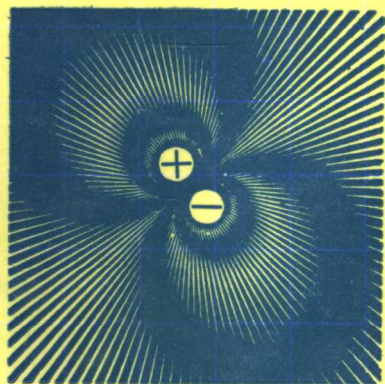


国家自然科学基金资助

• 含瓦斯煤岩灾害动力学 •

含瓦斯煤岩破坏电磁动力学

何学秋 刘明举 著



中国矿业大学出版社

中国矿业大学学术丛书

· 含瓦斯煤岩灾害动力学 ·

含瓦斯煤岩破坏电磁动力学

何学秋 刘明举 著

国家自然科学基金
煤炭科学基金 资助
煤炭行业攻关项目

中国矿业大学出版社

(江苏·徐州 221008)

Academic Series of China University of Mining & Technology
Catastrophic Dynamics of Coal or Rock Containing Gas (I)

Fracture Electro-magnetic Dynamics of Coal or Rock Containing Gas

Xueqiu He & Minju Liu

The Project Supported by National Natural
Science Foundation of China

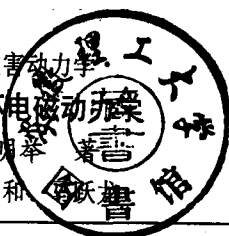
China University of Mining & Technology Press
(Xuzhou • China 221008)

(苏)新登字第 010 号

·含瓦斯煤岩灾害动力学
含瓦斯煤岩破坏电磁动力学

何学秋 刘明举

责任编辑 陈玉和



中国矿业大学出版社出版

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 8.75 字数 235 千字

1995 年 5 月第一版 1995 年 5 月第一次印刷

印数 1—1000 册

ISBN 7 - 81040 - 371 - 0

TD · 34

定价:18.00 元

[Jiangsu] Newly registered No. 010

Catastrophic Dynamics of Coal or Rock Containing Gas (I)

**Fracture Electro-magnetic Dynamics of Coal
or Rock Containing Gas**

Published by:

China University of Mining & Technology Press

Xuzhou, Jiangsu, China

Tel: (0516)3880933

Telex: (0516)368029 CUMTX CN

Cable: 2233

Post code: 221008

Copyright Catastrophic Dynamics of Coal or Rock Con-
taining Gas (II)

**Fracture Electro-magnetic Dynamics of Coal or
Rock Containing Gas**

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recordings or any information storage and retrieval system, without the permission in writing from the author or publisher.

First edition, 1995.

First Printing, May 1995.

Printed in China University of Mining & Technology Press

ISBN 7 - 81040 - 371 - 0

TD • 34 ¥:18.00



作者简介

何学秋博士,男,汉族,中国矿业大学安全工程学教授,国家政府特殊津贴获得者。1961年8月出生于辽宁省灯塔县。1982年毕业于阜新矿业学院,获学士学位;1985年毕业于中国矿业学院北京研究生部,获安全技术及工程硕士学位;1990年毕业于中国矿业大学,获安全技术及工程博士学位。1993年晋升为副教授;1994年破格晋升为教授。曾获国家自然科学奖、霍英东教育基金奖、煤炭科技进步奖和煤炭系统青年科技标兵等多项奖励。曾赴波兰、澳大利亚和日本合作科研和参加国际学术会议。在国内外学术刊物和会议发表论文40余篇。主要研究领域为安全环境工程,含孔隙流体煤岩混凝土灾害动力学,矿山安全工程。



作者简介

刘明举博士,男,汉族,副教授。1964年1月出生于河南省桐柏县。1985年毕业于焦作矿业学院,获学士学位;1988年毕业于焦作矿业学院,获安全技术及工程硕士学位;1994年毕业于中国矿业大学获安全技术及工程博士学位。在国内外学术刊物和会议发表论文20余篇。主要研究领域为安全环境工程,含孔隙流体煤岩混泥土灾害动力学,矿山安全工程。

