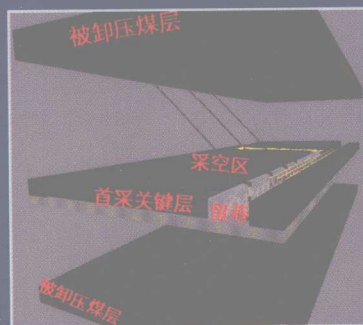


Theory and Practice of Integrated Pillarless Coal Production  
and Methane Extraction in Multiseams of Low Permeability

● Yuan liang

# 低透气性煤层群无煤柱煤与瓦斯共采理论与实践

● 袁 亮 著



煤炭工业出版社

China Coal Industry Publishing House

**Theory and Practice of Integrated Pillarless Coal Production  
and Methane Extraction in Multiseams of Low Permeability**

**低透气性煤层群无煤柱煤与瓦  
斯共采理论与实践**

袁 亮 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

低透气性煤层群无煤柱煤与瓦斯共采理论与实践/袁亮  
著. —北京: 煤炭工业出版社, 2008. 10

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3397 - 2

I. 低… II. 袁… III. ①煤层群—无煤柱开采②瓦斯  
煤层采煤法 IV. TD823. 3 TD823. 82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 149158 号

煤炭工业出版社 出版  
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)  
网址: [www.cciph.com.cn](http://www.cciph.com.cn)  
北京盛兰印刷有限公司 印刷  
新华书店北京发行所 发行

\*

开本 787mm × 1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 15<sup>1</sup>/<sub>4</sub>  
字数 354 千字 印数 1—2,500  
2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷  
社内编号 6202 定价 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

## 内 容 摘 要

本书系统地阐述了低透气性高瓦斯煤层群首采卸压层沿空留巷 Y 型通风无煤柱煤与瓦斯共采的理论及关键技术。通过对采空区边缘岩体结构变形破坏和裂隙演化规律的分析,揭示了卸压瓦斯富集区域、运移通道及渗透规律;提出了基于锚杆支护的留巷围岩控制技术;创新了充填支架、材料及泵送等充填工艺技术;系统地提出留巷钻孔法煤与瓦斯共采新技术和新方法。本书共分七章,主要包括无煤柱煤与瓦斯共采理论基础、无煤柱留巷围岩控制技术、新型巷旁充填材料与快速留巷充填工艺系统、无煤柱留巷钻孔法抽采瓦斯技术、安全保障体系、无煤柱煤与瓦斯共采工程实践。

本书可供煤炭企业的工程技术人员、相关研究单位的科技人员及院校的师生阅读、参考。

# 前 言

长期以来煤矿瓦斯事故是危及矿工生命的第一杀手。1950—2007年，全国共发生一次死亡百人以上特别重大事故23起，死亡3672人，其中瓦斯（煤尘）爆炸事故21起，死亡3441人，分别占91.3%、93.7%。因此，如何有效治理煤矿瓦斯，防止重特大瓦斯事故发生是世界性煤矿科技攻关重点。我国政府十分重视这项工作，国家发展和改革委员会、国家安全生产监督管理总局、国家煤矿安全监察局、科技部、中国煤炭工业协会等部门长期以来关心支持煤矿瓦斯事故防治，加大科技投入，加快成果转化，并成立了煤矿瓦斯治理国家工程研究中心等专门研究机构，煤矿瓦斯治理国家工程研究中心对全国45户重点监控企业的董事长、总经理、总工程师等高管人员进行专题瓦斯防治培训，成功举办了煤矿瓦斯治理与利用国际学术会议。

煤与瓦斯共采的科学采矿观日益受到关注和重视。但我国大多数高瓦斯煤矿区由于地质条件复杂，瓦斯赋存具有低压力、低渗透率、低饱和度及非均质性强的“三低一强”的特性，尤其是低渗透率和非均质性的特性，难以在采煤前直接从地面抽采瓦斯。1991年以来，先后有华北石油地质局、中国煤田地质总局、西安煤科分院、美国安然公司、德士古公司等，在安徽两淮煤田进行过煤层气勘探评价工作，共计施工14口井，采气量最大的达到 $1000\text{m}^3/\text{d}$ ，绝大多数只有几百立方米，且迅速衰减，有的基本采不出气。因此，在类似两淮矿区复杂的煤层地质条件，采用现有技术工艺，直接从地面开采煤层瓦斯在技术上有相当大的难度，无法实现“先采气后采煤”。而且，单井施工成本在500万元以上，最大采气量仅为 $42392\text{m}^3$ ，经济上不可行，毫无商业价值。

据不完全统计，我国煤矿70%以上为高瓦斯复杂地质条件，瓦斯灾害严重。淮南矿区曾是典型代表：1980—1997年发生了17起瓦斯爆炸事故，死亡392人，其中1997年11月发生两起特大瓦斯爆炸事故，死亡133人，损失惨重，企业几乎到了破产的边缘。淮南矿区煤层地质条件复杂，煤层埋藏深（400~1500m），属高瓦斯煤层群（8~15层可采煤层）。瓦斯含量高（ $12\sim 36\text{m}^3/\text{t}$ ）、煤质极松软（坚固性系数 $f$ 为0.2~0.8）、透气性低（渗透率为0.001mD）、瓦斯压力大（高达6.2MPa）。从安全开采角度看，应该先抽采瓦斯，将高瓦斯煤层转到低瓦斯状态再开采煤炭。而淮南煤层瓦斯含量高达 $36\text{m}^3/\text{t}$ ，要抽采到 $8\text{m}^3/\text{t}$ 以下，采用传统预抽方法，需抽采10~20年。煤炭是我国的主导能源且长期不可替代，必须保证均衡稳定生产与供应。淮南地处华东经济发达地区，长期以来是江浙沪长三角主要的能源供应基地，煤炭资源丰富，预测储量-1500m以上50Bt，是我国东南部最大的整装煤田，而且煤炭质量好，低硫（含硫 $< 0.5\%$ ）、低磷（含磷 $< 0.05\%$ ），是优质的动力煤。高速发展的社会经济急需大量煤炭，而煤层瓦斯仅为煤炭的伴生物，以瓦斯和煤炭均转化为电力为例， $1\text{m}^3$ 瓦斯发电3kWh，1t煤可发电3300kWh，单位煤炭提供的能量是瓦斯的1100倍以上，煤炭资源安全开采保障国家经济发展是重中之

