

Proceedings of '99
International Workshop
on Underground Thick-Seam
Mining

'99

厚煤层现代开采技术
国际专题研讨会
论文集

吴健 王家臣 主编

Edited by Wu Jian & Wang Jiachen



煤炭工业出版社

China Coal Industry Publishing House

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》资助
The Project Supported by National Nature Science Foundation of China

’99 厚煤层现代开采技术国际专题 研讨会论文集

Proceedings of ’99 International Workshop
on Underground Thick-Seam Mining

中国矿业大学(北京校区)主办
内蒙古第二机械制造总厂协办

Organized by
Beijing Campus, China University of Mining and Technology, China
Co-organized by
The Second Inner Mongolia Machinery Corporation, China

吴健 王家臣 主编
Edited by Wu Jian & Wang Jiachen

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

'99 厚煤层现代开采技术国际专题研讨会论文集/吴健,王家臣主编. -北京:煤炭工业出版社, 1999

ISBN 7-5020-1769-0

I. '9... II. ①吴... ②王... III. 厚煤层采煤法-国际学术会议-文集 N. TD823.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 27429 号

**'99 厚煤层现代开采技术国际专题
研讨会论文集**

吴健 王家臣 主编

责任编辑:辛广龙 陈钊

*

煤炭工业出版社 出版发行

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

*

开本 787×1092mm¹/₁₆ 印张 15¹/₂

字数 364 千字 印数 1—555

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

书号 4550 定价 40.00 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

序

煤炭是中国的第一能源，这个状况在 21 世纪的上半叶不会有根本性的改变。煤炭作为能源有两个弱点：一是污染环境；二是开采成本较高。因此，为了满足 21 世纪煤炭生产持续性发展的需要，一方面应加速发展和供应市场低硫、低灰煤和开发优质的煤炭可燃伴生产品，如煤层气；另一方面则应大力转变煤矿的生产机制，加速煤矿技术改造，淘汰落后的技术，提高劳动生产率和生产效益，降低成本，适应市场竞争的需要。

中国是煤炭生产大国，也是地下开采厚煤层大国，每年地下开采的厚煤层煤炭约占全国煤炭产量的 40%~45%，因此，厚煤层开采的效益对大多数煤矿的生产和经营状况都有举足轻重的影响。中国厚煤层开采主要有 4 种正规采煤方法，即综采放顶煤开采、分层开采、5m 以下煤层全厚长壁开采和水力采煤，其中分层开采曾经是主要的、传统的开采方法。综采放顶煤开采是近十几年得到很快发展的新采煤方法，目前每年综采放顶煤开采的煤炭产量大约达到全国重点国有煤矿年产的 1/6~1/5。

综采放顶煤开采方法实现了厚煤层全高一次开采，它充分利用了厚煤层的储量优势。与分层开采相比，综采放顶煤开采投入少，见效快，系统简单，工作面单产和劳动生产率一般可以提高 1 倍以上，采区成本可以降低 30% 以上，还可以在在一定程度上提高生产的安全性和煤炭回收率，受到中国煤矿企业的普遍重视。综采放顶煤开采技术的成功推广，标志着中国厚煤层开采技术实现了一场新的革命。

由于地下开采厚煤层技术日益受到重视，所以不断改善地下开采厚煤层技术的要求日益迫切。“’99 厚煤层现代开采技术国际专题研讨会”在中国矿业大学（北京校区）召开是很有意义的，它给进一步发展地下开采厚煤层技术提供了一个新的论坛，我预祝这次会议取得成功。

王森浩

1999 年 6 月 22 日

Foreword

The coal will have been being the major energy source of China up to the first half of the 21st century. There are two weaknesses about coal energy source. One is the environmental pollution, the other is high mining cost. Therefore, for meeting the needs of the coal continuous development of the next century, they are very important rapidly to mine and supply the low sulfur and low ash coal and develop the associated products, such as, coalbed gas fast to transform the operation mode, speed up the reformation of the coal mine technology, clean out backward techniques, raise the labor productivity, reduce the mining cost, and meet the needs of the competitive market.

China is a large country of coal production and underground mining of thick coal seams. The output of underground mining in thick seams is about 40%—50% of the national total coal output. The mining benefit of thick seams has the great influence on the production and management of a lot of coal mines. The mining method of thick coal seams may be divided into four techniques, that is, the longwall caving top coal, the multi-slicing longwall, the single pass longwall in the less 5 meter thickness and hydraulic mining. The multi-slicing was the major mining method. The caving is a new developed mining technique in the last fifteen years. About 1/5—1/6 of the major state-operated coal output comes from the caving technique.

The caving technique can realize single pass extraction for thick seams, which makes full use of the geological property of thick seams. The caving technique that is characterized by small investments, quick returns and simple operation system can increase the working face output and labor productivity by more than one time, and decrease district cost by more thirty percent as compared with the multi-slicing method. It may also raise production safety and coal recovery to a certain extent. Coal mines of China have attached great importance to the caving. That the caving technique has been spreading countrywide indicates that the great mining innovation of underground mining thick coal seams of China has taken place.

