

T/CS

团 体 标 准

T/CS 670—2026

碳化养护全固废钢渣砖

Full solid waste steel slag carbonation-cured bricks

2026 - 10 - 10 发布

2026 - 10 - 10 实施

中国商品学会 发 布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 分类、规格和标记	1
4.1 分类	1
4.2 规格	2
4.3 标记	2
5 原材料	2
5.1 一般规定	2
5.2 钢渣	2
5.3 其他工业固体废弃物	2
5.4 其他材料	3
5.5 碳化养护用 CO ₂	3
6 技术要求	3
6.1 外观质量	3
6.2 尺寸偏差	3
6.3 物理力学性能	4
6.4 体积安定性	4
6.5 抗冻性	4
6.6 碳化养护质量	5
6.7 放射性核素限量	5
7 试验方法	5
7.1 外观质量	5
7.2 尺寸偏差	5
7.3 物理力学	5
7.4 体积安定性	5
7.5 抗冻性	6
7.6 碳化养护	6
7.7 放射性核素限量	6
8 检验规则	6
8.1 检验分类	6
8.2 出厂检验	6
8.3 型式检验	6
8.4 组批与抽样	6
8.5 判定规则	6

9 标志、包装、运输和贮存	7
9.1 标志	7
9.2 包装	7
9.3 运输	7
9.4 贮存	7
附录 A（规范性） 碳化程度试验方法	8
附录 B（资料性） 固碳量计算方法	10
附录 C（资料性） 碳化养护工艺参数推荐	11
参考文献	12

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。

本文件由中国商品学会提出并归口。

本文件起草单位：河南城建学院、河南质量工程职业学院、郑州工程技术学院、平煤神马建工集团有限公司、中铁十一局集团有限公司、禹州市钧都新型建材有限公司、河北共诺新材料科技有限公司、中德新亚建筑材料有限公司、禹州市鼎信实业有限公司、河南康固尔新材料科技有限公司、平顶山市坤石建材有限公司、平顶山市博翔碳素有限公司。

本文件主要起草人：雪凯旺、金彪、徐龙云、罗庆、徐开东、王继娜、李楠、刘丛鹤、胡羽、段楠楠、张舒雅、李志新、张旭立、王荆周、黄冠宇、李英豪、赵云龙、曹琪霖、娄晓宽、王梦姿、张晓雅、卢晓琳、芦会涛、郭振钢、郭宗林、牛陈豪、赵世梁、魏延召、高鹏。

引 言

钢渣是钢铁冶炼过程中产生的主要固体废弃物,我国钢渣年排放量超过1亿吨,综合利用率不足30%。大量堆存的钢渣不仅占用土地资源,还对周边环境造成潜在污染风险。利用钢渣等工业固废,通过CO₂碳化养护技术制备建筑用砖,是消纳固废、固定CO₂、替代传统黏土烧结砖的重要技术途径,对服务国家“双碳”战略目标具有重要意义。

碳化养护全固废钢渣砖是以钢渣为主要原料,辅以矿渣粉、粉煤灰、赤泥等工业固废和外加剂,经配料、混合、压制成型后,在CO₂气氛中进行碳化养护制成的建筑用砖。其核心原理是利用钢渣中的硅酸钙矿物(β -C₂S、 γ -C₂S、C₃S等)和游离氧化钙(f-CaO)与CO₂发生碳酸化反应,生成碳酸钙和硅胶,使制品获得强度并实现CO₂永久固定。

目前,GB/T 21144—2023《混凝土实心砖》规定了以水泥、骨料等为主要原料制成的实心砖的技术要求,GB/T 2542—2012《砌墙砖试验方法》规定了砌墙砖的通用试验方法,但尚无专门针对以钢渣等全固废为原料、采用CO₂碳化养护工艺制成砖类产品的标准。碳化养护钢渣砖在原材料体系、生产工艺和性能特征上与传统的烧结砖、蒸压砖和水泥混凝土砖存在本质差异,亟需制定针对性的产品标准。

本文件的制定旨在填补碳化养护全固废钢渣砖产品标准的空白,为产品生产、质量检验和贸易提供技术依据,促进钢渣资源化利用和碳化养护技术在建材领域的推广应用。

碳化养护全固废钢渣砖

1 范围

本文件规定了碳化养护全固废钢渣砖的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于以钢渣为主要原料、配合其他工业固体废物、经碳化养护工艺制成的建筑用砖的生产和检验。