重。2008年初南方雪灾造成煤炭供应紧张，再一次证明煤炭作为国家主导能源的重要性。因此，既要实现把高瓦斯煤层瓦斯含量抽采到 $8\text{m}^3/\text{t}$ 以下再安全开采煤炭，又要满足国家社会经济发展对能源的需求，就必须在低透气性高瓦斯煤层煤与瓦斯共采（先抽后采）理论和技术上取得突破，实现复杂地质条件高瓦斯矿区安全高效开采。

1998年以来，淮南矿区组织煤炭企业和科研院校，围绕瓦斯治理技术开展了卓有成效的科技攻关，取得了一系列行之有效的瓦斯治理办法和技术创新成果，保证了矿区安全高效生产，社会经济效益显著。原煤由 $10\text{Mt}$ 提高到近 $60\text{Mt}$ ，百万吨死亡率由 $4.01$ 降低到 $0.1$ 左右，矿区瓦斯抽采量由 $10\text{Mm}^3/\text{a}$ 提高到 $0.25\text{Bm}^3/\text{a}$ ，可利用率由 $3\%$ 提高到 $70\%$ ，淮南矿区瓦斯治理技术、管理和理念在行业内产生广泛影响，国家和煤炭行业多次在淮南召开现场会推广卸压开采抽采瓦斯技术，并在高瓦斯矿区取得了很好的效果。阳泉、晋城、淮南、松藻、盘江、水城、鸡西、淮北、宁煤、抚顺等 $10$ 个矿区抽采量均超过 $0.1\text{Bm}^3$ 。2007年，煤矿井下瓦斯抽采量 $4.4\text{Bm}^3$ ，比2004年增加 $2.6\text{Bm}^3$ ，增幅 $140\%$ 。但鉴于我国煤矿地质条件复杂、特别是在进入深部开采后，浅部成熟的依托巷道法卸压抽采瓦斯治理技术越来越难以适应深井开采布局的要求。煤与瓦斯突出威胁增加问题、软岩支护问题、采空侧小煤柱地压问题及地温问题日趋严重，复杂地质条件低透气性高瓦斯煤层矿区深部开采面临巨大的安全、技术和经济上的挑战。

本书针对国内外普遍存在的低透气性煤层瓦斯抽采和深部安全开采面临的技术难题，借鉴国内外瓦斯治理的成果，系统地对无煤柱沿空留巷条件卸压开采应力场裂隙发育分布规律，以及采动卸压瓦斯运移规律进行重点研究攻关，创新了低透气性煤层群首采关键卸压层无煤柱留巷钻孔法开采煤与瓦斯新技术，即利用首采关键卸压层，形成采动卸压作用，可几百倍甚至数千倍地增加卸压被保护煤层的透气性。根据淮南矿区煤层群开采条件，选择瓦斯威胁较小的煤层作为首采关键卸压层，沿首采面采空区边缘快速机械化构筑高强支撑体，将回采巷道保留下来，形成无煤柱连续开采，实现全面卸压开采；通过研究煤层群无煤柱开采顶底板岩层活动规律和卸压瓦斯运移特征，在留巷内布置上下向高低位抽采钻孔直达卸压瓦斯富集区域，实现连续抽采卸压瓦斯与综采工作面采煤同步推进。通过连续高效抽采上下被卸压层的瓦斯，实现了煤矿井下直接抽采卸压瓦斯的重大突破。高瓦斯煤与瓦斯突出煤层在开采前转变为低瓦斯煤层，不仅有效地消除了瓦斯灾害的威胁，且最低成本抽出的瓦斯可直接用于发电和民用。经过近 $5$ 年的研究，形成了“低透气性高瓦斯煤层群无煤柱快速留巷Y形通风煤与瓦斯共采关键技术”成果，构建以留巷钻孔替代多岩巷的抽采卸压瓦斯的煤与瓦斯共采理论和技术体系。

在本书的撰写过程中，得到了常印佛院士、钱鸣高院士、周世宁院士、宋振骥院士、洪伯潜院士、谢和平院士、彭苏萍院士等专家的指导和帮助，张农教授、程桦教授、刘泽功教授、薛俊华教授、孙道胜教授、卢平教授、涂敏教授、张景松教授、曹树祥高级工程师提出了许多有益的建议，并参加书稿相关资料的整理工作；在本课题研究过程中得到了淮南矿业集团董事长王源，总经理孔祥喜，副总经理赵干、章立清、方良才，副总工程师李佩全、李平等同志的大力支持和帮助，同时煤矿瓦斯治理国家工程研究中心、淮南矿业集团众多的工程技术人员，以及中国煤炭工业协会、中国煤炭学会、煤炭工业出版社有关

领导和同仁都从不同方面给予支持，在此一并表示感谢。

随着淮南矿区向深部的不断延伸，高瓦斯、高地压、高地温的问题将日益严重，本书只是一些阶段性成果的总结，在煤矿的安全高效开采技术上，还有许多探索性的工作要做。由于作者水平所限，书中难免出现不足之处，恳请读者提出宝贵意见。

