

煤矿采空区灾害 综合防治技术与实践

THE CONTROL TECHNIQUES AND PRACTICES
OF GOAF DISASTERS IN COAL MINES

李宏杰 张 彬 李 文 等 著

 煤炭工业出版社

煤矿采空区灾害 综合防治技术与实践

THE CONTROL TECHNIQUES AND PRACTICES
OF GOAF DISASTERS IN COAL MINES

李宏杰 张 彬 李 文 等 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿采空区灾害综合防治技术与实践/李宏杰等著. --北京:煤炭工业出版社, 2016
ISBN 978-7-5020-5345-1

I. ①煤… II. ①李… III. ①煤矿开采—采空区处理—灾害防治 IV. ①TD325

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 155170 号

煤矿采空区灾害综合防治技术与实践

著 者 李宏杰 张 彬 李 文 等
责任编辑 刘永兴 尹燕华
责任校对 孔青青
封面设计 于春颖

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京玥实印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 889mm × 1194mm¹/₁₆ 印张 18 插页 3 字数 475 千字

版 次 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

社内编号 8202 定价 145.00 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,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书综合地质、采矿、岩土、测量等不同学科的理论和技术,对煤矿采空区灾害勘查、评估及治理综合一体化防治技术体系进行了大量的研究与实践,并提出灾害防治的具体方法和操作实践。全书共分为3篇,上篇为采空区勘查技术,中篇为采空区评估技术,下篇为采空区治理技术。

本书可供采矿、岩土、建筑、地质、交通、水利和电力等行业从事采空区综合防治的工程技术人员使用,也可供大专院校相关专业师生参考。

Foreword

前言

煤炭是工业的粮食,其开发利用在为经济社会发展做出突出贡献的同时,也留下了大量的采空区,给生产安全、生态安全带来了严重威胁,给土地带来了不同程度的破坏,影响人民的生产生活。国民经济在发展,煤炭开采在增加,由此而产生的采空区及塌陷区也在与日俱增。鉴于此,加强采空区勘查、评估及治理综合一体化防治技术体系的研究和实践,对于安全生产、土地利用、工程建设及城镇化发展具有重要意义,对促进经济、社会及环境的和谐发展和生态文明建设起着重要作用。

基于此背景下,笔者及其团队近年来在内蒙古、陕西、山西、河南等省区的重点煤县市开展了大量的采空区勘查、评估和治理工作,系统研究采空区灾害问题,提出不同地质条件下多方法优化组合的采空区综合勘查技术,建立了采空区精细探测技术体系,丰富和完善了基于煤柱稳定性评价和沉陷分析相结合的采空区安全评估技术,探索并实践了采空区注浆充填、露天剥离、地面爆破和井下爆破等治理技术。

本书是在大量研究和工程实践基础上,以采空区勘查、评估和治理一体化防治技术体系思想为切入点,依据国家有关采空区勘查及治理的相关政策、规范及规程编写而成。全书分为3篇,每篇按照技术研究现状、原理方法、技术实践设置若干章。上篇为采空区勘查技术,系统介绍了采空区调查、物探勘查、钻探勘查方法及技术实践;中篇为采空区评估技术,介绍了开采沉陷机理及变形规律、采空区地表变形和预计、采空区场地稳定性评估及采空区场地工程建设适宜性评估技术方法和原理,并列举了各类方法的典型案例;下篇为采空区治理技术,介绍了采空区注浆充填治理、采空区露天剥离治理及采空区爆破治理技术方法与原理,并列举了各类治理方法的典型案例。

本书的主要创新在于综合了地质、采矿、岩土、测量等不同学科的理论和技术,开展了采空区综合防治技术一体化研究和大量的工程实践,提出了具体方法和操作实践,丰富了采空区勘查方法、完善了采空区评估技术、拓宽了采空区治理方式,研究成果和工程实践将对类似采空区综合防治具有很好的指导作用,并产生巨大的经济效益和社会效益。本书内容丰富、实践性强,可供采矿、岩土、建筑、地质、交通、水利和电力等行业从事采空区综合防治的工程技术人员参考使用,也可供大专院校相关专业师生参考。

