



采煤工作面 顶板控制设计及其专家系统

● 姜福兴 著

煤炭工业出版社

采煤工作面顶板控制设计 及其专家系统

姜福兴 著

煤炭工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

采煤工作面顶板控制设计及其专家系统/姜福兴著. -- 北京:
煤炭工业出版社, 2010

ISBN 978-7-5020-3711-6

I. ①采… II. ①姜… III. ①回采工作面-顶板-控制程序-设计 IV. ①TD82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 142777 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 850mm × 1168mm¹/₃₂ 印张 10¹/₄ 插页 1
字数 257 千字 印数 1—4,000
2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷
社内编号 6521 定价 28.00 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

煤炭是我国的主要能源，在国民经济和社会发展中具有重要的战略地位，我国以煤为主的能源结构在长时期内不会改变。党中央、国务院一直对煤炭工业非常重视，胡锦涛总书记、温家宝总理对煤矿的安全生产非常关心，曾多次做过重要批示。据专家预测，到2020年，我国国民经济对煤炭的需求将达到36亿吨。国家《能源中长期发展规划纲要（2004—2020年）》中，明确提出了“坚持以煤炭为主体、电力为中心、油气和新能源全面发展的能源战略”。近年来，我国煤矿生产技术水平显著提高，有些大型现代化矿井已经达到了世界先进水平，全国煤矿安全生产形势逐年向好，但是大多数煤矿仍然是粗放型管理，特别是在煤矿安全方面，与发达国家相比，仍有不小的差距。因此，加强煤矿安全生产技术理论的研究，对于提高煤矿安全技术水平，减少煤矿事故，保证煤矿长期、稳定、可持续发展具有重要意义。

煤矿安全问题已经成为我国煤炭工业发展的主要矛盾，煤矿事故在社会上造成了不好的影响。煤矿顶板事故是煤矿的多发事故，顶板控制设计是控制事故最基础、最重要的环节。从对全国煤矿顶板事故的分析来看，科学合理地进行煤矿顶板控制设计，改善采煤工作面顶板控制和支护技术管理，是减少煤矿顶板事故，做到防患于未然的有效方法。

我国煤炭资源分布范围广，煤炭赋存条件复杂，增加了煤矿顶板控制设计理论和方法研究的难度。现场工程技术人员在进行支护设计时，一般都按照传统的技术模式进行。这是导致采煤工作面支护不合理从而诱发重大恶性事故的重要原因。北京科技大学姜福兴教授在对全国各类煤矿调研的基础上，根据不同的地质

条件和采煤方法，综合分析了全国各类煤矿不同地质条件下的顶板技术管理模式，对煤矿采煤工作面的顶板控制设计进行了系统的创新性研究，并通过在全国各类典型矿区的试验，提出了顶板控制设计的新理论、新方法，利用先进的计算机管理手段，与山东精诚电子科技有限公司合作研究开发了“采煤工作面顶板控制设计专家系统”软件，使得采煤工作面的顶板控制设计更加科学合理，更加规范，更加快捷方便。

《采煤工作面顶板控制设计及其专家系统》汇集了我国关于顶板控制设计方面的最新研究成果，系统介绍了采场上覆岩层的运动规律和各种条件下的采场支护设计的最新理论方法，内容丰富，有很好的实用价值。书中介绍的理论成果和配套软件通过全国 100 多个局矿的推广应用，取得了很好的社会效益和经济效益。

希望通过本书的出版发行，能够为改进我国采煤工作面的技术管理、减少煤矿顶板事故、提高煤矿的安全技术水平作出新的贡献。

王广德

2010 年 8 月

前 言

2002—2009 年，我国煤矿顶板事故的总体状况是：顶板事故起数从 2032 起下降到 805 起，但占总事故起数的比重由 46.78% 增加到 49.8%；顶板事故死亡人数从 2427 人下降到 939 人，但占总死亡人数的比重由 34.7% 增加到 35.7%。这说明顶板事故总体状况出现明显好转，但在煤矿事故总量中的比重有增加的趋势，“总量下降、比重仍高”的局面没有根本改变，顶板事故控制仍然任重道远。

