

国家自然科学基金项目(51774135, 51274100, 50774033)

教育部高等学校特色专业建设点项目(TS11624)

湖南科技大学学术著作出版基金

湖南省高等学校“2011协同创新中心——矿产资源安全绿色开发”

上覆巨厚火成岩下煤与瓦斯突出灾害 危险性评估与防治对策

罗文柯 施式亮 / 著

非
外
借

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家自然科学基金项目(51774135,51274100,50774033)

教育部高等学校特色专业建设点项目(TS11624)

湖南科技大学学术著作出版基金

湖南省高等学校“2011 协同创新中心——矿产资源安全绿色开发”

上覆巨厚火成岩下煤与瓦斯突出灾害 危险性评估与防治对策

罗文柯 施式亮



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书全面介绍了针对上覆巨厚火成岩条件下煤层开采过程中瓦斯灾害的预测、控制技术及其优化,是笔者长期从事煤矿瓦斯灾害控制理论教学与实际应用的总结。全书共分7章,内容包括:火成岩基本性质及其采掘扰动影响分析,有无巨厚火成岩条件下的煤与瓦斯突出灾害规律对比分析,煤(岩)样实验室试验分析与数值模拟,上覆巨厚火成岩下突出危险性分析与评估,上覆巨厚火成岩下突出灾害危险性预测,上覆巨厚火成岩下防突技术的应用及其优化应用案例。

本书可作为高等院校安全工程、采矿工程等专业高年级本科生和研究生的教材或教学参考书,也可供政府安全生产监督管理部门、煤炭行业科研机构及企事业单位的科技人员与管理人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

上覆巨厚火成岩下煤与瓦斯突出灾害危险性评估与防治对策/罗文柯,施式亮著. —徐州:中国矿业大学出版社,2017.10

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3564 - 0

I. ①上… II. ①罗… ②施… III. ①火成岩—影响—煤突出—灾害防治—研究②火成岩—影响—瓦斯突出—灾害防治—研究 IV. ①P588.1②TD713

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 128575 号

书 名 上覆巨厚火成岩下煤与瓦斯突出灾害危险性评估与防治对策

著 者 罗文柯 施式亮

责任编辑 陈红梅

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

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

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

开 本 787×960 1/16 印张 14.5 字数 268 千字

版次/印次 2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

纵观世界经济现代化的成就,无不得益于能源开发与利用,如石油、煤炭、天然气与核裂变能的广泛使用,铸就了全球经济现代化基石。因此,可以说现代经济是建筑在能源基础上的一种经济。而我国能源资源中,“富煤、贫油、少气”是我国能源结构显著特点,无疑决定了煤炭在一次能源中的重要地位与作用。与石油和天然气相比而言,我国煤炭储量相对比较丰富。煤炭资源总量为 5.6 万亿吨,其中已探明储量为 1 万亿吨,占世界总储量的 11%。煤炭资源分布主要集中在山西、内蒙古、陕西、云南、贵州、河南和安徽(占全国储量的 81.8%),呈现出“北多南少”、“西多东少”的特点。

近年来,随着我国经济高速发展和对煤炭资源开采强度加大,矿井开采深度以 20~50 m/a 的速度向深部延深,表现为煤与瓦斯突出灾害发生的频率与强度均呈明显上升趋势,突出机理亦日趋复杂,与煤岩冲击失稳、顶板垮落和突水灾害一起构成严重威胁煤矿安全生产的“四大”动力灾害体系。

煤与瓦斯突出是煤矿井下常见的煤与瓦斯动力现象,是指在很短的时间内,从煤岩壁内部向采掘空间突然喷出煤与瓦斯的动力现象,是煤层中存储的瓦斯能和应力能的失稳释放,表现为在极短时间内向井下生产空间抛出大量煤(岩)和瓦斯。抛出煤(岩)从几吨到上万吨,瓦斯从几百立方米到上百万立方米,并可能诱发瓦斯爆炸。因此,它是一种典型的气体 and 固体耦合作用的结果,是威胁井下职工生命与国家财产安全的最严重灾害之一。其主要表现是:伴有声响与剧烈的力能效应,能摧毁井巷设施,破坏矿井通风系统,使井巷充满瓦斯和煤岩抛出物,能造成人员窒息、煤流埋人,甚至还能引起瓦斯爆炸与火灾事故,导致井下生产系统中断与瘫痪。

