

国家自然科学基金重点项目 (50534090)

国家重点基础研究发展计划973项目 (2005CB221506)

国家“十一五”科技支撑计划项目 (2007BAK29B01 2006BAK03B0403)

矿井瓦斯防治

理论与技术

(第二版)

林柏泉 等编著

Kuangjing Wasi Fangzhi Lilun Yu Jishu

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家自然科学基金重点项目(50534090)

国家重点基础研究发展计划 973 项目(2005CB221506)

国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAK29B01 2006BAK03B0403)

矿井瓦斯防治理论与技术

(第二版)

林柏泉等 编著

中国矿业大学出版社

《矿井瓦斯防治理论与技术》

编著人员名单

主 编：林柏泉

副 主 编：翟 成 朱传杰

编著人员：郝志勇 杨 威 林传兵

张连军 张海宾 孙 鑫

李贤忠

前 言

煤层瓦斯是成煤过程中的伴生产物,早在 15 世纪就开始为人们所认识。但是,矿井瓦斯真正受到人们的普遍关注则是在 20 世纪,且多半是由于矿井瓦斯所造成的灾害事故,如新中国成立以来,煤矿发生一次死亡百人以上事故共 24 起,其中瓦斯(煤尘)事故 22 起,2004 年至 2008 年,工矿企业一次死亡 10 人以上特大事故中,煤矿占 72.8%~89.6% (死亡人数);在煤矿企业所发生的一次死亡 10 人以上事故中,瓦斯事故占死亡人数的 70%~80%。实际上,矿井瓦斯除了会造成煤矿中的灾害事故,如矿井瓦斯喷出、煤与瓦斯突出、瓦斯爆炸事故之外,矿井瓦斯还是一种优质热源,在瓦斯浓度为 40% 时,其发热量可达 $14\ 630\sim 16\ 720\text{ kJ/m}^3$ 。而以往人们大多只注重其灾害事故的一面,却忽视了其作为优质热源的一面。进入 20 世纪 90 年代以来,人们认识到了瓦斯作为一种优质热源的利用价值,故而提出了把矿井瓦斯作为一种能源加以开采,提出了煤气共采的新思路。另外,从环境保护角度而言,也有必要对矿井瓦斯加以治理。据有关部门分析,瓦斯对大气臭氧层的破坏作用是二氧化碳对臭氧层破坏作用的 20 倍,如何减少瓦斯排放,也是当前急需解决的问题。因此,矿井瓦斯是集害与利于一身的产物。但是,对于煤矿井下生产而言,当前的首要任务还在于如何防治瓦斯灾害事故的发生,保证煤矿的安全生产。

矿井瓦斯防治工作历史悠久。但是,在我国,瓦斯防治工作真正得到重视和落实则是在新中国成立后,尤其是在 20 世纪 80 年代以后,投入了大量的人力、物力和财力从事矿井瓦斯灾害发生机理、预测预报和防治技术的研究工作,使我国矿井瓦斯防治理论和技术取得了长足的进步,瓦斯灾害事故得到了有效的控制,并且在实际工作中积累了丰富的经验。为了进一步推动矿井瓦斯防治工作的发展,及时总结经验,作者重新撰写了这本《矿井瓦斯防治理论与技术》。

本书是在《矿井瓦斯防治理论与技术》(1997 年版)的基础上,经过修改、补充和完善而形成的。全书以矿井瓦斯的生成与赋存为基础,结合作者所做的科研工作,较为系统地总结了矿井瓦斯防治的技术经验,较为全面地阐述了矿井瓦斯防治的理论与技术。全书共分 10 章,论述了煤层瓦斯的生成与赋存、矿井瓦斯涌出及其治理、矿井瓦斯喷出及其防治、矿井瓦斯突出危险性预测、煤与瓦斯突出的防治、矿井瓦斯爆炸及其防治、矿井瓦斯抽放、矿井瓦斯的检查与监测、瓦斯综合利用和煤矿生产安全风险。本书由林柏泉教授任主编,翟成和朱传杰任副主编,吴海进、郝志勇、杨威、林传兵、张连军、张海宾、陆振国、李文霞和李贤忠参与了有关章节的编写工作。

本书的主要特点体现在:

(1) 注重理论与实践相结合。

(2) 以中国矿业大学在煤矿瓦斯防治理论与技术方面所取得的科研成果为主,尽可能反映当前相对成熟的瓦斯防治新技术。

本书在撰写过程中查阅了矿井瓦斯防治方面已有的资料,并得到了中国矿业大学周世宁院士和俞启香教授的悉心指导,得到了中平能化集团平煤股份公司、开滦集团、天府矿业集团等有关领导的热情帮助和大力支持,得到了中国矿业大学出版社的热情帮助和大力支持。同时,江丙友、赵帅、徐幼平等同志参与了书稿的整理工作。借本书出版之际,作者谨向给予本书出版支持和帮助的各位领导、老师、专家学者,参考文献作者和广大同仁表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中疏漏和错误在所难免,敬请读者不吝赐教。

