



煤矸石及其在矿区 铁路建设中的应用

王喜富
张禄秀
王玉顺 著
王国柱
季培萍

煤炭工业出版社

煤矸石及其在矿区铁路 建设中的应用

王喜富 张禄秀 王玉顺 王国柱 季培萍 著

煤炭工业出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矸石及其在矿区铁路建设中的应用/王喜富等著.

—北京:煤炭工业出版社, 2003

ISBN 7-5020-2298-8

I. 煤… II. 王… III. ①煤矸石—研究②煤矸石—应用—矿区—铁路路基—工程施工—研究

N. TD849 U214.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 028826 号

煤矸石及其在矿区铁路建设中的应用

王喜富 张禄秀 王玉顺 王国柱 季培萍 著

责任编辑: 李小波 冯德涛

*

煤炭工业出版社 出版发行

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

北京房山宏伟印刷厂 印刷

*

开本 850mm×1168mm^{1/32} 印张 4

字数 130 千字 印数 1—1,000

2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月第 1 次印刷

社内编号 5070 定价 28.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

煤矸石是在煤矿建设、煤炭开采及加工过程中排放出的废弃岩石。煤矸石综合排放量一般占原煤产量的15%~20%，大部分作为工业固体废弃物混杂堆积，我国累计堆存煤矸石已达30亿t，形成了1500座矸石山，占用了大量土地，造成了煤矿周边地区或流域的环境问题，影响了煤矿的可持续发展。

世界各主要产煤国家，在采掘和煤炭洗选过程中排出的煤矸石数量很大。煤矸石是目前我国最大的固体废弃物源，占全国工业固体废料的20%以上。大量的煤矸石堆积在地表，不仅侵占了大量土地，而且污染环境，造成了严重的环境问题。为推动煤矸石资源化利用，广开煤矸石资源化利用途径，加强对煤矸石的基础及应用研究，对煤矸石的主要成分组成、基本特性、综合利用及合理分类等方面进行深入的研究具有十分重要的理论和实际意义。煤矸石综合利用包括煤矸石发电、生产建材、无污染化复垦、工程应用等大宗量利用和高科技、高附加值的深加工利用，特别是煤矸石用作矿区铁路路基具有较大的经济、社会和环境效益。

1999~2002年，本书的第一作者在中国矿业大学与兖州矿业集团公司铁路运输处合作研究的“煤矸石做矿区铁路路基填料的可行性研究”和“煤矸石铁路路基自燃防治及其安全保障措施”两项课题的科研报告中，研究了煤矸石分类，详细分析了煤矸石的物理力学性质，得出了煤矸石尤其是兖州矿区煤矸石的物理力学性质指标及其矿物组成，研究了煤矸石做矿区铁路路基的可行性及其自燃防治措施，煤矸石铁路路基的安全保障措施及煤矸石做路基的经济分析等。

本书的许多内容即取自上述两项课题的研究成果，研究工作

得到了兖州矿业集团公司、淄博矿业集团公司、淮北矿业集团公司和平庄煤业集团公司的领导及工程技术人员的大力支持。本书的第一章、第三章、第四章、第五章、第六章和第七章由王喜富编写；第二章和第八章由张禄秀和王喜富编写；第九章由王玉顺和张禄秀编写；第十章和第十一章由王玉顺、王国柱和李培萍编写。

煤炭工业出版社的同志们为本书的出版付出了辛勤的劳动。值此书出版之际，特向为本书的出版做出贡献的有关单位、专家和同志们致以衷心的感谢！

由于作者水平所限，书中难免出现错误和不足，敬请读者批评指正。

作 者

2003年3月于北京

内 容 提 要

本书研究了煤矸石基本特征和分类,通过对煤矸石的主要矿物成分、物理力学性质进行相关试验,系统地分析了煤矸石的物理力学性质及其矿物组成,对煤矸石进行了压实特性实验、工业分析及热重—红外光谱联机分析实验,得出了相关实验结果,并研究了煤矸石自燃机理及其防治措施;研究了煤矸石铁路路基变形、施工方式及相关的安全保障措施,进行了煤矸石作矿区铁路路基的经济分析,并分析了煤矸石对环境的影响。

