

Ground Control Failures

a pictorial view of case studies

岩层控制失效 案例图集

[美] Syd S. Peng 著

柏建彪 译

王作棠 审校



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

Ground Control Failures

a pictorial view of case studies

China University of Mining and Technology Press

策划编辑 于广云 责任编辑 马跃龙 万士才 封面设计 肖新生

ISBN 978-7-5646-0494-3



9 787564 604943 >

定价: 80.00 元

Ground Control Failures: a pictorial view of case studies

岩层控制失效案例图集

[美] Syd S. Peng 著

柏建彪 译

王作棠 审校

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书译自美国采矿专家 Syd S. Peng 院士的著作 *Ground Control Failures; a pictorial view of case studies*。书中主要介绍了美国一些煤矿岩层控制失效的案例分析和总结,大部分是美国煤矿的实例,在叙述中使用了大量现场观测照片进行说明,同时又进行了一些理论总结与分析。内容包括:煤柱失稳、冒顶、顶板断裂、顶板锚固、煤层群开采、底鼓、长壁开采等。

本书可供从事矿山岩体控制方面工程技术、管理、设计、科研人员阅读参考,也可供高等院校相关专业师生教学使用。

江苏省版权局著作权合同登记号:第 10—2009—069 号

Ground Control Failures

By Syd S. Peng

© Syd S. Peng, 2007

Department of Mining Engineering

College of Engineering and Mineral Resources

West Virginia University

P. O. Box 6070

Morgantown, WV 26506-6070

USA

First published in Chinese by China University of Mining and Technology Press(2009)

© China University of Mining and Technology Press, 2009

图书在版编目(CIP)数据

岩层控制失效案例图集/(美)彭(Peng, Syd S.)著;

柏建彪译.—徐州:中国矿业大学出版社,2009.12

书名原文:Ground Control Failures;a pictorial
view of case studies

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0494 - 3

I. 岩… II. ①彭…②柏… III. 煤矿开采—岩层移动—
控制—案例—图集 IV. TD325-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第173887号

书 名 岩层控制失效案例图集

著 者 [美] Syd S. Peng

译 者 柏建彪

策划编辑 于广云

责任编辑 马跃龙 万士才

责任校对 李 敬

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 890×1240 1/16 印张 14.5 字数 415 千字

版次印次 2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

定 价 80.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

译者的话

本书作者 Syd S. Peng(中文名字彭赐灯)博士是美国西弗吉尼亚大学采矿工程系著名教授、美国工程科学院院士。美国工程科学院对彭教授入选院士的评价是“开发现代长壁开采方法、采矿地层控制、地表沉陷控制技术的带头人”。他发表了 320 余篇学术论文,出版了采矿界倍受推崇的《长壁开采》(*Longwall Mining*)、《煤矿岩层控制》(*Coal Mine Ground Control*)、《地表沉陷工程》(*Surface Subsidence Engineering*)等 3 本学术专著;发起并主持的每年一次的国际采矿岩层控制学术会议已走过二十余年的光辉历程。在三十余年的采矿工程科研及教学中,彭院士对这些关键采矿技术领域的理论与实践都做出了开创性的巨大贡献。

在美国做访问学者期间,我有幸结识了彭院士,并拜读了其著作 *Ground Control Failures: a pictorial view of case studies*。书中图文并茂,生动形象地展示了各个案例中岩层变形破坏过程,无论是岩层控制技术还是研究思路方法方面都值得我们学习,遂向彭院士提出将其译为中文的想法,彭院士欣然应允,并给予了极大支持和鼓励。

本书包含了彭院士在三十余年中调查的几十个案例,主要内容包括煤柱失稳、冒顶、顶板锚杆失效、底鼓、煤层群开采以及长壁开采条件下岩层失稳破坏等。每个案例在描述工程地质以及开采技术条件的基础上,对岩层破坏失稳现象及其防治措施、防治结果进行了详细说明。在某些案例中,对推荐补救措施的实施效果也做了进一步的跟踪调查。本书所提供的众多案例,为岩层控制调查分析提供了优秀典范。书中采用了大量井下实地拍摄的彩色照片,增强了视觉效果,并且对每一个照片都做了注解,生动形象地再现了案例发生过程。在我国,随着采深的加大以及开采条件的恶化,巷道围岩控制问题亟待解决。鉴于此,翻译过程中,保留了有关巷道围岩控制的案例,而舍去了涉及有关采场(回采工作面)方面的岩层控制案例。本书的出版将对我国岩层控制实际问题的解决起到积极的借鉴作用。

全书翻译工作由柏建彪教授负责译编、王作棠教授负责审校。翻译过程中得到了肖同强、许磊、张永杰、李文峰、刘洪林、李磊等同志的热心帮助,感谢他们百忙之中所给予的大力支持;感谢王作棠教授等译校人员所付出的辛勤汗水。

由于水平有限,译文中的错误和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

柏建彪

2009 年 12 月

前 言

什么是岩层控制失效?

