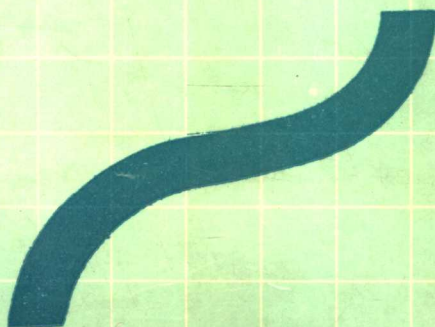


国家自然科学基金资助

• 含瓦斯煤岩灾害动力学 •

含瓦斯煤岩流变动力学

何学秋 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 ·

含瓦斯煤岩流变动力学

何学秋 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)

Rheological Dynamics of Coal or Rock Containing Gas

Xueqiu He

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 ·

含瓦斯煤岩流变动力学

何学秋 著

责任编辑 陈玉和

中国矿业大学出版社出版

新华书店经销 中国矿业大学出版社印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 8.275 字数 225 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 - 370 - 2

TD · 33

定价: 18.00 元

[Jiangsu] Newly registered No. 010

Catastrophic Dynamics of Coal or Rock Containing Gas (I)

Rheological 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 Containing Gas (I)

Rheological 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 -370 - 2

TD • 33 ¥: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。

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。自然条件下的煤岩等固体介质的孔隙中都必然存在有孔隙流体。各种煤岩等固体孔隙介质的灾害动力现象都是在含有孔隙流体的条件下发生的。含瓦斯煤岩灾害动力学是研究含瓦斯煤岩三相介质复杂灾害动力学现象的一门新兴学科,是力学、物理化学、热力学、电磁动力学等学科的交叉,含瓦斯煤岩流变动力学是其中的一个分支。

本书用新兴交叉学科的理论和方法,在对煤岩物理结构统计分形规律、孔隙瓦斯对煤岩的腐蚀损伤作用和瓦斯在煤层中的储运规律等分别进行系统研究的基础上,用流变力学的理论和方法对含瓦斯煤岩三相介质的整体性态和动力特征进行了较全面深入的实验研究和理论分析,提出了含瓦斯煤岩突出灾害机理的“流变假说”理论体系和突出灾害预测新指标。最后在对各学科中普遍存在的安全现象进行抽象分析的基础上,提出了安全科学的统一规律——“安全流变论”。

本书可供从事含孔隙流体煤岩和混凝土材料性态研究的科技工作者、研究生和大学本科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背景条件下孕育和发展起来的一个新兴交叉学科。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。

从普遍意义的角度看,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。

既然含瓦斯煤岩是一种由气体—吸附层—固体组成的三相介质,因此要实现认识其本质运动规律的目的,就必须首先认识每一种单相介质的性态和运动规律。本书通过用分形理论研究煤岩的物理结构,特别是研究对固体强度和瓦斯储运性能有重要影响的孔隙结构、粒块度组成和内表面积等的分布规律,使原来只能进行定性描述的煤岩物理结构实现了具有数学模型的定量化描述。通过用物理化学为主的基本理论来研究吸附瓦斯与固体表面间的相互作用的性态,首次阐述了孔隙流体的非太沙基(Terzaghi)作用原理,并提出了孔隙流体对煤岩等固体孔隙介质的“蚀损”效应新

概念,从理论上初步分析了“蚀损”效应的机理。用数学反问题和摄动等方法求解了几个比较实用的煤层瓦斯流场的解析解。

在对含瓦斯煤岩三相介质的每一单相介质进行研究的基础上,用流变力学的基本理论,对三相介质的整体性态及其运动过程进行了实验室试验、现场实验和理论分析,证明了“蚀损”效应的存在及其在突出中的作用,并提出了含瓦斯煤岩突出机理的“流变假说”。

目前,含瓦斯煤岩突出机理的假说基本是建立在弹性力学或弹塑性力学的基础上,缺少时间因素,难于完满地解释突出的发生、发展过程。大量的现场实际现象表明,含瓦斯煤岩在受采掘工作作用的条件下,其力学行为是与时间因素密切相关的动态流变过程,而含瓦斯煤岩的流变特性研究在国内外还基本无人进行。

