



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

废物资源综合利用技术丛书

MEIGANSHI ZIYUAN ZAISHENG LIYONG JISHU

煤矸石资源 再生利用技术

张长森 编著



化学工业出版社



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

◆ 废物资源综合利用技术丛书

MEIGANSHI ZIYUAN ZAISHENG LIYONG JISHU

煤矸石资源 再生利用技术

张长森 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书为《废物资源综合利用技术丛书》的一个分册。

本书介绍了国内外煤矸石利用概况,叙述了煤矸石的产生、组成、结构、性质和分析方法,我国煤矸石综合利用现状及煤矸石资源化再生利用的前景,煤矸石分析方法,煤矸石中回收有用煤炭、硫铁矿等矿物及有用元素,煤矸石生产碱胶凝材料,煤矸石生产建筑材料,煤矸石在化学工业中的应用,煤矸石在农林业中的应用,煤矸石综合利用的相关国家政策和法规等内容。

本书具有较强的应用性,可供从事煤矸石资源再生利用的工程技术、研究、生产和经营管理人员使用,也可作为高等学校资源循环科学与工程、环境科学与工程、冶金及相关专业的研究生、本科生选作教学用书或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

煤矸石资源再生利用技术/张长森编著. —北京:化学工业出版社, 2017.11

(废物资源综合利用技术丛书)

ISBN 978-7-122-30332-5

I. ①煤… II. ①张… III. ①煤矸石-废物综合利用
IV. ①X752

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 181302 号

责任编辑:刘兴春 卢萌萌

装帧设计:王晓宇

责任校对:边涛

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张16¼ 字数386千字 2018年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

《废物资源综合利用技术丛书》

编 委 会

主 任：岑可法

副 主 任：刘明华 陈冠益 汪 苹

编委成员（以汉语拼音排序）：

程洁红	冯旭东	高华林	龚林林	郭利杰	黄建辉
蒋自力	金宜英	梁文俊	廖永红	刘 佳	刘以凡
潘 荔	宋 云	王 纯	王志轩	肖 春	杨 帆
杨小聪	张长森	张殿印	张 辉	赵由才	周连碧
周全法	祝怡斌				

废弃物的资源化利用是当今经济与社会发展的重大课题。我国对废弃物的政策是减量化、资源化和无害化，国家“十三五”规划中明确指出“树立节约、集约循环利用的资源观，推动资源利用方式根本转变，加强全过程节约管理，大幅提高资源利用综合效益”“做好工业固废等大宗废弃物资源化利用，加快建设城市餐厨废弃物、建筑垃圾和废旧纺织品等资源化利用和无害化处理系统”。探索废弃物资源化利用的新方法、新技术和新工艺，将会有力地推动技术创新和技术进步，推动社会生产力的发展，促进生态文明建设。

煤矸石是煤炭开采和加工过程中排放出的废弃物，是目前我国排放量最大的固体废弃物之一，约占全国工业固体废弃物的 20% 以上。2015 年我国煤炭产量约 $3.75 \times 10^9 \text{ t}$ ，较 2005 年增长 70% 左右，同年煤矸石排放总量达到 $7.76 \times 10^8 \text{ t}$ ，较 2005 年增长近 1 倍。自 20 世纪 50 年代我国科技工作者就开展了煤矸石综合利用的研究，几十年来研究并开发了许多煤矸石资源再生利用技术，煤矸石已在众多领域得到应用，如建材业（生产水泥、砖、砂浆、混凝土和陶粒等）、化工工业（生产分子筛、硅铝炭黑、无机高分子絮凝剂及塑料和橡胶填料等）、农林业（生产肥料、作为回填料等）等，在许多方面都已有了成熟的技术，并建立了相应的生产线。

随着科学技术的发展，人们对煤矸石资源化再生利用的认识不断深入，为及时反映煤矸石再生利用的最新成果，推广煤矸石资源化技术，促进新型生态环境材料和环保产业发展，在本人多年从事煤矸石研究的基础上，并参考国内外煤矸石资源再生利用的文献资料，进行煤矸石资源化再生利用条件分析。本书介绍了国内外煤矸石利用概况，我国政府出台的煤矸石资源化再利用的政策法规，论述了煤矸石的产生、组成、结构、性质和成分分析方法，思考和展望了我国煤矸石资源化再利用的前景，介绍了煤矸石在建材、陶瓷、化学等工业及农林业等方面的资源化综合利用技术和相关产品的生产工艺。本书理论与实践相结合，既有一定的理论深度，又有实用技术及工程实例，可供从事建材、化工、煤炭、电力生产和科研的技术人员，以及高等学校相关专业的学生参考。

