

STUDY ON ROCK BURST PREVENTION AND
GROUND CONTROL IN COAL MINE ABROAD

国外煤矿冲击地压防治 与采掘工程岩层控制

■ 史元伟 齐庆新 古全忠 编译

煤炭工业出版社

国外煤矿冲击地压防治与采掘 工程岩层控制

史元伟 齐庆新 古全忠 编译

煤炭工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

国外煤矿冲击地压防治与采掘工程岩层控制 / 史元伟,
齐庆新, 古全忠编译. --北京: 煤炭工业出版社, 2013
ISBN 978-7-5020-4254-7

I. ①国… II. ①史… ②齐… ③古… III. ①煤矿—冲
击地压—防治—研究—国外 ②煤矿开采—岩层控制—研究—
国外 IV. ①TD32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 137830 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 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 21³/₄ 插页 1
字数 516 千字 印数 1—1 500
2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷
社内编号 7082 定价 58.00 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

内 容 提 要

本书是在深入研究和筛选国外先进采煤国家关于煤矿冲击地压防治、回采巷道和长壁工作面岩层控制方面的先进理论研究和实践成果的基础上，经过精心翻译、整理和修改而成。主要包括：国外冲击地压防治理论与技术，德国煤矿回采巷道岩层控制，美国、英国、法国、澳大利亚和南非煤矿回采巷道岩层控制，德国、美国、俄罗斯和波兰煤矿长壁工作面岩层控制等。

本书不但注重理论知识的呈现，而且重视先进技术、设备和现场实践的介绍，具有很高的理论水平和实用价值，是煤矿工程技术人员、相关研究人员和高等院校师生的重要参考用书。

前 言

本书综合编译了国外先进采煤国家在井工开采条件下关于冲击地压防治、回采巷道和长壁工作面岩层控制方面的研究和技术实践成果。其中，德国、俄罗斯、乌克兰的地质条件与中国很多矿区的地质条件类似。美国、英国、澳大利亚、南非等国的煤矿在冲击地压发生环境方面与我国部分矿区的煤矿相近。

对于冲击地压，德国在深入进行力学分析的基础上，侧重于研发可靠的技术手段（如钻屑法及其优化）和监测仪器；乌克兰在冲击地压发生机理和预测方面有独特的研究；波兰则建立了较完善的冲击地压监测系统及预测防治技术；美国通过采取塑性煤柱、合理布置巷道及科学确定开采顺序来预防冲击地压；加拿大和南非金属矿建立了较完善的监测系统和分析软件；澳大利亚发展了矿震灾害评估预测方法（SHS）。

德国在深部开采技术和巷道岩层控制技术方面处于领先地位，包括：对各类支架（拱形支架和锚杆）在实验室进行全面力学性能试验；对锚杆支护巷道的变形和锚杆载荷进行全面监测；对可伸长锚杆的结构进行研究并开展现场试验；取得了在大断面、深部不稳定岩层中采用多种联合支架的技术经验；普遍推广了巷旁充填和架后充填配套技术与工艺。

美国、英国、澳大利亚和南非等国在巷道岩层稳定性分类、塑性煤柱设计、锚杆支护理论、锚杆支护参数优化、锚杆结构及安装工艺选择等方面较为先进，包括水平地应力对顶板的破坏机制研究、锚杆受载工况研究、主动锚索桁架的应用等。

对于长壁工作面，德国和美国在生产集中化、强力机械化和工作面全面自动化研究方面先行一步，达到了较高的技术水平。俄罗斯和波兰在顶板分类、难垮落顶板预处理，特别是水力定向压裂技术应用，以及支护阻力优化方面取得的成果值得重视。俄罗斯学者提出的工作面覆岩离层极限跨度、初次来压和二次断裂步距的计算方法具有较大的学术和实用价值。美国对近距离煤层开采相互影响有较丰富的研究成果。

他山之石，可以攻玉。我国煤矿处于复杂的地质条件下，且不少矿区已经进入深部开采，所遇到的地质和技术挑战前所未有的。为了实现煤矿安全高效开采，我们应在不断总结自身经验的同时，认真研究国外的先进理论和技术，以少走弯路，努力赶超国外先进水平。

在岩层控制领域，我国工程技术和研究人员的理论水平和研究能力并不逊色，但总体上，在制造工艺、新产品的开发研制和推广及知识产权的保护方面还有待提高。

本书是根据近年来国外关于冲击地压防治和采掘工程岩层控制方向的重要著作和文献编译而成的，参考了《德国硬煤矿井煤层巷道岩层控制》（作者 Dr. Ing. Peter 和 C. W. Stephan 等）等文献资料。陆士良教授在本书编译过程中提供了宝贵指导。另外，国家国际科技合作专项项目——基于自震式微震监测的冲击地压预警技术合作研究（2011DFA61790）为本书的出版提供了资金支持，在此一并表示衷心感谢！