作 者

2010年1月10日于徐州

目 录

前言	1
第 1 章 煤层瓦斯的生成与赋存	1
1.1 煤层瓦斯的生成	1
1.2 瓦斯生成的影响因素及其分析	4
1.3 煤层瓦斯的赋存	5
第 2 章 矿井瓦斯涌出及其治理	20
2.1 矿井瓦斯涌出量的计算及其主要影响因素	20
2.2 矿井瓦斯涌出量预测	34
2.3 矿井瓦斯涌出的治理	42
第 3 章 矿井瓦斯喷出及其防治	47
3.1 矿井瓦斯喷出的分类及其特点	47
3.2 矿井瓦斯喷出的防治	49
第 4 章 矿井瓦斯突出危险性预测	53
4.1 矿井瓦斯突出的分类及其一般规律	53
4.2 煤与瓦斯突出机理	57
4.3 煤与瓦斯突出危险性预测	74
4.4 突出预测指标临界值的确定方法	99
第 5 章 煤与瓦斯突出的防治	102
5.1 煤与瓦斯突出防治的原则及措施	102
5.2 区域性防突技术措施	104
5.3 采煤工作面防突技术措施	169
5.4 掘进巷道防突技术措施	182
5.5 穿层卸压控制爆破技术	193
5.6 其他措施	195

第 6 章 矿井瓦斯爆炸及其治理	198
6.1 矿井瓦斯爆炸及其危害	198
6.2 矿井瓦斯爆炸点燃、传播和破坏效应.....	202
6.3 矿井瓦斯爆炸的防治	220
6.4 矿井瓦斯爆炸事故的处理	243
第 7 章 矿井瓦斯抽放	264
7.1 国内外瓦斯抽放利用概况	264
7.2 钻孔抽放煤层瓦斯的理论分析	270
7.3 瓦斯抽放技术及方法	277
7.4 煤层瓦斯抽放工艺及设备	299
第 8 章 矿井瓦斯的检查与监测	306
8.1 矿井瓦斯的检查	306
8.2 矿井瓦斯的监测	311
8.3 矿井瓦斯监测、监控系统的开发.....	319
第 9 章 瓦斯综合利用	344
9.1 瓦斯的提纯和储存	344
9.2 瓦斯民用	351
9.3 生产化工产品	352
9.4 瓦斯发电	353
9.5 汽车燃料	356
第 10 章 煤矿生产安全风险管 理	358
10.1 煤矿生产安全风险管理的 技术保障	358
10.2 煤矿生产安全风险管理的 组织保障	360
10.3 煤矿生产安全风险管理的 教育培训保障	362
10.4 煤矿生产安全风险管理的 安全文化保障	366
10.5 煤矿生产安全风险 管理系统	370
参考文献	401

第1章 煤层瓦斯的生成与赋存

瓦斯(甲烷),这一煤炭开采过程中的伴生物,早在15世纪就开始为人们所认识。我国明代宋应星在《天工开物》(初刊于1637年)一书中曾介绍过,在煤炭开采时,煤层中存在着一种能使人窒息和可燃爆的气体,并提出了利用竹管引排的方法。16世纪末,英国和其他西欧国家在采煤时,也遇到了“有害的”气体,但并未引起人们的重视。只是到了18世纪初期,英国有的深井开始发生瓦斯爆炸。1839年美国煤矿也发生瓦斯爆炸。此后,断断续续又发生了许多次爆炸,导致了人员和设备财产的严重损失,这时人们才逐渐重视并开始研究爆炸的原因及应采取的防范措施。但是,有关瓦斯生成及来源的问题,直到20世纪40年代人们才开始逐步重视,并对此进行研究。

煤矿井下的瓦斯主要来自煤层和煤系地层,关于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和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的。

1.1 煤层瓦斯的生成

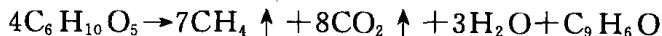
瓦斯的生成与煤的成因息息相关,它除了与成煤物质、成煤环境、煤岩组成、围岩性质、成煤阶段等均有关外,还与两个不同成气时期有很大的关系。一般情况下,瓦斯的成气母质可分为两大类,即高等植物在成煤过程中形成的腐殖型有机质和低等植物在成煤过程中形成的腐泥型有机质,它们在成煤和成气过程中的差异,构成了各自特有的地球化学标志和各自不同的特点(如表1-1-1所列)。

表 1-1-1 腐殖型有机质和腐泥型有机质对比表

成气母岩		腐殖质	腐泥质
主要成分		以芳香族化合物为主,类脂化物较少	含丰富的类脂化物
元素组成	氢和氧	贫氢(一般<6%) 富氧(可达27%)	高氢(一般>6%) 低氧(<4%)
	H/C 比值	低(<1)	较高(>1)
	O/C 比值	高(<0.5)	较低(<0.3)
主要形成环境		河流湖泊三角洲	海洋及湖泊
产物及产气量	煤	腐植煤	腐泥煤
	气	高瓦斯(90%~95%) 低湿气(一般<0.5%)	瓦斯较低(47%~75%) 湿气较高(20%左右)

