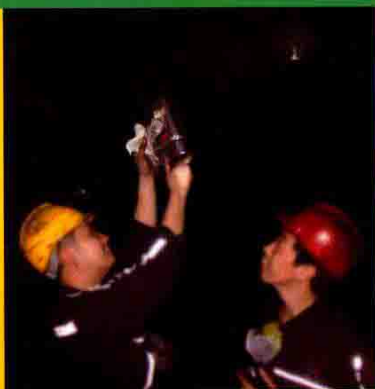




普通高等教育“十三五”规划教材

矿井瓦斯防治与利用

主编 吴 强



 煤炭工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

矿井瓦斯防治与利用

主 编 吴 强

副主编 张保勇 李祥春

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井瓦斯防治与利用/吴强主编. --北京:煤炭工业出版社, 2016

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5020-5287-4

I. ①矿… II. ①吴… III. ①煤矿—瓦斯爆炸—防治—高等学校—教材 IV. ①TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 103686 号

矿井瓦斯防治与利用(普通高等教育“十三五”规划教材)

主 编 吴 强

责任编辑 闫 非 郭玉娟

责任校对 邢蕾严

封面设计 北京地大天成印务 设计印前中心

出版发行 煤炭工业出版社(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

电 话 010-84657898(总编室)

010-64018321(发行部) 010-84657880(读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京玥实印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 14³/₄ 字数 345 千字

版 次 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

社内编号 8144 定价 30.00 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,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十三五”规划教材（高等院校安全工程专业）之一，与《矿井通风》《矿井火灾防治》等配套使用，书中系统介绍了煤层瓦斯的赋存与含量；矿井瓦斯涌出及防治；矿井瓦斯爆炸及预防措施；瓦斯喷出机理及防治措施；煤与瓦斯突出理论及防治；煤矿瓦斯开采；矿井瓦斯储运与利用。书后附有相关的瓦斯参数测定方法及有关规范。

本书可供高等院校安全技术及工程、采矿工程及相关专业的本科生作为教材使用，也可供从事矿山工业科研、设计、管理及工程技术人员参考使用。

前 言

矿井瓦斯是威胁煤矿安全生产工作的重大灾害之一。从发现瓦斯开始，人们在煤矿开采过程中与矿井瓦斯进行了不懈的斗争。我国是世界上瓦斯灾害最严重的国家之一，在长期的生产实践中，我国提出了瓦斯防治的十六字方针“通风可靠、抽采达标、监控有效、管理到位”（2008），形成了四位一体的综合防治措施。这些方针、措施都是煤矿瓦斯治理实践经验的概括总结，是我们对瓦斯治理规律认识的深化，是治理防范瓦斯灾害的基本要求。随着科学技术的进步，有关瓦斯利用的新技术不断涌现。因此，本书对瓦斯存储和利用的新技术进行了较详细的介绍。

本书的成书是在参阅多版本矿井瓦斯防治教材基础上，吸收了以前诸教材的优点，由长期坚守在教学一线的中青年教师编写而成。书中对瓦斯的形成、赋存、涌出规律、防治措施等进行了系统讲授，并对瓦斯利用方面的新技术进行了较详细介绍，以期提高大家对瓦斯利用的认识，加强对瓦斯的利用开发。

本书共分8章，由黑龙江科技大学吴强担任主编，黑龙江科技大学张保勇和中国矿业大学（北京）李祥春担任副主编。第一章由张保勇编写，第二章由康宇编写，第三章、第四章由张强编写，第五章由王亚军、吴琼编写，第六章由李祥春、张强编写，第七章由潘荣锟、张强编写，第八章由潘长虹、吴琼编写。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者不吝指正。

编 者

2016年5月

目 次

第一章 煤层瓦斯的赋存与含量	1
第一节 矿井瓦斯的概念与性质	1
第二节 煤层瓦斯生成	2
第三节 煤层瓦斯赋存与垂向分带	5
第四节 煤层的孔隙特性与吸附性能	7
第五节 煤层瓦斯含量及影响因素	11
第六节 构造煤的成因及其对瓦斯含量的影响	17
复习思考题	18
第二章 矿井瓦斯涌出及防治	19
第一节 煤层瓦斯流动基本规律	19
第二节 瓦斯涌出量及其主要影响因素	27
第三节 矿井瓦斯等级及其鉴定	37
第四节 矿井瓦斯涌出量预测	40
第五节 矿井瓦斯涌出的防治	46
第六节 矿井瓦斯检测	51
复习思考题	60
教学活动	60
第三章 矿井瓦斯爆炸及其预防措施	61
第一节 矿井瓦斯爆炸及其机理	61
第二节 矿井瓦斯爆炸传播及其破坏	65
第三节 煤矿爆炸性气体安全技术参数	70
第四节 煤矿瓦斯爆炸原因分析	78
第五节 瓦斯爆炸的预防措施	79
复习思考题	89
教学活动	89
第四章 瓦斯喷出机理及防治措施	90
第一节 瓦斯喷出分类及其危害	90
第二节 瓦斯喷出预防与处理措施	91
复习思考题	95

