



煤矿废弃地生态植被 恢复与高效利用

樊金拴 杨爱军 著

 科学出版社

煤矿废弃地生态植被 恢复与高效利用

樊金拴 杨爱军 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是根据作者多年来的研究成果撰写而成的。全书系统地介绍了煤炭开采的环境影响、煤矿废弃地的生态环境、煤矿废弃地的土壤重构、煤矿废弃地的污染治理、煤矿废弃地的植被建植与管理、煤矿固体废弃物的综合利用以及国内外研究现状与发展趋势等内容,对科学合理地进行煤矿废弃地植被恢复与生态重建及固体废弃物的高效利用具有重要指导意义。

本书可供矿山、国土、林业、水利水保、园林、旅游等部门从事生态环境建设的教学、科研、设计、工程、生产、管理人员及相关专业的研究生、大中专学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿废弃地生态植被恢复与高效利用/樊金拴,杨爱军著. —北京:科学出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-03-045789-9

I. ①煤… II. ①樊…②杨… III. ①煤矿—工业用地—植被—生态恢复—研究 IV. ①S731.6②X171.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 226139 号

责任编辑:宋无汗 祝 洁 杨向萍 吴春花/责任校对:张怡君

责任印制:赵 博/封面设计:红叶图文

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 9 月第一次印刷 印张:24 1/2 插页 6

字数:500 000

定价:165.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

中国是一个产煤大国,煤炭产量居世界首位。2012 年中国煤炭产量达 36.5 亿 t, 占全球煤炭总产量的 46.4%。丰富的煤炭资源为国民经济发展提供了 95% 的一次能源,带来了巨大的社会效益,但采矿活动及其废弃物的排放不仅破坏和占用大量的土地资源、加剧土地资源的短缺,而且使生态环境遭到极大的破坏,尤其是因采煤生产导致的土地挖损、塌陷、压占、破坏等引发的经济损失和生态破坏,严重影响了社会经济的可持续发展。据统计,目前,全国经采矿活动破坏的土地面积达 $4 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 其中,露天采场、排土场、矸石山和尾矿场共占 70% 左右,并以平均每年近 $2 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的速度增加。煤矿废弃地的产生不仅占用和破坏大量土地资源,尤其是宝贵的耕地资源,而且由于废弃地的物理结构不良、水分缺乏、极端贫瘠、重金属含量过高、极端 pH 等众多危害环境的极端理化性质特点,使得其对环境的危害持久而严重。不仅限制植物生长,而且常带来水土流失和土地沙化、重金属污染、矸石山自燃污染大气环境等诸多生态环境问题,特别是含有煤粉、高硫煤矸、深层岩石的矸石山和排土场,对周边地区造成的危害更为严重。因此,快速、高效地进行矿区废弃地生态恢复意义重大而迫切。

煤矿废弃地的植被恢复与生态重建是我国生态环境建设的重要组成部分,也是多年来国际上备受关注的研究领域。研究证明,矿区生态系统是典型的以矿山开采区为核心的退化生态系统,其特征主要表现在植被破坏、水土流失、地质灾害(滑坡、塌陷、泥石流等)、环境污染和景观影响等方面,其生态环境问题具有复杂性、综合性和动态性的特点,即土地功能退化、生态结构缺损、功能失调等问题。矿区的生态恢复应根据矿山不同开采时期的技术特点和自然环境等因素,及时制订相应的复垦或生态修复方案,通过工程、生物及其他综合措施来恢复和提高生态系统的功能,依靠生态系统的自选择、自组织、自适应、自调节、自发展等功能,辅以科学合理的人工修复措施加速生态系统的顺向演替过程,实现生态系统的良性循环。实践证明,建立稳定的人工植物群落是治理煤矿区生态环境污染与破坏的最根本、最经济、最现实的途径。矿区植被修复,主要是在生态学理论和原理的指导下,从基质改良、植物修复、土壤质量演变以及植被演替等方面,集成环境工程技术、农林栽培技术和生物技术,应用于矿区环境改良和生态恢复。因此,在加强对适应面较广的耐受性植物的筛选、培育工作的同时,

