

王魁军 程五一 编著
高 坤 富 向



The Theory and Predicted Technology of
Mine Gas Emission

矿井瓦斯涌出理论及预测技术

煤炭工业出版社

矿井瓦斯涌出理论及预测技术

The Theory and Predicted Technology of Mine Gas Emission

王魁军 程五一 高 坤 富 向 编著

煤炭工业出版社

·北 京·

内 容 提 要

基于工程地质力学、岩体力学和煤层瓦斯吸附与解吸的原理和方法，系统介绍了煤层地质构造、煤的物理性质等因素对煤层瓦斯赋存的影响，阐述了煤壁、巷道和落煤的瓦斯涌出规律，提出了瓦斯涌出的数学分析模拟方法和矿井瓦斯涌出量的预测计算方法。

本书既可供从事煤矿通风、瓦斯管理工作的工程技术人员和从事煤与瓦斯突出防治科研工作的科技工作者使用，也可供高等院校煤层气开发与利用、采矿工程、安全工程等专业的师生参考。

前 言

我国是矿井瓦斯灾害事故最严重的国家之一，其原因一方面和我国矿井数量多、矿井自然条件差、装备落后、管理水平低等因素有关，另一方面瓦斯灾害防治理论和技术还比较落后是主因。随着我国经济发展对能源需求的进一步增加，煤炭在一定时期内仍是主要能源，因而矿井开采过程中带来的瓦斯问题仍然非常严重。

矿井瓦斯涌出预测技术是煤矿新建矿井或生产矿井新水平通风设计、瓦斯抽放工程设计、瓦斯防治工作不可缺少的重要技术之一，在较大程度上影响着煤矿生产过程中的安全性和可靠性。我国从 20 世纪 50 年代初首次研制出地勘密闭式岩芯采取器后，逐步建立起一套生产矿井煤层瓦斯含量、瓦斯涌出参数测定和瓦斯涌出量预测技术，为矿井通风设计、瓦斯抽放设计和瓦斯防治工作提供了科学依据。

矿井瓦斯涌出预测技术是一门系统性、实用性和时代性较强的学科，虽然国内外相关著作甚多，但全面、系统分析和论述各种地质和开采工艺多变条件下矿井瓦斯涌出预测技术的论著还较少。本书作者在从事 20 余年防治矿井瓦斯灾害科研工作的基础上，参考和吸收国内外学者在此方面的最新研究成果，编写了本书。

本书在编写过程中得到了姜文忠、曹垚林、陈大力、张兴华等专家的大力支持，在此谨表诚挚的感谢。

由于编者水平所限，书中还有不妥和错误之处，敬请读者批评和指正。

编 著 者

2009 年 5 月

目 次

1 矿井瓦斯涌出预测技术研究现状	1
1.1 绪论	1
1.2 国内外矿井瓦斯涌出预测技术研究现状	1
1.3 矿井瓦斯涌出预测技术的分析	3
2 煤层瓦斯赋存及其涌出形式	26
2.1 煤层瓦斯生成及其赋存	26
2.2 煤参数同煤层赋存瓦斯的关系	38
2.3 影响矿井瓦斯涌出的地质因素分析	53
2.4 煤层瓦斯涌出形式及特点	62
3 煤层瓦斯赋存参数测定技术	64
3.1 地勘期间瓦斯赋存参数测定	64
3.2 新建和生产矿井煤层瓦斯赋存参数测定	72
4 采掘过程中瓦斯涌出规律及涌出量预测	95
4.1 煤壁瓦斯涌出	96
4.2 采空区瓦斯涌出	102
4.3 掘进落煤瓦斯涌出	104
4.4 薄及中厚煤层开采瓦斯涌出	106
4.5 厚煤层开采瓦斯涌出	107
4.6 邻近层瓦斯涌出	110
4.7 下行通风时瓦斯涌出	113
4.8 密闭区瓦斯涌出	114
4.9 综采放顶煤瓦斯涌出	116
5 矿井瓦斯涌出量预测	119
5.1 矿山统计法预测矿井瓦斯涌出量	119
5.2 分源法预测矿井瓦斯涌出量	124
5.3 分源法预测矿井瓦斯涌出量的应用	127
5.4 矿井瓦斯涌出量等值线图绘制	129

6 矿井作业过程中的瓦斯异常涌出	133
6.1 矿井瓦斯的异常涌出	133
6.2 矿井反风时瓦斯异常涌出	142
7 预测瓦斯涌出量的数学分析法	146
7.1 灰色系统预测法	146
7.2 瓦斯地质数学预测法	149
7.3 趋势面预测法	156
7.4 神经网络预测法	160
8 煤层瓦斯涌出的模拟	169
8.1 瓦斯流动的物理模拟	169
8.2 煤巷瓦斯压力分布规律的数值模拟	178
9 矿井瓦斯涌出管理	186
9.1 矿井瓦斯等级鉴定	186
9.2 矿井瓦斯地质图绘制	190
9.3 矿井瓦斯检查与方法	195
9.4 局部瓦斯积聚的处理	200
附录.....	207
AQ 1018—2006 矿井瓦斯涌出量预测方法	207
参考文献.....	218

1 矿井瓦斯涌出预测技术研究现状

1.1 绪论

矿井瓦斯涌出预测技术是煤矿新井或生产矿井新水平通风设计、瓦斯抽放工程设计、瓦斯防治工作中不可缺少的重要环节,在较大程度上影响着煤矿生产过程中的安全性。纵观我国发生的重大瓦斯事故,虽然原因是多方面的,但不容忽视的是有不少重大事故是由于采掘空间瓦斯涌出的不均衡性及多变性而诱发的。例如,发生在2003年5月13日淮北芦岭煤矿死亡86人的事故是由于采空区瓦斯异常涌出而引发的;发生在2004年10月20日郑州大平煤矿死亡148人的事故是由于瓦斯突出造成瓦斯大量异常涌出而引发的;发生在2005年2月14日辽宁阜新孙家湾海州立井死亡214人的特别重大事故,也是由于冲击地压引发瓦斯异常涌出而发生的。

