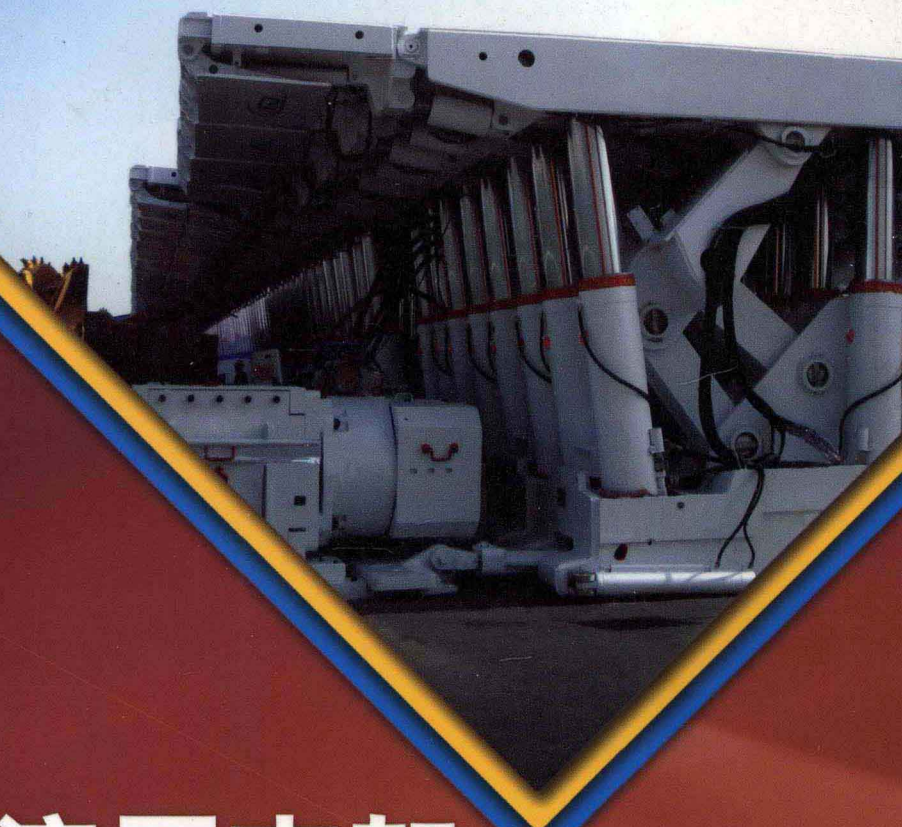




王国法 等著

放顶煤液压支架 与综采放顶煤技术

TOP-CAVING POWERD SUPPORT AND
FULLY-MACHANIZED CAVING TECHNOLOGY

煤炭工业出版社

放顶煤液压支架与综采放顶煤技术

王国法 等 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

放顶煤液压支架与综采放顶煤技术/王国法等著. --北京:煤炭工业出版社, 2010

ISBN 978-7-5020-3747-5

I. ①放… II. ①王… III. ①煤矿-液压支架 ②综合机械化掘进-放顶-煤矿开采 IV. ①TD355②TD327.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 203979 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 889mm × 1194mm¹/₁₆ 印张 25³/₄ 插页 1
字数 732 千字 印数 1—2 000
2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷
社内编号 6557 定价 80.00 元



版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书是煤矿开采实用新技术系列丛书之一，是一本关于放顶煤液压支架和综采放顶煤技术的专著。本书较全面地介绍了放顶煤技术发展，论述了放顶煤工作面总体配套技术、放顶煤工作面压力显现和顶煤运移规律及冒放性、放顶煤液压支架选型与参数确定、四柱正四连杆式放顶煤液压支架、四柱反四连杆式放顶煤液压支架、两柱掩护式放顶煤液压支架、单摆杆和分体组合式直线型放顶煤液压支架、放顶煤过渡液压支架、放顶煤端头液压支架、放顶煤工作面超前支护与超前液压支架、放顶煤工作面降尘、放顶煤工作面自动化系统研究和澳大利亚澳思达煤矿自动化放顶煤研究与实践。

本书可供从事煤矿开采和煤矿机械化工作的广大技术人员、管理者和工人阅读，可作为大专院校相关专业的教学参考用书，也可作为综采队、煤机制造及管理队伍的培训教材。

主编 王国法

著者 王国法 刘俊峰 李 政 来存良 曾明胜

朱 军 宁桂峰 刘新华 张银亮 牛艳奇

李明忠 王建国

序

煤炭是我国的基础能源。改革开放以来，特别是近 10 年以来，我国煤炭工业取得了长足发展，生产力水平显著提高。2009 年，煤炭产量达到 2.96 Gt。大基地大集团建设成效显著，一大批现代化安全高效矿井建成。综合机械化采煤技术、综采放顶煤技术取得重大突破，各项技术经济指标和纪录被不断刷新。实践证明，技术创新与进步是推动煤炭工业现代化的动力与源泉。