1.1.1 生物化学成气时期瓦斯的生成

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 65 °C 条件下,成煤原始物质经厌氧微生物分解成瓦斯。该过程用纤维素的化学反应式表示:



或



在这个阶段,成煤物质生成的泥炭层埋深浅,上覆盖层的胶结固化不好,生成的瓦斯通过渗透和扩散容易排放到古大气中去。因此,生化作用生成的瓦斯一般不会保留在现有煤层内。此后,随着泥炭层的下沉,上覆盖层越来越厚,成煤物质中所受的温度和压力也随之增高,生物化学作用逐渐减弱直至结束。在较高的压力与温度作用下泥炭转化成褐煤,并逐渐进入变质作用阶段。

1.1.2 变质作用时期瓦斯的生成

褐煤层进一步沉降,便进入变质作用造气阶段。在 100 °C 高温及其相应的地层压力下,煤层中的煤体就会产生强烈的热力成气作用。在变质作用的初期,煤中有机质基本结构单元主要是带有羟基(-OH)、甲基(-CH₃)、羧基(-COOH)、醚基(-O-)等侧链和官能团的缩合稠环芳烃体系,煤中的碳元素则主要集中在稠环中。由于一般情况下,稠环的键结合力强、稳定性好,侧链和官能团之间及其与稠环之间的结合力弱、稳定性差,因此,随着地层下降,压力及温度的增大与升高,侧链和官能团即不断发生断裂与脱落,生成 CO₂、CH₄、H₂O 等挥发性气体,如图 1-1-1 所示。

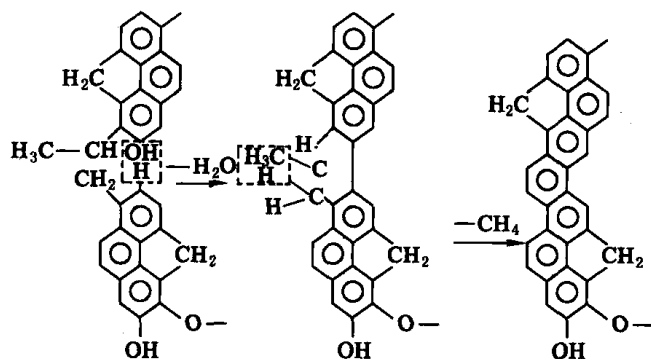


图 1-1-1 煤化作用(含碳量 83%~92%)成气反应示意图

变质作用过程中有机质分解、脱出甲基侧链和含氧官能团而生成 CO₂、CH₄ 和 H₂O 是煤成气形成的基本反应,煤化作用过程中生成的瓦斯以甲烷为主要组分。

在瓦斯产出的同时,芳核进一步缩合,碳元素进一步集中在碳网中。随着变质作用的加深,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。从烟煤到无烟煤,煤的变质作用程度越高,生成的瓦斯量也越多。但是,各个变质阶段生成的气体组分不仅不同,而且数量上也有很大变化。图 1-1-2 所示是前苏联学者 B. A. 索科洛夫等人给出的腐殖型有机煤在变质作用阶段成气的一般模式。

从图中可以看出,CH₄ 的生成是个连续相,即在整個变质阶段的各个时期都不断地有 CH₄ 生成,只是各阶段生成的数量有较大的波动而已;但是,重烃的生成则是个不连续相。

