

中国西南地区煤矸石利用现状与展望*

邓代强

(贵州理工学院 矿业工程学院, 贵州 贵阳 550003)

摘要: 鉴于各工矿行业环保意识的逐渐加强与可持续发展战略要求的必然趋势, 为了给西南地区煤矿固体废弃物处理提供一些积极的参考和建议, 针对煤矸石各类潜在危害与固废资源化利用前景, 进行了近些年来西南地区煤矸石分布与产出特征分析, 指出了西南地区煤矸石废弃物存在的区域性差异, 同时结合国家所大力提倡的绿色开采、节能减排与清洁生产模式, 重点阐述煤矸石资源化处理在环境保护、循环经济、可持续发展等方面的应用前景, 以期为中国西南地区固体废弃物循环利用提供一些帮助。

关键词: 固废利用; 绿色开采; 煤矸石

中图分类号: X825 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0076(2019)02-0136-06

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.02.021

The Present Situation and Prospect of Coal Gangue Utilization in Southwest China

DENG Daiqiang

(Institute of Mining Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China)

Abstract: In view of the gradual strengthening of environmental protection awareness in various industries and the inevitable trend of sustainable development strategy requirements, positive references and suggestions are needed for the treatment of coal mine solid waste in the southwestern region. Based on the various potential hazards and utilization prospects of solid waste resources for coal mine gangue, the paper have analyzed the distribution and output characteristics of coal gangue in the southwest region in recent years. There are the regional differences in coal gangue waste in the southwest region. Combined with the green mining, energy conservation, emission reduction and clean production models that the country has strongly advocated. Focusing on environmental protection and recycling and sustainable development trends, the analysis results can provide some help for the recycling of coal mine solid waste in southwest China.

Key words: solid waste utilization; green mining; coal gangue

引言

随着当前社会经济的快速发展, 各行业对各类原材料的需求量大大增加, 作为给相关工业提供原材料及供应热电能源的煤炭及各类资源企业, 其发展也在稳步推进, 向着安全、环保、可循环发展的方向积极迈进^[1-2]。在煤矿开采的过程中, 也在不断

地排放着各类工业固体废弃物。对于长期开采的煤炭及各类矿山, 在其服务年限内将会产生大量的固体废弃物, 其中最为常见的固体废弃物为煤矸石、采矿废石和尾矿等^[3-6], 长期堆积在外若处理不妥, 则将对周边环境产生较大的负面影响, 产生生态与地质危害^[7-11]。因此, 煤矸石等固体废弃物的处理一直都是相关行业科研工作者关注的重要问题^[12-14]。

* 收稿日期: 2019-02-22

基金项目: 国家自然科学基金(51764009); 贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2018]2836); 贵州理工学院高层次人才科研启动基金项目(0203001018052)

作者简介: 邓代强(1974-), 男, 汉族, 博士, 教授、研究员, 主要从事工业固废处理与环境岩土工程学研究。

当前国内北方地区主要将煤矸石用于地下采空区的充填治理,根据煤矸石物理化学性质,一些矿山将部分煤矸石应用于建筑材料的加工、筑路及农业土地改良等工程^[15-17]。含有可利用价值矿物和元素的煤矸石具有回收价值,而对于含有一定燃烧物的煤矸石,则可应用于燃烧发电。我国西南地区地表以下蕴藏着大量的煤炭资源,该区域通常包括四川、云南、贵州和重庆三省一市^[18-20],此区域内的煤炭资源也存在分布不均匀的特点,即局部区域煤炭储量大,而有些区域煤炭资源相对较少。作为国内西南地区煤炭蕴藏与生产大省的贵州,向来素有“江南煤海”的称号,据相关资料统计,贵州省地表以下的广大区域均蕴藏着价值可观的可开发煤炭资源,其利用前景极为广阔,而煤矸石处理方式将会对该行业产生较大影响^[21-23]。本研究根据西南地区煤矿的具体情况提出近年来煤矸石应用发展的技术模式,因地制宜地为西南地区的煤矿产业良性发展提供一定参考。