煤炭工业的快速发展为我国煤机装备制造业提供了难得的机遇和市场空间。“十一五”期间，我国开采装备技术创新步伐加快，关键技术攻关取得重大突破。在国家振兴装备制造业和煤炭产业政策的支持下，通过科技部国家科技支撑计划等技术创新和科技攻关计划的支持，取得了“年产 6 Mt 综采成套装备技术”、“自动化放顶煤关键技术与装备”、“0.8~1.3 m 薄煤层安全高效开采成套装备技术”和“高端液压支架及其先进制造关键技术研究产业化”等一大批重要科技成果，我国煤机装备制造业实现了历史性跨越和发展，成为世界最大煤机生产国，有力地推动了煤炭工业的技术进步。

煤炭安全高效开采始终是我国煤炭工业技术发展的重要方向，而高效开采工作面成套装备技术的创新是实现这一目标的重要保证。液压支架是工作面关键装备，其技术水平是煤机装备水平发展的重要标志。目前，我国高端液压支架和部分运输设备等开采装备关键技术已经达到或接近国际先进水平，综采放顶煤开采装备技术处于国际领先地位。高端液压支架和电液控制系统已基本实现国产化，结束了依赖进口的历史，国产成套综采装备技术开始出口。但是，在采煤机整体性能及可靠性、变频器、轴承、密封、电控、重型运输机软启动、高强度圆环链等关键元部件技术和液压支架材料、液压元件可靠性方面距国际先进水平还存在差距，需要加强科技创新，不断提升煤机制造水平。

“十二五”期间，我国开采装备技术必将进一步加快发展，由煤机装备制造业大国向煤机制造业强国转变，通过创新发展实现振兴中国煤机装备制造业的宏伟目标。

国家级有突出贡献中青年专家、博士生导师、天地科技开采装备技术研究所所长王法国研究员和他带领的科研团队长期致力于液压支架和开采装备技术的研究，取得了丰硕成果。继出版《液压支架技术》、《煤矿高效综合机械化采煤成套装备技术》等专著

之后，将相继出版《液压支架控制技术》、《放顶煤液压支架与综采放顶煤技术》、《高端液压支架及先进制造技术》、《薄煤层开采成套装备技术》和《煤矿支护设备标准化技术》。这套煤矿开采实用新技术丛书立论新颖，内容翔实，论述深入、系统，具有重要参考价值，是一套难得的好书，相信一定会为广大读者提供有益的帮助。

全 国 政 协 常 委
全国政协提案委员会副主任
中国煤炭工业协会会长



2010年6月18日

前 言

我国厚煤层资源储量丰富，自 20 世纪 80 年代初期开始引进和研究试验综采放顶煤开采，经过不断的技术攻关和技术创新，解决了放顶煤装备、工艺、瓦斯防治和防灭火等系列技术难题，至 20 世纪末综采放顶煤技术趋于成熟，成为厚煤层安全高效采煤法。

近 10 年来，放顶煤开采技术在我国又取得了重要发展，综放开采成套装备和工艺技术得到广泛推广应用，已经成为我国厚煤层高效开采的主要途径之一。放顶煤技术的适应范围不断扩大，从 5~9 m 中硬煤层到“三软”和硬煤放顶煤，逐步发展到 10 m 以上厚煤层的大采高放顶煤开采，从缓倾斜厚煤层放顶煤开采发展到大倾角厚煤层放顶煤开采。放顶煤工作面产量和效益纪录不断刷新，月产突破 1.3 Mt。我国的综采放顶煤技术和装备目前已处于世界领先水平，这是我国煤炭工业科技工作者对世界煤炭开采技术的重大贡献。

放顶煤液压支架及成套装备是综采放顶煤核心技术之一，自 20 世纪 70 年代初以来，放顶煤支架从高位、中位到低位放顶煤液压支架，经历了多次架型的变革，同时，采煤机和工作面输送机等配套设备能力和可靠性不断提高，使放顶煤技术得以快速发展。实践证明，放顶煤液压支架的适应性及配套的合理性和可靠性是影响工作面产量、效率及采出率的关键因素。因此，放顶煤支架架型及成套设备的发展成为综采放顶煤技术发展的重要标志。

中国煤炭科工集团煤炭科学研究总院开采设计研究分院、天地科技股份有限公司开采设计事业部是综采放顶煤技术的开发者，从引进、试验、完善和提高的各个阶段始终引领着放顶煤技术的发展，从研制第一套放顶煤液压支架，到研制世界首套 5.2 m 大采高放顶煤液压支架，几代放顶煤液压支架代表性架型都是由这里首先开发研制成功。这里是国家级技术创新基地，这里聚集了大批国内外著名的专家，他们发挥综合技术优势，坚持与煤矿现场密切结合，依靠煤矿企业开展技术创新，取得了大批技术成果，支撑了综采放顶煤技术的进步。

本书总结了天地科技开采装备技术研究所及行业骨干企业在放顶煤液压支架及成套设备方面的最新研究成果。本书由国家级有突出贡献中青年专家、中央联系的高级专家、煤炭科学研究总院首席科学家、博士生导师、天地科技开采装备技术研究所所长王国法研究员主编和统稿，第一章由王国法研究员、刘俊峰博士执笔，第二章由王国法研究员、苏林军高工、曾明胜高工、孟二存研究员、徐亚军博士、刘新华执笔，第三章由刘俊峰博士执笔，第四章由王国法研究员、刘俊峰博士执笔，第五章由张银亮、王国法研究员执笔，第六章由朱军高工、王国法研究员执笔，第七章由王国法研究员、曾明胜高工执笔，第八章由刘新华执笔，第九章由宁桂峰高工、王国法研究员执笔，第十章由

