

采场顶板控制设计及其专家系统

姜福兴 著

中国矿业大学出版社



(苏)新登字第 010 号

内容提要

本书主要介绍采场顶板控制设计的理论和方法,书中论及的内容已在全国 20 多个矿务局得到了验证,其突出的特点是内容的实用性和系统性。全书包括上覆岩层运动规律及其定量推断、定量的支架围岩关系、支护设计及专家系统四个部分。本书是作者多年来理论与实践工作的总结,书中的主要内容均已在学术刊物上公开发表,并在现场得到广泛应用。

本书可作为高等学校采矿工程专业的教学参考书,对现场采矿工程技术人员,也有重要的参考价值。

采场顶板控制设计及其专家系统

姜锡兴 著

责任编辑:姜志友

国矿业大学出版社出版发行

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 9.25 字数 235 千字

1995 年 3 月第一版 1995 年 3 月第一次印刷

印数 1~1 000 册

ISBN 7-81040-352-4

TD·30

定价:12.50 元

序

我国采场顶板控制设计的理论经历近 20 年现场顶板活动和矿压显现规律的广泛深入研究和数以百起顶板事故的分析以及有效控制的实践,到目前为止已发展到比较完整的理论体系的实用阶段,要使这些理论和成功的经验为广大现场工程技术人员所掌握和应用,必须有将某些定性理论定量化能力的“桥梁”性知识和易于应用的手段。姜福兴博士在前人的研究基础上,通过多年坚持不懈的努力,在解决“层状节裂岩体质量表达方法及其应用”、“老顶的基本结构形式”、“需控岩层运动规律的定量推断”、“支架载荷的动力学分析”等难题的基础上,经近百个采场的调研和上百起顶板事故的研究分析,结合大量成功控制实践的经验,研制了“采场顶板控制设计专家系统”,经全国 20 多个矿务局应用,已取得了有效控制顶板的成果和经济社会效益。因此,被煤炭部列为“国有重点煤矿生产矿井质量标准化标准”在全国推广使

用。

姜福兴博士所著的《采场顶板控制设计及其专家系统》一书，继承了前人特别是山东矿业学院矿压研究所研究成果的同时，在预计岩层运动规律和支护设计方面又有了新的突破，在所编制的相应计算机软件把顶板控制设计推进到依靠高技术手段的发展新阶段，相信该书配合专家系统软件在现场推广后，将把采场顶板控制设计推到一个更新的高度，以此为起点，我希望看到更多的煤矿高科技产品问世，为把我国煤矿安全开采推进到依靠高新技术取得信息和决策的新阶段做出贡献。

宋振骥

一九九五年元月二十五日

前言

煤矿采场顶板赋存条件的复杂性,使得传统的顶板控制设计理论和方法难以用一套标准的程式予以概括。现场工程技术人员在进行支护设计时,一般都凭经验或传统进行,很多支护方案没有针对具体采场条件,致使采场支护材料大量浪费,工人劳动强度增大,作业环境恶劣,甚至发生恶性的顶板事故。

撰写本书的目的在于介绍一种系统化、定量化的顶板控制设计方法和计算机程序,该程序通过全国 20 多个矿务局的推广应用,均取得了良好的经济效益和社会效益,从而证明了程序中所用的方法和提出的理论是符合实际的。撰写本书的另一个目的,是想通过有关理论和方法的论述,剖析“采场顶板控制设计专家系统”。这样,一方面本书可作为该系统操作使用时的参考资料,另一方面也为向同仁学习、交流提供书面依据。希望本书出版后,能得到专家和同行们的宝贵意见,使“采场顶板控制设计专家系统”能吸收更多的专家知识和最新科技成果,为煤矿采场的科学化支护设计做出贡献。

全书的章节按顶板控制设计的内容和步骤编排,最后一部分重点介绍专家系统的软硬件环境和操作使用方法等。

各章首先介绍所用到的有关理论,然后介绍它们在专家系统中的实现方法。

全书大致分为四个部分:第一部分(第一章)论述了上覆岩层运动的规律及其定量的推断方法;第二部分(第二章)介

绍定量的支架围岩关系;第三部分(第三章至第九章)介绍如何进行支护设计的步骤和详细内容;第四部分(第十章)介绍专家系统的操作使用方法和程序清单。

本书为使内容成一完整体系,引用了一些同行及专家的研究成果,在此表示衷心的感谢!

