

煤炭工业部科技计划重点资助项目

国家自然科学基金重点资助项目

综合机械化放顶煤 开采采场矿山压力控制

GROUND PRESSURE CONTROL OF FACE WITH
FULLY-MECHANIZED SUB-LEVEL CAVING MINING

张顶立 著

By Zhang Dingli

煤炭工业出版社

CHINA COAL INDUSTRY PUBLISHING HOUSE

煤炭工业部科技计划重点资助项目

国家自然科学基金重点资助项目

综合机械化放顶煤开采 采场矿山压力控制

张 顶 立 著

煤 炭 工 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

综合机械化放顶煤开采采场矿山压力控制/张顶立著.
北京:煤炭工业出版社,1998
ISBN 7-5020-1676-7

I. 综… II. 张… III. 放顶-煤矿开采-采区-顶板压力-控制 IV. TD322

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 40411 号

综合机械化放顶煤开采采场矿山压力控制

张顶立 著

责任编辑:刘瑾 黄朝阳

*

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 $850 \times 1168 \text{mm}^{1/32}$ 印张 $6\frac{7}{8}$

字数 176 千字 印数 1—2,055

1999 年 5 月第 1 版 1999 年 5 月第 1 次印刷

书号 4450 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

前 言

近10年来,综放开采技术在我国得到了迅速发展,取得了显著的技术经济效益,目前已成为厚煤层开采最为有效的方法之一。1997年兖州矿业(集团)有限责任公司东滩煤矿综放工作面原煤产量已达到年产400万t,这表明我国综放开采技术已走在世界前列。

然而,综放开采工艺的应用使采场上覆岩层活动规律及结构特点发生了较大的变化,并由此带来矿压显现的一些新特点,使得某些矿山压力现象难以用传统的矿山压力理论作出满意的解释。因此,对综放采场矿山压力控制理论及方法的研究就显得非常必要。

综放采场矿山压力控制的关键问题主要包括:①依据顶煤的破碎特点,对顶煤的冒放性作出评价;②依据采场覆岩结构特点及“支架—围岩”关系确定出综放支架的架型及工作参数;③依据顶煤破碎效果及煤矸活动规律确定合理的放煤工艺,以提高回收率。这也是综放采场矿山压力研究的目的之所在。

鉴于目前国内外尚无系统介绍综放开采矿山压力控制方面的专著,作者对近10年来在综放开采矿山压力控制方面的研究工作进行了总结。全书共分八章,主要内容包括综放采场的岩层结构及其控制原理、顶煤的稳定性分析及冒放性评价、综放支架的受力特点分析等,并在此基础上建立了综放采场的围岩结构模型,书中也介绍了力学模型在围岩控制中的应用。

为使本书内容形成一完整的体系,书中参考或引用了一些同行及专家的研究成果,特此表示感谢!

作者在近10年的研究工作中,先后得到了我国采矿界多位知名学者的指导以及广大煤矿现场领导和工程技术人员的支持和帮

助，在此表示衷心感谢！

鉴于综放采场矿山压力控制在国内外尚处于研究阶段，本书中的某些观点尚不够成熟，还有待于实践和完善。

由于本人水平所限，不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

1998 年 12 月

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 综放开采技术的发展概况	1
1.2 传统矿山压力理论的回顾	3
1.3 综放采场围岩介质属性及控制特点	8
1.4 综放采场矿山压力的研究内容	9
2 综放采场上覆岩层活动规律及结构分析	12
2.1 综放开采岩层活动规律及结构特点	12
2.2 直接顶垮落高度及结构特点	25
2.3 采场老顶岩层结构的平衡	28
2.4 综放采场上覆岩层及地表移动特点	40
3 综放顶煤工作面直接顶稳定性及其控制	46
3.1 直接顶结构的主要类型	46
3.2 “散体拱”结构特点及其控制	49
3.3 “桥拱”结构特点及其控制	55
3.4 “复合梁”结构特点及其控制	65
3.5 直接顶与老顶结构的相互作用关系	70
4 综放开采顶煤稳定性研究及其应用	72
4.1 煤体破坏的基本特征	72
4.2 顶煤的破坏过程	74
4.3 顶煤的变形特征	75
4.4 顶煤的破坏特征及其分区	83
4.5 顶煤冒放性的影响因素分析	90
4.6 含夹矸顶煤的破坏特征	99
4.7 下分层综放开采的顶煤破碎特点	104
4.8 顶煤稳定性分类	106
4.9 综放开采的适应性分析	110