王建国、王国法研究员执笔，第十一章由牛艳奇博士、王国法研究员执笔，第十二章由李明忠博士执笔，第十三章由王国法研究员、李政高工执笔，第十四章由王国法研究员、来存良高工执笔。天地科技开采装备技术研究所朱德政、王彪谋、张银亮、杜忠孝、胡万昌、冯立友、庞义辉、赵志礼、孙桂英、徐亚军、刘成峰、程骏、孟传明、孟凡龙、宋智鹰、马端志、王建国、吕东林、李提建、佟友等，兖矿集团金太、黄福昌、曲天智、倪兴华、李正龙、孟凡曾、蒲宝山、张崇红、苗素军、骆念海、许义等，大同煤矿集团公司吴兴利、武望国、米朝阳、张宏明和张东方等参加了相关课题的研究。

本书是团队合作的成果，是集体智慧的结晶。在此，谨向为本书编著和相关研究作出贡献、提供帮助的同志们表示衷心的感谢，向为我国综采放顶煤装备和技术发展作出贡献的人们致以崇高的敬意。

中国煤炭工业协会、中国煤炭学会、中国煤炭科工集团、天地科技股份有限公司领导对本书的编著出版给予了亲切的关怀和积极支持，天地科技股份有限公司开采设计事业部领导和煤炭工业出版社的有关同志给予了重要帮助，天地科技股份有限公司著作基金为本书出版提供了赞助，特别是中国煤炭工业协会会长王显政在百忙中为本书作序，谨向他们表示衷心的感谢。

著 者

2010 年 7 月

目 次

第一章 放顶煤技术发展概论	1
第一节 放顶煤工艺的兴起和发展	2
第二节 放顶煤液压支架的历史变革及特点	7
第三节 放顶煤关键技术的突破	16
第四节 放顶煤技术存在的问题及发展方向	21
第二章 放顶煤成套装备技术	26
第一节 放顶煤工作面设备选型与总体配套原则	26
第二节 放顶煤工作面设计与系统配置	29
第三节 综放工作面设备布置	32
第四节 兖矿年产 600×10^4 t 综放工作面总体配套	35
第五节 平朔安家岭矿年产 1000×10^4 t 综放工作面总体配套	39
第六节 神华保德矿两柱放顶煤液压支架工作面总体配套	42
第七节 淮北芦岭矿极软煤层综放工作面总体配套	46
第三章 放顶煤工作面压力显现和顶煤运移规律及冒放性	60
第一节 放顶煤工作面围岩变化的一般规律	60
第二节 放顶煤工作面顶煤运移的一般规律	63
第三节 塔山矿特厚煤层放顶煤工作面压力显现特征	74
第四章 放顶煤液压支架选型与总体结构参数三维动态优化设计	85
第一节 放顶煤液压支架选型	85
第二节 放顶煤液压支架支护强度的确定	92
第三节 放顶煤液压支架结构参数确定	97
第四节 放顶煤液压支架总体结构参数三维动态优化	100
第五节 典型矿区放顶煤液压支架参数确定实例与验证	106
第五章 四柱正四连杆放顶煤液压支架	119
第一节 四柱正四连杆放顶煤液压支架架型分析	119
第二节 一般四柱正四连杆放顶煤液压支架	122
第三节 紧凑型四柱正四连杆放顶煤液压支架	127
第四节 大采高四柱正四连杆放顶煤液压支架	129
第五节 大倾角四柱正四连杆放顶煤液压支架	136
第六章 四柱反四连杆放顶煤液压支架	141
第一节 四柱反四连杆放顶煤液压支架架型分析	141

