

Coal Seam Fracture Stimulation and Gas Control

煤层致裂与瓦斯控制

陆庭侃　郭保华/著

科学出版社

煤层致裂与瓦斯控制

Coal Seam Fracture Stimulation and Gas Control

陆庭侃　郭保华　著



科学出版社

北京

内 容 简 介

煤层致裂是煤层瓦斯抽采的一个重要工艺环节，是提高煤层瓦斯抽采效率的重要技术手段。本书从发展历史、机理理论、工艺技术、应用实例等方面对液态二氧化碳相变、静态爆破、常规爆破、高压水射流、水力压裂和水力冲孔煤层致裂技术进行了详细的分析和论述。本书采用不同的视野、不同的角度，向读者展示了当前不同煤层致裂技术的特点、理论、优缺点和适用条件及案例。

本书适合煤矿的工程技术人员、科研院所和高校的科研人员阅读和参考。通过本书，读者既能够了解各个单项煤层致裂技术的特点，又能够对所有煤层致裂技术特点的各个方面进行全面、综合比较。

图书在版编目(CIP)数据

煤层致裂与瓦斯控制 = Coal Seam Fracture Stimulation and Gas Control / 陆庭侃，郭保华著. —北京：科学出版社，2019

ISBN 978-7-03-058788-6

Ⅰ. ①煤… Ⅱ. ①陆… ②郭… Ⅲ. ①煤层–水力压裂–水力采煤法 ②瓦斯煤层采煤法 Ⅳ. ①TD825.4 ②TD823.82

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第209297号

责任编辑：李 雪 冯晓利 / 责任校对：彭 涛
责任印制：张 伟 / 封面设计：无极书装

科学出版社出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com
北京教图印刷有限公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2019年1月第 一 版 开本：720×1000 1/16
2019年1月第一次印刷 印张：25 1/4
字数：489 000
定价：188.00元
(如有印装质量问题，我社负责调换)

序

尽管近年来可再生能源和绿色能源一直受到世界各国的推崇，但世界煤炭开采依然在不断地发展着，各国对煤炭的需求也依然维持在一个较高的水平，而且这一趋势在未来相当长的一段时间内不会有显著改变。持续的煤炭需求和行业的发展，要求煤炭企业在安全的前提下高效率生产。另外，经过多年大规模开采，我国许多矿井的浅部资源接近或已经枯竭。随着煤炭开采由浅部逐步过渡到深部，煤炭生产将面临许多需要解决的新问题。其中，煤层瓦斯抽采则为其主要问题之一。因为随着煤层埋深的增加，煤层透气性随之降低，所以极大地限制了煤层瓦斯的抽采效率。因此，煤层致裂、强化增透以提高煤层瓦斯抽采效率在煤炭开采过程中扮演着越来越重要的角色。

不仅是我国，(煤)储层增透也是世界煤炭行业所面临的主要问题，同样也是能源行业，包括石油、天然气、煤层气和地热开采行业，所面临的主要问题。为了应对这一问题，世界各国一直在不遗余力地深入研究煤/岩层致裂理论与机理，并基于此开发新的煤/岩层致裂技术，以满足能源安全和高效生产的需要。

为顺应煤炭开采的发展规律与趋势，本书全面系统地总结了目前国内外各类煤层致裂技术的理论、机理、工艺及优点和局限，并辅以案例，以促进煤层致裂理论的研究、技术的更新和应用。

河南理工大学
陆庭侃
2018年8月8日

前　言

自从对煤炭进行开采以来，煤层瓦斯一直是困扰煤矿安全生产的一个主要方面。随着煤层埋藏深度的不断增加、地质条件的不断变化，煤层裂隙的发育状况对煤层瓦斯的抽采效率、煤矿安全和生产成本都有直接的影响。因此，现代煤矿煤层瓦斯气体的抽采是围绕煤层致裂展开的。

纵观设有采矿专业大专院校的教学大纲，煤层瓦斯抽采是一门专业必修课。然而，与抽采密切相关的煤层致裂技术及专著却未曾多见。也就是说，我们一直以来只是在教授学生煤层瓦斯抽采的方法、钻孔设计的原则和煤矿瓦斯安全的法规，却很少系统地告诉学生瓦斯抽采的重要手段——煤层致裂技术。

