



LONGWALL MINING
TECHNOLOGY
& EQUIPMENT SYSTEM
INTEGRATION

综采成套技术 与装备系统集成

■ 王国法 等 著

 煤炭工业出版社

综采成套技术与装备系统集成

王国法 等 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

综采成套技术与装备系统集成/王国法等著. --北京:煤炭工业出版社, 2016

ISBN 978-7-5020-5484-7

I. ①综… II. ①王… III. ①采煤综合机组—煤矿开采 IV. ①TD823.97

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 206982 号

综采成套技术与装备系统集成

著 者 王国法 等
责任编辑 李振祥
编 辑 刘 鹏
责任校对 姜惠萍 孔青青
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898(总编室)
010-64018321(发行部) 010-84657880(读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京玥实印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 889mm×1194mm¹/₁₆ 印张 40¹/₄ 插页 1 字数 1166 千字
版 次 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷
社内编号 8347 定价 198.00 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,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书是作者及其团队科研创新实践与成果的总结，特别凝练了近十多年来在煤矿高效综采装备和技术领域的最新成果。本书全面介绍了煤矿高效综合机械化采煤成套装备技术的国内外发展历程、现状和趋势，论述了煤矿资源协调开采与综采工作面系统集成配套设计理念和方法、液压支架选型设计、采煤机选型设计、工作面运输设备选型设计，阐述了薄煤层工作面系统集成配套、中厚煤层和大采高综采工作面系统集成配套、综采放顶煤工作面系统集成配套、大倾角等复杂煤层综采工作面系统集成配套、充填开采工作面系统集成配套、工作面端头超前支护系统与大块煤破碎、工作面供电供液系统、工作面自动化智能化系统和工作面系统健康管理。

本书可供从事煤炭开采和煤矿机械化工作的广大技术人员、管理人员和工人阅读和借鉴，可作为大专院校相关专业教学参考书，也可作为研究生、煤矿职工和煤机制造职工的培训教材。

编 委 会

主编	王国法				
编者	王国法	庞义辉	徐亚军	任怀伟	傅京昱
	李明忠	宁桂峰	刘新华	刘俊峰	程 骏
	李占平	王建国	何 明	赵国瑞	侯 刚
	张德生	杜毅博	周常飞	于 颖	曾明胜
	张金虎	辛家祥	李 然	翟 晶	文治国
	许永祥	马 英	刘成峰		

序

煤炭是我国的主体能源，支撑着国民经济的持续快速发展，保障了国家能源安全。煤炭工业伴随着国家经济发展而快速发展，煤炭科技发展为煤炭工业发展提供了有力的支撑。煤炭开采是煤炭工业的主体，煤炭开采装备技术是煤炭安全高效开采的根本保障，我国自20世纪70年代开始大规模引进、消化、吸收国外综采成套技术装备，发展长壁综合机械化采煤，经过近半个世纪的发展，使我国煤炭工业发生了巨大的变化，由当年落后的小煤矿人力开采为主，发展到以大型矿井安全高效开采为主的现代化煤炭工业，从完全依赖进口综采装备到自主高端装备国产化并占领国际市场，我国成为世界第一产煤大国和第一大煤机生产国，实现了由跟随国外发展到创新引领世界综采技术发展的跨越。

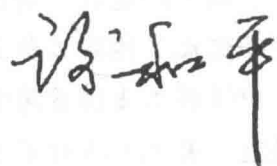
综采成套技术与装备系统集成是煤炭安全高效开采的核心技术之一，液压支架、采煤机、刮板输送机、转载机、破碎机、可伸缩带式输送机、供电供液设备、通信及控制系统等组成了综采工作面成套装备，是保障工作面安全高效运行的基础。

中煤科工集团首席科学家、国家级有突出贡献专家和中央联系的高级专家、全国劳动模范、天地科技开采装备技术研究所所长、博士生导师王国法研究员及其科研团队从20世纪80年代起一直致力于煤矿综采工作面液压支架、综采成套技术与装备系统集成研究，不断创新研发综采新方法、新工艺、新技术、新装备。“七五”“八五”和“九五”计划期间，他们与有关企业合作研制了4~5 m厚煤层综采成套装备、日产7000 t综采成套装备、年产5 Mt综放成套装备，逐步建立了自主的综采工作面成套装备技术体系。“十五”“十一五”和“十二五”计划期间，他们承担多项国家重点科技攻关计划项目，开展了一系列技术攻关，突破多项重大技术难题，先后取得了年产6 Mt综采放顶煤工作面成套技术与装备、自动化放顶煤关键技术与装备、年产6 Mt综采成套装备技术、0.6~1.3 m薄煤层综采自动化成套技术与装备、大倾角煤层综采综放成套装备关键技术、高端液压支架及其先进制造关键技术研究及产业化、年产千万吨大采高综采成套装备、特厚煤层大采高综放成套技术与装备和超大采高综采成套技术与装备等一大批重要成果，完成了黄陵智能化综采工作面示范工程总体设计，实现了常态化工作面无人操作的远程监控智能开采，启动了煤炭智能化无人开采技术变革，形成了支护设备与综采系统集成配套技术标准体系。这些成果在全国煤矿推广应用，取得了重大经济效益和社会效益，分别荣获国家科学技术进步奖一等奖、二等奖和省部级特等奖、一等奖等多种奖励，推动了煤炭工业技术进步，引领了煤炭开采技术的发展，为安全高效现代化矿井建设提供了保障。