责任编辑 陈玉和

马跃龙

封面设计 肖新生

内 容 提 要

含瓦斯煤岩是由气体—吸附层—固体组成的三相介质。煤与瓦斯突出是一种含瓦斯煤岩的灾害动力现象。本书用新兴交叉学科的理论和方法,深入系统地研究了含瓦斯煤岩和混凝土在变形破坏过程中产生的电磁辐射及其对瓦斯吸附放散的影响,在此基础上提出了煤与瓦斯突出的流变电磁辐射模型。在大型模型巷道实验的基础上详细地讨论了断裂电磁辐射记忆效应的机理及其应用。在实验室实验和现场实验的基础上,提出了含瓦斯煤岩破坏和突出预测的电磁辐射指标,讨论了含瓦斯煤岩电磁辐射和瓦斯吸附放散电磁效应在突出等灾害防治、突出监测和瓦斯抽放等方面的应用。

本书可供从事含孔隙流体煤岩性态和煤岩灾害动力现象研究的科技工作者、研究生、本科生及矿山安全科技人员参考使用。

前 言

含瓦斯煤岩是一种由气体—吸附层—固体组成的三相介质。在自然条件下,煤岩等固体介质的孔隙中都必然存在有某种性状的孔隙流体。孔隙流体的存在,使煤岩等固体孔隙介质的性态及行为发生变化,甚至是质的变化,特别是当孔隙流体为具有吸附性的气体时,这种变化就更加显著。因此,含瓦斯煤岩是一种具有不同于固体(煤岩)和流体(瓦斯)性态的特殊介质。这种介质的性态和行为不能用任何单一的理论来进行较全面和符合实际的描述。例如,固体力学或岩石力学一般是用纯力学理论来研究煤岩等固体孔隙介质的性态和行为,在考虑孔隙流体的作用时主要采用纯力学作用的有效应力原理;流体力学或渗流力学主要研究流体在管孔或裂隙中的运移规律,而对固体的作用考虑得很少,最多是考虑固体孔隙结构的影响。

大量的实际现象和实验结果已经表明,含瓦斯煤岩这种特殊三相介质的性态变化和运动过程是力学、物理化学、电磁动力学、热力学与传热学和渗流力学等的综合作用,它与单相或双相介质的性态变化和运动过程有本质上的不同。因此,要研究和认识含瓦斯煤岩的灾害动力现象,必须采用适用的物质观、复杂性科学或系统科学的观点及方法论体系,来描述和揭示这种特殊介质性态和灾害的动力过程。

含瓦斯煤岩灾害动力学正是在这种条件下孕育和发展起来的一门新兴交叉学科。它以含瓦斯煤岩等固体孔隙介质的灾害动力过程为研究对象,研究和描述这类灾害的孕育、发动发生、发展和结束全过程。从系统全面的观点出发,采用流变力学,量子力学,物

理化学,电磁动力学,分形动力学,热力学与传热学和渗流力学等科学方法。主要的研究分支包括含瓦斯煤岩流变动力学,含瓦斯煤岩破坏电磁动力学,含瓦斯煤岩“蚀损”动力学,三相介质间能量转换与传输动力学和固流耦合动力学等。

从普遍意义的角度可以说,自然条件下的煤岩及各种混凝土建筑物都属于含孔隙流体的介质,只是在通常的条件下人们忽略了孔隙流体的作用,而将其简化为单相或双相介质。而且,这种简化是允许的且偏差不大。但是,这种简化后的物质与实际情况是有偏差的。特别是在孔隙流体的性质比较活泼,压力较高的情况下,简化处理会导致错误的认识结果。随着人们生产和科学活动空间的扩展,未知领域呈涌现方式向人类提出挑战,我们必须建立起能够更全面、真实地描述物质运动本质规律的理论体系和方法。因此,含瓦斯煤岩灾害动力学不但对人们认识煤(岩)和瓦斯突出灾害机理、冲击地压发生机理等有重要作用,而且对认识和揭示地震、滑坡和井下突水机理、对大型混凝土坝基和高层建筑物的稳定性与寿命评价等有指导和参考作用。

煤与瓦斯突出是一种极其复杂的含瓦斯煤岩灾害动力现象,是矿井生产中的重大自然灾害之一。防治突出灾害的理论基础是突出机理,煤与瓦斯突出的综合假说得到了广泛的承认,该假说认为突出是地应力、瓦斯和煤的物理力学性质综合作用的结果。但是,由于突出的复杂性以及研究方法和研究手段的限制,突出的实验室模拟和现场实际观测都存在着无法克服的困难,我们尚未完全弄清其机理,还无法准确地预测和监测突出,也无法从根本上阐述突出所带来的危害。因此,迫切需要采用新的方法和手段研究煤与瓦斯突出这种与含瓦斯煤岩破坏有关的灾害动力现象。