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 175 通用硅酸盐水泥

GB 6566 建筑材料放射性核素限量

GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰

GB/T 2542 砌墙砖试验方法

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划

GB/T 4111 混凝土砌块和砖试验方法

GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉

GB/T 24175 钢渣稳定性试验方法

GB/T 32546 钢渣应用技术要求

YB/T 4188 钢渣中磁性金属铁含量测定方法

YB/T 4328 钢渣中游离氧化钙含量测定方法

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 分类、规格和标记

4.1 分类

4.1.1 按抗压强度等级分类

碳化钢渣砖按抗压强度分为MU10、MU15、MU20、MU25、MU30五个强度等级。

4.1.2 按密度等级分类

碳化钢渣砖按体积密度分为以下三个等级：

- a) A级：体积密度不小于 2100 kg/m³；
- b) B级：体积密度为 1681 kg/m³ ~ 2099 kg/m³；
- c) C级：体积密度不大于 1680 kg/m³。

4.1.3 按碳化程度分类

碳化钢渣砖按碳化程度分为以下两个等级：

- a) I类：碳化程度不小于 85 %；
- b) II类：碳化程度大于 70%，小于 85%。

4.2 规格

碳化钢渣砖的外形应为直角六面体，常用规格尺寸应符合表1的规定。其他规格尺寸可由供需双方协商确定。

表 1 常用规格尺寸

规格代号	长度/mm	宽度/mm	高度/mm
SCB 1	240	115	53
SCB 2	240	115	90
SCB 3	190	90	53
SCB 4	190	90	90
注： SCB为碳化养护全固废钢渣砖（Steel slag Carbonation-cured Brick）的缩写。			

4.3 标记

碳化钢渣砖的产品标记应按产品名称（SCB）、规格代号、强度等级、密度等级、碳化程度类别、本文件编号的顺序排列。

示例：规格为 240 mm×115 mm×53 mm，强度等级 MU20，密度等级 B 级，碳化程度 I 类的碳化钢渣砖标记为：SCB 1—MU20—B—I—T/XXXXX—XXXX

5 原材料

5.1 一般规定

产品所用原材料中工业固体废弃物（钢渣、矿渣粉、粉煤灰、赤泥、电石渣、脱硫石膏等）的总掺量（按干质量计）不应小于95%。所有原材料应符合相关标准的规定，且不应含有对产品性能、人体健康和环境产生有害影响的物质。

5.2 钢渣

钢渣使用前应经过稳定化处理（热焖、陈化或其他经证明有效的稳定化工艺）和除铁处理。钢渣中金属铁含量按YB/T 4188的规定测定，不应大于2.0 %；游离氧化钙（f-CaO）含量按YB/T 4328的规定测定，不应大于4.0 %。钢渣的体积安定性应符合GB/T 32546的规定，经压蒸试验后试样不应出现溃散或开裂。用于生产碳化钢渣砖的钢渣粉比表面积（Blaine法）不应小于350 m²/kg。

5.3 其他工业固体废弃物

粒化高炉矿渣粉应符合GB/T 18046中S75级及以上的规定；粉煤灰应符合GB/T 1596中II级及以上的规定；电石渣中氢氧化钙含量（干基）不应小于80 %，含水率不应大于40 %。赤泥、脱硫石膏、

钢渣尾渣、硅灰、废混凝土微粉等其他工业固废使用前应进行适用性验证试验，其放射性核素限量应符合GB 6566的规定。

5.4 其他材料

当需掺加少量通用硅酸盐水泥以调节早期强度时，水泥应符合GB 175的规定，其掺量（占原料总质量的比例）不应大于5%。当需使用减水剂、早强剂等外加剂时，外加剂应与原材料相容，其掺量和品种应通过试验确定。

5.5 碳化养护用 CO₂

碳化养护所用CO₂气体来源可为工业排放尾气经净化处理后获得的富CO₂气体（CO₂浓度不宜低于20%）、工业液体CO₂气化或其他符合环保要求的CO₂气源。CO₂气体中SO₂、NO_x、HCl等酸性杂质气体含量应符合表2的规定。

表 2 CO₂气体中有害杂质限量

杂质组分	限量值（体积分数）
SO ₂	$\leq 50 \times 10^{-6}$
NO _x （以NO ₂ 计）	$\leq 100 \times 10^{-6}$
HCl	$\leq 10 \times 10^{-6}$