本书由张长森编著，盐城工学院张建利、李杨、冯桢哲、朱宝贵、王毓和胡志超等参与了本书的文献查阅、整理和校对工作，在此表示感谢。本书参考了大量的资料文献，引用了他人公开发表或未公开发表的重要理论成果或部分数据成果，在此向这些文献的作者们一并表示衷心感谢。另外，本书的出版得到了江苏省生态建材与环保装备协同创新中心的支持，在此表示衷心感谢。

煤矸石资源化再生利用技术和产品众多，限于篇幅，还有一些技术和产品未能述及；另外，限于编著者的水平和经验，可能取舍不尽合理，叙述中有不足和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编著者

2017 年 4 月

第1章 煤矸石、环境、资源

1.1 煤矸石的来源与分类	001
1.1.1 煤矸石的来源	001
1.1.2 煤矸石的分类	002
1.2 煤矸石对环境的影响	005
1.2.1 煤矸石对大气环境的影响	005
1.2.2 煤矸石对水体环境的影响	006
1.2.3 煤矸石对土壤环境的影响	006
1.2.4 煤矸石对地质的影响	007
1.3 矿区及煤矸石山的环境治理	008
1.3.1 防止自燃	008
1.3.2 微生物脱硫	009
1.3.3 复垦种植	009
1.3.4 发展养殖业	009
1.3.5 发展第三产业	010
1.4 煤矸石资源再利用概述	010
1.4.1 国外煤矸石资源再利用现状	010
1.4.2 国内煤矸石资源再利用现状	011
1.4.3 我国有关煤矸石资源综合利用的政策法规	014
1.4.4 煤矸石综合利用的技术原则	016
1.4.5 煤矸石资源再利用的思考和展望	016
参考文献	018

第2章 煤矸石的理化特性

2.1 煤矸石的化学组成及矿物组成	020
2.1.1 煤矸石的化学组成	020
2.1.2 煤矸石的矿物组成	022
2.2 煤矸石的物理性质	027
2.2.1 力学性能	027
2.2.2 密度和堆积密度	027
2.2.3 吸水率和塑型指数	027
2.2.4 多孔性	027
2.2.5 煤矸石的烧结性能	027
2.3 煤矸石的燃烧特性	027

2.3.1 低热值煤矸石燃烧过程	028
2.3.2 不同粒径对燃烧特性的影响	028
参考文献	029

第3章 煤矸石成分分析方法

3.1 试剂的配制与标定	030
3.1.1 普通试剂的配制	030
3.1.2 标准溶液的配制	031
3.1.3 标准滴定溶液的配制	031
3.2 试样的制备	033
3.2.1 含水量测定用试样制备	033
3.2.2 化学分析用试样制备	033
3.3 含水量的测定——烘干法	033
3.3.1 测定用器具	033
3.3.2 测定步骤	033
3.4 烧失量的测定——灼烧差减法	034
3.4.1 测定用器具	034
3.4.2 测定步骤	034
3.4.3 测定过程中应注意的事项	034
3.5 二氧化硅的测定——氟硅酸钾容量法	034
3.5.1 试样溶液的制备——氢氧化钠熔融分解试样	034
3.5.2 测定基本原理	035
3.5.3 测定所用试剂	035
3.5.4 测定步骤	035
3.5.5 测定过程中应注意的事项	036
3.5.6 其他测定方法	036
3.6 三氧化二铁的测定——EDTA 直接滴定法	036
3.6.1 测定基本原理	036
3.6.2 测定所用试剂	037
3.6.3 测定步骤	037
3.6.4 测定过程中应注意的事项	037
3.6.5 其他测定方法介绍	037
3.7 三氧化二铝、二氧化钛的测定——EDTA-苦杏仁酸置换-铜盐返滴定法	038
3.7.1 测定原理 (EDTA 络合滴定法)	038
3.7.2 测定所用试剂	038
3.7.3 测定步骤	038
3.7.4 测定过程中应注意的事项	039
3.7.5 其他测定方法	039
3.8 二氧化钛的测定——二安替比林甲烷分光光度法	039
3.8.1 原理	039