实践表明,这个以人工热演化产生瓦斯为基础的模型与实测的结果在趋势上是一致的。

煤的有机显微组分可以分为镜质组、惰质组和壳质组。这些组分产烃的能力大小次序是壳质组>镜质组>惰质组,其结果见表 1-1-2。

表 1-1-2 煤的各有机显微组分人工热演化产气结果

纤维组分	壳质组(抚顺)	镜质组(抚顺)	惰质组(阜新)
产气率/mL·g ⁻¹	483	183	43.9

注:实验条件:500℃,110 h,无压、真空封闭体系(中国科学院地球化学所)。

前苏联学者 B. A. 乌斯别斯基根据地球化学与煤化作用过程反应物与生成物平衡原理,计算出了各煤化阶段的煤所生成的甲烷量,其结果如图 1-1-3 所示。

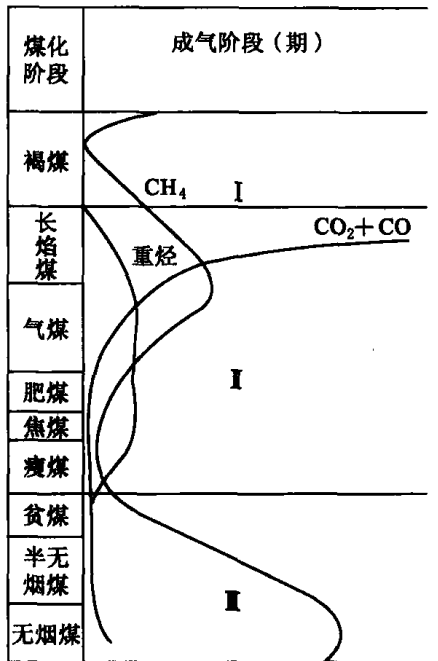


图 1-1-2 腐植煤在煤化作用阶段成气演化的一般模式图

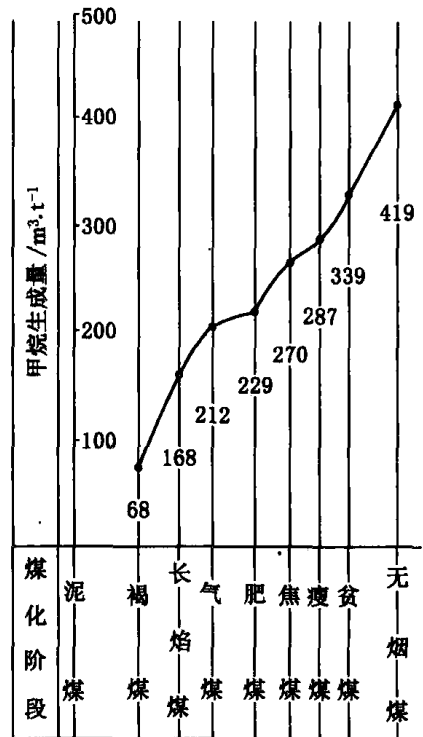


图 1-1-3 各煤化阶段甲烷生成量曲线

实际上,由于泥炭向褐煤过渡时期生成的甲烷很容易流失掉,所以,目前估算煤层生成甲烷量的多少,一般都是以褐煤作为计算起点的。但是,由于自然界的实际煤化过程远比有许多假设进行的理论计算复杂,所以,上述数据只能是近似的,仅供参考。

在煤和石油共生矿区,有时煤层瓦斯同油气田的瓦斯侵入有关。例如,重庆中梁山煤矿 10 号煤层的瓦斯,与底板石灰岩溶洞中的瓦斯有关;而陕西铜川矿务局焦坪煤矿井下的瓦斯,又与顶底板砂岩含油层的瓦斯有关。

一般来说,世界各国煤田中所含瓦斯均以 CH₄ 为主,在某些煤层中还含有 C₂H₆、C₃H₈ 等重烃气体及 CO₂ 等其他气体。

1.2 瓦斯生成的影响因素及其分析

由于煤层中的瓦斯主要是煤化作用的产物,所以煤中瓦斯生成量的多少和煤岩组成、煤化作用程度等都有一定的关系。

1.2.1 煤岩组分

煤是一种固体可燃有机岩,其岩石组成比较复杂。煤岩显微组分是组成煤的基本岩石学单元,可分成镜质组、惰质组和壳质组。从煤岩学角度看,煤层瓦斯的生成取决于成煤作用和煤岩显微组成。在同一煤化作用阶段,相对惰质组而言,镜质组碳含量少,氢含量多,挥发分产率高,瓦斯生成量大。壳质组在整个成煤过程中都产生瓦斯,其挥发分产率和烃产率最高,但是,它在煤中所占比例很少。各种煤岩组分所具有的不同的物理化学性质,显然会影响到煤中瓦斯的吸附性质和赋存状态。实际资料证实,煤岩组分与瓦斯吸附量之间存在着十分清楚的依附关系,即瓦斯吸附量随着煤不同的煤化作用阶段而发生变化(如图1-2-1所示)。

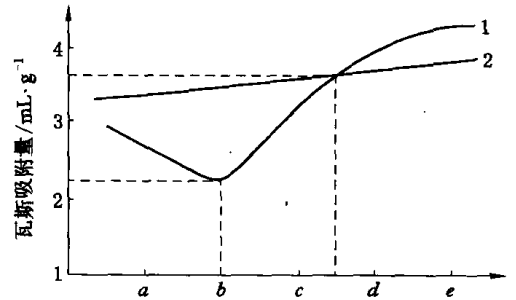


图 1-2-1 煤岩组分与瓦斯吸附量的关系

1——镜质组变化曲线;2——惰质组变化曲线

a——气煤;b——肥煤;c——焦煤;

d——瘦煤;e——贫煤

从图中可以看出,镜质组在肥煤阶段瓦斯吸附量最小,肥煤以后吸附量迅速增加,并在焦煤、瘦煤

阶段以后超过惰质组。因此,肥煤阶段是镜质组瓦斯吸附量的一个转折点;惰质组的瓦斯吸附量是随着煤化作用程度的提高而呈直线型缓慢增长。将两者综合考虑,可以认为:煤的瓦斯吸附量取决于惰质组所占的比例,即惰质组在煤中所占的比例越多,煤的瓦斯吸附量就越大。在中等变质作用阶段,镜质组和惰质组在煤中所占比例的变化对煤总的吸附量影响不大;在高变质作用阶段,煤的瓦斯吸附量主要取决于镜质组在煤中所占的比例,即镜质组比例越多,煤的瓦斯吸附量越大。煤岩组分对煤的瓦斯吸附量的影响不仅反映在不同煤岩组分瓦斯生成量的不同上,而且还与煤岩组分在煤中所占比例大小有关;不同煤化作用程度的煤,其煤岩组分是不相同的。产生这种变化的原因是由于镜质组和惰质组在煤化作用过程中分子结构的变化不均一,从而影响到煤体中微孔隙和超微孔隙的性质和数量改变所致。