本书的编译工作主要是由史元伟研究员完成的，包括英文、德文、俄文的资料选译、分析等。齐庆新博士重点对冲击地压资料进行了选译、分析，并对全书进行了审查。古全忠博士重点对美国 and 澳大利亚的有关资料进行了收集和选译，并对全书进行了审查。由于我们的专业理论和外语水平有限，本书难免存在一些错误和不足之处，欢迎批评指正。

编译者

二〇一三年六月

目 录

第一章 国外冲击地压防治理论与技术	1
第一节 德国冲击地压防治	2
第二节 苏联和波兰冲击地压研究与防治	26
第三节 美国冲击地压防治技术与实践	43
第四节 澳大利亚、南非和加拿大等国冲击地压防治	60
第二章 德国煤矿回采巷道岩层控制	92
第一节 回采巷道矿压显现与围岩应力分析	92
第二节 回采巷道岩层稳定性分类及支护结构力学试验分析	106
第三节 锚杆作为巷道主要支护及联合支护的应用	123
第四节 回采巷道变形与支架载荷测量技术	153
第三章 美国、英国和法国煤矿回采巷道岩层控制	165
第一节 美国煤矿长壁开采巷道围岩控制研究	165
第二节 美国煤矿长壁开采系统巷道支护	178
第三节 英国和法国煤矿巷道支护	199
第四节 改善锚杆安设工艺试验研究	210
第四章 澳大利亚和南非煤矿回采巷道岩层控制	216
第一节 澳大利亚煤矿回采巷道岩层控制	216
第二节 南非煤矿回采巷道岩层控制	241
第五章 国外煤矿长壁工作面岩层控制	257
第一节 德国深部开采工作面岩层控制	257
第二节 美国长壁工作面岩层控制	277
第三节 俄罗斯长壁工作面岩层控制研究与实践	304
第四节 波兰长壁工作面岩层控制	329
参考文献	336
作者简介	339

CONTENTS

1	Rockburst Prevention and Control in Mines Abroad	1
1.1	Rock burst prevention and control in Germany	2
1.2	Study and monitoring and Prevention of Rockburst in Soviet Union and Poland	26
1.3	Practices of Rock burst prevention and control in the USA	43
1.4	Rock burst prevention and control study in Australia , South Africa and other countries	60
2	Mine Entry Strata Control Technology in Germany	92
2.1	Analysis of ground pressure in entries	92
2.2	Stability classification of surrounding rock and mechanical test and analysis of support structure	106
2.3	Application of bolts as major support and steel set in entries	123
2.4	Monitoring of entry deformation and loading on rock bolt	153
3	Ground Control Technology in America, England and Other Countries	165
3.1	Study on the surrounding rock control for Longwall Entries in the USA	165
3.2	Entry support technology in the USA	178
3.3	Entry support in England, France and other countries	199
3.4	Study on bolt installation improvement	210
4	Ground Control Technology in Australia and South Africa	216
4.1	Ground control technology in Australia	216
4.2	Ground control technology in South Africa	241
5	Longwall Ground Control	257
5.1	Ground control technology and development of deep longwall face in Germany	257
5.2	Longwall face ground control technology in the USA	277
5.3	Longwall face ground control study and Practice in Russia	304
5.4	Longwall face ground control in Poland	329

第一章 国外冲击地压防治理论与技术

本章介绍国外冲击地压防治理论和技术的成果。各国根据自己的地质技术特征，选择了不同的技术途径。

德国在理论和实验的基础上，制定了以钻屑法和卸压钻孔为核心的冲击地压防治法规，并推广应用。同时，又研制了多种监测仪器作为辅助手段。其首创的钻屑法实验室三维模拟，对了解冲击地压发生机理有重要参考意义。

乌克兰和俄罗斯学者对冲击地压的发生机理有独到的研究，提出了一系列预测指标和防治途径，如实行无煤柱开采设计、开采解放层、弱化顶板和卸压，以及在回采工作面通过控制煤层的脆性破坏过程来预防冲击地压，并利用冲击地压的能量割煤等。

波兰发展了冲击地压的监测和评价技术，方法包括监测评价法、应力分析法和矿山压力与地质评价法，研究内容包括岩层运动规律研究、动力现象预测、断层和地质构造分析、钻屑法等。冲击地压的防治原则是：预防为主，综合防治。防治分为长期和短期两个阶段。

美国东西部矿区防治冲击地压的基本途径均是优先采用两巷塑性煤柱系统。多煤层开采中通过改善巷道布置和开采顺序，避免引起应力集中，例如选择合理开采方向、避免孤岛煤柱等。