应当最大限度地保持矿区的原生态环境、保护生物多样性资源,并基于区域内的植物生长限制因子、生物多样性、先锋树种及主要伴生树种的生态位与现有植物的群落动态和种群空间分布格局的全面研究和以下 5 个方面的考虑,确定植被修复的模式、功能和群落演化动态,制订方案和配套的技术措施。①采用覆盖表土、施入化学药剂调节土壤酸碱度,通过添加肥料等措施改良土壤基质,增强土壤肥力是恢复矿山植被的基础。基质改良应以生物修复为主,以物理和化学修复为辅,同时加大加快新技术的应用。②植被恢复是矿山废弃地生态恢复的关键,重建植被是重建生物群落的基础和重点。在物种选择中,应注意结合当地自然条件,筛选种植乡土物种为主,同时兼顾经济效益。③煤矿废弃地是一种次生裸地,其植被恢复过程具有原生演替的特征,生态系统的自然恢复极端缓慢,因此必须深入研究自然状态下矿业废弃地植被演替规律,只有通过植被演替阶段的人工模仿和控制,才能在一定程度上改变生态系统演替的方向和速度,加快植被恢复的速度,缩短其恢复周期。这样做还可以避免不适当的短期恢复,使恢复策略与长期的生态系统恢复目标相平衡。④矿业废弃地植被恢复研究具有很强的区域性,研究结果会因所选择研究区域的不同而不同,而且矿业废弃地退化生态系统类型多样、退化程度与退化原因各异,其恢复过程中生物多样性的变化规律、功能和作用机制也不同。因此,需要对不同区域矿业废弃地退化生态系统做更深入的研究,从而制订科学的矿业废弃地退化生态系统恢复措施和生物多样性保护措施。⑤从源头上解决矿山废弃地问题,把生态恢复作为矿业生产的一部分,提倡清洁生产,积极开展废弃物的有效利用,使矿业废料作为一种新型资源,变废为宝。

煤矸石作为煤炭开采和加工过程中的必然产物,是矿区环境污染和恶化的主要来源之一。随着我国经济的快速发展,煤炭工业产能的持续扩大,煤矸石堆放的体积越来越大,数量越来越多,形成矿区大量的废弃地,造成土壤污染、土地生产力下降。但是,煤矸石的化学组成复杂,有用成分多,含量高,开发利用前景十分广阔。因此,煤矸石综合利用成为亟待解决的技术和环境问题,也是煤炭企业改善矿区生态环境和培育新的经济增长点的重要途径。经过多年努力,我国在煤矸石综合利用的产业化方面取得了可喜成绩,煤矸石的综合处理能力目前已超过 4 亿 t/年,但由于受资源性质、经济条件、技术设备以及市场变化的影响,目前我国煤矸石的综合利用率不高,仅为 62.2%。煤矸石综合利用的途径主要包括煤矸石发电、生产建材以及填埋、复垦造田、筑路、充填采空区等,其中,发电利用占煤矸石总处理量的 10%~40%,约占煤矸石产生总量的 21%;填埋、筑路和充填采空区等是最主要的无害化处理方式,占总处理量的 50%~80%,约为产生总量的 30%;建材的处理能力较低,仅占总处理量的 10%~15%,低于产生总量的 8%;超过 35%的煤矸石仍然采取堆存的方式。然而,不论是与发

达国家相比,还是相对于我国巨大的煤矸石产生量,我国煤矸石的利用率都还比较低。因此,要加强对煤矸石组分、结构与特性等的研究,根据煤矸石的特性和实际需要,开发新用途。以大宗量为重点,遵循因地制宜原则,发展高科技含量、高附加值的煤矸石综合利用技术,在大型产煤基地建立一个以煤炭工业为基础的大型产业链,包括大型煤矿、煤矸石发电厂、煤矸石水泥厂、煤矸石砖厂、化肥生产厂等一系列以煤炭为基础的工业集群,其中煤矸石发电厂利用大型煤矿生产的工业废弃物煤矸石进行发电,其产生的高炉矿渣作为水泥生产熟料;多余煤矸石用来生产高性能轻质煤矸石水泥和煤矸石保温砖。这样不但能够充分利用工业废弃物,解决污染和占地问题,还能够做到进一步节省矿物资源,减少运输成本,达到资源利用最大化,产出利益最大化,这也是建设资源节约型环境友好型社会的具体体现。相信在国家政策的支持和约束下,未来煤矸石的综合利用市场发展空间很大,但由于农业、化工产业对煤矸石成分要求较高,煤矸石在农业、化工等领域发展速度缓慢,煤矸石以在能源、建筑材料领域的综合利用为主,向着建立煤—焦—电—建材、煤—电—化—建材等多种模式的循环经济园区方向发展。随着高新技术的发展与市场效益的提升,煤矸石在化工等领域的应用将日渐增多,煤矸石的高附加值利用将成为煤矸石综合利用的发展方向。

