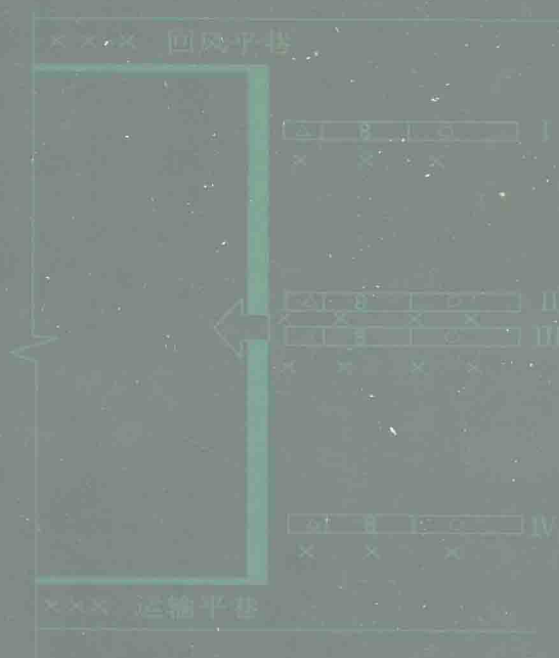


高等院校教材

Kuangya Guance Yu Dingban Zaihai Fangzhi

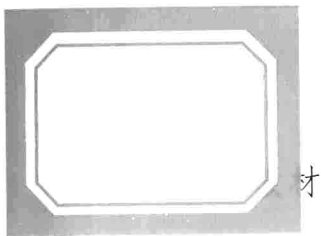
矿压观测与 顶板灾害防治

主 编 段绪华 李勇军
副主编 郭敬中 解 强
主 审 邹光华 刘玉德



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



矿压观测与顶板灾害防治

主 编	段绪华	李勇军
副主编	郭敬中	解 强
主 审	邹光华	刘玉德

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书本着注重实用性和针对性的原则,在总结多年实践和研究的基础上,系统、全面地介绍了矿压观测与顶板灾害防治的知识和技术。全书共分 12 章并附有习题集,内容包括:采煤工作面上覆岩层的活动与矿压显现规律、采煤工作面顶板控制、矿山压力观测仪器、采煤工作面矿山压力观测、采煤工作面统计与专项观测、巷道矿山压力观测、矿压观测数据的分析及处理、观测报告的编写、采煤工作面顶板灾害防治、巷道矿压显现规律与事故防治、顶板事故的抢险救灾。

本书是高等院校采矿工程及相关专业的教学用书,也可作为职业技术院校和职工培训的教材,亦可供现场煤矿工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿压观测与顶板灾害防治 / 段绪华,李勇军主编. —徐州:
中国矿业大学出版社, 2013. 8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1991 - 6

I. ① 矿… II. ① 段…② 李… III. ① 矿压观测—教材
② 顶板—安全措施—教材 IV. ① TD326 ② TD327. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 187148 号

书 名 矿压观测与顶板灾害防治
主 编 段绪华 李勇军
责任编辑 满建康 姜 华
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 15 字数 374 千字
版次印次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷
定 价 37.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

煤矿的科学管理是煤炭行业科学发展的基本保证。科学管理必须依据煤矿自然条件和生产技术条件,采取有效的针对性管理措施,才能提高安全生产效果。矿山压力观测与顶板灾害防治就是实现煤矿生产科学管理必不可少的基础工作。随着煤矿新区、新井的不断开发及生产矿井开采深度的不断增加,人们越来越认识到顶板管理对煤矿安全生产的重要性。因此,矿山压力观测与顶板灾害防治的研究是正确进行采矿设计、合理选择支护方式和支护类型、确定各开采技术参数以及保证安全生产的重要环节。

本教材本着着眼目前、兼顾长远、注重实用性及针对性的原则,力求重点突出,结构合理,深入浅出,概念清晰,适应采矿技术发展。据此本书中的矿山压力理论部分仅作简要介绍,减少与相关教材内容的重复,重点放在了适用性、实用性及可操作性方面。编写过程中着力突出了以下几点:一是介绍了矿山压力的基本概念,岩层活动和矿压显现规律,支架与围岩的关系,软岩支护,深井开采矿压特点及冲击地压防治措施;二是介绍了矿山压力观测的内容、目的、手段、方法及观测结果分析、预测预报等;三是介绍了顶板灾害防治,集顶板事故的类型、机理、防治措施、抢险救灾等为一体,并借助大量顶板事故案例,剖析了各类事故形成的原因,从多角度论述了顶板事故的预防措施。

本教材由段绪华、李勇军任主编,郭敬中、解强任副主编,其他编写人员有石建军、许海涛、张军、张凤岩,邹光华、刘玉德任主审。具体分工如下:段绪华编写绪论、第一章、第十章和第十二章;张军编写第三章和第十一章;石建军编写第六章和第八章;张凤岩编写第七章;郭敬中编写第四章和第五章;许海涛编写第二章和第九章。全书由段绪华、郭敬中做了最终的统稿和定稿。

本书的编写过程中参阅了许多专家、学者的著作和文献,在此一并致谢!