6 技术要求

6.1 外观质量

碳化钢渣砖的外观质量应符合表3的规定。

表 3 外观质量

序号	项目	技术指标
1	弯曲	不大于2 mm
2	缺棱掉角的三个破坏尺寸	不得同时大于15 mm
3	裂纹长度	大面上宽度方向及其延伸到条面的裂纹长度不大于50 mm；大面上长度方向及其延伸到顶面的裂纹长度不大于70 mm
4	完整面	不少于一个条面和一个顶面

6.2 尺寸偏差

碳化钢渣砖的尺寸偏差应符合表4的规定。

表 4 尺寸偏差

序号	项目	技术指标
1	长度	± 2.0 mm
2	宽度	± 2.0 mm
3	高度	± 2.0 mm

6.3 物理力学性能

碳化钢渣砖的物理力学性能应符合表5的规定。

表 5 物理力学性能要求

序号	项目	MU10	MU15	MU20	MU25	MU30
1	抗压强度/MPa, 5块平均值不小于	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
2	抗压强度/MPa, 单块最小值不小于	7.5	11.0	15.0	19.0	23.0
3	体积密度/(kg/m ³)	应符合4.1.2各等级要求				
4	吸水率/%, 单块最大值不大于	18	16	14	12	12
5	干燥收缩率/%, 不大于	0.060	0.060	0.050	0.050	0.050
6	碳化系数, 不小于	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

6.4 体积安定性

碳化钢渣砖经压蒸安定性试验后, 不应出现溃散、开裂或表面明显起鼓现象。压蒸后抗压强度损失率不应大于15 %。

6.5 抗冻性

碳化钢渣砖的抗冻性应符合表6的规定。

表 6 抗冻性要求

序号	使用条件	抗冻指标	质量损失率	强度损失率
1	夏热冬暖地区	D15	单块 ≤ 5 %	不大于25 %
2	夏热冬冷地区	D25	单块 ≤ 5 %	不大于25 %

序号	使用条件	抗冻指标	质量损失率	强度损失率
3	寒冷地区	D35	单块 $\leq 5\%$	不大于25%
4	严寒地区	D50	单块 $\leq 5\%$	不大于25%

6.6 碳化养护质量

碳化钢渣砖的碳化养护质量应符合表7的规定。

表7 碳化养护质量要求

序号	项目	I类	II类
1	碳化程度/%，不小于	85	70
2	固碳率/%，不小于	8.0	5.0

6.7 放射性核素限量

碳化钢渣砖的放射性核素限量应符合GB 6566的规定。内照射指数IRa不应大于1.0，外照射指数Ir不应大于1.0。

7 试验方法

7.1 外观质量

按GB/T 2542的规定进行。

7.2 尺寸偏差

按GB/T 2542的规定进行。

7.3 物理力学性能

7.3.1 抗压强度

按GB/T 2542的规定进行。

7.3.2 体积密度

按GB/T 4111的规定进行。

7.3.3 吸水率

按GB/T 4111的规定进行。

7.3.4 干燥收缩率

按GB/T 4111的规定进行。

7.3.5 碳化系数

按GB/T 2542的规定进行。

7.4 体积安定性

按GB/T 24175的规定进行压蒸安定性试验。压蒸制度为 $215\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $2.0\text{ MPa}\pm 0.05\text{ MPa}$ 饱和蒸汽条件下恒温恒压3 h。压蒸前后分别测定试样抗压强度，计算强度损失率。

7.5 抗冻性

按GB/T 2542的规定进行。

7.6 碳化养护

7.6.1 碳化程度

按附录A的规定进行。

7.6.2 固碳率

按附录B的规定进行。

7.7 放射性核素限量

按GB 6566的规定进行。

8 检验规则

8.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。

8.2 出厂检验

每批产品出厂前应经生产企业质量检验部门检验合格，并附产品质量合格证。出厂检验项目包括：外观质量、尺寸偏差、抗压强度、体积密度、吸水率。

8.3 型式检验

8.3.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品投产或产品定型鉴定时；
- b) 正常生产时，每半年至少进行一次；
- c) 原材料品种、来源或配比发生重大变化，可能影响产品质量时；
- d) 碳化养护工艺参数发生重大变更时；
- e) 产品停产3个月以上恢复生产时；
- f) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- g) 国家质量监督机构提出型式检验要求时。