5 综放采场围岩力学模型及其应用	114
5.1 综放采场围岩支撑系统	114
5.2 直接顶及顶煤的力学性态分析	117
5.3 综放支架的工作特性	121
5.4 综放采场围岩力学模型	121
5.5 综放支架载荷及参数的确定	126
6 综放采场矿山压力控制特点	130
6.1 综放采场矿山压力显现的基本特征	130
6.2 直接顶来压	137
6.3 老顶来压	139
6.4 支承压力分布特点	140
6.5 下分层综放开采的矿压显现特点	143
6.6 急倾斜水平分段放顶煤开采的矿压显现特点	145
6.7 影响综放开采矿压显现的主要因素	147
6.8 综放开采的矿压控制实践	152
7 放顶煤支架的合理选型	162
7.1 综放支架的发展概况	162
7.2 支架选型的原则和基本要求	163
7.3 支架的受力测试及力学分析	165
7.4 综放支架的稳定性分析	171
7.5 综放支架结构参数的确定	175
7.6 综放支架的设计特点	177
8 综放回采巷道围岩控制特点	179
8.1 综放回采巷道的矿压显现特点	179
8.2 综放回采巷道的围岩控制	190
8.3 综放开采合理煤柱尺寸的分析	199
参考文献	205

1 绪 论

1.1 综放开采技术的发展概况

放顶煤开采法由来已久。法国、原苏联、南斯拉夫等国家于本世纪 40 年代末 50 年代初即开始应用放顶煤开采法。1957 年,原苏联研制出 KTY 型放顶煤支架,并在库兹巴斯煤田的托姆乌辛斯矿使用,后因工艺复杂,金属材料消耗量大,效果不理想而未能大量推广。1963 年,法国利用当时使用的节式支架改造成“香蕉”形放顶煤支架,并于 1964 年用于法国布朗齐矿区的达尔西矿,试验取得了成功。之后,英国、法国、南斯拉夫、匈牙利等国家都相继引进了这一技术,并且对此进行了广泛的试验和研究。综放开采曾一度成为东欧地区厚煤层开采的主要方法,由于各种原因,欧洲使用综放开采技术并没有取得很好的技术经济指标。80 年代中期以后,国外放顶煤开始萎缩,到 90 年代初,国外只有极少数矿井仍在使用放顶煤开采。

我国 50 年代初曾在开滦、大同、峰峰和鹤壁等矿区采用放顶煤采煤法。在 1982 年引进了综采放顶煤技术,并于 1984 年在沈阳蒲河矿开始工业性试验。由于这种采煤方法具有掘进率低、效率高、适应性强及易于实现高产等明显的优势,十多年来,在我国得到了迅速发展;1996 年国有重点煤矿综放工作面煤炭产量达 5000 万 t,已成为厚煤层开采最为有效的方法之一。目前综放工作面已实现年产 300 万 t,1996 年有 9 个综放队年产超过 200 万 t^[1],月产已超过 30 万 t,工效达 145t/工,回采率 80%以上,并且吨煤成本增收节支 10~20 元。80 年代末 90 年代初,我国综采放顶煤已走在世界前列,并且目前已开始向某些国家输出综放开采的成套技术。

放顶煤开采法的实质就是采用常规方法先采煤层(或分段)底部厚度 2~3m 的一个分层,利用矿山压力的作用,使支架上方的顶煤破碎成散体后依靠重力回收顶煤。由此,依据煤层赋存条件的不同,长壁综采放顶煤可分为三种主要类型:①一次采全厚放顶煤开采;②预采顶分层网下放顶煤开采;③倾斜分段放顶煤开采。其中一次采全厚放顶煤开采在我国应用较广^[2]。