矿井瓦斯涌出受采掘空间、时间及煤层赋存条件、瓦斯地质条件等多种因素的影响,具有不均衡性和多变性的特点,给采掘生产的日常瓦斯管理和瓦斯防治带来了极大困难,严重影响着矿井的安全生产和社会稳定。因此必须对矿井瓦斯赋存特征及瓦斯涌出规律进行深入研究。

根据统计,我国煤矿绝对瓦斯涌出量达 $40\text{m}^3/\text{min}$ 以上的矿井有近80对,占国家、省重点煤矿的15%左右。据2004年统计,晋城寺河矿井绝对瓦斯涌出量居全国首位,达 $386\text{m}^3/\text{min}$ 。根据1985—1995年的统计,我国重点煤矿年平均瓦斯涌出增加量约为 $1.6 \times 10^8\text{m}^3$ 。

我国煤矿每年排入大气的瓦斯(甲烷)量近 $200 \times 10^8\text{m}^3$,发热量相当于 $8800 \times 10^4\text{t}$ 标准煤。煤矿瓦斯不仅严重威胁着矿工的生命安全,而且增大了大气层的温室效应,对人类生存的大气环境造成严重破坏。

通过我国“六五”、“七五”、“八五”、“九五”、“十五”期间的不断努力和研究,在矿井瓦斯涌出预测技术方面得到了长足发展。例如同早期的真空罐法、集气式岩芯采取器法相比,地勘钻孔瓦斯解吸法测定煤层原始瓦斯含量的成功率和可靠性均有较大幅度的提高。逐步发展的井下煤层瓦斯含量、瓦斯压力测定方法得到了广泛应用,提出的适应不同地质条件下的矿井、采掘工作面的瓦斯涌出预测方法,在安全生产中起着重要作用。

1.2 国内外矿井瓦斯涌出预测技术研究现状

几十年来,国内外各主要采煤国家投入了大量的人力、物力进行技术攻关,研究建立了适应不同矿井开采条件下的矿井瓦斯涌出预测方法和技术。

在国外,俄罗斯是世界上最早系统研究矿井瓦斯涌出预测技术的国家,20世纪80年代初研究建立了矿井瓦斯涌出预测方法,并在90年代初制定针对不同类型矿井涌出及煤层赋存与生产条件的瓦斯涌出预测规范,以法规形式规定煤层在开采时必须进行瓦斯涌出

预测工作。俄罗斯在预测瓦斯时,不但预测煤层瓦斯含量、涌出量,而且还预测煤层瓦斯分区、分带特性,并且对矿井中长期瓦斯涌出态势及防治对策作出评价。

90年代中期,英国、南非等国基于采掘工作面瓦斯的非稳定涌出特性,研究提出了矿井瓦斯动态预测技术;德国提出了采掘工作面时空序列瓦斯动态预测法;美国开发了基于地理信息系统(GIS)的瓦斯涌出预测多媒体系统,实现了瓦斯预测可视化与图形图像化。这些预测方法可以根据开采条件和赋存条件的变化超前预测采掘工作面瓦斯涌出变化动态值,并可根据预测结果随时调整工作面的风量及采取合理处理瓦斯的技术措施,该法取得了良好的效果。

50年代初,我国首次研制了1883密闭式岩芯采取器,1954年建立了容量法测定瓦斯吸附量的方法并研制了装置,1956年建立了重量法测定瓦斯吸附量的方法并研制了装置,1958年在1883密闭式岩芯采取器的基础上,研制了集气式岩芯采取器,同时研制了瓦斯含量真空密封罐、粉样球磨机、脱气仪,建立了全套地勘时期煤层瓦斯含量测定方法和测定工艺。

1953年我国首次在辽源矿务局中央竖井应用矿山统计法计算煤层瓦斯含量梯度;1959年开展煤中瓦斯含量及其影响因素理论研究,探索煤中水分、孔隙率、温度等因素对瓦斯含量的影响;1959年国内首次在淮南矿务局谢家集二矿,应用矿山统计法预测深部矿井瓦斯涌出量;1959—1964年先后完成了抚顺、北票台吉矿、峰峰、南桐、梅田等矿区矿井深部瓦斯涌出量预测工作。此后,矿山统计法在全国瓦斯矿井得到了广泛应用。

1959—1961年开展了压汞法测定煤的孔隙结构瓦斯基础理论研究,研制了压汞法测定煤的空隙结构装置。

70年代应用扫描电子显微镜、显微光度计等先进手段研究煤的结构特征,进行了地勘时期直接测定煤层瓦斯压力的尝试。

“六五”期间(1981—1985年),进行了煤的瓦斯解吸规律研究,提出了解吸法直接测定煤层瓦斯含量的新方法,手工编制了煤层瓦斯含量等值线图;首次制定颁布了解吸法测定煤层瓦斯含量和瓦斯成分测定方法的标准;同时开展了煤层烃类组分与煤岩煤化关系研究,对北票、湖南、重庆等全国重点高瓦斯矿区进行煤层烃类组分详细普查,结合煤层瓦斯开发的工作,探讨了重烃组分与煤岩成分、煤与瓦斯突出的关系,提出了判别煤层瓦斯的“苯指数”指标,两项技术均在地勘系统中得到了广泛应用。

