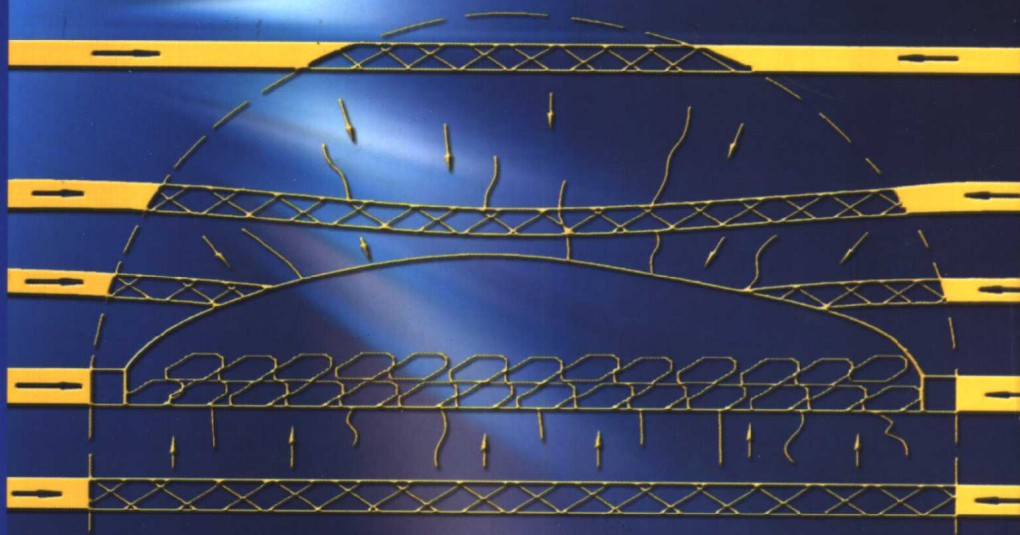


mei yu wasi tuchu weixianxing yuce ji fangzhi jishu

煤与瓦斯突出危险性 预测及防治技术

程 伟 编著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

图书在版编目(CIP)数据

煤与瓦斯突出危险性预测及防治技术/程伟编著.

—徐州:中国矿业大学出版社,2003.7

ISBN 7-81070-741-8

I. 煤… II. 程… III. 煤矿—瓦斯突出—预防
IV. TD713

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 045362 号

书 名 煤与瓦斯突出危险性预测及防治技术

编 著 程 伟

责任编辑 钟 诚

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)

排 版 中国矿业大学印刷厂排版中心

印 刷 中国矿业大学印刷厂

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 **印张** 6.375 **字数** 158 千字

版次印次 2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

印 数 1~1000 册

定 价 20.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

目 录

第一章 概述.....	1
第一节 煤与瓦斯突出概述.....	1
第二节 国内外煤与瓦斯突出的防治.....	4
第二章 煤层瓦斯的赋存和流动.....	6
第一节 瓦斯的成因和性质.....	6
第二节 煤层的瓦斯含量及影响因素	10
第三节 瓦斯在煤层中的流动	16
第三章 煤和瓦斯突出的分类、特征和原因分析.....	24
第一节 煤和瓦斯突出的分类和特征	24
第二节 煤和瓦斯突出的原因	27
第三节 各类巷道突出的特点及分析	45
第四章 煤与瓦斯突出的机理及其一般规律	55
第一节 煤与瓦斯突出机理	55
第二节 煤与瓦斯突出的一般规律	66
第五章 矿井瓦斯地质构造分布特征及其突出的关系	68
第一节 断层、褶皱构造特征同突出的关系.....	69
第二节 煤层厚度变化特征与突出的关系	73

第三节	煤层软分层分布规律及其突出的关系	76
第四节	煤层围岩分布特征与突出关系的研究	78
第六章	矿井煤层瓦斯参数分布规律	86
第一节	采煤工作面瓦斯涌出量的分析	87
第二节	煤层瓦斯含量趋势与突出关系	93
第七章	煤层突出危险性区域预测和防治	101
第一节	煤层突出危险性区域预测	101
第二节	工作面突出危险性预测	105
第三节	构造应力条件下突出区域分布规律	116
第四节	防治突出措施的效果检验	126
第八章	煤层瓦斯抽放技术及方法	129
第一节	概述	129
第二节	本煤层与邻近层瓦斯抽放	131
第三节	采空区瓦斯的抽放	137
第九章	瓦斯抽放参数的测定与计算	143
第一节	煤层瓦斯压力测定	143
第二节	煤层透气性测定和计算	146
第三节	管路及钻孔瓦斯流量的测定与计算	150
第四节	瓦斯抽放率的计算	160
第五节	瓦斯抽放施工及管理	162
第十章	开采保护层	171
第一节	保护层作用及保护范围	171
第二节	开采保护层措施的应用	176