3.8.2	测定所用试剂	040
3.8.3	二氧化钛 (TiO ₂) 标准溶液工作曲线的绘制	040
3.8.4	测试步骤	040
3.9	氧化钙的测定——EDTA-配位滴定法	041
3.9.1	测定所用试剂	041
3.9.2	测定步骤	041
3.10	氧化镁的测定——EDTA-配位滴定法	041
3.10.1	测定所用试剂	041
3.10.2	测定步骤	041
3.11	一氧化锰的测定——高碘酸钾氧化比色法	042
3.11.1	原理	042
3.11.2	测定所用试剂	042
3.11.3	一氧化锰标准溶液工作曲线的绘制	042
3.11.4	分析步骤	043
3.12	三氧化硫测定——硫酸钡重量法	043
3.12.1	测定所用试剂	043
3.12.2	测定步骤	043
3.13	氧化钾和氧化钠的测定——火焰光度法	044
3.13.1	方法提要	044
3.13.2	测定所用试剂	044
3.13.3	测定步骤	044
3.14	艾士卡法全硫测定	045
3.14.1	方法原理	045
3.14.2	测定所用试剂	045
3.14.3	测定步骤	045
3.14.4	其他测定方法	046
3.15	煤矸石热值的测定	046
3.15.1	工业分析法测定热值的原理	046
3.15.2	所需设备及用具	046
3.15.3	水分的测定	046
3.15.4	灰分的测定——快速灰化法	047
3.15.5	挥发分的测定	047
3.15.6	焦渣特征的鉴定	047
3.15.7	煤的种类判断	047
3.15.8	煤的发热量的计算	048
3.16	CID-ICP-AES 法同时测定微量元素	049
3.16.1	仪器装置及操作条件	049
3.16.2	实验条件	049
3.16.3	样品制备	050
	参考文献	050

