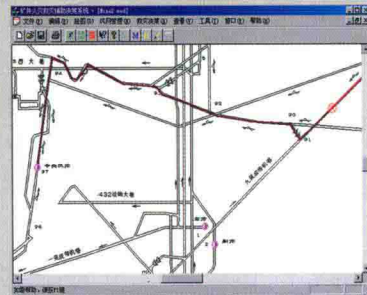
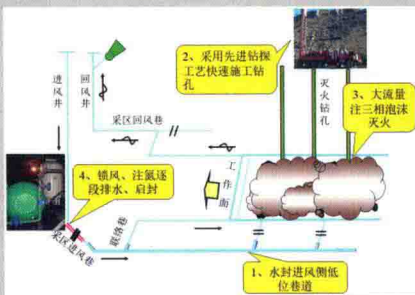




THERMODYNAMIC DISASTERS IN COAL MINES

煤矿热动力灾害学

王德明 著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

煤矿热动力灾害学

王德明 著

国家重点研发计划项目（2016YFC0801800）资助



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书对国内外的煤矿重特重大事故进行了分析与总结,提出煤矿热动力灾害概念,构建煤矿热动力灾害学内容体系,阐述煤矿中可燃物、供氧条件、点火源的成灾特性,煤矿热动力灾害产生的高温、有害气体和冲击波的致灾特性,以及煤矿热动力灾害救援与处理的方法、技术和典型案例等内容。

本书可供矿业工程、安全工程等相关专业的高校师生、科研院所的研究人员及企业技术人员和管理干部参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿热动力灾害学/王德明著. —北京:科学出版社, 2018.12

ISBN 978-7-03-060209-1

I. ①煤… II. ①王… III. ①煤矿-矿井火灾-矿山防火②煤矿-瓦斯爆炸-防治 IV. ①TD75②TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 291027 号

责任编辑:李涪汁 曾佳佳/责任校对:彭 涛

责任印制:师艳茹/封面设计:许 瑞

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 12 月第一次印刷 印张:17 1/2

字数:407 000

定价:119.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

我国的煤炭生产以井工开采为主，煤层赋存及开采条件复杂，煤矿安全生产面临瓦斯煤尘爆炸、煤自燃、突水等众多灾害威胁。近年来，我国通过加大煤矿安全科技投入、健全法律法规、强化安全监管和优化产能结构，使煤矿安全生产状况明显好转，事故总量和死亡人数大幅下降。但是，由于我国煤炭产量大、煤层赋存地质条件复杂、开采与安全保障技术及管理水平发展不平衡，煤矿重特大事故仍时有发生，煤矿安全形势依然严峻。党的十九大报告指出“树立安全发展理念，弘扬生命至上、安全第一的思想”“坚决遏制重特大安全事故，提升防灾减灾救灾能力”，这也是实现煤炭工业安全和可持续发展的必然要求。

为认识煤矿重特大事故规律，本书对我国 2000~2016 年一次死亡 10 人及以上的 488 起煤矿重大事故、1949~2016 年一次死亡 30 人及以上的 293 起煤矿特大事故、国外 2000~2016 年发生的 49 起煤矿重特大事故进行了总结与分析，发现煤矿热动力灾害一直高居各类灾害之首，并随事故严重度升高所占比例增大，是煤矿重特大事故中最主要和最严重的灾害。煤矿热动力灾害具有易发性、继发性和严重性。煤矿中煤与瓦斯等可燃物及供氧条件普遍存在，加之煤可自燃、瓦斯的点火能量低，构成了产灾的易发性；煤与瓦斯相伴而生、共存一体，二者的燃烧与爆炸及其相互转化形成煤燃烧—瓦斯燃烧爆炸—煤尘爆炸的灾害链，表现出灾变演化的继发性；燃烧与爆炸产生的高温、有害气体、冲击波致灾能力强且作用范围广，易造成群死群伤的重特大事故，体现了致灾的严重性。

煤矿中的热动力灾害种类多且互为诱因，认识不到这些灾害之间的联系与作用，仅针对单一灾害类型、单一致灾环节防范事故，缺少系统的防治方法与措施，就可能导致严重的灾难。

2013 年 3 月 29 日和 4 月 1 日，吉林通化八宝煤业发生特大瓦斯爆炸事故，共造成 53 人死亡，是我国近年来死亡人数最多、影响最大的煤矿事故。该事故发生在一个水采工作面的采空区及邻近巷道内，有关调查认定这是一起由采空区煤自燃引发的瓦斯爆炸事故。作者通过后续的调研认为：在该起事故中，采空区内先发生瓦斯爆燃并引发煤着火，然后在工作面封闭过程中已着火的煤炭又引发瓦斯爆炸。该工作面是深部-400m 水平的第一个工作面，采深加大导致瓦斯涌出量增加；由于水采工作面的风流经采空区进入回风巷，采空区与回风流的瓦斯浓度达到了爆炸（燃烧）界限；该煤层直接顶为 14m 厚的中粗粒石英砂岩，顶板来压使石英晶体产生压电效应（压电材料在压力作用下产生与电荷成正比的电荷量），顶板断裂与摩擦释放的能量点燃了采空区的预混瓦斯。该煤层在恢复生产后又发生 5 次因采空区瓦斯爆燃而封闭工作面的事件，其点火原因均相同。正是对该起事故的点火原因、采空区内煤与瓦斯固气相可燃物的相互作用、封闭过程中的风险认识不足和缺少综合防治手段，导致了该事故