美国学者对有色金属矿山（如科达伦矿区）冲击地压防治进行了深入研究，研究内容包括该矿区三种类型的冲击地压（应变冲击、矿柱冲击和滑移冲击）的发生机理和条件。防治冲击地压的主要技术措施包括改善支护、卸压爆破、减缓工作面推进速度等。其战略方法是改善开采设计，包括首先开采无冲击危险的煤层、充填采空区、避免保留小煤柱、上行开采等。

澳大利亚东西部矿井都安装了矿震监测系统。实践和分析认为，地应力与开采引起的附加应力叠加形成的高应力是引发冲击地压的主要因素。同时，地质构造特征在能量释放、引起微震事件和冲击地压破坏方面起着重要作用。提出了推广使用微震监测系统和实施三个步骤的防治战略，定量评估和应对冲击地压和微震事件的风险。最佳的风险控制技术包括改善支护技术、改变爆破工艺、调整开采方法等。

澳大利亚西部矿井研发了矿震危害评价尺度（SHS），可预测近期的冲击地压和其危害等级，有较强的实用性和科学性，值得重视。

南非金矿开采深度已达 2.5~4 km。研究表明，任何开采引起的矿震几乎都与工作面爆破采矿活动耦合。研究表明，减少冲击地压事故的途径是减少采矿引起的能量释放，如采用部分采出、充填采空区、沿矿脉走向保留矿柱、改善支护系统、预爆破处理等技术。

南非与日本提出了 5 年合作研究项目“缓减矿井地震危险的观测研究”，研究内容包括完善矿震监测系统、加强近震源观测、研究岩体力学性质和地震产生的机制，以提高对矿震危险的评估水平，减小深井和高应力区地震危险。

加拿大研制了可靠、高效的全波形矿震监测系统。矿震监测技术成为在开采影响下岩

体工况特征的远距离接收和分析工具。利用先进软件进行数据分析，包括绘制破坏区的极点分布，确认矿震活动与地质构造的关系。通过分析矿震能量在P波（纵波）和S波（剪切波）之间的分配，来评估参与微震源的剪切与非剪切变形组分的比例，从而评估推进中的工作面的围岩破坏类型。

本章也介绍了挪威学者关于地下工程（主要是隧道）岩石破坏准则的研究成果。其表征岩体强度的岩体指数（ RM_i ）可以直接用于岩体稳定性分析。以 RM_i/σ_0 表示的强度因子可以判断巷道周围某处是否过载。

第一节 德国冲击地压防治

一、德国冲击地压发生和研究概况

德国鲁尔矿区冲击地压发生较多。1910—1978年有记载的冲击地压共发生了283次。该矿区煤层抗压强度10~20 MPa，开采深度590~1100 m，85%的冲击地压发生在采深850~1000 m，最大抛出货量达2000 m³。随着开采深度的增大，冲击地压的防治任务更加艰巨。