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者不吝指正。

编 者

2013年6月

目 录

绪论	1
第一章 煤矿顶板事故概况	5
第一节 顶板事故综合分析	5
第二节 顶板事故防治在煤矿安全管理中的地位	12
第二章 采煤工作面上覆岩层的活动与矿压显现规律	14
第一节 开采后上覆岩层的移动特征	14
第二节 采煤工作面矿压显现的基本规律	15
第三节 影响采煤工作面矿压显现的主要因素	19
第三章 采煤工作面的顶板控制	25
第一节 采煤工作面支架与围岩的关系及其基本参数的确定	25
第二节 采煤工作面对支架的基本要求	29
第三节 特殊条件下的顶板控制技术	34
第四章 矿山压力观测仪器	40
第一节 机械式矿压观测仪器	40
第二节 液压式矿压观测仪器	44
第三节 电测仪器	51
第四节 智能化观测仪器	56
第五章 采煤工作面矿山压力观测	62
第一节 概述	62
第二节 采煤工作面“三量”观测	64
第三节 支架荷载观测	73
第四节 采煤工作面上覆岩层移动和破坏过程的观测	82
第五节 采煤工作面顶板运动的预测预报	87
第六章 采煤工作面统计与专项观测	92
第一节 采煤工作面顶板统计内容的观测	92
第二节 底板集度荷载的测定	100
第三节 单体支柱工作面支护质量监控	105
第四节 采煤各工序对工作面“三量”影响的专项观测	112

第七章 巷道矿山压力观测	115
第一节 概述	115
第二节 巷道围岩相对移近量的观测	116
第三节 巷道支架载荷与变形观测	118
第四节 巷道围岩应力观测	121
第五节 巷道围岩松动圈测定	123
第八章 矿压观测数据的分析及处理	127
第一节 概述	127
第二节 观测数据的误差分析	128
第三节 观测数据的分析处理方法	131
第九章 矿压观测报告的编写	139
第一节 报告的编写要求及提纲	139
第二节 观测结果分析	140
第十章 采煤工作面顶板灾害防治	151
第一节 顶板事故的分类	151
第二节 局部冒顶事故发生的原因及防治	152
第三节 推垮型冒顶事故的致因及防治	157
第四节 压垮型冒顶事故的致因及防治	170
第五节 急倾斜煤层顶板事故的致因及防治	181
第十一章 巷道矿压显现规律及事故防治	183
第一节 采区巷道的矿压显现规律	183
第二节 采区巷道的支护机理	191
第三节 松软岩层中的巷道支护技术	194
第四节 深井采准巷道的矿压特点及其维护	196
第五节 巷道冒顶事故的原因及防治	200
第十二章 顶板事故的抢险救灾	204
第一节 顶板事故的特点	204
第二节 顶板事故的救灾方法与处理技术	205
第三节 顶板事故抢险救灾的组织与实施	210
第四节 顶板事故的认定程序与案例分析	215
习题集	219
参考文献	234

绪 论

一、煤炭工业在国民经济中的地位与发展

煤炭工业是以矿产资源为劳动对象的产业,是国民经济的基础产业。人类生存和发展离不开原料和燃料,涉及黑色金属、有色金属、化工、核工、建材原料及煤炭、石油、天然气等矿物。其中,煤炭占我国一次性能源消费的 70% 左右,煤炭工业的发展直接关系到国计民生和国家的健康发展。而且从煤炭中还可以提取 200 多种产品,都是国家建设和人民生活所需要的。因此,它是工业的粮食,是重要的能源基础,是提高人民生活质量和品位的原料。目前世界上已知约 168 种矿产在中国均有发现,探明储量的矿产在 153 种以上,居世界第三位,其中有 20 多种矿产的探明储量居世界前列,煤炭是其中之一。

根据有关的资源报道,地下有用矿物资源埋藏的最大深度达 20 km,煤的最大埋藏深度达到 2 000 m。我国地大物博,煤炭资源丰富,煤田分布遍及全国各地,为国民经济的发展提供了较好的自然条件。根据埋深和开采技术条件,目前我国煤炭井工开采量占煤炭总产量的 93%~94%,露天开采量占 6%~7%,是世界上煤炭产量最大的国家,有力地促进和保障了国民经济的发展。