液压支架作为综放开采的关键设备,它关系到综采放顶煤的成败。我国自采用综放技术以来,已先后研制出高、中、低位放煤系列 30 多种形式的放顶煤支架。依据与支架配套的输送机台数和放煤机构的不同,综放支架可分为单输送机高位、双输送机中位和双输送机低位放顶煤支架。各类支架均有其最佳的适用条件,但目前普遍认为,低位放顶煤支架具有较好的发展前景。

综采放顶煤在世界范围内作为一种新的采煤工艺,已有 30 多年的历史了。其间国内外学者对其有关的煤岩移动及顶煤破坏规律等问题进行了大量的理论研究与实践。在此基础上,初步揭示了综放采场的岩层结构特点及顶煤破碎机理,并对顶煤的放出规律进行了详细的描述。这些对支架设计和综放工艺的完善都具有重要的指导作用。

矿山压力作为采矿工业的基础学科,对综采放顶煤具有特别重要的意义。主要表现在:①正确认识综放采场的岩层活动及矿压显现规律是采场矿山压力控制设计的依据,也是综放开采安全生产的保证;②矿山压力作用是顶煤实现破碎的关键因素,因此它也是深入研究顶煤破碎机理以及确定顶煤可放性,进而确定综放开采适应性的重要依据;③大量实践证明,支架选型合理与否是综放开采成功的关键,而矿山压力则是综放支架选型和设计的基础,并具有重要的指导意义;④深入研究矿山压力及其作用下的煤矸活动规律是提高顶煤回收率及减少混矸率的保证;⑤采场周围的应力分布及其显现是确定采区巷道布置方式的基础,也是选择巷道支护方式和支护参数的依据。

随着综放开采技术的发展和推广应用,国内外学者对综放采

场的岩层活动及矿山压力显现特点进行了研究，先后对数十个综放面进行了系统的矿山压力实测研究，已取得了某些较为一致的认识。普遍认为，综放开采时仍然存在周期性的压力变化，支架受载及矿压显现不大于分层开采，而在某些条件下又表现出较为明显的矿山压力显现。这些用传统的矿山压力理论都难以作出满意的解释，并提出有效的控制方法。这就要求人们在新的开采条件下，探讨上覆岩层的活动规律及结构特点，并重新认识传统的矿山压力理论，从而使其更接近实际。

1.2 传统矿山压力理论的回顾

自采用长壁开采技术以来，回采工作面的顶板控制一直是煤炭井工开采的核心问题，也是采场矿山压力研究的重要课题。由于反映到采场支护上的压力远小于上覆岩层的重量，因此人们逐渐认识到采场上覆岩层中必定存在着某种形式的“大结构”保护着采场，使其免受整个上覆岩层的影响。在对这个问题的研究过程中，曾提出过各种采场矿山压力的假说。每种假说都以不同方式回答了这两个方面的问题，即上覆岩层结构的形式及采场支架载荷的确定方法。

1.2.1 压力拱假说

此假说认为，在工作面上方由于岩层自然平衡的结果而形成了一个“压力拱”。前拱脚为工作面前方的煤体，后拱脚为采空区已垮落的矸石或采空区的充填体，如图 1—1 所示。随工作面推进，前后拱脚也将向前移动。

压力拱切断了拱内外岩石力的联系，承担了上部岩层的重量，并将其传递到拱脚 (S_1 , S_2)，从而形成支承压力；在两个拱脚之间形成了一个减压区 (I_k)，采场支架仅需承担压力拱内的岩石重量。

