



# 煤与瓦斯突出的力学 作用机理

胡千庭 文光才 著



科学出版社

国家科学技术著作出版基金资助出版

# 煤与瓦斯突出的力学作用机理

胡千庭 文光才 著

国家重点基础研究发展计划（973）项目  
(2005CB221500、2010CB735506、2012CB724206)

国家自然科学基金重点项目（50534080）  
重庆市百名杰出科技领军人才培养计划项目

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统地论述了煤与瓦斯突出的基本特征、演化流程、力学作用机制和力学条件、瓦斯涌出量、致灾机理等最新理论和实验成果,并依据大量国内外煤与瓦斯突出事故案例进行了反演验证。全书共9章,内容包括绪论、煤与瓦斯突出的统计特征、突出煤的结构及物理力学特性、煤与瓦斯突出的力学演化机制、煤与瓦斯突出发生的力学条件、煤与瓦斯突出过程中的瓦斯涌出规律、突出煤和瓦斯的运动规律和动力效应、煤岩瓦斯动力灾害新的分类及鉴别方法、理论研究成果的应用。

本书可供高等院校采矿工程、煤炭安全技术及工程等专业的师生及从事煤矿安全和采矿相关领域的科研、设计和工程技术人员参考阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

煤与瓦斯突出的力学作用机理/胡千庭,文光才著. —北京:科学出版社, 2013.1

ISBN 978-7-03-036261-2

I. ①煤… II. ①胡…②文… III. ①煤突出-力学-研究②瓦斯突出-力学-研究 IV. ①TD713

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 312199 号

责任编辑:牛宇锋 / 责任校对:邹慧卿  
责任印制:张 倩 / 封面设计:科地亚盟

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013年1月第一版 开本:B5(720×1000)

2013年1月第一次印刷 印张:30 1/4

字数:597 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

在未来较长一段时期内,煤炭仍将是我国的主体能源,因而随着经济的快速发展,我国对煤炭的需求仍将持续增加。近些年煤炭的大规模开发,使得中东部矿井开采深度迅速增加,矿井开采深度以每年近 20m 的速度向深部延伸;西部资源也进入大面积开发阶段,陕西、内蒙古、新疆等地的煤炭产量大幅上扬。这将导致煤与瓦斯突出等动力灾害事故对煤矿安全生产的威胁日趋严重。近几年的统计资料表明,尽管我国采取了一系列有效防范煤矿灾害事故的措施,但突出矿井数量每年仍成百对增加,突出事故次数和死亡人数没有显著减少,冲击地压事故也呈明显增长趋势。因此,有效预防煤矿瓦斯事故,尤其是有效预防以煤与瓦斯突出为核心的煤岩瓦斯动力灾害事故成为煤矿安全领域工程和科技工作者的第一要务。

煤与瓦斯突出涉及工程岩体动力学、吸附解吸动力学、瓦斯煤岩体两相耦合的灾害动力学、渗流动力学、构造动力学、地球物理学等多学科领域,是一个极其复杂的科学问题。原始煤层中,瓦斯气体主要以吸附于煤体内及承压于煤岩体孔、裂隙内的状态赋存。由于大地构造运动的作用,煤岩体内出现许多断层、褶曲、节理和裂隙等地质构造,这种构造运动破坏了煤岩体的原生结构,产生了构造软煤及非均质各向异性的物理力学性质,并使煤岩体承受上覆岩体压力、构造应力、瓦斯压力等的作用。井工采矿活动进入煤层及其围岩中,再次破坏煤岩体的物理平衡状态,这种破坏达到某个程度时,就会诱发煤与瓦斯突出、冲击地压、瓦斯异常涌出等煤岩瓦斯动力灾害事故。因此,了解这种物理平衡状态的破坏过程,揭示这一破坏过程的本质及其演化规律,认识灾害发生的条件和致灾机理,突破其相关科学问题,才能研究有效的预测预防技术,使我国预防煤岩瓦斯动力灾害技术水平上一个新台阶,并达到有效控制重大煤岩瓦斯动力灾害事故频发的目的。

为了解决我国煤矿瓦斯灾害所面临的重大科学问题,科技部在 2005 年设立了国家重点基础研究发展计划(973 计划)“预防煤矿瓦斯动力灾害的基础研究”项目,2009 年启动了“瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室”的建设;国家自然科学基金委员会 2005 年启动了“煤与瓦斯突出机理及探测预防基础研究”重点项目;2011 年重庆市科委设立了“煤与瓦斯突出的预警模型研究”百名杰出科技领军人才培养计划项目等。这一系列项目的研究成果构成了本书的主要内容。此外,国家“七五”、“八五”科技攻关项目“矿井瓦斯突出预测预报”、“突出预测敏感临界指标值确定方法研究”中的一些基础研究内容也成为本书的一部分。全书共 9 章:第 1 章主要阐述对煤与瓦斯突出机理研究的现状及发展趋势的观点;第 2 章重点

