

全国煤矿安全培训统编教材

矿井瓦斯防治

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

A类

中国矿业大学出版社

全国煤矿安全培训统编教材

矿 井 瓦 斯 防 治

(A类)

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

编写 吴 兵 郭德勇 张训涛

审核 陈国新 秦宪礼 陈东科

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了煤矿瓦斯防治的基本内容,主要包括煤矿瓦斯的基础知识、瓦斯爆炸防治、瓦斯突出防治、瓦斯抽放技术和瓦斯事故的勘察。

本书是煤矿企业局矿长、区队长、工程技术管理人员、技术人员、安全检查员及煤矿安全监察人员安全上岗培训统编教材,也可供其他相关人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿井瓦斯防治/吴兵,郭德勇,张训涛编. —徐州:

中国矿业大学出版社,2002.4

全国煤矿安全培训统编教材

ISBN 7-81070-490-7

I. 矿... II. ①吴...②郭...③张... III. 煤矿—
瓦斯—防治—技术培训—教材 IV. TP3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 095281 号

书 名 矿井瓦斯防治

编 写 吴兵 郭德勇 张训涛

责任编辑 陈贵仁

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)

印 刷 北京科技印刷厂

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 5.875 字数 151 千字

版次印次 2002 年 4 月第 1 版 2002 年 4 月第 1 次印刷

印 数 5000 册

两册定价 18.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

全国煤矿安全培训统编教材编审委员会

总顾问	路德信			
主 任	黄玉治			
副主任	周心权	闫永顺		
委 员	王树鹤	付建华	梁嘉琨	石少华
	李文俊	安里千	段 刚	陈国新
	蔡 卫	徐景德	王金石	王素锋
	瓮立平			

出版说明

搞好煤矿安全生产是保护国家财产和人民群众生命安全的一件大事，它关系到国民经济的发展和社会的稳定。随着我国社会主义市场经济体制的发展，煤炭工业面临着良好的发展机遇，煤炭企业正在向高产、低耗、安全和集约化生产方向发展。但是，煤炭企业安全生产形势仍较为严峻：一方面，煤矿开采水平正在不断加深，生产条件更加复杂化；另一方面，一些煤炭企业仍然存在着盲目追求最大经济效益、不重视安全生产的行为。因此，依法加强对煤矿企业安全生产的监察，通过培训全面提高煤矿企业从业人员的安全素质，是非常必要的。

为了适应我国煤炭工业管理体制改革的需要，国务院于1999年成立了国家煤矿安全监察局，建立了新的煤矿安全监察管理体制。国务院批准的《煤矿安全监察管理体制改革的实施方案》中，赋予国家煤矿安全监察局“组织、指导煤炭企业安全生产技术培训工作，负责煤炭企业主要经营管理者安全资格认证工作”的职能。2000年经国务院批准，又成立了国家安全生产监督管理局，国家煤矿安全监察局与其合署办公。国务院批准的《国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）职能配置、内设机构和人员编制规定》中，赋予国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）“组织、指导本系统安全生产监察人员、煤矿安全监察人员的培训、考核和全国企业安全生产技术培训工作；依法组织、指导并监督特种作业人员的考核工作和企业经营管理者安全资格考核工作”的职能。

为了履行好国务院赋予我们的有关安全培训方面的职能，规范煤矿安全生产技术培训工作，保证培训质量，在总结安全培训工作

经验，借鉴国外发达国家矿山安全培训课程体系的基础上，国家煤矿安全监察局人事培训司组织有关高校、安全技术培训中心和煤炭企业等单位的教授、专家和安全工程技术人员编写了这套模块式“全国煤矿安全培训统编教材”。这套教材不仅反映了传统的煤矿安全生产技术知识，也引进了成熟的煤矿安全生产新知识、新技术，并且针对培训对象的工作类别、专业和文化程度的不同，就其撰写文体、内容深度和广度的差异分为 A、B 两类。A 类教材内容较深，强调内容的科学性、新颖性和实用性，主要适用于国家煤矿安全监察人员、从事煤矿安全培训的教师、煤炭企业主要经营管理者及安全专职管理人员、区（队）长等；B 类教材内容较浅，强调内容的实用性，主要适用于班（组）长、各种作业人员（含特种作业人员）、企业安全检查员等。模块式教材避免了不同工种系列的同一课程教材内容的重复，便于选择较合适的作者重点撰写，内容覆盖面广，融科学性、实用性、系统性于一体，是对各类煤矿安全人员进行安全资格培训（复训）和考核的统编教材，也是各类煤矿安全人员上岗后不断巩固、提高安全生产知识的工具书，同时，也可供有关管理人员、工程技术人员及大专院校的师生参考。

