

中关村绿色矿山产业联盟团体标准
《煤基固体废弃物综合利用评价技术要求》
编制说明

标准编制组
二〇二三年三月

一、工作简况

1.任务来源（同时说明列入团体标准制修订工作计划情况）

目前国内外对于煤矸石、粉煤灰、露天矿剥离物、煤泥、飞灰等单一固体废弃物用于发电和采暖供热、建筑材料（水泥、砖、混凝土、采空区充填材料等）、环境修复材料等应用场景有了部分标准,但是将煤基固体废弃物作为一种特定的资源加以系统研究,并进行资源化综合利用尚为空白,但是将煤基固体废弃物作为系统综合利用对象的技术导则仍然空白,这严重影响了煤基固体废弃物综合利用的效率和质量。

《煤基固体废弃物综合利用评价技术要求》制订项目属中关村绿色矿山产业联盟。承担单位为中能化江苏地质矿产设计研究院有限公司，具体任务是将煤矸石、粉煤灰、露天矿剥离物、煤泥、飞灰等作为系统的研究对象，对煤基固体废弃物进行定义、分类，提出不同用途的技术要求和指标体系，更好地指导其资源化综合利用。

2.起草单位、参编单位

起草单位：中能化江苏地质矿产设计研究院有限公司
参编单位：江苏地质矿产设计研究院（中国煤炭地质总局检测中心）、中能化江苏矿山生态研究院有限公司、中国矿业大学、中国地质调查局发展研究中心、神华准能资源综合开发有限公司、安徽理工大学、陕西煤业化工集团有限责任公司

本标准主要起草人及其所做的工作详见表 1。

表 1 主要起草单位和起草人及其工作内容

序号	主要起草人	工作内容
1	中能化江苏地质矿产设计研究院有限公司	标准编制总负责，负责标准审核、进度把控、标准编制及修改等工作
2	江苏地质矿产设计研究院（中国煤炭地质总局检测中心）	提供煤基固废的综合利用技术
3	中能化江苏矿山生态研究院有限公司	提供企业生产、经营资料，协助完成市场及生产技术调研
4	中国矿业大学	提供煤基固废的综合利用技术
5	中国地质调查局发展研究中心	提供煤基固废的综合利用技术
6	神华准能资源综合开发有限公司	提供企业生产、经营资料，协助完成市场及生产技术调研
7	安徽理工大学	提供煤基固废的综合利用技术
8	陕西煤业化工集团有限责任公司	提供企业生产、经营资料，协助完成市场及生产技术调研

二、制定（修订）标准的必要性和意义

在煤炭的生产、加工和消费过程中会产生大量的煤矸石、粉煤灰、露天矿剥离物、煤泥、飞灰等固体废弃物，煤基固体废弃物具有排放量大、分布广、呆滞性大、持续时间长等特点。目前这些煤基固体废弃物多堆放在煤矿/电厂附近，不仅占用大量土地，造成固体废弃物堆扬尘，占用农田、污染土地和水资源，还

存在着自燃的风险，具有巨大的环境和安全隐患。近年来全国每年新增固体废物100多亿吨，其中煤基固体废弃物占很大比重，煤基固体废弃物的大量排放已严重影响产业经济的高质量发展和生态文明建设。

与此同时，煤基固体废弃物仍然具有较高的综合利用价值，可以用于发电和采暖供热、建筑材料（水泥、砖、混凝土）、工程材料（采空区充填材料、软土地基基础加固等）、复合肥料、土壤改良剂、环境修复材料、化工原料等。实行煤炭固体废物综合利用不仅可以解决煤基固体废物大量堆积带来的环境和安全问题，还可以变废为宝，促进资源循环利用，对于建立无废矿山、实现煤炭行业循环经济，解决资源开发与环境的突出矛盾有重要的现实意义。

2014年，国家发展改革委等10个部门以联合令的形式发布了《煤矸石综合利用管理办法》，禁止新建永久性煤矸石堆场。2019年1月，国家发展改革委办公厅和工业和信息化部办公厅发布了《关于推进大宗固体废物综合利用产业集聚发展的通知》，大力推进大宗固体废物综合利用产业集聚发展，合理推动煤矸石发电、生产建材、复垦绿化等规模化利用。2019年1月，国务院办公厅印发《“无废城市”建设试点工作方案》，持续推进固体废物源头减量和资源化利用。2020年2月，应急管理部等七部委联合印发《防范化解尾矿库安全风险工作方案》，全国尾矿库数量原则上只减不增，稳妥推进尾矿资源综合利用，建设一批尾矿综合利用典型示范项目、示范基地。2020年4月，十三届全国人大常委会第十七次会议审议通过了修订后的固体废物污染环境防治法，自2020年9月1日起施行，坚持减量化、资源化和无害化原则。实行煤炭固体废弃物综合利用意义重大且刻不容缓。目前国内外对于煤基固体废物中的煤矸石、粉煤灰、露天矿剥离物、煤泥、飞灰等单一固废形成了部分国家标准和行业标准，但缺乏系统性，可操作性不强。尤其是将煤基固体废物作为系统综合利用对象的技术导则仍然空白，这严重影响了煤基固体废物综合利用的效率和质量。本项目拟制定煤基固体废物综合利用评价技术要求，将煤矸石、粉煤灰、露天矿剥离物、煤泥、飞灰等固体废物作为系统的研究对象，作为一种可再生的资源和产品研究，制定煤基固体废物综合利用技术评价的指标体系、评价程序和评价方法。