本书编写分工如下:上篇主要编写人员有李宏杰、张彬、李文、廉玉广、张永超、

陈清通、李健、牟义、黎灵、魏晶晶等；中篇主要编写人员有李宏杰、张彬、陈清通、贾新果、李文、刘义新、孙庆先、李杰、陈凯、谷小敏等；下篇主要编写人员有李宏杰、张彬、陈清通、李文、毕忠伟、魏立科、王寅、李少刚、王俊、李健、林惠立等。本书在编写过程中得到了煤炭科学技术研究院有限公司安全分院齐庆新研究员、樊少武研究员和张俊英研究员的指导，还得到了鄂尔多斯市煤炭局、榆林市能源局、临汾市煤炭局、神华神东煤炭集团有限责任公司、中煤平朔集团有限公司、冀中能源邯鄲矿业集团和平顶山天安煤业股份有限公司等单位的支持，在此表示衷心的感谢。

本书的出版得到了国家自然科学基金青年基金（浅埋煤层快速开采条件下地表移动规律与沉陷控制研究，No. 51404139；含地下空区的斜坡安全评价理论与方法研究，No. 51004065）的资助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足或需进一步探讨之处，敬请读者批评指正。

作者

2016年3月

Contents
目次

0 绪论	1
0.1 我国煤矿采空区类型	1
0.2 我国煤矿采空区灾害特点与隐患类型	2
0.3 采空区隐蔽致灾因素分析	6
参考文献	7

上篇 采空区勘查技术

1 采空区勘查技术现状	11
1.1 采空区勘查技术研究现状	11
1.2 采空区勘查技术发展方向	12
2 采空区调查技术	13
2.1 采空区资料收集	13
2.2 采空区调查	14
3 采空区物探勘查技术与实践	15
3.1 采空区地球物理响应特征	15
3.2 高密度电阻率法	17
3.3 瞬变电磁法	23
3.4 可控源音频大地电磁法	34
3.5 EH4 大地电磁法	44
3.6 浅层地震法	51
3.7 各类物探方法适用条件及综合物探法	65
3.8 综合物探法实践	66
4 采空区钻探勘查技术与实践	78
4.1 钻探勘查技术	78
4.2 钻探勘查技术实践	87
参考文献	91

中篇 采空区评估技术

5 采空区评估技术现状	95
-------------------	----

5.1	岩层及地表移动规律研究现状	95
5.2	采空区稳定性研究现状	96
6	开采沉陷机理及变形规律	98
6.1	开采引起的岩层和地表移动	98
6.2	地表移动和变形规律	102
6.3	覆岩破坏规律	122
7	采空区地表移动和变形预计	133
7.1	概述	133
7.2	概率积分法	134
7.3	有关预计参数的确定	136
7.4	地表沉陷预计实例	139
8	采空区场地稳定性评估	145
8.1	开采条件判别评估方法	145
8.2	煤柱稳定性评估方法	147
8.3	地表移动变形评估法	151
8.4	综合指数稳定性评估方法	152
9	采空区场地工程建设适宜性评估	161
9.1	采空区场地工程建设适宜性定性评估	161
9.2	采空区场地工程建设适宜性定量评估	162
9.3	采空区场地工程建设适宜性评估技术实践	168
	参考文献	175

下篇 采空区治理技术

10	采空区治理技术现状	179
10.1	采空区治理技术研究现状	179
10.2	采空区治理技术发展方向	180
11	采空区注浆充填治理技术与实践	182
11.1	采空区注浆充填治理技术	182
11.2	注浆治理范围	183
11.3	注浆材料	186
11.4	注浆参数	189
11.5	注浆充填施工工艺	190
11.6	注浆质量检测	194
11.7	注浆充填治理实践	201
12	采空区露天剥离治理技术与实践	217
12.1	采空区露天剥离治理技术	217
12.2	剥离工艺	217

12.3	剥离参数	218
12.4	剥离设备	219
12.5	爆破参数	219
12.6	运输系统	221
12.7	边坡稳定性分析	221
12.8	生态综合治理	226
12.9	露天剥离治理实践	227
13	采空区爆破治理技术与实践	242
13.1	采空区爆破治理技术	242
13.2	爆破参数	242
13.3	施工工艺	243
13.4	采空区地面爆破治理实践	244
13.5	露天采场下部采空区爆破治理实践	247
13.6	采空区井下爆破治理实践	263
	参考文献	276