本书以国家自然科学基金项目(51774135,51274100,50774033)和教育部高等学校特色专业建设点项目(TS11624)为依托,在广泛查阅国内外相关文献和系统总结前人研究成果的基础上,采用理论研究、实验室试验、数值模拟分析和现场试验相结合的研究方法,针对巨厚火成岩下突出矿井,基于其突出力学机理、主要影响因素、危险性评价、多元指标预测及综合防突对策,展开了系统深入

的研究,为巨厚火成岩下突出矿井煤炭资源的高效开采提供安全保障。

本书是以笔者完成大量有关煤矿瓦斯灾害防治方面纵、横向课题为基础提炼而成的,也是笔者长期从事煤矿瓦斯灾害预防与控制的理论探索与实际应用成果的结晶。本书从火成岩基本性质入手,研究了上覆巨厚火成岩下的采掘扰动影响、有无巨厚火成岩条件下煤与瓦斯突出灾害规律对比分析,煤(岩)样实验室试验分析与数值模拟研究,上覆巨厚火成岩下突出危险性分析与评估、危险性预测、防治控制技术及其优化应用案例。

本书由罗文柯、施式亮执笔,李润求、刘小春、游波、刘勇、汤霞芳、张慧、凤雯、张开、方芳芳、邓君等老师与同学参加了相关课题的研究,为本书的形成做出了积极贡献;全书由罗文柯负责统稿、定稿。

在本书编写过程中,除了依据本课题组的纵、横向课题大量基础资料外,笔者还参阅了大量文献资料,吸收了许多专家、学者的研究成果;湖南科技大学研究生院、湖南科技大学资源环境与安全工程学院、中国矿业大学出版社等单位领导和老师对本书的出版给予了大力支持,在此一并表示衷心感谢!

由于水平和时间有限,不足之处在所难免,敬请各位专家、学者及广大读者不吝指正。

著 者

2017年5月

目 录

1 绪论	1
1.1 煤炭资源开发与瓦斯灾害预测控制意义	2
1.2 突出灾害分类与分布	5
1.3 关于突出灾害国内外研究现状	9
2 火成岩及其采掘扰动下的力学基础知识	32
2.1 火成岩基本性质	32
2.2 火成岩的结构与构造	38
2.3 火成岩的产状与岩相	43
2.4 地球上火成岩的分布情况	47
2.5 火成岩侵入对煤层开采影响分析	48
2.6 有无巨厚火成岩下采掘扰动的力学分析	51
2.7 巨厚火成岩下采掘扰动破断力学分析	61
2.8 巨厚火成岩下采掘扰动损伤力学分析	67
2.9 巨厚火成岩在矿井中的利弊分析	73
3 有无上覆巨厚火成岩的突出灾害对比分析	76
3.1 无巨厚火成岩下突出规律分析	76
3.2 巨厚火成岩下突出规律分析	88
4 煤岩样试验分析与数值模拟研究	103
4.1 煤与瓦斯基础参数实验室分析	103
4.2 煤层与围岩的物理力学试验	108
4.3 巨厚火成岩力学参数试验	112
4.4 Phase ² 数值计算模型构建系统	114
4.5 首采 7 煤的数值模拟结果分析	119

4.6	首采 8(9)煤的数值模拟结果分析	123
4.7	首采 10 煤的数值模拟结果分析	128
5	上覆巨厚火成岩下突出危险性分析与评估	134
5.1	巨厚火成岩下突出灾害影响因素分析	134
5.2	巨厚火成岩下突出危险评估指标体系构建	140
5.3	巨厚火成岩下突出危险的可拓法评估	151
6	上覆巨厚火成下岩突出灾害危险性预测	157
6.1	传统的突出灾害预测方法概述	157
6.2	巨厚火成岩下突出灾害的灰色预测模型预测	166
7	上覆巨厚火成岩下防突技术	181
7.1	巨厚火成岩条件下防突目标、难点及关键技术分析	181
7.2	保护层开采卸压技术	183
7.3	煤层瓦斯预抽卸压技术	191
7.4	瓦斯抽采钻孔有效影响半径的确定	199
7.5	瓦斯治理方案优化	201
	参考文献	212

