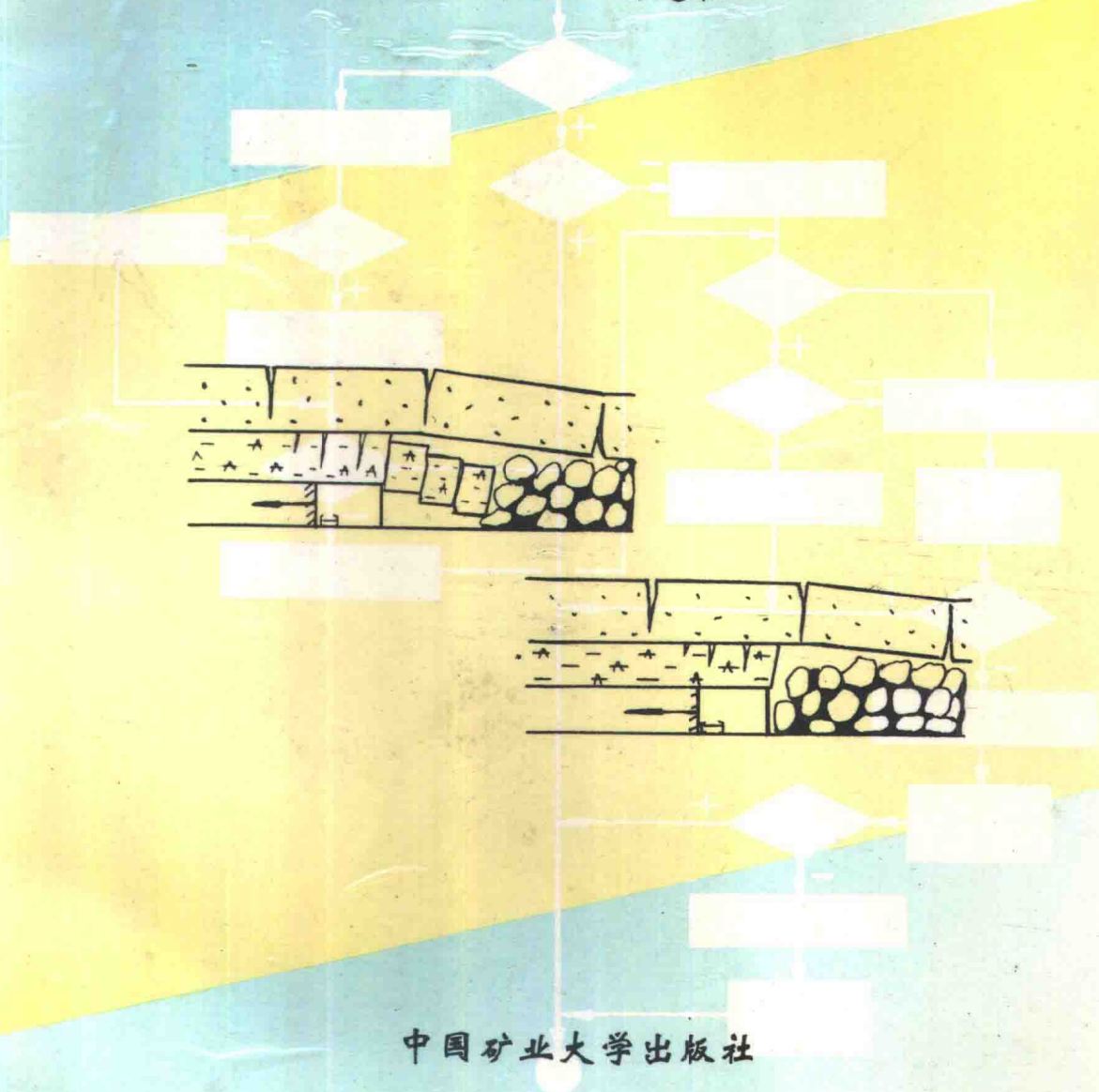


高等学校规划教材

矿压控制设计

姜福兴 尹增德 杨永杰 编著
石永奎 刘保国 汤建泉



中国矿业大学出版社

高等学校规划教材

矿压控制设计

姜福兴 尹增德 杨永杰 编著
石永奎 刘保国 汤建泉

中国矿业大学出版社

内容提要

本书介绍了近年来矿压控制设计的新技术,内容包括采场矿压控制设计及其专家系统、巷道矿压控制设计及其专家系统、放顶煤采场顶板控制技术、软岩及冲击地压控制技术等。本书对现场矿压控制有重要参考价值。

本书可作为高等学校采矿工程专业的教材或教学参考书。

高等学校规划教材 矿压控制设计

姜福兴 尹增德 杨永杰 编著
石永奎 刘保国 汤建来
责任编辑 姜志方



中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 787×1 092 毫米 1/16 印张 16.125 字数 390 千字

1996 年 10 月第一版 1996 年 10 月第一次印刷

印数 1~1 000 册

ISBN 7 - 81040 - 576 - 4

TD · 59

定价:18.50 元

前 言

《矿压控制设计》是采矿工程本科专业学完矿山压力理论之后的应用性课程,它具有理论与实践相结合、反映矿压控制新技术以及便于应用的特点,本着这种想法,我们在山东矿业学院四届采矿工程专业《矿压控制设计》课程讲义的基础上,整理出版了本书。

本书借鉴了国内外许多同行专家的论著,在此一并表示感谢!