压力拱假说可以解释长壁开采的某些矿山压力现象，但对采场周期来压等仍不能解释清楚。

1.2.2 悬臂梁假说

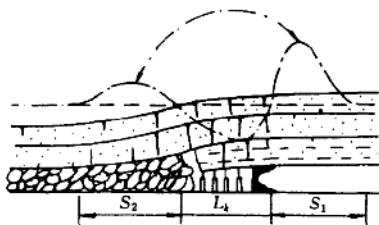


图 1-1 Φ·许普鲁特压力拱假说模型

德国学者 W. Hack 和 G. Giuitzer 于 1928 年提出了悬臂梁假说。该假说认为，顶板岩层是一种连续介质，初垮以后，可以看作一端固定在工作煤壁前方煤体上的悬臂梁。正是这种岩梁随采场推进有规律的折断，才导致采场来压的现象。悬臂梁折断的步距可由连续介质力学的方法确定。

悬臂梁假说可以较好地解释工作面周期来压的现象，但没有考虑支承压力的预破坏顶板岩层的影响，因而对覆岩结构形态的描述不够全面。

1.2.3 预成裂隙假说

预成裂隙假说是比利时学者 A. 拉巴斯于 1947 年提出的。该假说认为，由于工作面前方支承压力的作用，使顶板岩体中形成了矿压裂隙，上覆岩层的连续性遭到破坏，从而形成非连续体。并且认为，在回采工作面周围存在着应力降低区、应力升高区和采动影响区。随着工作面的推进，三个区域同时相应地向前移动，如图 1-2 所示。图中 I 为应力降低区，II 为应力升高区，III 为采动影响区。

此外假说还认为，为有效地控制顶板，应保证支架具有足够的初撑力和工作阻力，并及时支撑住顶板岩层，使各岩层的岩块之间保持彼此挤紧状态。借助于彼此之间的高摩擦力，阻止它们之间的相对滑移、张裂与离层。

预成裂隙假说的贡献在于它揭示了煤层及临近采场的部分岩层在支承压力作用下超前破坏的可能性，正确地指出了其破坏的原因。但不能正确地解释采场上覆岩层的周期性破坏和来压规律。

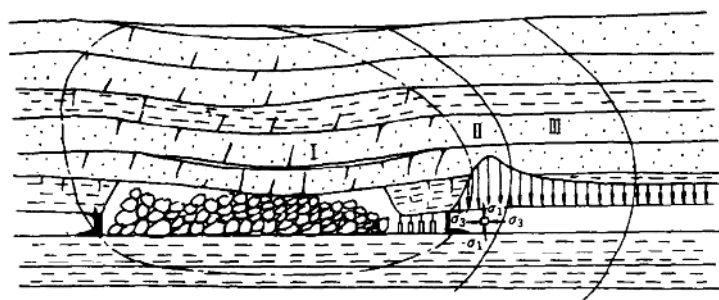


图 1-2 预成裂隙假说模型

1.2.4 铰接岩块假说

铰接岩块假说是由原苏联学者 T. H. 库兹涅佐夫于 1954 年提出的。假说中采用的工作面上覆岩层破坏模式如图 1-3 所示。

假说认为，若直接顶分层厚度 $h < m$ (m 为采高)，则在采空区形成冒落带。并且当满足 $(2 \sim 2.5) h < m$ 时，则成为不规则垮落带，即 M_1 区。

当采空区已冒落的矸石堆积有一定高度后，它与上部尚未垮落岩层之间的间隙为 m' ，如果 $h' < m'$ ，但 $m' < (2 \sim 2.5) h'$ ，则将形成规则冒落带，即 M_2 区。该范围的冒落岩块排列比较整齐，但相互间没有足够的水平力使其连为一个整体。



图 1-3 铰接岩块假说模型

在规则垮落带之上，形成的间隙将变得更小。若其上部的岩层分层厚度为 h'' ，且 $h'' > m''$ 时将形成裂隙带，即 M_L 区。此区域内的岩块之间由于互相的咬合，在运动过程中将彼此受到牵制。铰接岩块间的平衡关系为三铰拱式的平衡。

