

MEI YU WASI TUCHU YUCE FANGFA HE FANGZHI CUOSHI

煤与瓦斯突出预测方法 和防治措施

〔俄〕Ю. Н. 马雷舍夫

А. Т. 艾鲁尼

著

Ю. Л. 胡金

М. И. 博利申斯基

魏风清

张建国 编译

煤炭工业出版社

煤与瓦斯突出预测方法 和防治措施

[俄] Ю.Н. 马雷舍夫 А.Т. 艾鲁尼 著
Ю.Л. 胡金 М.И. 博利申斯基
魏风清 张建国 编译

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤与瓦斯突出预测方法和防治措施/ (俄罗斯) 博利申斯基等著; 魏风清, 张建国译. —北京: 煤炭工业出版社, 2003

ISBN 7-5020-2379-8

I. 煤… II. ①博…②魏…③张… III. ①煤突出-预测②瓦斯突出-预测③煤突出-预防-措施④瓦斯突出-预防-措施 IV. TD713

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 106858 号

Ю.Н.МАЛЫШЕВ А.Т.АЙРУНИ Ю.Л.ХУДИН М.И.БОЛЫШИНСКИЙ :
МЕТОДЫ ПРОГНОЗА И СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ ГАЗА,
УГЛЯ И ПОРОД

ISBN 5-247-03235-7

Original Russian language edition Copyright © Ю.Н.МАЛЫШЕВ А.Т.АЙРУНИ
Ю.Л.ХУДИН М.И.БОЛЫШИНСКИЙ, 1995

Chinese translation Copyright © by Ю.Н.МАЛЫШЕВ А.Т.АЙРУНИ
Ю.Л.ХУДИН М.И.БОЛЫШИНСКИЙ

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or
by any means without permission in writing from the Proprietor.

本书中文简体翻译权由原著者 Ю.Н.МАЛЫШЕВ А.Т.АЙРУНИ Ю.Л.ХУДИН
М.И.БОЛЫШИНСКИЙ 授予译者魏风清先生, 本书中文简体专有出版权由魏风清
先生授予煤炭工业出版社, 该专有出版权受法律保护。

煤炭工业出版社 出版发行
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn
北京房山宏伟印刷厂 印刷

*

开本 850mm×1168mm¹/32 印张 11³/4

字数 303 千字 印数 3,501—5,000

2003 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 3 次印刷

社内编号 5150 定价 30.00 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

序

煤层瓦斯（又称煤层气）是一种洁净的能源和化工原料，如能充分开发利用，不仅能够减轻煤矿灾害，而且可提高资源的利用率。在自然界，煤层瓦斯（简称瓦斯）以吸附和游离状态赋存于煤层中，当采矿工作破坏了地层气体压力平衡时，就会导致煤与瓦斯突出，并在特定条件下发生瓦斯爆炸，造成严重的事故和灾害。因此，长期以来，煤与瓦斯突出问题受到全球矿业界的广泛关注和重视。自从1847年比利时勒伊克煤田发生世界上第一次煤与瓦斯突出以来，全世界已有比利时、波兰、澳大利亚、保加利亚、英国、匈牙利、德国、西班牙、加拿大、中国、墨西哥、荷兰、罗马尼亚、土耳其、法国、捷克、塞尔维亚、南非、日本、独联体等共20多个国家发生过煤与瓦斯突出，累计发生煤与瓦斯突出达50000多次，死亡35000余人。1969年7月13日发生在乌克兰顿涅茨克矿区加加林矿井的煤与瓦斯突出是世界上最大的一次突出，突出煤量14500t，涌出瓦斯800000m³，影响深远，举世瞩目。

我国是世界上受煤与瓦斯突出危害严重的国家之一。全国国有重点煤矿和地方国有煤矿共有煤与瓦斯突出矿井300多对，1990年统计，我国有274对矿井先后发生煤与瓦斯突出11470余次，某些矿井不但瓦斯涌出量大，而且煤与瓦斯突出现象也相当频繁，严重影响了矿井的安全生产和经济效益的提高。目前，我国很重视煤矿安全生产问题，在突出矿井普遍推广了“四位一体”的防突措施，其中中心问题是煤与瓦斯突出的预测方法和防治措施，对保证突出矿井的安全生产起到了重要作用。