由于我们水平有限,敬请读者提出宝贵意见。

参加本书各章节编写的作者如下:

绪 论	姜福兴
第一章	姜福兴
第二章	姜福兴
第三章	姜福兴
第四章	尹增德
第五章	汤建泉
第六章	杨永杰
第七章	石永奎
第八章	刘保国
第九章	刘保国

编著者

1996 年秋天

目 录

绪 论	(1)
第一章 采场上覆岩层运动规律及其定量推断	(3)
第一节 上覆岩层运动规律概述	(3)
第二节 关于顶板结构的新认识	(8)
第三节 岩层稳定性的影响因素及其表征方法	(19)
第四节 需控岩层运动参数的定量推断	(29)
第二章 采场“支架—围岩”关系(支护强度)的确定	(61)
第一节 支护强度的研究现状	(61)
第二节 支架围岩的一般关系	(62)
第三节 支护强度的定量计算	(64)
第三章 单体支柱工作面的支护设计	(69)
第一节 关于顶板处理方法的选择	(69)
第二节 合理支护方式的选择	(74)
第三节 采场控顶距的选择	(81)
第四节 支柱实际支撑能力评价	(84)
第五节 底板控制	(87)
第六节 合理的支护密度计算	(90)
第七节 事故预测与防治	(93)
第八节 特种顶板的控制设计	(95)
第九节 采场顶板控制设计专家系统	(100)
第四章 综采支架工作面的支护设计	(110)
第一节 综采面的矿压特点及对支架设计的要求	(110)
第二节 现有的典型架型与实际支撑能力	(117)
第三节 合理工作阻力的确定方法	(127)
第四节 支架选型	(134)
第五节 端头支护与超前支护	(140)

第五章 关于简易(轻型)支架	(145)
第一节 简易支架的典型架型	(145)
第二节 简易支架的选型方法	(155)
第六章 放顶煤工作面的支护设计	(164)
第一节 放顶煤开采的主要方式	(164)
第二节 放顶煤支架的主要类型	(167)
第三节 放顶煤开采的顶煤活动规律及冒放规律	(172)
第四节 放顶煤采场顶板结构形式及支架围岩关系	(176)
第五节 综采放顶煤工作面的支架选型及顶板事故防治	(180)
第七章 巷道矿压控制设计	(192)
第一节 回采巷道(顺槽)矿压控制设计	(192)
第二节 上(下)山的矿压控制设计	(217)
第三节 大巷及大型硐室的矿压控制设计	(226)
第八章 软岩巷道支护设计	(229)
第一节 软岩概念及工程分类	(229)
第二节 软岩巷道支护的基本原则	(230)
第三节 软岩巷道支护的基本原理	(232)
第四节 软岩巷道支护措施和方法	(233)
第五节 不同用途软岩巷道的支护原则	(236)
第九章 冲击地压的控制设计	(238)
第一节 冲击地压发生的条件	(238)
第二节 冲击地压发生的机理	(241)
第三节 冲击地压的预测	(243)
第四节 冲击地压的防治	(245)
参考文献	(251)

绪 论

一、现代采矿科学的发展对矿压控制设计的要求

随着我国现代化矿井和高产高效矿井建设的开展,生产现场对矿井支护设计和防灾设计的要求越来越高,基本上要做到一步到位,特别是在高产高效矿井,一个环节设计的失误就可能导致矿井绝产。这就要求研究单位给现场提供一套这样的矿压控制设计工具:能包容最新的理论和实践成果(包括部分专家知识),能容易被工程技术人员掌握的设计手段。

要做到这一点是很不容易的,因为矿压控制设计的对象是岩体,岩体是一个难以全面认识的“灰色”事物,关于它的知识是定性的或经验性的。20世纪以来,国内外科学家采用了数学、力学、地质学、化学等多种方法去描述、解释、控制岩体,使人们对岩体性质的认识越来越清楚了,特别是最近十多年来,随着材料、机械、电子等行业的科技进步,一批先进的技术和高性能材料相继应用到矿业工程中,出现了一大批新的矿压控制技术、材料及相应的理论。然而,这些新的知识没有得到系统的整理、宣传和应用,因此,编写本书的目的有四个:

- ① 试图总结和介绍最新的矿压控制设计成果;
- ② 为研制矿压控制设计软件提供基础;
- ③ 为矿业院校学生提供教学参考书,使学生了解矿压控制设计的最近成果和动态;
- ④ 为煤矿采矿技术人员提供矿压控制设计参考书。

二、矿压控制设计的步骤和内容

本书所指的矿压包括采场和巷道矿压两大部分。矿压控制设计的步骤和内容大致分为以下四块:

- ① “摸清敌情”,即深入了解煤层地质条件和开采技术条件,正确预计控制对象的特点;
- ② “掌握理论”,即掌握控制设计的有关理论、方法,掌握评价支护材料、工艺的理论,掌握有关管理法规及劳动保护的理论,以此作为控制设计的准则;
- ③ “控制设计”,即进行具体的设计;
- ④ “监测监控,完善设计”,即设计实施过程中,进行监测监控,依据反馈的信息,判断设计的合理性,这对于“灰色”工程尤为重要,因为矿压控制设计本身具有一定的可信度,加上地质条件复杂多变,初次控制设计方案不一定是最优的,需要边施工,边修正。

下面以图1所示的采场顶板控制设计为例,说明矿压控制设计的步骤和内容。

三、矿压控制设计的发展方向

矿压的理论大厦在力学地基上建造的初期,是非常简陋的。随着科学家们前赴后继的工作和现场工程技术人员的艰苦探索,这座大厦已初具规模,以至于一个人依靠传统的方法访问一遍这座大厦,要花去几年甚至十几年的时间,这是现代高科技社会所不能容忍的事情,因此,如何更快更好地全面掌握矿压控制的理论,尽快地使人们成为矿压理论大厦的主人,

是目前急待解决的问题,也是矿压控制设计发展的重要方向之一。

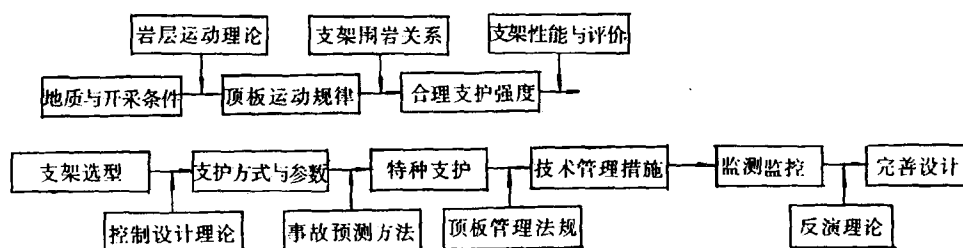


图1 顶板控制设计的步骤和内容

近几年来,矿压控制决策软件系统的研制发展迅速,这些软件系统是帮助人们学习和应用矿压知识的极好工具,对于静态矿压控制设计软件,比较成功的有“采场顶板控制设计专家系统”、“隧道支护设计专家系统”、“采准巷道支护设计专家系统”等,对动态矿压控制软件,有“支护质量与顶板动态监测系统”、顶板动态与计算机监测系统系统中的“采场来压预报专家系统”等。这些软件都包含了大量的矿压知识,而这类软件的数量和质量对现场来讲是远远不够的。

另外,借助其它学科的成就发展矿压控制技术是矿压控制设计发展的另一个重要方向,近几年来建立在交叉学科基础上的矿压控制新技术呈现了诱人的活力。

本书将用一定的篇幅介绍矿压控制设计的这两个发展方向的最新成果。

第一章 采场上覆岩层运动规律及其定量推断

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、其作用力无需支架全部承担的那部分岩层^[1]。

第一节 上覆岩层运动规律概述

一、层面方向的运动规律

无论是哪一种学派,层面方向顶板运动的以下几点规律几乎是公认的。

(一) 三带的划分

长壁工作面煤层采出后,煤层上的顶板要垮落一部分去充填采空区,这一部分岩层一般称为垮落带岩层(相当于直接顶);在采空区,随着未垮落岩层的沉降,自由空间的高度越来越小,直到不满足垮落的几何条件,此刻裂隙岩层带就会自身形成一种平衡结构,若该结构的运动对采场矿压有明显的影响,则该部分岩层相当于老顶,有些学派称裂隙岩层带为裂隙带(值得注意的是,裂隙带中包括老顶,但不一定全部属于老顶);裂隙带往上直至地表为缓沉带,缓沉带的运动被认为对采场矿压无明显的影响。

三带的关系如图 1-1 所示。

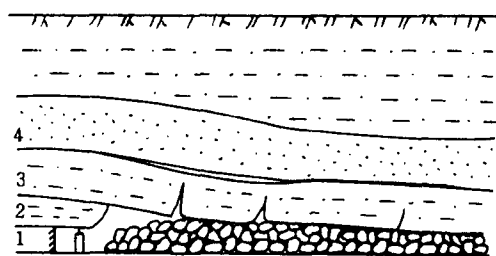


图 1-1 岩层移动的“三带”关系图

1——煤层;2——垮落带;3——裂隙带;4——缓沉带

^① 此为“传递岩梁”理论的直接顶和老顶定义,详见[1]

(二) 对采场矿压有明显影响的上覆岩层的范围是有限的

采场一般位于地下数百米乃至上千米的深度。开采实践表明,有些矿井以每平方米1~2根的单体支柱就能支护住采动空间,这个事实证明了对采场矿压有明显影响的上覆岩层范围是有限的。

通过国内外的研究,特别是我国开滦矿区和大屯矿区的深孔布网研究,得到了一般采场的需控岩层厚度范围,它约为6~8倍的采高。

(三) 直接顶厚度约为采高的2~3倍

在一般顶板条件的采场,只要采空区有自由空间,顶板就可能冒落,且冒落直接顶厚度为^[1]

$$M_z = \frac{H - S_A}{K_A - 1} \quad (1-1)$$

式中 H ——采高;

M_z ——直接顶厚度;

