

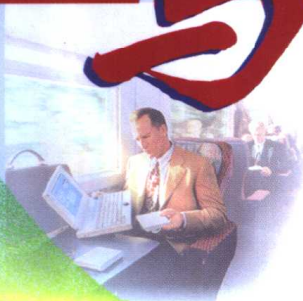
国家自然科学基金重点项目

(编号 59734090)

放顶煤开采理论

FANG DING MEI KAI CAI LI LUN

靳钟铭 著



技术
JI SHU

煤炭工业出版社

3.971
2017

中国矿业大学北京矿业工程系列教材
《煤矿安全工程》系列教材

放顶煤开采理论

王德林 主编

技术

中国矿业大学出版社

国家自然科学基金重点项目（编号 59734090）

放顶煤开采理论与技术

靳 钟 铭 著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

放顶煤开采理论与技术/靳钟铭著. —北京: 煤炭
工业出版社, 2001

ISBN 7-5020-1995-2

I. 放… I. 靳… III. 煤矿开采-壁式采矿法
N. TD823.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 10059 号

放顶煤开采理论与技术

靳钟铭 著

责任编辑: 王铁根

*

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

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 $850 \times 1168 \text{mm}^{1/32}$ 印张 $8^{3/8}$

字数 217 千字 印数 1—1,000

2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷

社内编号 4766 定价 18.00 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 简 介

本书是作者从事放顶煤开采理论与技术研究的专著，书中以顶煤冒放控制研究为主线，以提高资源采出率为目标，系统地阐述了顶煤冒放的影响因素、结构参数、控制理论和工艺技术等研究成果。主要包括：放顶煤回采系统、工艺和放煤参数的确定；放顶煤工作面支承压力分布、矿压显现特征、煤岩组合力学模型及其控制；顶煤冒放性及其分类；顶煤裂隙演化规律及其损伤本构方程；顶煤压裂块度分布规律；放顶煤资源损失及提高采出率的理论与技术。书中还介绍了放顶煤开采的有关参数观测和优化方法及计算公式，以及放顶煤开采高产、高效和提高采出率的典型实例和进一步发展的研究方向。

本书可作为从事采矿工程、岩石力学等专业的大中专学生和研究生的参考教材，也可供有关科研工作者、工程技术人员学习参考使用。

前言

放顶煤采煤法是具有中国特色开采厚煤层的新型采煤方法,尤其在社会主义市场经济的大浪潮中,其独特的高产、高效、低成本的优越性,在我国主要矿区更是得到了蓬勃发展。但是这种采煤法的核心问题是资源回收率低,特别是在未完全认识和掌握其内在规律的情况下,普遍存在资源损失严重的问题,这就给从事采矿学研究的广大科技人员提出了新的研究课题,即放顶煤开采中,顶煤冒放及其控制的理论是什么,用这种理论指导实践的主要技术途径有哪些?顶煤自然冒落、煤矸混杂损失是必然的,因此提高顶煤放出率是这种采煤法研究的永恒主题,作者就是在这样的工程经济背景下开展放顶煤开采基础研究的,曾先后主持和参与完成了2项山西省自然科学基金项目、2项煤炭科学基金项目、1项国家煤炭工业局的“九五”攻关项目、1项国家自然科学基金重点项目和10余项企业委托项目,这些项目经鉴定均达到了国内领先和国际领先水平。特别是国家自然科学基金重点项目,作者主持完成了顶煤冒放控制的理论研究,完成了不同煤质的3个相似材料的模型试验、70块大煤样和相似煤样的压裂实验以及3种数值模型的正交分析实验等,取得了顶煤冒放性及其分类、顶煤冒放结构及其控制、顶煤压裂损伤机理、顶煤破碎块度分布规

律及顶煤控制参数优化方法等研究成果，构成了本书系统完善的核心内容。

本书的构思以顶煤冒放控制理论为主线，以提高资源采出率为目标，贯穿于全书各章节。第一章主要阐述各种赋存条件下的放顶煤回采系统、回采工艺和开采参数的选择，以期达到最高资源采出率；第二章首先从理论上分析放顶煤工作面支承压力分布特征，由此阐明其矿压显现特征和支架围岩关系，建立了不同赋存条件下的顶煤顶板冒放结构及其组合力学模型，依据不同冒放结构，确定合理放煤参数；第三章着重阐述影响冒放性的地质因素及其临界值和两种冒放性分类，同时阐述了影响冒放性的技术因素，用数值分析法确定控制冒放参数的合理匹配；第四章运用分形理论系统阐述了支承压力对不同顶煤的压裂规律，运用损伤力学理论建立顶煤损伤本构方程，为数值分析提高放出率提供理论依据，同时阐述了顶煤破碎块度分布规律及不同煤质的块度预测；本书最后一章论述了提高资源采出率技术的理论和途径，既有经实践成功的实例，也有需进一步实践完善的技术，还阐述了今后发展的可能途径。