绪 论

随着煤矿开采深度的逐年向下延伸,煤与瓦斯突出(以下简称突出)灾害发生的频率与强度均呈明显上升趋势,突出机理亦日趋复杂,与煤岩冲击失稳、顶板垮落和突水灾害一道构成严重威胁煤矿安全生产的“四大”动力灾害体系。1960年5月14日,重庆松藻煤矿发生突出,死亡125人。近年来,尽管煤矿安全生产监督管理强度加强,《防治煤与瓦斯突出规定》(2009年版,以下简称《防突规定》)得到严格落实,但突出灾害并未得到有效遏制。如2009年5月30日10时55分,松藻煤电公司同华煤矿观音桥三区安稳斜井掘进工作面过煤门时发生突出事故,造成30人死亡;2010年11月21日2时30分,黑龙江龙煤集团鹤岗分公司新兴煤矿三水平二石门后组15层探煤道发生突出,导致108人遇难;2011年11月10日6时30分,云南省曲靖市师宗县私庄煤矿发生煤与瓦斯突出事故,造成35人遇难;2012年12月5日14时左右,云南省曲靖富源县上厂煤矿1[#]井发生一起煤与瓦斯突出事故,事故造成17人死亡;2013年9月30日5时45分许,江西省丰城矿务局曲江煤矿发生煤与瓦斯突出事故。事故造成11人死亡;2014年3月21日10时37分,河南省平煤神马集团长虹矿业公司二₁煤层-21010机巷工作面发生煤与瓦斯突出事故,造成13人死亡;2015年2月28日11时57分,江西省乐平矿务局涌山煤矿发生煤与瓦斯突出事故,造成4人死亡;2016年3月6日,吉林白山市江源县吉煤(集团)通化矿业有限责任公司松树镇煤矿发生煤与瓦斯突出事故,造成12人死亡。这些近年来发生的重大和特别重大突出灾害事故不仅震惊全世界,也严重地影响了我国的国际声誉。人们不禁要问:在安全管理日益加强的今天,突出灾害事故为何依然频繁发生?是管理层面问题还是技术层面问题?这不得不引起人们的深思!无数次突出事故的发生固然与防突管理失策有关联,但更多的是尚与突出灾害危险性评估、预测和防治技术难关未攻破而息息相关。因此,深入研究上覆巨厚火成岩条件下的突出灾害的孕育、发生和发展规律,寻求最精确的突出危险性评估方法,探寻最为科学合理的灾害预测方法和防治技术,将对煤矿的安全生产具有重要的现实意义和理论意义。

1.1 煤炭资源开发与瓦斯灾害预测控制意义

1.1.1 煤炭资源的开发意义

煤炭是世界上储量最丰富的常规能源。全球各种能源统计报告表明,目前世界主要能源包括石油、天然气、煤炭、核能、水电能、地热能、太阳能、可燃冰等,其中石油、煤炭、天然气呈现出三足鼎立的态势。根据《BP Statistical Review of World Energy June 2013》资料显示,我国 2002—2012 年能源消费结构如图 1-1 所示。

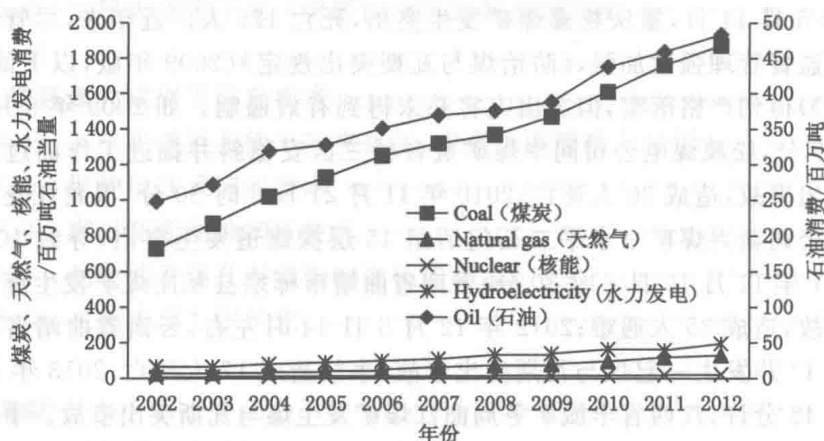


图 1-1 2002—2012 年我国主要能源消费情况

我国是一个富煤、贫油、少气的国家,煤炭一直是我国能源消费结构中的主体能源。因此,科学规划、开采和利用宝贵的煤炭资源,确保我国经济的持续发展具有重要意义。我国煤炭资源占已探明化石能源总量的 96% 以上。然而,我国煤矿灾害事故的频发亦为世界瞩目,如 2004—2007 年我国煤矿发生死亡 100 人以上的 8 起特别重大事故中,均为瓦斯灾害事故(瓦斯爆炸和煤与瓦斯突出)。