Because the underground mining techniques of thick seams attract attention widely, and it is a urgent task to improve the mining techniques, it is of momentous significance to hold the '99 International Workshop on Underground Thick-Seam Mining in Beijing Campus, China University of Mining and Technology. It is the forum on discussing the mining techniques of thick coal seams. I extend cordial greetings to the workshop.

Wang Senhao

Former-minister of the Mining of Coal Industry of China June, 22, 1999

前 言

随着煤矿开采深度的增加和限制煤矿开采影响环境的法规日趋严格,大多数一直比较适宜采用露天开采的厚煤层继续采用露天开采在环境、技术和经济方面都变得十分不利;同时,由于地下长壁开采技术的飞速发展,在解决了一些关键技术难点后,厚煤层地下开采也变得越来越有利了。因此,厚煤层地下开采技术就成了包括中国在内的一些煤炭生产国十分关注的问题。“’99厚煤层现代开采技术国际专题研讨会”就是在这种背景下召开的。

中国是一个煤炭生产大国和煤炭消耗大国。近几年,每年约有3/4的一次能源来自煤炭,水力、石油、核能等其他能源所占比例均很小;到21世纪,虽然这个比重将有所下降,但不大可能有根本的变化。煤炭储量和产量中,厚煤层的储量和产量(煤厚3.5m以上)均占总量的40%~45%,其中绝大部分为地下开采;因此,不断改善地下厚煤层开采的生产技术和安全技术就成为中国从事煤炭生产的科技人员和中国政府十分重视的问题。

中国的厚煤层开采技术主要包括4个方面:(1)长壁放顶煤开采技术;(2)全厚单一长壁开采技术,用于开采厚度小于4.0~5.0m的煤层;(3)水力采煤技术;(4)分层长壁开采技术。分层长壁开采方法曾是中国开采厚煤层的主要采煤方法,只是近10年才逐渐被长壁放顶煤开采方法替代。

长壁放顶煤采煤法是中国近15年,得到高速发展的一种新采煤方法,将有可能逐渐替代分层开采方法。放顶煤采煤法的强大生命力在于它能在保证安全、煤炭损失较少的前提下,实现低投入、高产出,高效率、高效益,成本低和系统简单。

这次会议是由国家自然科学基金委员会、潞安矿务局、淮北矿业(集团)有限责任公司共同资助的重点项目《厚煤层全高开采方法基础研究》课题组主持,由内蒙古第二机械制造总厂协办的。

论文集编辑过程中博士研究生富强同志参加了大量编辑及翻译工作,姜耀东副教授、张勇博士、秦风华工程师也做了大量工作,吴志山硕士、冯士伟硕士参加了部分校对工作,在此一并表示感谢。

编 者

1999年6月

Preface

As the coal mining depth increases and some laws strictly restrict the influence of the open mining on the environment, many thick coal seams that might be extracted by open mining method in the past can not be recovered economically and environmentally. At the same time, because of the rapid development of underground longwall mining technique, and some key techniques advancing, the underground mining of thick coal seams becomes more favorable. Therefore, many countries including China follow with interest the underground mining techniques of thick coal seams. '99 International Workshop on Underground Thick Seam Mining is held under the background.

China is a large country of coal production and consumption. In the recent few years, three quarter of the raw energy sources come from the coal, and waterpower, petroleum and nuclear energy etc occupy small proportion. In the 21st century, the proportion of coal consumption will slightly reduce, but basic changes will not take place. The reserves and output of thick coal seams (coal thickness $> 3.5\text{m}$) amount to 40%—45% of the total respectively, and major output comes from the underground mines. Therefore the people working on the coal technique and China government pay great attention to improving the operation and safety techniques of underground thick coal seam mining.

The thick coal seam mining technique can be divided into 4 fields: (1) longwall top-coal caving technique; (2) single pass longwall mining, used in the coal thickness of less 4—5meters; (3) hydraulic mining technique; (4) the multi-slicing longwall mining technique, which was the major mining technique of thick coal seams, only in recent 10 years, it is substituted for longwall top-coal caving step by step. The longwall caving technique is a new one, which has made a great progress for last 15 years. It is very possible that the slicing technique will be replaced by the caving according to the present developing trend. The caving method has the great vitality because of its low cost, simple operation system, high output and high economic benefit, under the condition of safety and less coal lost.

The workshop is organized by the research group of the Basic Research of One Pass Mining Technique of Thick Coal Seams which has been supported by National Natural Science Foundation of China, Luan Coal Mining Administration and Huaibei Mining (Group) Limited Liability Company, and co-organized by The Second Inner Mongolia Machinery Corporation.

Doctor student Fu Qiang takes a great part in the proceedings edition and translation, and doctor Jiang Yaodong, doctor Zhang Yong, engineer Qin Fenghua, Wu Zhishan and Feng Shiwei join the edition too.

