

MEIKUANG WASI JIQI FANGZHI

# 煤矿瓦斯及其防治

赵铁桥 编著



化学工业出版社

MEIKUANG WASI JIQI FANGZHI

# 煤矿瓦斯及其防治

赵铁桥 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

煤矿瓦斯及其防治/赵铁桥编著. —北京: 化学工业出版社,  
2011. 9

ISBN 978-7-122-12265-0

I. 煤… II. 赵… III. 煤矿-瓦斯爆炸-防治 IV. TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 184383 号

---

责任编辑: 王湘民  
责任校对: 宋 夏

装帧设计: 韩 飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 20¼ 字数 502 千字 2011 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 98.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

我国煤矿灾害严重，长期以来，煤矿事故总量和百万吨死亡率居高不下。究其原因：一方面是开采的自然条件较差，另一面是开采技术相对落后，灾害防治与控制能力相对不强，手段较缺乏。为此，一场在煤矿掀起的以“一通三防”为重点的安全治理整顿工作在全国范围内迅速铺开。为了配合搞好煤矿安全治理整顿工作，国家安全生产监督管理局于2002年在辽宁铁法召开了进入新世纪首次全国煤矿瓦斯治理经验交流会，在这次会议上提出了“先抽后采、以风定产、监测监控”的瓦斯综合治理十二字方针。随着治理整顿工作的不断深入，为了巩固成果，夯实基础，2005年又在全国煤矿开展了瓦斯集中整治活动。以瓦斯治理为中心的全国性煤矿安全生产工作会议相继召开，诸如《国务院关于预防煤矿生产安全事故的特别规定》、《国务院关于特大安全事故行政责任追究的规定》、《安全生产许可证条例》、《煤矿安全生产基本条件规定》，一系列有关安全生产的法律法规、条例和规定、标准、规范等相继出台。经过几年的努力，从2006年开始，全国煤矿安全生产形势开始好转，在产量年年攀升的情况下，安全生产各项指标不断刷新，煤矿百万吨死亡率在2009年首次降到1以下。成绩的取得凝聚着许多管理者和科技工作者的智慧、汗水和心血，有多少人人为此付出了生命的代价。

纵观全国煤炭工业的现状和发展趋势，煤矿安全生产与煤矿瓦斯治理工作任重道远！在瓦斯事故中，尤以煤与瓦斯突出事故的次数居多，危害最大。就全国的情况而言，一是煤矿突出危险性越来越严重，治理难度越来越大。2008年煤矿瓦斯等级鉴定，全国煤与瓦斯突出矿井计754处（占全国煤矿井总数12577个的6%），比2007年增加了55处；二是煤与瓦斯突出事故仍时有发生，2008年全国煤矿发生重大突出事故10起，占重特大瓦斯事故的55.6%。湖南是煤矿瓦斯灾害严重的省份之一。现以湖南的情况为例加以说明，“九五”期间湖南煤矿共发生各类事故1761起，死亡3423人，其中瓦斯事故524起，死亡1780人，分别占全省煤矿同期事故次数和死亡人数的29.75%和52%。2003年煤矿重大瓦斯事故次数和伤亡人数分别占煤矿重大伤亡事故次数和人数的77.10%和82.50%；2004年煤矿重大瓦斯事故次数和伤亡人数分别占煤矿重大伤亡事故次数和人数的71.40%和73.60%。而这两年煤与瓦斯突出伤亡人数占煤矿瓦斯事故伤亡人数的57.39%和57.43%。由此可见，要控制煤矿重大伤亡事故，则首先必须控制煤矿瓦斯事故。要控制住煤矿瓦斯事故，就必须先控制煤与瓦斯突出伤亡事故。

瓦斯对煤矿安全生产来说是一大危害，但瓦斯又是一种矿藏，如能把煤层瓦斯在采煤前安全有效地开采出来，作为能源和工业原料，将能化害为利，变废为宝。

搞好煤矿瓦斯治理和瓦斯的开采利用，是煤矿安全生产的客观要求；是煤炭工业可持续发展的需要；是国民经济又好又快和可持续发展的需要；是以人为本、构建和谐社会的需要。要做好这项工作，一要靠持续稳定的政策支持；二要靠科学技术的进步；三要提高煤矿职工对瓦斯、瓦斯灾害的认识，提高防治瓦斯的技术措施设计能力、实施能力和管理能力。

为了做好瓦斯防治和开发利用的科学普及工作，为更多从事煤矿开采教学、科研、设计

人员提供可参考或借鉴的技术方法，特别是为煤矿现场提供瓦斯防治的实用技术和管理经验，笔者凭自己长期在煤矿通风瓦斯工作岗位上工作经历的体会，也综合自己在矿井通风和瓦斯防治的探索研究，在博采众长的基础上编写了这本书。由于本人学识水平有限，书中缺点和错误在所难免，在以此与大家学习和交流的同时，还望各位学者、专家和同仁批评指教。

本书在编写过程中得到了湖南煤矿安全监察局宋元明局长、湖南安全技术职业学院院长李海涛教授、湖南煤业集团总工程师赵斌教授级高级工程师、国家安全生产监督管理总局长沙安全培训中心原副校长查永康、湖南安全技术职业学院副院长龚声武教授的热情鼓励和指导。赵斌总工程师对本书做了全面审阅。在此一并致以衷心感谢！