第二节	典型四柱反四连杆放顶煤液压支架	142
第三节	四柱反四连杆放顶煤液压支架的应用	147
第七章	两柱掩护式放顶煤液压支架	151
第一节	两柱掩护式放顶煤液压支架架型分析	151
第二节	两柱掩护式放顶煤液压支架研制和试验	154
第三节	东滩矿自动化放顶煤工作面两柱放顶煤液压支架	163
第四节	神东矿区两柱放顶煤液压支架研究	171
第五节	两柱掩护式放顶煤液压支架的发展方向	181
第八章	单摆杆和分体组合式直线型放顶煤液压支架	183
第一节	单摆杆放顶煤液压支架架型分析	183
第二节	典型单摆杆放顶煤液压支架及应用	187
第三节	分体组合式直线型放顶煤液压支架架型分析	191
第四节	典型分体组合式直线型放顶煤液压支架及应用	195
第九章	放顶煤过渡液压支架	201
第一节	放顶煤过渡液压支架技术条件	201
第二节	反四连杆放顶煤过渡液压支架	205
第三节	正四连杆放顶煤过渡液压支架	209
第四节	伸缩杆式放顶煤过渡液压支架	216
第五节	单摆杆式放顶煤过渡液压支架	221
第十章	放顶煤端头液压支架	224
第一节	放顶煤端头液压支架技术条件	224
第二节	两列中置式放顶煤端头液压支架	228
第三节	三列中置式放顶煤端头液压支架	231
第四节	前后置式放顶煤端头液压支架	233
第十一章	放顶煤工作面超前支护与超前液压支架	235
第一节	放顶煤工作面超前支护方式及支护原理	235
第二节	放顶煤工作面下顺槽超前支护液压支架	241
第三节	放顶煤工作面上顺槽超前支护液压支架	242
第十二章	放顶煤工作面降尘	244
第一节	放顶煤工作面尘源产生与传播规律	244
第二节	喷雾雾化及喷雾降尘机理研究	247
第三节	高压喷雾二次负压降尘技术及应用	250
第四节	综放工作面喷雾降尘控制系统	254
第五节	放顶煤工作面喷雾降尘效果分析	256
第十三章	综放工作面自动化系统研究	260
第一节	综放工作面自动化系统概述	260

第二节	神经网络控制技术概述·····	265
第三节	综放工作面自动化系统组成及分析·····	272
第四节	基于神经网络控制技术的综放工作面自动化控制系统研究·····	290
第五节	综放工作面自动化系统的实现·····	299
第六节	煤矸分界的研究·····	305
第十四章	澳大利亚澳思达煤矿自动化放顶煤研究与实践·····	317
第一节	澳大利亚综采放顶煤技术的准入研究·····	317
第二节	澳思达煤矿煤层赋存条件及工作面设计·····	329
第三节	澳思达煤矿综放工作面设备配套·····	333
第四节	澳思达煤矿综放大断面开切眼及端头区顶板支护技术研究·····	347
第五节	澳思达煤矿综放开采工艺及自动化控制技术·····	370
第六节	澳思达煤矿综放开采安全保障关键技术研究·····	381
参考文献·····		395

第一章 放顶煤技术发展概论

按照煤层厚度划分,当单一煤层厚度超过 3.5 m 以上时为厚煤层,而单一煤层厚度超过 8 m 则为特厚煤层。厚煤层及特厚煤层一般具有储量大、煤质好、赋存稳定等优点,其开采方法、开采效率及采出率问题一直是世界采矿界探讨的难题。在世界主要产煤国家中,厚及特厚煤层的储量占到了可供开采的煤炭资源的 20%~50%,厚煤层产量约占煤炭产量的 32%。在我国煤炭资源中,厚煤层及特厚煤层储量约占总储量的 45.6%,厚煤层及特厚煤层原煤产量占到了全部产量的 44.8%。华北、东北、华中和西北十三大煤炭基地的主采煤层多属厚煤层及特厚煤层,因此厚煤层及特厚煤层的开采在我国煤炭生产中占有十分重要的地位。

目前,世界各国开采厚煤层主要有 3 种方法:大采高一次采全厚整层开采、分层开采和放顶煤开采。我国部分矿区曾对厚煤层采用高落式开采,产量低、效益差、安全状况不好,煤炭损失严重。在 20 世纪 70~80 年代采煤方法改革过程中,大多数矿井的厚煤层实现了分层开采,由分层炮采、分层机采到分层综采。在生产条件好、管理水平高的矿局,分层综采工作面多次创出了年产 $100 \times 10^4 \sim 200 \times 10^4$ t 的好成绩。但分层综采普遍存在效率低、工艺复杂、掘进率高、灾害多、对地质条件变化的适应性差、铺网成本高等缺点。当顶板较破碎和有稍厚伪顶时,第一分层的顶板控制困难,冒顶片帮事故多,分层综采的下分层工作面极易发生煤的自然发火,致使实际煤炭采出率低,采煤经济效益差,厚煤层及特厚煤层的资源优势未能充分发挥。

综合机械化长壁放顶煤开采方法 (System of Long-wall Top-coal Caving) 简称放顶煤综采,或称综放开采,自 1984 年开始在我国试验和使用,至 20 世纪末逐步发展成熟,是一种厚煤层一次采全高开采的高产、高效、新型的采煤方法。放顶煤开采是将长壁工作面布置在厚煤层的底部,用综合机械化采煤的方法,采出煤层底部分层的厚度 (厚度一般为 2.2~3.5 m),底部以上的其余部分 (厚度一般为 3~12 m) 为顶煤,顶煤在工作面前方形成的支承压力 (地压) 作用下破坏、碎裂 (硬煤需要采用人工辅助的方法破碎),随着工作面向前推进,已碎裂的顶煤依靠煤体自重液压支架的后方,通过支架专门的放煤机构放出、运走,实现厚煤层的一次采全厚开采。放顶煤开采与其他采煤方法的不同在于,除有一个包括采、装、运、支、处全部工序的普通长壁采煤工作面外,同时在支架的后部还有一套破、放、运等顶煤回收系统,即前后两个采出煤炭的工作场所组成了一个完整的放顶煤工作面,如图 1-1、图 1-2 所示。