“七五”期间(1986—1990年)开展了矿井瓦斯涌出量预测方法。通过GWRVK-1型瓦斯解吸仪及配套取样装备的国家“七五”重点科技攻关研究,提出了矿井瓦斯涌出量分源预测方法,研制的GWRVK-1型等压瓦斯解吸仪、定点煤样采集器,使瓦斯涌出量预测技术有了较大地发展,并得到全国初步推广应用。

“八五”期间(1991—1995年)开展了“地勘瓦斯含量测定”、“矿井瓦斯涌出量预测方法及规范”、“自动地勘瓦斯解吸仪”、“微机绘制瓦斯地质图件和煤矿瓦斯综合评价系统的研究”等多项国家重点科技攻关研究。首次建立了提钻模拟瓦斯解吸装置进行提钻模拟解吸的试验,研制成功的ZAMG-1型自动化地勘瓦斯解吸仪,解决了500~1000m深孔瓦斯含量测定成功率低、准确性差的技术难题,使瓦斯含量预测准确率达到90%以上;瓦斯涌出量预测技术在分源预测理论的基础上,又提出了构造单元分源预测法,首次建立了全国统一的矿井瓦斯涌出量预测方法和预测规范,将预测精度提高到85%以上。

在收集我国 20 个矿务局 45 个煤矿 11 万个瓦斯数据综合基础上,建立了瓦斯地质图件和煤矿瓦斯综合评价微机绘图处理系统及瓦斯基础参数数据库,实现了矿井瓦斯涌出量的趋势面优化、非规则区域控制、地质构造区等值线编绘自动化。

“九五”期间(1991—1995 年)进一步研究了高产高效采煤工作面 and 综合机械化掘进工作面的瓦斯涌出规律。对矿井回采工作面瓦斯涌出量引入了工作面推进度修正系数,研究了综合机械化掘进工作面落煤过程中瓦斯涌出量同落煤量、运煤速度、工作面长度等有关参数的关系,研究和完善了矿井瓦斯涌出量预测方法。

经过 50 多年的不懈努力,尤其是经过“六五”、“七五”、“八五”、“九五”、“十五”国家科技攻关,目前对矿井瓦斯含量测定、涌出量预测到矿井瓦斯地质图件绘制已全部实现微机化、自动化、规范化,形成了成熟、完善、配套的矿井瓦斯预测技术,为新矿井设计、老矿井深部改造、矿井通风、瓦斯抽放设计提供了科学依据。

1.3 矿井瓦斯涌出预测技术的分析

1.3.1 地勘瓦斯含量测定

我国从 20 世纪 50 年代开始,就着手研究地勘瓦斯含量的测定方法,先后研究的方法有以下几种:利用真空罐采取煤芯测定煤层瓦斯成分(真空罐法);利用特殊采样工具(1883 型密闭式岩芯采取器、抚研-58 型集气式岩芯采取器)在勘探钻孔中采样测定煤层瓦斯含量(密闭、集气式岩芯采取器法);解吸法测定岩芯采取器煤层瓦斯含量(地勘钻孔瓦斯解吸法);煤层瓦斯含量的间接测定方法。

1. 真空罐法

利用真空罐法测定煤层瓦斯成分的目的是确定勘探区瓦斯分化带的分布范围。此方法是在罐内预先充以煮沸的(为了减少水中溶解的气体)清水,装满后密封,由于水占据了罐内残留的空间,消除了空气对煤样的瓦斯成分测定结果的干扰。使用真空罐法采样,最终得到的结果是煤层的瓦斯成分及残存瓦斯含量,这对实际应用来说是远远不够的,所以这种方法已经淘汰。

2. 密闭、集气式岩芯采取器法

1956 年,煤炭科学研究总院抚顺分院(原抚顺煤炭研究所)与淮南机械厂合作,参照前苏联马克耶夫科学研究所的工作经验,设计并试制成功了 1883 型密闭式岩芯采取器。该仪器下放到孔底,钻取煤芯之后,利用岩芯管上下两端的活门及附属机构,能够将煤芯严密地密封在岩芯管内。钻具提升到孔口后,在保持岩芯管密封状态不受破坏的条件下,卸下已装入煤芯的“钻进与试验部分”的装置,然后送到实验室内,利用加热、粉碎、真空方式进行脱气,最终得到煤层瓦斯成分及瓦斯含量测定结果。

该仪器曾在焦作煤田进行了工业试验,试验成功率为 60%,在试验过程中与真空罐法做了对比。在瓦斯风化带内,两种方法测得结果近似相同,在煤层瓦斯含量较大时,密闭式岩芯采取器测得结果优于真空罐法,同时与生产矿井实际的矿井瓦斯涌出量资料进行对比表明,密闭式岩芯采取器测得结果可靠。但因其构造复杂,一些零部件易于损坏,在推广应用上受到一定限制。

1958 年,我国又以地勘中广泛使用的阿列克辛阔煤芯采取器为基础,设计并试制成功了抚研-58 型集气式岩芯采取器。此仪器与普通煤芯管主要不同,是在煤芯接收器上

部安装带阀门的集气室,用来收集钻进与提升过程中煤芯泄出的瓦斯。钻具提升到地面之后,卸下已装有瓦斯及煤芯的煤芯管,保持密闭状态下送到实验室,进行脱气及气体分析后,同样可以得出煤中瓦斯成分及瓦斯含量。通过与密闭式岩芯采取器进行对比表明,两种仪器测得结果无大的差别。根据1964年焦作、鹤壁、马田、未南4个煤田80次试验结果的统计,合格样品平均占51.4%。由于集气式岩芯采取器构造比较简单,在使用及维护上也比密闭式岩芯采取器容易,所以60年代以后,在生产中得到了推广和应用。

