

# 制定《煤矸石回收再利用方法》化工行业标准

## 编制说明

### 一、任务来源及简要编制过程

#### 1. 任务来源

工业和信息化部办公厅关于印发 2019 年第一批行业标准制修订和外文版项目计划的通知工信厅科函〔2019〕126 号，全国废弃化学品处置标准化技术委员会于 2020 年完成《煤矸石回收再利用方法》化工行业标准（项目编号 2019-0312T-HG）。该标准由全国废弃化学品处置标准化技术委员归口，由天津化工研究设计院有限公司等单位负责起草。

#### 2. 简要编制过程

##### 2.1 前期调查和准备工作

标准起草单位接到上级部门下达的标准制定计划后，首先查阅了国内外标准及有关技术资料，并广泛征求对制定标准工作的意见，组成了标准起草小组。标准起草小组对调查情况进行汇总，完成了制定本标准的文献小结。

##### 2.2 召开工作方案会

全国废弃化学品处置标准化技术委员会（SAC/TC 294）（以下简称化处标委）于 2019 年 11 月在天津市组织召开了制定标准工作方案会。会上起草单位和相关代表针对文献小结进行了认真仔细的讨论，并提出标准框架。

##### 2.3 提出征求意见稿

会后负责起草单位根据标准框架提出标准草案征求意见稿、编制说明，广泛征求意见。向化处标委的委员及生产企业征求意见。

### 二、制标的目的意义

本标准计划紧密围绕全国标准化工作重点中“加快绿色化工产业标准研制”和《国家标准化体系建设发展规划（2016-2020 年）》第三章“重点领域”等要求，制修订废物综合利用、资源再生利用、废旧产品回收资源化等标准的要求，同时《国家创新驱动发展战略纲要》中也把节能与综合利用、工业三废综合利用列入其中，再次把节约资源，废弃物再利用，污染治理等提升到国家战略高度。

随着我国工业化、城镇化进程的加快，工业领域的资源消耗量将进一步加大，其开采、利用带来的环境问题与过度依赖资源进口引起的资源供应安全性问题将日益突出，工业发展将面临更为严峻的资源、环境约束的挑战。2013 年，我国主要金属矿产资源仍然保持着较高的对外依存度，其中铁矿石、铜精矿、铝土矿、锌精矿对外依存度分别为 60%、75%、40% 和 30%，资源短缺的现状已成为妨碍我国经济可持续健康发展的瓶颈问题。

中国是一个以煤炭为主要能源的国家，在煤的开采、加工过程中产生的煤矸石一般占比约为 15~20%，由于受区域限制，其资源化利用率差异较大，全国平均不足 30%，大量煤矸石仍以露天堆存为主，不仅造成了资源浪费，亦给周边环境带来严重污染和安全隐患，成为了一种“三废”俱全的污染源。

煤矸石是含有一定热量的多种沉积岩的集合体，主要矿物为黏土矿物（高岭石、伊利石、蒙脱石、勃母石）、砂岩（石英）、碳酸盐（方解石、菱铁矿、白云石）、硫化物（黄铁矿）以及铝质岩（三水铝矿、一水软铝矿和一水硬铝矿）；化学成分多以硅、铝为主，其次是铁、

钙、镁、钾、钠、无机硫、磷等，还含有少量的钛、钒、钴、镍、镓等稀有元素，因此，煤矸石是一种可以利用的资源。工业和信息化部关于印发《大宗工业固体废物综合利用“十二五”规划》的通知（工信部[2011]第 600 号）曾指出，我国各工业领域在生产活动中产生量在 1000 万吨以上、对环境和安全影响较大的固体废物中，煤矸石仅次于尾矿排列第二，应加强煤矸石综合利用技术开发，在大力推广传统技术应用的基础上，积极开发高附加值材料、化工产品。国发[2013]第 5 号明确要求推进煤系共伴生资源综合利用，加强煤系高岭土（岩）等共伴生矿综合利用，提高产品附加值，到 2015 年，煤矸石综合利用率达到 75%。“十三五”规划建议中则要求达到 85%。因此，制定煤矸石回收再利用方法标准，开发和推广煤矸石制备化工产品的回收再利用技术，合理调整产品结构，提升经济效益，使更多企业能够主动参与，不仅是提高煤矸石资源化利用率的重要途径，还可丰富和补充我国矿产资源之不足，故其具有重要的环境、社会和经济意义。