本书作者有着多年采矿实践和科研、教学经历。其中，第一作者在国内外采矿界工作多年，从事煤矿的现场、科研、咨询和教学工作。第二作者已经在我国煤炭开采教学和科研岗位上工作了十余年。现在，我们在一起合作完成本书的写作，希望它能够为读者提供在煤矿煤层致裂和瓦斯抽采方面有价值的信息。因此，我们的目非常明确，即为学生和工程技术人员提供一本全面系统的煤层致裂技术方面的书籍，以此作为采矿专业学生学习煤层瓦斯抽采课程的知识补充，作为现场工程技术人员在煤层致裂技术选择方面的依据，作为科研人员在煤层致裂技术及理论研究方面的基础。

本书涉及目前煤层致裂的全部技术，包括液态二氧化碳相变煤层致裂技术、静态爆破煤层致裂技术、爆破煤层致裂技术、高压水射流切割煤层致裂技术、水力压裂煤层致裂技术和水力冲孔煤层致裂技术。

为了满足不同层面的需求，包括学生、研究人员和工程技术人员，本书对每种煤层致裂技术从各个方面进行了详细论述，包括理论基础、设计计算方法、使用条件、优缺点评价、存在的问题及使用案例。

在理论方面，我们给出了每一种煤层致裂技术的致裂机理和相关理论。通过这些内容，读者能够对各种致裂技术的致裂机理、致裂半径的计算方法、半径值等有一个全面的对比和了解。

在应用方面，本书中对每一种煤层致裂技术都给出了相对应的使用条件和优缺点及存在的问题。读者，特别是工程技术人员，能够通过对比更加容易地找到合适本矿条件的煤层致裂技术，并将其应用于实践。

在每种煤层致裂技术的最后，本书都给出了两个现场实施案例，其目的不仅用于说明该技术致裂机理和理论的合理性，还希望读者能够通过所给出的不同致

裂技术案例，从理论或实际应用的角度，通过比较更加深刻地理解该项技术的适用性和有效性。

我们希望，读者能够通过阅读本书更容易地把握各种煤层致裂技术的特点、优缺点、理论和适用性，从而选择一种或两种不同的致裂技术联合应用，以达到所期望的煤层致裂效果和煤层瓦斯抽采效果。

本书由陆庭侃和郭保华共同撰写完成，其中第 1 章、第 3 章至第 7 章由陆庭侃撰写，第 2 章和第 8 章由郭保华撰写，并由河南理工大学资助出版。因作者水平有限，本书难免有不妥之处，敬请读者批评和指正。

作　者

2018 年 8 月 1 日

目　录

序
前言
第 1 章　动机、目的与内容……1
1.1　煤炭生产的安全问题……1
1.2　煤层瓦斯的开采……2
1.3　目的……3
1.4　内容与结构……3
参考文献……4
第 2 章　不同地质时期煤的特性……5
2.1　中国主要含煤地层及瓦斯分布……5
2.1.1　中国主要含煤地层分布……5
2.1.2　中国煤层瓦斯分布特征……9
2.2　早石炭世煤的特性……12
2.3　石炭纪—二叠纪煤的特性……13
2.4　晚二叠世煤的特性……17
2.5　晚三叠世煤的特性……20
2.6　侏罗纪煤的特性……21
2.7　白垩纪煤的特性……26
2.8　古近纪和新近纪煤的特性……28
2.9　各地质时期煤力学性质的比较……30
参考文献……35
第 3 章　液态二氧化碳相变煤层致裂技术……41
3.1　液态二氧化碳相变煤层致裂技术……43
3.2　二氧化碳的物理特性……43
3.2.1　二氧化碳的物理和相变特性……43
3.2.2　二氧化碳的热膨胀……45
3.2.3　高压气体的释放过程……46
3.2.4　释放气体的压力与速度的关系……47
3.3　液态二氧化碳相变致裂技术的基本原理和技术特征……47
3.4　液态二氧化碳相变致裂系统的组成……48