**赵铁桥**

**2011年9月**

# 目 录

第一章 矿井瓦斯基础知识 .....	1
第一节 煤成气和矿井瓦斯 .....	1
一、煤成气 .....	1
二、矿井瓦斯及其主要成分 .....	1
三、矿井瓦斯的主要性质 .....	1
第二节 瓦斯的成因 .....	3
第三节 煤层瓦斯赋存和瓦斯含量 .....	5
一、煤层瓦斯赋存的基本形态 .....	5
二、煤层瓦斯的解吸特性 .....	5
三、影响煤层吸附瓦斯的主要因素 .....	6
四、煤层瓦斯浓度 .....	8
第四节 煤层瓦斯的运移和分带 .....	14
一、煤层瓦斯的运移 .....	14
二、煤层瓦斯的分带 .....	17
第五节 矿井瓦斯涌出 .....	19
一、矿井瓦斯涌出的基本形式 .....	19
二、矿井瓦斯涌出量 .....	20
三、影响矿井瓦斯涌出的因素 .....	21
四、矿井瓦斯涌出来源 .....	22
五、矿井瓦斯等级及其鉴定 .....	24
六、矿井瓦斯储量和涌出量计算 .....	25
第六节 煤与瓦斯突出 .....	32
一、概述 .....	32
二、煤与瓦斯突出动力现象分类及其基本特征 .....	32
三、煤与瓦斯突出的分类及一般规律 .....	34
四、采掘工作面突出及其特点 .....	40
五、煤与瓦斯突出前的预兆 .....	46
六、煤与瓦斯突出的机理 .....	47
七、矿井煤与瓦斯突出危险程度分级 .....	48
八、煤与瓦斯突出的分级管理 .....	55
第七节 煤层瓦斯参数的测定 .....	55
一、煤层瓦斯压力的测定 .....	55
二、煤层瓦斯含量的测定 .....	60
三、煤的瓦斯放散指数 ( $\Delta p$ ) 的测定 .....	67
四、煤的坚固性系数的测定 .....	68

五、软煤坚固性系数的确定 .....	69
六、煤的比表面积测定 .....	69
七、煤层透气性系数 .....	72
八、瓦斯涌出系数测定 .....	76
九、煤巷瓦斯涌出系数 $C$ 值测算 .....	77
十、百米钻孔瓦斯流量衰减系数的测定 .....	77
<b>第二章 煤矿瓦斯地质</b> .....	<b>79</b>
<b>第一节 概述</b> .....	<b>79</b>
一、瓦斯地质研究的内容 .....	79
二、瓦斯地质研究的意义 .....	79
三、瓦斯地质研究的历史和现状 .....	80
<b>第二节 瓦斯-地质区划论</b> .....	<b>81</b>
一、概述 .....	81
二、瓦斯-地质区划的基本原则 .....	82
三、瓦斯-地质区划论应用 .....	83
四、井田瓦斯-地质区划 .....	83
<b>第三节 瓦斯地质图</b> .....	<b>85</b>
一、瓦斯地质图的种类和主要内容 .....	87
二、瓦斯地质图的编制方法 .....	91
<b>第三章 矿井瓦斯预测</b> .....	<b>95</b>
<b>第一节 煤层瓦斯浓度预测</b> .....	<b>95</b>
<b>第二节 矿井瓦斯涌出量预测</b> .....	<b>97</b>
<b>第三节 煤层瓦斯压力预测</b> .....	<b>101</b>
<b>第四节 煤与瓦斯突出危险性预测</b> .....	<b>102</b>
一、煤与瓦斯突出预测分类 .....	102
二、勘探时期煤与瓦斯突出危险性预测 .....	102
三、生产矿井煤与瓦斯突出危险性预测 .....	103
<b>第四章 矿井瓦斯灾害及其防治</b> .....	<b>113</b>
<b>第一节 矿井瓦斯爆炸与燃烧及其防治</b> .....	<b>113</b>
一、瓦斯爆炸的机理 .....	113
二、瓦斯爆炸的条件 .....	114
三、影响瓦斯爆炸界限的因素 .....	116
四、瓦斯爆炸的效应 .....	117
五、瓦斯爆炸原因分析 .....	118
六、防治瓦斯爆炸的措施 .....	120
<b>第二节 瓦斯窒息事故及其防治</b> .....	<b>144</b>
一、概述 .....	144
二、瓦斯窒息事故的分类 .....	144
三、瓦斯窒息事故的防治 .....	146
<b>第三节 矿井煤与瓦斯突出及其防治</b> .....	<b>147</b>
一、概述 .....	147

二、区域性综合防治突出措施 .....	150
三、局部防治突出措施 .....	199
四、防治煤与瓦斯突出的安全防护措施 .....	217
五、防治煤与瓦斯突出的管理措施 .....	229
六、煤与瓦斯突出动态管理 .....	237
<b>第五章 矿井瓦斯抽采与利用 .....</b>	<b>238</b>
<b>第一节 矿井瓦斯及开采 .....</b>	<b>238</b>
一、概述 .....	238
二、矿井瓦斯抽采 .....	238
<b>第二节 地面钻孔抽采煤层瓦斯 .....</b>	<b>239</b>
一、地面裸孔抽采煤层瓦斯 .....	239
二、地面钻孔预排煤层瓦斯 .....	241
三、地面钻孔水力压裂煤层抽排瓦斯 .....	243
四、二氧化碳泡沫压裂抽采煤层瓦斯 .....	247
五、地面弯曲定向钻孔抽采煤层瓦斯 .....	248
<b>第三节 矿井瓦斯利用 .....</b>	<b>250</b>
一、瓦斯的提纯和储存 .....	251
二、煤层气民用 .....	255
三、生产化工产品 .....	257
四、发电 .....	258
五、汽车燃料 .....	261
六、我国一些矿区的煤层气利用发展规划 .....	262
<b>附录 .....</b>	<b>264</b>
一、矿井瓦斯等级鉴定规范 .....	264
二、《防治煤与瓦斯突出规定》解读 .....	268
三、煤与瓦斯突出矿井鉴定规范 .....	291
四、煤矿瓦斯抽放规范 .....	297
五、煤矿瓦斯抽采基本要求 .....	311
<b>参考文献 .....</b>	<b>314</b>