多年来德国在防治冲击地压方面进行了深入研究，制定了严格的法规，冲击地压灾害事故显著减小。1995—2005年冲击地压事故发生次数如图1-1所示。

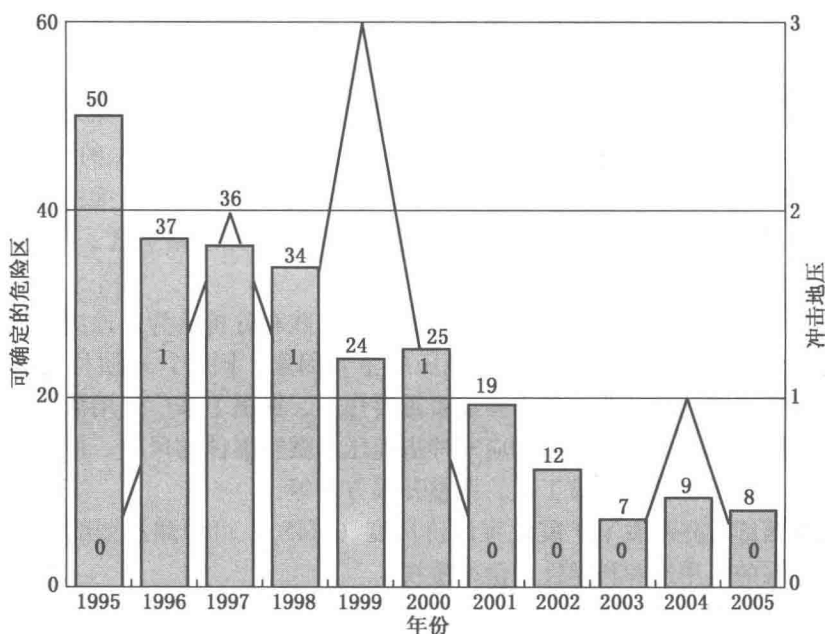


图1-1 冲击危险区（框图）和冲击地压事故历年发生次数（折线图）

1. 冲击地压的概念

1) 按工程结构破坏程度分类

冲击地压是采掘空洞围岩积聚的弹性变形能的突然释放，常导致围岩抛射、工程结构

破坏,甚至人员伤亡。抛出的岩石可来自底板、两帮和顶板。根据工程结构破坏程度可将冲击地压分为3类。

轻型:采掘工程结构轻度损坏,可以在不停产的情况下对工程结构进行修理。

中型:工程结构损坏严重,部分支架、构件完全破坏,巷道断面缩小,一般需要中断生产。

重型:工程结构已经破坏,必须更换新的支架,并影响到其他工程结构。

冲击地压一般会造成人员伤亡,但分类不应涉及是否有人员伤亡。轻型冲击地压也可能引起人员伤亡,而重型则未必发生,关键是看发生事故时人员是否在场。重型冲击地压如图1-2所示。煤层从两侧向中间同时抛出,并伴随瓦斯突出(20 h内突出 40000 m^3),巷道仍有残余断面。

在图1-3中,左图是煤层巷道发生中等冲击,右帮煤体抛出近2 m,支架严重变形。右图属于轻型冲击,回采工作面煤壁向刨煤机通道突进0.6 m,输送机向第一排支架挤压。

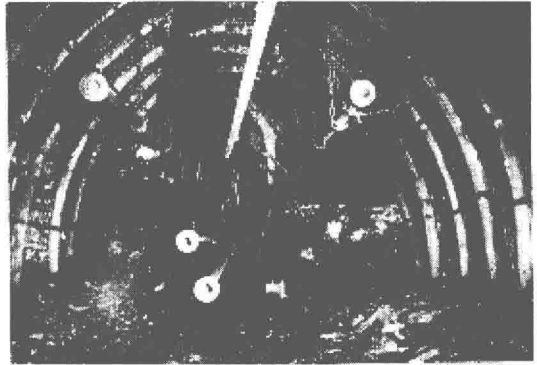


图1-2 在鲁尔矿区Ida煤矿发生的冲击地压(采深950 m)

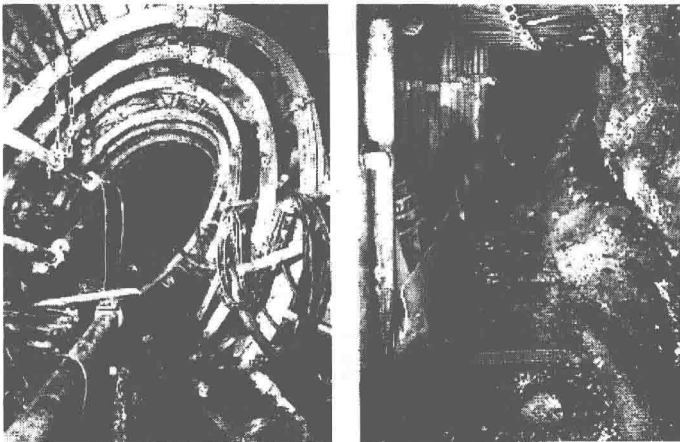


图1-3 中型冲击地压(左)和轻型冲击地压(右)

图1-4中,上部煤层厚度为3.5 m,由于断层向下错动8 m,在构造应力影响下,底板岩石向回采巷道底板突然拱起。

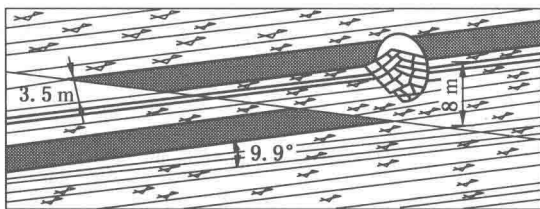


图1-4 回采巷道底板发生的岩石冲击(采深1100 m)

2) 冲击地压与矿山地震(以下简称“矿震”)

矿震是因采矿活动中岩层的卸压而引起的可以感知的岩层震动。人在井下和地面可以感知,有时则是借助于地震监测系统测出。其发生频率远高于井下发生冲击地压的频率。矿震大多是岩层受采矿影响的反应,理论上属于弹性范围的卸压反应,一般可以通过地震监测站确定矿震发生的位置。

矿震烈度一般采用 LOKAR 地震值 (M_L) 表征,它与地震能量 W 的关系按下式表示:

$$\lg W = 4.8 + 1.5M_L$$

LOKAR 地震值与能量 W 的关系见表 1-1。

表 1-1 LOKAR 地震值与能量 W 的关系

M_L	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	2.8	3.0	3.4	4.0	5.0
W/J	2.0×10^6	3.9×10^6	1.1×10^6	6.3×10^7	3.5×10^7	1.0×10^8	2.0×10^8	7.9×10^8	6.3×10^9	2.0×10^{10}