3.5 液态二氧化碳相变致裂技术装备的安全性……50
3.5.1 加热管的安全性能……50
3.5.2 储液管的安全性能……50
3.6 液态二氧化碳相变致裂技术在煤矿生产中的用途……52
3.6.1 回采工作面浅孔致裂消突……52
3.6.2 综放工作面顶煤弱化……53
3.6.3 构造应力和/或回采应力导致的巷道底鼓控制……53
3.6.4 快速石门揭煤……54
3.6.5 煤层致裂强化增透提高瓦斯抽放效率……54
3.7 液态二氧化碳相变致裂技术的 TNT 当量与计算……55
3.7.1 液态二氧化碳相变致裂当量计算的意义……55
3.7.2 液态二氧化碳相变 TNT 当量计算方法……56
3.7.3 液态二氧化碳相变致裂 TNT 当量的计算结果验证……59
3.7.4 液态二氧化碳相变的当量计算方法……63
3.8 炸药的爆容与液态二氧化碳膨胀气体体积的比较……63
3.8.1 液态二氧化碳的热膨胀体积……64
3.8.2 炸药的爆容……64
3.9 液态二氧化碳相变煤层致裂机理……66
3.9.1 高压气体聚能切割机理……66
3.9.2 热膨胀致裂机理……68
3.9.3 卸压增透机理……69
3.9.4 振动致裂机理……70
3.10 液态二氧化碳相变煤层致裂技术的优化……72
3.10.1 优化方法……72
3.10.2 数值模拟软件……74
3.10.3 数值模拟控制方程及流程……74
3.10.4 流体特征及流动状态……76
3.10.5 计算方法选择……77
3.10.6 模拟结果及分析……77
3.11 案例一：液态二氧化碳相变单点煤层致裂技术的应用……91
3.11.1 平煤集团十三矿的瓦斯状况及治理措施……92
3.11.2 液态二氧化碳相变单点煤层致裂强化增透的应用……93
3.11.3 液态二氧化碳相变致裂技术对煤层瓦斯抽放的短期影响……95
3.11.4 液态二氧化碳相变致裂技术对煤层瓦斯抽放的长期影响特征……96
3.11.5 液态二氧化碳相变致裂技术对煤层瓦斯抽放的作用……98
3.11.6 液态二氧化碳相变煤层致裂的影响半径……102

3.12　案例二：液态二氧化碳相变厚煤层多点致裂技术的应用……104
3.12.1　长平矿的地质构造……104
3.12.2　长平矿的煤层特征……104
3.12.3　三号煤层顶底板岩层力学特征……105
3.12.4　长平矿的瓦斯特征……106
3.12.5　采取瓦斯……105
3.12.6　矿井瓦斯治理主要方法……106
3.12.7　液态二氧化碳相变多点煤层致裂强化增透的应用……107
3.13　本章小结……116
参考文献……116
第 4 章　静态爆破煤层致裂……120
4.1　静态爆破技术及发展……120
4.1.1　静态破碎剂的基本性能特征……120
4.1.2　国内外静态破碎剂的研究与发展……122
4.1.3　静态破碎剂存在的问题与发展方向……123
4.2　静态破碎剂的水化和膨胀机理……124
4.2.1　静态破碎剂的水化……124
4.2.2　静态破碎剂的膨胀机理……124
4.3　静态破碎剂的破碎机理分析……126
4.3.1　微裂隙阶段……126
4.3.2　膨胀压力传递阶段……126
4.3.3　致裂破坏阶段……127
4.4　影响静态破碎剂膨胀压力的因素……129
4.4.1　时间对破碎剂膨胀压力的影响……129
4.4.2　温度对破碎剂膨胀压力的影响……129
4.4.3　水灰比对破碎剂膨胀压力的影响……130
4.4.4　钻孔尺寸对破碎剂膨胀压力的影响……130
4.4.5　充填密度对破碎剂膨胀压力的影响……131
4.4.6　被致裂介质刚度对膨胀压力的影响……131
4.5　静态爆破裂隙扩展过程和特征……132
4.5.1　脆性岩石的破坏……133
4.5.2　准静态裂隙扩展……134
4.6　静态爆破技术：一种安全环保的煤层/岩层致裂方法……137
4.6.1　静态爆破煤层致裂的可行性……137
4.6.2　静态爆破的局限和有待改进的地方……139
4.7　静态爆破技术的操作安全及防护……141