1 西南地区煤矸石资源概况

西南地区地域辽阔、大部分地区植被茂盛,该区域地下蕴藏的数量可观的煤炭资源,为该区经济发展起着重要的推进作用,而西南地区煤矿赋存条件与北方平原地区在地质构造与开采模式上存在较大差异^[24-26]。西南地区的煤炭大多处于山岭与沟壑地层,其厚度通常变化较大,特殊的地质构造也使其煤层面临着便于积聚瓦斯、底板松软、溶洞空区、地下水侵蚀等不利条件,需要更加苛刻的开采条件。由于煤矸石的处理过程较为复杂且数量庞大,通常只好将煤矸石露天堆积,并因此而对周边的生态环境产生不利影响。

1.1 西南地区煤矸石资源情况

四川、云南、贵州和重庆均分布有一定规模和数量的煤炭资源,因为其地质与工程条件差异较大,造成了此区域煤矿开采条件的不同,但总体开采条件均较平原地区复杂^[27-28]。贵州省是西南地区煤矿开采的主力省份,其煤矸石的产出量也极为可观,现阶段西南地区在大力强调煤矸石利用资源化处理模式,将煤矸石作为筑路、充填、建筑、农业肥料、有用元素提取、燃烧发电等方面材料加以利用^[29-32]。

西南地区煤矿中的优质煤蕴藏储量较为可观,高燃烧值的煤炭资源为西南地区的电力、动力、冶炼及煤化工起到了重要作用。在煤矿开采过程中,如

果采空区得到了较好的充填处理,同时伴随的煤层气也可得到充分利用,从而为能源利用的多元化带来勃勃生机。由于区域地层条件的不利因素,就目前技术条件与市场价值来看,西南地区的煤矿大规模煤矸石充填开采,或煤矸石的大规模应用往往需要付出过多的人力与物质成本,机械化、自动化的实施也不同于北方平原地区,因此面临着更多的挑战与机遇,为此需要紧密结合西南地区煤矿的产出特征,做好有效的应对措施。

1.2 煤矸石在西南地区的产出概况

从西南地区的煤矸石资源产出情况来看,主要取决于该地区的煤炭产量,据近年来四川省人民政府网站公布的数据来看,通过加快产业整合与停止审批新建煤矿双管齐下措施的实施,截至 2015 年该省煤炭产量基本稳定在 9 500 万 t/a^[33];云南省人民政府网站公布的数据显示,该省所制定的“云南省煤炭工业发展行动计划(2008—2012 年)”提及截至 2007 年底,全省核定生产能力为 6 791 万 t/a^[34];而作为西南地区煤炭主产地的贵州省,从贵州省人民政府网站公布的数据来看,黔府发[2017]9 号文件显示,到 2020 年全省的煤炭产量维持的水平为 1.92 亿 t/a,以确保内用与外调,同时满足提质减量的趋势要求^[35];据重庆日报的报道显示,通过化解过剩产能,截至 2017 年底,重庆市的煤炭核定产能基本压缩在 2 119 万 t/a^[36]。根据以上相关的西南地区各省市煤炭产量,结合煤矸石产出量通常为煤炭产量的 10%~20%,可以粗略计算出各地截至上述统计时期的煤矸石产出量,见表 1 所示,由于统计时期不同,事实上具体数量仍有一定幅度的增减。

表 1 西南地区煤矸石产出量概算

Table 1 Estimates of coal gangue output in the south - west

| 序号 | 省/市 | 统计时间 | 煤炭产能 (万 t/a) | 煤矸石 (万 t/a) | 备注 |
|----|-----|--------|-----------------|-----------------|------|
| 1 | 四川省 | 2015 年 | 9 500 | 950 ~ 1 900 | 粗略估算 |
| 2 | 云南省 | 2007 年 | 6 791 | 679.1 ~ 1 358.2 | 粗略估算 |
| 3 | 贵州省 | 2020 年 | 19 200 | 1 920 ~ 3 840 | 粗略估算 |
| 4 | 重庆市 | 2017 年 | 2 119 | 211.9 ~ 423.8 | 粗略估算 |

