

煤层瓦斯赋存与流动理论

The Theory of Gas Flow and Storage in Coal Seams

周世宁 林柏泉 著

Zhou Shining Lin Baiquan



煤炭工业出版社

China Coal Industry Publishing House

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

煤层瓦斯赋存与流动理论

周世宁 林柏泉 著

The Theory of Gas Flow and Storage in Coal Seams

Zhou Shining Lin Baiquan

煤炭工业出版社

China Coal Industry Publishing House

图书在版编目 (CIP) 数据

煤层瓦斯赋存与流动理论/周世宁, 林柏泉著. —北京:
煤炭工业出版社, 1997. 11

ISBN 7-5020-1458-6

I. 煤… II. ①周… ②林… III. ①瓦斯煤层-瓦斯

赋存 ②瓦斯煤层-瓦斯渗透 N. TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 06303 号

煤层瓦斯赋存与流动理论

周世宁 林柏泉 著

责任编辑: 辛广龙

*
煤炭工业出版社 出版

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092 \text{mm}^{1/16}$ 印张 $13\frac{1}{4}$

字数 297 千字 印数 1—1,000

1999 年 2 月第 1 版 1999 年 2 月第 1 次印刷

书号 4227 定价 24.00 元



版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

作者应用表面物理化学、岩体力学、流变力学、渗流力学、热力学与传热学等学科的基本原理和研究方法,系统地研究了煤层瓦斯的赋存状态与煤对瓦斯的吸附作用,含瓦斯煤的力学性能、渗透和蠕变特性以及煤层瓦斯运移的基本规律;建立了瓦斯在煤层中作单向流动、径向流动和球向流动的基本理论体系及其计算方法;在对钻孔密封段的密封机理进行研究和分析的基础上,创立了胶圈(胶囊)-密封液瓦斯压力测定和可变形胶圈-三相泡沫密封液瓦斯压力测定的新技术及钻孔流量法煤层透气性系数测定的新技术;最后,以煤层瓦斯流动理论为基础,提出了掘进巷道和回采工作面瓦斯涌出量的计算方法及预测矿井瓦斯涌出量的瓦斯涌出特性系数法,并对钻孔抽放煤层瓦斯的防突作用机理、瓦斯抽放作用效果评价和水力压裂煤层抽放瓦斯的技术措施进行了分析。全书以科研成果为主干,内容丰富,理论与实践相结合,提出了许多新的观点和研究方法。

本书既可作为煤炭行业科研、设计及现场工程技术人员的参考书,又可作为高等院校相关专业研究生及本科生的教学参考书或教材。

Abstract

On the basis of surface physical chemistry, the theory of rheology, gas permeation, rock mechanics, thermodynamics and thermoconductivity, the authors systematically studied the property of coalbed gas storage, adsorption, the mechanics of gassy coal, the theory of gas migration in coal seams and its calculation method. The basic theory of gas flow in coal seams has been founded with single, radial and globular direction three forms. According to the sealing mechanism in boreholes, the gas pressure instrument was created by the means of rubber ring and sticky liquid or three phases foam. Using the radial gas flow equation the calculation and measurement of gas permeability of coal seams was established by measuring the gas flow in one coal borehole. Finally, the gas emission calculation and forecast method of driving coal drift and working face is put forward. Besides, it analysed the effect of gas drainage in prevention gas and coal outbursts and in hydrofracturing coal seams. In this book most contents is from researches in laboratory and coal mines by authors, it combines the theory and practice closely with many new prints of view and measures.

It is a good reference book for engineers in research and design for preventing mine gas, it also can be read by undergraduate and postgraduate students in university.

序

瓦斯爆炸和煤与瓦斯突出是煤矿生产中的重大灾害。周世宁教授在矿井瓦斯学科领域从事研究和实践已有 40 多年，这次以他为主完成的《煤层瓦斯赋存与流动理论》这部专著实际上是作者多年来理论研究和实际工作的总结。书中，第一、二章主要阐述了影响煤层瓦斯含量的地质因素，第三、四、五章将渗流理论应用到煤层瓦斯流动方面，全面地论述了瓦斯在煤层中不稳定流动的规律，第六、七、八章介绍了测定煤层瓦斯压力和透气系数等瓦斯参数的方法、技术以及防治瓦斯措施；内容丰富。由于这本书是在作者立足于自身的创造和体验的基础上、参考了国内外在这一学科中的成就撰写而成，因而是一本理论和实际相结合的好书，值得有关的工程技术人员一读。

