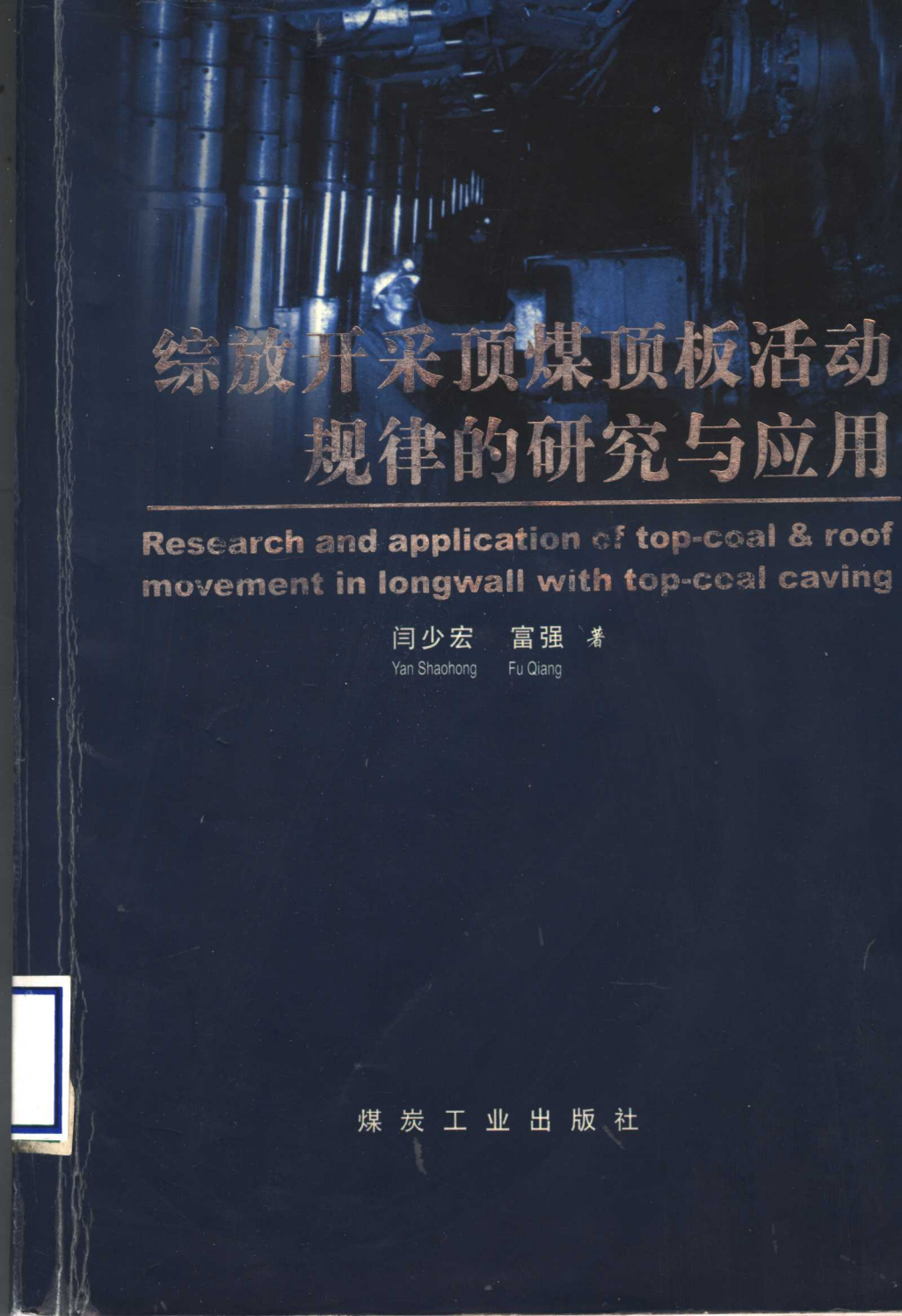




综放开采顶煤顶板活动 规律的研究与应用

Research and application of top-coal & roof
movement in longwall with top-coal caving

闫少宏 富强 著
Yan Shaohong Fu Qiang

煤炭工业出版社

院科技发展基金资助出版

ISBN 7-200-3CB03)