0 绪 论

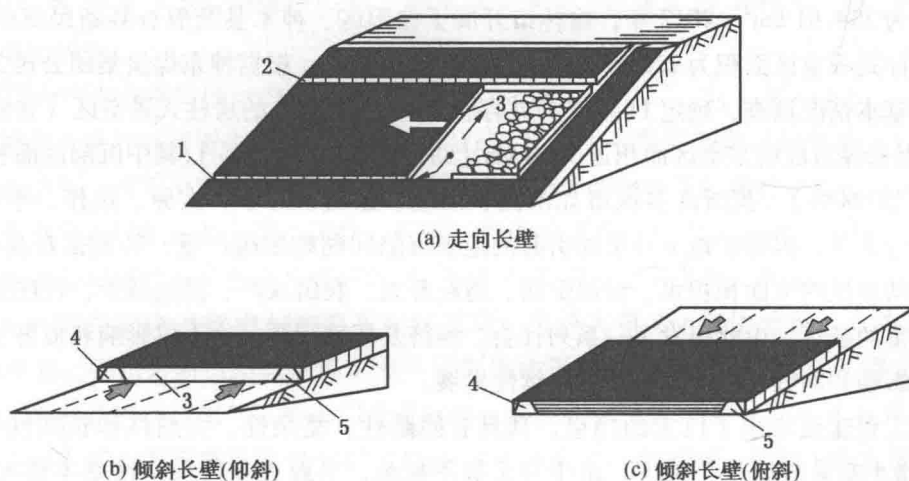
煤炭是我国能源主体,煤炭工业的健康、稳定、持续发展关系到国家的能源安全。2014 年全国煤炭产量达到 38.7 亿 t,煤炭消费量占能源消费总量的 66%;2015 年全国煤炭产量为 37.5 亿 t,煤炭消费量占能源消费总量的 64%。根据《能源发展战略行动计划(2014—2020)》,到 2020 年,煤炭在我国一次能源消费结构中的比重为 62% 左右。因此,未来较长一段时期内煤炭仍然是我国的主体能源。然而,煤炭的地下开采留下了大量采空区,这些采空区尤其是无规划开采形成的小窑采空区,已成为影响煤矿安全生产和矿区可持续发展最主要的危险源之一。

0.1 我国煤矿采空区类型

《煤矿安全规程》和《煤矿防治水规定》中将采空区定义为“回采以后不再维护的空间”;《煤矿采空区岩土工程勘察规范》(GB 51044—2014)中将采空区定义为“地下煤炭资源开采后的空间,及其围岩失稳而产生位移、开裂、破碎垮落,直到上覆岩层整体下沉、弯曲所引起地表变形和破坏的地区和范围”。从采矿学、地质学及灾害学的角度来说,煤矿采空区不仅包含老窑、已经报废的井巷,还应包含受开采扰动影响,围岩破坏形成的垮落带及顶底板裂隙带。

我国煤矿采空区类型有以下几种划分形式:

(1) 按采煤方法可划分为长壁采空区和短壁采空区 [含条带开采采空区、房(刀)柱式开采采空区、旺格维利开采采空区等],示意图如图 0-1~图 0-3 所示。



1、2—区段运输、回风平巷;3—采煤工作面;4、5—分带运输、回风斜巷

图 0-1 长壁采煤法示意图

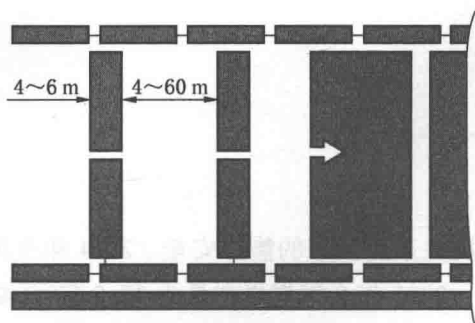
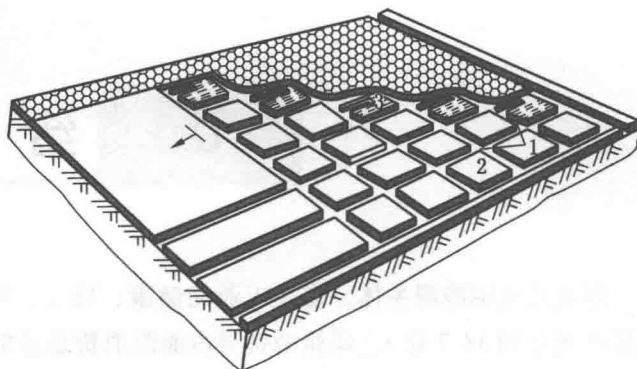