通过近半个世纪以来许多瓦斯科学工作者的努力，矿井瓦斯学科体系已经初步建立，但在理论方面对煤和瓦斯突出机理的认识还停留在半定量阶段，在煤层气开发方面如何大幅度地提高煤层的透气系数迄今还是世界性的难题，还没有找到适用的技术途径，这些都表明矿井瓦斯学科还有待于进一步的发展。

我衷心希望本书的出版能促进矿井瓦斯学科的繁荣，吸引更多有志于这一方面研究的年轻学者参加到这一领域中来；使得 21 世纪能将瓦斯化害为利，并作为一种清洁能源从煤层中开发出来。

钱山亭

一九九七年六月二十五日

前言

瓦斯以吸附和游离 2 种状态存在于煤层和煤系地层中，在地下深处的煤层中的瓦斯压力最大可达 10MPa 以上。当采掘工作破坏了地层中原有的气体压力平衡时，煤层中的高压瓦斯即会解吸并向低压处运移，并进入采矿空间；由于瓦斯在运移过程中不仅可发生煤与瓦斯突出动力现象，而且瓦斯进入采矿空间后，在条件具备时还会发生瓦斯爆炸，因而是煤矿中最严重的自然灾害之一。

中国是世界上产煤最多的国家，1996 年的原煤产量近 14 亿 t，其中 95% 来自地下开采。由于开采的煤层大部分是保存有丰富的瓦斯的石炭二叠纪煤层，所以中国的煤矿都是瓦斯矿井；且在有些矿井中，不但瓦斯涌出量大而且煤与瓦斯突出现象也相当频繁。中国是世界上瓦斯灾害最严重的国家：中国的煤与瓦斯突出总次数占全世界突出总数的 1/3 以上，其中最大的一次突出突出煤炭和岩石量 12780t、瓦斯 150 万 m^3 ；1949 年以来，煤矿中发生的 1 次死亡百人以上的特大事故共 14 起，其中瓦斯（瓦斯煤尘）爆炸事故占 13 起。防止瓦斯事故的发生已成为保证煤矿安全生产的首要任务。

多年来，人们治理矿井瓦斯灾害的方法主要是加大矿井通风量，使采掘地点空气中的瓦斯浓度降低到《煤矿安全规程》规定的浓度以下，因而稳定可靠的通风系统是保证煤矿安全的基础。近年来，随着矿井开采深度的加深、生产规模的扩大和集中、综合机械化开采强度的增大，采掘工作面的瓦斯涌出量急剧增加，瓦斯涌出量掘进煤巷超过 $3\text{m}^3/\text{min}$ 、回采工作面超过 $10\text{m}^3/\text{min}$ 的情况已经不是个别现象，单纯采用增加风量冲淡瓦斯的措施受到巷道断面积和风速的限制，已不能满足生产的要求。近 30 年来，在矿井中建立了瓦斯抽放系统，开采层瓦斯抽放和邻近煤层瓦斯抽放等技术有了迅速的发展，1996 年全国煤矿抽放瓦斯量达到了 63Mm^3 。

1949 年以前，中国在矿井瓦斯科学领域是一片空白；通过半个世纪的努力，目前已建成一门比较完整的学科，它包含有煤矿瓦斯地质、煤层瓦斯流动理论、煤与瓦斯突出防治以及瓦斯抽放措施等 4 个方面。从事这方面研究工作的有煤炭科学研究院抚顺分院、重庆分院，中国矿业大学，焦作工学院，湖南煤研所等单位。由于瓦斯是在成煤过程中伴生的，所以判断一个煤矿瓦斯问题是否严重首先要从宏观上观察它的瓦斯地质条件是否有利于保存瓦斯；其次要根据它的开采顺序和方法以及通风系统来分析计算瓦斯从开采煤层和邻近煤层向采空空间运移的规律以及在空间的分布状态。掌握瓦斯流动规律对判断矿井瓦斯问题的现状和未来、选择适宜的防治措施是至关重要的。