三、主要起草过程

根据《团体标准管理规定》和《中关村绿色矿山产业联盟团体标准管理办法》的要求，起草单位成立了标准起草组，几经修改形成标准初稿。标准内容中的技术要求及初稿存在的问题需要进行广泛地征询行业意见，因而起草组采取如下征求意见行动。

2021年9月-2021年12月，起草单位发文向行业相关专家、研究单位、生产企业、科研单位等征求意见，具体如下：

2022年3月召开第一次标准研讨会，标准编制组组织召开了标准启动会暨第一次讨论会

2022年4月至2022年6月，标准编制组调研并系统分析我国已发布的相关技术指南，收集大量数据，结合国内外相关研究成果，细化编制《煤基固体废物综合利用评价技术要求》草案。

2022年6月11日，标准编制组组织召开了标准第二次讨论会，与会同各参编单位讨论标准架构及各参数设置合理性，并安排各参编单位编制工作。

2022年6月至2022年11月，标准编制组系统走访了多家生产及利用煤基固废的企业，调研实际工程中煤基固废的实际应用情况。

2022 年 11 月至 2023 年 3 月，针对各位专家及与会人员的建议，对《煤基固体废物综合利用评价技术要求》草案修改，并编制完成草案的编制说明。

四、制定（修订）标准的原则和依据

本文件编制依据“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则，注重标准的可操作性，本文件严格按照 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》的规定进行编写和表述。

本文件依据 GB/T 32326-2015《工业固体废物综合利用技术评价导则》和 GB/T 29163-2012《煤矸石利用技术导则》，在系统总结我国煤基固废综合利用技术成果的基础上，结合工程实践与研究应用的科学应用，确定燃烧用煤基固体废物、建材用煤基固体废物、复合肥料用煤基固体废物、土壤改良用煤基固体废物、环境修复用煤基固体废物、化工用煤基固体废弃物的技术要求。同时，在试验方法上采用现行的国家标准和行业标准，以保证标准中技术指标的准确性和科学性。通过召开专家研讨会研究讨论了标准的主要内容，听取了意见和建议，修改、完善了编写提纲。按照编制原则和编写提纲，确定了标准的主要内容。

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

该标准满足《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《中华人民共和国大气污染防治法》《中华人民共和国土壤污染防治法》和《中华人民共和国循环经济促进法》等法律法规的要求。该标准与现行相关法律、法规及标准具有很好的协调一致性。

六、标准主要内容说明

1.范围

本标准规定了煤基固体废物综合利用的通则和技术要求。

本标准适用于煤基固体废弃物的综合利用。

2.术语和定义

本部分为执行本标准制定了专门的术语和对容易引起歧义的名词进行了定义。本文件涉及术语 1 个，术语及其定义的依据如下：

煤基固体废物 coal based solid waste

煤基固体废物是指煤炭在生产、加工和消费过程中产生的不再需要或暂时没有利用价值而被遗弃的固态或半固态物质。主要包括煤矸石、露天矿剥离物、煤泥、粉煤灰等。

引自于文献[1]，加以修改形成本定义。

[1] 邓寅生，邢学玲，徐奉章，等. 煤炭固体废物利用与处置[M]. 中国环境科学出版社, 2008.

3.总则

煤基固体废物可以用于发电和采暖供热、建筑材料（水泥、砖、混凝土、采空区充填材料、地质聚合物注浆材料等）、复合肥料、土壤改良剂、环境修复材料、化工原料等。

4. 技术要求

4.1 燃烧用煤基固体废弃物技术要求

我国煤矸石发热量一般在 3350~8500kJ/kg。一般含碳量较高煤巷掘进矸和洗矸（发热量大于 4180kJ/kg）的煤矸石，通过简易洗选，利用跳汰或旋流器等设备可回收低热值煤，供作锅炉燃料。通常发热量大于 7526kJ/kg 的煤矸石可不经洗选就近用作流化床锅炉的燃料，产生的热量可以发电或作采暖供热。发热量在 4500~12550kJ/kg 的煤矸石，可掺烧煤泥做发电燃料，我国发改委规定用于发电的煤矸石的热值应达到 5000kJ/kg 以上（发改办能源[2004]864 号），煤泥发热量 8360-16720kJ/kg。

引用文献：

- [1]煤矸石利用技术导则 GB / T 29163-2012;
- [2]邓寅生 煤炭固体废物利用与处置[M]. 北京: 中国环境科学出版社;
- [3]王栋民 煤矸石资源化利用技术[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2021;
- [4]《关于燃煤电站项目规划和建设有关要求的通知》发改办能源[2004]864;
- [5]郭洋楠,李能考,何瑞敏.神东矿区煤矸石综合利用研究[J].煤炭科学技术,2014,42(06):144-147;
- [6]时鹏辉,李多松,万田英等.煤矸石的综合利用及其技术要求[J].山东煤炭科技,2006(01):65+67。