自20世纪80年代以来,在党和政府的重视下,国内众多单位和科技工作者积极并广泛地开展了采矿废弃地的生态重建与煤矸石的综合利用研究,对废弃矿山区生态恢复的研究领域已扩展到生物多样性、景观生态学、植被生态学、生态经济学、安全经济学及可持续发展等方面,并已经取得了显著的理论成果和实践成效。随着科技的发展,矿区生态环境修复与煤矸石综合利用的技术越来越先进,方法越来越多,效果越来越好。但是,新的问题也不断涌现,其中最重要的问题是理论和技术的支撑还较薄弱,行之有效的、成熟的技术还较少,设备和规模、竞争力等方面落后。因此,煤矿废弃地生态环境修复与废弃物综合利用研究前景广阔、任重道远。

作者自2003年以来,先后参加、承担了“退耕还林还草工程区水土保持型植被建设技术与示范”、“辽宁省阜新市退耕还林建设工程综合试验示范”和“煤矸石废弃地人工植被建设技术研究”等国家级、省部级研究课题,通过资料查询、野外调查、室内测定、综合分析等,研究了矸石地生态环境特点、植被演替特点、植被类型、改土效应及人工植被建设技术,在矸石地类型划分、土壤重金属元素的污染评价等方面进行了积极探索,取得了一系列创新性成果。在对我国阜新矿区、铜川矿区、兖州矿区、新密矿区等13个煤矸石废弃地的气候和土壤因子等调查的基础上,系统研究了北方煤矸石废弃地土壤环境状况,阐明了煤矸石废弃地土壤污染特征,对煤矸石废弃地类型进行了划分和评价。在分析了各类煤矸石废弃地的植被类型及特征的基础上,揭示了煤矸石废弃地植被自然演替规律。研究了煤矸石废弃地植被的抗污染作用及改良土壤的效应,查明了植物吸

收 As、Hg、Cu、Zn、Cr、Pb 等元素的能力以及植物生长发育与煤矸石废弃地中有害元素含量的关系,并筛选出一批能富集重金属元素的植物。通过技术开发、技术集成、试验示范,建立了植物种类选择、整地方式、配置模式、经营调控等煤矸石废弃地植被高效建设技术体系。教育部组织的专家鉴定意见:项目“北方煤矸石废弃地植被恢复技术研究”的成果总体上达到了同类研究的国内领先水平。为了适应煤矿废弃地生态植被恢复对理论与技术的需要,促进煤矿废弃地植被恢复与固体废弃物综合利用水平的提高,作者在归纳、总结国内外在煤矿废弃地植被恢复与煤矿固体废弃物综合利用研究的基础上,凝练了近十年来相关研究工作所取得的成果,撰写了本书。

本书系统论述了煤炭开采对环境的破坏与影响、煤矿废弃地生态环境特点、煤矿废弃地植被演替规律、煤矿废弃地土地复垦与土壤改良、煤矿废弃地植被建设、煤矿固体废弃物综合利用的研究与实践以及国内外研究现状与发展趋势,这是作者多年来学习与研究成果的结晶,集理论性、实践性、系统性于一体。全书共七章,第一章概述了煤炭开采的环境影响,包括煤炭开采方式与特点,煤炭开采的生态环境影响,煤矿废弃地类型与形成机制。第二章论述了煤矿废弃地生态环境,包括煤矿废弃地气候、土壤、植被类型与特征及植被演替特点,以及煤矿废弃地立地类型划分。第三章为煤矿废弃地土壤重构,包括煤矸石废弃地土地复垦和土壤改良。第四章为煤矿废弃地污染治理,包括煤矿废弃地污染,煤矸石地重金属污染评价,煤矿废弃地重金属污染治理,以及植被恢复对煤矿废弃地土壤的影响。第五章为煤矿废弃地植被建设与管理,包括煤矿特殊废弃地植物种类选择,植被配置模式,植被抗旱建植,植被抚育管理,以及不同类型废弃地植被建设。第六章为煤矿固体废弃物综合利用,介绍了煤炭生产与加工利用中的固体废弃物煤矸石与粉煤灰组成、性质、分类,以及煤矸石能源化利用、用作填筑材料、制造建筑材料和化工产品及其他利用途径和粉煤灰的综合利用概况。第七章是煤矿废弃地植被恢复与高效利用现状,包括国内外矿区植被恢复与综合利用的概况,以及开展矿区生态植被恢复与高效利用的必要性和可行性。

本书力求反映当前煤矿废弃地复垦的最新进展,参考了大量文献资料,限于篇幅未能将所有参考文献一一列出,在此对所有从事煤矿废弃物综合利用与生态修复的科技工作者致以敬意与感谢。限于作者的水平,书中不妥、疏漏之处在所难免,敬请批评指正。