《综采成套技术与装备系统集成》是王国法研究员继出版《液压支架技术》《煤矿高效综合机械化采煤成套装备技术》《液压支架控制技术》《放顶煤液压支架与放顶煤技术》和《高端液压支架及先进制造技术》等著作后的又一新著作，本书总结了近十年来作者及其科研团队在综采成套技术与装备系统集成配套技术研究方面的最新成果，系统论述了煤矿资源协调开采与综采工作面系统集成配套设计理念和方法、液压支架选型设计、采煤机选型设计、工作面运输设备选型设计，阐述了薄煤层工作面系统集成配套、中厚煤层和大采高综采工作面系统集成配套、综采放顶煤工作面系统集成配套、大倾角等复杂煤层综采工作面系统集成配套、充填开采工作面系统集成配套、工作面端头超前支护系统与大块煤破碎、工作面供电供液系统、工作面自动化智能化系统和工作面系统健康管理。内容系统、新颖、翔实，有重要理论和工程应用参考价值。

我衷心希望这本凝聚着作者及其科研创新团队智慧与心血的著作，能为煤炭资源开发与装备制造领域的技术人员、职工和高校师生学习、使用和研究综采技术与装备提供理论依据、技术指导，为进一步的创新研发提供借鉴，推动煤炭开采技术向安全高效、自动化、智能化和无人化方向发展。

四川大学校长
中国工程院院士



2016年6月

前 言

综合机械化开采是 20 世纪煤矿开采技术的重大革命，综采工作面成套装备技术是综合机械化开采的核心技术。我国自 20 世纪 70 年代开始大规模引进国外综采成套装备，发展综合机械化采煤，经过 40 多年的发展，使中国煤炭工业发生了翻天覆地的变化，由当年落后的小煤矿人力开采为主，发展到以大型矿井安全高效开采为主导的现代化煤炭工业，从完全依赖进口综采装备，到高端装备国产化并占领国际市场，我国成为世界第一产煤大国和第一大煤机生产国。

回顾我国综采工作面成套装备技术发展过程，大致可分为 3 个阶段：第一阶段自 20 世纪 70 年代初至 80 年代中，是引进消化吸收阶段；第二阶段自 20 世纪 80 年代中后期至 2003 年前后，是自主发展与高端引进阶段；第三阶段自 21 世纪以来，是高端装备国产化和产业化创新阶段，根据我国安全高效矿井建设要求，攻关研制高效综采成套装备，逐步实现高端综采成套装备国产化，创新开发新产品、新技术。

在第一阶段中，我国从德国、英国和波兰等国引进了一百多套综采成套装备，我国综采设备从无到有，并开始了技术的探索和试验。由于国外对其核心技术的封锁，引进综采装备多次出现因不适应煤矿条件而发生重大事故。在引进国外技术装备的同时，煤炭科学研究总院和相关厂矿企业进行了联合技术消化、吸收和攻关，仿制开发了国产综采成套装备。这一阶段，先进综采工作面以年产百万吨为标杆。

在第二阶段中，国家组织了“七五”“八五”和“九五”综采工作面成套装备技术攻关，北京开采所与有关企业合作研制了 4~5 m 厚煤层综采成套装备、日产 7000 t 综采成套装备和年产 5 Mt 综放成套装备，逐步建立了自主的综采工作面成套装备技术体系。这一阶段中，普通综采装备实现国产化，但设备的可靠性还普遍较差，与国际先进水平差距还很大，以神东矿区为代表的大型现代化矿井完全依赖进口的高端综采成套装备，形成了几个国外大煤机公司垄断中国综采装备高端市场的局面。

在第三阶段中，受益于国家振兴装备制造业的产业政策，高效开采装备技术受到了越来越广泛的关注，《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）》中有关能源的优先主题就包括重点研究开发煤炭高效开采技术及配套装备。国家“十五”“十一五”和“十二五”计划对综采装备技术发展给予重点支持，开展了一系列技术攻关，先后成功研制年产 6 Mt 综采放顶煤工作面成套技术与装备、自动化放顶煤关键技术与装备、年产 6 Mt 综采成套装备技术、0.6~1.3 m 薄煤层综采自动化成套技术与装备、大倾角煤层综采综放成套装备关键技术、高端液压支架及其先进制造关键技术研究产业化、年产千万吨大采高综采成套装备、特厚煤层大采高综放成套技术与装备和超大采高