第 4 章 煤矸石中 有用矿物回收

4.1 煤矸石中硫铁矿的回收 051

4.1.1 煤矸石中硫形态 051

4.1.2 硫铁矿分选工艺 051

4.1.3 煤矸石中硫铁矿分选实例 053

4.2 煤矸石生产超细高岭土 054

4.2.1 煤系高岭土干法分选技术 056

4.2.2 工艺原理 056

4.2.3 工艺流程 057

4.2.4 粉磨时间与煅烧高岭土粒度的关系 059

4.2.5 煅烧时间、煅烧温度及入烧原料细度对煅烧高岭土白度的影响 059

4.2.6 应用实例 060

4.3 煤矸石中氧化铝提取技术 060

4.3.1 煤矸石处理 060

4.3.2 氧化铝浸取工艺 061

4.3.3 煅烧温度、煅烧时间对氧化铝浸出率的影响 061

4.3.4 酸浸浓度、时间对氧化铝浸出率的影响 062

4.3.5 除铁 064

4.3.6 制取超细氧化铝粉 064

4.4 煤矸石中二氧化硅提取技术 065

4.4.1 制备水玻璃技术 065

4.4.2 制备白炭黑技术 066

4.4.3 实例 068

4.5 煤矸石中氧化钛提取技术 068

参考文献..... 069

第 5 章 煤矸石活化途径及评价

5.1 煤矸石内部结构与活性的关系 070

5.1.1 新鲜煤矸石（风化煤矸石） 070

5.1.2 自燃煤矸石 070

5.1.3 烧煤矸石 070

5.2 煤矸石活性评价方法 071

5.2.1 石灰吸收法 071

5.2.2 火山灰性试验 071

5.2.3 强度法 072

5.2.4 活性率法 072

5.2.5 其他方法 073

5.3 煤矸石的活化途径 073

5.3.1 煤矸石的机械力活化 073

5.3.2 煤矸石的热活化	077
5.3.3 煤矸石的微波活化	081
5.3.4 煤矸石的复合活化	084
参考文献	089

第6章 煤矸石应用于建筑材料

6.1 煤矸石生产新型水泥	090
6.1.1 煤矸石制备碱胶凝材料	090
6.1.2 流化床煅烧煤矸石生产水泥	099
6.1.3 低温合成煤矸石水泥	100
6.2 煤矸石代黏土生产水泥	101
6.2.1 生产硅酸盐水泥技术	101
6.2.2 生产硫铝酸盐水泥技术	107
6.2.3 生产氟铝酸盐水泥技术	109
6.3 煤矸石作水泥混合材料	110
6.3.1 生产工艺流程	110
6.3.2 烧煤矸石作水泥混合材料	111
6.3.3 自燃煤矸石作水泥混合材料	113
6.4 煤矸石作混凝土掺合料	113
6.4.1 掺用机理	113
6.4.2 煤矸石性状对混凝土性能的影响	113
6.4.3 煤矸石掺合料对混凝土性能的影响	114
6.5 煤矸石作混凝土集料	116
6.5.1 自燃煤矸石轻集料	117
6.5.2 自燃煤矸石集料混凝土性能	118
6.6 煤矸石制备墙体材料	119
6.6.1 煤矸石烧结砖技术	119
6.6.2 煤矸石免烧砖技术	125
6.6.3 煤矸石混凝土砌块技术	127
6.6.4 蒸养煤矸石砌块技术	128
6.6.5 煤矸石制备微孔轻质烧结砖技术	130
6.7 煤矸石制备陶粒	136
6.7.1 全煤矸石烧制陶粒技术	136
6.7.2 部分煤矸石轻质陶粒技术	137
参考文献	140

第7章 煤矸石应用于路基材料

7.1 煤矸石作路基材料的可行性	142
7.1.1 煤矸石理化特性分析	142
7.1.2 无机结合料稳定煤矸石强度形成机理分析	146

7.1.3 煤矸石自燃的问题分析	147
7.1.4 煤矸石淋溶问题分析	147
7.2 煤矸石作公路路基材料	148
7.2.1 煤矸石技术要求	148
7.2.2 无机稳定材料的选择与配合比确定	150
7.2.3 煤矸石路基的施工	151
7.2.4 用煤矸石填筑路基需要解决的问题	152
7.2.5 煤矸石在道路工程中的应用实例	152
7.3 煤矸石作铁路路基材料	153
7.3.1 铁路路基对材料的要求	153
7.3.2 煤矸石铁路路基施工	154
7.3.3 煤矸石作铁路路基材料的经济分析	154
7.3.4 煤矸石在铁路工程中的应用实例	156
参考文献	157

第8章 煤矸石应用于制备陶瓷

8.1 煤矸石制备堇青石	158
8.1.1 原料及配比	158
8.1.2 合成工艺	158
8.1.3 添加剂对堇青石合成的影响	158
8.1.4 原料性能对堇青石合成的影响	159
8.1.5 煤矸石中杂质含量对堇青石合成的影响	159
8.1.6 合成温度对堇青石粉体物相和形貌的影响	159
8.1.7 保温时间对堇青石粉体物相和形貌的影响	160
8.1.8 合成堇青石实例	162
8.2 煤矸石制备 β -SiC	163
8.2.1 碳热还原法	163
8.2.2 原料及配比	164
8.2.3 合成工艺	164
8.2.4 合成温度的影响	165
8.2.5 保温时间的影响	166
8.2.6 原料粒度、碳过量数对产率的影响	166
8.2.7 合成 SiC 实例	166
8.3 煤矸石制备赛隆陶瓷(Sialon)	167
8.3.1 合成方法	167
8.3.2 煤矸石合成 Sialon 的方法	168
8.3.3 氮化还原法制备 Sialon 的影响因素	169
8.3.4 合成实例	170
8.4 煤矸石制备莫来石陶瓷	171
8.4.1 煤矸石制备莫来石陶瓷的工艺流程	171

8.4.2	烧成温度与保温时间的影响	171
8.4.3	添加剂的影响	172
8.4.4	合成实例	173
8.5	煤矸石制备多孔陶瓷滤球	173
8.5.1	煤矸石制备多孔陶瓷滤球工艺流程	173
8.5.2	原料	174
8.5.3	成孔剂对气孔率的影响	175
8.5.4	强度的影响因素	175
8.5.5	合成实例	176
参考文献		176