图 0-2 刀柱式采煤法示意图



1—房；2—煤柱；3—采柱

图 0-3 房柱式采煤法示意图

- (2) 按顶板控制方法可划分为顶板全部垮落采空区、部分垮落采空区和不垮落采空区。
- (3) 按停采时间可划分为老采空区、现采空区和规划开采采空区。
- (4) 按采出率及开采范围可划分为小型采空区(一般采空区面积小于 20000 m^2)和大面积采空区。
- (5) 按煤层倾角可划分为近水平采空区(倾角小于 8°)、缓倾斜采空区(倾角 $8^\circ \sim 25^\circ$)、倾斜采空区(倾角 $25^\circ \sim 45^\circ$)和急倾斜采空区(倾角大于 45°)。
- (6) 按采空区埋深和现有成熟物探方法的适用性可划分为：极浅层采空区(埋深 $H < 50 \text{ m}$)、浅层采空区(埋深 $50 \text{ m} \leq H < 150 \text{ m}$)、中深层采空区(埋深 $150 \text{ m} \leq H < 400 \text{ m}$)和深层采空区(埋深 $H \geq 400 \text{ m}$)。

0.2 我国煤矿采空区灾害特点与隐患类型

2009 年和 2011 年,鄂尔多斯全市先后开展了两次大规模的采空区勘查工程,经过勘查确定房柱式采空区面积为 334.61 km^2 。2012 年,榆林市开展了榆阳区、神木县及府谷县新民镇的采空区勘查工作,确定房柱式采空区面积为 220.38 km^2 ,且多数还未塌陷。根据神东煤炭集团公司 2010 年 11 月对各矿采空区基本情况调查,确定 11 对矿井共存在 2905.70 万 m^2 的房柱式采空区(含旺格维利采空区)。山西省因采煤造成的采空区面积近 5000 km^2 (约占全省面积的 3%),其中沉陷区面积约 3000 km^2 (占采空区面积的 60%)。我国许多城市如淮南、淮北、徐州、济宁、太原、焦作、平顶山、抚顺、鞍山、大同、包头等,因煤矿地下开采而引起的地表沉陷问题越来越严重,特别是在高潜水位矿区,开采后地表移动盆地内大面积积水、房屋倒塌、道路开裂、农田减产、耕地减少,村庄被迫搬迁,生态环境受到严重的破坏,由此引发了一系列社会、经济及环境问题。这不仅影响和损害了当地居民的利益,也严重影响和制约了煤矿自身的可持续性发展。

采空区给工程建设带来了巨大的隐患,其具有隐蔽性、复杂性、突然性和长期性等显著特点。“隐蔽性”是指小窑采空区位于地下,由于开采极不规范,导致大多数采空区基本情况(如开采范围、采空区状态等)都没有数据和记录保存下来,致使其特征一般难以弄清。“复杂性”主要指小窑采空区的“活化”受多种因素的影响,导致其“活化”机理、过程及其对地表建(构)筑物的影响规律异常复杂。“突然性”指采空区的失稳破坏常常是突然性的,塌陷的时间难以估计。“长期性”

主要指小窑采空区的坍塌是一个长期的过程,可能在采后几年到几十年内,甚至上百年后突然发生,也可能是长期的缓慢变形过程,这也同样难以估计。如房柱式采空区通过留设的煤柱支撑,顶板几乎不垮落,造成工作面后方顶板大面积暴露。随着时间的推移,煤柱在地下水侵蚀、风化、时间效应和其他扰动因素(如邻区煤层开采)的情况下,导致部分煤柱失稳破坏,并波及相邻煤柱破坏产生连锁反应,最后导致整个采区甚至井田煤柱破坏,进而诱发大面积采空区突然塌陷失稳,诱发区域性矿震。

