

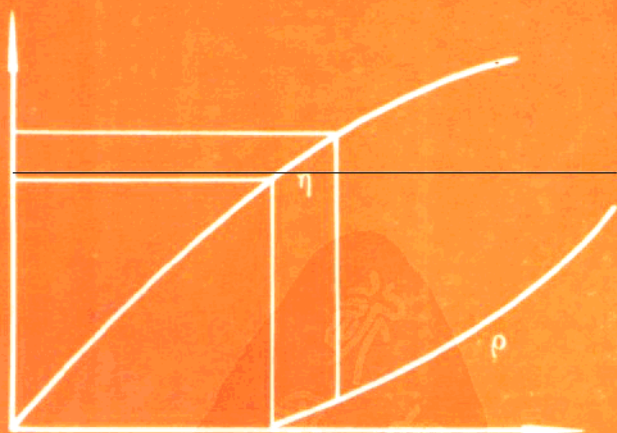
TPA23.21

309V

1

放顶煤开采基础理论

于海勇 贾恩立 穆荣昌 著



煤炭工业出版社

放顶煤开采基础理论

于海勇 贾恩立 穆荣昌 著

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

图书在版编目(CIP)数据

放顶煤开采基础理论/于海勇著. -北京:煤炭工业出版社. 1995

ISBN 7-5020-1186-2

I. 放… II. 于… III. 煤矿开采-煤层倾角-矿山压力-放顶-研究 IV. TD823.21

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第05486号

放顶煤开采基础理论

于海勇 贾恩立 穆荣昌 著

责任编辑:孙辅权

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

北京怀柔燕文印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168 \text{ mm}^{1/32}$ 印张 6 插页 1

字数155千字 印数 1—820

1995年8月第1版 1995年8月第1次印刷

书号3954 定价8.80元

内 容 提 要

本书较系统地总结了近些年来有关放顶煤开采技术理论的研究成果。书中针对放顶煤开采的工艺特点,着重论述了放顶煤开采过程中顶煤活动的基本规律、矿山压力显现特征与支架受力分析、顶煤放出规律,以及放煤参数的确定等问题。

本书可供煤矿企业,科研、设计部门的工程技术人员学习使用,也可作为矿业院校有关专业教学参考书。

前 言

10余年的煤矿生产实践证明,放顶煤开采技术是我国特厚煤层开采中实现高产、高效和低耗的最有效技术途径。1993年潞安矿务局王庄煤矿放顶煤回采工作面厚煤产量已达到年产253万t,最高月产31万t,最高日产达到1.6万t。这表明我国放顶煤开采产量与技术已跻身于世界领先水平。

我国厚煤层储量丰富,约占煤炭总储量的45%。目前开采厚煤层的主要方法有:分层开采、一次采全高和放顶煤开采。分层开采是一种传统的厚煤层采煤方法,所需设备、开采布局与开采单一煤层基本相同,工艺简单、易管理。但该采煤方法成本高,回采效率低。我国1993年统配煤矿351万煤矿工人仅生产出原煤4.6亿t,平均工效不到1t。而美国10.7万煤矿工人却产出9.1亿商品煤、平均工效高达30t。因此,现代的市场经济迫切要求煤炭工业必须走向高产高效的生产之路。一次采全高,即大采高采煤法在我国也有小规模使用。实践表明,这种采煤方法设备笨重,倒架、歪架难以控制,尤其是工作面内的片帮、冒顶,严重地威胁工作面的正常开采,大大限制了使用范围。

放顶煤开采兼顾了上述两种开采工艺。它从形式上类似于分层开采,工作面采高控制在2.5m左右,使用设备与分层开采基本相近。在实质上,工作面增加一部后输送机,完全克服了大采高工作面存在的难以解决问题并实现了一次采全高,真正达到了在现有国产设备条件下使煤炭生产高产、高效的目的,如王庄煤矿最高回采工效高达110.8t/工。

