

KUANG JING WA SI
ZONG HE ZHI LI JI SHU

矿井瓦斯 综合治理技术

张铁岗 著

煤炭工业出版社

TD712
Z-778

矿井瓦斯综合治理技术

张铁岗 著

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书是一部系统介绍煤矿瓦斯治理技术及我国煤矿瓦斯综合治理方面实践经验的专著。主要内容包括：矿井瓦斯预测和监测技术，煤与瓦斯突出预测和防治技术，瓦斯抽放技术与装备，瓦斯和煤尘爆炸防治，瓦斯安全管理体系及瓦斯利用，主要技术创新点和经济效益评价。本书技术创新点多，这些技术的推广和应用，必将使我国煤矿瓦斯防治技术提高到一个新的水平，有利于从根本上改善煤矿安全状况。

本书可供煤矿企业从事安全工作的工程技术人员、管理干部使用，也可供科研、设计部门及院校师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井瓦斯综合治理技术/张铁岗著。—北京：煤炭工业出版社，2001

ISBN 7-5020-1979-0

I. 矿… II. 张… III. 矿井—瓦斯—综合治理—技术 IV. TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 04230 号

矿井瓦斯综合治理技术

张 铁 岗 著

责任编辑：姜庆乐 郑发科 陈钊 王铁根
田园 廖永平 史彦

*

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

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 × 1092mm^{1/16} 印张 33^{1/2}

字数 802 千字 印数 1 - 2,550

2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月第 1 次印刷

社内编号 4750 定价 平装 79.00 元
精装 86.00 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

矿井瓦斯是煤矿严重自然灾害的重要根源。瓦斯的存​​在使人窒息、遇火源爆炸，瓦斯爆炸还极易引起煤尘爆炸。煤与瓦斯突出是一种强烈的动力现象和严重的灾害。瓦斯事故已占全国煤矿重大事故总数的 70% 以上，防治瓦斯灾害已成为煤矿安全工作中迫切需要解决的问题。

为了治理矿井瓦斯，煤炭广大科技人员和职工进行了长期艰苦的努力。解放初期，成立了抚顺煤炭安全研究所，60 年代又组建了重庆煤炭安全研究所，两所皆以瓦斯治理为研究重点。在各煤炭院校开办了通风安全专业，培养了大批专门人才。随着安全科技投入的不断增加和科技队伍的扩大，攻克了一个又一个瓦斯治理技术难题。

瓦斯监测由灯火观察改为理研光学瓦斯检定器，发展到采用传感技术、电子技术和计算机等高科技手段监测。

煤与瓦斯突出，从对突出规律缺乏了解发展到对突出机理、防治措施有了较系统、深入的认识，形成了预测、防突措施、效果检验和人身防护措施四位一体的综合防治技术。突出预测由点预测发展到点与区域预测相结合，防突措施由局部措施发展到局部措施与区域性措施相结合。

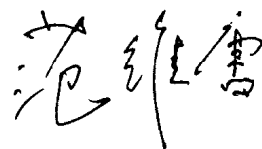
防治瓦斯爆炸，由单纯依靠通风吹散瓦斯，发展到电气设备防爆、堵绝火源、计算机监控、防止瓦斯聚集、消除爆源等综合技术。瓦斯抽放是一个治本措施。抽放技术由单孔到多孔和交叉钻孔、密集孔抽放，实现了本煤层、邻近煤层、采空区、卸压带抽放等综合抽放措施。近些年来，平煤瓦斯抽放发展很快，抽放量大幅度增加，显著地降低了瓦斯超限和突出次数，为实现矿井安全生产创造了条件。

瓦斯既是有害气体，也是清洁能源，通过瓦斯抽放和综合利用可使瓦斯化害为利，变废为宝。

针对平顶山矿区近些年瓦斯涌出量不断增加，煤与瓦斯突出越来越严重，“九五”前发生多起瓦斯煤尘爆炸事故的情况，国家计委和原煤炭部把平顶山矿区作为“九五”国家科技攻关项目“矿井瓦斯综合治理示范工程配套技术的研究”的示范试验矿井。平煤集团与煤炭科研单位及高校联合，组织实施了瓦斯预测、监测、防治、抽放、装备等方面的系统研究。经过四年工作，大部分技术成果达到了国内和国际先进水平，部分成果填补了国内外空白，

达到了领先水平。

这本书作者是该项国家“九五”科技攻关项目负责人，也是该课题的组织者、实施者。这本专著系统地总结和阐述了矿井瓦斯预测和监测技术、煤与瓦斯突出预测和防治技术、瓦斯抽放技术与装备、瓦斯和煤尘爆炸防治技术、瓦斯安全管理体系、瓦斯综合利用等方面的新技术、新装备、新经验，内容丰富、新颖。希望这本书的出版，对提高我国煤矿瓦斯综合治理水平和矿井抗灾能力具有现实的指导意义，对我国从事煤矿瓦斯综合治理的工程技术人员、管理人员、教师等读者有所裨益。

A handwritten signature in black ink, reading '范维雪' (Fan Weixue) in a cursive style.