3. 地勘钻孔瓦斯解吸法

解吸法测定煤层原始瓦斯含量是我国在地质勘探时期广泛使用的方法。该法是一种在煤田地质勘探和煤层气地面开发时最常用的煤层原始瓦斯含量测定方法,最早是1973年由美国矿业局(USBM)提出的。1978—1984年期间,在我国部分煤田进行工业试验的基础上,对该方法进行了改进,完善了测定中所用的成套仪器和工具,并于1984年制定了煤炭工业部标准《煤层瓦斯含量和成分测定方法(解吸法)》(MT 77—1984)。此后,地勘钻孔瓦斯解吸法在我国煤田地质勘探部门得到了广泛的推广应用,并一直沿用至今。2007年颁布了《地勘时期煤层瓦斯含量测定方法》(AQ 1046—2007)也是以该方法为主要技术手段。

地勘钻孔瓦斯解吸法经过30多年来的现场应用,测定的结果和早期的真空罐法、集气式岩芯采取器法相比,测定煤层原始瓦斯含量的成功率和可靠性均有较大幅度的提高,目前该项技术已比较成熟。但经过几十年来煤矿井下开采情况的实际验证,地勘钻孔瓦斯解吸法测定的结果偏低。

4. 间接测定方法

间接测定煤层瓦斯含量的方法,是基于单分子层吸附模型的朗格缪尔方程(Langmuir Equation),即煤层瓦斯含量和煤层瓦斯压力关系的吸附等温线,计算公式为

$$W = \frac{abp}{1+bp} \exp[n(t_0 - t)] \left[\frac{1-A-W_a}{1+0.31W} + \frac{VpT_0}{\xi T p_0} \right] \quad (1-1)$$

式中 W ——原煤瓦斯含量, m^3/t ;

a ——煤的瓦斯吸附常数,试验温度下煤的极限吸附量, m^3/t ;

b ——煤的瓦斯吸附常数, MPa^{-1} ;

p ——煤层原始瓦斯压力, MPa ;

p_0 ——标准状况下的大气压力(0.101325 MPa);

n ——系数, $n = 0.02/(0.993 + 0.07p)$;

t ——煤层瓦斯温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 ——实验室测定煤的吸附常数时的实验温度, $^{\circ}\text{C}$;

W_a ——煤中水分, %;

A ——煤中灰分, %;

T ——瓦斯的绝对温度, K ;

T_0 ——标准状况下的绝对温度, 273 K;

V ——吨煤的孔隙体积, m^3/t ;

ξ ——甲烷的压缩系数。

利用上述公式,在实测煤层瓦斯压力 p 后反算得出煤层瓦斯含量 W 。

该方法测定煤层瓦斯含量的方式与步骤如下:

(1) 在地勘钻孔中实测煤层瓦斯压力。

(2) 实验测定煤样可燃基的瓦斯吸附常数 a 、 b 。

(3) 用朗格缪尔方程计算煤的可燃基瓦斯含量, 并通过水分、灰分、温度等参数校正, 最后得到原煤的瓦斯含量。

煤炭科学研究总院抚顺分院、重庆分院与西安分院于 1970 年前后都曾进行过这方面的试验, 但均未取得理想的效果。存在的困难是: 在地质勘探钻孔的裸孔中进行封隔测压时, 封堵不严; 煤田勘探设备条件差, 测定工作费时、费事; 地勘钻孔中测定煤层瓦斯压力的仪器不完善。这些困难限制了此种方法在地勘中的应用。

1.3.2 煤层瓦斯赋存参数测定

1.3.2.1 井下煤层瓦斯含量测定方法

井下煤层瓦斯含量测定方法主要有井下解吸法和间接法。井下解吸法由于采样过程中较地面钻孔煤样暴露时间短, 测定煤层瓦斯含量准确率较高且方便快捷, 在我国煤矿瓦斯含量测定中得到广泛应用。

间接法有“朗格缪尔法”、“含量系数法”、“残存量法”和“快速测定法”等, 用的较多且可信度较高的是“朗格缪尔法”及“快速测定法”。

1. 井下解吸法

井下解吸法是在地勘解吸法原理基础上改进、发展形成的一种井下瓦斯含量测定方法, 在煤矿本煤层、邻近层瓦斯含量测定中被广为采用。测定时, 先打煤层钻孔采集煤钻屑或穿层钻孔采集煤芯, 然后测定、分析采集的煤样在空气介质中的瓦斯解吸规律, 并据此推算煤钻屑或煤芯在采集过程中煤样的瓦斯损失量, 最后根据煤样的瓦斯损失量、解吸量、残存量和煤样的质量计算煤层原始瓦斯含量。

2. 朗格缪尔法

如前所述, 朗格缪尔法与地勘钻孔瓦斯含量的间接方法基本一样, 其步骤如下:

(1) 在煤矿井下实地测定煤层瓦斯的压力。

(2) 实验测定煤样可燃基的瓦斯吸附常数。

(3) 用朗格缪尔方程 [式 (1-1)] 计算煤的可燃基瓦斯含量, 并通过水分、灰分、温度、压力等校正得到原煤的瓦斯含量。

这一方法的计算基础都是来自实测值, 且煤矿井下瓦斯压力测定准确度较高, 而计算模型又得到理论证明, 故可信度较高, 应用较广泛。

3. 瓦斯含量的快速测定方法

(1) WP-1 型仪器。该仪器由煤炭科学研究总院抚顺分院研制, 其原理是根据煤层瓦斯解吸速度随时间幂函数变化关系 (利用瓦斯解吸特征指标, 计算出煤层瓦斯含量、煤层瓦斯压力) 的原理而设计的。它适用于煤矿井下回采或掘进工作面快速测定煤体中瓦斯解吸量, 及时了解工作面前方瓦斯含量、压力分布情况, 以及防突预测指标 K_1 、 K_2 等重要瓦斯参数, 是一套比较完善、可靠的预测预报新技术装备。