论述煤与瓦斯突出的统计特征及规律;第3章主要介绍对突出煤的物理力学性质的研究成果;第4章论述煤与瓦斯突出的力学演化机制;第5章至第7章尝试对煤与瓦斯突出进行定量研究,分别阐述发生突出的力学条件、突出过程中瓦斯涌出规律、突出瓦斯-碎煤的运动规律及动力效应;第8章和第9章论述研究成果的应用,包括对煤岩瓦斯动力灾害分类与鉴别方法的应用、对突出统计特征的解释,以及对突出预测预防技术的研发思路和方向的应用。

本书的主要内容是以作者为带头人的团队经过长期研究形成的观点,这个团队中主要有学科带头人胡千庭、文光才、孙东玲研究员,有金洪伟、刘延保、苗法田、程国强、王振、董国伟、赵志刚、耿延辉、王波、隆清明等一批以基础研究为主要任务的学术骨干。正是这个团队依托中国煤炭科工集团重庆研究院的支持进行长期孜孜不倦的潜心研究,成就了本书的面世。项目的研究工作自始至终得到范维唐、何继善、周世宁、鲜学福、张铁岗、彭苏萍等院士和卢鉴章、周心权两位教授的指导,得到科技部、国家安全生产监督管理总局、国家煤矿安全监察局、国家能源局、国家自然科学基金委、重庆市科学技术委员会、煤炭科学研究总院、中国矿业大学(北京)、重庆大学、山东科技大学、平顶山煤业集团公司等单位的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

在本书撰写和出版过程中得到了中国煤炭科工集团重庆研究院和科学出版社的热情帮助和大力支持。借本书出版之际,作者谨向给予本书出版支持和帮助的单位领导、老师、专家学者、参考文献作者和广大同仁表示衷心的感谢! 特别感谢国家科学技术著作出版基金对本书的支持!

书中难免有不当之处,敬请广大读者予以批评指正。书中的一些观点还不成熟,尤其在定量研究成果方面仅仅是一个开端,缺乏足够的实验和案例验证,克服这些不足也必将成为我们未来努力的方向。

作者

2012年11月1日

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 煤与瓦斯突出概述 .....	1
1.2 煤与瓦斯突出机理的研究现状及发展趋势 .....	6
1.2.1 煤与瓦斯突出机理的研究现状 .....	6
1.2.2 煤与瓦斯突出机理研究的发展趋势 .....	16
<b>第 2 章 煤与瓦斯突出的统计特征</b> .....	18
2.1 煤与瓦斯突出的总体规律.....	18
2.1.1 突出与开采深度的关系 .....	18
2.1.2 突出与地质构造的关系 .....	25
2.1.3 突出与煤层厚度的关系 .....	41
2.1.4 突出与巷道类型的关系 .....	44
2.1.5 突出与作业方式的关系 .....	46
2.1.6 突出发生的前兆特征 .....	48
2.1.7 突出发生的总体规律 .....	49
2.2 煤与瓦斯突出中煤体的抛出特征.....	52
2.2.1 突出孔洞的基本特征 .....	53
2.2.2 突出类型与突出强度 .....	62
2.2.3 突出煤的堆积及粒度组成.....	63
2.3 突出过程中的瓦斯涌出动态变化特征.....	69
2.3.1 突出后瓦斯涌出的动态监测 .....	69
2.3.2 突出后瓦斯浓度的回归分析 .....	70
2.4 突出过程中的动力效应特征.....	72
2.4.1 突出动力效应的表现特征分析 .....	73
2.4.2 突出过程中的冲击波 .....	78
2.5 煤与瓦斯突出发生过程的现场考察.....	79
2.5.1 苏联顿巴斯煤田突出监测资料 .....	79
2.5.2 苏联顿巴斯“红十月”矿突出事故 .....	85

2.5.3	中梁山煤矿突出事故	85
2.5.4	海孜矿突出事故	88
2.5.5	突出的实验室物理模拟	88
2.5.6	其他突出事故	89
2.5.7	突出发生过程的规律总结	90
2.6	本章小结	90
<b>第3章</b>	<b>突出煤的结构及物理力学特性</b>	<b>93</b>
3.1	突出煤层与突出煤的结构特征	93
3.1.1	突出煤层的结构特征	93
3.1.2	突出煤的结构特征	95
3.2	突出煤的微观孔、裂隙结构特征	100
3.2.1	煤中的孔隙	100
3.2.2	煤中的裂隙	105
3.2.3	突出煤的比表面积特征	107
3.3	瓦斯在煤体中的赋存特性	117
3.3.1	瓦斯在煤体中的赋存状态	117
3.3.2	煤体的吸附特性	118
3.3.3	突出煤层的瓦斯含量特征	123
3.4	突出煤的瓦斯解吸规律	143
3.4.1	瓦斯在煤体中的解吸扩散过程	144
3.4.2	煤中解吸瓦斯放散的规律	144
3.4.3	突出煤层煤样瓦斯解吸的特点	154
3.4.4	瓦斯解吸的理论模型及实验验证	156
3.4.5	解吸瓦斯在煤与瓦斯突出过程中的作用	162
3.5	吸附作用下突出煤的渗流规律	163
3.5.1	渗流实验理论	164
3.5.2	突出煤体渗透特性实验	167
3.5.3	吸附-应力耦合作用影响的瓦斯流动数学模型	180
3.6	固-气耦合作用下的煤体力学特性	190
3.6.1	煤岩裂隙扩展及破坏的演化规律	191
3.6.2	含瓦斯煤的有效应力原理	193
3.6.3	含瓦斯煤的本构关系	194
3.6.4	准静载条件下瓦斯对煤体力学特性的影响	197