然而,放顶煤开采与常规开采的主要区别在于放顶煤工作面支架直接支护的是煤体,而单一煤层和分层开采工作面却是岩体或金属网假顶。放顶煤工作面工作空间高为2.5m,而实际采出

ABA33/07 05

空间高达10m。此外，工作面还增加了破碎顶煤的放出过程。因此，放顶煤工作面在其上覆岩层活动规律、矿山压力显现及顶煤放出规律方面具有着明显的自身特点和特性。本书是作者近10年来对放顶煤开采矿山压力及放煤规律研究成果的总结。

书中有的理论问题，特别是关于放顶煤开采矿压理论和放煤参数的合理确定等，各国尚处于研究阶段，还有待进一步实践和完善，但其内容仍然是可以借鉴的。

由于作者水平所限，书中不当之处，望读者批评指正。

作者

一九九四年十二月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 放顶煤开采发展概况.....	1
第二节 放顶煤开采理论的现状	12
第三节 放顶煤开采的问题及对策	20
第二章 顶煤活动基本规律	25
第一节 顶煤活动过程	25
第二节 顶煤破坏四阶段特征	28
第三节 顶煤破坏状态	38
第四节 顶煤破坏特征的模型研究	35
第五节 顶煤在开采及放出过程中的变化规律	38
第六节 关于顶煤破坏特性的总体认识	41
第三章 顶煤力学模型及有关因素分析	43
第一节 顶煤的块体力学模型	43
第二节 块体力学理论基本概念	46
第三节 矢量方法求可动块体基本方程	48
第四节 顶煤稳定性分析	53
第五节 煤层倾角对顶煤稳定性的影响	58
第六节 煤体垮落角对顶煤稳定性的影响	59
第七节 ΣF 与 α_1 、 α_2 的关系	61
第八节 外力大小及作用力方向对顶煤稳定性影响	63
第九节 放顶煤支架顶梁受力确定	67
第十节 放顶煤支架尾梁受力分析	69
第四章 放顶煤工作面矿山压力显现	73
第一节 放顶煤工作面矿山压力显现主要特征	73
第二节 放顶煤工作面支架与围岩关系	78
第三节 放顶煤支架实测工作阻力	88

第四节	放顶煤支架受力特点及分析	91
第五节	放顶煤支架选型	96
第五章	顶煤放出规律	100
第一节	放顶煤回采工作面特点	100
第二节	单口放煤规律	102
第三节	放出体漏斗母线方程及颗粒移动方程	103
第四节	有边界约束下放出体形态及特征	112
第五节	放出体轴偏角的产生及分析	119
第六节	顶煤的最大放出高度	125
第六章	顶煤放出规律数学模型及参数分析	131
第一节	顶煤放出规律数学模型	131
第二节	数学模型的理论验证	137
第三节	各因素对放出量的影响分析	141
第七章	放煤参数确定	149
第一节	合理放煤方式模型实验	149
第二节	计算机模拟煤岩分界线移动规律	154
第三节	最低放顶煤高度确定	161
第四节	放煤步距对顶煤放出量影响分析	163
第五节	计算机模拟确定合理的放煤步距	167
第六节	放煤步距的理论分析	169
第七节	顶煤回收率与含矸率相互关系	174
第八节	急倾斜煤层放顶煤阶段高度确定	180
参考文献		185

第一章 概 述

第一节 放顶煤开采发展概况

一、放顶煤开采定义

放顶煤开采是井工开采的一种煤炭回采方法。它是在开采过程中沿缓倾斜特厚煤层的底板或在急倾斜特厚煤层某一阶段高度的底部布置一个采煤工作面进行开采，工作面煤壁由采煤机采落的煤装入前部输送机，而上部煤体则在矿山压力作用下在工作面后方垮落并通过支架放煤口放入到工作面内后部输送机上，这种采煤方法就叫作放顶煤开采。如果使用综采液压支架进行放顶煤开采，则称“综放”，若使用滑移支架或单体支柱进行放顶煤开采，则称“简易放顶煤开采”。