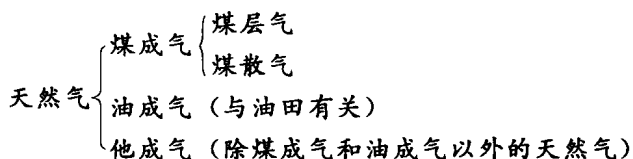
# 第一章 矿井瓦斯基础知识

## 第一节 煤成气和矿井瓦斯

### 一、煤成气

煤成气是指含煤岩系中有机质在成煤过程中所生成的天然气。并成为天然气的一个重要类型。

煤成气可以分为两部分：尚存在生气母岩（煤层）中的那部分煤成气，称为“煤层气”；从生气母岩中运移出去的那部分煤成气称为“煤散气”，它占煤成气的大部分，在一定的条件下这部分煤成气可形成煤成气田。天然气的组成和分类如下。



由上述可知，煤层实际上是固体的煤和“煤成气”共生的固-气态矿层，煤成气的主要成分是甲烷，在煤矿常见的有害气体中占主要成分，在现行煤矿规范用词中称之为瓦斯。

### 二、矿井瓦斯及其主要成分

瓦斯是在煤矿生产过程中形成的一个概念。广义的瓦斯是指煤矿在生产和建设过程中从煤层、煤层围岩、采空区放出的各种有害气体的总称。

矿井瓦斯成分很复杂，主要成分是甲烷（ $\text{CH}_4$ ，俗称沼气），其次是二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）和氮气（ $\text{N}_2$ ），另外还有少量或微量的氢气（ $\text{H}_2$ ）、一氧化碳（ $\text{CO}$ ）、二氧化硫（ $\text{SO}_2$ ）、硫化氢（ $\text{H}_2\text{S}$ ）和重烃类气体（乙烷  $\text{C}_2\text{H}_6$ 、丁烷  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ 、戊烷  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ）等。

### 三、矿井瓦斯的主要性质

瓦斯的性质是瓦斯所含各个成分性质的总和。不同地区、不同煤层、不同深度，瓦斯成分不尽相同。在此，我们择其主要和有害成分加以说明。

#### （一）甲烷

甲烷为无色、无味、无嗅的气体；它与空气的相对密度为 0.554，在标准状态下 [1atm (101325Pa)，温度为  $0^\circ\text{C}$ ] 其密度为  $0.716\text{kg}/\text{m}^3$ ，比空气轻；具有很强的扩散性。

甲烷微溶于水，遇火源时有燃烧和爆炸性，但不助燃。

甲烷是煤矿井下特有的、主要的有害气体，故煤矿常把甲烷气体称为瓦斯。因此，本文以后的章节中所述矿井瓦斯，除特殊情况外，一般只对甲烷而言。

#### （二）一氧化碳（CO）

一氧化碳是一种无色、无味、无嗅的气体。与空气的相对密度为 0.97，微溶于水，能与空气均匀地混合。一氧化碳能燃烧，当空气中一氧化碳含量在 13%~75% 范围内时有爆炸的危险。

主要危害：剧毒。血红蛋白是人体血液中携带氧气和排出二氧化碳的细胞，一氧化碳与人体血液中血红蛋白的亲合力比氧大 250~300 倍。一旦一氧化碳进入人体后，首先就与血液中的血红蛋白相结合，因而减少了血红蛋白与氧结合的机会，使血红蛋白失去输氧的功能，从而造成人体血液“窒息”。一氧化碳含量为 0.08%，40min 引起头痛眩晕和恶心，含量为 0.32%，5~10min 引起头痛、眩晕，30min 引起昏迷、死亡。详见表 1-1。

表 1-1 一氧化碳中毒程度与含量的关系

CO(体积分数)/%	主要症状
0.0016	数小时后有头痛、心跳、耳鸣等轻微中毒症状
0.048	1h 可引起轻微中毒症状
0.128	0.5~1h 引起意识迟钝、丧失行动能力等严重中毒症状
0.40	短时间失去知觉、抽筋、假死,30min 内即可死亡

主要来源：爆破；矿井火灾；煤炭自燃以及煤尘瓦斯爆炸事故等。

### (三) 二氧化硫 (SO<sub>2</sub>)

二氧化硫无色、有强烈的硫黄气味及酸味，空气中含量达到 0.0005% 即可嗅到。其与空气的相对密度为 2.32，易溶于水。

主要危害：遇水后生成硫酸，对眼睛及呼吸系统黏膜有强烈的刺激作用，可引起喉炎和肺水肿。当二氧化硫含量达到 0.002% 时，眼及呼吸器官即感到有强烈的刺激；含量达为 0.05% 时，短时间内即有致命危险。详见表 1-2。

主要来源：含硫矿物的氧化与自燃、在含硫矿物中爆破以及从含硫矿层中涌出。

表 1-2 二氧化硫中毒程度与含量的关系

SO <sub>2</sub> (体积分数)/%	主要症状
0.0005	嗅到刺激性气味
0.002	头痛、眼睛红肿、流泪、喉痛
0.05	引起急性支气管炎和肺水肿、短时间内有生命危险