---

3.6.5 准静载作用下的流变剪切破坏 .....	201
3.6.6 突然卸载条件下瓦斯对煤的破坏 .....	207
3.7 本章小结 .....	223
<b>第4章 煤与瓦斯突出的力学演化机制</b> .....	<b>227</b>
4.1 煤与瓦斯突出的演化流程 .....	227
4.2 突出孕育阶段围岩的力学状态 .....	229
4.2.1 采掘工作面前方的支承压力分布 .....	229
4.2.2 工作面前方的应力状态模拟 .....	233
4.2.3 工作面前方煤壁的破坏过程分析 .....	241
4.3 煤与瓦斯突出激发的失稳机制 .....	243
4.3.1 突出激发的失稳模型 .....	243
4.3.2 突出激发时煤壁的失稳形式 .....	245
4.3.3 突出激发的影响因素 .....	247
4.4 煤与瓦斯突出发展阶段煤的破坏机制 .....	252
4.4.1 突出发展的力学模型 .....	252
4.4.2 突出激发后孔洞壁的应力状态变化 .....	252
4.4.3 突然卸载条件下应力波的传播 .....	257
4.4.4 孔洞壁的瓦斯压力状态 .....	262
4.4.5 突出发展的物理模拟实验 .....	265
4.4.6 突出发展阶段层裂的数值模拟 .....	269
4.4.7 突出发展阶段煤的层裂破坏机理 .....	272
4.4.8 突出发展阶段煤的粉化破坏机理 .....	278
4.5 煤与瓦斯突出的暂停、再次激发和终止机制 .....	282
4.6 本章小结 .....	284
<b>第5章 煤与瓦斯突出发生的力学条件</b> .....	<b>286</b>
5.1 煤与瓦斯突出发生的总条件 .....	286
5.2 突出激发的能量条件 .....	290
5.2.1 煤体及瓦斯释放的能量 .....	291
5.2.2 煤体耗散的能量 .....	294
5.2.3 计算结果及分析 .....	295
5.3 基于能量分析的突出强度预测 .....	299
5.3.1 突出孔洞范围内煤体的弹性势能 .....	299
5.3.2 突出影响范围内煤体的瓦斯内能 .....	300



5.3.3	周围煤岩体对突出范围内煤岩所做的功	302
5.3.4	煤岩体的破碎功	302
5.3.5	瓦斯及煤粒混合体的抛出功	303
5.3.6	突出强度的预测方法	305
5.4	煤与瓦斯突出发生的数值模拟与分析	306
5.4.1	水平煤层巷道掘进突出的模拟	306
5.4.2	倾斜煤层瓦斯突出的模拟	312
5.4.3	材料非均质对突出发生的影响	315
5.5	煤与瓦斯突出案例的能量关系分析	317
5.5.1	沿沟煤矿“11·8”事故	317
5.5.2	化处矿切眼上山突出事故	318
5.6	本章小结	319
<b>第6章</b>	<b>煤与瓦斯突出过程中的瓦斯涌出规律</b>	<b>320</b>
6.1	突出过程中涌出瓦斯的来源	321
6.2	突出时抛出煤的瓦斯涌出规律	322
6.2.1	抛出煤瓦斯涌出模型的建立	322
6.2.2	抛出煤瓦斯涌出速度	323
6.2.3	计算结果及分析	324
6.3	突出时孔洞壁附近煤体的影响范围	326
6.3.1	煤体影响范围的理论分析	326
6.3.2	煤体影响范围的静动态有限元分析	326
6.4	突出时孔洞壁附近煤体的瓦斯涌出规律	330
6.4.1	煤层瓦斯流动的模拟方法	330
6.4.2	工程实例	331
6.4.3	影响因素分析	333
6.4.4	瓦斯涌出速度的近似计算	344
6.5	参数拟合及突出实例验证	346
6.5.1	现场数据	346
6.5.2	参数 $m$ 的拟合	348
6.5.3	突出实例验证	350
6.6	突出后巷道内高浓度瓦斯的运移及衰减	353
6.6.1	突出后瓦斯的运移及监测	353
6.6.2	突出后巷道内高浓度瓦斯的衰减	354