(2) QPC-1 型。该仪器由煤炭科学研究总院重庆分院研制, 其原理是根据煤钻屑瓦斯解吸指标与煤层瓦斯压力相关关系设计的。

4. 含量系数法

含量系数法是中国矿业大学提出的一种瓦斯含量测定方法,通过在井下实测煤的瓦斯含量系数和瓦斯压力,然后用下面的公式近似计算煤层瓦斯含量。此法用于分析瓦斯流动规律或要求不甚精确的场合,比较简便。

$$W_0 = \alpha \sqrt{p/\gamma} \quad (1-2)$$

式中 W_0 ——煤的原始瓦斯含量, m^3/t ;

α ——煤的瓦斯含量系数, $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{MPa}^{1/2})$;

p ——煤层原始瓦斯压力, MPa 。

5. 残存量法

残存量法是波兰科研人员提出的一种瓦斯含量测定方法,其原理是根据煤的残存瓦斯量推算煤层原始瓦斯含量。其方法是,在正常作业条件下,当掘进工作面煤壁暴露 30min 后,从煤层顶底板各取煤样,装入密封罐,送实验室测定煤的残存瓦斯含量。如掘进工作面煤壁暴露时间超过 30min,则采样时应将煤壁清除 0.2~0.3m 厚,然后再采煤样。在所采的两个煤样中,以其中残存量较大的为计算依据。测出煤的残存量后,按下式分别计算煤的原始瓦斯含量。

当残存量小于 $3\text{m}^3/\text{t}$ (可燃基) 时,计算公式为

$$W_0 = 1.33 W_c \quad (1-3)$$

当残存量大于或等于 $3\text{m}^3/\text{t}$ (可燃基) 时,计算公式为

$$W_0 = 2.05 W_c - 2.17 \quad (1-4)$$

式中 W_0 ——煤的原始瓦斯含量, m^3/t ;

W_c ——煤的残存瓦斯含量, m^3/t 。

1.3.2.2 煤层瓦斯压力测定技术

煤层瓦斯压力的测定方法有直接测定法和间接测定法。通过现场实际应用及效果分析,直接测定法是煤矿井下测定瓦斯压力的首选方法,该法测定结果相对准确。在不具备直接测定法条件时,一般采用间接测定法测定煤层瓦斯压力。间接测定法有“朗格缪尔法”、“解吸特征法”、“残存量法”、“矿井瓦斯涌出量反算法”及“快速测定法”,但较为成熟且可信的是根据煤层瓦斯含量推算煤层瓦斯压力的方法(即朗格缪尔法)及快速测定煤层瓦斯压力的方法,包括利用 WP-1 型和 QPC-1 型快速测定仪进行测定的方法。

1. 直接测定法

直接测定煤层瓦斯压力的方法是在岩层巷道或煤层巷道中,用钻机向预定测量瓦斯压力的煤层打一钻孔,然后从钻孔中引出一根管子及测压装置,再将钻孔严密封闭堵塞、用压力表与引出的管子或测压装置相连,从而测出煤层中的瓦斯压力。如果在测定中能保证钻孔封闭、不漏气,则压力表显示的数值即为测点瓦斯压力。直接测定法的关键在于钻孔密闭的质量。根据封孔原理的不同,钻孔的封孔分为主动式封孔和被动式封孔。

(1) 主动式封孔。主动式封孔是指在钻孔封闭段两端固体物之间的空间里,注入密封液,密封液在充填钻孔密封段的基础上,同时渗入孔壁的裂隙中,在一定时间下,密封液凝固,达到密封钻孔的作用。要求注入的密封液压力高于预计的瓦斯压力,才能阻止瓦斯的泄漏。这种封孔方法对于瓦斯释放是一种主动进攻型的封孔方法,故称之为主动式封孔法。

目前,主动式封孔主要采用胶圈压力黏液封孔、胶囊密封液封孔和三相泡沫流体封孔。

(2) 被动式封孔。被动式封孔是指用固体物充填测压管与钻孔壁之间的空间,以阻止煤层瓦斯的泄漏,由于不具备封孔液压力注入孔壁和钻孔裂隙中这样一个特点,形式上处于一种被动防御性的封孔方法,因而称被动式封孔。被动式封孔长期以来一直是国内外最常用的一种测压封孔方法,它的特点是需要的设备器材较少,易于掌握。

目前,被动式封孔主要采用黄泥封孔、水泥封孔和注浆封孔等。

2. 间接测定法

间接测定煤层瓦斯压力的方法是根据煤层瓦斯流动和解吸的规律,在测压地点附近测定煤层瓦斯涌出量或统计采掘中的瓦斯涌出量等参数值,根据所测数据进行计算,推测出需要测定地点的瓦斯压力。因此,间接测定法一般用于难于使用直接法测压的条件下,其具体方法如下所述:

(1) 朗格缪尔法。确定煤层瓦斯压力的步骤:①实测煤层瓦斯含量;②实验测定煤样可燃基的瓦斯吸附常数及其他参数;③用朗格缪尔方程[式(1-1)]反算煤层瓦斯压力。

这一方法的计算基础都是来自实测值,而计算模型又得到理论证明,因此可信度较高。

(2) 采煤工作面瓦斯涌出量推算法。此方法是根据煤巷掘进或采煤工作面瓦斯涌出量推算煤层瓦斯压力。当某一采区瓦斯来源于开采煤层本身,如能统计出从采区的掘进到回采结束的时间内涌出的总瓦斯量和采区的煤炭储量,以及煤的瓦斯含量系数或瓦斯容量曲线,则可求得该采区中煤层的平均瓦斯压力。