作者通过对含瓦斯煤岩三轴蠕变行为的试验研究,证明含瓦斯煤岩是一种流变介质,推导出并验证了含瓦斯煤岩三轴蠕变本构方程。同时给出了含瓦斯煤岩的三轴流变本构方程,并推导出了应力以恒速率变化时的动态规律。

试验表明含瓦斯煤岩在应力水平超过其屈服应力时具有典型的蠕变三阶段。而且发现,煤中孔隙瓦斯气体的压力越高,吸附性越强则其强度越低,屈服前的弹模越大,屈服后的破坏速度越高。这一结果说明了瓦斯气体在突出过程中的重要作用。

介质的流变特性随其本身的强度特性和所承受外载荷的大小而变化。当含瓦斯煤岩强度相对外载荷值较高时,含瓦斯煤岩可表现出基本以弹塑性为主的弱流变特性;相对外载荷值强度较低的含瓦斯煤岩则表现出强流变特性。前者的灾害形式表现为冲击地压,后者则表现为煤和瓦斯突出。

试验证明,含瓦斯软煤的变形主要为不可逆的粘塑性变形,这

一过程中外力所作功主要转化为煤体内部的耗散能,而转化为煤体弹性潜能的只是很小的一部分。作者通过对含瓦斯煤岩流变特性的研究,对煤和瓦斯突出现象给出了动态流变过程的解释。作者认为,瞬时突出和延期突出分别是由含瓦斯煤岩的动态流变破坏和蠕变破坏发动。突出的发展过程是由动态流变过程控制。受采动影响煤体都处于突出准备的流变状态并通过原生和新生裂隙网向突出发生区补给瓦斯。突出界面与准备区界面的接近和侧压的增加会使突出停止。用这一基本原理可对突出现象给出比较客观的解释。在对含瓦斯煤岩灾害动力现象流变机理研究的基础上,作者通过对其它学科领域中安全现象的观察,首次提出了安全科学的统一理论——安全流变论,并初步建立起了数学模型。

由于作者的水平所限和书中的许多新观点还有待今后继续进行深入的研究,因此,本书中必然存在许多不足之处,作者恳请读者能给予批评指正。

最后,作者对中国矿业大学出版社、矿压实验室、岩石力学实验室、安全技术及工程教研室、实验室和分析测试中心及焦作矿务局等单位的大力支持和帮助表示感谢。

作者衷心感谢博士生导师周世宁教授多年来对作者科研能力和素质提高方面的亲切培养与关怀,感谢他在煤和瓦斯突出机理研究方面给予作者的全面指导和支持。作者感谢焦作矿务局成恒堂、陈碧川二位高级工程师、李增华工程师、张仁贵工程师、刘贞堂讲师在实验室和现场实验方面对作者的支持。作者感谢本书编辑陈玉和同志所付出的辛勤劳动,感谢林海燕、王恩元两位研究生在文字录入方面所做的工作。

何 学 秋

1995年3月20日

Abstract

Coal or rock containing gas is a kind of three-phase medium, which is made from free gas, adsorption layer and solid. In order to realize its properties and fracture mechanism, the single phase material's behaviors should be studied first. This book will study the physical structure of coal or rock containing gas by means of fractal, especially the fractal distributions of pores, porous surfaces and particales which are very important factors affecting the strength of coal or rock containing gas and the storage and transportation behaviors of gas in coal seams. Finally, the fractal model of coal or rock physical structure is built up. The physico-chemical reaction between adsorbent and porous surface are investigated. On the basis of the investigation, we find that the Terzaghi's effective stress theory can not describe the porous adsorbed gas action correctly. And a new conception-"corrosion-damage" action of porous gas is put forward. The "corrosion-damage" mechanism of coal or rock containing gas is analysed. In the study of gas flow in coal seams, an inverse mathematical method is applied in analysis of several gas flow problems.

