



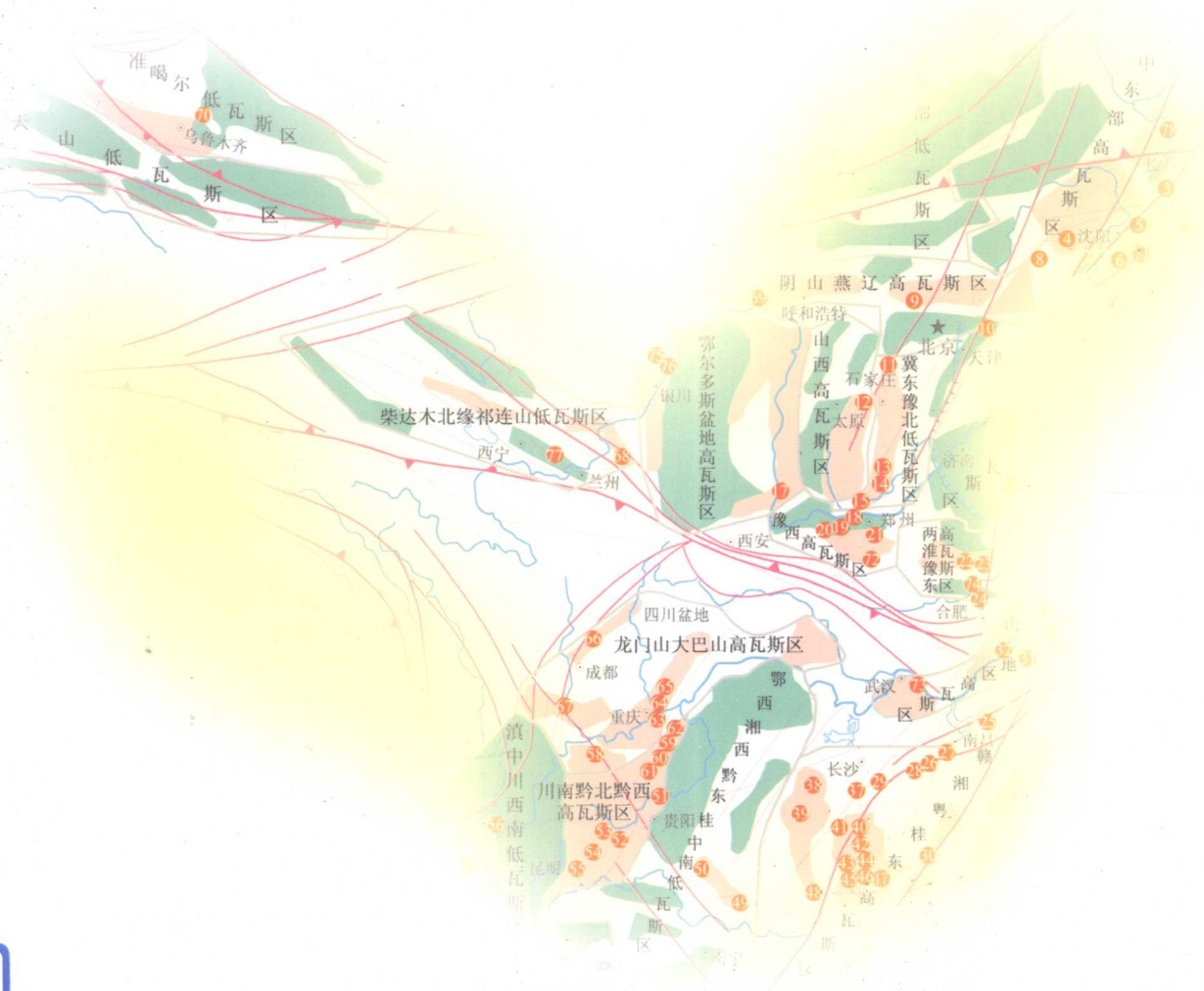
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 瓦斯地质学

张子敏 主编

WASI DIZHIXUE

China University of Mining and Technology Press



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TD712  
Z-954.3

“十五”国家级规划教材

重点项目(50534070 40638040)资助

教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT0618)资助

国家高技术研究发展计划(2007AA06Z221)资助

# 瓦斯地质学

主 编	张子敏		
副主编	张玉贵	汤达祯	黄盛初
	李增学	严家平	崔洪庆
	蔡成功	吴燕清	曹运兴
主 审	任纪舜	唐修义	

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书以地质历史演化控制瓦斯生成和赋存、地质构造演化控制瓦斯复杂地质条件、构造逐级控制理论揭示瓦斯地质规律、瓦斯地质规律理论指导瓦斯预测为主线,从本源上寻找打开瓦斯治理铁门的钥匙。本着加强基础、培养能力、追踪学科前沿和突出煤矿安全特色,指导全书内容的编排和撰写。全书系统地论述了瓦斯形成、瓦斯赋存构造逐级控制理论、煤体结构和构造煤、瓦斯地质规律研究和瓦斯预测、编制煤矿三级瓦斯地质图、中国煤层瓦斯分布特征、瓦斯(煤层气)资源评价和抽采技术、瓦斯地质地球物理响应、煤矿瓦斯地质信息平台等内容。

本书可以满足本科教育和研究生教育的需要,亦可作为广大煤炭行业科研爱好者的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