综采成套技术与装备等一大批重要成果，达到国际先进和领先水平，推动了煤炭工业技术进步，为安全高效现代化矿井建设提供了保障，引领了煤炭开采技术的发展。这些成果分别荣获国家科学技术进步奖一等奖、二等奖和省部级特等奖、一等奖等多种奖励。

综采工作面装备系统集成配套技术是煤矿安全高效生产的重要保障，也是引领综采单机装备研发的基础。综采工作面系统集成配套要首先研究矿井开采条件、煤层赋存条件、工作面产量效率目标、工作面和巷道断面的合理参数；然后进行设备选型，确定单机设备的合理参数、机型和数量；进行工作面总体布置、系统的集成和协同设计、优化设备能力匹配和连接界面，进行多机、多网数据融合和协同控制设计；最后制定工作面运行管理规程，监控工作面系统运行情况，诊断和处理系统故障。

本书作者及其科研团队所在单位——天地科技开采设计事业部开采装备技术研究所，是我国开采技术与装备的专业研究机构，从20世纪80年代起一直致力于煤矿安全高效综采技术与系统集成配套研究，不断创新研发安全高效综采新方法、新工艺、新技术、新装备，突破多项重大技术难题，创立综采工作面系统集成配套与液压支架技术体系，取得一批重大成果，达到国际先进和领先水平，推动了煤炭工业技术进步，为安全高效现代化矿井建设提供了保障，引领了煤炭开采技术的发展。

本书由中煤科工集团首席科学家、国家级有突出贡献专家和中央联系的高级专家、全国劳动模范、天地科技开采装备技术研究所所长、博士生导师王国法研究员主持撰写和统稿，其中第一章由王国法执笔，第二、三章由王国法、庞义辉、傅京昱执笔，第四章由周常飞、于颖、王国法、曾明胜执笔，第五章由王国法、何明、王建国、张德生执笔，第六章由王国法、徐亚军执笔，第七章由王国法、刘新华、刘成峰执笔，第八章由王国法、庞义辉、曾明胜、李明忠执笔，第九章由王国法、宁桂峰、刘俊峰执笔，第十章由王国法、程骏、辛家祥执笔，第十一章由王国法、刘新华、张德生执笔，第十二章由李占平、李然、翟晶执笔，第十三章由王国法、任怀伟、马英、侯刚、文治国执笔，第十四章由侯刚、赵国瑞、杜毅博、张金虎执笔。许永祥参与了全书的统编审稿工作。

本书是作者及其科研团队集体智慧与劳动的成果，同时，也包含了煤炭行业技术发展的成果，特别是相关煤炭企业为本书所述技术的创新发展和工业性试验做出了重要贡献，在此，向为此做出贡献的人们和本书参考文献的作者表示衷心的感谢！感谢中国工程院院士、四川大学校长谢和平教授在百忙中为本书作序。

由于本书所涉及的综采设备多，专业面宽，技术复杂，作者受研究方向局限，对有些设备缺乏深入的技术研究，书中论述难免不够精准。受时间和条件限制，书稿系统性、逻辑性和语言表述难免有瑕疵，敬请读者批评指正。

著者

2016年6月

目 次

第一章 煤矿综采技术与装备发展概论	1
第一节 综采工作面成套技术与装备发展回顾	1
第二节 国外综采工作面设备配套技术现状与趋势	4
第三节 我国煤炭资源与矿井生产技术特点	8
第四节 我国综采发展与设备配套现状	12
第五节 安全高效绿色开采技术装备创新与发展	16
第六节 我国综采技术与装备的发展方向	21
第二章 煤矿资源协调开采与综采工作面系统集成配套设计	27
第一节 煤矿资源协调开采理念与评价	27
第二节 工作面设备选型及系统配套原则、方法和步骤	37
第三节 工作面开采条件分析与采煤工艺参数确定	40
第四节 工作面设备总体布置与配套关系	44
第五节 综采工作面设备系列型谱	46
第三章 液压支架选型设计	55
第一节 液压支架架型与参数	56
第二节 液压支架支护强度与工作阻力的确定	65
第三节 液压支架与围岩耦合原理及应用	73
第四节 液压支架适应性评价方法	84
第五节 液压支架控制系统	89
第六节 液压支架技术标准和试验	145
第四章 采煤机及选型设计	159
第一节 采煤机技术发展	159
第二节 双滚筒电牵引采煤机总体结构与组成	163
第三节 采煤机选型	196
第五章 工作面运输设备及选型	210
第一节 工作面运输设备发展概论	210
第二节 工作面运输设备形式与参数选择	214
第三节 工作面运输设备典型结构与组成	235
第四节 工作面运输设备传动与软启动技术	279
第五节 可伸缩带式输送机选型	284