教学活动	95
第五章 煤与瓦斯突出理论	96
第一节 煤(岩)与瓦斯突出概况	96
第二节 煤与瓦斯突出种类及特征	97
第三节 煤与瓦斯突出假说、机理及突出过程	102
第四节 突出的一般规律	107
复习思考题	109
第六章 煤与瓦斯突出防治	111
第一节 煤与瓦斯突出预测与监控	111
第二节 煤与瓦斯突出区域防治技术	127
第三节 煤与瓦斯突出局部防治技术	134
第四节 煤与瓦斯突出防治措施效果检验与安全防护	147
第五节 煤与瓦斯突出防治设备	153
复习思考题	155
第七章 矿井瓦斯抽采	156
第一节 煤矿瓦斯抽采可行性	156
第二节 瓦斯抽采设计基本要求和内容	160
第三节 瓦斯抽采方法及其参数	162
第四节 低透气性煤层增透技术	174
第五节 瓦斯抽采设备及安全装置	181
第六节 瓦斯抽采管路与设备的选型	189
复习思考题	192
教学活动	193
第八章 矿井瓦斯储运与利用	195
第一节 抽采瓦斯储运技术	195
第二节 抽采瓦斯直接利用技术	197
第三节 抽采瓦斯分离提纯技术	224
复习思考题	226
教学活动	226
参考文献	227

第一章 煤层瓦斯的赋存与含量

第一节 矿井瓦斯的观念与性质

一、瓦斯的观念

矿井瓦斯有广义与狭义之分，广义的矿井瓦斯是指矿井中以甲烷为主的有毒、有害气体的总称，狭义的矿井瓦斯就是指甲烷。从广义上讲，瓦斯由于组分不同，其性质有很大差别。从安全角度可以将这些组分划分为4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，这些气体具有可燃烧的特性，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，这些气体达到一定浓度时，会直接影响人的健康甚至威胁生命安全；③窒息性气体，如 N_2 、 CH_4 、 CO_2 、 H_2 等，这些气体往往赋存在煤体或围岩内，开采过程中大量涌出到生产空间，从而使空气中的氧气浓度降低，造成人员窒息；④放射性气体，如氡气。

矿井瓦斯的主要来源有4类：第一类是煤层与围岩内赋存并能涌入到矿井中的气体；第二类是矿井生产过程中生成的气体，如爆破时产生的炮烟、机械运行产生的废气等；第三类是井下空气与煤、岩、矿物及其他材料间的化学或生物产生化学反应生成的气体；第四类是放射性物质蜕变过程生成或地下水放出的放射性惰性气体（氡气或氦气）。第一类来源中主要是有机质在煤化过程中生成并赋存于煤岩中的气体，统称为有机源气体。在有火成岩侵入或碳酸盐受热分解生成的二氧化碳经断层侵入的煤田，还有无机源气体。

二、瓦斯的基本性质

甲烷是无色、无味、无臭、可以燃烧或爆炸的气体，标准状态下密度为 0.716 kg/m^3 ，为空气密度的0.554倍。瓦斯的化学性质不活泼，微溶于水，在 101.3 kPa 、 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 的条件下， 100 L 水可以溶解 3.31 L 甲烷气体， $0\text{ }^\circ\text{C}$ 时可溶解 5.56 L 甲烷气体。在 2.56 MPa 、 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 的条件下， 164 L 甲烷气体可以与水反应生成 1 L 甲烷水合物（可燃冰）。

瓦斯在空气中具有较强的扩散性，扩散速率是空气的1.34倍，故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。但是，瓦斯涌出时巷道中的瓦斯分布是不均匀的，煤壁附近的瓦斯浓度高，巷道顶部、冒落区顶部往往积聚高浓度瓦斯。瓦斯分布除与其涌出自身特性有关外，主要取决于风速。为防止瓦斯局部积聚，《煤矿安全规程》对不同用途的井巷最低风速进行了规定（表1-1）。