假说认为，针对上述两部分岩层的运动，采场支架有可能在“给定载荷”和“给定变形”两种条件下工作。并初步涉及到岩层内部的力学关系及其可能形成的“结构”。但对铰接岩块间的平衡条件未作进一步探讨，同时也未能更全面地揭示支架与这部分岩梁运动间的关系。

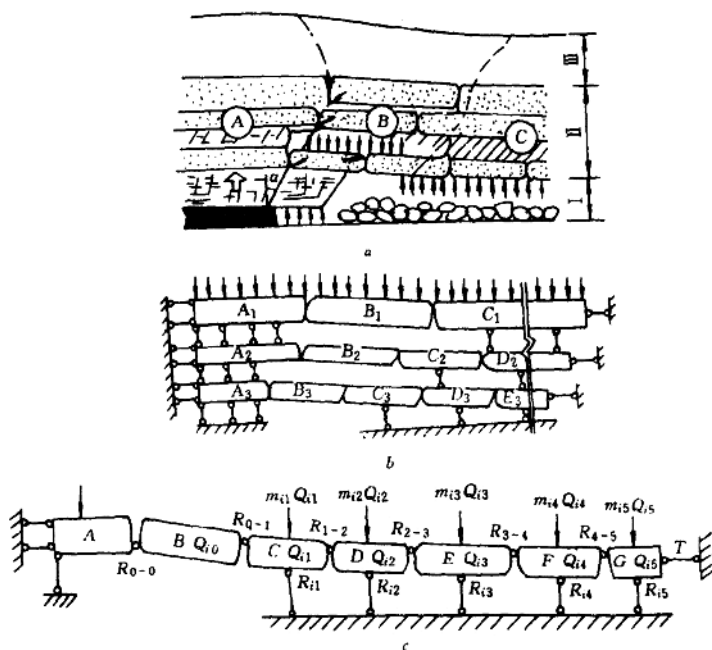


图 1-4 采场上覆岩层中的“砌体梁”力学模型
 a—开采后岩层动态图；b—开采后岩体砌体梁力学模型组；
 c—单一层砌体梁模型

1.2.5 砌体梁假说^[3]

我国学者钱鸣高院士于60年代初就开始研究断裂岩块间的力学关系，在总结铰接岩块假说和预成裂隙假说以及在大量生产实践及对岩层移动现场实测的基础上，于70年代末80年代初建立了采场裂隙带岩体的“砌体梁”结构模型，如图1-4所示。该假说认为采场上覆岩层的岩体结构主要是由每个坚硬岩层组成，每个分组中的软岩层则视为坚硬岩层上的载荷，在水平推力作用下，断裂后且排列整齐的坚硬岩块可形成铰接关系。此结构具有滑落和回转变形两种失稳形式，并给出了确定支架载荷的有效方法。

其后，钱鸣高院士与朱德仁教授、刘双跃博士所进行的视老顶为板结构及直接顶稳定性的研究，是对“砌体梁”假说的完善。经过近20年的不断发展，“砌体梁”假说已形成较为系统和完善的采场矿山压力理论。

1.2.6 传递岩梁假说^[4]

此假说是由我国学者宋振骥院士于80年代初提出，其结构力学模型如图1-5所示。该假说认为，老顶岩梁对支架的作用力取

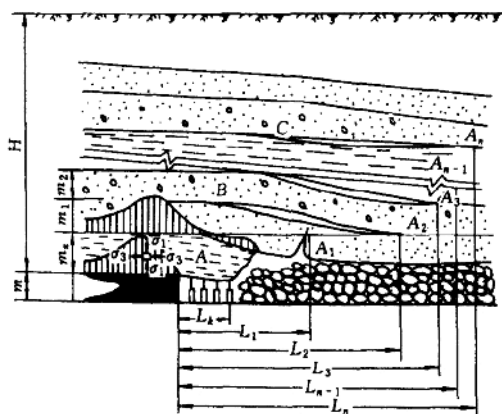


图 1-5 传递岩梁力学模型

决于支架对岩梁运动的抵抗程度,可能存在“给定变形”和“限定变形”两种工作方式,并给出支架—围岩关系的表达式,即位态方程。工作面煤壁前方的内、外应力场理论也是该假说的重要组成部分,即认为以老顶断裂线为界分为内、外两个应力场。此观点对确定合理巷道的位臵及采场顶板控制设计起到了积极的作用。