2 西南地区煤矸石利用及相关进展

作为赋存于地表以下漫长地质年代的石化物质,煤在长期的生物、构造应力、高压、高温、水汽等的物化耦合作用下,几经地质变迁与转化而形成具有一定燃烧值及化学元素含量各异的煤炭资源。而

作为煤炭开采所伴生的煤矸石,则是开采过程中最主要的固体废弃物,其物理、化学性质及矿物成分与其所伴生的煤炭关系较为紧密,并常常因此决定着煤炭的用途与价值。通过文献可知,煤矸石物化性能复杂,其用途也较广泛,因此煤矸石应用往往涉及到工、农业及材料科学等多个学科领域^[37-41]。在当前技术条件下,煤矸石的利用将逐渐加强有用元素提炼,及制作建筑材料、工程材料等,西南地区煤矸石利用特点与方式见表2所示。

表2 西南地区煤矸石利用性能特征
Table 2 Characteristics of coal gangue utilization
in southwest China

| 序号 | 应用方式 | 应用特点 |
|----|------|---------------------|
| 1 | 燃烧放热 | 利用其中的可燃物质,为相关行业提供热能 |
| 2 | 矿物分选 | 提取煤矸石中的铁、铝、钛、硅、镁等元素 |
| 3 | 建材加工 | 利用煤矸石的物理形态及宏、细观力学特性 |
| 4 | 土壤改良 | 利用煤矸石中的有机物质和微量元素等特性 |
| 5 | 空区处理 | 利用煤矸石惰性、固体形态、物理力学性能 |

2.1 燃烧发电

常用的电煤具有较好的可燃性,其燃烧值约为5 500 J/kg,为充分资源化利用煤炭矿山最主要的固体废弃物,对于具有一定可燃物的煤矸石,其燃烧值约为1 500 J/kg左右,因此可以作为燃煤的替代品来应用于发电。煤矸石发电的工艺过程较为成熟,如在云南宣威,建成的2×300 MW煤矸石热电厂,在综合利用煤矸石方面效果较好^[42];重庆永荣发电厂针对煤矸石作为燃料炉渣产出较多的特点,积极开发炉渣资源化处理途径,并在水泥制品、建材与农业肥料等方面获得了理想效果^[43]。当前煤矸石燃烧发电方面,存在的问题主要在于燃烧后的灰分等废渣的无害化处置,对于煤矸石燃烧发电过程中产生的灰分及废渣处理,此方面仍然面临着一些技术瓶颈,彻底处理仍需要花费较高成本,从技术经济等方面来看,将来只有进一步提高环保处理效率,才能扩大煤矸石在发电生产中的推广与应用。

2.2 元素提取

一些赋存于金属或非金属矿物元素周边的煤层,经过长期的地质构造运动及特殊温度、压力等环境的综合作用,若干含量的有价金属或非金属元素逐渐迁移至煤层及周边的煤矸石之中,对于含有可利用价值矿物元素的煤矸石,可以通过破碎粉末工艺或溶浸采矿方式,将煤矸石之中所含的有用物质提取出来加以利用,避免其中的重金属及有害物质

再次迁移至周边水体及土壤中,造成一定程度的环境污染问题。针对此方面的科学技术问题,已有的一些研究中进行了具体分析,并对煤矸石中有益物质的利用取得了较好的回收效果,为煤矸石资源化利用提供了较好的参考。对于贵州省某地发热量仅为0.89 MJ/kg的洗选煤矸石,当采用适当的工艺流程,可以制备出纯度满足GB/T 24487—2009标准的氧化铝产品,从而拓展了煤矸石资源化利用模式^[44];在煤矸石中微量元素的综合利用方面,相关文献针对贵州毕节市域的煤矸石样品,进行了大量试验研究,分析了其中Co、Ga、Ti等元素的工业化应用前景,可为取得良好经济与环境效益起到良好的示范作用^[45];在四川雅安地区,研究人员针对小型煤矿进行了煤矸石的综合利用研究,并对其环境保护方面做了细致分析,从而为煤矸石高效利用创造了技术条件^[46]。