魏风清、张建国两位同志长期从事与煤矿安全生产有关的教学与科研工作，积累了不少经验，并利用工作之余编译了《煤与

瓦斯突出预测方法和防治措施》一书。该书系《俄罗斯和其他独联体国家煤矿瓦斯涌出量》中的第十卷，书中系统总结了俄罗斯和其他独联体国家在煤和瓦斯突出防治方面取得的研究成果，重点介绍了煤与瓦斯突出的“四位一体”防治措施，详细论述了煤与瓦斯突出的预测方法和防治措施。

本书内容丰富，资料翔实，针对煤与瓦斯突出防治问题，具有较强的实用性和可操作性，基本反映了当代煤与瓦斯突出防治的技术水平。我诚挚希望，本书的出版，不仅对我国煤与瓦斯突出的理论研究有重要的参考价值，而且也有助于我国矿业科技工作者在实践中早日实现安全、高效地抽取和利用煤层瓦斯这种新能源的目标，实现安全生产，为我国能源工业发展作出新贡献。

中国工程院院士

韩德馨

2003年9月19日

译 者 的 话

由 Ю.Н. 马雷舍夫等所著的《煤与瓦斯突出预测方法和防治措施》是系列卷《俄罗斯和其他独联体国家煤矿瓦斯涌出量》中的第十卷，书中全面总结了前苏联、俄罗斯和其他独联体国家在煤岩与瓦斯突出防治方面所取得的研究成果，主要内容共分9章：第1章，矿井瓦斯的涌出；第2章，煤层和岩层的突出危险性预测；第3章，矿井瓦斯涌出的瓦斯动力形式；第4章，揭穿煤层；第5章，回采和准备作业工艺；第6章，煤与瓦斯突出区域防治措施；第7章，煤岩和瓦斯突出防治局部措施；第8章，岩石与瓦斯突出防治措施；第9章，进行采矿作业时的安全保证措施。

本书论述的重点是煤与瓦斯突出的“四位一体”防治措施，介绍了煤层突出危险性预测的方法、指标及仪器仪表，提出了钻孔瓦斯涌出初速度法的测试关键和新的煤层突出危险性区域性预测方法——根据煤层的弹性模量和剪切模量预测煤层及煤层区域的突出危险性；统计分析了地质因素、工艺因素和采掘方法对煤与瓦斯突出的影响及各种预测方法和防治措施的防突效果；研究分析了各种区域性和局部性防治措施的作用机理、主要参数、工艺条件和适应范围；提出了进行采矿作业时的安全保证措施。

我国国有重点煤矿和地方国有煤矿中有煤与瓦斯突出矿井300多对，每年都要发生煤与瓦斯突出事故几十次，煤与瓦斯突出防治已成为煤矿安全生产的重要问题。本书的翻译出版，对我国矿井煤与瓦斯突出防治工作有很大的参考价值。

值本书出版之机，译者特别感谢原著作者 Ю.Н. 马雷舍夫、А.Т. 艾鲁尼、Ю.П. 胡金、М.И. 博利申斯基先生，正是由于他们的授权，使得本书有可能在我国出版。