瓦斯地质学/张子敏主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2009.5

ISBN 978 - 7 - 81107 - 984 - 5

I. 瓦… II. 张… III. 瓦斯煤层—地质学—高等学校—教材 IV. TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 065241 号

书 名 瓦斯地质学

主 编 张子敏

责任编辑 潘俊成 褚建萍

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

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

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 淮安市亨达印业有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 26.5 彩插 10 字数 677 千字

版次印次 2009年5月第1版 2009年5月第1次印刷

定 价 39.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 序

由张子敏教授等主编的《瓦斯地质学》是我国第一部国家级有关瓦斯地质的规划教材,是从 20 世纪 60 年代杨力生开创瓦斯地质研究以来发展我国瓦斯地质的集体智慧结晶。

煤矿瓦斯灾害防治是全世界产煤国面临的共同难题。我国地质条件复杂,是受瓦斯灾害威胁最严重的国家之一。煤炭是我国能源的主体,预计 2050 年仍将占 50% 以上,瓦斯灾害一直是煤矿安全第一杀手,因此瓦斯治理是实现我国煤矿安全生产的技术保障。煤矿瓦斯主要成分是甲烷,生于煤层,储于煤层,受地质条件和历史演化作用的控制。《瓦斯地质学》把瓦斯作为地质体,研究其生成、运移、赋存和分布规律,微观研究涉及煤的分子结构,宏观研究涉及板块构造运动,乃当今世界备受关注的重大课题,许多人正为此而不懈奋斗。早在 20 世纪 50 年代,杨力生就注意到,大同矿区忻州窑低瓦斯矿井接连三次严重的瓦斯爆炸事故都是因遇断层使瓦斯突然增加造成的;60 年代前期,他在双鸭山矿务局岭东矿、辽源矿务局西安矿调查瓦斯与地质因素的关系,并在辽源矿务局编制了西安矿井瓦斯突出地质图。同时期,周世宁提出了影响煤层原始瓦斯含量的 8 项主要因素。70 年代,焦作矿业学院彭立世、袁崇孚承担煤炭工业部“湘、赣、豫煤与瓦斯突出带地质构造特征研究”课题,在湖南、江西、河南开展了大范围瓦斯地质调研;1978 年 11 月,在杨力生倡导下,煤炭部委托焦作矿业学院、焦作矿务局在焦作召开了全国首次瓦斯地质学术研讨会;1983 年,焦作矿业学院杨力生、张子敏、陈名强、张克树在煤炭部支持下,建立了“编制全国煤矿瓦斯地质图”重大攻关项目;1987 年,“全国煤矿瓦斯地质编图”项目完成了 500 余幅矿井瓦斯地质图、125 幅矿区瓦斯地质图、25 幅省区瓦斯地质图;1990 年,张祖银、张子敏共同负责完成了《1:200 万中国煤层瓦斯地质图》和《1:200 万中国煤层瓦斯地质图编制》,并于 1992 年在西安地图出版社正式出版。《1:200 万中国煤层瓦斯地质图》将全国煤层瓦斯分布划分为 20 个大区、88 个瓦斯带,其中的山西沁水盆地、鄂尔多斯盆地东缘、新疆准噶尔盆地南缘三个高瓦斯分布区成为我国“十一五”、“十二五”煤层气开发的基地,同时也标志着我国瓦斯地质理论的逐步形成。在全国瓦斯地质编图期间的 1985 年,中国煤炭学会瓦斯地质专业委员会成立,杨力生任主任委员,中国矿业学院陆国祯任副主任委员,同年创办《瓦斯地质》期刊,标志着瓦斯地质在我国有了独立的学术组织和传播其学科进展的期刊。

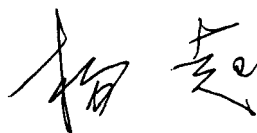
近些年,随着国家科学技术的快速发展,瓦斯地质领域相继开展了一系列国家“八五”、“九五”、“十五”科技攻关课题,国家“973”、“863”专题,国家自然科学基金重点项目、面上项目,国家中长期发展规划重大专项课题等使瓦斯地质理论和技术取得了长足的发展。尤其是编制煤矿多级瓦斯地质图能够直接服务于煤矿安全生产,受到了各级领导和企业的高度重视。随着中国煤矿开采机械化、自动化程度的快速提高,中国煤炭工业迅速发展。集约化生产和高产高效工作面引起瓦斯集中涌出,千米深井越来越多,并以采深 20 m/年的速度增加。由此而引起的深部高地压、高瓦斯压力、高瓦斯含量、低透气性等复杂地质条件集中发

生,煤矿瓦斯灾害形势依然严峻,治理难度越来越大。瓦斯又是发热量高的一种新型洁净能源(燃烧热量在  $33.5 \text{ MJ/m}^3$  以上)。瓦斯排放造成大气层严重的温室效应。

瓦斯赋存分布控制着瓦斯成分、涌出量和瓦斯资源量;地质构造复杂程度控制着煤与瓦斯突出危险性;构造煤的发育特征控制着瓦斯抽采和瓦斯治理的难度。多年的实践证明,综合运用板块构造理论、区域地质演化理论、瓦斯赋存构造逐级控制理论才能揭示构造煤的发育规律并揭示煤与瓦斯突出机理,才能进行更为准确的瓦斯预测等。瓦斯地质研究是瓦斯治理的基础,是从本源上寻找打开瓦斯治理铁门的钥匙。瓦斯地质理论和技术涉及多学科基础理论和技术的交叉与兼容,需要造就更多的人才。