2.3 建筑材料

一些煤矸石燃烧值较低,不足以充分作为供热及发电燃料,且无显著可利用有价元素,作为煤矿固体废弃物处理的开发手段,通过一系列建筑用材料相关的物化性能检测,选择符合国家标准和技术规范的煤矸石作为建筑材料,或者对其进行物理或化学改性处理,从而达到建筑材料所要求的物理、力学强度与微观结构性能指标。如在四川广元市,广旺南江煤矸石砖厂生产的煤矸石砖,在力学性能、外观等方面均表现较好,现已实现了批量生产预销售,由于品质较优,因此购销两旺^[47];在具有高岭质的煤矸石利用方面,研究者针对云南省滇东地区煤矸石矿物成分特点,在研制高岭质煤矸石建筑墙、地砖的过程中,分析了该类型的墙、地砖的性能影响因素,并对今后的利用与改进提出了较好的建议^[48];交通筑路方面,重庆万南高速公路施工过程中,通过优化煤矸石的颗粒组成,最终形成性能较为优越的煤矸石路基,应用效果良好^[49]。此方面常见的用途在于水泥制品添加材料的制取,建筑方砖的生产,路基铺垫工程、墙体材料、建筑水泥砂浆及混凝土材料制备等方面具有广阔的利用前景。

2.4 工程与农业

鉴于煤矸石特殊的物化性能,一些区域的煤矸石可用于农业工程方面的土质改良,对于符合相关规范的煤矸石,还可应用于农业生产部分环节,调节土壤的孔隙结构与微量元素等方面。为了使原煤矸

石堆场场地重新利用,研究人员对重庆市原煤矸石场地进行了土壤改性处理,在经过土壤孔隙、结构、矿物成分及粘结性等改良后,达到了临时建设用地的物理性能指标,该方法可为煤矸石堆场复垦利用提供一定借鉴作用^[50];农业工程中,贵州铜仁利用煤矸石的矿物成分及物理学性质,进行了农用肥料制备加工,为增强土地肥力起到了积极作用^[51];在四川省攀西地区,研究人员结合当地煤矸石物料化学性质,利用硅酸盐细菌的反应特征,在特定的温度、配比下获得了较高钾肥与磷肥产出条件,从而为大量处理废弃煤矸石提供了可行的技术参数^[52]。如将具有一定粒径颗粒的煤矸石添加于土壤之中,可起到调节土壤物质成分和化学性质的作用,可较好地改善土壤物质组成,使其向提升土壤肥力的方向发展,为农业的良性循环、农作物的增产丰收创造条件。

2.5 充填材料

煤矿开采过程中伴随着采空区的不断产生与扩展,因此煤矸石用于采空区回填也是实现煤矿绿色开采的研究热点,为此也需要开展一些与充填材料和技术相关的技术研究。如煤矸石粒级组成、煤矸石容重、比重及自然坡积角测定等,同时开展煤矸石胶结充填体试块的力学性能试验,并应用于煤矿开采沿空留巷充填技术、分析充填前、后围岩应力迁移及演变情况、沿空留巷充填效果分析等,从而可为煤矿安全开采提供技术支撑。在四川省的一些地区,如雅安、攀枝花、宜宾等地市,均有相关报道与分析提及煤矸石用于采空区回填的相关问题,该方式可为煤矸石大规模综合利用提供较好途径^[53-55];在四川省叙永县的叙永煤矿,研究人员进行了袋装煤矸石充填技术研究,在合理的技术条件下,沿空留巷中的巷道保护效果良好,未曾出现较大变形与破坏^[56]。在贵州省六盘水市区域,煤矸石的综合利用方式较多,而作为处理采空区和废弃煤矸石的良好