**作 者**

2008年10月

# 目 次

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 深井高瓦斯矿井安全开采面临的技术问题 .....	5
1.3 无煤柱煤与瓦斯共采技术思路的提出 .....	10
1.4 无煤柱开采的历史及技术状况 .....	14
1.5 本书的研究内容与方法 .....	19
<b>2 无煤柱煤与瓦斯共采理论基础</b> .....	20
2.1 卸压开采覆岩移动规律 .....	20
2.2 卸压开采煤岩体中应力分布规律 .....	33
2.3 卸压开采采动裂隙演化规律 .....	40
2.4 留巷钻孔法抽采卸压瓦斯机理 .....	45
<b>3 无煤柱留巷围岩控制技术</b> .....	54
3.1 围岩结构稳定性分析 .....	54
3.2 围岩应力演化规律与巷内支护 .....	62
3.3 围岩控制技术 .....	81
<b>4 新型巷旁充填材料与快速留巷充填工艺系统</b> .....	92
4.1 新型巷旁充填材料研制 .....	92
4.2 快速留巷巷旁充填系统研制 .....	113
4.3 自移式充填支架 .....	123
<b>5 无煤柱留巷钻孔法抽采瓦斯技术</b> .....	137
5.1 中国煤层瓦斯分布特征 .....	137
5.2 抽采首采关键层采空区瓦斯技术 .....	140
5.3 抽采远程卸压煤层瓦斯技术 .....	143
5.4 留巷钻孔法抽采卸压瓦斯效果 .....	147
5.5 抽采瓦斯钻孔施工工艺 .....	151
<b>6 安全保障体系</b> .....	155
6.1 无煤柱煤与瓦斯共采适用条件 .....	155



6.2	无煤柱工作面瓦斯控制技术 .....	161
6.3	无煤柱工作面采空区防火技术 .....	172
6.4	无煤柱工作面降温技术 .....	175
6.5	无煤柱工作面留巷维控技术 .....	178
<b>7</b>	<b>无煤柱煤与瓦斯共采工程实践 .....</b>	<b>182</b>
7.1	新庄孜煤矿煤与瓦斯共采实践 .....	182
7.2	顾桥煤矿煤与瓦斯共采实践 .....	193
7.3	谢一煤矿望峰岗井煤与瓦斯共采实践 .....	210
7.4	卧龙湖矿煤与瓦斯共采实践 .....	215
	参考文献 .....	230

# 1 绪 论

## 1.1 引言

我国是世界第一产煤大国，煤炭产量占世界的 37%，煤炭作为我国的主要能源，分别占一次能源生产和消费总量的 76% 和 69%。国家《能源中长期发展规划纲要（2004—2020 年）》中已经确定，中国将“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”。显然，在相当长的时期内，煤炭作为我国的主导能源不可替代。

根据全国煤田普查预测，我国煤炭预测资源量及其埋藏深度的分布所占比例如图 1-1-1 所示。

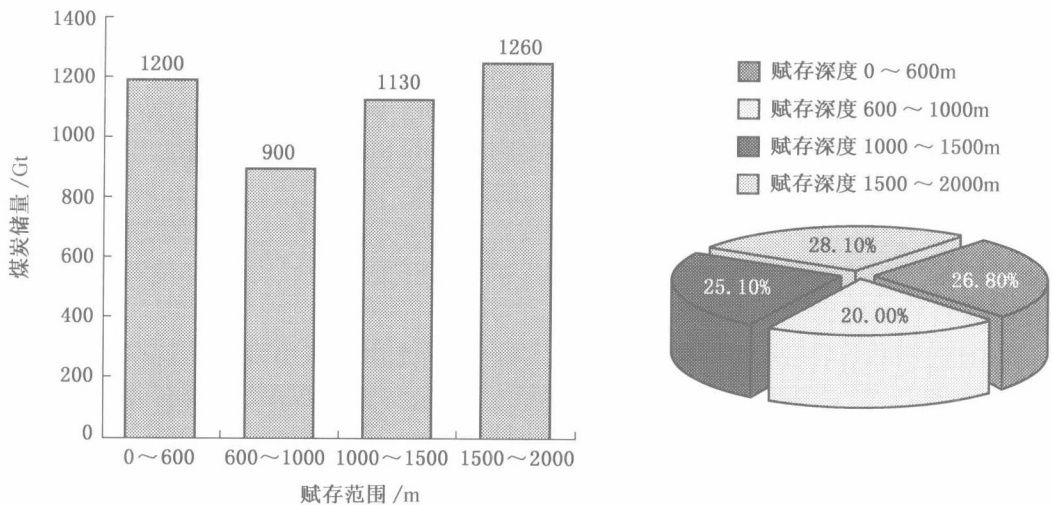


图 1-1-1 不同深度煤炭资源预测储量及比例

由图 1-1-1 可知，就我国目前达到的勘探深度而言，至地下 2km 深度处预测总资源量约为  $4.5 \times 10^3$  Bt；按粗略的估算，勘探深度平均每增加 100m，获得的煤炭预测资源量约增加 225Bt，而在 1.5~2.0km 深度范围内每增加 100m 煤炭预测资源量平均增加 250Bt；如果按目前煤矿的平均开采深度为 400m 估计，则我国地下煤炭的预测总资源量中至少还有大约 80% 的煤炭资源还没有被开发和利用。深部煤炭资源的开发将是一项长期的工作。

东部矿区是我国重要的煤炭能源基地，该区属华北石炭—二叠系含煤区，煤层厚度稳定，煤质优良（主要开采煤层含硫量多在 1% 以下），煤炭储量近十亿吨，其中淮南矿区拥有 50Bt，占东部矿区煤炭储量的 50%，占安徽省煤炭储量的 74%，有利于组织大规模

机械化开采。我国东部现已建成淮南、淮北、徐州、兖州、新汶、平顶山、永城、焦作等国有大型煤炭企业，年产煤炭近 0.2Bt，产值超过 1000 亿元。由于东部矿区位于经济发达区，东邻沿海，西接欧亚大陆桥，具有战略上的区位优势，稳定发展东部煤炭生产已成为近期我国能源规划的重点。近年来，作为国家煤矿投资重点，该区内新建和在建煤矿 10 余处，新增年生产能力 50.0Mt 以上，总投资超过 300 亿元，占全国煤矿总投资的 53% 以上。但是，我国东部矿区具有新生界覆盖层厚、煤层埋藏深、基底为奥陶系承压含水层的特点，深部资源（埋深 700m 以下）占 2/3 以上，加上长期的高强度开采，东部矿区将首先进入 1000m 以下的深部开采，目前，区内淮南新建和新开发的巨野矿区的矿井多为深井，大部分生产矿井的开采深度已达 500 ~ 1000m，淮南矿区现有的 15 对生产矿井有 12 对矿井开采深度在 700 ~ 1000m，已有 1 对矿井进入 1000m 以上采深开采。