第9章 煤矸石应用于化工产品

9.1	煤矸石用于有机高分子材料的填充改性	178
9.1.1	煤矸石的处理	178
9.1.2	煤矸石填充改性橡胶制品	179
9.1.3	煤矸石填充改性塑料制品	181
9.2	煤矸石制备分子筛技术	185
9.2.1	原材料技术要求及工艺流程	185
9.2.2	煤矸石的处理	186
9.2.3	水热合成法工艺及参数	187
9.3	煤矸石制备铝化合物	188
9.3.1	制备结晶氯化铝	188
9.3.2	制备无机高分子絮凝剂 (IPF)	189
9.3.3	制备硫酸铝	191
参考文献		192

第10章 煤矸石应用于农林业

10.1	煤矸石充填复垦造田	193
10.1.1	国内外矿区复垦造田现状	193
10.1.2	煤矸石充填复垦材料的基本要求	195
10.1.3	煤田塌陷区土地复垦的主要复垦模式	195
10.1.4	煤田塌陷区土地复垦的主要技术措施	196
10.1.5	应用实例	197
10.2	煤矸石山复垦造林	197
10.2.1	煤矸石的立地条件	197
10.2.2	煤矸石山基质改良的主要技术	198
10.2.3	煤矸石山复垦造林树种的选择	199
10.2.4	植被恢复栽植技术	200
10.2.5	复垦效益	200
10.2.6	应用实例	200

10.3 煤矸石废弃地建生态园林景观..... 201

10.3.1 规划依据、目标和原则 201

10.3.2 场地分析..... 202

10.3.3 景观规划..... 203

10.3.4 应用实例..... 204

10.4 煤矸石生产农肥..... 204

10.4.1 煤矸石生产复合有机肥料..... 205

10.4.2 煤矸石微生物肥料..... 206

参考文献..... 209

第 11 章 煤矸石的能源利用

11.1 煤矸石中煤炭的回收技术..... 210

11.1.1 水力旋流器分选..... 210

11.1.2 重介质分选..... 211

11.2 煤矸石发电..... 212

11.2.1 相关政策规定..... 212

11.2.2 燃烧技术..... 213

11.2.3 烟气处理技术..... 214

11.2.4 煤矸石发电工艺..... 218

11.2.5 煤矸石发电综合效益分析..... 218

11.2.6 实例..... 220

11.3 作为炉窑燃料直接生产建材产品..... 220

11.3.1 生产烧结砖..... 220

11.3.2 生产水泥..... 222

参考文献..... 222

附录

附录 1 煤矸石综合利用管理办法(2014 年修订版)..... 223

附录 2 热电联产和煤矸石综合利用发电项目建设管理暂行规定 227

附录 3 “十二五”资源综合利用指导意见 230

附录 4 大宗固体废物综合利用实施方案 235

附录 5 煤矸石分类(GB/T 29162—2012) 241

索引

第 1 章



煤矸石、环境、资源

煤矸石是在煤矿建井、开拓掘进、采煤和煤炭洗选过程中产生的干基灰分 $>50\%$ 的岩石。其是一种在成煤过程中与煤层伴生的含碳量较低、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^[1]。其排放量相当于煤炭产量的 $10\% \sim 15\%$ ^[2]。2015 年我国煤炭产量为 $3.75 \times 10^9 \text{ t}$ ，占世界煤炭消费量的 $1/2$ ^[3]，较 2005 年增长 70% 左右，同年煤矸石排放总量达到 $7.76 \times 10^8 \text{ t}$ ，较 2005 年增长近 1 倍。目前，我国煤矸石已累计堆存 $5.0 \times 10^9 \text{ t}$ 以上^[4]，以 2015 年煤矸石排放总量达到 $7.76 \times 10^8 \text{ t}$ 、综合利用量 $4.8 \times 10^8 \text{ t}$ 计，每年约新产生 $(2.7 \sim 3.5) \times 10^8 \text{ t}$ 煤矸石。