本书适合从事矿区铁路建设、煤矿生产、设计和科研的工程技术人员,以及大专院校的相关专业师生参考。

目 录

1 煤矸石基本特征及研究概况	1
1.1 煤矸石组成特征及其利用途径	1
1.2 煤矸石研究工作综述	5
2 煤矸石分类研究	11
2.1 我国煤矸石分类概况	11
2.2 我国煤矸石分类方案研究	15
2.3 兖州矿区煤矸石分类探讨	20
3 煤矸石主要矿物成分分析	22
3.1 X 射线衍射测试分析实验方法与条件	22
3.2 煤矸石的矿物成分分析结果	24
3.3 主要矿物成分的性质	24
3.4 矿物成分分析结论	33
4 煤矸石的物理及力学性质实验研究	35
4.1 煤矸石的物理、水理性质实验	35
4.2 煤矸石的主要力学性质实验	38
4.3 煤矸石的力学性质实验结果分析	38
5 煤矸石的压实特性实验研究	46
5.1 引 言	46
5.2 煤矸石压实实验装置	46

5.3	煤矸石的碎胀曲线·····	46
5.4	煤矸石的压实特性与压实曲线·····	48
5.5	煤矸石的侧压曲线·····	48
5.6	矸石颗粒度对压实曲线的影响·····	57
5.7	试验结果分析·····	57
6	煤矸石铁路路基变形的数值分析·····	60
6.1	引 言·····	60
6.2	路基计算的力学模型·····	60
6.3	有限元分析方法简介·····	61
6.4	路基数值计算模型·····	63
6.5	数值计算结果及分析·····	64
7	煤矸石的工业分析及热重实验研究·····	67
7.1	煤矸石的工业分析实验研究·····	67
7.2	煤矸石的热重—红外光谱联机分析实验研究·····	67
8	煤矸石自燃机理及其防治措施研究·····	80
8.1	概 述·····	80
8.2	煤矸石自燃的原因及其化学反应机理·····	80
8.3	煤矸石自燃对环境的污染问题·····	82
8.4	煤矸石自燃的防治措施·····	83
9	煤矸石铁路路基施工及安全保障措施研究·····	87
9.1	煤矸石在矿区铁路路基上的应用·····	87
9.2	煤矸石铁路路基的施工问题·····	91
9.3	煤矸石路基边坡稳定性分析·····	93
9.4	煤矸石铁路路基的安全措施·····	97

10	煤矸石作矿区铁路路基填料的技术经济分析	100
10.1	煤矸石特性及利用分析.....	100
10.2	煤矸石作路基填料的经济分析.....	102
10.3	兖州矿区煤矸石作路基填料的经济分析.....	106
11	煤矸石对环境影响分析研究	109
11.1	煤矸石对环境影响概况.....	109
11.2	煤矸石山对环境的影响.....	111
11.3	煤矸石的环境治理分析.....	112
11.4	煤矸石做矿区铁路路基对环境的影响分析.....	113
	参考文献	116

1 煤矸石基本特征及研究概况

煤矸石是指在煤矿建设、煤炭开采和加工过程中排放出的废弃岩石，主要有掘进井巷时排出的煤矸石、选煤排出的煤矸石和露天采煤产生的剥离矸石。一般认为，煤矸石综合排放量占原煤产量的 15%~20%，全国每年除综合利用约 6000 万 t 外，其余部分作为工业固体废弃物混杂堆积。煤矸石是目前我国最大的固体废弃物源，占全国工业固体废料的 20% 以上。据资料统计，全国累计堆存煤矸石已达 30 亿 t，形成了 1500 座矸石山，占地 12 万 ha，造成了煤矿周边地区或流域的环境问题，影响了煤矿的可持续发展。

煤矸石大量堆积，不仅压占大量土地，而且严重污染矿区及周围环境。为推动煤矸石资源化利用，广开煤矸石资源化利用途径，加强对煤矸石的基础及应用研究，对煤矸石的主要成分组成、基本特性、综合利用及合理分类等方面进行更深入的研究具有十分重要的理论和实际意义。

1.1 煤矸石组成特征及其利用途径

1.1.1 煤矸石的组成特征

1.1.1.1 含煤岩系的岩性特征

含煤岩系是特定的古地理环境和古气候条件的产物，是以灰色、灰黑色和灰绿色为主的沉积岩系，主要由砾岩、各种粒度的砂岩、泥岩、炭质泥岩、粘土岩、可采和不可采煤层组成，石灰岩也比较常见。含煤系中还经常含有铝土矿、耐火粘土、油页岩、菱铁矿、黄铁矿等。含煤岩系形成过程中，若附近有火山喷发，煤系中就会有相应的火山碎屑岩分布。若含煤岩系遭到岩浆侵入，煤