表 1-1 井巷中的允许风流速度

井巷名称	最低允许风速/(m·s ⁻¹)	井巷名称	最低允许风速/(m·s ⁻¹)
架线电机车巷道	1.0	掘进中的岩巷	0.15
运输机巷,采区进、回风巷	0.25	其他通风人行巷道	0.15
采煤工作面、掘进中的煤巷和半煤岩巷	0.25		

三、瓦斯的危害

当甲烷在空气中的浓度为 43% 时, 氧气浓度将降到 12%, 人会感到呼吸困难; 当其在空气中的浓度为 57% 时, 氧气浓度将降到 9%, 人会处于昏迷状态。为避免发生窒息事故, 应禁止人员进入井下通风不好的区域 (应防止人员误入通风不良的盲巷等区域)。同时, 瓦斯易燃易爆, 当空气中瓦斯浓度在 5% ~ 16% 时, 遇到火源就会爆炸, 瞬间形成高温高压冲击波, 并产生大量一氧化碳。煤矿一旦发生瓦斯爆炸或煤与瓦斯突出事故, 往往会造成人员大量伤亡。目前我国瓦斯灾害占矿井主要灾害的首位, 严重威胁着矿山安全。

四、瓦斯的利用

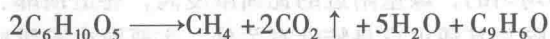
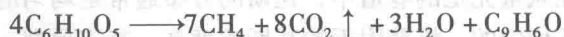
能源问题是制约我国经济和社会发展的主要因素之一, 瓦斯作为一种热值高、污染少的洁净能源, 是常规天然气最现实可靠的补充或替代能源。据统计, 我国陆上煤田埋深 2000 m 以上的浅范围内拥有的瓦斯资源量为 $36.81 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 加强瓦斯抽采利用大有可为。瓦斯利用主要有工业/民用燃气、瓦斯发电、瓦斯氧化制热、瓦斯固化等。

第二节 煤层瓦斯生成

煤矿井下的瓦斯主要来自煤层和煤系地层, 其成因学说多种多样。但是, 国内外多数学者认为煤中的瓦斯是在成煤的煤化作用过程中形成的, 即有机成因说。有机成因说认为煤的原始母质沉积以后, 一般经历两个成气时期: 从植物遗体到泥炭属于生物化学成气时期; 在地层的高温高压作用下, 从褐煤到烟煤直到无烟煤属于煤化作用成气时期。

一、生物化学成气时期

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, 腐植体经厌氧微生物分解成甲烷和二氧化碳。这个过程一般可用纤维素的化学反应式来表达:



目前认为这个阶段成煤物质生成的泥炭层埋深浅, 且上覆盖层的胶结固化不好, 故而生成的瓦斯通过扩散和渗透容易排放到大气中。因此, 生物化学作用生成的瓦斯一般不会

保留在煤层内。

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；这时，在较高的压力与温度作用下，进入煤化作用阶段，泥炭转化成褐煤。

二、煤化作用成气时期

褐煤层进一步沉降，地层压力与温度作用加剧，便进入煤化作用成气时期。据考查，一般在 100 °C 及其相应的地层压力下，煤体就会产生强烈的热力变质成气作用。目前普遍认为，在煤化作用初期，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。一般情况下，稠环的键结合力强，故而稳定性好；而侧链和官能团之间及其与稠环之间的结合力弱，故稳定性差。因此，随着地层下降，压力增大，温度升高，侧链和官能团不断发生断裂与脱落，生成 CO₂、CH₄、H₂O 等挥发性气体，如图 1-1 所示。