目 录

第三节 保护层开采时钻孔瓦斯抽放·····	179
第四节 抽放钻孔的布置·····	184
参考文献·····	196

第一章 概 述

第一节 煤与瓦斯突出概述

一、煤与瓦斯突出概述

煤与瓦斯突出是煤矿井下采煤过程中发生的一种煤与瓦斯的突然运动。这是一种极其复杂的动力现象,它是在很短的时间(几秒钟到几分钟)内,使采掘工作面的煤壁遭到破坏,并从煤层内部以极快的速度向巷道或采掘空间喷出大量的煤与瓦斯(甲烷或二氧化碳或二者混合物),充塞巷道,在煤体中形成某种特殊形状的孔洞。喷出煤与瓦斯时伴随着强大的冲击力,能摧毁巷道设施,破坏通风系统,甚至使风流逆转,并可能造成瓦斯窒息、爆炸和煤流埋人等事故。因此,它对井下安全生产造成严重的威胁,是发展煤炭生产的重大障碍。

解放后,随着我国煤炭工业的迅速发展,开采矿井增多,采掘水平延深,有些矿井先后发生了煤与瓦斯突出现象。有文字记载的,我国第一次煤与瓦斯突出是1951年4月在辽宁省北票煤矿台吉一井发生的;同年12月22日,四川省重庆天府煤矿也发生了突出。四川省南桐煤矿东林井和中梁山煤矿从1955年起,相继发生突出。随后,在吉林、黑龙江、河南、湖南、贵州、江西等省的一些煤矿也都有突出发生。

在国外,有名的煤与瓦斯突出地区是法国的塞外纳、前苏联的

顿涅茨、波兰的下西利西亚、比利时的莫塞、匈牙利的列克司、日本的歌志内、英国的西威尔士等煤田。从现有文献看到,1834年法国鲁阿雷煤田伊萨克矿井发生的突出是世界上第一次煤与瓦斯突出。目前这种煤与瓦斯突出的现象,世界上几个主要产煤国家几乎都有,总突出次数估计有2万次,其中突出较多的是法国6千多次,前苏联4千多次。突出强度超过一千吨煤炭的已经有8个国家。国外主要产煤国家煤与瓦斯突出的情况见表1-1所列。

表 1-1 国外主要产煤国家煤与瓦斯突出情况

国 别	有记录的突出次数		最大强度 /t	瓦斯种类	附 注
	起止时间	次数			
法 国	1834~1966	6 278	5 600	CO ₂ , CH ₄ 混 合气体	突出次数系在塞外 纳煤田发生的
前苏联	1906~1969	4 109	14 000	CH ₄	
波 兰	~1962	1 006	5 000	CO ₄	
日 本	1925~1964	1 000	1 000	CH ₄	
匈牙利	1894~1963	500	1 400	CH ₄	西威尔士煤田发生
比利时	1892~1963	257	1 600	CH ₄	
英 国	1912~1962	200	1 000	CH ₄	

随着开采深度的增加,煤与瓦斯突出的危险性日趋严重。至今世界上最大的一次突出发生在前苏联顿巴斯的加加林矿。该矿在1969年7月13日当石门揭开1.03 m厚的煤层时,突出煤14 200 t,喷出瓦斯25万 m³以上。

我国早在1939年吉林省辽源矿务局就发生过瓦斯动力现象。到1986年为止,发生突出的矿井已达200多个,突出总次数12 000次,其中强度在1 000 t以上的特大型突出69次。目前以四川、湖南、辽宁、河南、贵州和江西等省突出较为严重。我国最大的一次突出是1975年8月8日,四川天府矿务局三汇坝一矿在主平硐揭穿煤层时发生突出,突出煤(岩)12 780 t,喷出瓦斯

140 万 m^3 。

煤与瓦斯突出大部分发生在煤层掘进工作面,例如:南桐矿务局约有 74%、红卫煤矿约有 88%、北票煤矿约有 97%、天府煤矿与六枝矿务局几乎全部以及日本约有 89.8% 的突出都是这样。我国阳泉煤矿以及其他国家采煤工作面的突出也有严重的。