其具体做法是在整个采掘期间不断记录巷道的风量和瓦斯浓度。计算出掘进、回采和采空区的瓦斯涌出量,并加以累计则可得采区的总瓦斯含量 Σq 。

$$\Sigma q = q_{掘} + q_{回采} + q_{采空} + q_{残} \quad (1-5)$$

则

$$W = \Sigma q / V$$

式中 Σq ——采区总瓦斯涌出量, m^3 ;

$q_{掘}$, $q_{回采}$, $q_{采空}$ ——分别为掘进、回采和采空区的总瓦斯涌出量, m^3 ;

$q_{残}$ ——运出过程中采落煤炭的残存瓦斯含量, m^3 ;

W ——采区内平均 1m^3 煤炭所含的瓦斯量, m^3/m^3 ;

V ——采区内煤的总体积, m^3 。

$q_{残}$ 可以从采区运出煤中直接测定或按瓦斯容量曲线计算出来。

然后可按照 W 的涵义,根据瓦斯含量公式,计算瓦斯压力或按瓦斯吸附曲线,查出瓦斯压力 p 。

这种方法一般只适用于无邻近煤层的单一煤层,其优点是根据通风报表即可得出煤层瓦斯压力值,不用专门进行测压工作;其缺点是极其粗略。因为矿井通风报表的数据往往不太准确,并且采区内瓦斯涌出量不仅来自本采区而且也来自邻近采区,再者由于井下煤层地质情况复杂,每个采区的瓦斯含量都不一样,所以有时相差很大。因此该方法所求结果往往误差很大,而且只能求得采区内的平均瓦斯压力,不能得出任何一点的瓦斯压力,所以这种方法只能用于工作中的统计参考之用。

(3) 残存瓦斯含量法。这一方法的基本原理是根据残存瓦斯含量测定煤层瓦斯压力。

用普通的岩芯管采样, 取样时用秒表记录时间, 取出煤样后迅速把煤样放入密闭的罐中, 记录下从取样到放入罐中的时间 t_0 ; 然后再到实验室中测出煤样的残存瓦斯含量。测完后再充以瓦斯, 达到某一瓦斯压力以后, 突然放散瓦斯, 放散瓦斯的时间与 t_0 相同, 然后又测定煤样的残存瓦斯含量。如此变换瓦斯压力重复这一操作几次, 绘制出真实瓦斯压力和放散瓦斯时间 t_0 后的残存瓦斯含量的关系曲线, 根据从井下取样后测出的残存瓦斯含量, 从曲线中求得其真实的瓦斯压力。

这种测定方法的优点是井下操作较少, 可适用于煤层测压; 它的缺点是实验室内工作量大, 且煤样经过反复吸附和扩散后, 煤体结构有所变化, 此外不确定时间 t_0 是否准确, 以及其他一些影响因素等原因。该种测定方法准确率较差, 但是在煤层测压困难时可以考虑采用此法。

(4) 实验室测定法。在井下采集需要测压地点的煤样, 放入密封的罐中, 罐中充满水, 并装有压力表, 利用水的不可压缩性, 当煤样中瓦斯排出时, 则罐中压力提高通过压力表显示出来, 压力表显示的壓力认为即是测定地点的瓦斯压力。

这一方法很简单, 由于对比试验少, 目前未考察其准确程度, 并且煤样泡在水中是否产生膨胀现象、水溶解瓦斯及煤样剥落密封时损失瓦斯量问题, 导致压力测定误差等原因尚未明确, 有待于今后的进一步研究。

(5) 深度估算法。本方法是按照测压地点的深度来估计瓦斯压力。根据已开采深度范围内瓦斯压力与开采深度之间的关系式, 估计未知开采深度的瓦斯压力值, 其关系式为

$$p = kH^\alpha \quad (1-6)$$

式中 p ——距地表 H 深度处的瓦斯压力, MPa;

H ——距地表垂深, m;

k, α ——系数, 由统计分析或经验得出, 应由具体矿井确定。

这一估计方法与我国某些瓦斯矿井情况相符。但是, 由于瓦斯压力和地质条件密切相关, 因此仅可作为参考。

(6) 瓦斯压力的快速测定方法。第一种方法是利用 WP-1 型井下煤层瓦斯压力快速测定仪进行测定。第二种方法是利用 QPC-1 型煤层瓦斯压力快速测定仪进行测定。

1.3.2.3 煤层透气性系数测定技术

煤层透气性系数的测定方法分为实验室测定和现场测定。实验室测定煤样透气性的方法主要有两种, 一是在加围压力时的煤样透气性系数测定方法和不加围压力时的煤样透气性系数测定方法。现场测定方法主要有雅罗伏依法、克里切夫斯基流量压力法、马可尼压力法以及单向流量法、径向流量法、球向流量法等。煤层透气性的实验室测定和现场测定有很大的差别, 其相差数倍、数十倍、上百倍都有可能。目前实验室的测定值还不能直接反映现场的实际情况。综合分析现有的各种测定方法, 钻孔径向流量法与其他方法相比, 具有数学推导方法合理、现场应用方便、计算简单之优点, 该方法在现场中得到了广泛的应用。