此次出版的《瓦斯地质学》是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,可以满足本科教育和研究生教育的需要,具有加强基础、培养能力、追踪学科前沿以及突出煤矿安全特色。作者以地质历史演化控制瓦斯赋存,地质构造演化控制瓦斯复杂地质条件,构造逐级控制特征揭示瓦斯地质规律,瓦斯地质规律控制瓦斯分布为主线,以多级瓦斯地质图展示瓦斯地质规律和瓦斯预测结果,指导全书内容的编排和撰写。全书系统地论述了瓦斯形成、瓦斯赋存构造逐级控制理论、构造煤理论、瓦斯地质规律与瓦斯预测理论、编制煤矿三级瓦斯地质图方法、中国煤层瓦斯分布特征、瓦斯(煤层气)资源评价与抽采、瓦斯地质地球物理方法、煤矿瓦斯地质信息平台等共十一章。该书以河南理工大学为主编单位,中国地质大学(北京)、山东科技大学、安徽理工大学、国家安全生产监督管理局信息研究院、煤炭科学研究总院重庆研究院、兴和鹏能源技术(北京)有限公司等为协作单位共同完成,书中全面系统地反映了瓦斯地质研究和教学的最新成果。

我在此谨向编写书稿的主编和全体作者致以敬贺之忱。



2009年4月于北京

## 前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,主要针对矿业工程、安全工程、资源开发利用工程、地质工程等专业本科和研究生教学而编写。本教材亦可作为生产、科研单位瓦斯地质和瓦斯防治科研的重要参考书。

本教材的编写本着加强基础、培养能力、追踪学科前沿和突出煤矿安全特色的原则,以地质历史演化控制瓦斯赋存、地质构造演化控制瓦斯地质复杂条件、构造逐级控制特征揭示瓦斯地质规律、瓦斯地质规律控制瓦斯分布为主线,以多级瓦斯地质图展示瓦斯地质规律和瓦斯预测结果并指导瓦斯综合防治为核心,指导全书内容的取材、编排和撰写。

本书介绍了瓦斯的形成理论、瓦斯赋存的构造逐级控制理论、构造煤理论、瓦斯地质规律研究和瓦斯预测理论、编制煤矿三级瓦斯地质图的方法、中国煤层瓦斯的分布特征、瓦斯(煤层气)的资源评价和抽采技术、瓦斯地质的地球物理响应、煤矿瓦斯地质信息平台等方面内容。

本书由河南理工大学教授张子敏任主编。由河南理工大学教授张玉贵、中国地质大学(北京)教授汤达祯、煤炭信息研究院教授黄盛初、山东科技大学教授李增学、安徽理工大学教授严家平、河南理工大学教授崔洪庆、河南理工大学教授蔡成功、煤炭科学研究总院重庆研究院教授吴燕清、兴和鹏能源技术(北京)有限公司博士曹运兴任副主编。

本书内容共分十一章。第一章、第三章、第七章、第八章由张子敏编写;第二章由汤达祯、崔洪庆编写;第四章主要由李增学编写,其中第二节、第六节内容由张小兵进行补充,第七节由张玉贵编写,崔洪庆对该章进行校审;第五章由张玉贵编写,其中第四节由张玉贵和张小兵合编,浙江大学刘冬梅、河南理工大学谭志宏对第三节进行校审;第六章第一节由张子敏和张明杰合编,第二节、第三节由蔡成功编写,第四节由蔡成功和张明杰合编,本章魏国营进行了校审;第九章第一节、第三节由黄盛初和张子敏合编,第二节、第四节由黄盛初和张玉贵合编,第五节由曹运兴编写;第十章由吴燕清、严家平编写,何学秋、王恩元提供了大量素材;第十一章由刘勇编写。河南理工大学闫江伟、贾天让和杨德方、杨付领、李祝、郭明涛等60余名研究生参与书稿插图清绘,研究生梁波涛、杨文旺、上官明磊、王晓彬等参与书稿的整理和输入,魏国营、谭志宏、贾天让参与书稿的校核。全书由张子敏统稿、定稿。

应当指出,在本教材编写过程中,第三章中的板块构造理论、中国古板块划分、中国大地构造分区等内容主要引用于李春昱等编写的《板块构造论文选集》、《板块构造的基本问题》、黄汲清指导任纪舜等编写的《中国大地构造及其演化》、任纪舜等编写的《中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿》;中国四大构造域特征、中国主要深断裂系统等内容主要引用于程裕淇主编的《中国区域地质概论》;中国大陆中生代动力学背景等内容主要引用于邱瑞照、李廷栋等主编的《中国大陆岩石圈物质组成及演化》。教材其他章节内容参考和引用的有关文献,均列入每章后面的参考文献表。本书参考了众多研究者的成果,尤其是长期得