综采放顶煤开采方法与分层开采相比,由于它具有高产量、高效率、高效益的特点,在技术经济上有巨大优势。与部分开采相比,在节约资源、降低成本和提高效率及效益方面也有明显优势。我国多年来厚煤层及特厚煤层开采的实践表明,对于大多数倾角小于 35° 的缓倾斜、倾斜厚煤层,发展长壁综采放顶煤全厚开采方法可获得十分显著的技术经济效益。厚度小于 15 m 的煤层一般采用一次采出全厚的方法,中等强度以下的煤层一次采出的厚度可以更大 (特殊条件下可以达到 20~40 m)。倾角不大于 45° 的厚煤层及特厚煤层也可以采用走向长壁综采放顶煤开采。倾角大于 45° 的特厚煤层 (厚度大于 20 m) 可以采用水平分段放顶煤开采方法 (System of Sublevel Caving),分段的高度一般为 10~20 m。长壁放顶煤采煤法和水平分段放顶煤采煤法是完全不同的采煤法,它们各自有独特的开采系统、围岩运动规律和岩层控制方法,并需要采取不同的安全技术措施。

放顶煤开采与传统的分层开采相比具有显著的优越性,主要表现在以下几个方面:

(1) 不受煤层厚度变化的限制,可实现一次采全厚,大大提高了煤层开采强度。

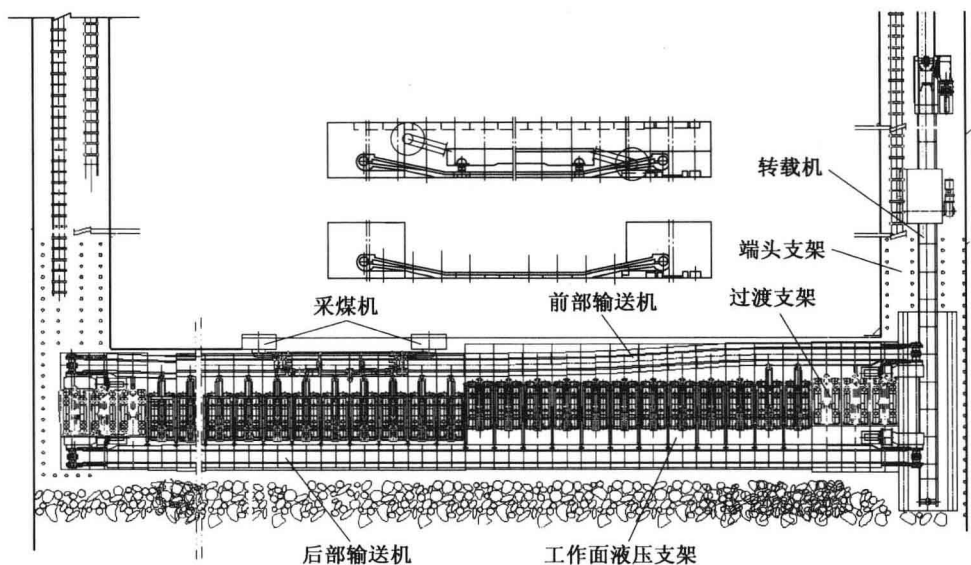


图 1-1 放顶煤工作面布置

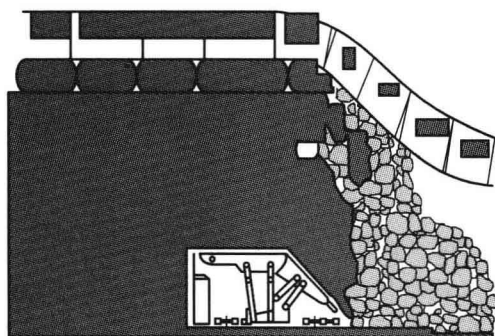


图 1-2 综采放顶煤工作面放顶煤示意图

(2) 可以充分利用中厚煤层长壁开采高效采煤机和刮板输送机, 在不增加支架高度的条件下一次采出 4.5 m 以上煤层, 不仅设备初期投资少, 而且省下大批假顶材料费用和人工费用。

(3) 利用矿压落煤, 是一种低能耗的采煤方法, 与分层开采相比, 可以节省电力及设备磨损率, 并且能够增加块煤率, 我国多数矿井的块煤率销售价格要高于末煤, 放顶煤的块煤多于机采, 因而可提高块煤率, 即提高矿井的经济效益。

(4) 巷道布置简单, 掘进工程量与维护工程量低, 一般要比分层开采低 50% ~ 60%, 可以节省大量掘进和运输工作, 缓解采掘接替紧张的矛盾, 减少工作面的搬家次数, 为提高矿井全员效率创造了条件。

(5) 工作面搬家次数少, 一般百万吨工作面的搬家次数较分层开采可减少一半以上, 工作面有两个出煤点同时出煤, 平行作业, 可提高单产和工效。

从 20 世纪 80 年代以来, 我国研制、使用了多种放顶煤综采设备, 试验、应用、发展了成套的放顶煤综采技术, 创造了放顶煤开采的理论方法, 取得了良好的技术经济效益, 形成了我国独特的放顶煤开采技术。