系中还会见到各种岩浆岩。

含煤岩系在垂直剖面上，是由不同岩性、交替出现的各种岩层组合而成的，大致可分为两大类型：

(1) 陆相含煤岩系。主要由砾岩—各种砂岩—泥岩—炭质泥岩—煤层以及高岭石粘土、油页岩、菱铁矿等组成。

(2) 海陆交替相含煤岩系。主要由石灰岩—粉砂岩—硅、钙质泥岩—炭质页岩—煤层以及铝土矿、水云母胶岭石粘土、硫铁矿、菱铁矿等组成。

1.1.1.2 煤炭开采与加工所产煤矸石的岩性特征

露天煤矿剥离和煤层顶板及上覆岩层的岩性主要是砾岩、砂岩和泥岩；回采过程中排出煤中夹石层，一般是含炭砂岩、炭质泥岩，煤矸石含有一定热值。

选煤厂排矸是混入原煤中的伪顶和夹矸层，岩性主要是炭质泥岩、粘土岩、粉砂岩和伴生硫铁矿等，有一定的块度、粒度，含炭、硫、铁、铝等，具有一定的热值。

地下采煤排矸以掘进矸石为主，一般将井巷分为开拓巷道、准备巷道和回采巷道。开拓巷道和各种硐室，由于施工断面大、服务年限长，为了减少维护量、减少煤柱损失、提高资源回收率、避免自然发火等等，均布置在煤层底板岩层中，掘进排矸是岩石矸。准备巷道根据可采煤层层数、煤层层间距不同，掘进排矸有所不同。开采单一煤层，一般沿煤层掘进，排出的主要是煤，含有部分顶、底岩石，作为掘进原煤。开采多煤层，各煤层回采时共用一套采区生产系统，准备巷道布置在煤层底板岩层中，掘进排出的是底板岩石。若掘进岩层中夹有薄煤层、炭质页岩，排矸则是含有低热值的煤矸石。石门和各种穿层联络巷，掘进产出的是所穿过的各种相邻岩石及薄煤层的混合煤矸石。回采巷道基本是沿各可采煤层掘进，排出物大量是煤，含有破顶或破底的部分岩石，是掘进原煤还是有低热值煤矸石则视含碳多少而论。

由于含煤岩系的区域变化，掘进回采也具有区域性和阶段性，所以同一矿井排出煤矸石的组成是随时间变化的。开拓阶段排出

岩矸石较多，准备和回采阶段排出含碳矸石较多。掘进含有某种伴生矿物的层段时，排出的煤矸石具有深加工价值。但该层段掘进完成后，这一阶段不再产生这种煤矸石。

1.1.1.3 煤矸石的装运特点

露天煤矿剥采工程中的破岩工艺多采用钻孔爆破，铲斗机械装运矸石，煤层中夹石层也一同装运到排土场，所以排出堆存的为混合煤矸石。

地下掘进井巷总的可分为岩巷、煤巷和半煤岩巷。我国煤矿广泛应用钻眼爆破方法掘进破岩，也有少数使用掘进机械直接破岩的。井巷施工断面上的岩石分层或夹有的薄煤层，在破岩时被混杂成为混合煤矸石，由装岩机装入矿车，再由机车编组运出。同一矿井中有多条处于不同岩层的井巷同时在施工，所以一串机车拉出的是各种岩石碎块组成的混合煤矸石。

穿层巷道如石门、联络巷等，在掘进的破岩、装车工序中已经成为混合煤矸石。顺层掘进的全岩巷道，在破岩、装车时是岩性较单一的岩矸石，在编组运出时与其他煤矸石混合排放。顺层掘进的半煤岩巷道，有煤与岩分破分装和混破混装的不同情况。

1.1.2 煤矸石的利用途径

煤矸石综合利用，不外乎是煤矸石发电、生产建材、无污染化复垦、工程应用等大宗量利用和高科技、高附加值的深加工利用。但是，若煤矸石已经混杂堆积，就会增加再加工利用成本，影响产品质量，甚至无法利用。因此，应该从产矸源头分装分运分排，为分类利用创造有利条件。因矿区的装运场地有限，煤矸石过细的分类分排不切实际，但至少可以分成含碳矸石和岩矸石两大类进行分运分排。含有伴生矿物、具有深加工价值及特殊用途的煤矸石也可以单独排运，以最大限度地提高利用率，减少堆存量。

