

# 煤矿岩层控制的研究重点与方向

宋振骥 蒋金泉

(山东矿业学院矿压研究所 泰安 271019)

**提要** 简要介绍煤矿开采中岩层控制问题的工程特点、研究重点及以岩层运动为中心的矿压理论与体系。从煤矿开采中岩层控制的现实状况和现代高新技术迅猛发展的实际出发, 提出应用高新技术研究煤矿岩层控制问题的主要发展方向。

**关键词** 煤矿岩层控制, 工程特点, 矿压理论, 高新技术, 发展方向

## 1 煤矿岩层控制研究的工程特点及简况

### 1.1 工程特点

煤矿开采的岩石力学问题重点是采掘空间围岩控制、地表沉陷控制及岩层运动与矿山压力所伴生灾害的控制。其工程特点是: 采场不断推进; 岩层运动状态不断变化; 围岩应力分布状态和大小不断改变; 结构力学模型不断发展变化; 地质条件和原岩应力状态复杂多变; 采场与回采巷道如同临时建筑。依据简单可靠易行的监控手段搞清多变的地质条件, 判断工程控制效果, 才能保证控制决策的科学性和针对性, 达到科学有效地控制围岩、提高开采效益的目的。我国煤矿地质条件复杂、构造运动伴生的复合应力场相当普遍, 特别是工程技术人员还难以完全适应采场不断推进的工程特点而正确决策, 因此必须在理论上进一步完善矿山压力理论、建立预测、控制设计和效果判断一体的科学决策体系, 在方法上依靠现代信息和工程控制理论及高新技术手段, 把主要依靠人工经验统计进行决策推进到能针对具体工程科学定量决策的新阶段, 把我国煤矿开采的岩层控制决策提高到国际领先水平。

### 1.2 研究简况

七十年代以来, 我国煤矿岩层控制领域不少成果处于国际领先水平。在采场矿压理论研究方面, 建立并逐步完善了以岩层运动为中心, 以预测预报、控制设计和控制效果判断三位一体的实用矿压理论体系; 岩层运动和矿山压力规律及其预测预报、顶板结构及支架—围岩关系、支护设计与支护质量监控等内容取得具有中国特色的系统性和创造性成果; 在手段上成功地研制和推广了一批近距离监测和远距离遥测仪器系统, 所建立的顶板预测预报和控制设计专家系统已经得到推广应用。在巷道矿压研究方面, 无煤柱护巷理论与技术、组合锚杆支护技术、巷道合理位置等问题的研究比较成熟, 但软岩巷道稳定性控制理论与技术、巷道支护设计的科学定量等难题仍然处于探索阶段; 在冲击地压、煤与瓦斯突

出、底板突水等研究方面,揭示了其发生的基本规律,但有关预测预报理论与技术、针对具体条件的科学定量和控制设计等方面仍处于探索中。以上成果为将矿压及有关灾害预测和控制推向科学化、现代化奠定了基础。对于地表沉陷控制方面,则在总结研究国内外成果的基础上,比较系统地揭示了覆岩变形及破坏的空间形态以及发展的基本规律,建立了地表沉陷的几种结构模型,并在实现智能化、形象化方面取得了突破性进展,从而比较实际地解决了采动造成的覆岩破坏范围及地表沉陷动态预计问题。通过对不同结构地层及地表建筑结构抗变形能力的分析,提出了沉陷控制的指标和准则,并进行了条带开采等特殊开采的研究和应用。但地表沉陷控制这一难题尚未取得重大突破,还须从岩层运动控制着手研究地表沉陷科学动态预测、控制设计和效果判断的三位一体计算机决策系统,把地表沉陷控制决策推进到科学定量的阶段。

煤矿岩层控制的研究方法是多样的、综合性的。理论分析、数值计算、相似模拟等方法得到普遍应用,形成适合地层特点的理论研究方法;井下监测方法和技术形成了从人工监测到自动遥测的不同层次的实用仪器仪表;计算机、专家系统等现代手段已经逐步应用于岩层控制领域。但研究深度应从定性向定量发展,理论研究应使本构关系符合岩体特性,监控方法应与预测预报、控制设计形成一个综合系统,岩层控制中的人工智能方法应向高水平发展。

采矿工程面对的地层条件复杂多变,围岩运动、矿山压力不断发展,发生灾变的条件随时可能遇到。一旦决策失误或措施不及时,将会导致重大事故。这些工程特点对控制决策提出的特殊要求是:动态地、及时和准确地把预测预报、控制决策、监控效果判断结合成一个整体。其中预测和控制效果判断是控制设计正确的前提。建立完善的预测和控制新理论、采用高新技术研究三位一体决策手段,是实现安全开采预测和决策的基础。