4.7.1 静态爆破施工的主要危害 …… 141
4.7.2 降低静态爆破操作中可能造成的危害 …… 141
4.7.3 静态爆破操作事故的急救措施 …… 142
4.8 本章小结 …… 142
参考文献 …… 142
第 5 章 爆破煤层致裂技术 …… 144
5.1 爆破相关理论 …… 144
5.1.1 爆炸的定义 …… 144
5.1.2 炸药及分类 …… 145
5.1.3 爆炸的描述与特征 …… 148
5.1.4 爆破能量及类型 …… 150
5.1.5 岩石爆破的力学特征 …… 151
5.1.6 爆破荷载作用下材料的断裂判据 …… 153
5.1.7 炸药爆炸后波的传播特征 …… 156
5.1.8 爆破破岩机理 …… 163
5.1.9 炸药爆炸对煤炭的损伤特性 …… 165
5.2 煤体爆破裂隙扩展特征 …… 166
5.2.1 煤层爆破裂隙扩展特征及影响 …… 166
5.2.2 煤层裂隙的起裂与扩展 …… 167
5.2.3 影响裂隙扩展的因素 …… 169
5.2.4 含瓦斯煤体爆破隙扩展规律 …… 170
5.3 爆破煤层致裂技术、工艺与案例 …… 170
5.3.1 深孔预裂爆破煤层致裂技术 …… 171
5.3.2 聚能爆破煤层致裂技术 …… 179
5.3.3 松动爆破煤层致裂技术 …… 187
5.3.4 卸压爆破与煤层卸压致裂、增透技术 …… 194
5.3.5 本章小结 …… 203
参考文献 …… 203
第 6 章 高压水射流切割煤层致裂技术 …… 206
6.1 水的基本特性 …… 206
6.2 关于高压水射流技术 …… 207
6.2.1 水射流切割技术的分类 …… 207
6.2.2 水射流切割工艺的特点 …… 208
6.2.3 水射流设备的工作原理 …… 208
6.3 高压水射流在采矿工业的研究与发展 …… 209
6.3.1 高压水射流技术在国外采矿工业的研究与发展 …… 209

6.3.2 水射流技术在国内采矿工业的研究与发展……212
6.4 高压力纯水射流煤层钻割一体技术装备及理论……216
6.4.1 高压水射流钻割一体装备组成……216
6.4.2 纯水射流的基本理论……220
6.4.3 水射流冲击力与目标岩体表面压力分布……221
6.4.4 高压力纯水射流切割破岩机理……223
6.4.5 水射流切割裂隙作用下煤层卸压增透机理……225
6.5 高压力纯水射流旋转切割的关键技术参数及优化……227
6.5.1 喷嘴直径对切割的影响试验研究……228
6.5.2 压力对切割的影响试验研究……229
6.6 高压力纯水射流喷嘴几何结构及参数的优化……230
6.6.1 数值模拟方法……230
6.6.2 数值模拟软件 Fluent……231
6.6.3 数值模拟计算流程与控制方程……232
6.6.4 模拟流体的基本性质和流动状态……233
6.6.5 喷嘴几何结构和几何参数……234
6.6.6 喷嘴几何模型的建立及边界条件……234
6.6.7 计算方法选择……236
6.6.8 模拟结果及分析……236
6.7 案例一：长钻孔坚硬(本)煤层强化增透提高瓦斯抽放效率……243
6.8 案例二：软煤层掘进工作面卸压增透消突提高掘进效率……249
6.8.1 水射流人工裂隙对煤层应力的影响……250
6.8.2 水切割的消突机理……257
6.8.3 水射流煤层切割消突现场试验……258
6.9 高压水射流切割参数对裂隙闭合和瓦斯抽放的影响……262
6.9.1 关于煤层人工致裂……262
6.9.2 裂隙宽度的闭合特征……263
6.9.3 研究方法和数值模型……263
6.9.4 模型的校准和验证……266
6.9.5 模拟结果与分析……267
6.9.6 裂隙闭合机理及对瓦斯抽放的影响……271
6.10 本章小结……272
参考文献……273
第 7 章 水力压裂煤层致裂技术……276
7.1 水力压裂技术的发展历史……276
7.1.1 水力压裂技术在油、气行业的发展历史……276