到杨起院士的悉心指导。同时,长期受到张铁岗院士的支持,在此一并表示衷心感谢。

中国地质科学研究所任纪舜和安徽理工大学教授唐修义对本书初稿做了详细审阅,提出了许多宝贵指导意见和建议,在此深表谢忱。

由于编者水平所限,书中欠妥之处敬请读者批评指正。

**编 者**

2009年2月

序 .....	杨起
前言 .....	1
<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>第一节 瓦斯地质学的研究意义</b> .....	1
一、瓦斯是煤矿安全的第一杀手 .....	1
二、瓦斯(煤层气)是重要的洁净能源 .....	1
三、瓦斯地质理论是瓦斯防治最重要的基础 .....	2
<b>第二节 瓦斯地质学的研究对象和内容</b> .....	3
一、瓦斯地质学的研究对象 .....	3
二、瓦斯地质学的研究内容 .....	3
<b>第三节 瓦斯地质学的研究方法和手段</b> .....	4
一、瓦斯地质学的学科属性 .....	4
二、瓦斯地质学的研究方法 .....	4
三、瓦斯地质学的研究手段 .....	6
<b>第四节 瓦斯地质学的形成和发展趋势</b> .....	6
一、瓦斯地质学的形成 .....	6
二、瓦斯地质学的发展趋势 .....	7
参考文献 .....	8
<b>第二章 含煤盆地和瓦斯形成理论</b> .....	9
<b>第一节 世界煤炭和瓦斯(煤层气)资源分布概况</b> .....	9
一、世界煤炭资源概况 .....	9
二、美国的主要煤田和瓦斯(煤层气)资源 .....	11
<b>第二节 中国的含煤盆地及其聚煤特征</b> .....	13
一、中国含煤盆地的分布 .....	13
二、中国含煤盆地的聚煤特征 .....	20
<b>第三节 瓦斯生成理论</b> .....	21
一、瓦斯的成因类型 .....	22
二、瓦斯的生物成因 .....	23



三、瓦斯的热成因 .....	25
四、瓦斯成因类型分析 .....	26
五、煤层瓦斯发生率 .....	26
第四节 煤成烃的机理 .....	28
一、煤成烃的物质来源 .....	28
二、煤成烃的作用机制 .....	30
三、煤成烃的反应动力学特征 .....	31
第五节 瓦斯中的非烃气体 .....	33
一、瓦斯中的非烃气体类型 .....	33
二、CO <sub>2</sub> 的富集成因 .....	33
三、N <sub>2</sub> 的富集成因 .....	34
四、H <sub>2</sub> S 的富集成因 .....	35
第六节 瓦斯的保存条件 .....	36
一、构造运动演化对煤层瓦斯保存的影响 .....	36
二、不同地质构造类型对瓦斯保存的影响 .....	36
三、沉积作用对瓦斯保存的影响 .....	39
四、煤层厚度对瓦斯保存的影响 .....	40
五、水文地质对瓦斯保存的影响 .....	40
参考文献 .....	41
<b>第三章 瓦斯赋存构造逐级控制理论 .....</b>	<b>43</b>
第一节 地球的内部结构和板块构造学说 .....	43
一、地球的内部结构 .....	43
二、板块构造学说简介 .....	44
三、板块构造的基本特征 .....	46
四、板块构造与岩浆活动 .....	49
五、板块构造与造山作用 .....	50
第二节 中国古板块的划分 .....	51
一、中国板块构造的轮廓 .....	51
二、中国板块构造格局和中国古板块的划分 .....	54
第三节 中国区域构造及其演化 .....	54
一、中国大地构造分区 .....	54
二、中国四大构造域特征 .....	57
三、中国主要深断裂系统及其特征 .....	65
四、中国大陆中、新生代动力学背景 .....	70
第四节 板块构造与中国煤矿瓦斯分布 .....	82
一、板块构造与中国煤矿地质构造特征 .....	82
二、板块构造与中国煤层瓦斯赋存分布特征 .....	86
三、板块构造与中国煤与瓦斯突出动力灾害 .....	86

第五节 平顶山矿区瓦斯赋存构造逐级控制特征 .....	96
一、区域大地构造位置及构造演化特征 .....	96
二、平顶山矿区构造演化及控制特征 .....	103
三、平顶山矿区瓦斯地质规律研究 .....	106
四、平顶山矿区瓦斯地质图 .....	110
五、平顶山八矿瓦斯地质规律与瓦斯地质图 .....	110
参考文献 .....	118
<b>第四章 煤层瓦斯赋存与煤储层物性特征</b> .....	<b>119</b>
第一节 煤层瓦斯地球化学特征 .....	119
一、瓦斯的化学组分 .....	119
二、影响瓦斯地球化学组成的地质因素 .....	119
第二节 煤层瓦斯赋存状态与瓦斯吸附解吸特征 .....	121
一、煤层瓦斯赋存状态 .....	121
二、煤的瓦斯吸附特征 .....	123
三、煤层瓦斯解吸特征 .....	130
第三节 煤层瓦斯含量及其影响因素 .....	134
一、煤层瓦斯含量的基本概念 .....	134
二、影响煤层瓦斯含量的因素 .....	135
第四节 煤层瓦斯垂向分带 .....	141
第五节 煤储层压力特征 .....	143
一、煤储层压力 .....	143
二、压力状态 .....	143
三、煤储层压力的地质控制 .....	145
第六节 煤层孔隙与裂隙特征 .....	146
一、煤的孔隙特征 .....	147
二、煤层裂隙 .....	151
第七节 煤储层渗透性特征 .....	159
一、渗透性的基本概念 .....	159
二、渗透性的地质影响因素 .....	160
第八节 煤储层的瓦斯流动规律 .....	163
一、煤中气体的流动 .....	163
二、解吸 .....	163
三、扩散流 .....	164
三、达西流 .....	165
参考文献 .....	165
<b>第五章 煤体结构和构造煤</b> .....	<b>167</b>
第一节 煤体结构特征和分类 .....	167