本书系国家自然科学基金重点资助项目“厚煤层全高开采方法基础研究”的研究成果，在该项目的完成过程中培养了3名硕士和1名博士。本书的完成与课题组成员和研究生的密切合作、大力协助是分不开的，书中凝聚了他们大量的劳动成果，作者在此表示衷心感谢。

放顶煤开采理论与技术的问世，对指导放顶煤采煤法的持续稳步发展，提高资源采出率，发展和振兴大型煤炭企业经济有重要的参考价值。鉴于作者实践、实验和理论水平有限，本书的缺点和不足之处在所难免，诚恳欢迎有关专家、学者和广大读者批评指教，作者不胜感谢。

作 者

2001年3月

目录

前言

绪论	1
1 放顶煤采煤法	11
1.1 放顶煤工作面的布置方式	11
1.2 放顶煤回采系统	16
1.3 放顶煤支架	21
1.4 综采放顶煤工艺	31
1.5 放顶煤开采参数确定	36
1.6 典型放顶煤工艺实例	51
2 放顶煤工作面矿山压力及其显现规律	57
2.1 放顶煤工作面前方支承压力的分布规律	57
2.2 放顶煤工作面矿压显现规律	65
2.3 顶煤变形规律	70
2.4 顶煤冒放结构	82
2.5 顶板变形及移动规律	91
2.6 放顶煤工作面煤岩组合力学模型及其控制	99
3 顶煤冒放性及其分类	107
3.1 煤体的物理力学特性	107
3.2 影响顶煤冒放性的地质因素	115

3.3	影响顶煤冒放性的技术因素	143
3.4	顶煤冒放性的分类	158
4	顶煤裂隙演化规律	168
4.1	放顶煤工作面前方煤壁裂隙演化规律	168
4.2	大煤样压裂的实验研究	176
4.3	顶煤压裂宏观损伤原理	200
4.4	顶煤破碎块度分布规律	206
5	提高资源的采出率	213
5.1	放顶煤开采的资源损失组成	213
5.2	提高顶煤放出率的几个途径	223
5.3	减少初末采、端头损失的技术途径	238
5.4	减少区段(条带)煤柱损失的技术途径	247
	参考文献	255

绪论

放顶煤开采法是一种高产、高效、新型的开采厚煤层的采煤方法，即在煤层下部布置一个中厚采高的工作面，随着工作面的推进，在前方支承压力作用下，使工作面上部的煤体压裂破碎，并在支架尾部切顶线附近冒落运出的采煤方法。它与其他采煤方法的不同在于，除有一个包括破、装、运、支、控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个破、放、运的回收顶煤采场，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。

放顶煤开采的历史演变 放顶煤开采的思路源于厚煤层开采的初期，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，并作为复杂地区条件下的一种特殊采煤方法。我国对厚煤层开采也一直沿用所谓“高落式”采煤。由于这些方法安全性差，以后改为分期开采法，即先采出一部分，随即充填，待过若干时间，密合压实，再行开采。

随着长壁采煤法的发展，20 世纪 30 年代出现

了分层采煤法，如在欧洲盛行的上行充填采煤法，我国 50 年代推广的倾斜分层、水平分层采煤法等，这些采煤方法虽然有较高的煤炭采出率，但是工序复杂、成本高。为此法国、前南斯拉夫等国开始应用单体支柱加顶梁长壁和短壁放顶煤采煤法，50 年代后期我国开滦、潞安等矿区曾试验用木支柱、金属支柱上下分层开采，回收中层的长壁放顶煤法，初期用一台输送机运煤，以后发展为两台，一台用于前方采煤，一台在后方回收顶煤，这种方法到 90 年代我国河南等地方煤矿仍在使用，且改进为单体液压支柱护顶。但单体支柱的稳定性差、劳动强度大、安全性受限制，产量和效率都不高。

20 世纪 60 年代欧洲液压支架迅速发展，综合机械化采煤逐渐占据主导地位。1957 年前苏联首次使用 KTY 掩护液压支架开采倾角 $5^{\circ}\sim 18^{\circ}$ 、厚 $9\sim 12\text{m}$ 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放炮，通过 KTY 支架顶梁上的天窗将煤炭放入工作面输送机。1964 年，在法国将节式自移液压支架改装成放顶煤支架（图 0-1）后，布朗齐矿区的达尔西 D 矿试验