的发生并造成严重后果。

2010年4月5日,美国西弗吉尼亚州的UBB(Upper Big Branch)煤矿发生了瓦斯煤尘爆炸事故,造成29人死亡、2人受伤,成为美国近40年来最严重的一次煤矿事故。该矿一个采用Y型通风的长壁工作面上隅角发生冒落,导致瓦斯积聚,采煤机截齿与顶板砂岩摩擦点燃了该处瓦斯,瓦斯燃烧2min后发生瓦斯爆炸,瓦斯爆炸又引发工作面附近的煤尘爆炸,连续的煤尘爆炸影响范围达3.2km直至井口。该矿通风系统不可靠且供风量不足导致瓦斯积聚;对防尘工作重视不够,没有及时清理巷道中的浮煤或撒布岩粉惰化煤尘;对顶板岩性与点火源关系缺少认识,该矿曾发生顶板冒落引发的瓦斯燃烧事故,但仍缺少相应防控措施;对人员自救互救的培训不到位,导致灾变时期井下作业人员缺少自救能力(如及时佩戴自救器等),井下虽设有救生舱也未能发挥作用。正是该矿对瓦斯与煤尘相互致灾作用缺少认识,疏于对通风、点火源、安全培训等环节的管理,导致了该事故的发生。

2014年5月13日,土耳其索玛-埃奈斯煤矿(Soma-Eynez Mine, SEM)发生火灾爆炸事故,造成301人死亡,是21世纪全球死亡人数最多的煤矿事故。该矿一个采区巷道瓦斯涌出量大且通风不畅,巷道顶部固定工字钢支架的木材衬板着火引发了瓦斯爆炸,瓦斯爆炸火焰又引燃该巷道前方的运输机胶带、电缆等可燃物,造成大型火灾。有关调查认为最初的点火源可能是煤自燃或某配电装置短路起火。该矿超通风能力生产、煤自燃与瓦斯防治工作不到位、事故发生后没有及时撤离灾区人员、在未掌握井下人员分布情况下贸然反风、矿井未设置避险设施和人员缺乏自救能力(未使用自救器)导致了该事故的发生并造成严重后果。

从吉林通化八宝煤业、美国UBB煤矿和土耳其SEM煤矿的案例中可看出,这些事故的发生都是煤、瓦斯与其他可燃物及其他因素综合作用的结果。国内外煤矿至今未能遏制煤矿热动力灾害事故,主要是由于对其发生发展的基础和综合特性认识不清。现有的煤矿热动力灾害被分解为瓦斯、火灾、煤尘等单项分支,热动力灾害的整体特征及其内在联系被忽略,导致在热动力灾害认识方面存在许多误区,在防治工作中缺少系统性和综合性。针对我国煤矿重特大事故防治的迫切需求和现有防治工作的不足,作者提出了煤矿热动力灾害的概念,分析了煤矿热动力灾害的特性,构建了“煤矿热动力灾害学”内容体系,研究总结了煤矿热动力灾害可燃物的来源及特性、点火源类型及作用机制、热动力灾害与通风系统的关系、瓦斯燃烧与爆炸的耦合作用,阐述了安全高效治理煤矿热动力灾害的快速消除火源、火区安全封闭和应急救援等关键技术,为防治该类事故提供了系统的理论与方法。本书既全面反映了国内外煤矿热动力灾害防治领域的研究前沿,又有机融入了作者近些年来在该领域的创新性科研成果。本书对提高我国热动力灾害防治水平、推动煤矿安全科技进步具有重要的学术和应用价值。

在本书的写作过程中,邵振鲁、朱云飞、辛海会、亓冠圣、马李洋、陈明杰、王少峰、许浪、李德利、底翠翠、王洋、刘洋、刘蛟龙、戚绪尧、王和堂等博士和硕士帮助作者搜集和整理资料,为本书的出版付出了艰辛的劳动,值本书完成之际,向他们表示衷心的感谢。

本书得到了国家科学技术学术著作出版基金和国家重点研发计划项目(2016YFC0801800)的资助,在此表示感谢。科学出版社在本书出版过程中给予了大力支持,特别是李涪汁编辑在组稿、排版、校稿等过程中付出了大量的劳动,在此一并表示感谢。

