

国家自然科学基金重点项目(59734090)

煤炭科学基金项目(96 采 10610)

综放采场 顶煤冒放性控制理论 及其应用

宋选民 著

煤炭工业出版社



国家自然科学基金重点项目 (59734090)

煤炭科学基金项目 (96 采 10610)

综放采场顶煤冒放性 控制理论及其应用

The Control Theory of Top Coal Cavability
and its Application in Fully Mechanized
Top Coal Caving Faces

宋 选 民 著

煤 炭 工 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

综放采场顶煤冒放性控制理论及其应用/宋选民著.
北京:煤炭工业出版社, 2002
ISBN 7-5020-2152-3

I. 综… II. 宋… III. 综合机械化掘进-放顶-
控制 IV. TD823.97

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 020330 号

综放采场顶煤冒放性控制理论及其应用

宋 选 民 著

责任编辑:王铁根 史 彦

*

煤炭工业出版社 出版发行

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

北京房山宏伟印刷厂 印刷

*

开本 $850 \times 1168 \text{mm} \frac{1}{32}$ 印张 $7 \frac{3}{8}$

字数 181 千字 印数 1—500

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

社内编号 4923 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

本书是综放开采顶煤冒放性控制理论及其实践应用方面的研究成果总结。针对目前综放开采基础理论与实践中的重大关键技术问题——综放开采过程中如何增加顶煤放出率进而提高综放采出率，围绕这一难题，以矿山压力理论为依据，按照综放采场超前支承压力作用破碎顶煤的研究思路，多方面地开展了顶煤冒放性控制理论的基础研究，主要涉及了在工作面前方支承压力作用时综放采场顶煤的压裂机理和破碎块度分布规律，进而分析了支承压力、煤体强度和煤体内的裂隙发育程度对顶煤破碎块度的影响关系，提出了放顶煤开采适应条件的控制性三因素综合评价准则；建立了综放开采顶煤冒放性分类评价指标体系，对全国30个厚煤层综放矿区（井）的顶煤冒放性进行了分类评价；利用理论分析和弹塑性力学的有限元数值仿真技术探讨了难放煤层条件下综放开采工艺参数对顶煤冒放性的适应性问题，给出了通过调整综放开采工艺参数改善顶煤冒放性的方法；最后将综放开采顶煤冒放性控制理论付诸于现场生产实践，分析其实际应用效果，并给出了提高顶煤放出率的技术途径。该项研究成果丰富和发展了放顶煤开采基础理论，对综放开采实践有指导作用和实用价值。

本书可作为从事采矿工程、岩土工程等专业的大中专学生和研究生参考教材，亦可供有关的科研工作者、工程技术人员学习参考使用。

序 一

无论过去、现在，以煤炭为主是我国一次能源结构的显著特征。在未来 50 年内，尽管煤炭用量的比例会有所下降，然而受我国经济高速发展的拉动，煤炭需求总量的增长仍是趋势。

我国已探明煤炭的地质储量中，厚煤层储量约占 45%，因此，适宜的厚煤层开采技术就显得举足轻重。综采放顶煤技术是我国煤炭行业的采矿专家和工程技术人员在借鉴国外成功经验和失败教训的基础上，发展创新的一种适合国情的、高产高效且相对经济的厚煤层开采技术。尽管该技术从 20 世纪 80 年代中期以来在理论和实践上均取得长足进展，但仍存在若干需要解决的关键技术问题。

宋选民同志在 20 世纪 80 年代后期就涉足综采放顶煤技术领域，有所发现，有所建树，在由我和靳钟铭教授指导攻读博士学位期间，他以与顶煤放出率密切相关的顶煤冒放性及其控制为题，开展了一系列的研究。在博士论文基础上，作者培其主干，删其枝蔓，撰集成书。

