

China's Open-pit Coal Mining Technology Development Trend

Peng Li¹ Zhongwei Liu² Jian Wang¹ Zengjian Qiao¹ Wei Hu¹

1. Guoyuan Power (Shendong Power) Co., Ltd., Technical Support Center, Xi'an, Shaanxi, 710061, China

2. Guoneng Baoqing Coal and Electricity Co., Ltd., Shuangyashan, Heilongjiang, 155600, China

Abstract

Open-pit coal mines are an important guarantee for China's energy security, accounting for 25% of the country's total coal production. This paper analyzes the distribution and diverse occurrence characteristics of domestic open-pit coal mines and other resource exploitation conditions, reviews the current status of intermittent and continuous mining technologies and the application of large-scale equipment, elaborates on the advantages of high resource recovery rate in open-pit mining, and discusses the future development trends of large-scale, continuous, and intelligent open-pit coal mines, providing references for the high-quality development of the industry.

Keywords

open-pit coal mine; mining conditions; mining technology; development trend

中国露天煤矿开采技术发展趋势

黎鹏¹ 刘忠伟² 王健¹ 乔增建¹ 胡伟¹

1. 国源电力(神东电力)有限公司技术支持中心, 中国·陕西 西安 710061

2. 国能宝清煤电化有限公司, 中国·黑龙江 双鸭山 155600

摘要

露天煤矿是中国能源安全的重要保障, 其产量占全国煤炭总产量25%。本文分析国内露天煤矿分布与多样赋存特征等资源开采条件, 梳理间断、连续等开采工艺及大型装备应用现状, 阐述露天开采的资源回收率高等优势, 探讨未来露天煤矿大型化、连续化、智能化等发展趋势, 为行业高质量发展提供参考。

关键词

露天煤矿; 开采条件; 开采工艺; 发展趋势

1 引言

煤炭作为中国能源体系的核心支柱, 其稳定高效开发直接关乎国家能源安全与经济社会发展全局。露天开采凭借资源回收率高、生产效率优异、安全保障能力强等显著优势, 已成为煤炭产能释放的重要增长极。中国现有生产露天煤矿357座, 虽仅占全国煤矿总数的8%, 却贡献了全国约25%的煤炭产量^[1-2]。

中国露天煤矿资源赋存条件呈现显著地域分异特征, 从新疆准东厚度达130米的巨厚煤层到晋北5~20米的中薄煤层, 从蒙东近乎水平的缓倾斜煤层到南方少数倾斜煤层, 复杂多样的赋存特征对开采技术与装备提出了差异化适配需求。尽管中国露天采矿技术已实现从引进消化吸收到自

主创新的跨越式发展, 间断、连续及半连续开采工艺日趋成熟, 大型挖掘机、自卸卡车等核心装备国产化率大幅提升, 但在能源结构转型背景下, 面对“降本增效、绿色低碳、安全智能”的行业发展诉求, 传统开采模式中存在的运输环节冗余、设备协同效率不足、智能化水平有待进一步提升等问题仍亟待突破^[3]。

基于此, 本文聚焦中国露天煤矿资源开发现状与赋存特征, 系统梳理当前采矿技术及装备的应用现状, 深入探讨未来露天采矿行业大型化、连续化、智能化的发展方向, 以期为推动露天采矿行业高质量发展、强化国家能源保障能力提供理论支撑与实践指引。

2 我国露天煤矿资源开发现状概述

2.1 露天煤矿资源分布概况

中国露天煤矿资源分布呈现显著的空间分异特征, 整体表现为“西多东少、北强南弱”的格局, 资源数量与储

【作者简介】黎鹏(1984-), 男, 中国陕西长武人, 工程师, 从事煤矿生产与技术管理研究。

量均高度集中于北方及西部地区。

据统计,国内现有生产露天煤矿 357 座,约占全国煤矿总数的 8%,露天煤矿广泛分布于内蒙古、新疆、山西、陕西与云南五省区的储量合计占全国露天煤矿总储量的 70% 以上,构成中国露天煤炭资源的核心分布区域。