王德明

2018年6月于中国矿业大学南湖校区

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 煤炭生产的重要性	1
1.1.2 煤炭生产中的重特大事故	4
1.2 煤矿热动力灾害概念及特性	14
1.2.1 问题的提出	14
1.2.2 煤矿热动力灾害定义及特性	16
1.3 国内外研究现状	23
1.3.1 煤与瓦斯复合可燃物的特性	23
1.3.2 供氧条件对热动力灾害的影响	24
1.3.3 煤矿井下的点火源特性	25
1.3.4 煤矿热动力的致灾特性	26
1.3.5 灾变时期的自救互救、救援与应急处理	26
1.4 本书主要内容及特色	27
1.4.1 主要内容	27
1.4.2 本书特色与创新点	28
参考文献	30
第2章 煤矿中的可燃物	35
2.1 可燃物种类	35
2.1.1 煤炭	35
2.1.2 瓦斯	39
2.1.3 其他可燃物	51
2.2 可燃物特性	56
2.2.1 煤自燃、燃烧与煤尘爆炸	56
2.2.2 瓦斯燃烧与爆炸	63
2.2.3 煤、瓦斯及其他可燃物的相互作用	70
2.3 预防可燃物着火方法	73
2.3.1 预防煤自燃	73
2.3.2 预防煤尘爆炸	74
2.3.3 预防瓦斯燃烧与爆炸	76
2.3.4 预防其他可燃物着火	82
2.4 本章小结	83

参考文献	84
第3章 煤矿中的供氧条件	86
3.1 供氧条件在煤氧化燃烧中的作用	86
3.1.1 不同供氧条件下煤的自燃	86
3.1.2 不同供氧条件下煤的燃烧	97
3.2 供氧条件在瓦斯燃烧与爆炸中的作用	105
3.2.1 氧浓度对瓦斯燃烧与爆炸链式反应的影响	106
3.2.2 注惰抑制瓦斯燃烧与爆炸的临界氧浓度	107
3.2.3 供氧条件对瓦斯爆炸的影响	108
3.3 供风条件在外因火灾中的作用	110
3.4 本章小结	111
参考文献	112
第4章 煤矿中的点火源	114
4.1 点火源基本概念	114
4.1.1 最小点火能量	114
4.1.2 最低点燃温度	117
4.1.3 点火感应期	120
4.2 煤矿中的点火源类型	120
4.2.1 放电点火	122
4.2.2 爆破点火	132
4.2.3 摩擦撞击点火	141
4.2.4 自热点火	155
4.2.5 违规明火	158
4.3 煤矿中的点火源管控	160
4.3.1 放电点火控制	160
4.3.2 爆破点火控制	162
4.3.3 摩擦撞击点火控制	164
4.3.4 自热点火源及明火控制	164
4.4 本章小结	165
参考文献	165
第5章 煤矿热动力灾害的致灾特性	169
5.1 高温致灾特性	169
5.1.1 煤矿井下常见的燃烧形式	169
5.1.2 高温致灾特性	171
5.2 燃烧气体致灾特性	174
5.2.1 烟气的减光性和致毒特性	174
5.2.2 矿井中烟气的分布与蔓延特征	177
5.3 爆炸冲击波致灾特性	181

5.3.1	气相可燃物爆炸的形成机理	182
5.3.2	爆炸冲击波压力	185
5.3.3	矿井中的爆炸冲击波及安全距离	190
5.3.4	冲击波的致灾特性	201
5.4	本章小结	204
	参考文献	205
第6章	煤矿热动力灾害救援与处理	206
6.1	灾变时期的自救互救	206
6.1.1	自救互救的重要性和影响因素	206
6.1.2	遇险人员的自救互救	207
6.1.3	煤矿安全避险系统	209
6.1.4	安全避险培训与演练	211
6.2	煤矿热动力灾害应急救援	212
6.2.1	应急救援决策	212
6.2.2	应急救援行动	221
6.3	煤矿热动力灾害处理技术	225
6.3.1	主要灭火技术	225
6.3.2	火区封闭	230
6.4	本章小结	231
	参考文献	232
第7章	煤矿热动力灾害事故案例	234
7.1	宁夏白芨沟煤矿“10·24”火灾与爆炸事故	234
7.1.1	矿井概况	234
7.1.2	事故发生及处理过程	236
7.1.3	火区治理	238
7.1.4	事故分析及特点	242
7.2	吉林八宝煤业公司“3·29”和“4·1”特大瓦斯爆炸事故	244
7.2.1	矿井和采区概况	244
7.2.2	事故经过	247
7.2.3	事故原因分析	251
7.3	美国 UBB 煤矿“4·5”瓦斯煤尘爆炸事故	254
7.3.1	UBB 煤矿概况	254
7.3.2	事故发生过程	258
7.3.3	灾变的救援及处理过程	259
7.3.4	事故原因分析	262
7.4	本章小结	266
	参考文献	266

第1章 绪 论

煤炭是我国的基础能源和重要原料。我国的煤炭生产以井工开采为主，长期以来面临瓦斯、火灾、煤尘、顶板和水害等灾害的严重威胁，煤矿中的重特大事故时有发生，煤矿安全形势严峻。本章介绍研究背景、煤矿热动力灾害概念及特性、国内外研究现状，最后介绍本书的主要内容及特色。

1.1 研究背景

1.1.1 煤炭生产的重要性

煤炭是我国的主体能源。煤炭工业是关乎国家经济命脉和能源安全的重要基础产业，长期以来是我国社会经济发展的推进因素，切实保障了国家能源的安全稳定供应，有力支撑了国民经济的长期快速发展。