### 三、国内外标准及情况简述

国外对煤矸石的研究起步较早，主要集中在煤矸石矿物结构、组成、有害物质溶出行为及燃烧产物对环境的影响机制研究较多，对煤矸石热量回收，土地复垦、道路、坝体等工程应用及烧渣火山灰特性研究较为深入，亦有利用煤矸石生产加气混凝土、耐火材料和陶瓷等研究，但未涉及煤矸石提取有价值元素相关研究。

我国对煤矸石的综合利用研究始于 20 世纪 80 年代末，目前在煤矸石的处理和利用方面开辟了多种途径，总体可分为两大类即直接工程利用和资源回收利用。直接工程利用煤矸石是目前煤矸石利用的主要途径之一，已形成一定的工程应用背景，如采空区回填，道路材料和筑坝材料，土地复垦等。资源回收研究涉及面较广，主要依据以煤矸石的矿物组成特点和化学成分进行资源的合理利用，如回收能源，利用发热量大于 6276kJ/kg 的矸石作沸腾炉的燃料或发电厂辅助燃料；利用煤矸石自身热量和矿物组成生产建筑材料，生产矸石砖、水泥、耐火材料、陶粒等；回收有用矿物，从矸石中回收劣质煤、黄铁矿、铝土矿；对煤矸石中铝、硅、钛、镓等元素的提取、富集、回收亦是近年的热点，并建立了多条生产线，为煤矸石有价值元素的提取、富集、分离与纯化积累了丰富经验，已经成为煤炭行业实施循环经济的重要组成部分。

目前尚没有查阅到《煤矸石的回收再利用方法》的国内外标准。

不涉及知识产权问题。

### 四、制标原则

积极采用国际标准和国外先进国家标准，有利于促进技术进步，有利于合理利用资源，保护环境，保护人们的生命财产安全，并遵循科学性、先进性、统一性的原则。

### 五、编制标准的依据

1. 《中华人民共和国环境保护法》；
2. 《国家鼓励的资源综合利用认定管理办法》；
3. 《煤矸石综合利用管理办法》
4. 《煤矸石综合利用技术政策要点》
5. 《工业节能技术指南》等。

### 六、标准主要内容

## 1. 范围

本文件规定了煤矸石的术语和定义、主要成分、回收再利用方法及环境保护。

本文件适用于煤矸石的回收再利用。

## 2. 术语和定义

煤矸石是采煤过程和洗煤过程中排放的固体废物，是一种在成煤过程中与煤层伴生的一种含碳量较低、比煤坚硬的黑灰色岩石。包括巷道掘进过程中的掘进矸石、采掘过程中从顶板、底板及夹层里采出的矸石以及洗煤过程中挑出的洗矸石。

## 3. 主要成分

煤矸石的化学成分不稳定，不同地区的煤矸石成分变化较大，所以标准中给出了煤矸石的主要成分，煤矸石是含有一定热量的多种沉积岩的集合体，其主要矿物组成为黏土矿物（高岭石、伊利石、蒙脱石、勃母石）、砂岩（石英）、碳酸盐（方解石、菱铁矿、白云石）、硫化物（黄铁矿）以及铝质岩（三水铝矿、一水软铝矿和一水硬铝矿）；主要化学元素组成为硅、铝，其次是铁、钙、镁、钾、钠、无机硫、磷等，还含有少量的钛、钒、钴、镍、镓等稀有元素。

## 4. 回收再利用方法

### 4.1 高铝煤矸石提铝

#### a) 烧结法生产氧化铝

用铝土矿或其他含铝原料生产氧化铝，实质上就是使矿石中的氧化铝与其他杂质分离的过程，生产氧化铝的方法有碱法、酸法、电热法。

碱法的基本原理是使矿石中的氧化铝与碱在一定条件下生成铝酸钠，进入溶液而与二氧化硅和氧化铁等杂质分离，然后再使纯净的铝酸钠溶液分解析出氢氧化铝，氢氧化铝经高温煅烧制得成品氧化铝。

酸法是用适当的无机酸处理矿石，生产相应的铝盐，矿石中的氧化硅不与酸作用而残留于渣中，将铝盐进一步净化除铁后，分解得到氧化铝。但长期以来该法存在的酸回收以及设备问题，只有小规模工业化应用。