我国和大多数国家突出的瓦斯主要是甲烷,而法国和波兰的某些煤田就突出二氧化碳,也有同时突出甲烷和二氧化碳的。

突出的固体物主要是煤炭,有时伴有岩石。20 世纪 50 年代以来,不少矿井开采深度达到 700 m 以上,岩石突出也开始发生。我国吉林省营城煤矿五井距地表垂深只有 439 m 的地方,在 1975 年 6 月 13 日曾发生一次岩石突出,突出岩石 1 005 t,涌出二氧化碳 11 000 m^3 。其他如苏、美、日、波等国岩石突出都很频繁,前苏联仅顿巴斯矿区(1955~1970 年)岩石突出就达 2 554 次,最大一次突出岩石 2 372 t,主要为砂岩。

二、煤与瓦斯突出的危害

由于煤与瓦斯突出是在短时间内向采掘工作面空间喷出大量的煤(岩)和瓦斯,所以它往往会摧毁巷道设施,破坏通风系统,甚至充塞巷道,造成瓦斯窒息、燃烧和爆炸及煤突出。

例如,1879 年 4 月 17 日,比利时曾发生一次突出,突出强度为 420 t,涌出瓦斯 507 m^3 。瓦斯喷出时,逆风流从提升井冲到地面,距井口 23 m 的炉火导致瓦斯燃烧,火焰高达 50 m,井口建筑物烧成废墟。两小时后在火焰将熄灭时,又引起瓦斯连续爆炸 7 次,每隔 7 min 爆炸一次,当时井下共 209 人,死亡 121 人,地面烧死 3 人,另有 11 个被烧伤。

1972 年 2 月 20 日,湖南红卫煤矿石揭煤远距离放炮时发生突出,突出煤(岩)量 4500 t,喷出瓦斯量 138.5 万 m^3 ,高浓度瓦斯从主井口喷出。井口附近瓦斯浓度高达 15%,较长时间稳定在 9%。从北翼风井口喷出的瓦斯被信号房内的炉火点燃,火柱高达

30 m,井口房和主通风机被烧毁。

2000年6月24日平顶山十矿戊₉₋₁₀—21151机巷发生煤与瓦斯突出,喷出距离12.7 m,其中巷道里段5 m为满巷堆积,外段煤呈15°堆积,突出后瓦斯超限28 h,共涌出瓦斯7 682 m³,浓度最高在10%以上。在突出前由于掘进工作面职工发现有突出征兆后立即撤到压风自救处,从而避免了可能造成的人身伤亡事故。

第二节 国内外防治煤与瓦斯突出的概况

目前世界各地煤与瓦斯突出的现象还没有得到完全控制,特别是随着煤炭生产规模日益扩大,矿井开采水平不断延深,煤与瓦斯突出的次数和强度都在增加,这是由于人们对突出的原因和机理的概念,还不十分明确,预防措施不够完善。

自解放以来,我国防治煤与瓦斯突出的工作从无到有,发展很快,对煤与瓦斯突出的认识,逐步深入,已初步掌握了一些规律,采用与推广了开采保护层等一系列行之有效的技术措施,保证了安全生产。

我国在预防突出的措施方面,目前普遍采用的有开采保护层、超前钻孔、预排瓦斯和震动放炮。开采保护层是一种有效的区域性预防措施,其他国家,如苏、法、波、比、捷、英、日、德等国也在采用。由于各国的地质和开采保护条件不同,开采保护层的经验也不一样。随着开采深度增加,矿井通风复杂,保护层瓦斯大,甚至也有突出危险等原因,开采保护层这种办法需要进一步完善,但是在条件合适的地方都尽量采用。

超前钻孔是一种较为有效的局部预防措施,各国普遍采用,但孔径不一,我国和前苏联为250~300 mm,日本为100~340 mm,西欧国家为115~140 mm。

预排瓦斯既是一种有效的区域性预防措施,也是一种局部预

防措施,各国都在采用。

震动放炮是一种诱导突出的办法,使用较早,特别在西欧,现在各国仍普遍采用。

上述各种措施由于使用条件的限制,或者不够完善,效果不稳定,还不能完全防止突出。近年来,我国在群众性的技术革新和技术革命运动推动下,正在研究试验新的预防措施,其中有水力冲孔、水力割缝、煤层注水和水力压裂,前两项已分别在南桐和鹤壁矿务局取得初步成效。其他国家也在进行类似的试验。用水处理煤层瓦斯已成为煤矿安全技术发展的一个重要方面。

