

气体等。瓦斯是废气的主要来源,据统计,全国煤炭系统每年排入大气中的瓦斯约 $6.0 \times 10^9 \text{ m}^3$ 以上,占世界同类瓦斯排放总量的 $1/4 \sim 1/3$,仅 2000 年我国排入大气的瓦斯量达 $96.25 \times 10^8 \text{ m}^3$ (纯量),约占全世界的 60%。

另外,粉尘也是造成矿区周围大气环境污染的重要原因。煤炭开采的各个生产环节都能产生大量的煤尘,如井下钻眼、爆破、落煤、装运转载、支架、顶板的沉降等过程。矿井产生量主要来自采掘工作面,约占全矿井产生尘量的 70%;其次是长距离的胶带运输系统的转载点和溜煤眼。煤炭粉尘的排放不仅会对大气环境造成危害,而且存在煤尘爆炸的隐患。此外,煤炭在地面上洗选、装运以及风力等原因也会产生大量粉尘。

1.3 我国煤矿环境保护的相关政策、法规和标准

1.3.1 防治环境污染的政策、法规和标准

《中华人民共和国宪法》第二十六条明确规定:国家保护和改善生活环境和生态环境,防治污染和其他公害。

1989 年 12 月 26 日实施的《中华人民共和国环境保护法》明确了对污染防治的相关规定。其中第十三条规定:“建设污染环境的项目,必须遵守国家有关建设项目环境保护管理的规定”,“建设项目的环境影响报告书,必须对建设项目产生的污染和对环境的影响作出评价,规定防治措施”;第十九条规定:“开发利用自然资源,必须采取措施保护生态环境”;第二十六条规定:“建设项目的防治污染设施,必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用”;第二十四条规定:“产生环境污染和其他公害的单位,必须把环境保护工作纳入计划,建立环境保护责任制度;采取有效措施,防治在生产建设或者其他活动中产生的废气、废水、废渣、粉尘、恶臭气体、放射性物质以及噪声、振动、电磁波辐射等对环境的污染和危害”。

2003 年 9 月 1 日实施的《中华人民共和国环境影响评价法》,进一步对规划和建设项目的环境影响评价进行了明确规定。

目前已实施的《中华人民共和国大气污染防治法》、《中华人民共和国水污染防治法》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《中华人民共和国环境噪声污染防治法》等法律对废水、废气、固体废物、噪声等污染物的达标排放都进行了明确的规定。

1994 年 11 月 2 日原煤炭工业部颁布并实施的《煤炭工业环境保护暂行管理办法》,对煤炭资源开发利用过程中预防环境污染和生态破坏作出了规定,其中第三条明确了煤炭行业环境保护任务是:“合理开发利用煤炭及与煤共生、伴生的矿产资源,依靠科学技术进步,推行清洁生产,防治矿区生态破坏和环境污染,发展洁净煤技术,提供清洁能源”;第二十三至三十三条对煤炭开采造成的土地破坏、煤矸石堆放、大气污染、水体污染防治作出了具体规定。

目前已执行的污染物排放标准有《煤炭工业污染物排放标准》(GB 20426—2006)、《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)、《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)、《煤层气(煤矿瓦斯)排放标准》(GB 21522—2008)、《锅炉大气污染物排放标准》(GB 13271—2001)、《一般工业固体废物贮存处置场污染控制标准》(GB 18599—2001)、《工业企业厂界噪声标准》(GB 12348—2008)等,以上标准适用于现有各类污染源及污染物排放管理,以及建设项目的环境影响评价、设计、环境保护设施竣工验收及其

投产后的污染物排放管理。

1.3.2 自然资源保护政策

自然资源是国民经济与社会发展的重要物质基础,随着工业化和人口的发展,人类对自然资源的巨大需求和大规模的开采消耗已导致资源基础的削弱、退化、枯竭。因此,必须采取经济发展与资源保护相结合的政策,在自然资源的开发利用过程中,合理利用资源、防治生态系统退化与破坏,实现自然资源的永续利用。

新中国成立以来,国家一直重视自然资源的开发利用与保护,制定了一系列自然资源开发利用政策与法规。我国宪法明确规定:“国家保障自然资源的合理利用,保护珍贵的植物和动物,禁止任何组织或者个人用任何手段侵占或破坏自然资源”。目前已经实施的各种自然资源保护的单行性法规有《煤炭法》、《土地管理法》及其实施细则、《水土保持法及其实施细则》、《基本农田保护条例》、《自然保护区条例》等。除此之外,《煤矸石综合利用管理办法》、《粉煤灰综合利用管理办法》对煤炭开采过程中产生的煤矸石和电厂粉煤灰提出了综合利用、变废为宝的政策措施。随着科学技术的发展,国家正在完善制定各种自然资源开发利用的法律法规与部门规章,以保障中国自然资源的可持续开发利用。

1.3.3 清洁生产的政策与法规

清洁生产是指不断采取改进设计、使用清洁的能源和原料、采用先进的工艺技术与设备,改善管理、综合利用等措施,从源头削减污染,提高资源利用效率,减少或者避免生产、服务和产品使用过程中污染物的产生和排放,以减轻或者消除对人类的健康和环境的危害,其核心是“节能、降耗、减污、增效”。清洁生产改变了过去被动、滞后的污染控制手段,强调了污染发生之前及全过程的削减,是控制环境污染的有效手段。

清洁生产审核是企业实施清洁生产的前提和基础,也是评价各项环保措施实施效果的手段。我国的清洁生产审核分自愿和强制性两类,国家鼓励企业自愿开展清洁生产审核,而对双超双有企业(污染物排放超过标准和总量指标的、使用有毒有害原料或排放有毒物质的企业)依法实行强制性审核,随着环境管理的不断加强,目前地方政府已开始对大型煤炭企业实行强制性清洁生产审核。

为了推动清洁生产工作,国家先后出台了《中华人民共和国清洁生产促进法》、《清洁生产审核暂行办法》以及清洁生产标准等法律法规,使清洁生产成为量化、可操作的工作。

2009年2月1日实施的《清洁生产标准——煤炭采选业(HJ 446-2008)》,规定了煤炭采选业清洁生产的一般要求。该标准将煤炭采选业清洁生产分为三级,一级代表国际清洁生产先进水平,二级代表国内清洁生产先进水平,三级代表国内清洁生产基本水平;将清洁生产标准指标分为7类,即生产工艺与装备要求、资源能源利用指标、产品指标、污染物产生指标(末端处理前)、废物回收利用指标、矿山生态保护和环境管理要求。标准不但适用于煤炭采选业的清洁生产审核、清洁生产潜力与机会的判断,以及清洁生产绩效评定和清洁生产绩效公告制度,而且也适用于环境影响评价和排污许可证等环境管理制度,为从源头上控制环境污染与生态破坏提供了法律与技术保障。

2 生态环境治理与资源综合利用

2.1 矿区生态环境规划

2.1.1 矿区生态修复规划的意义

(1) 可实现矿区环境的综合整治和废弃物的综合利用,保障矿区生态环境质量,为矿区可持续发展创造条件。

(2) 煤矿特殊的社会经济环境决定了煤炭产业是矿区经济增长的主动力,但煤炭资源的有限性,使煤炭产业不能无限制地发展,通过对煤炭矿区生态修复规划,可合理地调整和优化矿区的产业结构和布局,为矿区后期的转产做好准备,使矿区经济得到极大发展。

(3) 改善矿区生态环境,提高矿区人民的生活质量,使社会稳定;同时提高矿区形象与知名度,改善矿区的投资环境,对吸引外来资金和技术将起到巨大的推动作用。

2.1.2 矿区生态规划原则

(1) 整体性原则。矿区生态修复的规划范围可大可小,大到整个矿区,小到矿区中的一块塌陷地。但是无论范围大小,在进行矿区生态重建时,应将包括矿区在内的整个区域作为一个整体进行综合考虑,使新建景观与周边景观和谐地融合在一起,并具有较高的经济、生态和美学价值。

(2) 异质性原则。矿区生态修复规划要综合考虑矿区及其区域景观环境中的斑块、廊道和基质的有机结合,包括道路、水渠等廊道,耕地、鱼塘、林地等斑块,还要把矿区作为区域的景观环境中的一个斑块来考虑其自身的意义和价值。

(3) 多样性原则。矿区的可持续利用要考虑未来发展的多种可能,采取多样性设计和不同的恢复与利用方式,来满足功能的多样化和人的不同层次的需求。

(4) 因地制宜原则。矿区废弃地景观的空间异质性要求生态设计遵守因地制宜的原则。在矿区景观中,有多种景观类型,如陆地、水域等,他们均具有不同的特点和利用取向。在进行修复规划时,要针对不同的景观类型,采取不同的工程措施和生态设计类型,因地制宜地重建矿区多样性的景观环境。

(5) 可持续原则。矿区生态修复规划的最终目标是实现矿区的可持续发展。由于矿区资源开发利用的不可持续性及采矿活动所带来的生态环境、资源的破坏等,在矿区生态修复规划时,不仅要立足变废弃为可利用,而且要达到矿区的可持续利用。

(6) 综合性原则。矿区生态修复规划涉及生态学、地学、经济学、环境科学、美学等相关学科,从这方面来讲,进行矿区生态修复规划需要综合多学科的知识,对“矿区—社会—经济—环境”这一复合生态系统的功能和结构进行有目的的调整。

2.1.3 矿区生态规划的目标

矿区生态规划的最终目标就是增强矿区的持续发展能力。随着可持续发展的概念和内

涵不断拓展,矿区的可持续发展问题也引起人们的重视。总的来说,矿区可持续发展的内涵包括4个方面:首先使矿区资源开发、环境保护、经济及社会发展相互协调;其次向社会提供洁净的燃料、原料及电力;再次,珍惜矿产资源和生态环境资源,调控矿产资源的耗竭速度,以取得最佳综合效益;最后,协调好矿区与邻区、矿区近期发展与长期发展的关系。

矿区可持续发展的内涵规定了矿区生态规划的具体目标,即建立适合于矿业特点的矿区生态规划理论与方法,通过实证研究为矿区资源、生态环境、经济和社会的协调发展提供科学依据。

2.1.4 矿区生态规划的内容

矿区生态修复规划是一个复杂的动态决策过程,具体来说,包括以下内容:

(1) 设计矿区工业生态链网。根据煤矿矿区的工业生态系统构成及技术可行性、经济可行性、环境保护的要求,将核心企业及其相关附属企业组成工业生态群落,建立矿区工业生态链网。

(2) 划分矿区工业生态功能区。根据矿区的自然条件、资源、土地使用、绿化状况资料收集及环境潜能分析结果,对矿区工业生态功能进行区划,可以划分为产业区、管理区、居住区及分散的生态保护区等。

(3) 发展生态矿区。生态矿区是基于一定地域内人类社会活动共同体的基础,以生态性能为主旨,以整体的环境观来组合相关的建设和管理要素,且持续发展的人类居住地。本着“以人为本”的原则,对居住区进行区域绿化、完善服务功能、设计景观环境、开展社区文化及生态教育和建立相应管理机制等,将居住区建设成为生态社区。

(4) 根据规划的原则、思路及目标,详细研究和明确矿区生态修复规划重点工程项目及其效益。根据煤矿矿区开采所带来的生态环境破坏情况,矿区生态修复规划重点工程项目主要有固废综合利用工程、大气环境污染控制工程、噪声治理工程、废弃地生态修复治理工程、水资源综合利用工程等,利用现有的学科技术和工艺方法,对其进行方案制定及效益分析。

(5) 生态修复规划工程概算及效益分析。通过对整个规划工程的总投资预算,分析其经济效益、生态环境效益和社会效益,明确该规划的经济可行性。

2.1.5 矿区生态规划的方法

矿区生态规划技术路线:根据研究目标和研究内容,广泛调查我国各类典型矿区资源、生态环境、经济和社会发展现状,分析其特点、存在的问题和演变趋势,以矿区可持续发展为目标,以复合生态系统理论为指导,运用现代生态学等理论和计算机技术,建立矿区可持续发展的生态规划基本理论与方法,选择典型矿区应用该方法和模型进行模拟、评价,进一步修正、完善所建立的理论与方法,提出理论并指导实践,即“收集资料—建立模型—模拟评价—提出理论—指导实践”技术路线。采用这种研究方法,将使生态规划的研究,由一般的定性分析走向定量研究,由偏重于理论阐述走向模型计算,由逻辑推理走向模拟预测,从而使其更具实用性和可操作性。同时,现今计算机科学与技术手段的发展,以及现代生态学(特别是景观生态学、系统生态学等)的进展和各种规划模型的研究,为建立矿区可持续发展的生态规划理论与方法及其应用提供了基础。

2.1.6 矿区环境保护

1. 矿区开发产生的主要环境问题

矿区开发产生的主要环境问题有水环境污染、大气环境污染、噪声污染及地表变形与塌陷。

2. 矿区生态环境保护对策

(1) 加强宣传教育, 转变思想观念。环境问题主要源于人类对自然资源和生态环境的不合理利用和破坏, 这种损害环境的行为, 同人们缺乏对环境的正确认识有关。因此, 从这个意义上讲, 环境保护要宣传先行, 教育为本, 提高人们的环境意识, 使人们的行为与环境相和谐。为此, 要有计划、有步骤、全方位和多层次地利用各种宣传形式和手段, 将清洁开采工艺、洁净煤利用新技术、高效节能新技术、矿区生态环境恢复与重建新技术以及可持续发展思想等传播给广大干部群众。

(2) 坚持矿区环境与发展的综合决策。矿区可持续发展的核心内容之一是保持矿区经济与环境的协调发展。树立保护环境就是保护生产力的意识, 改变过去那种将经济发展与环境保护相对立的落后观念, 实行矿区环境与发展的综合决策机制。

(3) 实行全过程环境管理, 加大环境执法监督力度。全过程环境管理要求对煤炭开发项目立项、规划设计、基建、生产、销售、运输、使用的全过程实行全面管理。不但要对产品的整个寿命期实施环境管理, 还要对其副产品的回收与处理进行管理。

(4) 拓宽环保筹资渠道, 加强环境治理的经济实力和实际效果。矿区环境保护费用主要包括新建项目的环境保护投资、老企业技术改造环境保护投资、环境保护运行费用、各类损失补偿费用以及生态恢复与重建费用等。针对费用发生的不同类型, 在煤炭生产和建设的各个环节, 都要采取不同的措施, 确保环保资金的足额到位。

(5) 建立健全环境保护经济政策, 完善环保激励与我国环境约束机制。我国环境与发展十大对策明确提出, 应更多地利用经济手段, 来达到保护环境的目的。财税、金融等作为重要的经济手段, 在诱导企业采用清洁生产工艺和设备, 减少污染物排放, 进行排泄资源(废气、废水、固体废弃物)的减量化、资源化、无害化等方面具有十分重要的作用。

3. 矿区环境生态保护规划

矿区开发引起的水土流失, 主要来自于地表变形塌陷和植被破坏及煤矸石的堆弃。对矿井塌陷地进行综合治理, 恢复表土的植被, 防止水土流失, 除采取防治地表移动变形的措施外, 还应加强绿化, 扩大绿化面积, 对于裸露的土地采取绿化措施, 以防止水土流失。

矿区建设应尽量减少植被破坏, 铁路、公路两侧地界内的山坡地应修建护坡或采取其他的土地整治措施。在排矸场地周围设置防护林带, 以防止灰尘、烟尘的飘飞。

2.2 矿井水的污染治理、净化回收利用技术

2.2.1 矿井水分类及水质特征

矿井水的形成一般是由于巷道揭露和采空区塌陷波及水源所致, 其水源主要是大气降水、地表水、断层水、含水层水和采空区水。

按照对环境的影响以及作为生活饮用水水源的可行性, 习惯上将矿井水按水质类型特征分为洁净矿井水、含悬浮物矿井水、酸性矿井水、高矿化度矿井水和含有毒有害元素矿井水5类。

(1) 洁净矿井水。一般是指奥灰水（即含水层所含的水）、砂岩裂隙水、第四纪冲积层水及老窑积水等，主要分布在我国的东北、华北等地。此类矿井水水质好，pH 值为中性，不含有毒、有害离子（或者其含量低于生活饮用水标准值），浊度低，有的还含有多种有益微量元素。通过井下单独布置管道将其排出，经过消毒处理后，即可作为生活饮用水。

(2) 含悬浮物矿井水。此类水分布较广，全国大多数矿井排水均属此类型。悬浮物含量高主要是因为地下水受开采影响而带入煤尘和岩粉，除悬浮物和细菌外，此类矿井水其他物理化学指标都符合我国生活饮用水的卫生标准。此类矿井水经井下水仓初沉后，排至地面，采用常规水处理工艺，即可得到合乎标准的生活和生产用水。

(3) 高矿化度矿井水。高矿化度矿井水，又称矿井苦咸水，指的是溶解性总固体高于 1000mg/L 的矿井水，其中往往还含有较高的悬浮物、细菌，感观性状指标一般不能达到生活饮用水水质标准。其矿化度大多在 1500 ~ 4000mg/L，最高者达 15000mg/L。高矿化度是地下水与煤系地层中碳酸盐类及硫酸盐类岩层接触，该类矿物溶解于水的结果使矿井水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 等离子增多，高矿化度矿井水 pH 值一般呈中性。

(4) 酸性矿井水。指 pH 值小于 6.5 的矿井水，多介于 3.0 和 6.5 之间，个别的小于 3.0，总酸度高。酸性水的形成，主要源于煤中硫铁矿，历经化学氧化特别是生物催化氧化作用生成硫酸，当煤系矿物碱性不足以中和硫酸酸性时，形成酸性。酸性矿井水含 SO_4^{2-} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 及其他金属离子，其矿化度与硬度也因酸性作用而增高。此类水通常采用化学中和方法处理。中和药剂一般用价格低廉而来源广泛的石灰石、石灰、电石渣等，处理设备有中和反应池、中和滚筒和升流式膨胀中和塔等，为了除去 Fe^{2+} 和反应中产生的 CO_2 ，充分中和酸性水，要增设曝气和沉淀处理工艺设备。

(5) 含有毒有害元素矿井水。主要有含氟水，含铁、锰及某些重金属离子（如铜、锌、铅）水以及含放射性元素水。处理含微量元素矿井水，要有针对性地经过实验，合理选用水处理技术，例如氟可用活性氧化铝吸附去除或在电渗析法除盐的同时除氟，含铁、锰可采用曝气充氧和锰矿过滤去除。含放射性元素矿井水是由于煤系地层含有放射性物质溶入地下水而形成，因为含放射性物质的煤矿开采受严格限制，其排放的矿井排水也谈不上治理与利用。

实际上矿井水的水质往往是复合型的，其中有的矿井水含了 10 多项超过饮用水标准和工业用水标准的成分，给矿井水的资源化带来了一定的困难。

2.2.2 国内外矿井水利用概况

2.2.2.1 国内矿井水利用现状

早在新中国成立前，我国的一些煤矿就注意矿井水的利用，例如将井下排水直接用于煤的洗选，或者经过自然沉淀、过滤后用于洗澡。新中国成立后，一些煤矿在井下汲取未受污染的巷道水或井筒淋水以供矿区生活饮用。20 世纪 60 年代以后，我国煤矿开采技术有了新的发展，水处理技术也相应有所提高。1968 年北京给水排水设计院及北京煤矿设计院在大台煤矿进行了井下排水净化后供给生活饮用水的试验研究，主要进行了混凝、沉淀、过滤及混凝、直接过滤试验，使出水达到了饮用水标准。

我国煤矿矿井水净化站大多是 20 世纪 80 年代以后建立的，如大同、平顶山、徐州、

淮北等矿区的矿井水净化站。到目前为止,我国国有煤矿已陆续建造了矿井水处理站,每年全国煤矿矿井水净化后供生活饮用的水量已达 $5.0 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上。在净水工艺及方式上,一般都能做到因地制宜。例如,当矿井水排水时间不均衡时,设置调节池;当原水悬浮物含量高时,增加预沉池;水中粗颗粒物多时,设沉沙池;水的 pH 值较低时,要增加中和设备。有的煤矿还采用澄清池代替混合、反应和沉淀池。但是我国煤矿矿井水的利用率还很低,平均约为 49%,随着各煤矿水资源的紧张,许多矿区都进行了不同程度的综合利用工作。根据不同的情况,我国矿井水的综合利用途径大体上分为三个方面:

(1) 作为选煤厂生产补充水、井下防火灌浆用水等,这类用水对水质要求不高,简单沉淀处理后就可利用。

(2) 作为井下消防洒水、地面防尘洒水、绿化及生态用水,这类用水对水质有一定的要求,需要经过常规处理后才能达到用水水质要求。

(3) 作为生活用水和有较高要求的生产用水,包括生活饮用、锅炉、澡堂洗浴用水,这类用水需要经过深度处理后才能达到用水水质要求。

2.2.2.2 国外矿井水处理利用现状

国外煤矿都把处理矿井水作为环境保护工作的重点,而且认为矿山排水是煤炭开采中的一种伴生资源而不是负担,矿井水涌出愈大,赢利愈多,经济效益也就愈大。20 世纪 70 年代以来,开展了区域综合治理规划,寻求在环境整体上的最佳治理方案,以达到经济上合理、技术上可行和环保上可靠的目标。据统计,美国早在 20 世纪 80 年代初期,煤矿井下水的利用率就达到 81%,俄罗斯顿巴斯矿区 1988 年矿井水利用率已经超过 90%。

目前,国外矿井水的用途有:①选煤、水力运输、水采及水力充填用,俄罗斯利用的矿井水有 50% 用于选煤;②锅炉、冷却、除尘利用;③生活饮用,这主要是利用从排水钻孔中抽出的洁净水;④利用矿井水作热泵来调节建筑物室内温度。为此国外很多煤田重视矿井排出水和矿区各含水层的地下水处理方法和工艺的研究。如波兰上西里西亚煤田通过水质研究,根据用途不同把矿井水分为四类:生活用水、工业用水、生产用水和不能利用水,并且提出不同的水质应用不同的管路从井下排出。