Editors

Beijing Campus, China University of Mining and Technology,
Beijing, 100083, P. R. China

June, 1999

目 录

- 1 中国放顶煤开采技术的发展
..... 吴 健 孟宪锐 姜耀东 (1)
- 2 厚煤层开采放顶煤液压支架技术
..... 吕小岩 韩德云 张宝利 (10)
- 3 澳大利亚中等厚度的厚煤层开采技术
..... Andrew Rutherford [澳] (17)
- 4 东滩煤矿进行综采放顶煤开采的实践与认识
..... 张迎弟 曲天智 张青山 李伟清 (25)
- 5 综放支架工作阻力与端面顶板稳定性
..... 曹胜根 钱鸣高 刘长友 (30)
- 6 防止煤炭自然发火的中日联合研究
..... Minoru Mitsumasu Gota Deguchi Kotaro Ohga [日] (37)
- 7 综放采场煤岩组合移动规律及控制研究
..... 宋选民 靳钟铭 魏锦平 钱鸣高 (43)
- 8 难采煤层的综放开采技术研究
..... 王家臣 解景全 缪寅生 李伟 闫宝金 富强 (53)
- 9 覆岩移动对综放面邻近层瓦斯涌出影响的试验研究
..... 许家林 钱鸣高 任晓峰 (59)
- 10 综放开采顶煤变形破坏的损伤分析
..... 陈忠辉 赵旭清 张勇 (66)
- 11 岩体损伤与强度的统计力学分析
..... 高 峰 钱鸣高 (72)
- 12 离散单元法在综放开采中的应用
..... 富 强 吴 健 王家臣 (77)
- 13 水力采煤技术现状
..... Minoru Sato [日] (83)
- 14 “三软”特厚煤层高瓦斯综放工作面瓦斯治理研究实践
..... 胡德进 付 贵 (87)
- 15 矿井事故分析模型及风险诊断专家系统
..... V. Z. Lu J. Cross A. Green (92)

Contents

- 1 Development of Longwall Top-coal Caving Technology in China
..... *Wu Jian Meng Xianrui Jiang Yaodong* (101)
- 2 The Technology on Top-coal Caving Hydraulic Support for Thick Seam Mining
..... *Lu Xiaoyan Han Deyun Zhang Baoli* (113)
- 3 Moderately Thick Seam Mining in Australia
..... *Andrew Rutherford* (122)
- 4 Practice of Fully Mechanized Top-coal Caving in Dongtan Mine
..... *Zhang Yingdi Qu Tianzhi Zhang Guishan Li Weiqing* (136)
- 5 Working Resistance of Supports in the Longwall Top-coal Caving Face
and Roof Stability in Tip-to-face Area
..... *Cao Shenggen Qian Minggao Liu Changyou* (142)
- 6 Japan-China Joint Research on the Prevention of Spontaneous Combustion
..... *Minoru Mitsumasu Gota Deguchi Kotaro Ohga* (151)
- 7 Study on Coal-rock Moving Law and Its Control for Longwall Top-coal
Caving Face
..... *Song Xuanmin Jin Zhongming Wei Jinping Qian Minggao* (160)
- 8 Research on the Longwall Top-coal Caving Technique in Trouble Seams
..... *Wang Jiachen Xie Jingquan Miao Yinsheng*
Li Wei Yan Baojin Fu Qiang (171)
- 9 Study on the Influence of Strata Movement on the Relieved Gas
Emission from the Adjacent Seams
..... *Xu Jialin Qian Minggao Ren Xiaofeng* (179)
- 10 Damage Analysis on the Deformation and Failure of Top-coal
During Top-coal Caving
..... *Chen Zhonghui Zhao Xuqing Zhang Yong* (187)
- 11 Statistical Analysis of Damage and Strength of Rock Masses
..... *Gao Feng Qian Minggao* (194)
- 12 Study on the Application of Distinct Element Method in Longwall
Top-coal Caving Mining
..... *Fu Qiang Wu Jian Wang Jiachen* (200)
- 13 Current Hydraulic Mining Technology
..... *Minoru Sato* (207)
- 14 Gas Control Techniques of Longwall Top-coal Caving in 'three-soft'
and Gassy Extra-thick Seams
..... *Hu Dejin Fu Gui* (220)
- 15 Mine Accident Modeling & Risk Diagnosis Expert System
..... *V. Z. Lu J. Cross A. Green* (225)

中国放顶煤开采技术的发展^{*}

吴 健 孟宪锐 姜耀东

中国矿业大学(北京校区)