第六章 薄煤层工作面系统集成配套	293
第一节 薄煤层开采方法选择与工艺参数优化.....	293
第二节 薄煤层工作面生产能力及设备参数确定.....	311
第三节 薄煤层工作面设备总体配套原则.....	315
第七章 中厚煤层和大采高综采工作面系统集成配套	326
第一节 高效开采模式与工作面参数设计.....	326
第二节 年产6 Mt综采工作面总体配套.....	331
第三节 年产千万吨大采高综采工作面总体配套.....	338
第四节 超大采高智能化综采成套技术.....	360
第五节 神东矿区综采设备选型配套.....	372
第八章 综采放顶煤工作面总体配套	381
第一节 综采放顶煤工作面参数确定.....	381
第二节 放顶煤液压支架架型与参数选择.....	390
第三节 工作面总体配套方式与设备选型.....	400
第四节 大采高综放工作面总体配套.....	408
第五节 自动化综放工作面总体配套.....	421
第九章 大倾角等复杂煤层综采工作面系统集成配套	428
第一节 大倾角等复杂煤层综采工作面系统集成配套综述.....	428
第二节 大倾角一次采全高工作面设备选型与配套.....	430
第三节 大倾角厚煤层综放工作面设备选型与配套.....	440
第四节 急倾斜煤层俯伪斜综采工艺与设备配套.....	446
第五节 大倾角煤层大采高综采工作面总体配套.....	450
第六节 极松软厚煤层“抱采”放顶煤工艺与工作面总体配套.....	453
第十章 充填开采工作面系统集成配套	458
第一节 充填开采工艺与技术发展.....	458
第二节 充填综采工作面设备及总体配套.....	462
第十一章 工作面端头超前支护系统与大块煤破碎	469
第一节 工作面端头超前支护方式及支护系统设计原则.....	469
第二节 端头巷道超前支护原理与设计.....	471
第三节 超前支架研制与应用实例.....	485
第四节 工作面大块煤岩破碎装置.....	497
第十二章 工作面供电供液系统	499
第一节 供电系统的组成及主要设计内容.....	499
第二节 供电系统电压等级的确定.....	500
第三节 供电系统配电点的确定.....	501

第四节	供电系统设备类型和参数的确定	505
第五节	供电系统设计示例	515
第六节	工作面乳化液泵站和喷雾泵站	523
第七节	工作面智能化供液系统	534
第八节	液压支架传动介质	541
第十三章	工作面自动化智能化系统	545
第一节	工作面自动化智能化系统的组成及功能	545
第二节	液压支架协调联动及智能耦合控制	547
第三节	采煤机记忆截割与自动控制	562
第四节	工作面运输系统综合检测与自动化控制	566
第五节	工作面远程监控及视频监控系统	571
第六节	工作面自动化系统集成与数据上传	575
第七节	典型自动化智能化综采工作面实践	578
第十四章	工作面系统健康管理	582
第一节	工作面支护质量特征与矿压观测数据处理方法	582
第二节	液压支架支护质量综合监测系统	588
第三节	工作面支护质量监测数据处理系统及应用	597
第四节	清洁生产智能降尘系统	606
参考文献		622

第一章 煤矿综采技术与装备发展概论

第一节 综采工作面成套技术与装备发展回顾

一、我国煤炭开发历史回顾

新中国成立 60 多年来，伴随着国民经济的发展和产业政策的调整，我国煤炭工业历经解放初期恢复、困难时期、体制转型、市场化、结构调整和“黄金十年”等阶段，逐步成为世界最大的煤炭生产国。全国煤炭产量由 1949 年的 30 Mt 左右增加到 2014 年的 3.87 Gt，增长 129 倍，年均增速 8% 左右，累计生产煤炭 400 多亿吨。煤炭一直是我国的主导能源，在我国一次能源消费结构中占 70% 左右，是我国能源安全的基石。我国煤炭工业为国家经济和社会发展做出了巨大贡献。

1950—1952 年是国民经济恢复期，煤炭产量稳步提升，全国煤矿生产能力由 1949 年的 30 Mt 迅速增加到 1952 年的 66.5 Mt，增长了一倍多。1953 年，国家开始实施第一个五年计划，到 1957 年煤炭产量已达到 130.73 Mt。在这一时段，国家推行公有化制度，强调国有煤矿的主导作用，国有重点煤矿和国有地方煤矿煤炭产量增长率超过 17%。与此同时，对私营煤矿进行严格限制，乡镇煤矿产量增长率仅为 1.56%。产能扩大和开办煤矿全部依靠国家和地方政府的投入，煤炭行业的国有化经营全面铺开。

1958 年，全社会投资与物质需求急剧增加，煤炭需求剧增，煤炭产量由 1957 年的 130.73 Mt 增加到 1960 年的 397.21 Mt，国有重点煤矿、国有地方煤矿和乡镇煤矿的产量增长率分别达 36.3%、65.3% 和 40.6%。各类煤矿产量高速增长的同时，也造成煤矿采掘失调，安全措施和设备投入不足，基础建设不扎实，从而导致煤炭产业发展后劲不足。

1961—1965 年，受自然灾害、对外关系等多种不利因素影响，我国遭遇“三年困难期”，经济出现下滑，煤炭产能下降。煤炭产量从 1960 年的 397.21 Mt 减少到 1965 年的 231.8 Mt。煤炭产量持续大幅度下跌严重影响到国民经济的发展，1962 年 5 月，国家为保证国民经济的基本运行，实行了“开仓保粮”政策，重点解决煤炭供应短缺问题。