我国是世界上采矿最早的国家之一,远在东周末年,我国人民就开始开采煤炭。到唐宋时代,手工采煤有了进一步的发展。元明两代,手工采煤技术已经完善。立井开凿、木质绞车提煤、竹筒排除地下有害气体、木材支护等方法一直沿用到 19 世纪后期。19 世纪末期,水泵、扇风机、提升机、电机车、风钻、风镐等设备相继用于煤矿。以后又陆续出现了链板输送机、装载机、胶带输送机、自动矿车、单轨吊车、刨煤机、滚筒采煤机、液压支架。由于各种机械的应用和发展,大大地促进了开采技术的发展,主要表现在以下几个方面:产量由 1949 年的 3 249 万 t,增加到 2012 年的 37 亿 t,增加了近 120 倍;生产水平低、机械化程度低、劳动生产率低、采煤方法落后的“三低一落后”局面有了根本的转变;矿井大型化、生产集中化、运输连续化、掘进机械化、系统简单化、采场支护液压化已成为我国煤矿开采的发展方向,并在许多煤矿得到了成功的生产实践;百万吨死亡率由 20 世纪 80 年代的 8~10 降到 2012 年的 0.5 左右;采煤工业有了大的改革,放顶煤开采工艺等已成为我国比较成熟的采煤技术;无煤柱开采大大提高了煤炭资源回收率,同时改变了安全状况;高瓦斯、双突矿井监测监控的系统化等有了实质性的突破;巷道锚、喷、索、网支护不仅降低了支护成本,而且提高了支护效果等,进一步说明了煤炭工业的迅速发展,这有力地保证了国民经济的持续高速发展。

二、煤矿地下开采特点

煤炭开采工作有别于其他工作,它不仅是地下工程,而且安全隐患多,自然灾害复杂,没有保障性的安全生产条件就容易发生各类事故灾害,轻则造成经济、资源损失,重则造成人员伤亡事故。归纳起来地下开采有如下特点:

(1) 煤层赋存条件多样化。水、火、瓦斯、煤尘、顶板等隐患是制约安全开采的重要因素,工作环境取决于煤层的赋存条件。

(2) 工作场所动态化。为了获取煤炭,井下采煤没有固定的工作地点,工作地点随采煤而变化,千变万化的煤系地层状况使得安全条件不易保障。

(3) 生产系统复杂化。井下以采煤为中心,工序复杂,环节多,运输、提升、通风、排水、压风、排矸、通讯、监测等生产系统要进行精心设计,各系统间要周密的协调和配合。

(4) 安全问题突显化。在井下生产的同时,要与可能发生的水、火、瓦斯、煤尘、顶板等自然灾害作斗争。深井开采中还要克服地温、高应力、冲击地压等危害,开采难度大。

(5) 开采条件逐渐恶化。按照煤矿开采的原则、规律和要求,采煤通常是先近后远、先浅部后深部、先简单后复杂、先容易后困难。随着矿井开采深度的增加,隐患增多,成本增大,管理难度大,安全条件要求越来越高,这就迫使煤矿必须不断提高开采技术管理水平。

凡此等等,煤矿开采特点突出,不同的煤层厚度、倾角、顶底板岩性、采煤方法、支护形式、采掘速度、地质构造、开采深度等都有不同的开采特点。不同的开采要素,要制定不同的管理措施,要进行不同开采条件下的深入研究。这是其他工程不可比拟的特殊工程。

三、矿压观测与顶板灾害防治技术在采矿中的作用

我国煤矿在全国分布广泛,各矿自然条件区别很大,若盲目照搬或借鉴邻矿或相邻煤层或本矿浅部的管理经验,由于缺乏安全管理措施的针对性,往往会导致各类事故的发生。加强针对性的管理,就必须摸清不同自然条件下的开采特点及规律,据其采取不同的技术与安全措施,才能实现安全开采。

井下进行采掘之后,由于原有的相对平衡状态遭到破坏,在新的平衡形成过程中,会引起应力的重新分布,甚至岩体的变形或运动。变形与运动的结果会造成岩体的破坏及支护物的损坏,常造成采场与巷道冒顶塌方、支护物折梁断腿,轻则中断生产,重则导致人身伤亡的事故。占煤矿事故总数三分之一以上的顶板事故就是由此而造成的。加强煤矿顶板灾害防治技术的研究,即加强顶板运动监测及支护方式、支护结构、支护强度等的研究,可以为顶板的安全管理提供量化参数。

通过对采煤工作面及巷道“三量”、统计内容、覆岩运动、单体支柱工作面支护质量监测等内容的观测,做好顶板控制设计和支架选型工作,针对直接顶初次垮落和基本顶初次来压、周期来压的步距及强度,制定措施,加强管理,才能防止事故的发生。由此可知,矿山压力观测与顶板灾害防治技术是实现煤炭安全开采、矿井科学管理非常重要的基础工作。

我国煤矿现场矿压观测技术始于20世纪50年代。多年来,随着采矿技术、支护方式的不断改进,现场矿压观测的内容及手段也在不断完善。尤其是矿压观测技术越来越被重视和运用之后,顶板管理技术得到了大幅度的改善,开采方法更加科学,支护方式更加合理,资源回收率明显提高,高产高效矿井不断涌现。这样大大降低了顶板事故的比例,促进了采矿技术的进步,推动了煤矿安全生产的健康发展。