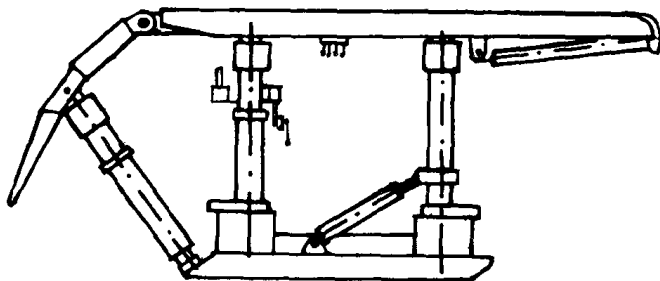


图 0-1 法国香蕉型放顶煤支架

成功一次采全厚的综合机械化放顶煤开采，简称“综放”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。到 70 年代初，综放开采沿着两条思路继续发展：一条是前苏联、前南斯拉夫、波兰、匈牙利

等东欧国家在 KTY 支架基础上逐渐改进，把放煤口位置由顶梁前部改在顶梁后部，并使用液压支柱控制开闭，其特点是工作面用一部输送机，尾梁封闭，如匈牙利的 VHP 系列综放支架，如图 0-2 所示；另一条思路是法国、德国、英国、西班牙等国家，在节式香蕉型支架基础上不断发展，工作面

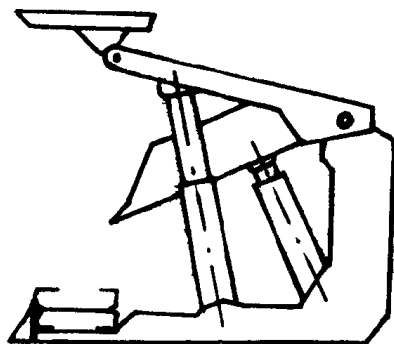


图 0-2 匈牙利 VHP 型综放支架

前后布置两部输送机，放煤口用千斤顶带动开闭，如英国道梯公司的 400t 掩护式综放支架等，如图 0-3 所示。我国 1984 年在沈阳矿务局蒲河矿首次进行了综放试验，由于这种采煤方法具备掘进率低、成本低、高产高效、机械化程度高等独特优点，很快在

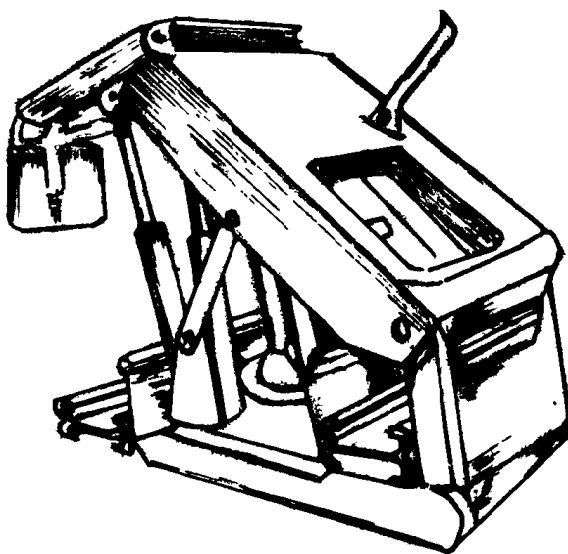


图 0-3 英国 400t 掩护式综放支架

急倾斜煤层得到了推广应用，90 年代又在缓倾斜煤层中广泛应用，目前已成为厚煤层开采的主要方法，且居于世界领先地位。

表 0—1 为国外综放发展的几种主要架型，到 80 年代初国外的综放开采已经发展到一定规模，取得了较好的技术经济指标，见表 0—2。

表 0—1 国外几种主要综放支架架型

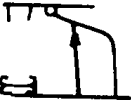
国别	型 号	简 图	架 型	时间 (a)
前苏联	KTV		单输送机顶梁开天窗	1957
匈牙利	VHP730		单输送机掩护梁开天窗	1982
法 国	BANANA		双输送机单绞接门式	1963
美 国			双输送机底开门插板式	1977
法 国	MB170		双输送机四连杆插板式	1978
德 国	1000kN —19/28		双输送机四连杆掩护梁开天窗	1982
英 国	4L—4000kN —19/28		双输送机掩护梁开天窗	1983
法 国	FBS—4—340		双输送机掩护梁开天窗	1980