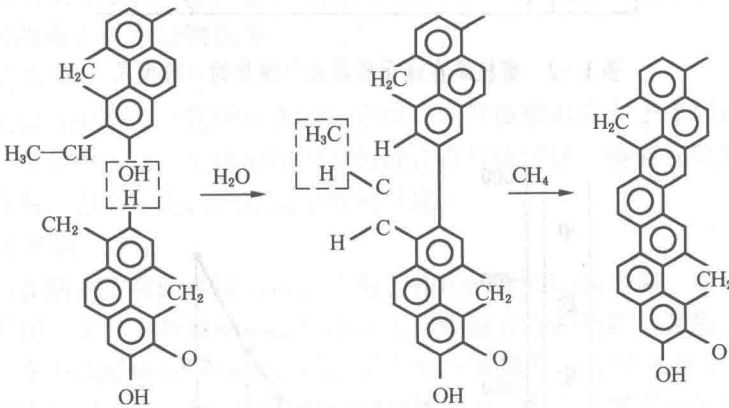


图 1-1 碳化作用（含碳量 83% ~ 92%）成气反应示意图

煤化过程中有机质分解，脱出甲基侧链和含氧官能团而生成 CO₂、CH₄ 和 H₂O 是煤层气形成的基本反应，其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。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。值得注意的是，各个煤化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 1-2 是苏联学者索科洛夫等人给出的腐植煤在煤化作用各阶段成气的一般模式，从中可以看出 CH₄ 生成是个连续相，即存在于整个煤化阶段。

各个时期都不断有 CH₄ 生成，只是各阶段生成的 CH₄ 在数量上有较大波动而已。实践表明，以人工热演化产生瓦斯为基础的模式与实测结果在趋势上是一致的。

苏联学者乌斯列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各煤化阶段的甲烷生成量，其结果如图 1-3 所示。由于泥炭向褐煤过渡时期生成的甲烷很

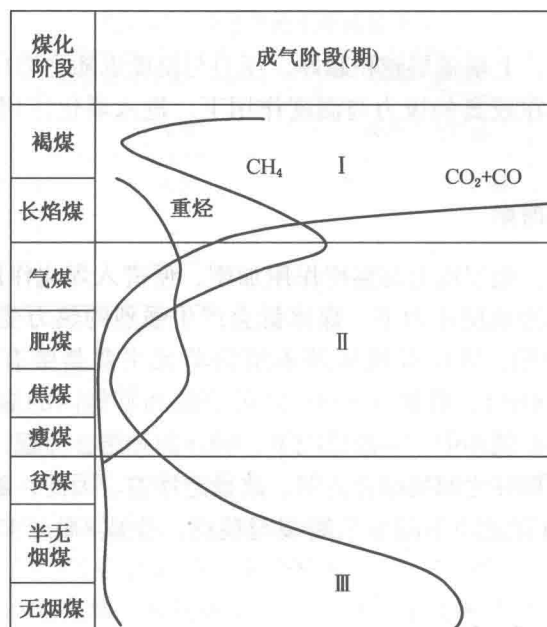


图 1-2 腐植煤在煤化阶段成气演化的一般模式

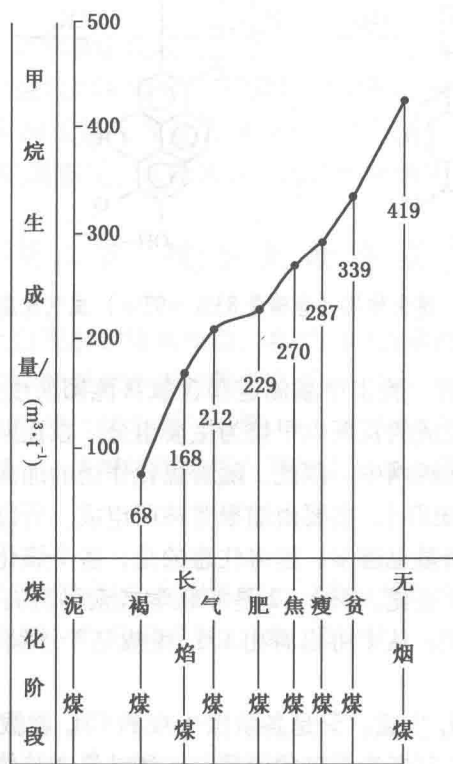


图 1-3 各煤化阶段甲烷生成量曲线

容易流失，所以目前估算煤层生成甲烷量的多少，一般以褐煤作为计算起点。但是应当注意的是，由于自然界的实际煤化过程远比带有许多假设进行的理论计算复杂，所以这些数据只能是近似值。

在个别煤层中有一部分瓦斯是由于油气田瓦斯的侵入造成的，例如四川中梁山煤矿10号煤层的瓦斯与底板石灰岩溶洞中的瓦斯相连；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。

波兰的下西里西亚和法国的塞纳煤田的煤层中含有的大量 CO_2 则是由于火山活动使碳酸盐类岩石分解生成的 CO_2 气体侵入的结果。在某些煤层中还含有 C_2H_6 、 C_3H_8 等气体，一般来说，世界各国煤田中所含瓦斯均以甲烷为主。