四、矿压观测研究方法的发展

矿压观测即矿压现场研究是矿压三种(现场研究、理论研究、实验室研究)研究手段之一。

我国早在 20 世纪 50 年代中期就开始进行采煤工作面顶底板相对移近量和支柱载荷的观测。20 世纪 60 年代初期结合单体金属摩擦支柱进行了大规模的采煤工作面矿压观测研究。20 世纪 70 年代,我国对回采支护设备进行了更新换代,即以液压支架和单体液压支柱代替木材或金属摩擦支柱,又先后在几百个采煤工作面进行了矿压观测的研究。在此基础上有关学者对我国主要矿区进行了采煤工作面顶板分类方案的研究,提出了我国《缓倾斜煤层工作面顶板分类方案》,为采煤工作面矿压控制和支架选型提供了科学依据。同时对倾斜及急倾斜煤层也进行了一定数量的矿压观测,促进了急倾斜煤层在采煤方法尤其是顶板管理和支护工艺方面的改革。

除此之外,我国还对在一般岩层、松软岩层中的及应用锚杆支护的各种巷道进行了矿压观测,促进了软岩巷道的支护改革和锚杆支护的推广应用。之后,为了配合无煤柱护巷的应用,很多矿井又进行了沿空巷道和跨巷开采条件下的巷道矿压观测,这些成果对于选择合理的巷道位置、改善巷道维护条件、确定合理的煤柱尺寸以及推行无煤柱护巷都起到了良好的作用。为了研究覆岩移动和破坏规律及其对回采工作空间顶板下沉及支架受载的关系,一些矿区在地面打钻,设置深部测点,进行观测研究。为了查明巷道附近煤层及岩体内的矿压规律,利用声波仪、钻孔应力传感仪、钻孔油压枕等仪器探测巷道周围松动圈和岩体的内部应力状态。有些矿区为了解决坚硬难冒顶板的管理、“三下”采煤及开采有冲击矿压、煤与瓦斯突出危险的煤层等问题,采用地音仪进行采空区矿压观测,利用微震仪监测顶板动态,用钻孔电视设备观测岩层移动,以及利用其他地球物理探测手段进行有关的矿压研究等等。通过以上现场矿压观测研究,对减少我国煤矿井下冒顶事故、改善顶板安全状况起到了良好作用,实现了矿压研究直接为煤矿生产服务的目的。

值得强调的是随着矿压现场研究的不断深入,观测方法、内容、手段的不断完善,目前已有上百种国内研制和生产的地下岩体工程测试仪器及设备,同时由单一的机械式扩大到利用光学、电学、声学、磁学等多学科技术的综合应用,观测方式也正在从人工就地读数向遥控或自动监测过渡,并利用计算机进行观测数据的处理分析,使井下矿压观测工作简单方便、快速准确,为矿山压力研究工作创造了更好的条件。

五、本课程与相关课程的关系及其特点

“矿压观测与顶板灾害防治”是继学习“采矿学”与“矿山压力与岩层控制”之后的一门课程,集实用性、综合性、基础性、研究性为一体,主要目的是让学生学会各种仪器的使用,明确各观测内容对顶板安全管理的影响及对顶板管理应采取的措施,初步学会并掌握矿山压力及岩层控制的研究方法,培养学生应用理论知识分析解决煤矿生产中实际问题的能力,为安全管理及继续升学深造奠定基础。

“矿压观测与顶板灾害防治”与“采矿学”、“矿山压力与岩层控制”等课程有着密切的内在联系。“采矿学”这门课是研究井田开拓部署、采煤方法等内容,所解决的问题是井巷工程和采场在岩体空间合理的布置问题;而“矿山压力与岩层控制”是研究井下采掘后岩层变形移动及如何控制等内容,所解决的问题是采掘后引起的支承压力在岩体空间的具体分布问题。因此井巷位置的合理选择必须考虑支承压力的影响程度和范围,岩层控制必须要以服务于安全生产为前提,前者应以后者为条件,后者应以前者为目的。如果说“采矿学”研究的是技术应用问题,那么“矿山压力与岩层控制”研究的就是专业技术基础理论问题。而“矿压

观测与顶板灾害防治”所研究的问题就是为“矿山压力与岩层控制”的研究提供定量的研究依据,所以该课程是采矿工程专业必不可少的一门重要主干专业课程。

“矿压观测与顶板灾害防治”这门课程的特点归纳如下:

(1) 它是基于工程实践的岩层控制理论体系并与工程技术相互交叉、相互渗透的独立分支学科。

(2) 它是集地质、力学、采矿、机械、电气、仪表等学科知识为一体且具有研究意义的课程。

(3) 它提供了摸清矿压规律及其特点的有效方法,对煤矿安全技术管理具有很强的指导性。

(4) 教材中以较大篇幅介绍了顶板事故的原因、机理与防治措施,对煤矿安全生产管理具有实际的指导意义。

(5) 观测结果的应用为采区设计、工作面设备选型、巷道支护方式选择、作业规程编制、事故防治等内容提供了依据。

(6) 它对高地应力引起的冲击矿压的预测预报提供了系统的信息。

同时,教材中还对深井开采的矿压特点、软岩支护方法、顶板事故抢险救灾的原则及方法等内容也作了较为详细的介绍。

第一章 煤矿顶板事故概况

第一节 顶板事故综合分析

一、概述

我国是产煤大国,煤炭产量约占世界产量的40%。由于我国煤层地质条件复杂等原因,煤炭生产百万吨死亡率也是世界上最高的国家之一。因此,我国一直十分重视煤矿的安全生产。尤其是近十多年来,国家多次召开煤炭安全生产会议部署煤矿安全生产工作。经过几年全国上下的共同努力,取得了较为明显的进步,主要体现在以下几个方面:法律、法规、规程、标准等不断完善;监督监察力度不断加大;企业主体意识、依法开采的意识不断提高;安全投入不断增加;从业人员的自我保护意识不断增强;煤炭总体安全形势趋于好转。如2004年全国煤矿发生事故死亡6 027人,平均每天死亡17人;2008年全国煤矿发生事故死亡3 215人,平均每天死亡8.8人;2012年全国煤矿发生事故死亡1 384人,平均每天死亡3.8人;百万吨死亡率逐步下降。但不容乐观的是现在每年煤矿重特大事故时有发生,必须加以重视。从这些事故发生的原因及过程分析可以得出,事故的发生看似具有偶然性,实际上存在着必然性,看似具有突发性,实际上存在着潜在性。只有提高对事故隐患的认识,加大排查力度,才能最大限度地减少和控制事故的发生。

我国煤矿的自然灾害中,顶板事故是煤矿“五大灾害”之一。1950~2003年煤矿各类事故(死亡3人以上)案例统计分析如图1-1所示。

从图1-1中可以看出,瓦斯煤尘爆炸事故次数占事故总数的29.5%,而死亡人数占总死亡人数的52.31%,居各类事故之首;其次是顶板事故,发生次数占事故总数的23.5%,而死亡人数占总死亡人数的8.81%;水灾事故次数占事故总数的12.72%,而死亡人数占总死亡人数的11.28%。由此可见,这三类事故的防治是降低煤矿百万吨死亡率的重点。

若把死亡1~2人的顶板事故统计在内,无论是事故次数还是死亡人数,顶板事故都居煤矿各类事故之首。根据对2001~2003年的事故统计,顶板事故次数占煤矿事故总次数的49.86%,死亡人数占总死亡人数的35.67%。因此,煤矿顶板事故对煤矿安全生产影响很大,加强顶板管理、减少或杜绝顶板事故的发生仍是扭转煤矿安全生产形势的重点工作之一。

二、采煤工作面与巷道顶板事故发展趋势

煤矿顶板事故可分为采煤工作面(采场)顶板事故和巷道顶板事故两大类。从以下的数据分析比较,可以使我们对顶板事故发生的地点、类型、频率和变化特点及加强预防等方面有一个总体的认识。

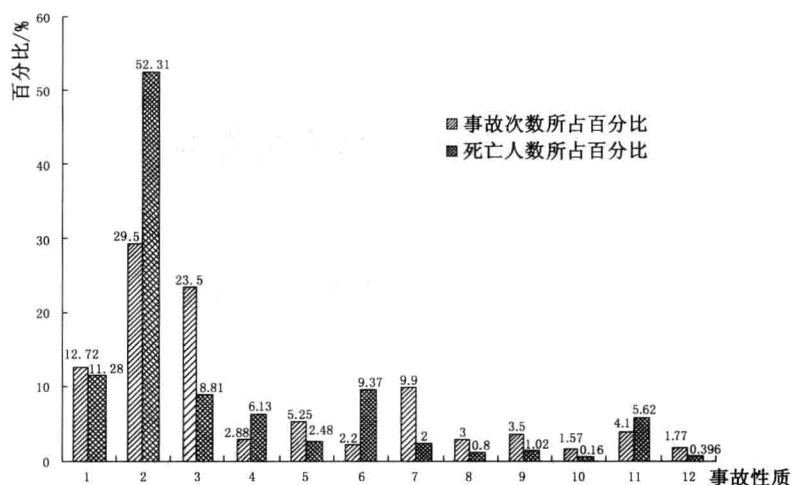


图 1-1 1950~2003 年煤矿各类事故发生起数及死亡人员统计分析

1——水灾事故;2——瓦斯煤尘爆炸;3——顶板事故;4——火灾事故;5——瓦斯中毒窒息事故;6——煤尘爆炸事故;
7——提升运输事故;8——其他;9——自救伤亡;10——机电;11——煤与瓦斯突出;12——爆破

(1) 1954~1985 年期间,顶板事故的死亡人数占总事故死亡人数的 45%。其中,采煤工作面顶板事故占 75%,巷道顶板事故占 25%。

而在采煤工作面顶板事故中:

- ① 按支护类型分:金属摩擦支柱、木支柱占 93%,其他支柱占 7%;
- ② 按顶板类型分:直接顶板事故占 93%,基本顶板事故占 7%;
- ③ 按冒顶类型分:局部冒顶占 70%,大型冒顶占 30%;
- ④ 按地点分:机道、炮道占 26%,放顶线占 15%,上、下出口占 15%,其他地点占 44%。

(2) 1986~1992 年期间,顶板事故死亡人数占总死亡人数的 40%,相比较 1954~1985 年期间的顶板事故死亡人数有所下降,不过事故发生的地点、比例也有较大的变化。其中,采煤工作面顶板事故占顶板事故总数的 66%,巷道顶板事故上升到 34%。