一、原生结构煤及其煤岩学特征 .....	167
二、构造煤及其煤岩学特征 .....	176
三、煤体结构的分类 .....	179
第二节 煤体变形机制和构造煤分布 .....	182
一、煤体变形机制 .....	182
二、构造煤的分布特点 .....	190
第三节 煤的变质作用 .....	195
一、煤的深成变质作用 .....	195
二、煤的岩浆变质作用 .....	199
三、煤的动力变质作用 .....	201
第四节 构造煤结构演化和力化学作用 .....	203
一、构造煤的孔隙和渗透性 .....	203
二、构造煤的分子结构演化 .....	212
三、构造煤的力化学作用 .....	232
参考文献 .....	238
<b>第六章 瓦斯地质规律和瓦斯预测 .....</b>	<b>240</b>
第一节 瓦斯地质规律研究 .....	240
一、瓦斯地质规律研究是瓦斯预测的基础 .....	240
二、瓦斯地质规律与瓦斯含量预测 .....	241
三、瓦斯地质规律与瓦斯涌出量预测 .....	241
四、瓦斯地质规律与煤与瓦斯突出危险性预测 .....	242
第二节 瓦斯含量测定和含量预测 .....	242
一、煤层瓦斯含量的概念 .....	242
二、煤层瓦斯含量的测定 .....	243
三、深部或某深度处煤层瓦斯含量预测 .....	249
第三节 矿井瓦斯涌出量预测 .....	250
一、矿井瓦斯涌出的概念 .....	250
二、煤层瓦斯涌出的形式 .....	251
三、影响矿井瓦斯涌出量的主要因素 .....	252
四、矿井瓦斯涌出量预测方法——矿山统计法 .....	253
五、矿井瓦斯涌出量预测方法——瓦斯地质统计法 .....	255
六、矿井瓦斯涌出量预测方法——分源预测法 .....	257
第四节 煤与瓦斯突出危险性预测 .....	263
一、煤与瓦斯突出的分类和特征 .....	263
二、煤与瓦斯突出的一般规律 .....	264
三、煤与瓦斯突出的预兆 .....	266
四、煤与瓦斯突出的机理 .....	266
五、煤与瓦斯突出危险性预测 .....	273

六、防治煤与瓦斯突出措施效果检验 .....	282
参考文献 .....	284
<b>第七章 煤矿三级瓦斯地质图 .....</b>	<b>285</b>
第一节 煤矿三级瓦斯地质图图例 .....	285
第二节 煤矿三级瓦斯地质图编制统计表 .....	288
第三节 采掘工作面瓦斯地质图编制方法 .....	292
一、采掘工作面瓦斯地质图的编图原理和目的 .....	292
二、采掘工作面瓦斯地质图的内容和编图方法 .....	292
三、采掘工作面瓦斯地质图编图的资料收集和整理要求 .....	293
四、采掘工作面瓦斯地质图编制 .....	294
第四节 矿井瓦斯地质图编制方法 .....	294
一、矿井瓦斯地质图的编图原理和目的 .....	294
二、矿井瓦斯地质图的内容和编图方法 .....	294
三、矿井瓦斯地质图编图的资料收集和整理要求 .....	296
四、矿井瓦斯地质图编制 .....	296
第五节 矿区瓦斯地质图编制方法 .....	298
一、矿区瓦斯地质图的编图原理和目的 .....	298
二、矿区瓦斯地质图的内容和编图方法 .....	298
三、矿区瓦斯地质图可视化技术 .....	300
第六节 矿井瓦斯地质图说明书的编写提纲 .....	300
<b>第八章 中国煤层瓦斯分布特征 .....</b>	<b>302</b>
第一节 1:200 万中国煤层瓦斯地质图 .....	302
一、项目的建立和组织实施 .....	302
二、《1:200 万中国煤层瓦斯地质图》的编图资料 .....	305
三、《1:200 万中国煤层瓦斯地质图》的内容和编制方法 .....	305
第二节 不同含煤地层的煤层瓦斯分布特征 .....	307
一、石炭—二叠纪含煤地层煤层瓦斯的分布特征 .....	307
二、晚三叠世的含煤地层煤层瓦斯的分布特征 .....	309
三、早—中侏罗世的含煤地层煤层瓦斯的分布特征 .....	309
四、晚侏罗—早白垩世含煤地层煤层瓦斯的分布特征 .....	309
五、古近和新近纪的含煤地层煤层瓦斯的分布特征 .....	309
第三节 煤层瓦斯区域分布特征 .....	310
一、华北地区瓦斯分布特征 .....	310
二、华南地区瓦斯分布特征 .....	311
三、东北地区瓦斯分布特征 .....	313
四、西北、西南地区瓦斯分布特征 .....	313
五、煤层高瓦斯的赋存和涌出量的区域分布规律 .....	313