综放开采顶煤顶板活动 规律的研究与应用

Research and application of top - coal & roof
movement in longwall with top - coal caving

闫少宏 富 强 著

Yan Shaohong Fu Qiang

煤炭科学研究总院北京开采研究所

煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

综放开采顶煤顶板活动规律的研究与应用/闫少宏,
富强著. 北京: 煤炭工业出版社, 2003

ISBN 7-5020-2342-9

I. 综… II. ①闫…②富… III. ①综合机械化采
煤-放顶煤-煤矿开采-研究 ②综合机械化采煤-
煤矿开采-顶煤顶板-研究 IV. TD327.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 066352 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 850mm × 1168mm $1/32$ 印张 13 $3/8$

字数 348 千字 印数 1—1, 300

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

社内编号 5113 定价 48.00 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



闫少宏 男，1966年生，博士，高级工程师。1988年毕业于西安科技大学，1992年获该校采矿工程专业硕士学位，1995年获中国矿业大学采矿工程专业博士学位，现任煤科总院北京开采所副所长，主要从事采煤工艺、矿山压力及其控制研究与技术推广工作。获国家教委科技进步三等奖一项，原煤炭部科技进步三等奖一项，河北煤管局科技进步二等奖一项，邯郸市科技进步奖一项。主持包括国家“九五”攻关、国家自然科学基金重点子项、煤炭自然科学基金等30余项，出版学术专著一部，发表论文30余篇。1998年被评为“为邯郸经济建设做出突出贡献外地专家”，2000年获孙越崎能源青年科技奖，2001年被聘为陕西彬县煤炭总公司下沟矿副矿长，《人民日报》和国家大型企业工委《我身边的共产党员》曾对其事迹给予长篇报道，2003年被评为“北京工业百名优秀专业技术人才”。



富强 男, 1971 年生, 博士, 高级工程师。1993 年毕业于阜新矿业学院采矿系, 1996 年获中国矿业大学采矿工程专业硕士学位, 1999 年获中国矿业大学北京研究生部采矿工程专业博士学位, 此后一直在煤科总院北京开采所工作, 主要从事放顶煤开采与矿井高产高效采法改造方面的研究。参与包括国家自然科学基金重点项目、“九五”攻关等 10 余项, 近期先后在《煤炭学报》、《岩石力学与工程学报》、《中国矿业大学学报》、《辽宁工程技术大学学报》、《矿山压力与顶板管理》、《煤矿开采》等杂志发表学术论文 20 余篇。

内 容 提 要

本书是研究综放开采围岩活动及顶煤放出规律与应用的专著。作者通过分析综放开采与中厚煤层开采矿压显现的不同特点,认为顶煤体在综放开采支架-围岩相互作用关系中起着关键性作用。书中以顶煤运移规律研究为主线,在深入分析大量顶煤与顶板运移实测数据的基础上,提出顶煤体的运移特征符合宏观损伤力学的基本原理,顶板的活动特点符合有限变形力学的基本原理,并将损伤力学理论应用于顶煤运移规律的研究,提出了顶煤体运移分区的力学方法和建立顶煤体运移损伤物性方程的原理和方法。据此介绍了确定综放开采支架工作阻力的解析法和统计类比法、综放开采顶煤控制的基本原理、提高顶煤采出率的原则及其相关应用。在深入研究顶煤可放性各种影响因素的同时,本书结合实验室模型试验、离散元数值计算和散体运动学理论分析,提出了充分考虑放煤支架及放煤口位态影响“顶煤落放过程”的概念,建立了拱-椭球放出体理论体系,为进一步提高放顶煤开采的采出率奠定了理论基础。