对策,相关研究正在积极推进^[53]。对于地处云南省昭通市的观音山煤矿与富源县的相关煤炭企业,作为矿山可持续发展的相关技术,煤矸石在采空区回填中的应用前景也较为广阔^[57-59];在云南省宜良县可保煤矿露天坑处理过程中,应用的回填技术对矿山生态的大力保护起到了重要作用,同时也为矿山固体废弃物的处理提供了新的思路^[60]。鉴于西南地区煤炭资源覆存条件较为复杂,处理成本较平原地区高昂,工艺技术更为复杂,该种煤矸石处理模式现阶段在西南地区等应用较少,将来随着煤炭资源价格向着有利的方向波动,煤矸石充填处理采空区的运用仍然具有较大的发展潜力。

3 西南地区煤矸石应用前景及建议

中国西南地区有着数量可观的煤矿,为了实现可持续发展,资源循环利用模式,必须逐步消除煤矿开采过程中所产生的负面影响,其中较为主要的任务就是如何消除开采过程中伴随产生的巨量煤矸石。对于现阶段较为成熟的技术途径,西南地区的大量煤矸石成功应用于燃烧热力发电、建筑材料、有价元素提取、土地改良及采空区处理等方面,这些处理煤矸石的工艺技术仍在不断深化与提升,并在资源高效回收、固废利用、环境保护、可持续发展战略中扮演着极其重要的角色,随着将来一些技术瓶颈的突破,煤矸石的有效利用极具明朗前景^[61-65]。作为煤矿开采最主要的固体废弃物,煤矸石的综合利用往往会对煤炭企业生产与环保产生主要影响,处理的工艺过程受制于所投入的成本与其产生的效益,这往往体现在无害化处理和降本增效两个方面。由于煤矿固体废弃物处理属于清洁生产、循环利用的环保主题,相关的研究均受到国家和地方省市大力扶持,因此该方向应用前景良好,但有些运用方向需解决一些现实的技术瓶颈。通过对相关资料分析总结可知,西南地区煤矸石利用现状与前景、制约因素概况见表3所示。

表3 西南地区煤矸石利用现状与前景

Table 3 Current situation and prospect of coal gangue utilization in southwest China

| 序号 | 应用方式 | 应用现状 | 制约因素 |
|----|------|-------------------|---------|
| 1 | 燃烧放热 | 已成功应用,但需进一步解决环保问题 | 可燃物含量 |
| 2 | 矿物分选 | 有实际运用,需继续优化工艺,降成本 | 元素价值与成本 |
| 3 | 建材加工 | 技术成熟,用于水泥、混凝土、路基等 | 物化性能指标 |
| 4 | 土壤改良 | 对局部地区土壤改性效果好、成本适中 | 煤矸石成分 |
| 5 | 空区处理 | 可用较多煤矸石,成本高,目前应用少 | 价格、市场 |

作为煤矿最主要固体废弃物的煤矸石,如果处理欠妥,则将会对人身财产和生态环境造成严重的

危害,对其处理方式的选择也需要具有显著的安全可靠、技术先进、经济有利性,即必须体现出无害化处理特性。同时有用元素的提取不应以牺牲价值优势为代价,此过程就需企业选择最为低廉的处理方式来获取最大的开发利用价值,最终体现在逐渐将成本降低至足以盈利为目标。

对于煤炭工业作为重要支撑的贵州省,其在今后西南地区煤矿生产中占据的重要地位将会更加凸显,以煤炭工业促进产业发展的模式仍将持续较为长久,难以在短期内改观。因此,煤矸石的资源化利用尤显重要,结合近几年出台的地方政府发布的重要文件,不难看出处理巨量煤矸石的有效途径将会在于煤矸石作为充填材料与道路基层当中,从使用量来看,煤矸石作为充填材料与道路材料需求量巨大,能够在相当长的一段时期内高效消耗煤矸石,实现变废为用的工业良性发展目标。