在预测突出方面,我国加强了试验研究,其他国家也做了不少工作,一般包括区域预测、局部预测和突出警报等内容,除定出鉴别危险层和危险区的指标外,并相应制造了一些测定工具和仪器,但实际效果还受到一定限制。突出警报尚处于摸索阶段,进展不大,应用不多。

第二章 煤层瓦斯的赋存和流动

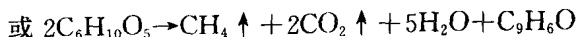
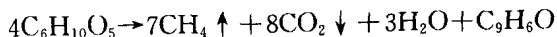
第一节 瓦斯的成因和性质

一、瓦斯的成因

煤矿井下的瓦斯主要来自煤层和煤系地层,它的成因可以认为是在成煤作用过程中伴生的。煤的原始母质沉积以后,一般经历两个成气时期:从泥炭到褐煤的生物化学成气时期以及在地层的高温高压作用下,从烟煤直到无烟煤的变质作用成气时期。瓦斯的生成和煤的形成是同时进行且贯穿于整个成煤过程。

1. 生物化学成气时期的生成

这个时期是从成煤原始有机物堆积在沼泽相和三角洲相环境中开始的,在温度不超过 650℃ 条件下,成煤原始物质厌氧微生物的分解生成瓦斯,这个过程一般可用纤维素的化学反应式来表达:



在此阶段成煤物质生成的泥炭层埋藏深度较浅,且上覆盖层的胶结固化不好,因而生成的瓦斯通过扩散和渗透容易排放到大气中。因此,生化作用生成的瓦斯一般不会保留到现在煤层中。

2. 煤化作用时期的生成

随着泥炭层的下沉,上覆盖层越积越厚,压力与温度也随之增高,生物化学作用逐渐减弱直至结束。在较高的温度和压力下,泥

炭转化为褐煤,进入煤化作用时期(变质作用)。

煤化过程中,有机物质分解,脱出甲基侧链和含氧官能,因而,生成 CO_2 、 CH_4 和 H_2O ,是煤层气形成的基本反应,其生成的瓦斯以甲烷为主要成分。在瓦斯产生的同时,芳核进一步缩合,碳元素进一步集中在碳网中,因此,随着煤化作用的加深,基本结构单元中缩聚芳核的数目不断增加,到无烟煤时,主要由缩聚芳核所组成。所以,从褐煤到无烟煤,煤的变质程度越高,生成的瓦斯量也越多。

二、瓦斯的性质

甲烷是无色无味的气体,但煤层瓦斯往往含有少量其他芳香族碳氢气体,因此,常常伴随着一些苹果的香味;在大气压力为 101 325 Pa、温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的标准状态下,其密度为 0.716 kg/m^3 ;与空气比较,其相对密度为 0.554;与氧气适当混合具有燃烧和爆炸性。瓦斯对水的溶解度很低,难溶于水,其溶解度和温度、压力的关系如图 2-1 所示。

从图中可以看到,当瓦斯压力为 5.0 MPa、温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其溶解度仅为 1%,所以,一般说来,少量地下水的流动对瓦斯的排放影响不大。

与突出密切有关的是煤对瓦斯有很高的吸附性能。瓦斯(CH_4)是由碳氢分子组成的,对煤中的碳分子有很大的吸引力,并且煤在变质过程中,煤中的挥发分变为气体,使煤成为多孔物质,在煤体内部微孔的表面形成很大的表面积。根据实验室测定,1 g 无烟煤的微孔表面积可达 200 m^2 之多,这就使大量瓦斯分子被吸附于煤的微孔的表面,称之为吸附瓦斯。而在微孔隙的空间里,则被游离的瓦斯分子充满,如图 2-2 所示。

煤对瓦斯的吸附作用是物理作用,是瓦斯分子和碳分子互相吸引的结果。吸附瓦斯和游离瓦斯一般处于动平衡状态,吸附状态的瓦斯分子和游离状态的瓦斯分子处于不断的交换之中。若外界