俄罗斯的煤炭工业居世界领先地位,对矿井水的处理技术及其利用的研究起步较早,成果显著,居世界领先地位。俄罗斯煤矿环保研究院研制了用气浮法净化矿井水,采用净化水部分循环工作方式,循环水在压力箱中剩余压力作用下充满空气,较好地形成轻浮选剂。俄罗斯采煤建井和劳动组织所研究的电絮凝法,是以直流电通过金属电极处理矿井水,在电化学、电物理综合作用下,使矿井水杂质颗粒、水和微气泡形成松散团粒,凝聚后漂浮在水面上,形成一层泡沫后用刮板排除。此法可使杂质团粒的沉淀速度提高数倍,并对排除乳化于水中的石油产物和其污染物有效。

20 世纪 80 年代前后,美国和一些欧洲国家先后开展了人工湿地处理矿井水的实验研究,取得了一些可喜的成果,目前已逐步应用于生产,并收到了良好的效果。此法具有投资少、运行费低、易于管理等优点,引起了人们的极大兴趣。

总之,世界上不少国家在矿井水的处理和利用方面,进行了广泛的研究和实践,已取得了许多成果,积累了不少经验。但由于煤炭矿井水成分的复杂性和地域的特点等因素,现有的处理与回收利用工艺技术还不够完善和成熟。针对不同的水质情况和回收利用的具体要求,应采用不同的工艺。

2.2.3 矿井水资源化技术

2.2.3.1 矿井水资源化现状

煤炭是我国的主要能源,但在煤炭开发和利用的同时,也带来了一系列的环境和生态问题。其中,矿井水是煤炭工业的主要污染之一,目前,我国煤炭系统每年排放矿井水约 $2.0 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。随着煤炭工业的快速发展,矿井水的排放量不断增多。矿井水因其成分复杂,会对环境产生较大影响,尤其是高矿化度矿井水会严重污染地面水体,淤塞河流湖泊,破坏地表景观,抑制水生生物的生长和繁衍,使土壤板结或盐渍化。因此,不加处理地任意排放矿井水,将对生态环境造成重大影响。

现阶段我国煤矿矿井水治理与资源化按不同的水质类型采用不同的处理工艺和方法,一般处理工艺流程如图 12-2-1 所示。

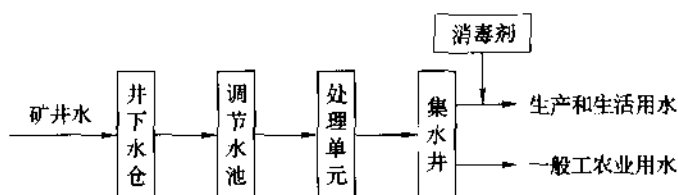


图 12-2-1 矿井水处理的一般工艺流程

以上工艺流程应因地制宜,各个单元操作按各矿井的实际情况设置。对于洁净矿井水,采用井下清污分流或按质分流,使洁净矿井水通过专设管路排出,此法是煤矿系统经济利用矿井水的有效方式。含悬浮物矿井水分布较广,此类水经井下水仓初沉后排至地面,采用常规水处理工艺即可。高矿化度矿井水因含盐高、硬度高,在我国煤矿都采用电渗析进行处理,脱盐率与水回收率可达 50% 以上,出水水质可达到饮用水标准。酸性矿井水在我国南方煤矿尤为常见,通常采用化学中和法处理,国内研制开发的利用湿地生态系统处理酸性矿井水,也有较高的净化效率。对于含有毒有害元素矿井水,可以采用电渗析或离子交换、反渗透等方法去除。对于含氟矿井水,可以采用活性氧化剂吸附方法,用电容析除盐时可同时将氟离子去除。处理上述各种类型的矿井水,根据矿井水的水质水量特性,选择合理的处理技术和工艺流程,为矿井水资源化奠定基础。

2.2.3.2 含悬浮物矿井水处理

目前采用最普遍的处理方法为常规的混凝、沉淀、过滤、消毒处理工艺,处理后的矿井水可用于煤矿生产或生活用水。

1. 混凝反应

混凝反应过程是矿井水中悬浮物聚集的过程。

(1) 混凝剂种类:目前使用的混凝剂种类很多,按照化学成分可分为无机和有机两大类。无机类目前常用的主要是铁盐和铝盐及其水解物,有硫酸铝、聚合氯化铝(PAC)、聚合硫酸铝(PAS)三氯化铁、硫酸亚铁、聚合硫酸铁(PFS)等;有机类常用的主要是高分子化合物,主要有聚丙烯酰胺(PAM)和天然高分子絮凝剂。含悬浮物矿井水处理目前聚合氯化铝较为常用,也有采用聚合铝铁,还有采用聚合氯化铝和聚丙烯酰胺配合投加的方式。聚丙烯酰胺及其水解物在对高浓度的矿井水处理中,常被用来作为助凝剂使用。

(2) 混凝剂混合: 药剂与水的混合要求快速均匀。投加的药剂通常采用水泵混合、管道混合器混合和机械混合, 其中水泵混合较常采用。

(3) 混合反应设施: 采用的反应设施有涡流反应池、穿孔旋流反应池、机械搅拌反应池等。

2. 沉淀设施

目前采用的有平流式沉淀池、斜管(斜板)沉淀池和将混凝反应与沉淀过程结合在一起的机械加速澄清池、水力循环澄清池、一体化净水器等, 各种处理设施均有其一定的优缺点。采用反应池加沉淀池形式具有处理能耗小, 设计处理水量可大可小, 操作管理简单等优点, 但存在着处理设施占地面积大, 沉淀污泥易堵塞造成排泥不畅、耐负荷冲击能力小的缺点。机械加速澄清池、水力循环澄清池、一体化净水器都是集混凝反应和沉淀过程于一体的水处理设施。机械加速澄清池具有处理出水水质较稳定、设施占地面积小、能自动定时排泥的优点, 但存在着处理能耗大、设备维护工作量大的缺点; 一体化净水器具有设备体积小, 处理设施占地面积小、安装方便等优点, 但该设备存在着沉淀区容积小, 单体处理量小、设备日常维护工作量大、设备寿命短等缺点; 水力循环澄清池具有处理过程中动力消耗低的优点, 耐负荷冲击能力和处理稳定性介于机械加速澄清池和一体化净水器之间, 设施维护简单, 操作方便。在实际使用中, 水力循环澄清池是目前不少矿井采用的矿井水净化处理设施。

3. 过滤设施

一般是指以石英砂等粒状滤料层截留水中悬浮杂质, 从而使水获得澄清的处理过程。目前常用的过滤设施有快滤池、重力式无阀滤池等, 各种滤池均能有效地降低水中浊度, 并达到出水浊度小于 3 度的标准。快滤池存在着过滤和反冲洗需手动操作的缺点; 重力式无阀滤池为具有自动反冲洗能力的小型过滤设施, 而且具有操作简便、管理容易、维护简单、不需反冲洗动力的优点。

4. 消毒设施

主要作用是去除水中病菌和病毒。消毒方法主要有氯及氯化物法、臭氧法、紫外线法等, 目前处理矿井水常用的是二氧化氯(ClO_2)消毒法, 现场使用二氧化氯发生器制取二氧化氯水溶液投加到处理后的矿井水中。

5. 煤泥处理

矿井水在处理过程中, 产生煤泥水的环节主要有初沉调节池、水力循环澄清池排泥以及无阀滤池反冲洗排水等。煤泥水的处理主要方法有采用浓缩压滤设备处理、送入选煤厂与洗选煤泥一起处理、作为井下防火灌浆制浆用水、设置煤泥干化场晾干等。

淮南矿业集团新庄孜矿井建设的矿井水处理站, 采用了常规矿井水处理工艺, 设计处理能力为 $12000\text{m}^3/\text{d}$, 处理后的矿井水达到矿井工业生产和生活用水的标准, 已全部利用。

2.2.3.3 酸性矿井水处理

1. 酸性矿井水水质

酸性矿井水是指 pH 值小于 6.5 的矿井排水, 一般 pH 值为 3.0~6.5, 个别的 pH 值小于 3.0, 总酸度高。矿井水的酸性化学组成极不稳定, 有的随季节变化, 有的随昼夜变化。在矿井水总数中, 大约有 10% 的水是酸性水。我国南方煤矿的矿井水多呈酸性, pH

值一般是 4.5 ~ 6.5, 个别的 pH 值小于 3.0, 这是和我国南方煤的含硫量普遍高于 2% 有关。

酸性矿井水不仅腐蚀井下排水设备、钢轨及其他矿井设备, 造成不应有的经济损失, 而且影响井下工人的身体健康。随着酸度增高, 矿井水中的某些重金属离子由不溶性化合物变为可溶性离子状态, 毒性增大。煤矿的酸性矿井水中通常含有 Fe^{2+} 离子, 当 Fe^{2+} 离子氧化时可消耗水中的溶解氧, 降低水的自净能力, 有碍水生生物生长, 降低水体的利用价值。当这些未经处理的酸性矿井水排至地面水体后, 可造成地面水体污染。

2. 酸性矿井水处理方法

目前, 酸性矿井水几乎都是采用以石灰或石灰石作为中和剂的中和法处理, 通常有直接投加石灰法、石灰石中和法及升流式膨胀过滤中和法 3 种工艺。

1) 石灰乳中和法

石灰乳 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 是常用的中和剂, 处理工艺流程如图 12-2-2 所示。

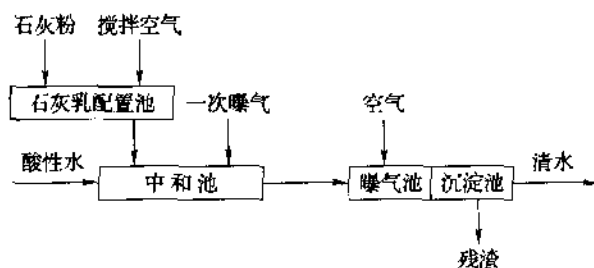


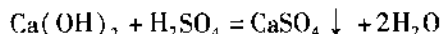
图 12-2-2 石灰乳中和法处理酸性矿井水工艺流程图

(1) 消化。生石灰 (CaO) 加水配置成 5% ~ 10% 石灰乳, 经筛网滤去残渣。

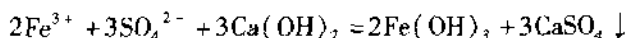
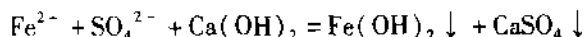
(2) 一次曝气。进入空气可起到搅拌的作用, 同时将水中部分 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} 。

(3) 中和与复分解。将石灰乳加入酸性矿井水中, 搅拌使其中和, pH 值可达 7.5 ~

8.5。反应式为

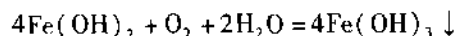


同时, Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 和石灰乳发生复分解反应:



石灰乳的颗粒越细, 悬浮性越好, 反应就越快, 生成的沉渣越少。

(4) 二次曝气。残留的 Fe^{2+} 继续被氧化, 同时氢氧化亚铁被氧化成氢氧化铁:



(5) 沉淀。水中的石膏、氢氧化铁在沉淀池中沉降。

(6) 污泥处理。

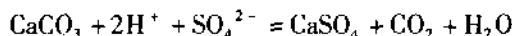
此法对酸性水的水量 and 水质不加限制, 易处理酸性较强且涌水量较大的矿井水, 石灰又是一种凝聚剂, 能使水中的微粒和胶体凝聚沉降而去除。但其投资与水处理费用较高, 劳动条件也较差, 出水 pH 值不够稳定, 石灰乳处理生成较稀的絮凝沉淀污泥, 体积较

大,不易处理。

2) 石灰石中和滚筒过滤法

此法采用石灰石作中和剂与水中的硫酸在滚筒中产生反应,生成硫酸钙和易分解的碳酸,由于滤料处于不断的波动和摩擦状态,使滤料不断产生新的反应表面,从而使反应连续进行,随着水中硫酸的消耗,排水 pH 值随着升高。其工艺流程如下:

(1) 在滚筒机内石灰石和矿井水中的硫酸起复分解反应:



(2) 生成的石膏和氢氧化铁在沉渣池中沉降,此时上层的水实际是碳酸溶液, pH 约为 5.0~5.7。

(3) 酸性水在曝气池曝气,以促使 CO_2 气体从水中逸出,进一步降低其酸度,升高 pH 值。同时水中的 Fe^{2+} 被氧化成 Fe^{3+} ,后者再水解而沉淀去除。

(4) 石膏和氢氧化铁在沉淀池中再次沉降,外排水的 pH 值可达 6.0~6.8。

石灰石比石灰经济,生成浓稠的污泥便于处理,可除去水中的酸和 Fe^{2+} 。但是该法只能使排水的 pH 值升高到 6.5 左右,而且去除 Fe^{2+} 很少,处理设备复杂,要求有一定的防腐措施,噪声大,工作环境条件差,二次污染严重等,因此其应用受到限制。

3) 升流式变滤速膨胀中和塔法

升流式变滤速膨胀中和塔法的化学原理同直接投加石灰法相同,其工艺是采用细小石灰石或白云石颗粒为滤料装入圆锥形的中和过滤塔中,当酸性水从滤塔底部自下而上通过时,水流将会浮起滤料,使滤料膨胀,在水流的作用下,滤塔中的颗粒将会处于相互摩擦运动的状态,在中和的过程中滤料很快地被消耗掉,产生的硫酸钙被水及时带走,这就保证了中和剂反应表面免于结垢,使中和反应沿着水流方向连续不断地进行。工艺流程如图 12-2-3 所示。当水流通过滤料时,水流下快上慢,中和反应得以充分进行。为了提高 Fe^{2+} 去除效果,在中和过程的同时补充溶解氧,在塔底部设了一个充气装置。中和塔出水中含有 CO_2 气体,在曝气塔中经曝气装置吹脱后 pH 值升高, Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} 而被除掉。

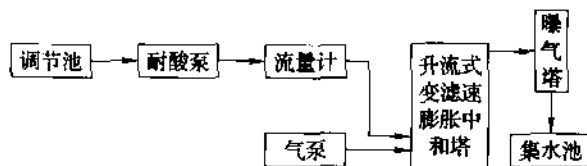


图 12-2-3 升流式变滤速膨胀中和塔工艺流程

4) 石灰石—石灰联合处理法

此法是综合石灰石和石灰两种处理工艺优点的一种方法。第一阶段采用石灰石中和酸性矿井水中的 H^+ , 酸性水的 pH 值接近 6.0, 然后投加石灰到 pH 值为 8 左右, 进一步中和 H^+ , 同时将 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} , 抑制 Fe^{3+} 的水解。该工艺适合各种性质的酸性矿井水的处理, 对高价及低价铁离子的去除比较完全, 而且污泥的沉降速度要比石灰乳中和法快, 克服了单用石灰石法或石灰乳法的弊端。

2.2.3.4 高矿化度矿井水处理

高矿化度矿井水处理后要作为矿井生活、锅炉、洗浴用水,必须要经过深度淡化处理,去除溶解于水中的盐分。高矿化度矿井水深度处理方法主要包括反渗透法(RO)、电渗析法、蒸馏法等,目前采用的是反渗透法。

反渗透法又称逆向渗透法,是以大于溶质渗透压为推动力,用半透膜过滤,使溶液中的溶剂和溶质分离的方法。反渗透处理工艺包括预处理、膜处理和后处理。预处理是去除水中悬浮物、有机物、油类,调节 pH 等,一般采用常规处理工艺;后处理是根据出水使用要求,通常采取的方法有消毒、中和、活性炭过滤等。

矿井水深度处理工艺流程如图 12-2-4 所示。

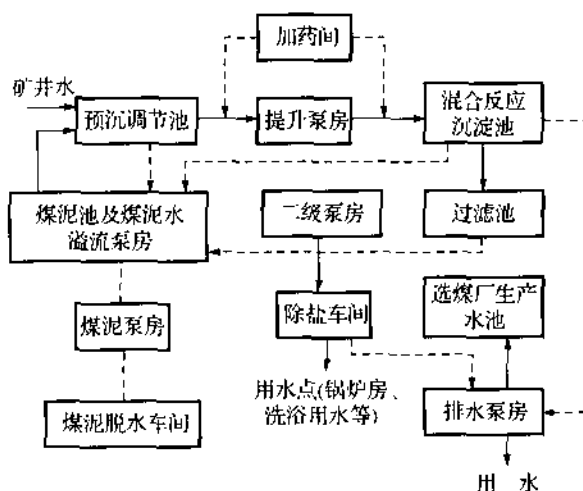


图 12-2-4 矿井水深度处理工艺流程图

2.2.3.5 含氟矿井水处理

饮用水中氟含量超过 1.0mg/L 即为高氟水。人们长期食用含高氟的水、粮食、蔬菜等易患地方性氟病,典型症状是形成氟斑牙及氟骨症,严重时可引起肢体变形,丧失劳动能力,甚至死亡。高氟水在我国煤矿较为普遍,宁夏、内蒙、甘肃等地有相当一部分矿区氟含量超过 1.0mg/L,山东龙口北皂矿含氟量达 5.7mg/L,安徽淮北、河南义马等矿区含氟量也很高。矿井水中含氟高的矿区与附近的含氟火成岩矿层及水文地质条件影响有关。若是高矿化度矿井水,能使氟产生富集作用,增加矿井水氟含量。另外,华东部分地区由于煤灰等工业废渣的堆放,大气降水淋溶或地表水浸泡,使含氟废水可能渗入矿井。

含氟矿井水的除氟方法主要有混凝沉淀法、滤层吸附法、电凝聚法和反渗透法等。

1. 混凝沉淀法

在混凝沉淀法除氟过程中,除氟剂的性能、质量和适宜的运行条件是除氟效果的关键。能从矿井水中去除氟的物质有聚合氯化铝(PAC)、硫酸铝、硅酸钠、氟化铁、矾土、沸石及石灰等,但从性能及经济上,只有 PAC 和石灰作为混凝药剂较合适。

聚合氯化铝(PAC)是一种无机高分子絮凝剂,分子式为 $[Al_2(OH)_nCl_{6-n} \cdot xH_2O]_m$ 。它具有投量少、净化效率高、价格低廉等优点,广泛应用于给水处理和废水的处理。聚合氯化铝的纯品为褐色透明液体,具有较高的电荷和分子量,吸脱和黏附架桥作用较强,投

加到水中能迅速将其优良的混凝效能发挥出来。

聚合氯化铝溶于水后,立即解离出铝离子,但铝离子表面电荷密度大,在水中并非以裸露的简单形态存在,而是与水中的 H_2O 、 F^- 、 OH^- 等络合形成各种结构复杂的络合物。在中性介质中,氟离子优先吸附在氢氧化铝的胶体上,在胶粒的外层形成羟基氯化铝络合物层。随着聚合氯化铝用量的增加(用量在 50mg/L 以下),出水中铝离子并不发生积累,铝离子同沉淀络合物一起被去除。若 pH 值控制在 $6.4 \sim 7.0$ 时,溶解态铝量可达最低值,约为 0.02mg/L ,使处理后的水不会产生二次污染。

影响混凝去除效果的因素有三个:

(1) 除氟效果与水温变化关系。用铝盐系除氟剂时,水温是影响混凝反应中的一个重要因素。在一定范围内水温对除氟效果的影响不是十分明显,但是当水温大幅度变化时,水温对氟的去除率有 $15\% \sim 20\%$ 的影响,一般水温在 $15 \sim 25^\circ\text{C}$ 时才有满意的去除率。

水温过高,氢氧化铝的水合作用增强,导致水的沉淀速度放慢,影响药剂的除氟效果。水温过低,铝离子很难形成吸附性能良好的大颗粒矾花,从而影响到沉淀速度。

(2) 氟去除率与沉淀时间的关系。随着沉淀时间的增加,氟的去除率是不断增加的,但并不是沉淀时间越长越有利于 F^- 的去除。通常是在 60min 内,随着时间的增加,去除效率加快;超过 120min 后,沉淀已趋于稳定。采用 3 种不同浓度的含铝药剂进行实验,它们对氟去除率随时间变化的结果基本是一致的,只是浓度大的药剂对氟的去除率略高。

(3) 除氟效果与 pH 值的关系。pH 值对除氟效果影响较大,水中 F^- 在不同的 pH 值时有不同的残留量,除氟的最佳 pH 值应当选为 $6 \sim 7$ 。若含氟矿井水不是偏酸性或碱性,就不必调节水的 pH 值。因为当废水 pH 值为 8.5 时,沉降 60min 后,氟离子 F^- 的去除率仍达到 80% 左右,且 F^- 含量仍能小于国家规定的 1.0mg/L 的允许排放标准。

2. 滤层吸附法

滤层吸附法是以能够吸附水中氟的物质为滤料,当含氟废水通过滤层时,氟被吸附在滤料表面而从水中去除的一种方法。能够作为滤料的吸氟物质有活性氧化铝,其次是骨碳、合成骨碳(SBC),此外蛇纹石也有一定的除氟效果。

活性氧化铝是一种具有较大表面积的多孔性无机吸附剂,对氟离子有较强的吸附能力。其除氟效率与粒度、原水含氟量、水质、滤速及再生方法等因素有关。粒径大小影响吸附氟离子的速率,小粒径的吸附速度明显高于较大粒度的活性氧化铝。粒径大,其表面积减小,影响脱氟效果;粒径小,滤料容易磨损和流失,而且还会因阻力大使水量减少,因此,一般粒径为 $0.3 \sim 2.5\text{mm}$ 为宜。相同用量的小颗粒活性氧化铝比大颗粒的节省设备和增加单位时间的出水量。原水的 pH 值对除氟效果影响也很大,随着 pH 值的增加,氧化铝除氟效果会下降, pH 值与吸附容量的关系见表 12-2-1。活性氧化铝对 pH 值为 $5.2 \sim 5.7$ 的原水比对 pH 值为 $7.0 \sim 7.4$ 的原水的吸氟量高约 5 倍。因此,对于酸性含氟矿井水较适合采用活性氧化铝作为处理滤料。