第四节 中国煤层瓦斯区带划分及其特征·····	316
一、不同瓦斯等级的矿井分布概况·····	316
二、不同瓦斯等级矿区和煤田分布概况·····	317
三、各大地区矿井瓦斯涌出量分布概况·····	317
四、煤层瓦斯在空间分布上的分区、分带划分·····	317
参考文献·····	318
<b>第九章 瓦斯(煤层气)资源评价与抽采技术·····</b>	<b>319</b>
第一节 《1:200万中国煤层瓦斯地质图》与国家煤层气(瓦斯)开发规划·····	319
一、《1:200万中国煤层瓦斯地质图》与全国瓦斯(煤层气)资源量·····	319
二、国家“十一五”煤层气(瓦斯)开发规划·····	321
三、《1:200万中国煤层瓦斯地质图》与“十一五”煤与瓦斯突出矿区 瓦斯抽采·····	323
第二节 瓦斯(煤层气)资源综合地质评价·····	326
一、瓦斯地质背景评价·····	326
二、瓦斯(煤层气)资源量计算·····	327
第三节 中国煤层瓦斯(煤层气)资源量分布与开发潜力·····	333
一、中国瓦斯(煤层气)资源分布状况·····	333
二、中国瓦斯(煤层气)资源开发潜力·····	335
第四节 矿区、矿井瓦斯地质图与瓦斯(煤层气)开发区块分级·····	337
一、矿区、矿井瓦斯地质图与瓦斯赋存·····	337
二、瓦斯地质图与构造煤的分布和渗透性·····	340
三、瓦斯(煤层气)开发区块分级·····	340
四、井田瓦斯(煤层气)开发井网布置·····	342
第五节 瓦斯(煤层气)开发技术·····	344
一、瓦斯(煤层气)开发现状·····	344
二、地面煤矿瓦斯(煤层气)开采技术·····	347
三、井下瓦斯(煤层气)抽采方法·····	369
参考文献·····	373
<b>第十章 瓦斯地质地球物理响应·····</b>	<b>375</b>
第一节 概述·····	375
第二节 煤的地球物理基础·····	375
第三节 无线电波透视探测技术·····	376
一、煤的电性参数·····	376
二、高噪声、不完整数据无线电波透视成像·····	379
三、无线电波探测技术与应用·····	380
四、探测实例·····	380
五、测井方法判识构造煤·····	384

第四节 雷达探测技术	385
一、探测原理	385
二、雷达波传播理论模型	387
第五节 地震弹性波探测技术	390
一、弹性波探测物理基础	390
二、超前探测方法	393
三、槽波探测技术	394
四、瑞利面波探测	395
五、地震探测及其参数分析	395
第六节 电磁辐射监测	397
一、概述	397
二、煤岩电磁辐射规律及机理	398
三、电磁辐射预测煤与瓦斯突出原理	398
四、电磁辐射技术及装备	400
五、现场测试实例	403
参考文献	404
<b>第十一章 煤矿瓦斯地质信息平台</b>	<b>405</b>
<b>第一节 煤矿瓦斯地质信息平台概述</b>	<b>405</b>
一、信息化与煤矿信息化研究现状	405
二、煤矿瓦斯地质信息化与煤矿瓦斯地质信息平台	406
三、煤矿瓦斯地质信息平台的研究意义	406
四、煤矿瓦斯地质信息平台研究内容与研究目标	406
<b>第二节 煤矿瓦斯地质信息平台的组成与特点</b>	<b>406</b>
一、煤矿瓦斯地质信息平台的组成	406
二、煤矿瓦斯地质信息平台的特点	408
<b>第三节 煤矿瓦斯地质信息管理系统设计开发和应用实例</b>	<b>408</b>
一、系统设计开发方法	408
二、系统开发与应用环境	408
三、系统应用实例	409
<b>第四节 煤矿瓦斯地质信息平台的发展与应用前景</b>	<b>412</b>
一、煤矿瓦斯地质信息平台的发展	412
二、煤矿瓦斯地质信息平台应用前景	412

# 第一章 绪 论

## 第一节 瓦斯地质学的研究意义

### 一、瓦斯是煤矿安全的第一杀手

只要开采煤炭就会有瓦斯涌出,可以说瓦斯在矿井内无孔不入。瓦斯,是一种易燃易爆气体,无色、无味,是威胁煤矿安全生产和矿工生命的最大灾害源。

煤炭是我国能源的主体。在我国一次性能源消费结构中,煤炭占 70% 左右,预计 2050 年仍将占 50% 以上,在相当长一段时间煤炭将一直是我国居支配地位的能源。国家《能源中长期发展规划纲要(2004~2020)》确定了我国“坚持以煤炭为主体、电力为中心,油、气和新能源全面发展”的能源战略。煤炭工业是我国的基础产业,其健康、稳定、持续发展是关系国家能源安全的重大问题。

“瓦斯是我国煤矿安全的‘第一杀手’”。我国煤矿事故多、伤亡大,2001 年因事故死亡 4 948 人,百万吨死亡率为 5.03;2002 年死亡 6 995 人,百万吨死亡率为 4.94;2003 年死亡 6 434 人,百万吨死亡率为 3.71;2004 年死亡 6 027 人,百万吨死亡率为 3.08;2005 年死亡 5 938 人,百万吨死亡率为 2.81;2006 年死亡 4 746 人,百万吨死亡率为 2.04。我国煤矿的百万吨死亡率约为美国的 70 倍、南非的 17 倍、俄罗斯和印度的 10 倍。国务院总理温家宝曾郑重地指出:“我们要以对人民高度负责的精神,切实改善煤炭生产安全状况。”