2001年元月6日于北京

前 言

在日常生活中，人们一谈起沉船、空难、交通事故、火灾等等，无不为之大惊失色，殊不知煤矿瓦斯爆炸更是令人惊骇、痛心。

瓦斯灾害防治一直是煤矿安全工作的重点，在我国煤矿的重大灾害事故中 70% 以上是瓦斯事故。据统计，1990~1999 年全国煤矿共发生 3 人以上的死亡事故 4002 起，共死亡 27495 人，其中：瓦斯事故 2767 起，共死亡 20625 人，占 3 人以上死亡事故总起数的 69.14%，死亡人数的 75.01%。我国现有国有重点煤矿 657 处，其中有煤尘爆炸危险的矿井 567 处，占 86.3%；煤与瓦斯突出矿井 130 处，高瓦斯矿井 180 处。根据对地方国有煤矿年产 3 万 t 以上的 1650 处矿井统计，有煤尘爆炸危险的矿井 700 处，煤与瓦斯突出矿井 120 处，高瓦斯矿井 700 处。1960 年 5 月 9 日，山西省大同老白洞煤矿发生特大瓦斯煤尘爆炸事故，死亡 684 人。2000 年 9 月 27 日，贵州省水城木冲沟煤矿发生特大瓦斯煤尘爆炸事故，死亡 162 人。

由此可见，我国煤矿瓦斯煤尘爆炸事故、煤与瓦斯突出事故频繁发生，死亡人数多，严重影响煤矿安全生产。因此，瓦斯灾害防治工作不论是过去还是将来，一直是煤矿安全工作的重点。我国瓦斯综合治理工作任重而道远。

平顶山矿区是我国重要的煤炭生产基地，随着煤矿生产向高强度、集约化生产方向发展以及开采深度的不断加大，该矿区的瓦斯危害日益加剧，不少煤矿由低瓦斯矿井变为高瓦斯矿井，由没有煤与瓦斯突出的煤层变为突出危险的煤层。五年前（1993~1996 年）平煤（集团）公司连续发生 3 次特大事故，其中两次是瓦斯爆炸事故。针对煤矿出现的新的安全技术问题，“九五”期间平煤（集团）公司立项并组织实施了国家重点科研攻关项目——《矿井瓦斯综合治理示范工程配套技术的研究》。该项目包括 5 个专题，22 个子课题，由平煤集团公司联合煤炭科学研究总院抚顺分院、重庆分院、中国矿业大学、焦作工学院共同进行技术攻关，以平煤集团公司所属各矿作为项目科研和试验基地。该项目历时 4 年（1996~2000 年），成果丰硕，使我国瓦斯综合治理技术迈上了一个新台阶，其中多项技术成果达到了国内和国际先进水平和领先水平，填补了国内外技术空白；同时这些项目的经济效益和社会效益十分可观，有良好的推广应用价值。

作为《矿井瓦斯综合治理示范工程配套技术的研究》项目的总负责人和主要完成人，笔者亲自组织和参与了各个子专题和子课题的研究开发工作，迫切感到这项技术成果在全国乃至世界各国推广的重要作用和产生的巨大价值。作为煤炭战线的一名老科研工作者和管理者，我有责任为改善我国及世界各国煤矿的安全水平贡献自己的一份力量。

本书以《矿井瓦斯综合治理示范工程配套技术的研究》项目成果为主要素材，系统、深入地研究了当前我国煤矿瓦斯综合治理的各项新技术和先进装备，是国内第一部系统阐述煤矿瓦斯治理技术方面理论的技术专著，同时也集中了我国煤矿瓦斯综合治理方面的实践经验。全书共分九章。第一章，概况；第二章，矿井瓦斯有关参数测定及危险等级划

分；第三章，矿井瓦斯预测和监测技术；第四章，煤与瓦斯突出预测和防治技术；第五章，瓦斯抽放技术与装备；第六章，瓦斯和煤尘爆炸防治；第七章，瓦斯安全管理体系；第八章，瓦斯综合利用；第九章，主要技术创新点和经济效益评价。

本书技术含量高、技术创新点多，必将使我国煤矿瓦斯防治技术提高到一个新的理论水平，有利于从根本上改善煤矿安全状况。本书可供煤矿企业的工程技术人员、管理干部使用，也可供科研、设计部门的有关人员及院校师生学习参考。

在本书编写过程中，得到了煤炭信息研究院黄盛初副院长、胡予红主任以及李孝亭、俞佳和赵冬花同志、平煤（集团）公司通风管理中心张建国及技术中心杨从孝等同志的大力帮助，并特邀焦作工学院彭立世教授对全书进行了审定，在此一并表示衷心感谢。由于时间仓促，书中难免有不妥甚至错误之处，敬请广大读者批评指正。

著 者

2001年1月10日

目 录

序

前言

第一章 概况	1
1.1 国外概况	1
1.2 国内概况	10
第二章 矿井瓦斯有关参数测定及危险等级划分	16
2.1 常用瓦斯参数及测定	16
2.2 矿井瓦斯涌出量测定与计算	31
2.3 煤与瓦斯突出危险等级划分	42
第三章 矿井瓦斯预测和监测技术	54
3.1 综掘工作面瓦斯预测技术	54
3.2 高产高效工作面瓦斯预测技术	70
3.3 矿井瓦斯监测技术与方法	88
3.4 矿井瓦斯监测、监控系统的开发	97
第四章 煤与瓦斯突出预测和防治技术	110
4.1 煤与瓦斯区域突出分布规律	110
4.2 矿井突出危险区域预测技术及装备	125
4.3 MJY-I型煤与瓦斯突出监测预报系统	139
4.4 电磁辐射法预测突出危险性技术及便携式装备	158
4.5 掘进工作面防突综合配套技术的应用	170
4.6 矿井突出危险区域预测的瓦斯地质技术	182
4.7 石门揭煤的防突技术	192
4.8 工作面突出危险性实时跟踪预测技术及装备	213
4.9 长钻孔控制爆破防治突出技术	231
4.10 煤与瓦斯突出敏感指标的预测	246
第五章 瓦斯抽放技术与装备	165
5.1 我国瓦斯抽放的现状	265
5.2 本煤层抽放与合理预抽期	267
5.3 瓦斯抽放布孔方式及交叉钻孔扩孔	284
5.4 深孔控制预裂爆破提高瓦斯抽放率	301
5.5 高位钻孔抽放	319
5.6 高位巷抽放	325
5.7 地面钻孔抽放	327
5.8 采空区瓦斯抽放工艺	332
5.9 软煤打钻抽放技术及设备研制	340