2000年以来，受国民经济快速发展的推动，我国煤炭产量呈现快速增长的势头，煤炭产量从2000年的12.99亿t增加到2013年巅峰时期的39.74亿t(图1.1)。自2013年之后，随着绿色发展理念以及煤炭行业积极化解过剩产能等政策的推行，我国煤炭产量呈逐年递减趋势，但2017年煤炭产量仍高达34.45亿t，煤炭消费量仍然占能源消费总量的60.4%。最新研究结果预测(图1.2)，2020年、2030年煤炭在我国一次能源消费结构中的比重仍将分别高达60%、50%^[1]。煤炭资源获取的可靠性、价格的低廉性、利用的可洁净性，决定了在今后较长时期内煤炭作为我国主体能源的地位和作用不会改变。

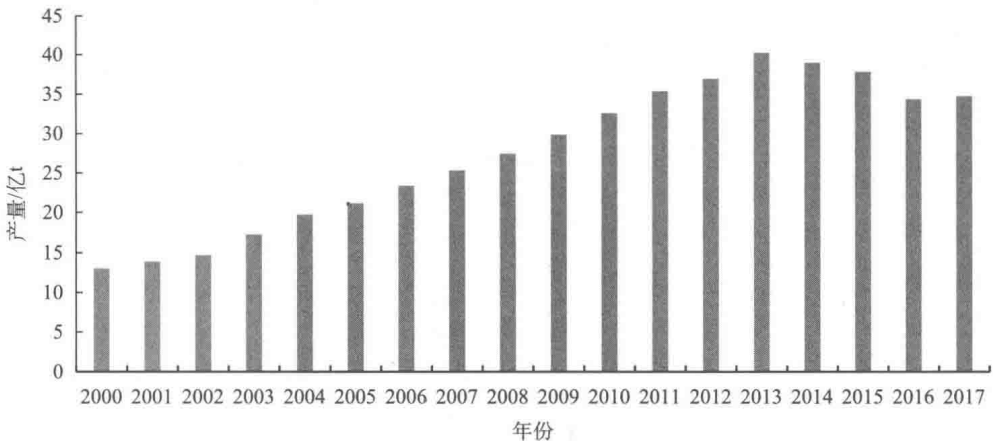


图 1.1 2000 年以来我国煤炭产量

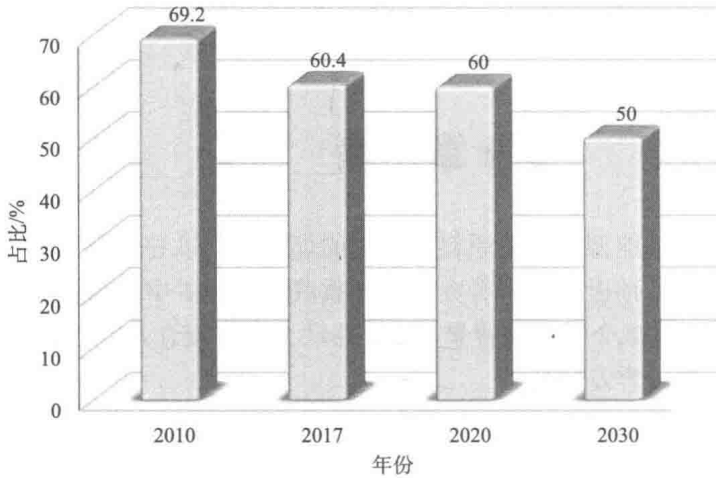


图 1.2 煤炭在我国一次能源消费结构中的比重

1.1.1.1 获取的可靠性

截至 2016 年年底，我国煤炭、石油、天然气的探明储量分别占世界探明总储量的 21.4%、1.5%和 2.9%^[2]；我国煤炭、石油、天然气分别占世界年产量的 46.1%、4.3%和 3.9%。根据全国煤炭资源潜力评价结果，截至 2016 年年底，全国远景煤炭资源量 5.9 万亿 t，其中，查明煤炭资源储量 1.57 万亿 t，占我国已探明化石能源资源总量的 97%左右^[1]，是我国最丰富的能源资源。从我国能源资源赋存禀赋可以看出，我国能源储量具有“富煤、贫油、少气”的特点，石油、天然气储量少，难以满足国民经济的发展需求；煤炭具有天然的能源主体地位。此外，我国石油、天然气等能源对外依存度高，2017 年我国原油对外依存度已达 67.4%^[3]，天然气对外依存度也已达到 39%。在今后一定时期内，大规模进口油气资源，仍将面临国际政治、经济等不确定因素，这将严重影响我国能源战略安全。因此，我国能源资源赋存禀赋和国家能源战略安全决定了我国一次能源结构只能以煤为主（图 1.3）。