### (四) 二氧化氮 (NO<sub>2</sub>)

二氧化氮是一种褐红色的气体，有强烈的刺激气味，与空气的相对密度为 1.59，易溶于水。

主要危害：二氧化氮溶于水后生成腐蚀性很强的硝酸，对眼睛、呼吸道黏膜和肺部有强烈的刺激及腐蚀作用，二氧化氮中毒有潜伏期，中毒者指头出现黄色斑点。当二氧化氮含量为 0.01% 时，出现严重中毒。详见表 1-3。

主要来源：井下爆破工作。

表 1-3 二氧化氮中毒程度与含量的关系

NO <sub>2</sub> (体积分数)/%	主要症状
0.004	2~4h 内不致显著中毒,6h 后出现中毒症状,咳嗽
0.002	短时间内喉咙感到刺激、咳嗽、胸痛
0.05	强烈刺激呼吸器官、严重咳嗽、呕吐、腹泻、神经麻木
0.025	短时间内可至死

### (五) 硫化氢 (H<sub>2</sub>S)

硫化氢无色、微甜、有浓烈的臭鸡蛋味，当空气中含量达到 0.0001% 即可嗅到，但当含量较高时，因嗅觉神经中毒麻痹，反而嗅不到。硫化氢与空气的相对密度为 1.19，易溶于水，在常温、常压下一体积的水可溶解 2.5 体积的硫化氢，所以它可能积存于旧巷的积水中。硫化氢能燃烧，空气中硫化氢含量为 4.3%~46% 时有爆炸危险。

主要危害：硫化氢剧毒，有强烈的刺激作用；能阻碍生物氧化过程，使人体缺氧。当空气中硫化氢含量较低时主要以腐蚀刺激作用为主，含量较高时能引起人体迅速昏迷或死亡。详见表 1-4。

主要来源：有机物腐烂；含硫矿物的水解；矿物氧化和燃烧；从老空区和旧巷积水中放出。

表 1-4 硫化氢中毒程度与含量的关系

H <sub>2</sub> S(体积分数)/%	主要症状
0.0001	有强烈臭鸡蛋味
0.01	流唾液和清鼻涕、瞳孔放大、呼吸困难
0.05	0.5~1h 严重中毒,失去知觉、抽筋、瞳孔变大、甚至死亡
0.1	短时间内死亡

### (六) 氨气 (NH<sub>3</sub>)

无色、有浓烈臭味的气体，与空气的相对密度为 0.596，易溶于水。空气中含量中达 30% 时有爆炸危险。

主要危害：氨气对皮肤和呼吸道黏膜有刺激作用，可引起喉头水肿。

主要来源：爆破工作，注凝胶、水灭火等；部分岩层中也有氨气涌出。

### (七) 氢气 (H<sub>2</sub>)

无色、无味、无毒，与空气的相对密度为 0.07。氢气能自燃，其点燃温度比沼气低 100~200℃。

主要危害：当空气中氢气含量为 4%~74% 时有爆炸危险。

主要来源：井下蓄电池充电时可放出氢气；有些中等变质的煤层中也有氢气涌出或煤氧化析出。

## 第二节 瓦斯的成因

瓦斯主要是在成煤过程中产生的。煤由植物遗体经过复杂的生物化学和物理化学作用转变而成。瓦斯的主要成分——甲烷、重烃、二氧化碳、氢气等随成煤过程伴生而成。

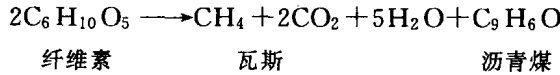
成煤的原始物质为植物，高等植物在成煤过程中形成腐殖质，进而成为腐植煤。腐殖质的成分以芳香族化合物为主，脂类化合物较少，其元素特征是贫氢富氧。腐植煤产生的甲烷量较多，可达气体成分的 90%~95%。

低等植物在成煤过程中形成腐泥质，进而成为腐泥煤。腐泥质中脂类化合物相当丰富，元素组成特征是氢高氧低，产生的甲烷量相对较少，一般为形成的气体成分的 47%~70% 左右。

在植物成煤的第一阶段（泥炭化阶段），有机物质的分解是在微生物参与下发生的复杂的生物化学过程。在这个阶段的早期，植物遗体暴露在空气中或处于沼泽浅部富氧的条件

下，由于氧气和亲氧细菌的作用，遭受氧化和分解，生成的气态产物主要是 CO<sub>2</sub>、NO（或 NO<sub>2</sub>）等。在这个阶段的晚期，由于地壳下降，而沼泽水面上升和植物遗体堆积厚度的增加，使正在分解的植物逐渐与空气隔绝，从而出现了弱氧环境或还原环境。在缺氧条件下，因厌氧细菌作用分解出甲烷气体、重烃氢氧化物、氢气等其他气体，碳相对富集起来。

纤维素分解的结果如下式所示。



据计算，1kg 纤维素在变成烟煤的过程中能生成 69.1kg 甲烷气体，在此阶段生成的瓦斯量大。但此时成煤物质多暴露在地表或埋藏很浅，绝大多数瓦斯都逸散到大气中去了，故保存者甚微。但在有利的条件下，也可以形成煤成气田。如前苏联西西伯利亚鸟连戈依、麦德维热大气田，美国库克湾煤盆地基奈大气田等，都属于成煤早期的煤成气田。