每次冲击地压均会引起矿震,但轻型甚至中型冲击地压引起的矿震很弱,地面的地震监测站有时也难以监测到。

在鲁尔矿区,从 1935—1939 年发生的 1941 起矿震事件中,有 1264 起与冲击地压有关。从 1981—1989 年,鲁尔矿区记录的冲击地压事件共 22 起,而矿震事件有 5158 起,见表 1-2。

表 1-2 鲁尔矿区冲击地压与矿震事件(1981—1989 年)

年份	冲击地压事件				矿震事件			
	合计/起	中型/起	重型/起	最大震级	合计/起	震级大于 2 的事件/起	震级大于 2.5 的事件/起	最大震级
1981	1			0.7	657	51	3	2.8
1982	5			1.7	987	52	6	2.8
1983	3		1	3.0	517	45	6	3.0
1984	7	2		2.4	613	11	1	2.8
1985	2	1	1	2.5	476	13	2	2.9
1986					501	26	4	2.9
1987	2	1		2.3	477	34	1	2.5
1988	2	1	1	2.9	471	32	2	2.9
1989					459	19	2	2.7
总计	22	5	3		5158	283	27	

由表中可以看出,1983 年发生的最大冲击地压事件 ($M_{Lmax} = 3.0$) 与 1988 年发生的最大矿震事件 ($M_{Lmax} = 2.9$) 相关,其他较强的矿震事件与冲击地压并不相关(1986 年未发生冲击地压事件,却发生了 2.9 级矿震,这可能是特例)。一般来说,冲击地压与矿震存在以下紧密关系:

- (1) 所有重型和中型的冲击地压和绝大多数轻型冲击地压均同时记录有矿震。
- (2) 冲击地压愈强,矿震级别愈高。

实例如下:

①发生重型冲击地压事件 3 起, 矿震级别分别为: 2.5、2.9、3.0。

②发生中型冲击地压事件 4 起, 矿震级别分别为: 1.6、2.3、2.3、2.4。

③发生轻型冲击地压事件 15 起, 矿震级别为: 0.7~1.8。

有些轻型冲击地压不会对地表产生影响, 例如仅抛出 2~4 m³ 煤块至巷道空间。

3) 冲击地压和煤与瓦斯突出

(1) 显现特征。

煤与瓦斯突出是在含瓦斯煤层的应力超过其强度极限时发生的指向采掘空洞的快速流动或抛射现象。气体主要是矿井瓦斯, 有时是二氧化碳。破坏的煤块, 可以像液体一样随时间流动, 有些情况下甚至将附近的重型设备抛射出去。较大的突出, 可能抛出的煤量达数千吨; 较小的突出, 仅有部分煤块抛出。突出的气体, 最多时可达 100000 m³, 较少的仅 1000 m³。发生煤与瓦斯突出的煤层, 一般含有较多的气体, 例如 9 m³/t 以上。当瓦斯达到 20 m³/t 或以上时, 应视为危险煤层。煤层的强度低于围岩, 其强度低的原因之一是受构造弱化。此外, 煤与瓦斯突出常常是在冲击地压发生的同时发生, 即冲击地压首先发生, 而突出是伴生的。在鲁尔矿区, 最大的瓦斯突出是伴随冲击地压发生的, 如图 1-2 所示。

煤矿最大的瓦斯突出发生在钾盐岩层中。1953 年在德国中部的 Kalsaz 煤矿发生了 100000 t 钾盐和 100000 m³ 瓦斯突出。突出是在人行道的切口进行爆破时发生的。突出危险带在钾盐岩层中呈不规则分布。图 1-5 显示了盐岩与瓦斯突出的过程。

在巷道或工作面前方高应力区存在含有高压而有突出危险的岩层带, 当巷道或工作面推进到与其相遇时, 形成了高压盐岩与瓦斯释放的通道, 从而引发链式反应, 直至盐岩与瓦斯向自由空间突然抛射。

有些煤矿的瓦斯突出危险来自砂岩层。当砂岩层的空隙率超过 10% 时就可能形成危险层。测定表明, 这些空隙内的压力超过 7 MPa。这些区域成为瓦斯突出的危险区。

(2) 区别。

冲击地压和煤与瓦斯突出两种动力显现的主要区别如下:

冲击地压: 主要是弹性能的释放, 破坏很剧烈, 震动较强烈; 煤保持大块之间的连接; 发生地点在后退式巷道侧帮。

瓦斯突出: 主要是瓦斯能的释放, 破坏较慢, 震动较弱; 含瓦斯的煤或岩石抛出; 煤从大块变为碎粉; 发生在推进中的煤壁 (巷道端头或工作面)。

(3) 煤与瓦斯突出的数值模拟。

模拟表明, 煤与瓦斯突出的条件之一是瓦斯含量很大的软煤处于高应力区且被夹持在硬煤之间。当工作面推进使硬煤厚度减小时发生突出, 如图 1-6 所示。

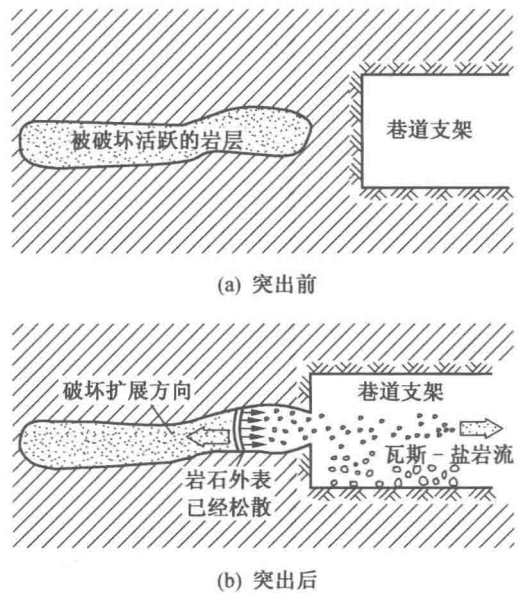


图 1-5 盐矿发生瓦斯突出机理

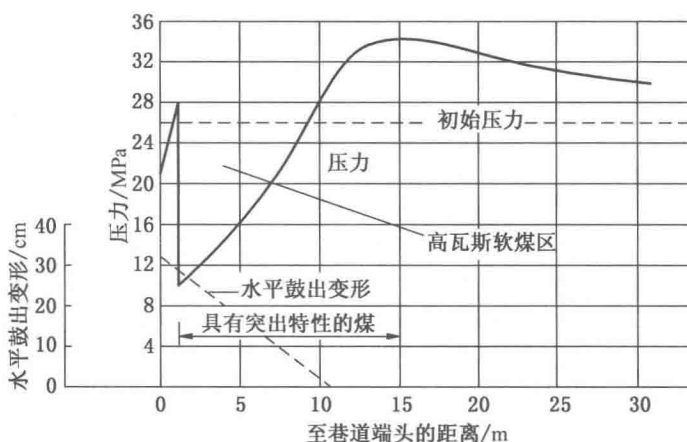


图 1-6 煤与瓦斯突出煤层的支承压力分布与煤层水平推移

图 1-6 是这种情况的定量模拟结果之一。图中，近煤壁的第一个压力峰值是硬煤形成的；第二个压力峰值为 34 MPa，距煤壁 17 m。该处软煤区已处于极限应力区，其黏结强度与岩层压力和气体压力相比过小，随着煤壁推进，失去平衡而喷发。通过打煤层卸压钻孔，可以将软煤中的气体压力释放，从而可避免突出发生。

2. 冲击地压发生条件的力学分析

对发生冲击地压矿区进行测定的结果表明，引起冲击地压的主要常规力学参数为：未开采前岩层的应力；破坏前后岩体的力学特性；岩体的弹性常数，特别是弹性模数。

岩层中的瓦斯和液体压力应在岩体强度的分析中同时考虑。岩体的绝对应力可以采用多种方法测定，特别是应力解除法。

1) 未开采岩体的应力

测定表明，在地质构造运动过程中，形成了水平应力高于岩层重量形成的垂直压力。在北欧、中欧、北美和南非的测定成果表明：

- (1) 岩层的垂直应力基本上接近于岩层重量形成的压力，且偏差不大；
- (2) 最大应力并非总是垂直应力或水平应力；
- (3) 水平应力并非各方向均等；
- (4) 在同一地点，水平应力大多等于垂直应力的 0.5~3 倍。

实测表明，水平应力与垂直应力的比值变化范围很大，为 0.3~11.5。

图 1-7 中的阴影线是地表以下 3000 m 内测定的平均比值的区间。

德国鲁尔矿区的测定表明：最大水平应力垂直于断层，为 34 MPa；最小水平应力平行于断层，为 18 MPa。

2) 采掘工程周围附加应力

采掘工程周围形成的支承压力是由覆盖层压力与采掘工程产生的附加应力构成的。德国在工作面前方回采巷道安设钻孔液压枕，检测、记录随工作面推进液压枕压力的变化，将记录的压力减去安装时的初压力（初撑力），即获得工作面前方附加垂直压力。三个煤层工作面前方的附加应力分布如图 1-8、图 1-9 和图 1-10 所示。