K_A ——岩层垮落后的碎胀系数, $K_A = 1.15 \sim 1.5$, 一般采场为 $1.25 \sim 1.35$;

S_A ——未垮岩层在触矸处的沉降量, $S_A = (0.1 \sim 0.5)H$, 一般采场为 $(0.25 \sim 0.3)H$ 。

将这些数据代入上式,可见 M_z 大约为 $(2 \sim 3)H$ 。

以上这些经验数据来源于我国北京、大同、开滦、大屯、徐州、肥城等矿区的实地测量结果。

在坚硬顶板采场老顶初次来压前,式(1-1)中的 $S_A = 0$,显然,式(1-1)变为:

$$M_z = \frac{H}{K_A - 1} \approx (2.85 \sim 4)H \quad (1-2)$$

即直接顶厚度将比正常推进阶段大1.5~2倍。

“传递岩梁”理论还提出了一套厚煤层及近距离煤层直接顶厚度的计算方法。

对老顶厚度则没有提出过明确的计算方法。

二、走向方向的顶板运动规律

采场从开切眼推进到一定距离后,直接顶将垮落。从开始推进到直接顶岩层初次垮落完成为止,这个阶段称为直接顶初次垮落阶段,垮落剧烈程度用初次垮落步距 L_z 和直接顶厚度与采高之比 N 间接地表示。

随着采场的继续推进,直接顶进入正常垮落阶段,老顶此刻开始发生离层、弯曲沉降、断裂,最后回转下沉,引起工作面压力急增。这个阶段称为老顶初次来压阶段,初次来压步距用 C_0 表示。

初次来压完成后,采场进入正常推进阶段。此阶段老顶岩梁将随跨度的不断增加继续发生断裂、回转下沉和引起工作面来压,亦即常说的周期来压。周期来压的强度一般较初次来压小,它由直接顶厚度和岩梁本身的力学、几何参数决定。此阶段的一个重要参数是老顶的周期来压步距 C 。

三个推进过程如图1-2所示。

在一般情况下,周期来压步距为初次来压步距的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$, 即 $C = (\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2})C_0$ 。

上述推进方向上的顶板运动规律,也为大多数学派所公认。

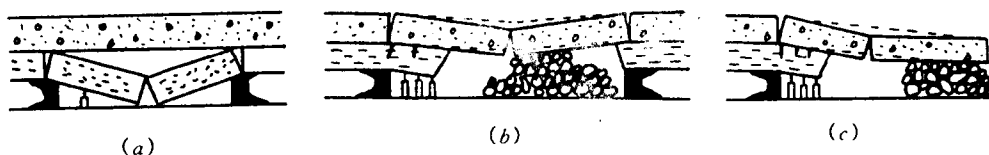


图 1-2 顶板在推进方向上的运动规律
(a) 直接顶初次垮落; (b) 老顶初次来压; (c) 老顶周期来压

三、关于顶板的结构问题

顶板的结构形式决定了顶板的运动特征,因此也是决定顶板控制方式和方法的关键因素。它历来为各种学派所重视,也是学术界讨论最为热烈的一个课题。

这里的顶板结构,主要指的是采场第一掩体——老顶的平衡结构。

早期矿压研究者提出的结构是以“拱”结构为主的。其代表人物是前苏联工程师 $\Phi \cdot$ 许普鲁特。他认为,采场在一个“前脚在煤壁、后脚在采空区”的拱结构的保护之下。这种观点解释了两个重要的矿压现象:一是支架承受上覆岩层的范围是有限的;二是煤壁上和老塘矸石上将形成较大的支承压力,其压力来源即为控顶上方的岩重。

由于拱说难以解释采场周期来压等现象,现场也难找到定量描述拱结构的参数,所以拱说只停留在对一些矿压现象一般解释的水平上,不能很好地应用于实际,为生产服务。因此,诞生了以库茨涅佐夫为代表的铰接岩块学说,这是定量地研究矿压现象的一个重大突破。

库茨涅佐夫认为,需要控制的顶板由冒落带和其上的铰接岩梁组成,冒落带给予支架的是“给定载荷”,它的作用力必须由支架全部承担。而铰接岩块在水平推力的作用下,构成一个梁式的平衡结构,这个结构与支架之间存在“给定变形”的关系(如图 1-3 所示)。