由以上可见,传统矿山压力理论都是视直接顶为刚体,并基于中厚煤层及分层开采条件下建立起来的,由此限制了其在综放开采新工艺条件下的适应性。这就要求我们针对综放开采的岩层活动及工艺特点,对传统矿山压力理论进行必要的补充和完善,以形成较为系统的理论和认识,从而有效地指导综放开采的实践。

1.3 综放采场围岩介质属性及控制特点

由于放顶煤开采的特殊性,采场支架直接支护的顶煤的介质属性处于不断变化之中,因而给采场围岩的控制带来了困难。针对不同的煤层顶板条件及顶煤介质属性的变化,采取相应的控制措施也是综放采场矿山压力研究的重要内容之一。

受采动影响前,宏观上可将原生煤岩体视为连续介质。由于煤层的采(放)出,将产生应力集中($k\gamma H$),当其超过煤体的强度极限时便发生强度破坏,即产生裂隙。同时由于直接顶冒落高度的增大,将促使顶煤向采空区整体滑移,使顶煤及直接顶中的裂隙进一步发育,这就使得综放采场顶煤及直接顶的完整性降低。

由此可见,顶煤从连续介质→块体介质→散体介质的转化过程是一个受采动影响后受力状态、覆岩运动、支架支撑等因素控制的渐进发展过程,顶煤最终能否从放煤口顺利放出,则取决于这一转化过程是否完成以及达到的程度和范围。

不同介质的顶煤对支架具有不同的载荷作用。为了有效地控制顶煤,综放支架的结构和力学性能应适应顶煤介质的改变及其载荷变化特征。当支架上方的顶煤处于块体状态时,支架应具有较大的工作阻力,以加强对后部顶煤的破碎作用;而当支架上方

的顶煤处于散体状态时，支架应具有较高的初撑力，以控制顶煤的早期下沉，维护顶煤的端面完整。

我国综放开采的实践表明，由于工艺方式的改变，采场覆岩活动规律发生了显著的变化。因此，在搞清上覆岩（煤）层结构特点及其平衡关系的基础上，建立起综放采场的矿山压力理论及其控制方法已成为迫切需要研究和解决的课题。

1.4 综放采场矿山压力的研究内容

考虑到综放开采工艺的特殊性，综放采场矿山压力控制主要包括以下几个方面的研究内容。

（1）采场上覆岩层活动规律及结构稳定性分析。综放开采时，直接顶的冒落高度、老顶结构形态以及岩层移动规律均发生了变化，而对这些问题的研究是矿山压力控制设计的依据，也是深入研究顶煤破碎机理的基础。

（2）综放采场的矿山压力显现及其控制。包括矿山压力显现的特点、机理、主要影响因素及其相应的控制方法。

（3）顶煤破碎机理。综放开采的主要特点之一就是增加了放顶煤工艺，而顶煤的放出效果及其回收率则取决于顶煤的破碎程度，因此对顶煤破碎机理的研究在综放采场矿山压力研究中具有尤其重要的地位。研究内容主要包括顶煤的自然破碎机理，即矿山压力以及支架的破煤作用机理。

（4）支架的载荷特征及其适应性。由于松软顶煤的不断放出，使支架顶梁及掩护梁的载荷均有明显的变化，结果使支架构件的受力增大，由此造成了支架的破坏。通过系统的研究，可对支架的适应性作出评价，由此作为综放支架设计的依据。

（5）综放开采覆岩结构力学模型的建立及其实际应用。在前述研究的基础上，建立起综放采场的岩层结构模型，并由此指导综放开采的矿山压力控制及支架选型和设计。

通过以上几个方面的研究，可形成综放采场矿山压力理论及其控制方法，其研究思路如图 1—6 所示。