7.1.2 水力压裂技术在煤炭行业的发展历史……277
7.2 水力压裂设备……280
7.2.1 国外石油行业水力压裂设备……280
7.2.2 国内煤炭行业井下煤层压裂设备……281
7.3 煤层水力压裂的压裂液和添加剂……283
7.3.1 煤层水力压裂的压裂液……283
7.3.2 煤层水力压裂的添加剂……284
7.4 煤层水力压裂工艺与参数……291
7.4.1 水力压裂的系统工艺及参数……292
7.4.2 水力压裂钻孔施工工艺和参数……294
7.4.3 压裂工艺参数……295
7.5 水力压裂理论与机理……296
7.5.1 煤层水力压裂机理的发展……296
7.5.2 水力压裂裂隙的数学模型……296
7.5.3 水力压裂的破坏准则……299
7.5.4 煤层的裂隙分类……300
7.5.5 水力压裂的起裂与扩展……301
7.5.6 水力压裂的起裂、扩展和闭合压力计算……303
7.5.7 影响水力压裂效果的因素……305
7.6 水力压裂技术与发展方向……307
7.6.1 水力压裂技术与工程实践……308
7.6.2 煤层水力压裂技术、装备和科研的发现方向……312
7.7 煤层水力压裂案例……319
7.7.1 案例一：平煤十矿水力压裂煤层增透强化瓦斯抽放……319
7.7.2 案例二：义煤义安煤矿水力压裂泄压增透消突……321
7.8 水力压裂裂隙的闭合……325
7.8.1 水力压裂裂隙的闭合机理简述……325
7.8.2 水力压裂裂隙闭合对煤层瓦斯抽采的影响……327
7.9 煤层水力压裂对环境的影响……327
7.9.1 诱发地震……327
7.9.2 空气污染……328
7.9.3 对水的影响……329
7.9.4 温室效应问题……332
7.9.5 污染与污染物的运移……332
7.9.6 对煤层顶底板的影响……332
7.10 煤层水力压裂的风险分析……333

7.10.1 影响途径……333
7.10.2 风险分析……333
7.11 本章小结……335
参考文献……335
第 8 章 水力冲孔煤层致裂技术……339
8.1 概述……339
8.1.1 水力冲孔概念……339
8.1.2 水力冲孔技术的发展与应用……339
8.2 水力冲孔使用煤层条件……344
8.3 水力冲孔技术装备……348
8.3.1 水力冲孔主要设备……348
8.3.2 水力冲孔主要设备选型……350
8.4 水力冲孔的施工工艺……357
8.4.1 水力冲孔施工工艺……357
8.4.2 装备选型……357
8.4.3 系统安装及泵压调定……358
8.4.4 冲孔布置设计……359
8.4.5 钻孔施工……360
8.4.6 水力冲孔工艺过程……360
8.4.7 冲孔煤量、瓦斯量的计量……360
8.4.8 瓦斯抽放……361
8.4.9 消突效果评价指标……361
8.4.10 水力冲孔施工工艺优化……362
8.5 水力冲孔技术参数……362
8.5.1 冲孔压力及流量现状分析……363
8.5.2 冲孔压力与出煤量的关系……366
8.5.3 冲孔时间与出煤量的关系……368
8.5.4 钻孔角度与出煤量的关系……369
8.5.5 单孔出煤量……369
8.6 水力冲孔影响评价……371
8.6.1 瓦斯抽采钻孔有效影响半径……371
8.6.2 煤体渗透性系数和钻孔瓦斯流量衰减系数……374
8.6.3 冲孔前后瓦斯涌出量……376
8.6.4 等效扩孔直径……377
8.7 水力冲孔案例……378
8.7.1 水力冲孔案例一……378