当泥炭物质由于地壳下降而为其他沉积物覆盖时，成煤作用就由第一阶段进入第二阶段——煤化作用阶段。在温度、压力长时间持续影响下，泥炭物质产生热分解，在煤中发生一系列的物理-化学变化，使泥炭转变成为烟煤，烟煤进而转变为无烟煤。在这一过程中生成的气态物质是以甲烷为主的气态烃。由褐煤（或泥炭）转化为烟煤的化学反应式为：

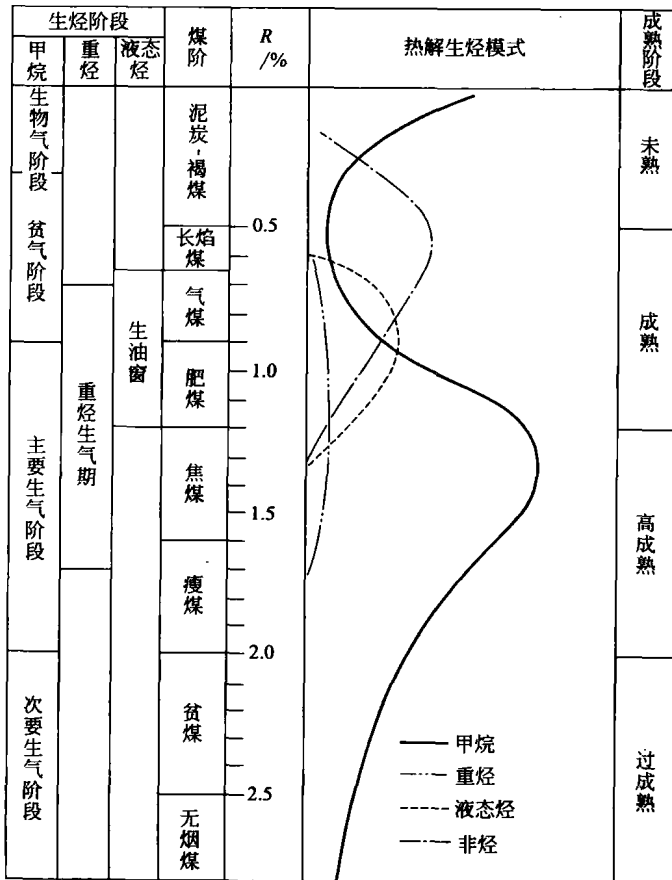
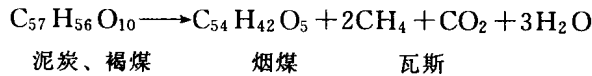


图 1-1 III型干酪根热解生烃模式

在整个煤化作用过程中，都有烃类气体组分产生。根据我国在煤成气研究中对不同矿区煤样采用热模拟试验的测定结果，烃类主要产生于气煤至瘦煤阶段。甲烷的主要生成阶段是肥煤至瘦煤阶段，其主要来源是Ⅲ型干酪根。如图 1-1 所示。

### 第三节 煤层瓦斯赋存和瓦斯含量

#### 一、煤层瓦斯赋存的基本形态

掌握瓦斯在煤层中的赋存状态，对于正确测定和计算煤层瓦斯含量，研究矿井瓦斯涌出规律和进行矿井瓦斯预测有着直接的意义。根据实验室和现场的测定结果，瓦斯在煤层中成游离和吸附两种状态。见图 1-2。

##### (一) 游离状态

瓦斯以自由气体状态存在于煤和岩石的孔隙和裂隙中，称为瓦斯的游离状态，对应的这一部分瓦斯称为游离瓦斯。其含量取决于煤体孔隙和裂隙（自由空间）的大小和它所承受的压力（瓦斯压力）。游离瓦斯在煤体空隙中可以自由运动，并遵循一般的气体定律。瓦斯从压力大的地方向压力小的地方运移。因此，游离状态瓦斯一般不能在煤层中长期保存，一有条件便很快渗透或扩散，形成自然或人工煤散气（人工煤散气指因采动影响从煤层中逸散出来的瓦斯）。

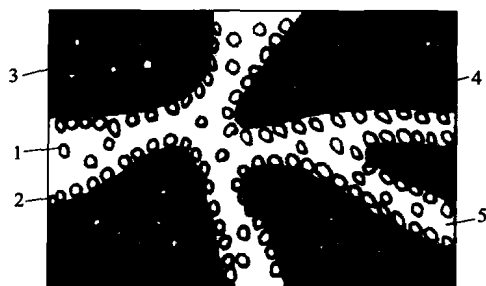


图 1-2 瓦斯在煤体内的存在形态

1—游离瓦斯；2—吸着瓦斯；3—吸收瓦斯；4—煤体；5—孔隙

##### (二) 吸附状态

吸附状态的瓦斯按其结合形式的不同，分为吸着和吸收两种。吸着状态是在孔隙表面的固体分子引力作用下，气体分子被紧密地吸附于孔隙表面上，形成很薄的吸附层。吸收状态是气体分子紧密充满于微孔隙或超微孔隙内，与气体溶解于液体中的现象相似。吸附瓦斯量的大小，决定于煤的性质、孔隙结构特征、瓦斯压力和温度。

在煤层内，无论浅部还是深部，吸附瓦斯量约占煤层瓦斯含量的 80%~90%，游离状态的瓦斯只占 10%~20%。但是在断层、大的裂隙、孔洞和砂岩内，主要为游离瓦斯。吸附瓦斯不能自由运动，因而也不遵守气体定律。吸附量大小取决于煤对瓦斯的吸附能力，而煤吸附能力又取决于煤的微孔隙表面。