1.2.2 煤化作用程度及其变质分带

在煤化作用过程中,瓦斯将不断地产生,煤化作用程度越高,累积产生的瓦斯量就越多。其主要原因是:第一,煤层瓦斯的伴生量直接依赖于煤化作用程度;第二,随着煤化作用程度的加深,煤的气体渗透率下降,煤的储气能力提高,气体沿煤层向地表运移能力减弱;第三,煤化作用程度越高,煤中微孔隙和超微孔隙所占比例提高,煤的吸附能力增强。因此,煤化作用程度不仅影响瓦斯的生成量,而且对瓦斯的吸附能力也有影响。在成煤初期,褐煤的结构疏松,孔隙率大,瓦斯分子能渗入煤体内部;但是,由于该阶段瓦斯生成量较少且不易保存,煤中实际所含瓦斯量并不大。在变质作用过程中,由于地应力的作用,煤的孔隙率减小,煤质渐趋致密,如长焰煤,其孔隙率和比表面积都比较小,所以吸附瓦斯的能力并不大,其吸附量一般为 $20\sim 30\text{ m}^3/\text{t}$ 。随着变质作用程度提高,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,使煤的表面积到无烟煤时为最大,因此,无烟煤吸附瓦斯的能力最强,可达 $50\sim 60\text{ m}^3/\text{t}$ 。以后,煤体内部的微孔又收缩、减少,到石墨时变为零,从而导致吸附瓦斯能力消失(如图 1-2-2 所示)

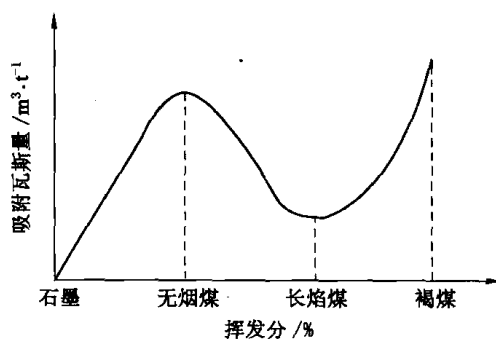


图 1-2-2 不同煤级煤对瓦斯的吸附能力

我国的聚煤期多,煤炭储量丰富,煤种分布广,变质作用分带明显。目前,从地质时代上看,变质作用总的规律表现为:晚古生代以中、高煤化煤占较大比例,尚未发现低煤化煤如褐煤;中生代虽有褐煤,但以中、低煤化煤为主,并伴随有高煤化烟煤

以至无烟煤;古近纪、新近纪则不仅有褐煤,而且也有低煤化烟煤。因此,目前的研究结果基本上反映出成煤时期越久,经历的地质历史越长,煤化作用程度就越高的趋势。从地区上看,大致在北纬 38° 以北,包括东北地区和西北大部分地区,基本上是以褐煤和低、中煤化作用烟煤为主;而北纬 38° 以南的华北地区则具有各种变质作用程度的烟煤和无烟煤;西南地区主要是中、高煤化烟煤赋存的地区,而东南地区则以高煤化烟煤和无烟煤占优势。这种分布规律与煤矿瓦斯分布有一定的吻合性,其具体表现在西北地区为低、中瓦斯区,华北地区为中瓦斯区,而华南地区则为高瓦斯区。但是,对东北地区而言,情况则比较复杂,一般情况下,在褐煤分布范围内,低瓦斯矿井居多;在低、中煤分布范围内,则多数矿井瓦斯较大,这种情况的出现和其他地质条件有一定的关系。

除上述情况以外,各成煤期的煤种在区域分布上也各有其不同的特点,通常表现为相同或相近似的煤种呈带状分布,形成不同的带;它们在一定程度上也影响着瓦斯突出区域的分布。例如,在华北石炭—二叠纪聚煤区所划分的三个高煤化作用带中,现已开发的生产矿井中高瓦斯和突出矿井居多,特别是太行山东南麓的安阳、鹤壁、焦作一带,煤种以高煤化烟煤和无烟煤为主,现已开发的生产矿井中高瓦斯和突出矿井占多数,河南境内国有的高煤化烟煤和矿井中有 80% 的高瓦斯和突出矿井集中在这一地区。

以上事实表明,煤化作用分带在一定程度上影响着煤层瓦斯的生成与赋存。

1.3 煤层瓦斯的赋存

瓦斯在煤层中的赋存状态一般有两种,即吸附状态和游离状态。而煤层瓦斯含量实际上是指吸附瓦斯量和游离瓦斯量之和,其值的大小往往是评价煤层瓦斯储量和是否具有抽放价值的重要指标。由上述可知,在成煤过程中,瓦斯的生成量是十分可观的。但是,在现场实际情况中,煤层中赋存的瓦斯量却比生成量要少得多。其原因就在于大量瓦斯在生成的同时,得到不断的排放。亦即,现今煤层中瓦斯量的大小不仅取决于成煤中生成量的多少,而且还与煤层及围岩的赋存条件有关。