以往开采特厚煤层主要有以下6种采煤方法：

- 1) 长壁式倾斜分层人工假顶全部冒落法。
- 2) 长壁式留煤皮分层开采全部冒落法。
- 3) 长壁式倾斜分层上行水砂充填法。
- 4) 短壁式水平或斜切分层全部冒落法。
- 5) 短壁式斜切分层上行水砂充填法。
- 6) 巷柱式、残柱式等整层非正规采煤法。

这6种采煤方法的技术经济指标见表1-1，其存在的主要问题是：

(1) 丢煤严重，长壁或留煤皮分层开采全部冒落法，采区回收率只在50%~70%之间，缓倾斜残柱式采煤法回收率有时仅达20%左右。

(2) 机械化程度低，工人劳动强度大，严重威胁安全生产。

(3) 经济效益差，生产掘进率高，吨煤成本高，坑木消耗

表 1-1 部分矿区六种特厚煤层采煤方法经济指标

特厚煤层 开采方法	地 点	年 度	单 产 (t/个)	效 率 (t/工)	回收率 (%)	坑木消耗 (m ³ /万t)
倾斜分层 人工假顶	鹤 岗	1982	13018	3.98	70.1	70
	鹤 岗	1987	20724	4.9	72.3	14.8
斜切分层	辽源梅河	1987	10275	3.79	71.2	16.7
长壁水砂充填	阜 新	1987	13043	5.1	76.07	100.3
	抚 顺	1987	9539	2.57	70.9	104.47
斜切分层 水砂充填	辽 源	1987	8553	7.27	68.6	177.9
长壁留煤皮	沈 北	1987	6326	3.42	56.38	183.4
	平 庄	1987	10801	4.35	58.2	27.58
非正规采煤法	辽东煤公司	1987	8366	3.7	57	59.8

大，工作面效率低。

(4) 尽管第一种采煤方法可以实现较高的综合机械化，但是回采巷道工程量较大、矿井采掘关系紧张，设备搬家频繁。

然而，近年发展起来的机械化放顶煤采煤方法，有效地解决了在开采特厚煤层及急倾斜特厚煤层所带来的上述实际生产问题。这种采煤方法的主要优点在于：

(1) 生产集中化程度高，简化了采区布置，显著减少了巷道开拓量及材料消耗。

(2) 放顶煤落煤量大，约占工作面产量 $2/3 \sim 3/4$ ，相对工作面所需人员减少，工作面工效大大提高。

(3) 与厚煤层分层开采相比，所需设备数量少，投资省，回采巷道工程量少，有效地降低了工作面吨煤成本。

(4) 顶煤靠矿山压力及煤体产生裂隙自行冒落，不需要机采，显著降低了设备动力消耗。

二、国外放顶煤开采

早在本世纪初，欧洲就用放顶煤开采法，当时只是作为在复杂地质条件下的一种特殊采煤方法。如法国至今使用房式和仓式放顶煤开采法。此后，在40年代末，法国、南斯拉夫等国正式开始应用长壁和短壁放顶煤开采法，工作面使用单体金属支柱和顶梁以及刮板输送机实行炮采，我国在50年代也试验过开采上下分层回收中层的放顶煤长壁采煤法。

为了提高工作面产量和工效、减轻工人劳动强度、改善安全状况，1957年苏联首次使用综采KTY型掩护支架开采倾角 $5^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 、厚度 $9 \sim 12\text{m}$ 的特厚煤层，工作面先采顶部煤、铺底网然后沿煤层底板开采，在工作面向中间煤体打眼放炮崩酥，再通过KTY支架顶梁上的天窗放入工作面输送机。