表 12-2-1 pH 值与活性氧化铝吸附容量的关系

pH 值	5	6	7	8
吸附容量/ $(\text{mgF}^- \cdot \text{g}^{-1})$	2.05	1.50	1.15	0.96

接触时间越长, 吸附容量越大, 但单位时间内的滤水量 (即流速) 将下降。从经济角度考虑, 活性氧化铝的接触时间取 10 ~ 15min 即可。

对于吸附饱和的活性氧化铝, 可以再生处理后重复使用。首先要将吸附饱和的活性氧化铝加水浸泡, 搓洗, 去除表面的泥砂等沉积杂质。再生剂可选用盐酸 (1:8)、硫酸 (1:26) 浸泡 1 ~ 3h, 充分溶解氧化铝内部的沉积物; 也可用 3% ~ 5% 的明矾溶液作为再生剂, 浸泡时间需要 5 ~ 7h, 或者在 500℃ 条件下灼烧 30min。再生液可以多次使用, 以降低再生费用。由于活性氧化铝的表面还吸附铁和铝的氢氧化物, 为了不影响除氟能力, 运行一段时间后应用 3.5% 的盐酸溶液清洗滤料, 其过程与再生过程一样, 盐酸用量与滤料比为 1:10。

骨碳也是一种很好的吸附除氟滤料。骨碳是由埋于地下的动物遗骨经炭化而成, 主要成分是碳酸三钙。与含氟废水接触时间以 5min 为宜。当吸附饱和后, 可用 0.5% NaOH 溶液进行再生, 然后再用 0.05mol/L 的 HCl 水溶液冲洗出残存的氢氧根离子。HCl 的用量相当于除氟剂体积的 1.5 倍, 最后用处理后的低氟水冲洗 5min 即可再用。用于饮用水除氟的骨碳层厚 1000mm, 线速度为 1.48m/h。

3. 电凝聚除氟法

电凝聚是以铝板作为电场的阳极板, 在电流的作用下阳极板表面向溶液中定量地溶出铝离子, 同时阴极将产生等量的 OH^- 离子。这些电解出的 Al^{3+} 具有较强的活性, 在电极表面与水产生不可逆的化学吸附, 形成不同形态的含铝络合物, 通过电极反应的表面催化作用, 在不同的 pH 条件下形成含有单核或多核的水合多聚物, 最终形成表面含有羟基的高分子线性物, 这些羟基的存在是铝的氢氧化物具有各种吸附作用的根本原因。电凝聚除氟的实质就是利用铝吸附剂对水中氟离子进行吸附, 其作用机理是静电吸附和离子交换吸附。静电吸附, 当废水 pH 小于 7 时, 其水解产物是带正电荷的低聚度的水合物 $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 、 $[\text{Al}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$, pH 值越低, 所带正电荷越多, 因而可选择性地静电吸附水中带有负电荷的阴离子。当 pH 大于 8.7 时, 形成带有负电荷的铝氢氧化物 $[\text{Al}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})]^-$, 将吸附溶液中带有正电荷的阳离子, 因此在碱性废水中此吸附过程发挥较大的作用。在离子交换吸附过程中, 由于铝羟基在水中呈现两性, 当废水 pH 值较低而呈现酸性时将发生碱性水解而吸附水中的阴离子; 当废水 pH 值较高而呈现碱性时将发生酸性水解而吸附水中的阳离子, 因而可控制原水的 pH 值, 即可将铝吸附剂作为离子交换剂来使用。在酸性条件下铝吸附剂对阴离子的选择交换顺序: $\text{OH}^- > \text{PO}_4^{3-} > \text{C}_2\text{O}_4^{2-} > \text{F}^- > \text{SO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{I}^- > \text{Cl}^- > \text{HSiO}_3^-$ 。

在电凝聚除氟法中影响除氟效果的因素包括原水的 pH 值、水温、其他阴离子、电流强度和水流速度等, 其中原水 pH 值的影响最为显著。在利用电凝聚除氟法中, 由于也是利用铝离子的水解而去除氟离子, 故水温对电凝聚除氟效率的影响与前面提到的相似。

2.2.3.6 含重金属离子的矿井水处理

1. 矿井水中重金属离子的污染特点

在环境污染中, 重金属主要是指汞、镉、铅、铬以及金属砷等生物毒性显著的元素。此外, 也指具有一定毒性的锌、铜、钴、镍、锡等重金属。

水体中的重金属不能被微生物分解, 相反生物体可使重金属富集, 并把它们转化为毒性更大的重金属有机化合物。例如汞、镉、铅、锌、砷、硒和铜等亲硫元素, 它们容易发

生价态变化,在复杂的水体环境中时而进入底泥,时而进入水体,与人体某些组织的亲和力特别大,结合后抑制酶的活性,从而对人体发生毒害作用。

2. 废水中重金属离子的去除

1) 吸附胶体浮选处理含铬离子废水

(1) 吸附胶体浮选法,是指向溶液中加入共沉剂(如 FeSO_4 等)调节pH值,使溶液中的目的离子与 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体发生共沉吸附作用,再加入表面活性剂,使之黏附在载有目的离子的胶体絮团上,达到浮选分离组分的目的。吸附胶体浮选机理主要包括两个方面:一方面是吸附机理,即如 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 表面的 OH^- 离子浓度相当高,能够把金属离子吸附并把它一起沉淀下来;另一方面是共沉机理,即胶体如 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀形成的过程中,金属离子可能包藏于 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 颗粒内而被沉淀下来,其共沉效应是吸附胶体浮选所必备的。

(2) 影响因素主要有两方面。

① pH值对 Cr^{6+} 浮选的影响。

在吸附胶体浮选中,影响最大的因素是pH值,它不仅影响捕收剂活性,同时还影响目的离子的存在形态以及胶体絮团的荷电特性,从而影响浮选效率。通常 10×10^{-6} 浓度的 Cr^{6+} 离子,析出沉淀的最佳pH值范围为7~9。

另外,当pH值大于10时, $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 荷负电,用阳离子捕收剂,当pH小于10时, $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 荷正电,应该使用阴离子捕收剂。

② 捕收剂用量、共沉剂用量及充气量对 Cr^{6+} 浮选的影响。

共沉剂及捕收剂用量对吸附胶体浮选有一定的影响,目的离子的沉淀率随共沉剂用量增加而增大,捕收剂用量增大有利于浮选,但过量时在浮选过程中生成的胶体会影响浮选。

充气速率直接影响胶体的运动状态,充气量太小,浮选效率也低,使目的离子严重增容,还能使捕收剂在剪切力作用下从胶体絮团表面解吸下来。

因此,在采用 FeSO_4 为共沉剂、SDS为捕收剂对 Cr^{6+} 单一离子进行吸附胶体浮选时,在pH值7~9范围内,能使 Cr^{6+} 有很好的去除效率。

药剂用量对 Cr^{6+} 的回收率也有一定影响,当捕收剂SDS在 2×10^{-6} ,共沉剂 FeSO_4 在 0.8×10^{-6} 左右时,能使 Cr^{6+} 的去除效率达98%, Cr^{6+} 出水浓度最低为 1.2×10^{-8} ,取得了良好的试验效果。

充气量及浮选时间对 Cr^{6+} 的吸附胶体浮选也有一定影响,当浮选时间为5min,其充气量在60~80ml/min为宜。

2) 络合沉淀浮选废水中的铜和镉

(1) 通过加入能与 Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 离子起络合作用的表面活性剂,使废水中的 Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 与表面活性剂分别络合反应生成沉淀,利用浮选分离技术使之有效地去除。

在废水的浮选法净化中,表面活性剂是不可缺少的。常用的阴离子表面活性剂有十二烷基硫酸钠(SDS)、十二烷基碳酸钠、油酸钠及黄原酸钠等;阳离子表面活性剂有 C_{12} 、 C_{16} 、 C_{18} 烷基胺,溴化十六烷基三甲基铵(HTA),以及混合胺等。另外,许多种多甲基聚胺能与 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 和 Hg^{2+} 生成稳定的络合物。

(2) 去除机理及影响因素。当一种金属离子形成配位络合物时,如果它能够形成两

种或更多种配位络合物,那么,它将分阶段进行,中间反应将不可避免地出现。如果用 M 代表金属离子, S 代表配位体,其方程式为:

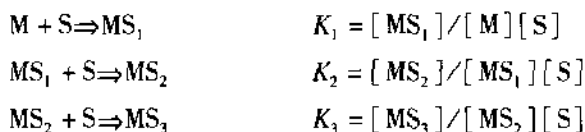


表 12-2-2 是用电动势测定的关于 Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 与 4-十二烷基二乙撑三胺形成络合物的平衡常数。

表 12-2-2 4-十二烷基二乙撑三胺与金属离子形成的络合物平衡常数

金属离子	$\log K_1$	$\log K_2$
Cd^{2+}	7.94	6.83
Cu^{2+}	14.35	6.24

用表面活性剂 4-十二烷基二乙撑三胺在不同条件下去除 Cd^{2+} 和 Cu^{2+} , 试验结果见表 12-2-3。

表 12-2-3 浓度大小对金属离子去除的影响

原始浓度/($1 \times 10^{-4} \text{ mol}$)			充气速度/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	pH 值	去除率/%	
表面活性剂	Cd^{2+}	Cu^{2+}			Cd^{2+}	Cu^{2+}
7.05	6.32	6.30	200	9.5	13.5	36.4
8.13	5.43	6.30	200	9.5	21.4	28.5
11.8	5.43	6.30	100	9.5	17.5	32.4
8.13	1.29	1.64	200	9.5	99.4	60.4
10.5	1.29	1.64	100	9.5	92.6	66.8
11.8	1.29	1.64	200	9.5	96.8	96.3

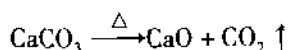
相关实验结果表明:当两种金属离子浓度相近而总浓度小于表面活性剂浓度时, Cd^{2+} 去除要比 Cu^{2+} 快;而当整个金属离子浓度比表面活性剂浓度大时, Cu^{2+} 去除速率比 Cd^{2+} 快。

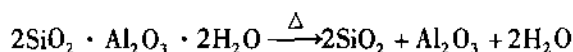
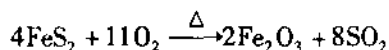
2.3 煤矸石的综合利用技术

2.3.1 煤矸石的组成

1. 煤矸石的化学组成

煤矸石的化学组成是评价矸石特性、决定利用途径、指导生产的重要指标。通常指的化学组成是煤矸石煅烧后灰渣的成分,一般是由无机化合物转变成的氧化物,尚有部分烧失量。例如:





化学成分的种类和含量随矿岩成分不同而变化,因此可以用氧化物含量的大小来判断矸石中矿岩成分和矸石类型等。化学成分和矸石类型的关系见表 12-2-4。

表 12-2-4 化学成分和矸石类型的关系

主要化学成分	矸石的岩石类型	主要化学成分	矸石的岩石类型
SiO_2 含量 40% ~ 70%、 Al_2O_3 含量 15% ~ 30%	黏土岩矸石	Al_2O_3 含量 > 40%	铝质岩矸石
SiO_2 含量 > 70%	砂岩矸石	CaO 含量 > 30%	钙质岩矸石

我国矸石的化学成分可见表 12-2-5。主要化学成分一般以 SiO_2 和 Al_2O_3 为主, SiO_2 的含量一般为 40% ~ 60%, 但亦有极少达 80% 以上, Al_2O_3 含量为 15% ~ 30%, 但在高岭土和铝质岩为主的矸石中可达 40% 以上。矸石中 CaO 含量一般都很低, 只有少数矿的矸石可作为石灰石利用。 Fe_2O_3 含量绝大部分小于 10%。

表 12-2-5 煤矸石的化学组成

组 成	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	R_2O	烧失量
含量/%	40 ~ 60	15 ~ 30	1 ~ 7	1 ~ 4	2 ~ 9	1 ~ 2.5	2 ~ 17

2. 煤矸石的矿物组成

煤矸石与煤系地层共生,是多种矿岩组成的混合物,属于沉积岩。煤矸石的岩石种类主要有黏土岩类、砂岩类、碳酸岩类、铝质岩类。

黏土岩类中主要矿物组分为黏土矿物,其次为石英、长石、云母和黄铁矿、碳酸盐等自生矿物,此外还含有丰富的植物化石、有机质、炭质等。黏土岩类在煤矸石中占有相当大的比例。

砂岩类矿物多为石英、长石、云母、植物化石和菱铁矿结核等,并含有碳酸岩的黏土矿物或者其他化学沉积物。采煤掘进巷道选出的煤矸石大多以砂岩为主。

碳酸盐类矿物的组成为方解石、白云石、菱铁矿,并混有较多的黏土矿物、陆源碎屑矿物、有机物、黄铁矿等。

铝质岩类均含有高铝矿物:三水铝矿、一水软铝石、一水硬铝石,此外还常常含有石英、玉髓、褐铁矿、白云母、方解石等矿物。

3. 煤矸石的元素组成

煤矸石的主要成分是无机矿物质,有机物含量较少,元素组成以硅和铝为主,其次是钙、镁、钾、钠、硫、磷等,还有微量的钛、钒、镍等稀有金属。我国矸石中的含硫量大部分比较低,一般含 S 量小于 1%, 但亦有不少矸石的硫含量达到 8% 以上,最高为 18.93%, 多数以黄铁矿形式存在,是宝贵的资源。

2.3.2 煤矸石的性质

1. 发热量

煤矸石中含有少量可燃有机质,在燃烧时能释放一定的热量,一般为 3300 ~ 6300 kJ/kg。发热量大小和碳含量、挥发分和灰分产率多少有关。矸石的发热量和煤的测定方法基本相同,可采用热量计测定。

2. 活性

固体活性通常近似地看作是促进化学或物理化学反应的能力。黏土类煤矸石主要由黏土矿物组成,加热到一定温度时,原来的结晶分解破坏,变为无定形的非晶质,使矸石具有活性。固体的活性很难用一个定量指标来评价,但可在规定的条件进行相对的比较,例如近年来测水泥混合材的活性,采用 ISO (化学法) 火山灰活性检验方法和水泥胶砂 28d 抗压强度比检验方法来进行比较。

3. 可塑性

矸石的可塑性是指矸石粉和适当比例的水混合均匀,制成泥团,当泥团受到高于某个数值剪应力的作用后,泥团可以塑造成任何几何形状,当除去应力后,泥团保持其形状,称可塑性。它是制陶瓷器和砖瓦的重要指标。矸石的可塑性大小主要和矿物成分、颗粒表面所带离子、含水量及细度因素有关。测定可塑性的方法较多,我国常用阿拉伯格塑性指数 I_p 值表示。

4. 熔融性

矸石在某种气氛下加热,随着温度升高,产生软化、熔化现象,称为熔融性。它是矸石进行热加工的重要性能。矸石加热熔融的过程也是矸石中矿物晶格变化、相互作用和形成新相的过程。矸石熔融的难易程度主要取决于矸石矿物成分及其含量多少。一般 Al_2O_3 和 SiO_2 是增加熔点的主要成分,而 CaO 、 MgO 、 Fe_2O_3 、 R_2O 是降低熔点的成分。熔融性测定方法可参照煤灰熔点测定法进行,也可以根据化学成分含量进行计算。

5. 膨胀和收缩性

矸石的膨胀和收缩性一般是指矸石在一定条件下燃烧时,产生体积膨胀和收缩的现象。造成膨胀的主要原因是矸石在熔融状态下,分解析出的气体不能及时从熔融体内排出而形成。如气体能及时排出则将产生体积收缩。矸石中的发气物主要是菱铁矿、碳酸盐矿物及有机物。轻质陶粒的生产就是利用矸石的热膨胀特性。

6. 煤矸石的工业性质

煤矸石性质是矸石综合利用的依据。由于煤矸石的岩石类型、矿物组成和堆放时间等的差异,其主要工业性质也有所不同。

灰分:其含量一般为 50% ~ 90%。其中剥离岩石和掘进矸石的灰分含量较高,一般在 85% 以上,可用作充填、铺路材料;采煤矸石和选煤矸石的灰分含量多为 60% ~ 80%,可用于发电、供热、建材和生产矸石肥料等。

发热量:掘进矸石和剥离岩石一般不含有机可燃物,其发热量甚微,可用于充填、铺路,部分可作建材原料;采煤矸石和选煤矸石的发热量一般为 4.2 ~ 8.4 MJ/kg。一般来讲,同一矿区的煤矸石其发热量大小与固定碳和挥发分的高低成正比,其中固定碳起决定作用。

硫分:煤矸石的含硫量大部分都比较低,一般小于 2%,但在一些高硫煤矿区,煤矸石含硫量多在 2.5% 以上。硫在煤矸石中大部分为黄铁矿硫,其赋存状态多以大小不同的

黄铁矿晶体或结核状集合体出现。

三氧化二铝：煤矸石中的 Al_2O_3 是一种重要的化学成分，矿物组成主要为高岭石。当 Al 含量大于 35%、高岭石含量大于等于 90% 时，经加工可广泛应用于冶金、陶瓷、石油化工、造纸等行业。

三氧化二铁：煤矸石中 Fe_2O_3 的含量一般小于 10%，没有单独提取价值。在某些矸石利用项目中，含铁量过高会影响其产品的质量，如影响高岭石类矸石煅烧后的白度等。

伴生元素：钒、锆等在煤矸石中含量都很低，通常没有工业利用价值。

煤矸石中有害元素的含量一般为： $w(\text{Hg}) = (0.1 \sim 0.5) \times 10^{-6}$ ， $w(\text{As}) = (0.5 \sim 12.0) \times 10^{-6}$ ， $w(\text{Cd}) = (0.1 \sim 0.7) \times 10^{-6}$ ， $w(\text{Cr}^{6+}) = (6 \sim 34) \times 10^{-6}$ ， $w(\text{Pb}) = (6.0 \sim 28.0) \times 10^{-6}$ ， $w(\text{F}) = (28 \sim 40) \times 10^{-6}$ 。矸石中各元素的平均含量与土壤的背景值相当。

放射性：根据有关资料，部分矿区煤矸石天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 的含量低于或接近于部分省区土壤中的核素含量。因此，煤矸石一般不属于放射性废物，除个别矿点的煤矸石有放射性异常外，一般矸石用于生产建材及其制品，或用于生产农业肥料等，不会造成放射性污染。

煤矸石中多数矿物的晶格质点常以离子键或共价键结合，具有一定的化学反应能力即活性。自燃后的矸石（过火矸）提高了活性，是较好的活性材料，可用作水泥掺合料，提取氯化铝、聚氯化铝和轻质陶粒等。

当煤矸石受热到一定程度便产生软化、熔化现象，其中矿物结晶也发生变化，形成新相，这是利用煤矸石或过火矸石生产多种建材的依据。

2.3.3 国内外煤矸石综合利用技术概述

1. 国外煤矸石综合利用技术

国外对煤矸石的综合利用研究比较重视，如美国矿业局从 20 世纪 70 年代开始，对所有矸石山进行采样分析，并作出煤矸石综合利用规划。前苏联煤炭部科技委员会于 1987 年召开了煤矸石在国民经济中利用的专题会议，并研究了煤矸石的分类、性质和综合利用有关技术、工艺和设备。国外煤矸石利用率（不含用于充填、铺路材料等）一般为 20% ~ 30%，高者可达 60% ~ 80%。主要用于生产建材产品，如制矸石砖、生产水泥和混凝土的轻质多孔材料。此外，煤矸石也可用于发电、供热和生产有机矿质肥料等。

美国的煤矸石利用主要是用于生产水泥或轻骨料。对含煤量大于 20% 的煤矸石，一般采用水力旋流器、重介质分选回收煤炭。对不便利用的矸石山，采用复垦法，使其变为牧场或果园。对自燃矸石山的防治，美国研究一种燃烧控制法处理，即通过合理设置抽风系统，使矸石山处于负压状态，导致空气被吸入，加速煤矸石的燃烧。燃烧产生的热能和废气在一定的控制条件下，经排放管道释放出，并加以净化处理利用。该法能在短时间内使自燃矸石山燃尽。由于燃烧过程温度较高，使矸石中的黄铁矿（硫化铁）变成赤铁矿（氧化铁），从而消除了酸性水的形成。烧过的矸石因含氧化铁而变成红色，可用于生产彩色水泥。这种快速燃烧法可排除矸石山自燃爆炸及污染环境等问题，并提高了煤矸石的经济价值。

在俄罗斯，除了利用煤矸石和矸石火烧岩生产砖和多孔轻骨料等建材外，还用煤矸石（含有机质 20% 以上）生产有机矿物肥料。这种矸石肥料可提高土壤肥力，特别适用于非黑土地带施用。在一些工厂可获得抗压强度达 35MPa、中空度 18% 和吸水率 2.3% ~

8.2% 的砖制品。

其他一些国家,如英国、法国、匈牙利等也对煤矸石利用进行了研究,并建立了用煤矸石、沸腾炉渣、粉煤灰生产建材的工厂。

2. 国内煤矸石综合利用技术

我国采煤历史悠久,煤矸石综合利用也已有 20 ~ 30 年的历史。近几年来,随着煤矿环保工作的深入开展和科学技术的进步,煤矸石的利用率也不断提高,1990 年矸石利用率为 20%,1995 年提高到 23.5%。主要用于发电、供热、制砖、水泥掺合料、制肥等。此外,还用煤矸石充填复垦、铺路以及回收矸石中高岭岩(土)和硫铁矿加工化工产品等。