5.10	瓦斯抽放监控系统	353
5.11	综放工作面瓦斯抽放	369
5.12	水平长钻孔瓦斯抽放	384
第六章	瓦斯和煤尘爆炸防治	393
6.1	高压水射流风机引排上隅角瓦斯	393
6.2	无火花风机引排上隅角瓦斯技术和装置	396
6.3	小型液压风扇处理上隅角瓦斯积聚技术	402
6.4	“脉动通风”治理上隅角瓦斯积聚技术	405
6.5	防治故障电火花引爆瓦斯煤尘技术	423
6.6	新型瓦斯超限断电控制器	438
6.7	无电源触发式抑爆装置	441
6.8	瓦斯超限后的排放	446
6.9	瓦斯便携仪及报警矿灯	452
6.10	隔（抑）爆技术在平顶山矿区的应用	457
第七章	瓦斯安全管理体系	468
7.1	建立以总工程师为主的“一通三防”网络体系	468
7.2	突出矿井瓦斯分级管理	476
7.3	瓦斯排放的管理	479
7.4	智能化矿井通风系统的实施	482
7.5	通风系统优化	485
第八章	瓦斯综合利用	489
8.1	瓦斯的提纯和储存	489
8.2	煤层气民用	495
8.3	生产化工产品	496
8.4	发电	497
8.5	汽车燃料	500
8.6	我国一些矿区的煤层气利用发展规划	501
第九章	主要技术创新点和经济效益分析	504
附录 1	平煤（集团）公司矿井瓦斯抽放管理办法	509
附录 2	煤矿用被动式隔爆棚安装技术规范	516
附录 3	平煤（集团）公司十矿 20150 机巷 本煤层穿层深孔施工规范	520
附录 4	脉动通风治理工作面上隅角瓦斯积聚技术规范	521
附录 5	深孔控制预裂爆破试验主要安全技术措施	523
附录 6	平煤（集团）公司十矿交叉扩孔打钻安全措施	526
	主要参考文献	527

第一章 概 况

瓦斯灾害是煤矿中最严重的灾害之一。瓦斯突出不仅能摧毁井巷设施、破坏矿井通风系统，而且使井巷充满瓦斯和煤（岩）抛出物，造成人员窒息、煤流埋人，甚至可能引起瓦斯爆炸与火灾事故。瓦斯爆炸不仅造成大量人员伤亡，而且还会严重摧毁井巷设施、中断生产，有时还会引起煤尘爆炸、矿井火灾、井巷垮塌等二次灾害。井下煤矿一次死亡人数多的重大事故主要是瓦斯爆炸事故和瓦斯突出事故。例如，1990～1999 年的 10 年间，我国煤矿共发生 3 人以上的死亡事故 4002 次，共死亡 27495 人，其中瓦斯事故 2767 次，共死亡 20625 人，占 3 人以上死亡事故总次数的 69.14%，死亡人数的 75.01%。因此，控制瓦斯一直是各产煤国煤矿安全的主攻方向之一。各国投入大量的资金、人力、物力进行瓦斯防治技术和装备的研究，为煤炭生产提供了安全保障。

1.1 国外概况

1.1.1 矿井瓦斯涌出量

研究煤层瓦斯的形成和迁移规律，测定煤层瓦斯含量，是正确预测矿井瓦斯涌出量的基础。

(1) 煤层瓦斯成分。煤层瓦斯通常指甲烷（也称沼气），因为甲烷是主要成分（占 80% 以上）。但是即使在室温下，煤层瓦斯也含有其它碳氢化合物以及 CO_2 、 N_2 、 O_2 及 H_2 等。在煤化作用初期的氧化作用及煤炭母体的脱碳作用均可产生 CO_2 。有时煤体受地壳变动的影响也可能含有高浓度的 CO_2 。有机物沉积和地下水流动的时候，均可把氮和氧带进煤层。煤层瓦斯中氦是放射性衰减的产物。用气相色谱法分析，从煤层中取出的气体试样中测出的烷烃气体除甲烷外，还有乙烷、丙烷、丁烷和戊烷。煤层瓦斯中一般测不出 CO 、 HS 或 NO_x 。煤层中抽出的瓦斯发热量一般为 $37.25\text{MJ}/\text{m}^3$ ，可以与天然气相当，是一种可以开发和利用的能源。

(2) 煤层瓦斯含量测定。目前各国主要采用解吸法测定煤层瓦斯含量。用解吸法测定煤层瓦斯含量包括三个阶段：第一阶段，确定从钻取试样到把试样装入取样器这段时间内的瓦斯损失量 Q_1 ；第二阶段，采用野外解吸仪测定取样器中的试样解吸瓦斯量 Q_2 ；第三阶段，用粉碎法确定试样的残存瓦斯量 Q_3 。上述三个瓦斯量 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 相加即得该煤样的总瓦斯含量。用解吸法测定煤样瓦斯含量的成功率可达 98%，精度也较高，而且操作简单，成本低，优于其它方法。

(3) 矿井瓦斯涌出量测定。生产矿井瓦斯来源主要包括掘进区瓦斯、采煤区瓦斯和采空区瓦斯。在研究瓦斯来源和瓦斯涌出量时，既要考虑瓦斯地质条件，也要分析采矿技术条件。目前瓦斯涌出量预测方法主要有三类：矿山统计法、煤层瓦斯含量法和瓦斯分源法。