在回答这个问题之前,我们首先要了解岩层控制及其失效的定义。岩层控制是一门研究采动岩层运移规律及其控制方法的科学,或简单地说,是一门在采矿活动过程中应用岩石力学原理的科学。

在岩石力学中,岩石屈服失稳是指当岩石材料应力场达到既定屈服准则条件时所发生的破坏现象。因此,岩层控制失效是指与采矿活动及其安全、高效生产所采用的岩层控制工艺相关的岩层失稳现象。岩层失稳包括巷道失稳、地表沉降和边坡失稳,而岩层控制工艺失效则包括顶板支护的材料、设备及其支护方法理念等的失败现象。

在岩石力学中,所有的屈服准则都是基于均匀的、各向同性的、连续材料发展而来的。因此,当采用屈服准则预测岩层失稳时,屈服强度和模式能够被相当准确地预测。但是,受采动影响的岩层状态事先并不清楚,此外,它们很少是均匀的和各向同性的,而且其状态还时常发生变化。因此,岩层失稳准则的应用是很复杂的,会经常发生预测失败的情况。对于研究者和工程人员来说,解决这种困难最常用的方法就是忽略细节,只着眼于整个趋势。例如,当一个人提到顶板断裂时,他(或她)的真正意思是什么呢?在本书中附图说明了顶板断裂发展的各个阶段和各种形式。如果采用同样的失稳准则对其进行判定,又是什么造成了这种不同?

过去 33 年中,作者致力于 200 多个井下岩层控制案例的研究,包括顶板断裂、底鼓、矿柱失稳、顶板锚固、支架以及其他形式的永久支护和冒顶。作者出版过多部关于上述各种案例研究的专著。我记得很清楚的一件事是我论文的一些读者并不相信我描述的是地下看到的真实场景。进一步说,不同形式和阶段的破坏失稳发生在相似的环境下(例如,在同一矿井中或者是同一采区),而这些在论文中是很难详细地描述的。显然,在我看来,对于某些井下岩层控制失效形式,许多研究人员或现场从业人员是从未见过的或者说对于这些现象并没有一个清晰的概念。许多煤矿工人只在一个或少数几个矿工作过,并没有意识到在别的矿上还有其他的破坏失稳类型。这就是我出版这本书的最主要的原因。遗憾的是,大多数情况下,出于对安全生产的考虑井下是不允许拍照的;而作为一个业余摄像师,我在井下拍摄的许多照片的质量并不是很好。因此,在本书中,我选择介绍了一些更具代表性的案例。在每个案例中,在开始部分就标明发生的年份,这样案例发生时环境和技术背景都能够体现出来;以开采和地质条件为开端进行介绍,随后进一步描述岩层控制问题,最后尽量给出一些建议措施及其实施效果。为了研究所采取的补救措施是否有效,我们对其中的一些案例进行了跟

踪调查。显然,与发生在 20 世纪 90 年代和 21 世纪初的案例相比,发生在我职业生涯早期(20 世纪 70 年代至 80 年代)的案例并没有得到很好的描述。这表明在过去的 33 年中我对岩层控制失效的理解是不断深入的。而对于后来发生的许多案例,我都给出了详细的描述。在这些案例中,破坏程度和类型随着同一矿井的不同位置 and 不同时间而发生变化。挑出它们中的任意一个案例,通过计算机建立模型或进行支护设计或以此来确定补救措施,并且认为这些措施适用于同一结构的其他位置或者同一矿井(或采区)的其他位置,这都是不合理的。因此,我希望在我对于同一案例的拍摄的不同部分的照片中,各种失效形式会有助于复杂困难条件下岩层控制新思想和方法的提出。另外,我也希望这本书能够为失效案例如何进行井下观测做一个榜样。遗憾的是,大部分案例都没有定量的地质力学数据,而只是以采用简易观测得到的数据作为主要分析依据的来源。这是因为当事故发生时,煤矿企业总想尽快找到问题的根源。

