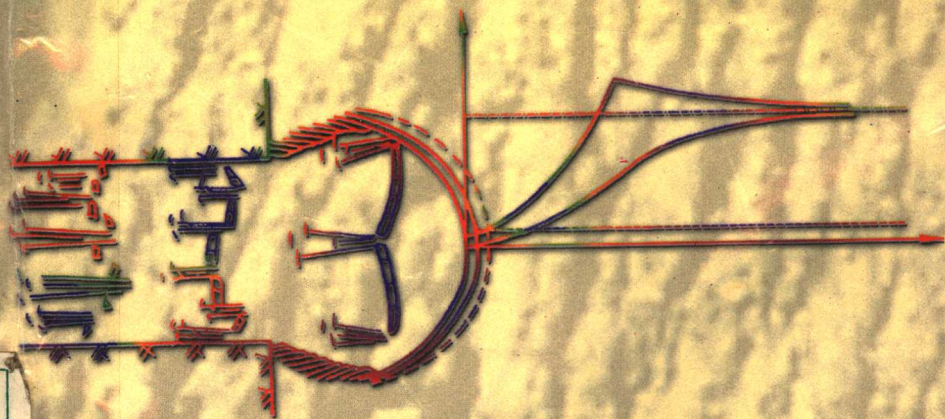


煤与瓦斯突出的 球壳失稳机理及防治技术

蒋承林 俞启香 著

国家自然科学基金资助项目



中国矿业大学出版社

煤与瓦斯突出的 球壳失稳机理及防治技术

蒋承林 俞启香 著

国家自然科学基金资助项目

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书以力学学科基本思想为基础,综合采用新型交叉学科的理论和方法严格推演和论证了关于突出机理的“球壳失稳”理论,并采用实验的方法验证了该理论,介绍了该理论在煤与瓦斯突出防治中的应用。内容包括:煤矿动力现象分类及突出的规律,突出动力学基础,煤与瓦斯突出的“球壳失稳”假说,“球壳失稳”假说的实验验证及对煤矿现场突出现象的解释,“球壳失稳”理论在煤矿突出防治及突出预测中的应用等等。

本书适合高等院校矿山通风安全专业、采矿专业的研究生及高年级的本科生使用,对煤矿现场从事煤与瓦斯突出防治的工程技术人员也有重要的参考价值。

煤与瓦斯突出的球壳失稳机理及防治技术

蒋承林 俞启香 著

出版人 熊永选

责任编辑 马跃龙 责任校对 马跃龙

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 11.125 字数 287 千字

1998年8月第1版 1998年8月第1次印刷

印数 1~1000册

ISBN 7 - 81040 - 607 - 8

TD · 63

定价:18.00 元

反



蒋承林 1956 年生于安徽黄山,1982 年毕业于淮南矿业学院,获矿建专业学士学位。1985 年在中国矿业大学北京研究生部获通风安全专业硕士学位。1994 年获中国矿业大学安全技术及工程博士学位,同年晋升为副教授。多年来一直从事瓦斯突出机理及防治技术研究,主持及参加了国家自然科学基金项目、国家攻关项目、煤炭部项目、煤炭基金项目及其他项目十余项,在国内外发表论文 30 余篇。



俞启香 1935 年生人,教授,博士生导师。1957 年毕业于北京矿业学院采矿系,一直从事矿井安全的教学与研究工作,主持研究了多项国家攻关项目、国家自然科学基金项目和煤炭部项目。在国内外发表论文 60 余篇,主要著作有《矿井瓦斯防治》、《矿井灾害防治理论与技术》、《中国煤矿通风安全工程图集》等。

ABSTRACT

Coal and gas outburst is one of the most dangerous disasters in coal mines. The happening and developing process of this disaster has been studied in theory and practice for more than one hundred years, a lot of experience to prevent and control this disaster has been accumulated, but up to now, there is not one systematic theory which can explain all outburst phenomena in coal mines and be used to supervise the outburst prevention and control work directly.

In this book, the static stress field of gassy seam around working face and its change during advancing process have been first deduced. The changes of any coal mass point in the course of coal and gas outburst have been analysed. It has been found that the basic characteristics of coal body breaking in the process of outburst are the forming, losing stability and throwing out of the spherical shell coal, as a result, the "spherical shell losing stability" hypothesis about outburst mechanism is presented. In this hypothesis, three mechanics conditions are given which should be satisfied during outburst happening in coal seams, and the law of energy dissipation in the course of outburst is also brought to light. A lot of spherical shell coal inside outburst hole has been found by many outburst simulation experiments, by which this hypothesis is proved from test angle. Besides, all outburst phenomena happening in coal mines can be explained satisfactorily by the hypothesis.