①统计法。对于新矿井新水平的瓦斯涌出量预测，目前大多数煤矿仍采用直线外推的矿井统计预测法。统计法预测方程最早是前苏联于 1937 年提出的。矿井统计法分两步进行：第一步采用跟踪法收集历年的通风瓦斯报表资料；第二步将统计资料输入计算机进行数据滤波处理，并计算瓦斯梯度和预测某一深度的涌出量。煤层瓦斯含量与瓦斯压力有关，因此也可以根据煤层瓦斯压力测定资料预测瓦斯涌出量。

②瓦斯含量法和分源法。含量法和分源法计算原则基本相同，主要是采用煤层原始瓦斯含量和涌出系数来预测涌出量，但两者邻近煤层瓦斯涌出率方程不同。各国根据本国煤层特点和经验提出邻近层瓦斯涌出率计算公式。

(4) 各国矿井瓦斯等级。大多数国家都划分矿井瓦斯等级，以便采取相应的安全措施。前苏联矿井瓦斯等级，按照平均日产 1t 煤涌出的瓦斯量划分为：一级瓦斯矿井， 5m^3 以下；二级瓦斯矿井， $5 \sim 10\text{m}^3$ ；三级瓦斯矿井， $10 \sim 15\text{m}^3$ ；超级瓦斯矿井， 15m^3 以上。

我国煤矿瓦斯等级，按照平均日产 1t 煤涌出的瓦斯量和瓦斯涌出形式分为：低瓦斯矿井， 10m^3 及其以下；高瓦斯矿井， 10m^3 以上；煤与瓦斯突出矿井。

德国所有的烟煤矿井都划分为瓦斯矿井，但《煤矿安全规程》中没有划分瓦斯危险等级。工作面绝对瓦斯涌出量大于 $20\text{m}^3/\text{min}$ 时，视为特大瓦斯工作面。

1.1.2 矿井瓦斯抽放

当用通风方法不能使回采工作面涌出的瓦斯稀释到《煤矿安全规程》规定的最高允许浓度时，就必须预先抽放瓦斯。在许多国家，瓦斯抽放已成为降低工作面瓦斯涌出量和防止突出的一种主要措施。前苏联一年的瓦斯抽放量为 $23 \sim 24$ 亿 m^3 。德国鲁尔、来琛、伊苯比伦和萨尔四大硬煤矿区都应用瓦斯抽放措施，平均抽放率达 50%，年总抽放量为 6 亿 m^3 。

回采工作面防治瓦斯措施有区域性措施和局部性措施两种。前苏联、波兰、德国、英国等国采用的区域性措施主要有：瓦斯抽放、开采保护层、煤层大面积注水等；局部性措施主要有：松动爆破、超前钻孔、水力冲孔、卸压槽等。区域性措施防突效果较好，如果煤层无保护层可采，目前主要采用瓦斯抽放的方法。

(1) 瓦斯抽放钻孔布置。煤层内瓦斯抽放钻孔有下向孔、水平孔和上向孔三种布置方式，根据前苏联的研究，其抽放率之比为 $1:1.20:1.35$ 。特别是在薄煤层及自然透气性低及中等的煤层，上向孔抽放效果最好。

前苏联卡拉干达、库兹巴斯和沃尔库塔煤矿采用的钻孔参数为：直径 $80 \sim 100\text{mm}$ ，孔深 $150 \sim 200\text{m}$ ，孔距 $10 \sim 20\text{m}$ ，钻孔总密度为 $12 \sim 18\text{m}/\text{kt}$ 煤，瓦斯抽出率可达到 30%。在采取人工增大煤层透气性措施的情况下，抽出率可达到 55% 以上。

针对低透气性煤层难抽问题，前苏联顿巴斯和卡拉干达矿区最先提出并付诸实施了交叉钻孔强化预抽煤层瓦斯的方法，显著提高了低透气性煤层的瓦斯抽放率。与平行钻孔相比，交叉钻孔的抽放率一般提高 1 倍，有时可提高 3 倍，因此，交叉钻孔预抽煤层瓦斯的方法在独联体国家得到了广泛应用。

在开采深度大的条件下，采用大直径钻孔能有效地提高抽放效果。日本赤平矿，钻孔直径由 65mm 增大到 120mm 时，瓦斯抽放量增大 3.5 倍。根据试验，直径 80mm 、 100mm 、 120mm 和 150mm 钻孔瓦斯抽出率之比为 $1:1.3:1.5:1.8$ ，因此加大钻孔直径是发展趋势。

在顺槽打煤层钻孔的抽放系统，与回采工作相干扰，抽放时间不可能很长，因而影响

了瓦斯抽放量。为了延长抽放时间，德国和捷克都采用了集中抽放系统，即利用石门布置集中抽放站，向煤层打放射状钻孔。例如，捷克 2MP 煤矿、德比扬斯科煤矿和斯特利克煤矿都采用这种集中抽放系统。

钻孔密封是煤矿瓦斯抽放中一项极其重要的技术工艺，封孔质量的好坏直接影响到抽放瓦斯量和抽放率，是实现高效抽放瓦斯必不可少的重要环节。德国、日本全面推广应用聚氨酯封孔技术，德国抽放负压达 50kPa，还配备风动搅拌压注聚氨酯泵；日本抽放负压达 40kPa 以上；美国主要用水泥及其相配套的机械装置封孔；俄罗斯用橡胶圈封孔器、快干水泥与相配套的注浆罐封孔；英国用树脂及橡胶圈封孔器。