瓦斯在煤层中的流动规律与地下水、石油和天然气在地层中的流动相仿，基本上遵从热传导微分方程；不同之处是煤层对瓦斯有强烈的吸附作用，而且影响瓦斯流动的主要参数——煤层瓦斯压力和透气系数，与开采方法和矿山压力的分布有密切的关系。位于卸压带的煤层透气系数可比处于集中应力带的煤层的透气系数高出成千上万倍；含瓦斯煤体的膨胀、收缩效应又反过来影响煤层的应力分布，因此瓦斯流动较石油和天然气的运移更为

复杂，用解析计算方法无法解决。所幸现在数值计算技术已相当普及，能够比较方便地建立数学模型，用电子计算机来计算分析各种条件下的瓦斯流动状态和瓦斯涌出规律；这也是近十几年来瓦斯科学方面的重大进步。

在矿井瓦斯防治领域目前尚待研究解决的主要问题有：①在开采前抽出煤层瓦斯的本煤层抽放瓦斯技术；②煤与瓦斯突出的理论和防治措施。这是 2 项复杂而艰巨的任务，需要继续深入研究。

以周世宁教授为主的中国矿业大学瓦斯组从 50 年代初即开始研究瓦斯在煤层中赋存的规律、煤层瓦斯流动理论、煤层瓦斯流动参数的测定、煤层瓦斯抽放技术、煤与瓦斯突出的理论和防治，已有 40 多年的历史，发表了许多论著、取得了多项研究成果，其中，“煤层瓦斯流动规律的研究”获 1993 年国家自然科学奖（四等），这是我国在瓦斯理论研究方面的最高荣誉奖；在瓦斯参数测定方面获得一项国家发明奖（三等）；在防治瓦斯灾害方面获得煤炭工业部、四川省等的科学技术进步奖（一等、二等和三等）多项。这些研究成果和论著都获得了国内外的好评。为了总结已取得的成果，进一步提高研究水平，我们撰写了这本专著，以期对国内外瓦斯理论研究和现场实际工作有所帮助。本书以总结我们多年来在瓦斯研究工作中的经验和成果为主，结合介绍国内外在这方面的成就。全书共八章，可分为 4 个部分：第一部分从第一章到第三章，叙述了煤层瓦斯的来源、煤层瓦斯的赋存及含瓦斯煤的物理力学性质；第二部分从第四章到第五章，叙述了煤层瓦斯流动理论，主要包括煤层瓦斯运移和流动的基本规律、瓦斯在均质煤层的稳定和不稳定流动、瓦斯在实际开采煤层中的流动以及计算机在解煤层瓦斯流动方程中的应用；第三部分从第六章到第七章，叙述了煤层瓦斯压力和透气系数的测定技术及钻孔密封技术；第四部分是第八章，主要叙述了采掘地点瓦斯涌出量的计算、矿井瓦斯涌出量的预测以及煤层瓦斯抽放的技术和理论。瓦斯喷出和煤与瓦斯突出后的运动形式是煤层瓦斯流动中的特殊形式，且包含有多相流动特征，有其自身的规律和研究方法，故而不在于本书论述范畴。