采空区灾害是由于开采形成的地下采空区导致的对人、物、环境以及社会的一种灾害事件,其灾害的主要表现形式有:片帮、冒顶、突水、采空区浮煤自燃、有毒有害气体涌出或爆炸、大面积采空区突然塌陷摧毁密闭或诱发矿震、地面塌陷、地面沉降、地裂缝,以及由其导致的滑坡、崩塌、泥石流、地表植被破坏等多种形式。

我国的许多老矿区,大量存在的小窑采空区已成为重大的安全隐患,不仅为附近区域今后煤层开采埋下了隐患,并可能诱发地质灾害,严重威胁人民的生产和生活,其主要隐患类型有以下几种。

1. 采空区积水对煤矿开采造成威胁

小窑采空区由于所采煤层一般埋藏深度较浅,而煤层开采厚度又相对较大,开采后覆岩破坏产生的垮落、开裂有可能直通地表,雨季雨水可能通过这些裂缝渗入井下,造成采空区大量积水。采空区积水就像悬在掘进头或工作面上方的水库,时刻威胁着安全生产。近几年来,由于采空区和废弃小窑积水溃入矿井所造成的淹井事故时有发生。2006年5月18日,大同市左云县新井煤矿特大透水事故造成56人死亡,直接经济损失5312万元;2008年7月21日,广西右江矿务局那读煤矿井下掘进工作面特大透水事故造成36人死亡,直接经济损失989.8万元;2010年3月28日,王家岭煤矿巷道掘进时导致侧帮小窑采空区内积水涌出,造成特大透水事故,遇难人数达38人,给人民生命和国家财产造成了极大的损失。这些事故均属于典型的采空区积水引发的突水淹井事故。另外,我国的大多数矿区均以多煤组结构赋存,其中相当一部分煤矿在经历多年的开采后,都不同程度地面临着上组(层)煤炭资源枯竭问题,将煤矿生产接续转向开采下组(层)煤。而上组(层)煤开采后所形成的大面积采空区往往都有不同程度的积水,这给下组(层)煤的开采带来极大的安全隐患。2015年4月19日发生的同煤集团姜家湾煤矿8446工作面透水事故,造成了21人死亡,其主要原因为上煤层采空区积水突水所致。

2. 采空区内有毒有害气体对煤矿开采造成威胁

采空区内有大量的有毒有害气体,如 CO 、 CO_2 以及其他有毒有害和可燃气体,一方面,它会使矿井空气严重缺氧,使人员窒息而亡;另一方面,在它流经的途中不仅毒化矿内空气,而且可以引起再生火灾,火灾可能引起瓦斯、煤尘爆炸,甚至出现连续爆炸,从而扩大受灾范围。2009年1月16日,准格尔旗黑岱沟煤矿东沿帮边角煤回收井在掘进过程中发生了事故,共造成5名矿工遇难,造成事故的原因是矿方在掘进过程中与小窑采空区贯通,造成大量 CO 气体外泄,导致人员窒息死亡。2009年3月9日,鄂尔多斯市路鑫聚煤矿发生了气体中毒事故,共造成6名矿工遇难,事故的原因是煤矿在技改掘进巷道时与相邻采空区旧巷道打通,致使有害气体涌入。2010年9月10日,府谷县新华煤矿发生采空区大面积冒顶摧毁邻矿槐树塔井口的采空区密闭墙,导致 CO 大量涌出,造成23人中毒、2人死亡的事故。

3. 采空区地表突然塌陷,诱发矿震,对地表人、财、物和井下安全生产构成极大威胁

由于小窑采空区内大量煤柱的遗留,虽然在开采过程中煤柱处于暂时稳定状态,然而随着时间的

流逝，或在附近开采的动压影响下，煤柱会逐渐破坏，在某时刻煤柱会发生突然垮塌，致使顶板也突然垮落，突然垮塌的高速气浪和冲击波会造成采空区邻近区域井下连通作业场所人员伤亡和设备破坏。如果煤层埋藏浅，还有可能造成地表突然塌陷，对地表人、财、物构成极大威胁。2008年10月29日，发生在东胜区塔拉壕镇金通煤矿的小窑采空区塌陷事故造成3人遇难。因此，过去形成的大量未知小窑采空区已成为影响煤矿安全生产及矿区居民生命财产安全的最主要危险源之一。