(2) 改善煤层透气性。通常采用盐酸处理和水力压裂方法以改善煤层透气性。但当采深超过 500m 时，这些方法的效果逐渐减弱。乌克兰科学院物理有机化学和煤化学研究所研究出新的药剂腐植酸钠，配合水力压裂对煤层进行处理。试验钻孔网组中钻孔间距为 15m，孔深 100~200m，孔径 150mm。水力压裂钻孔间距 60~79m。使用 2%~5% 腐植酸钠水溶液，水压 12~18MPa，可提高水力压裂效果 20%~30%。这种新药剂能更好地渗入到煤层，扩散距离达 50~60m，并有方向性地改变了煤层的结构和物理特性。试验表明，采用新药剂的综合抽放法可使抽出率提高到 60%~75%。

(3) 瓦斯抽放设备。瓦斯抽放孔钻机有旋转式和潜孔式两种。潜孔式钻机可以在不取芯的情况下调校，可以提高工作效率。钻机关键部件是钻头，特别是大直径钻头。当钻 75mm 直径钻孔时，可使用碳素合金钻头。当钻更大直径孔时，用牙轮钻头。

瓦斯泵是瓦斯抽放系统的关键设备，目前主要有三种负压瓦斯泵：喷射泵、回转式活塞泵和水环泵。喷射泵可产生负压 2.5~3.5kPa、流量 15~30m³/min，其优点是便宜、启动迅速，缺点是耗气量大、噪音大，喷射泵主要用于初期抽放阶段。回转式活塞泵应用比较普遍，可产生负压 5kPa，流量可达 120m³/min。水环泵流量与回转泵差不多，但负压更高，达 8kPa，可进行强力抽放，特别适用于困难抽放条件。德国目前新建的抽放站一般都采用水环泵。

由于各国松软煤层较多，各煤炭生产国均研制了适用于松软煤层的瓦斯抽放钻机。日本在打钻时采用双套管钻进以防止塌孔，已形成一套适用于处理易塌孔、夹钻煤层打钻的工艺措施，特别是往采空区打灭火钻效果显著。但其缺点是不易打深孔，一般只能打 20~30m。前苏联曾试验过可伸缩式钻头，以便在发生卡钻或塌孔时，能将钻具拔出。德国对松软煤层也采用双钻头钻机打钻，其工作原理与日本钻机的工作原理类似，其内外钻头旋向相反，外钻头顺时针方向回转钻进，内钻头逆时针方向采用回转冲击方式钻进。整个钻机采用双油泵，功率为 110kW。钻机钻进效果较好，但结构比较复杂、体积大、价格昂贵。

为了提高瓦斯抽放量，在不断完善综合抽放方式的基础上，均研究和采用了强化抽放瓦斯方式，研制出了强力钻机，以提高钻进速度和钻进深度。日本研究成功了在高瓦斯长壁工作面顶板打水平钻孔（800m 以上）抽放采空区瓦斯的工艺和相应的装备，单孔抽放量达 2~3m³/min，并研究应用化学封孔材料和封孔工艺，提高了钻孔密封效果。为适应抽放量增大的需要，美国、波兰正在生产和应用抽放能力为 200m³/min 以上的湿式、干式抽放泵，建立了瓦斯监测系统，实现了安全和高效抽放的目标。英国的“西屋”（Westinghouse）公司、美国 SPS 公司等进行瓦斯抽放监控的研究和应用已有 10 多年的历史，成功

研制了一些矿井瓦斯抽放监控技术和系统。

现在的一个发展趋势是装备自动化抽放系统，瓦斯泵站设有自动检测、监控及安全装置。当抽放管路中的瓦斯浓度低于规定浓度时，自动断电，停止抽放或放空。同时抽放侧、利用侧及放空管上均安装阻焰和阻爆装置。

(4) 地面抽放。在世界范围内，煤层气地面抽放始于 50 年代。美国是世界上最早开发煤层气的国家，于 1953 年在圣胡安煤田投产了第一口煤层气井，产量为 0.21 ~ 1.2 万 m³/d。70 年代末到 80 年代初，美国制定了煤层气开发计划，开始对 17 个煤田中的 13 个煤田进行全面的勘探和资源评价。其结果认为，这 13 个煤田的煤层气资源量为 11 万亿 m³，可采储量约为 2.5 万亿 m³。于是，美国开始将煤层气作为一种产业加以发展。1998 年美国已有约 8500 口煤层气井，煤层气产量超过 300 亿 m³，占美国天然气总产量的 6%，成为世界最大、最先进的煤层气生产国。

美国煤层气开发的成功，促使其它煤炭资源丰富的国家也开始进行煤层气勘探开发方面的研究和探索。特别是进入 90 年代以后，世界掀起了煤层气勘探开发的高潮。根据勘探结果和初步估算，全世界煤层气资源量达 124.8 亿 m³，其中 90% 以上的资源分布在 12 个国家，见表 1-1-1。

表 1-1-1 世界主要产煤国家的煤层气资源

国 家	煤层气资源 (万亿 m ³)	排 放 量 (亿 m ³ /a)	国 家	煤层气资源 (万亿 m ³)	排 放 量 (亿 m ³ /a)
俄罗斯	15.2	73 ~ 106	英 国	2	10 ~ 13
加拿大	22 ~ 33	—	印度尼西亚	6.0	—
中 国	30 ~ 35	80 ~ 100	印 度	4.1	—
澳大利亚	10 ~ 11	7 ~ 12	乌克兰	1	—
美 国	11	49 ~ 77	哈萨克斯坦	0.5	13
德 国	3	15 ~ 24	合 计	107.8 ~ 124.8	257 ~ 378
波 兰	3	10 ~ 24			

美国煤层气开发活动主要集中在圣胡安煤田和黑勇士煤田。1993 年，美国的煤层气产量达 200 亿 m³，其中的 120 亿 m³ 产自圣胡安煤田高产富集区的 600 口裸眼洞穴井，这一高产富集区的面积仅占圣胡安煤田的 4%。目前圣胡安煤田的煤层气占美国煤层气产量的约 80%，平均单井产量为 5.7 ~ 8.5 万 m³/d，每口井的平均投资为 40 万美元，服务年限为 10 ~ 20 年。而黑勇士煤田的煤层气年产量已超过 30 亿 m³。黑勇士煤田拥有 18 个煤层气田，其中布罗克伍德、橡树林和杉树湾气田产量占总产量的 65%。