库茨涅佐夫还提出了岩层垮落与否的判别公式。

库茨涅佐夫理论的重大贡献在于,它不仅解释了拱说所能解释的矿压现象,而且解释了采场周期来压现象,第一次提出了预计直接顶厚度的

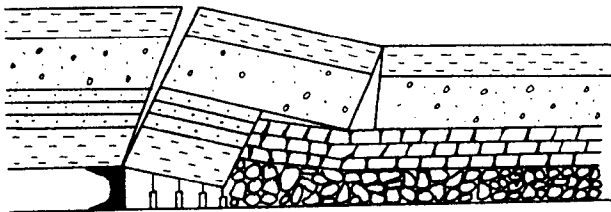


图 1-3 库茨涅佐夫铰接岩梁模型

公式,并从控制顶板的角度出发,揭示了支架载荷的来源和顶板下沉量与顶板运动的关系。这一成果是以后矿压理论发展的重要基础。

然而,库茨涅佐夫理论对形成铰接岩块平衡结构的采场条件以及支架与顶板之间的作用关系研究不够。

本世纪 70 年代,我国学者在库茨涅佐夫铰接岩梁学说的基础上,发展了至今仍占主导地位的“砌体梁”和“传递岩梁”学说,为长壁工作面的矿压控制做出了巨大的贡献。

“砌体梁^[2]”理论集中研究了裂隙带岩层形成结构的可能性以及结构的平衡条件。从建立该理论的假说条件可以看出,该理论的结论更适用于存在坚硬岩层的采场。

“传递岩梁^[1]”理论认为,在一定采高、推进速度和顶板组成的条件下,平衡结构的存在

是必然的,因此它看待平衡结构的重点是从结构向煤壁前方和老塘矸石传递力的方面考虑的,显然,这种结构在一般的采场均存在。在进行支架围岩关系研究时,事实上加进了“存在坚硬岩层”的前提条件。因此,该理论所建立的力学模型均以两个岩块组成的结构出现。

“传递岩梁”和“砌体梁”理论都认为,坚硬岩层能在煤壁前方断裂,因而通过研究岩层运动与支承压力之间的关系,提出了来压预报的机理和方法,为减少我国恶性顶板事故做出了重大贡献。“传递岩梁”理论还认为,采场支架可以改变铰接岩梁的位态,并以两块模型推导出了位态方程,为支护设计定量化提供了重要思路,其成果也为广大现场所接受。“传递岩梁”还提出了采场存在多岩梁结构,该观点解释了多岩梁采场较为复杂的矿压现象。

由于岩梁理论只适用于工作面长度与初次来压步距之比大于5的采场,因此,近年来在坚硬顶板采煤工作面,我国年轻学者引进了岩板理论^[3],即用固支或简支弹性板以及弹性基础上的薄板模型^[4],研究顶板初断步距与厚度之比大于5~8的坚硬顶板,取得了很多成果。

最近笔者对长厚比小于5~8的中厚板进行了解算,得到了一些有益的结论^[5]。

已有顶板结构模型可归纳于图1-4中。

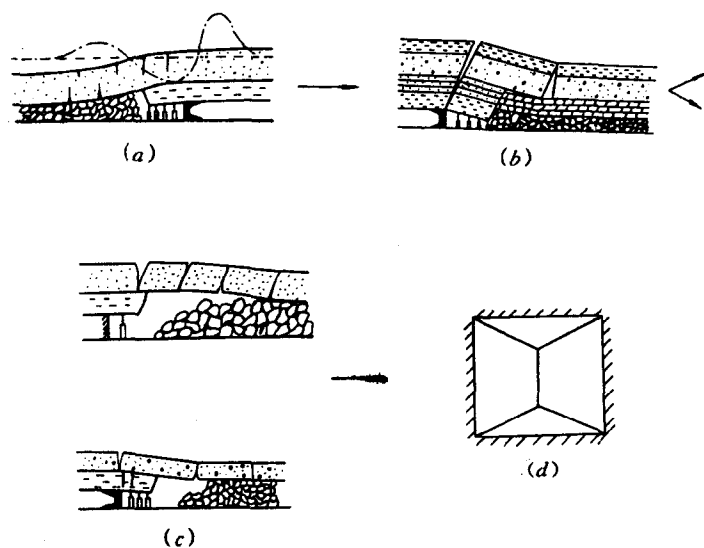


图1-4 顶板结构模型理论发展过程示意图

(a) 压力拱; (b) 库茨涅佐夫铰接岩梁; (c) 砌体梁与传递岩梁; (d) 岩板

从上述对顶板结构假说的简要回顾,可以看出,人们对顶板结构的认识是越来越清楚了。可以这么说,这些结构在现场都是客观存在的,这些理论和观点的提出都有它的实践基础,正因为如此,实践基础的不同必将导致对研究对象看法的差异,综合来看,许多观点有共性的结论,各自的个性结论则只能适合于各自力学模型所限定的前提条件,任何“以偏概全”或应用中的“生搬硬套”都将导致失误或争执,甚至歪曲理论创立者的本来意图。

进行顶板控制设计时,首先要根据所给的煤层和岩层条件,判断出顶板所属的结构形式。要做到这一点,就要建立各种顶板条件下可能的结构系列以及定量判断结构形式的方法,这是上述已有理论所没有论及的,而这正是进行顶板控制设计和建立专家系统必须解决的问题。

四、预计顶板运动步距的方法

顶板运动步距的预计方法,开始是从材料力学理论发展来的,而且有些至今还在应用。

在预计直接顶初次垮落和老顶初次来压步距时,采用材料力学中受均布载荷的力学双嵌梁模型(如图 1-5 所示)^[2]。初次断裂步距 L_0

为:

$$L_0 = \sqrt{\frac{2M\sigma_t}{\gamma}} \quad (1-3)$$

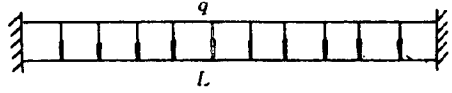


图 1-5 双嵌梁模型

式中 L_0 ——初次断裂步距,可为直接顶的初次垮落或老顶的初次来压步距, m;