第三节 煤层瓦斯赋存与垂向分带

一、煤层瓦斯赋存状态

煤通常具有基质孔隙和天然孔隙的双重孔隙结构，瓦斯气体在煤层中的赋存状态主要有游离状态、吸附状态、水合物状态。

1. 游离状态瓦斯

游离状态又称自由状态，这种状态的瓦斯以自由气体状态存在于煤层孔隙或围岩的孔洞之中，其分子可自由运动，呈现出压力并符合自由气体定律。游离瓦斯量的多少与储存空间的容积和瓦斯压力成正比，与瓦斯温度成反比。

2. 吸附状态瓦斯

吸附状态的瓦斯主要吸附在煤的微孔表面上和煤的微粒结构内部。吸附状态的瓦斯按照结合形式的不同，又分为吸着状态和吸收状态。吸着状态是指矿井瓦斯被吸着在煤体或岩体微孔表面，在表面形成瓦斯薄膜；吸收状态是指瓦斯分子更深入地进入煤的微孔中，进入煤分子晶格中与煤的分子相结合，形成固溶体状态。吸收与吸着的宏观差别仅在于前者的平衡时间长，吸附体的膨胀变形量较大。

煤体中瓦斯存在的状态不是固定不变的，而是处于不断交换的动平衡状态，当条件发生变化时，这一平衡就会被打破。由于压力增高或温度降低，部分瓦斯就会由游离状态转化为吸附状态，这一过程称为瓦斯的吸附；当压力降低或温度升高时，部分吸附瓦斯就会由吸附状态转化为游离状态，这一过程称为瓦斯解吸。瓦斯在煤内的存在状态可用图1-4表示。

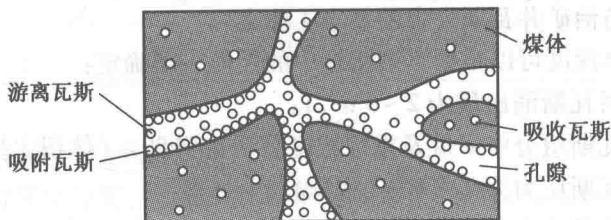
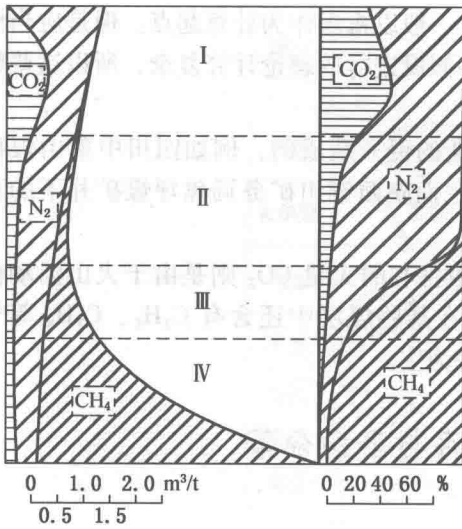


图1-4 瓦斯在煤内的存在状态示意图



I、II、III—瓦斯风化带；IV—甲烷带

图 1-5 煤层瓦斯垂向分带图

3. 水合物状态瓦斯

水合物状态瓦斯（瓦斯水合物）是小分子量瓦斯组分气体（ CH_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} 、 CO_2 等）与水在一定温度和压力条件下络合而成的一种类冰的、非化学计量的、笼形晶体化合物，具有生成条件温和、含气率高、储存稳定安全等特性。

二、煤层瓦斯垂向分带规律

当煤层具有露头或直接为透气性较好的第四系冲积层覆盖时，由于煤层中瓦斯不断由煤层深部向地表运移，而地面空气则向煤层中渗透和扩散，造成了煤层瓦斯组分沿赋存深度的带状分布。苏联矿业研究院格·德·李金通过对顿巴斯和库兹巴斯等煤田大量的

煤层瓦斯组分和含量的测定，将煤层中瓦斯组分按赋存深度分为 4 个瓦斯带：二氧化碳-氮气带、氮气带、氮气-甲烷带和甲烷带，如图 1-5 所示。各带的气体成分及含量见表 1-2。