4.2 建材用煤基固体废弃物技术要求

4.2.1 烧结砖用煤基固体废弃物的技术要求

烧结砖用煤基固体废弃物主要有煤矸石、粉煤灰、炉渣，其中影响煤矸石制备烧结砖的因素为主要为二氧化硅、三氧化二铝含量，28d 矿压强度和放射性等；影响粉煤灰制备烧结砖的因素为主要为粒径、堆积密度，发热量、三氧化二铁含量和放射性等；影响炉渣灰制备烧结砖的因素为主要为粒径、含水量和放射性等。

引用文献：

- [1]煤矸石利用技术导则（GB/T 29163- -2012）
- [2]煤炭固体废物利用与处置[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2021
- [3]王栋民 煤矸石资源化利用技术[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2021
- [4]许红亮,郭辉,姜三营,刘素青,李志勇,张广军,张振宏,宋文娟.平顶山矿区一矿煤矸石特征及其利用途径分析[J].中国矿业,2012,21(07):49-52.
- [5]时鹏辉,李多松,万田英,宋宁宁.煤矸石的综合利用及其技术要求[J].山东煤炭科技,2006(01):65+67.

- [6]煤矸石综合利用技术要求 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2000(2):3-5。

4.2.2 水泥用煤基固体废弃物的技术要求

水泥用煤基固体废弃物主要有煤矸石、粉煤灰，其中影响煤矸石制备水泥的因素为主要为二氧化硅、三氧化二铝含量，烧失量、三氧化硫、火山灰性实验、28d 强度和放射性等；影响粉煤灰制备水泥的因素为主要为烧失量、三氧化硫、游离氧化钙、二氧化硅、三氧化二铝和三氧化二铁总质量分数、密度、安定性、强度活性指数和放射性和放射性等。

引用文献：

- [1]煤矸石利用技术导则（GB/T 29163- -2012）;
- [2]用于水泥和混凝土中的粉煤灰（GB/T 1596- 2017）;

[3]煤炭固体废物利用与处置[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2021.

4.2.3 混凝土用煤基固体废弃物的技术要求

选用粉煤灰原则上要保证混凝土的强度, 符合工程性能和长期气象、水文条件的要求, 保证混凝土一定的耐久性。粉煤灰的化学成分的含量明显影响它在大体积混凝土中的作用, CaO 、 C 、 SO_3 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、含水量、烧失量等都能影响混凝土的性能。

(1) CaO 的含量

在低钙粉煤灰中, CaO 含量不多, CaO 大部分结合于玻璃相中。但是与 CaO 结合的富钙玻璃微珠的活性仍较高。“死烧”状态的游离 CaO , 则具有有利于激发活性和不利于安定性的双重作用。

(2) 烧失量

粉煤灰中未燃尽的部分都可按烧失量指标来估量。炭粒是对混凝土有害的物质, 炭分的稳定性不好。惰性炭分增多, 将导致粉煤灰的活性成分减少。炭粒的平均比重只有 1.55, 而且炭粒越粗, 比重也越小, 所占的体积越大, 其影响也越大。更为严重的是, 它能使混凝土的需水量增加, 密实度降低, 还会明显地影响引气剂、减水剂等外加剂的掺量以及混凝土外观的颜色和均匀性。炭粉往往又会在泌水过程中逐渐与浆体分离, 上升到混凝土的表面, 影响面层混凝土的质量。粉煤灰的烧失量应当不超过 3%。

(3) SO_3 的含量

含硫量高的燃料烧成的粉煤灰中含有较多的硫酸盐, 由于硫酸盐能影响水泥的水化作用, 尤其能提高早期强度, 因此应当说, 在一定的条件下可看作是有益成分。但是, 根据其他混凝土材料中对 SO_3 须要限制的习惯, 顾虑 SO_3 过高会生成破坏性的钙矾石, 因此我们把 SO_3 视为有害成分, 规定其最大限值为 3%。

(4) MgO 的含量

限制 MgO 含量的原因是顾虑 MgO 可能以方镁石的形态存在。 MgO 由于与 SiO_2 、 Fe_2O_3 的化学亲和力很小, 水化速度很慢, 要在 0.5~1 年后才明显开始水化, 而其水化生成氢氧化镁, 体积膨胀 148%, 因此, 会导致混凝土安定性不良。方镁石膨胀的严重程度与晶体尺寸、含量均有关系。尺寸越大, 含量越高, 危害越大。所以, 应最大限度地减少方镁石的含量和减小方镁石尺寸。 MgO 的含量以不大于 3%为宜。

(5) 有效碱(Na_2O 、 K_2O)含量

Na_2O 、 K_2O 都能加速水泥的水化反应, 而且对激发粉煤灰化学活性以及促进粉煤灰与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的二次反应有利, 因此, 有效碱显然是有益的化学成分。但是碱性物质的增加, 会加强碱与集料反应及降低粉煤灰抑制碱与集料反应的能力。

(6) 含水量

粉煤灰中水分的存在会使活性降低, 产生一定的黏附力, 易于结团, 影响干状粉煤灰的包装、运输、贮存和应用, 因此一般的规范都将它限制在 1%以下。

引用文献:

[1]GB/T 17431.1-2010 轻集料及其试验方法 第 1 部分:轻集料.

[2]GB 6566 建筑材料放射性核素限量

[3]王栋民 煤矸石资源化利用技术[M].北京:中国建材工业出版社, 2021.

[4]邓寅生, 邢学玲, 徐奉章,等. 煤炭固体废物利用与处置[M]. 中国环境科学出版社, 2008.