1.1.2.1 含碳矸石的利用途径

按照《煤矸石综合利用管理办法》，含碳矸石的燃料应用基低位发热量小于 12550kJ/kg 时作为煤矸石利用。含碳矸石来源主要

有原煤入洗产生的洗煤矸、半煤岩巷排出的掘进矸，主要用途有：发热量大于 7500kJ/kg 的煤矸石直接作循环流化床锅炉燃料，其灰渣生产建材；发热量低于 7500kJ/kg 的煤矸石掺加煤泥、洗中煤后用于煤矸石发电厂，含碳矸石也可以直接制作内燃矸石砖。如果井型小、排量少，又没有相应设施加工暂时不能利用的含碳矸石，只能堆存，同时碾压夯实，加入泥土间隔层、覆盖层，防止自燃，防止淋溶水，进行无污染化处理，以后具备加工利用条件时再挖掘利用。

煤矸石中含有大量的有机质和丰富的植物生长所需的稀有元素，也是携带固氮、解磷、解钾等微生物的理想原料基质和载体。用含碳岩矸石生产的有机复合肥料和微生物肥料，施于田间可以增强土壤疏松、透气能力，改善土壤结构，起到一定的增产效果。

1.1.2.2 含有伴生矿物煤矸石的利用途径

含有矿物元素并具有一定深加工价值的煤矸石来源于选煤矸和井巷位于特定地质层位的掘进矸，可利用的矿物元素主要是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeS_2 和 Mn、P、K 等。 Al_2O_3 含量大于 35% 的高铝煤矸石可用来制炼钢高效脱氧剂硅铝铁合金，制取多用途氢氧化铝、碱式氯化铝净水剂，制造硫酸铝和明矾的烧结料等。含有高比例 SiO_2 、 Al_2O_3 的煤矸石是陶瓷、耐火材料、橡胶补强填料、生产节能水泥的原料。含 FeS_2 的煤矸石氧化产生的 SO_2 会污染环境，而硫又是重要的化工原料，因此从煤矸石中回收硫铁矿具有较高的生态效益和经济效益。

1.1.2.3 岩矸石的利用途径

岩矸石来源于岩巷掘进矸和露采剥离矸，其岩性主要是砾岩、砂岩、泥岩、粘土岩、石灰岩和岩浆岩。其中机械强度大、抗风化能力的岩矸石，如岩浆岩、石灰岩、钙、硅质砂岩砾岩等，可以破碎筛分，其块、粒、粉均可作为混凝土拌料和掺合料，生产建材预制件、各种砌块、免烧砖及作铁路道渣或铺路面利用。机械强度差、易于破碎的岩矸石，如泥岩、泥质砂岩、粘土岩等，适于制作烧结砖、陶瓷砖、代粘土煅烧水泥熟料等。暂时不能加工

利用的岩矸石可以充填塌陷区或埋填造地。由于不含碳不会自燃，用岩矸石充填造地只需采取保水措施，阻止水土流失。在山区，岩矸石可以充填支毛沟，修筑矸石重力大坝，拦泥淤地，既利于水土保持又可造山间平地。

1.2 煤矸石研究工作综述

世界各主要产煤国家，在采掘和煤炭洗选过程中排出的煤矸石数量很大。我国煤矿积存的矸石已在 20 亿 t 以上，如果按排矸量占原煤产量的 20% 计算，每年新增加的矸石有 1 亿 t 之多。随着煤炭产量增加，排出矸石的数量也要相应增加。

1.2.1 煤矸石的分类研究

如何使大量矸石变废为宝，变害为利，并且把它作为一种资源，已经引起国内外的注意，其中西欧、东欧各国尤为重视，美、日、澳大利亚次之。矸石不仅可以作为劣质燃料，也可作为建筑材料和工业原料。例如，有的矸石可用于沸腾炉和气化炉，有的矸石经过加工处理后可以作为炭黑的代用品。如图 1—1 所示，矸石的用途众多，矸石的利用价值日见显著。