表 1-2 煤层垂向各瓦斯带气体成分及含量

名称	气带成因	气体含量/%		
		N_2	CO_2	CH_4
二氧化碳-氮气带	生物化学	20~80	20~80	<10
氮气带	空气	>80	<10~20	<20
氮气-甲烷带	空气和变质	20~80	<10~20	20~80
甲烷带	变质	<20	<10	>80

确定瓦斯风化带和甲烷带的深度是很重要的，在甲烷带内，煤层中瓦斯压力、瓦斯含量以及开采条件变化不大的前提下瓦斯涌出量都随深度的增加而有规律地增大。研究这些规律及影响因素是防治矿井瓦斯灾害的基本工作之一。

瓦斯风化带上界深度可以根据下列指标中的任何一项确定：

- (1) 煤层的相对瓦斯涌出量为 $2 \sim 3 \text{ m}^3/\text{t}$ 。
- (2) 煤层内的瓦斯组分中甲烷及重烃浓度总和达到 80%（体积比）。
- (3) 煤层内的瓦斯压力为 0.1 MPa（表压）。

(4) 煤的瓦斯含量达到下列数值：长焰煤 $1.0 \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{t}$ ，气煤 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{t}$ ，肥煤与焦煤 $2.0 \sim 2.5 \text{ m}^3/\text{t}$ ，瘦煤 $2.5 \sim 3.0 \text{ m}^3/\text{t}$ ，贫煤 $3.0 \sim 4.0 \text{ m}^3/\text{t}$ ，无烟煤 $5.0 \sim 7.0 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

第四节 煤层的孔隙特性与吸附性能

一、煤的孔隙特性

1. 煤孔隙的分类

为了研究瓦斯在煤矿中的赋存与流动,把煤中的孔隙做如下分类:

- (1) 微孔。其直径小于 10^{-5} mm,它构成煤中的吸附容积。
- (2) 小孔。其直径为 $10^{-5} \sim 10^{-4}$ mm,它构成毛细管凝结和瓦斯扩散空间。
- (3) 中孔。其直径为 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ mm,它构成缓慢的层流渗透区间。
- (4) 大孔。其直径为 $10^{-3} \sim 10^{-1}$ mm,它构成强烈的层流渗透区间,并决定于具有强烈破坏结构煤的破坏面。
- (5) 可见孔及裂隙。其直径大于 0.1 mm,它构成层流及紊流混合渗透区间,并决定了煤的宏观(硬和中硬煤)破坏面。

一般,把小孔至可见孔的孔隙体积之和称为渗透容积;把吸附容积与渗透容积之和称为总孔隙体积;煤的总孔隙体积占相应煤的体积的百分比称为煤的孔隙率,以百分率表示。

2. 煤孔隙与表面积

煤是孔隙体,其中含有大量的表面积,各种直径的表面积同其容积有表 1-3 的关系。从中可知微微孔和微孔孔隙体积还不到微微孔至中孔孔隙体积的 55%,而其孔隙表面积却占整个表面积的 97% 以上。从表 1-3 中可知,微孔发育的煤,尽管其孔隙率可能不高,可是却有相当可观的表面积。表 1-4 是重庆煤炭研究院测定的一些煤的比表面积。

表 1-3 孔隙直径与其表面积、容积的关系

孔隙类别	孔隙直径/mm	孔隙表面积/%	孔隙体积/%
微微孔	$< 2 \times 10^{-6}$	62.2	12.5
微孔	$2 \times 10^{-6} \sim 10^{-5}$	35.1	42.2
小孔	$10^{-5} \sim 10^{-4}$	2.5	28.1
中孔	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	0.2	17.2
合计		100.0	100.0

3. 煤孔隙率特性的主要影响因素

煤的孔隙特性与煤化程度、地质破坏程度的地应力性质及其大小等因素密切相关。由于这些因素不同,各矿煤层的孔隙率可在较大范围内变化,见表 1-5。现把影响孔隙率大小的主要因素介绍如下。

表 1-4 煤的挥发分与比表面积的关系

采样地点与 煤层层位	四川鱼田堡煤矿			四川松藻煤矿		
	四 煤			八 煤		
	顶板炭	槽口炭	底板炭	顶板炭	槽口炭	底板炭
挥发分/%	17.5	17.43	—	10.85	11.16	10.90
比表面积/($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	28.69	93.32	27.40	82.08	112.24	56.97
采样地点与 煤层层位	江 西 涌 山 煤 矿					
	三 ₂ 煤	三 ₁ 煤	二煤	四煤	六煤	
	挥发分/%	7.52	5.03	7.70	7.08	10.57
比表面积/($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	140.37	184.23	255.13	201.36	165.36	