本书研究了煤体应力状态、煤体强度和煤体内的裂隙发育程度 3 个主要因素对煤体破碎块度的影响规律，首次提出以顶煤块度为指标的冒放性评价的判别准则；论述了缓倾斜厚煤层地质赋存因素对冒放性的影响规律，建立了根据煤层地质赋存特征的顶煤冒放性模糊数学分类方法，并针对全国 30 个厚煤层综放工作面（矿井）的顶煤冒放性进行了评价预测；基于具体赋存条件，从综放工作面布置、开采参数选择以及放煤工艺参数的协调匹配等方面，探讨了提高顶煤冒放效果的技术途径；总结了应用作者提出的顶煤冒放性分类方法（即顶煤冒放性 3 因素判别分类法、模糊数学分类法和顶煤破碎系数分类法）对现场综放

工作面的顶煤冒放性类别所做的采前预测评价及实测验证。

综观全书，作者的研究成果丰富和完善了放顶煤开采技术的理论体系和实践内涵，对促进顶煤冒放性控制理论的研究和控制实践的发展具有承前启后的作用。因此，我愿意将此书推荐给综放研究领域的同仁及现场的技术工作者。

中国工程院院士
中国矿业大学博导、教授

钱鸣高

2002年2月于徐州

序 二

放顶煤采煤法的特殊性在于它的大部分煤炭是靠顶煤的自然冒落放出而开采出来的。这一特点为其他任何采煤方法所没有，因此这种采煤法是在众多学者和有关工程技术人员不断探索研究和争论的过程中发展起来的。放顶煤采煤法的顶板控制既具有其他采煤法所必备的矿山压力控制理论，又派生出其独有的顶煤冒放性控制问题。顶煤本身既是这种采煤法的顶板，同时又是这种采煤法的采出对象，它必须具有相对的稳定性，又应当具有很适宜放出的冒落特性。这一对矛盾，是放顶煤法所独有的，必须通过顶煤冒放性控制理论研究才有可能获得圆满解决。太原理工大学采矿研究所和全国许多煤炭科研院所一样，从 20 世纪 80 年代中期开始，针对当时放顶煤开采的争论焦点以及不分煤层的具体赋存地质条件盲目试验放顶煤的热潮，开展了这一课题的现场、实验与理论方面的研究，并获得了丰硕的研究成果。本书就是作者自 1988 年攻读硕士研究生开始，在潞安矿区第一个综放工作面观测起步，直到 1998 年在中国矿业大学钱鸣高院士指导下攻读博士学位期间不断积累的研究成果总结。毕业后，一直从事放顶煤开采的顶煤冒放性控制理论研究，在前期研究成果的基础上，经系统整理撰写成专著。本书的出版填补了国内外在该研究方向专著的空白，对放顶煤开采在顶煤冒放性控制理论指导下健康发展有重要的科学意义和工程实用价值。

《综放采场顶煤冒放性控制理论及其应用》一书，从地质因素、开采布置与放煤工艺参数、裂隙分布以及支承压力 4 个方面阐述了对顶煤冒放性的影响规律，运用弹塑性力学、块体力学和分形力学等基础理论开展了较全面的研究，特别是揭示了顶煤压裂的块度分布规律，并与有效的顶煤冒放控制技术建立了相

关关系，为综放开采的采出率预测及控制手段选择提供了理论依据。

放顶煤开采的理论研究仍在发展，许多问题还需通过不断的实践、实验和理论分析去探索。本书建立了综放采场顶煤冒放性控制的理论框架，提出的顶煤冒放性 3 因素评价准则、顶煤冒放性综合分类、综放工艺参数优化方法和煤岩破碎块度分形等观点，必将使深层次的研究更进一步。特别是诸如综放采场所形成的煤块大一矸块小、煤块小一矸块大、煤块小一矸块小和煤块大一矸块大等多种岩煤松散介质组合条件下的放煤规律尚待深层次的探索，只有将顶煤自然冒放的内在规律逐步认识和不断掌握，才能建立较完善的放顶煤开采基础理论，放顶煤开采的采出率才能逐步得到提高，厚煤层矿区的新型综放开采方法才能发挥更大的高产高效潜力和实现健康的可持续发展。