电热法用来处理高铁铝矿，将矿与碳还原剂配成炉料，在电弧炉内高温 2000℃ 下进行还原熔炼，从中提取氧化铝，目前该方法尚处于研究状态。

煤矸石中含有二氧化硅和三氧化二铝等多种有用物质，其中三氧化二铝质量分数为 36%~50%，用煤矸石替代铝土矿加以利用，可以有效弥补中国铝土矿的短缺，消除煤矸石对生态环境的破坏。我国内蒙古、山东、河北和吉林等地区的煤矸石中氧化铝含量高达 30% 以上，已探明的储量为 16.73 亿吨，远景储量为 55.29 亿吨。目前我国的煤矸石中提取氧化铝的方法主要有：酸溶法和碱熔法。

酸溶法的工艺流程为：煤矸石经煅烧活化后，再经酸溶、水解、碱溶、碳化及煅烧，得到氧化铝。其工艺流程如图1所示。工艺中钙的处理存在问题，从碳酸钙中和水解过滤后，沉淀中存有氯化钙，后面加NaOH，生成铝酸钠，这时钙仍然存在溶液中，后面通入CO<sub>2</sub>，碳分，钙会以CaCO<sub>3</sub>沉淀出来，所以得到的Al(OH)<sub>3</sub>，是纯度不高，所以该工艺最终没在标准的工艺推荐中给出。

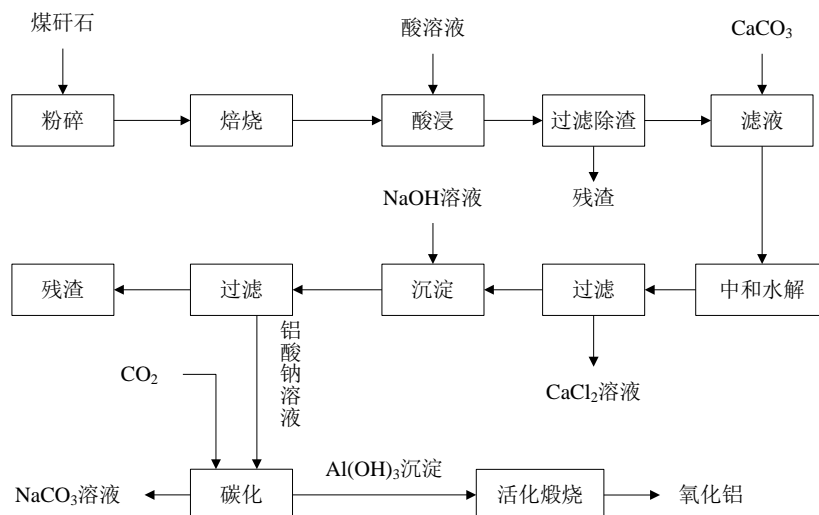


图1 煤矸石酸溶制氧化铝

标准中给出了碱熔法的工艺流程、工艺流程图及工艺参数均进行了详细的描述，并对能采用此方法制取氧化铝的煤矸石中的质量进行了要求，利用高铝煤矸石生产氧化铝的煤矸石灰分中 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量不小于30%，低位发热量不小于6276 kJ/kg，要求碱性物质含量高。标准对采用此工艺生产出来的产品的质量应符合GB/T 24487的要求。

#### b) 酸浸法制备铝基水处理剂

生产铝基水处理剂是煤矸石的另一个有效途径，标准中要求利用煤矸石制备铝基水处理剂的煤矸石为煤矸石灰分中 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量不小于30%，钙（镁）含量不大于2%的铝质煤矸石或高岭石煤矸石。

工艺描述是用强酸（硫酸或盐酸）对活化煤矸石进行酸浸，通过酸碱反应或复反应将酸溶物转化为可溶盐，经过滤、净化、浓缩生产相应的铝盐或聚合物，作水处理剂使用。

标准中给出了详细的工艺流程图和工艺参数要求，成品要求作为水处理剂的聚氯化铝产品的质量应符合GB/T 22627的要求，结晶氯化铝质量应符合HG/T 3541中的要求。

### 4.2 制备分子筛

分子筛是一种硅铝酸盐多孔材料。目前，工业分子筛一般都是以硅酸盐、铝酸盐和苛性碱等为原料，采用水热反应合成，其成本高、价格昂贵，限制了其推广应用，其它原料，如高岭土和膨润土合成的分子筛存在品质较低的问题。

根据煤矸石的主要化学成分为二氧化硅和三氧化二铝的特点，可以利用煤矸石制备分子筛，其工艺流程简单，成本低廉，并且原料来源丰富，并能将煤矸石变废为宝，实现其资源化利用。