### 二、瓦斯(煤层气)是重要的洁净能源

瓦斯(煤层气)是一种洁净、热效率高、污染低的优质能源,可作为民用和工业燃料以及汽车燃料或用于发电,还可用于生产炭黑、甲醛、化肥和其他工业品。煤层气热值达 36~40 MJ/m<sup>3</sup> 之间(《地球科学大辞典·应用科学卷》)。煤层气属于天然气的一种,其主要成分是甲烷(CH<sub>4</sub>),占 90% 以上,俗称瓦斯。其燃烧热值在 33.5 MJ/m<sup>3</sup> (8 000 kcal/m<sup>3</sup>) 以上,每 1 000 m<sup>3</sup> 煤层气热能即相当于 381.8 kg 石油和 1.4 t 标准煤(潘文灿,2007)。中国煤层气资源丰富,世界排名第 3 位。目前所知,世界上有 74 个国家蕴藏着煤炭,亦赋存煤层气(瓦斯)资源。根据国际能源机构(IEA)估计,全世界煤层气资源总量可达 260 万亿 m<sup>3</sup>。俄罗斯、加拿大、中国、美国和澳大利亚煤层气资源量均超过 10 万亿 m<sup>3</sup>,如表 1-1 所示。

中国埋深 2 000 m 以浅煤层气地质资源量约为 36 万亿 m<sup>3</sup>,主要分布在华北和西北地区(占资源总量的 84.8%)。埋深 1 000 m 以浅、埋深 1 000~1 500 m 和埋深 1 500~2 000 m 的煤层气地质资源/储量分别占全国煤层气资源总量的 38.8%、28.8% 和 32.4%。

开发利用煤层气(瓦斯)对减少空气污染、保护大气环境有重要意义。甲烷是“温室气体”(CO<sub>2</sub>、水汽、CH<sub>4</sub>、NO、氟利昂)之一,以原子为基准甲烷的加热效应是 CO<sub>2</sub> 的 25~30 倍,甲烷排入大气层对臭氧层的破坏能力是 CO<sub>2</sub> 的 7 倍。

表 1-1 世界主要产煤国家煤层气资源/储量表

国 家	煤层气资源/万亿 m <sup>3</sup>	国 家	煤层气资源/万亿 m <sup>3</sup>
俄罗斯	17~113	波 兰	3
加拿大	6~76	英 国	2
中 国	30~36	乌 克 兰	2
美 国	13~19	哈 萨 克 斯 坦	2
澳大利业	8~14	印 度	0.18
德 国	3	南 非	0.18

据统计,我国因煤炭开采向大气排放的瓦斯(甲烷)约为 150 亿 m<sup>3</sup>。目前,全国煤矿瓦斯排放量占全部工业生产排放甲烷总量的 1/3 左右。国家主席胡锦涛强调:“我们的发展不能以牺牲精神文明为代价,不能以牺牲生态环境为代价,更不能以牺牲人的生命为代价。”国家安全生产监督管理局下发的安监总煤装[2007]188 号文件《关于加强煤矿瓦斯先抽后采工作的指导意见》指出:煤矿瓦斯先抽后采是治理瓦斯的根本性措施,要尽最大能力对煤层瓦斯进行抽采,努力实现煤炭开采前瓦斯抽采的最大化。

### 三、瓦斯地质理论是瓦斯防治最重要的基础

瓦斯是一种地质成因的气体地质体,它是在数千万年至数亿年中与煤的演化作用相伴生而形成的,它生于煤层、存储于煤层及其围岩之中。它的生成条件、保存条件、赋存和分布规律都受极其复杂的地质演化作用控制,宏观上涉及板块构造和区域地质演化理论,微观上涉及煤的化学结构。瓦斯在煤层中的赋存状态与煤颗粒、煤分子之间的关系经历过极其复杂的地质历史演化过程,涉及区域地质学、煤田地质学、煤化学等方面知识;其解吸、运移、流动规律涉及流体力学等方面知识;它在煤炭开采过程中的涌出和发生煤与瓦斯突出又涉及地球动力学、构造地质学、岩体力学、采矿学等方面知识。瓦斯的赋存和分布控制着瓦斯的含量、涌出量和煤层气资源量;地质构造复杂程度控制着煤与瓦斯突出的危险性;构造煤的发育特征控制着瓦斯(煤层气)抽采和瓦斯治理的难度。多年实践证明:只有运用板块构造理论、区域地质演化理论、瓦斯赋存构造逐级控制理论才能揭示瓦斯赋存的机理,才能揭示构造煤的成因和发育规律,才能揭示不同尺度范围的瓦斯地质规律,才能进行准确的瓦斯预测,才能揭示煤与瓦斯突出的机理,等等。