地震事例的观察分析及实验室实验业已证明,岩石在变形破

坏过程中有不同程度的电磁辐射产生,这种电磁辐射被称之为断裂电磁辐射。地震工作者通过对坚硬岩石断裂电磁辐射的研究,对地震的孕育机制有了新的认识,提出了新的临震预测方法。突出的理论研究和实验研究证明,突出的主体是含瓦斯煤岩体,突出是含瓦斯煤体快速破坏并被迅速抛出的物理力学过程,其本质是含瓦斯煤岩体在外力作用下的高速破坏。突出是在一定的时间和空间中进行的,是典型的不可逆能量耗散过程,在这一过程中,含瓦斯煤岩体自外界获得的能量和自身储备的能量将以各种形式被耗散,断裂电磁辐射是一种重要的辐射形式。通过对断裂电磁辐射这种能量耗散形式的研究可望在更深层次上认识含瓦斯煤岩破坏的微观机理,为深入了解突出发生发展的动态过程和突出机理提供新的方法和手段,为突出预测及监测新方法和新手段的研究及实施奠定基础。

含瓦斯煤岩是典型的三相介质,它由自由瓦斯、吸附瓦斯和煤岩骨架组成。目前,断裂电磁辐射的研究仅限于不含孔隙气体的坚硬岩石,因此,对含瓦斯煤岩在动态破坏过程中产生的断裂电磁辐射及其在煤与瓦斯突出等灾害动力现象中的应用进行的研究构成本书——含瓦斯煤岩断裂电磁动力学——的全部研究内容。

本书共分9章。第1章综述煤与瓦斯突出机理及其预测预报方法和岩石断裂电磁辐射的研究成果,概述本书的研究内容;第2章研究含瓦斯煤岩断裂电磁辐射和瓦斯吸附放散的电磁效应,着重研究孔隙气体对电磁辐射影响的作用模式和电磁场对瓦斯吸附放散的影响规律;第3章用扫描电子显微镜和理论分析研究含瓦斯煤断裂破坏的微观机理,以期了解突出启动过程中应力、瓦斯和含瓦斯煤的相互作用过程;第4章研究含瓦斯煤断裂电磁辐射的机理;第5章研究电磁辐射产生的电磁场影响瓦斯吸附放散的机

理;第6章研究断裂电磁辐射的 Kaiser 效应及其在地应力测量中的应用;第7章在论述煤与瓦斯突出能量来源的基础上考察突出过程中能量交换的热力学过程,结合第2、3、4、5章的研究成果,详细论述突出过程各阶段中应力、瓦斯和含瓦斯煤相互作用的微观过程,并以突出流变假说为基本框架建立了煤与瓦斯突出的流变电磁辐射模型;第8章研究断裂电磁辐射和突出流变电磁辐射模型在突出预测预报、突出监测和突出防治中的应用;第9章总结本文的研究成果。

本书提出了许多关于含瓦斯煤岩断裂电磁辐射和煤与瓦斯突出的新观点,它们还需要进行更深入细致的研究。由于作者水平所限,书中疏漏谬误之处,在所难免,恳望读者不吝斧正。

感谢周世宁教授对作者的培养和关怀。作者还感谢李增华讲师、张仁贵工程师、刘贞堂讲师、周广来和成恒堂高级工程师及李大伟硕士在实验室实验、现场实验和部分理论分析方面给予的帮助。作者感谢焦作矿务局科研所、中国矿业大学矿压实验室、通风实验室和出版社等单位对本书出版所给予的大力支持。最后,作者感谢陈玉和、马跃龙编辑为本书的出版所付出的辛勤劳动。

何学秋

1995年3月25日

Abstract

Coal and gas outbursts are a very complicated catastrophic dynamic phenomenon closely connected to coal or rock containing gas, and are one of the most serious disasters encountered in coal mines all over the world. The prevention and control of coal and gas outbursts are based on the mechanism or mechanisms of coal and gas outbursts. The comprehensive hypothesis is widely accepted, which says that coal and gas outbursts are caused by coalbed gas, stress and the physical and mechanical behaviors of coal. Presently, the whole story of coal and gas outbursts is not recognized by human beings because of the complicated characteristics of outbursts and the shortage of proper research means and methods, so it is difficult to predict them precisely, monitor them effectively, or erase the disasters caused by them completely. Therefore, it is necessary to seek new means and methods for research on coal and gas outbursts.