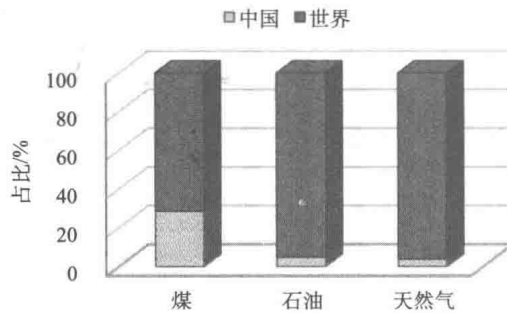


图 1.3 2016 年我国占世界能源产量比例

1.1.1.2 价格的低廉性

从能源利用的经济性看，按 2016 年秦皇岛港 5500 大卡动力煤平均价格为基数，折算成同等发热量价格分析，如图 1.4 所示，目前我国煤炭、石油、天然气比价为 1 : 8 : 4.7，相当于我国煤炭价格是汽柴油价格的 1/8、天然气价格的近 1/5，煤炭是支撑国民经济和社会发展最经济、最廉价的能源。

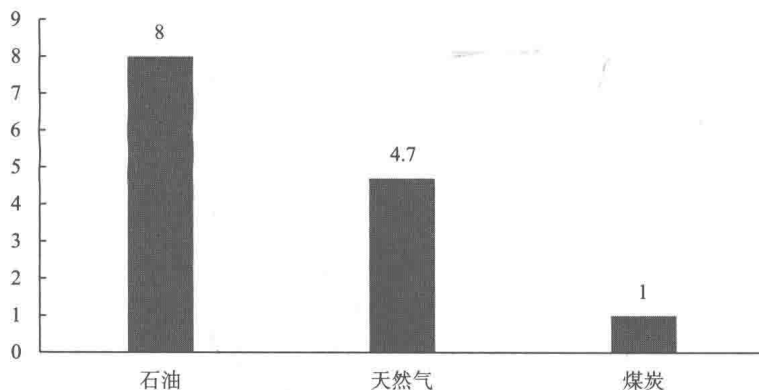


图 1.4 基于同等热值的能源比价
纵坐标为以煤炭为基准的价格比例

1.1.1.3 利用的可洁净性

我国约有 50% 的煤炭用来发电，集中用煤排放的二氧化硫、氮氧化物、细颗粒物，经排放尾气的收集处理，经过脱硫、脱硝、除尘装置，已经能控制为和天然气发电排放的水平相当。清洁煤技术可以使其传统污染物的排放量低于目前天然气燃烧排放量的国家标准（图 1.5）。我国的燃煤电厂在技术上已经处于世界领先水平，近年来，建成了一批高标准的燃煤电厂超低排放示范工程，烟尘、二氧化硫、氮氧化物等主要排放指标

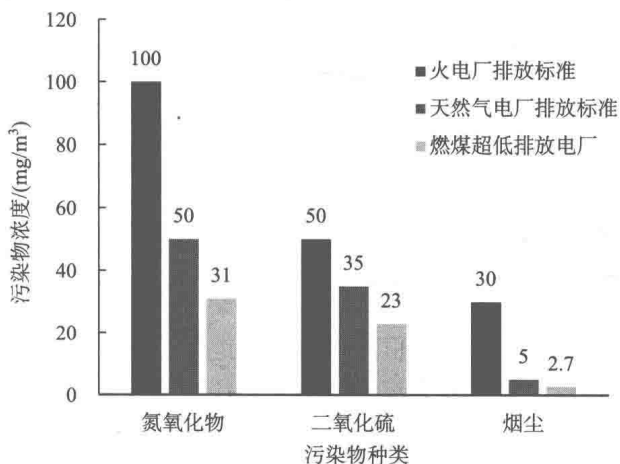


图 1.5 燃煤超低排放与电厂排放标准

达到了天然气电厂的排放标准,发电成本大幅低于天然气发电。其中,燃煤超低排放电厂烟尘浓度达到 2.7 mg/m^3 左右, SO_2 浓度 23 mg/m^3 左右, NO_x 浓度 31 mg/m^3 左右^[1]。燃煤发电机组实现超低排放所增加的成本不到 $0.02 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。目前燃煤发电 $0.3 \sim 0.4 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 左右的上网电价,远低于天然气发电 $0.8 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 左右的上网电价。也就是说,用煤发电达到同样的排放甚至更低,成本是天然气的一半。如果全国燃煤发电机组全面应用超低排放技术,将解决火力发电在环保、耗能、效益上不能兼顾的问题,在全世界树起节能减排的标杆,煤电主要污染物排放较 2013 年可降低约 90%,煤炭清洁高效利用在燃煤发电领域完全可以实现。

目前,我国仍处于工业化、城镇化加快发展的历史阶段,能源需求总量仍有增长空间。近年来,我国的大气环境污染状况日益严峻,众多地区出现了大范围、持久性的雾霾天气,人们在寻找雾霾的“元凶”时,也将目光集中在“煤”上;此外,在国际上,煤炭消费被认为是二氧化碳排放的主要来源,碳排放将被纳入国际经济和贸易体系中去,低碳清洁化将成为全球能源发展转型的选择。未来中国煤炭行业发展的前景如何?社会上出现了“去煤化”的呼声,要求停止煤炭消费,用其他能源取而代之。然而,从我国能源资源禀赋和发展阶段出发,煤炭是我国稳定性、经济性、自主保障程度最高的能源,是保障能源安全的基石,“去煤化”在短期内是不可能实现的。我国国情还是以煤为主,煤炭作为我国主体能源的地位和作用不会改变,也不可能改变,不能分散对煤的注意力。因此,在发展新能源、可再生能源的同时,要继续做好煤炭这篇大文章^[4]。