煤层瓦斯的赋存和流动是一个十分复杂的问题，许多内容还有待于今后进一步的探索，由于我们的水平所限，书中难免存在不足之处，恳请读者提出宝贵意见。

最后谨向支持和帮助本书写作和出版的金连生和辛广龙先生以及煤炭工业出版社的有关领导表示衷心的感谢。

著 者

1998 年 9 月

目 录

前言

第一章 煤层瓦斯的来源	1
1.1 煤层瓦斯的生成	1
1.1.1 生物化学成煤时期瓦斯的生成	2
1.1.2 煤化变质作用时期瓦斯的生成	2
1.1.3 甲烷的基本性质	3
1.2 影响瓦斯生成的因素	4
1.2.1 煤岩组分	4
1.2.2 煤的变质程度及变质分带	4
第二章 煤层瓦斯的赋存	5
2.1 煤中瓦斯的赋存状态	5
2.2 煤的吸附理论及煤层瓦斯含量	6
2.2.1 煤的孔隙特征及其评价方式	6
2.2.2 煤体表面的吸附作用以及煤的吸附模型	10
2.2.3 煤的吸附性及其影响因素分析	11
2.2.4 煤对混合气体的吸附作用	12
2.2.5 煤层瓦斯含量及其计算方法	13
2.3 影响煤层瓦斯赋存及含量的主要因素	17
2.3.1 煤层的储气条件	17
2.3.2 区域地质构造	21
2.3.3 采矿工作	24
第三章 含瓦斯煤的物性参数研究	25
3.1 含瓦斯煤的物性参数及其研究方法	25
3.1.1 含瓦斯煤的力学特性研究方法	26
3.1.2 含瓦斯煤的渗透特性研究方法	28
3.1.3 含瓦斯煤的蠕变特性研究方法	29
3.2 含瓦斯煤的力学特性	30
3.2.1 含瓦斯煤的变形特性	30
3.2.2 煤吸附瓦斯后发生的应力变化特征	31
3.2.3 含瓦斯煤的强度特性	32
3.3 含瓦斯煤的渗透特性	36
3.3.1 地应力对煤体透气性的影响	36
3.3.2 吸附性对煤体透气性的影响	38
3.3.3 瓦斯压力对煤体透气性的影响	38
3.3.4 突出煤层与非突出煤层的渗透特性	39
3.4 含瓦斯煤的蠕变特性	41

3.4.1	含瓦斯煤的蠕变状态	41
3.4.2	含瓦斯煤的蠕变模型	41
3.4.3	采掘空间周围含瓦斯煤层的蠕变状态	43
3.4.4	煤与瓦斯突出前煤层的蠕变特性	44
第四章	煤层瓦斯运移的基本规律	47
4.1	多孔介质的特性及流体在其内的运移	47
4.1.1	多孔介质的基本特性	47
4.1.2	流体的性质	49
4.1.3	流体在多孔介质中运移的状态	52
4.2	流体在多孔介质中的流动方程	53
4.2.1	流体在多孔介质中的质量守恒	53
4.2.2	流体在多孔介质中的运动方程	54
4.3	瓦斯在煤层中运移的基本规律	55
4.3.1	瓦斯在煤层中运移的基本参数	56
4.3.2	瓦斯在煤层中的运移	59
4.4	瓦斯在煤层和围岩中的流动	61
4.4.1	开采煤层中的瓦斯流动	61
4.4.2	邻近层和围岩中的瓦斯流动	63
4.4.3	瓦斯在采空空间的涌出	65
4.5	煤层中瓦斯流动状态的分类	66
4.5.1	按流场的空间流向分类	66
4.5.2	按流场的稳定性分类	67
4.5.3	煤层中瓦斯压力的分布及其对瓦斯流场和突出的影响	67
第五章	瓦斯在煤层中的流动理论	69
5.1	研究瓦斯在煤层中流动的基本方法	69
5.2	瓦斯在煤层中的单向流动	71
5.2.1	瓦斯在煤层中的单向流动模型	71
5.2.2	瓦斯在均质煤层中的单向流动	71
5.2.3	瓦斯在实际煤层中的单向流动	78
5.3	瓦斯在煤层中的径向流动	82
5.3.1	瓦斯在煤层中的径向流动模型	82
5.3.2	瓦斯在均质煤层中的径向流动	82
5.3.3	瓦斯在实际煤层中的径向流动	86
5.4	瓦斯在煤层中的球向流动	86
5.4.1	瓦斯在煤层中的球向流动模型	86
5.4.2	瓦斯在均质煤层中的球向流动	86
5.4.3	瓦斯在实际煤层中的球向流动	90
5.5	计算机在煤层瓦斯流动计算中的应用	91
5.5.1	瓦斯流动中的相似准数的建立	91
5.5.2	煤层瓦斯流动方程的数值计算	93
5.5.3	煤层瓦斯流动方程的计算机计算	98
5.6	瓦斯在煤层中的扩散-渗透运动规律	122
5.6.1	瓦斯在煤层中扩散-渗透运动的状态	123