突出是煤矿井下常见的煤与瓦斯动力现象,即在很短的时间内,从煤岩壁内部向采掘空间突然喷出煤与瓦斯的动力现象,是煤层中存储的瓦斯能和应力能的失稳释放,表现为在极短的时间内向生产空间抛出大量煤岩和瓦斯。抛出煤岩从几吨到上万吨,瓦斯从几百立方米到上百万立方米,并可能诱发瓦斯爆炸。它是一种典型的气体 and 固体耦合作用的结果,是威胁井下职工生命与国家财产

安全的最严重的灾害之一。其主要表现是:伴有声响与剧烈的力能效应,能摧毁井巷设施,破坏矿井通风系统,使井巷充满瓦斯和煤岩抛出物,能造成人员窒息、煤流埋人,甚至还能引起瓦斯爆炸与火灾事故,导致井下生产系统中断与瘫痪。

自 1834 年 3 月 22 日法国鲁阿尔煤田伊萨克矿井在急倾斜厚煤层平巷掘进过程中发生了世界上第一次有记载的突出。迄今,世界上主要产煤国家都发生过突出,发生突出次数达 3 万多次,其中中国就达 1 万余次。突出气体有 CH_4 、 CO_2 、 $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$,突出千次以上的国家有中国、法国、波兰和俄罗斯。世界上最大的一次突出发生在 1969 年 7 月 13 日原苏联的顿巴斯煤田,在顿巴斯加林矿井 710 m 水平主石门揭穿厚仅 1.03 m 的 L_3 煤时,突出煤量 1.4×10^4 t,瓦斯 2.5×10^5 m^3 以上。

我国是世界上突出最严重的国家之一,从 1950 年吉林省辽源矿务局富国西二坑在垂深 280 m 煤巷掘进时发生第一次有记载突出以来,最大突出是 1975 年 8 月 8 日在天府矿务局三汇坝一矿主平硐(+280 m)震动性爆破揭穿煤层时发生,突出煤岩 12 780 t(煤占 60%,矸石占 40%)、 CH_4 为 1.4×10^6 m^3 。1975 年 6 月 13 日,吉林营城五井在垂深 439 m 处全岩掘进巷道爆破时发生我国第一次砂岩与 CO_2 突出,突出砂岩 1 005 t, CO_2 为 1.1×10^4 m^3 。由此可见,准确预测预报突出灾害的危险性,采取科学合理的防治对策,将对煤炭资源的开发与利用起着十分重要且关键的作用。

1.1.2 突出灾害预测的意义

根据引起突出灾害的主控因素,选择最为合适突出危险性敏感性指标及其临界值和实用合理的预测手段与方法,从而实现对突出灾害的准确预测,这是指导突出防治工作的重要基础。我国对于突出灾害预测研究起步较晚,最早尝试是 1959 年从原苏联引进的放散性指数 ΔP 和煤层坚固性系数 f 的预测方法。在此基础上,随后开发了以测定钻屑瓦斯解吸量和钻屑量为主要突出敏感性指标的采掘工作面预测方法,以判断采掘工作面前方约 10 m 范围内的突出可能性。

国内外开采突出煤层的实践表明,突出灾害的发生具有明显的区域特性,即突出只发生在煤层中的某些地带(被称为区域分布或带状分布)。统计资料表明,突出危险带的面积还不到突出煤层总面积的 10%,突出地点仅占采掘面积的 7%~15%,无疑为研究突出的预测提供了丰富的想象空间。因此,近年来世界各主要产煤国家均加强了突出危险的预测研究力度,尤其是对复杂条件下突出灾害的预测研究。