M ——岩层厚度, m;

σ_t ——岩层的抗拉强度, Pa;

γ ——岩层密度, N/m^3 , 一般岩层为 $2.5 \times 10^4 \text{ N/m}^3$ 。

当基底岩层上有厚度为 T 的软岩层时,初次断裂步距为:

$$L = \sqrt{\frac{2M^2\sigma_t}{(M+T)\gamma}} \quad (1-4)$$

式(1-3)和式(1-4)对应条件下的第 i 次周期断裂步距 C_i 分别为式(1-5)和式(1-6)。

$$C_i = -\frac{1}{2}C_{i-1} + \frac{1}{2}\sqrt{C_{i-1}^2 + \frac{4M\sigma_t}{3\gamma}} \quad (1-5)$$

$$C_i = -\frac{1}{2}C_{i-1} + \frac{1}{2}\sqrt{C_{i-1}^2 + \frac{4M^2\sigma_t}{3\gamma(M+T)}} \quad (1-6)$$

式(1-3)至式(1-6)仅对工作面长度与初次断裂步距之比大于 5,且初次断裂步距与岩层厚度之比大于 5~8 的坚硬顶板采场有效。

在非完整坚硬顶板工作面,一方面,整个顶板岩层厚度并不一次全部参与运动,分层运动是经常发生的,而且节理裂隙的存在使岩层真实的运动方式与双嵌梁的力学模型所限定的条件相距甚远;另一方面,决定岩层运动步距的主要参数 σ_t ,在现场也是很难测定的,甚至在完整坚硬顶板的条件下,也只能从可测的单向抗压强度按 $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{8}$ 的比例关系粗略地换算过来。因此,式(1-3)至式(1-6)的应用是有条件的,不能随便套用。

在坚硬顶板采场,若以 Marcus 板的简化解求解,则四边固支的板初次断裂步距可用式(1-7)近似估计^[4]。

$$L = \frac{b \left[\frac{b^2 - \sqrt{b^4 - 4L_0^4}}{2} \right]^{\frac{1}{2}}}{L_0} \quad (1-7)$$

当四周均为裂缝时,简支板的初次断裂步距必须按式(1-8)估算:

$$L = b \left[\lg \left[0.5 \arcsin \frac{6 - 2\sqrt{9 - \frac{20L_0^2}{b^2}}}{5} \right] \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1-8)$$

式中 L ——板的初次断裂步距, m;

b ——工作面长度, m;

L_0 ——双嵌梁的初次断裂步距, 计算公式与式(1-3)相同。

由于板理论建立在非常严格的连续介质力学基础上, 所以用它描述充满弱面的顶板的运动规律时, 只能是半定量的或定性的。

在预计初次断裂步距方法方面, 值得注意的是, 王庆康教授等提出的考虑岩层分层和节理裂隙的步距预计方法, 这种方法将力学机理和数理统计相结合, 用反映受诸多因素影响的实际断裂步距的统计结果, 对力学计算结果进行修正, 这种方法更符合复杂的顶板条件, 因此, 用公式(1-9)预计分层和节理裂隙发育岩层的初次断裂步距 L 时, 结果比纯力学方法更接近实际^[7]。

$$L_0 = 3.58A \sqrt{\sigma_c} \sqrt{fd} \quad (1-9)$$

式中 A ——随机因素, 由统计得到, $A=0.854\sim1.055$, 平均 0.911;

σ_c ——岩块单向抗压强度, MPa;

d, f ——平均分层厚度和节理裂隙间距, m。

五、综合分析

顶板控制设计的第一步是根据任给的采场顶板条件, 预计出顶板的结构形式和断裂步距。在此之前, 必须首先解决判别顶板结构和预计断裂步距的方法。

众所周知, 决定岩层运动方式的因素, 主要是岩层的变形能力, 变形能力综合地反映在岩层的初次断裂步距上。各种假说在提出时, 首先对岩层的物理属性进行限定, 这些限定条件大多数是定性的, 这给应用带来了困难。

为了将这些限定条件定量化, 我们必须研究岩层变形的影响因素及影响程度, 并将之定量地表达出来。这样, 就可以给各种假说以定量的应用范围, 形成与岩层变形能力相对应的预计断裂步距的方法“系列”。

关于老顶结构的观点, 我们认为, 采场上覆岩层中的平衡结构从拱到梁式铰接结构都存在, 它随其组成岩层的“质量”而变化, 是一个由岩层质量的“量变”到结构形式“质变”的过程。

下一节将介绍如何定量地表达岩层质量和确定有关指标的方法。

思 考 题

1. 简述沿层面和沿走向的岩层运动规律。
2. 简述关于老顶结构学术观点的发展历史。
3. 你能分析一下各种老顶结构形式最适合的顶板条件吗?