摘 要:近十年来放顶煤开采技术在中国得到了很大发展,同时也积累了丰富的经验,本文着重介绍了中国在综合机械化放顶煤开采技术的发展过程中取得的成果

关键词:放顶煤开采 放顶煤的发展 放顶煤的技术措施

综合机械化放顶煤(简称综放)开采具有高产高效、生产集中、成本低等特点,因此这一技术在中国得到了迅速发展。1996年综放的总产量为5700万t,已占国有重点煤矿总产量的10%左右。1997年,中国百万吨以上综合机械化采煤(简称综采)队共76个,其中综放开采的有25个队,占33%;按单产排列前10名的综采队中采用综放开采技术的占有8个队,兖州东滩煤矿综采二队1998年创出了综放开采年产510万t,工效235t的最好成绩。

1 中国放顶煤开采的发展过程

综合机械化放顶煤技术产生于欧洲,但80年代中期以后这一技术在欧洲并没有得到进一步的发展。中国1982年从国外引进了这一技术后,通过不断的研究和探索,使放顶煤开采技术在中国得到了迅速发展,其发展过程可以大致分为如下三个阶段:

第一阶段为探索阶段,从1984年到1990年,阳泉一矿8603工作面实现月产12~14万t为止。它基本验证了放顶煤开采实现高产高效的可行性。1990年下半年,阳泉一矿8603长壁工作面实现月产超过14万t,比该矿分层综采工作面产量和效率都提高了1倍以上,而且工作面煤炭的回收率在80%以上。为放顶煤技术发展打下了良好的基础。

第二阶段从1990年至1995年,是逐渐成熟阶段。这一阶段的标志性成果是兖州兴隆庄煤矿工作面单产突破300万t/年,达到了高产高效的目的,另一方面“三软”煤层、倾斜煤层、高瓦斯煤层等难采煤层实现了长壁放顶煤开采。

第三阶段从1995年到现在,是技术成熟和推广阶段。这一阶段综放开采巨大的技术优势引起了广大煤矿企业的高度重视;对一些难采煤层,如“三软”、“两硬”、“大倾角”、“高瓦斯”、“易燃”、“较薄厚煤层”等的放顶煤开采技术有了长足的发展,并形成了各自开采特色。

* 国家自然科学基金重点资助项目(编号:59734090)

2 中国综放开采技术发展的主要特征

综放开采作为缓倾斜厚煤层长壁开采的一种方法,具有从采动影响与矿压显现规律到设备、煤尘源、自然趋势、瓦斯涌出与分布规律等均不同于单一煤层开采的特点,中国通过长期生产实践与理论研究,使综放开采技术日渐成熟,其技术发展的主要特征有如下几个方面。

2.1 放顶煤开采可以实现低投入、高产出的高产高效生产

放顶煤工作面实现高产高效是中国采用放顶煤开采 15 年来最突出的成就,它集中体现了放顶煤开采在技术和经济方面的巨大优势,对促进中国煤炭工业的发展起到了重要作用。放顶煤工作面高产高效的特点是:

(1) 不断创造和保持着中国长壁工作面高产高效的最高纪录。表 1 为 1997 年 8 个年产量超过 2Mt 的综放队的基本情况;与同等条件下的长壁分层工作面相比,绝大多数放顶煤工作面的产量和效率都提高了 1~3 倍,而成本降低了 30%~50%。

表 1 1997 年中国年产超过 2Mt 的综放队基本情况

序 号	局 矿 队	年 产 量 (t)	工作 面 效 率 (t/工)
1	兖州东滩煤矿综采二队	4101808	203.9
2	兖州南屯煤矿综采队	3468680	185.0
3	新集新集煤矿综采队	3195800	85.7
4	兖州兴隆庄煤矿综采一队	3011288	135.7
5	兖州鲍店煤矿综采二队	2634888	116.3
6	潞安局王庄煤矿综采二队	2236308	120.1
7	潞安局漳村煤矿综采队	2168118	69.0
8	潞安局王庄煤矿综采一队	2053393	110.3

(2) 工作面高产高效使全矿有可能在不减产的情况下减少工作面数量、减少和简化生产环节、减少井上下辅助工人数,使矿井处在减人提效的良性循环中,有利于矿井实现集中化生产。

(3) 放顶煤开采在实现高产高效的同时,降低了资源的浪费和巷道掘进率,全面减少了材料、动力、人力的消耗,也不需要大幅度增加设备投入;放顶煤开采的低投入、高产出充分体现了中国煤炭工业技术进步的特色。

2.2 成功研制了多个系列的新型放顶煤支架架型

根据放顶煤工作面支架-围岩关系的特殊要求,中国设计的放顶煤支架大多数具备以下特点:

(1) 确定支架额定工作阻力时,不按必须满足 6~8 倍采高岩石重量的传统要求进行,

只与同类条件下分层开采的支架额定工作阻力大体上相当。对于煤层强度低（中硬以下）、周期来压强度不明显的工作面，设计支撑力较低的轻型支架，但支护强度不宜降低。

(2) 由于双输送机、低位放煤支架放煤时产尘较小、丢煤较少，更能适应放顶煤工作面生产安全的要求，中国当前设计制造的放顶煤支架一般均为双输送机、低位放煤支架。

(3) 由于放顶煤工作面的特点就是支架上部的顶板是被破坏了顶煤，架间及端面均容易漏煤，因而支架具备很好的封闭架间和架前顶煤的能力、具有带压移架和承载移架的能力。

(4) 由于顶煤冒落后，一般会有部分大块煤或散落顶煤自然成拱，因而中国设计的放顶煤支架都有强力的二次破煤机构和破坏散煤成拱的机构，包括破煤及破坏二次成拱的摆动尾梁和插板。

(5) 为了适应后部输送机机头机尾部外形尺寸较大的特点，中国特别研制了配套的工作面两端的过渡支架，满足了生产的要求。

中国除了广泛使用如图 1 所示的低位放煤支架外，近几年设计的一种长尾梁、大插板、反四连杆、低位放煤的支架也受到了欢迎，如图 2 所示。

图 3 所示是单摆杆轻型低位放煤支架，这种支架重量为 6~8t/架，由于它重量轻，价格低，使用方便，受到普遍欢迎。

图 4 所示是最近研究设计的单铰接轻型放煤支架，这种支架重量亦为 6~8t/架。由于采用单铰接这种稳定性较好的液压支架结构型式，在架型功能设计中，吸收了国内十几年来放顶煤工作面支架—围岩关系的研究成果，优点明显，有较为广泛的市场前景。

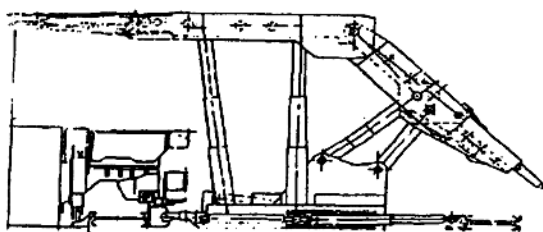


图 1 短尾梁小插板低位放煤支架

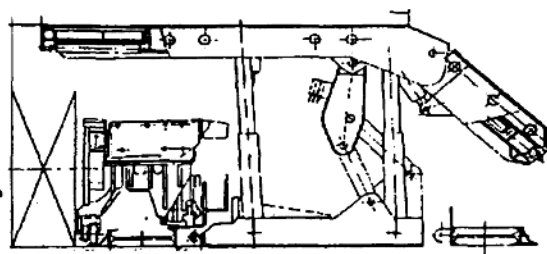


图 2 长尾梁大插板反四连杆低位放煤支架

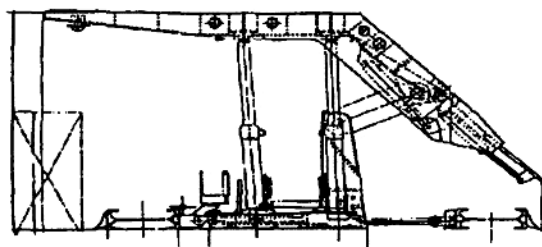


图 3 单摆杆低位放煤轻型支架

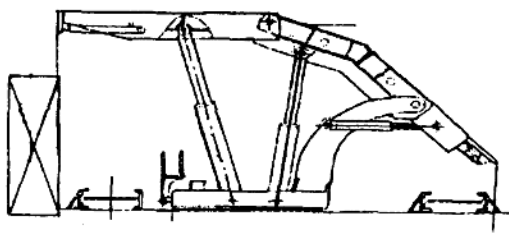


图 4 单铰接低位放煤轻型支架

2.3 提高了放顶煤开采的回采率

煤矿开采保持较高的煤炭回采率是关系煤炭工业可持续发展的大问题。从理论上讲,缓倾斜厚煤层矿井采用的长壁分层下行陷落采煤法可以取得较高回采率,但实际上,由于开采时的厚度损失(含煤层厚度变化的损失和分层工艺难以控制的损失)、煤柱损失及局部地质构造损失等原因,多年来,相当多数矿井的采区回采率只能达到60%~70%。对于放顶煤开采,虽然顶煤是由支架后方顶板和顶煤的塌落区放出的,放煤工艺损失不可避免,但是实际上,由于在增加了放煤工艺损失的同时,其整层开采的特点可以免去大部分煤层变化的损失和局部小地质构造的损失,避免了分层工艺难以控制的损失,因而其采区回采率还略有提高。根据统计,中国放顶煤开采工作面的回采率平均达到81%~83%,并且呈现逐年增长的趋势(表2);区段之间不留护巷煤柱,采区回采率可以达到75%以上,符合国家要求。