樊金拴

2015年2月

目 录

前言

第一章 煤炭开采的环境影响	1
第一节 煤炭开采方式与特点	1
一、露天开采	2
二、井下开采	5
第二节 煤炭开采的生态环境影响	10
一、煤炭开采的环境危害	11
二、煤炭开采的生态破坏	20
第三节 煤矿废弃地类型及形成机制	34
一、煤矿废弃地类型	34
二、煤矿废弃地形成机制	36
第四节 小结	46
参考文献	47
第二章 煤矿废弃地生态环境	49
第一节 研究地区概况	50
一、阜新矿区	51
二、铜川矿区	55
三、兖州矿区	57
四、新密矿区	59
第二节 气候	61
一、地形特征	61
二、气候类型	62
三、气候特点	63
第三节 土壤	64
一、土壤肥力特征	64
二、土壤肥力测定	69
三、土壤肥力评价	70
第四节 植被	83
一、植被类型与特征	83
二、植被演替特点	88
第五节 立地类型划分	100

一、主要立地因子	100
二、立地类型划分	103
第六节 小结	109
参考文献	111
第三章 煤矿废弃地土壤重构	114
第一节 煤矿废弃地土地复垦	115
一、采煤塌陷地复垦	117
二、排土(岩)场复垦	132
三、矸石山复垦	138
四、挖损土地(露天采场、取土场)和工业场地复垦	150
五、复垦模式与工程体系	155
第二节 煤矿废弃地土壤改良	159
一、土壤改良途径	160
二、土壤改良措施	161
三、土壤改良方法	163
第三节 小结	170
参考文献	173
第四章 煤矿废弃地污染治理	175
第一节 煤矿废弃地污染	175
一、煤矿废弃地污染源	175
二、煤矿废弃地土壤重金属污染	178
第二节 煤矸石地重金属污染评价	184
一、地质累积指数法评价	185
二、潜在生态危害指数法评价	190
第三节 煤矿废弃地重金属污染治理	192
一、水、大气、噪声污染防治	193
二、固体废弃物污染防治	193
三、重金属污染土壤的植物治理修复	198
第四节 植被恢复对煤矿废弃地土壤的影响	214
一、土壤理化性质	214
二、土壤养分状况	224
第五节 小结	233
参考文献	235
第五章 煤矿废弃地植被建设与管理	239
第一节 植物种类选择	239
一、植物种类选择的原则	239
二、植物种类选择的标准	240
三、适宜的植物种类	241

第二节 植被配置模式	245
一、排土场植被配置模式	245
二、矸石山植被配置模式	246
第三节 植被抗旱建植	248
一、整地	248
二、播种育苗	250
三、栽植	255
第四节 抚育管理	263
一、施肥	263
二、浇水灌溉	263
三、松土除草	263
四、病虫害防治	264
五、封山育林	264
第五节 不同类型废弃地植被建设	264
一、露天采场植被建植	264
二、排土场植被建植	269
三、矸石山植被建植	274
四、塌陷地植被建植	283
五、粉煤灰场植被建植	285
第六节 小结	287
参考文献	289
第六章 煤矿固体废弃物综合利用	290
第一节 煤矸石的组成、性质与分类	290
一、煤矸石的组成	291
二、煤矸石的性质	294
三、煤矸石分类	297
四、煤矸石综合利用途径	300
第二节 煤矸石能源化利用	303
一、从煤矸石中回收煤炭	303
二、煤矸石发电	303
三、煤矸石制气	304
第三节 煤矸石作填筑材料	304
一、煤矸石充填采空区	304
二、煤矸石复垦塌陷区	305
三、煤矸石作路基材料	306
第四节 煤矸石制造建筑材料	309
一、煤矸石制砖	309
二、煤矸石制水泥	313

三、煤矸石制陶瓷和陶粒	316
四、煤矸石制其他建筑材料	318
第五节 煤矸石生产化工产品	319
一、煤矸石制 4A 分子筛	320
二、制备铝系产品	322
三、制备硅系产品	326
四、制备钛白粉	326
五、制无机纤维	326
六、制取高效混凝剂	327
七、煤矸石在高分子材料方面的应用	327
第六节 煤矸石的其他应用	327
一、煤矸石肥料	327
二、煤矸石改良土壤	329
三、直接回收煤矸石中共伴生组分	329
四、煤矸石制取造纸涂料	330
五、提取煤矸石有价元素	330
第七节 粉煤灰的综合利用	330
一、粉煤灰的组成、性质与用途	331
二、利用粉煤灰回收工业原料	332
三、粉煤灰作建筑材料	334
四、粉煤灰作土建原材料和填充土	334
五、粉煤灰作农业肥料和土壤改良剂	334
第八节 小结	335
参考文献	337
第七章 煤矿废弃地植被恢复与高效利用现状	339
第一节 国外矿山植被恢复与综合利用概况	339
一、煤矿废弃地治理与生态植被恢复研究现状	339
二、煤矸石综合利用现状	347
第二节 国内矿山植被恢复与综合利用概况	347
一、煤矿废弃地治理与生态植被恢复研究现状	347
二、煤矸石、粉煤灰综合利用现状	359
第三节 煤矿废弃地植被恢复与高效利用的意义	368
一、煤矿废弃地植被恢复与高效利用的必要性	368
二、煤矿废弃地植被恢复与高效利用的可行性	372
第四节 小结	374
参考文献	376
后记	380
彩图	