1966 年，煤炭部将下属的 72 个矿务局下放到省区地方政府，由于地方管理混乱，煤矿采掘严重失调，煤炭产量不足，煤炭供需矛盾严重，严重影响国民经济和人民生活。之后，地方小煤矿有了较快发展，年均产量增长率高达 20.8%，而国有重点煤矿产量年均增长率仅为 5.71%。十一届三中全会召开以后，国家对煤炭工业管理体制进行了有计划的改革，重点解决煤炭供需矛盾、基本建设规模、速度与煤炭产量增长不协调的问题。

改革开放后，国家在政策上放开过去不允许群众集资办矿和私人办矿的限制，实行了“国家、集体、个人一齐上，大中小煤矿并举”的方针；其次，取消了煤炭销售的地区限制，因此全国各地掀起了群众办矿高潮，煤炭生产建设速度加快，特别是乡镇煤矿迅猛发展，1983—1988 年，乡镇煤矿连续 6 年高速增长，年平均增长率达到 15.8%，乡镇煤矿数量由 1982 年的 1.6 万处增加到 1987 年的 7.9 万处。乡镇煤矿高速发展缓解了煤炭供应紧张的局面，但也为后期煤炭行业出现严重供过于求埋下了隐患。

1992 年 12 月，为平衡市场供需，进一步发挥市场经济的调节作用，国家决定从 1993 年起，用 3

年时间放开煤炭价格，同时取消中央财政对统配煤矿的补贴，使煤炭生产企业拥有充分的经营定价权，这标志着煤炭企业开始向市场经济过渡。截至1997年底，我国共有大小矿井6.4万处，其中6.1万处为小矿井，接近总数的95%，非法开采的有5.12万处，占总量的80%。乡镇煤矿产量迅速增加，1993年首次超过了国有重点煤矿产量，1995年国有重点煤矿与国有地方煤矿及乡镇煤矿产量比值为37:17:46。该时期煤炭行业发展迅猛，但过低的产业集中度导致供需信息传导不畅，市场竞争激烈，产品质量低下，价格秩序混乱，煤炭市场出现严重的供大于求局面。1997—1999年，受国内经济结构调整和亚洲金融危机的影响，煤炭市场进一步疲软，多数煤矿开工不足，致使煤炭市场价格大跌，全行业陷入困境。为此，中央在1998年撤销了煤炭工业部，将重点煤矿下放给地方政府，并针对煤炭行业的问题相继颁布了若干政策，采取了“关井压产”限制煤炭总量等措施。

1999年以后，我国国民经济建设速度加快，尤其是工业化和城镇化建设步伐加快，基础设施建设带动主要耗煤行业迅速发展，煤炭需求大幅增长，煤炭生产也迅速恢复并呈逐年递增的趋势，国内煤炭供需呈现出总体基本平衡、局部地区偏紧的态势。到2002年，受国家继续实施扩大内需政策及西部大开发战略实施的影响，第二产业特别是电力、冶金、建材等工业的迅猛发展，拉动了煤炭市场需求，煤炭产量开始迅速回升，煤炭行业经济效益出现好转，终于摆脱了过去几十年一直处于微利和亏损边缘的不利局面。

受“十一五”前后煤炭需求利好形势的影响，许多煤炭企业为争取市场份额，采取粗放式乱采乱挖的生产方式，造成煤炭资源巨大浪费，安全生产事故频发，生态环境破坏严重，极大损害了煤炭工业的整体形象。为促进煤炭工业健康发展，政府出台了一系列煤炭产业发展政策，如2005年6月的《国务院关于促进煤炭工业健康发展的若干意见》，2006年4月的《加快煤炭行业结构调整 应对产能过剩的指导意见》，2006年9月的《国务院关于同意深化煤炭资源有偿使用制度改革试点实施方案的批复》，2007年1月的《煤炭工业发展“十一五”规划》及2007年11月的《煤炭产业政策》。以上政策的出台，对煤炭工业发展在规模、结构、技术、安全、环保和资源节约等方面均产生了积极而深远的影响。目前，我国煤炭工业科学发展的理念得到进一步加强，市场化改革取得重大进展，结构调整步伐加快，自主创新能力增强，煤炭产量大幅增长，矿区环境恢复与治理机制逐步建立，煤矿安全生产形势出现好转，对外开放稳步推进，有力保障了国家煤炭稳定供应。“十一五”末，全国煤矿数量减至1.5万多处，平均单井规模提高至0.2 Mt；大型煤炭基地产量达到2.8 Gt，约占全国的87%。煤炭行业经过“十一五”期间重大调整，发展方式出现新的转变，产业集中度得到提高，煤炭企业多元产业发展格局初具规模，煤电一体化发展进程加快，新型煤化工产业逐渐兴起，初步建立了煤炭上下游产业联合发展机制，一个现代化的新型煤炭工业体系逐步形成。