## 2 以岩层运动为中心的矿压理论与体系

### 2.1 目标

岩层运动和矿山压力控制的理论假说是采矿工程的决策基础。以岩层运动为中心的矿压理论假说是研究者在长期深入煤矿研究和实践基础上,针对工程特点建立并逐步完善起来的,成为我国一个具有重要影响的矿压学派。其目标是把我国矿压的理论研究从定性推向定量,利用现代高新技术把岩层运动和矿山压力控制推进到能针对具体煤层条件进行定量决策的发展阶段,为我国采矿工程学科理论的发展及煤矿安全生产作出贡献。

### 2.2 主要特色

(1) 针对采场不断推进的特点,明确指出矿山压力及其显现是变化的、是有规律的,变化的规律是由上覆岩层运动决定的。明确提出矿山压力研究要以岩层运动为中心,把揭示矿山压力及其显现与岩层运动的关系放在首位,在观点、概念、研究方法上自成体系。

(2) 该理论适应了煤矿采场的工程特点,创造性地建立了岩层运动和矿山压力的预测预报、控制设计、控制效果判断的学术体系。能把矿山压力控制从依靠统计经验推进到针对具体煤层特点定量的发展阶段。

(3) 创造性地建立了“井下岩层动态观测研究方法”，简单易行，能通过矿压显现信息推断矿山压力分布和顶板活动，较好地解决了矿山压力预测预报、控制效果判断等定量预测问题。

(4) 应用现代高技术实现监测预报、控制设计决策的智能化、科学化。

### 2.3 几项要点

围绕建立采场和回采巷道矿压控制定量设计的结构模型，确定其参数和控制原理，进行了系统的研究工作，主要内容和要点有：

2.3.1 明确了控制对象。提出了明显影响采场矿压显现的岩层范围(即控制设计需要考虑的范围)的概念，指出了该范围是有限的、可知的，可以随采动条件的变化而变化，也是可以控制的，并给出确定该范围的方法。

2.3.2 系统研究了采场围岩运动与矿山压力分布的基本规律和变化规律。

2.3.3 揭示了矿山压力分布及其显现与岩层运动间的关系，形成了内、外应力区的学说。为利用矿压显现实现对岩层运动和矿山压力分布的预测预报及建立控制设计的结构模型提供了理论基础。基本要点如下：

图 1 采场覆岩运动与压力分布

Fig 1 Movement of overburden rock and the stress distribution in stope

(1) 采场上覆岩层运动对采场矿山压力分布及其显现有明显影响的岩层范围是有限的。这部分岩层一般由直接顶(即图 1 中的 A 所示)及老顶(即图 1 中 B 所示)组成。直接顶岩层在采空区已冒落，不能始终保持向煤壁前方和采空区矸石上传递作用力的联系。老顶则是由明显影响采场矿岩显现的传递岩梁(岩板)组成，其上部岩层对采场矿压显现的影响只有通过老顶的运动才能体现出来。

(2) 在足够的采深条件下，老顶断裂后周围煤体上的支承压力分为两个部分(如图 1 所示)。其中由  $S_1$  所标定的区间称为内应力区。此区的支承压力来源于老顶运动的作用力，其分布及变化特征由老顶重量及运动发展状况决定。图 1 中  $S_2$  所标定的区间称为外应力区，此区的支承压力来源于上覆岩层的总体，其大小和分布特征取决于开采深度和岩层悬空所形成的集中载荷、岩层强度和边界约束条件等因素。内外应力区的形成是由于起着载荷传递作用的老顶结构状态发生明显变化所致。

(3) 随采场推进和老顶运动的发展, 内外应力区的范围、应力分布特征及大小始终是处在不断的、有规律的变化之中。老顶断裂来压时, 两个应力区应力变化的主要特征是: 内应力区应力随采场推进和老顶的回转向煤壁方向集中、收缩, 外应力区应力分布的范围及高峰位置向煤壁前方扩展。这个变化一直到老顶运动结束为止。该期间推进方向及两侧变化的规律分别如图 2 所示。

(a) 推进方向 (b) 采场两侧

图 2 两个应力场的压力变化过程

Fig 2 Stress changing process in the two stress fields

(4) 内、外应力区应力变化有明显的周期性。推进方向的周期性规律与老顶各岩梁(岩板)断裂运动的周期性相吻合。两侧支承压力分布变化的周期数及每一周期变化的发展过程, 分别与老顶的岩梁(或岩板)数目及相应的断裂和沉降相对应。