在美国煤层气工业开采成功的鼓舞下，世界许多产煤国家都在积极进行煤层气工业化开发试验。澳大利亚 BHP 公司在鲍恩和悉尼盆地实施的煤层气开发计划中，在鲍恩盆地北部的布罗德梅多地区试验过未开采区地面钻孔煤层气开发，但由于煤层渗透性差、水力压裂成本高、效率低，使开发在经济上不可行，因此澳大利亚目前主要还是在煤矿井下抽取煤层气。

前苏联是世界上煤层气资源量最丰富的国家，由于经济等方面的原因，至今仅限于为解决煤矿安全问题而进行井下抽放。加拿大煤层气资源量占世界第二位，地面钻孔开发仍

处于勘探试验阶段，据预测，如果加拿大采取与美国一样的煤层气开发优惠政策，将会大大加快加拿大煤层气工业化开发的进程。德国煤层气资源量预计为 3 万亿 m^3 ，目前主要为保证矿井安全而从事井下煤层气抽放。德国也正在制定鲁尔煤田和萨尔煤田煤层气开发方案，鲁尔煤炭公司、鲁尔燃气公司和汉堡 Conoco 石油公司将联合开发鲁尔地区的煤层气，可行性研究正在进行之中。英国生产矿井 45% 的甲烷通过管道抽取到地面利用，1992 年开始在曼彻斯特附近地面钻煤层气开发井，接着又在威尔士钻井。英国永久资源有限公司 1994 年开始租赁土地生产煤层气。但因英国煤层渗透率低，目前正在研究低渗透率煤层开发技术。波兰下西里西亚、上西里西亚和芦布林盆地储藏着煤层气含量较高的烟煤，目前上西里西亚地区 18 座煤矿井下年抽出煤层气 9.12 亿 m^3 ，利用 2.82 亿 m^3 ；甲烷浓度一般为 57%，正计划采取措施使浓度提高到 95% 以上。波兰也正在寻求外商投资开发煤层气，美国 Amoco 波兰有限公司和 McCormick 波兰有限公司中标后正计划通过地面打钻孔开发煤层气。预计今后 5 年内，上西里西亚地区可产煤层气 50 亿 m^3 ，下西里西亚地区可产煤层气 3 亿 m^3 。

1.1.3 煤与瓦斯突出防治

(1) 煤矿突出现状。许多产煤国家都有煤矿突出事故记载。前苏联煤矿突出危险性是世界上严重的，顿涅茨克、库兹涅茨克、北曹尔斯基、卡拉干达、帕拉得扎诺斯基和萨赫里诺六个煤田有突出危险。历史上发生过多起重大突出事故，例如，1969 年 7 月 13 日顿涅茨克加里加纳矿发生突出，其突出量为 1.4 万 t 煤及 25 万 m^3CH_4 ，是世界上突出强度最大的一次。1986~1989 年期间，平均每年发生煤和瓦斯突出 56 起。近年来突出事故有所增加，平均每年自然突出 52 起，煤层内爆破作业诱发突出 222 起。

波兰煤矿突出危险性仅次于前苏联，特别是下西里西亚煤田突出频繁。1958 年 10 月 22 日，下西里西亚矿区诺瓦鲁达矿发生了一次大规模突出事故，突出物为 5000t 煤和 75 万 m^3CO_2 。在下西里西亚矿区有记录的 1534 次突出中，有 1224 次发生在诺瓦鲁达矿，占 80%。

日本北海道煤田及空知煤田有煤与瓦斯突出，每年发生十几次。1981 年 10 月 16 日晚，张新煤矿发生的一次突出事故，死亡 93 人。捷克煤矿突出也比较严重，特别是俄斯特拉发-卡尔维纳煤田，截止 1988 年底记录的突出总数为 468 次，最严重的一次突出事故是在 1981 年，突出量为 1200t 岩石、10 万 m^3CH_4 。德国煤与瓦斯突出主要发生在萨尔煤矿和伊苯比伦煤矿，平均每年十几次，突出物为煤与甲烷。其它国家如澳大利亚、加拿大、美国、比利时、英国和保加利亚等国也都发生过突出事故。世界上有 20 个主要产煤国家有煤与瓦斯突出问题。

从各国突出情况看，以煤和瓦斯突出为主，个别情况有岩石和 CO_2 突出。突出事故多发生在石门掘进揭煤时或煤巷掘进工作面。

(2) 突出预测。各国突出预测的研究，主要围绕地质因素、煤结构应力和瓦斯等方面开展实验室和现场的试验工作，进行区域性预测和日常预测，有些方法已在生产实际中使用并取得成效。计算机的应用提高了速度和精度，使突出预测更加及时和准确。

①煤结构的研究。由于地质构造运动，使突出危险煤层的突出危险区煤体结构受到破坏，这是造成危险区内物理力学性质和瓦斯动力特性发生很大变化的主要原因。因此，顿涅茨克工学院研究利用煤体的两个主要变形指标弹性模量 E 和剪切模量 G 来确定煤层突

出危险性。

这次研究对 180 个煤层进行采样，包括顿涅茨克、马凯耶夫、苏维埃和奥尔忠尼启泽等几个煤炭联合公司所属矿井 65 个突出危险煤层和 115 个无突出危险煤层。煤样纵向和横向弹性波传播速度测定是在 YK-10II 超声波检测装置上进行的，并采用专用计算机程序进行数据处理，用回归方法得出无突出危险煤层的变形指标与煤的变质程度的关系曲线，此曲线称为上限分界线。如果煤层的弹性模量和剪切模量分布在此曲线上方，则说明该煤层有突出危险。