在采煤矸石和选煤矸石中,有些含有 20% ~ 50% 的低热值煤,其发热量约为 6.2 ~ 8.4 MJ/kg,这部分可燃矸石可用于电厂发电和供热燃料。这方面国内已有比较成熟的经验。矸石发电和供热是我国目前利用煤矸石的一条重要途径,不但可节省好煤,而且矸石电厂的炉渣、飞灰还可以综合利用,消除二次污染,其经济效益、社会效益和环境效益比较显著。

利用煤矸石生产建筑材料及建材制品早已为煤矿所重视。因为煤矸石成分的多样性,各矿可根据当地煤矸石的成分择优利用。根据矸石成分的不同,不仅可以用于生产普通硅酸盐水泥,而且还可用于生产特种水泥,如快硬水泥、双快水泥和喷射水泥等。这种全矸石特种水泥具有节能、成本低、早强、快硬、微膨胀等特点,为大量利用石灰质矸石开辟了一条新途径。

由于过火矸和沸腾炉渣具有较好的火山灰特性,在我国已大力开展试验研究,将过火矸和炉渣用作水泥的活性混合材料和砌筑水泥、无熟料水泥的原料。这不但可以降低原料成本,而且可减少污染,是矿区过火矸和炉渣利用的重要途径。

采煤矸石和选煤矸石往往含有大量的炭质页岩和含炭粉砂岩,其有机质含量一般在 15% ~ 25%,高者可达 25% 以上,并含有植物生长所必需的 Co、Zn、Mo、Mn 等微量元素和具有较大的吸收容量,这种煤矸石适宜于制肥料。近几年来,我国煤矸石肥料的研制试验和推广工作取得了较大进展。矸石肥料主要有两类,一类是有机无机复合肥;另一类是煤矸石微生物肥料,如“田力宝”肥料。此外,煤矸石还可用于研制硅肥料、硫肥料等。用煤矸石制肥,消耗矸石量大,有较好的经济效益,是煤矸石综合利用的发展方向之一。选煤矸石一般含煤 10% ~ 20%,所以国内外均考虑从煤矸石中进一步回收煤炭资源,这不仅可获得廉价的煤,而且可降低矸石中可燃物含量。煤矸石中含有部分硫铁矿,特别是在部分硫煤矿区。应用推广硫铁矿回收技术,不仅减少了矸石山自燃对环境的影响,也会给煤矿带来一定的经济效益,避免资源的浪费。

近十多年的研究表明,相当数量的煤矸石主要由黏土矿物组成,其化学成分以 SiO_2 和 Al_2O_3 为主。特别是我国北方石炭煤田,煤层顶底板或夹矸中赋存有丰富的高岭岩(土)资源,过去在煤炭开采中随煤采出而作为煤矸石弃之矸石山。这部分优质高岭岩(土)资源的开发、回收利用,可广泛应用于石油、化工、橡胶、冶金、造纸、陶瓷等工业。

2.3.4 煤矸石常见综合利用技术

2.3.4.1 生产特种砖及石棉瓦

1. 煤矸石烧结砖

煤矸石烧结砖以煤矸石为主要原料,一般占坯料量的80%以上,有的甚至全部以煤矸石为原料,有的外掺少量黏土,其各种原料的参考配比为煤矸石70%~80%,黏土10%~15%,砂10%~11%。适用制烧结砖的煤矸石化学成分有一定的要求。一般要求氧化钙含量为50%~70%,二氧化铁含量为2%~8%,氧化镁含量在3%以下,硫含量在1%以下,钾、钠等的主要物理性能也应满足适当的要求,塑性指数一般为7%~15%,发热量一般为2.1~4.2MJ/kg。煤矸石烧结砖是用煤矸石代替黏土做原料,经过粉碎、成型、干燥、焙烧等工序加工而成。煤矸石烧结砖质量较好,颜色均匀,密度一般为1400~1700kg/m³,抗压强度一般为4.8~14.7MPa,抗折强度为2.94~5MPa,抗冻、耐火、耐酸、耐碱等性能均较好,可用来代替黏土砖。利用煤矸石代替黏土制砖可以变废为宝,节约能源,节省土地、改善环境、创造利润,具有一定的环保、经济和社会效益。这种砖比一般单靠外部燃料焙烧的砖可节约用煤50%~60%。

2. 煤矸石生产轻骨料

用煤矸石生产轻骨料的工艺大致可分为两类:一类是用烧结剂生产烧结型的煤矸石多孔烧结料,另一类是用回转窑生产膨胀型的煤矸石陶粒。目前国内生产煤矸石轻骨料还处于试验阶段,多采用回转窑法。煤矸石陶粒的生产工艺包括破碎、磨细、加水搅拌、选粒成球、干燥、焙烧、冷却等,煤矸石陶粒所用原料为煤矸石和绿页岩。绿页岩是露天矿剥离出来的废石,磨细后塑性较大,煤矸石陶粒主要用它作为球胶结料。其原料绿页岩、煤矸石配比等于2:1。生料球在回转窑内焙烧,焙烧温度为1200~1300℃。用煤矸石生产的轻骨料性能良好,用该种轻骨料可配制200~300号混凝土,用煤矸石生产的轻骨料所配制的轻质混凝土具有密度小、强度高、吸水率低的特点,适于制作各种建筑的预制件。煤矸石陶粒是大有发展前途的轻骨料,它不仅为处理煤炭工业废料、减少环境污染找到了新途径,还为发展优质、轻质建筑材料提供了新资源,是煤矸石综合利用的一条重要途径。

3. 煤矸石生产微孔吸音砖

首先将粉碎了的各种干料同白云石、半水石膏混合,然后将混合物料与硫酸溶液混合。约15s后,将配制好的泥浆注入模。在泥浆中由于白云石和硫酸发生化学反应而产生气泡,石泥浆膨胀并充满模具。最后,将浇注料经干燥、焙烧而制成成品。这种微孔吸音砖具有隔热、保温、防潮、防火、防冻及耐化学腐蚀等特点,其吸声系数及其他性能均能达到吸声材料的要求,并且取材容易,生产简单,施工方便,价格便宜。

4. 煤矸石生产煤矸石棉

煤矸石棉是利用煤矸石和石灰为原料,经高温熔化、喷吹而成的一种建筑材料。其原料配比为煤矸石60%、石灰石40%,或煤矸石60%、石灰石30%、萤石6%~10%。煤矸石的熔化设备可采用以焦炭为燃料的冲天炉。焦炭与原料的配比为1:(2.3~5)。生产煤矸石棉的具体工艺过程:先将炉底部的流出口关好,用焦炭末和锯木屑的混合物锤紧,直到喷嘴的高度为止;然后上面铺一层木柴作引火燃料;最后铺一层焦炭、一层煤矸石和石灰石的混合料,每次装料150kg左右;料装好后,引燃焦炭,炉内燃烧温度可达1200~1400℃,煤矸石全部熔融后,将熔融状态的液体从喷嘴流出,并用风机将熔浆吹入密封室中,即为煤矸石棉。

2.3.4.2 生产水泥

煤矸石中的二氧化硅、三氧化二铝及二氧化二铁的总含量一般在 80% 以上，它是一种天然黏土质原料，可以代替黏土配料烧制普通硅酸盐水泥、特种水泥和无熟料水泥等。

1. 生产普通硅酸盐水泥

生产煤矸石普通硅酸盐水泥的主要原料是石灰石、煤矸石、铁粉混合磨成生料，与煤混拌均匀加水制成生料球，在 1400 ~ 1450℃ 的温度下得到以硅酸三钙为主要成分的熟料，然后将烧成的熟料与石膏一起磨细制成。利用煤矸石生产普通硅酸盐水泥熟料的参考配比为：石灰石 69% ~ 82%，煤矸石 13% ~ 15%，铁粉 3% ~ 5%，煤 13% 左右，水 16% ~ 18%。利用煤矸石配料时，主要应根据煤矸石三氧化二铝含量的高低以及石灰质等原料的质量品位来选择合理的配料方案。为利于使用，一般将煤矸石按三氧化二铝含量多少分为低铝（约 20%）、中铝（约 30%）和高铝（约 40%）3 类。

用于生产普通硅酸盐水泥的煤矸石含三氧化二铝一般为 7% ~ 10%，属低铝煤矸石，在生产过程中，对煤矸石应进行破碎和预均化处理。所采用的煤矸石尽量定点供应，采用平铺竖取方法和采用多库储存进行机械倒库均化措施。用煤矸石生产的普通硅酸盐水泥熟料，硅酸三钙含量在 10% 以上，硅酸二钙含量在 10% 以上，铝酸三钙含量在 5% 以上，铁铝酸钙含量在 20% 以上。这种水泥凝结硬化快，各项性能指标均符合国家有关标准。

2. 生产特种水泥

利用煤矸石含三氧化二铝高的特点，应用中铝、高铝煤矸石代替黏土和部分矾土，可以为水泥熟料提供足够的三氧化二铝，制造具有不同凝结时间、快硬、早强的特种水泥以及普通水泥的早强掺合料和膨胀剂。生产煤矸石速凝水泥的主要原料是石灰石、煤矸石、褐煤、白煤、萤石和石膏。我国生产的煤矸石速凝水泥原料配比：石灰石 67%，煤矸石 16.7%，褐煤 5.4%，白煤 5.4%，萤石 2.0%，石膏 3.5%。这种特种水泥 28d 抗压强度可达 49 ~ 69MPa，并具有微膨胀特性和良好的抗渗性能，在土建工程上应用能够缩短施工周期，提高水泥制品生产效率，尤其可以有效地用于地下铁道、隧道、井巷工程，作为墙面喷覆材料等。

3. 生产无熟料水泥

煤矸石无熟料水泥是以自燃煤矸石或经过 800℃ 温度煅烧的煤矸石为主要原料，与石灰、石膏共同混合磨细制成的，亦可加入少量的硅酸盐水泥熟料或高炉水渣。煤矸石无熟料水泥的原料参考配比为煤矸石 60% ~ 80%，生石灰 15% ~ 25%，石膏 3% ~ 8%。若加入高炉水渣，各种原料的参考配比为煤矸石 30% ~ 34%，高炉水渣 25% ~ 35%，生石灰 20% ~ 30%，无水石膏 10% ~ 13%。这种水泥不需生料磨细和熟料煅烧，而是直接将活性材料和激发剂按比例配合，混合磨细。生石灰是煤矸石无熟料水泥中的碱性激发剂，生石灰中有效氧化钙与煤矸石中的活性氧化钙、氧化铝在湿热条件下进行反应，生成水化硅酸钙和水化铝酸钙，使水泥强度增加。石膏是煤矸石无熟料水泥中的硫酸盐激发剂，它与煤矸石中的活性氧化铝反应生成硫铝酸钙，调节水泥的凝结时间，以利于水泥的硬化。煤矸石无熟料水泥的抗压强度为 20 ~ 40MPa，水化热较低，适宜作各种建筑砌块、大型板材及其预制构件的胶凝材料。

2.3.4.3 从煤矸石中回收有用矿物

有些煤矸石中（煤巷掘进排矸和洗矸等）往往混入发热量较高的煤炭和其他有用矿物，可采用适当的加工方法回收这些有用矿物，提高品位，作燃料或原料使用，加工后的

矸石可再做生产建材原料。

1. 回收煤炭

国外由于煤炭生产成本迅速提高,从煤矸石中回收煤炭有利可图,同时还可提高选后矸石的质量,因此,俄罗斯、美国、英国、法国、日本、波兰、匈牙利等国都建立起从煤矸石中回收煤的选煤厂。我国从矸石中回收低热值煤炭做沸腾炉燃料已在许多煤矿进行。

从矸石中回收煤炭的分选工艺各有特点,较典型的有英国威尔士的勃尔发矿区矸石选煤厂所采用的三产品重介分选机和末煤跳汰机的联合工艺;在波兰下西里西亚矿区建立五个矸石处理厂采用的重介旋流器工艺;俄罗斯乌拉尔、库兹巴斯矿区广泛采用的斜槽分选机工艺;美国采用的螺旋分选机工艺。

2. 回收硫铁矿

我国的煤伴生或共生的硫铁矿资源比较丰富,据不完全统计,储量约 $16.4 \times 10^8 \text{t}$,占全国硫铁矿保有储量的 50% 以上。这些硫铁矿可和煤炭一起或分层开发出来,经精选后获得符合质量要求的硫铁矿石。如某矿区原煤的硫含量为 2.5% ~ 3.5%,而洗矸中的含硫量达 10% 以上,超过硫铁矿的工业开采品位 8%。

从矸石中回收硫铁矿,回收方法和工艺流程主要根据硫化铁在矸石中的分布特性来确定,原则上应该是从粗到细把硫化铁破碎到单体程度,先分离,再回收,分段破碎,分段回收。例如 50 ~ 13mm 的大块,一般采用跳汰机或重介分选机回收硫精矿;6mm 或 3mm 以下的中小块,可采用摇床、螺旋分选回收;小于 0.5mm 的细粒物料可采用电磁或浮选法回收。由于分离粒度的不均匀性,所以一般采用多种方法的联合工艺流程。

2.3.4.4 煤矸石用作替代燃料

煤矸石含有一定数量的固定炭和挥发分,一般烧失量在 10% ~ 30%,发热量可达 4.19 ~ 12.6MJ/kg,所以煤矸石可用来代替燃料。目前采用煤矸石作燃料的工业生产有以下几个方面。

1. 炼铁

铸造生产中一般都采用焦炭炼铁,但实验证明用焦炭和煤矸石的混合物作燃料炼铁,也取得了较好的效果。有的生产厂家用发热量为 7.54 ~ 11.3MJ/kg 的煤矸石代替 1/3 左右的焦炭。煤矸石的块度要求为 80 ~ 200mm,铸铁的化学成分和铸件质量都符合要求。但是由于煤矸石灰分较高,炼铁时要求做到勤通风、勤出渣、勤出铁水。

2. 烧锅炉

使用沸腾锅炉燃烧,是近年来发展的新燃烧技术之一。沸腾锅炉的工作原理是将破碎到一定粒度的煤末用风吹起,在炉膛的一定高度上呈沸腾状燃烧。煤在沸腾炉中燃烧,既不是在炉排上进行的,也不是像煤粉炉那样悬浮在空间燃烧,而是在沸腾炉料床上进行。

煤矸石应用于沸腾锅炉,为煤矸石的利用找到了一条新途径,可大大地节约燃料和降低成本。但由于沸腾锅炉要求将煤矸石破碎至 8mm 以下,故燃料的破碎量大,煤灰渣也大,使沸腾层埋管磨损严重,耗电量增大。

3. 烧石灰

烧石灰一般都是利用煤炭作为燃料,大约每生产 1t 石灰需燃煤 370kg 左右,同时还要求煤炭破碎至 25 ~ 40mm,因此,生产成本升高。国内一些厂家用煤矸石代替燃料烧石灰取得成功。用煤矸石烧石灰时,除特别大块的需破碎外,100mm 以下的均无须破碎,

生产 1t 石灰石大约需煤矸石 600 ~ 700kg。虽然从消耗上来讲稍高一些,但使用煤矸石代替煤炭,使炉窑的生产操作正常稳定,生产能力有所提高,石灰质量较好,生产成本也有了显著降低。

2.3.4.5 生产化工产品

用煤矸石可生产化学肥料及多种化工产品,如结晶三氯化铝、水玻璃及化学肥料硫酸铵等,现对几种化工产品作简单介绍。

1. 制结晶三氯化铝

结晶三氯化铝是以煤矸石和化工工业副产品盐酸为主要原料,经过破碎、焙烧、磨碎、酸浸、沉淀、浓缩结晶和脱水等生产工艺而制成。结晶三氯化铝分子式为 $\text{AlCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$,外观为浅黄色结晶颗粒,易溶于水,是一种新型净水剂,能吸附水中的铁、氟、重金属、泥沙、油脂等。制取结晶三氯化铝的煤矸石要求含铝量较高,含铁量较低。煤矸石在酸浸前须经焙烧,脱掉附着水和结晶水,改变晶体结构使之活化,以利酸浸。焙烧的方法是将煤矸石经破碎至粒度小于 8mm 后送入沸腾炉,使其在 $(700 \pm 50)^\circ\text{C}$ 温度下焙烧 0.5 ~ 1h。将焙烧后的煤矸石渣排到凉渣场自然冷却后,送入球磨机磨碎。将磨细到小于 0.25mm 的拌料与溶剂盐酸进行反应,生成三氯化铝转入溶液中。这一工序就是结晶氯化铝的浸出反应。经沉淀和过滤,就得到含三氯化铝的浸出液。酸浸后,大量煤矸石粉渣因颗粒很细而悬浮在浸出液中,形成浆状,可采用自然沉降法使固液分离。经渣液分离后的三氯化铝浸出液,送入浓缩罐内进行浓缩结晶,温度为 $120 \sim 130^\circ\text{C}$ 的蒸汽通入浓缩罐的夹套内,其内蒸汽压力保持 0.3 ~ 0.4MPa。为加快浓缩和结晶的速度,可采用负压浓缩方式,真空度控制在 0.067MPa 以上。浸出液经浓缩后即有结晶出现,当液固比达到 1:1 左右时,即可出料放入冷却罐冷却到 $50 \sim 60^\circ\text{C}$,晶粒进一步增长。浓缩液再经真空过滤即可得到产品结晶三氯化铝。结晶三氯化铝是一种较好的净水剂,也是精密铸造型壳硬化剂和新型的造纸施胶沉淀剂,可广泛应用于石油、冶金、造纸、铸造、印染、医药等工业。

2. 制水玻璃

现行水玻璃生产主要有干法和湿法两种。干法是用纯碱和石英砂为原料,经高温熔融制成。湿法是以烧碱和石英为原料,在 0.8MPa 压力下,经 6h 反应后制得。用煤矸石制水玻璃:将浓度为 42% 的液体烧碱、水、酸浸后的煤矸石按一定配比混合制浆进行碱解,再用蒸汽间接加热物料,当反应达到预定压力 0.2 ~ 1.25MPa 和反应 1h 后,放入沉降槽沉降,清液经真空抽滤即可得到水玻璃。用煤矸石制水玻璃的特点是煤矸石经盐酸处理后,渣中的二氧化硅活性提高,在较低压力或常压下即可与液体烧碱反应生成水玻璃。水玻璃可广泛应用于纸制品、建筑等行业。

3. 生产硫酸铵

煤矸石内的硫化铁在高温下生成二氧化硫,再氧化而生成三氧化硫。三氧化硫遇水生成硫酸,并与氨的化合物生成硫酸铵。经过实验,这种硫酸铵是一种很好的肥料。

2.3.4.6 煤矸石的其他资源化利用方法

除了回收用于矿物、生产化工产品和建筑材料以外,煤矸石的其他利用方法还有很多,包括回填、土地复垦、作肥料、生产粉体材料等。

1. 煤矸石的直接利用

煤矸石的直接利用可分为地下和地面处理两类。

地下处理主要是用于地下采煤空区做充填料。水力充填是将矸石回填到地下的最常用的方法。一般充填料由破碎的煤矸石（约 12mm）、砂、黏土或其他固体废渣组成，加大量的水搅拌成泥浆，用泵输送到井下，然后把排出的水用泵抽出矿井，而使均匀紧密的填料留在矿井内，填料干燥后，充填于采空区。此外，还可用风力或机械充填方法。

地面处理矸石范围很广，它可以回填废矿井、露天废矿坑、塌陷区、沼泽地、填海、复地造田等。例如日本利用矸石在近海填筑人工岛建工厂。许多国家利用煤矸石铺筑公路、铺设防滑路面，做机场和工厂地基，建筑大坝等。法国把自燃后矸石进行破碎筛分，获得准确的粒级，用于空地和公共广场装饰。可以认为，直接利用是大量处理煤矸石的有效途径。

2. 煤矸石作肥料

化肥滥用给生态环境带来的危害已越来越被人们所认知，化肥生产还是一种高耗能产业，需要大量优质煤、天然气等做原料。为此，世界各发达国家都投入大量人力、物力，研究开发能够替代化肥的新型肥料。

利用煤矸石为原料生产农用肥料，在国外已得到推广应用。捷克曾试验把浮选尾矿和氮、磷、钾的化工残渣的混合物搅成胶状，然后成球、烘干、磨细制造成“磷肥”，实验证明对玉米等农作物具有很高的肥效。英国实验在播种冬小麦前用浮选尾矿肥料施肥，增产 7% ~ 10%。美国曾在种西红柿的周围土壤上盖一层洗矸，产量提高 10% ~ 15%，并使成熟期提前。俄罗斯用浮选尾矿对不同农作物的肥效做了实验，获得较好的效果，农作物增产 15% ~ 40%。

矸石做肥料的作用在于提高了土壤有机物和氮、磷化合物的活性，并提供了 B、Zn、Cu、Mn、Mo 等元素。用 1:1 的矸石与肥料混合物、矸石和过磷酸钙或氯化铵混合做肥料，均可使收成提高 5% ~ 15%，这种肥料对腐殖土和砂土特别有效。

3. 煤矸石生产粉体材料

用煤矸石生产功能性粉体材料是煤矸石高值利用的途径之一，它能充分发挥煤矸石组成元素的特性。煤矸石经过粉碎之后，在粉体表面引入增强、耐磨、阻燃和导电等功能性基因，这种粉体能作为高级功能填料应用于橡胶、塑料等许多材料之中，赋予材料独特的物理化学性能。

利用煤矸石生产粉体材料具有技术含量高、附加值高的特点，弥补了目前普遍采用的几种煤矸石综合利用途径经济效益不显著的不足。这种工艺几乎能完全利用煤矸石成分，而且消耗煤矸石量较大，因此应用前景十分广阔。