6.7 本章小结 .....	357
<b>第7章 突出煤和瓦斯的运动规律和动力效应</b> .....	<b>358</b>
7.1 突出孔洞内煤-瓦斯两相流的流动状态 .....	358
7.1.1 突出孔洞内煤-瓦斯两相流的数学模型 .....	359
7.1.2 突出过程中煤-瓦斯两相流的临界状态 .....	362
7.1.3 气-固两相流中的声速 .....	365
7.1.4 煤-瓦斯两相流运动状态的数值模拟 .....	368
7.1.5 现场实例分析 .....	375
7.2 煤与瓦斯突出冲击波的形成机理及其传播规律 .....	377
7.2.1 扰动波与冲击波 .....	378
7.2.2 空气冲击波基本原理 .....	379
7.2.3 煤与瓦斯突出冲击波的主要特征 .....	382
7.2.4 煤与瓦斯突出冲击波的形成机理 .....	383
7.2.5 突出冲击波在巷道中的传播规律 .....	388
7.2.6 石门揭煤突出冲击波形成及传播规律的数值模拟 .....	389
7.2.7 煤与瓦斯突出事故分析 .....	397
7.3 煤-瓦斯两相流在巷道内的运移规律 .....	400
7.3.1 研究思路和方法 .....	400
7.3.2 固体颗粒在气流中的悬浮运动方程 .....	401
7.3.3 粉煤颗粒群在巷道内的运移数学模型 .....	402
7.4 本章小结 .....	409
<b>第8章 煤岩瓦斯动力灾害新的分类及鉴别方法</b> .....	<b>411</b>
8.1 煤岩瓦斯动力灾害新的表现特征 .....	411
8.1.1 典型煤岩动力灾害的表现形式 .....	411
8.1.2 高瓦斯煤层煤岩瓦斯动力灾害新的表现特征 .....	413
8.1.3 灾害事故新的表现特征 .....	417
8.2 煤岩瓦斯动力灾害的统一能量方程及破坏准则 .....	418
8.2.1 煤岩瓦斯动力灾害发生的能量来源分析 .....	419
8.2.2 煤岩瓦斯动力灾害发生的统一能量方程 .....	421
8.2.3 围岩-煤体系统失稳破坏的能量传递过程 .....	421
8.2.4 煤岩瓦斯动力灾害发生的能量判据 .....	422
8.2.5 不同强度特征煤对灾害发生的影响分析 .....	424
8.3 矿井煤岩瓦斯动力灾害新的分类及鉴定方法研究 .....	425

8.3.1	基于能量方程的煤岩瓦斯动力灾害新的分类 .....	426
8.3.2	煤岩瓦斯动力灾害新分类的鉴定方法 .....	429
8.3.3	实验研究 .....	430
8.3.4	现场案例分析 .....	434
8.4	矿井煤岩瓦斯动力灾害诱发转化机制 .....	435
8.4.1	冲击地压与煤岩瓦斯突出的统一理论及诱发转化机制探讨 .....	435
8.4.2	冲击地压与煤岩瓦斯突出的诱发转化条件 .....	437
8.4.3	采动应力场分布特征及其对动力灾害发生的影响分析 .....	438
8.5	本章小结 .....	443
<b>第9章</b>	<b>理论研究成果的应用</b> .....	<b>444</b>
9.1	突出机理的量纲分析 .....	444
9.1.1	煤岩体的准静态变形破坏 .....	444
9.1.2	含瓦斯煤的动态剥离和破碎 .....	445
9.1.3	碎煤瓦斯流的运动 .....	446
9.1.4	突出模型的相似准则 .....	447
9.2	突出力学作用机理对突出过程中现象的解释 .....	448
9.2.1	对一些突出激发现象的解释 .....	448
9.2.2	对一些突出发展现象的解释 .....	453
9.3	预防煤与瓦斯突出技术的发展思路 .....	456
9.3.1	预防煤与瓦斯突出的技术体系 .....	456
9.3.2	煤与瓦斯突出危险的预测与监测预警 .....	458
9.3.3	预防控制煤与瓦斯突出技术措施 .....	459
9.3.4	对现行安全法规的改进建议 .....	461
<b>参考文献</b>	.....	<b>462</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 煤与瓦斯突出概述