表2 中国部分综放工作面回采率分布状况

投产年际	内 容	回 采 率 区 间 (%)				
		<75	75.0~79.9	80.0~84.9	85~89.9	总 计
1993 年以前	工作面个数(个)	8	10	27	14	59
	占总数比例(%)	13.6	16.9	45.8	23.7	100
	平均回采率(%)	68.66	77.79	82.61	86.15	80.74
1994 年以后	工作面个数(个)	8	3	24	17	52
	占总数比例(%)	15.4	5.8	46.1	32	100
	平均回采率(%)	70.15	78.10	82.78	86.33	81.72
总 计	工作面个数(个)	16	13	51	31	111
	占总数比例(%)	14.4	11.7	46.0	27.9	100
	平均回采率(%)	69.4	77.85	82.69	86.25	81.20

1995年,郑州矿务局曾将该局米村煤矿(“三软”不稳定煤层)放顶煤开采采区回采率与该矿分层长壁采区回采率进行了详尽的比较,数据表明:放顶煤开采可以提高采区回采率5个百分点;1993年兖州煤矿设计院对兖州矿务局兴隆庄煤矿(稳定厚煤层)实行放顶煤开采与历史上采用分层长壁开采的采区回采率进行了比较,表明两种方法的采区回采率是基本相同的。

考虑到储量和产量统计中实际存在的误差,在提高放顶煤开采回采率的研究中,中国十分重视理论研究密切结合工作实际,在提高回采率和提高回采率的统计准确性方面做了大量的工作。这些工作主要包括以下几个方面:

(1) 考虑到放煤损失是放顶煤开采中煤炭损失最多的环节,中国对采空区散体煤岩运动的规律进行了大量的研究。通过实验室研究和现场实验相结合,通过选择最佳放煤参数和放煤方式确定放煤工艺,以求实现放煤损失最小。

(2) 改进工作面初采和末采技术,缩短初末采不放顶煤的距离,改进和完善过渡支架、端头支架的放煤功能,提高了初采、末采及工作面两端的顶煤放出率。

(3) 放顶煤开采有利于加大采区设计参数，通过加大工作面长度和走向推进长度，提高工作面相对采出率。

(4) 根据放顶煤开采特点，进行了大量试验和推广无煤柱开采，解决了无煤柱开采技术和安全的一些问题。

(5) 加强储量管理和采出量统计管理，严格掌握煤厚（加强钻探要求）和采用先进技术准确统计采出煤量及含矸率、灰分、水分等指标，提高回采率数据的准确性。

(6) 加强放煤管理，提高工人多放煤的积极性。

中国在提高放顶煤开采回采率方面做了大量工作，也取得了一些成绩，但是部分工作面回采率仍然不高，进一步提高回采率的潜力仍很大。因此，还需要在实践与理论方面不断探索，放顶煤开采的回采率还会得到进一步的提高。

2.4 掌握了放顶煤开采瓦斯灾害防治的技术理论方法

由于厚煤层放顶煤开采一次采出煤层全高，受采动后的岩层运动、工作面前方支承压力的分布、顶煤运移和裂隙发育的影响，采空区瓦斯涌出、运移和聚集情况与分层长壁开采有很大不同。生产实践表明：放顶煤开采并没有增加瓦斯灾害威胁，反而出现一些放顶煤工作面相对瓦斯涌出量明显降低，高瓦斯的威胁明显缓和的现象。中国放顶煤开采瓦斯防治实践表明，建立在分层开采基础上的厚煤层防治瓦斯技术体系必须随着放顶煤整层开采的出现而加以调整或重新建立，主要应包括以下几个方面：

(1) 煤层或工作面的瓦斯等级或相对瓦斯涌出量的预测。根据“从最危险情况出发”的原则，按传统方法确定厚煤层工作面瓦斯等级时就应考虑到各分层瓦斯涌出的不均匀性，按分层开采第一分层相对瓦斯涌出量确定，这在分层开采时是正确的。但实践表明，放顶煤开采是整层开采，瓦斯涌出分层不均匀性的基础不存在了，按传统方法预测误差较大，必须根据放顶煤开采特点建立新的瓦斯等级（相对涌出量）预测方法，并以此为基础决定瓦斯防治措施。

(2) 分层开采回采第一分层时，大量瓦斯由采空区内以下各分层煤体中涌出，如图5所示。由于下分层煤厚，涌出的瓦斯往往大于本分层的瓦斯涌出量，且其瓦斯逸出范围也往往较大。因此，高瓦斯厚煤层采空区抽瓦斯（“高抽”或“埋管抽”）的效果往往很好；一般情况下，抽瓦斯钻孔的终孔位置距离煤壁大于20m。放顶煤开采时顶煤自由面和冒落的顶煤将涌出大部分瓦斯（支架尾梁上方及后方），如图6所示；由于工作面通风负压的牵动，上浮和向采空区扩散的速度都相对较慢，支架后部及掩护梁上方易形成“瓦斯库”（聚集高浓度瓦斯），抽排采空区瓦斯时必须考虑这个因素。