总之，宋选民博士的这本专著在顶煤冒放性控制理论研究方面是一个创新，也是对矿山压力控制理论的继承和发展。本书研究思路新颖，理论体系完整准确，取得了较好的研究成果。我作为本书作者的硕士导师、博士副导师愿举贤不避亲，向采矿界的同仁推荐此书，愿它能成为继续深入研究放顶煤开采理论技术和体现指导工程实际决策价值的理论与实用性专著，同时也是继续创新、纠正谬误的蓝本，为采矿科学的发展做一点奉献。

山西省采矿重点学科首席学术带头人
太原理工大学采矿研究所所长、博导

靳钟铭

2002 年 2 月 11 日

前 言

特厚煤层的开采一直是世界采矿界探讨的课题。厚煤层一般储量大，煤质好，赋存稳定，我国的大部分矿区均有厚煤层赋存。按照厚煤层定义，当单一煤层厚度超过 3.5m 以上为厚煤层，而单一煤层厚度超过 8m 则为特厚煤层。在我国，厚煤层储量占总储量的 45%，产量也相应占 45% 左右。华北、东北、华中和西北 5 个矿区的主采煤层多属厚煤层。新疆乌鲁木齐矿区的煤层厚度可达 60~70m，此为急倾斜特厚煤层。以前，对于这些厚煤层，多采用分层开采（缓倾斜厚煤层）和分段开采（急倾斜厚煤层），但一直存在着开采工艺复杂，单产不高，效益低，安全隐患严重等重大问题。

采矿界的前辈们进行了多年坚持不懈的探索研究，直到试验成功综放顶煤开采工艺，才为厚及特厚煤层的高效开采开辟了一条崭新的技术途径。我国自 20 世纪 80 年代中期试验开发综放技术，经过不断地试验完善，达到预期的目的。然而，在综放开采的发展过程中，既有成功的经验，也有失败教训，特别是对综放开采的适用条件评价以及顶煤回收率的相关技术问题缺乏较为深入细致的基础研究，使综放实践没有正确的理论指导，一些决策存在盲目性，给煤炭企业造成了许多不必要的经济损失。

综放开采工艺能否成功地推广应用，发挥高产、高效和低耗的技术优势，其关键技术首先涉及顶煤破碎机理、破碎块度分布规律及破碎程度，即综放开采的顶煤冒放性分类评价；其次存在着综放开采工艺参数选择对顶煤冒放性的适应问题，即如何从优化选择综放开采工艺参数角度提高顶煤冒放性，增加顶煤回收率；最后尚有通过工作面布置的裂隙匹配技术、顶煤弱化技术

等辅助性的破煤措施提高顶煤破碎效果,增加综放采出率。集中到一点,即是要研究综放开采条件下顶煤冒放性控制理论和冒放性分类指标评价体系,从理论上指导综放开采实践,使综放开采的采区回收率达到不低于75%的国家规定指标。

本书正是基于上述综放开采的关键理论与技术问题,通过1988年以来的多项煤炭科学基金课题、山西省自然科学基金课题、煤炭工业部“九五”攻关课题、国家自然科学基金重点项目以及多项现场横向资助项目的研究,系统地探讨综放采场顶煤冒放性控制理论及应用实践中的相关理论问题。1994年以来,作者在我国采矿专家钱鸣高院士和新钟铭教授的悉心指导下,开始转入顶煤冒放性基础理论和控制技术领域的重要研究。1998年,完成博士论文“综放采场顶煤冒放性研究及其控制”。在此期间,主持完成了“煤体自然受载破碎规律研究”、“煤体裂隙发育程度分类与冒放性相关规律研究”,作为主要参加者完成“缓倾斜综放采场煤岩组合移动规律及其控制”、“顶煤冒放性及其分类”、“综放煤体裂隙演化规律”和“特殊条件下综放开采关键技术及装备”等课题,同时参加了国家自然科学基金重点项目子课题“顶煤冒放性控制理论与评价指标体系”的研究,获得了多项达国际先进水平的研究成果。