随着开采深度的增加，煤炭的伴生资源——瓦斯（也称煤层气）含量迅速增大。据新一轮全国煤层气资源预测结果，我国煤层气资源丰富，全国 2000m 以上煤田范围内拥有的煤层气资源量为  $3.1 \times 10^{13} \text{m}^3$ ，居世界第二位，与陆上常规天然气资源量相当，是全国天然气总储量的 51.94%。东部矿区尤其如此，淮南矿区 20 世纪 90 年代以来，瓦斯涌出量以每年  $100 \text{m}^3/\text{min}$  的速度递增，瓦斯含量梯度达  $4.61 \text{m}^3/100\text{m}$  以上。

瓦斯作为一种洁净能源、应予开采和利用的科学采矿观日益受到关注和认可。它既是我国煤矿生产过程中的主要灾害源，也是一种新型的洁净能源和优质化工原料，是 21 世纪的重要接替能源之一。2006 年全国煤炭产量 2.38Bt，国有重点煤矿井下瓦斯抽放量约  $2.4 \text{Bm}^3$ 。以平均吨煤瓦斯含量  $8 \text{m}^3$  计，则每年排掉  $16.8 \text{Bm}^3$ 。近年来陆续出台的国家新的能源政策，已把瓦斯（煤层气）列为新的洁净能源。因此，开发利用瓦斯（煤层气），既可以充分利用地下资源，又可以改善矿井安全条件和提高经济效益，对缓解常规油气供应紧张状况、实施国民经济可持续发展战略、减少温室气体排放、保护环境等均具有十分重要的意义。

我国煤矿自然条件差，地质条件复杂。我国大陆是由众多小型地块多幕次汇聚形成的，主要煤田经受了多期次、多方向、强度较大的改造。造成煤田地质条件复杂，伴生灾害多。我国煤矿均为有瓦斯涌出的矿井，全国煤矿的年瓦斯涌出量在  $10 \text{Bm}^3$  以上。国有重点煤矿中，高瓦斯和突出矿井占 49.8%，煤炭产量占 42%；有煤尘爆炸危险的矿井占 87.4%；煤层具有自然发火危险的矿井占 51.3%；在这种复杂的地质条件下，我国的煤矿尤其是瓦斯矿井容易发生事故。以 2005 年数据为例，瓦斯事故起数占 12.13%，但死亡人数达到 36.5%；一次死亡 3 人以上重特大事故中，瓦斯事故占 59%；一次死亡 10 人以上特大事故中，瓦斯事故占 69%；新中国成立以来发生的 22 起一次死亡百人以上的特别重大事故中，20 起为瓦斯煤尘事故，事故起数和死亡人数分别占 91% 和 94%，瓦斯事故的危害性和危险性最大。因此，瓦斯灾害事故防治是煤矿安全工作的重中之重。

我国煤矿开采深度平均每年增加 10 ~ 20m，随采深的增加，地应力、瓦斯压力、地温也越来越高，煤矿自然灾害的威胁逐步加重，治理的难度也越来越大。煤层瓦斯压力平均每年增加 0.1 ~ 0.3MPa，瓦斯涌出量每年增加约  $1.5 \text{Bm}^3$ 。45 户重点监控企业中高瓦斯和突出矿井的比例 2005 年比 2004 年增加了 10%。淮南矿区的绝对瓦斯涌出量由 1997 年的  $473 \text{m}^3/\text{min}$  增加到 2005 年的  $1000 \text{m}^3/\text{min}$  左右，近 3 年已有 3 处矿井升级为突出矿井。此外，受冲击地压和热害威胁的矿井也急剧增多，中国已有 102 处矿井发生过不同程度的冲

击地压，并有 70 多处矿井存在热害威胁。

煤矿瓦斯灾害防治的主要目的是防止瓦斯积累，消除瓦斯突出，防治瓦斯煤尘爆炸。防止瓦斯积聚的主要技术途径是减少瓦斯向采掘空间涌出和稀释采掘空间的瓦斯浓度，其中瓦斯抽放是减少瓦斯涌出的一种最有效途径，加强矿井通风是稀释采掘空间瓦斯浓度最有效的方法。消除瓦斯突出等动力现象的主要技术途径是释放煤岩层中的瓦斯和地压。瓦斯灾害防治的辅助手段主要是控制井下火源、建立防隔爆、抑爆和个人防护体系、加强瓦斯监测。电器防爆、使用抗静电和阻燃性材料、使用煤矿许用安全爆破器材、有效防治煤层自然发火、有效控制外因火灾等措施是控制井下火源的主要途径。

随着煤炭工业的技术进步，我国的瓦斯抽放技术也得到了不断的提高和发展，我国的煤矿瓦斯抽放技术大致经历以下 4 个阶段。

(1) 高透气性煤层抽放瓦斯阶段。20 世纪 50 年代初期，在抚顺高透气性特厚煤层中首次采用井下钻孔抽放瓦斯，获得了成功，解决了抚顺矿区高瓦斯特厚煤层开采的关键技术问题。在煤层透气性远远小于抚顺煤田的其他矿区采用类似的方法抽放瓦斯时，未能取得抚顺矿区的抽放效果。

(2) 邻近层抽放瓦斯阶段。20 世纪 50 年代末，采用井下穿层钻孔抽放上邻近层瓦斯在阳泉矿区获得成功，解决了煤层群开采首采煤层工作面瓦斯涌出量大的问题，且认识到利用采动卸压作用对未开采的邻近煤层实施边采边抽，可以有效地抽出瓦斯，减少邻近层瓦斯向开采层工作面涌出。该技术在具有邻近层抽放条件的矿区得到广泛应用，取得了较好的抽放效果。