随着矸石的利用途径越来越广阔，对矸石的质量要求也各有所不同，因而研究矸石的组成和特征及从利用方面对矸石进行科学分类是十分必要的。值得指出的是，制订矸石分类的目的是根据矸石的化学组成、矿岩鉴定等资料，而不需预先进行工艺试验就可以评价生产某种矸石制品，这对开拓矸石利用途径极为有利。

前苏联曾对矸石分类作过研究，他们将矸石的来源、特征、成分等不同指标分等级列出〈分类符号〉，然后根据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，就可以选择矸石的加工工艺。由此看出，对矸石的分类有利于矸石的直接利用，不需进行工艺试验。

此外，德国柏林工业大学约 50 人花了 10 年时间对矸石进行了研究；同时，也有些国外资料报道了对煤矸石作过简单分类工作，如分燃矸和未燃矸等。

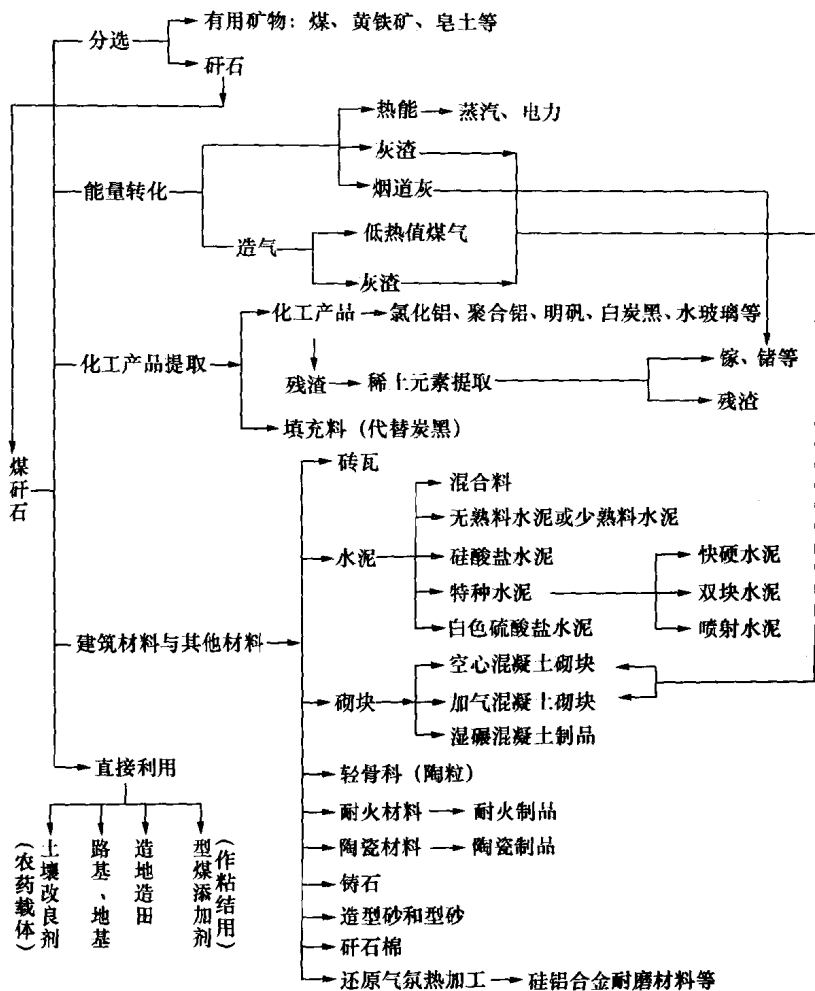


图 1-1 煤矸石综合利用示意图

1985 年 1 月，煤炭科学研究总院重庆煤炭研究所王长根提出了煤矸石的三级分类命名法。1985 年 10 月，原中国矿业学院提出了华东地区煤矸石分类方案。1991 年 5 月，焦作矿业学院葛宝勋等提出了平顶山矿区煤矸石的二级分类命名方案。1998 年，焦作工学院的邓寅生、李毓琼、张玉贵等又进一步提出了我国煤矸石

分类探讨,使得煤矸石分类问题的研究更加深入并且具有普遍性(详见第2章)。

1.2.2 煤矸石的综合利用研究

煤矸石是煤矿建井和生产过程中排出来的一种混杂岩体。十余年来,由于对环境保护的重视及相关环保政策与法规的完善,过去认为是废渣而被堆弃的煤矸石也逐步被利用起来。目前由于研究工作的薄弱,以致煤矸石综合利用的程度远远赶不上煤矿的发展和经济建设的要求。为了探索新的利用途径,很有必要加强煤矸石的基础研究,探讨煤矸石的分类和命名,以便更好地向煤矸石综合利用的深度和广度发展。

