

ICS XX. XXX. XX

CCS X XX

团体标准

T/CIECCPA □□□—202□

煤基固废制备地质聚合物技术规范

Technical specifications for producing geopolymers 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 III

1 范围 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义 1

4 分类 2

5 原材料要求 2

 5.1 煤矸石..... 2

 5.2 碱激发剂..... 2

 5.3 添加剂..... 2

6 配合比设计 3

 6.1 基本要求..... 3

 6.2 配合比设计方法..... 3

 6.3 煤矸石地质聚合物配合比..... 3

7 制备工艺 3

 7.1 原料处理..... 4

 7.2 碱激发剂配制..... 4

 7.3 混合与成型..... 4

 7.4 养护..... 4

8 性能要求与试验方法..... 4

 8.1 新拌浆体性能..... 4

 8.2 硬化体性能..... 4

9 检验规则 5

 9.1 检验分类..... 5

 9.2 出厂检验..... 5

 9.3 型式检验..... 5

 9.4 组批与抽样..... 5

 9.5 判定规则..... 5

10 标识、包装、运输和储存..... 5

 10.1 标识..... 5

 10.2 包装..... 6

 10.3 运输..... 6

 10.4 储存..... 6

11 安全与环保要求..... 6

11.1 安全防护..... 6

11.2 环境保护..... 6

附录 A（资料性） 煤基固废制备地质聚合物技术路线..... 7

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。

CIECCCPA

煤基固废制备地质聚合物技术规范

1 范围

本文件规定了煤矸石制备地质聚合物的术语和定义、分类、原材料要求、配合比设计、制备工艺、性能要求、试验方法、检验规则以及标识、包装、运输、储存、安全与环保要求。

本文件适用于以煤矸石为主要硅铝源制备的地质聚合物胶凝材料、砂浆及制品；当掺用粉煤灰、矿渣粉、煤气化渣等其他煤基固废或工业副产物作为辅助原料时，同样适用。

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 208 水泥密度测定方法
- GB/T 176 水泥化学分析方法
- GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法
- GB/T 2419 水泥胶砂流动度测定方法
- GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰
- GB/T 35986 煤矸石烧失量的测定
- GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
- GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
- GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- GB/T 9774 水泥包装袋
- GB/T 12573 水泥取样方法
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）
- HJ 557 固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法
- JC/T 603 水泥胶砂干缩试验方法

3 术语和定义

3.1

煤矸石 coal gangue

是指煤炭开采、洗选加工过程中产生的固体废弃物。

3.2

地质聚合物 **geopolymer**

是一种以硅铝组分为主要原料,经碱激发剂活化处理后形成的具有三维网状结构的无机聚合物材料。

3.3

碱激发剂 **alkali activator**

能促进硅铝组分溶出并参与聚合反应的碱性物质或其溶液(如氢氧化钠、氢氧化钾、水玻璃及其复配溶液等)。

3.4

碱激发剂模数 **modulus of alkali activator**

碱激发剂中二氧化硅与氧化钠(或氧化钾)的摩尔数之比。

3.5

添加剂 **additive**

用于调节煤矸石地质聚合物的硅铝比及结构性能的物质。

3.6

液固比 **liquid-to-solid ratio**

碱激发剂溶液(含配制水)质量与胶凝粉体材料(煤基固废及矿物掺合料等)质量之比。

4 分类

煤矸石地质聚合物按强度等级分为 32.5、42.5、52.5 和 62.5 四个强度等级。

5 原材料要求

5.1 煤矸石

5.1.1 物相组成主要以高岭土、伊利石等黏土类矿物组成,其总含量不低于 50%,含碳量高的煤矸石需经过分选除碳工艺处理,其烧失量按 GB/T 35986 测定应不大于 5%。

5.1.2 化学组成要求: SiO_2 含量不低于 30%, Al_2O_3 含量不低于 20%,且 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 总含量不低于 70%。

5.1.3 煤矸石粉磨细度要求: 比表面积 $\geq 350 \text{ m}^2/\text{kg}$, 或 $74 \mu\text{m}$ 筛余 $\leq 5\%$ 。

5.1.4 经适宜温度(650-800 $^\circ\text{C}$)煅烧活化 2-12 h 后的煤矸石,其无定形 SiO_2 和 Al_2O_3 含量应不低于 35%,晶体含量应在 30%以下。

5.2 碱激发剂

一般采用氢氧化钠、氢氧化钾、水玻璃及其复配溶液,当采用单一碱液时,宜选用 6~12 mol/L 的氢氧化钠或氢氧化钾溶液,当采用水玻璃复配碱液激发剂时,模数一般控制在 1.0~1.5。

5.3 添加剂

5.3.1 硅灰

硅灰应符合 GB/T 27690 要求，其主要作用为调节体系硅铝比（ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ），提高浆体流动性，填充孔隙，并促进后期强度增长。