8.7.2 水力冲孔案例二……382
8.8 水力冲孔理论研究及发展趋势……384
8.8.1 球型径向渗流模型的建立……384
8.8.2 基于放矿理论……385
8.8.3 存在问题及研究方向……385
参考文献……386

第1章　动机、目的与内容

如今，世界各国都在寻求可负担得起的、稳定的能源资源，以支持他们的经济发展。尽管天然气、核能及可再生能源的发展降低了对煤炭需求，但是，许多发展中国家依然以煤炭作为主要的能源。国际能源机构(IEA)的评估认为，未来煤炭需求的增和减主要取决于中国对煤炭的需求[1]。换句话说，我国在未来的一段时间内，将依然是煤炭消耗的主要国家。

从我国的煤炭产量和消耗量来看，也同样支持了上述观点。2015年，世界煤炭产量约80亿t，中国产量达37.5亿t，虽然同比减少3.3%，但仍占世界的47%；中国煤炭消费量为39.65亿t，同比下降3.7%，但仍占世界煤炭消费量的一半。煤炭在中国能源消费结构的比重达到64%，远高于世界煤炭平均水平的30%[2]。

1.1　煤炭生产的安全问题

煤炭生产过程中，瓦斯和顶板是煤矿安全永恒的话题。就瓦斯管理而言，我国煤矿还存在着许多的问题和隐患，瓦斯治理依然是煤矿安全生产中的薄弱环节，主要原因是煤矿的瓦斯抽采率较低，并由此导致煤炭开采过程中瓦斯超限和煤与瓦斯突出潜在风险的增加，这一直是困扰着煤矿瓦斯治理的主要技术问题。导致瓦斯抽采率偏低主要原因有以下几个方面。

首先，我国煤层多为低透气性煤层。从煤层特征看，我国煤层普遍具有渗透率低、透气性差，且钻孔瓦斯抽采衰减快的特点。大多数煤矿煤层预抽瓦斯低于10%的采煤层瓦斯总量，其抽采水平低于世界其他主要产煤国。

根据瓦斯的抽采难易程度，煤层可被分为三类：容易抽采煤层、可抽采煤层和难抽采煤层(表1-1)。目前，我国开采的煤层多为第三类煤层。

表1-1　基于瓦斯抽放难易程度的煤层分类[3]

类型	100m长度钻孔的瓦斯流动衰减率/d^{-1}	煤层透气性系数/[$m^2/(MPa^2 \cdot d)$]
容易抽采	<0.005	>10
可抽采	0.005～0.05	10～0.1
难抽采	>0.05	<0.1

注：$1m^2/(MPa^2 \cdot d)=0.025mD$。

其次，随着开采强度的增加，煤炭开采深度在不断增加。从建井深度看，20世纪50年代立井平均开凿深度还不到200m，到90年代，平均开凿深度已达600m。40年内大约增加了400m，平均每年增加10m。据统计，1980年我国煤矿平均开采深度为288m，1995年为428.83m。煤炭资源开发由浅部向深部发展是客观和必然的规律，也是世界上许多主要煤炭生产国家所面临的共同问题。

我国煤矿开采深度发展趋势是浅矿井的数目将大为减少，中深矿井的数目明显增加，深矿井的数目将成倍增加，并将出现更多的特深矿井，矿井的平均开采深度也将进一步增加至630m左右。显然这种情况不仅会对我国当前和今后煤矿的开拓和开采工作带来影响，而且对深部煤层的瓦斯治理与抽采产生影响。

众所周知，随着煤层埋深的增加，煤层应力也随之增加。同时，煤层的透气性随着煤层深度的增加而降低。由此带来的问题是煤层瓦斯的抽采难度随煤层深度的增加而增加。

最后，煤层致裂技术与理论的制约。对于大多数富含瓦斯煤层或有突出危险性的煤层，通常采用回采/掘进前预抽的方法。在预抽过程中，为了克服煤层瓦斯抽放效率低下的问题，需要对煤层进行致裂，以提高煤层透气性。