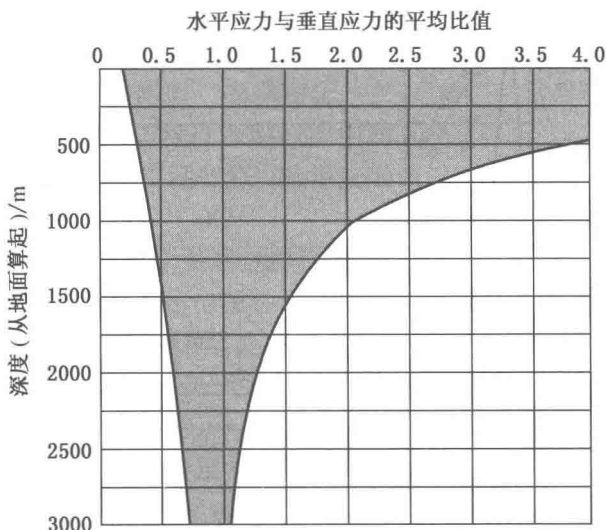


图 1-7 水平应力与垂直应力的平均比值的变化区间(阴影线是主要测量成果)

图 1-8 中,煤层厚度为 1.1 m,开采深度为 1350 m,该工作面的相邻工作面尚未开采,也未受到邻近煤层开采的影响。顶板为厚度 8 m 的无节理砂岩,底板为致密砂页岩。工作面日推进 1.6 m。最大垂直应力 31 MPa,处于回采工作面前方 3 m 内。此煤层具有煤与瓦斯突出倾向,曾采用煤柱注水和钻孔卸压等措施。

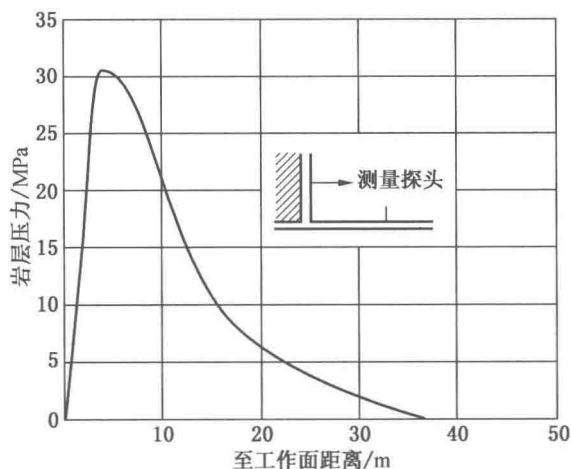


图 1-8 Anthracite 煤层工作面前方附加压力分布

图 1-9 显示了 Gustav 煤层工作面前方实测附加应力分布。该煤层厚度 2.1 m,开采深度 900 m,顶底板围岩为页岩。液压枕从工作面前方 65 m 处开始测量压力变化。工作面前方 23 m 附加压力迅速增大。压力峰值 40 MPa,处于回采工作面前方 3 m 处。与覆盖

层压力叠加，总支承压力峰值为 63 MPa。

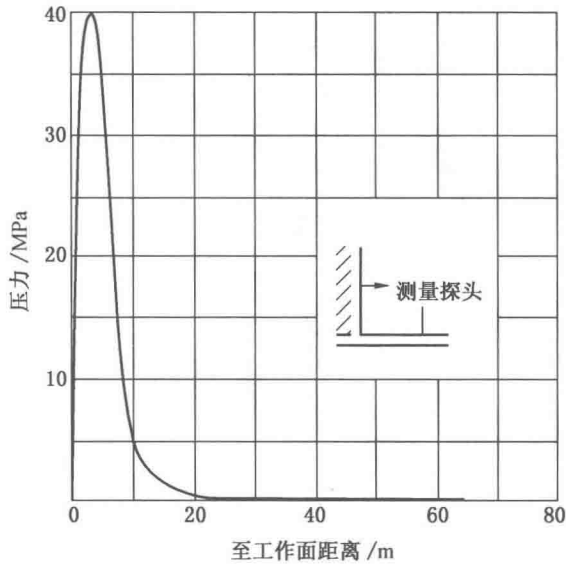


图 1—9 Gustav 煤层工作面前方实测附加应力分布

图 1—10 中，工作面开采深度为 860 m，煤层厚度为 1.6 m。图中显示了不同的附加应力分布。在测量位置 7，最大应力峰值 40 MPa，距煤壁 5 m（相当于 3M，M 为采高），如果考虑两倍的覆盖层压力（理论分析解，巷道周边的切向正应力为两倍覆盖层压力），此处的总支承压力为 83 MPa。而测量位置 5 测得垂直应力为 26 MPa，且应力峰值距工作面煤壁 40 m。该工作面顶板为厚砂岩，有冲击倾向。曾进行过钻孔监测和钻孔卸压。测量位置 7 处于冲击危险区，而测量位置 5 则无此危险。