本书中的许多案例涉及一些小型煤矿或者大型煤矿企业。小型煤矿是指那些采用 1~3 套连续采煤机系统进行房柱式开采的煤矿。对小型煤矿调研很容易,只要几个小时就能够完成。任何矿井设计与岩层控制技术都能够很快地被实施,而且,一般在几个月后就能知道实施结果。由于地质和开采条件复杂,以及各地区矿业安全与健康管理部门执行标准不同,加之缺乏岩层控制专业人员,在小型煤矿中,存在很多岩层控制失效的案例,而这些案例可以用来证实各类岩层控制理论和设计的有效性。许多案例的经验表明,煤矿设计和岩层控制措施在小型煤矿中实施比那些采用长壁式开采法的矿井更为方便、迅速。

采矿过程中失效的概念通常与安全或生产或两者都有联系。那种对于矿工来说安全而从生产角度来说却不经济的情形也被认为是一种失效。每个矿之间,有时甚至是每个井田之间,由于采用方法措施不同,岩层结构的破坏失稳过程存在许多发展阶段,因此,对失效的定义和理解对于不同的人 and 矿井是有差异的。因此,作者希望通过本书中对不同种类失效案例的收集整理能够有助于对岩层控制失效形成统一认识。

失稳破坏可能会突然发生,也可能是缓慢的,或者随时间变化,或者在其发展过程中突然停止。为什么会存在上述现象?本书用图例的形式解释了各类失稳的形式及其各发展阶段,例如,顶板断裂、冒顶等。但对于这些现象我都没有明确的答案。因此,我在本书中呈现出来,希望感兴趣的读者自行去进一步探索相关问题的答案。

有必要指出的是,本书中似乎有许多重复和相似的照片。而实际上,它们并不相同。正如我前面所说的,在地下矿井中有很多不同的失稳破坏形式。本书的目的仅仅是记录这些现象。

很多破坏失稳,尤其是顶板断裂和冒顶,不会发生在像砂岩和砂质页岩这样的坚硬顶板条件下,而是发生在软弱岩层顶板条件下。软弱岩层不仅仅指那些其岩块在实验室中测得的单轴抗压强度小的岩层。如本书所述,堆叠岩层是造成大部分大规模冒顶的原因。堆叠岩层由薄岩层组成,这些薄岩层是夹有由碳质(黑色)材料形成的薄层的砂岩或砂质页岩。其总厚度越大,所形成的顶板就越脆弱。在实验室中,按当前测试标准测定的单轴抗压强度并不能代表其在井下的相关性能。由砂岩或砂质页岩组成的堆叠岩层具有较高的单轴抗压强度。但在井下,薄层碳质岩体就是堆叠岩层容易

碎裂成块的地方。砂岩或砂质页岩越薄、碳质岩层越厚,所形成的顶板就会冒落得越快且越严重。对于这类顶板岩层,薄梁和悬臂梁的稳定性测验更具有代表性,而不是从标准岩石力学测试中得到的传统的单轴抗压强度。

另一种软弱顶板所表现出的相关属性似乎是与实验室中获得的强度相矛盾的,这就是层状黏土页岩。当其干燥时,在实验室中按照现行测试标准进行测定,其强度很大,通常所形成的顶板比较稳定。但是,一旦它们在井下暴露出来,由于受矿井通风而形成的干湿空气周期性循环的影响,致使岩层层理更加明显且岩石开始碎裂破坏。黏土的含量越高,其所形成的顶板就冒落得越快且越严重。对于这类岩石,评价其稳定性最重要的属性是它对风化(水分)的敏感程度,而不是传统的单轴抗压强度。

另一个明显但往往被忽略的问题是时间因素的影响。对煤矿生产者来说,在巷道掘进后尽快支护顶板是一项常识。巷道会随时间而变形,采空区的顶板也会随之逐渐下沉、坍塌。随着时间的推移,上述现象会增加支护体的载荷,随着变形量的增加以及变形转化为其他形式的破坏导致巷道条件逐渐恶化,例如,不同阶段的顶板断裂,在某些情况下,最终将导致顶板的冒落。

本书中,各种失稳类型的照片表明,像煤系岩层这样的层状地层,其失稳破坏是受弱面控制的,包括层理、节理等。因此,为了符合实际情况,在岩层控制理论和设计的发展过程中,必须考虑这个因素。遗憾的是,到目前为止该因素还一直未被考虑!