通过分析顶板事故的原因，发现有接近一半的事故是由于顶板控制设计不合理造成的，即在编制作业规程时，顶板控制设计主要依靠经验和统计决策，没有针对具体的顶板和开采条件进行针对性的支护设计。

本书在理论上提出了上覆岩层运动规律和顶板结构形式的推断方法，并采用专家系统原理，基于 VB 和数据库的软件平台，研制了“采煤工作面顶板控制设计专家系统”软件，实现了针对具体顶板和开采条件进行针对性的支护设计。该软件的较早版本在 1990—1998 年期间，被中国统配煤矿总公司列为国有重点煤矿质量标准化标准之一，在全国进行了推广应用。使用单位不仅大幅度减少了顶板事故，而且取得了良好的经济效益。近年来，该系统增加了矿山压力和顶板控制的新理论、新技术和新装备，扩展到了综采和综放工作面的顶板控制设计，采用先进的软件平台，使软件的可视化程度更高，使用更加方便。

本书分为采煤工作面顶板控制设计理论研究和采煤工作面顶板控制设计专家系统两大部分，共十一章。为便于使用，全书章节按顶板控制设计的内容和步骤编排，第一部分介绍了采场上覆

岩层的运动规律及其定量推断，以及不同条件下采场支护设计的理论方法；第二部分重点介绍了专家系统的安装方法、使用说明及现场应用情况。本书既可以作为全国煤矿企业工程技术人员的实用工具书，也可以作为大专院校采煤专业的辅助教材。

随着顶板控制理论和技术的进步，本书的内容需要不断地充实和完善，在这里真诚地希望专家和同行能够提出宝贵意见，使“采煤工作面顶板控制设计专家系统”能够吸收更多的专家知识和最新科技成果，更好地为煤矿安全生产服务。

借此机会，对给本书提供指导帮助的各位专家表示感谢！

著 者

2010 年 8 月

目 次

绪论.....	1
---------	---

第一部分 采煤工作面顶板控制 设计理论研究

第一章 采场上覆岩层运动规律及其定量推断	11
第一节 上覆岩层运动规律概述	11
第二节 顶板的结构形式	21
第三节 基本顶 3 种基本结构的论证	27
第四节 岩层稳定性的影响因素及其表征方法	44
第五节 需控岩层运动参数的定量推断	60
第二章 采场“支架-围岩”关系(支护强度)的确定	114
第一节 支护强度的研究现状	114
第二节 支架-围岩的一般关系	116
第三节 支护强度的定量计算	121
第三章 单体支柱工作面的支护设计	127
第一节 关于顶板处理方法的选择	127
第二节 合理支护方式选择	133
第三节 采场控顶距的选择	144
第四节 支柱实际支撑能力评价	149
第五节 底板控制	154
第六节 合理的支护密度计算	160
第七节 事故预测和防治	165
第八节 特种顶板的控制设计	167
第四章 综采支架工作面的支护设计	188

第一节	综采液压支架及实际支撑能力·····	188
第二节	合理工作阻力确定的方法·····	194
第三节	综采工作面支架选型·····	199
第五章	综采放顶煤工作面的矿压控制及支护设计·····	211
第一节	放顶煤开采技术简介·····	211
第二节	顶煤冒放性·····	216
第三节	放顶煤采场顶板结构形式及支架-围岩 关系·····	218
第四节	综放工作面的支护设计·····	224

第二部分 采煤工作面顶板控制 设计专家系统 (ROOF)

第六章	ROOF 系统概述 ·····	233
第七章	ROOF 系统安装 ·····	237
第八章	单体版操作说明·····	253
第一节	单体版咨询概述·····	253
第二节	需要准备的资料·····	253
第三节	模块说明·····	254
第九章	综采版操作说明·····	269
第一节	综采版咨询概述·····	269
第二节	需要准备的资料·····	269
第三节	模块说明·····	270
第十章	综放版操作说明·····	283
第一节	综放版咨询概述·····	283
第二节	需要准备的资料·····	283
第三节	模块说明·····	284
第十一章	ROOF 系统现场应用 ·····	294
参考文献	·····	315

