——颗粒的实际体积,单位为立方毫米(mm³)。

A.7 指标计算

A.7.1 纵横比 AR 计算见公式(A.2)。

$$AR = \frac{a}{b} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

AR ——描述颗粒三维形态细长程度；

a ——颗粒的最长轴尺寸(长轴),单位为毫米(mm)；

b ——颗粒的第二长轴尺寸(中轴),单位为毫米(mm)。

A.7.2 扁平比 FR 计算见公式(A.3)。

$$FR = \frac{c}{b} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

FR ——描述颗粒扁平程度；

c ——颗粒的最短轴尺寸(短轴),单位为毫米(mm)；

b ——颗粒的第二长轴尺寸(中轴),单位为毫米(mm)。

A.7.3 球度 Ψ 计算见公式(A.4)。

$$\Psi = \frac{\pi^{\frac{1}{3}}(6V)^{\frac{2}{3}}}{S} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

Ψ ——衡量颗粒外形与理想球体接近程度；

V ——颗粒的实际体积,单位为立方毫米(mm^3)；

S ——颗粒的实际表面积,单位为平方毫米(mm^2)。

A.7.4 凸起比 PR 计算见公式(A.5)。

$$PR = \frac{S_{\text{ch}}}{S} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

PR ——衡量颗粒外形凸凹程度；

S_{ch} ——颗粒的凸包表面积(完全包裹该颗粒的最小凸形曲面的表面积),单位为平方毫米(mm^2)；

S ——颗粒的实际表面积,单位为平方毫米(mm^2)。

A.7.5 粗糙度 RI :对颗粒表面网格进行“宏观平滑”得到参考表面 S_{ref} ,平滑算法及参数应在同一工程中固定,并满足平滑前后颗粒体积变化率不大于 1%。粗糙度可定义为：

$$RI = \left(\frac{S}{S_{\text{ref}}} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

RI ——描述颗粒表面微观粗糙程度；

S_{ref} ——颗粒的凸包表面积(完全包裹颗粒的最小凸形曲面的表面积),单位为平方毫米(mm^2)；

S ——颗粒的实际表面积,单位为平方毫米(mm^2)；

注： RI 越大表示微观起伏越显著。

A.8 结果统计与质量控制

A.8.1 统计结果

每一颗粒应计算各指标；批次结果宜报告平均值、标准差,并可补充充分位数(如 P95)或超限比例。

A.8.2 一致性要求

同一工程或同一批次对比评价应使用扫描方式与分辨率、分割阈值策略(或等效策略)、重建与平滑参数、主轴计算方法、指标定义与计算口径等指标。

A.8.3 重复性校核

应随机抽取不少于 10% 颗粒重复扫描与计算;同一指标两次结果的相对偏差宜不大于 5%。如超出,应检查标定、分割阈值、重建参数与网格质量。

A.8.4 试验报告

试验报告至少应包括:试样来源与数量、粒径分档、设备型号与分辨率、扫描参数、分割/重建/平滑参数、指标定义与计算口径、统计结果及异常数据处理说明。