本书可作为从事采矿工程专业大中专学生和研究生参考书,也可供有关科研人员、工程人员参考。

SYNOPSIS

This monograph emphasizes on the movement of surrounding rock and the drawing law of broken top - coal in longwall with top - coal caving. By the analysis of strata behavior in longwall with top - coal caving and fully mechanized mining of medium thickness seam, top - coal body is regarded as the key role in the relationship between support and surrounding in longwall with top - coal caving. Based on the large amount of practical data, the contents, taking the research of top - coal and roof movement as principal, discussed in this book are mainly as follows: the characters of top - coal movement conform to the basic theory of macro - damage mechanics; the behavior of roof movement accords with the basic theory of rational mechanics; the mechanical method of top - coal partition and the damage physical equation of top - coal movement are put forward by the application of damage mechanics. Analytic method and statistics method for the calculation of support resistance, rules of top - coal control and measures to increase coal recovery ratio are also introduced. On the basis of the analysis of the factors influencing top - coal caving capacity, a new concept of top - coal falling and caving with thoughtfully considering of hydraulic support and the position of drawing opening is suggested combined with model simulations, DEM and kinematics analysis. A theoretical system of arc - ellipsoid drawn body is established as a theoretical fundament for the further increasing of resource recovery ratio in longwall with top - coal caving face.

The book can be used as a textbook for students studying in mining universities and colleges as well as other relevant staffs. It can also provide references for scientific research workers and engineers.

前 言

能源是工业的粮食，能源开发和利用历来受到世界各国的高度重视。煤炭在世界能源消费中一直占据着重要地位，合理和可持续地开采煤炭资源，对世界经济的发展有着举足轻重的作用。我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国，研究报告指出，至2030年，煤炭在我国能源消耗中的比重仍将占70%左右。因此，在今后相当长的一段时期内，煤炭在国民经济和社会发展中仍将占有重要地位，并具有不可替代性。

煤炭储量占我国常规能源探明储量的90%以上，从资源上讲煤炭是可靠的能源，从经济上讲煤炭是廉价的能源，从环境上讲煤炭是可以洁净利用的能源。我国厚煤层储量丰富，约占煤炭探明储量的44%，每年井工开采的厚煤层产量约占全国煤炭产量的40%~50%。但由于采用传统的开采方法，技术落后，不仅使厚煤层的储量优势没有得到充分发挥，反而因为其工艺复杂、灾害事故多、对地质条件的适应性差等缺陷，致使煤炭采出率低、采煤效益差。以前我国部分矿区在厚煤层沿用高落式开采，产量低、效益差、安全状况不好、资源损失严重。在历次采煤方法改革过程中，大多数矿井的厚煤层采用分层开采，由分层炮采到分层普采以至分层综采。在生产条件好、管理水平高的矿区，分层综采工作面多次创出了年产百万吨的好成绩，但分层综采普遍存在巷道布置复杂、掘进率高、巷道维修量大、生产成本高等问题。当顶板较破碎和有稍厚伪顶时，第一分层的顶板管理困难，片帮冒顶事故多，制约着安全生产，影响着工作面单产的提高。在易燃煤层中，下分层综采工作面，极易发生煤层自燃，威胁安全生产。在借鉴国外综放开采技术的基础上，我国于1982年开始立项研究综放开采工艺，1984年在沈阳蒲河矿厚煤

层进行综放开采的工艺改革。至今经过 20 年的探索、完善与提高,这种采煤工艺得到了蓬勃发展,实现了厚煤层传统采煤方法的一次革命,形成了具有中国特色并具有世界领先水平的综放开采技术。目前,该技术已成为我国厚煤层主导的开采技术。

新的采煤方法的变革,不可避免带来了新一轮与之相关的理论课题,引起了学术界新一轮的研究与讨论。综放开采一次开采厚度大,顶板活动空间大,“围岩活动规律与矿压显现有何新特点?综放支架架型与参数如何确定?如何有效控制围岩?顶煤落放遵循何种规律?如何提高顶煤采出率?”等等,这些都是科研工作者不能回避而应深入研究的课题。正是基于上述考虑,作者以大量的现场实测为基础,通过分析实测数据,借鉴我国综采矿压研究成果,运用现代力学与数值计算工具,从力学层次上研究围岩活动规律并将理论成果付之应用,并在实践中深化和提高。

本书以顶煤运移规律的研究为主线,以符合综放开采顶煤、顶板变形运动、落放特点的现代力学成果为工具,以能指导现场生产实践为目标,较为深入地阐述了综放开采围岩活动规律和应用。

本书第一章、第二章、第三章、第四章、第五章由闫少宏博士执笔完成,第六章由富强博士执笔完成。

作为科研工作者,为我国煤炭工业特别是具有中国特色的综放开采技术的研究与推广做一些理论研究,解答现场实践中所遇到的问题,一直是作者努力的目标,本书基本上涵盖了作者 10 多年来在综放开采理论与实践方面所做的一些工作,不足之处在所难免,敬请读者指正。