榆林市地震局统计数据表明，2004—2012年，榆林地区发生2.0级以上塌陷地震87次。仅2008年榆林塌陷地震就发生19次，其中府谷8次、神木9次、榆阳2次，3级以上地震共发生9次。虽然地震震级小未直接造成大量人员伤亡，但是频发地震，造成了土地塌陷、湖泊萎缩、河水断流、居民房屋受损。2008年7月31日，神木县赵家梁煤矿发生大面积冒顶，造成9人被困，所幸救援得当，8人脱险，但1人遇难。2010年12月23日，榆阳区金牛煤矿发生大面积冒顶，引发地表塌陷，造成煤矿邻村部分群众房屋受损，道路、农田出现裂缝。2012年6月23日，榆林十八墩煤矿407工作面刀柱式采空区发生两次塌陷，诱发了震级2.8级和3.2级的矿震（图0-4）。因此，尚未塌陷的采空区是诱发地质灾害的重大隐患。



图0-4 刀柱式采空区顶板突然垮落造成的地表变形破坏

4. 采空区对露天矿上部邻近台阶的剥离安全构成威胁

有些煤矿由井工开采转为露天开采，剥离范围内存在的小窑采空区对其上部邻近台阶的安全剥离构成威胁。由于小煤窑采空区采出率很低，采空区主要是大量煤柱和巷道，大部分区域顶板尚未发生大面积冒落，但随着时间的推移或采空区上方增加荷载（施工机械的动静载）的情况下，就有可能致使采空区顶板产生突然的垮落和地表塌陷，造成施工设备倾斜、沉陷和人员跌落，甚至造成机械的损坏和人员的伤亡。

5. 残留煤柱极大地影响着采空区上方或下方煤层的正常开采

若上煤层是房柱式采空区，则开采下煤层时，支架必然受到点载荷集中压力作用，对工作面顶板支护极为不利（图0-5）；若下煤层是房柱式采空区，则在开采上煤层时必然处于底板蹬空状态，安全没保障。

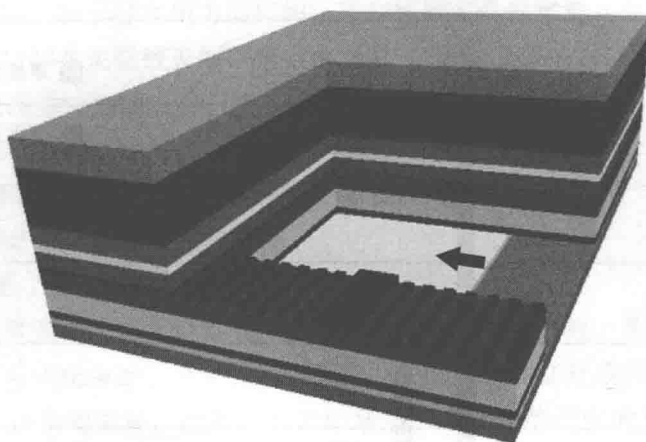


图 0-5 房柱式采空区下长壁工作面开采模型

6. 部分采空区治理不及时形成火区

由于房柱式开采留下了大量煤柱和浮煤，因此采空区内易于产生自然发火状况，一方面会严重影响邻近矿井及本矿下层煤的安全开采，同时也浪费了大量的宝贵资源，对环境造成严重污染（图 0-6）。