4 结语

将来的煤矿生产固体废弃物处理模式将会贴适于废物循环使用,最大限度地为提取可利用物质元素、提供燃烧物质、提供建筑与道路建设材料、有效充填治理采空区提供原材料,将我国西南地区煤炭生产过程获得的固体废弃物作为宝贵的资源,妥善处置。西南地区煤矿固体废弃物资源化应用技术也将为国内外相关企业起到良好的示范作用,在山地特殊环境开采煤炭资源的同时,地表地貌的青山绿水也将得到有效保护,从而将煤矿开采对区域生态环境的扰动降为最低,为可持续发展战略提供关键技术支撑。

参考文献:

- [1] 李鹏,苗胜军. 中国煤矿矿区地应力场特征与断层活动性分析[J]. 煤炭学报,2016,41(S2):319-329.
- [2] Kaizong Xia, Congxin Chen, Yun Zheng, et al. Engineering geology and ground collapse mechanism in the chengchao iron-ore mine in China[J]. Engineering geology, 2019, 249:129-147.
- [3] 杨宝贵,韩玉明,杨鹏飞,等. 煤矿高浓度胶结充填材料配比研究[J]. 煤炭科学技术,2014,42(1):30-33.
- [4] R. Sakurovs, D. French, M. Grigore. Quantification of mineral matter in commercial cokes and their parent coals[J]. Int. J. coal geol., 2007, 72(2):81-88.
- [5] 张耀方,江东,史东梅,等. 重庆市煤矿开采区土壤侵蚀特征及水土保持模式研究[J]. 水土保持研究,2011,18(6):94-99.
- [6] Voutsas D, TerziA, Muller L. Profile analysis of organic micropollutants in the environment of a coal burning area, NW Greece[J]. Chemosphere, 2004, 55(4):595-604.
- [7] 王兴明,王运敏,储昭霞,等. 煤矸石对铜尾矿中重金属(Zn, Pb, Cd, Cr 和 Cu)形态及生物有效性的影响[J]. 煤炭学报, 2017,42(10):2688-2697.
- [8] 邢纪伟,邬剑明,王俊峰,等. 用粉煤灰防治煤矸石自燃灾害的试验研究[J]. 中国安全科学学报,2015,25(5):3-7.
- [9] 李晓艳,许零,李辉波,等. 煤矸石及其燃烧产物中天然放射性核素测定及组分分析[J]. 环境工程学报,2016,10(9):5133-5138.
- [10] Carlson C L, Carlson C A. Impacts of coal pile leachate on a forested wetland in south Carolina[J]. Water, air & soil pollution, 1994, 72(1/4):89-109.
- [11] Frías M, Sánchez de Rojas M I, García R, et al. Medina C. effect of activated coal mining wastes on the properties of blended cement[J]. Cement and concrete composites, 2012, 34(5):678-683.
- [12] 朱川曲,黄友金,芮国相,等. 采动作用下煤矿区地表裂缝发育机理与特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017,28(4):47-52.
- [13] Xia KZ, Chen CX, Deng YY, et al. In situ monitoring and analysis of the mining-induced deep ground movement in a metal mine[J]. International journal of rock mechanics and mining sciences, 2018, 109:32-51.
- [14] Misz-Kennan M, Fabiańska M. Thermal transformation of organic matter in coal waste from rymer cones (upper silesian coal basin, Poland)[J]. International journal of coal geology, 2010, 81(4):343-358.
- [15] 张吉雄,周跃进,黄艳利. 综合机械化固体充填采煤一体化技术[J]. 煤炭科学技术,2012,40(11):10-13,27.
- [16] 王峰. 淮北水洗煤矸石路基填料应用研究[J]. 山东交通学院学报,2017,25(1):52-57.
- [17] 邵玉飞,马建,陈欣. 利用煤矸石制作水稻育苗基质的研究[J]. 农业资源与环境学报,2017,34(6):555-561.
- [18] 秦云虎,王双美,张静,等. 中国西南地区动力用煤资源分级评价指标及资源量构成[J]. 中国煤炭地质,2013,25(9):1-5.
- [19] 黄长国,罗国辉,康建宁,等. 西南地区煤矿瓦斯灾害现状及防治对策研究[J]. 矿业安全与环保,2015,42(5):112-115.
- [20] 李大华,唐跃刚,陈坤,等. 中国西南地区煤中12种有害微量元素的分布[J]. 中国矿业大学学报,2006(1):15-20.
- [21] 陈超,刘汉羽,郝俊,等. 不同种植年限香根草对煤矸石山基质中重金属分布的影响[J]. 煤炭学报,2016,41(12):3101-3107.
- [22] 罗海波,刘方,龙健,等. 贵州山区煤矸石堆场重金属迁移对水稻土质量的影响及评价[J]. 水土保持学报,2010,24(3):71-74,79.
- [23] 金会心,吴复忠,朱明燕,等. 贵州六盘水煤矸石的矿物特性[J]. 过程工程学报,2014,14(1):151-156.
- [24] 魏文金,梁万林,陈忠恕,等. 四川煤炭资源赋煤区带划分及主要煤田赋煤特征[J]. 四川地质学报,2014,34(1):86-90.
- [25] 方伯成. 云南煤炭产业科学发展战略保证研究[J]. 中国煤炭,2009,35(12):26-31.