在本书翻译出版过程中，中国工程院院士、中国矿业大学韩

德馨教授给予了热情指导和帮助，并欣然为本书作序，在此对韩德馨院士表示衷心的感谢。

由于我们的水平所限，书中难免有错误和不足之处，敬请批评指正。

译 者

2003 年 10 月

目 录

导 言	1
1 矿井瓦斯的涌出	3
1.1 煤层地下开采时的瓦斯问题	3
1.1.1 矿井瓦斯的成因	3
1.1.2 煤田矿井瓦斯的集聚形式	5
1.1.3 瓦斯的分布带	5
1.1.4 煤田的瓦斯储量	7
1.1.5 煤层瓦斯的涌出	9
1.1.6 煤层瓦斯源的人工抽放	15
1.1.7 瓦斯向大气的泄出对地球气候的影响	17
1.2 开采区域含瓦斯煤层的瓦斯动态	19
1.2.1 煤层瓦斯运移的物理化学基础	19
1.2.2 含瓦斯煤的变形	21
1.2.3 含瓦斯煤的结构转变	27
2 煤层和岩层的突出危险性预测	31
2.1 概 况	31
2.2 煤层的突出危险性标志	34
2.2.1 煤层的变形特征	34
2.2.2 检验钻孔的瓦斯涌出规律	38
2.3 煤层突出危险性预测方法	42
2.3.1 根据钻孔瓦斯涌出初速度预测煤层突出 危险带的方法	47
2.3.2 揭煤地点煤层突出危险性预测	49

2.3.3	根据瓦斯涌出初速度动态检查煤与瓦斯突出 防治措施效果	50
2.3.4	根据煤层地震声学噪声预测煤层突出危险性	52
2.3.5	煤层突出危险性预测的物理化学和物理方法	53
2.3.6	测量钻孔瓦斯涌出初速度的仪器	56
2.3.7	防治措施效果的自动化检查	60
2.4	砂岩的突出危险性特征	61
2.5	砂岩的突出危险性预测	64
2.6	煤层和岩石突出危险性预测的工作组织和防突 措施效果检查	65
2.6.1	概 况	65
2.6.2	矿井预测站工作人员的职能和责任	66
2.6.3	矿井预测站工作人员的权力	68
2.6.4	日常预测和防突措施效果检查的组织	69
3	矿井瓦斯涌出的瓦斯动力形式	72
3.1	煤岩与瓦斯突出防治现状	72
3.1.1	概 况	72
3.1.2	揭煤时的煤与瓦斯突出	78
3.1.3	回采和准备巷道的煤与瓦斯突出	79
3.2	煤与瓦斯突出防治措施效果	98
3.2.1	保护层的预先开采	98
3.2.2	煤与瓦斯突出防治区域措施	100
3.2.3	煤层水力松动	101
3.2.4	煤层水力压裂	103
3.2.5	卸压缝	104
3.2.6	超前钻孔	104
3.2.7	煤层内部爆破	105
3.2.8	各种防突措施突出频率比较	107
3.2.9	煤层突出危险性日常预测	108

3.2.10 煤层揭穿措施效果	109
3.3 开采突出危险煤层时的一般安全措施	110
3.3.1 震动爆破	110
3.3.2 突出危险煤层的机械遥控	112
3.3.3 突出时人员位置的安全距离	113
3.3.4 煤与瓦斯突出的人员个体和群体防护装置	114
3.4 突出危险煤层开采的主要技术方向	114
4 揭穿煤层	119
4.1 揭穿突出危险煤层和岩层的安全工艺	119
4.2 井筒揭穿突出危险煤层工艺	120
4.3 综掘机掘进井筒揭穿突出危险煤层和 岩层的工艺	122
4.4 打超前抽放钻孔井筒揭穿煤层的工艺	126
4.5 构筑超前骨架支架用井巷揭穿危险煤层 工艺	128
4.6 煤层注水(煤层湿润)用井筒揭穿危险 煤层工艺	129
4.7 水平巷道揭穿煤层工艺	130
4.8 揭穿地点煤层突出危险性预测工艺	131
4.9 打抽放钻孔用石门揭穿煤层工艺	132
4.10 煤层注水用石门揭穿煤层工艺	134
4.11 构筑骨架支架用石门揭穿危险煤层工艺	137
4.12 煤体预先水力冲刷揭穿煤层工艺	138
4.13 选择作用的掘进机揭穿煤层工艺	148
4.14 在突出危险岩层中井底车场巷道与井筒 会合处及大断面硐室的构筑工艺	151
4.15 揭穿煤层前隔离系统结构和突出隔离工艺	159