表 0—2 国外综放工作面主要技术经济指标

国 别	矿 区	煤厚 (m)	平均月产 (万 t)	平均日产 (t)	工效 (t/工)	工作面采出率 (%)
前南斯拉夫	居尔杰维克	25	1.38	460	15.3	85
法 国	布朗齐	6~8.5	4.96	2255	33.6	90
捷 克	齐尔盖	8.3	1.26	505	8.03	76
	诺瓦尔	4.5	2.06	789	17.5	83.5
匈牙利	奥依柯	7	3.39	1349	26.1	91
俄罗斯	库兹巴斯	5.37	1.56	706	9.8	91.9
捷 克	汉德罗瓦	7.95	2.36	746	15.95	74.1

我国综放开采的发展 我国 1982 年开始研究引进综放技术，1984 年运用国产 FY400—14/28 型综放支架在蒲河矿首次进行了综放开采工业试验，虽然试验并不理想，但取得的经验教训很快在急倾斜煤层中获得成功并推广应用，表 0—3 为我国 80 年代中期的急倾斜综放工作面技术经济指标。1987 年，平顶山一矿引进匈牙利的 VHP 综放支架及全套综放设备在缓斜软煤中试验成功，但最高月产仅 4 万 t。1988 年 12 月，阳泉一矿运用掩护式中位开天窗综放支架在中硬煤中试验效果良好。1989 年 9 月潞安矿务局王庄矿运用国产高位开天窗综放支架实施顶煤动压复注水措施，在中硬煤中取得了平均日产 3067t、最高月产 82800t、工作面采出率 87.82%、回采工效 40.12t/工的好成绩，首次显示了综放开采的高产高效，从而揭开了中硬煤综放开采推广应用的序幕。

1990 年 4 月，阳泉矿务局 4 个矿均采用 ZFS4400—16/26 型中位开天窗综放支架，于 1990 年 7 月取得了月产 14 万 t 的最好成绩，大面积地获得了综放开采的良好技术经济效益，见表 0—4，把缓倾斜综放开采推向一个新高潮。紧接着 1992 年，潞安矿务局漳村矿使综放开采的单产突破了 200 万 t，1993 年王庄矿又将高产纪录提高到月产 31 万 t，年产 253 万 t，工效 110t/工的世界水平。到 1994 年我国已有 28 个矿务局 62 个综放工作面，其中有 8

表 0-3 急倾斜放顶煤主要技术经济指标

矿 名	煤 厚 (m)	分段高度 (m)	平均月产 (万 t)	工作面采出率 (%)	工效 (t/工)
窑 街	25	10	1.9	86.9	12.44
辽 源	55	12.5	3.5	75.2	18.9
六道弯	33.2	10	2.01	78.3	12.9
梅 河	17.5		6.84	77.4	19.05
平 庄	20	10	2.1	79.5	13.9
华 亭	51.5	6	1.86	85	9.15
靖 远	10	10	0.81	78.9	5.98
新 窑	16.9	8	2.06	83.3	6.69
通 化	15.4	6	0.73	80.3	4.18
萍 乡	26.4	9.5	0.74	82.4	8.78

表 0-4 阳泉矿务局综放开采技术经济指标

年	平均月产 (t)	平均工效 (t/工)	平均工作面采出率 (%)	最高日产 (t)	最高月产 (t)	最高年产 (万 t)
1990	86293	35.58	78.69	7121	142999	104.0237
1991	95638	36.864	85.08	7336	160010	133.1204
1992	81292	35.58	82.19	7854	164664	126.2891
1993	92504	36.236	81.26	10647	201241	148.0001
1994	76971	30.987	82.18		167973	137.5352

个单产超 100 万 t, 6 个单产超 200 万 t 的综放队。1995 年兖州矿务局兴隆庄矿又将综放单产水平提高到 315.67 万 t, 1997 年兖州矿务局东滩矿的综放单产达到 410.18 万 t、工效 203.9t/工的世界水平, 1998 年该矿综放队再创年产 501.06 万 t, 工效 235.4t/工的最高记录, 使我国综放开采的技术经济指标达到世界先进水平, 见表 0-5。