4.2.4 地质聚合物注浆材料用煤基固体废弃物的技术要求

(1) 煤矸石的技术要求

煤矸石的化学反应活性决定了地质聚合物注浆材料中煤矸石的使用量和利用效率，本标准参照了水泥混合材以及混凝土掺合料的活性检验方法，以取代30%水泥掺量的标准胶砂28天强度比作为活性指数，图1中统计了以30%掺量取代水泥，按照GB/T 17617《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》测得的煤矸石活性指数，得出煤矸石28天活性指数中值为64.8%，95%置信区间为[63.1, 73.8]，因此原状煤矸石的活性指数主要位于60-70%之间，本标准中将60-70%之间的煤矸石定义为II级煤矸石，反映了大部分的煤矸石的活性指数。将小于等于60%的煤矸石归为III级，而活性指数大于等于70%的煤矸石归为I级煤矸石。

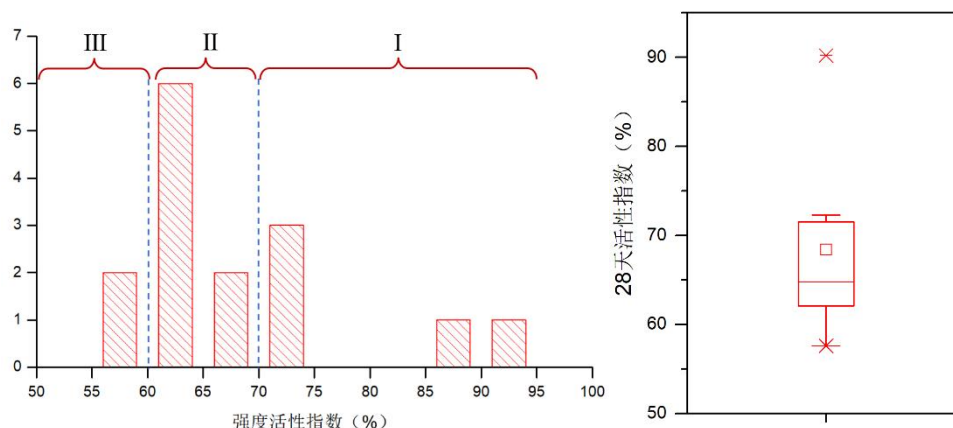


图1 煤矸石强度活性指数

煤矸石中的碳含量一般较高，统计文献中报道的煤矸石碳含量，得出煤矸石中碳含量中位值在8.11%，95%置信区间为[4.95, 13.37]，煤矸石中的碳含量决定着煤矸石资源化利用的方向，通常根据固定碳含量将煤矸石划分为四个等级；1级<4%（少碳的）、2级4%-6%（低碳的）、三级6%-20%（中碳的）和4级>20%（高碳的）。本标准中将少碳和低碳合并为I级（≤6%），高碳含量（≥20%）归为III级，将6~20%之间的归为II级。

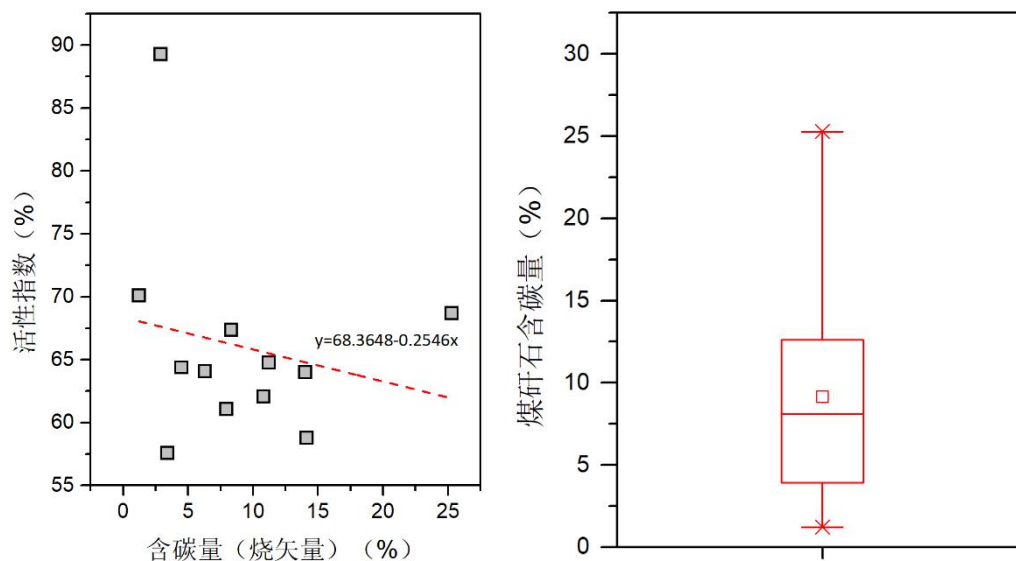


图2 煤矸石含碳量分析

(2) 粉煤灰的技术要求

粉煤灰主要的化学组成为SiO₂、Al₂O₃、CaO、Fe₂O₃、MgO等，其物相以无

定形相为主。粉煤灰的品质除了与原料(主要是燃煤种类、煤粉粒度等因素有关以外,另外一个重要的因素就是锅炉的类型和运行状况。按照燃烧方式分,锅炉可分为层燃炉(链条炉和抛煤机炉)、煤粉炉、流化床炉、液态排渣炉(包括旋风炉)等。不同燃烧方式的锅炉,其工作运行条件(炉膛温度、送风量等)也大不相同,导致其产出的粉煤灰和灰渣的品质也大有差异,同时飞灰与灰渣的比例也会有所不同。这其中,我国主要生产的粉煤灰有两种:煤粉炉粉煤灰(pulverized coal fur-nacely ash, PFA)和循环流化床粉煤灰(circulating fluidized bed combustion fly ash, CFA),这两种粉煤灰不仅储量巨大,而且年产生量大。因此必须对粉煤灰地质聚合物进行更多的研究。