5 回采和准备作业工艺	162
5.1 井田准备	162
5.2 准备巷道的布置	163
5.3 沿突出危险岩层掘进准备巷道	167
5.4 沿突出危险煤层掘进准备巷道	167
5.5 开采方法	167
5.5.1 陡直煤层	169
5.5.2 缓倾斜和倾斜煤层	175
5.6 开采突出危险煤层时的顶板管理	182
5.7 回采作业机械化	185
5.8 回采工作面生产组织	186
5.9 突出孔洞的过渡工艺	186
5.10 在地质破坏带的采矿作业工艺	189
5.11 煤与瓦斯突出防治措施的应用条件	192
6 煤与瓦斯突出区域防治措施	195
6.1 煤层的抽放和湿润	195
6.2 采用表面活性剂湿润煤层	198
6.2.1 湿润对煤层的作用	198
6.2.2 湿润参数	200
6.2.3 煤层湿润工艺	202
6.2.4 预防湿润效果的检查	204
6.2.5 突出危险煤层预抽新方法	206
6.3 保护层的超前开采	209
6.3.1 保护层超前开采的保护作用机理	209
6.3.2 煤层保护作用参数	212
6.3.3 保护层有效利用方案	219
6.3.4 扩大保护层应用范围的方法	221
6.3.5 防治煤岩和瓦斯突出的局部的巷道上部开采或	

下部开采方法	224
6.3.6 保护作用效果检查	225
7 煤岩和瓦斯突出防治局部措施	229
7.1 煤层水力松动	229
7.1.1 煤层水力松动作用机理	229
7.1.2 水力松动参数	230
7.1.3 煤层水力松动工艺	238
7.1.4 水力松动参数和效果检查	240
7.1.5 水力松动应用范围	241
7.2 煤层水力压裂	242
7.2.1 工作面附近煤层水力压裂作用机理	242
7.2.2 水力压裂工艺	244
7.2.3 水力压裂参数	245
7.2.4 水力压裂安全措施	249
7.2.5 水力压裂应用范围	250
7.3 沿回采工作面在煤层中开卸压缝	250
7.3.1 卸压缝的保护作用机理	250
7.3.2 缓倾斜煤层回采工作面卸压缝开凿工艺	253
7.3.3 卸压缝参数	254
7.3.4 沿回采工作面全长割卸压缝防治煤与瓦斯 突出的应用经验	266
7.4 卸压槽	269
7.5 在围岩中开卸压腔(缝)	272
7.5.1 总 则	272
7.5.2 卸压缝对突出危险煤体的作用	272
7.5.3 在围岩中开卸压腔用综掘机掘进巷道工艺	278
7.5.4 打眼爆破方法形成卸压缝和巷道掘进工艺	281
7.6 超前钻孔	283
7.6.1 超前钻孔对突出危险煤体的作用	285

7.6.2	超前钻孔参数	287
7.6.3	超前钻孔打钻工艺	289
7.7	煤层的水力爆破处理	290
7.7.1	煤层水力爆破处理参数	290
7.7.2	煤体水力爆破处理的工艺	296
8	岩石与瓦斯突出防治措施	301
8.1	打眼爆破方法沿突出危险砂岩掘进巷道	301
8.1.1	打眼爆破作业最佳参数的本质	301
8.1.2	打眼爆破作业参数	305
8.1.3	沿突出危险砂岩巷道掘进工艺	310
8.1.4	切割卸压缝沿突出危险砂岩掘进巷道	310
8.2	掘进机沿突出危险岩层掘进巷道	313
8.2.1	准备巷道掘进时矿山压力控制利用的方法 参数	314
8.2.2	沿突出危险岩层掘进机掘进巷道工艺	315
8.2.3	沿突出危险岩层掘进巷道的掘进机	321
8.2.4	应用范围	325
9	进行采矿作业时的安全保证措施	327
9.1	根据工作面附近煤层瓦斯含量和应力分布 规律降低煤体突出危险性的方法	327
9.2	震动爆破	338
9.2.1	震动爆破时降低突出频率和强度的科学基础	338
9.2.2	震动爆破时降低突出频率和强度的措施	341
9.3	远距离开停机械在突出危险煤层落煤	353
9.4	遭遇煤与瓦斯突出人员的保护设备	354
	结束语	357
	参考文献	359