2002—2012年是煤炭工业发展的“黄金十年”，全国各主要工业部门骨干企业几乎都进军煤炭开发建设领域，煤炭产能大幅度增加，产能过剩格局形成。受国内外经济发展放缓和进口煤炭冲击等多重因素影响，能源价格大幅下滑，煤炭行业进入新的困难时期，2015年全行业亏损企业已超过80%，新一轮的行业产业调整和优化迫在眉睫。

二、综采技术装备发展过程

综合机械化开采是20世纪煤矿开采技术的重大革命，综采工作面成套装备技术是综合机械化开采的核心技术。我国自20世纪70年代开始大规模引进国外综采成套装备，发展综合机械化采煤，经过40多年的发展，煤炭工业发生了翻天覆地的变化，由当年落后的小煤矿人力开采为主，发展到以大型矿井安全高效开采为主；从完全依赖进口综采装备，到高端装备国产化并占领国际市场，我国成为世界第一产煤国和第一大煤机生产国。

回顾我国综采工作面成套装备技术发展过程，大致可分为3个阶段：第一阶段自20世纪70年代初至80年代中，是引进消化吸收阶段；第二阶段自20世纪80年代中后期至2003年前后，是自主发

展与高端引进阶段；第三阶段自 21 世纪以来，是高端装备国产化和产业化创新阶段，根据我国安全高效矿井建设要求，攻关研制高效综采成套装备，逐步实现高端综采成套装备国产化，创新开发新产品、新技术。

在第一阶段中，我国从德国、英国和波兰等国家引进了一百多套综采成套装备，我国综采设备从无到有，并开始了技术的探索和试验。由于国外对其核心技术的封锁，引进的综采装备多次出现因不适应煤矿条件而发生重事故。在引进国外装备技术的同时，煤炭科学研究总院和相关厂矿企业进行了联合技术消化、吸收和攻关，仿制开发了国产综采成套装备。这一阶段，先进综采工作面以年产百万吨为标杆。

在第二阶段中，国家组织了“七五”“八五”和“九五”综采工作面成套装备技术攻关，北京开采所与有关企业合作研制了 4~5 m 厚煤层综采成套装备、日产 7000 t 综采成套装备和年产 5 Mt 综放成套装备，逐步建立了自主的综采工作面成套装备技术体系。这一阶段中，普通综采装备实现国产化，但设备的可靠性还普遍较差，与国际先进水平差距还很大，以神东矿区为代表的大型现代化矿井完全依赖进口的高端综采成套装备，形成了几个国外大煤机公司垄断中国综采装备高端市场的局面。

在第三阶段中，受益于国家振兴装备制造业的产业政策，高效开采装备技术受到了越来越广泛的关注，《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）》中有关能源的优先主题就包括重点研究开发煤炭高效开采技术及配套装备。国家“十五”“十一五”和“十二五”计划对综采装备技术发展给予重点支持，开展了一系列技术攻关，先后取得了年产 6 Mt 综采放顶煤工作面成套技术与装备、自动化放顶煤关键技术与装备、年产 6 Mt 综采成套装备技术、0.6~1.3 m 薄煤层综采自动化成套技术与装备、大倾角煤层综采综放成套装备关键技术、高端液压支架及其先进制造关键技术研究产业化、年产千万吨大采高综采成套装备、特厚煤层大采高综放成套装备技术、特厚煤层大采高综放成套技术与装备、超大采高综采成套技术与装备等一大批重要成果，支撑了煤炭工业的技术进步和快速发展。这些成果分别获得了国家科学技术进步奖一等奖、二等奖和省部级特等奖、一等奖。

20 世纪 80 年代初，我国从国外引进单输送机高位放顶煤液压支架和双输送机中位放顶煤液压支架进行综放开采，由于单输送机高位放顶煤液压支架存在放煤口高、顶煤损失大、顶煤采出率低、采煤和放煤不能平行作业、生产效率低等问题，因而没有得到广泛应用。至 20 世纪 90 年代中期，双输送机中位放顶煤液压支架一度成为综放开采的主导架型，但双输送机中位放顶煤液压支架依然存在放煤口较高、放煤损失大、顶煤采出率低、支护效果较差等问题，成为制约综放开采的突出问题。

在高位放顶煤和中位放顶煤开采实践的基础上，煤炭科学研究总院北京开采所与有关企业合作，于 20 世纪 90 年代初创新研制了正四连杆、反四连杆和单摆杆低位放顶煤液压支架，将工作面后部输送机直接布置在工作面底板上，带伸缩插板的尾梁放煤机构实现放煤口连续无脊背损失，为实现综放工作面的安全高效开采、高采出率开采提供了保障。新型高效低位放顶煤液压支架的研制和发展，实现了放顶煤技术的突破，综放开采各项技术经济指标不断刷新，高位放顶煤液压支架和中位放顶煤液压支架被淘汰。综放开采实践证明，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，放顶煤液压支架架型的改革和发展成为综采放顶煤技术发展阶段的重要标志。