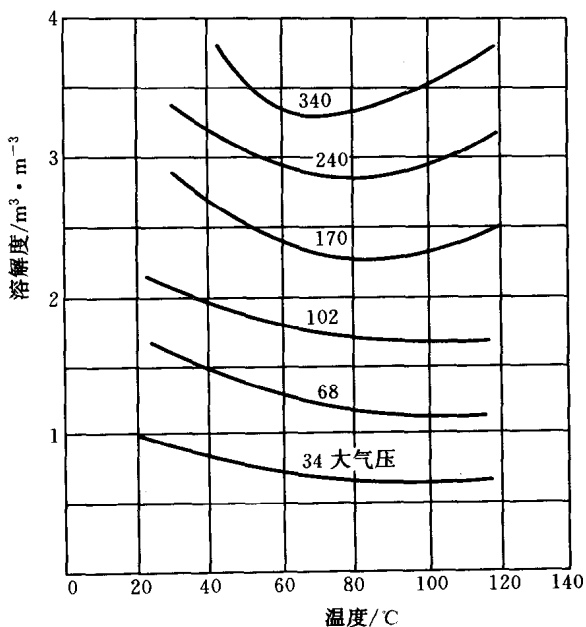


图 2-1 纯水对甲烷的溶解度

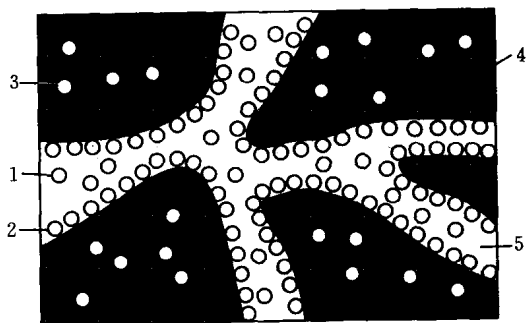


图 2-2 煤体中瓦斯的存在状态示意图

1——游离瓦斯；2——吸附瓦斯；3——吸收瓦斯；4——煤体；5——孔隙

的瓦斯压力和温度变化,或给予冲击和振荡时,使分子的能量受到影响,则动平衡遭到破坏而产生新的平衡状态。由于瓦斯吸附分子和游离分子是不断交换的,在瓦斯缓慢的流动过程中,一般可以认为不存在游离瓦斯易放散、吸附瓦斯不易放散的问题。

瓦斯在煤层中流动时,流动的速度与它本身的粘度有关。在标准状态下,瓦斯的粘度为 $1.08 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$,在煤层的温度和压力条件不变的情况下,其数值变化不大。

在较高的瓦斯压力作用下,瓦斯分子能渗入煤体胶粒结构之中,使煤体膨胀,煤的强度降低。这部分侵入煤体胶粒结构的瓦斯,称之为吸收瓦斯。相反地,将瓦斯排放后,煤体收缩,煤的强度可以提高。在高压瓦斯作用下,瓦斯进入煤体使煤体膨胀变形的情况如图 2-3 所示(1963 年辽宁煤炭研究所测定)。

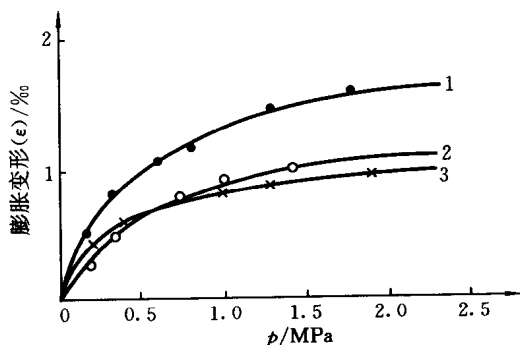


图 2-3 煤体吸收瓦斯后的膨胀变形曲线

1——焦作李封天官区大煤；2——北票台吉一井 4 号煤；

3——辽宁太信东二坑下层煤

在一般情况下,进入煤体内部的吸附瓦斯和在表面的附着瓦斯,与游离瓦斯是不断运动和相互交换的。在突出过程的短暂时间内,游离瓦斯首先放散,然后吸附瓦斯迅速加以补充。但在瓦斯涌出和抽放时,瓦斯流动缓慢,不存在“只能抽出游离瓦斯,不能抽出

吸附瓦斯”的问题。此外,瓦斯分子具有较高的扩散性,与空气混合后不易分离。

第二节 煤层的瓦斯含量及影响因素

煤层的瓦斯含量是指每吨煤或每立方米煤体中所含的瓦斯量,按标准状态下的体积而言,也就是吸附和游离两种状态瓦斯量的总和。在煤的瓦斯含量中,一般吸附瓦斯占80%~90%以上。吸附瓦斯量的多少,决定于煤对瓦斯的吸附能力和瓦斯压力、温度等条件。吸附瓦斯在煤中是以多分子层吸附的状态附着于煤的表面,因此煤对瓦斯的吸附能力决定于煤质和煤结构,不同煤质对瓦斯的吸附能力如图2-4所示。