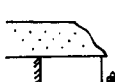
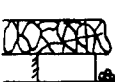
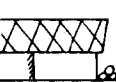
第二节 关于顶板结构的新认识

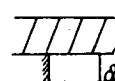
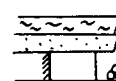
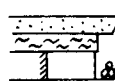
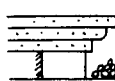
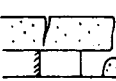
一、直接顶的形态及特征

通过对我国主要矿区的调查和对顶板控制实践经验的总结, 按组成直接顶岩层的弱面及组分情况将其形态归纳为颗粒型、膨胀型、团块型、分层裂隙共生型、双向裂隙型、单向裂

隙型、上软下硬型、下软上硬型、分层型及整体型 10 种。从表 1-1 可看出,直接顶的形态是随其组成岩层的强度、弱面及其组合关系而变化的,它能从非常松软一直发展到非常坚硬。

表 1-1 直接顶形态分析表

类型	颗粒型	膨胀型	团块型	分层裂隙共生型	双向裂隙型
形态					
描述	易漏顶成大空穴,采空区侧超前冒落	向采空区滑动,易漏顶	随团块的大小不同而不同,一般随采随冒	随采随冒,易漏顶	存在“单帽滑”,易发生局部冒顶

类型	单向裂隙型	上软下硬型	下软上硬型	分层型	整体型
形态					
描述	根据厚度不同,可能形成“短砌体梁”式的暂时平衡	两岩层一起垮落,为复合顶(与上位岩层复合)	两岩层分开垮落,为复合顶(与自身复合)	在采空区形成倒台阶冒落	有周期断裂现象

颗粒型直接顶主要存在于顶煤松软的放顶煤工作面及顶板胶结性差的工作面(包括无网胶结差的假顶)。在放顶煤工作面,顶煤由于受超前支承压力的预先破坏和支架的“重复”支撑,一般情况下将很破碎,如果机道上方护顶及护帮不及时,将出现大范围漏顶及片帮。

在顶板胶结性差的采场,如护顶不及时,机道上方将出现大的“高冒”空穴(如图 1-6 所示),此类采场直接顶厚度一般超过 2~3 倍采高,确切的厚度将由颗粒型岩层的厚度决定。这种顶板现场也称为“豆腐渣”顶板。

团块型直接顶一般存在于泥质胶结顶板及无网但胶结尚好的假顶工作面。团块尺寸有大有小,同一采场团块的尺寸也差异较大,这类顶板的最大特点是团块无明显的压、剪断面,一般是毛糙且不规则的拉张断面。

分层裂隙共生型及双向裂隙型直接顶节理裂隙较发育,特别是双向裂隙型顶板,它可能发生两种事故:一是“草帽”式滑落,在机道处伤人,二是尚未出露的、被裂隙切割的孤立块体从煤体中抽出,发生“抽芯”事故。当节理裂隙的密度较大时,这两种类型的直接顶现场称为“破碎顶板”。

“豆腐渣”和“破碎顶板”采场的支护重点在“护”,及时护住煤帮和机道上方的顶板。

单向裂隙型直接顶在华东地区十分普遍。它一般由被节理裂隙切割的砂岩、粉砂岩及砂页岩等组成,当厚度及采高满足一定的几何条件时,在采空区与控顶区之间能形成史元伟高级工程师提出的“短砌体梁”式的暂时平衡结构(最终还是要垮落)。该平衡结构垮落时,将导致顶板垂直压力和水平推力的突变,在现场观测中,可测得支架载荷突然由大变小和支架向

煤壁倾斜的现象。有时现场称之为“小周期来压”，因为“短砌体梁”结构随采场的推进，在不断地“建立—破坏—再建立”，呈现出周期性(如图 1-7 所示)。当采场支架阻力不足时，易出现台阶下沉，尤其是在松软底板采场中这种情况更易出现。

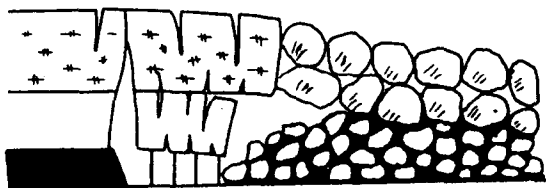


图 1-6 “豆腐渣”顶板冒落情况

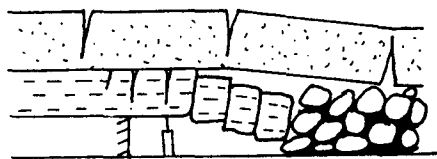


图 1-7 短砌体梁直接顶

上软下硬和上硬下软型直接顶即为我们常说的“复合顶板”，它是从岩层强度和层位关系上定义的。前者一般为直接顶和老顶复合(如图 1-8 a 所示)，后者一般为自身复合(如图 1-8 b 所示)。这类采场的顶板事故极为惨痛。这类顶板发生事故的根本原因是支架阻力小导致离层，加上支架不稳最终“推垮”工作面。