“九五”和“十五”期间，煤炭科学研究总院北京开采所与兖矿集团等煤炭生产企业合作，进行了以放顶煤液压支架为核心的高产高效综放开采成套装备与工艺技术的研究开发和技术攻关，使综放工作面达到年产 6 Mt 的世界领先水平。同时，成功研制两柱式放顶煤液压支架和电液控制自动化放顶煤工作面成套装备技术，并把以两柱式放顶煤液压支架和电液控制自动化放顶煤工作面成套装备技术为核心的综放开采技术成功出口到澳大利亚，开创了澳大利亚厚煤层综放开采的先河。

“十一五”期间，煤炭科学研究总院北京开采所承担了国家科技支撑计划重大项目——特厚煤层大采高综放开采成套装备研制，创新研制了世界首套最大支撑高度为 5.2 m、工作阻力为 15000 kN 的

大采高放顶煤液压支架，在同煤集团塔山煤矿成功实施了 20 m 特厚煤层一次采全厚综放开采，工作面年产达到 10.87 Mt，实现了综放开采技术的新突破。国家 863 计划把两柱超强力放顶煤液压支架列入煤矿掘采智能化装备重大专项，以蒙陕矿区特厚煤层综放开采为工程依托，研发智能化两柱超强力放顶煤液压支架及配套技术，实现特厚煤层开采技术的新突破。

2002—2012 年，伴随着我国经济的持续高速发展，大量其他领域资本开始投资煤炭开发，煤炭行业经历了史无前例的“黄金十年”。煤炭工业的快速发展为煤机装备制造业的发展创造了空前的机遇，“十一五”期间，我国开采装备技术创新步伐进一步加快，关键技术攻关取得重大突破。煤机装备制造业实现了历史性跨越发展，煤炭开采技术与装备水平得到了大幅提升，煤矿安全生产事故逐年下降。1990 年、2000 年、2012 年我国国有重点煤矿机械化程度及产量如图 1-1 所示。

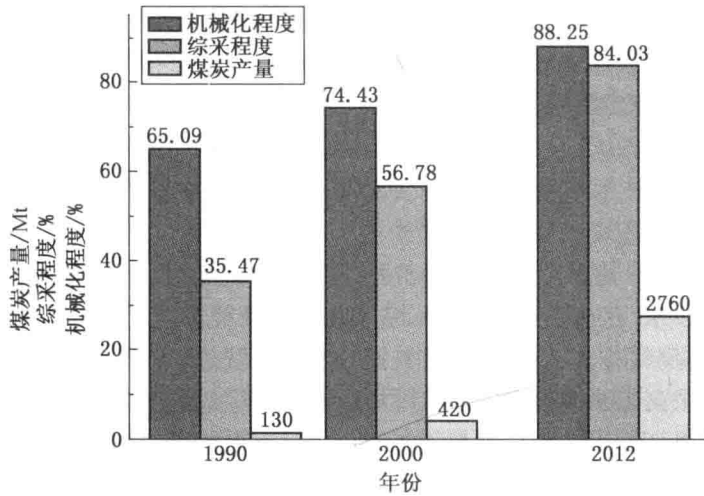


图 1-1 1990 年、2000 年、2012 年我国国有重点煤矿机械化程度及产量

第二节 国外综采工作面设备配套技术现状与趋势

一、国外高产高效矿井技术特点

20 世纪 70—80 年代，英、法等国家煤矿已经广泛应用长壁综合机械化开采技术，并且是中国综采技术装备引进的主要来源国。但到 20 世纪末，英、法等国家逐步关闭煤矿，退出采煤业，德国也关闭了大部分煤矿，目前仅有 3 个矿井还在生产，计划到 2018 年全部关闭。

美国作为世界第二大采煤国，煤炭资源储量丰富，煤层赋存条件好，自 1990 年起煤炭产量一直稳定在 1 Gt 左右，其开采方法以露天开采为主，井工开采为辅，2010 年露天煤矿产量占 68.85%，井工煤矿产量占 31.15%。在井工开采产量中，长壁综采产量占 50.14%，连续采煤机短壁开采产量占 48.45%，其他传统方法开采（爆破破煤）产量占 1.41%。

目前，美国有 46 个长壁综采工作面，分布在 11 个州的三大煤田，其中东部阿巴拉契亚煤田长壁综采工作面占 60.87%，中部伊利诺伊煤田占 6.52%，西部岩石山脉煤田占 32.61%。

美国井工煤矿煤层赋存条件优异，绝大多数煤层为近水平煤层（两个矿井除外），煤层埋藏较浅，并且多为薄及中厚煤层，2010 年综采矿井平均开采深度与煤层开采高度分布如图 1-2、图 1-3 所示。