预测的目的是为了有效防止突出灾害发生或尽可能减少突出灾害危险性,对其防治措施的改进与探讨将具有重要现实意义。

1.1.3 突出灾害防治的意义

我国是煤矿井下动力灾害最严重的国家之一,约有30%以上的矿井具有煤岩动力灾害危险。随着矿井开采深度和规模的增加,原来没有突出危险的矿井也出现了突出现象,且在近几年出现常规预测无突出危险的矿井,却实际发生突出动力灾害现象。如1999年河南平顶山五矿发生在低指标下突出500 t的事故;2002年,江苏徐州张集矿的掘进工作面后方出现的延期突出;2002年,安徽淮北芦岭煤矿出现的石门揭煤的超前特大型突出;2009年4月25日,淮北海孜煤矿发生的非突出危险区内的大型突出事故等。这些突出灾害说明:在当前的煤矿生产中,尚有本质的科学问题没有被认识或科学上的问题有待于解决。因此,针对上覆巨厚火成岩条件下的突出事故发生机理、演化过程、影响因素、突出危险性评估及防治技术措施及其优化研究,将对提高我国煤炭工业灾害事故预防水平具有非常重要的作用,预防和控制我国煤矿的动力灾害自然成为当前我国煤矿安全生产中迫切需要解决的重大课题之一,尤其在当前开采深度以20~50 m/a的速度推进,地应力、瓦斯压力、瓦斯涌出量随之增大的情况下,突出灾害、煤岩冲击灾害、热灾害成为煤矿生产过程中的新的主要灾害形式。利用多种学科与理论的交叉来深入研究上覆巨厚火成岩条件下动力灾害发生机理和发生过程中的非稳态动力学描述,并对其动力灾害的危险性进行评价,提出科学、合理、有效的动力灾害防治控制技术,对于保证煤矿安全、高效生产,具有十分重要的理论与现实意义。

1.1.4 巨厚火成岩下突出风险研究意义

火成岩是火山爆发时岩浆沿其通道流经地层裂隙和到达地表冷却形成的岩层。在井下的采掘活动中,经常遇到火成岩侵入体。由于当时形成条件所限,大部分火成岩侵入的区域面积不大,在局部地方形成较大面积。在采空区上覆巨厚火成岩(厚度大于100 m)的情况在国内外均属少见,在对突出灾害的以往研究中,未见与此相关的文献。然而,典型巨厚火成岩突出矿井——淮北海孜煤矿的“4·25”事故(上覆巨厚火成岩失稳移动是引发本次事故的客观因素之一),则给巨厚火成岩下采掘活动的安全问题敲响了警钟。所以,探索在巨厚火成岩条件下突出危险的预测预报体系和防治体系已是势在必行。对此条件下突出规律和理论体系研究,将对复杂地质条件下突出灾害的分析、预测和防治起着基础和

桥梁作用,不仅具有开创性,更具有基础性。因此,针对巨厚火成岩条件下突出风险的理论研究具有重要的现实意义和理论创新作用。

1.2 突出灾害分类与分布

1.2.1 突出灾害分类

1.2.1.1 国际分类

国际上对煤矿井下动力灾害的分类一直采用彼图霍夫于 1992 年提出的煤矿动力现象国际分类法(图 1-2),将煤矿井下动力现象分为冲击地压、瓦斯突出、煤(岩)与瓦斯突出、矿山构造现象 4 大类。

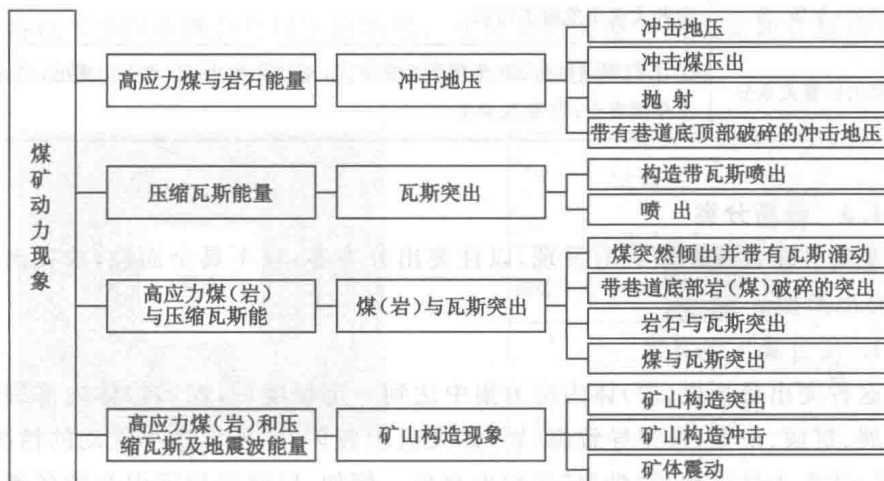


图 1-2 煤矿动力灾害现象的国际分类

1.2.1.2 国内分类

1. 分类依据

- (1) 突出造成的空洞位置及形状(包括空洞中心线和水平面所成之夹角)。
- (2) 喷出煤或岩石的粒度及其分选情况。
- (3) 煤或岩石的抛出距离及堆积角度、强度(抛出的煤量及岩石量)。
- (4) 喷出的瓦斯量及瓦斯流运行方向、动力效应和动力现象发生前的预兆等信息。