Syd S. Peng
West Virginia
2007年3月

目 录

前言	1
1 煤柱失稳	1
1.1 概述	1
1.2 Lewiston-Stockton 煤层的大规模煤柱失稳(案例 1.1)	2
1.3 Coalburg 煤层的大规模煤柱失稳(案例 1.2)	6
1.4 Cedar Grove 煤层的大规模煤柱失稳(案例 1.3)	11
1.5 磷酸盐矿井的大规模矿柱失稳(案例 1.4)	19
1.6 煤柱设计时必须考虑顶板、煤体和底板的相互作用(案例 1.5)	21
1.7 小煤柱	22
2 冒顶	26
2.1 概述	26
2.2 冒顶的涵义	26
2.3 Upper Freeport 煤层长壁开采回采巷道的冒顶事故(案例 2.1)	30
2.4 Phalen 煤层长壁工作面大规模冒顶事故(案例 2.2)	37
2.5 Alma 煤层长壁开采回采巷道的大规模冒顶事故(案例 2.3)	41
2.6 Blue Creek 煤层长壁开采回采巷道的冒顶事故(案例 2.4)	49
2.7 顶板存在裂隙并不一定意味着不稳定	55
3 顶板断裂	57
3.1 概述	57
3.2 Eagle 煤层的顶板断裂(案例 3.1)	62
3.3 Lower Kittanning 煤层的顶板断裂(案例 3.2)	67
3.4 Herrin 6 号煤层的顶板断裂(案例 3.3)	85
3.5 Powellton 煤层的顶板断裂(案例 3.4)	102
4 顶板锚固	105
4.1 顶板锚固与冒顶	105
4.2 锚固范围内的裂隙或离层	106
4.3 从冒顶处观测锚杆是否起作用 and 怎样起作用	115
4.4 锚固套指现象	129

5 煤层群开采	132
5.1 概述	132
5.2 上部煤层房柱式开采、下部煤层长壁开采(案例 5.1)	132
5.3 下部煤层房柱式和长壁开采、上部煤层房柱式开采(案例 5.2)	139
5.4 下行长壁开采两个煤层(案例 5.3)	153
6 底鼓	156
6.1 概述	156
6.2 Sewell 煤层中的大规模底鼓(案例 6.1)	156
6.3 Fire Creek 煤层中的大规模底鼓(案例 6.2)	160
7 长壁开采	181
7.1 概述	181
7.2 液压支架失效	181
7.3 运输巷的冒顶	184
7.4 回风巷的冒顶	187
7.5 工作面的冒顶	189
7.6 屈服煤柱	197
附录	220
附录 I 井下岩层控制观测所需物品清单及说明	220
附录 II 实施与验证岩层控制设计的建议	221

1 煤柱失稳

1.1 概述

在美国地下采煤活动中,留设煤柱以支撑上覆岩层载荷,保证工作面邻近的各类巷道的稳定性,进而保障巷道运输畅通和行人安全。亦即,为了不影响煤矿安全生产和设备、材料运输,煤柱必须在其服务年限内保持一定的稳定性。

到目前为止,绝大多数的煤柱都是刚性的,也就是说设计尺寸须使它们的强度远大于荷载的设计值。

自从利用地层钻孔获得煤、岩芯以勘探、评价资源的手段被推广后,岩石强度理论就成为岩石力学的学科基础。利用煤、岩芯试块来测定煤层、岩层的强度,并将这种方法测定的强度作为研究地下煤、岩柱强度的依据。由于直观和易于通过实验室设备测试,将煤、岩试块强度直接与煤、岩柱强度联系起来,使得煤、岩柱强度研究成为岩石力学中最基础的研究课题。相应地,世界上发展了很多关于煤、岩柱强度的理论和计算公式。

相对于其他方法,实验室确定的煤、岩强度的主要缺陷是:它是利用特定的岩块试样通过特定的实验仪器来测试的。

地下采煤过程中,煤柱在开采工作面中,通常是以在某一个或几个方向上按规则的网格型布置的,这种网格包含了成百上千的外形和尺寸相同的煤柱,但有时这些煤柱也呈现出不规则的形状和排布方式。另外,利用实验仪器进行现场测定的煤柱荷载是由各种不同岩性、厚度的岩层所引起的采动复合荷载,这种现场实测的复合强度是不同于实验室所测试得到的。因此,利用实验室测定煤岩强度来进行煤柱设计,必须考虑以上这两个基本因素。

什么是煤柱失稳?依据个人经验和煤矿的实践来定义这个概念显得有些主观。煤柱不仅仅支撑顶板,也起到保护邻近的平巷和联络巷的作用,其中任一方面功能失效或受到干扰都可称为煤柱失稳。这个定义看起来简单明了,但是在实践中,严格地说这两种功能的丧失都是一个逐渐发展的过程。因此,评判煤柱是否失稳,很大程度上取决于煤矿的实际情况和个人的认知。