本书以顶煤破碎和提高综放采出率问题为核心,开展了一系列的深层次研究,具有理论上的前沿性和探索性。综放开采的特点,决定了在煤层赋存条件(即采深、煤层强度、裂隙发育强度和顶底板围岩状况等)一定时,工作面超前支承压力作用能否使顶煤体破碎、破碎的顶煤块体能否满足放出要求和顶煤放出率可否达到规定等是其研究问题的实质,因此顶煤受载破碎问题是综放开采的理论基础;顶煤冒放性分类评价是应用综放开采的前提;顶煤冒放性控制与实践则是综放开采提高煤炭采出率的最终目的。本书提出的许多观点已在综放实践中得到验证,产生了巨大的经济效益和显著的社会效益。

本书的顺利完成,首先应该归功于钱鸣高院士和新钟铭教

授的悉心指导，两位导师在百忙之中审阅了书稿，提出许多中肯的修改意见，并热心为书作序，晋城矿业集团的沈付宏副局长、杜喜顺处长、程根马总工，潞安矿业集团的段庆芳副局长、郭金刚矿长、张长根总工和牛宏伟工程师，大同煤业集团的贾海棠副总、白希军部长、徐林生部长、杨彦峰部长等，对现场研究工作给予了大力帮助和支持。中国矿业大学的吴健教授、李鸿昌教授、华安增教授、缪协兴教授，煤科总院的樊运策研究员，辽宁工程技术大学的章梦涛教授、梁冰教授，西安科技学院的石平五教授，太原理工大学的赵阳升教授、康立勋教授，以及张顶立博士、李树刚博士、黄庆享博士、曹胜根博士、魏锦平博士和牛彦华硕士都给予大力帮助，在此，向他们表示衷心的感谢。

因作者能力和水平有限，加之该课题研究的综合性和复杂性，书中偏颇与失误在所难免，希望专家、学者和同行指正。

宋 逸 民

2002年3月于太原

目 录

序一

序二

前言

1 综放开采研究的历史回顾及现状分析	1
1.1 问题的提出	1
1.2 综放开采现有研究成果综述与现状分析	5
1.2.1 关于顶煤放出规律和可放性研究	6
1.2.2 关于放顶煤开采顶板活动规律研究	10
1.3 顶煤冒放性研究存在的问题及其研究方向	15
1.3.1 顶煤冒放性研究存在的问题	15
1.3.2 顶煤冒放性理论的研究方向	16
1.4 综放开采顶煤冒放性控制理论的主要研究 内容及其研究方法	17
1.4.1 顶煤冒放性控制理论的主要研究内容	17
1.4.2 顶煤冒放性控制理论的研究方法与技术思路	18
2 顶煤冒放性基础理论研究	20
2.1 概 述	20
2.2 顶煤冒放性研究现状的简要评述	21
2.3 应力（支承压力或采深）、煤层强度影响 顶煤冒放性的基础研究	23
2.3.1 研究方法简介	23
2.3.2 煤岩体压裂试验研究的理论基础	25
2.3.3 煤体压裂试验的破碎块度规律研究	27

2.4	裂隙对冒放性影响规律的基础研究	48
2.4.1	裂隙影响围岩强度（稳定性）的现有研究 成果评述	48
2.4.2	裂隙分布特征和发育程度对冒放性影响的 基础研究	51
2.5	顶煤冒放性分类评价的控制性三因素判别 准则	70
2.6	本章小结	74
3	顶煤冒放性影响规律及其分类	77
3.1	煤层赋存地质特征对冒放性的影响规律 研究	77
3.1.1	开采深度影响顶煤冒放性的理论分析	77
3.1.2	煤层强度和厚度对顶煤冒放性的影响	84
3.1.3	夹石层对顶煤冒放性的影响	91
3.1.4	煤体内宏观裂隙发育程度对顶煤冒放性的 影响	96
3.1.5	顶板岩层对顶煤冒放性的影响	101
3.2	根据煤层地质赋存特征的顶煤冒放性分类	103
3.2.1	分类方法的选择	103
3.2.2	顶煤冒放性类别的划分	103
3.2.3	分类指标的确定	104
3.2.4	顶煤冒放性的模糊数学综合评价方法	106
3.2.5	顶煤冒放性分类	108
3.3	本章小结	116
4	综放开采工艺参数选择对顶煤冒放性的适应性 研究	117
4.1	研究方法简介	117
4.1.1	仿真模拟的工程背景	118