2. 分类类别

我国根据突出的实际情况和灾后的形状分析,依据不同目的有不同分类方法,见表 1-1。

表 1-1 突出分类情况一览表

分类依据	分类情况
据瓦斯动力现象分	① 煤的突然倾出;② 煤的突然压出;③ 突出;④ 煤岩与瓦斯突出;⑤ 瓦斯喷出。前①~④类总称为煤(岩)与瓦斯突出,简称突出
按突出强度分 (突出煤岩和瓦斯量)	① 小型突出(<50 t);② 中型突出($50\sim99$ t);③ 次大型突出($100\sim499$ t); ④ 大型突出($500\sim999$ t);⑤ 特大型突出($\geq 1\,000$ t)
按《防突规定》 (2009 年版)分	① 突出煤层与突出矿井;② 突出危险区和无突出危险区;③ 突出危险工作面和无突出危险工作面
按突出位置关系分	① 石门揭煤突出;② 煤层平巷突出;③ 煤上山突出;④ 煤下山突出;⑤ 采煤工作面突出;⑥ 钻孔突出

1.2.1.3 最新分类

笔者在统计突出资料时发现,以往突出分类多,且不具全面性,故提出如下 3 种突出类型。

1. 应力集中型突出

这种突出是指煤(岩)体内应力集中达到一定程度后,煤(岩)体内部裂纹不断扩展、贯通、汇聚,最终导致煤(岩)体大面积破坏,在外界微小扰动的情况下,煤(岩)体失去最终承载“骨架”而发生突出。例如,巨厚岩层下引起的各类突出就是煤岩失稳突出的典型表现,如图 1-3 所示。

2. 构造型突出

这种突出是指由于顶板、底板、煤层的刚度不同,煤层节理分布、巷道几何形状、煤层分岔、厚度变化、断层、褶皱等地质构造及煤柱结构因素诱发的煤体失稳突出模式,如图 1-4 所示。构造型突出灾害往往破坏性严重、发生突然猛烈。但通过对采场、巷道附近相关结构因素的认识,采用合理的方法,可以减弱或消除突出的危险性,如金属骨架、提前支护等。