目前的实验表明:在煤的瓦斯含量中,一般吸附瓦斯占 $80\%\sim 90\%$;而吸附瓦斯量的多少,主要取决于煤对瓦斯的吸附能力、瓦斯压力和温度等条件,吸附瓦斯在煤中主要是以单分子层吸附的状态附着于煤的表面。

煤的瓦斯含量与温度、瓦斯压力的关系如图 1-3-1 所示,该图是某一煤样的测定曲线,

从中可以看出：由吸附瓦斯和游离瓦斯组成的总瓦斯量随瓦斯压力的增大而提高，随温度的升高而降低。这是因为在一定温度下，当瓦斯压力升高时，则意味着单位体积内瓦斯分子数增加，从而增大了瓦斯分子与煤体吸附的机会；当吸附量增加到一定程度后，就渐趋饱和。目前认为，一般在瓦斯压力超过 5.0 MPa 以后，吸附量基本上达到饱和范围。

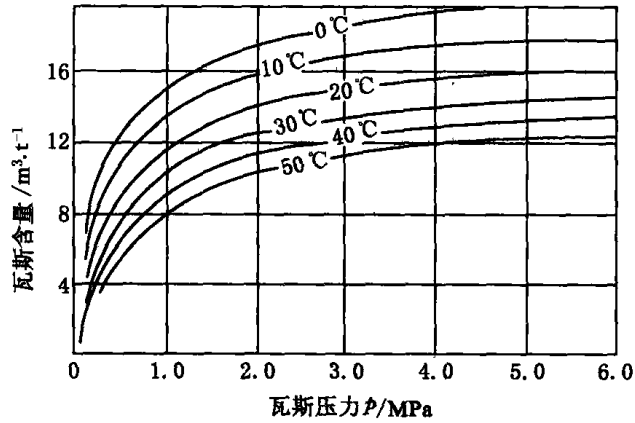


图 1-3-1 瓦斯含量与温度、瓦斯压力的关系

1.3.1 煤层瓦斯含量及其计算

实际上，由于煤层瓦斯含量包括游离瓦斯含量和吸附瓦斯含量，因此一般应分别进行计算。

1.3.1.1 煤的游离瓦斯量

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)进行计算的，即：

$$x_y = \frac{VpT_0}{Tp_0\xi} \quad (1-3-1)$$

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(101.325 kPa);

T ——瓦斯的绝对温度, $T=273+t$;

t ——瓦斯的摄氏温度, $^{\circ}C$;

ξ ——瓦斯压缩系数(以甲烷的压缩系数代替), 甲烷的压缩系数如表 1-3-1 所列。

表 1-3-1 甲烷气体压缩系数表

甲烷压力 /MPa	温度/ $^{\circ}C$					
	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	0.92	0.97	1.02	1.06	1.10	1.14

续表 1-3-1

甲烷压力 /MPa	温度/°C					
	0	10	20	30	40	50
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

1.3.1.2 煤的吸附瓦斯含量

目前一般按朗缪尔(Langmuir)方程计算,在计算中同时应考虑煤中水分、可燃物百分比以及温度的影响。因此,煤的吸附瓦斯量为:

$$x_x = \frac{abp}{1+bp} e^{n(t_0-t)} \cdot \frac{1}{1+0.31W} \cdot \frac{100-A-W}{100} \quad (1-3-2)$$

式中 x_x ——煤的吸附瓦斯含量, m^3/t ;

t_0 ——实验室测定煤的吸附常数时的实验温度, °C;

t ——煤层温度, °C;

n ——经验系数,一般情况下可按下式确定:

$$n = \frac{0.02}{0.993 + 0.07p}$$

p ——煤层瓦斯压力, MPa;

a, b ——煤的吸附常数;

A, W ——煤中灰分与水分, %。

我国部分矿井相应煤层的吸附试验结果如表 1-3-2 所列。

表 1-3-2 我国矿井煤层煤样的吸附试验结果表

矿井	煤层	水分 /%	灰分 /%	挥发分 /%	密度 / $t \cdot m^{-3}$	吸附试验结果				
						温度 /°C	瓦斯压力 /MPa	瓦斯含量 / $m^3 \cdot t^{-1}$	a / $m^3 \cdot t^{-1}$	b /MPa $^{-1}$
焦作李封天官	大煤	1.86	12.16	4.37	1.72	30	1.27	25.33	30.72	4.8
白沙红卫	3	1.72	5.95	6.37	1.49	30	1.49	24.16	53.47	0.5
阳泉矿区	S ₅	1.02	9.34	7.64	1.39	30	1.31	23.62	41.32	1.1
白沙红卫	4	2.19	30.18	10.13	1.73	30	1.22	19.27	25.66	2.4
萍乡煤矿		1.10	8.07	10.33	1.45	30	1.10	14.39	21.33	1.7
鹤壁梁峪		1.70	11.53	12.20	1.43	30	1.21	18.97	35.63	1.0
北票台吉一坑	4	0.63	14.90	17.98	1.46	30	1.82	10.86	14.85	1.2