采掘空间周围煤岩体内的大量煤岩携带大量瓦斯突然抛向采掘空间形成的矿井瓦斯动力现象称为瓦斯突出。抛出的固体介质主要为煤时,称之为煤与瓦斯突出;抛出的固体介质主要为岩石时,称之为岩石与瓦斯突出。煤与瓦斯突出是井工煤矿生产中遇到的一种极其复杂的矿井瓦斯动力现象,其特征是在极短的时间内,由煤体向巷道或采场突然抛出大量的煤炭,并涌出大量的瓦斯。喷出的瓦斯-煤有时具有冲击波的性质,能逆风流前进充满数十至数千米长的巷道,可能造成煤岩撞击或掩埋井下人员、摧毁井下设施;喷出的瓦斯可能造成井下人员因缺氧而窒息死亡,遇上火源有可能引起瓦斯爆炸、煤尘爆炸、瓦斯煤尘爆炸,摧毁整个工作面甚至整个矿井<sup>[1~4]</sup>。相对于其他的一些矿井动力灾害,煤与瓦斯突出的危害更大,治理难度更高。

根据煤与瓦斯突出发生时的基本特征,煤与瓦斯突出(简称突出)可分为煤与瓦斯突然喷出(简称喷出)、煤与瓦斯突然压出(简称压出)和煤与瓦斯突然倾出(简称倾出)3种类型。发生煤与瓦斯突然喷出时,煤被抛出较远距离,呈小于自然安息角堆积,具有分选现象;抛出煤的破碎程度较高,含有大量碎煤和一定数量手捻无粒感的粉煤;具有较强的动力效应,如破坏支架、推倒矿车、损坏或移动设备设施等;有大量的瓦斯涌出,瓦斯涌出量远超过抛出煤的瓦斯含量,有时会使风流逆转;突出孔洞呈口小腔大的梨形、舌形、倒瓶形、分岔形及其他形状。发生煤与瓦斯突然压出时有煤的整体位移和煤的压出两种显现形式。煤的整体位移发生后通常看不到孔洞,但煤壁上留有大量的裂隙,而煤的压出发生后通常呈现口大腔小的楔形、半圆形孔洞。压出发生后,在煤层与顶板之间的裂隙中常留有细煤粉,压出的煤具有一定的抛出距离,呈块状无分选堆积,瓦斯涌出量增大;压出具有明显的动力效应,如折断支架等。发生煤与瓦斯突然倾出的煤按自然安息角堆积,无分选现象;倾出的孔洞多为口大腔小,孔洞轴线沿煤层倾斜或破碎煤体轴线方向发展;无明显动力效应,瓦斯涌出量明显增加;倾出常发生在煤质松软的急倾斜煤层中。

自 1834 年法国卢瓦尔(Loire)煤田艾萨克(Issac)煤矿发生了世界上第一次有记载的煤与瓦斯突出以来,世界上许多国家也都发生了煤与瓦斯突出,如中国、俄罗斯、乌克兰、日本、波兰、德国、法国、英国、澳大利亚、罗马尼亚等国家都是突出灾

害多发的国家,见表 1.1<sup>[4]</sup>。法国的塞外纳、苏联的顿涅茨克、波兰的下西里西亚、比利时的莫尔塞勒、匈牙利的列克司、日本的歌志内、英国的西威尔士等都有煤与瓦斯突出事故多发的代表性煤田。在一些经济发达、煤与瓦斯突出严重的国家,从 20 世纪 70 年代后期至 90 年代初期逐步关闭突出矿井<sup>[2~5]</sup>,突出次数显著减少,如日本、法国、英国、德国、比利时等;还有一些国家煤与瓦斯突出不太严重,同时强化了瓦斯抽采措施,突出次数显著减少,如澳大利亚等。

表 1.1 世界各国煤与瓦斯突出简况

国别	年份	突出次数	最大突出强度/t	最大突出瓦斯量/万 m <sup>3</sup>	国别	年份	突出次数	最大突出强度/t	最大突出瓦斯量/万 m <sup>3</sup>
中国	1951~2004	17420	12780	140	捷克斯洛伐克	1894~1978	360	420	2.5
法国	1879~1973	6788	5600	10	保加利亚	1933~1974	198	320	
苏联	1906~1988	10988	14200	25	英国	1926~1972	192	4000	5.7
波兰	1884~1979	1534	5000	82	土耳其	1969~1986	52	1100	1.1
日本	1926~1974	1000	4000	60	德国	1903~1976	289	750	
匈牙利	1894~1981	800	2210	15	荷兰	1937~1964	12	55	
比利时	1947~1968	474	1600	13	罗马尼亚	1893~1935	20		
加拿大	1946~1968	475	3500	75	南斯拉夫	1958~1979	约 16		
澳大利亚	1885~1968	480	400	1.5					

我国是世界上突出最严重的国家之一,突出矿井主要分布在全国 24 个省、自治区和直辖市,以重庆、辽宁、湖南、山西、黑龙江、江西、贵州、河南、四川、吉林、安徽、河北、甘肃等最为严重<sup>[6~8]</sup>,见表 1.2<sup>[9]</sup>、图 1.1<sup>[9]</sup>。随着煤矿开采深度的逐年加大和开采机械化水平的不断提高,近些年在新疆、山东、青海等省区也发生了突出,仅福建、浙江、北京 3 个采煤省份和海南、西藏、上海、天津 4 个非采煤省份至今仍没有发生过突出,广东因全部关闭煤矿,近些年不再发生突出事故。