②钻粉法。这种方法是在煤层中打一组直径为 50~150mm 钻孔，在高应力区可能造成钻进困难，并随着应力的释放，产生不成比例的大量钻屑。根据钻孔产生的钻粉量和钻粉瓦斯解吸量来判断突出倾向。

钻粉法在全世界应用得很普遍。根据波兰的研究，当钻粉瓦斯的解吸强度大于 1.18kPa，钻粉量大于 4g/L 时，认为有突出危险。这里采用 DMC-2 型或 DMC-3 型瓦斯解吸仪测量解吸量。

联邦德国对本国突出危险煤层研究得出的钻粉量临界值如下：140mm 直径钻孔为 90dm³/m，95mm 直径钻孔为 50dm³/m，50mm 直径钻孔为 6~8dm³/m。如果超过上述值，说明该区域煤层应力处于危险状态，将会发生突出。

③瓦斯泄出速度。煤层中瓦斯泄出速度是突出危险性的一个重要指标。在初步评价时通常使用 V_{30} 指数，它是按爆破后 30min 内释放的瓦斯量来确定的，以 m³/t 表示。德国的研究表明，如果 V_{30} 值达到解吸瓦斯量的 40%，则说明存在突出可能性。如果达到 60%，则表示有突出危险。

另一个流行的指数是 ΔP_{0-60} ，它是根据真空的解吸容器在开始解吸的前 60s 内汞柱的升高值 (mm) 来确定的。它反映了微裂隙或糜棱化的程度，但受煤样灰分的影响。在原联邦德国，当 ΔP_{0-60} 值超过 2kPa 时，说明该区的煤层有突出倾向。

④微震监测。在突出之前，一般是煤层及其相邻岩层出现应力重新分布，煤和岩层中出现断裂。岩层在断裂发展过程中产生微震。在微震波中，有 P 波（纵波）和 S 波（横波），但主要能量在横波。煤层中声发射的频率极宽，为 100Hz~1MHz，但微震事件频率一般为 500~2000Hz，利用传感器可以检测到微震波。

美国矿业局从 30 年代就开始了微震研究。在过去的 50 多年中，微震技术在装置、录音能力及数据分析技术方面都已取得了很大进步。近 10 年来的研究主要是在科罗拉多州荷兰沟矿、犹他州桑尼赛得矿和西弗吉尼亚州奥尔加矿，寻音探头按二维或三维布置。三维布置的优点是可确定震源的精确位置。矿业局的微震监测系统以模拟磁带记录装置为基础，可以记录 14 个通道的数据，一个磁带的录音时间为 25h。奥尔加矿于 1985 年 5 月下旬至 6 月 1 日记录到微震活动异常增加，判断将发生突出，结果于 6 月 3 日发生了大规模突出，推毁了大约 100 个煤柱。

近年来，美国矿业局试图将岩石突出自动监测系统应用于煤矿。由于煤层中信号频率很低，记录到的微震事件时间误差及对应的距离误差较大。通过适当调整信号放大倍数，在一定程度上提高了震源定位的精度，自动监测系统采用计算机，能处理 16 个地音探头的数字化信号，采样速度为 20000 个/s。这种新型煤矿微震自动监测系统 (AMMS) 于 1989 年开始在煤矿使用，将成为美国煤矿微震监测的标准设备。

英国从 1983 年开始微震监测系统的研究，并一直在辛海德里煤矿进行试验和应用。已先后在 BV15、BV24 和 BV26 等工作面进行微震监测，记录到几次突出。最近的监测工作是在 BV17 工作面，对监测系统作了一些改进，使低频响应从 50Hz 降到 15Hz。同时进行地面微震监测，试图找出井下微震活动与地面监测到的“突出型”微震活动之间的某种对应关系。

(3) 突出防治技术。在有突出危险并且瓦斯含量高的煤层，必须采用抽放方法减少煤层瓦斯含量，并使瓦斯压力值下降到临界值以下。采用安全开采方法或卸压方法，使高应力区的应力重新分布或释放，也能有效地防止突出。

①安全开采方法。当开采煤层群时，开采解放层是预防突出的最有效方法。有很多例子说明这种方法很有效。例如，英国辛海德里煤矿先开采底部煤层和有突出危险煤层，没有发生过突出，说明应力和瓦斯已成功地释放。德国伊苯比伦煤矿 53 号煤层于 1981 年 8 月 26 日发生突出（死亡 8 人），就是在底部 54 号煤层没有开采的地方。在另一些地方，53 号煤层采前先采了 54 号煤层，结果 53 号煤层的瓦斯含量减少了 90%，仅剩下 $2 \sim 3 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

前苏联顿巴斯矿区有 107 个矿井，共有 250 个为突出危险煤矿。许多矿井有近距离煤层群，缓倾斜为 2~3 层，急倾斜为 10~25 层。顿巴斯矿区多年来开采解放层的实践已形成了一套完整的措施，包括工艺性措施（准备顺序、准备方式和煤层开采方法的选择，在危险地区内预防瓦斯动力现象的区域性措施和局部措施，回采工艺的选择）、技术性措施（划定并明确在具体条件下矿山压力增高带的边界及其危险程度，在煤层内立体化开采方案，开切眼位置及相对于邻近煤层停采线的确定，煤柱回采及回采方向的选定）和组织性措施（实施有关指导和对回采工艺执行情况监督等）。最有效的措施如下：