分析认为,工作面顶板事故发生比例下降的原因有:

- ① 依靠科技进步,规程、规范、措施不断完善;
- ② 煤矿企业干部、职工安全意识管理水平逐渐提高;
- ③ 综合机械化开采的逐步应用推广;
- ④ 采煤方法的不断改进,即逐渐由短壁式开采向长壁式开采转变。

巷道顶板事故发生比例上升的原因有:

- ① 为了满足大型矿井生产系统的需要,巷道断面大,服务年限长;
- ② 在掘进和支护过程中,对关键部位(大断面巷道交岔点)的措施不力;
- ③ 随着开采深度的增加,岩性发生变化和矿山压力产生影响;
- ④ 支架的柔度、刚度、结构、支护质量等还不能满足上述三个因素的要求。

其中每年以 12~15 m 的速度延深开采,也是巷道事故上升的主要原因。

三、常见的顶板事故统计

(一) 事故发生的时间与地点

工作面在整个回采期间,重大顶板事故一般发生在两个阶段,即基本顶初次来压阶段和基本顶周期来压阶段。1980~1983年重点煤矿事故统计结果表明,77.4%的顶板事故发生在初次来压阶段,其中71%的顶板事故发生在基本顶来压之前,只有29%的事故发生在基本顶来压时,如表1-1所列。

表 1-1 顶板事故发生的时间

项目	发生事故的时间	初次来压阶段		正常推进阶段(含周期来压)	
		基本顶来压前	基本顶来压时	基本顶来压前	基本顶来压时
各阶段不同时刻事故	次数	17	7	2	5
	比例/%	71	29	29	71
整个推进过程中事故	各阶段所占比例/%	77.4		22.6	
	不同时刻所占比例/%	54.8	22.6	6.5	16.1

周期来压阶段发生的重大顶板事故的比重占 22.6%,这是由于初次来压后基本顶悬梁下沉断裂所致。但初次来压前,采空区跨距大,顶板下沉量相对也大,工作面侧向支承压力和剪切应力都比较大,如不采取针对性措施加强对顶板的支护或切顶线位置的切顶能力,往往容易发生推垮型冒顶事故。尤其是单体支柱工作面,由于支架缺乏较高的支撑力和整体稳定性,来压期间的事故往往较多。

顶板事故发生的位置统计如表 1-2 所列。可以看出,工作面推进距切眼 30 m 范围内,发生的顶板事故占 78.1%,其中距切眼 10 m 范围内,又占到 56.2%。这说明多数事故发生在工作面直接顶初次放顶期间。

表 1-2 顶板事故发生的位置统计

事故发生位置 项目	距开切眼距离			距上下出口距离		
	<10 m	10~30 m	>30 m	上出口 10 m 内	工作面中段	下出口 10 m 内
发生次数	18	7	7	8	8	3
所占比例/%	56.2	21.9	21.9	42.1	42.1	15.8

沿工作面倾斜方向,距上出口 10 m 范围内,发生顶板事故是下出口附近的 2.7 倍,其原因是上出口上侧为采空区且形成了倾斜方向的悬臂梁,下沉较大。下出口下侧则为实体煤,与上出口附近的支撑条件有很大的不同。工作面中段事故量通常较大,主要是因为在工作面较长的跨度条件下,中段顶板下沉量及下沉速度都比较大。若支架支撑力不足或刚性较大,就比较容易压坏支架发生压垮型事故或刚性大、可缩量不足、稳定性差而发生推垮型冒顶事故。

(二) 事故的类型及作用力来源

顶板事故类型统计分析结果如表 1-3 所列。

表 1-3

顶板事故类型统计

项目 \ 作用力来源	直接顶来压	基本顶来压
次数	19	12
所占比例/%	61	39

直接顶初次垮落与基本顶的初次来压及周期来压是采煤工作面整个回采过程中事故发生率较高的三个阶段。由表 1-3 可知,直接顶来压及垮落时发生的事故占 61%,基本顶来压所造成的事故占 39%,所有重大顶板事故都是发生在这三个阶段。因此,降低采煤工作面的事故率,就必须加强这三个阶段的安全管理。例如准确预报直接顶和基本顶来压的步距、时间,提前采取强有力的措施,进一步加强支护强度和特殊的支护方式,达到顶板来压而压不倒、推不垮支架的目的,这样才能避免重大顶板事故的发生。