2.3.4 建立采场和回采巷道的结构力学模型。结构力学模型是岩层控制的基础, 受采深、采高、煤及直接顶底板强度以及岩层悬露范围等因素影响, 采场老顶断裂来压时的结构力学模型, 可以归纳为以下两种基本形式:

(a) 无内应力区模型 (b) 有内应力区模型

图 3 采场顶板结构模型

Fig 3 Structure model of the roof above working face

(1) 无内应力区分布的模型, 如图 3(a) 所示。该模型一般出现在开采深度较小(250~300m 以内)、采高不大、煤及顶底板比较坚硬以及采后悬露的岩层范围不大的条件下。

(2) 有内应力区分布的模型, 如图 3(b) 所示。当煤层强度不特别大( $f < 3 \sim 4$ ), 该模

型一般在开采深度超过 300m~400m 时即可出现。采场推进过程中，老顶断裂破坏的基本形式如图 4 所示的 O-X 型。在推进方向及两侧，支承压力的发展是同步的，其分布特征及有关参数将基本相近。发展规律如图 5 所示。

由此，对于存在内应力区的采场，可依据老顶来压结束时的状态建立巷道矿压控制结构力学模型。在模型的顶板运动参数已知时，便可确定巷道开掘的合理位置和时间，预计受采动影响的围岩变形量<sup>[1]</sup>。巷道合理位置是在内应力区中沿空或留小煤柱送巷。送巷的合理时间是在老顶运动(即内应力区)稳定后。老顶在倾斜方向不能形成类似推进方向的三铰拱结构，而且要经历整个覆岩沉降运动的作用。沿空留巷时，支架应适应老顶沉降至最终稳定状态。留巷和送巷的支护不可能对老顶运动的最终位态加以限制。

图 4 老顶断裂的基本形式

Fig 4 The basic break manner of main roof

图 5 采场周围支承压力分布

Fig 5 The distribution of abutment stress around working face

2.3.5 建立了岩层运动和矿山压力分布的预测方法和监测预报方法。为实现控制设计的定量化，建立了岩层运动参数和矿压分布特征参数的定量预测方法；根据岩层运动和矿山压力与矿压显现之间的因果关系，建立了井下岩层动态研究方法，实现了通过监测易捕捉的矿压显现信息预报未知的岩层运动和矿山压力规律、特征及参数。可以从预测和监测预报两个方面确定采场和巷道结构力学模型的参数，为控制设计提供决策依据。

2.3.6 在研究老顶运动全过程的基础上，揭示了采场支架-围岩关系，正确提出支架可以在“给定变形”和“限定变形”两种状态下工作，建立了岩梁位态方程及其实测确定方法，为顶板控制及效果判断提供了基础。在上百起顶板事故分析及三十多个采场顶板控制实践的基础上，给出了顶板控制设计的安全、经济准则。

2.3.7 研究了支架井下实际工作状况，提出支架有效支撑能力的概念及计算方法，形成了控制效果和支护质量判断的科学标准与方法。以多发性顶板事故控制实践和分析为基础，研究了煤矿顶板事故的分类以及各类事故的原因和条件，提出针对具体煤层条件进行顶板控制设计的具体内容、方法和步骤<sup>[1]</sup>。

2.3.8 理论与实践相结合，应用理论成果开展煤矿岩层运动和矿山压力预测、监测预报

和控制设计, 取得了极其丰富的实践成果, 验证和完善了理论体系。

2.3.9 应用计算机和人工智能, 开发和推广了顶板监测预报专家系统、顶板控制设计专家系统, 为实现煤矿开采的科学定量决策走出了可喜的一步。

### 3 煤矿岩层控制研究的主要方向

总目标是开展煤矿开采决策的关键技术的基础研究, 推进煤矿岩层控制理论、方法和技术的发展, 建立预测预报、控制设计决策、控制效果监测和判断一体化的计算机决策系统, 把当前煤矿主要依靠经验统计决策推进到能针对具体煤层条件科学定量的发展阶段, 具体研究内容包括:

#### 3.1 采场顶板控制理论与技术及控制决策计算机工作系统关键技术的基础研究

其中放在首要地位的是采场周围支承压力的形式、范围随采场推进发展变化及显现的规律、关键影响因素及相应力学基础的研究, 相应理论推演和现场判定方法的基础研究等。

#### 3.2 巷道围岩控制理论、方法和技术及控制决策系统关键技术的基础研究

其中放在首要位置的是在不同原始应力场条件下巷道围岩变形破坏及显现与围岩应力相互关系的力学基础研究, 在采场推进的动态应力场中开掘和维护的巷道围岩变形、破坏和显现特征与应力重新分布、应力相互作用的力学基础研究。

#### 3.3 与矿山压力和岩层运动有关的重大事故控制理论、技术及决策系统关键技术的基础研究

可能涉及矿井人员生命安全的重大瓦斯爆炸事故、一次可能推垮几十米巷道的煤与瓦斯突出、冲击地压、顶板大面积塌垮事故、淹没矿井的水灾以及造成窒息的火灾等重大事故仍然是目前煤矿的最大威胁。研究具体内容包括:

- (1) 发展顶板事故预测和控制理论与技术及计算机决策系统的基础研究;
- (2) 发展水体下和承压水上安全开采的突水预测和控制理论、技术及决策系统的基础研究;
- (3) 发展冲击地压预测和控制的理论与技术及计算机决策系统的基础研究;
- (4) 发展煤与瓦斯突出预测和控制理论与技术及计算机决策系统的基础研究;
- (5) 发展瓦斯抽放理论与技术及计算机决策系统的基础研究。

从根本上解决煤与瓦斯突出的防治问题还需从两方面入手: 一是高效率的瓦斯抽放, 最大限度地减少采掘前的瓦斯含量; 二是突出机理的深入研究, 并研制和采用高新技术的监测手段, 解决突出的预测、控制决策的问题。关键是克服突出机理、灾变条件、预测方法及控制的研究与矿山压力和岩层运动脱节的现象。深入研究采场和巷道在不同应力场中瓦斯运移规律、低速涌出和突出与矿压和岩层运动的关系; 深入研究不同开采程序的岩层运动和应力场变化对瓦斯运移及解危措施的重大影响。在此基础上, 研制突出预测和控制决

策的计算机决策系统, 从而推进到科学化、现代化的新水平。

上述研究中放在首位的是: 矿山压力作用下煤岩、水、瓦斯等多相介质相互作用与组合的运移规律、显现规律、监测新技术, 以及建立各种灾变力学模型、灾变极限条件的基础研究等。

### 3.4 发展开采沉陷控制理论、技术及决策系统的基础研究

其中, 大面积开采岩层破坏和组合沉降规律的研究, 通过钻孔充填立柱控制“支托岩层”, 达到抑制沉陷的理论和关键技术的研究应放在首位。控制开采沉陷对人类生存环境的破坏是煤矿开采面临的世界性难题。我国华北、华东、东北等平原的不少矿区, 因开采沉陷而出现地表一片汪洋, 上万顷农田遭到破坏, 建筑物、铁道、桥梁损坏。而我国不少煤矿村庄搬迁费用已到了无法承受的地步。全国现有煤矿村庄下压煤已超过亿吨。因此必须建立以控制井下岩层运动为主体的沉陷控制理论与技术, 取得沉陷控制的突破。

### 3.5 深部矿井开采的岩层控制理论与技术的基础研究

我国煤矿开采深度一般已经达到 300m~600m, 不少矿井达到了 700m~800m。随着煤炭开采向深部发展, 高应力状态下的岩层控制问题将更为突出。深部开采的巷道围岩变形力学机制与控制理论、采场岩层运动与结构及控制理论、围岩应力状态控制、高应力下的冲击、突出等动力现象的控制等关键基础课题的研究工作, 将是煤矿岩层控制研究的重要发展方向之一。

## 参 考 文 献

- 1 宋振骥等著: 实用矿山压力控制 徐州: 中国矿业大学出版社, 1988
- 2 蒋金泉著: 采场围岩应力与运动 北京: 煤炭工业出版社, 1993

# THE CURRENT RESEARCH SITUATION AND DEVELOPING ORIENTATION OF STRATA CONTROL IN COAL MINE

Song Zhenqi      Jiang Jinqun

(Strata Control Centre, S. I. M. T., Tai an 271019)

**Abstract** The engineering characteristics, the current research situation of strata control in coal mine, and the ground pressure theory and system with strata movement as central idea are introduced briefly. Based on the current situation of strata control and advanced new technology which develops rapidly, the main developing orientation of studying strata control problems is put forward

**Key words** strata control in coal mines, engineering characteristics, strata control theory, advanced new technology, developing orientation