本套教材在编审过程中，得到了中国矿业大学（北京校区）、华北科技学院、焦作工学院、黑龙江科技学院，有关省级煤矿安全监察局、煤矿安全技术培训中心、煤炭企业等单位的大力支持。在此，谨向上述单位表示谢意。

本书共五章。其中，第一章、第二章和第五章第三、四节由吴兵编写，第三章、第五章第一、二节由郭德勇编写，第四章由张训涛编写。全书由陈国新、秦宪礼、陈东科审定。

国家煤矿安全监察局人事培训司

2002 年 2 月

目 录

第一章 矿井瓦斯基础知识	(1)
第一节 瓦斯的性质	(1)
第二节 煤矿井下瓦斯的存在	(4)
第三节 开采过程中瓦斯的运动	(17)
思考题	(36)
第二章 瓦斯爆炸及其防治	(38)
第一节 瓦斯爆炸的条件	(38)
第二节 影响瓦斯爆炸发生的因素	(42)
第三节 煤矿井下瓦斯爆炸的过程及危害	(49)
第四节 瓦斯爆炸事故防治	(54)
第五节 防止灾害扩大的措施	(72)
思考题	(75)
第三章 煤与瓦斯突出及其防治	(76)
第一节 煤与瓦斯突出机理	(76)
第二节 煤与瓦斯突出的特征及分布规律	(83)
第三节 煤与瓦斯突出预测	(90)
第四节 煤与瓦斯突出防治	(98)
思考题	(115)
第四章 矿井瓦斯抽放	(116)
第一节 瓦斯抽放必要性的判断	(116)
第二节 瓦斯抽放基本参数	(117)
第三节 瓦斯抽放方法	(120)
第四节 瓦斯抽放设备	(141)

思考题	(149)
第五章 瓦斯事故勘查分析技术	(150)
第一节 煤与瓦斯突出事故处理的基本方法	(150)
第二节 煤与瓦斯突出事故案例分析	(155)
第三节 瓦斯爆炸事故的调查和特征	(159)
第四节 瓦斯爆炸事故勘察技术及案例分析	(163)
思考题	(176)
参考文献	(177)

第一章 矿井瓦斯基础知识

在煤矿生产过程中,伴随着生产的进行,瓦斯涌出到生产空间,对井下生产构成威胁。瓦斯,不论其涌出量的多少,一直是矿井生产最主要的一个危险源,瓦斯灾害的治理就成为矿井最根本的、最重要的任务。本章介绍煤矿井下瓦斯灾害治理的一些基本知识,包括瓦斯的基本特性以及瓦斯在煤矿井下的赋存、运动规律。

第一节 瓦斯的性质

一、瓦斯的定义

瓦斯是指矿井中主要由煤层气构成的以甲烷为主的有害气体,有时单独指甲烷。由此可见,瓦斯指的是一种混合气体,其组分主要包括井下煤层中含有的所有的有毒有害气体。在瓦斯的各组分中,由煤体及巷道围岩涌出的甲烷往往占总量的90%以上,因此,瓦斯的定义通常单独指甲烷(本书中如不特别指明,则瓦斯单独指甲烷)。

从广义上,瓦斯由于其组成成分的不同,性质具有很大的差别。从安全的角度可以将这些组分划分为四类:①可燃性气体,如甲烷等同系烷烃(C_nH_{2n+2})、环烷烃(C_nH_{2n})、 H_2 、 CO 、 H_2S 等等,这些气体具有可燃燃烧的特性,在一定浓度范围内与空气的混合气体往往具有爆炸性,对煤矿安全构成严重威胁;②有毒性气体,如 H_2S 、 CO 、 SO_2 、 NH_3 、 NO 、 NO_2 等等,这些气体达到一定的浓度时,会直接威胁人体的健康甚至生命;③窒息性气体,如 N_2 、 CH_4 、 CO_2 、 H_2 等等,这些气体往往赋存在煤体或其围岩