8.3.2 型式检验项目包括本文件第6章规定的全部项目。

8.4 组批与抽样

8.4.1 以同一原材料配比、同一生产工艺条件、同一天生产的碳化钢渣砖为一批，每批数量不应超过50000块。不足50000块按一批计。

8.4.2 外观质量和尺寸偏差检验的抽样按GB/T 2828.1的规定进行，采用一般检查水平Ⅰ、正常检查一次抽样方案。物理力学性能检验的试样应从外观质量和尺寸偏差检验合格的样本中随机抽取。

8.5 判定规则

8.5.1 外观质量和尺寸偏差的判定按GB/T 2828.1的规定进行。

8.5.2 物理力学性能各项指标均符合第6章的规定时，判定该批产品合格；若有任一项不合格，允许从同一批次产品中加倍抽样，对该不合格项进行复检；复检合格判定该批产品合格，复检仍不合

格判定该批产品不合格。

8.5.3 放射性核素限量有一项不合格，即判定该批产品不合格，且不得复检。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

产品出厂时，每批产品应至少提供一份产品合格证。产品合格证应包含以下内容：

- a) 产品名称和标记；
- b) 批号及数量；
- c) 强度等级和密度等级；
- d) 碳化程度类别；
- e) 出厂检验结果；
- f) 检验日期和检验员编号；
- g) 生产厂名和厂址；
- h) 产品执行标准编号。

9.2 包装

碳化钢渣砖可采用散装或托盘包装方式出厂。当采用托盘包装时，应捆扎牢固，防止运输过程中散落和碰撞损伤。

9.3 运输

产品在运输过程中应避免碰撞、抛掷，不应与油污、化学品及其他可能污染产品的物质混装混运。

9.4 贮存

产品应按强度等级、规格和批号分别堆放。堆放场地应平整坚实，排水良好。产品可露天堆放，堆垛高度不宜超过2.0 m。产品自出厂之日起，在正常运输和贮存条件下，保质期不应少于12个月。

附 录 A (规范性) 碳化程度试验方法

A.1 酚酞显色法

A.1.1 试剂与工具

酚酞指示剂：1 g酚酞溶于100 mL无水乙醇中，配制为1%酚酞-乙醇溶液；喷雾器；切割工具（金刚石锯片）；游标卡尺或钢直尺。

A.1.2 制备

取不少于5块碳化钢渣砖，将每块砖沿长度方向的中间位置垂直于顶面切断，获得新鲜断面。断面表面应平整，不应沾水或油污。

A.1.3 试验步骤

在新鲜断面上均匀喷洒1%酚酞-乙醇溶液，静置约30 s，观察断面颜色变化。未碳化或碳化不完全区域因碱性较强呈紫红色或粉红色，已充分碳化区域因碱性显著降低呈无色或浅粉色。

A.1.4 结果评价

碳化均匀性评价：I类产品的整个截面应无色或基本无色，无明显紫红色区域；II类产品的截面允许存在轻微色差，但紫红色区域面积不应超过截面总面积的30%。

碳化程度半定量估算按公式（A.1）计算：

$$Dc = (S_{\text{已碳化}} / S_{\text{总}}) \times 100\% \cdots \cdots (A.1)$$

式中：

Dc = 碳化程度估算值，%；

$S_{\text{已碳化}}$ = 断面中无色（已碳化）区域的面积，单位为平方毫米（ mm^2 ）；

$S_{\text{总}}$ = 断面总面积，单位为平方毫米（ mm^2 ）。

A.2 热重分析法

A.2.1 仪器设备

热重分析仪（TGA）：温度范围至少为室温至1000℃，升温速率可控，质量分辨率0.1 μg ；分析天平：分度值0.0001 g；研钵和研杵：玛瑙或陶瓷材质；烘箱：可控制温度（60±5）℃。

A.2.2 试样制备

从碳化钢渣砖的中心部位（距表面不小于20 mm）取样，在研钵中研磨至全部通过0.075 mm方孔筛。将粉末试样在（60±5）℃烘箱中烘干至恒量，置于干燥器中冷却备用。

A.2.3 试验步骤

取约30 mg～50 mg粉末试样（精确至0.1 mg），置于热重分析仪中，在 N_2 气氛下以10℃/min的升温速率从室温加热至950℃，记录热重（TG）曲线和微分热重（DTG）曲线。