第一章 煤炭开采的环境影响

我国煤炭资源丰富，截至 2007 年，已查明资源储量为 1 万亿 t，居世界第三位。除台湾地区外，我国垂深 2000m 以浅的煤炭资源总量为 55 697.49 亿 t，其中探明保有资源量为 10 176.45 亿 t，预测资源量为 45 521.04 亿 t。在探明保有资源量中，生产、在建井占用资源量为 1916.04 亿 t，尚未利用资源量为 8260.41 亿 t。世界知名能源企业英国石油公司（BP）发布的 2013 年《BP 世界能源统计》显示，2012 年全球煤炭产量为 78.6 亿 t，其中，煤炭产量超过亿吨的前 10 个国家分别是中国、美国、印度、澳大利亚、印度尼西亚、俄罗斯、南非、德国、波兰和哈萨克斯坦（表 1.1），约占全球煤炭总产量的 90%，而中国的煤炭产量达 36.5 亿 t，占全球煤炭总产量的 46.4%。可见，我国是全球煤炭开采量最大的国家。但是煤炭开采给人类带来巨大财富的同时也给环境造成了不可逆的影响，导致矿区生态退化与环境污染，严重制约了矿区社会经济的可持续发展。

表 1.1 2012 年产煤量最大的 10 个国家煤炭产量及占全球煤炭总产量比例

国家	年产量/Mt	占全球总产量/%
中国	3650	46.4
美国	922	11.7
印度	606	7.7
澳大利亚	431	5.5
印度尼西亚	386	4.9
俄罗斯	355	4.5
南非	260	3.3
德国	196	2.5
波兰	144	1.8
哈萨克斯坦	116	1.5
总计	7066	89.8

第一节 煤炭开采方式与特点

煤炭是我国最为重要的能源，对国民经济发展有着举足轻重的作用，是我国可持续发展战略实施的资源保证。我国煤炭资源分布广泛，但不均匀（李凤明，2011）。在全国煤炭地质总储量中，以大别山-秦岭-昆仑山为分界线，北部区域

煤炭资源远多于南方, 67%分布在西北干旱、半干旱地区, 20%分布在西南山区 (Pan et al., 2012)。北方地区包括东北、华北、西北和苏北、鲁、皖北、豫西 17 个省 (市、区), 国土面积为 $5 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占全国总面积的 52%, 煤炭地质储量占全国总储量的 93.5%; 南方地区包括西南、两湖、两广、海南和赣、浙、沪、闽 14 个省 (市、区), 国土面积为 $4.6 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占全国总面积的 48%, 煤炭地质储量仅占全国总储量的 6.5%。在南方区域, 煤炭资源又主要集中在云、贵、川三省, 煤炭地质储量占南方总储量的 90%。以京广铁路为分界线, 西部区域煤炭资源大大多于东部。西部地区包括西北、西南和晋、蒙西、豫西 13 个省 (市、区), 国土面积约有 $6.1 \times 10^6 \text{ km}^2$, 煤炭地质储量占全国的 85%; 西部地区煤炭资源又主要集中在以山西为中心的周边地区, 国土面积为 $1.1 \times 10^6 \text{ km}^2$, 煤炭地质储量占全国总储量的 51%。东部地区包括 18 个省 (市、区), 国土面积为 $3.5 \times 10^6 \text{ km}^2$, 煤炭地质储量仅占全国总储量的 15%。从省、区来看, 新疆、内蒙古、山西和陕西四省 (区) 的煤炭地质储量占全国总储量的 81.3%; 东北三省占 1.6%; 华东七省 (市、区) 占 2.8%, 江南九省占 1.5%。煤炭资源的地域分布不均匀, 主要分布在山西、陕西、内蒙古、山东、淮南、淮北等地区。在查明资源储量中, 晋、陕、蒙、宁占 67%; 新、甘、青, 云、贵、川、渝占 20%; 其他地区仅占 13%。

煤炭开采就是移去煤层上面的表土和岩石 (覆盖层), 开采显露的煤层。其中, 移去土岩的过程称为剥离, 采出煤炭的过程称为采煤。由于煤炭资源的埋藏深度不同, 一般相应地采用矿井开采 (埋藏较深) 和露天开采 (埋藏较浅) 两种方式。