导 言

在煤矿生产实践中，煤与瓦斯（ CH_4 ， CO_2 ，以及 CH_4 和 CO_2 混合气体）突出已有 100 多年的历史了。随着采矿开采水平的延伸，突出的强度和频率增大，导致一系列开采突出危险煤层的矿井关闭（乌克兰的“克柳奇”、比利时的“留久克尔”、澳大利亚的“科林斯维尔”、荷兰的“埃马”和“莫里茨”等矿井）。由于矿物原料需求量的增大，有用矿物的开采集约化造成采矿工程的快速延伸和在大多数情况下有用矿物和围岩原始矿井瓦斯含量的增加，使瓦斯喷出量增大（南非的深部金矿、墨西哥的铜矿和银矿、美国的铜矿和多金属矿、俄罗斯诺里尔斯克的多金属矿等等），在独联体各国、奥地利、德国、法国、日本、波兰、中国和其它国家的煤矿诱发的煤与瓦斯突出的次数和强度增大了，在巴西、南非、美国开采金属矿床和在独联体（亚美尼亚、俄罗斯）、日本、南非、加拿大和其它国家建造隧道时，以及在开采钾和宝石的分层时，出现了火成岩和瓦斯的突出。在有些情况下（例如在亚美尼亚建造阿尔帕—塞凡隧道时），很坚硬的岩石如玢岩、铜质页岩等都发生了突出，所有这些提出了瓦斯突出问题的预先防治计划。因为根据已知的概念，岩石突出一定伴有瓦斯涌出，所以突出危险煤层的瓦斯成因、原始瓦斯含量和它们的联系形式等的评价对突出防治具有重要意义。

对于突出问题的工程方案，研究以危险岩体物理参数动态的记录和解释为基础的可靠的预测方法对研制有效的、工艺良好的防治措施具有很大的意义。

与过去的认识相比，现在认为瓦斯向大气的常规涌出和突出更具危险性，这种危险性表现在瓦斯对地球气候变暖的影响和对臭氧层的破坏。因此必须研究内生矿床的瓦斯含量。

由于地球生物圈人为污染的不断增长，在全球生态环境恶化的条件下，对于采矿工业部门来讲，开采有用矿物的同时尽量减少废料产生的开采工艺的建设和广泛工业应用具有紧迫的意义，这种工艺应该可以：第一，提高有用矿物地下开采的安全性和效率；第二，明显降低污染性气体废料向大气中的排放量；第三，进行被开采的伴生有用产品的利用，提高有用矿物开采的完整性和综合性。

在煤炭产量和需求量不断增长的情况下，世界上燃料能源政策的变化会伴随有煤炭开采恶化条件负面影响的加强（开采深度增加、矿山压力增大、常规瓦斯涌出量增大、煤与瓦斯突出的强度和频率增大，等等），同时对机械制造、化学、电机工程、冶金和其它工业部门产品的消耗量增加。

对于煤炭工业来讲，在可燃性瓦斯涌出的条件下，提高井下开采的安全性是一个重要问题。当采用常规工艺开采含瓦斯煤层时，瓦斯涌出使井下劳动条件明显恶化，由于瓦斯因素限制了工作面推进速度，瓦斯涌出对采掘作业的效率产生负面影响，所以把煤层中涌出的瓦斯作为煤炭地下开采的主要问题进行研究。随着采矿工程的延伸，伴随有煤的抛出的瓦斯的突然涌出，对作业安全性和技术经济指标的负面影响更加剧烈。

1 矿井瓦斯的涌出

1.1 煤层地下开采时的瓦斯问题

1.1.1 矿井瓦斯的成因

有用矿物矿床的形成是由于地球上连续的、各种各样的地质过程的结果。一类地质过程曾与岩浆有关，而其它的地质过程在大气圈、水圈和生物圈的作用下进行^[1]。因此按成因矿物矿床可分为内生的（深部的、岩浆作用的）、外生的（表层的、沉积的）和变质的（变化的）。