Moreover, by analysing the measures of prevention and control

outburst used in coal mine with the principles of “spherical shell losing stability”, new explanation on the effect of these measures can be made, and their improving methods can also be obtained. With the principles of “spherical shell losing stability”, a new and precise outburst prediction method and a more effective outburst prevention and control method are presented.

This book is suitable for the undergraduates and postgraduates of mine safety and mining speciality in university, and it also has an important reference value to the technicians who engage in outburst prevention and control in coal mine.

the author

Nov. ,1997

前 言

在煤矿开采过程中,经常遇到各种动力现象。这些动力现象的出现,给采掘工作带来了很大的困难和危险。在这些动力现象中,尤以煤与瓦斯突出危害最大,当突出发生时,煤体及所含的瓦斯突然地连续地抛向巷道空间,造成煤流埋人、推倒支架和设备的事故;当抛出的瓦斯气体具有爆炸性时,如果遇上火源,又会形成瓦斯爆炸,摧毁整个工作面甚至整个矿井,给矿井的生产和工人的生命安全带来极大的威胁。

在防治煤与瓦斯突出的斗争中,人们一直在两个方面进行着不懈的努力。其一,研究煤与瓦斯突出的机理,掌握突出的发生发展规律,以使用理论指导实践。但是由于突出是一种特别复杂的过程,人们尚未在理论上完全认识清楚突出的本质,至今还没有一种直接由突出理论导出的突出预测方法或防治方法用于煤矿现场。其二,研究煤矿现场使用的突出预测方法和突出防治方法。这种研究主要以现场的经验为基础,对与突出有关的资料进行总结,形成一些便于现场应用的方法,然后在实践中不断改进。由于影响突出的因素较多,各矿区的地质条件也不一样,存在着突出预测临界值随矿井的不同而不同,防突措施效果差别较大,防突时间过长,延误采矿推进速度等问题。因此,迫切需要对突出的研究有一个大的突破。

本书正是在这样的背景下撰写的。

目前,人们普遍认识到,突出是由地应力、瓦斯压力及煤体强度综合作用的结果。但是,地应力、瓦斯压力是如何作用才导致突出发生的?作用的过程是如何发生与发展的?这方面的研究尚不深入。相当一部分论文和专著只是从单因素、静态的角度分析了突出过程,而对各种因素共存的条件下,对突出过程的动态分析却很少。因此,笔者用数学方法和力学分析方法建立了巷道周围含瓦斯煤体内的应力场模型,分析了突出过程中煤体内应力场的变化及对突出过程的影响,给出了发生突出必须满足的力学条件,揭示了突出过程中煤体内能量耗散的规律,提出了系统的关于突出机理的“球壳失稳”假说。当将球壳失稳假说用于解释现场突出现象时,笔者发现,球壳失稳假说不但能解释已往各种假说所能解释的各种突出现象,而且还能解释已往的各种假说所不能解释的现象,如突出孔洞的形状、突出延期现象、过煤门时的突出等等,并且与现场的经验十分吻合。为了验证这一假说,我们在大型压力机上进行了40多次突出模拟实验,研制了测定煤样的初始释放瓦斯能装置,不但找到了直接证明突出过程中煤层呈球壳状破坏的依据,而且用球壳失稳假说提出的指标准确预测了突出模拟过程中出现的动力现象的大小,准确率达100%。当将“球壳失稳”理论用于分析煤矿现场的防突过程时,可以使我们对已往防突措施的有效性从新的角度重新认识,同时提出了新的更有效的防突措施。当将“球壳失稳”理论用于突出预测时,我们提

出了新的煤层突出危险性预测模型——理想石门揭煤，给出了现场可以准确测定的突出预测指标，从而为现场准确预测煤层的突出危险性提供了一种新的更有效的方法。

本书的主要内容曾在中国矿业大学矿井通风安全专业、采矿专业及建井专业的多届学生中试讲过，也曾给淮北矿务局等矿区的技术人员作过演讲，受到了广泛的欢迎。现在，笔者将这些研究成果整理出版，奉献给那些与矿井瓦斯作斗争的科研人员、技术人员及现场的管理人员。