1.1.2 煤炭生产中的重特大事故

在当前时间内,煤炭工业仍然是很多产煤国家经济命脉和能源安全的重要基础产业。近些年来,各主要产煤国不断加大科技投入、促进科技进步、健全政策法规、提升安全管理水平,煤矿安全生产状况总体稳定、趋于好转,事故总量和死亡人数持续下降。但是,由于煤矿井下作业环境复杂、灾害种类多样和逃生避险困难的特点,煤矿安全问题突出,煤炭开采面临瓦斯、火灾、煤尘、顶板和水害等多种灾害的威胁,煤矿中的重特大事故时有发生,煤矿安全形势依然严峻,一些重大科技难题仍没有得到有效解决,不同程度地制约了各国煤炭工业的安全发展。煤矿重特大事故导致的社会影响特别恶劣,经济损失极其惨重,是煤矿安全工作的重点、社会关注的焦点,也是相关研究的热点。为认识和掌握煤矿重特大事故的一般性规律,本节对 1949~2016 年我国煤矿一次死亡 30 人及以上的特大事故,2000~2016 年我国煤矿一次死亡 10~29 人的重大事故以及国外煤矿一次死亡 10 人及以上的重特大事故进行了统计分析。

1.1.2.1 我国概况

我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国,也是井工煤矿数量最多的国家。2014 年全国煤矿数量为 11 000 个,其中露天煤矿 230 个;大型煤矿 970 多处,产量占全国总产量的 67%,其中,已建成年产千万吨级特大型现代化煤矿 54 处,产量近 7 亿 t,占全国产量的 18%。煤矿在我国 27 个省(直辖市、自治区)、1264 个县均有分布,占我国县级行政区划的 44.2%。我国存在 3 类不同所有制形式的煤矿,即国有重点煤矿、国有地方

煤矿和乡镇煤矿。2017年我国煤炭产量占全球总产量的46.4%，消费量占全球总消费量的50.7%^[5]。

1. 我国煤矿安全生产历程

1949年以来，我国煤矿安全形势经历了初步调整、异常波动、快速下降、快速上升、高位波动和稳定下降6个时期（图1.6），各时期的安全形势分析如下：

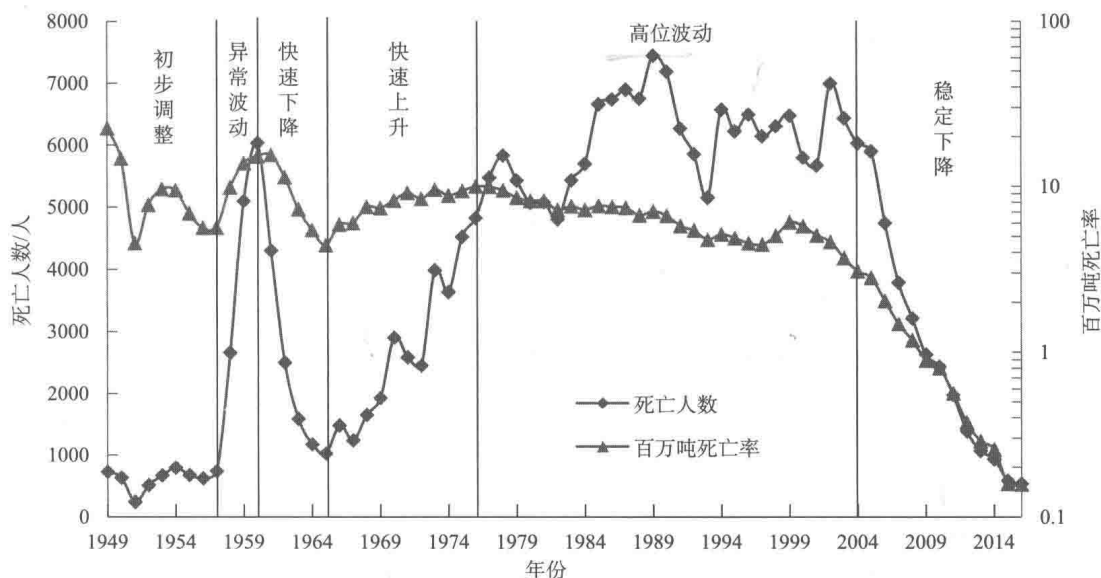


图1.6 我国煤矿安全生产历程

(1) 初步调整期。1949~1957年，中华人民共和国成立初期，我国煤炭工业基础薄弱，煤矿技术落后，虽然煤矿事故死亡人数较少，但由于产量很低，百万吨死亡率最高。之后，随着煤炭工业的快速恢复和发展，我国煤炭生产能力、长壁采煤比重以及煤矿机械化程度快速提高，国营煤矿长壁式采煤方法产量比重达到了95.3%，井下平巷采用机械运输比例提高到85.16%，地面机械装运比例提高到90.78%，安全状况逐渐好转。