近 10 年来,中国露天煤矿产量呈稳步增长态势,尤其是伴随煤炭开发重心向中西部资源禀赋优势区域转移,露天煤矿产能与产量实现持续提升。结合行业最新统计数据,当前全国露天煤矿年产量已达约 11.8 亿吨,占全国煤炭总产量的 25%,较 10 年前实现显著增长。其中,千万吨级以上大型露天煤矿成为露天开采产量的核心支柱,全国 40 座该等级露天煤矿年产量约为 8.2 亿吨,占露天开采总产量的 70%。

2.2 露天煤矿资源赋存特征分析

中国露天煤矿资源赋存呈现显著多样化特征,其空间分布与区域地质构造具有紧密关联性,在煤层厚度、倾角、开采深度及煤种等关键赋存指标上表现出明显地域分异,总体具备规模化开采的有利条件。在煤层厚度方面,西部矿区优势显著:新疆准东煤田单层煤层厚度普遍为 30 ~ 80 米,准东五彩湾矿区部分区域累计煤层厚度可达 130 米;蒙东霍林河、伊敏等矿区以 10 ~ 30 米的中厚煤层为主,且分布连续稳定;晋北平朔、蒙西准格尔矿区煤层厚度为 5 ~ 20 米,虽厚度较薄,但煤层结构简单、夹层发育较少。煤层倾角以缓倾斜为主,区域差异明显:蒙东、新疆多数矿区煤层倾角仅 2° ~ 8°,近乎水平分布;晋北、陕西榆林矿区煤层倾角相对较大,多为 8° ~ 15°;云南小龙潭等少数矿区部分煤层倾角达 15° ~ 25°,但该类赋存条件的矿区占比极低。开采深度整体契合技术经济开发要求,全国露天煤矿平均开采深度为 182 米,80% 的矿区集中在 100 ~ 300 米区间;其中蒙东伊敏、元宝山等矿区开采深度为 100 ~ 150 米,新疆准东、蒙西准格尔部分区域开采深度达 250 ~ 300 米,仍具备经济开采价值。上述赋存特征为中国露天煤矿高效开发奠定了坚实基础,为国家能源安全稳定供给提供了重要支撑。

2.3 露天开采的技术优势

相较于地下开采,露天开采在资源回收、生产效率、安全保障及成本控制等方面具有显著优势,具体表现如下:

资源回收率显著更优:露天开采通过直接揭露煤层进行作业,可有效规避地下开采中因煤层赋存条件制约、开采工艺局限性等导致的资源浪费问题。多数大型露天煤矿资源回收率可达 90% 以上,远高于地下煤矿 60% ~ 70% 的平均水平,资源利用效率优势突出。

生产效率大幅提升:露天开采可依托大型挖掘机、自卸卡车、轮斗挖掘机等重型装备开展规模化作业,单矿年产量可达到千万吨级乃至亿吨级。地下开采受开采空间受限、通风排水等条件约束,单矿年产量相对较低,二者生产效率

差距明显。

安全保障能力更强:露天开采作业环境具有开放性特征,能从根源上避免地下开采中易发生的瓦斯爆炸、顶板坍塌、透水等安全隐患。通过实施科学的边坡监测、爆破安全管控等技术措施,可将开采全过程风险控制合理区间内,作业安全性更具保障。

长期成本优势突出:尽管露天煤矿前期剥离工程量大、初始投资规模较大,但进入后续生产阶段后,得益于开采工艺相对简化、生产效率高、人工成本占比低等因素,其单位煤炭开采成本显著低于地下煤矿,长期运营的经济效益更为显著。