作者要特别感谢博士生导师陆士良、吴健教授,硕士生导师石平五教授长期以来给予的精心指导,感谢实践中共同完成项目的大量矿区现场同志和煤炭科学研究总院北京开采研究所同事们的帮助。

作者

2003 年 5 月 8 日

目 录

前 言

§ 1 绪 论	1
1.1 概 述	1
1.2 综放开采技术发展	8
1.3 综放开采典型工艺模式	15
1.4 综放开采工作面矿压显现规律	31
1.5 综放开采液压支架	42
1.6 综放开采煤炭采出率	50
1.7 综放开采安全技术	61
§ 2 综放开采顶煤顶板运移的现场实测	74
2.1 概 述	74
2.2 郑州米村矿 15011 综放面顶煤与顶板活动规律 实测	77
2.3 郑州米村矿 15051 综放面顶煤顶板运移实测	90
2.4 阳泉 15 号煤层综放工作面顶煤顶板运移实测	94
2.5 汾西水峪矿 7101 综放面顶煤运移实测	105
2.6 潞安王庄矿 4309 综放面、大同忻州窑矿 8902 综放工作面顶煤裂隙发育实测	112
§ 3 综放开采顶煤运移理论与综放支架工作 阻力的确定	116
3.1 概 述	116
3.2 综放开采顶煤运移的理论分析	119
3.3 损伤力学理论在顶煤分区中的应用	126
3.4 利用损伤力学理论建立顶煤运移物性方程	138
3.5 利用损伤力学理论确定综放支架工作阻力	148
3.6 确定综放支架工作阻力的反分析法	155

3.7	确定综放支架工作阻力的统计类比法	159
3.8	综放支架设计基本原则	163
§ 4	提高综放开采煤炭采出率的实践及研究	171
4.1	利用顶煤运移规律分析综放面采出率	171
4.2	煤岩垮落特征与综放开采采出率	202
4.3	用注水软化方法提高含较厚硬夹矸层顶煤体 冒放性的试验	210
4.4	用架端爆破方法提高硬厚煤层顶煤冒放性的 试验	243
4.5	易冒煤层综放开采端面冒顶控制	248
§ 5	综放开采上位岩层运移规律研究	263
5.1	综放开采上位岩层运移规律研究的思路	263
5.2	综放开采上位岩层运移规律研究的力学 模型	264
5.3	综放开采上位岩层结构面的稳定性分析	271
5.4	综放开采上位岩层的极限垮距	281
5.5	综放开采上位岩层下沉的动态模拟	285
5.6	综放开采上位岩层所成结构	295
5.7	综放开采上位岩层平衡结构向高位转移的 机理分析	297
5.8	综放开采上位岩层运动的范围确定举例	301
5.9	综放开采上位岩层运移规律与煤炭采出率、 含矸率的关系	307
§ 6	综放开采松散顶煤落放规律的研究	315
6.1	综放开采松散顶煤放出规律研究现状	315
6.2	综放开采松散顶煤落放规律实验室试验	331
6.3	综放开采松散顶煤落放规律离散元仿真	345
6.4	综放开采松散顶煤落放规律运动学分析	373
6.5	较薄厚煤层综放开采放煤工艺与煤炭损失	397
	主要参考文献	412

CONTENTS

Preface

Chapter 1 Exordium

- 1.1 Introduction
- 1.2 Development of longwall with top – coal caving mining
- 1.3 Technology models of longwall with top – coal caving mining
- 1.4 Strata behavior of longwall with top – coal caving mining
- 1.5 Hydraulic support of longwall with top – coal caving mining
- 1.6 Coal recovery ratio of longwall with top – coal caving mining
- 1.7 Safety technique of longwall with top – coal caving mining

Chapter 2 Field tests of top – coal & roof movement in longwall with top – coal caving mining