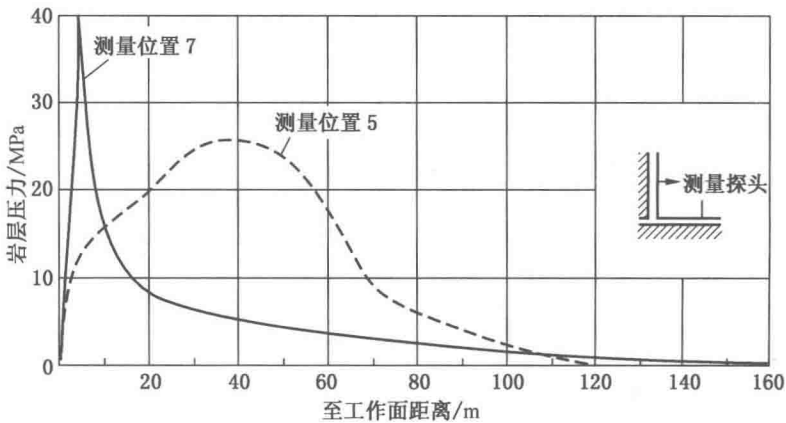


图 1—10 Sunshine (阳光) 煤层工作面前方附加应力分布

3) 巷道围岩破坏特征

当巷道掘进和支护后，围岩开始变形，如果应力超过围岩强度，变形将继续向围岩深

部延伸,并形成松动破坏区,如图1-11所示。巷道围岩从各个方向压向巷道周边,直至弹性围岩径向压力低于松动破坏区形成的阻力,变形停止。在径向压力减小的过程中,形成弹性变形圈(图中的外阴影线),而松动圈的压力和扩容变形由巷道支架承担。

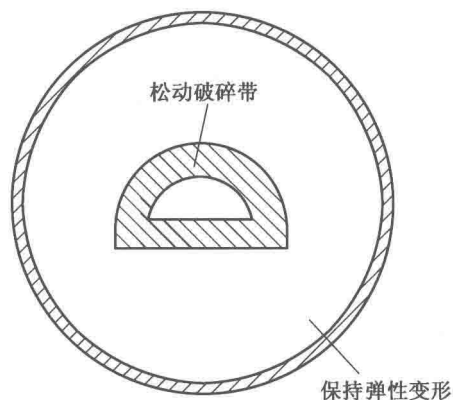


图1-11 巷道周围的封闭破坏圈

中等强度的岩石和软岩,这个变形过程较缓慢,可持续数周、数月甚至一年以上。但脆性岩石破坏发展很迅速,常常是不稳定的,甚至是冲击式的,以致出现冲击地压或煤与瓦斯突出。图1-12和图1-13为这两种破坏的实例。

图1-12为围岩中等强度的煤层巷道,巷道顶板断裂,底板折起,两帮鼓出,但过程平缓,形成巷道残余断面。

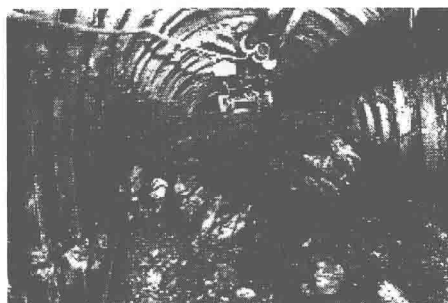


图1-12 巷道底板鼓起的渐进式破坏



图1-13 底板和煤层在短期内鼓出

图1-13显示了一种在数小时直至一天内发生的少有的很大变形破坏的过程。巷道底板在24 h内鼓起0.8 m,而此后的27天内增加了1 m,巷道两帮鼓出0.5 m,巷道底板主要是厚度2 m的页岩折曲鼓起。

二、冲击地压的发生条件

1. 冲击地压专家布劳依那的观点

在数值模拟计算、实验室试验和现场观测研究的基础上,德国著名学者布劳依那认为:

(1) 冲击地压经常发生在顶板近煤层的坚硬厚岩层中,且其处于开采支承压力区条件下。

(2) 冲击地压经常发生在割煤过程中,或在此后很短的时间内。这个过程中,围岩应力变化很快。

(3) 德国鲁尔矿区烟煤煤层,从气煤到瘦煤,在足够的岩层压力下几乎都会发生冲击地压。这与鲁尔矿区的围岩有关,因为大部分煤矿围岩均为厚层砂岩,它参与了弹性能集聚和释放过程。

(4) 导致岩体破坏常见的3种载荷类型:

①静载荷:静载荷形成的应力远大于抗压强度,这种情况出现在附加应力显著增大