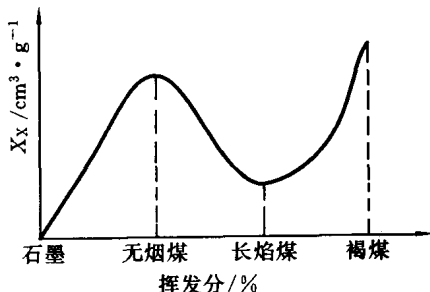


图 2-4 不同煤质对瓦斯的吸附能力

在成煤初期,煤的结构疏松,孔隙率大,瓦斯分子能渗入煤体内部,因此褐煤具有很大的吸附瓦斯能力,但褐煤在自然条件下,本身尚未生成大量瓦斯,所以它虽然具有很大的吸附瓦斯的能力,但缺乏瓦斯来源,实际所含瓦斯量是很小的。在煤的变质过程中,在地压的作用下,煤的孔隙率减少,煤质渐趋致密。在长焰煤中,其孔隙较少,表面积较小,所以吸附瓦斯的能力大大降低,最大的吸附瓦斯量在20~30 m³/t左右。随着煤的进一步变质,在高温、高

压作用下,煤体内部因干馏作用而生成许多微孔隙,使无烟煤的表面积达到最大,因此无烟煤的吸附瓦斯能力最强,可达 $50 \sim 60 \text{ m}^3/\text{t}$ 。以后微孔又收缩减少,到石墨时变为零,使吸附瓦斯的能力消失。

一、煤层瓦斯含量及其计算

由于煤层瓦斯含量包括游离瓦斯含量和吸附瓦斯含量,因此,在计算煤层瓦斯含量时,应分两情况分别进行计算:

1. 煤的游离瓦斯含量

一般情况下,煤的游离瓦斯含量是按气体状态方程(马略特定律)进行计算,即:

$$X_y = \frac{VpT_0}{Tp_0\xi} \quad (2-1)$$

式中 X_y ——煤的游离瓦斯含量, m^3/t ;

V ——单位质量煤的孔隙容积, m^3/t ;

p ——瓦斯压力, MPa;

T_0, p_0 ——标准状况下的绝对温度(273 K)与压力(0.101 325 MPa);

T ——瓦斯的绝对温度, $T = 273 + t$;

t ——瓦斯的摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$;

ξ ——瓦斯压缩系数,甲烷的压缩系数如表 2-1 所列。

2. 煤的吸附瓦斯含量

煤的瓦斯含量是指单位体积或质量的煤,在一定温度和压力的条件下所含有的瓦斯量(按标准状态时的体积计算),以 m^3/t , 或 m^3/m^3 表示。

煤的瓦斯含量和温度、压力的关系,如图 2-5。该图是某一煤样的测定曲线。

表 2-1

甲烷气体压缩系数 ξ 值

甲烷压力/MPa	温 度/°C					
	0	10	20	30	40	50
0.1	1.00	1.04	1.08	1.12	1.16	1.20
1.0	0.97	1.02	1.06	1.10	1.14	1.18
2.0	0.95	1.00	1.04	1.08	1.12	1.16
3.0	0.82	0.97	1.02	1.06	1.10	1.14
4.0	0.90	0.95	1.00	1.04	1.08	1.12
5.0	0.87	0.93	0.98	1.02	1.06	1.11
6.0	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
7.0	0.83	0.88	0.93	0.98	1.04	1.09

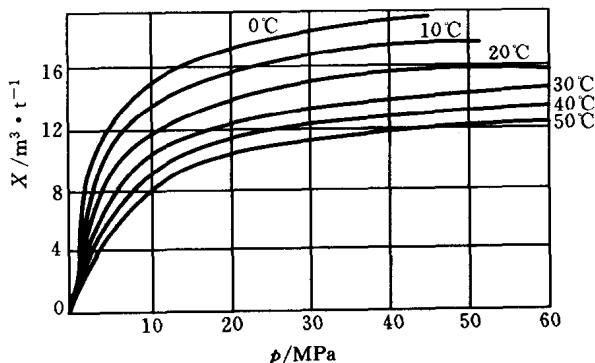


图 2-5 瓦斯含量和温度、压力的关系

从图中可以看出,由吸附瓦斯和游离瓦斯组成的总瓦斯量随瓦斯压力增大而提高,随温度升高而降低。这是因为,在一定温度下,当瓦斯压力增高时,意味着单位体积内瓦斯分子数增加,这就增加了瓦斯分子与煤体吸附的机会,使吸附力随着吸附瓦斯分子