续表 1-3-2

矿井	煤层	水分 /%	灰分 /%	挥发分 /%	密度 /t · m ⁻³	吸附试验结果				
						温度 /°C	瓦斯压力 /MPa	瓦斯含量 /m ³ · t ⁻¹	a /m ³ · t ⁻¹	b /MPa ⁻¹
天府磨心坡	K ₉	0.99	5.44	18.29	1.36	30	1.76	11.29	17.18	1.1
丰城坪湖	B ₄	1.70	9.50	18.77	1.37	30	1.18	12.61	27.30	0.7
南桐煤矿	K ₂	0.83	22.87	20.26	1.55	30	1.16	6.6	14.16	1.8
包头河滩沟		1.32	32.49	27.16	1.37	30	1.57	12.27	20.77	1.0
开滦赵各庄		1.66	14.40	29.93	1.46	30	1.01	6.42	10.89	1.3
淮北芦岭	8	1.25	7.54	32.17	1.37	30	1.69	12.75	21.88	0.9
抚顺龙凤	4 分层	1.52	9.11	33.72	1.41	30	1.21	13.57	22.93	1.2
阜新平安二坑		8.53	13.37	38.46	1.21	30	1.34	12.30	21.11	1.1
淮南谢一矿	B _{11b}	1.58	31.8	36.20	1.32	30	1.84	20.10	39.06	0.59
辽源西安	上煤	5.54	6.63	41.66	1.34	30	1.68	17.80	28.97	0.9

1.3.1.3 煤的瓦斯含量

根据上述可知,煤的瓦斯含量等于游离瓦斯含量与吸附瓦斯含量之和,故而有:

$$x = x_y + x_x$$

$$= \frac{VpT_0}{T p_0 \xi} + \frac{abp}{1+bp} e^{n(t_0-t)} \cdot \frac{1}{1+0.31W} \cdot \frac{100-A-W}{100} \quad (1-3-3)$$

式中 x ——煤的瓦斯含量, m³/t;

其余符号意义同前。

此外,目前有些瓦斯工作者,为了简化计算,也采用孔隙率和瓦斯压力来计算游离瓦斯量。即: $x_y = BK \cdot p$ [K 为煤层的孔隙率, B 为量纲修正值,量纲为 m³/(t · MPa),数值为 1]。

图 1-3-2 为煤的吸附瓦斯量和游离瓦斯量以及总瓦斯量之间的关系,从中可以看出:在瓦斯压力比较低时,吸附瓦斯量占绝大部分,随着瓦斯压力的增大,吸附瓦斯量渐趋饱和,而游离瓦斯所占的比例逐渐提高。因此,在深部地层中,当瓦斯压力较高时,煤层和岩层孔隙中所含有的游离瓦斯量,往往可以达到相当大的数值。

如果煤层的自然条件和实验室测定的条件完全相同,则实验室中按煤层瓦斯压力和温度测定出来的瓦斯含量就是该煤层的瓦斯含量。

在实际应用时,由于在矿井中各煤层的煤质一般变化不大。因此,在实验室中可以将各个煤层分别用不同瓦斯压力和温度测定出它的瓦斯含量曲线,然后再根据采掘工作地点测出的煤层温度和瓦斯压力,从该煤层的瓦斯含量曲线中求得该地点的煤层瓦斯含量。

在目前的我国的瓦斯矿井中,烟煤的瓦斯含量一般未超过 25~35 m³/t,无烟煤的瓦斯含

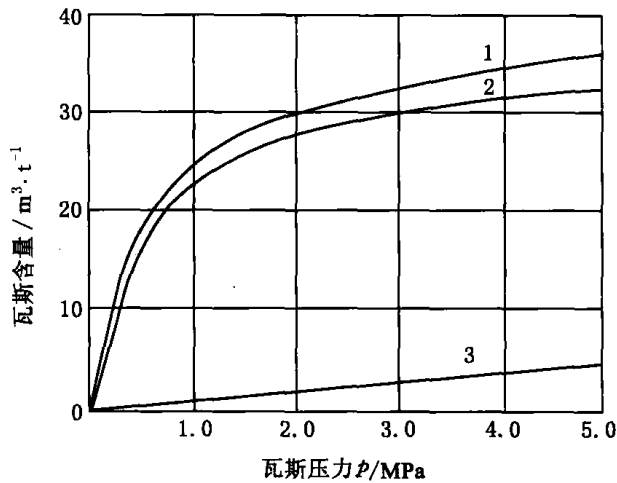


图 1-3-2 煤层瓦斯含量和瓦斯压力的关系曲线

1——总瓦斯量;2——吸附瓦斯;3——游离瓦斯

量一般未超过 $35\sim 45\text{ m}^3/\text{t}$,但是,实际矿井中煤层的瓦斯含量应根据实际测定和计算才能确定。

1.3.2 影响煤层瓦斯赋存及含量的主要因素

煤体在从植物遗体到无烟煤的变质过程中,每吨煤至少可以生成 100 m^3 以上的瓦斯。但是,在目前的天然煤层中,最大的瓦斯含量不超过 $50\text{ m}^3/\text{t}$ 。究其原因,我们认为,一方面是由于煤层本身含瓦斯的能力所限;另一方面是因为瓦斯是以压力气体存在于煤层中的,经过漫长的地质年代,放散了大部分,目前储藏在煤体中的瓦斯仅是剩余的瓦斯量。因此,可以说煤层瓦斯含量的多少主要取决于保存瓦斯的条件,而不是生成瓦斯量的多少;也就是说,不仅取决于煤质牌号,而更主要的是取决于储存瓦斯的地质条件。根据目前的研究成果认为,影响煤层瓦斯含量的主要因素有:煤层储气条件、区域地质构造和采矿工作。