微孔隙的直径仅有 5~20Å（埃，1Å=10<sup>-10</sup>m），超微孔隙更小，在电子显微镜下才能观察到。但其表面积却相当大，据测定，1g 无烟煤微孔隙的总表面可达 200m<sup>2</sup> 之多（超过一般孔隙 2000 倍），大量吸附瓦斯正是保存在这些不易被人肉眼看不到的“瓦斯仓库”之中。

#### 二、煤层瓦斯的解吸特性

煤对瓦斯的吸附作用是物理作用，是瓦斯分子和碳分子相互吸引的结果。吸附瓦斯和游离瓦斯处于动态平衡的状态，即吸附瓦斯和游离瓦斯在一定条件下可以互相转化。当外界压力降低或温度升高，或给予冲击或震动时，瓦斯分子的内能增加，原有的平衡被破坏，吸附瓦斯将转变为游离瓦斯，这一过程称为瓦斯解吸。煤中瓦斯的吸附和解吸的动态平衡可作如下描述。

吸附瓦斯 ←  $\begin{matrix} \text{温度升高、压力降低(解吸)} \\ \text{温度降低、压力升高(吸附)} \end{matrix}$  → 游离瓦斯

瓦斯在吸附状态时，不能形成瓦斯的内能。只有解吸后的游离瓦斯，才具有瓦斯的内能。如果煤层瓦斯的压力较高，采掘工作接近这些地点时，瓦斯在高压作用下迅速解吸，向采掘空间突然大量涌出，有时还伴有动力现象，如果措施不力就可能造成事故。

当煤体中的瓦斯压力从平衡状态过渡到标准大气压状态时，煤体释放的瓦斯量就是煤的瓦斯解吸量。如图 1-3 所示。

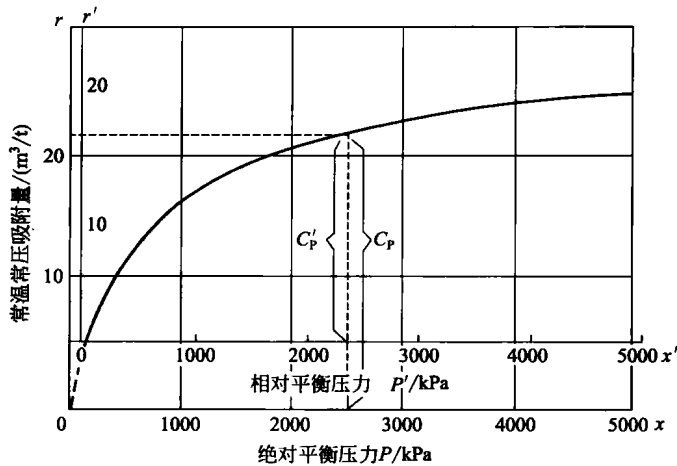


图 1-3 解吸能力及总瓦斯含量曲线

$C'$ —相对压力下的解吸瓦斯含量； $C$ —绝对压力下的总瓦斯含量

### 三、影响煤层吸附瓦斯的主要因素

#### (一) 瓦斯压力

研究瓦斯压力对煤层瓦斯吸附的影响可在实验室进行。图 1-4 中给出了一组吸附等温曲线——在给定温度下煤层吸附瓦斯量  $Q_x$  与瓦斯压力  $P$  之间的函数关系曲线。图中可见，在低的瓦斯压力下 ( $P < 1000\text{kPa}$ )， $Q_x$  与  $P$  几乎成正比。在较高的瓦斯压力下 ( $P > 5000\text{kPa}$ )，随瓦斯压力  $P$  的增大，吸附瓦斯量  $Q_x$  增加甚微。

#### (二) 温度

在一定的压力平衡条件下，煤层吸附瓦斯量随温度升高而降低，如图 1-4 所示。从  $26^\circ\text{C}$  起，烟煤温度每升高  $1^\circ\text{C}$ ，其吸附量降低  $0.8\%$ 。无烟煤温度每升高  $1^\circ\text{C}$ ，其吸附量减少  $0.6\%$ 。

#### (三) 气体的性质

在给定的温度和压力下，不同气体的吸附量有明显差别。见图 1-4，二氧化碳气体比甲烷气体更容易被吸附。甲烷气体比氮气容易吸附。

#### (四) 煤的比表面积

煤的比表面积是指  $1\text{g}$  煤所拥有的表面积。可以通过实验和计算获得。根据湖南省煤炭科学研究所的测定结果，煤的吸附瓦斯容量随表面积增大而增加。见图 1-5。