在过去的30年中,作者调查了7个大规模煤柱失稳的案例,“大规模”指的是彼此相连的10~100个煤柱组成的煤柱群。井下大规模煤柱失稳的一般特征为:

(1) 在大范围区域内,顶板突然下沉1至3英尺,但仍然保持完整。此后其下沉也许会慢慢地传播,也许不会。

(2) 顶板下沉伴随着煤柱以不同程度片帮的形式失稳,片帮从煤柱上部的煤、岩交界面开始发生并向下扩展。煤柱片帮产生的碎煤块脱落到煤柱附近的煤层底板,并堆积成不同的高度的碎煤堆,其最高点紧靠煤柱侧,且煤堆高度随远离煤柱距离的增加而降低,这些碎煤堆甚至也可能覆盖了对面煤柱片帮掉下的碎煤块。尽管这些碎煤堆比较松散,但还可能会对煤柱产生一定的限制作用,有助于保持已片帮煤柱的稳定性,从而避免其被完全压垮。

(3) 底板可能会鼓起。

值得注意的是,本章提到的刚性煤柱的失稳形式与 7.6 节的屈服煤柱的失稳形式十分相似,唯一不同的是,屈服煤柱的片帮是特意设计的,并且在有效服务年限内其程度被控制在可操作的和安全的范围内。

本章附图中,列举了 3 个大规模煤柱失稳案例。

1.2 Lewiston-Stockton 煤层的大规模煤柱失稳(案例 1.1)

本案例发生在 1986 年,矿井行人入口的正面,如图 1-2-1 所示。发生大规模煤柱失稳的区块布置图,如图 1-2-2 所示。该煤层厚度为 62 英寸,埋深为 400 英尺,到 b 区域减少到 220 英尺深。煤柱柱心距为 60 英尺 $\times$ 60 英尺,平巷或联络巷宽度为 20 英尺。采用后退式开采回收煤柱,并从 a 点开始向 b 点推进。在回收煤柱期间,煤柱被 20 英尺宽(图 1-2-2 的阴影区域)的沿巷道方向开的中部掏槽所切割,两边各留下一个 10 英尺 $\times$ 40 英尺大小的残留煤柱。当回采推进到 A 和 B 区域时,残留煤柱仍保持稳定。而在 B 区域回采完两天后,b 点煤柱开始失稳,并且在 8 小时之内传播到 A 和 B 区域。