根据国家标准 GB/T1596 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》的规定,粉煤灰可依据其化学组分中 CaO 的含量划分为 F 类和 C 类。F 类粉煤灰,也称低钙粉煤灰,主要是由无烟煤或烟煤煅烧收集的粉煤灰。C 类粉煤灰,也称高钙粉煤灰,主要是由褐煤或次烟煤煅烧收集的粉煤灰,其 CaO 含量一般大于 10%。用于拌制混凝土和砂浆的粉煤灰可以分为 3 个等级,如表 2 所示。

表 2 国家标准粉煤灰分类

等级分类	I级粉煤灰	II级粉煤灰	III级粉煤灰
0.045mm 方孔筛余	≤12%	≤20%	≤45%
烧失量	≤5.0%	≤8.0%	≤10.0%

在外国,对于粉煤灰的分类依据与中国有一定差别,美国 1968 年和 1977 年的 ASTM C618 规定:应用于工业(主要用于生产混凝土和水泥)的粉煤灰可以分为 F 级和 C 级, F 级粉煤灰优级生煤和无烟煤燃烧而成,具有凝硬性,其 SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ 含量≥70%, C 级粉煤灰为低级褐煤和次生煤燃烧而成,具有水泥黏性和凝硬性,其 SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ 含量在 50-70%之间;加拿大对于粉煤灰的分类根据 CAN/CSA 规定,与美国的 ASTM C 618 规定很相似,但其基于 CaO 和 LOI 含量(烧失量)的粉煤灰进行了分类;此外,联合国粉煤灰利用小组委员会根据粉煤灰的物理化学性质将其分为 4 组。国外对于粉煤灰的分类情况具体见表 3。

表 3 国外粉煤灰的分类

	分类	F 类	C 类	CI 类	CH 类
加拿大	CaO	<8%	/	8-20%	>20%
	LOI	≤8%或达 12%	/	/	≤6%
	分类	硅铝酸盐粉煤灰	铝硅酸盐粉煤灰	石灰硫酸盐粉煤灰	基本粉煤灰
联合国	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	≥2	<2	/	/
	CaO	<15%	<15%	>15%	>15%
	SO ₃	/	<3%	>3%	<3%

引用文献:

[1]王鑫,梁栋,王丹,蔡辉.机械活化和热活化对煤矸石水化活性的影响[J].砖瓦,2022(08):13-16.DOI:10.16001/j.cnki.1001-6945.2022.08.006.

[2]程海丽,杨飞华,马保国,张杰,郝利炜,刘国强.高铝煤矸石复合活化及其火山灰效应分析[J].建筑材料学报,2016,19(02):248-254.

[3]曾小星.煤矸石粉替代粉煤灰作为水泥与混凝土掺合料的试验研究[J].新型建筑材料,2015,42(03):12-13+21.

[4]王文宗,董刚,张文生.煤矸石火山灰活性的评价[J].中国建材科技,2010,19(06):44-47.

[5]田学春. 大掺量非等级粉煤灰和煤矸石干混砂浆的研制[D]. 重庆大学,2008.

[6]关琥,陈霁溪,朱梦宇,高洁,丁莎.微波活化煤矸石对水泥基材料的性能影响[J].材料导报,2023,37(04):95-101.

[7]张树青. 自燃煤矸石在水泥混凝土中应用研究[J]. 低温建筑技术,2006(06):5-7.

[8]刘川北,谭克锋,刘来宝,唐凯靖.活化煤矸石用作水泥混合材的实验研究[J]. 绿色建筑,2014,6(06):61-64.

[9]刘朋. 粒状煤矸石的活化及其在水泥基材料中的应用研究[D]. 安徽建筑大学,2019.

[10]王栋民, 房奎圳. 煤矸石资源化利用技术[M]. 中国建材工业出版社,2021

[11]邓寅生, 邢学玲, 徐奉章,等. 煤炭固体废物利用与处置[M]. 中国环境科学出版社, 2008.