高瓦斯矿井、煤与瓦斯突出矿井的瓦斯防治,是世界产煤国家共同面临的国际性技术难题。我国煤矿 95% 以上是井工开采,开采深度每年平均以近 20 m 的速度增加着,开采深度超过 1 000 m 的矿井已有 10 余处,华东地区平均开采深度已超过 600 m。深部开采使得原来的低瓦斯矿井升为高瓦斯矿井,高瓦斯矿井则升为煤与瓦斯突出矿井。我国高瓦斯矿井、煤与瓦斯突出矿井总数已有 5 000 余对,占我国煤矿总数的一半左右。我国历届政府高度重视煤矿瓦斯治理工作。我国煤矿安全形势依然严峻,主要原因是我国地质条件复杂。我国地处欧亚板块东南部,是现今全球板块构造运动最剧烈的地带之一。世界其他大陆则是结构简单的大板块,而中国大陆则是由中朝、扬子、塔里木三个小陆块和稳定性较差的 50 多个微陆块组成的(任纪舜,2006)。为此,我国瓦斯地质理论和技术手段的研究需要投入更多的人力和物力。例如,煤与瓦斯突出机理的研究和认识,目前仍停留在假说阶段,从而导致煤与瓦斯突出灾害防治和事故的处理难度加大。



## 第二节 瓦斯地质学的研究对象和内容

### 一、瓦斯地质学的研究对象

瓦斯是煤在地质历史演化过程中形成的气体地质体。瓦斯地质学是研究瓦斯的形成、运移、赋存和发生瓦斯灾害的地质控制理论的一门交叉学科。赋存在煤层中的瓦斯在煤炭开采活动中常会造成瓦斯涌出和发生煤与瓦斯突出灾害,在这一过程中涉及采矿学、岩体力学、流体力学、气体动力学、煤化学、煤田地质学、构造地质学、区域地质学和板块构造学等领域知识;瓦斯预测和瓦斯治理的理论和技术的又涉及数学、计算机科学、信息科学、地球物理学、电气自动化理论等学科领域;开发利用煤层瓦斯资源,亦需涉及煤成烃地球化学、煤地质学、渗流理论和自动控制理论等知识领域。

### 二、瓦斯地质学的研究内容

#### 1. 瓦斯赋存机理研究

目前的煤层瓦斯赋存状态和影响煤与瓦斯突出、瓦斯涌出量、瓦斯含量和瓦斯渗透率等地质条件,是含煤地层经历多次构造运动演化作用的结果,在宏观上涉及板块构造运动、区域地质演化历史,而在微观上涉及煤的分子结构和化学作用。瓦斯赋存机理研究,是世界产煤国家目前共同面临的国际性技术难题。瓦斯赋存分布规律控制瓦斯含量和瓦斯涌出量,构造复杂程度控制煤与瓦斯突出的危险性,构造煤的赋存分布控制瓦斯的抽采难度。

#### 2. 构造煤和瓦斯突出煤体基础理论研究

构造煤是煤层受地质构造挤压剪切破坏作用的产物。瓦斯突出煤体,是指含高能瓦斯的构造煤体。实践证明:所有的煤与瓦斯突出动力现象均发生在构造煤分布区。瓦斯突出煤体具有瓦斯高含量、高解吸速度、低强度、低渗透性的“两高两低”特性,因此构造煤控制着瓦斯灾害的发生,影响着瓦斯的治理,亦控制着煤层气的地面开发,是瓦斯地质研究的核心理论之一。科技部副部长刘燕华在 2006 年全国煤矿瓦斯治理和利用工作现场会上指出:加强“构造煤的成因及分布规律”研究,“力争在瓦斯灾害发生机理、预防控制理论上取得重大突破”,“深化机理和规律研究,为煤矿生产安全提供理论支撑”。构造煤和瓦斯突出煤体基础理论,主要是指运用构造地质学、地球物理学、流体力学、量子化学、力化学等相关学科知识,研究构造煤力化学成烃作用、构造煤瓦斯多场多相耦合作用、构造煤探测理论和技术等,为瓦斯突出煤体预测、瓦斯治理和煤层气开发提供理论基础。

#### 3. 瓦斯(煤层气)抽采地质控制机理研究

瓦斯(煤层气)的高效抽采是瓦斯灾害治理的根本性措施之一。正是由于煤层中赋存着高含量瓦斯且透气性低,才会造成煤与瓦斯突出危险性。高瓦斯煤与瓦斯突出矿井和矿区时时刻刻都受煤与瓦斯突出和瓦斯爆炸灾害的威胁。目前,我国煤矿瓦斯抽采率只有 5%~12%,平均吨煤瓦斯抽采量尚不足 1 m<sup>3</sup>,仅为平均煤层瓦斯含量的 6%~10%。2005 年,全国井下瓦斯抽采量为 23 亿 m<sup>3</sup>,地面煤层气抽采量不足 1 亿 m<sup>3</sup>。我国主要赋存 5 个地质时代煤层,2 000 m 以浅煤炭资源量为 62 024 亿 t;其中石炭二叠纪煤炭资源量为 22 000 亿 t;早一中侏罗世煤炭资源量为 30 000 亿 t;晚三叠世煤炭资源量为 100 亿 t 左右;晚侏罗世一早白垩世煤炭资源量为 800 亿 t;古近纪和新近纪煤炭资源量为 200 亿 t 左右。位于工业发达区的石炭二叠纪煤炭资源支撑着我国 4/5 的煤炭需求量。在含煤地层中,石炭二叠