图 1-2-1 案例 1.1 中矿井入口处的边坡

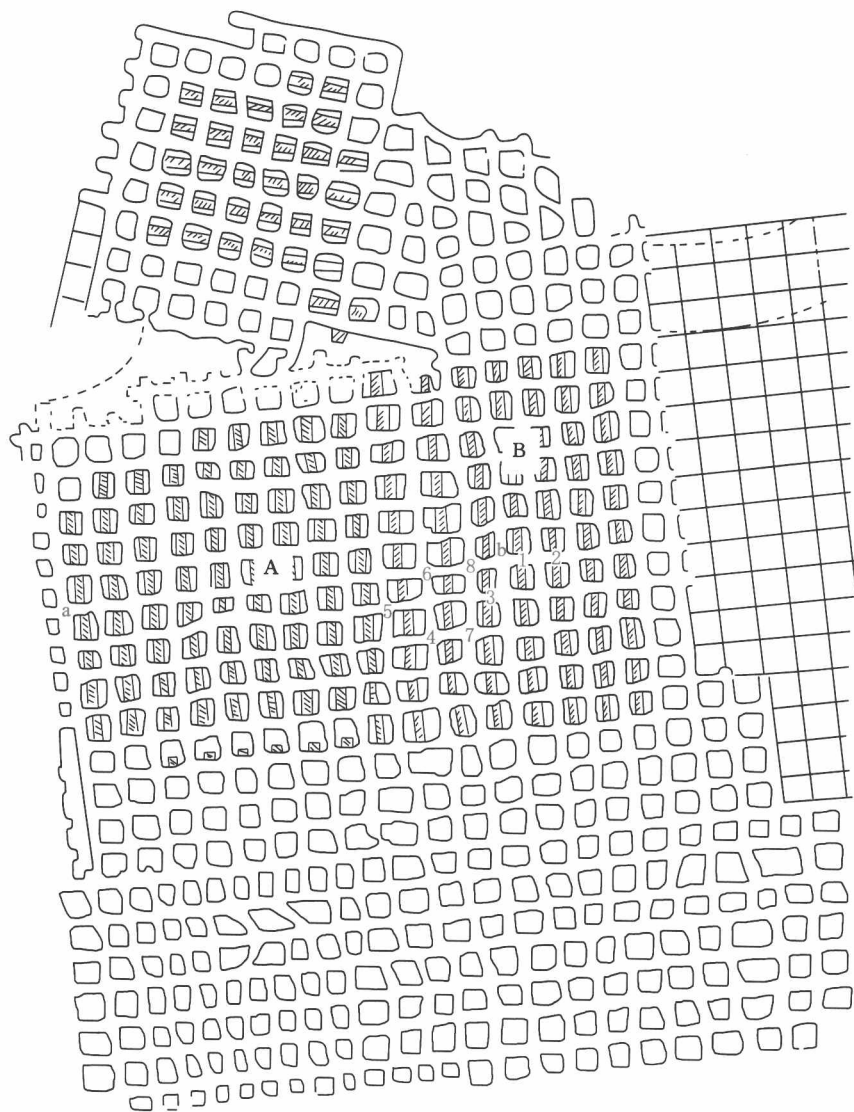


图 1-2-2 发生大规模煤柱失稳的区域

如图 1-2-3(A、B 和 C)所示,从三个视角显示了中部掏槽的截面,中部掏槽位于 b 点附近且两侧均有残留煤柱,如图 1-2-2 所示。值得注意的是,巷道高度已经减少到约 40 英寸,或者顶板下沉已经超过 20 英寸,所有密集支柱或破坏或严重倾斜,如图 1-2-3 和图 1-2-4 所示。煤柱已经被完全压垮,因为那些碎煤块在整个煤柱高度范围内均有分布,并且碎块分布不会距离煤柱太远,在中部掏槽的底板中央 8~12 英尺范围内无碎块分布。

除了少数区域发生冒顶(图 1-2-5)或底鼓(图 1-2-6)外,顶、底板仍保持完整。部分区域木垛陷入底板导致木垛周围发生底鼓。

有限元结构分析(Tang 和 Peng, 1990 年)表明, A 和 B 区块连接部分过大。其实,只要留设 30~40 英尺的隔离煤柱就可以避免其失稳。



(a)



(b)



(c)