黑金属、有色金属、贵金属以及其它有用矿物（磷灰石、云母、石棉等）的内生矿床是在造山作用时期岩浆侵入地壳形成的。熔化岩浆的运动导致已断裂岩石发生岩浆同化作用，当冷却时岩浆形成固态、液态和气态物质。所以岩浆结晶后保存在其深部的瓦斯和（在一定条件下的）围岩瓦斯参与了有用矿物内生矿床瓦斯的形成。内生矿床的特征与地壳的构造运动有必然的联系，这导致岩体严重破坏和在水平方向和垂直方向的很大距离内形成瓦斯运移通道（例如南非金矿）。

内生矿床的围岩和有用矿物具有低聚集性、低孔隙率、低透气性和低吸附活性。所以火成岩的特征是瓦斯含量很小，并在个别裂隙带或空隙带处积聚，而裂隙带和空隙带发育在不同岩石接触面的构造破坏处。瓦斯从这些带的涌出一般为不同强度和时间的喷出形式。内生矿床瓦斯依靠岩浆作用的瓦斯、熔化岩浆和围岩相互作用的瓦斯、沉积岩瓦斯、放射化学瓦斯、岩石化学生物风化的瓦斯和大气瓦斯而形成。

N_2 、 CO_2 和 H_2 是岩浆岩瓦斯的主要成分，而 CH_4 及其同系物、氦气、氩气和其它稀有气体是可能的掺和物。

由于在水介质中沉淀物的化学和力学沉降以及各种有机残骸的转换,而形成更稳定的化合物和它们的大规模积聚,这些岩石和矿物的破坏就形成了外生矿床。煤炭、石油、矿物盐(钾盐和石盐)、部分铁矿和锰矿、铝土矿、磷钙土等,以及某些金属和宝石的冲积矿床属于沉积成因的有用矿物。在比岩浆作用矿床更平静的构造条件下,形成和发育沉积类型的矿床,所以与沿空隙和节理面的移动相比,在形成瓦斯时流体沿断裂破坏处的移动通常起从属作用。沉积矿床的瓦斯主要依靠参与矿床形成的原始材料的转换而形成的瓦斯,部分地依靠从其它来源运移的瓦斯。有机残骸成为使沉积矿床富集瓦斯的原始材料。

外生矿床岩石的特点是自由空隙度和透气性高,其中一些岩石(例如煤)的吸附性高,既它们的聚集性能高。例如烟煤的瓦斯含量可达 $40 \sim 45 \text{ m}^3/\text{t}$ (主要是甲烷)^[1,2]。外生矿床的原始瓦斯主要是有机物转化的产品,并伴有大气瓦斯、放射瓦斯和岩浆瓦斯的掺和物。在煤田和油田中广泛分布的变质瓦斯的形成,与长期在高温(热变质)和高压(力变质)作用下有机物化学成分的变化有关。此时有机物发生 H_2 、 O_2 和 N_2 的贫化过程和碳的富集过程。例如在肥煤中 H_2 为 $5\% \sim 6\%$, O_2 为 $10\% \sim 12\%$, N_2 为 $1.5\% \sim 2\%$, C 为 80% , 在无烟煤中 H_2 为 $1.5\% \sim 2\%$, O_2 为 $0.5\% \sim 1\%$, N_2 为 $0.8\% \sim 1\%$, C 为 $95\% \sim 97\%$ ^[1]。

煤的区域性变质与表土下煤层的埋藏深度增大有关:埋藏深度越大,煤层受到的压力和温度越高,其变质程度越高,可以根据挥发分的降低评价其变质程度。因此在所有的大型烟煤煤田遵守希尔特定律,即烟煤的变质程度随埋藏地层深度的增加而升高。煤的区域性变质的主要产品是瓦斯。

在很高的应力作用下煤岩发生动力变质作用时,构造应力揉皱了几千公里的沉积岩地层,来自固体煤的 CH_4 分子发生脱离,深入石墨维晶的自由空间(例如在顿涅茨克矿区的主要背斜)。

在热变质作用时,煤炭发热可以达到一定的温度,导致天然焦的形成(俄罗斯的帕尔季赞斯基矿区)或局部范围内挥发分的