3 我国露天煤矿技术及装备发展的现状

3.1 开采工艺应用现状

当前,我国露天煤矿开采工艺主要包括间断开采工艺、连续开采工艺以及半连续开采工艺三种类型。具体来看,间断开采工艺是我国露天煤矿应用最为广泛的开采工艺,主要采用挖掘机-自卸卡车的作业模式,该工艺具有适应性强的特点,能够适用于不同煤层厚度、倾角和岩性条件的露天煤矿。轮斗连续开采工艺具有生产效率高、作业成本低、自动化程度高的优势,轮斗连续开采工艺主要应用于剥离工程,如元宝山、扎哈淖尔、伊敏等露天煤矿,而新疆纳露露天煤矿及宝日希勒露天煤矿采用轮斗连续工艺进行高效采煤。半连续开采工艺结合了间断开采工艺和连续开采工艺的优势,既能够适应一定的地质条件变化,又能保证较高的生产效率和较低的作业成本。半连续开采工艺广泛应用于各大露天煤矿采煤工程中,在剥离工程环节,如大唐东二、霍林河、元宝山及黑山露天煤矿应用单斗-卡车-破碎站-带式输送机-排土机半连续工艺进行高效排土作业,解决卡车远距离运输问题,有效平衡了地质条件、远运距和生产效率之间的平衡关系^[4]。

3.2 开采装备应用现状

我国露天煤矿开采装备逐步向大型化、国产化、智能化方向发展。在挖掘装备方面,国内大型露天煤矿广泛应用斗容 30 立方米以上的大型挖掘机,部分千万吨级露天煤矿则使用斗容 50 立方米以上的超大型挖掘机。在运输装备方面,大型自卸卡车是露天煤矿间断开采工艺的主要运输设备,目前国内露天煤矿广泛应用载重 100 吨以上的大型自卸卡车,部分大型露天煤矿采用载重 200 吨以上的超大型自卸卡车。国内装备制造企业在大型自卸卡车领域的自主研发能力不断增强,已能够生产载重 100 ~ 300 吨的大型自卸卡车,且在动力系统、制动系统、液压系统等关键部件的可靠性方面不断提升。在破碎装备方面,移动式破碎站和半移动式破碎站在露天煤矿的应用日益广泛,国内装备制造企业已能够自主生产处理能力 1000 ~ 5000 吨/小时的移动式破碎站和半移动式破碎站,且在破碎效率、设备稳定性等方面达到国

际先进水平。

4 我国露天煤矿未来开采趋势

4.1 开采设备大型化

随着露天煤矿开采规模的不断扩大,千万吨级、亿吨级露天煤矿数量逐步增加,对开采设备的生产能力提出了更高要求,大型化设备能够实现单台设备更高的作业效率,减少设备数量配置,降低设备管理和维护成本。例如,当前国内部分大型露天煤矿采用的斗容50立方米以上挖掘机和载重200吨以上自卸卡车,相较于中小型设备,单台设备的小时作业量可提升50%以上,能够有效满足大型露天煤矿规模化开采的需求。开采设备大型化带动了大型带式输送机、大型破碎站、大型转载机等配套设备的大型化发展,形成完整的大型化开采装备体系,进一步提升露天煤矿的整体开采效率。

4.2 开采工艺连续化运输

当前,中国露天煤矿主要采用间断开采工艺,存在运输环节多、作业效率受运输设备制约大、运输成本高等问题。连续化运输工艺通过带式输送机等连续运输设备实现煤炭的连续输送,能够有效减少中间转运环节,提升开采作业连续性和稳定性,降低运输成本。未来,随着露天煤矿开采技术的不断进步和对开采效率、成本控制要求的不断提高,连续化运输工艺的应用范围将逐步扩大。对于煤层厚度稳定、倾角小、顶底板岩性较软的大型露天煤矿,将进一步推广轮斗挖掘机-带式输送机的连续开采工艺,提升开采效率和资源回收率。对于地质条件相对复杂的露天煤矿,将加强半连续开采工艺中连续运输环节的优化,如提升移动式破碎站与带式输送机的匹配性、优化带式输送机的布置方式等,逐步向连续化运输方向发展。