2.4 瓦斯回收利用技术

瓦斯又称煤层气（Coalbed Gas）和煤层甲烷（Coalbed Methane 简称 CBM），是煤层中以腐殖质为主的有机质在成煤过程中形成，并以吸附状态赋存于煤层和邻近岩石中微孔隙内表面的自储式天然气。它是一种温室气体，其温室效应是二氧化碳的 21 倍，纯甲烷的热值为 37618 kJ/m³。目前大部分瓦斯抽出后排放到大气中，污染大气，破坏环境。同时，它又是一种新型的洁净能源和优质的化工原料，是我国在 21 世纪的重要接替能源之一。从井下抽放出来的煤矿瓦斯，甲烷浓度为 30% ~ 80%，热值也有 11160 ~ 29760 kJ/m³。

我国煤层气资源丰富。据统计资料显示,截至目前,我国煤层气总储量约 $(3.0 \sim 3.5) \times 10^{13} \text{ m}^3$,相当于 45Gt 标煤或 35Gt 标油,与大陆上常规天然气资源量相当,仅次于俄罗斯和加拿大,居世界第三位,其中适于开发的约占总量的 60%。

2.4.1 瓦斯组成

国内外对煤层瓦斯组分的大量测定表明,煤层瓦斯约有 20 种组分:甲烷及其同系烃类气体(乙烷、丙烷、戊烷、己烷等)、二氧化碳、氮、二氧化硫、硫化氢、一氧化碳和稀有气体(氦、氖、氩、氪、氙)等,其中甲烷及其同系物和二氧化碳是成煤过程中的主要产物。当煤层赋存深度大于瓦斯风化带深度时,煤层瓦斯的主要组分($>80\%$)是甲烷。

2.4.2 国内外瓦斯利用发展状况

世界范围内煤层气的地面抽采始于 20 世纪 50 年代。美国率先制定了煤层气开发计划,现在美国已成为世界上规模最大、最先进的煤层气利用国家。在美国煤层气开发巨大成功的带动下,澳大利亚、英国等国家正积极地开发利用煤层气,许多主要产煤国中,煤层气是潜在的重要能源。世界范围内,相当数量的煤层气被开采,其中大部分气体是从生产深井中开采出来的,只有少量的煤层气是从报废矿井中回收的,现在许多产煤国看好从煤层中最大限度地开采煤层气技术的应用前景。

据统计,我国有一半矿井为高瓦斯或瓦斯突出矿井,每年因采煤而从矿井中抽放的煤层气在 $1.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ 以上。中国埋深 2000m 以上浅煤层气资源量为 $(30 \sim 35) \times 10^{12} \text{ m}^3$,相当于 45Gt 精煤,与全国常规天然气资源相当,按照有关能耗标准,相当于中国使用 20 多年的能源。但我国每年瓦斯利用率不到 2%,大部分煤炭开采中释放出的瓦斯都排空了,大规模开发利用瓦斯还在发展中。目前国内的瓦斯利用主要集中在甲烷浓度大于等于 30% 的这部分,一是供居民使用,二是进行瓦斯发电。自 1989 年抚顺在老虎台煤矿建成第一座 1500kW 的煤层气发电站后,贵州、山西等省份的瓦斯突出矿及高瓦斯矿井陆续建起了瓦斯发电厂,煤层气发电机组已达 $2 \times 10^5 \text{ kW}$ 。低浓度瓦斯发电已在平顶山、淮南、义马、郑州、鹤壁试验成功。

瓦斯发电的主要技术工艺方式有燃气轮机发电、汽轮机发电、内燃发动机发电、联合循环系统发电和热电冷联供瓦斯发电。国外研究瓦斯发电技术的主要公司有美国的卡特彼勒、奥地利的颜巴赫、英国的能源公司、德国的道依茨、日本的三菱重工等。国内制造的功率在 2000kW 以下内燃发电机组,已在很多矿区应用,技术已经成熟。低浓度(含 CH_4 大于 6%)瓦斯发电设备于 2006 年 1 月份通过了国家安监总局的鉴定。

2.4.3 瓦斯主要用途

(1) 作为民用燃气。煤层气是一种非常清洁的民用燃料,而且被证明是一种安全的燃料。与其他民用燃气相比,具有如下特点:①常温常压下,煤层气爆炸范围比较窄,不容易爆炸;②煤层气不含一氧化碳气体,在使用过程中也不会像水煤气那样发生中毒现象;③与其他民用燃气相比,煤层气燃烧热值更高,发热量相当于水煤气的 3.3~4 倍。

(2) 作为化工原料。煤层瓦斯化工有两条利用途径:一条是甲烷化工,另一条是合成气化工。以瓦斯(甲烷)为原料可以氯化制氯代甲烷,直接氧化制甲醛,硝化制硝基甲烷,燃烧制炭黑,硫化制二硫化碳。通过甲烷转化,以合成气为原料,可以生产合成氨系列、甲醇系列、羰基合成系列、低碳烯烃系列、乙炔系列等。

(3) 作为汽车燃料。纯度高的煤层气经过压缩成液化, 可代替汽油或柴油作为汽车燃料使用, 价格低而且环保效果好, 尤其适用城市公交车和出租车。

(4) 作为发电燃料。发电是煤层气的一个重要用途。瓦斯发电的效益相当显著, 试验显示, 如果是 1m^3 含量 100% 的瓦斯, 可以发电 $3.2 \sim 3.3\text{kW} \cdot \text{h}$, 如果是 1m^3 含量 30% 的瓦斯, 可以发电 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

2.4.4 瓦斯发电技术分析

由于目前我国主要采用井下抽放的方法开采煤层气, 抽放出来的煤矿瓦斯浓度和产量均变化较大, 不能保证稳定的供应, 因此给利用煤层气带来了一定的困难。从目前已有的发电项目来看, 主要应用内燃机及燃气轮机(航空发动机改造)。此外, 近年来发展起来的微型燃气轮机技术也开始受到人们的关注。在矿井污风的利用方面, 国外公司发展起来的热逆流反应技术和催化逆流反应技术, 结合蒸汽轮机也可发电。

1. 内燃机发电技术

它一般由燃气内燃机、发电机、冷却系统等组成。工作原理是燃气内燃机采用电火花点火时, 在燃烧前将空气和瓦斯混合, 进入汽缸内压缩并由火花塞点火, 燃烧后产生高温燃气做功, 与内燃机相连的发电机组将机械能转变为电能。我国的内燃机发电机组一般要求燃烧室内的甲烷浓度为 9% ~ 10%, 氧气浓度为 16% ~ 20%, 在此浓度范围内的煤层瓦斯与氧气的混合物爆燃强度最大, 效率最高。内燃机发电设备结构简单、效率高, 适合高温热回收, 原理图如图 12-2-5 所示。

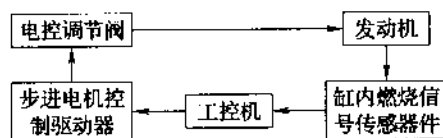


图 12-2-5 空燃比控制原理图

2. 燃气轮机发电技术

这是一种非常传统的技术, 采用锅炉来直接燃烧燃气, 将燃气的热能通过锅炉内的管束把水转换为蒸汽, 利用蒸汽推动蒸汽轮机再驱动发电机发电。系统的主要设备是燃气燃烧器、锅炉本体、化学水系统、给水系统、蒸汽轮机、冷凝器、冷却塔、发动机、变压器和控制系统, 工艺流程比较复杂。燃气轮机工作时, 压气机吸入空气并压缩, 将压缩后的空气送入燃烧室与燃料混合燃烧, 产生的高温燃气经过透平做功, 一部分用于带动压缩机工作, 另一部分用于发电。

与内燃机相比, 燃气轮机单机功率较大, 但对瓦斯抽放量有一定的要求。此外, 燃气轮机的燃料必须使用高压煤层气, 高压煤层气可直接取自高压主管道或通过外部煤层气压缩机来提供。燃气轮机的工作效率高达 30%。燃气轮机排放气体中的大量余热可通过余热锅炉加压到 1.8MPa 以上, 随着压力和温度的上升, 煤层气的爆炸上限也会随着上升。出于安全考虑, 用于燃气轮机燃料的煤层气中甲烷浓度应在 40% 以上。在煤层气浓度较低时如果生产者能提供天然气与其混合使用, 运行情况较好, 否则将会对机组的运行产生

较大的影响。

3. 低浓度瓦斯发电技术

低浓度瓦斯因受技术制约, 2005 年以前国内应用尚处于空白。2005 年初, 对低浓度瓦斯利用进行攻关, 解决了甲烷吸附调变、专用防爆装置、瓦斯掺混控制以及燃气空气混合等技术难题, 使甲烷浓度在 5% ~ 25% 之间的低浓度瓦斯能够供机组发电应用。该技术的研制成功, 通过国家煤矿安全监察局组织的鉴定, 填补了国内外低浓度瓦斯发电技术的空白。利用 5% ~ 25% 的低浓度煤矿瓦斯发电, 解决了两个问题, 一是发电机组对低浓度瓦斯的要求, 二是有安全的瓦斯输送系统。低浓度瓦斯输送及发电机组技术工艺流程如图 12-2-6 和图 12-2-7 所示。

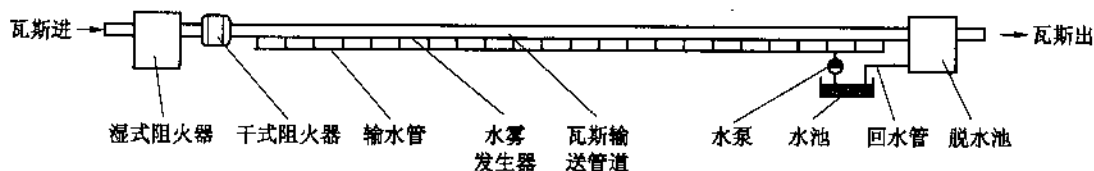


图 12-2-6 低浓度瓦斯输送系统流程

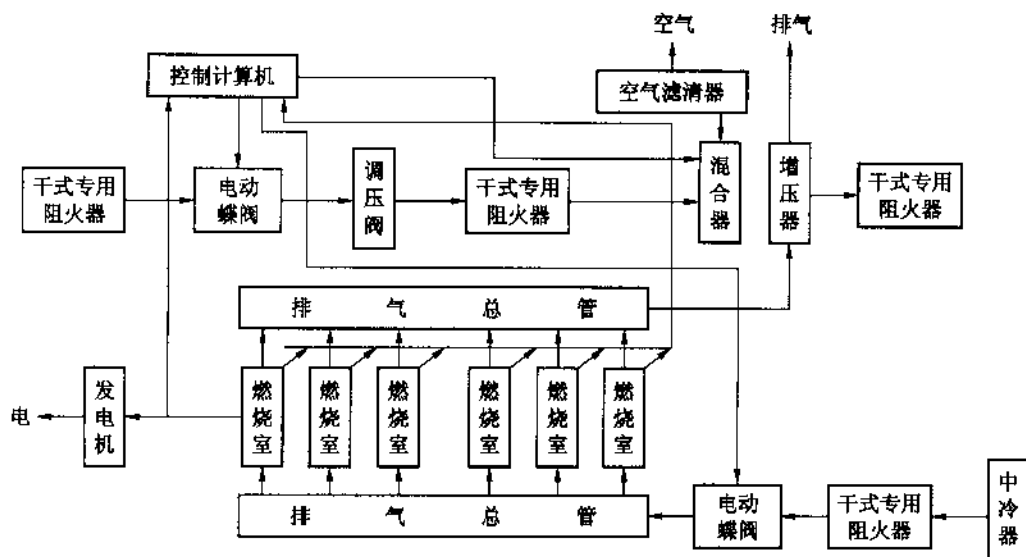


图 12-2-7 低浓度瓦斯发电机组技术工艺流程

国内厂商已经研究出低浓度瓦斯发电成套技术, 发电机组特点如下:

(1) 实现瓦斯安全输送。低浓度瓦斯经过水位自控水封阻火器和瓦斯专用干式阻火器, 进入细水雾管道与细水雾混合输送。细水雾经脱水器脱水后循环使用。在细水雾输送管道中能够熄灭由于湿式、干式阻火器失效而过来的火焰, 同时消除了输送管道的静电。输送管道终端再配置瓦斯专用干式阻火器, 保证瓦斯输送过程的安全。

(2) 可适用于燃气成分变化的燃气发电, 计算机闭环控制, 自动跟踪成分变化, 保证机器运转平稳。

(3) 可适应压力极低的燃气, 不必增压, 减少投资和提高有效发电量。

(4) 机组自成体系, 辅助设备少, 建站简单、周期短、见效快、运行费用低。机组可单台使用, 也可多台组合使用, 热效率高, 可达 32% ~ 40%。

(5) 机组采用了先进的空燃比自动调节技术、低压进气技术、稀燃技术、恒温控制技术、数字点火技术、增压冲冷技术, 提高了瓦斯发电机组的动力性和可靠性。

(6) 选用美国 WOODWARD 调速系统, 具有高稳定性和反应快速等优点, 适合多台机组并车, 可达到精确的速度控制, 具有多发电机组并网发电功能, 既可满足生产用电需求, 也能将过剩的电量向电网输送, 符合国家电力部门并网技术要求。

2.4.5 矿井污风瓦斯利用

在煤矿开采过程中, 为了保证安全生产而使用通风系统排出的煤层气, 其甲烷浓度小于 1%, 被称为矿井污风。80% ~ 90% 以上煤矿瓦斯含量低于 5%, 风排瓦斯浓度一般为 0.2% ~ 0.75%, 目前主要采取的措施是直接排空, 对大气形成严重的污染。

污风瓦斯利用途径有如下几种。

1. 提纯分离

提纯分离即变压/变温吸附。含量巨大的空气和相对微小的甲烷含量, 需要巨大的加压/变温耗能, 远远超过获取甲烷的能量, 因此, 提纯分离方法的市场推广价值低。

2. 直接燃烧

通风瓦斯中的甲烷含量远远超出了甲烷的空燃比范围, 用直接燃烧的办法排放或利用热能也是行不通的。

极低的瓦斯含量与极大的利用难度, 决定了传统办法无法解决通风瓦斯的利用问题, 所以目前通风瓦斯被直接排放掉。因此, 谋求煤矿通风瓦斯处理和利用的有效技术手段在目前“节能减排”的新形势下显得特别重要、特别急迫。

3. 污风瓦斯氧化技术

煤矿通风瓦斯氧化装置是利用放热化学反应产生热能进行工作的。设备主要结构由氧化床和控制系统两部分构成。氧化床部分由外壳体、储热体、启动加热器、内置换热器、保温层以及进、排气管和进、出水管组成。控制系统由控制单元、温度传感器、甲烷浓度传感器和控制阀门等组成。所有传感器和控制阀门都有信号导线与控制单元连接。煤矿通风瓦斯进入氧化装置的氧化床, 先用少量外部能量加热启动, 达到甲烷氧化反应温度后停止电加热, 通风瓦斯中的甲烷继续氧化反应, 生成二氧化碳, 产生的热能被取出加以利用, 由废变宝, 减少大气污染。

4. 氧化技术的应用

(1) 清洁排放。如果通风瓦斯中甲烷含量为 0.25% ~ 0.4%, 且没有其他浓度的瓦斯掺混, 可只进行甲烷氧化, 实现清洁排放、减小污染。应用流程如图 12-2-8 所示。

(2) 用于制冷降温。通风瓦斯中的甲烷含量在 0.5% 左右时, 又有与氧化产生的可利用热量相当能量的制冷量需求, 可以采用通风瓦斯氧化产热制冷的方式, 实现清洁排放, 获得制冷效益和减排收益。

(3) 氧化热用于发电。通风瓦斯中的甲烷含量大于 0.5% 或可以通过其他浓度的瓦斯

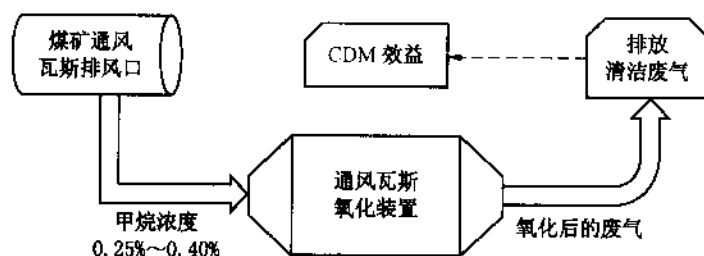


图 12-2-8 污风氧化技术应用流程示意图

可把甲烷含量掺混到大于 0.5% 以上，没有热量利用的需求，可以把氧化的可利用热量产生过热蒸汽，通过蒸汽轮机发电，实现清洁排放，获得发电和减排收益。生产工艺如图 12-2-9 所示。

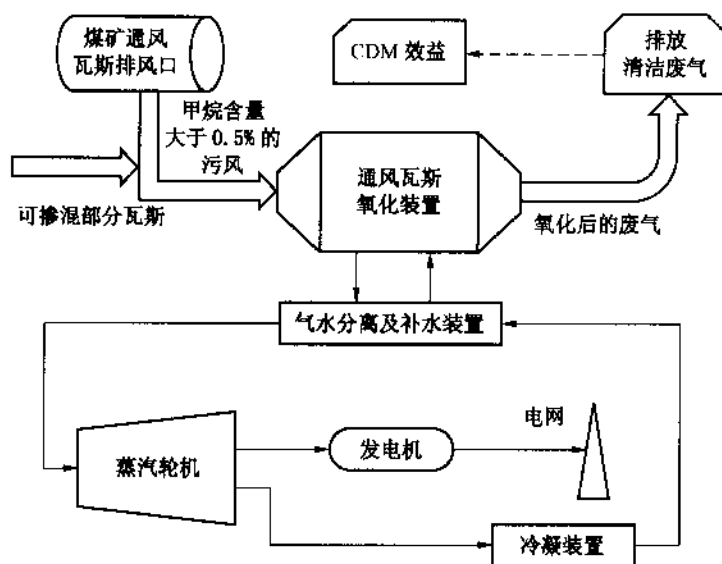


图 12-2-9 煤矿污风瓦斯氧化发电生产工艺

(4) 利用氧化热生产过热蒸汽，实现冷、热、电三联供。当矿井通风瓦斯的甲烷含量大于 0.5% 时，或可以通过掺混其他浓度相对较高的瓦斯把通风瓦斯的甲烷含量提高到大于 0.5% 以上时，并且又有一定的制冷和制热的需求，可以采用热电冷联供的应用方式。这种应用即氧化热生产蒸汽发电，发电后的余热的一部分通过制冷装置进行制冷，其余部分满足制热需求。在实现清洁排放，获取减排收益的同时，还获得了发电、制冷、制热收益。

2.5 塌陷土地治理

2.5.1 我国塌陷区的破坏现状

矿区土地破坏包括勘探开发矿产资源过程中因压占、开挖、机械碾压、粉碎而破坏土

地资源,造成崩塌、滑坡、地面开裂、地面沉降、塌陷等地质灾害。

据统计资料表明,我国当前煤炭开发利用与环境保护严重失衡,污染日益严重,矿区的环境容量逐渐缩小。全国煤炭开采塌陷土地约 $40 \times 10^4 \text{hm}^2$, 每年增加约 $2 \times 10^4 \text{hm}^2$, 占全国每年 $20 \times 10^4 \text{hm}^2$ 被破坏土地的 $1/10$, 复垦率仅占 22%。全国大小矸石山矸石堆积累近 3Gt, 每年增加 $(0.15 \sim 0.2) \text{Gt}$, 矸石山占地已超过 4669hm^2 。据统计, 每年煤矸石的产生量约为原煤产量的 20%, 并且随着产煤量的增加, 煤矸石排放量也逐年增加, 全国因煤矸石堆放危害农田已达 353510hm^2 。统计资料显示, 全国因采矿破坏土地面积累计已达 $586 \times 10^4 \text{hm}^2$, 破坏耕地约 $157 \times 10^4 \text{hm}^2$, 且仍以每年 $4 \times 10^4 \text{hm}^2$ 的速度递增, 其中因采矿业造成的地面塌陷灾害损坏耕地约 $8.67 \times 10^4 \text{hm}^2$, 严重影响了矿区经济发展及环境状况。如山西省 13 个主要矿区 2035km^2 面积上, 产生塌陷等地表变形面积达 542km^2 , 占调查面积的 26.6%, 涉及 207 个村庄、11.7 万人。全国矿区大小矸石山近 1500 余座, 全国露天采矿场每年剥离岩土约 $(2.2 \sim 2.6) \times 10^8 \text{t}$, 破坏土地面积约占矿山破坏土地面积的 27% 左右, 且露天矿坑及堆土(岩)场的存在侵占了大片的山林和农田。根据对全国 28 个重点露天矿的调查表明, 仅堆土场占地总面积就超过 $0.45 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。露天开采不仅侵占大面积良田, 而且在很大程度上破坏了原来稳定的土壤和植被, 导致严重的水土流失。

2.5.2 国内外煤矿塌陷区土地复垦研究状况

土地复垦是指采用工程、生物等措施, 对在生产建设过程中因挖损、塌陷、压占造成破坏、废弃的土地和自然灾害造成破坏、废弃的土地进行整治、恢复利用的活动。矿区土地复垦的对象包括四类, 一是挖损地, 即露天开采矿山的采矿场; 二是压占地, 包括废石场、尾矿库及电厂粉煤灰库等; 三是塌陷地, 即因矿体采出后形成采空区使地面塌陷或出现裂缝; 四是占用地, 包括矿山的工业建筑、民用建筑和道路等。