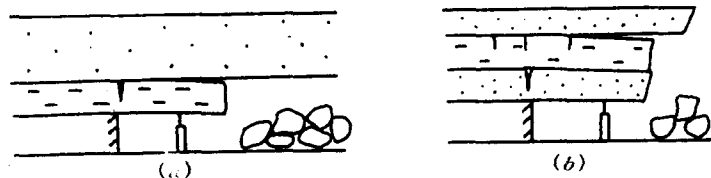


图 1-8 复合顶的两种形式

(a) 直接顶与老顶复合；(b) 直接顶自身复合

分层型直接顶一般存在于强度中等以上、薄及中厚层状顶板的采场，各分层的强度、分层厚度差异不大，垮落后，呈倒台阶形。典型的岩层是粉砂岩、砂页岩及中小分层的中细砂岩，另一种是中小分层的石灰岩。对石灰岩顶板原来的认识是柔软性弯曲的，一般不发生垮落，但在肥城、枣庄、徐州、新汶、南桐等矿务局的观测发现，下位石灰岩经常发生倒台阶式的冒落。分层型直接顶在悬顶到一定程度后，能够在煤壁前方形成整体断裂(另一种情况是在老顶断裂后的压迫下整体断裂)。当工作面推进到断裂线时，易形成较大的台阶下沉(如图 1-9 所示)。

整体型直接顶存在于强度中硬以上、厚度大于 2 m 的砂岩类顶板采场。这类直接顶有周期断裂现象，断裂时产生冲击载荷，水平推力大，回柱困难。现场控制这类直接顶，一般采取扩大控顶距等措施。近年来，出现了切顶墩柱，在倾角小于 15° 的采场，用切顶墩柱是解决坚硬直接顶下回柱困难的有效方法(如图 1-10 所示)；在大倾角的情况下，无法支设墩柱，此时，顶板断裂线煤壁侧应有 2~3 m 的安全空间才能回柱，倾斜方向要打好防冲杆的戗棚(柱)。

由上述分析可知，直接顶的 10 种形态最终可归纳为“豆腐渣”型顶板、破碎顶板、短砌体梁顶板、复合顶板、分层型顶板和完整型顶板六类。它们都有各自的形成条件、运动特点和控制要求。

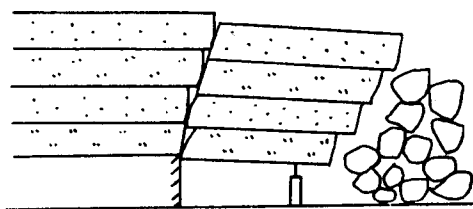


图 1-9 分层型直接顶

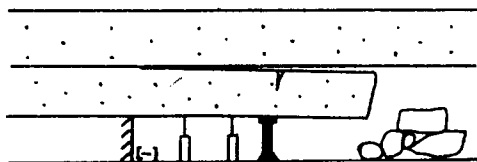


图 1-10 墩柱切顶示意图

二、关于老顶结构形式

采场顶板控制设计时,对直接顶的控制原则,各种学术观点趋于一致,即其作用力需支架全部承担。对于老顶则看法不一,一个重要原因是老顶处于“看不见,摸不着”的位置,对老顶的结构和运动规律认识不统一,目前大都倾向于将老顶的结构归结为梁式铰接的平衡结构,认为工作面的来压是由于岩块的断裂沉降造成的,周期来压步距即为岩块的断裂长度。这些观点,也被现场的观测所证实,然而很多采场顶板中并不存在大厚度坚硬岩层,亦即不存在形成大块梁式铰接结构的基本条件,此时老顶的结构怎样呢?

进行采场来压预报的理论基础,是“上覆岩层运动规律与支承压力显现”之间的关系,这个关系是建立在存在“梁式铰接”结构基础上的,若老顶的结构发生了变化,则来压预报的规律又有哪些变化呢?

解答上述问题的关键,在于确定老顶结构有哪几种形式,各种结构的运动规律和支承压力显现规律有什么特点,又有什么联系。这些问题是现场进行针对性的顶板控制设计、准确地预报来压以及顶板动态监控的重要理论基础。

通过多个模型模拟研究和现场 10 多个不同顶板采场的观测,我们认为:老顶存在类拱式、拱梁式和梁式三种基本结构,它们的形成条件、运动规律、支承压力显现规律及其控制的要求,既有区别又有联系,是老顶岩层质量指数的“量变”导致老顶结构形式“质变”的一个辩证过程。亦即老顶结构形式随岩层质量指数的变化,存在一个“系列”。

要特别指出的是,这里讲的老顶结构,是对缓倾斜及倾斜长壁工作面而言的,其埋深一般大于 200 m。不包括冲积层下的浅埋采场及大厚度岩层的整体塌垮采场。

通过对已有理论及观点的分析,认为老顶结构的理论尚不完备;以往认为相悖的观点,从系统的角度来看,却是相容的;老顶的结构形式是随其组成岩层的状况而变化的,这个变化过程可以用三种典型的模型来表示,这三种模型的划分是以不同结构形式老顶的矿压控制准则为基础的。

为了论证上述观点,进行了不同岩层采场的矿压观测、模拟实验和以此为基础的理论分析。

(一) 实测揭示的典型支承压力显现规律与老顶结构的关系

在煤壁前方 10~20 m 的顺槽中布置位移传感器,可以监测到老顶运动过程中传递到该范围煤体上的压力显现,据此可以实现采场来压的远期预报^[1],其原理是煤体位移的变化规律间接地反映了老顶的运动规律,而老顶的运动规律是老顶结构性质的直接反映,因此,根据煤体位移变化规律,也可以推断出老顶结构的某些特征。

矿压观测中,位移的变化规律用煤壁前方一定距离处(也称固定点)的顺槽顶底板移近