5.6.2	瓦斯在煤层中扩散-渗透流动时的数学模型	124
5.6.3	按扩散-渗透规律解算单向、径向流动的结果	126
第六章	钻孔密封段的密封机理及其分析	128
6.1	钻孔瓦斯泄漏模型	128
6.2	钻孔周边缝隙中流体流动方程的建立及其泄漏量的计算	129
6.2.1	钻孔周边缝隙中流体流动方程的建立	129
6.2.2	钻孔周边液体泄漏量的计算	129
6.2.3	影响钻孔周边液体泄漏量的因素及分析	130
6.2.4	钻孔密封段中密封液的径向渗漏及分析	131
6.3	三相泡沫流体密封技术	132
6.3.1	三相泡沫流体的组成及其封堵裂隙的性能	133
6.3.2	钻孔模拟封孔实验	134
6.3.3	现场封孔测试结果及分析	135
第七章	煤层瓦斯流动的基本参数测定	137
7.1	煤层瓦斯压力测定	137
7.1.1	煤层瓦斯压力测定的基本方法	137
7.1.2	胶圈(胶囊)-密封液封孔测定瓦斯压力技术	140
7.1.3	可变形胶圈-三相泡沫密封液封孔测定瓦斯压力技术	148
7.2	煤层透气系数测定及其计算方法	149
7.2.1	煤层透气系数的测定方法	150
7.2.2	单向流量法测定煤层透气系数	152
7.2.3	径向流量法测定煤层透气系数	153
7.2.4	球向流量法测定煤层透气系数	156
7.2.5	煤层透气系数测定方法的评价与分析	158
第八章	煤层瓦斯流动理论的应用	160
8.1	掘进巷道瓦斯涌出量	160
8.1.1	掘进巷道瓦斯涌出模型	160
8.1.2	掘进巷道瓦斯涌出量的计算	160
8.2	回采工作面的瓦斯涌出量	165
8.2.1	回采工作面瓦斯涌出模型	165
8.2.2	回采工作面瓦斯涌出量的计算	167
8.3	预测矿井瓦斯涌出量的瓦斯涌出特性系数法	171
8.4	钻孔抽放煤层瓦斯	172
8.4.1	钻孔抽放瓦斯量的计算	172
8.4.2	影响钻孔瓦斯流量的因素	173
8.4.3	钻孔抽放煤层瓦斯的效果评价及其分析	175
8.5	钻孔抽放煤层瓦斯的防突作用机理及其分析	178
8.5.1	影响煤与瓦斯突出的主要因素及其分析	178
8.5.2	钻孔抽放瓦斯对突出煤层有关参数的影响	180
8.5.3	钻孔抽放瓦斯防止突出的机理	182
8.6	水力压裂煤层抽放瓦斯的理论分析	182
8.6.1	我国水力压裂状况及其存在问题分析	182

8.6.2 瓦斯在煤层和砂层中的流动机理	184
8.6.3 瓦斯流动方程的数学模型	186
8.6.4 水力压裂效果分析	189
8.6.5 提高水力压裂效果的途径	191
主要符号说明	193
参考文献	195

Contents

Preface

Chapter 1 The source of coalbed gas

- 1.1 Forming of coalbed gas
 - 1.1.1 Gas production in the period of biochemical coal-forming process
 - 1.1.2 Gas production in the period of coalification metamorphism
 - 1.1.3 The general property of methane
- 1.2 The factors connected with gas production
 - 1.2.1 Liptobiolith
 - 1.2.2 Coal metamorphism degree and metamorphic zone of coal

Chapter 2 The storage of coalbed gas

- 2.1 The state of the storage of coalbed gas
- 2.2 Theory of coal adsorption and gas capacity of coalbed
 - 2.2.1 Fundamental features of pore-coal mass and its judgement
 - 2.2.2 The adsorption effect of coalsurface and adsorption model of coal
 - 2.2.3 The adsorption effect of coalsurface and adsorption model of coal and the analysis for its influence factors
 - 2.2.4 Coal adsorption action for mixture of gas
 - 2.2.5 Gas content of coal seams and its calculation method
- 2.3 The main influence factors for gas content of coal seams
 - 2.3.1 The reserved condition of gas in coal seams
 - 2.3.2 Regional geological structure
 - 2.3.3 Mining situation