法国在布朗齐、阿基坦、塞维涅等矿区全面推广综合机械化放顶煤开采，在杜菲内，梅西克斯煤田急倾斜煤层采用水平分段放顶煤开采。放顶煤类型采用顶煤全厚冒落法、坚硬顶板顶煤冒落法、顶煤分层冒落法三种类型。1963年研制了四柱式带有“香蕉”形尾梁的自移式支架，1964年在布朗齐矿区试验取得成功（图1-1）。随后又研制出四柱支撑掩护式支架，该支架带有掩护梁和四连杆机构，支架顶梁和掩护梁的两侧带有活动侧护板，使支架有较好的封顶性和稳定性。70年代末，法国玛雷公司又研制出FB21-30S型掩护式放顶煤支架，使放顶煤综采在法国取得较好经济效益，工作面回采率达到90%以上。

原南斯拉夫在施塔拉矿、玛亚矿、韦莱涅市的RLV矿，特尔博夫莱矿、蒂乌尔戴维克矿、维雷耶矿、博戈维纳矿等分别采用威斯特伐利亚、道梯、玛雷、赫姆夏特、贝考里特及KTY液压支架。原南斯拉夫是1962年开始引进综放设备逐渐实现放顶煤机械化开采的。

匈牙利也是较早采用放顶煤法开采厚煤层的国家之一。在多罗戈、梅茨塞克、塔塔巴尼、韦什普雷姆、博尔索德、阿尔米姆、尤卡伊、帕德拉戈科姆洛、达克西等矿采用放顶煤开采。采用的支架有VHP-421型、VHP-730型、MVDD-120型、MVDD-120/2

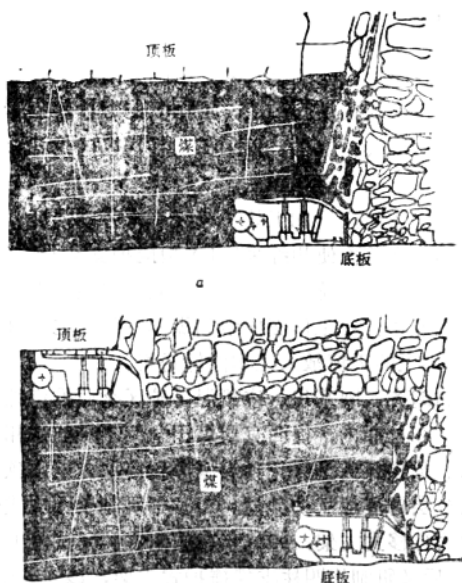


图 1-1 法国“香蕉”形放顶煤支架
a——一次性放顶煤；b——预采顶分层放顶煤

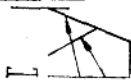
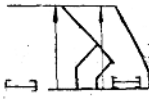
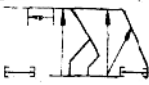
型，前两种架型为高位放煤，后两种架型为中位放煤。上述四种架型均在80年代生产并投入使用。

捷克和斯洛伐克在70年代采用放顶煤法开采厚煤层。在诺瓦基、齐盖尔、汉德洛瓦矿，使用了DVP-5A型、1K70/900HD型、MHW4500-20/30型、2MKE型、BME-2.0/3.0型放顶煤液压支架。

70年代初，放顶煤支架基本是沿两条路发展完善的，一条路是原苏联、原南斯拉夫、波兰、匈牙利等东欧国家在KTY支架基础上逐渐进行改进，把放煤口位置由最初在顶梁前部放煤，改为在顶梁后部放煤，并使用液压支柱控制开闭，从这个方向发展

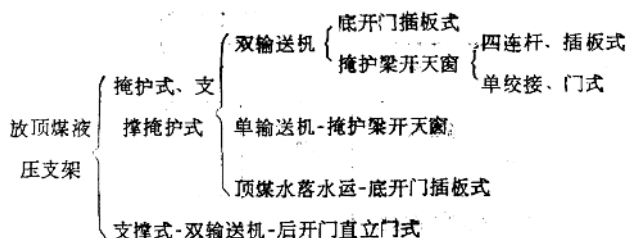
的放顶煤支架其主要特点是：工作面仍使用一部输送机，尾梁封闭，属于支撑掩护式支架，整体稳定性好，主要代表为匈牙利的VHP系列放顶煤支架；另一条路是法国、原西德、英国等西欧国家，在法国香蕉型支架基础上不断发展，其主要特点是：在支架前后布置两台输送机，放煤口改为用千斤顶带动可伸缩掩护