- [26] 胡杰,肖渊甫,樊庆鹏. 浅析四川雅安地区小型煤矿煤矸石的综合利用与环境保护[J]. 四川有色金属,2012(1):59-61.
- [27] 于健浩. 西南复杂难采煤层安全开采模式智能化决策[J]. 煤矿开采,2017,22(4):16-22.
- [28] 韦敏,张凌燕,何富超,等. 云南某煤矸石矿回收黄铁矿浮选试验研究[J]. 硅酸盐通报,2016,35(11):3881-3885.
- [29] 王小萍. 四川中节能新型建筑材料有限公司年产20万m³页岩煤矸石烧结制品生产线[J]. 砖瓦,2012(3):23-26.
- [30] 肖厚军,何佳芳,苟久兰,等. 贵阳煤矸石土酸性改良与耐性植物筛选[J]. 贵州农业科学,2012,40(10):90-92.
- [31] 孙东哲. 云南罗平某煤矸石场淋滤水中的Mn在石炭系石灰岩中的运移规律研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2017.
- [32] 黄阳全. 重庆地区高硫洗矸综合利用现状及其对策[J]. 中国煤炭,2008(2):56-58.
- [33] 汉源县人民政府. 四川未来3年停止规划新建煤矿加快产业整合[EB/OL]. <http://www.sc.gov.cn/10462/10464/10797/2016/3/1/10371246.shtml>.
- [34] 云南省人民政府办公厅. 关于印发云南省煤炭工业发展行动计划(2008年—2012年)的通知[Z]. http://www.yn.gov.cn/yn_zwlanmu/qy/wj/yzbf/200902/t20090213_20421.html.
- [35] 省人民政府. 关于煤炭工业淘汰落后产能加快转型升级的意见(黔府发[2017]9号)[EB/OL]. http://www.gzgov.gov.cn/xxgk/jbxxgk/fgwj/szfwj_8191/qff_8193/201709/t20170925_822070.html.
- [36] 重庆市人民政府. 重庆市煤炭行业化解过剩产能实现脱困发展实施方案[EB/OL]. <http://wj.cq.gov.cn/xxgk/zcfg/80613.htm>.
- [37] 赵澍. 昆明市东川区环境保护问题与对策研究[D]. 昆明:云南财经大学,2017.
- [38] 赵宇,崔鹏,王成华,等. 重庆万盛煤矸石山自燃爆炸型滑坡碎屑流成因探讨[J]. 山地学报,2005(2):169-173.
- [39] 杨旭,周家喜. 贵州遵义地区煤矸石元素地球化学特征及其综合利用信息[J]. 矿物学报,2013,33(2):189-193.
- [40] 方伯成. 云南煤炭产业科学发展战略保证研究[J]. 中国煤炭,2009,35(12):26-31.
- [41] 双伟. 川北低热值煤矸石循环流化床燃烧技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2014.
- [42] 彭钦勇,张金明,王卫光. 云南宣威煤矸石热电厂取水防沙模型试验[J]. 广西水利水电,2014(2):9-12.
- [43] 王希财,玉月. 重庆永荣发电厂干榨榨尽煤矸石[N]. 经理日报,2006-03-02(A01).
- [44] 夏举佩,苏毅,周新涛,等. 高铁低铝煤矸石酸浸液铝铁分离研究[J]. 硅酸盐通报,2014,33(6):1459-1463.