表 1.2 全国国有重点煤矿各矿务局突出情况(2004 年或 1995 年前)

序号	矿务局	突出矿井数	最大突出强度/t	最大突出瓦斯量/万 m <sup>3</sup>	突出次数	序号	矿务局	突出矿井数	最大突出强度/t	最大突出瓦斯量/万 m <sup>3</sup>	突出次数
1	白沙矿务局	14	4500	138.5	1282	8	六枝矿务局	8	2700	130	351
2	丰城矿务局	5	1000	5	172	9	南桐矿务局	8	8765	340	1521
3	韩城矿务局	3	1100	6.7	157	10	平顶山矿务局	8	450	2.2	136
4	鹤岗矿务局	2	627	1.18	14	11	萍乡矿务局	2	426	1.5	56
5	焦作矿务局	11	1500	44	327	12	沈阳矿务局	2	5390	—	136
6	乐平矿务局	3	3988	—	142	13	水城矿务局	9	703	5.5	77
7	涟邵矿务局	14	3174	30	1384	14	松藻矿务局	6	2910	12.5	480

续表

序号	矿务局	突出矿井数	最大突出强度/t	最大突出瓦斯量/万 m <sup>3</sup>	突出次数	序号	矿务局	突出矿井数	最大突出强度/t	最大突出瓦斯量/万 m <sup>3</sup>	突出次数
15	阳泉矿务局	3	869	2.4	1084	30	鸡西矿务局	8	800	6	1006
16	英岗岭矿务局	7	1500	15.4	652	31	靖远矿务局	1	690	1	15
17	中梁山矿务局	2	2800	80.3	97	32	开滦矿务局	2	255	1.84	52
18	天府矿务局	6	12780	140	179	33	辽源矿务局	6	500	0.25	163
19	资兴矿务局	2	430	4.6	97	34	攀枝花矿务局	1	256	0.13	16
20	淮北矿务局	4	10500	100	30	35	盘江矿务局	3	584	0.58	4
21	淮南矿务局	10	1576	3	126	36	石炭井矿务局	3	188	1.3	2
22	鹤壁矿务局	2	200	0.9	50	37	石嘴山矿务局	1	348	3	1
23	包头矿务局	3	547	1.1	14	38	舒兰矿务局	2	1005	1.4	5
24	北票矿务局	6	1894	16.4	2048	39	双鸭山矿务局	1	48.6	1	24
25	本溪矿务局	2	250	2.5	63	40	铁法矿务局	1	454	2.3	4
26	峰峰矿务局	2	92	0.8	17	41	通化矿务局	2	370	0.3	14
27	芙蓉矿务局	3	3100	4.98	213	42	下花园矿	3	1000	2	48
28	抚顺矿务局	5	630	2.7	40	43	窑街矿务局	1	1030	24	2
29	阜新矿务局	2	625	0.92	10	44	义马矿务局	1	95	810	9

注:1~21为1951~2004年资料,22~44为1951~1995年资料。

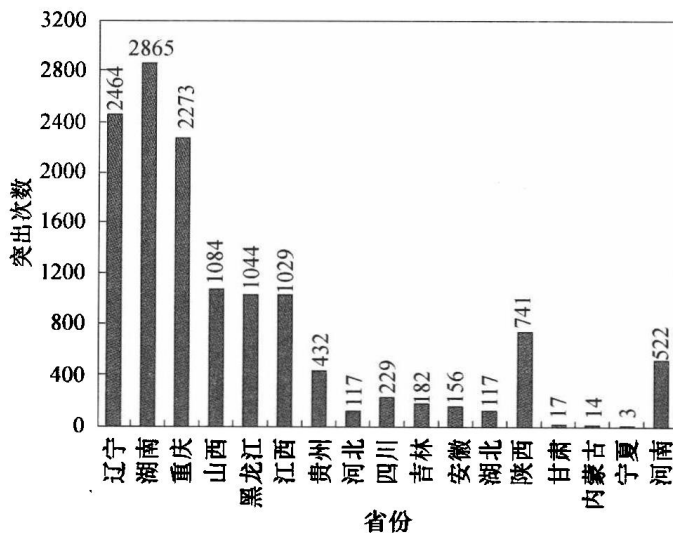


图 1.1 各省份国有重点矿突出次数

据统计<sup>[9]</sup>,1950~1995年,我国国有重点煤矿中先后有45个矿务局、138个国有重点煤矿,发生了煤与瓦斯突出10815次,死亡1266人。在10521次有突出煤量记录的煤与瓦斯突出中,共突出煤炭81.58万t,平均突出强度为77.5t/次。强