单体支柱支护的工作面顶板事故类型及力源分析统计如表 1-4 所列。

表 1-4

顶板事故类型及力源分析

作用力来源	直接顶来压		基本顶来压	
项目 \ 类型	次数	比例/%	次数	比例/%
推垮型	15	79	7	58
压垮型	4	21	5	42

由表 1-4 可知,不论是直接顶来压还是基本顶来压,所发生的推垮型事故多于压垮型事故,足以说明支架的稳定性是主要薄弱环节。原因有两点:其一,单体支柱支护缺乏支架应具备的稳定性,可被顶板压力各个击破;其二,支柱初撑力低,工作阻力也不易同顶板压力取得平衡,无法限制顶板的下沉。由于顶板压力及下沉量过大,而发生推垮型事故。基本顶来压时,压垮型事故所占比例达 42%,这类事故一般发生于木支柱及单体金属摩擦支柱等刚度大、可缩量小、易压坏、不适应顶板下沉和顶板压力的条件下。生产实践证明,采用单体液压支柱再配合十字铰接顶梁共同用于顶板的支护,由于初撑力高、可缩量大、整体性强,顶板事故率可大大降低。综采工作面液压支架的应用就说明了这一点。因此,较高的初撑力、工作阻力和较好的支架稳定性是减少事故发生的关键因素。

(三) 事故范围

表 1-5 是通过对 30 多个工作面切顶垮面事故进行的分析而得到的冒顶范围统计。

表 1-5

冒顶事故范围统计

类型 \ 冒顶范围	<10 m	10~20 m	20~30 m	>30 m
次数	5	16	6	5
所占比例/%	15.6	50	18.8	15.6

由表 1-5 可知,绝大多数工作面切顶事故中,发生工作面垮塌的严重事故极少,绝大部分垮面事故的范围都是有限的。除直接顶和基本顶来压可能出现分阶段冒顶事故以外,平时的冒顶事故与工作面的工序间的时空关系,与煤壁片帮、支架接顶质量、顶板局部松脱能否及时控制有密切关系。采煤工序直接影响顶底板移近量及煤壁上方支撑压力的集中程度,特别是落煤、回柱两大工序,会造成顶板剧烈运动以及应力重新分布。若两工序在时间上、距离上无合适的滞后距离,就会引起顶板剧烈活动的叠加,导致不稳定直接顶破裂、破碎或煤壁片帮,增大无支护面积,又使其进一步破坏、脱落等。如在操作工艺、支柱支护和护顶上采取正确的措施,尤其是各工序间要保持合理的滞后距离,避免不同工序同时在同一地点进行,多数事故是可以避免的。

(四) 事故发生的煤层统计

通过对 30 次发生在较厚煤层开采条件下的顶板事故分布情况进行统计分析,得到的结果如表 1-6 所列。

表 1-6 顶板事故发生的煤层厚度条件统计

项目\煤层条件		单一煤层开采		厚煤层开采	
		厚度小于 1.3 m	厚度为 1.3~2.5 m	采顶分层	采底分层
次数		6	12	5	7
同一煤层条件下事故比例/%		33	67	42	58
不同煤层条件下事故率	不同煤层条件下所占比例/%	20	40	16.7	23.3
	薄及中厚煤层所占比例/%	20	80		

由表 1-6 可知,80%的冒顶事故发生在中厚煤层条件下,这是由于顶板活动空间大,顶板的剧烈活动对工作面的安全影响较大;薄煤层的采高小,允许顶板活动的空间小,事故仅占 20%;而开采厚煤层下分层时发生的顶板事故占 58%,其主要原因是工作面顶板质量差,开采下分层时,要么会出现漏冒型事故,要么由于网兜的存在发生网兜拉倒支柱的推垮型冒顶事故。

(五) 煤层倾角对顶板事故频率的影响

在不同的煤层倾角条件下,发生顶板事故的统计分析结果如表 1-7 所列。

表 1-7 顶板事故发生的煤层倾角条件统计

项目\煤层倾角	<10°	10°~20°	>20°
次数	8	4	13
比例/%	32	16	52

煤层倾角是影响支柱稳定性的关键因素,由表 1-7 可知,有 52%的顶板事故发生在倾角超过 20°的煤层条件下,主要原因是煤层倾角越大,顶板沿倾斜方向下滑的分力越大,支柱的稳定性越差。如果支柱没有较高的支撑力,支柱就会因顶板下滑而被推倒,形成推垮型冒顶事故。因此,对于大倾角煤层的开采,要采取特殊的支护措施,如支设架棚、木垛、丛柱等。

对于单体支柱支设,要保持一定的迎山角及尽力提高支柱支撑力。

(六) 复合顶板和人工顶板事故统计

不同煤层倾角、复合顶板、人工顶板条件下的事故统计分析如表 1-8 所列。

表 1-8 不同倾角、复合顶板、人工顶板条件下的事故统计分析

项目 \ 倾角及顶板条件	倾角		顶板	
	>20°	<20°	复合顶板	人工顶板
次数	9	4	7	6
所占比例/%	70	30	53	47

由表 1-8 可知,在 13 次大型推垮型事故中,有 53% 的顶板事故发生在岩性差别较大的复合顶板条件下。复合型顶板之所以常发生推垮型冒顶事故,主要是因为复合顶板是由下软上硬的不同岩层组成,回采后,在顶板下沉过程中,由于强度不同,变形与下沉量不同。一般情况下,软岩变形快、下沉量大,硬岩下沉量小,故由于变形、下沉量及其速度的不同步,往往产生软硬岩层间的离层,顶板暴露面积越大,离层就越严重。如果此时支架初撑力较低,可缩量有限,不能适应顶板的压力及下沉,软岩就会沿煤壁切断,块体一旦失去与周围岩体之间的联系,就成了失去约束的自由块体,连同支柱形成不稳定的结构,从而导致推垮型冒顶事故的发生。复合顶板的复合结构有很多种,一般都赋存于基本顶之下、煤层之上,可能有伪顶、薄煤层或几层软岩层组成的软岩组合结构。但不论结构如何,软、硬岩层相间的变形机理是不变的。所以必须加强对软岩层的支护,提高支护强度和支架的整体性和稳定性,必要时可采用锚固方式将软硬岩层锚固在一起,减少其离层几率,才能大大减少复合顶板推垮型冒顶事故。