5.3.2 氧化钙

采用分析纯或工业级氧化钙粉末，其纯度不宜低于 95%，其主要作用为提供钙源，参与反应生成水化硅酸钙等产物，以调节反应速率、提高早期强度或改善制品耐久性。

5.3.3 氧化镁

采用轻烧氧化镁或苛性氧化镁，其活性含量应满足使用要求。其主要作用为提供镁源，调节反应产物种类与性能。

5.3.4 其他添加剂

根据工艺和性能需要，掺加少量偏高岭土、粉煤灰、矿渣粉、减水剂、缓凝剂、促凝剂、纤维等，所有添加剂不应含有对地质聚合物聚合反应产生显著抑制或对产品性能产生不利影响的物质。其质量要求、作用及掺量均应通过系统试验予以确定。

6 配合比设计

6.1 基本要求

煤矸石地质聚合物配合比应根据煤矸石煅烧活化后的物相组成、化学成分进行设计，确保制备的地质聚合物满足所需强度等级及耐久性要求。

6.2 配合比设计方法

采用试验优化法进行配合比设计，推荐使用正交试验设计或响应面分析法，通过少量试验获得较优的配比方案。具体步骤如下：

- (1) 确定煤矸石的基本性能指标；
- (2) 选择碱激发剂种类及碱激发剂模数范围；
- (3) 确定添加剂种类和掺量范围；
- (4) 设计试验方案，制备试件；
- (5) 测试新拌浆体工作性和硬化体力学性能；
- (6) 分析试验结果，确定最优配合比；
- (7) 验证试验，调整并最终确定配合比。

6.3 煤矸石地质聚合物配合比

6.3.1 煤矸石掺量应不低于地质聚合物胶凝材料总量的 70%。

6.3.2 硅灰、偏高岭土、粉煤灰等添加剂应根据试验确定，以调节硅铝比及地质聚合物结构，一般不超过 15%。

6.3.3 碱激发剂的有效掺量宜控制在胶凝材料总质量的 5%~12%。

6.3.4 液固比（激发剂溶液与胶凝粉体材料的质量比）一般控制在 0.25~0.35。

7 制备工艺

7.1 原料处理

煤矸石应经破碎、粉磨和煅烧活化处理。煅烧宜在 650 °C~800 °C 范围进行并保温 2~12 h，以获得较高的无定形 SiO₂、Al₂O₃ 含量，煅烧后需充分冷却并避免吸潮。

7.2 碱激发剂配制

碱激发剂配制应在耐碱容器内进行，按设计比例缓慢加入固体碱或碱液并充分搅拌均匀，激发剂宜提前 24 小时以上配制完成，以保证浓度均匀稳定，激发剂应澄清无沉淀或结晶，异常时需重新配制。

7.3 混合与成型

将煤矸石粉、激发剂及添加剂按比例投入搅拌设备中混合均匀。根据产品类型选用浇注、压制或挤出等成型工艺，确保浆体均质并避免气泡夹带。

7.4 养护

根据制品要求选择常温养护、蒸汽养护或恒温养护。常温养护宜控制在 20±5 °C，湿度 ≥60%；蒸汽养护温度宜为 40~80 °C，升温 and 降温过程应平稳，防止热裂。养护时间不少于 24 h，具体周期根据强度发展确定。

8 性能要求与试验方法

8.1 新拌浆体性能

8.1.1 流动度：按 GB/T 2419 测定，应根据施工要求控制在一定范围内；

8.1.2 凝结时间：按 GB/T 1346 测定，初凝时间不宜少于 30 分钟，终凝时间不宜超过 24 小时；

8.1.3 密度：按 GB/T 208 测定；

8.2 硬化体性能

8.2.1 力学性能

(1) 抗压强度：按 GB/T 17671 测定，3 天、7 天、28 天强度应满足相应等级要求；

(2) 抗折强度：按 GB/T 17671 测定，28 天抗折强度应不低于同等级水泥的相应指标；

(3) 弹性模量：按 GB/T 50081 测定。

8.2.2 物理性能

(1) 密度：按 GB/T 208 测定；

(2) 吸水率：按 GB/T 50080 测定，应不大于 10%；

(3) 孔隙率：采用压汞法或其他适用方法测定。

8.2.3 耐久性能

(1) 抗冻性：按 GB/T 50082 测定，经 50 次冻融循环后，强度损失率应不大于 20%；

(2) 抗渗性：按 GB/T 50082 测定，抗渗等级应不低于 P6；

(3) 抗碳化性：按 GB/T 50082 测定，28 天碳化深度应不大于 5 mm；

(4) 干缩率：按 JC/T 603 测定，28 天干缩率应不大于 0.10%；

(5) 耐化学腐蚀性：按 GB/T 50082 测定，应满足使用环境要求。

8.2.4 环保性能

- (1) 放射性：按 GB 6566 测定，内照射指数 $I_{Ra} \leq 1.0$ ，外照射指数 $I_{\gamma} \leq 1.0$ ；
- (2) 重金属浸出毒性：按 HJ 557 测定，浸出液中重金属含量应符合相关标准限值。