度最大的一次为 1975 年 8 月 8 日天府矿务局三汇一矿 2000m 主平硐石门揭煤时发生的突出,突出煤量为 12780t,突出瓦斯量为 140 万  $\text{m}^3$ 。在有瓦斯量记录的 4675 次煤与瓦斯突出中,共突出瓦斯 6798.3 万  $\text{m}^3$ ,平均每次突出瓦斯量 1.45 万  $\text{m}^3$ 。突出瓦斯量最多的为 1968 年 1 月 20 日南桐矿务局鱼田堡煤矿 +150m 的 1406 大巷发生的突出,共突出瓦斯 350 万  $\text{m}^3$ 。如图 1.2 所示,自从 1988 年煤炭部颁布执行《防治煤与瓦斯突出细则》以来,全国发生煤与瓦斯突出的次数在逐年持续减少,尤其在 1992 年后的 4 年,年均在 300 次以内,平均为 252 次/a,比发生最多的 1980 年降低了 60%。此外,1988~1995 年,全国国有煤矿每年的突出煤炭总量也基本呈降低趋势,到 1994 年达到了 20 年来的最低水平。突出死亡人数有较大幅度的减少,一般在 50 人/a 以下。

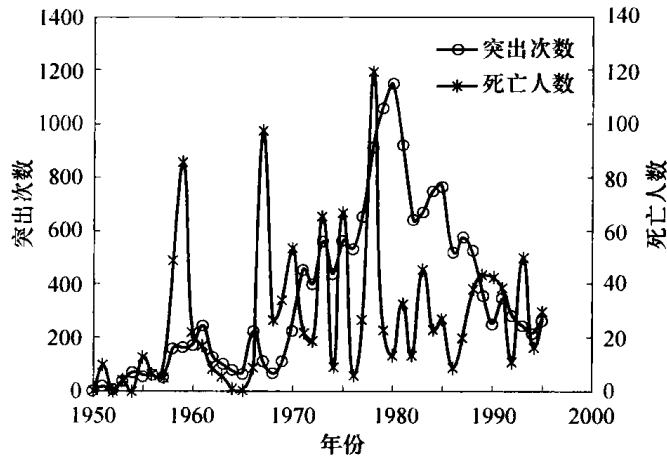


图 1.2 1950~1995 年突出次数与死亡人数

20 世纪 90 年代后期,煤炭市场平淡,煤矿企业经济十分困难,生产及安全投入严重不足。2000 年后,煤炭产业逐渐复兴,煤炭产量迅速增加,生产矿井高强度开采使得开采深度迅速增加,大量新建突出矿井诞生,使得突出矿井数量显著增加,突出治理难度也显著加大。图 1.3 为 2001~2011 年煤与瓦斯突出事故情况,11 年间发生突出伤亡事故 395 次,造成 2459 人死亡,平均每年发生突出伤亡事故 35.9 次,死亡 223.5 人;发生特大突出伤亡事故 9 次,死亡 515 人;发生重大突出伤亡事故 50 次,死亡 734 人。尽管 2005 年后我国政府采取了一系列强制性措施,煤矿安全形势总体逐年好转,瓦斯事故造成的死亡人数也逐渐减少,但突出事故死亡人数占煤矿事故总死亡人数的比例不断上升的趋势非常明显(见图 1.4<sup>[10~12]</sup>),煤与瓦斯突出事故仍然没有得到有效控制,恶性突出伤亡事故时有发生,造成了大量的人员伤亡和财产损失,并形成了极为恶劣的社会影响。