Chapter 3 Study of physical parameters for gassy coal

- 3.1 The physical parameters of gassy coal and its research method
 - 3.1.1 Research method for gassy coal in mechanical property
 - 3.1.2 Research method for gassy coal in permeation property
 - 3.1.3 Research method for gassy coal in rheological property
- 3.2 Mechanical property of gassy coal
 - 3.2.1 The deformation of gassy coal
 - 3.2.2 The feature of stress change of coal from containing gas
 - 3.2.3 The feature of strength of gassy coal
- 3.3 The permeation property of gassy coal
 - 3.3.1 The influence on permeability of coal from stress
 - 3.3.2 The influence on permeability of coal from adsorption
 - 3.3.3 The influence on permeability of coal from gas pressure
 - 3.3.4 The permeation property of prone-outburst and non-outburst coal seams
- 3.4 The creep property of gassy coal

- 3.4.1 The creep state of gassy coal
- 3.4.2 The creep model of gassy coal
- 3.4.3 The creep state of gassy coal around mining space
- 3.4.4 The creep feature of coal seam before coal and gas outbursts

Chapter 4 The basic law of gas migration in coal seams

- 4.1 The feature of porous material and fluid migration in pore system
 - 4.1.1 The general feature of porous material
 - 4.1.2 Property of fluid
 - 4.1.3 Migration state of fluid in porous material
- 4.2 The flow equation of fluid in porous material
 - 4.2.1 Mass conservation of fluid in porous material
 - 4.2.2 The moving equation of fluid in porous material
- 4.3 The basic law of gas migration in coal seams
 - 4.3.1 Basic parameters of gas migration in coal seams
 - 4.3.2 Gas migration in coal seams
- 4.4 Gas flow in coal seam and surrounding rock
 - 4.4.1 Gas flow in coal seams
 - 4.4.2 Gas flow in surrounding rock and contiguous seams
 - 4.4.3 Gas emission in mining space
- 4.5 The classification of gas flow field in coal seams
 - 4.5.1 Classification from gas flow direction form
 - 4.5.2 Classification from gas flow stability
 - 4.5.3 Distribution of gas pressure and its influence on gas flow field and outburst

Chapter 5 The gas flow theory in coal seams

- 5.1 General method about gas flow in research
- 5.2 Single direction flow of gas in coal seams
 - 5.2.1 The flow model of single direction
 - 5.2.2 The single direction flow of gas in equal permeation coal seam
 - 5.2.3 The single direction flow of gas in natural coal seam
- 5.3 Radial flow of gas in coal seam
 - 5.3.1 The radial flow model of gas
 - 5.3.2 The radial flow of gas in equal permeation coal seam
 - 5.3.3 the radial flow of gas in natural coal seam
- 5.4 Globular flow of gas in coal seam
 - 5.4.1 The flow model of globular direction of gas in coal seam
 - 5.4.2 the globular flow of gas in equal permeation coal seam
 - 5.4.3 The globular flow of gas in natural coal seam
- 5.5 The application of computer in the calculation of gas flow in coal seams
 - 5.5.1 The foundation of similarity value in gas flow field
 - 5.5.2 The value calculation for gas flow equation
 - 5.5.3 The calculation for gas flow equation by computer
- 5.6 The law of diffusion-permeation gas flow in coal seams
 - 5.6.1 The moving state of gas in diffusion-permeation flow in coal seams

- 5.6.2 The mathematic model of gas flow in the state of diffusion-permeation
- 5.6.3 The calculation result single and radial direction gas flow in diffusion-permeation form

Chapter 6 The sealing mechanism in borehole and its analysis

- 6.1 The model of gas leakage in borehole
- 6.2 The foundation of flow equation of fluid leakage at the chink around borehole and its calculation
 - 6.2.1 The foundation of flow equation of fluid leakage at the chink around borehole
 - 6.2.2 The calculation of leakage of liquid in borehole
 - 6.2.3 The influence factors on liquid leakage and its analysis
 - 6.2.4 The radial permeation of sealing liquid and its analysis in sealing section of borehole
- 6.3 The sealing technique with three phases foam fluid
 - 6.3.1 The component of three phases foam fluid and its sealing ability
 - 6.3.2 The sealing test in similar borehole
 - 6.3.3 The sealing test in the borehole in coal mines and its analysis