1.3.2.1 煤层储气条件

煤层储气条件对于煤层瓦斯赋存及含量具有重要作用。这些储气条件主要包括煤层的埋藏深度、煤层和围岩的透气性、煤层倾角、煤层露头以及煤的煤化作用程度等。

(1) 煤层的埋藏深度

煤层埋藏深度的增加不仅会因地应力增高而使煤层和围岩的透气性降低,而且瓦斯向地表运移的距离也增大,这二者的变化均朝着有利于封存瓦斯,而不利于放散瓦斯的方向发展。研究表明:当深度不大时,煤层瓦斯含量随埋深的增大基本上呈线性规律增加;当埋深达到一定值后,煤层瓦斯含量将趋于常量。

例如焦作煤田,煤层瓦斯含量在不受断层与地质构造影响的地段,可用式 $x = \alpha + \beta H$ (m^3/t)表示,其中 $\alpha = 6.58\text{ m}^3/\text{t}$, $\beta = 0.038\text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{m})$ [相关系数 $r = 0.96$,埋深 $H > 150\text{ m}$ (瓦斯风化带深)]。前苏联的一些矿区实测瓦斯含量与深度之间的关系证实了上述分析,如图 1-3-3 所示。

(2) 煤层和围岩的透气性

煤系地层岩性组合及其透气性对煤层瓦斯含量有重大影响。煤层及其围岩的透气性越

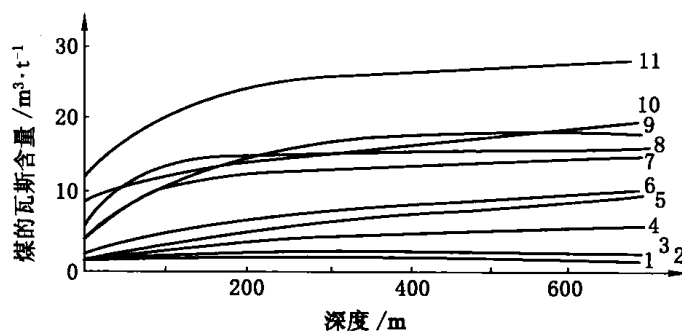


图 1-3-3 前苏联一些矿区实测瓦斯含量与埋深的关系曲线

- 1——“深”No6~7 矿；2——“托施柯夫卡” No5~13 矿；3——“切尔卡斯卡亚—北”No1 与 No2 矿；
 4——“可列明娜亚”No1 矿；5——“青年近卫军”副 No2 矿；6——“西顿巴斯”No6/42 矿；
 7——“雅西诺夫斯卡亚”——“深”矿；8——“尼卡诺尔”矿，“政委”No2~3 矿；
 9——No4 矿，“切尔努欣斯卡亚”No3~5 矿和 C. B. 柯西奥尔矿；
 10——“贝斯特梁斯卡亚”No1 和 No2 矿；11——“红色顿涅茨”No1 和 No2 矿

大，瓦斯越易流失，煤层瓦斯含量就越小；反之，瓦斯易于保存，煤层的瓦斯含量就高。煤层与岩层的透气性可在非常宽的范围内变化，表 1-3-3 列出了甲烷对煤层及岩石的透气性系数。

表 1-3-3 甲烷对煤层及岩石的透气性系数表

矿井	煤层	透气性系数 /m ² · MPa ⁻² · d ⁻¹	岩石种类	透气性系数 /m ² · MPa ⁻² · d ⁻¹
抚顺龙凤	本层	150	砂岩[美]	20~92 000
包头河滩沟		11.2~17.2	砂岩[苏]	0.02~56 000
鹤壁六矿		1.2~1.8	灰岩、白云岩[苏]	0.028~92 000
焦作朱村	大煤	0.4~3.6	泥岩[苏]	4~3 600
红卫坦家冲	6	0.24~0.72	砾岩[日]	1 206.8
涟邵蛇形山	4	0.2~1.08	砂岩[日]	4~320
六枝地宗	7	0.5	砂页岩[日]	0
中梁山	K ₁	0.32~1.16	页岩[日]	0
北票冠山		0.008~0.228		
天府磨心坡	9	0.004~0.04		
淮南谢一	B _{11b}	0.228		
淮北芦岭	8	0.028		
阳泉北头嘴	3	0.016		

从表 1-3-3 中可以看出：可见孔隙与裂缝发育的砂岩、砾岩和灰岩的透气性系数非常大，它比致密而裂隙不发育的岩石（如砂页岩、页岩、泥质页岩等）的透气性系数高成千上万倍；故而在漫长的地质年代中，会排放大量的瓦斯。现场实践表明：煤层顶底板透气性低的