煤矸石是一种可循环利用的资源，国家“十三五”规划中指出^[5]，“以提高环境质量为核心，以解决生态环境领域突出问题为重点，加大生态环境保护力度，提高资源利用效率，为人民提供更多优质生态产品，协同推进人民富裕、国家富强、中国美丽。”“树立节约集约循环利用的资源观，推动资源利用方式根本转变，加强全过程节约管理，大幅提高资源利用综合效益。”“实施循环发展引领计划，推进生产和生活系统循环链接，加快废弃物资源化利用。推进城市矿山开发利用，做好工业固废等大宗废弃物资源化利用，加快建设城市餐厨废弃物、建筑垃圾和废旧纺织品等资源化利用和无害化处理系统，规范发展再制造。”自“八五”以来，我国煤矸石资源综合利用有了较大的发展，利用途径不断扩大，技术水平不断提高。但与发达国家煤矸石资源综合利用相比，我国在该领域还有一定差距，产品的技术含量不高，综合利用发展也不平衡。大力开展煤矸石资源再利用不但可以增加企业的经济效益，改善煤矿生产结构，分流煤矿富余人员，还可以减少土地压占，改善环境质量。煤矸石资源再利用是我国以煤为主的能源结构的必然选择，也是实施可持续发展战略的重要措施之一。因此，我们必须以可持续发展的战略高度充分认识煤矸石资源再利用的现实意义。

1.1 煤矸石的来源与分类

1.1.1 煤矸石的来源

煤矸石的产地分布和原煤产量有直接关系。我国煤矸石年排放量超过 $4.0 \times 10^6 \text{ t}$ 的有东

北、内蒙古、山东、河北、陕西、山西、安徽、河南、新疆等省区，可见煤矸石排放量比较多的地区集中在北方。煤矸石作为煤炭工业废渣被排放，它们分别从煤矿建井、矿井改扩建、煤炭采出过程和原煤洗选过程等煤炭开采的各个阶段被排放。它们来自所采煤层的顶板、底板、夹层或运输大巷、主井、副井和风井所凿穿的岩层。煤矸石来源及产生主要有以下3个方面。

(1) 原矿矸

岩石巷道掘进时产生的煤矸石，通常称为原矿矸，占煤矸石的60%~70%。主要岩石有泥岩、页岩、粉砂岩、砂岩、砾岩、石灰岩等。

(2) 层夹矸

采煤过程中从顶板、底板和夹在煤层中的岩石夹层里所产生的煤矸石，占煤矸石的10%~30%。煤层顶板常见的岩石包括泥岩、粉砂岩、砂岩及砂砾岩；煤层底板的岩石多为泥岩、页岩、黏土岩、粉砂岩；煤层夹矸的岩石有黏土岩、碳质泥岩、粉砂岩、砂岩等。

(3) 洗矸

煤炭分选或洗煤过程中产生的煤矸石，又被称为洗矸石，约占煤矸石的5%~10%。其主要由煤层中的各种夹石如高岭石、黏土岩、黄铁矿等组成。

1.1.2 煤矸石的分类

煤矸石作为一种再生资源，其利用途径越来越广阔，对煤矸石岩石类型、矿物、化学组成的要求也有所不同，因此有必要对煤矸石进行分类。分类能对煤矸石的资源化再利用做出恰当的评价，从宏观上研究煤矸石再利用的可行性和合理性，有利于比较精确地研究各类煤矸石的质和量，消除人为堆积煤矸石造成的煤矸石质量和成分的混杂现象，为煤矸石综合利用和长远发展提供决策性依据，有利于指导探索研究出高科技含量、高附加值综合利用的新途径。煤矸石分类有别于一般的岩石学分类，煤矸石的资源化分类基于煤矸石岩石类型、矿物成分、化学组成和矸石中有用组分的品位及物理化学特征。

1.1.2.1 煤矸石分类方法

由于各地煤矸石成分复杂，物理化学特性各异，加之不同的煤矸石加工利用方向对煤矸石的化学成分及物理化学特性要求不一样。常用的分类方法有以下几种^[6~8]。

(1) 按煤矸石的来源分类

按煤矸石的来源可分为煤巷矸、岩巷矸、自燃矸、洗矸、手选矸和剥离矸6大类。

1) 煤巷矸 煤矿在井巷掘进过程中，凡是沿煤层掘进工程所排出的矸石，统称煤巷矸。煤巷矸常有一定的含碳量及热值，且排量大。

2) 岩巷矸 煤矿在井巷掘进过程中所排出的矸石，统称岩巷矸。这类矸石的特点是岩种杂，排量集中，含碳量低，有的根本不含碳。

3) 自燃矸 凡是堆积在矸石山经过自燃的矸石统称为自燃矸。这类矸石一般呈红褐色、灰黄色及灰色，以粉砂质泥岩及泥岩居多，其烧失量低，且有一定的火山灰活性。因其性能特殊且用途与其他矸类不同，故单独划为一类，与其他四类并列。