一、露天开采

露天采矿是指利用一定的采掘运输设备, 在敞露的空间从事开采作业。露天采煤通常将井田划分为若干水平分层, 自上而下逐层开采, 在空间上形成阶梯状。其主要生产环节是首先用穿孔爆破并用机械将岩煤预先松动破碎, 然后用采掘设备将岩煤由整体中采出, 并装入运输设备, 运往指定地点, 将运输设备中的剥离物按程序排放于堆放场; 将煤炭卸在洗煤厂或其他卸矿点。此法在煤层埋藏不深的地方应用最为合适, 许多现代化露天矿使用设备足以剥除厚达 60 余米的覆盖层。在欧洲, 褐煤矿广泛用露天开采, 在美国, 大部分无烟煤和褐煤也用此法。露天开采用于地形平坦, 矿层作水平延展, 能进行大范围剥离的矿区最为经济。当矿床地形起伏或多山时, 采用沿等高线剥离法建立台阶, 其一侧是山坡, 另一侧几乎是垂直的峭壁。露天开采使地面受到损害或彻底的破坏, 应采取措施, 重新恢复地面。美国有几个州和联邦政府的法律规定了恢复土地的措施, 现在许多采掘企业已自愿执行这些规定。露天采煤已经广泛用于开采煤炭、金属

矿、冶金辅助原料建筑材料及化工原料等矿床。当今世界 95% 以上的能源和 80% 以上的工业原料来自矿产资源。我国 90% 的铁矿石, 52% 的有色金属矿石, 77.7% 的化学原料矿石, 100% 的建材矿石几乎都采用露天开采方式开采。可见露天开采的资源量在总资源量中的比重大小, 是衡量开采条件优劣的重要指标, 煤炭虽然是我国的主要能源, 与国外主要采煤国家相比, 我国煤炭资源开采条件属中等偏下水平, 可供露天矿开采的资源极少, 储量仅占 7.5%, 而美国为 32%, 澳大利亚为 35%。除晋、陕、蒙、宁和新疆等省、区部分煤田开采条件较好外, 其他煤田开采条件较复杂, 露天开采比重不足 10%。目前, 我国露天煤矿进入了大型化、集中化、现代化的新时代, 尤其是在引进了国外先进的露天采矿设备以及广泛应用计算机技术以后, 大大提高了露天煤矿开采的效率。目前已建成或改扩建的千万吨露天煤矿有准格尔黑岱沟露天煤矿 ($30.0 \times 10^6 \text{ t/年}$), 宝日希勒一号露天煤矿 ($20.0 \times 10^6 \text{ t/年}$)、魏家峁露天煤矿 ($12.0 \times 10^6 \text{ t/年}$)、白音华三号露天煤矿 ($14.0 \times 10^6 \text{ t/年}$)、霍林河露天煤矿 ($10.0 \times 10^6 \text{ t/年}$)、锡林浩特胜利东二号露天煤矿 ($10.0 \times 10^6 \text{ t/年}$)、神华新疆准东露天煤矿 ($20.0 \times 10^6 \text{ t/年}$) 和新疆帐篷沟露天煤矿 ($10.0 \times 10^6 \text{ t/年}$) 等。

(一) 开采方式

我国现有生产露天矿采用的开采程序都比较单一, 主要采用缓工作帮、全境界开采方式。煤矿绝大多数采用的工作线呈平行走向分布, 垂直走向推进的纵向开采方式。

运物方式是露天矿开拓的核心问题。目前采用的开拓方法主要有铁路运输、公路运输、铁路与公路联合运输、汽车箕斗联合运输、汽车破碎机带式输送机运输等。

然而, 高效集约化矿井建设是煤炭工业的发展方向。开采规模大型化、工艺设备大型化、工艺连续化和半连续化、开拓方式多样化、生产管理现代化, 并且扩大电子计算机、系统工程等学科在露天矿设计、规划和生产中的应用是我国露天开采技术的发展方向。

(二) 开采工艺

露天煤矿开采流程主要为: 穿爆—采装—运输—排土。开采工艺主要有: 间断开采工艺、连续开采工艺、半连续开采工艺、拉斗铲倒堆开采工艺和综合开采工艺等。其中, 间断开采工艺是指挖掘机—汽车—推土机组成的采、运、排系统, 矿物的流动是间断的, 包括有单斗—铁道开采工艺、单斗—卡车开采工艺等。连续开采工艺是指轮斗—带式输送机—推土机开采工艺, 由轮斗—带式输送机—排土机组成的采、运、排系统, 矿物的流动是连续的。半连续开采工艺包括