On the basis above, the rheological properties and motive behaviors of coal or rock containing gas are studied sys-

tematically both in laboratory and in site. The investigation results prove that the "corrosion-damage" action of porous gas plays a very important role in the material damage process.

Since the hypothesis of coal (rock) and methane outburst based on static elastic and plastic mechanics gives no consideration to time, it can not give a satisfactory explanation to the outburst occurrence and its development. Many of the practical phenomena have showed that the behaviour of coal (rock) containing gas affected by excavating is a dynamic rheological course and is related closely to time. But until now the rheological property of coal containing gas is hardly researched home or abroad. Thus the method of rheology is applied to studying the rheological property and outburst mechanism of coal (rock) containing gas in this book.

The results of the tri-axial creep test prove that the coal containing gas is a kind of rheological material and its tri-axial creep mathematic model is set up and tested. Also its rheological mathematic model is set up, and a dynamic equation is put forward under the condition of constant stress ratio.

The tri-axial creep of coal (rock) containing gas presents obviously three periods when the stress exceeds its yielding force. And we find that, when the gas pressure is

high and its absorb capability is strong, the strength of coal (rock) containing gas becomes low. Its Yang's modulus is higher before it's yielded, and its fracture speed is higher after it's yielded. This evidence reveals the important function of the porous gas during coal(rock) and methane outburst.

The rheological property of a material changes according to its strength and the compression condition. If the strength of coal or rock containing gas is relatively high, the static elastic and plastic property will be dominant; if the strength is low, the rheological property would be dominant; the hazard phenomenon of the former one is rock burst and the latter one is coal and methane outburst.

The tests show that the strain of relatively soft coal containing gas is mainly irreversible viscous and plastic yielding. Thus the external work is mainly transformed into internal dissipation power, only a small part of the work is transformed into internal elastic energy.

On the basis of the study of the rheological property of coal containing gas, a dynamic rheological explanation and a "rheological hypothesis of coal (rock) and methane outburst" are put forward. Instantaneous and delayed outbursts are started respectively by dynamic rheological fracture and creep fracture of coal containing gas. The developing procedure of outburst is controlled by dynamic rheological process.

The coal affected by excavating is in the rheological state of outburst preparation. And methane is supplied to the outburst happening zone through the original and newly-emerging cracks . The approaching of outburst hole boundary to outburst preparation boundary and the increasing of lateral stress can make the outburst stop. All of the outburst phenomena can be explained satisfactorily by the rheological hypothesis of outbursts.

A general rheological safety theory of safety science is built up on the basis of abstraction from different scientific fields, and its mathematical model is set up.

Finally, I will express my honestly thanks for professor S. N. Zhou and his help.

Xueqiu He

March. 20, 1995.

目 录

前 言	(1)
Abstract	(1)
0 绪 论	(1)
0.1 含瓦斯煤岩的属性概论	(1)
0.2 含瓦斯煤岩突出机理研究概述	(3)
0.2.1 单因素假说	(4)
0.2.2 综合作用假说	(11)
0.2.3 突出机理研究新进展与本书的基本思路	(14)
1 煤岩的物理结构及其分形规律	(17)
1.1 煤岩的物理结构	(17)
1.1.1 煤岩的宏观结构特征	(17)
1.1.2 煤岩的孔隙裂隙结构、方向及比表面积	(19)
1.2 煤岩物理结构的分形规律及其应用	(26)
1.2.1 分形(Fractal)的概念与定义	(26)
1.2.2 煤岩破碎后的块度分形规律及应用	(29)
1.2.3 煤岩孔隙裂隙分形规律及应用	(35)
2 煤岩孔隙中瓦斯储运形态及“蚀损”作用	(44)
2.1 瓦斯在煤岩孔隙中赋存的物理化学特性	(44)
2.1.1 气体吸附的物理化学基础	(44)
2.1.2 瓦斯在煤岩中赋存的物理化学特征	(49)
2.2 孔隙瓦斯对煤岩结构的“蚀损”作用规律	(56)