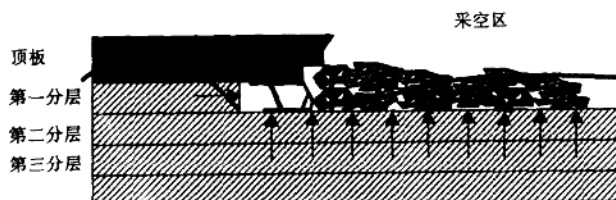


图5 分层开采第一层瓦斯析出渠道

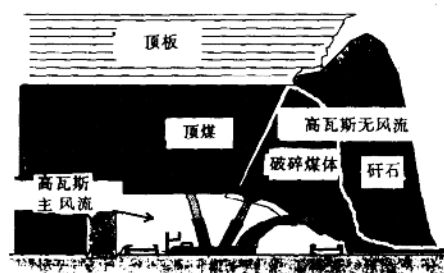


图 6 放顶煤工作面析出瓦斯分布图

(3) 对于以邻近层瓦斯为主要瓦斯来源的放顶煤工作面，如果推进速度与分层长壁工作面相同（产量成倍增加），由于放顶煤开采采空区冒高增大，受采动影响的岩层高度大，当煤层上部有多层含高瓦斯的煤层时，工作面邻近层涌出的瓦斯将增加，增加了矿井和工作面的瓦斯治理难度。各种类型的“高抽巷”和顶板大直径钻孔都对抽排采空区上部邻近层瓦斯有效，其中以顶板走向高抽巷的效果最稳定可靠。

(4) 放顶煤开采一次采出煤层厚度超过 7~8m 时，高瓦斯煤层可以利用煤厚特点，将通风巷道立体布置，除正常的进风巷外，可沿煤层顶板布置专用的煤层走向瓦斯抽放巷（抽放巷允许较高的风流瓦斯浓度）实现一进二回的“E”形通风系统，（如图 7 所示）。

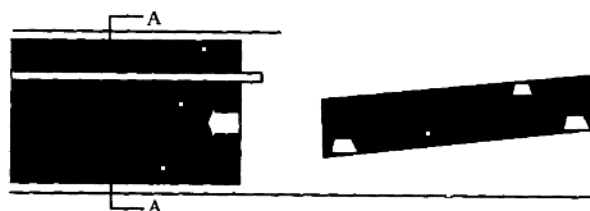


图 7 放顶煤工作面立体 E 型布置方式

(5) 矿压研究表明：从放顶煤工作面前方较远的煤体开始，在支承压力作用下，将发展和形成大量方向有一定规律的裂隙，这种规律给放顶煤工作面钻孔随采随抽创造了新的有利条件。

(6) 少数放顶煤工作面开采具有煤与瓦斯突出危险煤层的经验表明：

(a) 煤与瓦斯突出主要发生在岩巷揭煤时（采用区段岩石中巷分层开采布置方案时），放顶煤开采巷道布置取消了大部分岩石巷道，可大幅度降低岩巷揭煤突出的机会；

(b) 放顶煤开采煤巷沿底布置，巷道顶板为煤，有可能较易发生煤与瓦斯突出；

(c) 至今未发生过放顶煤工作面的“突出”，一般认为放顶煤工作面不易发生煤与瓦斯突出。

2. 5 掌握了放顶煤开采发生自然的规律，采取了有效的技术措施

1990 年以前，中国放顶煤开采的自然发火问题是严重的；当时，至少有 4 个工作面因发生自燃，来不及撤出设备就将工作面封闭。经过了不断的开采实践，我们对放顶煤开采的自然发火威胁有了比较清楚的认识，归结起来有如下几个方面。

(1) 中国厚煤层采用分层开采时，煤的自然问题就是十分严重的，由于分层开采采空区反复揭露，发生自燃的位置主要在第 2、3 分层以下各分层，第一分层一般不发生自燃。放顶煤开采由于不存在采空区反复被揭露的问题，在工作面推进速度较正常（>30m/月）、

采空区无漏风渠道的情况下,工作面后方采空区不发生自燃。放顶煤工作面易发生自燃的位置如图 8 所示。

(2) 放顶煤开采的巷道及开切眼沿煤层底板掘进,增加了巷道冒顶片帮的机会,高冒区易发生自燃,工作面下出口顶煤冒落时,曾发生过自燃的煤易复燃。实践表明,放顶煤工作面上下两巷及开切眼是放顶煤开采的主要自燃源,防止巷道掘进时冒顶是放顶煤开采防治火灾的主要工作。

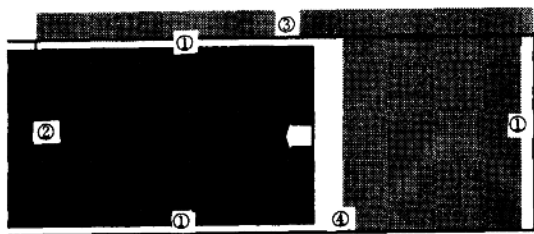


图 8 放顶煤工作面易发生自燃位置

1—巷道及开切眼; 2—收作线;
3—临近工作面; 4—工作面端头

(3) 放顶煤开采收作线(工作面停采线),一般沿推进方向有 8~10m 顶煤

不放,冒落后不放的顶煤容易自燃;特别是工作面后方有漏风渠道自燃时,由于 CO 不外逸,发现火情时,火灾已很严重。采取在工作面停止放煤后,即向顶煤钻孔注阻化剂或其他阻燃浆液及加快回撤设备的速度,可有效防止收作线自燃。