内, 开采过程中大量涌出到生产空间, 从而使空气中氧气的浓度降低, 造成人员窒息; ④ 放射性气体, 如氡气。

矿井中的瓦斯主要来源于煤层及围岩内涌出到矿井中的气体。此外, 矿井生产中产生的气体如放炮产生的炮烟, 井下空气与煤、岩、矿用材料等反应生成的气体以及井下人员呼吸生成的气体等也都混入井下风流中, 从而增加回风流中的瓦斯浓度。

二、瓦斯的基本性质

瓦斯是无色、无味的气体, 标准状态下密度为 0.716 kg/m^3 , 为空气密度的 0.554 倍。瓦斯在空气中具有较强的扩散性, 局部地点较高浓度的瓦斯会自动向低浓度的区域扩散, 从而使瓦斯浓度趋于均匀。瓦斯的扩散过程是不可逆的, 在煤矿井下巷道中, 风流流动一般处于紊流状态, 由煤壁等处涌出的瓦斯很容易与空气均匀混合。因此, 在风量充足的巷道中, 瓦斯的分布通常是均匀的。

在无风或微风的巷道, 一方面涌出的瓦斯会挤占空气的空间, 使空气中氧气浓度下降, 从而使空气具有窒息性。当混合气体中瓦斯的浓度达到 43% 时, 空气中氧的浓度降低到 12%, 人在此环境下会感到呼吸短促, 时间稍长就会昏迷并有死亡危险。另一方面, 涌出的瓦斯只依赖扩散作用与空气混合, 在涌出源附近它首先会上升并积聚在巷道的顶板上, 形成瓦斯层, 随着距涌出源距离的增加, 瓦斯与空气混合才逐渐均匀。因此, 测定风流中的瓦斯浓度通常要求在距离巷道顶板一定距离上测定, 以防止测得数据不能真实反映巷道中瓦斯积聚的状况。

瓦斯的化学性质不活泼, 微溶于水, 在标准大气压下, 20°C 时 100 L 水可溶 3.31 L 瓦斯。

三、瓦斯的燃烧爆炸性

瓦斯是一种可燃性气体, 当其在空气中的浓度达到某一范围时, 遇适当的点火源就会发生爆炸。按瓦斯在空气中发生燃烧的状态不同, 可以将它分为三个区间: ① 助燃区间, 瓦斯浓度大于 0% 至小于爆炸下限 (5%)。该区间内, 瓦斯在点燃源附近发生氧化燃

烧反应，但不能形成持续的火焰，只能起到助燃的作用。② 爆炸区间，瓦斯浓度在爆炸界限内（5%~16%）。该区间内的瓦斯遇一定能量的点火源会形成可自动加速的燃烧锋面，该锋面在瓦斯—空气混合气体内加速传播从而形成强烈的爆炸。③ 扩散燃烧区间，瓦斯浓度大于爆炸上限（16%）。该区域内瓦斯—空气的混合气体无法直接被点燃，但是，当其与新鲜空气混合时，可以在混合界面上被点燃并形成稳定的火焰，称为扩散燃烧。

对煤矿井下安全威胁最大的是爆炸区间，局部区域的瞬间爆炸可以对井下的人员和设施造成很大的伤害和破坏，由此引发的煤尘爆炸、火灾及通风系统紊乱等又会使事故进一步扩大，造成更大的损失。瓦斯的扩散燃烧是煤矿最危险的事故，因为存在高浓度的瓦斯源和火源，这时如果处理不当（如随意停风、减少风量等），火源的燃烧虽然熄灭，但高浓度的瓦斯与空气混合很容易使混合气体达到爆炸界限，一旦遇残余的火星就会引起爆炸。因此，对煤矿井下瓦斯燃烧事故，在处理时应格外小心。

四、瓦斯的检测

瓦斯是无色、无味的气体，人体的感觉器官无法感知瓦斯的的存在。在一些矿井有的老工人称可以闻到瓦斯的气味，这是错误的。井下煤层中有时赋存有微量的芳香烃气体，当其散发到空气中就会闻到一种清新或清香的气味，但这与空气中的瓦斯无关，不能反应瓦斯浓度的大小。空气中的瓦斯只能依靠检测仪器来测定。