4) 洗矸 又称选煤厂尾矿，是从煤炭洗选过程中排出的矸石。洗矸特点是排量集中，粒度较小，含碳量和含硫量均高于各类矸石，具有一定热值，可作为劣质燃料用。

5) 手选矸 此类矸石是混在原煤中产出，在井口或选煤厂由人工拣出的矸石。手选矸

具有一定的粒度，排量小，热值变化较大。此外，在手选矸石的同时，一些与煤共生、伴生的矿产资源往往亦同时选出。

6) 剥离矸 煤矿在露天开采或基建初期，煤系上覆岩层因剥离而排出的矸石，称为剥离矸。其特点是岩种杂，一般无热值，目前多用来填沟造地，有些剥离矸石中还有大量共生矿产。

(2) 按煤矸石的岩石类型分类

按煤矸石的岩石类型一般可分为黏土岩矸石、砂岩矸石、钙质岩矸石和铝质岩矸石等。

1) 黏土岩矸石 组成以黏土矿物为主的矸石为黏土岩矸石，主要有高岭石泥岩(高岭石含量 $>60\%$)、伊利石泥岩(伊利石含量 $>50\%$)、碳质页岩、泥质页岩及灰岩等。黏土岩矸石在煤矸石中占有相当大的比重。主要利用途径为：高岭石泥岩、伊利石泥岩多用于生产多孔烧结料、煤矸石砖、建筑陶瓷、含铝精矿、硅铝合金、道路建筑材料；砂质泥岩、砂岩多用于生产建筑工程用的碎石、混凝土密实集料；石灰岩多用于生产胶凝材料、建筑工程用的碎石、改良土壤用的石灰。碳质页岩和碳质泥岩中，一般均含有较多的炭粒。

2) 砂岩矸石 又称为粉砂岩矸石，一般在岩巷矸和剥离矸中较多。主要由碎屑矿物和胶结物两部分组成，以石英屑为主，其次是长石、云母矿物；胶结物一般为被碳质浸染的黏土矿物或含碳酸盐的黏土矿物以及其他化学沉积物。按颗粒大小又可分为粗砂岩、细砂岩、粉砂岩等。

3) 钙质岩矸石 主要矿物以方解石、白云石为主的矸石。以方解石矿物为主的称为石灰岩，以白云石为主的称为白云岩。在钙质岩中常常含有菱铁矿，并混有较多的黏土矿物或少量石英、长石等碎屑矿物。

4) 铝质岩矸石 是一种富含 Al_2O_3 较高的矸石，主要由黏土矿物和富铝矿物（如一水硬铝石）组成，往往混有石英、玉髓、方解石、白云石等矿物。

(3) 按煤矸石中碳含量分类

按煤矸石中碳含量可分为四类：一类煤矸石 $<4\%$ 、二类煤矸石 $4\%\sim6\%$ ；三类煤矸石 $6\%\sim20\%$ ；四类煤矸石 $>20\%$ 。一类、二类煤矸石(发热量 2090kJ/kg 以下)可作为水泥的混合材、混凝土集料和其他建材制品的原料，也可用于复垦采煤塌陷区和回填矿井采空区；三类煤矸石(发热量 $2090\sim6270\text{kJ/kg}$)可用于生产水泥、砖等建材制品；四类煤矸石发热量较高(发热量 $6270\sim12550\text{kJ/kg}$)，一般宜用作燃料。

(4) 按煤矸石中硫含量分类

按煤矸石中硫含量也可将煤矸石分为四类：一类煤矸石 $<0.5\%$ ；二类煤矸石 $0.5\%\sim3\%$ ；三类煤矸石 $3\%\sim6\%$ ；四类煤矸石 $>6\%$ 。当煤矸石中全硫含量达 6% 时应回收其中的硫精矿，这是硫资源回收的最低界线，也是煤矸石在利用过程中多数产品对煤矸石中硫含量的最高允许值。如用煤矸石作燃料时应采取相应除尘、脱硫措施，以减少烟尘和硫氧化物的污染，达到环保要求的标准。