- 2.1 Introduction
- 2.2 Field test of top – coal & roof movement in Face No. 15011 of Zhengzhou Micun Coal Mine
- 2.3 Field test of top – coal & roof movement in Face No. 15051 of Zhengzhou Micun Coal Mine
- 2.4 Field test of top – coal & roof movement in Seam No. 15 of Yangquan mining area
- 2.5 Field test of top – coal movement in Face No. 7101 of Fenxi Shuiyu coal mine
- 2.6 Field tests of cracks developing in top – coal in Face No. 4309 of Lu – an Wangzhuang Coal Mine and Face No. 8902 of Datong Xinzhouyao Coal Mine

Chapter 3 Theoretical analysis of top – coal movement and the calculation of support resistance in longwall with top – coal caving mining

- 3.1 Introduction
- 3.2 Theoretical analysis of top – coal movement in longwall with top – coal caving mining

- 3.3 Application of damage mechanics in the partition of top – coal deformation
- 3.4 Physical equation of top – coal movement by damage mechanics
- 3.5 Calculation of support resistance by damage mechanics
- 3.6 Calculation of support resistance by anti – analysis method
- 3.7 Calculation of support resistance by statistics analysis
- 3.8 Basic rules for the design of hydraulic support

Chapter 4 Research on the increasing of recovery ratio in longwall with top – coal caving mining

- 4.1 Analysis of low coal recovery ratio by the movement law of top – coal
- 4.2 Analysis of recovery ratio and coal & rock falling
- 4.3 Increasing the caving capability of top – coal by water injection in seam with thick rock band
- 4.4 Increasing the caving capability of top – coal by working face blasting in hard & thick seam
- 4.5 Control of tip – to – face area in easy to fall coal seam

Chapter 5 Research on the movement law of overlying strata in longwall with top – coal caving mining

- 5.1 Approach to the research on the movement law of overlying strata
- 5.2 Mechanics model for the research on the movement of overlying strata
- 5.3 Analysis of the stability of structural weakness in overlying strata
- 5.4 Analysis of the maximum span of overlying strata broken
- 5.5 Dynamical simulation of the subsiding of overlying strata
- 5.6 Analysis of the established structures in overlying strata
- 5.7 Analysis of the balance structure movement in overlying strata
- 5.8 Deciding the range of overlying strata movement in practice
- 5.9 Analysis of the relationship between coal recovery & refuse ratio and the movement of overlying strata

Chapter 6 Research on the drawing law of broken top – coal in longwall with top – coal caving mining

- 6.1 Current situation of the research on the drawing law of broken top – coal
- 6.2 Model simulation of the drawing of broken top – coal in laboratory
- 6.3 DEM study of the drawing of broken top – coal
- 6.4 Kinematics analysis of the drawing of broken top – coal
- 6.5 Analysis of mining technology and coal loss in thinner thick – seam

Main references

§ 1 绪 论

1.1 概 述

煤炭是我国的主要能源，储量丰富。研究报告指出，至 2030 年，煤炭在我国能源消耗比重仍将占到 70% 左右。厚煤层在我国煤炭储量中占 44%，这是我国的储量优势。但由于一直没有找到有效的开采方法，原有开采技术落后，不仅厚煤层多的储量优势不能发挥，而且因分层开采工艺复杂、灾害多、对地质条件变化的适应性差等致使实际煤炭采出率低，采煤经济效益差。我国部分局矿以前对厚煤层沿用高落式开采，产量低、效益差、安全状况不好，资源损失严重。在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，由分层炮采到分层机采以至分层综采。在生产条件好、管理水平高的局矿，分层综采工作面多次创出了年产百万吨以上的好成绩。但是分层综采普遍存在巷道布置复杂，掘进率高，巷道维修量大，材料消耗大，生产成本高等问题。当顶板较破碎和有稍厚伪顶时，第一分层的顶板管理困难，冒顶片帮事故多，不仅制约着安全生产，影响工作面单产的提高，而且安全状况不佳。在易燃煤层中，分层综采的下分层工作面，极易发生煤的自然发火，威胁安全生产。

自 20 世纪 50 年代末综放开采问世以来，经过数十年的试验和使用，在世界近十个产煤国家发展较快。70 年代和 80 年代初，在法国、匈牙利和前南斯拉夫综放开采成为厚煤层开采的主要方法之一。以后受各种因素的影响，综放开采在国外未能进一步发展。