1. 实验室测定方法

实验室测定煤样透气性的方法主要有两种, 即不加围压力时的煤样透气性系数测定方法和加围压力时的煤样透气性系数测定方法。实验室测定煤样透气性方法的优点在于能大大节省人力和物力, 同时也能缩短时间。此外, 实验室测定方法还可以了解煤样透气性系数的变化状态以及所受影响因素分析。因此, 在科研中往往采用实验室测定方法来分析测

定煤样透气性系数。

(1) 不加围压时的煤样透气性系数的测定方法。这种方法是从需要测定的煤层中采取煤样,然后在实验室中用砂轮或专门的钻筒将煤样制成一定尺寸的圆柱状(或方柱状)。两端磨平,形成长 $50 \sim 80\text{mm}$,直径 $30 \sim 40\text{mm}$ 的圆柱[或 $30\text{mm} \times 30\text{mm} \times (50 \sim 80)\text{mm}$ 的方柱状]并放入与之直径相仿的夹具中。为了使煤样和夹具壁之间密切接触不漏气,一般外加一个胶皮套或硅橡胶套使其不漏气,然后放在特制的仪器中,测定在一定的压差中通过煤样的瓦斯流量。根据煤样的几何尺寸、两端压差的大小和流量,根据达西定律计算其透气性系数,其实验装置如图1-1所示。

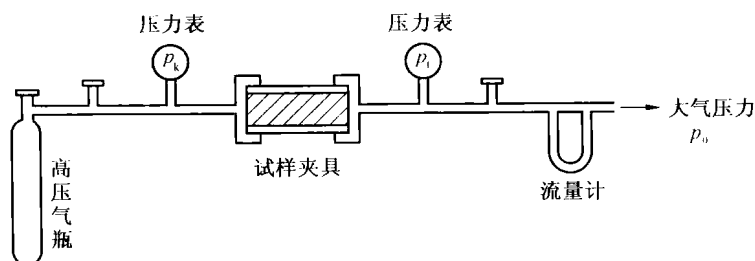


图1-1 不加围压时的煤样透气性系数测定实验装置示意图

目前实验室一般常用的方法是:取同一煤层若干煤样进行测定,然后取其平均值作为煤样的渗透率和透气性系数。

但是,这种透气性系数测定方法除了煤样本身与煤层的差别外,由于未考虑围压力(模拟地应力)的作用,故而测定结果和矿井中的实际情况相差较大。因此,为了与矿井实际情况相符,在煤样透气性系数的测定中应考虑围压力(地应力)的影响。

(2) 加围压时的煤样透气性系数的测定方法。加围压时的煤样透气性系数的测定实验装置如图1-2所示,其实验装置和图1-1相似,不同之处是在实验缸内煤样周围充有一定压力的黏液(或其他液体),煤样周围需套上数层防水橡胶套,防止内泄外渗。用调节高压泵的压力来模拟地压对煤样的作用,其实验和计算方法则与上述方法相同。

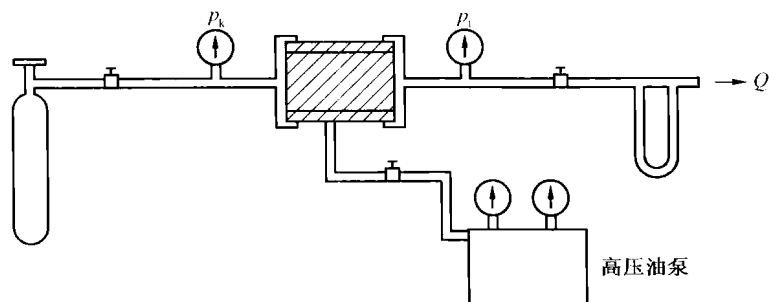


图1-2 加围压时的煤样透气性系数测定实验装置示意图

(3) 实验室测定方法的分析。在实验室中测定煤样透气性系数方法的优点是方法简单,可节省人力、物力和时间,但普遍存在着如下缺点:

第一,首先是取样的偶然性不能反映煤层的情况。这是因为煤样中瓦斯流动的通道除

了经过煤体本身的微孔隙外，煤层中节理裂隙也起着很重要的作用，且在取样制作测定煤样时只有硬煤或中硬煤才能保持其完整性，因此煤层中软煤的渗透性无法反映。

第二，其次是在制作煤样时，煤样受到机械作用可能产生新的裂隙或使原有裂隙加大，而煤层本身的某些裂隙又因煤样过小而被排斥掉，因而使其透气性发生变化。此外，取样一般在煤层的暴露面上采集，而在暴露面上的煤都是经过矿山压力破坏后的煤体，所以其透气性显然与原始煤层中的有所不同。

第三，目前实验室无法完全模拟地应力，其原因一方面是地应力在现场不易测准，另一方面是现场围压不是三向等压，而实验中一般采用的是三向等围压，故受力状态不同，所以测得的结果就无法准确反映现场的实际情况。

第四，在实验室测定中，固体煤样与防水橡胶衬套之间往往存在着漏气现象，而煤样的透气性又很低，微量的漏气和误差会使所测透气性大大增加。

综上所述，煤层透气性的实验室测定和现场测定会有很大的差别，其相差数倍、数十倍、上百倍都是有可能的。目前实验室的测定值还不能直接反映现场的实际情况，但是实验室能模拟矿井煤层中的条件作定性的研究，如可在实验室中对煤样进行围压力不变、瓦斯压力和煤样透气性间的测定关系来研究井下煤层在同一水平地应力基本不变情况下，瓦斯压力对煤层透气性的影响。同样也可进行瓦斯压力不变条件下，测定围压力和煤样透气性间的关系来研究井下煤层中瓦斯压力不变时，地应力对煤层透气性的影响。另外，对平行层理煤样和垂直层理煤样透气性的研究也将为井下煤层钻孔的最优布置方式提供一定的依据。所以，在实验室进行这些方面的研究不仅具有一定的实际意义，而且也是现场所无法比拟的。