A.2.4 数据解析与结果计算

在TG-DTG曲线上区分以下温度区间的质量损失：室温～200℃为吸附水和结合水脱除；400℃～550℃为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 分解；550℃～850℃为 CaCO_3 分解。

碳化程度按公式（A.2）计算：

$$Dc = (\Delta mCO_2(\text{实测}) / \Delta mCO_2\text{-max}(\text{理论})) \times 100\% \cdots \cdots \cdots (A.2)$$

式中：

Dc = 碳化程度，%；

$\Delta mCO_2(\text{实测})$ = 550 °C ~ 850 °C 区间 CO_2 质量损失，%；

$\Delta mCO_2\text{-max}(\text{理论})$ = 原材料中全部活性 CaO 完全碳化所需的最大 CO_2 质量增加，%。

附 录 B (资料性) 固碳量计算方法

B.1 原理

根据碳化钢渣砖在碳化养护前（坯体）和碳化养护后（成品）中碳酸盐含量的差值，计算碳化过程中固定的CO₂量，以制品绝干质量为基准计算固碳率。

B.2 样品采集与制备

从同一批次产品中随机抽取3块砖，每块砖从中心和四角共5个点位取样，各点位取样量大致相等，合并为一个综合样。碳化前坯体试样应在压制成型后、碳化养护前采集。试样研磨至全部通过0.075 mm方孔筛，在（60±5）℃烘干至恒量。

B.3 试验方法

按附录A中A.2热重分析法的规定进行，测定550℃～850℃区间CO₂质量损失百分比。分别测定碳化养护前坯体试样的CO₂含量C₀和碳化养护后成品试样的CO₂含量C₁。

B.4 结果计算

固碳率按公式（B.1）计算：

$$R_{seq} = C_1 - C_0 \cdots \cdots \cdots (B.1)$$

式中：

R_{seq} = 固碳率，即碳化过程中新增固定的CO₂占制品绝干质量的百分比，%；

C_1 = 碳化养护后成品中以碳酸盐形式存在的CO₂质量分数，%；

C_0 = 碳化养护前坯体中以碳酸盐形式存在的CO₂质量分数，%。

单位产品固碳量按公式（B.2）计算：

$$MCO_2 = R_{seq} \times m_0 \cdots \cdots \cdots (B.2)$$

式中：

MCO_2 = 单位产品（单块砖）固定的CO₂质量，单位为千克（kg）；

R_{seq} = 固碳率，%；

m_0 = 单块碳化钢渣砖的绝干质量，单位为千克（kg）。

附 录 C
(资料性)
碳化养护工艺参数推荐

C.1 成型工艺参数

成型方式：宜采用液压式或机械式压砖机半干压法成型。成型压力：宜为10 MPa~20 MPa。对于钢渣粉比表面积较大(>450 m²/kg)的配合比，可适当降低成型压力。成型含水率：宜控制在8 %~12 %。

C.2 碳化养护工艺参数

碳化养护工艺参数的推荐范围见表 C.1。

表 C.1 碳化养护工艺参数推荐范围

序号	工艺参数	推荐范围
1	碳化养护前静停时间	2 h~6 h
2	抽真空	剩余压力≤0.02 MPa (约-0.08 MPa表压)
3	CO ₂ 浓度 (体积分数)	20%~99.9%
4	CO ₂ 气体压力	0.2 MPa~1.5 MPa
5	养护温度	40 °C~60 °C
6	养护时间	2 h~12 h
7	养护湿度 (相对湿度)	60%~90%
8	碳化后自然陈化时间	不少于7 d

C.3 质量控制要点

每批次碳化养护应记录CO₂浓度(在线监测)、温度、压力和养护时间。碳化养护釜应定期进行气密性检测，确保养护过程中CO₂泄漏率不大于5 %/h。碳化养护结束后，应抽取试样按附录A中A.1酚酞显色法进行碳化程度快速检测，合格后方可判定该批次碳化完成。

参 考 文 献

- [1] GB/T 50082—2009 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
 - [2] GB/T 27761—2011 热重分析仪失重和剩余量试验方法
 - [3] JC/T 422—2007 非烧结垃圾尾矿砖
 - [4] 史才军, 等. CO₂养护混凝土技术[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2018.
-