9 检验规则

9.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。

9.2 出厂检验

每批产品应进行出厂检验，检验项目包括：

- (1) 新拌浆体：流动度、凝结时间；
- (2) 硬化体：3 天、7 天抗压强度，密度；
- (3) 外观质量：尺寸偏差、表面质量。

9.3 型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验，型式检验项目包括第 8 章规定的全部性能指标。

- (1) 新产品投产或老产品转厂生产时；
- (2) 原材料、工艺发生重大变化时；
- (3) 正常生产时，每半年至少进行一次；
- (4) 产品停产 6 个月以上恢复生产时；
- (5) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

9.4 组批与抽样

9.4.1 组批：以同一配方、同一工艺、同一强度等级的产品为一个检验批，每批数量不超过 100 吨。

9.4.2 抽样：按 GB/T 12573 规定进行抽样，取样应有代表性，总取样量不少于 20 kg。

9.5 判定规则

检验结果符合本规范相应等级要求时，判定为该等级产品。如有任何一项指标不符合要求，应重新加倍抽样复检，复检结果仍不符合要求时，判定该批产品不合格。

10 标识、包装、运输和储存

10.1 标识

产品包装上应清晰标明以下内容：

- (1) 产品名称；
- (2) 强度等级；
- (3) 生产厂家名称和地址；
- (4) 生产日期和批号；
- (5) 净质量；

(6) 执行标准编号。

10.2 包装

产品可采用袋装或散装。袋装产品应采用防潮包装袋，包装袋应符合 GB/T 9774 的要求。每袋净质量应为 50 ± 1 kg 或 25 ± 0.5 kg。

10.3 运输

运输过程中应防止受潮、破损和污染。不同品种、等级的产品应分开运输。

10.4 储存

产品应储存在干燥、通风的仓库内，地面应设防潮层。袋装产品堆放高度不宜超过 10 袋。储存期不宜超过 3 个月，超过储存期的产品应重新检验，合格后方可使用。

11 安全与环保要求

11.1 安全防护

11.1.1 操作人员应经过专业培训，熟悉物料特性和操作规程；

11.1.2 作业场所应设置通风装置，保持空气流通；

11.1.3 操作人员应穿戴防碱服、耐碱手套、防护眼镜和防腐蚀围裙等防护用品；

11.1.4 碱液配制区应设置应急冲洗设施，防止碱液灼伤；

11.1.5 电气设备应符合防爆要求，设备接地可靠。

11.2 环境保护

11.2.1 粉尘控制：破碎、粉磨、配料等产尘工序应设置除尘装置，粉尘排放浓度应符合国家标准要求；

11.2.2 废水处理：生产废水和实验室废水应集中收集，经中和处理后达标排放；

11.2.3 噪声控制：高噪声设备应采取隔声、消声措施，厂界噪声应符合 GB 12348 的要求；

11.2.4 固体废物：生产过程中产生的废料应分类收集，可回收利用的应回收利用，不可利用的应妥善处置；

11.2.5 环境监测：定期对粉尘、废水、噪声等进行监测，建立环境管理台账。

附录 A

(资料性)

煤基固废制备地质聚合物技术路线

煤基固废制备地质聚合物技术路线见图 A.1。

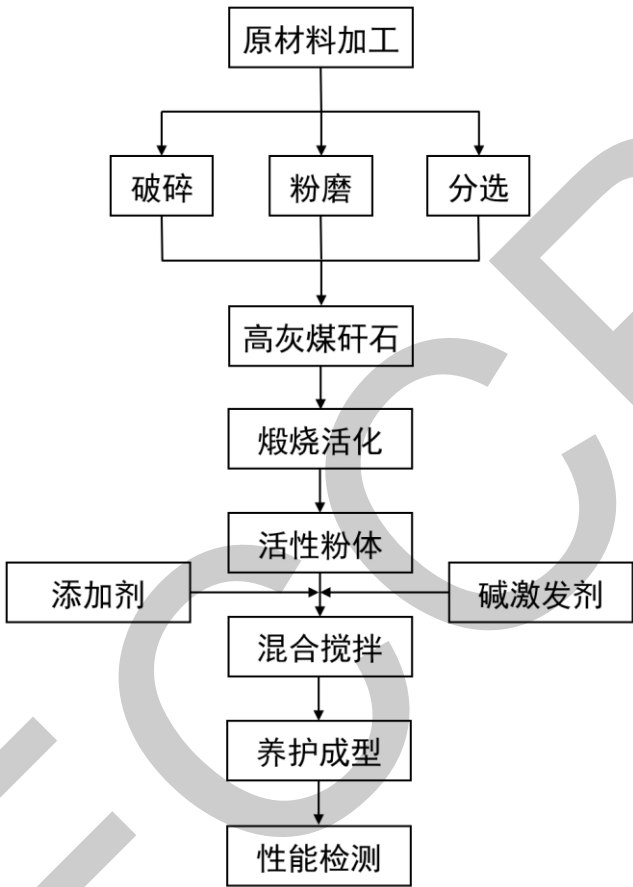


图 A. 1 煤基固废制备地质聚合物技术路线图