

ICS XX. XXX. XX

CCS X XX

团体标准

T/CIECCPA □□□—202□

燃煤固废生产碳硅复合材料技术规范

Technical Specification for Production of Carbon-Silicon Composite
Materials from Coal-based Solid Waste

（征求意见稿）

（在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。）

202□ - □□ - □□发布

202□ - □□ - □□实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

CIECCCPA

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 技术原理与要求 2

 4.1 原料要求 2

 4.2 生产工艺要求 2

 4.3 碳硅复合材料 (CSCM) 产品要求 3

5 试验方法 3

 5.1 原料成分 3

 5.2 产品比表面积 3

 5.3 产品孔容、孔径 3

 5.4 产品含水率 3

 5.5 其他杂质 4

 5.6 产品抗压强度 4

 5.7 外观 4

6 检验规则 4

 6.1 产品组批 4

 6.2 取样 4

 6.3 出厂检验 4

 6.4 型式检验 4

 6.5 判定规则 4

7 标识、包装、运输与贮存 4

 7.1 标识 4

 7.2 包装 4

 7.3 运输 5

 7.4 贮存 5

8 安全与环保要求 5

 8.1 生产过程安全 5

 8.2 环保要求 5

 8.3 产品安全 5

附录 A（资料性附录） 碳硅复合材料生产工艺流程图示意图 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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院山西煤炭化学研究所。

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

燃煤固废生产碳硅复合材料技术规范

1 范围

本文件规定了以煤基固废为主要原料，通过碱活化法制备碳硅复合材料的产品定义、原料要求、生产工艺要求、产品技术要求、试验方法、检验规则、标识、包装、运输与贮存以及安全环保要求。

本文件适用于利用煤基固废为原料经特定碱活化工艺生产的碳硅复合材料的生产和质量控制。

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/T 191-2008 包装储运图示标志

GB/T 212-2008 煤的工业分析方法

GB/T 6679 固体化工产品采样通则

GB 8978-1996 污水综合排放标准

GB 5749-2022 生活饮用水卫生标准

GB 16297-1996 大气污染物综合排放标准

GB/T 19587-2017 气体吸附 BET 法测定固态物质比表面积

GB/T 21650.1 压汞法和气体吸附法测定固体材料孔径分布及孔隙度 第 1 部分：气体吸附法

GB/T 21650.3-2011 压汞法和气体吸附法测定固体材料孔径分布和孔隙度 第 3 部分：气体吸附法分析微孔

GB/T 44750-2024 颗粒 抗压强度的测量

HJ/T 299 固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法

HJ 1091-2020 固体废物再生利用污染防治技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

煤基固废 Coal-based Solid Waste

特指煤化工过程中如煤气化产生的灰渣 (Gasification Slag/Slag)。

3.2

碱活化 Alkali Activation

利用碱性活化剂（如氢氧化钠、氢氧化钾或碳酸钾等）在一定条件下处理气化渣，破坏其惰性硅铝网络结构，释放并重组硅、铝及剩余碳相，形成具有特定结构和活性的材料的过程。

3.3

碳硅复合材料 Carbon-Silicon Composite Material, CSCM

碳硅复合材料(CSCM)是以气化渣为主要原料，经过特定的碱活化工艺处理后得到的，主要由无定形硅酸盐（水合硅酸钠凝胶等）、残留碳骨架以及可能存在的少量晶体矿物相组成的多孔复合材料。

4 技术原理与要求

4.1 原料要求

4.1.1 主要原料

煤基固废来源：应来源于稳定运行的煤化工气化装置，原料信息（来源企业、炉型、气化工艺、煤种等）应可追溯。

形态：通常为灰黑色或深灰色颗粒或粉末。

关键组分控制要求：

残炭含量： $\geq 15\%$ （干基）

杂质含量：重金属总量（As+Cd+Cr+Pb..） ≤ 100 mg/kg

4.1.2 辅助原料

碱活化剂种类：氢氧化钠 (NaOH)、氢氧化钾 (KOH)、硝酸钾(KNO₃)、碳酸钾(K₂CO₃)，工业级，纯度 $\geq 90\%$

酸洗液种类：盐酸 (HCl)、硝酸(HNO₃)，硫酸(H₂SO₄)，工业级。

4.1.3 工艺用水

应符合 GB 5749-2022《生活饮用水卫生标准》或工业用水标准，不含对反应和产品性能产生负面影响的杂质。

4.2 生产工艺要求

4.2.1 碳硅复合材料生成的一般流程

碳硅复合材料生产的一般工序包括：研磨、混料、煅烧活化、洗涤、压滤、干燥、成型、包装。

4.2.2 核心工艺

碱法活化：

（1）预处理：气化渣应进行破碎（至指定粒度，如： $< 1\text{mm}$ ）、干燥（至含水率 $\leq 5\%$ ）和均化处理。

(2) 混料：将气化渣、碱活化剂、水按一定的质量比混合均匀，在适宜容器内进行充分搅拌，确保形成均匀的浆体或混合物。

(3) 煅烧活化：将混料在回转炉中进行煅烧活化，建议活化反应参数如下：

活化温度：600℃-950℃；活化时间：0.5h-3h；活化环境：常压或微正压，应保证反应体系充分混合。

(4) 洗涤：用清水或稀酸溶液(中和过量碱)洗涤至滤液接近中性。

(5) 固液分离：采用压滤、离心等方式进行高效分离。

(6) 干燥：在<120℃下干燥至产品含水率符合要求。

(7) 成型：将碳硅复合材料粉体、粘结剂及添加剂按比例投入搅拌设备中混合均匀。

根据产品类型选用压制或挤出等成型工艺。

4.2.3 工艺过程控制

应建立并执行关键工艺参数（温度、时间、浓度、配比、搅拌强度、洗涤终点 pH、干燥温度/时间）的在线或离线监控程序和记录制度，确保生产设备满足工艺要求，易于清洁维护，主要工艺单元污染防治技术要求应符合 HJ 1091-2020。