2. 现场测定方法

目前煤层透气性系数的现场测定方法中主要有前苏联学者提出的雅罗伏依法、克里切夫斯基流量法和马可尼压力法、克里切夫斯基压力法以及钻孔流量法。

1) 雅罗伏依法

方法一是在石门揭煤条件下，用雅罗伏依法测定煤层透气性系数。

前苏联学者雅罗伏依认为，在石门揭煤时，可采用在石门上打钻孔测压和测量瓦斯流量求煤层透气性系数。如图 1-3 所示，方法是在石门中心打一个半径为 r_c 的钻孔，周围距钻孔中心 r_1 、 r_2 处各打 4 个测压孔都贯穿煤层（或两个测压孔），待钻孔流量稳定后测定 r_c 钻孔中的流量 Q ，并观测 r_1 、 r_2 处的瓦斯压力 p_1 和 p_2 ，则可根据径向稳定流动的计算公式推导出透气性系数 λ 的计算公式。

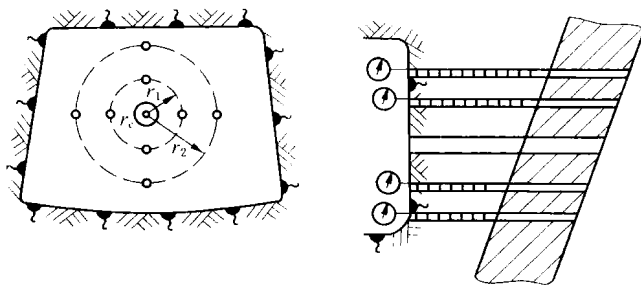


图 1-3 雅罗伏依法测定时的钻孔布置图（石门揭煤前的测定）

雅罗伏依认为,在瓦斯流动稳定后,瓦斯都来自 r_2 范围以外的煤层,而 r_2 的范围内并不供给瓦斯,因而在 r_2 范围内可用径向稳定的公式进行计算。

雅罗伏依法较之实验室的测定有了很大的进步。但是它的缺点在于:

第一,测定工作复杂,需要打好几个钻孔,而且要求测压钻孔测压正确。若测压钻孔漏气,则破坏了单一径向流动的流动状态,与计算公式的导出不合。

第二,假定瓦斯来源于 r_2 范围以外,但是在一般透气性较低的煤层中,当半径 r_0 在 30 ~ 40mm 时,在相当一段时间内(几天到几十天)瓦斯来源都是在 r_2 范围内供给的。例如在焦作和北票的煤层中,直径 60 ~ 80mm 的钻孔排瓦斯影响范围在 24h 内基本上在 1m 范围以内。因而当钻孔供给瓦斯来源移到 r_2 以外时,此时钻孔中瓦斯流量极低,事实上难于测定。

因此,上述测定方法只有在煤层瓦斯透气性很高时(例如抚顺煤田),才能获得正确的结果,否则所求得的结果必然偏大。

方法二是在煤层掘进巷道中,用雅罗伏依法测定煤层透气系数的方法。

雅罗伏依又提出在煤层巷道中测定煤壁中瓦斯透气性的方法。如图 1-4 所示,其做法是在巷道煤壁分别打深度不同的钻孔,测定不同深度的瓦斯压力,并测定在测压地点煤壁上单位面积的瓦斯涌出量。

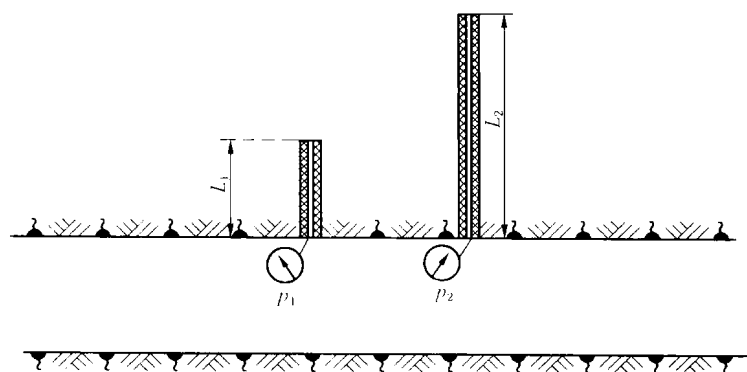


图 1-4 煤巷掘进中的钻孔布置图

同样,雅罗伏依认为瓦斯来源于 L_2 范围以外的煤层, L_1 到 L_2 以及 L_1 到煤壁之间的煤层不放散瓦斯。使用这一种方法可以求得地压对于煤层表面附近透气性的影响,其出发点是想简单地进行测定 λ 值及其变化的规律。但是,事实上是难以达到预期目的,这是因为瓦斯来源不仅在 L_2 外,而且也在 L_2 之内。此外,测定煤壁的瓦斯涌出量和煤层瓦斯压力也不易准确,难度也较大。因此,这一方法实用意义不大,难于推广应用。

2) 克里切夫斯基法

在石门揭煤条件下,前苏联学者 P. M. 克里切夫斯基提出了测定煤层透气性系数的方法,如图 1-5 所示,其方法是仅在石门上打一个钻孔贯穿煤层,在测压管外增加一个调节瓦斯压力的阀门和观测钻孔瓦斯流量的流量计。其操作步骤为:首先在封闭钻孔以后将阀门关闭,测出钻孔的原始瓦斯压力 p_0 ;然后,突然打开阀门并将钻孔中瓦斯压力控制