(3) 低透气性煤层强化抽放瓦斯阶段。在低透气性高瓦斯和突出煤层，采用常规钻孔抽放瓦斯技术效果不理想。为此，从 20 世纪 70 年代开始，国内试验研究了煤层中高压注水、水力压裂、水力割缝、松动爆破、大直径钻孔多种强化抽放技术；90 年代又试验研究了网格式密集布孔、预裂控制爆破、交叉布孔等抽放新技术。网格式密集布孔在煤矿得到了应用，但多数方法因存在工艺复杂、实用性差等问题，在煤矿未能得到广泛应用。

(4) 综合抽放瓦斯阶段。20 世纪 80 年代开始，随着机采、综采，尤其是放顶煤采煤技术的应用，采掘速度加快、开采强度增大，工作面瓦斯涌出量大幅度增加。为了解决高产、高效工作面瓦斯涌出问题，开始实施综合抽放瓦斯，即在时间上，将预抽、边采边抽及采空区抽放相结合；在空间上，将开采层、邻近层和围岩抽放相结合；在工艺方式上，将钻孔抽放与巷道抽放相结合、井下抽放与地面钻孔抽放相结合、常规抽放与强化抽放相结合。实施综合抽放瓦斯方法，最大限度地提高瓦斯抽放效果。

“九五”期间在平顶山矿区开展了“改善煤矿安全状况综合配套和关键技术研究”。研究了综采工作面超前强化抽放瓦斯方法及工艺设备，试验成功了 200 ~ 500m 岩石水平长钻孔抽采邻近层瓦斯，煤层水平长钻孔（250m）及预裂控制爆破强化抽采本煤层瓦斯的综合抽放技术等，使工作面瓦斯抽放率提高 20%。

“十五”期间在淮南矿区开展了“矿山重大瓦斯煤尘爆炸事故预防与监控技术研究”。在“九五”攻关的基础上，“十五”科技攻关中针对低透气性煤层抽放瓦斯难度大的问题，研究了强化抽放技术和装备。在顺层钻孔瓦斯抽放技术和水射流扩孔技术前期研究基础上，通过高压水射流理论研究、实验室试验和现场试验考查，形成了一套在顺煤层钻孔中运用高压水射流扩孔和钻扩一体化技术及装备，以及石门揭煤抽、排瓦斯钻孔扩孔的工

艺技术和方法。扩孔后钻孔直径达到 200 ~ 300mm，为扩孔前的 4.5 倍，最大孔径达 619.9mm。明显地提高了瓦斯抽放效果。

煤层群开采复杂条件下瓦斯综合防治技术是“十五”科技攻关的重点，开展了保护层作用机理的研究，针对保护层开采时，上下高瓦斯突出煤层的瓦斯集中向首采工作面涌出的特点，试验研究成功多种首采层瓦斯综合治理技术，包括被保护层底板巷道 + 上向穿层钻孔抽放瓦斯技术、煤层群多重开采下卸压层瓦斯抽放技术、首采层（保护层）顶板巷道抽放技术、保护层顶板走向钻孔抽放技术、保护层工作面采空区埋管抽放技术、保护层掘进工作面边掘边抽技术、地面钻井抽采采动区、采空区卸压瓦斯技术。这些技术保证了实际层间距 70m（相对层间距 35m）近水平煤层群的下保护层开采和 80° ~ 90° 急倾斜近距离煤层群下保护层开采关键技术的突破。这些技术在淮南矿区各矿应用后，显著提高了抽放和保护效果，使首采层瓦斯综合抽放率达到了 62%。“十五”科技攻关瓦斯综合防治技术成果多数已推广到全行业，确立了中国煤矿瓦斯治理的领先地位，并且在国际上产生了影响。

我国地面钻孔抽放瓦斯目前尚处于勘探试验阶段。20 世纪 70 年代，为了解决煤矿瓦斯灾害问题，曾在白沙、抚顺、焦作、阳泉等矿区打了 40 多个地面钻孔，采用钻孔水力压裂等措施后抽放瓦斯，取得了一些经验，但产气效果不理想，抽气成本太高。1992 年，联合国开发计划署资助我国开发煤层气，由煤炭科学研究总院西安分院承担煤层气资源评价，同时在开滦、铁法、松藻进行了示范性的地面、井下试验（美国 REI 公司负责铁法和松藻项目，GAI 公司负责开滦项目，项目已于 1998 年完成），试验结果：铁法抽采空区瓦斯的 3 个地面钻孔，两年半时间内单孔平均产气量为 747m<sup>3</sup>/d；开滦施工的 3 个地面钻孔进行采前预抽，由于水量大，最大产气量 2000m<sup>3</sup>/d，很快衰减，不适合于商业开发；松藻主要完善利用系统，冬季民用用气率达 100%。1995 年我国煤炭工业部与美国能源部签订“化石能研究与开发合作议定书”，就煤层气回收与利用领域达成合作协议；同时又同美国安然、美中能源、阿莫科、德士古等公司就淮南、淮北、三交、平顶山、晋城等矿区地面煤层气开发进行合作。1996 年，由煤炭部、地矿部和中国石油天然气总公司联合组建中联煤层气有限责任公司，从事煤层气资源的勘探、开发、输送、销售和利用，并享有对外合作专营权。1998 年 1 月中联公司与美国德士古公司合作开发淮北煤层气，预计最终投资规模达 5 亿美元；同年 6 月又与美国阿科石油公司和菲利普斯石油公司合作开发山西河东煤田煤层气；到目前已在全国 10 多个矿区施工了 100 多口井，最大产气量达 10000m<sup>3</sup>/d 以上，但 90% 以上的气井产气量小于 1000m<sup>3</sup>/d，据估算，按现有市场价格计，地面钻孔产量小于 3000m<sup>3</sup>/d 时，抽放 10 年以上方可收回投资，因此从目前试验的情况看，地面钻孔抽取效果较差，从经济价值上考量很难达到商业化开采。