在进行突出机理的分析过程中，笔者有幸聆听了中国矿业大学数力系万德连教授的教诲和指点，使笔者得以完善“球壳失稳”理论的分析工作。在试验期间，笔者还得到过抚顺煤科分院的王佑安高级工程师、清华大学的沈熊教授的指点。中国矿业大学信电学院陈松立副教授帮助完成了实验仪器的制作。借此机会，笔者向他们表示衷心的感谢！

著 者

1997 年 11 月

目 录

前言	1
第一章 煤矿井下动力现象分类及突出的规律	1
1.1 煤矿井下的动力现象及特征	1
1.1.1 煤与瓦斯突出	1
1.1.2 煤与二氧化碳突出	2
1.1.3 岩石与二氧化碳突出	2
1.1.4 岩爆	3
1.1.5 煤爆	4
1.1.6 采场冲击地压	4
1.1.7 煤炮	5
1.1.8 挤出	6
1.1.9 压出	7
1.1.10 倾出	8
1.1.11 冒顶	8
1.1.12 原始洞缝中的瓦斯喷出	9
1.1.13 卸压瓦斯的喷出	9
1.1.14 井下透水	9
1.2 煤矿井下动力现象的分类	10
1.3 煤与瓦斯突出概况	12
1.4 煤与瓦斯突出的特点与规律	13
1.4.1 石门突出	14
1.4.2 煤巷突出	17
1.4.3 上山突出	18
1.4.4 下山突出	18

1.4.5 采煤工作面的突出	18
1.4.6 钻孔突出	19
1.4.7 煤与瓦斯突出的基本规律	20
1.5 煤与瓦斯突出过程实测	22
1.6 煤与瓦斯突出机理研究简介	26
参考文献	30
第二章 突出煤体的物理力学特性	32
2.1 突出煤体的形成及结构特征	32
2.2 突出煤体的渗透性	34
2.3 煤体的吸附特性	35
2.4 突出煤体的连续介质模型	37
2.5 突出煤体的力学性质	39
2.5.1 突出煤体的单轴压缩试验	40
2.5.2 突出煤体在三轴载荷下的变形	43
2.5.3 突出煤体的流变特性	43
2.6 煤岩的破裂类型及微观破裂机制	44
2.7 煤(岩)体的强度准则	46
2.8 煤(岩)体内裂纹的扩展	51
参考文献	57
第三章 巷道周围突出煤体内的应力分布	59
3.1 掘进工作面周围煤(岩)体内的静态应力场	59
3.2 掘进头周围煤(岩)体内各点的位移	69
3.3 巷道周围煤(岩)体内的静态应力场	72
3.4 掘进头周围突出煤体内的实际应力分布形式	79
3.5 瓦斯压力对工作面周围应力场的影响	82
3.6 掘进工作面周围煤体内的动态应力场	83

3.7 非突出时掘进工作面周围煤体内裂纹的 扩展规律.....	86
3.8 结论.....	91
参考文献	92
第四章 煤与瓦斯突出过程的动态分析	94
4.1 煤与瓦斯突出阵面推进过程的分析.....	95
4.2 发生煤与瓦斯突出的力学条件	100
4.3 煤与瓦斯突出过程的热力学分析	104
4.4 突出过程中煤体内的能量耗散规律	109
4.5 煤与瓦斯突出的球壳失稳假说要点	114
参考文献.....	116
第五章 “球壳失稳”假说的实验研究.....	118
5.1 验证的方法	118
5.2 突出模拟试验	121
5.2.1 突出模拟装置与模拟材料	121
5.2.2 突出煤层的制备与取样	124
5.2.3 突出模拟试验	125
5.2.4 突出模拟结果的分类	127
5.3 突出模拟实验结果分析	131
5.4 煤样的初始释放瓦斯膨胀能测定与分析	138
5.4.1 初始释放瓦斯膨胀能的测定原理	138
5.4.2 煤样的初始释放瓦斯膨胀能测定装置	142
5.4.3 初始释放瓦斯膨胀能的测定与计算	144
5.4.4 煤样中瓦斯能量的初始涌出特性研究	145
5.4.5 不同动力现象煤样的实验结果比较	152
5.5 “球壳失稳”假说的试验研究结论	153
参考文献.....	155