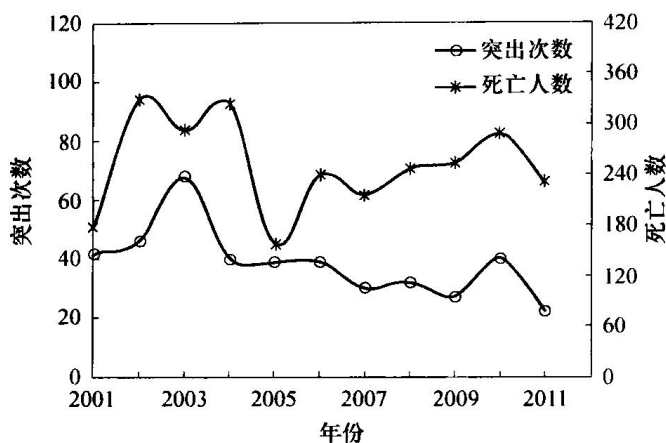


图 1.3 2001~2011 年突出事故次数与死亡人数

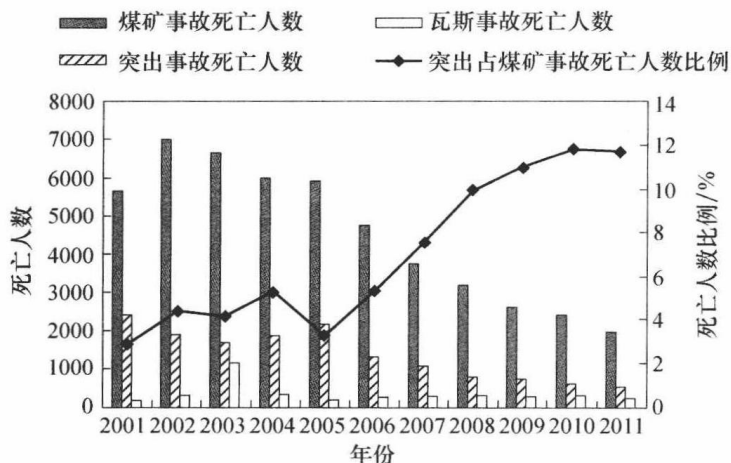


图 1.4 2001~2011 年我国煤矿突出事故造成的人员伤亡情况

煤与瓦斯突出的防治还是一项世界性难题,到目前为止,对各种地质、开采条件下突出发生的规律还没有完全掌握,突出事故仍然不断发生。我国经过长期的研究,形成了“四位一体”的综合防突技术体系,在一定程度上有效地遏制了突出事故的发生,但由于我国煤与瓦斯突出的严重性和复杂性,在防突技术上还存在不少薄弱环节和技术难题。这就要求我们加大煤与瓦斯突出的预测和防治技术的研究力度,系统地、有针对性地组织防突工艺技术研究,特别是防突理论、技术、工艺的基础性研究。

煤与瓦斯突出防治技术研究中的一个重要环节是对煤与瓦斯突出机理的研究,即通过总结突出发生规律,对突出现象进行解释,讨论煤与瓦斯突出发生的原因、条件、能量来源及其发展过程,研究煤与瓦斯突出的瓦斯涌出、冲击波的形成及



其动力学特征,借以对突出预测预防和控制提供理论依据。煤与瓦斯突出是一种极其复杂的动力现象,国内外学者至今还没有对其发生机理形成一致的认识,使得预测预防和控制煤与瓦斯突出的技术进展缓慢。当前集约化煤炭生产技术的进步对防治煤与瓦斯突出提出了更高要求,越来越复杂多样的突出动力现象需要人们予以正确认识(深部矿井的突出、采掘后方突出、钻孔突出、作业工作面的相邻工作面突出等)。本书的主要研究内容正是建立在已有研究成果基础上,通过实验、理论和案例反演等方法 and 手段,利用新的思维模式,对该命题进行新的探索。

## 1.2 煤与瓦斯突出机理的研究现状及发展趋势

### 1.2.1 煤与瓦斯突出机理的研究现状

煤与瓦斯的突出机理,是指煤与瓦斯突出激发、发展和终止的原因、条件及过程。自从 1834 年法国卢瓦尔煤田艾萨克煤矿发生了世界上第一次有记载的突出以来,人们就开始了突出机理的研究,并提出了众多的突出机理理论。国外一些煤与瓦斯突出严重的国家,如苏联、日本、法国、波兰等取得了有关突出机理研究的丰富的早期研究成果。我国学者于不凡、王佑安、宋世钊等在早期翻译国外资料的基础上,结合对国内各突出矿井众多煤与瓦斯突出案例资料进行归纳分析,提出了对煤与瓦斯突出机理新的观点和看法。他们根据各种理论对突出影响因素描述侧重点的不同,将突出机理理论分为四类<sup>[1]</sup>:①以瓦斯为主导作用的理论;②以地应力为主导作用的理论;③化学本质理论(因缺乏足够的证据,如今这一类理论已很少有人支持);④综合作用理论(其基本理念已广为接受)。这种划分在国内被广为认知,但也存在一些问题,主要是因为它没有给出人们对突出机理认知的发展过程,容易使早期得出的不属于综合作用理论但至今仍有利用价值的研究成果被忽略。例如,破碎波理论就被认为是一种以瓦斯为主导作用的理论,因而并不被人们重视。此外,由于影响煤与瓦斯突出的因素众多,发生原因复杂,到目前为止,对各种地质、开采条件下突出发生的机理还没有一个较为完整和清晰的认识。

本节将系统地阐述不同时期的研究人员在突出机理研究中所做的工作,并以人们对煤与瓦斯突出现象由浅到深的认识为线索,对已有的突出机理研究成果进行简要回顾和评述,重点阐述其研究观点,探讨发展方向。

#### 1.2.1.1 对瓦斯在突出中作用的认识

英国的 Taylor 最早开始了对突出现象的研究,并在 1852 年发表了其研究成果。Taylor<sup>[13]</sup>认为当具有高压缩性的高压瓦斯向工作面的正常涌出被阻止时,可能形成一个高压瓦斯包(或瓦斯巢),而当采掘活动揭露这种瓦斯包时,就可能造成