瓦斯是伴随着煤的生成而产生的，所有煤矿在生产过程中都有瓦斯涌出，因此，所有的生产矿井都必须配备检测瓦斯的仪器，对井下的瓦斯状况进行监测。当前，检测瓦斯的仪器种类很多，这些仪器多以正常生产环境为仪器的使用条件，在煤矿处于非正常状态或灾变状态时，应注意各类仪器的使用条件。例如光学甲烷检测仪，在装备有二氧化碳过滤器时，它可以分别检测出 CO_2 和 CH_4 的浓度。但是，在任何条件下，它都无法分辨 CH_4 与 CO 、 H_2 、 C_2H_4 及其他烯炔类气体，而只能测定其混合物的影响。由此可见，

当空气中 CO 、 H_2 及其他烯炔类气体浓度较高时, 检测仪所获得的读数就不能反映 CH_4 的真实情况。

第二节 煤矿井下瓦斯的存

煤矿井下的瓦斯存在于两种介质中, 一是赋存在煤(岩)层中, 二是散布在井下空气中。这两种存在形式各有其不同的特点。

一、瓦斯在煤层中的赋存

煤并不是致密的, 而是一种多孔性固体。煤体中分布着大量的各种直径的孔, 瓦斯就赋存在这些孔洞中。按瓦斯在煤体中的赋存和运动, 可以把煤中的孔隙分为五类, 即: ① 微孔, 直径小于 10^{-5}mm , 它构成煤的吸附空间。② 小孔, 直径在 $10^{-5}\text{mm} \sim 10^{-4}\text{mm}$, 是瓦斯凝结和扩散的空间。③ 中孔, 直径在 $10^{-4}\text{mm} \sim 10^{-3}\text{mm}$, 它构成瓦斯层流渗流的空间。④ 大孔, 直径在 $10^{-3}\text{mm} \sim 10^{-1}\text{mm}$, 构成强烈层流渗流的空间。⑤ 可见孔和裂隙, 直径大于 10^{-1}mm , 它构成层流及紊流混合渗流空间。煤体中孔隙的多少以孔隙率表示, 它是指单位质量或体积的煤中总孔隙所占的体积, 一般用 k 表示单位质量的孔隙率, 单位 m^3/t , 用 k_v 表示单位体积的孔隙率, 单位 m^3/m^3 或 %。表 1—1 列出了俄罗斯顿巴斯矿区不同变质程度煤的孔隙率。由表可以看出, 同一类煤的孔隙率变化范围很大, 但从平均值看, 中等变质程度的煤孔隙率最小。

瓦斯在一定的压力下以游离和吸附两种状态赋存在煤体中。游离瓦斯存在于煤的孔隙和裂隙中, 吸附瓦斯积聚在孔隙壁面上。游离瓦斯和吸附瓦斯处于动态平衡状态, 即吸附的瓦斯分子和游离的瓦斯分子处于不断的交换之中。

煤对瓦斯的吸附属于物理吸附。当气体分子碰到煤表面时, 其中一部分就被吸附, 并释放出吸附热。被吸附的分子, 当其热运动的动能足以克服吸附引力时, 就脱离煤壁, 重新回到气相, 这一过程称为解吸。

表 1—1 各种种类煤的孔隙率

煤的种类	孔隙率/ $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$		煤的种类	孔隙率/ $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$	
	变化范围	平均值		变化范围	平均值
长焰煤	0.073~0.091	0.084	瘦煤	0.028~0.065	0.045
气煤	0.028~0.080	0.053	贫煤	0.034~0.084	0.055
肥煤	0.026~0.078	0.051	半无烟煤	0.041~0.094	0.065
焦煤	0.021~0.068	0.045	无烟煤	0.055~0.136	0.088