在借鉴国外开采厚煤层技术的基础上，我国于 1982 年开始研究厚煤层综放开采技术，并于 1984 年首次在沈阳蒲河矿厚煤

层进行综放开采工艺试验，即将厚煤层分层开采改为整层综放开采（只将厚煤层的一小部分用机械破碎，其余顶煤利用地压破碎，然后顶煤在自重作用下放出、运走，又称地压落煤）未获成功。1986年在窑街二矿急倾斜特厚煤层中试验水平分段综采放顶煤。1987年和1988年分别在平顶山一矿和阳泉一矿试验成功了缓倾斜中硬煤层的综采放顶煤，随后又在郑州米村矿“三软”不稳定特厚煤层和乌兰矿大倾角（倾角 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ）厚煤层中试验成功。目前综放开采技术已在我国潞安、阳泉、郑州、兖州、石炭井、邢台、辽源、窑街、乌鲁木齐、铁法、抚顺、平顶山、徐州、新集、铜川等30个矿区60多个工作面得到推广应用，并取得了明显的经济效益。截止到1995年底，全国已有220个综放工作面，总产量达1.12亿t。1995年全国有67个综放工作面，平均单产71.67万t/a。兖州兴隆庄综放一队，1995年产煤300万t/a，创国内外最高纪录。在1995年全国65个超百万吨综采队中，有23个综放队；9个超200万t的队中，有6个是综放队，见表1-1。在1996年72个超百万吨的综采队中，有25个综放队；11个超200万t的队中，有8个综放队。表1-2是我国部分局矿综放工作面技术指标。在2000年78个超百万吨的综采队中，有27个综放队；18个超200万t的队中，有11个综放队，见表1-3。表1-4是我国年产超百万吨综放队生产指标。表1-5是我国历年综放工作面个数统计。表1-6是我国历年综放产量统计。表1-7是我国历年百万吨综放工作面个数统计。表1-8是我国历年综放工作面最高年产量统计。由此可见，综放开采技术已成为我国实现高产高效矿井采煤的主要手段之一。

不难看出，综采放顶煤工艺越来越显示出独有的优势，厚煤层综采放顶煤技术已成为我国煤炭工业的主要技术发展方向之一。其优势主要表现在以下几个方面：

(1) 高产高效。由于放顶煤综采实现了采放平行作业，一个工作面可相当于多个工作面，单产和效率均可提高80%~120%。

(2) 巷道掘进率低。一般要比分层开采低 50% ~ 60%，可大大缓解采掘接续紧张的局面并改善巷道维护，同时生产也能相对集中。

(3) 工作面搬家次数少。一般百万吨的搬家次数较分层开采可减少一半以上。

(4) 大量节省劳力投入，大幅度提高矿井和原煤工效。

(5) 节省电力消耗。因综放开采顶煤是靠自然矿山压力来破碎的，无需外加动力，所以与分层机采相比，吨煤可节约电耗 15 ~ 20 度。

(6) 减少材料消耗。与分层开采相比，可大大减少坑木消耗、金属网消耗、截齿和油脂消耗等。据估计节约的材料消耗费用可使工作面吨煤直接成本下降 5% ~ 10%。

(7) 综采放顶煤可以大幅度降低原煤成本，多数矿井吨煤成本可降低 10 ~ 15 元。

(8) 块煤率有所提高。我国多数矿井的块煤销售价格高于末煤，放顶煤时块煤多于机采，因而可提高块煤率即提高矿井的经济效益。

(9) 对地质条件、煤层赋存条件有很大的适应性。实践证明，综采放顶煤可通过调节采放比（缓倾斜煤层）适应层厚的变化（5 ~ 20m）和便于实现连续开采。在不稳定煤层或层厚为 4 ~ 5m 条件下，其采出率可高于分层开采，在破碎顶板或周期来压明显和稳定顶板条件下可减轻矿压显现程度和减少顶板事故。

表 1-1 1995 年百万吨综放队

序号	名 称	产量/t	效率/(t·工 ⁻¹)
1	兖州兴隆庄矿综采一队	3006036	96.7
2	兖州鲍店矿综采二队	2457888	72.7
3	淮南新集矿综采队	2387800	36.3
4	潞安王庄矿综采一队	2149532	113.1