3. 耦合型突出

统计数据表明,大多数突出灾害的发生并不是单纯由一种因素造成的。从发生条件和过程演化分析,突出灾害的发生是地应力因素、构造因素、煤的物理

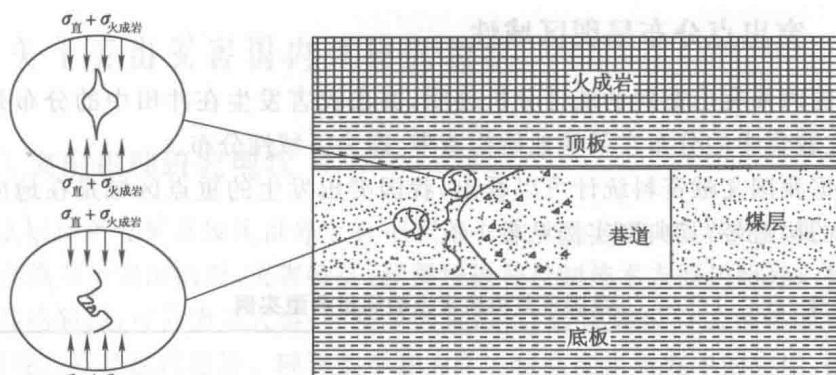


图 1-3 巨厚火成岩下煤岩体失稳突出示意图

力学特征等多因素耦合作用下的结果。这种突出类型的煤层瓦斯含量高,防突体系必须综合化,如地面预抽、边采边抽瓦斯等卸压防突措施。

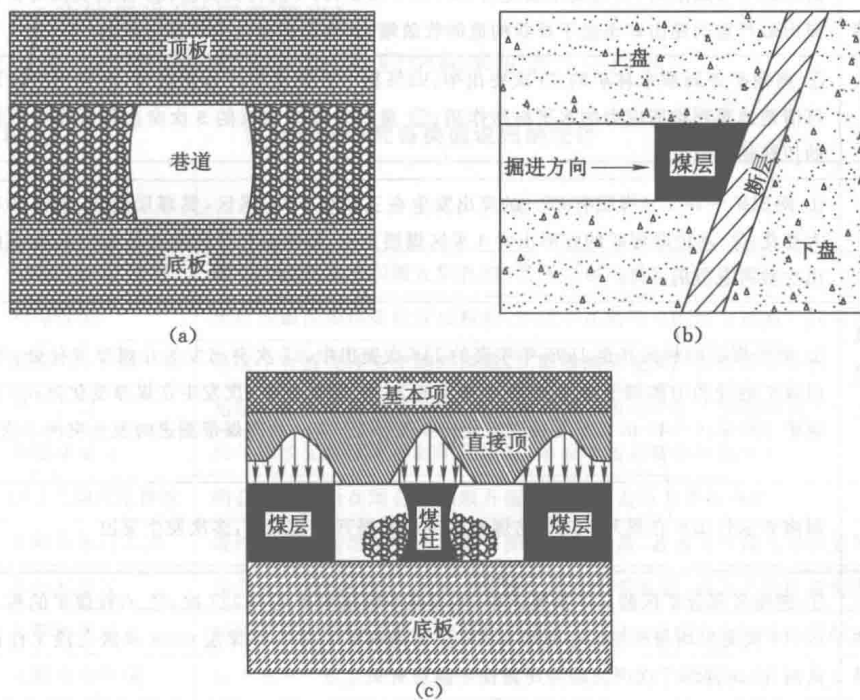


图 1-4 构造失稳型突出示意图

(a) 煤层内破碎结构影响;(b) 断层影响;(c) 孤岛柱影响

1.2.2 突出点分布呈现区域性

对国内外突出案例的统计分析表明,突出灾害发生在井田中的分布是不均匀的,比较集中的分布在某些地质构造带,即为区域性分布。

根据我国文献资料统计可以看出,我国突出发生的重点区域是在地应力比较集中的构造带,其典型实例见表 1-2。

表 1-2 我国一些构造带上的突出典型实例

构造带类型	实 例
向斜轴地带	① 南桐矿 4 号煤层 80% 的突出和全矿最大一次突出(3 500 t),6 号煤层的全部突出以及 3 号煤层的 2 次强烈瓦斯喷出均发生在王家坝向斜轴部;② 湖南省突出较严重的浦溪矿井的 20 次突出中 7 次发生在向斜轴部
帚状构造收敛端	① 天府矿务局三汇一矿,处在华蓥山帚状构造的收敛端,在+280 m 平硐揭开 6 号煤层和断层的 6 号煤层时,分别发生强度为 12 780 t 和 2 500 t 的特大突出;② 江西英岗岭矿务局突出最严重的建山矿也位于帚状构造的收敛端,其突出次数占全矿区总数的 45.5%
煤层扭转区	① 南桐矿务局原东林矿的 79 次突出中,93% 集中在南翼黑漆岩扭转带,在突出事故现场可清楚地看到构造应力的水平挤压作用;② 鱼田堡煤矿东翼的 9 次突出均分布在压扭性的扭转轴部附近
煤层产状变化区	① 南桐矿一井 5 号煤层有 85% 的突出发生在王家坝 0504 采区,其煤层走向、倾向均有较大变化;② 洪山殿煤矿的蛇形山井 4 采区煤层走向、倾角变化导致突出最为严重,4 煤的突出次数占总数的 44%
煤包及煤层厚度变化带	① 利民煤矿的利民井至 1996 年年底的 116 次突出中,57 次突出发生在煤厚变化处;② 马田煤矿的爱和山和桐子山井至 1996 年年底 239 次突出中 97 次发生在煤厚变化处;③ 红卫煤矿 126 采区+40 m 水平零横硐在走向长度不足 70 m 的薄煤带掘进时发生突出 7 次
分岔煤处	湖南省金竹山矿在揭开 5 煤分岔煤和红卫煤矿揭开分岔煤时,多次发生突出
压性、压扭性小断层	① 湖南省部分矿区的 747 次突出中,发生在小断层附近的为 227 次;② 六枝煤矿的东二采区,14 次突出均与压扭性小断层有关;③ 南桐煤矿一井 5 号煤层 0504 采区二段工作面沿走向 32 m 连续 7 次突出均与压扭性小断层有关
岩浆岩侵入带	① 北票矿务局有 25% 以上的突出(265 次)发生在岩浆岩侵入带;② 淮北海孜煤矿的 13 次突出中,均与岩浆岩侵入有关

1.3 关于突出灾害国内外研究现状

1.3.1 突出机理研究现状

自法国伊萨克矿井发生世界上有记载第一次突出以来,世界各产煤主要国家均一直致力于突出机理、灾害特征、预测预报和控制技术方面的研究。提出了众多的理论假说,可分为三大类:一是单因素假说(传统假说);二是多因素假说(综合假说);三是现代假说。随着数学和力学方法在突出研究中的应用,如非线性动力学、断裂与损伤力学、分形、突变和混沌等理论,为突出机理研究另辟了新途径,取得了一些可喜研究成果。由于突出灾害发生受制于复杂应力场、渗流场等多场耦合因素影响,所以目前尚未建立能被全世界公认的突出机理。但是,此项研究正在由简单走向复杂、单一走向综合、宏观走向微观,由传统走向现代,处在不断演进中。