由表 1-8 可知,47% 的重大推垮型冒顶事故发生在人工顶板条件下,此类事故多发生于开切眼附近。由于人工假顶胶结质量差,或下分层采用外错式切眼,巷道布置在支承压力的作用范围内,加上上分层回采时铺网不能到位,从而产生压垮、推垮型冒顶事故。另外也和工作面的布置方式、推进方向有关,例如倾斜长壁工作面仰斜推进就容易发生推垮型事故。

(七) 事故发生的支护技术条件

采煤工作面采用不同的支护形式、强度,对顶板事故的发生有很大的影响,采用金属摩擦支柱的工作面事故率占到 66.7%,如表 1-9 所列。

表 1-9 顶板事故发生的支护条件

项目 \ 支护类型	金属摩擦支柱			木棚支护	单体液压支架
	铰接顶梁	木顶梁	合计		
次数	18	2	20	10	0
所占比例/%	60	6.7	66.7	33.3	0

单体金属摩擦支柱工作面之所以顶板事故多,主要原因是金属摩擦支柱初撑力小,可缩量不足,受支柱自身结构限制,刚度有余、柔性不足,与顶板变形、位移及作用力不相匹配,支

护质量难以保证。而单体液压支柱初撑力高,可缩量小,呈恒阻特性,能适应顶板下沉和用力的要求,故很少出现工作面垮面事故。

木棚支护的工作面,顶板事故占 33.3%,这是因为可缩量小,不能匹配顶板的下沉。尤其是复合顶板,其稳定性差,难以实现支护的整体稳定作用,不能很好地阻止顶板沿倾斜方向的运动。在复合顶板条件下,特别是煤层倾角较大时,很容易被直接顶的运动推垮,造成推垮型事故,由于木支柱的初撑力小,柔性不足,在顶板来压时,容易折断受力大的支柱,顶板压力转移且集中到其他支柱上,由于其他支柱承受不了集中应力,就会出现逐个被压断的现象,最后直接顶失去应有的控制而造成压垮型冒顶事故的发生。因此,压垮型事故多数发生在木支柱支护的采煤工作面,且大多是基本顶的初次来压与周期来压造成的。

由支护原理、顶板控制理论和生产实践证明,木支柱和单体金属摩擦支柱在采煤工作面的支护中具有先天性不足和结构性不合理的缺陷,为顶板管理埋下了很多隐患,为顶板事故的孕育、发展和发生创造了条件,应取消这些支护方式。而单体液压支柱初撑力大,稳定性好,可缩量小,具有恒阻性和让压性,可按设计要求保证对顶板的控制,能较好地实现对顶板的“撑得住,顶得紧,让得快”的基本控制要求,这种支护方式应加以广泛推广。

(八) 顶板事故发生的工序条件统计

在工作面回采过程中,对顶板活动影响最大的是破坏应力平衡的工序,表 1-10 为各工序条件下发生顶板事故的统计。

表 1-10 顶板事故发生的工序条件统计

项目 \ 工序	回柱放顶	采煤、支护、移溜	爆破后
次数	13	6	6
比例/%	52	24	24

由表 1-10 可知,回柱放顶引起的事故占 52%,说明工序引起的顶板支撑条件的改变是顶板大面积运动的一个重要因素。不论是煤壁,还是控顶距范围内的支护,尤其是末排支护,在一定的时间段内,压力和支反力是相对平衡的关系。撤除支撑的同时,顶板压力产生应力的重新分布,在这个过程中,由于顶板的活动,有可能会导致各种形式的顶板事故。即使有时是属于操作人员技能或回柱程度等原因造成的,也充分说明其他工序的安全性要比回柱放顶好得多。因此,注意掌握顶板的活动规律和特点,加强矿压观测及工作面顶板状况的勘察工作,采取针对性措施,对防止关键工序导致的顶板事故发生是非常重要的。

综上所述,减少顶板事故的关键在于以下几点:

(1) 加强基础管理工作,进行矿压观测,摸清顶板活动规律,加强预测预报。措施要有针对性,以预防为主,突出治理。

(2) 对不同的煤层厚度、倾角、顶板条件,要正确选择工作面的支护方式、合理设计顶板支护密度和强度,保证“支得起,护得好,稳得住”。

(3) 采用正确的支护手段,应大力推广单体液压支柱滑移顶梁支架和自移式液压支架。