有单斗—卡车—半固定破碎机—带式输送机开采工艺、单斗—移动式破碎机—带式输送机开采工艺等，兼具有间断开采工艺和连续开采工艺二者的特点。

现在露天采矿最具代表性的全连续工艺是轮斗挖掘机—带式输送机—排土机工艺，该工艺具有高效率、低成本的特点。但由于矿产资源埋藏和地质条件不同，连续工艺的应用受到限制。

半连续工艺能够更好地适应各类矿藏埋藏条件，达到了广泛应用。其中，最典型的半连续工艺是单斗—卡车—半固定破碎站—胶带输送机系统，该工艺同时具备单斗—卡车适应性强和带式输送机成本低的优点，应该应用于国内许多大型露天煤矿。此外，单斗—移动式破碎机—胶带输送工艺系统，能够实现坑内破碎后直接接入胶带机运输系统，并实现多台阶运行，在我国伊敏河露天煤矿和中国电力投资集团公司（中电投）白音华露天煤矿投入了使用。

近几年，多种开采工艺综合应用已经成为大型露天矿开采的一种发展模式。例如，我国自行设计、自行组织建设与管理的准格尔矿区黑岱沟露天矿上部黄土采用轮斗挖掘机—胶带运输机—排土机连续工艺；岩石剥离采用吊斗铲倒堆—单斗电铲—卡车间断工艺；下部煤层采用单斗电铲—卡车—半固定破碎站—胶带运输机半连续工艺，成为世界上露天煤矿工艺与设备集大成者。

表土剥离采用轮斗挖掘机—胶带系统，硬岩剥离采用抛掷爆破与巨型吊斗铲倒堆工艺，辅之以单斗电铲—卡车用于剩余硬岩的剥离工程，采煤采用单斗电铲—卡车—半固定破碎站—胶带运输机工艺。这种综合工艺系统充分发挥了各种工艺的优势，取得了很好的经济效益。

（三）开采设备

露天煤矿的主要开采设备是电铲和液压挖掘机。改革开放以来，我国先后引进英国、德国、美国等国家的挖掘机、大型卡车、破碎机。

近年来，我国露天矿在爆破技术和新型炸药研制方面取得了较大进展。在露天矿基建剥离时，成功地进行了万吨级大爆破和数十次百吨级和千吨级的大爆破，掌握了在各种复杂条件下进行松动爆破、抛掷爆破及定向爆破的技术。在炸药加工方面，成功研制出了多胺油炸药、多孔粒状胺油炸药、乳化炸药和防水浆状炸药。

我国露天矿一般采用 $1 \sim 4.6 \text{ m}^3$ 挖掘机进行采装。对于大型露天矿来说，这种挖掘机规格小，效率低，全年效率一般为 $1 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^6 \text{ t}$ 。目前少数大型露天矿采用 6 m^3 和 7.6 m^3 挖掘机装载，全年效率可达 $4 \times 10^6 \text{ t}$ 左右。尤其是露天矿采用的半连续工艺，其工艺系统环节的配合与设备选型、开拓运输方式、破碎机类型、设置及破碎过程参数选择、工艺系统的可靠性等均对半连续工艺系统的经济效益产生影响。因此，优化半连续工艺系统具有重大的经济意义。

露天矿铁路运输采用重 80t、100t 和 150t 重联的电机车和载重 60t 的翻斗车。汽车运输一般使用载重 20~40t 级的自卸汽车。少数矿山使用了 100t 级的电动轮汽车,个别矿山还引进了 170t 的载重汽车。

目前,煤矿使用的电铲最大斗容量已达 76.5m^3 ,在大唐国际锡林浩特矿业公司率先实现使用,与之相配套的卡车最大装载质量达 360t,液压挖掘机最大铲斗容量达 55m^3 ,拉斗铲的铲斗容积达 160m^3 ,轮斗挖掘机日生产能力 $2.4 \times 10^5\text{m}^3$,移动式破碎机破碎能力超过 10 000t/h。

二、井下开采

矿井开采(也称井下开采)条件的好坏与煤矿中含瓦斯的多少成反比,我国煤矿中含瓦斯比例高,高瓦斯和有瓦斯突出的矿井占 40%以上。我国采煤以矿井开采为主,如山西、山东、徐州及东北地区大多数采用这一开采方式。对埋藏过深不适于用露天开采的煤层,可用竖井、斜井、平硐 3 种方法取得通向煤层的通道。竖井是一种从地面开掘以提供到达某一煤层或某几个煤层通道的垂直井。从一个煤层下掘到另一个煤层的竖井称盲井。在井下,开采出的煤倒入竖井旁侧位于煤层水平以下的煤仓中,再装入竖井箕斗从井下提升上来。斜井是用来开采非水平煤层或是从地面到达某一煤层或多煤层之间的一种倾斜巷道。斜井中装有用来运煤的带式输送机,人员和材料用轨道车辆运输。平硐是一种水平或接近水平的隧道,开掘于水平或倾斜煤层在地表露出处,常随着煤层开掘,它允许采用任何常规方法将煤从工作面连续运输到地面。