Chapter 7 The measurement of basic parameters of gas flow in coal seams

- 7.1 Measurement of coalbed gas pressure
 - 7.1.1 General method of measurement of coalbed gas pressure
 - 7.1.2 The measurement technique of coalbed gas pressure by rubber ring (capsule) -sealing liquid
 - 7.1.3 The measurement technique of coalbed gas pressure by deformable rubber ring-three phases foam sealing fluid
- 7.2 The measurement of gas permeability and its calculation method
 - 7.2.1 The measurement of gas permeability of coal seams
 - 7.2.2 The measurement method by single direction of gas flow equation
 - 7.2.3 The measurement method by radial gas flow equation
 - 7.2.4 The measurement method by globular gas flow equation
 - 7.2.5 The valuation for measurement methods of gas permeability of coal seams and its analysis

Chapter 8 The application of the theory gas flow in coal seams

- 8.1 Gas emission rate for driving coal drift
 - 8.1.1 The gas emission model of driving coal drift
 - 8.1.2 The calculation of gas emission rate of driving coal drift
- 8.2 Gas emission rate for working face
 - 8.2.1 The gas emission model of working face
 - 8.2.2 The calculation of gas emission rate of working face
- 8.3 The forecast of gas emission property in coal mine
- 8.4 Coalbed gas drainage by boreholes
 - 8.4.1 The calculation of gas drainage by boreholes
 - 8.4.2 The influence factors about gas drainage rate
 - 8.4.3 The evaluation of gas drainage and its analysis
- 8.5 The mechanism of preventing coal and gas outburst by gas drainage and its analysis
 - 8.5.1 The main influence factors about coal and gas outburst and its analysis
 - 8.5.2 The influence on some parameters of prone outburst coal seam from gas drainage

- 8.5.3 The prevention mechanism for gas and coal outburst by gas drainage
- 8.6 The theory analysis for gas drainage by hydrofracturing coal seam
 - 8.6.1 The state of hydrofracturing coal seam in China and its analysis
 - 8.6.2 The mechanism of gas migration in coal seam and sand layer
 - 8.6.3 The mathematic model of gas flow equation
 - 8.6.4 The analysis for the result of hydrofracturing coal seam in the field of gas drainage
 - 8.6.5 The improving way for hydrofracturing coal seam

The caption of main symbols in the book

Reference

第一章 煤层瓦斯的来源

瓦斯，这一煤炭生成过程中的伴生物，早在 15 世纪就开始为人们所认识。我国明代宋应星在《天工开物》(1637 年)一书中曾介绍，煤层中存在着一种能使人窒息和可燃爆的气体，并提出了利用竹管引排的方法；16 世纪末，英国和其他西欧国家在采煤时，也遇到了“有害的”气体，但并未引起人们的重视。直到 18 世纪初期英国有的矿井开始发生瓦斯爆炸、1839 年美国煤矿发生瓦斯爆炸及后来断断续续又发生的许多次爆炸，导致了人员和设备财产的严重损失后，才逐渐引起人们的重视，并开始研究爆炸的原因及应采取的防范措施。但是，有关瓦斯生成及来源的问题，直到 20 世纪 40 年代才开始逐步引起人们的重视，并对此进行研究。

煤矿井下的瓦斯主要来自煤层和煤系地层，它是成煤的煤化作用过程中伴生的。煤的原始母质沉积以后，一般经历 2 个成气时期：从植物遗体到泥炭的生物化学成气时期和在地层的高温高压作用下从褐煤直到无烟煤的煤化变质作用成气时期。瓦斯的生成是和煤的形成同时进行且贯穿于整个成煤过程中的。

1.1 煤层瓦斯的生成

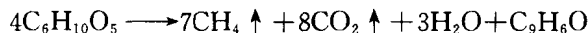
多年的理论研究和实践表明，瓦斯的生成与煤的成因息息相关，其除了与成煤物质、成煤环境、煤岩组成、围岩性质、成煤阶段等有关关系外，还和 2 个不同成气时期有很大的关系。一般情况下，瓦斯的成气母质可分为高等植物在成煤过程中形成的腐植质和低等植物在成煤过程中形成的腐泥质 2 大类，它们在成煤和成气过程中的差异，构成了各自特有的地球化学标志和各自不同的特点（见表 1-1-1）。