4.3 碳硅复合材料 (CSCM) 产品要求

4.3.1 指标要求

比表面积 (BET)：400 m²/g-2000 m²/g，(按 GB/T 19587-2017 BET 法)

平均孔径：2-100 nm，(按 GB/T 19587-2017 或 GB/T 21650.1)

孔体积：≥0.30 cm³/g，(按 GB/T 21650.3-2011)

抗压强度：≥50N/粒，(按 GB/T 44750-2024)

重金属溶出量：按 HJ/T 299（或特定应用场景规定的淋溶方法）检测，需符合国家固废资源化产品环境安全要求或目标应用领域的法规要求。

4.3.2 外观

产品应为颜色均一（通常为灰黑、深灰）的粉末或颗粒，无明显异味、大块结团及可见杂质。

5 试验方法

5.1 原料成分

原料气化渣的组成测定按 GB/T 212-2008。

5.2 产品比表面积

产品比表面积的测定按 GB/T 19587-2017。

5.3 产品孔容、孔径

产品孔容、孔径分布的测定按 GB/T 21650.1 或 GB/T 21650.2 (压汞法)。

5.4 产品含水率

产品含水率按 GB/T 6679 相关规定执行。

5.5 其他杂质

产品重金属溶出量按 HJ/T 299（或指定方法）执行。

5.6 产品抗压强度

产品抗压强度按 GB/T 44750-2024 相关规定执行。

5.7 外观

目视观察。

6 检验规则

6.1 产品组批

以同一工艺条件、同一班次生产的、质量均一的产品为一检验批。

6.2 取样

按 GB/T 6679 规定进行随机取样。

6.3 出厂检验

每批产品出厂前必须进行检验。检验项目至少包括：外观、含水率、比表面积(或关键功能指标之一)。

6.4 型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验，检验项目为本标准要求的全部项目：

- a) 新产品投产或老产品转厂生产时的定型鉴定；
- b) 正式生产后，如原料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 正常生产时，定期（如每年一次）检验；
- d) 产品停产一年以上，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时；
- f) 国家质量监督机构提出要求时。

6.5 判定规则

出厂检验项目全部合格，则判定该批产品出厂检验合格。

型式检验项目中，如有理化指标或关键功能性指标不符合要求，则判该批产品不合格。其他项目若不符合要求，允许加倍取样复检；如复检仍不合格，则判该批产品不合格。

7 标识、包装、运输与贮存

7.1 标识

产品包装容器上应有牢固清晰的标识，内容包括：产品名称（“碳硅复合材料”或 CSCM）、本标准编号、生产厂名、厂址、批号或生产日期、净含量、产品规格、出厂检验合格标识及必要的安全警示标识，应符合 GB/T 191-2008。

7.2 包装

产品应采用防潮、防破损的包装材料（如内衬塑料薄膜的编织袋、吨袋等）。包装材料

应符合相关标准并保证产品在运输贮存中不受污染和变质。

7.3 运输

7.3.1 运输工具应清洁、干燥、有防雨防潮措施。避免与强酸、强碱及易燃易爆物品混运。搬运过程应轻拿轻放，防止包装破损。

7.3.2 运输车辆应有防雨棚布并垫离车厢地板或选用集装箱运输。运输过程中应防止受潮、挤压和雨淋，不应与腐蚀性物品同时运输。

7.3.3 产品运输起吊时，应按包装箱外壁上的标记稳起轻放，防止碰撞。

7.4 贮存

产品应贮存在干燥、通风、阴凉的仓库内，避免日晒雨淋。不应与强酸、强碱、易燃易爆物品混存。在符合规定的贮存条件下，建议产品保质期为。

8 安全与环保要求

8.1 生产过程安全

操作人员应穿戴防护服、防护眼镜、耐酸碱手套等劳保用品。

涉及强碱（NaOH/KOH）及强酸（HCl、HNO₃、H₂SO₄）的操作区域应有安全操作规程和应急处理设施（如洗眼器、淋浴器、中和剂等），防止灼伤。

湿法制备区应防止滑倒。

粉尘较大的工序（如粉碎、筛分、包装）应配置通风除尘设施。

8.2 环保要求

生产过程应采取措施（如闭路循环、碱回收）减少废水排放。外排废水的 pH 值、悬浮物浓度必须符合国家或地方排放标准（如 GB 8978-1996）。高浓度含碱废水应回收利用或妥善处理达标。

粉尘排放应满足 GB 16297-1996 及相关地方标准要求。

固体废弃物（如包装材料、少量不合格品、除尘灰）应按相关规定分类处置。

鼓励对生产过程中的热能、水资源进行回收利用。

8.3 产品安全

产品中残余碱应在允许范围内（通过 pH 值和洗涤控制）。

产品的重金属溶出量应符合本标准 4.3.1 的要求，确保其在后续资源化利用过程和使用过程中的环境安全性。

附 录 A

(资料性)

碳硅复合材料生产工艺流程示意图

碳硅复合材料制备技术路线见图 A.1。