标准中采用利用活化高岭石与氢氧化钠反应，获得铝硅凝胶，再经晶化、分离、洗涤、干燥制备分子筛。标准给出了详细的工艺流程描述、工艺流程图和工艺参数。要求分子筛的产品质量应符合HG/T 2524中的要求。

### 4.3 制备精细高岭土

煤矸石是与煤共伴生的一种矿物资源，矿物基本以高岭石为主。我国煤矸石（煤系高岭

土)储量大,质量纯,白度高,加工成本低。近年来,我国对煤矸石(煤系高岭土)的不断开发利用,特别是高岭土也是造纸业最通用和耗量最大的白色染料。全球造纸业年耗 2000 万 t 以上,其中超细高岭土约需 1200~1500 万 t。用煤矸石制造超细煅烧高岭土,无论对综合利用资源、保护环境,发展非煤产业,都有十分重要的意义。

标准中将煤矸石经粉碎后,采用综合除杂方式,除去原料中的含铁、含钛杂质矿物,经湿法超细粉碎、压滤、干燥、打散、强化气氛动态煅烧、解聚后得到精细高岭土。工艺过程中要求煤矸石破碎至不大于 5 mm;煅烧温度控制在 800℃~1050℃;煅烧时间控制在 3h 左右;超细粉碎工作浓度控制在 45%~50%;煅烧前粒度控制在 200 目~400 目。标准中给出了详细的工艺流程图。要求高岭土的质量应符合 JC/T 2370 的要求。

内蒙某公司建成 10 万吨产能的超细煅烧高岭土项目,吨产品磨矿电耗 120 kW·h,吨产品耗标煤 290 kg,年节约总电量约 800 万 kW·h、折合约 2720 t 标煤,煅烧、干燥等工序节约标煤 1.6 万 t,综合节能 1.87 万 t 标煤,按每吨标煤 600 元估算,每年节约煤炭费用 1122 万元。

#### 4.4 循环掺烧发电

煤矸石发电主要是用煤矸石燃烧时产生的热量进行发电,其常用燃料热值应在每 12550 kJ/kg 千克,煤矸石发电可以消耗大量煤矸石,最大限度地凸显煤矸石的经济效益、环境效益和社会效益,是国家鼓励并发展的煤矸石利用途径。将煤矸石用于发电,不仅可有效解决煤矸石资源长期大量堆存的问题,同时还有助于保护环境。目前,以劣质煤炭资源、煤矸石为主的流化床燃烧发电供热技术发展十分迅速。利用煤矸石发电可最大限度地降低煤炭成本,提高经济效益。

另外根据《国家煤矸石综合利用技术政策要点》中矸石发电的技术要求热值(4.5~12.55 MJ/kg),其可以作为发电燃料。所以标准中要求符合发电的煤矸石应该满足热值应在 5020 kJ/kg~12550 kJ/kg 之间,且煤矸石(包括煤泥)在入炉燃料中的比例不低于 60%的要求,标准中给出了煤矸石发电的工艺描述:煤矸石经输煤系统、破碎系统与石灰石混合,送入锅炉燃烧并炉内脱硫,锅炉产生的高温高压蒸汽送汽轮机做功,并带动发电机发电,电能由线路送至用户。燃烧产生的烟气进入静电除尘器除尘,除尘后的烟气进入布袋除尘器进一步除尘,然后送入高烟囱排放,锅炉燃烧后产生的渣经收集后综合利用。标准中给出了详细的工艺流程图。

2004 年底,全国煤矸石等低热值燃料电厂有 230 余座,总装机容量 200 万 kW,年发电量约 120 亿 kW·h。而 2017 年仅山西华昱能源有限公司循环经济园区内的 4 座矸石电厂总年发电量就达 149 亿 kW·h,远远超过 2004 年的年发电总量。2017 年全国煤矸石及低热值煤综合发电总装机容量达 3600 万 kW,是 2004 年的 18 倍。

#### 4.5 建材化利用

##### a) 制砖

利用煤矸石制砖也是大宗利用煤矸石的主要途径之一。用煤矸石全部或部分代替粘土,采用适当烧制工艺生产烧结砖的技术在我国已经成熟,煤矸石砖的品种较多,烧结砖、空心砖、墙面砖、地面砖,对煤矸石原料化学成分的要求均相同,生产工艺大同小异。

用煤矸石制造砖,煤矸石中 SiO<sub>2</sub> 的含量应保持在 55%~70%,它可以降低矸石粉料的可塑性指数,减小矸石砖坯在干燥和焙烧中的变形与收缩,有助于缩短干燥周期。SiO<sub>2</sub> 的含量如果