表 1-5 我国一些矿井煤的孔隙率

矿 井	煤的挥发分/%	孔隙率/%
抚顺老虎台	45.76	14.05
鹤岗大陆	31.86	10.6
开滦马家沟 12 煤	26.8	6.59
本溪田师傅 3 煤	13.71	6.7
阳泉三矿 3 煤	6.66	14.1
焦作王封大煤	5.82	18.5

(1) 孔隙率与煤化程度的关系。从表 1-6 可以看出, 从长焰煤开始, 随着煤化程度的加深 (挥发分减小), 煤的总孔隙率体积逐渐减小, 到焦、瘦煤的时候达到最低值, 而后随着煤化程度的减轻, 总孔隙体积又逐渐增加, 至无烟煤时达到最大值。然而, 煤中的微孔体积随着煤化程度的增加而一直增长。

表 1-6 煤的孔隙体积

煤牌号	挥发分/%	煤的孔隙体积/($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)					
		总 孔 隙		小 孔 至 大 孔		微 孔	
		区 间 值	平 均	区 间 值	平 均	区 间 值	平 均
长焰煤	46~43	0.073~0.091	0.084	0.045~0.070	0.061	0.021~0.028	0.023
气煤	40~35	0.028~0.080	0.053	>0.001~0.058	0.030	0.015~0.034	0.026
肥煤	34~28	0.026~0.078	0.051	>0.001~0.050	0.025	0.019~0.033	0.026
焦煤	27~22	0.021~0.068	0.045	>0.001~0.039	0.019	0.021~0.038	0.026
瘦煤	21~18	0.028~0.065	0.045	>0.001~0.036	0.016	0.022~0.033	0.029
贫煤	17~10	0.034~0.084	0.055	>0.001~0.052	0.022	0.027~0.052	0.033
半无烟煤	9~6	0.041~0.094	0.065	>0.001~0.054	0.023	0.033~0.056	0.044
无烟煤	5~2	0.055~0.136	0.088	>0.001~0.076	0.029	0.049~0.062	0.055

(2) 孔隙率与煤的破坏程度的关系。大孔决定于强烈的地质构造破坏煤的破坏面，因此煤的破坏程度越严重，其渗透容积越高，即孔隙率越大，见表1-7。

表1-7 煤的破坏类型与其渗透容积等参数的关系

参 数	煤 的 破 坏 类 型				
	I	II	III	IV	V
煤的渗透容积/($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	0.01206	0.01305	0.02155	0.03136	0.0825
煤的坚固性系数 f	0.69~2.2	0.25~1.33	<0.13~0.52	<0.1~0.33	0.1
煤的黏结力 C/MPa	2.43	1.70	1.03	0.72	—
煤的内摩擦角/($^\circ$)	38.8	37.5	34.6	33.3	—
煤的瓦斯放散初速度 Δp	0.5~2.8	0.5~8	1~19.3	3.8~21.7	16.7~22.1

(3) 孔隙率与地应力的关系。压性地应力（压应力）可使渗透容积缩小，压应力越高，渗透容积缩小越多，即孔隙率减小越多；张性地应力（张应力）可使裂隙张开，使渗透容积增大，张应力越高，渗透容积增长越多，即孔隙率增加越多。卸压（地应力减小）作用可使煤（岩）的渗透容积增大，即孔隙率增高；增压（地应力增高）作用可使煤（岩）受到压缩，渗透容积减小，即孔隙率降低。试验表明，地应力并不减小煤的吸附体积或减少得不多（因大孔及可见孔的表面积减少），因此地应力对煤的吸附性影响很小。

二、煤的吸附性能

由于气体分子与固体表面分子之间的相互作用，气体分子暂时停留在固体表面上的现象称为气体分子在固体表面上的吸附。具有较大表面积的煤是一种天然吸附剂，具有良好的吸附性能。煤对瓦斯的吸附属于物理吸附，即瓦斯分子与煤分子之间的作用力是剩余的表面自由力（称为范德华引力）。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，在被吸附的分子中，当其热运动的动能足以克服吸附引力场的位垒时可重新回到气相，这时要吸收解吸热，这一现象称为解吸，吸附与解吸是可逆的。由于吸附在煤表面上的瓦斯贴合紧密，其密度类似其液态时的密度。