4.3 复合肥料用煤基固体废物技术要求

由于煤基固体废物中含有大量黏土矿物, 而黏土矿物具有较强的吸附性, 在漫长地质年代中, 对微量元素的吸附性一直在发挥作用, 致使许多矿区的煤基固体废物中含有丰富的微量营养元素: B、Zn、Cu、Mn、Mo 等, 其含量高于土壤数百倍, 对作物生长及提高果实质量大有益处。

煤基固体废物用作农肥的有利因素为: ①煤基固体废物中主要的营养元素 N、P、K 的含量与土壤的含量相当, 微量元素 B、Zn、Cu、Mn、Mo 等的含量丰富, 可以制农用复合微量元素肥料; ②煤基固体废物中的有机质含量一般高出土壤 30 倍, 有机质逐渐氧化并在微生物的参与下, 可大大增加土壤的可吸收有机质及 N、P 的含量; ③煤基固体废物经筛分处理之后粒度符合土壤要求, 并具有改善土壤团粒结构的作用, 可直接施于农田, 特别是可直接施于酸性黏土田以改良土壤。

由于长期使用化学肥料, 土壤中有机质、腐殖质逐渐枯竭, 土壤孔隙度降低, 土壤变得坚硬。植物生长所需的空气、水分、微生物受到极大影响。煤矸石中一般含有大量的炭质泥岩, 其中有机质含量一般在 15%~25%, 并含有丰富的植物生长所必需的 B、Zn、Cu、Co、Mo、Mn 等微量元素, 一般比土壤中的含量高 2~10 倍, 具有较大的吸收容量。施于田间可以增强土壤疏松、透气, 改善土壤结构, 达到增产的目的。用于生产有机复合肥的煤基固废应符合以下要求: ①要求煤矸石的有机质含量大于 20%, 粒径小于 6mm; ②煤矸石中的 N、P、K 是植物生长的必需元素, 含量要高; ③矸石中应富含农作物生长所必需 B、Zn、Cu、Co、Mo、Mn 等微量元素。用于制备复合肥料等土壤肥料的煤基固体废物中 Pb、Cd、Hg、As、Cr、Cu、Ni、Zn 等重金属含量不能超过 GB 15618 规定的筛选值。

引用文献:

[1]王栋民 煤矸石资源化利用技术[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2021.

[2]王刚. 利用煤矸石生产肥料[J]. 煤炭加工与综合利用, 1996(06):10-11.

[3]邓寅生, 邢学玲, 徐奉章,等. 煤炭固体废物利用与处置[M]. 中国环境科学出版社, 2008.

[4]土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准 (GB 15618-2018)

4.4 土壤改良用煤基固体废物技术要求

利用煤基固体废弃物煤矸石、粉煤灰的酸碱性及其中丰富的微量元素和营养成分，可有效改良土壤结构、增加土壤疏松度和透气性、提高土壤含水率、促进土壤中各类细菌新陈代谢、丰富土壤腐殖质，增加土地肥力，促进植物生长。长期施用氮、磷、钾的农田，土壤中缺乏硼、硅酸和氧化镁等，用煤矸石/粉煤灰制成的基肥正好可以补充这些成分，而成为很好的土壤调节剂。

团体标准《用于生态修复的粉煤灰》T/CACE028-2021 中规定了粉煤灰用于生态土壤修复的理化性质指标级及潜在风险元素含量控制指标，如表 4、表 5 所示。

表 4 用于土壤生态修复的粉煤灰理化性能要求

等级分类	A 级	B 级	C 级粉煤灰
Al ₂ O ₃ 质量分数，%	<25	25~32	32~40
CaO 质量分数	<5	5~10	10~15
Na ₂ O 质量分数	<0.5	0.5~1	1~2
活性 SiO ₂ （g/kg）	>300	200~300	≤2000
活性 CaO（g/kg）	>30	10~30	≤10
活性 Fe ₂ O ₃ （g/kg）	>35	10~35	≤10
活性 MgO（g/kg）	>15	10~15	≤10
未燃碳含量，%	<0.5	3~6	6~10
持水量，%	>50	40~50	≤40

A 级:可直接用于修复退化农用地，如退化耕地、退化林地、退化草地、退化园地等，以及沙地、破坏的山体、矿坑、渣坑、固废填埋场等；

B 级:可用于修复退化农用地，如退化耕地、退化林地、退化草地、退化园地等，但可能存在土壤污染风险，应加强土壤环境风险监测和农产品协同检测：可直接用于修复沙地、破坏的山体、矿坑、渣坑、固废填埋场等；

C 级:不可用于修复退化农用地，可用于修复沙地、破坏的山体、矿坑、渣坑、固废填埋场等。

表 5 用于土壤生态修复的粉煤灰潜在风险元素含量控制指标

等级分类	A 级	B 级	C 级粉煤灰
Hg	<0.5	0.5~1.0	1.0~2.0
As	<20	20~40	40~100
Pb	<70	70~170	170~400
Cd	<0.3	0.3~0.6	0.6~1.5
Cr	<150	150~250	25~800
Cu	<50	50~100	100~200
Zn	<200	200~250	250~300
Ni	<60	60~100	100~190

本次土壤改良选择可直接用于退化农用地的 A 级指标。

国家标准《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》GB 15618-2018 中规定了镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌的农用地土壤污染风险筛选值，如表 6 所示。因此煤基固体废弃物制备的土壤改良剂等土壤添加剂中 Pb、Cd、Hg、As、Cr、Cu、Ni、Zn 等重金属含量不能超过 GB 15618 规定的筛选值。

表 6 农用地土壤污染风险筛选值（GB15618）

序号	污染物项目	风险筛选值			
		pH≤5.5	5.5≤pH≤6.5	5.5≤pH≤6.5	pH>7.5

1	镉	水田	0.3	0.4	0.6	0.8
		其他	0.3	0.3	0.3	0.6
2	汞	水田	0.5	0.5	0.6	1.0
		其他	1.3	1.8	2.4	3.4
3	砷	水田	30	30	25	20
		其他	40	40	30	25
4	铅	水田	80	100	140	240
		其他	70	90	120	170
5	铬	水田	250	250	300	350
		其他	150	150	200	200
6	铜	水田	150	150	200	200
		其他	50	50	100	100
7	镍		60	70	100	190
8	锌		200	200	250	300