4.3 电驱设备及储能技术应用

电驱设备相较于传统柴油驱动设备,具有能耗低、碳排放少、运行噪音小、维护成本低等优势,能够有效降低露天煤矿的能源消耗和环境影响。未来,电驱设备在露天煤矿的应用将逐步普及,除了目前已试点应用的电动自卸卡车外,电动挖掘机、电动轮斗挖掘机、电动装载机等电驱开采设备将逐步研发和应用。同时,为解决电驱设备的供电问题,露天煤矿将加强供电系统的建设和优化,如建设大容量变电站、优化供电线路布置等。储能技术的应用将与电驱设备发展相配套,通过储能系统储存电网低谷时段的电能,在电网高峰时段或电驱设备用电高峰期释放电能,实现电能的合理调配,降低露天煤矿的用电成本,同时提升供电系统的稳定性。目前,锂电池储能、钒液流电池储能等技术已在部分领域得到应用,未来将逐步在露天煤矿推广应用。

4.4 无人化、智能化开采

随着人工智能、大数据、物联网、5G等新一代信息技术的快速发展,无人化、智能化开采将成为未来露天煤矿开

采的发展趋势。在无人化开采方面,露天煤矿将实现开采工作面的无人化作业,通过远程操控中心对挖掘机、自卸卡车、轮斗挖掘机等开采设备进行远程操控,工作人员无需在开采现场作业,有效避免了开采过程中的安全风险。未来,随着无人化技术的不断成熟和完善,无人化开采将从试点应用逐步向规模化推广,实现露天煤矿全流程的无人化作业,包括开采、运输、破碎、排土等环节。智能化开采方面,露天煤矿将构建智能化开采管理系统,通过物联网技术实现对开采设备、生产流程、地质条件等数据的实时采集,利用大数据和人工智能技术对采集的数据进行分析和处理,实现开采方案的智能优化、生产过程的智能调控、设备故障的智能诊断等功能^[5-6]。智能化开采还将与数字孪生技术相结合,构建露天煤矿数字孪生模型,实现对露天煤矿开采过程的虚拟仿真和实时监控,为开采决策提供更加精准的支持。

5 结语

露天煤矿作为煤炭生产的重要组成部分,其开采技术和装备水平将迎来更大的发展机遇与挑战。未来,露天煤矿开采将进一步朝着大型化、连续化、绿色化、智能化方向迈进,以更好地满足国家能源安全需求和节能减排要求。开采设备大型化将进一步突破现有规格限制,配套设备的协同作业能力将显著提升,形成更加高效的大型化开采体系。开采工艺连续化运输将不断优化,适应复杂地质条件的能力将进一步增强,连续化运输工艺的应用范围将逐步扩大至更多类型的露天煤矿;电驱设备及储能技术将实现规模化应用,电驱设备的种类和性能将不断丰富和提升,储能系统的储能容量和转换效率将显著提高,推动露天煤矿能源消耗结构的优化和碳排放的大幅降低。无人化、智能化开采技术将逐步成熟,从单一设备的无人化作业向全流程的智能化迈进,数字孪生、人工智能等技术在露天煤矿开采中的应用深度和广度将不断拓展,实现露天煤矿开采过程的精准化管控和高效化运行。

参考文献

- [1] 王国法,刘峰,庞义辉,等. 煤矿智能化——煤炭工业高质量发展的核心技术支撑[J]. 煤炭学报, 2019, 44(2): 349-357.
- [2] 赵红泽,甄选,厉美杰. 中国露天煤矿发展现状[J]. 中国矿业, 2016, 25(6): 12-15.
- [3] 田会,才庆祥,甄选. 中国露天采煤事业的发展展望[J]. 煤炭工程, 2014, 46(10): 11-14.
- [4] 李浩荡,余长超,周永利,等. 我国露天煤矿开采技术综述及展望[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10): 24-35.
- [5] 杜潇,栗飞. 露天煤矿智能化建设关键技术研究与发展概述[J]. 露天采矿技术, 2024(1): 70-73.
- [6] 王忠鑫,辛凤阳,陈洪亮,等. 我国露天矿智能运输技术现状及发展趋势[J]. 工矿自动化, 2022, 48(6): 15-26.