表 1-1-1 腐植质和腐泥质对比表

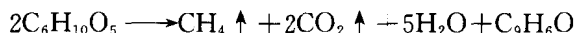
成 气 母 岩		腐 植 质	腐 泥 质
主 要 成 分		以芳香族化合物为主，类脂化物较少	含丰富的类脂化物
元素组成	氢 和 氧	贫氢（一般小于 6%） 富氧（可达 27%）	高氢（一般大于 6%） 低氧（<4%）
	H/C 比值	低（<1）	较高（>1）
	O/C 比值	高（<0. 5）	较低（<0. 3）
主要形成环境		河流、三角洲、湖泊	海洋及湖泊
产物及气产量	煤	腐植煤	腐泥煤
	气	高甲烷（90%~95%） 低湿气（一般<0. 5%）	甲烷较低（47%~75%） 湿气较高（20%左右）

1.1.1 生物化学成煤时期瓦斯的生成

这个时期是从成煤原始有机物堆积在沼泽相和三角洲相环境中开始的。在温度不超过 65℃ 条件下，成煤原始物质经厌氧微生物分解成瓦斯。这个过程用纤维素的化学反应式概括为：



或



在这个阶段，成煤物质生成的泥炭层埋深浅，上覆盖层的胶结固化不好，生成的瓦斯通过渗透和扩散容易排放到古大气中去，因此，生化作用生成的瓦斯一般不会保留在现有煤层内。此后，随着泥炭层的下沉，上覆盖层越来越厚，成煤物质中的温度和所受压力也随之增高，生物化学作用逐渐减弱直至结束，在较高的压力与温度作用下泥炭转化成褐煤，并逐渐进入煤化变质作用阶段。

1.1.2 煤化变质作用时期瓦斯的生成

褐煤层进一步沉降，便进入煤化变质作用造气阶段。在 100℃ 高温及其相应的地层压力

作用下，煤体就会产生强烈的热力变质成气作用。在煤化变质作用的初期，煤中有机质基本结构单元主要是带有羟基（—OH）、甲基（—CH₃）、羧基（—COOH）、醚基（—O—）等侧链和官能团的缩合稠环芳烃体系，煤中的碳素则主要集中在稠环中。由于一般情况下，稠环的键结合力强、稳定性好，侧链和官能团之间及其与稠环之间的结合力弱、稳定性差，因此，随着地层下降，压力及温度的增大与升高，侧链和官能团即不断发生断裂与脱落，生成 CO₂、CH₄、H₂O 等挥发性

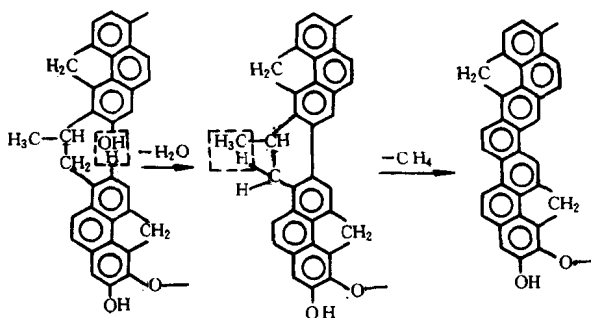


图 1-1-1 煤化作用（含碳量 83%~92%）
成气反应示意图

气体，如图 1-1-1 所示。

煤化过程中有机质分解脱出甲基侧链和含氧官能团而生成 CO₂、CH₄ 和 H₂O 是煤化过程中形成瓦斯的基本反应。

从图 1-1-1 中可以看出，煤化过程中生成的瓦斯以甲烷为主要组分。

在瓦斯产出的同时，芳核进一步缩合，碳元素进一步集中在碳网中。随着煤化变质作用的加深，基本结构单元缩聚芳核的数目不断增加，到无烟煤时，主要由缩聚芳核所组成。从褐煤到无烟煤，煤的变质程度越高，生成的瓦斯量也越多；但是，各个煤化阶段生成的气体组份不仅不同，而且数量上也有很大变化。图 1-1-2 所示是原苏联学者 B. A. 索科洛夫等人给出的腐植煤在煤化变质阶段成气的一般模型。

从图 1-1-2 中可以看出，CH₄ 生成是个连续相，即在整个煤化阶段的各个时期都不断地有 CH₄ 生成，只是各阶段生成的数量有较大的波动而已；但是，重烃的生成则是个不连续相。实验表明，这个以人工热演化产生瓦斯为基础模型与实测的结果在趋势上是一致的。