井下采煤的顺序是对于倾角 10° 以上的煤层一般分水平开采,每一水平又分为若干采区,先在第一水平依次开采各采区煤层,采完后再转移至下一水平。开采近水平煤层时,先将煤层划分为几个盘区,立井于井田中心到达煤层后,先采靠近井筒的盘区,再采较远的盘区。如果有两层或两层以上煤层,先采第一水平最上面煤层,再自上而下采另外煤层,采完后向第二水平转移。

(一) 采煤方式

现国内煤矿采煤方式有综采、机采、炮采、水采、镐采等,机械化水平有高有低。机械化水平高的有:厚及特厚煤层综放开采、大采高综采、中厚及薄煤层综采,使用这些采煤工艺的采煤工人一般只操作机械手把、扳手,甚至电脑鼠标等,不用铲子,也不用收集碎块,机械自动收集;机械化水平低一点的有:高档普采,这种采煤方式用割煤机割煤,不但要工人用铲子清掏浮煤,还要抱单体支柱,体力劳动强度大;机械化水平更低一点的有:炮采、水力采等,这种采煤方式需要人工打眼、人工持枪,不但要工人用铲子清掏浮煤,还要抱单体支柱,体力劳动强度大;机械化水平最低的有:风镐采、手镐采等,这种采煤方式,要人

工用风镐或铲子挖,同时还要工人用铲子清掏浮煤,抱单体支柱,体力劳动强度最大,基本没有机械。

(二) 采煤方法

目前,世界主要产煤国家使用的采煤方法很多,总的可划分为壁式和柱式两大类采煤法。壁式采煤法的特点平行于煤壁方向运出工作面;柱式采煤法的特点是煤壁短,呈方柱形,同时开采的工作面数较多,采出的煤炭垂直于工作面方向运出。我国多采用壁式采煤法开采煤层。

由于我国特殊的地质条件和煤层赋予情况的多变性,常用采煤方法主要为走向长壁采煤法、倾斜长壁采煤法、倾斜分层长壁下行垮落采煤法、长壁放顶煤采煤法、急斜煤层采煤法和柱式体系采煤法。

1. 走向长壁采煤法

走向长壁采煤法是工作面沿走向推进的采煤方法。这种采煤法技术简单,应用成熟,适用性广泛,是我国开采缓斜、中斜煤层应用最广泛的方法。根据机械化应用程度可将其划分为普通机械化采煤法和爆破采煤法。爆破采煤法也叫炮采法,是较为传统的开采方法。该方法的工艺流程为人工装煤、打眼、放炮等,同时还具有人工装煤、爆破放煤、机械运煤的特点。在进行爆破采煤时,爆破工作面的环境有了很大改善,对于工作人员的安全保障也有了很大的提升,并且在工作时还配备了现代的机械设备,使得采煤人员的劳动能力有了很大的缓解。普通机械化采煤法也叫普采法,是在爆破采煤的基础上,应用采煤机来完成装煤与放煤,这样就大大提升了采煤的机械化,并降低了采煤工人的劳动力,不过在运煤与顶板支护等工艺上仍然采用了传统的运煤和支护的方法。

2. 倾斜长壁采煤法

倾斜长壁采煤法是工作面沿倾斜推进的采煤方法。这种采煤法巷道布置简单,巷道掘进和维护费用低,投产快,运输系统简单,占用设备少,运输费用低,通风线路简单,通风构筑物少。但分带斜巷内存在下行通风问题,长距离倾斜巷道使掘进、辅助运输和行人比较困难。在开采区域内不受走向断层影响,工作面足够具有连续推进长度的条件下,倾斜长壁采煤法适用于煤层倾角小于 12° 的煤层。倾斜长壁采煤法的突出优点就是在矿井允许的地质条件下,可以不需要布置上山与下山的采煤巷道,这样就减少了建矿前期的成本,还可以缩短建矿工期时间,使其尽早投入生产。从整个采煤工艺来看,倾斜长壁采煤法具有以下特点:①有利于煤矿中的排水。在采煤时,地下水可以沿着巷道自动的流到采空区内,在工作面上不会产生积水,大大改善了工作面上的工作环境。②有利于巷道的支护作用。在采煤时,在工作面上受到了采煤层倾斜倾角的影响,巷道顶板的岩层就会向采空区施加分力,在分力的作用下巷道顶板的岩层向着采空区发生移