中国的含煤地层一般都经历了成煤后的强烈构造运动，煤层内生裂隙系统遭到破坏，成为低透气性的高延性结构，煤层普遍具有变质程度高、渗透率低和含气饱和度低的特点，70% 以上煤层的渗透率小于  $1 \times 10^{-3}$  mD，其透气性比美国和澳大利亚低 2 ~ 3 个数量级，这使得地面钻孔完井后采气效果差，水力压裂增产效果不明显。地面钻孔有效排放半径和钻孔瓦斯流量小，衰减快，透气性最好的抚顺煤层井下水平钻孔与美国同类条件相比，钻孔影响范围仅 30 ~ 50m，而美国可达到 100m 以上。煤层的低渗透率特点，决定了我国地面开发煤层气的难度很大。虽然地面钻井开采煤层气在个别高透气性煤层的矿区

(沁水煤田) 试验取得成功, 但是我国 70% 以上矿区的煤层赋存在高地应力、高瓦斯、低透气性复杂地质条件下, 先采气后采煤技术没有突破, 采用现有煤层气开采技术难以实现国家制定的“先抽后采”安全开采方针和“煤与瓦斯共采”能源战略。

实践表明, 一旦煤层开采引起岩层移动, 即使是渗透率很低的煤层, 其渗透率也将增大数十倍至数百倍, 为瓦斯运移和抽放创造了条件。我国煤层的主要特点是地质构造复杂、煤层群开采, 煤层透气性低、瓦斯含量高、煤层突出危险严重, 我国的煤层赋存条件决定了我国的瓦斯抽采应以卸压抽采为主, 瓦斯抽采的重点应放在井下, 利用井下的采掘巷道, 通过采矿活动引起的采动影响, 卸压增透, 用抽采钻孔和各种有效配套技术强化卸压煤层的瓦斯抽采。因此若在开采时形成采煤和采瓦斯两个既相对独立又相互依赖的完整系统, 即形成“煤与瓦斯共采”的开采体系, 则不仅有益矿井的安全, 而且实现了在采煤的同时采出了洁净的瓦斯能源。因此必须创新设计理念, 实现安全高效开采在矿井设计理念和技术的突破, 寻求科学的深部开采技术难题的解决方法, 创新煤与瓦斯共采技术, 在开采煤炭的同时, 利用采矿技术的基本原理将瓦斯安全高效地开采出来, 是我国煤炭和瓦斯资源开发的一条重要途径。

## 1.2 深井高瓦斯矿井安全开采面临的技术问题

深部资源开采已成为国内外采矿工程界一个十分重要的研究课题。1983 年, 原苏联的权威学者就提出对超过 1600m 的深(煤) 矿井开采进行专题研究。原西德还建立了特大型模拟试验台, 专门对 1600m 深矿井的三维矿压进行了模拟试验研究。1989 年岩石力学学会曾在法国专门召开“深部岩石力学”问题国际会议, 并出版了相关的专著。近 20 年来, 国内外学者在岩爆预测、软岩大变形机制、隧道涌水量预测及岩爆防治措施、软岩防治措施以及深部矿井的瓦斯灾害治理等各方面进行了深入的研究, 取得了一些成绩。一些深井开采的国家, 如美国、加拿大、澳大利亚、南非、波兰、俄罗斯等, 其政府、工业部门和研究机构密切配合, 集中人力和财力紧密结合深部开采相关理论和技术开展基础问题的研究。南非政府、大学与工业部门密切配合, 从 1998 年 7 月开始启动了一个“deep-mine”的研究计划, 旨在解决深部金矿安全、经济开采所需解决的一些关键问题。加拿大联邦和省政府及采矿工业部门合作开展了为期 10 年的 2 个深井研究计划, 在微震与岩爆的统计预报方面的计算机模型研究, 以及针对岩爆潜在区的支护体系和岩爆危险评估等进行了卓有成效的探讨。美国 Idaho 大学、密西根工业大学及西南研究院就此展开了深井开采研究, 西澳大利亚大学在深井开采方面也进行了大量工作。

我国 20 世纪 80 年代末也开始了深部开采方面的研究, 一些高校和科研院所对深部开采的理论和进行了一些研究, 并取得了不少研究成果。在软岩支护、岩爆防治、超前探测、信息化施工等方面, 隧道工程部门、煤炭科学研究总院、中国矿业大学、中南大学、东北大学、重庆大学、同济大学、西南交通大学、安徽理工大学等进行了大量的研究和实践, 积累了丰富的实践经验, 且具有开展相关研究的基础与条件。

淮南煤田所含煤地层为石炭二迭系, 其中二迭系山西组、石盒子组为主要含煤地层, 可采煤层段煤系厚 340m 左右, 共含有可采煤层 9~18 层, 可采煤层总厚度 25~34m, 平均 30m。C<sub>13-1</sub>、B<sub>11-2</sub>、B<sub>8</sub>、B<sub>6</sub>、B<sub>4</sub>、A<sub>1</sub> 等煤层为主采煤层, 单层厚度一般为 2~6m, 主采煤层的总厚度占可采煤层总厚度的 70% 左右。矿区地质条件复杂, 煤层倾角变化大

( $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ )，开采范围内已探明的落差 5m 以上断层 1900 余条，平均每平方千米 1.1 条。地质构造与瓦斯赋存密切相关，大的构造往往控制瓦斯赋存状况的分布，多数瓦斯事故与地质构造有关。

淮南矿区煤层赋存为高瓦斯煤层群（9 ~ 18 层可采煤层），煤层赋存的地质条件极为复杂，煤层瓦斯含量高（ $12 \sim 36\text{m}^3/\text{t}$ ），煤体极松软（坚固性系数  $f$  为  $0.2 \sim 0.8$ ），煤层透气性低（渗透率为  $0.001\text{mD}$ ），煤层瓦斯压力大（高达  $6.2\text{MPa}$ ），主采煤层  $C_{13}$ 、 $B_{11}$ 、 $B_8$ 、 $B_4$  均为强突出煤层。随着逐步向深部开采，矿井开采深度将以每年 20m 以上的速度下延，矿区瓦斯涌出量将以每年  $100\text{m}^3/\text{min}$  的幅度递增，预计 2010 年将达到  $1500\text{m}^3/\text{min}$  以上。目前，淮南区内新建矿井多为深井开发，首采区多在距地表 800m 以下深度；大部分生产矿井的开采深度已达  $-700 \sim -1000\text{m}$ ，且开采深度正以每年  $20 \sim 25\text{m}$  的速度增加。由于过去对深部地质条件下开采技术的研究较少，未来 10 年淮南煤矿深部开采的难题将越来越突出。