第一节 放顶煤工艺的兴起和发展

一、国外放顶煤采煤法发展概况

放顶煤开采的思路源于厚煤层开采初期, 即高落式采煤。早在 19 世纪, 手工挖煤是先在煤层下部用手镐破煤, 然后用锤楔崩落上部的煤炭。20 世纪初, 欧洲就使用了房式和仓式放顶煤开采方法, 当时只是作为在复杂地质条件下的一种特殊采煤方法。20 世纪 40 ~ 70 年代, 法国、南斯拉夫、苏联等一些欧洲国家试验研究了综采放顶煤开采技术。

在 20 世纪 40 年代末、50 年代初,苏联、法国、南斯拉夫等国才开始正式应用综放开采技术。随着综放支架的逐步成熟,综放开采技术才相应地得到完善,并在一些国家取得成功。罗马尼亚、捷克、西班牙、美国、韩国相继引用了这一开采方法,并取得了较好的经济效益。

前苏联是试验、推广和应用厚煤层放顶煤开采方法最早的国家之一。自 20 世纪 30 年代以来,苏联就在卡拉干达煤田的玛丽安娜煤层开始试验倾斜分层垮落式放顶煤开采方法。1957 年,苏联首先在库兹巴斯煤田的托姆辛斯克矿使用了综采 KTY 型掩护式支架开采倾角 $5^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 、厚 9 ~ 12 m 的特厚煤层,工作面先采顶分层铺底网,然后采底层向中层煤打眼爆破,通过 KTY 型支架顶梁上的“天窗”将煤炭放入工作面输送机。经过 50 余年的探索和研究,前苏联先后采用过缓倾斜、急倾斜特厚煤层的爆破落煤放顶煤开采, KTY 型、KTY 改进型、KHKM 型、KM-81B 型、KM-130 型以及 KAM-1C 型等综合机械化放顶煤开采技术,分别应用于卡拉干达、库兹巴斯、库里亚宾斯克等矿的放顶煤工作面。前苏联虽然采用放顶煤方法较早,但始终未取得较大的进展。

在 18 世纪初,法国厚煤层放顶煤开采(即高落式)采用沿煤层底板掘巷,后退时将顶煤冒落下来,并运出工作面。这种方法丢煤多,不安全,易自燃。

法国也是世界上最早采用放顶煤采煤法开采厚煤层的国家之一。起初,由于担心顶煤不能充分冒放,就先在煤层中部距底板 3 m 的地方布置一个预采中间层的工作面进行开采,使顶煤垮落,然后再沿煤层底板布置放顶煤工作面,将已垮落顶煤放出。但这种方法仍需布置两套回采巷道,而且带来以下新问题:①当煤层底板起伏时,很难保证使中间层工作面保持距煤层底板一定的距离;②顶煤冒落以后,自热升温,致使下部放顶煤工作面温度升高,并增加自然发火的危险性;③放顶煤工作面的煤尘增大。

随着长壁综采的发展,法国在布朗齐、阿基坦和塞维里等矿区全面推广综合机械化放顶煤开采技术。1964 年,布朗齐矿区试验成功一次采全厚的综合机械化放顶煤开采,由于装备了前后两部输送机,采煤工作面的条件得到显著改善,安全有了保证,实现了采放平行作业。

法国煤矿的放顶煤开采类型主要有阿基坦煤田和布朗齐煤田倾斜厚煤层($0^{\circ} \sim 30^{\circ}$)整层放顶煤开采,阿基坦煤田不规则的近水平厚煤层长壁放顶煤开采和杜菲内煤田急倾斜煤层水平分段放顶煤开采。然而,随着适合放顶煤开采的煤层越来越少,法国的放顶煤工作面的数目也在逐年减少。

南斯拉夫 1947 年开始在韦莱涅煤矿试验采用长壁放顶煤开采 10 m 厚的煤层,直到 1953 年才获得成功。最初的放顶煤工作面只用木支柱支护,从 1956 年开始使用金属支柱。1962 年以后,南斯拉夫陆续引进德国赫姆夏特公司、贝考里特公司、威斯特伐利亚公司,英国道梯公司和苏联 KTY 型放顶煤液压支架,以及德国艾柯夫公司和法国 SDS 公司的采煤机,实现了综合机械化放顶煤开采。

南斯拉夫的放顶煤开采可分 4 种类型:①采用水平分段开采,铺金属网,网下放顶煤;②在稳定的黏土直接顶下开采褐煤,直接放顶煤;③在强度较大的泥灰岩和板岩直接顶下开采褐煤、烟煤或次烟煤,直接顶易冒落(如巴诺维契的萨瓦矿),直接放顶煤;④在泥岩或砂岩顶板下,对难于放顶的煤层(如阿莱柯西纳茨、特尔斯特奥尼卡、卡卡尼矿),采用下分层放顶煤。

匈牙利也是较早采用放顶煤开采厚煤层的国家之一。匈牙利在 20 世纪 40 年代开始试验放顶煤开采方法,并在多罗戈、梅茨塞克、塔塔巴尼、韦什普雷姆、博尔索德等矿使用。在 60 年代研制应用了摩擦金属支柱以后,这种方法得到了广泛应用,并且产量不断增加。