(4) 放顶煤开采工作面两端遗留残煤多,冒落不密实,易自燃。当采用无煤柱开采时,沿空巷一侧的采空区内容易因漏风引发自燃或复燃,已燃采空区的有害气体必将向沿空巷渗出,向沿空巷采空区一侧灌注黄泥浆及其他阻燃物质是有效的。

生产实践证明,以下一些防治放顶煤开采自燃火灾的措施有较好的效果:

- (1) 向采空区及高冒区灌注黄泥浆;
- (2) 向采空区注惰性气体(注氮);
- (3) 用阻燃物质灌注高冒区;
- (4) 加固巷道围岩(煤)、巷道支架壁后充填,用阻燃物质喷涂巷道表面或向巷道松动圈内灌注阻燃物质;
- (5) 沿空巷巷道一侧灌浆(阻燃物质)封隔采空区;
- (6) 向工作面收作线(停采线)上方顶煤预注阻燃物质;
- (7) 降低供风量和风压差,采取均压通风。

2.6 不断发展完善了放顶煤工作面防尘技术

放顶煤工作面增加了工作面产量,也增加了产尘尘源数量,虽然放顶煤开采煤的产尘率(g/t)降低了,但空气中总的含尘量比一般长壁工作面高,对降尘的要求也更高。中国在研究放顶煤工作面降尘方面取得的成就主要表现在:

- (1) 喷雾降尘自动化(随动)装置的普遍采用;
- (2) 工作面吸尘装置研究取得进展;
- (3) 降尘机理及降尘添加剂的研究取得进展;
- (4) 提高预注水降尘的技术有了进展。

应该指出,中国放顶煤工作面,尽管采取了防尘措施,但实际效果与一般长壁工作面一样远远达不到国家工业卫生标准的要求,仍有大量工作需要进行。

2.7 放顶煤开采的基础理论研究工作取得了进展

(1) 放顶煤开采的高产高效工艺研究

放顶煤开采的高产高效工艺研究成果的核心是实现了采、放平行作业全高开采,使全工作面多点同时出煤(与采煤机单出煤点比较),使工作面单位时间内产量成倍或成数倍地提高。

(2) 放顶煤工作面矿山压力及岩层控制的研究

放顶煤开采剧烈的采动影响对工作面前方煤体破坏严重,但却缓解了工作空间的某些矿压显现,使解决某些岩层控制的技术难度降低,为解解放顶煤工作面支架——围岩关系、支架设计、直接顶(煤)的控制、上位顶板活动规律等重要问题提供了初步的理论基础。

(3) 顶煤运移和顶煤破坏的研究

基于现场实测(深基孔观测或顶板裂隙素描)、数值模拟和数学力学分析基础上的顶煤运移和裂隙发育的研究,为顶煤可放性、煤体预注水、瓦斯边采边抽等技术的发展提供了重要的基础。

(4) 顶煤和直接顶冒落后的散体煤岩运动研究

通过现场实地统计、数值模拟和实验室大量模拟放煤过程的散粒体运动规律研究,初步解释了放煤过程中,破碎的煤、岩石及其分界面运动的规律及其与放煤方式、放煤参数的关系,为优化放煤工艺和提高回采率、降低含矸率提供了初步的理论依据。

(5) 顶煤可放性的研究

在统计分析和“专家系统”理论上进行的顶煤可放性研究,对影响顶煤可放性的各种因素进行了全面的研究,虽然定量分析的准确度还不肯定,但其关于影响因素方面的定性研究成果对放顶煤开采的发展起到了一定的指导作用。

(6) 放顶煤开采瓦斯运移特点的研究

目前放顶煤开采瓦斯防治研究主要是弄清放顶煤开采采动对瓦斯涌出、运移和煤与瓦斯突出的影响。在初步研究的基础上,结合现场实践经验,对促进高瓦斯煤层放顶煤开采采前、采后抽放技术的发展和开采时改善通风措施等都起到了重要作用,为保证在高瓦斯厚煤层推行放顶煤开采的安全起到了基本的保证作用。

3 放顶煤开采技术的发展方向

放顶煤开采具有技术先进、投入少、消耗少、效率高、安全性好五大特点,因此放顶煤开采具有强大的生命力,其开采技术水平和适用范围将会得到不断的提高和扩大,目前重点的研究和发展方向如下。

3.1 充分发挥放顶煤技术的优势

在煤层条件较好的矿井将放顶煤工作面的产量提高到 300 万 t/年以上,效率提高到 150t/工以上。