#### (五) 煤变质程度

在相同的温度和压力条件下，煤的吸附瓦斯量随煤的变质程度升高而增大，见图 1-6。

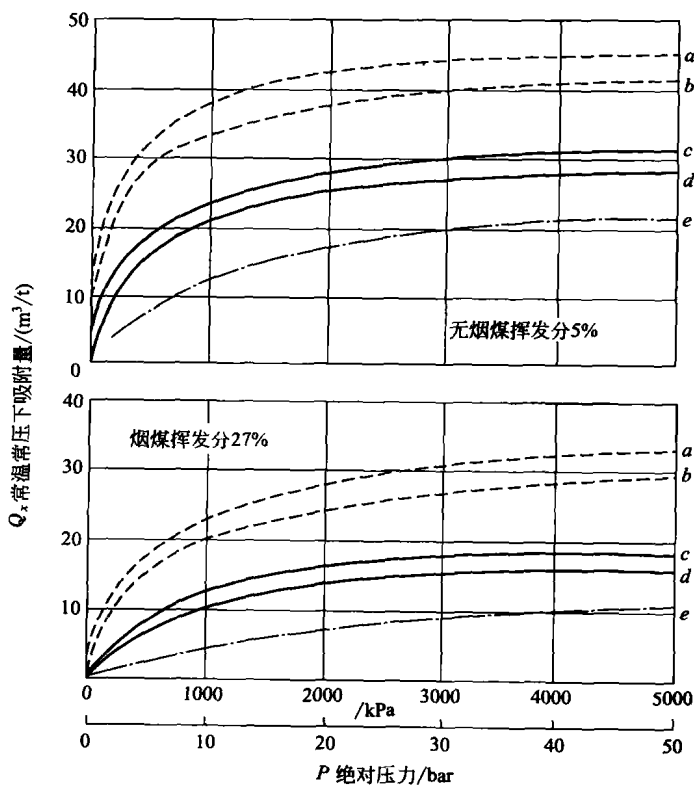


图 1-4 两个吸附等温线实例 (无水无灰基)

$a$ — $CO_2$  (26°C);  $b$ — $CO_2$  (44°C);  $c$ — $CH_4$  (26°C);  $d$ — $CH_4$  (44°C);  $e$ — $N_2$  (26°C)

(注: 1bar= $1 \times 10^5$  Pa)

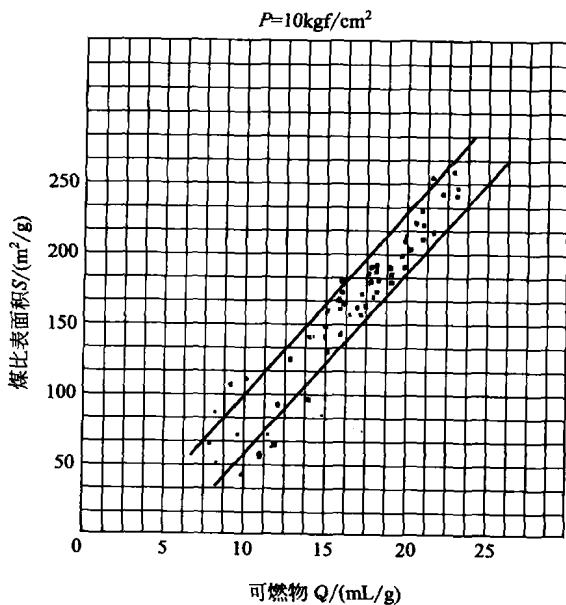


图 1-5 煤的比表面积与吸附瓦斯量的关系

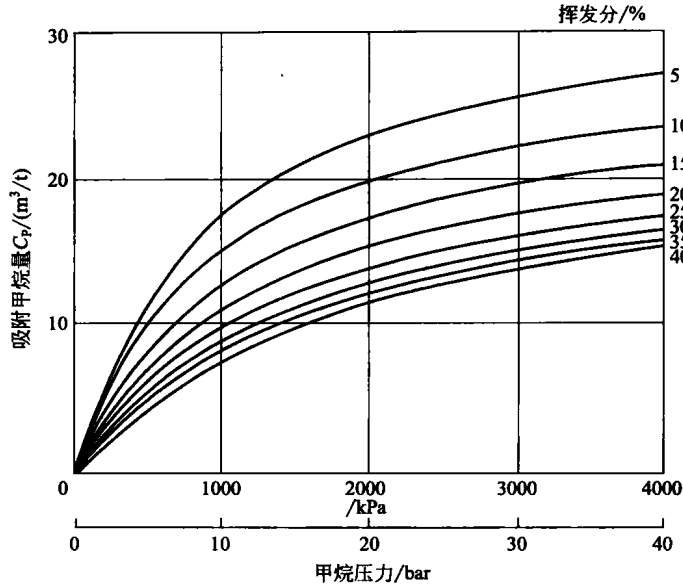


图 1-6 当挥发分为 5%~30% 和温度为 30°C 时干煤的吸附等温线  
(注: 1bar=1×10<sup>5</sup>Pa)

#### 四、煤层瓦斯浓度

##### (一) 煤层瓦斯浓度

瓦斯浓度是指单位体积或单位质量的煤或围岩在自然条件下所含有的瓦斯量, 是游离瓦斯和吸附瓦斯的总和, 通常以  $\text{m}^3/\text{t}$  或  $\text{m}^3/\text{m}^3$  来表示。

##### (二) 煤层瓦斯浓度及其影响因素

煤层瓦斯浓度的大小, 决定于成煤过程中生成的瓦斯量和煤层保存瓦斯的条件。煤层瓦斯生成量除与原始成煤物质的丰厚条件和成煤环境有关, 还随煤的变质程度加深而增加。根据实验室的测定, 煤层含有瓦斯的能力, 一般不超过  $60\text{m}^3/\text{t}$ 。也就是说, 成煤过程生成的瓦斯, 大部分都已转移到围岩或大气中去了。所以决定煤层实际瓦斯浓度的因素, 主要是成煤后保存瓦斯的条件, 如煤的结构和物理化学特性、成煤后的地质运动和煤层的赋存条件等。现就其主要影响因素概述如下。