绪 论

一、顶板控制设计现状

采煤工作面开采前，首先必须编制作业规程。顶板控制设计是作业规程的重点内容（现场也称支护设计）。对支护设计总的要求是：安全可靠、技术先进和经济合理。

要做到这一点，第一步要根据地质部门提供的煤层地质资料，定量地预计出顶板的运动规律，在此基础上进行支架 - 围岩关系的选择，最后根据所选的支护装备，进行具体支护方式和支护参数的确定。通过这种程序进行的支护设计，才能符合所给采场的具体条件。

因此，顶板控制设计的主要任务之一，是研究顶板运动规律的定量推理方法；任务之二是研究定量的支架 - 围岩关系；任务之三是针对具体的采场条件，运用理论方法并结合专家知识和成功的顶板控制经验，作出针对性的控制设计。

根据我国 20 世纪 90 年代初的统计，顶板死亡事故仍占煤矿总死亡事故的 44%，地方煤矿比例更高。事故分析的结果表明，很多事故是由不合理的支护设计造成的。

近年来，我国支护设计理论和支护工作有了长足发展，取得了可喜的成绩，但调查结果表明，仍存在以下几方面的问题：

（1）顶板赋存条件的复杂性使得顶板控制设计理论的系统性和定量性差，有些知识存在于个别专家的头脑中，很难用常规的方法将这些知识表达出来，致使现场工程技术人员难以掌握和应用。

（2）凭经验决策。具体表现为：行政决策、按老传统决策、

按统计法决策, 有时甚至决策者本人也难以解释为何选择这种支护方式和参数。

(3) 在一个矿甚至一个矿务局内, 巷道支护密度存在不同支柱同密度、不同煤层同密度的现象。

(4) 基本支护密度一般在 $1.67 \sim 2.5$ 根/ m^2 , 有的矿务局达 3 根/ m^2 , 发生顶板事故后, 往往认为支护密度不够, 致使支护密度越来越大。

(5) 特种支架的选择与顶板的具体条件不符。

(6) 松软底板工作面“控顶必先控底”的观点没有很好地建立起来。

(7) 支柱效能得不到充分发挥。实测单体液压支柱平均工作阻力每根只有 100kN 左右, 只比额定初撑力稍高一点。原因主要是: 支护密度偏大、支柱钻底、管路泄漏、泵站压力小或支柱失修等。

(8) 控顶距选择不当。有的采场破碎顶板的有效控顶距只有 $1 \sim 2\text{m}$, 采空区一冲矸, 就把采场堵住了; 也有的矿强调正规循环, 在大块游离岩块下按正常控顶距回柱, 结果造成恶性顶板事故。

(9) 支护装备检修、监测工作跟不上, 特别是液压支柱的调定压力、密封性能达不到规定的要求。

(10) 对支架与顶板实际的作用关系不清, 即对支护空间的安全可靠性不清楚, 不能及时发现事故隐患。

在顶板控制设计理论方面, 我国煤矿大都倾向于岩重法和顶板分类法。有些矿区也尝试过统计法、动载系数法及顶底板移近量法, 但使用得不多。最常用的岩重法, 可用下列通式表示:

$$p = \alpha H \gamma$$

式中 p ——支护强度, kN/m^2 ;

H ——采高, m ;

γ ——重力密度, kN/m^3 ;

α ——需支护厚度与采高的比值，各国的取法不同：中国取 4.5~10，日本取 5，印度取 5，波兰取 6~8，德国取 12，美国取 16。系数的取值有时也随顶板状况的好坏而变化。