在专家系统的研制过程中,山东矿业学院矿压研究所宋振骥院士、宋扬教授、刘义学教授给予了热情指导;矿压研究所的其他老师给了我无私的帮助和支持;杨永杰、石永奎、徐恩虎、尹增德等同志在推广过程中做了大量工作。原中煤总公司生产局陈炎光局长、尹士奎处长对此项目自始至终给以资金和其它方面的支持,在研制和推广过程中,徐州矿务局周廷振、沈培久、白沙矿务局赵和松、焦作矿务局郑强生、赵广林、郭建周、新汶矿务局协庄矿总工办、技术科、开滦矿务局生产处李争、淄博矿务局生产处牛砚田、枣庄矿务局柴里矿赵曰来、靖远矿务局李应瑜、淄博矿务局计划处王东明、攀枝花矿务局生产处李铁军、山东省煤管局生产处杨瑞楚、赵日峰、肥城矿务局杨庄矿生产科曹升华、张承祥、郭铭礼、泰安市崖头煤矿技术科、石炭井矿务局生产处何佐德、大同矿务局生产处刘民、刘志刚等同志(恕不一一列举),付出了辛勤的劳动,没有他们的合作,ROOF系统的完成是不可能的。

在本书的成稿过程中,矿压所杨永杰和他的夫人给了我很大的帮助,制作了大量图表,在此表示衷心感谢!

由于本人才疏学浅,不当之处,敬请批评指正。

作 者

1994年春天

目 录

前言.....	(1)
绪论.....	(1)
第一章 上覆岩层运动规律的定量推断.....	(9)
第一节 上覆岩层运动规律研究的已有成果概述	(10)
第二节 岩层稳定性的影响因素及其表征方法 ...	(21)
第三节 顶板的结构形式	(39)
第四节 老顶三种基本结构的论证	(45)
第五节 需控岩层运动参数的定量推断	(63)
第二章 合理支护强度的确定.....	(123)
第一节 支护强度的研究现状.....	(123)
第二节 支架围岩的一般关系.....	(125)
第三节 支护强度的定量计算.....	(130)
第三章 底板控制.....	(138)
第一节 底板控制研究概述.....	(138)
第二节 底板控制设计.....	(141)
第四章 合理支护方式选择.....	(146)
第一节 基本支护方式的确定.....	(146)
第二节 特种支护的选择.....	(153)
第五章 采场控顶距的选择.....	(159)
第一节 控顶距的定义及基本控顶距.....	(159)
第二节 影响控顶距的因素.....	(160)
第三节 合理控顶距的选择.....	(160)

第六章 支柱实际支撑能力评价	(167)
第一节 单体支柱的性能.....	(167)
第二节 支柱井下的工作状况.....	(169)
第三节 支柱实际支撑能力计算.....	(172)
第七章 合理的支护密度计算	(173)
第一节 顶板支和护的关系.....	(173)
第二节 合理支护密度的计算.....	(174)
第八章 事故预测与防治	(179)
第九章 特种顶板的控制设计	(183)
第一节 特坚硬顶板的控制设计.....	(183)
第二节 放顶煤工作面的顶板控制.....	(205)
第三节 破碎顶板管理的注意事项.....	(212)
第十章 采场顶板控制设计专家系统(ROOF 系统)	(214)
第一节 ROOF 系统概述.....	(214)
第二节 ROOF 系统的使用说明.....	(216)
第三节 ROOF 系统的现场应用.....	(219)
第四节 主程序变量注释.....	(230)
附录 主程序清单	(235)
参考文献	(285)

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:安全上可靠、技术上先进和经济上合理。

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,在此基础上进行合理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,做出针对性的控制设计。

根据我国 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的进展,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 $1 \sim 2\text{m}$,采空区一冲研,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、检测工作跟不上。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;

H —— 采高;

γ —— 容重;

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^[1]”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、科学顶板管理体系与顶板控制设计的关系

(一) 科学顶板管理体系的组成

顶板管理工程是一个完整的科学体系,它由目标、技术、装备和管理四个主系统组成(如图1所示)。各个主系统又由若干个子系统支撑(如图2所示)。

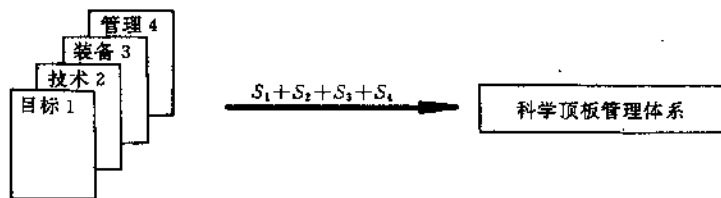


图1 科学顶板管理体系的组成

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

技术系统是目标系统得以实现的技术保证,它包括四个子系统:

- a_1 : 支护设计专家系统
- a_2 : 支护装备检修、试压、储存的技术系统
- a_3 : 支护装备安装、调试的技术规程
- a_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,它包括四个子系统(与技术系统中的子系统相对应):

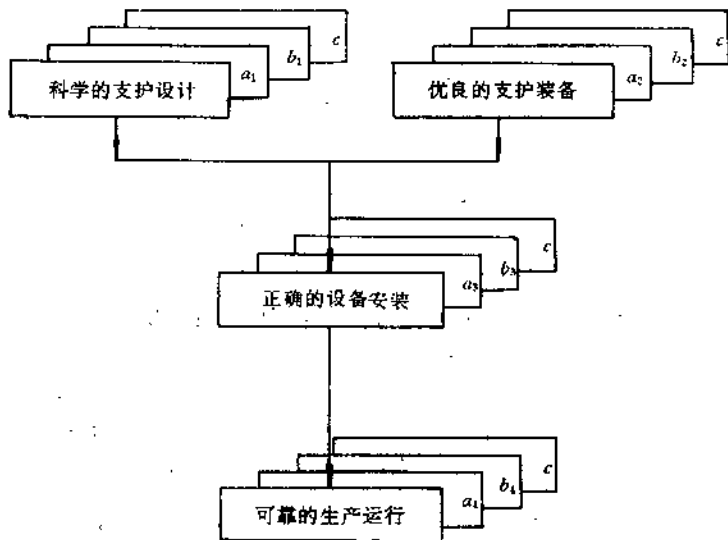


图2 各主系统的关系图

b_1 : 计算机及外围设备

b_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)

b_3 : 泵站、液压系统、支架、注液枪、回柱设备等

b_4 : 支护系统与顶板状况监测设备(测压仪、动态仪及其它仪器仪表)

管理系统是技术、装备系统的结合得以实现目标系统的指挥系统或保证系统。它包括技术、人事、资金、行政管理等几

个与目标相对应的子系统(如图3所示)。

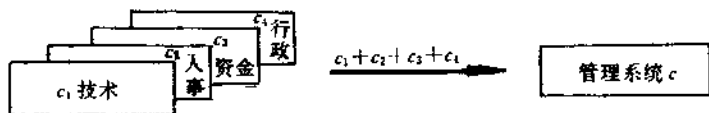


图3 管理系统的组成

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管理系统的部分内容。

(二) 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、摩擦系数等),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 对老顶的“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所取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

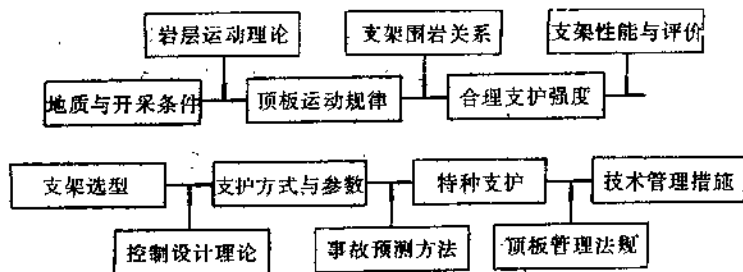


图4 顶板控制设计的步骤和内容

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。

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，则是完全可以办得到的。

通过7年多时间的工作，目前已实现了该专家系统，并在全国得到了推广应用，取得了良好的经济效益和社会效益。

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、直接顶和老顶的运动规律、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、顶板管理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,它将在我国顶板管理领域发挥越来越重要的作用,取得巨大的经济和社会效益。

目前的专家系统适用于走向长壁、急倾斜正台阶和放顶煤三种采煤方法,重点是针对单体支柱工作面。对本专家系统略加改造,即可用于综采支架的选型。

第一章 上覆岩层运动规律的定量推断

采场中一切矿压显现的根源,是由采动引起的上覆岩层的运动。

由于上覆岩层的岩性、厚度、层位关系及构造情况不同,因此,它们存在着多种多样的运动规律。

定量的顶板控制设计要求用具体的数据来表达上覆岩层的运动规律,因此,首先要知道如何根据已知的条件来预计这些规律。

本章在分析和继承已有成果的基础上,论述了定量推断上覆岩层运动规律的方法。

这里所指的上覆岩层,即为需控岩层,它包括直接顶和老顶。^①

所谓直接顶,是指能在老塘不规则冒落的、不能向煤壁前方和老塘矸石上永久传递力的、其作用力必须由支架全部承担的那部分岩层的总和。^[1]

所谓老顶,是指自身能形成平衡结构、能永久地向煤壁前方和老塘矸石上传递力的、其运动对采场矿压有明显影响的、

① 此为“传递岩梁”理论的直接顶和老顶定义,详见[1]