注：①重金属和类金属砷按元素总量计。

②对于水旱轮作地，采用其中较严格的风险筛选值。

引用文献：

[1]赵旭, 彭培好, 李景吉. 盐碱地土壤改良试验研究——以粉煤灰和煤矸石改良盐碱地为例[J].河南师范大学学报, 2011, 39(4): 70-74

[2]康振中.煤基固废与牛粪混合发酵基肥在荒漠化土壤改良中的应用[D].内蒙古大学 2016. [3]施龙青, 韩进. 应用矸石改良土壤[J]. 煤矿环境保护, 1998, 11(4): 49-50.

[3]邓寅生, 邢学玲, 徐奉章,等. 煤炭固体废物利用与处置[M]. 中国环境科学出版社, 2008.

[4]用于生态修复的粉煤灰 (T/CACE028-2021)

[5]土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准 (GB 15618-2018)

4.5 环境修复用煤基固体废弃物技术要求

鉴于粉煤灰粒细质轻、多孔松散、比表面积大、活性基团较多和吸附能力较强等特性，其环保功能已引起广泛的关注。粉煤灰含有多孔玻璃体、多孔炭粒，因而它的比表面积较大。同时，它还具有一定的活性基团，这就使其具有较强的吸附能力，可以作为废水、废气处理的吸附材料(见表 6)。

表 6 粉煤灰的环境修复用途

编号	类别	SiO+Al ₂ O ₃ (%)	环境修复用途
1	粉煤灰	73.1	水处理-絮凝剂
2	粉煤灰	92.07	水土修复-吸附重金属

在粉煤灰化学成分中的碱性物质 CaO 含量在 10%~20%时，可用来烟气脱硫。CaO 能与烟道气中的硫发生反应，此外，炭粒(煤粉)在燃烧中由于气体的挥发和化学反应，形成表面多孔、形状复杂的焦状颗粒，比表面积在 8000~24 000 cm²/g。其中大部分是玻璃球体，其余是结晶物质和未燃尽颗粒，成为一种空心颗粒与实心颗粒、多孔颗粒与规则颗粒、有机物质和无机物质相互混合的特殊粉体。该粉体对各种气体在固体表面的吸附研究表明，吸附只是在粉体表面发生，这是由于固体表面存在剩余的吸引力引起的，而粉煤灰具有较好的饱和吸附量，

因而具有较好的吸附性能。因此，粉煤灰具有一定的脱硫能力。

在土壤重金属污染修复方面，因粉煤灰具有较高的 pH 值，较大的比表面积，并且粉煤灰中氧化铝，氧化钙，三氧化二铁，氧化镁，二氧化硅和碳等成分对重金属具有较强的吸附能力，故可利用粉煤灰的吸附性能对重金属进行吸附固定。在受重金属污染土壤中施加粉煤灰和秸秆混合土壤改良剂可将土壤中的 CaCl_2 提取态 Cu、Cd 和 Zn 分别降低 94.6%、67.1%和 73.3 %。粉煤灰表面积以及孔隙较大，对重金属有较强的吸附作用，还含有较多铁、铝氧化物，以其碱性特征和较强的吸附能力被用于钝化土壤中的重金属，施用粉煤灰可以补偿施加酸性磷酸盐造成的土壤酸化作用，还可以增加土壤有效磷含量，并提供多种矿物元素，进而促进植物的生长。农业行业标准《受污染耕地治理与修复导则》(NY/T 3499-2019) 中规定了治理与修复所使用的有机肥、土壤调理剂等耕地投入品中镉、汞、铅、铬、砷 5 种重金属含量不能超过 GB15618 规定的筛选值(表 6)，或者不能超过治理与修复区域耕地土壤中对应的元素含量。

引用文献：

[1] 李晓湘. 利用粉煤灰研制高效无机混凝剂聚硅酸铝[J]. 环境工程, 2002, 20(01): 51-60.

[2] 张迪. 球磨钙基粉煤灰修复水/土环境中镉铅铜效果研究.[D]. 安徽理工大学. 2022

[3] 邓寅生, 邢学玲, 徐奉章, 等. 煤炭固体废物利用与处置[M]. 中国环境科学出版社, 2008.

[4] T/CACE028-2021 用于生态修复的粉煤灰

[5] Palansooriya K N, Shaheen S M, Chen S S, et al. Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review[J]. Environment International, 2020, 134: 105046.

[6] Hu X, Yuan X, Dong L. Coal fly ash and straw immobilize Cu, Cd and Zn from mining wasteland[J]. Environmental Chemistry Letters, 2014, 12(2): 289 - 295.