我国矿区塌陷土地的复土造田工作开始于 20 世纪 50 年代末期, 进入 20 世纪 80 年代后, 土地复垦工作取得了很大的进展。1986 年国家颁布了《土地管理法》, 明确规定了土地复垦的任务。1988 年国务院又颁布了《土地复垦规定》, 明确了“谁破坏, 谁治理”的原则, 并且对复垦规划、综合治理、资金来源等也做了相应的规定。

近 10 年来, 我国的土地复垦研究有了重大进展。中国煤炭科学院研究院唐山分院研究出的沉陷预测理论与抗变形构筑物设计建造技术, 在我国许多煤矿区土地复垦规划、设计与实践中得到广泛应用, 他们的“煤矿塌陷地造地复田综合治理研究”提出了适合于我国东部矿区特点的矸石充填、粉煤灰充填和挖深垫浅工程复垦技术。中国相关院校和科研单位, 对开采沉陷耕地破坏的机理及其复垦对策提出了一些技术创新。

在国外, 在矿产资源丰富且工业较发达的国家, 都制定了土地复垦的各种法规, 土地复垦的研究与实践十分活跃。

(1) 美国对生物复垦和复垦区的生态环境问题给予了高度重视, 为了推动土地复垦的研究和技术革新, 美国专门成立了“国家土地复垦研究中心”。

(2) 加拿大与美国一样也广泛而活跃地开展复垦研究。除了与美国一样在多个领域研究之外, 最近在油页岩复垦以及由于石油和各种有毒有害物质造成污染的土地复垦问题上给予了高度重视。加拿大政府也每年出资支持土地复垦研究以保护环境。

(3) 英国政府对采矿造成的地表破坏十分重视。1969 年英国政府颁布《矿山采矿场

法》，提出矿主开矿时必须提出复垦及采后的复垦和管理工作的，明确按农业或林业复垦标准复垦，如果复垦不好，则禁止或停止开采。同时，英国政府还给地方政府拨复垦费。

(4) 德国是工业发达、人口稠密的国家之一。德国政府和威斯特伐伦州政府法令规定“露天矿采空后要恢复原有的农、林经济和自然景色”等条文，保证了复垦工作顺利开展。

(5) 澳大利亚作为以矿业为主的国家，矿山复垦已经取得长足进展和令人瞩目的成绩，被认为是世界上先进而且成功的处理扰动土地的国家，复垦已成为开采工艺的一部分。新开采的矿山，除采掘外，其他被扰动过的土地已经或正在被绿色所覆盖。对于过去开采遗留下来的已封闭矿山，复垦工作是由政府出资进行的。

土地复垦是在社会生产力发展到一定阶段，人类与土地关系以及生态环境关系陷于深刻危机的严峻时期，为了解决土地利用中的土地破坏及生态环境问题，而派生出来的交叉学科。土地复垦和生态重建是减轻煤炭开采引起土地资源破坏的重要措施。随着可持续发展成为世界发展的新战略，煤矿塌陷区土地复垦，以矿区生态系统健康与环境安全为恢复重建目标，生态复垦越来越受到政府和企业的重视。以植被复原与生物多样性保护为目标的生态复垦，更加强调可持续发展、人与自然的和谐等问题，生态工程复垦将得到深入研究和推广。因此，采煤塌陷区土地复垦对构建和谐社会等具有重要的现实意义和战略意义。

2.5.3 我国土地复垦的法律法规

1. 我国有关法律对采矿破坏土地的复垦要求

《中华人民共和国环境保护法》第十二条规定：“开发矿产资源，应采取措施保护生态环境”；《中华人民共和国矿产资源法》第三十条规定：“开采矿产资源，应当节约用地。耕地、草地、林地因采矿受到破坏的，矿山企业应当因地制宜采取复垦利用、种树、种草或者其他利用措施”；《中华人民共和国土地管理法》第十八条规定：“采矿、取土后能够复垦的土地，用地单位或个人应当负责复垦，恢复利用”；《中华人民共和国煤炭法》第三十二条规定：“因开采煤炭压占土地或者造成地表土地塌陷、挖损，由采矿者负责进行复垦，恢复到可供利用的状态；造成他人损失的，应当依法给予补偿”。

2. 《土地复垦规定》的基本内容

《土地复垦规定》共二十六条，概括起来其主要内容如下：

(1) 土地复垦的宗旨。为加强土地复垦工作，合理利用土地，改善生态环境，制定本规定。

(2) 土地复垦的含义和范围。①含义：凡是在生产建设过程中，因挖损、塌陷、压占等造成破坏的土地，采取整治措施，使其恢复到可供利用状态的活动，称作土地复垦。②范围：凡是从事开采矿产资源、烧制砖瓦、燃煤发电、兴修水利、农田基本建设、修筑各种道路以及各种建筑物和废弃物压占等活动，认为造成土地破坏和废弃的都属于土地复垦范围。另外，各种污染、自然灾害造成破坏废弃的土地以及村庄四旁坑、洼、塘、废弃宅基地等也属于土地复垦范围。

(3) 土地复垦的基本原则，即“谁破坏，谁复垦”。凡是一切单位和个人因各种活动造成土地破坏的都必须履行土地复垦义务。

(4) 土地复垦的管理制度。各级人民政府土地管理部门负责管理、监督、检查本行

政区域的土地复垦工作。

(5) 建设项目土地复垦规定。有复垦任务的建设项目,其可行性研究报告和设计任务书应当包括土地复垦的内容;设计文件应当有土地复垦的章节;工艺设计应当兼顾土地复垦的要求。

(6) 法律责任。对违反《土地复垦规定》,但尚未构成犯罪的一般违法行为要追究行政责任。对应负行政责任的单位和个人,要实行行政制裁;同时对违法单位的主管人员和违法的国家工作人员进行行政制裁。对违反《土地复垦规定》,扰乱、阻止土地复垦工作或破坏复垦工程设备、违反《治安管理条例》、触犯刑法构成犯罪的,对负责土地管理工作的国家工作人员玩忽职守、行贿、受贿、敲诈勒索等构成犯罪的,由司法机关依法追究刑事责任。

2.5.4 矿区土地复垦的原则

(1) 因地制宜原则。根据矿区所在地的自然、气候条件,按照土地适宜性评价的结果,宜农则农、宜林则林,合理安排各类用地,使遭破坏的土地发挥最大效益。

(2) 持续性原则。可持续发展理念对于矿区土地复垦规划显得特别重要,因为矿区废弃地、塌陷地的产生正是源于资源开发利用的不可持续性。只有土地复垦规划以可持续发展为基础,立足于土地资源的持续利用和生态环境的改善,才有利于保证社会经济的可持续发展,变“废弃”为可利用,达到永久利用。

(3) 综合效益原则。矿区土地复垦追求的目标是融社会、经济和生态效益为一体的综合效益最优。

(4) 统一性原则。坚持开采工艺设计与复垦设计相统一是国外矿山通行的做法,也是采矿法规明确要求的。把复垦内容纳入采矿计划之中,统一规划,统一管理,使开采程序和排土程序及排土工艺根据土地复垦的要求作出相应的调整,既可节省复垦费用,又能使遭破坏的地表尽快恢复其功能。这也是我国矿山规划必须重视的一点。

2.5.5 采煤塌陷土地复垦的综合治理技术

1. 疏干法

该方法应用于潜水位不高、地表下沉不大地区,且正常的排水措施和地表整修工程能保证土地的恢复利用。这种方法多用在低浅水位地区或单一矿层和较薄矿层开采的高、中潜水位地区。它的特点是工程量小,投资少,见效快,且不改变土地的原有用途,但需对配套的水利设施进行长期有效的管理,以防洪涝,保证塌陷地的持续利用。由于这种方法应用的局限性,仅适用于少量的采煤塌陷地的缓坡地段,对于地下浅水位相对较低,地面倾角小于 2° ,易发生季节性积水的塌陷地,通过开挖沟渠,可将塌陷土地复垦成良田。

2. 就地平整法

对不积水而起伏不平的沉陷地或积水沉陷区的边坡地带,因地块保墒、保水、保肥效果差,不便耕种,可以通过就地平整法进行挖补平整,保证整个沉陷区海拔标高基本一致,平整后的土地标高要高于洪水位标高,以利于耕种和植物的生长。

3. 挖深垫浅法

这种方法就是用挖掘机械(如推土机、水力挖塘机组),将塌陷深的区域再挖深,形成水(鱼)塘,取出的土方充填塌陷浅的区域形成耕地,达到水产养殖和农业种植并举的利用目标。它主要用于塌陷较深、有积水的高、中潜水位地区,同时要保证挖出的土方

量大于或等于充填所需土方量,且水质适宜于水产养殖。由于这种方法操作简单、适用面广、经济效益高、生态效益显著,因而被广泛用于采煤塌陷土地的复垦。如河南省永城市进行土地复垦时,采取“建设用地+养殖用地”的模式,就是采用挖深垫浅的方法。它主要是根据塌陷区位条件、塌陷状况和用地需求,将塌陷区复垦后作为各类建设用地和渔业养殖用地,具体流程如图 12-2-10 所示。



图 12-2-10 挖塘机组复垦工艺流程

4. 充填复垦法

充填复垦法已在我国不少地方进行了实践,如抚顺矿务局用露天矿剥离物充填塌陷地、淮北岱河和朔里煤矿用煤矸石充填塌陷地、淮北相城矿用粉煤灰充填塌陷地。用矿区废矸石充填可以一举两得,既能利用废矸石,又能治理环境,这是目前较为普遍采用的方法,也是效益最佳的方法。但这种方法有一定的局限性,因为煤矸石的填充可能造成二次污染。充填复垦法推广应用的前提是充填物易经济地获取,且充填物无污染。图 12-2-11 是矸石充填沉陷区的工艺流程。

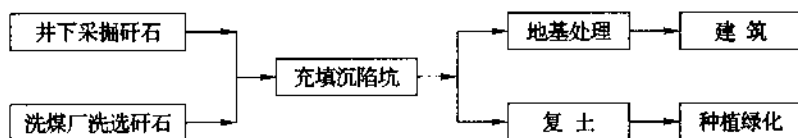


图 12-2-11 矸石充填沉陷区的工艺流程

5. 直接利用法

对于大面积的塌陷地,特别是大面积积水或积水很深的水体以及未稳定塌陷地或暂难复垦的塌陷地,常根据塌陷地现状因地制宜地直接加以利用,如网箱养鱼、养鸭、种植浅水藕或耐湿作物等。在华东及部分华北地区应用这种方法较多。

6. 生态工程复垦

生态工程复垦是将土地复垦工程技术与生态工程技术结合起来,综合运用生物学、生态学、经济学、环境科学、农业科学、系统工程的理论,运用生态系统的物种共生和物质循环再生等原理,结合系统工程对破坏土地所设计的多层次利用的工艺技术。其目的在于促进各生产要素的优化配置,获得较好的经济、生态和社会综合效益,走可持续发展的道路。它不仅包括上述的各种土地复垦工程技术的优选,也包括农业立体种植、养殖、食物链结构、农林牧副渔业一体化等生态工程技术的选择,常常通过平面设计、食物链设计和复垦工程设计来实现。对于复垦为农业用途的,其实质就是在复垦的土地上发展生态农业。这种方法具有很大的发展前景,对潜水位较高的煤田塌陷地复垦较为适宜。

7. 村庄搬迁与中心村（小城镇）建设相结合的工程技术

“中心村”化和小城镇化是我国农村发展的战略问题，国家给予了高度的重视。矿区应利用这个契机，把塌陷地村庄迁建与中心村和小城镇建设有机结合，统一规划和优化布局，提高土地的利用率和集约化程度，改善农民的生活环境。

8. 动态复垦工程技术

塌陷稳沉后复垦，地表积水，土方工程会造成工程造价增加，施工难度增大。动态复垦工程技术则根据采矿的进度，适当进行动态复垦，重在复垦的时间掌握。动态复垦时间选择对企业经济效益影响较大。

总之，矿山土地复垦是一项涉及面广、综合性强的系统工程，它涉及地质学、地球化学、矿床学、矿物学、采矿工程、选矿工程、工程地质、环境科学、景观生态学、农学等多个学科，为了使复垦后达到经济效益、社会效益及生态效益的统一，必须按照因地制宜的原则制定切实可行的复垦规划。当废石与尾矿库有综合利用价值时应首先考虑综合利用技术，将综合利用与土地复垦综合起来考虑。根据矿区土地破坏类型的不同，可将复垦分为采空区、塌陷区、废石场及尾矿库4种类型，不同类型有不同的复垦方法。在选择复垦工艺及设备时，应尽量考虑使用采矿设备以降低成本、缩短复垦周期。废石场及尾矿库复垦时，应首先考虑控制污染，然后覆土种植植被及恢复植被。

2.6 矸石山绿化

煤矸石是与煤伴生的岩石，在煤的采掘和煤的洗选过程中均有排出，我国目前煤矸石产生量一般占原煤的10%~20%，而综合利用率还不到15%。大多数煤矿煤矸石仍在堆积，新的煤矸石仍不断产出。据不完全统计，截至目前煤矸石的堆积量已超过3Gt。大量的矸石山堆积不仅占压土地，破坏景观，而且矸石自燃时放出 SO_2 、 H_2S 、 CO 、 CO_2 和氮氧化物等有害气体，并伴有大量烟尘，对矿区大气环境造成严重污染，此外，矸石遭受雨淋后，又会污染周围土壤和水体，影响矿区人民的生活。因此，煤矸石山的绿化是我国目前矸石山治理的有效途径之一，它能防止或减轻矿区环境污染，恢复土地资源和改善生态环境。

2.6.1 矸石山绿化现状及研究对策

从20世纪70年代进行矸石山绿化以来，河南平顶山煤业集团累计植树100多万株，绿化面积达120多万平方米，10座废弃矸石山全部得到绿化，13座在用矸石山适宜绿化部位得到绿化，有效遏制了煤矸石对环境的污染。由于矸石山覆土种植树木的成活，涵养了水分，创造了草本植物和微生物的生存环境，从而在矸石山上形成了较好的微生态环境。绿色植被抑制了扬尘，减少了淋溶水，对矿区 and 市区的大气环境质量和水环境质量改善起到了非常大的作用。通过对矸石山进行绿化、美化，修筑上山阶梯和林荫小道，在山顶建亭台楼阁和雕塑小品等，使昔日又脏又黑的矸石山变成了矿区的绿色景点，成为职工休闲娱乐的好处所。

煤矸石山绿化技术已较为成熟，一般采取覆盖绿化和直接绿化两大类。直接绿化为不覆盖绿化，就是将植物直接栽种于矸石山表面，但对于黑色矸石山由于其具有较强的吸热性能，植物苗期其表层温度高达39~42℃，易使幼苗灼伤而迅速死亡；又由于矸石风化颗粒粗，大空隙多，表层保水性能差，0~5m风化层内水分含量一般很少，植物生长环境

恶劣,不利于种子萌发及植物生长,故而效果较差。覆盖绿化则是在矸石山表面覆盖土层、粉煤灰等,这种方法已在部分矿区进行了成功实验,其优点就是改善了植物生长环境,成活率有所提高,但在无灌溉条件下,植物生长同样受限,植物根系多分布于覆盖层,没有真正“扎根于矸石山”。

2.6.2 煤矸石山绿化方法

目前,我国煤矸石山绿化与植被恢复技术主要有如下几种。

(1) 覆土技术。指在煤矸石山表面覆盖一定厚度的土壤、粉煤灰、污泥等,改善植物生长的土壤条件,适宜较多的树种生长且造林成活率高,还可适宜种植一些农作物和牧草。

(2) 无覆土技术。由于经济和缺土的原因,我国的煤矸石山绿化中一般采用无覆土造林技术。无覆土绿化就是将植物直接栽种于煤矸石山表面的矸石风化物上,对矸石山只采用适宜的整地方法(带状整地或块状整地),然后在植树穴或植树带内进行适量“客土”,而不采用表面全部覆土、覆污泥等基质改良技术。

(3) 污泥覆盖技术。这是近年来比较流行的一门技术,是值得提倡的方法。污泥是污水处理厂产生的主要固体废弃物,在煤矸石山植被恢复过程中应用有很多优点。其主要技术措施是将污水处理厂污泥直接输送至矸石山顶,通过污泥自流、渗滤,对矸石山进行覆盖,可不断增加矸石山内部有机质含量,提高保水性能,待覆泥厚度达到要求时,将适宜的植物种子随污泥播种于泥层中,定期向矸石山排泥,可确保植物生长所需的养分及水分。

该技术的主要工程构筑物是要建一套完善的输送污泥设施,包括污泥搅拌池、污泥泵、输泥管通道、电控设备及泵房等。另外,还要根据矸石山表层现状,自上而下开挖 30~40cm 深的等高环状沟,以利于污泥的淤积及渗漏。

3 矿区生态环境保护实例

在矿区生态环境保护方面,煤矿企业应做到环境自律,反映出国有企业的社会责任感。经过几代人几十年的积累和探索,特别是近十年的大胆创新,勇闯禁区,以淮南矿业集团为代表的煤矿企业在煤矿生态环境保护理论、技术与实践方面取得了历史性重大突破,探索出破解“煤矿瓦斯治理、生态环境和工农和谐”三大世界性难题的新路子,形成了独具特色的可持续发展模式。

淮南矿业集团在发展中确立了建设以“发展先进生产力,保护生命,保护资源,保护环境”为特征的新型能源基地,主动治理矿区生态环境,对煤电开发形成的“三废一沉”(废气、废水、废渣和采煤沉陷地)进行综合治理与利用,构建内部小循环,不断加大环保设施建设投入;主动融入区域经济社会发展,实施社会责任发展战略,统筹解决好资源枯竭矿区环境修复、淮河水系治理和大面积的采煤沉陷搬迁,开放式、大尺度空间治理环境,构建矿区大循环,推进煤矿健康可持续发展。淮南矿业集团从2003年到2009年共投入49亿元发展循环经济,其中2007年至2009年投入35亿多元,被列为国家首批循环经济试点企业,被命名为“中华环境友好型煤炭企业”。国家发展和改革委员会批准在淮南矿业集团建设“煤矿瓦斯治理国家工程研究中心”、“煤矿生态环境国家重点实验室”,科技部批准在淮南矿业集团建设“深部煤炭开采与环境保护国家重点实验室”。

3.1 创新理念

3.1.1 创新资源环境理念

大型能源基地的发展,实质是区域经济社会发展问题。大型煤炭企业,煤田覆盖面积上千乃至几千平方公里,工人井下采煤,农民地面种田,城乡高度交错。煤矿对资源环境的依赖和破坏性较大,采煤塌陷后工农利益矛盾比较难以解决。治理“三废一沉”(废气、废水、废渣和沉陷)是解决小环境问题,治理山川河流是解决大环境问题。

把发展与环境的矛盾统一于循环经济。环境也是资源。瓦斯、煤矸石、矿井水、粉煤灰等是废也是宝,是循环经济的原料,是新的经济增长点。做到污染物排放最小化、资源利用最大化。

变被动治理为主动经营。把环境工程作为生产流程中的一道重要工序加以控制,作为企业发展的产业加以经营,使环境资源成为企业新的经济增长点。

变环境投入为环境产出。治理与利用同步,变环境成本为环境收益,变环境投入为环境产出。

保护环境要自律。企业要有高度的社会责任感,自觉实践科学发展观,走生产力发展、职工生活富裕、生态环境良好的发展道路。

经济发展与环境治理并重。环境治理坚持源头控制,过程治理,末端利用,实现矿区经济发展与环境保护的协调统一。

3.1.2 创新技术理念

淮南矿区坚持经营环境,努力使环境投入等于或大于环境产出,在规划层面、技术路径、管理体制上进行了一系列的综合创新。主要是长时间跨度、大尺度空间地保护生态环境,在治理小环境的同时,解决好矿区河流、水系、山脉、林地、历史遗留的资源枯竭矿区等大环境治理问题。坚持综合协调,统筹兼顾,将煤矿设施与循环经济、环境保护项目同步考虑,协调处理井下开采与沉陷搬迁、水系治理等关系,前瞻性地解决煤矿开采对环境和社会的影响。坚持生态环境治理的手段创新,不同于西方外科手术式,而是中医调理式的,充分利用环境自恢复功能,因势治理,体现自然美。

3.2 治理“三废一沉”

淮南矿业集团建成了世界第一座低浓度瓦斯发电站,突破了瓦斯利用浓度 7% ~ 29% 的禁区。成功研制了气水二相流低浓度瓦斯安全输送技术,已经面向全行业推广。瓦斯热电冷处于世界领先水平。风排瓦斯(浓度在 0.2% ~ 0.6%)氧化发电技术,正在与瑞典、英国、澳大利亚有关科研机构开展技术合作。现有瓦斯发电装机容量 2.3×10^4 kW,瓦斯民用 50000 户。

建设 7 个矿井水处理改造利用工程,可利用水量 6.3×10^4 m³/d,每年可减少硫排放量 5730t,减排 COD4584t。矿井水综合利用率已提高到 73%。电厂、洗煤厂用水实现闭路循环零排放。

历史上淮南矿区矸石存量近 40×10^6 t,已消化利用一半以上。新建矿井不建矸石山,综合利用率在 95% 以上。建成 6 条煤矸石砖生产线,总规模 3.2×10^8 块。

煤矸石电厂采用循环流化床技术,开展热电气焦油多联产技术开发,75t 循环流化床已经出油,被列入国家“863”计划。

采煤塌陷区覆土造地 100.7hm²。

3.3 保护资源

淮南矿区“三下”采煤,尤其是淮河及其水系下采煤,开创了国内外大江大河下采煤先例,累计解放呆滞煤炭 1.3×10^8 t,安全开采煤炭 90×10^6 t 以上。截止到 2009 年底,矿井采出率为 73%,采区采出率为 85%,采煤工作面采出率为 96%,处于全国领先水平。矿区资源采出率比国际先进指标提高了 10 个百分点。