因此，多种煤层致裂技术应运而生。那么，什么才是好的煤层致裂技术呢？或许可以定义为能够满足以下一个或几个因素的煤层技术：

(1)能够以合适的成本，形成可靠的煤层裂隙。

(2)能够最大限度地提高煤层的透气性。

(3)随时间的增加，煤层透气性依然能够保持稳定。

显而易见，对照上述三个方面，尽管许多煤层致裂技术的有效性在过去几十年的实践中被证明，但其依然存在问题并具有一定的局限性。

1.2　煤层瓦斯的开采

煤层瓦斯是一种成煤过程中产生的不可再生的能源资源，并能带来巨大的商业利润。伴随着煤的形成，在生物和地热的共同作用下，也同时形成了瓦斯气体，多数瓦斯赋存在煤的缝隙和空隙中。

曾几何时，在煤炭开采过程中，由于经常引起煤矿安全事故，危害煤矿从业人员的人身安全，影响煤矿的正常生产，煤层瓦斯都通过煤矿的瓦斯抽放系统被排放到矿井之外的大气中。但是，随着世界各国逐渐认识到煤层瓦斯是一种切实可行的能源资源，以及煤层瓦斯开采技术的不断成熟，如今，煤层瓦斯的商业利用价值已被广为认可和接受。

另外，煤层瓦斯的开采依然存在着对环境污染问题。首先，当开采煤层瓦斯

时，需要使用大量的水，从而导致地下水位下降，会对农业生产和当地的工业用水造成影响；其次，开采煤层瓦斯需要对煤层注入加有不同化学添加剂的水，如果不能够很好地管理这些废水，将会对地下水资源造成污染。

基于此，各国政府在开采煤层瓦斯资源的同时，也在制定相应的措施，以确保环境不受侵害。由此可见，建立环境保护和获取可持续能源以发展经济之间的平衡是一个脆弱而复杂的过程。达到这样的平衡，需要满足两点：第一是需要一个由政府主导的严格的监管和控制法律机制；第二是需要有研究机构的参与，以便为政府决策提供科学数据，为企业提供新技术。

1.3　目　　的

针对我国煤层瓦斯抽采面临的问题及瓦斯安全和瓦斯抽采利用的需求，本书系统阐述了各种煤层致裂技术的理论、机理、技术特点、适应性和优缺点，并辅以相应的应用案例，以帮助工程技术人员更全面和更深刻地熟悉、理解和掌握这些煤层致裂技术的特点和功能，更好地为煤矿生产服务；以帮助科研人员更全面地了解煤层致裂理论和机理，并以此为基础，更深入地探究煤层致裂理论，开发新的煤层致裂技术；以帮助相关专业的学生更全面地了解煤层致裂的理论和应用。

1.4　内容与结构

本书将煤层致裂技术分为三类，包括煤层水力致裂技术、煤层爆破致裂技术和煤层非爆破致裂技术。煤层水力致裂技术又包括水力压裂技术、水力冲孔技术和高压水射流切割煤层致裂技术。在煤层爆破致裂技术中，主要阐述了深孔爆破煤层致裂技术、聚能爆破煤层致裂技术、卸压爆破煤层致裂技术和松动爆破煤层致裂技术。在非爆破致裂技术中，包括了液态二氧化碳相变煤层致裂技术和静态爆破煤层致裂技术。

本书共分 8 章。除第 1 章外，第 2 章阐述了煤的形成及不同地质年代煤的物理力学性质和特征。第 3 章和第 4 章为非爆破煤层致裂技术，包括液态二氧化碳相变煤层致裂技术和静态爆破煤层致裂技术。第 5 章为爆破煤层致裂技术，其内容包括深孔预裂爆破煤层致裂、聚能爆破煤层致裂、松动爆破煤层致裂和卸压爆破煤层致裂。第 6 章至第 8 章为水力煤层致裂技术，包括高压水射流煤层切割致裂技术、水力压裂煤层致裂技术和水力冲孔煤层致裂技术。