图 1-2-3 从 3 个位置(位置 3、2 和 1)看向 b 点(见图 1-2-2)附近的中部掏槽



图 1-2-4 从位置 8(见图 1-2-2)处向内看残留煤柱

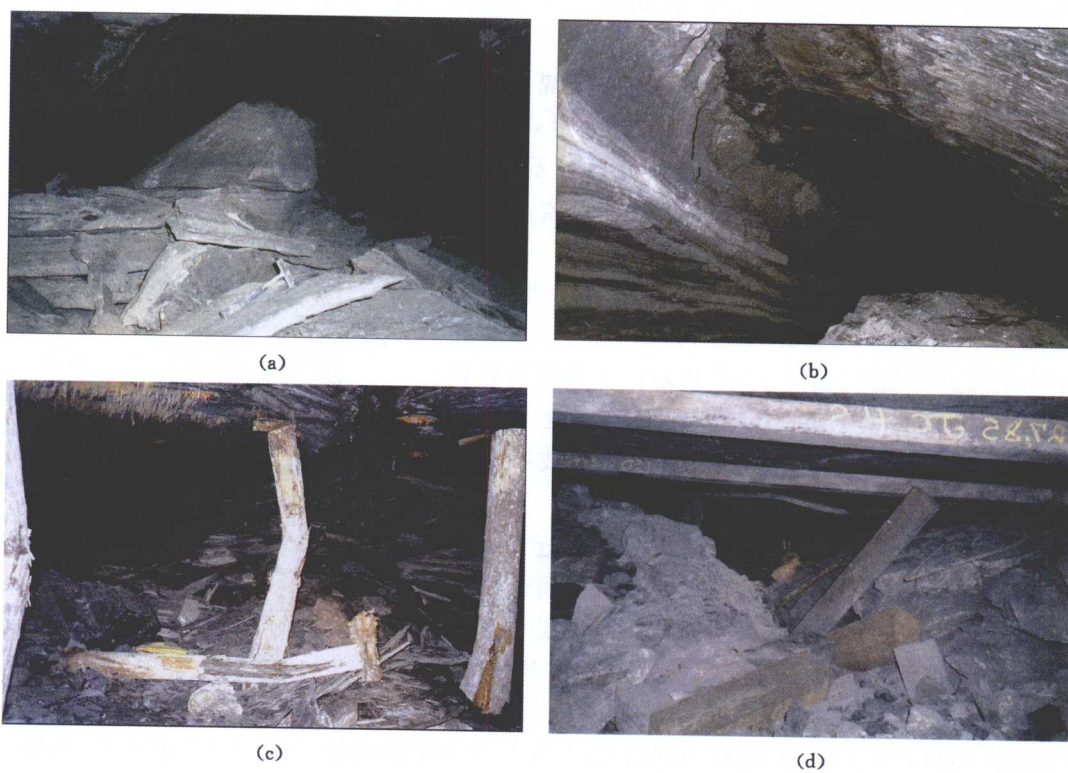


图 1-2-5 残留煤柱之间的冒顶:(a)和(b)在位置 4 处沿一个很大的擦滑面拍摄的照片;
(c)在位置 5 处;(d)在位置 6 处(见图 1-2-2)



图 1-2-6 位置 7(见图 1-2-2)处沿着木垛边缘的底鼓

1.3 Coalburg 煤层的大规模煤柱失稳(案例 1.2)

本案例于 2000 年发生在 Coalburg 煤层。该煤层厚度为 9~10 英尺,埋藏稳定,回采区域埋深为 340 英尺,其综合柱状图如图 1-3-1 所示。直接顶为较软的页岩,其厚度小于 1 英尺,上覆一层较厚的砂质页岩。为了改善顶板条件,采高包括顶板的软弱页岩,使得平巷和联络巷高度增至 11 英尺。直接底从厚砂质泥岩渐变为薄层泥岩。

距 Coalburg 煤层上部 165 英尺处还有一层煤。该煤层在采用房柱式开采 3~4 个月之前就已经开始采煤,回收煤柱区域的轮廓线已在图中用双点画线区表示出,如图 1-3-2 所示。两煤层层间岩层主要由砂质页岩和砂岩组成,如图 1-3-1 所示。

主大巷以十巷系统进行开拓。煤柱柱心距为 40 英尺×70 英尺,平巷和联络巷的宽度均为 20 英尺。工作面也以十巷系统进行掘进,如图 1-3-2 所示。工作面煤柱柱心距为 30 英尺×80 英尺,平巷和联络巷的宽度均为 20 英尺。煤柱采用后退式方法进行回收,其顶板支护采用额定工作阻力为 600 吨的液压支架。

工作面回采过程中,在工作面露头北部附近发现了山体裂隙,沿着这条从煤层一直贯通到地表的裂隙常发生冒顶。为了避开该软弱顶板区域,煤柱回收工作分别从位于东北侧和西北侧的第四排和第九排煤柱开始,如图 1-3-2 所示。

回收第一排(4 号~12 号)煤柱直到结束时,没有出现任何问题(如图 1-3-2 所示)。然而,当回收到第二排的 18 号煤柱时,采空区涌水从 9 号和 10 号煤柱间流向地势较低的 19 号~21 号和 28 号~30 号煤柱区域,致使该区域底板迅速变得泥泞不堪,采煤设备运行困难。因此,19 号~21 号煤柱被完整地保留下来。当 24 号煤柱回收完,从左端算起的第六条平巷(25 号和 26 号煤柱之间的平巷)情况严重恶化,两帮片帮深度超过 3 英尺,且顶板下沉严重,因此回采是不安全的。在 26 号和 27 号煤柱之间的第五条平巷也发生了类似的情况,因而第三排的 25 号~30 号煤柱没有回