煤体中大量的孔隙对瓦斯具有很强的吸附能力。在一些高瓦斯含量的煤层中，煤中含有的瓦斯体积可以达到煤本身体积的 30~40 倍。煤吸附瓦斯的特性可以用煤在某一固定温度下吸附瓦斯量随瓦斯压力变化的曲线表示，该曲线称为吸附等温线。大量的吸附试验表明，吸附等温线符合朗格缪尔方程：

$$X_0 = \frac{abp}{1 + bp} \quad (1-1)$$

式中 X_0 ——在某温度下，瓦斯压力为 p 时单位质量（或体积）纯煤（除去水和灰分）吸附的瓦斯量， m^3/t （或 m^3/m^3 ）；

a ——吸附常数，表示纯煤的极限吸附量， m^3/t ，一般为 15~55；

b ——吸附常数， MPa^{-1} ，一般为 0.5~5.0；

p ——瓦斯压力， MPa 。

图 1—1 给出抚顺煤科院试验测定的几条煤吸附等温线。由图可见，在一定温度下，瓦斯压力的升高煤吸附瓦斯量将大幅度增加。

在煤矿开采过程中，游离的瓦斯首先放散到开采空间，使得靠近开采空间的煤层中瓦斯压力降低、游离瓦斯量减少，这时，煤中吸附的瓦斯就解吸出来，成为新的游离态瓦斯。这一过程不断重复，从而使煤层中的瓦斯源源不断地涌出到开采空间。

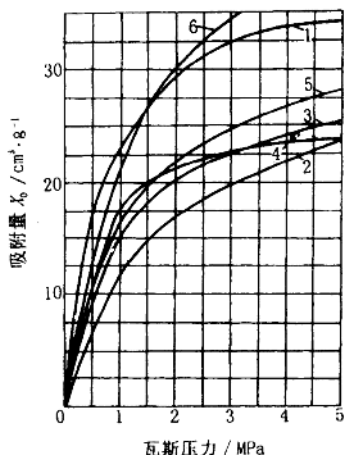


图 1—1 煤吸附瓦斯的吸附等温线 ($t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$)

1—三宝山 9B 层；2—台吉矿 10 层；3—冠山矿 5A 层；
4—台吉矿 4 层；5—鹤壁三矿 大煤；6—铁法小南矿 7 层

二、煤层瓦斯含量

伴随着煤的生成而生成的瓦斯以吸附和游离两种形态赋存在煤体内，但是在煤层形成及其后漫长的地质运动过程中，大部分生成的瓦斯都散失到大气中，煤层本身含有的瓦斯量已经大大减少。煤层瓦斯含量是指单位质量或体积的煤中所含的瓦斯量，单位为 m^3/t 或 m^3/m^3 。从宏观上，煤层瓦斯含量具有一定的分布规律。对于一个具体的煤田或矿井，煤层瓦斯含量受到诸多因素的影响，必须实际测量才能获得较为准确的值。

(一) 煤层瓦斯沿深度的带状赋存

煤田形成后，赋存在煤层中的瓦斯通过煤层、围岩的裂隙和断层向地表运动，而地表的空气及其他化学作用生成的气体由地表向煤层中运动，由此而形成煤层中各种气体成分由浅到深有规律地变化，这种现象即所谓的煤层瓦斯沿深度的带状分布。前苏联矿业研

究院经过对井下煤层瓦斯组分和含量的大量测定，将煤层瓦斯赋存按深度自上而下分为4个带，即氮气—二氧化碳带、氮气带、氮气—甲烷带和甲烷带。各带的组分和含量见表1—2。

表1—2 煤层瓦斯垂直分带组分、含量表

瓦斯带名称	CO ₂		N ₂		CH ₄	
	%	m ³ /t	%	m ³ /t	%	m ³ /t
氮气—二氧化碳	20~80	0.19~2.24	20~80	0.15~1.42	0~10	0~0.16
氮 气	0~20	0~0.27	80~100	0.22~1.86	0~20	0~0.22
氮气—甲烷	0~20	0~0.39	20~80	0.25~1.78	20~80	0.06~5.27
甲 烷	0~10	0~0.37	0~20	0~1.93	80~100	0.61~10.5

图1—2是顿巴斯煤田煤层瓦斯组分在各瓦斯带中的变化。由图可见，在甲烷带中CH₄的含量可达到80%，因此，可将瓦斯带的前三带统称为瓦斯风化带。确定瓦斯风化带的下部边界对预测煤层的瓦斯量及瓦斯涌出量具有十分重要的意义。开采瓦斯风化带的煤层时，相对瓦斯涌出量一般不超过2 m³/t，瓦斯对生产不构成主要威胁。我国大部分的低瓦斯矿井的煤层都处于瓦斯风化带内。