图 0-6 采空区煤层自燃

据统计，2001—2015 年，全国煤矿采空区相关致灾事故共 110 起，死亡人数 1166 人（图 0-7）。其中，由采空区引发的透水事故 68 起，死亡人数 887 人；由采空区诱发的火灾事故 10 起，死亡人数 99 人；由采空区诱发的有毒有害气体涌出事故 12 起，死亡人数 104 人；由采空区诱发的不良地质异常灾害事故 20 起，死亡人数 76 人。由此可见，过去若干年形成的大量未知采空区已成为影响煤矿安全生产及矿区居民生命财产安全的最主要危险源之一，采空区数量巨大，分布非常广泛，安全形势非常严峻。许多小煤矿技术资料严重缺失，绝大多数闭坑小煤矿没有保留相关的技术资料，加大了采空区位置、边界、范围、采空区的富水性、有毒有害气体的赋存性情况探查的难度。

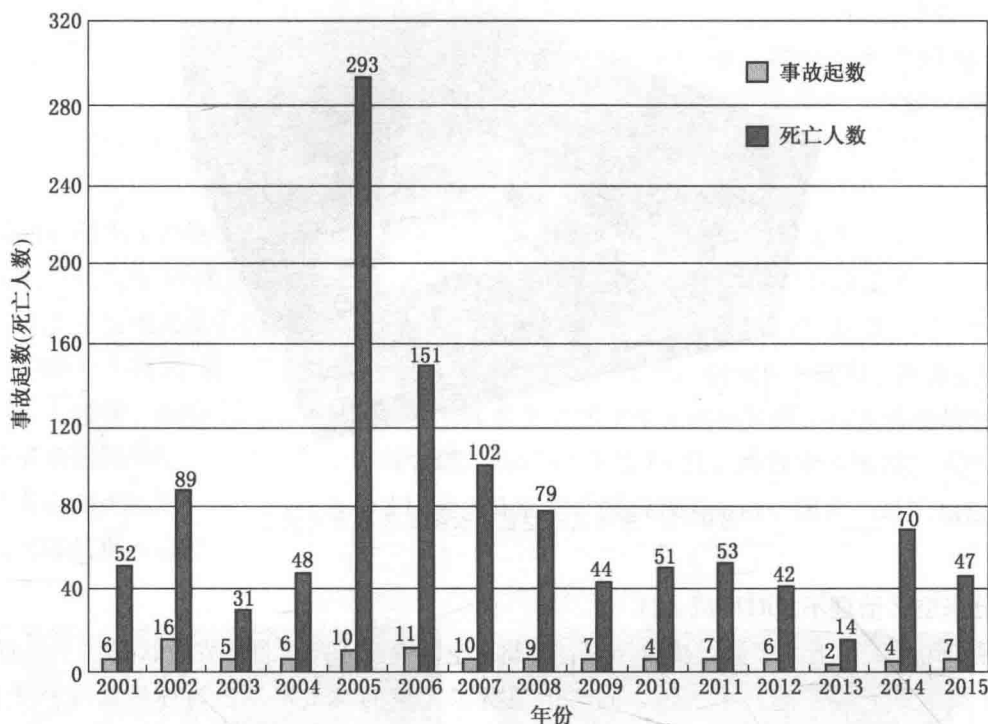


图 0-7 2001—2015 年煤矿采空区相关致灾事故

0.3 采空区隐蔽致灾因素分析

煤矿采空区隐蔽致灾因素可分为采空区分布因素和采空区内部条件因素两大类：其中采空区分布因素包括采空区分布位置、采空区分布范围以及采空区边界等因素；采空区内部条件因素包括采空区积水因素、采空区垮塌因素、采空区高温发火因素以及采空区有毒有害气体因素。

1. 采空区分布

在资源整合前，地方小煤矿往往为无序开采，资料不全或严重缺少资料，造成采空区的分布情况不明，形态杂乱无章，不仅浪费了宝贵的资源，成为今后附近区域煤层开采的重大隐患，也对地面人员和重要建（构）筑物构成重大隐患。采空区分布的主要致灾原因包括：

- (1) 开采资料不全或资料真实性难以确定。
- (2) 采空区分布形态规律难以掌握。
- (3) 采空区分布位置及范围难以确定。
- (4) 采空区具体边界位置难以准确探测。