匈牙利先后研制了多种放顶煤液压支架,主要有 VHP-421 型、VHP-730 型、MVDD-120 型、MVDD-120/2 型等,前两种架型为高位放顶煤支架,后两种架型为低位放顶煤支架。上述 4 种架型均在 20 世纪 80 年代生产并投入使用。

捷克斯洛伐克从 20 世纪 70 年代开始使用放顶煤开采厚煤层,并主要集中在普列维查煤管局所属矿井,曾先后在诺瓦斯、齐盖尔、汉德洛瓦等矿使用。使用的架型主要有 DVP-5A 型、1K70/900HD 型、MHW450-20/30 型、2MKE 型、BME-2.0/3.0 型等。捷克斯洛伐克放顶煤开采类型主要包括下

分层放顶煤和整层放顶煤两种。由于受到煤层赋存条件的限制和支架设计制造水平的制约,放顶煤开采方法在捷克斯洛伐克没能得到广泛的应用。

美国曾采用下分层放顶煤和整层放顶煤技术开采西部 4~10 m 厚的深部煤层。

二、国内放顶煤采煤法发展概况

煤炭科学研究总院北京开采所自 1982 年开始借鉴欧洲放顶煤方法,研究我国厚煤层综放开采技术。该所于 1984 年研制了首套国产 FY400-14/28 型综放支架,并在沈阳矿务局蒲河矿首次进行了综放开采工艺与装备的井下工业性试验,很快放顶煤开采在急倾斜特厚煤层中获得成功并推广应用。我国综放开采从无到有,从试验、挫折到成功推广应用,发展成为一种独具特色的厚及特厚煤层安全高效开采方法,取得了巨大的经济效益。综放开采技术是对厚煤层传统采煤方法的一次革命,我国放顶煤开采技术发展成为国际领先的厚煤层开采技术,是我国 20 世纪重大科技进步之一。

我国综放开采技术的发展过程大致可分为 3 个阶段:第一阶段为试验探索阶段(1984—1990),第二阶段为推广应用阶段(1990—1995),第三阶段为提高完善阶段(1996—)。

1. 试验探索阶段(1984—1990)

第一阶段的标志性成果是阳泉缓倾斜厚煤层中位放顶煤液压支架综放开采的试验成功。特别是阳泉一矿 8603 工作面,于 1990 年 7 月创下了月产 14×10^4 t 的最高水平,效率已达 57.8 t/工,成为综放开采能够实现高产高效的第一个示范样板,基本验证了放顶煤开采实现高产高效的可行性。

我国从 1982 年开始研究、引进综放开采技术,缓倾斜综放开采试验首先于 1984 年在沈阳矿务局蒲河矿北三采区进行,全部使用国产设备。由于支架设计及配套不合理、生产管理缺乏经验,试验没有取得成功,但取得了正反两方面的经验。通过现场工业性试验,看到了长壁综放开采的前景,也为后来的急倾斜煤层综放试验积累了宝贵的经验。

急倾斜综放开采试验首先于 1985 年在窑街二矿获得成功,随后在辽源矿务局梅河矿、乌鲁木齐矿务局六道湾矿急倾斜特厚煤层进行试验,效果都较好,梅河矿取得了水平分层综放工作面年产 60×10^4 t 的好成绩。在急倾斜发展综放开采的同时,东北若干矿区继续试验缓倾斜综放开采,由于各方面的原因,效果并不理想,安全状况也不太好,工作面发生过几次自燃火灾,单产水平也不高。

1987 年,平顶山一矿全部引进以匈牙利 VHP-730 型单输送机高位放顶煤液压支架为基础的全套综放设备,由于多种原因,当时月产最高仅 4×10^4 t 左右,没有表现出比分层综采更多的优势。尽管如此,潞安、阳泉等我国主要的机械化产煤大局仍积极准备进一步试验。

同年在乌鲁木齐矿务局,召开了一次放顶煤开采技术交流会,提出了综放开采必须实现高产以表明其优势和在正规长壁工作面开展综放开采试验的观点,促进了综放开采的发展。1988 年和 1989 年,条件较有利的阳泉一矿和潞安王庄矿先后进行了综放开采试验。1990 年上半年,阳泉一矿和潞安王庄矿都达到了工作面月产 8×10^4 t 以上的高产水平。1990 年下半年,阳泉一矿 8603 长壁工作面首先在倾角 $3^\circ \sim 7^\circ$ 、煤厚 6 m 左右、工作面长 120 m 的综放面实现了月产原煤超过 14×10^4 t,比该矿分层综采工作面产量和效率都提高了一倍以上,而且工作面煤炭的采出率超过 80%,并摸索出了一套长壁综放开采工作面实现高产高效的技术途径,以实际成绩体现了综放开采的潜力,为放顶煤技术发展打下了良好的基础。

2. 推广应用阶段(1990—1995)

第二阶段的标志性成果是兖州兴隆庄矿工作面单产突破 300×10^4 t/a,达到了高产高效的目的。另一方面“三软”煤层、大倾角煤层、高瓦斯等难采煤层综放开采技术有了重大突破,加快了综放开采推广应用的步伐。