表 1-2 国内外几种主要放顶煤支架架型

国别	架 型	型 号	年 度	简 图
原苏联	掩护式单输送机顶梁 开天窗	KTY	1957	
法 国	四柱支撑式双输送机 单绞接门式	BANANA	1963	
美 国	支掩式双输送机底开 门插板式		1977	
法 国	支掩式双输送机四连 杆插板式	MB17×283	1978	
匈牙利	掩护式单输送机掩护 梁开天窗	VHP730	1982	
原西德	支掩式双输送机四连 杆掩护梁开天窗	4000 -19/28	1982	
英 国	支掩式双输送机四连 杆掩护梁开天窗	4L-4000 -19/28	1983	
中 国	支掩式双输送机四连 杆插板式	FY400 -14/27	1984	

板, 为了加强支架的稳定性, 在中间加上单片或双片四连杆, 例如法国生产的MB系列放顶煤支架。

到目前为止, 东西欧各国及我国相互吸收各自所研制的放顶煤液压支架长处, 已制造出多种类型支架, 见表1-2。其分类如下:



总之, 放顶煤开采技术是开采5~20m特厚煤层高效、安全的方法之一, 受到了许多国家普遍重视, 并得到推广使用。国外产煤国放顶煤开采主要技术经济指标和采用液压支架技术特征见表1-3、表1-4。

三、我国放顶煤开采

我国80年代初开始引进机械化放顶煤技术, 1984年第一套国产综采放顶煤支架FY400-14/28在沈阳蒲河矿下井试采。经过几年的时间, 放顶煤综采从无到有, 从试采到开始推广使用, 无论从开采工艺的研究和装备设计制造方面都积累了十分宝贵的经验, 其优越性已逐步被人们所认识、接受。

1993年潞安矿务局王庄矿使用综采放顶煤年产原煤253万t, 工作面平均月产达到21万t, 最高月产达到31.09万t, 最高日产达1.6万t, 回采工效高达110.8t/工, 工作面回采率达85%以上, 创全国综采最高水平。可以说, 我国放顶煤综采技术已处于世界领先水平。

我国厚煤层产量比重约占原煤产量的45%, 有15个省46个矿务局赋存5m以上的特厚煤层。自1984年以来, 已有57个矿约250

表 1-3 世界主要产煤国家厚煤层放顶开采技术经济指标

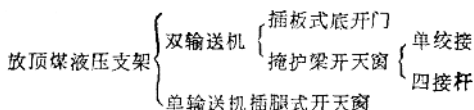
国 别	矿 名	支 架 型 号	开 采 方 法	煤 厚 (m)	采 高 (m)	工 作 面 长 度 (m)	倾 角 (°)	工 作 面 进 尺 (m)	平 均 日 产 量 (t)	工 作 面 效 率 (t/工)	回 采 率 (%)
法国	布朗基	FB21-30S	一次采全高	8.5	2.8	91	10	1.77	1735	33.5	90
法国	罗兹来	FB21-30S	一次采全高	7.8	2.4	91	45	2.38	2660	55.4	90
法国	罗兹来	FB21-30S	一次采全高	5~26	3.0	80	30	1.20	1500	40.0	80
原南斯拉夫	维霍耶	B.L-4000	一次采全高	11.4	2.6	90	16	1.1	1700	38.2	
原南斯拉夫	维霍耶	Dowly	一次采全高	7.5~12	2.8	80	15	1.5	1600	33.3	
原南斯拉夫	特尔博夫	Beccorit LPS-20	分段水平分层	30	10.0	45	70	1.0	804	17.8	
原南斯拉夫	玛雷矿	BSS2-2P LPS-20	一次采全高	12	3.0	120	22		2000	20.0	
匈牙利	奥伊克	VHP-730	一次采全高	7.0	2.8	120	20		1463	26	
匈牙利	达克西	DP18-28S KLM	一次采全高	6.27	2.8	94	23	1.2	1000	14.9	
原苏联	列宁矿	KM-81V	一次采全高	6.0	5.72	120	12	0.9	706		90