##### 1. 煤的变质程度

由泥炭演变为煤的煤化作用过程, 包括先后进行的成岩作用和变质作用。这一阶段在以温度和压力为主的物理化学作用下, 不断地产生瓦斯。据前苏联研究报道, 每生成 1t 褐煤产生  $68\text{m}^3$  瓦斯, 每生成 1t 肥煤产生  $330\text{m}^3$  瓦斯; 当煤化作用进入无烟煤时, 瓦斯总体积超过  $400\text{m}^3$ 。这说明煤的变质程度越高, 生成的瓦斯量就越大。

煤的变质程度 (通常以挥发分含量表示) 不仅影响瓦斯生成量, 而且对煤的结构、孔隙率和吸附性能等, 即对煤层储存瓦斯的条件也有明显的影响。

研究表明, 煤在不同的煤化 (变质) 阶段, 其吸附瓦斯的能力不同。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, 因此褐煤具有很大的吸附能力。但该阶段瓦斯生成量较少, 且不易保存, 煤中实际所含的瓦斯量很小。随后由于地压增大, 煤的孔隙率减小, 煤质渐趋致密。至长焰煤时, 煤的孔隙和表面积都比较小, 所以吸附瓦斯的能力大大降低, 最大吸附瓦斯量在  $20\sim 30\text{m}^3/\text{t}$  左右。随着煤变质程度的进一步加深, 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,使表面积到无烟煤时达到最大。据实验室测定,1g无烟煤的微孔表面积可达 $200\text{m}^2$ 。因此,无烟煤吸附瓦斯的能力最强可达 $50\sim 60\text{m}^3/\text{t}$ 。但随着变质程度的进一步加深,煤的微孔减少,表面积收缩,到石墨时变为零,此时煤的吸附瓦斯能力消失,以致煤层不含瓦斯。如图1-7所示。

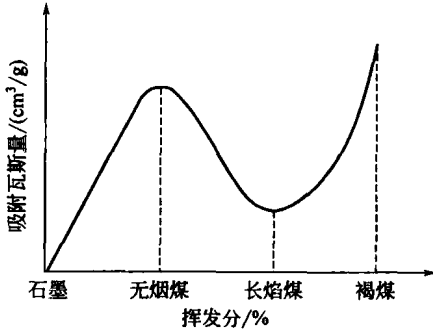


图 1-7 不同煤质对瓦斯的吸附能力示意

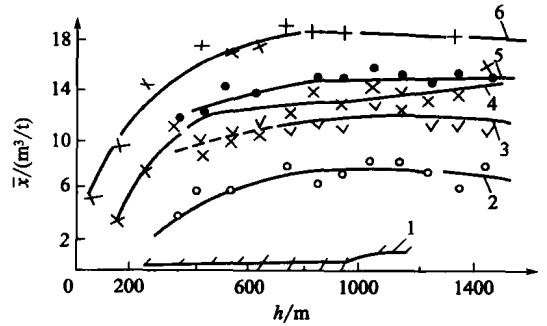


图 1-8 煤层甲烷浓度随埋藏深度变化曲线

1—1/A; 2—2/r; 3—4/ж; 4—5/K; 5—6/С; 6—7/т

一般来说,不同煤田间的实际瓦斯浓度与变质程度的关系无一定规律可循。同一煤田的瓦斯浓度,可以随变质程度的加深而有规律地增长。所以,以煤变质程度为自变量建立起来的计算煤层瓦斯浓度的数学表达式,只适用于本煤田或类似的煤田。煤矿开采过程中,煤变质程度可能成为矿井瓦斯随开采深度增大而增大的原因之一。

一些学者和研究人员按照褐煤、烟煤和无烟煤不同煤阶,将煤变质程度划分为低、中、高变质三类。在进行煤层瓦斯区域划分时,对应地将煤层区域划分为低、中、高瓦斯区,用以指导区域瓦斯防治和煤层气资源开发利用的评价。

## 2. 煤层露头及埋藏深度

一般出露地表的煤层瓦斯容易逸出,而且空气也向煤层渗透,因而煤层中含有 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 等气体,瓦斯含量少。随着煤层埋藏深度的增加,甲烷所占比例增大。根据实际资料分析,在瓦斯风化带以下,煤层瓦斯含量、瓦斯涌出量和瓦斯压力大小与煤层埋藏深度有关。

据(苏)M. n·列文斯基研究,煤层赋存深度对煤层中甲烷浓度的变化有决定性影响。在煤层甲烷浓度随深度变化的曲线(图1-8)上可以看出,对于分布在瓦斯风化带以下的烟煤和初期无烟煤(10/A类),可以把甲烷带划分为两个亚带,这两个亚带的瓦斯浓度随深度的定量变化特征不同。在深度小于 $500\sim 700\text{m}$ 的上亚带中,甲烷浓度随着深度增大,其变化曲线接近于双曲线。在深度达 $1600\text{m}$ 的下亚带中,甲烷浓度是稳定的。这里有些波动是与局部地质因素的变化有关。在11/A类无烟煤中则出现相反的规律——随着赋存深度的增大,甲烷浓度减少。而在超无烟煤(石墨)中,甲烷浓度与煤层赋存深度无关,其变化接近于零。

但有个别矿井,煤层随着埋藏深度的增大,覆盖层厚度增大,瓦斯涌出量相对减少。例如,徐州矿务局大黄山矿、吉林通化铁厂矿均有这种特殊情况,这需要根据影响煤层瓦斯赋存的多种因素综合分析。

## 3. 煤层围岩性质

煤层围岩主要指煤层伪顶、直接顶、基本顶(老顶)和直接底板等在内一定厚度范围的岩层层段。煤层围岩对瓦斯赋存的影响取决于它的隔、透气性能。