1990 年之后,一批缓倾斜厚煤层开始推广综放开采技术,以此取代分层综采,以阳泉、潞安、兖州为代表,各自均有综放队年产突破百万吨。1993 年,潞安王庄矿综放队月产达 31×10^4 t,年产

253 × 10⁴ t, 工效 100 t/工。1994 年, 煤炭工业部进一步加强综放工作的指导, 成立了综放开采技术专家组, 部领导多次对综放工作作出重要指示, 确定了综放示范点及一批综放开采技术攻关课题。1995 年, 煤炭工业部把综放开采技术列为“九五”期间煤炭行业重点攻关和推广的 5 项技术之一, 并把综放开采的几个问题列为煤炭工业部“九五”重点科技攻关项目, 组织综放专家组编制综放暂行规定, 并于 1995 年正式颁发了《综合机械化放顶煤开采技术暂行规定》。

1) 第二阶段表现出的特点

(1) 认识上有了较大突破。通过实践, 从上到下逐渐统一了对综放开采方法的认识, 认为综放开采是采煤技术的革新, 是一种先进的高产高效采煤方法, 是实现工作面高产高效的有效措施。《综合机械化放顶煤开采技术暂行规定》颁布后, 使综放开采的生产有章可循。综放开采技术被列在“九五”期间煤炭工业科技进步重要课题之首。

(2) 产量和效益有了突破。1994 年、1995 年全国综放产量分别达到 3680 × 10⁴ t 和 4556 × 10⁴ t, 年递增 800 多万吨, 两年合计全国综放产量超过前 10 年全国综放累计产量。1995 年, 全国采用综放技术的单位已发展到 30 个局(矿)、71 个综放开采队。1995 年, 全国 65 个年产 100 × 10⁴ t 以上的综采队中有综放队 23.5 个, 其中年产 200 × 10⁴ t 以上的 9 个综采队中综放队为 7 个, 年产 300 × 10⁴ t 以上的 2 个综采队中综放队为 1.5 个。同时, 综放开采单产高、效率高、成本低、效益好、安全可靠, 已成为煤矿扭亏增盈的主要技术措施之一。

(3) 一些条件复杂煤层的综放开采技术有了突破。郑州米村矿在“三软”不稳定煤层坚持综放开采试验, 1988 年开始试验, 1992 年基本成功, 1995 年综放工作面突破年产 100 × 10⁴ t, 并得到推广应用。实践证明, 对于“三软”不稳定煤层, 综放开采是提高其经济效益和采出率的有效途径。与此同时, 在倾斜和急倾斜特厚煤层, 采用水平分段放顶煤; 对地质构造复杂的小块段, 采用短工作面综放开采; 用综放开采回收矿井残留煤柱都取得了很好的效果。对坚硬煤层的综放开采技术也开始进行探索试验。

(4) 放顶煤开采关键设备液压支架架型改革取得重大进展。煤炭科学研究总院北京开采所推出的新型低位放顶煤液压支架在阳泉、靖远等多个矿区试验成功, 从而带动了放顶煤液压支架架型的改革。全国大多数放顶煤开采的矿区开始放弃中位放顶煤液压支架, 转而采用低位放顶煤液压支架。这一放顶煤液压支架架型的改革, 极大地提高了放顶煤的效率和煤炭采出率, 使放顶煤技术步入成功的轨道。

(5) 综放开采工艺、采出率、煤尘、瓦斯和防灭火等技术难题的攻关有了较大进展。原煤炭工业部确定的 13 项重点攻关课题和 5 个综放示范点基本达到了阶段目标。全国有综放开采工作面的局矿都从自己的实际出发, 组织科技攻关, 着手解决了一批现实的综放开采技术难题, 从而推动了综放开采总体水平的提高。

在第二阶段, 综放开采技术的发展很快, 一方面是认识和观念的转变, 很多矿务局将放顶煤技术提到技术进步的主要议程上来。另一方面是对岩层控制、支架—围岩关系、顶煤可放性、放煤工艺等综放开采理论的研究也十分活跃, 形成了“百家争鸣”的局面。

2) 第二阶段取得的主要成果

(1) 放顶煤工艺逐渐成熟, 表现为工作面单产不断提高, 综放面最高年产 1993 年为 253 × 10⁴ t (潞安), 1994 年为 272 × 10⁴ t, 1995 年为 300 × 10⁴ t (兖州)。同时产生了一批年产 100 × 10⁴ t 以上和年产 200 × 10⁴ t 以上的工作面。

(2) 放顶煤液压支架由仿造发展到自主创新, 并进而定型。其中具有代表性的是由煤炭科学研究总院北京开采所与有关企业共同开发的四柱式低位放煤支架。这种支架由于它采用反四连杆短尾梁结构, 支架稳定性好, 强度大, 工作可靠, 采用低位放煤明显地减少了工作面粉尘, 减少了煤损, 因此受到普遍欢迎。北京开采所开发的轻型放顶煤液压支架系列由于投资小, 适应性好, 因而迅速在中