随着综放单产水平的提高, 我国的综放支架也在不断趋于完善, 由最初的低位、中位、高位放煤, 单、双输送机运煤的多种

表 0—5 缓斜综放工作面主要技术经济指标

矿 名	煤 厚 (m)	煤的普氏系数 f	最高月产 (万 t)	工作面采出率 (%)	工效 (t/工)	时间 (a)
潞安局	7.0	1.5~2.5	31.09	85	64.7	1993
王庄矿	7.02	2.0~2.5	8.28	87.82	40.12	1989
阳泉一矿	6.33	2~2.6	20.1	84.8	54.6	1993
阳泉二矿	5.85	2~2.6	16.09	85.8	63.8	1993
漳村矿	5.6~7.23	1.5~2.0	22.5	85.5	55.5	1992
王庄矿	6.5~7.0	2.0~2.5	31.09	86.9	110	1993
兴隆庄矿	6~8.75	2.4	11.9		27.3	1993
鲍店矿	8.5	3.1	20.47	81.2	73.87	1994
阳泉局	6.5	2~2.6	20.12	81.3	36.24	1993
古书院矿	5.43	3.5~4.5	13.00	90.5	49.5	1996
东滩矿	6~6.3	2~3	34.2 (平均)	85.93	203.9	1997
忻州窑	7.5	3~4	12.1	80.3	29.0	1998
东滩矿	7.3	2.5	45 (平均)	85.4	235.4	1998

型式综放支架，逐渐统一到适合我国的以低位放煤为主的综放架型系列，而且工作阻力为 2000~3000kN/架的轻型综放支架，近年来也有长足发展。在放煤工艺上也由原来的二刀、三刀单轮多轮顺序间隔等多种方式逐渐趋向于加大截深、一刀一放、多轮顺序的单一方式，使顶煤放出率达到了 80% 以上。

但是硬煤的放顶煤开采仍处于举步艰难的状态，1991 年晋城矿务局和大同矿务局都开始在坚硬煤层中试验放顶煤开采，但由于煤质坚硬难冒、块大，顶煤放出率仅 40% 左右。在经过几年探索研究的基础上，1996 年，晋城矿务局古书院矿根据煤体裂隙方位和工作面方向匹配的破煤原理，通过对工作面方向的合理调整，取得了有双组裂隙的硬煤综放开采工业试验成功，年产达 152 万 t，平均月产 13.16 万 t，工效 49.5t/工，工作面采出率 90.5%，突破了硬煤综放的禁区。与此同时大同矿务局在运用顶煤预爆破技术的基础上，也将坚硬煤层坚硬顶板（简称“两硬”）条件下的综放开采顶煤放出率提高到 65% 左右，为了从根本上攻克硬煤放顶

煤的难题，在煤炭工业部“九五”科技攻关的组织下，1998年在大同矿务局忻州窑矿取得了“两硬”条件下综放开采的工业试验成功，月产超12万t，日产超5000t，工效29t/工，工作面采出率80.3%。至此我国的综放开采在软、中、硬煤，缓倾斜、倾斜、急倾斜煤层中全面推广，全国有29个局矿、75个综放工作面生产，其中有13个年产超百万吨，5个超200万t，4个超300万t的综放采煤队。更值得注明的是一些难采煤层，如“三软”、“两硬”、“大倾角”、“高瓦斯”、“易燃”、“边角煤”、“残采煤”等的综放开采也有了较大的发展（表0—6）。

表0—6 难采煤层综放面主要技术经济指标

矿名	煤厚 (m)	煤的普氏 系数 f	倾角 (°)	平均月产 (万t)	工作面 采出率 (%)	备 注	工效 (t/工)
米 村	8.68	0.1~0.3	19~21	5.32		“三软”煤层	20
乌 兰	6.79	0.6~1.2	17~37			大倾角煤层	
邢 台	6.5	1.5	5~12	3.6	87.5	边角煤	20.58
石圪节	6.52	1.5~2.0	3~5	6.11	89.7	残采煤柱	35.1
唐 山	7.0	1.5	14	3.62	84.6	轻型支架	34.5
谢 桥	4.83	0.35~1.7	8~12	4.62	81.7	“三软”煤层	
韩 桥	4.3	<1.2	6~15	4.08	86.4	“三软”煤层	19.54
魏家地	12.0	0.5~1.0	20	6.36		高瓦斯突出煤层	32.63
三河尖	8~10	2~3	3~10	9.0	82	已采顶分层	54
姚 桥	4.9	2.5~3.0	3~12	6.68	75	构造复杂	21.18

在综放开采发展的同时，理论研究也不断深入，围绕着提高顶煤放出率的核心问题开展了一系列卓有成效的研究。80年代中期针对软煤和急倾斜综放开采条件，中国矿业大学参考金属矿山的放矿学研究，以散体介质为基础提出了放煤椭球体的论点，并推导放采比、放煤步距等参数计算公式，以及放出率与含矸率的关系，对提高顶煤放出率起了重要的指导作用。随着中硬煤、硬煤放顶煤实践的发展，我国学者进行了大量的顶煤变形运移规律