兖州矿业集团公司南屯煤矿在煤矸石的综合利用方面狠抓关键,注重成效,取得了良好的效果。多年来,该矿根据市场行情,先后开发投入了煤矸石制浆站及配套的井下注浆系统,建成了年入洗能力为1.8Mt的选煤厂,年发电量为 $1.2 \times 10^4 \text{ kW}$ 的煤矸石热电厂,年生产100万块混凝土炉渣砌块的专业厂。与此同时,还在井下建立了粉煤灰注浆系统,试验推行了炉渣巷道喷浆工艺,有效地防止了高温火区的产生。

目前,南屯煤矿的煤炭深加工和煤矸石、炉渣利用工程配套成龙:选煤厂的洗矸供电厂沸腾炉燃烧发电;电厂炉渣用于加工砌块和井下巷道的锚杆喷浆;炉灰输送井下,替代黄土和黄砂进行防灭火注浆;电厂余热用于生活区集中供暖等,使这个原来单一产煤的矿井出现了煤矸石综合利用的兴旺局面。

(1) 利用煤矸石发电。该矿选煤厂的洗矸是尚有3350~6700J发热量的低热能源,将其运至矸石山废弃,既占地又污染环境。为充分利用剩余资源,经原煤炭部批准该矿建起了煤矸石热电厂,设计年发电量 $65 \text{ MkW} \cdot \text{h}$,同时每年可供热 $3.5 \times 10^5 \text{ MJ}$ 。

(2) 利用煤矸石粉作井下防灭火材料。南屯煤矿投产初期,由于防灭火系统不健全,加之购土运输困难,因注浆量不足而多次造成自然发火,严重影响了矿井安全生产。为满足防火灌浆要求,只得购入大量黄土注入井下,既花费巨资,又破坏土地,而井上

煤矸石山却越堆越高。建起煤矸石制浆站后,经过粉碎的煤矸石源源不断地灌入井下,保证了易燃厚煤层的开采。

1999~2000年,山东省淄博市淄博学院的贾致荣对煤矸石建筑公路路基进行了初步研究,并详细研究了煤矸石在公路工程中的应用,介绍了煤矸石的一些性能,分析了用于道路的可能性,并指出了利用煤矸石筑路的一些优点。

2000年,河南省鹤壁市公路管理总段的刘俊尧、裴春平等对煤矸石做道路基层材料的应用进行了研究,认为煤矸石混合料做道路基层材料在强度、冻稳性和抗温缩防裂性能上均能满足多种等级公路的规范要求,而且有些混合料的性能还优于常用的基层材料。因此,煤矸石做道路基层材料具有广泛的推广价值。

1997年,河南省永夏矿区质监站的李剑、贺东升、聂文辉等对煤矸石在矿区铁路建设中的应用进行了研究,介绍了永夏矿车集矿井铁路专用线路基工程中采用0.2Mt煤矸石,通过施工过程中质量控制,加快了施工进度,节约了土地,节省投资近千万元。为了有效地节省投资,保护土地资源,从1996年初永夏矿区就结合其他矿区的使用情况,在辅助企业区的铁路路基上使用煤矸石代替土方。1997年在此基础上陈四楼矿井地销煤公路路基及车集矿专用铁路中也应用了煤矸石,从目前情况看,效果较为理想。通过研究,一致认为建设期矸石用于铁路路基存在三大特点:①不易风化,稳定期长;②沉降量小;③维护量明显低于土方路基,是较理想的填筑材料。

1998年7月,淮南工业学院的崔龙鹏对淮南煤矿塌陷区煤矸石填充复垦及其对环境的影响进行了研究,在分析淮南矿区煤矸石和地面塌陷现状的基础上,探讨用煤矸石填充塌陷区的意义及其对环境的影响。

2000年12月,邯郸煤炭设计研究院的姚化利、刘朝阳对煤矸石硬塑成型空心砖厂技术与经济分析进行了研究,结合某煤矸石空心砖厂的设计方案,论述了煤矸石的物理化学性能、空心砖的性能指标、制砖的工艺流程和砖厂的技术经济分析。