第六章 “球壳失稳”假说对现场突出现象的解释与分析·····	157
6.1 煤与瓦斯突出过程的描述·····	157
6.1.1 软煤的暴露过程·····	157
6.1.2 突出的发展过程·····	159
6.1.3 突出的停止过程·····	162
6.2 “球壳失稳”假说与现场突出规律·····	162
6.2.1 突出的次数和强度随着开采深度加大而增加·····	162
6.2.2 突出的次数和强度与煤层中软分层厚度的关系·····	163
6.2.3 煤层中原始瓦斯压力与突出危险性的关系·····	163
6.2.4 突出时的吨煤瓦斯涌出量与煤层的原始瓦斯含量的关系·····	164
6.2.5 突出的危险性随着煤层的倾角增大而增加·····	165
6.2.6 突出与地质构造的关系·····	166
6.2.7 采掘形成的应力集中地区,突出危险性剧增·····	167
6.2.8 绝大多数突出发生在落煤时,尤其是在爆破时·····	167
6.2.9 与其他类型的巷道相比,石门揭煤的突出危险性最大,突出强度也最高·····	168
6.2.10 突出的危险性随着煤层顶底板存在硬而厚的围岩(硅质灰岩,砂岩)而增加·····	169
6.2.11 突出前的预兆·····	169
6.3 地应力、瓦斯压力及煤体强度在突出过程中的作用·····	171
6.4 过煤门时的突出·····	176
6.4.1 过煤门遇到软分层的情况·····	177
6.4.2 致密坚硬顶板(或底板)中爆破引起的突出·····	177
6.5 金属栅栏抑制突出的机理·····	182
6.6 突出孔洞的形状·····	184

6.7	突出物内温度的变化原因初探	186
6.8	煤与瓦斯突出延期发生的原因及预防	192
6.8.1	延期突出发生的原因	192
6.8.2	延期突出实例	198
6.8.3	延期突出的预防措施	200
6.9	小结	201
	参考文献.....	202

第七章	“球壳失稳”理论在防突技术中的应用.....	204
7.1	突出防治技术的理论基础	204
7.2	开采保护层的防突作用及应注意的问题	206
7.3	预抽煤层瓦斯的防突机理	211
7.3.1	本煤层瓦斯抽放	212
7.3.2	局部多排钻孔排放瓦斯	216
7.4	煤层注水在防突中的作用	219
7.4.1	煤层注水防突的原理	219
7.4.2	煤层的注水工艺	222
7.4.3	注水参数	225
7.4.4	注意事项	227
7.5	震动放炮在石门揭煤过程中的作用分析	228
7.5.1	石门揭煤前的准备工作	228
7.5.2	震动放炮的作用分析	232
7.5.3	震动放炮的炮眼布置方法	237
7.5.4	震动放炮作业的注意事项	239
7.6	水力冲孔防突的作用分析	240
7.6.1	水力冲孔的防突机理	240
7.6.2	水力冲孔的适用条件	241
7.6.3	水力冲孔工艺过程	241
7.7	金属骨架在防突中的作用	243

7.7.1	金属骨架的结构	243
7.7.2	金属骨架的作用分析	244
7.7.3	金属骨架的适用条件	246
7.8	深孔松动爆破的作用分析及改进方向	246
7.8.1	深孔松动爆破的防突机理	246
7.8.2	深孔松动爆破的作用分析	248
7.8.3	松动爆破参数	251
7.8.4	注意事项	253
7.9	石门揭煤防突新方法的探讨	254
7.9.1	现有石门突出防治措施存在的问题	254
7.9.2	增压爆破法的研究	255
7.9.3	增压爆破法应注意的问题	257
	参考文献	258

第八章 “球壳失稳”理论在突出预测中的应用..... 260

8.1	突出预测的意义及突出预测技术的现状	260
8.1.1	综合指标法	261
8.1.2	钻屑瓦斯解吸指标法	263
8.1.3	钻孔瓦斯涌出初速度法	264
8.1.4	R 值指标法	264
8.1.5	钻屑指标法	265
8.2	突出预测的理论基础	270
8.2.1	Fisher 准则下的两组线性判别分析	270
8.2.2	Bayes 准则下的多组判别分析	276
8.2.3	逐步判别分析	283
8.2.4	多元回归分析	291
8.3	煤与瓦斯突出的预测模型研究	295
8.3.1	突出过程影响因素分析	295
8.3.2	煤层突出预测的模型研究	300
8.4	突出预测指标的研究及数据处理方法	302

8.4.1	突出预测指标的研究	302
8.4.2	突出预测数据的处理方法	304
8.5	一种新的石门揭煤突出预测方法	317
8.5.1	瓦斯压力 p 的测定	317
8.5.2	钻取整个煤层的煤芯	318
8.5.3	煤样的初始释放瓦斯膨胀能测定	319
8.5.4	石门揭煤突出危险性预测	320
参考文献		322
附录		324