

瓦斯地质及瓦斯突出预测

目 录

绪 论	1
第一篇 瓦斯地质概论	7
第一章 瓦斯地质基础	7
一、瓦斯的性质和形式	7
二、瓦斯在煤层中的赋存状态	10
三、煤层瓦斯的运移	12
四、瓦斯分带	18
五、矿井瓦斯涌出、煤与瓦斯突出概述	20
第二章 影响瓦斯赋存的地质条件	29
一、含煤岩系沉积环境和岩性特征对瓦斯赋存的影响	29
二、煤层及其变质程度对瓦斯形成和赋存的影响	43
三、区域地质构造对瓦斯赋存的影响	51
四、其它地质条件对瓦斯赋存的影响	62
第三章 控制煤与瓦斯突出的地质因素	72
一、地质构造对煤与瓦斯突出的控制	72
二、煤层厚度及其变化与瓦斯突出的关系	81
三、煤体结构对瓦斯突出的控制	84

第二篇 瓦斯地质研究工作方法.....	99
第四章 若干瓦斯参数的测定方法.....	101
一、煤层瓦斯压力的测定.....	101
二、煤层瓦斯含量的测定.....	103
三、瓦斯放散指数 ΔP 的测定.....	108
四、煤的坚固性系数测定.....	110
第五章 突出煤层的煤体结构研究工作方法.....	112
一、突出煤层煤体结构的井下观测.....	113
二、突出煤层煤体结构研究的室内工作.....	117
第六章 瓦斯地质图的编制.....	119
一、瓦斯地质图的种类和主要内容.....	120
二、瓦斯地质图的编制方法.....	124
第七章 瓦斯地质若干定量研究方法.....	129
一、瓦斯地质变量的选择、取值和变换.....	130
二、回归分析方法.....	138
三、判别分析方法.....	148
四、因子分析方法.....	152
五、数量化理论.....	156
第八章 瓦斯地质区划.....	162
一、瓦斯—地质区划论的基本论点.....	162

二、瓦斯突出分布级别的划分.....	163
三、瓦斯分布和瓦斯突出分布的不均衡性.....	163
四、瓦斯地质区划的基本原则.....	167
第三篇 矿井瓦斯预测.....	169
第九章 矿井瓦斯涌出量预测.....	169
一、矿井瓦斯涌出来源.....	169
二、根据瓦斯梯度预测瓦斯涌出量.....	170
三、利用回归方程预测瓦斯涌出量.....	171
四、以瓦斯含量为基础的预测方法.....	171
第十章 煤与瓦斯突出预测.....	178
一、煤与瓦斯突出预测概述.....	178
二、勘探阶段瓦斯突出预测.....	179
三、生产矿井瓦斯突出区域性预测.....	185
四、瓦斯突出预测的地质指标.....	194

绪 论

一、瓦斯地质研究对象与内容

瓦斯地质是从地质角度研究煤层瓦斯和煤与瓦斯突出的自然规律，为煤矿生产建设和能源开发服务的一门新兴的边缘学科。

瓦斯是地质作用的产物。瓦斯的生成、运移、赋存和富集与地质条件密切相关。瓦斯地质学科把瓦斯研究和地质研究密切地结合起来，运用地质学的基本原理和方法，并涉及到煤矿开采方面的技术理论，研究瓦斯的赋存条件、运移和分布规律以及矿井瓦斯动力现象。瓦斯地质也是一门综合性学科，它与煤田地质学、构造地质学、沉积岩石学、煤岩学、煤化学、岩石力学、数学地质、地质力学以及采煤学、通风学等都有密切的联系。

瓦斯地质研究的主要内容是：

1、瓦斯的形成：从地质角度认识瓦斯的成因和形成机制，并把瓦斯的形成与成煤过程、成煤物质联系起来进行研究；

2、瓦斯赋存的地质条件：着重研究影响瓦斯运移、排放和保存的地质因素，特别要研究瓦斯富集的地质条件，从而掌握瓦斯的赋存和分布规律，为瓦斯预测提供依据；

3、煤和瓦斯突出的地质条件：煤和瓦斯突出是人为因素和自然因素综合作用的结果，瓦斯地质着重考查各种自然因素在瓦斯突出中的作用，即着重研究瓦斯突出发生的地质条件，为瓦斯突出预测预报提供依据；

4、瓦斯危险性预测：主要包括瓦斯含量预测、瓦斯涌出量预测和瓦斯突出预测三个方面。

瓦斯地质研究的显著特点之一是密切联系生产实际，为煤矿安全生产服务。煤矿生产的需要将促使瓦斯地质研究不断深入，科学预见性不断提高。

二、瓦斯地质研究对煤炭工业的意义

瓦斯地质作为一门学科出现，不仅是它本身具有独立的研究内容，更重要的是它是煤炭工业技术的一个组成部分。瓦斯地质研究对于煤矿安全生产，对提高煤炭工业经济效益都有重要意义。

1. 合理进行矿井设计，提高投资效益

勘探阶段必须查明各种开采技术条件，作为矿井设计的依据，而瓦斯资料是开采技术条件中的重要组成部分。

通过系统测定煤层瓦斯含量，分析瓦斯的赋存状态和分布规律，进而提出矿井瓦斯涌出量，将对矿井风量的确定、通风系统和通风方式的选择等起重要作用，直接影响到矿井设计的合理性。如果缺乏瓦斯资料和瓦斯地质分析，当确定的矿井瓦斯等级偏低时，将会造成矿井设计中各项通风设施满足不了生产需要，致使矿井投产后被迫改造或延误投产时间。若确定的矿井瓦斯等级偏高，则会增加矿井初期投资，造成浪费。