### 1.2.1 瓦斯含量和突出威胁显著增加，治理难度加大

煤矿瓦斯治理是世界性难题，美国、英国、德国、俄罗斯等国家多次发生瓦斯爆炸事故。由于对井下瓦斯场、应力场、构造场规律没有完全把握，像淮南这样高瓦斯、高地压、高地温的煤矿，美国、澳大利亚都不开采了，欧洲也在收缩。

淮南矿区现有生产矿井开采深度进入  $-600\text{m}$  后，煤层瓦斯含量及煤与瓦斯突出危险性显著增加，瓦斯升级迅速，所有矿井全面升级为煤与瓦斯突出危险矿井。2005 年新庄孜矿 66108 掘进工作面及 2006 年望峰岗矿井筒揭煤时相继发生煤与瓦斯突出事故，造成人员伤亡，新庄孜矿、丁集矿发生工作面煤壁的整体位移，伴随大量瓦斯涌出，造成瓦斯积聚，险些酿成事故。试验矿井望峰岗矿井田  $-860\text{m}$  水平  $B_{11b}$  煤层实测最大瓦斯压力为  $6.2\text{MPa}$ 。随着矿井开采水平的不断延深，煤与瓦斯突出危险性愈加严重。瓦斯升级给矿井的设计和安全生产管理造成极大困难，深部煤层防治煤与瓦斯突出为深井开采技术难题之首。

深部开采瓦斯的不断升级，传统的通风方式无法解决深部采煤工作面上隅角瓦斯超限问题。随着开采深度的增加，高瓦斯采煤工作面的瓦斯涌出量显著增大，尤其是煤层群卸压开采时，首采工作面瓦斯涌出量达  $90 \sim 120\text{m}^3/\text{min}$ ，邻近层的瓦斯涌出比例通常超过 60%。目前我国采煤工作面大多采用 U 形通风系统（图 1-2-1），其优点是系统简单、

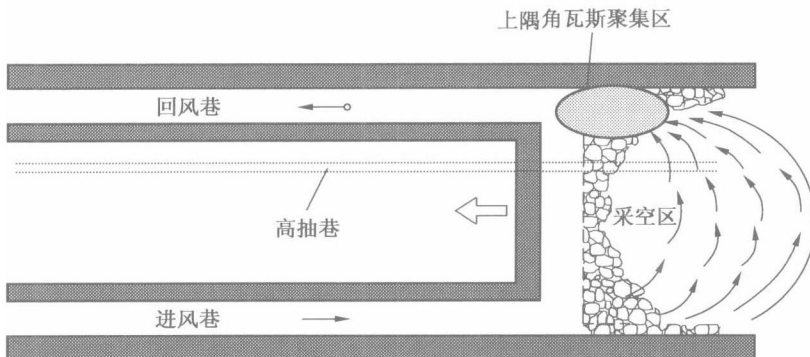


图 1-2-1 U 形通风工作面通风系统示意图

经济，适于采空区瓦斯涌出量不大的工作面，缺点是高浓度瓦斯集中汇流于采煤工作面上隅角，产生瓦斯浓度超限危险区。U形通风系统主要存在以下问题：①对采空区瓦斯涌出比例较大的采煤工作面，采空区积存大量高浓度瓦斯；②高瓦斯采煤工作面供风量大，上、下端口压差大，采空区漏风量大（约20%）；③采空区漏风在上隅角汇集，上隅角瓦斯聚集无法从根本上解决；④工作面系统通风路线长、风阻高；⑤U形通风方式即使加上高位钻孔或高抽巷抽采采空区瓦斯，但上隅角仍然存在瓦斯积聚问题，瓦斯时常超限。

浅部治理措施不适于深部或实施困难。首先，高位钻孔或高抽巷抽采措施及煤层钻孔措施已不能满足深部高瓦斯涌出量工作面和强突出煤层消突的需求，开采层的高位钻孔或高抽巷抽采只能解决涌出量 $50 \sim 60\text{m}^3/\text{min}$ 的工作面瓦斯，强突出煤层直接施工钻孔引发的喷孔和突出已严重威胁施工人员的生命安全；其次，卸压开采消突技术是实现淮南矿区安全高效开采的关键，近年来，淮南矿区通过保护层卸压开采配合卸压瓦斯抽采方法，基本消除了突出煤层的煤与瓦斯突出事故的发生，但是，由于受地质条件和技术因素的影响，卸压层留设煤柱和断层岩柱造成了被保护层部分区域的应力集中，近年发生的煤与瓦斯突出和动力现象都是在采动影响应力集中区发生的，深部突出煤层的突出危险性更大，采掘布置及开采应尽量避免采动应力集中；再次，在浅部以巷道或巷道+穿层钻孔抽采（简称巷道钻孔法）卸压瓦斯的成功经验，以及突出煤层“一面四巷”（煤层巷道开掘前先布置两条岩巷）预抽瓦斯消突的有效措施，均需要提前准备大量的岩巷和钻孔工程。进入深部后，由于高地压的影响，巷道开掘成本高、掘进速度低且维护困难，在采掘接替时间安排上难以实现，在社会经济效益上也与安全高效开采不相适应。