- [45] 僮祥英,梁杰. 贵州毕节市煤矸石中微量元素的综合利用潜力及其环境影响研究[J]. 安全与环境学报,2013,13(6):148-152.
- [46] 胡杰,肖渊甫,樊庆鹏. 浅析四川雅安地区小型煤矿煤矸石的综合利用与环境保护[J]. 四川有色金属,2012(1):59-61.
- [47] 志文. 四川广旺南江煤矸石砖厂打造精品[J]. 煤炭加工与综合利用,2001(4):15.
- [48] 赵志曼,何天淳,程赫明,等. 利用云南高岭质煤矸石研制建筑墙地砖[J]. 矿产综合利用,2002(6):45-49.
- [49] 杨路平,潘建平,邵树强,等. 重庆万南高速公路煤矸石路用性能研究[J]. 黑龙江交通科技,2013,36(9):25-26.
- [50] 王芳丽. 重庆市煤矿临时建设用地土壤理化重构技术研究[D]. 绵阳:西南大学,2017.
- [51] 杨艳梅. 煤矸石及贵州铜仁钾矿等制备肥料的研究[D]. 贵阳:贵州大学,2015.
- [52] 程蓉,廖祥文,舒荣波,等. 利用硅酸盐细菌制备煤矸石矿物肥料[J]. 矿产综合利用,2017(6):115-118.
- [53] 胡杰,肖渊甫,樊庆鹏. 浅析四川雅安地区小型煤矿煤矸石的综合利用与环境保护[J]. 四川有色金属,2012(1):59-61.
- [54] 刘颖,王文勇,刘丹. 攀枝花市区工业固体废物污染控制对策[J]. 环境科学与管理,2008(1):176-180.
- [55] 凌超发,张旭. 宜宾市煤矸石综合利用研究[J]. 中州煤炭,2015(4):126-128.
- [56] 邹德均,周玲珑,李敏,等. 袋装煤矸石护巷技术在区段上行式开采沿空留巷中的应用[J]. 煤矿安全,2015,46(9):152-154,158.
- [57] 丁伟,黄智龙,谭红,等. 贵州六盘水市煤矸石综合利用现状及对策[J]. 矿物学报,2011,31(3):474-477.
- [58] 邹仕华. 观音山煤矿投资建设过程研究[J]. 工业经济论坛,2018(2):74-82.
- [59] 蔡坤,龙素英. 云南富源县煤炭产业发展的研究[J]. 消费导刊,2010(1):35-36.
- [60] 孙喜明. 可保煤矿五邑露天坑回填排土场经验总结[J]. 露天采矿技术,2013(1):19-20,23.
- [61] 洪雷. 西南最大煤矸石火力发电厂运行[N]. 中国经济导报,2006-03-28(B02).
- [62] 官长平,严朝晖. 酸浸法提取煤矸石中Al₂O₃优化条件的研究[J]. 四川有色金属,2011(4):35-39.
- [63] 袁峰. 黔西南煤矸石开发利用研究[D]. 贵阳:贵州大学,2009.
- [64] 李虎杰,陶军. 煤矸石制备高强陶粒的试验研究[J]. 非金属矿,2010,33(3):20-22.
- [65] 任小舟,祝怡虹,王琴. 西南地区煤炭矿区规划环境影响评价指标体系探析[J]. 煤炭加工与综合利用,2012(4):52-55,68.

引用格式:邓代强. 中国西南地区煤矸石利用现状与展望[J]. 矿产保护与利用,2019,39(2):136-141.

DENG Daiqiang. The present situation and prospect of coal gangue utilization in southwest China[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(2):136-141.