Observations and analysis of earthquake cases and laboratory experiments have confirmed that electromagnetic emission of different intensity is produced in the fracture process of rocks. This kind of emission is thus called fractoelectromagnetic emission. On the basis of research on frac-

to-electromagnetic emission of rocks, earthquake researchers have made progress in the mechanism of earthquakes, and put forward new earthquake prediction methods. Laboratory experiments and theoretical analysis have proved that the main body of coal and gas outbursts is coal or rock containing gas, that coal and gas outbursts are physical and mechanical processes in which coal or rock containing gas are fractured and ejected rapidly. Coal and gas outbursts are typical irreversible thermodynamic processes of energy dissipation, in which the energy obtained by coal or rock from external world and the energy stored in coal are dissipated in very much different forms. Fracto-electromagnetic emission is one of the most important forms of energy dissipation. Research work on fracto-electromagnetic emission could be expected to promote recognition of the micro-mechanism of coal or rock containing gas, provide new means and methods to the research on the dynamic process and mechanism of coal and gas outbursts, and lay a firm foundation for the prediction or monitoring coal and gas outbursts.

Coal or rock containing gas is typical three-phase medium composed of free gas under pressure, adsorbed gas and coal or rock matrix. The present research on fracto-electromagnetic emission is confined to hard rock without porous gas. The research on fracto-electromagnetic emission from

coal or rock containing gas and its application in catastrophic dynamic phenomena such as coal and gas outbursts is therefore the object of this book—Fracture Electromagnetic Dynamics of Coal or Rock Containing Gas.

There are nine chapters in this book, they are arranged as following. The first chapter reviews the literature of coal and gas outbursts and fracto-electromagnetic emission of rock, give an introduction to the contents of the book. In the second chapter, laboratory research is conducted on fracto-electromagnetic emission from the fracture of coal or rock containing gas and the impact on gas adsorption and gas emission of electromagnetic field. In the third chapter, SEM and theoretical analysis methods are practiced to study the fracture micro-mechanism of coal or rock containing gas. In chapter four and chapter five, researches are conducted to analyze the mechanism of fracto-electromagnetic emission and the mechanism of the impact on gas adsorption and gas emission of electromagnetic field individually. In chapter six, laboratory research and analysis are carried out to study Kaiser effect of rock and its application in in situ stress measurement and evaluation of coal and gas outbursts. In chapter seven, detailed analysis is conducted to the energy sources and the thermodynamic process of energy transportation of coal and gas outbursts. Based on the framework of the rheological hypothesis of coal and gas out-

bursts, a new outbursts model — rheological fracto-electromagnetic model is established with reference to the research results in chapter two to chapter five. In chapter eight, primary discussion is made on the application of fracto-electromagnetic emission and electromagnetic effect of gas adsorption and gas emission in the prediction, monitoring, prevention and control of coal and gas outbursts. And finally, chapter nine is the main points of the book.

The authors want to thank professor Shining Zhou for his help in preparing this book.

Xueqiu He

March, 25, 1995.

目 录

前 言	(I)
Abstract	(VI)
1 绪论	(1)
1.1 煤与瓦斯突出机理研究综述	(1)
1.1.1 单因素假说阶段	(2)
1.1.2 综合假说阶段	(2)
1.1.3 煤与瓦斯突出的流变机理	(4)
1.2 煤与瓦斯突出预测研究现状	(5)
1.2.1 煤与瓦斯突出区域预测	(5)
1.2.2 工作面瓦斯突出预测	(7)
1.3 岩石断裂电磁辐射的研究现状	(10)
1.4 本书研究的内容	(12)
1.4.1 研究的目的和意义	(12)
1.4.2 研究内容	(13)
2 断裂电磁辐射和瓦斯吸附放散电磁效应的实验研究	(15)
2.1 引言	(15)
2.2 断裂电磁辐射的实验研究	(17)
2.2.1 实验样品及其制备方法	(17)
2.2.2 实验系统和实验方法	(19)
2.3 断裂电磁辐射的实验结果与分析	(22)
2.3.1 实验的主要结果	(22)