表 1-4 世界主要产煤国家放顶煤液压支架技术特征

国 别	放 煤 方 式	架 型 型 号	支架高度 (mm)		工作阻力 (kN)	支护强度 (MPa)	对底版压强 (MPa)	推移装置 (kN)		支架重 (t)
			最 小	最 大				拉 力	推 力	
法 国	插板式	MB-17-28S	1700	2800	4020	0.44~0.5		540	20.5	8.9
法 国	插板式	FDS-4/320	1700	2800	3400	0.43	1.55	760	470	11.0
法 国	开天窗	FB21-30S	2060	2980	4120	0.75	1.50	70.5	370	13.35
法 国	开天窗	FBS-4/340	2000	2900	3380	0.53		88.6	54.7	
德 国	插板式	BS2.2P	2200	3300		0.59		250	90	
德 国	转动式	5100-19.5/28	1950	2800	5100	0.67		49.3	27.8	
英 国	开天窗	DOWTY4/400	2100	2950	4228	1.25	1.32	28.4	18.6	11.0
英 国	后开门	C-D-4/400	1800	2800	3100	0.47		250	140	
原捷克		DVP-5A	2300	3000	6400	0.57	1.65	400	12.7	12.0
匈牙利	开天窗	VHP-730	2600	3000	4000	0.77		60.0	31.1	16.0
原苏联		KM-81V	2210	3410		0.45				
英 国	开天窗	4L-4000	2000	2950	4000	0.84	1.29	28.4		11.0

个工作面采用放顶煤综采技术开采厚煤层，取得了很好的经济效益，见表1-5。

目前，我国放顶煤液压支架有20多种型号，几个主要矿区使用液压支架架型见表1-6。



对于不同地质条件，应选用不同架型的支架，支架适应地质条件的程度，直接影响工作面的产量和效益。

放顶煤液压支架按其具有输送机个数可分为两大类型：

第一类为双输送机液压支架。

双输送机的支架又可分为以下两种：

(1) 插板式底开门。这种支架放煤机构由掩护梁放煤插板及千斤顶组成。掩护梁摆动范围为 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，伸缩的放煤插板由液压千斤顶控制，可利用插板的伸缩破碎大块煤。支架的最大特点是低位放煤，煤尘小，放煤空间大，不易堵塞，为放煤创造了良好条件。这类支架顶梁一般较长，如FS280-14/28型顶梁长为400mm，ZFS520-17/32型顶梁长为3750mm。支架合力作用点距煤壁较远，有较强的切顶能力。但这种支架四连杆机构刚度和强度较差，因而支架的抗扭和承受侧向力较弱，不宜受偏载，稳定性差，顶梁与尾梁连接处易损坏，在地质条件变化较大的煤层中不太适应。一种由铺底网支架改造和发展而成的支架在相当程度上改善了这种状况。该种支架宜对中硬以上顶煤，稳定地质条件较适应。

(2) 掩护梁开天窗。这种支架又分为单铰接掩护梁和四连杆掩护梁，均属中位放煤。单铰接掩护梁放煤机构由千斤顶和小插板组成，放煤板可以伸缩，可以向上摆动 $34^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ，向下摆动 $18^{\circ} \sim 47^{\circ}$ ，对松动顶煤和破碎大块煤是十分有利的。这种支架受力状态好，有较强的抗扭能力，抗偏载能力强，有较高的稳定性，