(2) 异常波动期。1958~1960年，“大跃进”对我国的煤炭行业产生了极大冲击，出现了经营管理混乱、片面追求产量、乱采滥挖等不利局面。为了满足全民大办钢铁对煤炭的需求，提出了全民大办煤矿。由于违背了煤矿生产的客观规律，超能力生产，造成煤矿采掘关系大面积失调，巷道失修等问题严重，导致这一时期安全状况迅速恶化。

(3) 快速下降期。1961~1965年，得益于对“大跃进”错误方针的纠正，煤炭行业整体安全水平有所提高，在煤炭产量变化不大的情况下（约2.2亿t），死亡人数从1961年的4304人降至1965年的1026人，百万吨死亡率从15.5降至4.43。

(4) 快速上升期。1966~1976年，由于没有执行煤矿安全相关制度，采掘关系再次出现严重失调，导致煤矿安全问题严重。

(5) 高位波动期。1977~2004年这27年间，我国煤炭产量迅速增加，安全事故也同步剧增，除1982年死亡人数（4805人）低于5000人以外，其余26年死亡人数均超

过 5000 人。在这一阶段，国家在资金短缺的情况下，仍然加大了安全的投入：一方面不断改善安全技术装备水平，增强抗灾能力；另一方面，加强职工安全培训 and 安全教育。因此，在该时期尽管死亡人数增加，但百万吨死亡率却总体递减。

(6) 稳定下降期。2005~2016 年，国家高度关注煤矿安全工作，2005 年国家组织了煤矿安全会诊，每年投入 30 亿元用于煤矿安全，各省和企业对煤矿安全的投入和重视不断增强、机械化程度不断提高、落后产能逐步淘汰、煤矿灾害防治技术不断进步。与此同时，相关法律法规的修订、颁布和实施也起到了较大的推动作用，《安全生产法》《煤矿安全监察条例》《煤矿安全规程》等法规的颁布与修订，强化了企业的主体责任和更严格的技术管理，同时出台了向煤矿倾斜的专业人才教育政策和加强煤矿的安全培训等工作等，全国煤矿安全形势有了很大的改观，死亡人数及百万吨死亡率均呈快速下降趋势，2009 年我国煤矿百万吨死亡率首次降到 1 以下，2014 年我国煤炭行业死亡人数降至 1000 人以下。

2. 我国煤炭生产特征

我国煤炭生产主要有井工开采比例高、地质构造复杂和开采技术与管理水平发展不平衡的特点。

1) 井工开采比例高

我国大部分煤炭资源形成于较早的石炭纪—二叠纪以及稍晚的侏罗纪，煤层在形成后的漫长地质历史时期内，在其上部沉积了较厚的地层，导致煤层埋藏较深。这决定了我国大部分煤炭只能采用井工方式进行开采，而美国、澳大利亚等国多为水平煤层或近水平煤层，埋藏浅，地质条件简单，大部分以露天方式进行开采。以 2015 年统计数据^[6]为例（表 1.1），我国露天矿产量占比仅为 14%；美国共有生产煤矿 1061 座，其中露天矿 637 座，产量占 65%；澳大利亚有 100 座生产煤矿，其中露天煤矿 65 座，产量占 78%；印度 81% 的煤炭产量也通过露天煤矿开采；印度尼西亚几乎全部的煤炭来自露天煤矿。露天开采采用大型机械作业，用人少、生产效率高，安全性好。

表 1.1 2015 年世界主要产煤国家露天矿产量占比和生产效率^[6]

国家	2015 年煤炭产量 /亿 t	机械化程度/%	露天矿产量占比/%	全员工效 / (t / (人 · a))
中国	37.47	76	14	约 1000
美国	8.13	100	65	约 10 000
印度	6.78	100	81	3000
澳大利亚	4.85	100	78	约 10 000
印度尼西亚	3.92	100	100	约 5000
俄罗斯	3.73	97	68	2032
南非	2.52	100	49	5300

2) 地质构造复杂

我国大陆是由众多小型地块多幕次汇聚形成的,主要煤田经受了多期次、多方向、强度较大的构造运动的改造,煤系地层受到挤压揉搓,导致地质构造发育,断层、褶皱广泛分布,部分地区的煤层还受到岩浆活动的影响,煤层的稳定性和连续性被破坏,煤层、顶底板以及瓦斯的赋存状态也发生了改变。据统计,在国有重点煤矿中,地质构造复杂或极其复杂的煤矿占36%。此外,我国煤矿水文地质条件相当复杂,25%的煤矿水文地质条件属于复杂和极复杂类型,华北、华东地区80%的煤矿受奥陶系灰岩岩溶水(奥灰水)的威胁,突水淹井事故时有发生。地质构造和水文地质条件的复杂性增加了开采工作的难度和危险程度,造成冒顶、水害及瓦斯灾害频发。