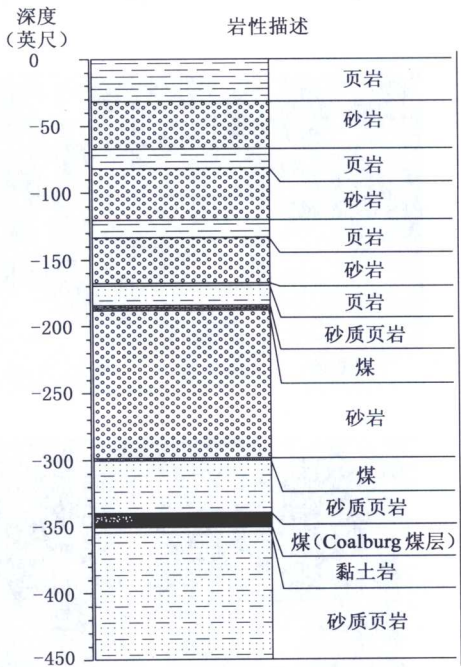
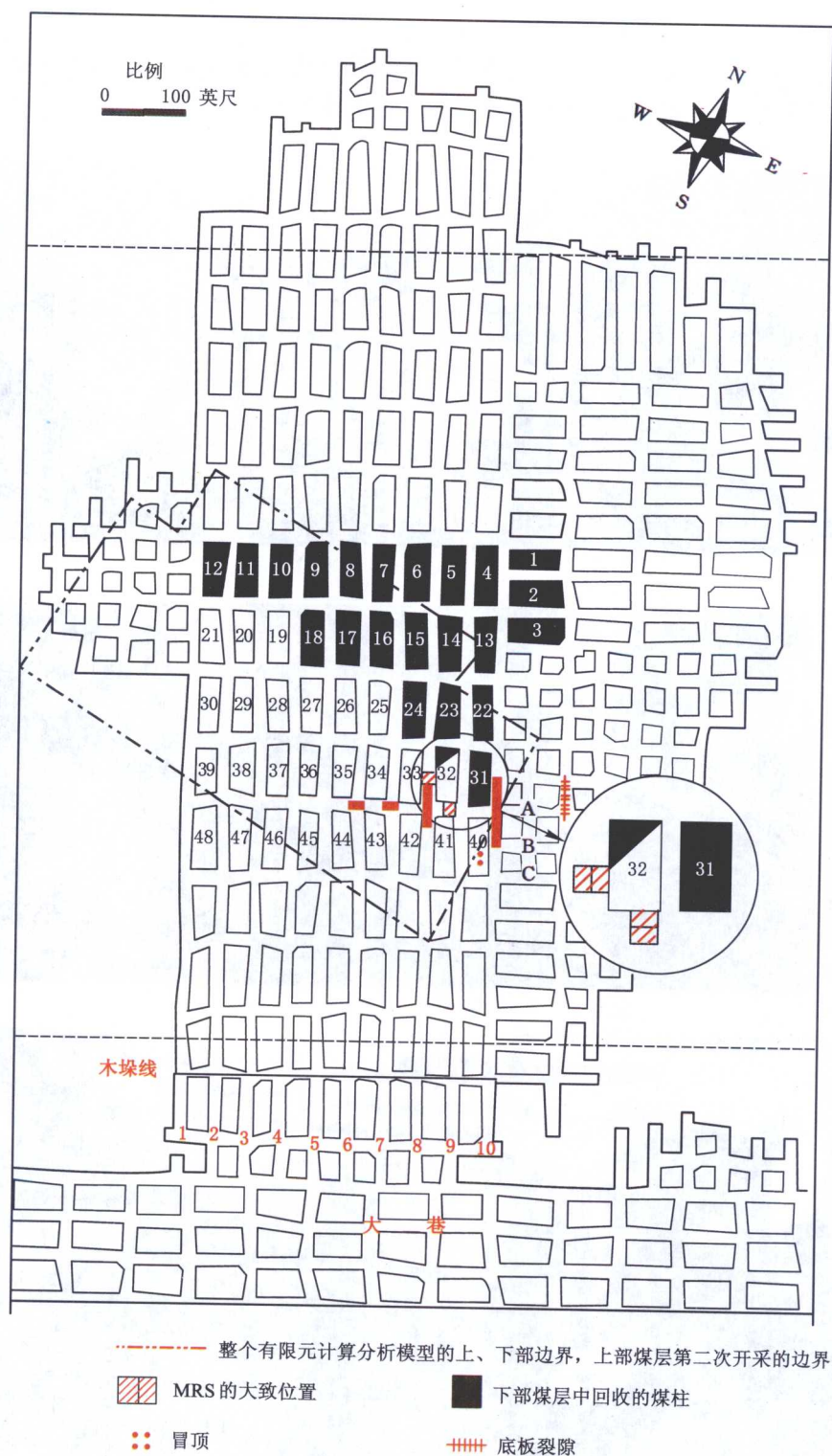


图 1-3-1 案例 1.2 的地质综合柱状图



收,被完整地保留了下来。第四排的 31 号煤柱回收成功。但是,当在 32 号煤柱内侧掘进几刀后,在 33 号、34 号、35 号、42 号、43 号和 44 号煤柱之间的交岔点发生了冒顶。一夜或者大约 12 个小时之后,在 32 号和 33 号煤柱之间,液压支柱旁边的顶板冒落约 4 英尺高,并一直向外侧延伸直到