[7] 受污染耕地治理与修复导则 (NY/T 3499-2019)

4.6 化工用煤基固体废弃物技术要求

煤矸石、高岭土、铝土矿等富含铝硅组分的矿物，主要成分为硅、铝的氧化物等，当铝含量达到一定量时，常被用来提取金属铝、氧化铝和其他铝盐，也可生产净水剂聚合氯化铝。这些矿物生产聚合氯化铝所排废渣主要成分是无定形二氧化硅和少量的石英和高岭土成分，以及未被浸取的氧化铝和少量的不可转化的物质，可以作为合成沸石的资源加以利用。

GB/T 29163-2012 煤矸石利用技术导则中 4.4 节规定了含铝化工产品用煤矸石，其三氧化二铝含量(质量分数)应大于 40%；高岭土用煤矸石，其高岭石含量(质量分数)应大于 80%。

引用文献：

[1] 邓寅生, 邢学玲, 徐奉章, 等. 煤炭固体废物利用与处置[M]. 中国环境科学出版社, 2008.

[2] GB/T 29163-2012 煤矸石利用技术导则

4.7 检验

标准规定了煤基固体废弃物应用基低位发热量、矿物组分、放射性、重金属和营养元素、岩石力学参数、物性、保水性、保肥性、酸碱度、氧化还原电位、烧失量、三氧化硫、火山灰性的检验规则。

4.7.1 应用基低位发热量

煤基固体废弃物应用基低位发热量参照 GB/T 213 《煤的发热量测定方法》

4.7.2 矿物组分

利用岩石矿物薄片、X 射线衍射仪、能谱扫描电镜等设备检测煤基固体废弃物中二氧化硅、三氧化二铝等矿物的含量,具体方法参照 GB/T 212 和 GB/T 1574。

4.7.3 放射性

煤基固体废弃物放射性参照 GB 6566。随机抽取不少于 3kg 的样品两份,破碎后密封,当样品中镭-226、钍-232、钾-40 放射性活度之和大于 $37 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,要求测量不确定度不大于 20%。

4.7.4 元素分析(重金属和营养元素)

利用电感耦合离子质谱 ICP-MS 对煤基固体废弃物中的重金属元素进行分析,利用全岩 X 射线衍射仪对煤基固体废弃物中的氮、磷、钾等营养元素进行分析。

4.7.5 岩石力学参数

对煤基固体废弃物的弹性模量、泊松比、抗压强度、抗拉强度、抗剪强度、凝聚力、内摩擦角、软化系数、渗透系数等物理力学性质进行测定。

抗压强度、抗拉强度按 GB/T 17671 的规定测试;弹性模量、泊松比按 GB/T 22315 的规定测试;抗剪强度、凝聚力、内摩擦角按 GB 50007 的规定测试;渗透系数按 MT 224 的规定测试;软化系数按 GB/T 23561.7 的规定测试。

4.7.6 物性(孔隙度、渗透率)、保水性、保肥性

利用低压气体吸附法(N_2 和 CO_2)和压汞法、比表面积分析仪等测试煤基固体废弃物的物性特征,以及保水、保肥性能。

4.7.7 烧失量、三氧化硫、水泥胶砂 28d 抗压强度

煤基固体废弃物烧失量按 GB/T 176 进行。

煤基固体废弃物烧失量按 GB/T 176 规定的硫酸盐-三氧化硫的测定方法进行。

水泥胶砂 28d 抗压强度按 GB/T 12957 进行。但强度检验用对比水泥为 GSB 14-1510 强度检验用水泥标准样品或强度等级为 52.5 及以上的硅酸盐水泥。有矛盾时以 GSB 14-1510 强度检验用水泥标准样品为准。

4.7.8 火山灰活性

煤基固体废弃物火山灰性实验按 GB/T 2847 进行。通过在规定时间周期后,水泥水化接触的水溶液中存在的氢氧化钙量与能使同一碱性溶液饱和的氢氧化钙相比较来确定。

七、分歧意见的处理过程、依据和结果

本文件在制定的过程中,没有出现重大分歧意见。

八、采用国际标准或国外先进标准情况

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/T176	水泥化学分析方法
GB/T177	水泥胶砂强度检验方法
GB/T208	水泥密度测定方法
GB/T211	煤中全水分的测定方法
GB/T212	煤的工业分析方法

GB/T213	煤的发热量测定方法
GB/T214	煤中全硫的测定方法
GB/T1345	水泥细度检验方法
GB/T1346	水泥标准稠度用水量凝结时间安定性检验方法
GB/T1574	煤灰成分分析方法
GB/T1596	用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB/T2847	用于水泥中的火山灰质混合材料
GB6566	建筑材料放射性核素限量
GB8173	农用粉煤灰中污染物控制标准
GB/T17431.1	轻集料及其试验方法 第1部分：轻集料
GB/T19227	煤中氮的测定方法
NY/T1980	肥料和土壤调理剂 急性经口毒性试验及评价要求
T/CACE028-2021	用于生态修复的粉煤灰
JGJ52	普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准
MT/T1086	煤和焦炭灰中常量和微量元素测定方法X荧光光谱法
HJ761	固体废物有机质的测定 灼烧减量法
MT/T1086	煤和焦炭灰中常量和微量元素测定方法X荧光光谱法
HJ761	固体废物有机质的测定 灼烧减量法

九、贯彻标准的措施建议

为贯彻标准，建议标准发布后，由中国煤炭地质总局适时发布贯标的通知，并委托起草单位组织培训，切实推动这项标准的贯彻实施。建议自标准发布之日起3个月后实施，以便相关监督部门、技术机构提前做好准备。

十、其他应予说明的事项

无