我国试行的顶板分类方案，为各级各类顶板提供了一个参考的支护强度表。矿井技术人员只要做完了顶板分类工作，就可根据该表进行支护强度的选择，它比岩重法更有针对性，在定量化方面迈出了一步，但它与岩重法一样，仍属于统计决策的范畴。

“以上覆岩层运动为中心”的矿压理论和“砌体梁”理论，从分析顶板运动规律入手，提出了支护设计的力学模型及解算方法，奠定了顶板控制设计的理论基础，本书的部分内容是建立在这些基础之上的。由于顶板控制设计要面对各种复杂的采场顶板条件，因此要建立一套诊断顶板结构类型及各种顶板类型下如何进行设计的方法，即要进行支护设计理论和方法的系统化和定量化工作。本书将反映这些工作的进展和取得的成果。

二、科学顶板控制体系与顶板控制设计的关系

1. 科学顶板控制体系的组成

顶板控制工程是一个完整的科学体系，它由目标、技术、装备和控制 4 个主系统组成（图 1）。各个主系统又由若干个子系统支撑（图 2）。

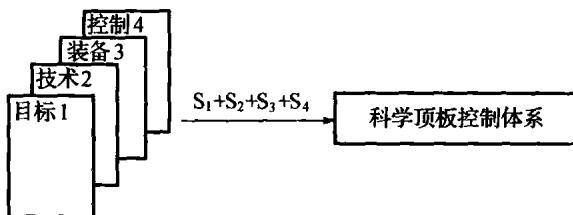


图 1 科学顶板控制体系的组成

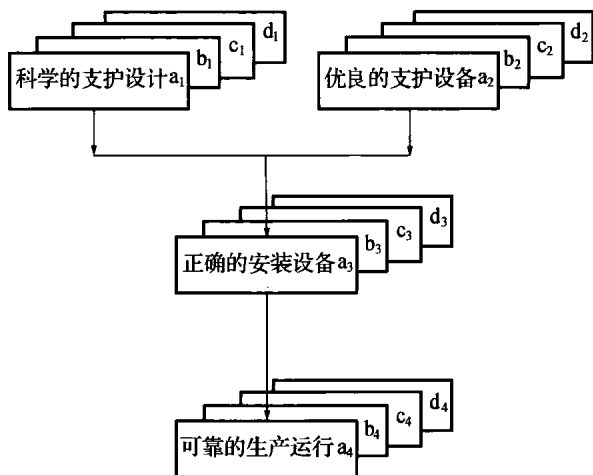


图2 各主系统的关系

目标系统的内容是科学顶板控制要求达到的目标，它包括科学的支护设计 a_1 、优良的支护装备 a_2 、正确的设备安装 a_3 及可靠的生产运行 a_4 。

技术系统是目标系统得以实现的技术保证，它包括4个子系统： b_1 ，支护设计专家系统； b_2 ，支护装备检修、试压、储存的技术系统； b_3 ，支护装备安装、调试的技术规程； b_4 ，支护质量与顶板动态监测系统。

装备系统是目标系统得以实现的“硬件”或工具，它包括4个子系统（与技术系统中的子系统相对应）：

c_1 ，计算机及外围设备； c_2 ，检修、试压设备（如整形机、校直机、液压试验机、低压密封质量检测系统等）； c_3 ，泵站、液压系统、支架、注液枪、回柱设备等； c_4 ，支护系统与顶板状况监测设备（测压仪、动态仪及其他仪器仪表）。

控制系统是技术、装备系统的结合，是目标系统得以实现的

指挥系统或保证系统。它包括技术 d_1 、人事 d_2 、资金 d_3 、行政管理 d_4 等几个与目标相对应的子系统（图 3）。

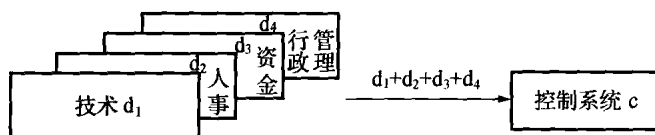


图 3 控制系统的组成

由此可见，顶板控制设计是最基本的技术子系统，它决定着设备选型、支护质量监测方法及控制系统的部分内容。

2. 顶板控制设计的步骤和内容

科学的顶板控制设计应该在分析具体采场煤层地质条件的基础上，预计出顶板的运动规律，确定出合理的支架 - 围岩关系，进而进行控制设计。其详细步骤和内容如图 4 所示。以往研究顶板运动规律及支架 - 围岩关系时，大都采用经典力学方法，研究成果在应用中存在以下几方面的不足：