瓦斯风化带的深度取决于煤层地质条件和赋存状况。围岩透气性越大、煤层倾角越大、开放性断层发育、地下水活动剧烈、煤层存在露头，则瓦斯风化带的深度越大。

(二) 煤层瓦斯压力与瓦斯含量的测算

1. 煤层瓦斯压力

煤层瓦斯压力是指赋存在煤层孔隙中的游离瓦斯所表现出来的气体压力，它是决定煤层瓦斯含量、瓦斯涌出速率及瓦斯动力现象的一个最重要参数。处于同一深度上的不同煤层，瓦斯压力的值有很大的差别，但是，对于同一煤层，瓦斯压力随深度增加而增大。煤层瓦斯压力的大小取决于煤田形成后瓦斯排放的条件，它除与覆盖层的厚度、透气性、地质构造有关外，还同覆盖层的含水性密切

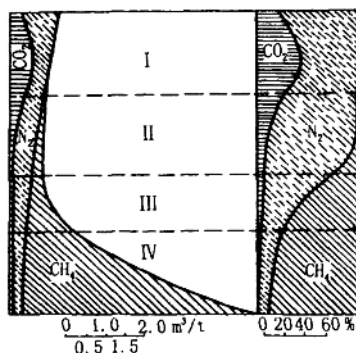


图 1—2 顿巴斯煤田煤层瓦斯组分在各瓦斯带中的变化

I—氮气—二氧化碳带；II—氮气带；III—氮气—甲烷带；IV—甲烷带

相关。当覆盖层中含水充分时，煤层的瓦斯压力较高。局部地点的封闭构造和地应力增大也会造成瓦斯压力的增高。

煤层瓦斯压力的测量，通常是从围岩巷道向煤层打孔径为 50 mm~75 mm 的钻孔，钻孔中放置测压管，将孔封闭后用压力表直接测定孔内气体的压力。按封孔方式的不同，瓦斯压力测量可以分为填料封孔法和封孔器封孔法两种方法（具体的测量方法、仪器设备见《煤矿安全仪器仪表》）。填料封孔法是应用最广泛的一种测压封孔法，其优点是不需要特殊装置，简单易行，缺点是人工封孔长度短，且封孔后需等水泥凝固后才能安装压力表测压，时间较长。封孔器封孔法适用于隔离围岩完整致密的条件，它主要的优点是简单易行，封孔器可以重复使用，缺点是对封孔段岩石要求致密、完整，否则测定的数据误差较大。

胶圈—压力粘液封孔器是中国矿业大学研制的一种方法，该方法的优点是增大了封孔段的长度和密封效果，可用于煤层瓦斯压力的直接测量，且测量时间短，数据较准确，缺点是操作和仪器较复杂。

在地质条件不变的情况下,煤层瓦斯压力随深度的变化可以用式(1—2)表示:

$$p = p_0 + m(H - H_0) \quad (1-2)$$

式中 p ——深度为 H 处的瓦斯压力, MPa;

p_0 ——瓦斯风化带深度 H_0 处的瓦斯压力 (一般取 0.15 ~ 0.2), MPa;

H_0 ——瓦斯风化带深度, m;

H ——煤层距离地表的垂直深度, m;

m ——瓦斯压力梯度, MPa/m。

根据我国各煤矿瓦斯压力随深度变化的实测数据,瓦斯压力梯度一般为 0.007 MPa/m ~ 0.012 MPa/m, 而瓦斯风化带深度为几米至几百米之间。对于一个生产矿井,应该注意积累和利用已有的实测数据,总结出适合本矿的一些基本规律,为深水平的开采服务。表 1—3 是我国一些矿井煤层瓦斯压力的实测值。

表 1—3 我国一些矿井的煤层瓦斯压力实测值

矿井名称	煤层	瓦斯压力/MPa	垂深/m	瓦斯压力梯度/MPa·m ⁻¹
南桐一井	4	1.52	218	0.009 5
	4	4.22	503	
北票台吉一井	4	6.86	713	0.011 4
	4	5.12	560	
六枝四角田	7	0.25	70	0.012 1
	7	1.91	207	
淮北芦岭	8	0.20	245	0.011 6
	8	2.96	482	

2. 煤层瓦斯含量

煤层瓦斯含量包含两部分,即游离的瓦斯量和煤体吸附的瓦斯量。根据前苏联的研究成果,在采深 300 m ~ 1 200 m 中等变质程