2. 采空区内部条件

由于开采时间较长，许多小煤窑已经闭坑，采空区也进行了封闭，对于采空区内部的情况不清，也是引发采空区灾害的重要因素之一，主要表现如下：

1) 采空区积水

煤层开采后会造覆岩破坏、垮落、地表开裂，并可能与上覆含水层甚至地表水体沟通，造成采

采空区大量积水,对于开采时间较长的小窑采空区,积水的可能性和积水量均会大一些。当井下采掘活动接近这些小窑采空区时,由于静水压力的作用,采空区积水会突然涌入掘进空间,造成突水或淹井事故,危害极大。采空区积水主要致灾原因包括:

- (1) 采空区积水范围难以探测。
- (2) 采空区积水量难以准确预测。
- (3) 采空区积水的导水通道难以准确探测。
- (4) 采空区积水对矿井威胁程度难以预测。

2) 采空区顶板垮落

小煤矿多采用房柱式或巷柱式采煤方法,开采时依靠煤柱支撑顶板,顶板大都未垮落或未充分垮落,随着时间的流逝,在风化淋滤、开采扰动等因素的影响下,在某时刻顶板突然垮落,会造成地面人员以及重要建(构)筑物的损坏。此外,大面积采空区突然垮落产生的高速气浪和冲击波会造成采空区邻近区域井下作业人员的伤亡和设备的破坏。采空区顶板垮落主要致灾原因包括:

- (1) 采空区顶板垮落时间难以确定。
- (2) 采空区内部悬顶范围难以探测。
- (3) 采空区内部煤柱具体留设方位及留设尺寸难以准确掌握。
- (4) 采空区内部煤柱应力集中程度以及稳定性难以准确评价。

3) 采空区高温发火

小煤矿多采用房柱式或巷柱式采煤方法,煤炭采出率低,井下巷道纵横交错、杂乱无章,通风系统混乱,尤其是在自然发火期较短的煤层中开采,很容易引发遗煤自燃。另外,由于开采条件有限,小窑采空区多分布较浅,顶板在缺乏支护时易发生垮落,使得地表裂隙发育,严重的会形成大面积塌陷。这些裂隙和塌陷又给遗煤自燃提供了充足的氧气,加剧了自燃过程的发展,其火势会蔓延到下部煤层中,迫使下部矿井工作面停产,造成煤炭资源浪费和生产设备的损坏,威胁开采人员的生命安全。采空区高温发火致灾原因包括:

- (1) 采空区高温发火区位置、范围情况难以确定。
- (2) 采空区高温发火区准确边界难以探测。
- (3) 采空区高温发火区内部燃烧状况难以准确掌握。
- (4) 采空区高温发火区与周边及地表漏风通道难以探测。

4) 采空区有毒有害气体

在矿井生产过程中,受采动影响,顶板岩层会产生裂隙与上部采空区沟通,其内的有毒有害气体就可能通过裂隙进入下部采掘空间。当采空区地表存在裂隙时,排矸场自燃产生的高浓度有毒有害气体也会通过裂隙进入采空区,再经采动裂隙进入周围采掘空间,进而威胁矿井工作面的安全生产。采空区有毒有害气体致灾原因包括:

- (1) 采空区内有毒有害气体量难以确定。
- (2) 有毒有害气体的流通通道难以探测。

参 考 文 献

- [1] 中国煤炭建设协会. 煤矿采空区岩土工程勘察规范 [M]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [2] 张俊英, 王翰锋, 张彬, 等. 煤矿采空区勘查与安全隐患综合治理技术 [J]. 煤炭科学技术,

- 2013, 41 (10): 76-80.
- [3] 张俊英, 李文, 杨俊哲, 等. 神东房采采空区隐患评估与治理技术研究 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42 (10): 14-19.
- [4] 胡省三, 成玉琪. 21 世纪前期我国煤炭科技重点发展领域探讨 [J]. 煤炭学报, 2005, 30 (1): 1-7.
- [5] 郭广礼. 老采空区上方建筑地基变形机理及其控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [6] 李文, 李健. 浅埋煤层房采采空区隐患分析与治理技术 [J]. 煤矿安全, 2014, 45 (1): 64-66.
- [7] 李文, 李健. 资源整合煤矿采空区灾害特点及防治对策 [J]. 煤矿安全, 2015, 46 (7): 179-181, 185.
- [8] 申宝宏, 郑行周, 弯效杰, 等. 煤矿隐蔽致灾因素普查技术指南 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2015.