(1) 在现场某些参数难以获取（如弹性模量、断裂角、摩擦因数等），应用时参数选取主要凭经验，因此，计算结果带有明显的主观性。

(2) 对基本顶的“拱”和“梁”之间的结构研究不够。

(3) 没有提出针对具体煤层地质条件判断顶板的结构形式和运动参数的系统方法。

由此可见，岩层稳定性的定量描述方法、需控岩层运动参数的推理方法以及定量支架 - 围岩关系的表达方法，成为研究定量顶板控制设计专家系统的重点和难点。在专家系统中，采用模糊数学、回归公式等方法表达了专家知识和成功的经验，用树型推理网络表达人类专家运用理论知识和实践知识进行控制设计的思维过程，较好地解决了难题。

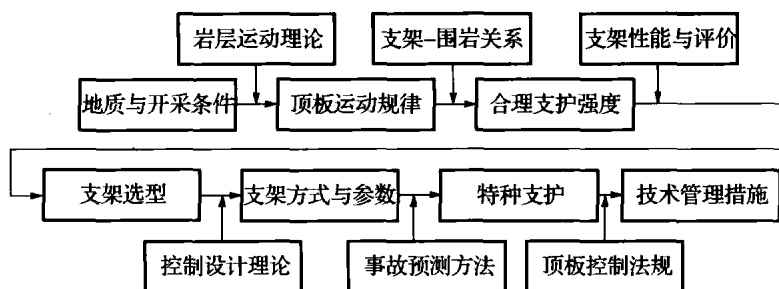


图4 顶板控制设计的步骤和内容

三、顶板控制设计专家系统

在我国，矿压研究方兴未艾，取得了丰硕的成果，顶板控制设计的基本框架已经形成，然而，由于顶板条件赋存的复杂性，使很多有用的经验和知识难以用精确的语言表达出来，有些仅存在于专家的头脑中，诸多成功的经验也以分散的形式存在着，难以集中起来成为系统的知识为现场服务。因此，要大面积解决顶板控制设计问题，就需要培养大批具有丰富实践经验和较高理论水平的专家，这在短时间内显然是难以做到的。然而，研制包容大量理论、实践成果和专家知识的顶板控制设计专家系统，借助于计算机近乎无穷的知识记忆能力和无限的知识扩散能力，以专家系统代替专家进行工作，则是完全可以办到的。

通过10多年时间的研究和实践，目前已成功地研制和应用了该专家系统，并在全国得到了推广应用，取得了良好的社会效益和经济效益。使用本专家系统前，只要准备好煤层上6~8倍采高范围内的柱状图和工作面的生产技术条件，启动专家系统，采用问答式的输入方式输入这些条件，计算机便可在屏幕上或打印机上输出专家的结果。它包括：输入的条件、直接顶和基本顶的运动规律、合理的支护强度、底板控制参数、基本支护和特种

支护方式、护顶方式、控顶距、支护密度、支护效果预测、容易发生的事故类型及防治措施、顶板控制的注意事项及一般原则等。对特别坚硬的顶板及假顶下开采等较特殊的采场，专家系统还将输出专家知识及现场的有关成功经验。

可以预计，随着专家系统的推广應用和日益完善，它将在我国顶板控制领域发挥越来越重要的作用，取得巨大的社会效益和经济效益。目前的专家系统适用于走向长壁、急倾斜正台阶和放顶煤3种采煤方法，可以用于单体支柱工作面支护设计和综采、综放工作面的支架选型与合理性评价。