3.4 修复生态环境

面积为 22km² 的淮南泉大资源枯竭矿区,是建国前开采并已报废 30 年的老矿区。长期以来无人问津,该区域地物、地貌、水系及生态环境破坏严重,形成大面积的“城市荒地”。沉睡了 30 年未加治理,一个重要原因是,它不同于煤矿沉陷治理,国家法律法规政策是个盲点。淮南矿业集团主动对泉大资源枯竭矿区进行生态修复,使“城市荒地”变成以“山、水、林、居”为特征的城市生态区和最佳宜居区。项目总工程量 7.2×10^6 m²,估算总投资 22 亿元,其中,2008—2012 年计划投资 17 亿元。到 2008 年底,已累计完成修复面积 1.01×10^6 m²,完成投资 1.2 亿元。该项目被国家发展和改革委员会列为循环经济示范项目,国家部委领导对项目充分肯定,“为淮南乃至中国恢复了一块绿地,具有

重要的示范意义”。泉大资源枯竭矿区生态环境修复,是生态保护技术路径创新,枯竭矿区成为以“山林水居”为特征的煤矿最佳人居环境,成为一个城市的“绿肺”,成为人们休闲活动的场所。

3.5 绿色工程建设

坚持全面覆盖、能栽尽栽原则,种植树木 140 万株。每年减少水土流失 $3.28 \times 10^4 \text{t}$, 增加净化硫的潜力 85kg, 减排二氧化硫 810t。

3.6 改造棚户区

淮南煤矿是百年老矿,煤矿职工长期无房住、住窝棚。2003 年,淮南矿业集团率先启动了安徽省也是行业规模最大的棚户区改造工程,计划用 10 年时间建设 $8.5 \times 10^6 \text{m}^2$ 住房,拆迁安置 7.36 万户。到 2008 年底,已完成一期工程 $5 \times 10^6 \text{m}^2$,建成 33 个小区,2000 栋楼,回迁安置 4.5 万户,企业补贴 20 亿元。二期工程 $3.5 \times 10^6 \text{m}^2$,2009 年开工 $1.9 \times 10^6 \text{m}^2$,2010 年再开工 $1.6 \times 10^6 \text{m}^2$,到 2011 年彻底解决矿区棚户问题。用 10 年时间偿还几十年的欠账,实现矿工几代人的梦想。煤矿棚户区改造,基本由企业独立完成,规模在全行业最大,标准也是一流的,改善了职工的居住条件和生活环境,有效改善了城市面貌,带动了相关产业,增加了就业机会,繁荣了地方经济,使整个矿城充满了生机和活力。

3.7 推进地企统筹

坚持“一统筹三优先”:市矿统筹,规划优先、保护资源和环境优先、符合和争取国家政策优先,在矿区不压煤地段将塌陷村庄并村入镇、并村建镇、并村扩镇,建设新村镇,煤矿生活后勤就近由小城镇管理。实施地方和煤矿企业统筹建设与发展,统筹解决新农村建设、城镇化建设、煤矿塌陷搬迁三件事。

建设的颍上县迪沟镇,被评为全国环境优美镇和十佳小城镇。迪沟镇城镇区面积为 4.5km^2 ,建筑面积为 $65 \times 10^4 \text{m}^2$ 。迪沟镇城镇区公共设施方面,路、水、电、通信、电视、交通等实现“八通”,建有影剧院、中小学、幼儿园、医院、自来水厂、中心广场、养殖场、服装市场、鞋帽市场、农贸市场、生态园、竹音寺等,林木覆盖率 54%,人均绿地 90 多平方米,营造了绿色生态园林式生活环境。迪沟镇范围内城镇化水平由以前的 26% 提升到 51%。沉陷区已搬迁入住 5316 户约 1.8 万人。解放压煤量 $2.1 \times 10^8 \text{t}$,搬迁安置节约土地 107.72hm^2 ,节约 52%。迪沟镇是国内第一个地企统筹建设的新村镇,是工农和谐的典范,是有效解决工农大问题的综合创新。

规划潘谢矿区新村镇建设,涉及 3.3 万户,可解放压煤量 $20 \times 10^8 \text{t}$,节约土地 773hm^2 。

3.8 积极倡导建设淮南平原水库

皖北是重要的工业和农业粮仓。淮河流经皖北(包括淮南矿区),汛期泛滥成灾,久治不愈,淮河中游是治理的难点,又是煤炭开采强度最大的地段。淮南矿业集团建议,利用淮河中段湖洼地和采煤沉陷两大有利条件,建设一个平原水库,变治淮河为用好淮河淡

水资源，可以变害为利，根治淮河。根据采煤沉陷预测，水库库容到 2020 年约 $6 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2030 年约 $13 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2050 年约 $40 \times 10^8 \text{m}^3$ 。平原水库建设，一是可以除涝，使 3672km^2 土地免除涝灾；二是能够减洪，水大时可以消纳淮河干流洪水 $5 \times 10^8 \text{m}^3$ ；三是提供淡水资源。现在的治理是，取了煤炭，丢了淡水，丢了土地。建设平原水库，能够获取煤炭和淡水两大资源，减少土地丢失，能够改善区域水资源、生态环境和农民生活条件，发展流域经济，解决淮河治理中的难题，实现区域经济可持续发展，有百利无一害。淮南矿业集团提出留住淡水，造福社会的构想，已经得到国家和有关部门的重视。

参 考 文 献

- [1] 《煤矿总工程师工作指南》编委会. 煤矿总工程师工作指南 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1988.
- [2] 张荣立, 何国伟, 李铎. 采矿工程设计手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [3] 顾永辉. 煤矿电工手册 (修订本) [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997.
- [4] 崔云龙. 简明建井工程手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [5] 王安. 现代化亿吨矿区生产技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [6] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [7] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林. 岩层控制的关键层理论 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.
- [8] 钱鸣高, 许家林, 缪协兴. 煤矿绿色开采技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [9] 综采生产管理手册编委会. 综采生产管理手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1986.
- [10] 钱鸣高, 刘听成. 矿山压力及其控制 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984.
- [11] 袁亮. 低透气性高瓦斯煤层群无煤柱快速留巷 Y 型通风煤与瓦斯共采关键技术 [J]. 中国煤炭, 2008 (6).
- [12] 赵铁锤, 等. 华北地区奥灰水综合防治技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [13] 王显政. 煤矿安全新技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [14] 张宝明, 陈炎光. 中国煤矿高产高效技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [15] 张铁岗. 煤矿安全技术基础管理 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [16] 张铁岗. 矿井瓦斯综合治理技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [17] 柴登榜, 等. 矿井地质工作手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1986.
- [18] 龙荣生. 矿井地质学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991.
- [19] 陈昌荣, 赵福增, 刘坚. 地质学基础 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.
- [20] 杨孟达. 煤矿地质学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.
- [21] 车树成, 张荣伟. 煤矿地质学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.
- [22] 闫琇璋. 煤矿地质学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989.
- [23] 陶昆, 王向阳. 煤矿地质 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [24] 曹代勇, 陈江峰, 杜振川, 等. 煤炭地质勘查与评价 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [25] 陈家良, 邵震杰, 秦勇. 能源地质学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004.
- [26] 徐开礼, 朱志澄. 构造地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [27] 夏邦栋. 普通地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [28] 谢仁海. 大地构造学派概观 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989.
- [29] 陈兆炎, 等. 煤田水文地质学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1989.
- [30] 蒋承蕊. 矿产资源管理导论 [M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [31] 何贤杰, 余浩科, 刘斌, 等. 矿产资源管理通论 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2002.
- [32] 陶长晖, 徐榜荣, 史振亚, 等. 煤田普查与勘探 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1988.
- [33] 全国地层委员会. 中国地层指南及中国地层指南说明书 (修订版) [M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [34] 萨尔多瓦. 国际地层指南 [M]. 金玉环, 戎嘉余, 陈旭, 等译. 北京: 地质出版社, 2000.
- [35] 曾勇主编. 古生物地层学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [36] 夏树芳. 历史地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [37] 何锡麟. 地史学简明教程 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997.
- [38] 郝守刚, 马学平, 董熙平, 等. 生命的起源与演化 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [39] 康育义. 生命起源与进化 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1997.

- [40] 武汉地质学院古生物教研室. 古生物学教程 [M]. 北京: 地质出版社, 1980.
- [41] 中国科学院综合计划局. 创新者的报告 (5) [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [42] 泰勒. 古植物学 [M]. 梅美棠, 杜贤明, 李中明, 译. 北京: 科学出版社, 1992.
- [43] 童金南, 殷鸿福, 等. 古生物学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [44] 王大曾. 瓦斯地质 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1990.
- [45] 张子敏. 瓦斯地质学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009.
- [46] 叶建平, 秦勇, 林大杨. 中国煤层气资源 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [47] 傅雪海, 陆国桢, 秦杰, 等. 用测井响应拟合煤层气含量和划分煤体结构 [J]. 测井技术, 1999, 23 (2): 112-115.
- [48] 傅雪海, 秦勇. 多相介质煤层气储层渗透率预测理论与方法 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [49] 傅雪海, 王文峰, 岳建华, 等. 枣庄八一矿瓦斯中 H_2S 气体异常成因分析 [J]. 煤炭学报, 2006, 31 (2): 206-210.
- [50] 何也, 傅雪海, 张集煤矿煤与瓦斯突出地质控制因素研究 [J]. 黑龙江科技学院学报, 2006, 16 (1): 4-7.
- [51] 贺天才, 秦勇. 煤层气勘探开发利用技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [52] 詹益信, 傅雪海. 江苏省煤层气资源开发前景分析 [J]. 江苏煤炭, 1997, (4).
- [53] 中华人民共和国能源部. 煤矿测量规程 [S]. 北京: 煤炭工业出版社, 1989.
- [54] 中国统配煤矿总公司生产局. 煤矿测量手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1990.
- [55] 高井祥. 数字测图原理与方法 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [56] 张华海. 应用大地测量学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [57] 张国良. 矿山测量学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [58] 何国清. 矿山开采沉陷学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989.
- [59] 淮南煤炭学院, 山东矿业学院. 建井工程结构 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1979.
- [60] 宋宏伟, 刘刚. 井巷工程 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [61] 中国矿业学院. 特殊凿井 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1981.
- [62] 董方庭, 姚玉煌, 黄初. 井巷设计与施工 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1986.
- [63] 翁家杰. 井巷特殊施工 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991.
- [64] 路耀华, 崔增祈. 中国煤矿建井技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1995.
- [65] 白云来. 赵固二矿主井冻结快速施工技术 [J]. 煤矿安全, 2008, (9): 60-62.
- [66] 宋宏伟, 杨维好, 刘刚, 刘志强. 中国煤矿矿井建设技术的现状与发展 [C] // 陈明和, 王建平, 周兴旺, 等. 矿山建设工程新进展. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2005. 7: 23-31.
- [67] 周兴旺. 我国特殊凿井技术的发展与展望 [J]. 煤炭科学技术, 2007, 35 (10): 10-18.
- [68] 张永成, 史基盛, 王占军. 钻井施工手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010.
- [69] 陈炎光, 陈冀飞. 中国煤矿开拓系统 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.
- [70] 林在康, 李希海. 采矿工程专业毕业设计手册 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [71] 樊克恭, 翟德元, 马其华, 等. 分区域开拓矿井全煤倾斜大巷布置体系 [J]. 煤炭工程, 2003 (9).
- [72] 周霖. 单翼开采盘区巷道合理布置研究 [J]. 太原科技, 2007 (12).
- [73] 闫红新. 21 世纪的现代化矿井——淮南张集矿井设计创新与特点 [J]. 煤炭工程, 2002 (12).
- [74] 冯冠学, 李泽民. 补连塔矿井实现高产高效的设计途径 [M]. 煤炭工程, 1999 (1).
- [75] 许文实. 探索特大型现代化矿井——大柳塔煤矿建设、经营成功之路 [J]. 煤炭工程, 2001 (8).

- [76] 王勇. 现代化矿井设计创新研究与实践 [J]. 煤炭工程, 2008 (1)
- [77] 刘国峰. 浅谈综合开拓的几个技术问题 [J]. 煤, 2008 (5).
- [78] 陈炎光, 钱鸣高. 中国煤矿采场围岩控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.
- [79] 徐永圻. 采矿学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [80] 杜计平, 孟宪锐. 采矿学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009.
- [81] 刘长友, 曹胜根, 方新秋. 采场支架围岩关系及其监测控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [82] 刘长友, 钱鸣高, 曹胜根, 等. 采场直接顶的结构力学特性及其刚度 [J]. 中国矿业大学学报, 1997 (2).
- [83] 刘长友, 钱鸣高, 曹胜根, 等. 采场支架阻力与顶板下沉量关系的研究 [J]. 矿山压力与顶板管理, 1997 (3).
- [84] 缪协兴, 钱鸣高. 综放采场围岩—支架整体力学模型及分析 [J]. 煤, 1998 (6).
- [85] 张顶立. 综合机械化放顶煤开采采场矿山压力控制 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [86] 曹胜根, 钱鸣高, 刘长友. 综放支架工作阻力与端面顶板稳定性 [G] // 1999 厚煤层现代开采技术国际专题研讨会论文集. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [87] 刘长友, 曹胜根. 采场直接顶承载特性研究 [J]. 矿山压力与顶板管理, 1999 (3).
- [88] 刘长友, 钱鸣高, 曹胜根. 采场支架与围岩系统刚度研究 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2001 (1).
- [89] 刘长友, 金太, 王京龙. 高产高效综放工作面直接顶稳定性监测 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2003 (1).
- [90] 刘长友, 钱鸣高, 曹胜根, 等. 采场直接顶对支架围岩关系的影响机制 [J]. 煤炭学报, 1997, 22 (5).
- [91] 刘兴国. 放矿理论基础 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
- [92] 于海勇, 贾恩立, 穆荣昌. 放顶煤开采基础理论 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995.
- [93] 靳钟铭. 放顶煤开采理论与技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [94] 何富连, 钱鸣高, 刘学锋. 大采高液压支架倾倒特征与控制条件 [J]. 中国矿业大学学报, 1997, 26 (4).
- [95] 弓培林, 靳钟铭. 大采高采场覆岩结构特征及运动规律研究 [J]. 煤炭学报, 2004, 29 (1).
- [96] 弓培林, 靳钟铭. 影响大采高综采支架稳定性的试验研究 [J]. 太原理工大学学报, 2001, 32 (6).
- [97] 郝海金, 吴健, 张勇. 大采高开采上位岩层平衡结构及其对采场矿压显现的影响 [J]. 煤炭学报, 2004, 29 (2).
- [98] 赵宏珠. 大采高支架采面煤壁片帮规律及防护 [J]. 矿山压力与顶板管理, 1989, (2).
- [99] 吴士良. 三软煤层大采高综采围岩控制技术 [J]. 焦作工学院学报, 1995, 18 (3).
- [100] 王国法, 翟桂武, 徐旭升. JOY8670-2.4/5.0 型支架稳定性分析 [J]. 煤炭科学技术, 2001, 29 (5).
- [101] 黄庆享. 浅埋煤层长壁开采顶板结构及岩层控制研究 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.
- [102] 侯忠杰. 浅埋煤层关键层研究 [J]. 煤炭学报, 1999, 24 (4).
- [103] 侯忠杰. 地表厚松散浅埋煤层组合关键层的稳定性分析 [J]. 煤炭学报, 2000, 25 (2).
- [104] 侯忠杰. 组合关键层理论的应用研究及其参数确定 [J]. 煤炭学报, 2001, 26 (6).
- [105] 侯忠杰. 断裂带老顶的判别准则及在浅埋煤层中的应用 [J]. 煤炭学报, 2003, 28 (1).
- [106] 屠世浩. 长壁综采系统分析的理论与实践 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004.
- [107] 徐永圻, 王悦汉. 短壁开采技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1987.

- [108] 于向东. 短壁机械化开采工艺与装备现状 [J]. 中国煤炭, 2006, 32 (5): 5-6.
- [109] 张先尘, 钱鸣高. 中国采煤学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [110] 屠世浩, 郝明奎. 孤岛煤柱综采工作面旋转开采关键技术 [J]. 中国矿业大学学报, 2004 (5).
- [111] Tu Shi-hao. Hydraulic support stability control of fully mechanized top coal caving face with steep coal seams based on instable critical angle [J]. Journal of Coal Science and Engineering (China), 2008, 14 (3).
- [112] 杨建武. 大同矿区应用短壁机械化旺格维利采煤法的探析 [J]. 煤矿开采, 2005, 65 (4): 23-26.
- [113] 雷煌. 综采工作面快速搬家成套装备与技术的应用 [J]. 煤炭科学技术, 2008, 36 (4): 1-3.
- [114] 汪青仓. 神东矿区综采工作面快速搬家技术 [J]. 中国煤炭, 2005, 31 (5): 40-41.
- [115] 何国清, 杨伦, 等. 矿山开采沉陷学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
- [116] 邹友峰, 邓喀中, 马伟民. 矿山开采沉陷工程 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [117] 邓喀中. 开采沉陷中的岩体结构效应 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [118] 王作宇, 刘鸿泉. 承压水上采煤 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992.
- [119] Syds Peng. Surface subsidence engineering society for mining [M]. Metallurgy and Exploration Inc, 1992.
- [120] 曹宝良. 采空区上覆岩垂直移动和变形分布规律初步探讨 [J]. 矿山测量, 1981 (4).
- [121] 吕泰和. 井筒与工业广场煤柱开采 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1990.
- [122] 煤炭科学研究院北京开采所. 煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1981.
- [123] 周国铨, 等. 建筑物下采煤 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.
- [124] 张玉卓. 建筑群下厚煤层开采的两种技术途径//世纪之交的煤炭科学技术 [J]. 煤炭学报, 1997, 22 (增): 48-51.
- [125] B. H. G. 布雷迪, E. T. 布朗. 地下采矿岩石力学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1990.
- [126] 邹友峰, 胡友键, 郭增长. 采动损害与防护 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.
- [127] 吴立新, 王金庄, 刘延安, 等. 建(构)筑物下压煤条带开采理论与实践 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.
- [128] 刘天泉. 波兰城镇及建筑物下采煤技术 [J]. 世界煤炭技术, 1985 (8).
- [129] 仲惟林. 西德的建筑物、构筑物下采煤技术 [J]. 矿山测量, 1986.
- [130] 中国科技情报研究所. 出国参观考察报告: 波兰采空区地面建筑 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1979.
- [131] 刘天泉, 周家俊. 矿井保安煤柱的开采与地面建筑物的加固 [M]. 北京: 中国工业出版社, 1966.
- [132] 焦传武. 我国村庄下采煤的可能性 [J]. 煤炭科学技术, 1982.
- [133] 中国矿院地质系, 峰峰矿务局煤研所. 峰峰矿区建筑物下采煤的实践与认识 [J]. 矿山测量, 1981.
- [134] 邓喀中, 马伟民, 邢安仕, 等. 基础动态沉陷规律及地基反力 [J]. 煤炭科学技术, 1995, 23 (10).
- [135] 毕锦明. 煤矿机电新技术新装备实用手册 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [136] 黄日恒. 悬臂式掘进机 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.
- [137] 王虹, 李炳文. 综合机械化掘进成套设备 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [138] 赵济荣. 液压传动与采掘机械 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [139] 胡林. 综掘锚杆支护装备的现状与发展趋势 [J]. 煤矿机电, 2009 (4).