过高，会使产品的抗折强度明显下降，因此其含量应严格控制。矸石中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量应以 15%~25% 为宜， $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量增高，将会提高焙烧温度，砖不易变形，但含量超过 35% 时，砖易出现欠烧， $\text{Al}_2\text{O}_3$  能提高砖的抗压强度。矸石中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的含量应控制在 2%~8%， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  在还原的气氛中是一种较强的助熔剂，另外  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的含量与砖的外观颜色深浅成正比关系。矸石中  $\text{CaO}$  的含量应控制在 2.5% 以下， $\text{CaO}$  在矸石中多以  $\text{CaCO}_3$  的形式存在。 $\text{CaCO}_3$  受热后化学反应如下： $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$ ； $\text{CaO}$  吸水后化学反应如下： $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ ， $\text{Ca}(\text{OH})_2$  生成后，其体积会比  $\text{CaO}$  大 1.5~3.5 倍，致使出窑后的成品砖出现“石灰爆裂”。

生产煤矸石砖对煤矸石原料的化学组成要求，标准中给出了详细的要求，煤矸石制烧砖工艺比粘土制砖工艺增加了一道粉碎工序。根据煤矸石的硬度和粒径，可选用颚式或锤式破碎机、球磨机等分别进行粗、中、细碎，并对原料进行陈化，以增加塑性。标准中给出了详细的工艺流程图及工艺参数要求。最终的煤矸石制砖的产品应符合 JC/T 422 中的要求。

#### b) 制水泥

煤矸石的化学成分与黏土相近，且含有一定量的热和碳，可代替黏土作为水泥原材料，同时也被作为一种混合材料应用于熟料当中，提升水泥产量。煤矸石生产水泥的工艺流程与黏土相似，主要是将铁粉、石灰石、矸石按照特定比例配制成料，在砖窑中煅烧，使之成为水泥熟料。标准中给出了两种方式：（1）代替黏土生产水泥。即将煤矸石（13%~15%）、石灰石（69%~82%）、铁粉（3%~5%）（或铝粉）按一定比例配合，磨细成生料，煅烧至部分熔融，得到以硅酸钙为主要成分的熟料，再加入适量石膏和混合材料，磨成细粉而制成水泥。（2）制作水泥混合料。即将煤矸石经自燃或人工煅烧煤矸石、石灰活化后，加少量熟料或少量熟料水泥作活性混合材料，与熟料和石膏按比例配合后进入水泥磨磨细。煅烧温度控制在 650℃~1000℃ 之间，在水泥熟料中掺入量 15% 的活化煤矸石，可制得普通硅酸盐水泥，掺入量超过 20%，可制得火山灰硅酸盐水泥。掺入量根据煅烧煤矸石的活性、石膏和石灰（或熟料）的质量确定。

利用煤矸石生产水泥时，每生产 1t 水泥可节约煤炭资源约 50g，水泥材料抗压强度高达 300kg/cm<sup>2</sup>。将矸石掺入水泥熟料中，可对水泥性能进行优化和改善，从而生产出熟料水泥，且工艺流程较为简单，同时具有较高的经济效益，不仅可避免煤矸石对环境造成的污染，还可节约黏土资源，实现对废弃物的合理利用。

### 5. 环境保护

标准中对煤矸石的回收再利用过程中产生的废水、废气、废渣提出了要求：

- a) 在煤矸石回收再利用过程中产生的废气经处理后排放应符合环保部门的要求。
- b) 在煤矸石回收再利用过程中产生的废水经处理后排放应符合环保部门的要求。
- c) 在煤矸石回收再利用过程中产生的废渣应交有资质单位处理。

### 七、有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

与有关的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

### 八、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧意见。征求意见稿在网上公开征求意见，意见的处理见《标准征求意见汇总处理表》。

## **九、贯彻标准的要求和措施建议**

建议尽快发布实施本标准。建议标准实施后组织标准宣贯，使相关单位了解标准内容，促进标准顺利实施。

## **十、废止现行有关标准的建议**

本标准为首次制定。无废止现行有关标准的建议。

## **十一、标准水平分析**

在制标过程中没有收集到相关的国内外标准。本标准从国内的煤矸石回收再利用的实际情况出发，提出合理的方法，达到节能减排、保护环境的目的。

综合分析，本标准为国内先进水平。