4.1.2	仿真模拟模型的建立	119
4.1.3	计算模拟方案设计	121
4.2	综放开采工艺参数对顶煤冒放性的影响	
	规律研究	122
4.2.1	第一类工艺参数对冒放性影响的理论分析	123
4.2.2	第二类工艺参数对冒放性的影响分析	133
4.3	综放开采工艺参数的选择原则和优化参数	
	确定	153
4.3.1	综放开采工艺参数的选择原则	153
4.3.2	高产高效综放开采优化工艺参数的最佳值	
	范围确定	154
4.4	本章小结	157
5	顶煤冒放性理论的应用及控制实践	159
5.1	开采前冒放性类别评价的若干实例	159
5.1.1	晋城局古书院矿 13306 工作面冒放性评价预	
	测实例	159
5.1.2	潞安局王庄矿 6102 工作面冒放性评价预测	
	实例	162
5.1.3	大同局忻州窑矿 8914 和 8916 工作面冒放性	
	评价预测实例	164
5.2	裂隙分布影响冒放性实测分析及利用裂隙	
	匹配技术提高综放面放煤率的工业试验	
	研究	166
5.2.1	区域构造特征和工作面布置简介	166
5.2.2	裂隙分布特征和工作面布置匹配关系对顶煤放	
	出率影响研究	167
5.2.3	裂隙分布和工作面匹配类型对冒块特征的影响	
	研究	169
5.2.4	几点有益认识	171

5.3 现场综放采场顶煤冒放性实测研究与验证	172
5.3.1 顶板顶煤活动规律和冒放结构的实测研究	172
5.3.2 支承压力显现规律和煤体裂隙演化规律的 相关性实测研究	187
5.3.3 工作面放煤率实测和顶煤冒放性分类验证	190
5.4 综放开采有关问题的进一步探讨	192
5.4.1 分层综放开采和一次采全高综放开采工艺 选择对顶煤冒放性的影响分析	192
5.4.2 松散冒落煤体的流通性及放煤口布置形式 的相关分析	197
5.5 本章小结	198
6 主要结论	200
参考文献	207

Contents

1	The history review and status analysis for fully mechanized coal caving method	1
1.1	Problems	1
1.2	Summarization and status analysis of present research outcomes on fully mechanized top coal caving method	5
1.2.1	The studies on top coal drawing laws and its cavability	6
1.2.2	The studies on roof movement laws for top coal caving face	10
1.3	Problems and its research directions of studies on top coal cavability	15
1.3.1	Problems of studies on top coal cavability	15
1.3.2	The research directions of top coal cavability theory	16
1.4	Main research contents and methods for control theory of top coal cavability in fully mechanized top coal caving method	17
1.4.1	Main research contents for dominating theory of top coal cavability	17
1.4.2	The research methods and technological route for controll theory of top coal cavability	18
2	Basically theoretical studies on top coal cavability	20
2.1	Summarization	20

2.2	Brief review of research status on top coal cavability	21
2.3	The basic research for stress (abutment pressure or mining depth), coal seam strength's effect to top coal cavability	23
2.3.1	Brief introduction to research methods	23
2.3.2	Theoretic basis of coal-mass fissured experiment	25
2.3.3	Studies on broken fragment regularities in coal-mass fissured test	27
2.4	Basic research of fissure effect to top coal cavability	48
2.4.1	The present research outcomes' evaluation of fissure effect to surrounding rock strength (i.e. surrounding rock stability)	48
2.4.2	Basic researches of fissure distributing characteristics and development extent effect to top coal cavability	51
2.5	Three kinds of control factors evaluating rule used in top coal cavability	70
2.6	Brief summary	74
3	Top coal cavability affecting laws and it's classifications	77
3.1	Study on coal seam embedding and geological features effect to top coal cavability	77
3.1.1	Theoretic analysis of mining depth effect on top coal cavability	77
3.1.2	The effect of coal seam strength and thickness on top coal cavability	84
3.1.3	Dirty effect seam on top coal cavability	91
3.1.4	The effect of macroscopical fissures development	