淮南矿区历史上也是瓦斯灾害频繁发生的重灾区，经过十多年的探索，淮南矿业集团首先创立了“煤与瓦斯共采”、“卸压开采”等理论，提出了“瓦斯治理理念二十种”，总结出“瓦斯治理经验五十条”、“瓦斯治理技术五十种”。变传统的被动抽排瓦斯为主动抽采瓦斯，变局部治理为区域性井上下立体抽采治理。通过疏导卸压提前释放瓦斯压力，使煤层变性，由高瓦斯状态变为低瓦斯状态后进行开采，实现本质安全开采。承担了“十五”国家重点科技攻关“矿山重大瓦斯煤尘爆炸事故预防与控制技术”等瓦斯防治高新技术研发课题，研发了一整套巷道法卸压开采抽采瓦斯技术，如：“低透气性高瓦斯软厚煤层远程卸压瓦斯抽放技术”、“煤层群多重上保护层防突开采技术”、“开采煤层顶板瓦斯抽放技术”、“高瓦斯煤层巷道边抽边掘抽放瓦斯技术”、“地面钻井抽采采动区、采空区卸压瓦斯技术”等，多数已推广到全行业，确立了我国瓦斯治理领先地位，并且在国际上产生了影响。

顾桥、望峰岗矿井分别被国家确定为高瓦斯、高地压、高地温治理示范矿井和深井开采试验矿井。淮南矿业集团建有煤矿瓦斯治理国家工程研究中心，这是我国煤炭行业唯一的以企业为平台的工程中心，担负着为行业瓦斯治理出技术、出标准规范和技术培训任务。

近10年来，重特大瓦斯事故得到有效控制，百万吨死亡率逐年下降。从1998年到2007年，瓦斯抽采量由 $22.6\text{Mm}^3$ 增加到 $0.19\text{Bm}^3$ ，瓦斯抽采率由9.7%增加到45%，煤炭产量由 $11.02\text{Mt}$ 增加到 $42.03\text{Mt}$ ，百万吨死亡率由4.01人降到0.18。

以上技术已成功解决淮南矿区-700m以上浅开采深度的瓦斯治理问题，但随着开采深度增加，煤层瓦斯含量迅速增大，瓦斯涌出量明显增大，矿区已达 $820\text{m}^3/\text{min}$ ，煤与瓦斯突出危险日趋严重，现有15对生产和在建矿井，全部为煤与瓦斯突出矿井。面对涌现



出来的一系列新问题，现有的瓦斯灾害防治技术、安全规程和技术标准不能解决深井开采的瓦斯灾害防治问题，急需研究适应深井开采治理煤与瓦斯突出、瓦斯抽采的关键技术，并制订新的技术标准（图 1-2-2）。

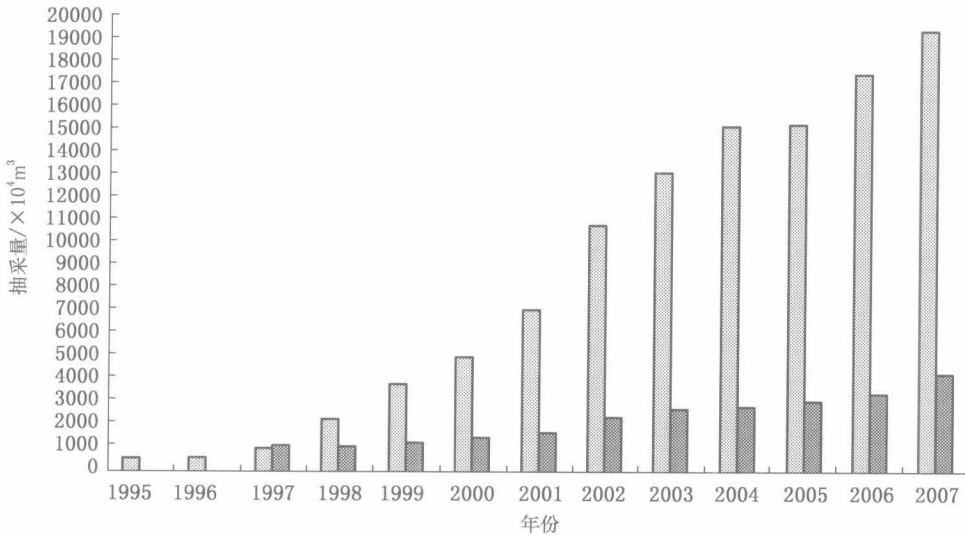


图 1-2-2 淮南矿区瓦斯抽采量统计图

### 1.2.2 巷道矿压显现剧烈，支护难度剧增

深部瓦斯治理需要大量的岩巷工程，但深部岩巷的掘进和支护制约作用日益突出。淮南矿区地质条件复杂，断层构造多，水平地应力大，实测 -820m 水平的最大主应力为 26.8MPa，软岩遇水膨胀，岩层松软破碎，裂隙发育，属于典型的软岩矿区，软岩和煤巷支护难度很大。围岩刚开挖出来时较为坚硬，不久即风化变软。不少岩层富含水，个别矿钻孔涌水量可达 7~8m<sup>3</sup>/h。随着开采深度的加大，地压显现更为严重，支护难度日益增大。某些巷道采用架棚和砌碛支护，3 个月就压坏了；有的巷道采用 29U 型钢支护，代价高而效果亦不理想。近几年软岩巷道采用锚注（注浆锚杆）支护，效果较好，但也存在许多问题。比如如何选择注浆参数，漏浆封堵，遇泥岩注不进浆、支护成本高等。极易离层复合顶板煤巷采用高性能预拉力锚杆支护技术也取得重大突破，但是进入 -700m 以下后，软岩的各种软弱性表现得更加剧烈，围岩的自稳性能进一步减弱、流变显著，变形周期缩短。

按照目前的开拓布局及采掘接替方式，必然存在沿采空区边缘布置的大量巷道，这一类巷道在深部煤巷支护中问题特别突出。通常的布置方式是在相对较小的开采深度中经常采用留一定煤柱沿稳定采空区边缘掘进巷道，在稳定顶板、中等强度煤层内一般能够取得成功；进入深部以后小煤柱沿空掘巷围岩虽然处于应力低值区，但由于煤柱松软破碎，承载能力很低，在工作面采动影响时，上覆基本顶岩层三角块结构旋转下沉，塑性区、破碎区迅速扩展，导致巷道变形剧烈，变形量通常以米计算，仍然是极难维护的一类巷道。增加煤柱宽度，可以提高煤柱的整体性和承载能力，但是围岩应力也随之迅速增加，深部的