1.3.1.1 传统假说(单因素假说)

关于突出机理的传统假说很多,归纳起来如表 1-3 所列。

表 1-3 突出机理研究各类假说归纳统计

假说 归类	假说名称	基本特征
瓦斯主导作用假说	瓦斯包说	煤层内存在高压积聚瓦斯孔洞,其压力超过煤层抵抗强度
	粉煤带说	地质构造作用将煤粉碎成粉状,在较小瓦斯压力下煤与瓦斯一同突出
	煤透气性不均匀说	煤层中有透气性变化剧烈区域,瓦斯潜能易使两种煤边界处突出
	突出波说	瓦斯潜能大于煤的变形能十余倍,瓦斯作用可产生连续粉碎煤体突出波
	裂缝堵塞说	均匀排放瓦斯系统被封闭和堵塞,形成增高瓦斯带引起突出
	闭合孔隙瓦斯释放	闭合孔隙瓦斯在闭合面和敞开面间产生很大压差诱发突出
	瓦斯膨胀应力说	煤体瓦斯含量增高带引起煤体膨胀应力增高,若透气性接近零处易突出
	火山瓦斯说	煤受火山活动引起二次热力变质瓦斯和岩浆瓦斯,高压瓦斯区易突出
	瓦斯解吸说	卸压时煤的吸附瓦斯内能转化游离瓦斯压力,破坏不坚硬煤体引起突出
	瓦斯水化物说	某活动区生成瓦斯水化物具有很大潜能,扰动后分解高压瓦斯诱发突出
	瓦斯-煤固体说	固溶体分解伴随形成完整性破坏和涌出气态性产物

续表 1-3

假说 归类	假说名称	基本特征
地压主导作用假说	岩浆变形潜能说	突出是煤层因变形的弹性岩石所积蓄的潜能引起的
	应力集中说	采煤工作面支撑压力带因厚顶板的悬顶和突然下沉引起附加应力而突出
	剪应力说	在突出前的破碎始于最大应力集中处,且是在剪应力作用下发生的突出
	振动波动说	突出过程的发展是外力震动引起煤体和围岩的振动波动过程的发展
	冲击式移近说	突出源于顶底板的冲击式移近,发生取决于岩体性质、巷道参数和速度
	顶板位移不均匀说	突出缘于煤层顶底板不规则和不连续移动而引起的动力现象
	应力叠加说	突出是因地质构造应力、火山与岩浆活动的热力变形应力、自重应力、采掘压力和放顶动压等叠加而引起的
化学本质假说	“爆炸煤”说	突出是由于煤在地下深处变质时发生的化学反应而引起的
	重煤说	煤的形成时有重碳及带氢的同位素重水参加,形成煤的重同位素称为“重煤原子”,当进行采掘时,能发生突出
	地球化学说	突出是煤层中不断进行的地球化学过程——煤层氧化与还原过程
	硝基化合物说	突出煤中积蓄有硝基化合物,只要有不大的活化能量(如应力分布不均、瓦斯压力等)就能产生发热反应。其热量超过分子间活性能时就突出
综合作用假说	能量说	突出是由煤的变形能和瓦斯内能所引起的
	应力分布不均说	突出煤层围岩中具有较高不均匀应力,使围岩产生不均匀移动所致
	分层分离说	当突出危险带煤体表面急剧暴露时,因瓦斯压力梯度作用使分层承受拉伸力,拉伸力大于分层强度时,即发生分层从煤体上分离
	破坏区说	认为突出煤层是不均质的,各点强度不等,在高压作用下由强度最小的点发生,并在其周围造成应力集中,若邻点的强度小于这个集中应力,就会发生破坏,并形成破坏处

由表 1-3 可以看出,虽然单因素假说不能完全阐述突出灾害的演化规律与发生机制,但是能从不同视角去探讨和挖掘了突出灾害的某些现象,为后续研究提供了一定的理论基础。

1.3.1.2 综合假说(多因素假说)

多因素假说最早是由前苏联专家聂克拉索夫斯基提出的。他认为,突出是因地压和瓦斯共同参与而引起的,随着研究的深入,之后又考虑了煤的自身物理力学条件。当时矿业工程界多数支持多因素观点,但对某种因素在突出中所起