- 选择最有效的开采程序，超前开采矿山压力增高带上部或下部煤层；
- 选择开切眼的最佳位置和回采方向，规定煤层开采时间；
- 在增高的矿山压力区内的煤层开采时采取预放顶措施，松动煤层间岩层，充填采空区；
- 与因压力生成的裂隙方向成垂直打钻孔，抽放瓦斯或注水；
- 采用不用人跟机操作的某些回采机械，如刨煤机或缩小滚筒采煤机截割宽度。

德国开采有突出危险煤层时也重视选用合适的落煤机械类型。例如伊苯比伦煤矿，突出情况也比较严重，该矿不用滚筒采煤机，认为用刨煤机比较安全，它截割的深度小，这样所开采部分为瓦斯已大部分释放的条带。在原联邦德国，有 50% 的长壁工作面使用刨煤机开采。

解放层应开采干净，不留煤柱或残煤，从而不为有突出危险的煤层创造高侧向支承压力的条件，这一点很重要。波兰新鲁达煤矿于 1978 年发生的二氧化碳突出事故，就是因为解放层未采干净造成应力集中而引起的。

②卸压钻孔。在不可能应用开采解放层方法进行大面积卸压时，常用的一种局部卸压方法是钻大直径钻孔。大直径钻孔可取得释放岩层压力和瓦斯压力的双重效果。钻孔直径越大（达 300mm），卸压效果也越好，但大直径孔煤排出时有可能诱发突出，因此最优钻孔直径要考虑现场条件。原联邦德国煤矿成功地打 $\phi 95 \sim 140 \text{ mm}$ 卸压钻孔，使工作面前方 5~10m 范围内经常处于卸压状态。法国普罗旺斯煤矿采用了经过改进的原联邦德国技术，

以 2~3m 间距向煤层打直径 95mm、长 20~25m 的钻孔。观测到明显卸压效果并在钻孔限定的空间内，诱发了小突出。

另一种方法是水力冲孔，这是我国煤矿试验成功的新措施。在打钻的同时送入一定压力的水，通过钻头的切割和水射流的打击，部分地破碎煤体，诱发小突出。在中国，水力冲孔已成为严重突出煤层的一种主要防治措施。前苏联和匈牙利一直在试验水力冲孔技术。孔的最大深度为 12m，冲出最大煤量为 5t。在进行水力冲孔时要求工作面及巷旁支架要加强，以护住煤体。

③松动爆破。在一些国家，松动爆破被认为是减少突出危险的比较有效的方法之一。它能诱发释放煤和岩体中积蓄的弹性变形能，使得在受控条件下形成尽可能多次的诱发突出。松动爆破在中国的应用比较多，工艺上不断得到改进。一般地，在孔深 8~12m 的条件下，布孔 3~5 个，松动爆破后可形成沿走向等于爆破长度，沿倾斜 7~8m 的卸压带，可以取得较好的防止突出效果。

但是，在国外松动爆破的应用趋于减少。事实上，用松动爆破导致的突出事故比用其它方法时发生的突出事故多，因此，严格地说它不能看作是防止突出的安全方法。在原联邦德国，安全开采的基本观点是宁愿避免突出而不去诱发突出。

1.1.4 上隅角瓦斯积聚治理

治理上隅角瓦斯积聚，国外采用压风引射器引排法、小型液压风机吹散法、钻孔及埋管抽放法等。80 年代以前，为防止回采工作面上隅角瓦斯积聚，前苏联、原西德、波兰等国除了加强瓦斯抽放外，主要是通过改变回采工作面通风系统，如采用 Z 型、Y 型、H 型等通风系统来维持安全生产，但是带来了开采成本增加、自然发火频率大的不利影响。

进入 90 年代后，世界先进的产煤国井工开采呈现了“一矿一井一面”的集约化趋势。通风系统也比较简单，生产成本大幅度下降。尽管其瓦斯的平均抽放率已较高，但回采工作面上隅角瓦斯积聚和超限问题仍然十分突出。以无火花风机为核心的直接引排技术，以其独特的优势，愈来愈受到各国的青睐。

波兰开发了具有阻燃、抗静电性能的工程塑料叶轮电动抽出式风机和铜铸叶轮气动抽出式风机。英国开发了软钢叶片、镶钎铜合金环、分岔流道电动抽出式风机。前苏联开发了四种动力源（气动、电动、液压和水动力）的处理局部瓦斯积聚的风机，还开发了控制进入风筒的瓦斯浓度自动调控和监测装置，浓度不超过 1.33% 的含瓦斯风流经风筒引入回风顺槽稀释。南非开发了液压马达风机，风量 $250\text{m}^3/\text{min}$ ，由 44kW 液压泵站驱动，油压 20MPa，流量 110 L/min。法国洛林矿区圣封彤煤矿（回采工作面相对瓦斯量 $75\text{m}^3/\text{t}$ ）采用了 28~48kW 电动抽出风机直接引排上隅角瓦斯，风量为 $300\sim 600\text{m}^3/\text{min}$ ，瓦斯浓度控制在 1.5%，最高为 2%。此外，德国和前苏联还开发了承压 8kPa 以上的大直径无缝柔性风筒，以适应工作面走向长、送风距离长的要求。

1.1.5 瓦斯煤尘爆炸防治

德国、美国加强对移动式隔爆棚的研究，德国已于 1989 年补充修订了原固定式安装隔爆水棚的技术规范，允许在煤矿中使用固定式和移动式两种隔爆水棚。几年的使用效果表明，移动式隔爆棚在机械化快速掘进巷道中的优点非常突出。美国在莱克林恩实验矿进行了移动式隔爆棚的隔爆试验，试验证明，它能有效隔绝瓦斯煤尘爆炸传播。但德国和美国采用的移动式隔爆棚结构方式并不相同，德国采用悬挂式，而美国采用叠式。