- [140] 高春花. 2种形式掘进机机载临时支护的差异分析 [J]. 煤矿机械, 2009 (5).
- [141] 柴敬, 麻勇. 机载锚杆钻机实现掘锚一体化的几点思考 [J]. 煤矿机械, 2009 (5).
- [142] 王博, 惠心田. 气动式锚杆钻机的应用现状及发展趋势 [J]. 煤矿机械, 2009 (5).
- [143] 来存良, 等. 厚煤层高产高效开采实用技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [144] 戴绍诚, 李世文, 李芬, 等. 高产高效综合机械化采煤技术与装备 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998.
- [145] 李昌熙, 沈立山, 高荣. 采煤机 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1988.
- [146] 全国职业培训教学工作指导委员会煤炭专业委员会. 综采工艺 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004.
- [147] 中国煤矿专用设备成套服务公司. 采煤机械化成套设备参考手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984.
- [148] 杜伟石, 张永禄, 张树松, 等. 煤矿采掘运设备 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.
- [149] 中国煤炭工业协会物资流通分会, 中煤物资有限公司机电设备部. 煤矿常用机电产品实用手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [150] 王国法. 高效综合机械化采煤成套装备技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [151] 樊运策, 等. 综合机械化放顶煤开采技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [152] 傅国庆. 综合机械化放顶煤开采用地质条件的演化与拓展 [J]. 煤田地质与勘探, 2001 (5): 21-22.
- [153] 王国法. 液压支架技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [154] 王国法. 两柱掩护式放顶煤液压支架设计研究 [J]. 煤炭科学技术, 2003 (4).
- [155] 韩宝东. 薄煤层大倾角条件下滚筒采煤机采煤工艺特点 [J]. 煤, 2008 (5): 50.
- [156] 刘向东, 纵兆纯, 张欣. MG150PW 采煤机结构特点及试验分析 [J]. 煤矿机械, 2000 (7): 36-37.
- [157] 郭滨. MG150PW 型极薄煤层采煤机的研制 [J]. 煤矿机械, 2000 (5): 1-2.
- [158] 王立国, 孙鹏. 薄煤层采煤机的技术特点及研制 [J]. 煤矿机电, 2005 (1): 14-16.
- [159] 吴振毅. 极薄煤层电牵引采煤机电气控制系统的研究与实现 [D]. 上海: 复旦大学, 2008.
- [160] 谢贵君. 电牵引采煤机的现状与发展趋势 [J]. 煤矿机械, 2009 (2).
- [161] 李玉魁, 张遂安. 井温测井监测技术在煤层压裂裂缝监测中的应用 [J]. 中国煤层气, 2005, 2 (2): 14-16.
- [162] 张金成, 王小剑. 煤层压裂裂缝动态法监测技术研究 [J]. 天然气工业, 2004, 24 (5): 107-109.
- [163] 张学鲁, 季祥云, 罗仁全. 游梁式抽油机技术与应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [164] 赵阳升. 矿山岩石流体力学 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1994.
- [165] 崔凯华, 郑洪涛. 煤层气开采 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.
- [166] 贾承造. 煤层气资源储量评估方法 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
- [167] 周涛, 陈新勇, 张小伟. 煤层气井钻井液选取探讨 [J]. 山东煤炭科技, 2009 (4), 123-124.
- [168] 刘成林, 朱杰, 等. 新一轮全国煤层气资源评价方法与结果 [J]. 天然气工业, 2009, 29 (11): 43-50.
- [169] 杨秀春, 叶建平, 等. 煤层气开发井网部署与优化方法 [J]. 中国煤层气, 2008, 5 (1): 13-16.
- [170] 张义, 鲜宝安, 等. 煤层气欠平衡钻井环空注气工艺优化 [J]. 石油勘探与开发, 2009, 36 (3): 398-401.
- [171] 李希建, 蔡立勇, 常浩. 注气驱替煤层气作用机理的探讨 [J]. 矿业快报, 2007, 460 (8): 20-

- 22.
- [172] 周锋德, 姚光庆, 唐仲华. 注二氧化碳和氮气提高煤层气采收率的经济评价及敏感性分析 [J]. 中国煤层气, 2009, 6 (3): 40-44.
- [173] 王峰, 汤达祯, 刘洪林, 等. 利用 CO₂-ECBM 技术在沁水盆地开采煤层气和埋藏 CO₂ 的潜力 [J]. 天然气工业, 2009, 29 (4): 117-120.
- [174] 路畅, 王继仁, 张春会, 等. CO₂ 注入增产煤层气的作用机理 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2009, 28 (5): 54-56.
- [175] 刘贻军. 应用新技术促进煤层气的开发 [J]. 地质通报, 2007, 26 (5): 625-629.
- [176] 张林, 刘池阳, 等. 煤层气井水力压裂合适伴注气体的选择 [J]. 煤炭学报, 2008, 33 (3): 322-324.
- [177] 黄洪春, 卢明, 申瑞臣. 煤层气定向羽状水平井钻井技术研究 [J]. 天然气工业, 2004, 24 (5): 76-78.
- [178] 乔磊, 申瑞臣, 黄洪春, 等. 煤层气多分支水平井钻井工艺研究 [J]. 石油学报, 2007, 28 (3): 112-115.
- [179] 饶孟余, 杨陆武, 张遂安, 等. 煤层气多分支水平井钻井关键技术研究 [J]. 天然气工业, 2007, 27 (7): 52-55.
- [180] 石书灿, 李玉魁, 倪小明. 煤层气竖直压裂井与多分支水平井生产特征 [J]. 西南石油大学学报, 2009, 31 (1): 48-52.
- [181] 李红艳, 贾林祥. 煤层气液化技术 [J]. 中国煤层气, 2006, 3 (3): 32-33.
- [182] 徐正康. 煤层气在城市燃气中的利用 [J]. 煤气与热力, 2007, 27 (2): 38-40.
- [183] 陶鹏万, 古共伟, 张剑锋, 等. 用煤层气 (CMM) 生产甲醇的探讨 [J]. 天然气化工, 2008, 33: 47-53.
- [184] 李琼玖, 杜世权, 刘尚武, 等. 苏里格煤层气非催化法制甲醇的初步工艺设计 [J]. 中外能源, 2007, 12 (4): 23-28.
- [185] 张志翔, 苑慧敏, 王凤荣, 等. 煤层气的化工利用进展 [J]. 现代化工, 2007, 27 (8): 26-29.
- [186] 白红彬, 杨俊辉, 等. 煤层气发电设备的比较与选择 [J]. 中国煤层气, 2007, 4 (2): 30-32.
- [187] 曾少军, 陆日东, 等. 我国煤层气 CDM 项目开发现状及对策研究 [J]. 煤炭经济研究, 2008, 5: 6-10.
- [188] 孟尚志, 王竹平, 等. 钻井完井过程中煤层气储层伤害机理分析与控制措施 [J]. 中国煤层气, 2007, 4 (1): 34-36.
- [189] 朱弘. 欠平衡钻井技术的进展与发展趋势 [J]. 石油地质与工程, 2009, 23 (2): 80-82.
- [190] 刘业文. 浅谈欠平衡钻井技术中的氮气循环钻井系统 [J]. 工业技术, 2009, (6): 70-71.
- [191] 罗东坤, 褚王涛, 吴晓东, 等. 煤层气钻井技术的经济性分析 [J]. 石油勘探与开发, 2009, 36 (3): 403-407.
- [192] 冯少华, 侯洪河. 煤层气钻井过程中的储层伤害与保护 [J]. 中国煤层气, 2008, 5 (3): 17-19.
- [193] 鲜保安, 孙平, 王一兵, 等. 煤层气水平井欠平衡钻井技术研究与应用 [J]. 中国煤层气, 2008, 5 (1): 5-8.
- [194] 王德明. 矿井通风与安全 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [195] 《〈煤矿安全规程〉专家解读》编委会. 《煤矿安全规程》专家解读 (井工部分) [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [196] 《〈煤矿安全规程〉读本》编委会. 《煤矿安全规程》读本 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [197] 浑宝炬, 郭立稳. 矿井通风与除尘 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.

- [198] 傅贵等. 矿井通风系统分析与优化 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [199] 李学诚, 王省身. 中国煤矿通风安全工程图集 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1995.
- [200] 赵以惠. 矿井通风与空气调节 [M]. 中国矿业大学出版社, 1990.
- [201] 黄元平. 矿井通风 [M]. 中国矿业大学出版社, 1986.
- [202] 范天吉. 煤矿通风综合技术手册 (1~4 卷) [M]. 长春: 吉林电子出版社, 2003.
- [203] 李总根. 通风机操作工 [M]. 北京: 中国劳动保障出版社, 2007.
- [204] 王永申. 水力驱动局部通风机的研制和应用 [J]. 水力采煤和管道运输, 2004, 2: 3~5.
- [205] 王俊峰. 矿井测风测尘工 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [206] 周福宝, 王德明, 陈开岩等. 矿井通风空气调节 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009.
- [207] 康成铭. 矿井通风与安全 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991.
- [208] 双鸭山矿业集团有限公司编著. 近距离煤层群开采自燃规律及综合防治技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [209] 宁尚根. 矿井反风技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010.
- [210] 刘正光, 申永旭, 李梅. 综放面治理瓦斯工艺实践 [J]. 煤, 2001 (4).
- [211] 谢俊文, 许继宗, 李作泉. 易燃厚煤层综放面特大瓦斯涌出综合治理技术 [J]. 煤炭科学技术, 2004 (4).
- [212] 金龙哲, 石晶, 刘双跃. 利用 B 型通风方式治理瓦斯的理论计算与研究 [J]. 矿业安全与环保, 2006 (3).
- [213] 张福成. 神东矿区长距离掘进通风技术应用 [J]. 煤炭工程, 2005 (6).
- [214] 洪晓华, 陈军. 矿井运输提升 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2005.
- [215] 陈维键. 矿山运输与提升设备 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [216] 夏纪顺, 等. 采矿手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1991.
- [217] 姜汉军. 矿井辅助运输设备 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [218] 李玉瑾. 多绳摩擦提升系统动力学研究与工程设计 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.
- [219] 于厉民, 仵自连. 矿山固定设备选型使用手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [220] 范家骏. 矿井多绳提升选型设计 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1981.
- [221] 傅泉臻. 矿用钢丝绳检测检验实务 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [222] 开滦煤矿. 矿井提升钢丝绳 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1979.
- [223] 尹燕森, 李茂龙. 井筒维修工 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [224] 陆田, 张鲁花. 钢丝绳检查工 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [225] 王清灵, 龚幼民. 现代矿井提升机电控系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [226] 何凤有, 谭国俊. 矿井直流提升机计算机控制技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [227] 马建民, 赵增玉. 现代提升机数字控制系统 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [228] 殷鹏. 交变变频调速系统在煤矿主井提升机上的应用 [J]. 煤炭技术, 2006, 25 (2).
- [229] 中国煤炭工业协会物资流通分会, 中煤发物资有限公司机电设备部. 煤矿常用机电产品实用手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [230] 朱心亮. 回采巷道穿过主进风巷底部带式输送机的选型改造方案 [J]. 煤炭工程, 2006.
- [231] 宋伟刚. 基于不同需求的阀控充液式液力偶合器 [J]. 煤炭工程, 2007, (9).
- [232] 牛津玉, 李春荣. 调频调压启动器在综采刮板输送机上的应用 [J]. 中国煤炭, 2005, 31 (9).
- [233] 刘树. CST 可控传动装置在综采面刮板输送机中的应用 [J]. 煤矿开采, 2006, (5).
- [234] 陈怀道. QJT-250/1140 (660) 型调速启动器的研制及应用 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34 (4).
- [235] 杨世和, 石忠良, 张卫平. 调压调频启动器的特点及应用 [J]. 中国煤炭, 2004, 30 (7).

- [236] 孙远敬, 徐广明. 刮板输送机链条张力自动控制系统研究 [J]. 煤炭工程, 2005, (12).
- [237] 李怀中. ЭП10 型双流制交流传动电机车 [J]. 变流技术与电力牵引, 2002.
- [238] 蒋志武. 带式输送机软启动装置的选型比较 [J]. 煤矿机电, 2004, (3).
- [239] 陶永芹, 李兵. 带式输送机软启动装置的比较分析 [J]. 机械工程师, 2005, (8).
- [240] 肖兴明. 摩擦提升重大故障分析及预防 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.
- [241] 余梦桐, 韩建国. 板式定量运输机装运系统的设计及应用 [J]. 煤炭工程, 2005, 10.
- [242] 秦强. 大吨位箕斗曲轨卸载技术研究 [J]. 煤炭工程, 2004, 1.
- [243] 祝超, 贾福音, 姜小环, 等. KHT 型缓冲阻尼同步摇台的应用研究 [J]. 煤矿机械, 2007, 3.
- [244] 王雪松, 吕奎荣. 主井轻型箕斗在振兴煤矿的应用 [J]. 煤炭技术, 2007, 9.
- [245] 董玉忠, 李克清, 梁迎春. ST3-D 型提升机液压站工作原理的分析 [J]. 煤矿机电, 2008, 5.
- [246] 虎维岳. 矿山水害防治理论与方法 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [247] 武强, 李周尧. 矿井水灾防治 [M]. 中国矿业大学出版社, 2002.
- [248] 刘国林, 刘国兴. 矿井水灾防治与监察 [M]. 中国矿业大学出版社, 2005.
- [249] 王宏斌, 刘伯, 等. 矿井水害防治技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [250] 陈学吾. 煤矿安全 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004.
- [251] 王省身, 张国枢. 矿井火灾防治 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1990.
- [252] 吴宗之, 刘茂. 重大事故应急救援系统及预案导论 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [253] 钟蕴英, 关梦媛, 王慧中. 煤化学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989.
- [254] 徐精彩, 张辛亥, 等. 煤层自燃胶体防火理论和技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [255] 陈炎光, 等. 中国煤矿巷道围岩控制 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [256] 周心权, 吴兵. 矿井火灾救灾理论与实践 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.
- [257] 宋永津. 煤矿均压防火 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [258] 黄伯轩. 采场通风与安全 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992.
- [259] 李建新, 赵云锋. 易燃厚煤层超长工作面综放开采防灭火技术研究 [C]//煤炭工业技术委员会. 安全高效现代化矿井建设: 2004 年度煤炭工业总工程师论坛文集. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004.
- [260] 王悦恒, 赵云锋. 易燃厚煤层超长综放面采空区火灾治理技术. 矿业安全与环保 [J], 2005.
- [261] 王悦恒, 赵云锋. 易自燃煤层综放面撤除期间防火技术与实践. 煤炭科学技术 [J], 2003 (5).
- [262] 周军民. 义马矿区防灭火技术的现状与展望 [J]. 中州煤炭, 1999 (2).
- [263] 周军民, 张吉林. 利用胶体泥浆治理综采面停采线的内因火灾 [J]. 煤, 2001 (1).
- [264] 周军民, 马立伟. 易自燃厚煤层综采放顶煤防灭火技术的应用 [J]. 煤炭科技, 2000 (3).
- [265] 周军民. 复合凝土防灭火技术的研究与应用 [J]. 煤炭科学技术, 2001 (1).
- [266] 周军民. 高分子防灭火材料在治理煤层自然发火中的应用 [J]. 中州煤炭, 2002 (5).
- [267] 周军民, 葛铜柱. 利用 CO₂ 发生器创造封闭工作面后封条件的实验 [J]. 中州煤炭, 2003 (1).
- [268] 周军民. 极易燃厚煤层综放开采防灭火适用技术群的研究. 科技、工程与经济社会协调发展 [M], 2004.
- [269] 周军民. 自然发火瓦斯超限条件下的安全封闭与缩封恢复 [J]. 煤矿开采, 2006 (2).
- [270] 魏恒泰, 陶云春. 易燃厚煤层开采的防灭火技术与实践 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.
- [271] 杨世杰, 王正元. 易燃煤层自然火灾原因及综合防治技术 [J]. 煤炭科学技术, 1995 (6).
- [272] 杜文军, 王中扬. 如何正确选择红外测温仪 [J]. 矿业安全与环保, 2002 (3).
- [273] 付永水, 李建新. 义马矿区煤层自然发火防治技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [274] 王德明. 矿井火灾学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.

- [275] 吴中立. 矿井通风与安全 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989.
- [276] 于不凡, 等. 煤矿瓦斯灾害防治及利用技术手册 [M]. 修订版. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [277] 俞启香. 矿井瓦斯防治 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1992.
- [278] 何国益. 矿井瓦斯治理实用技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.
- [279] 窦永山, 等. 瓦斯灾害防治技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [280] 王省身. 矿井灾害防治理论与技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1986.
- [281] 王永安, 朱云辉. 矿井瓦斯防治 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [282] 程五一, 张序明, 等. 煤与瓦斯突出区域预测理论及技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [283] 卫修君. 矿井降温理论与工程设计 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.
- [284] 舍尔巴尼, 等. 矿井降温指南 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1982.
- [285] 张世良, 等. 煤矿热害防治设计规范 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [286] 严荣林. 矿井空调技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1994.
- [287] 岑衍强. 矿内热环境工程 [M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1989.
- [288] 余恒昌. 矿山地热与热害治理 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991.
- [289] 袁东升. 矿山热害防治 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [290] 薛殿华. 空气调节 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1991.
- [291] 中国煤炭工业劳动保护科学技术学会. 矿井粉尘防治技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [292] 赵益芳. 矿井防尘理论与技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995.
- [293] 李德文, 马骏, 刘何清. 煤矿粉尘及职业病防治技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [294] 叶钟元. 矿尘防治 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
- [295] 范天吉. 煤矿粉(煤)尘防治综合技术手册 (1~3 卷) [M]. 长春: 吉林电子出版社, 2004.
- [296] 何学秋, 等. 中国煤矿灾害防治理论与技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [297] 张延松, 王德明, 朱红青. 煤矿爆炸、火灾及其防治技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [298] 赵书田. 煤矿粉尘防治技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1987.
- [299] 傅贵, 金龙哲, 徐景德. 矿尘防治 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [300] 刘增超, 史东涛. 煤矿粉尘治理技术现状及展望 [J]. 科技信息, 2008 (7): 266-299.
- [301] 何清海. 综掘工作面粉尘防治新技术 [J]. 矿业安全与环保, 2008, 35 (6): 31-33.
- [302] 张永吉, 李占德, 秦伟瀚, 等. 煤层注水技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [303] 王英敏. 矿井通风与防尘 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993.
- [304] 金龙哲. 矿井粉尘防治 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.
- [305] 祝文德, 徐树军, 付香智. 浅谈煤矿粉尘的治理 [J]. 今日科苑, 2008 (7): 133.
- [306] 王兆喜, 江兆利, 周长超, 等. 煤矿粉尘在线监测及智能喷雾降尘技术 [J]. 煤矿安全, 2008 (7): 35-38.
- [307] 马骏. 煤矿呼吸性粉尘监测分析技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [308] 史文安. 重力沉降法测量烟道粉尘和机械破碎性粉尘的分散度 [J]. 重庆环境科学, 1988, 10 (3): 39-43.
- [309] 刘德政. 煤矿“一通三防”实用技术 [M]. 太原: 山西出版集团·山西科学技术出版社, 2007.
- [310] 张国枢, 谭允祯, 陈开岩, 等. 通风安全学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.
- [311] 周文涛, 江兆利, 董凤波, 等. 湿式喷浆工艺在煤矿巷道工程中的应用研究 [J]. 科技创新导报, 2008 (25): 93.
- [312] 张强. 井下轨道大巷洒水除尘装置的设计应用 [J]. 中州煤炭, 2007 (3): 14-16.
- [313] 李拥军. 煤层钻孔施工中综合防尘技术研究 [J]. 淮南职业技术学院学报, 2005, 3 (5): 5-6.

- [314] 张双全, 吴国光, 周敏, 等. 煤化学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009.
- [315] 韩德馨, 任德昭, 王延斌, 等. 中国煤岩学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.
- [316] 白浚仁. 煤质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [317] 袁三畏. 中国煤质论评 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [318] 陶著. 煤化学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1987.
- [319] 郭崇涛. 煤化学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1992.
- [320] 赵跃民. 煤炭资源综合利用手册 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [321] 谢广元, 等. 选矿学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [322] 王敦曾, 等. 选煤新技术的研究与应用 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [323] 郝凤印主编. 选煤手册 (工艺部分) [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.
- [324] 蔡璋. 浮游选煤与选矿 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991.
- [325] 丁立亲. 浮选理论和实践 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1987.
- [326] 吴式瑜, 等. 选煤实用技术手册 (上卷) [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [327] 张志文. TBS 干抗床及其在粗煤泥分选中的应用 [J]. 中国煤炭, 2006, 12.
- [328] 蒋志伟. 自生介质螺旋滚筒选煤 [J]. 选煤技术, 2000, 1.
- [329] 张宝玉. 表面改质机在东曲矿选煤厂的应用 [J]. 中国煤炭, 2007, 6.
- [330] 赵树彦, 等. 中国第三代 FJC 系列煤用喷射式浮选机的应用实践 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2008, 5.
- [331] 李平, 高亚平. 浮选新型设备——双流态微泡浮选机 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2006, 5.
- [332] 沈丽娟, 陈建中. XL 系列螺旋分选机 [J]. 煤, 1999, 6.
- [333] 胡建平. 螺旋分选机在晋华宫选煤厂的应用 [J]. 山西煤炭, 2005, 1.
- [334] 孙继平. 煤矿监控系统手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.
- [335] 于洪珍. 《通信电子电路》名师大课堂 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [336] 丁恩杰, 刘晓文, 赵小虎, 等. 北京: 控制网络与现场总线 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [337] 于洪珍. 《通信电子电路》教案 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [338] 于洪珍. 通信电子电路教学参考书 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [339] 童敏明. 现代传感器技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [340] 张健文. 电气设备故障诊断技术 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [341] 于洪珍. 通信电子电路 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [342] 付慧生. 复杂可编程逻辑器件与应用设计 [M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2005.
- [343] 邓世建. 远程故障诊断技术与应用 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2005.
- [344] 刘富强. 数字视频信息处理与传输教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [345] 孙继平. 煤矿瓦斯的监测与检查 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004.
- [346] 孙继平. 煤矿信息与自动化 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [347] 李明. 跳汰分选过程智能控制系统 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [348] 何凤有, 谭国俊. 矿井直流提升机计算机控制技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [349] 任子晖. 煤矿电网谐波分析与治理 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [350] 丁恩杰. 监测监控系统与现场总线 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [351] 孙继平. 矿井安全监控原理与系统 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [352] 孙继平, 兰西柱. 煤矿电气安全 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [353] 陈昊. 开关磁阻调速电动机的原理、设计、应用 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [354] 童敏明. 催化传感器研究及应用技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.

-
- [355] 黄民, 肖兴明. 机械故障诊断技术及应用 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [356] 孙伟. 循环流化床锅炉过程控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [357] 孙伟. 自适应遗传算法理论与应用 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [358] 于洪珍. 通信电子线路 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [359] 孙继平. 煤矿防治瓦斯事故培训教材: 煤矿瓦斯治理十二字方针解析 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [360] 张申, 张宝明, 谭得健. 中国煤矿高产高效技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [361] 刘富强, 钱建生, 曹国清. 多媒体图像技术及应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- [362] 于洪珍. 多媒体技术在矿山监测监控系统中的应用 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998.
- [363] 王汝琳. 矿井环境传感技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [364] 郭达志, 盛业华, 胡明星, 等. 矿区环境灾害动态监测与分析评价 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [365] 徐钊, 姜秀柱. 矿井图像监控 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [366] 孙继平. 跨世纪煤炭工业新技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997.
- [367] 孙继平, 朱李平. 单片机应用系统与电气防爆 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1994.
- [368] 孙继平. 矿井监测与控制 [M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1990.

责任编辑 向云霞 郑发科 牟金锁 袁 筠 史 杰
罗秀全 刘永兴 肖 力 张媛媛 武鸿儒
成联君 张江成 徐 武 李鸿彬 李 佳
尹忠昌 周鸿超

编 审 陈 昌 姜庆乐 刘新建 李振祥 顾建中
孙金铎