1. 影响吸附量的主要因素

气体在每克煤中的吸附量主要取决于气体的性质、表面性质（比表面积与化学组成），吸附平衡的温度及其瓦斯压力和煤中水分等。

(1) 瓦斯压力的影响。在给定温度下，吸附瓦斯含量与瓦斯压力的关系呈双曲线变化，如图1-6所示。

(2) 温度的影响。温度每升高 1°C ，吸附瓦斯的能力降低约8%。

(3) 瓦斯性质的影响。对于指定的煤，在给定的温度与瓦斯压力下， CO_2 的吸附量比 CH_4 高，而 CH_4 的吸附量又比 N_2 高。

(4) 煤化变质程度的影响。煤化程度反映其比表面积大小与化学组成，一般从挥发分为20%~26%之间的煤到无烟煤，相应的吸附量快速增加。

(5) 煤中水分的影响。水分的增加使煤的吸附能力降低，可用艾琴格尔的经验式来

确定煤中天然水分对其甲烷吸附量的影响，如图 1-7 所示。

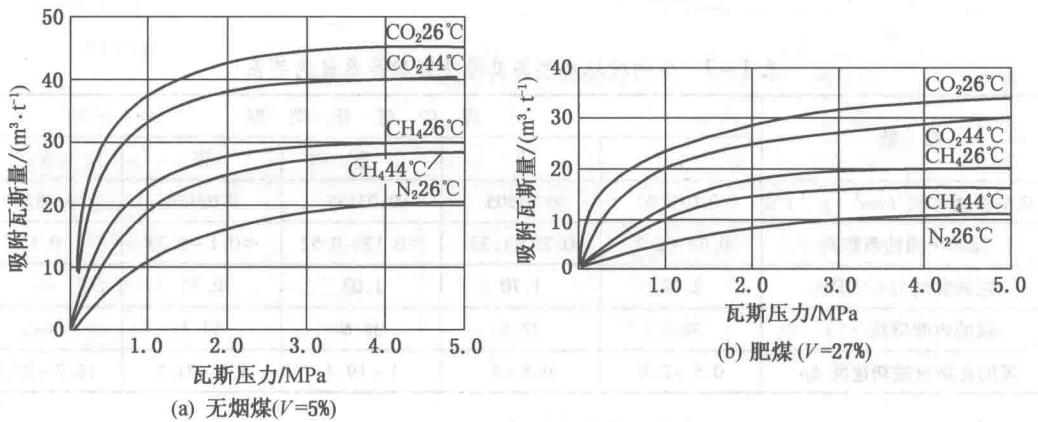


图 1-6 吸附气体 (CO₂、CH₄、N₂) 在温度 (26 °C、44 °C) 下的等温吸附线

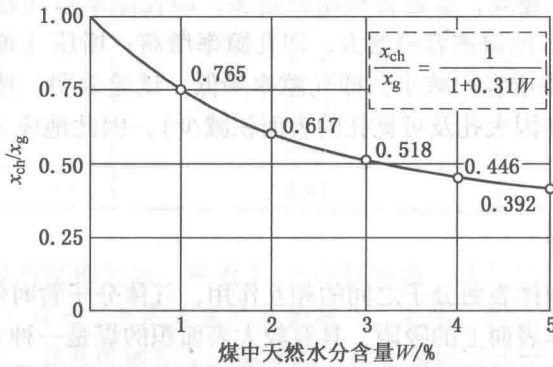


图 1-7 煤中天然水分对其甲烷吸附量的影响

$$x_{ch} = x_g \frac{1}{1+0.31W} \quad (1-1)$$

式中 x_{ch} ——含有水分 W (%) 时湿煤的甲烷吸附量, m³/t;

x_g ——不含水分时干煤的甲烷吸附量, m³/t。

2. 朗缪尔方程

1916 年朗缪尔导出了单分子层吸附 (固体表面上吸附的气体只有一分子直径的厚度) 状态方程, 一般来说, 气体在临界温度以上, 在非反应的固体表面上常常发生单分子层吸附。单分子层吸附等温线的形状如图 1-6 所示, 朗缪尔方程常用的形式是

$$x = \frac{abP}{1+bP} \quad (1-2)$$

式中 a ——吸附常数, 表示在给定温度下, 单位质量固体的表面饱和和吸附气体时, 吸附的气体体积, 一般为 15 ~ 55 m³/t;

b ——吸附常数, 一般为 0.5 ~ 5.0 MPa⁻¹;