(5) 按煤矸石中铁化合物含量分类

按煤矸石中铁化合物含量分为：少铁煤矸石 $<0.1\%$ ；低铁煤矸石 $0.1\%\sim1.0\%$ ；中铁煤矸石 $1.0\%\sim3.5\%$ ；次高铁煤矸石 $3.5\%\sim8.0\%$ ；高铁煤矸石 $8\%\sim18\%$ ；特高铁煤矸石 $>18\%$ 。铁含量也决定和影响了煤矸石的热加工工艺方式和工业利用范围。

(6) 按煤矸石中铝硅比分类

按煤矸石中铝硅比($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$)可划分为3类。

① 铝硅比 >0.5 ，这类煤矸石主要特点是含铝量高，含硅量相对较低。煤矸石矿物成分以高岭石为主，有少量伊利石、石英。煤矸石质点粒径小，可塑性好，具有膨胀现象。此时，煤矸石可考虑作为制高级陶瓷、分子筛的原料。

② 铝硅比在 $0.5\sim0.3$ 之间，其特点是铝、硅含量都适中。矿物成分以高岭石、伊利石为主，具有一定的石英、长石、方解石等。选择以 0.3 为下限，是因为在此分界线以上的煤矸石可作为生产聚合铝的原料。

③ 铝硅比 <0.3 ，煤矸石特点是硅含量比铝含量相对高得多，其矿物成分主要是石英、长石、方解石、菱铁矿等，含少量黏土矿物。质点粒径大，可塑性差。

此外，煤矸石的灰熔点是煤矸石中钙、镁化合物的含量和铝、硅含量的综合反映，也影响着煤矸石的利用途径。在烧结砖瓦时要求使用中、低灰熔点的煤矸石；在制造耐火制品时应选择高灰熔点的煤矸石。

1.1.2.2 国家标准中煤矸石的分类

国外有资料报道了对煤矸石的简单分类工作，如将煤矸石分为未燃矸和燃矸等。前苏联对煤矸石^[9]分类是按煤矸石的来源、特征、成分等不同指标分等级列出的分类符号，然后根据煤矸石在工业利用方面的质量要求，填入所需要的分类符号，根据分类符号所规定的质量要求，就可以选择煤矸石的加工工艺的。我国煤炭生产部门习惯上用颜色来分类命名，如黑矸、灰矸、白矸、红矸等；也有用其产出层位来分类的，如顶板矸、夹石矸等。但这些分类方案既不能反映煤矸石自身的化学成分和物理化学特征，也不能根据这些分类方案提出煤矸石的加工利用方向。20 世纪 80 年代中期以来，我国科技工作者对煤矸石分类进行了广泛研究，其代表性的主要有三级分类命名法、等级定量法、二级分类命名法三种方法。为促进煤矸石得到合理的资源化再利用，我国于 2013 年颁布实施了煤矸石分类国家标准(GB/T 29162—2012)，该标准对煤矸石分类命名进行了详细规定，使煤矸石的分类得以统一。

GB/T 29162—2012 规定煤矸石分类名称的冠名顺序以全硫含量、灰分产率、灰成分分类依次排列。其编码表示为 $\times\times\times$ 或者 $\times\times\times(\times)$ 。第一位数字表示煤矸石按全硫含量分类(1 为低硫煤矸石，2 为中硫煤矸石，3 为中高硫煤矸石，4 为高硫煤矸石)；第二位数字表示煤矸石按灰分产率分类(1 为低灰煤矸石，2 为中灰煤矸石，3 为高灰煤矸石)；第三位数字表示煤矸石的类型(1 为钙镁型煤矸石，2 为铝硅型煤矸石)；括号内数字表示煤矸石的铝硅等级(1 为 1 级铝硅比，2 为 2 级铝硅比，3 为 3 级铝硅比)。煤矸石的分类类别名读写按其编码对应的分类名依次读写，例如编码为 321 的煤矸石读写为中高硫中灰钙镁型煤矸石；编码为 322(1) 的煤矸石读写为中高硫中灰铝硅型煤矸石(1 级铝硅比)。其具体分类标准如下所述^[10]。

(1) 按全硫含量分类

煤矸石按全硫的低、中、中高、高划分为四个类别，对应的编码为 1、2、3、4。类别划分见表 1-1。

表 1-1 煤矸石按全硫含量分类

编码	类别名称	全硫含量($S_{t,d}$)范围/%
1	低硫煤矸石	$S_{t,d}\leqslant 1.00$
2	中硫煤矸石	$1.00<S_{t,d}\leqslant 3.00$