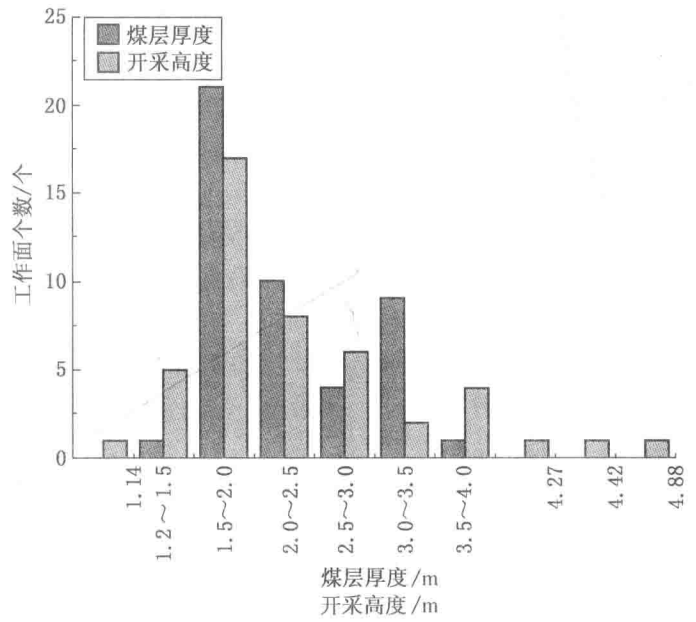
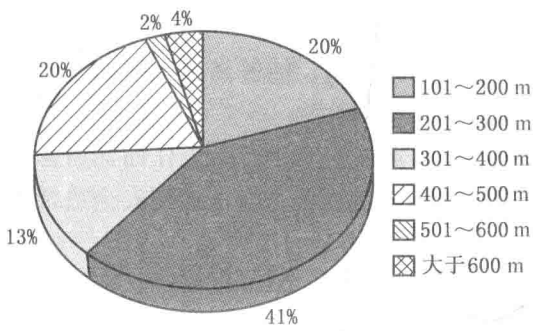


图 1-2 美国 2010 年综采矿井平均开采深度分布

图 1-3 美国 2010 年煤层厚度及开采高度分布

由于煤层赋存条件较好，非常适宜进行高产高效、集约化开采，2010 年美国长壁综采矿井平均全员效率达到 4.01 t/(工·h)，远高于连续采煤机开采的 2.26 t/(工·h)。美国高产高效矿井具有以下技术特点：

(1) 绝大多数矿井为单一长壁综采工作面，一井一面，日产万吨以上。

(2) 采用盘区布置，盘区尺寸更宽、更长，减少了工作面搬家倒面次数，2010 年长壁综采矿井最大盘区长度达到 5781 m，平均盘区长度达到 3383 m，典型工作面布置如图 1-4 所示。

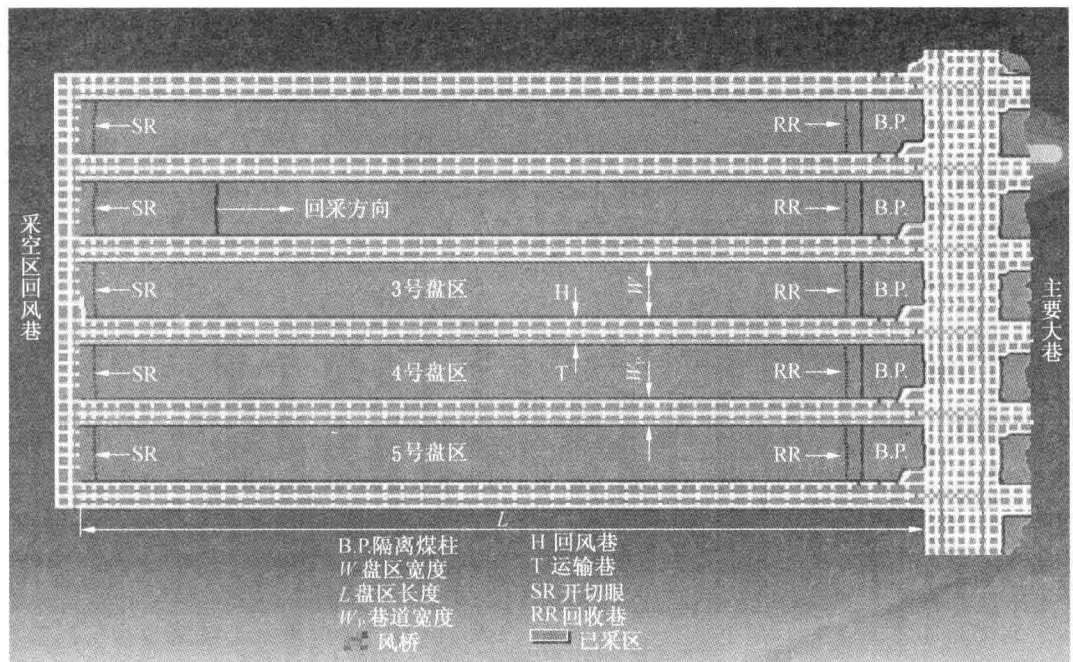


图 1-4 美国煤矿典型盘区布置