由于受煤层埋深影响,我国井工煤矿的平均开采深度接近500m,开采深度超过800m的矿井达到200余处,千米深井47处,新汶孙村煤矿采深已达到1501m。而美国井工开采煤层的平均埋深为122~183m,多为倾角在6°以下的水平和近水平煤层;澳大利亚井工矿开采深度平均为250m,倾角一般不超过10°,中厚煤层居多,瓦斯含量不高。开采深度增加会导致地应力增大、涌水量激增、瓦斯危险情况增加、井下温度升高以及煤自燃危险性提高,进而显著提高冒顶、突水、瓦斯及煤自燃事故的发生概率。

3) 开采技术与管理水平发展不平衡

美国、澳大利亚等发达国家煤矿生产集约化程度高、生产组织简单、管理层级少,矿井布置简单,多数为一矿一面,综合机械化水平达到100%,煤矿向自动化方向发展,生产一线和管理人员少,生产效率高,煤矿规模普遍较大,例如澳大利亚煤矿平均产量达500万t以上。而我国煤矿开采的煤层及赋存地质条件、开采技术及装备差异大,开采深部的煤层、薄煤层、不稳定煤层的煤矿数量较多,导致我国机械化等现代化生产水平及管理方面与世界采煤发达国家还有差距。我国煤矿分为国有重点、国有地方和乡镇煤矿,就业人员素质及管理水平参差不齐,尤其是乡镇煤矿初中及以下文化程度人数较多,工程技术人员奇缺,难以满足提高机械化开采程度和安全管理水平的要求,这也是我国煤矿事故多发的重要因素之一。

3. 我国煤矿重特大事故

根据事故中的伤亡人员数量,我国将煤矿事故分为特大事故、重大事故、较大事故和一般事故,依据国家安全监管总局和国家煤矿安监局《关于印发煤矿生产安全事故报告和调查处理规定的通知》(安监总政法〔2008〕212号),死亡30人及以上为特别重大事故,10~29人为重大事故,3~9人为较大事故,1~2人为一般事故。

我国煤炭产量大、井工开采比例高,煤层赋存、开采技术与管理水平差异很大,造成我国煤矿事故多发。1949年以来我国煤矿共发生死亡百人以上事故24起(表1.2),另外,2007年还发生因暴雨洪水(自然灾害)引发的淹井事故1起,死亡181人。在24起百人以上事故中,瓦斯煤尘爆炸事故11起,占事故总数的46%;瓦斯爆炸事故6起,占事故总数的25%;煤尘爆炸事故4起,占事故总数的17%;火灾、水害和煤与瓦斯突出事故各1起(图1.7)。

表 1.2 1949 年以来我国煤矿一次死亡百人以上事故统计表

序号	时间	煤矿	事故类型	死亡人数
1	1950.2.27	河南宜洛煤矿	瓦斯爆炸	187
2	1954.12.6	内蒙古大发煤矿	瓦斯煤尘爆炸	104
3	1960.5.9	山西大同老白洞煤矿	煤尘爆炸	684
4	1960.5.14	重庆松藻同华煤矿	煤与瓦斯突出	125
5	1960.11.28	河南平顶山龙神庙煤矿	瓦斯煤尘爆炸	187
6	1960.12.15	重庆中梁山煤矿南井	瓦斯煤尘爆炸	124
7	1961.3.16	辽宁抚顺胜利煤矿	火灾	113
8	1968.10.24	山东新汶华丰煤矿	煤尘爆炸	108
9	1969.4.4	山东新汶潘西煤矿	煤尘爆炸	115
10	1975.5.11	陕西铜川焦坪煤矿前卫斜井	瓦斯煤尘爆炸	101
11	1977.2.24	江西丰城坪湖煤矿	瓦斯爆炸	114
12	1981.12.24	河南平顶山五矿	瓦斯煤尘爆炸	133
13	1991.4.21	山西洪洞县三交河煤矿	瓦斯煤尘爆炸	147
14	1996.11.27	山西大同郭家窑乡东村煤矿	瓦斯煤尘爆炸	110
15	2000.9.27	贵州水城木冲沟煤矿	瓦斯煤尘爆炸	162
16	2002.6.20	黑龙江鸡西城子河煤矿	瓦斯煤尘爆炸	124
17	2004.10.20	河南郑州大平煤矿	瓦斯爆炸	148
18	2004.11.28	陕西铜川陈家山煤矿	瓦斯煤尘爆炸	166
19	2005.2.14	辽宁阜新孙家湾煤矿	瓦斯爆炸	214
20	2005.8.7	广东梅州黄槐镇大兴煤矿	水害	123
21	2005.11.27	黑龙江七台河东风煤矿	煤尘爆炸	171
22	2005.12.7	河北唐山开平区刘官屯煤矿	瓦斯煤尘爆炸	108
23	2007.12.5	山西临汾瑞之源煤业公司	瓦斯爆炸	105
24	2009.11.21	黑龙江鹤岗新兴煤矿	瓦斯爆炸	108

注：2007 年 8 月 17 日，山东省华源矿业有限公司发生了死亡 181 人的洪水淹井事故，属于自然灾害，未计入百人以上事故。