2. 提高防突效果，确保煤矿安全

目前我国已有煤与瓦斯突出矿井二百多对，其设计能力占全国产量的十分之一。由于事先还不能准确地判断突出的范围和地点，直接影响到采取措施的针对性。同时，由于采取措施耗工费力，使这些矿井掘进速度减慢，生产效率降低，有些矿井长期达不到设计产量，束缚了矿井生产能力的发挥，直接影响煤矿的经济效益。

国内外资料表明，突出矿井发生突出的区域仅占矿井全部采掘面积的10~20%。若开展瓦斯地质和瓦斯突出预测研究，不仅可使这些矿井减少防突措施的工程量，提高矿井经济效益，而且将为确保煤矿安全提供依据。

3. 为利用瓦斯资源提供依据

瓦斯是矿井的有害气体，同时也是一种资源。通过瓦斯抽放，可使其变害为利。我国抚顺、阳泉等许多高瓦斯矿区都建立了专门的抽放和利用系统，采取了一系列的预抽措施，减少了矿井瓦斯灾害。

由于瓦斯分布是不均衡的，为了合理布置抽放工程，提高抽放效果，保证瓦斯供给，必须查明瓦斯赋存的地质条件，查明瓦斯资源储量及其分布特征。这也是瓦斯地质研究的任务之一。

瓦斯地质研究的意义不仅于此。随着煤炭工业的迅速发展，瓦斯地质的研究领域将不断扩大，将为煤炭生产提供更准确更完整的瓦斯地质资料。

三、瓦斯地质学科在我国形成和发展

瓦斯地质作为一门新的边缘学科，是在煤炭工业的发展中产生和兴起的。

五十年代初，为了适应国民经济的第一、第二个五年计划的需要，全国开展了大规模的煤田地质勘探。矿井设计部门要求勘探报告中有瓦斯资料，并提出矿井瓦斯等级作为设计的依据。在这种情况下，我国建立最早的煤炭研究机构——抚顺研究所，曾以瓦斯作为重点研究内容，进行了勘探钻孔瓦斯取样手段的研究，将双层岩

芯管、集气罐采样方法在勘探部门推广使用，使勘探期间从钻孔中取瓦斯样成为可能。

为找出瓦斯涌出的规律，抚顺煤炭研究所在抚顺矿区老虎台等矿编制了瓦斯涌出量预测图，总结了该矿区的瓦斯变化梯度。

六十年代初，为掌握瓦斯赋存规律，抚顺所在对峰峰矿区各矿井进行瓦斯含量测定的基础上，分析勘探和矿井的地质资料，肯定了瓦斯赋存与地质构造有密切关系。

1965年，在煤炭部杨力生^{教授}高级工程师的倡导下，焦作矿务局在焦西矿进行了瓦斯涌出量预测研究，提出了断层附近瓦斯涌出呈现驼峰现象的规律，并划出了瓦斯集中涌出带。

于此同时，北票矿务局也总结了瓦斯突出与地质构造、火成岩、煤质等因素的关系，提出了用地质指标进行瓦斯突出区域性预测的方法。

初露锋芒的瓦斯地质工作在十年动乱中被中断了。

七十年代以后，瓦斯地质研究工作逐步开展起来。1972年，四川矿院、南桐矿务局开始将地质力学的观点应用于瓦斯突出分布的研究。随后，四川天府、³¹⁵华蓥山煤矿、贵州六枝矿务局以及重庆煤研所、重庆大学和焦作矿院等单位，进一步应用地质力学的观点对煤与瓦斯突出进行了分析研究。

1978年，在煤炭部科技局的支持下，由焦作矿院和焦作矿务局筹备，在焦作召开了我们煤炭历史上第一次瓦斯地质专业学术讨论会。会议的有关专题总结和学术论文反映了当时瓦斯地质认识水平，是我国瓦斯地质工作的阶段性总结。会议的一致结论是：

(1)瓦斯分布和瓦斯突出分布是不均衡的；(2)这种不均衡性与地质因素有密切关系。从而进一步指出了开展瓦斯地质工作的必要性。

1982年6月在四川天池召开的煤与瓦斯突出机理和预测预报第三次科研工作及学术交流会议上，焦作矿院瓦斯地质课题组提出了“地质条件控制瓦斯突出分区分带”的观点和“瓦斯——地质区划论”。湖南省煤研所强调了煤层围岩对瓦斯突出起主要的区域性控制作用。^{中国矿院和焦作矿院}他们还分别提出了瓦斯突出预测的地质指标。^{中矿}

1983年以后，瓦斯地质研究工作有了更快的发展，从主要以一般规律的探讨发展到以瓦斯突出预测为主体的研究阶段。焦作矿院在丰城和萍乡矿区，^{江西矿院和焦作矿院}湖南省煤研所在渣渡矿区，南桐矿务局在鱼田堡煤矿，河南省煤研所在安阳龙山矿的研究成果和许多现场单位的研究，不仅提出了突出预测的地质指标，同时还进行了突出预测的实践检验，取得了实际效果。

自1983年开始的全国煤矿瓦斯地质编图项目，对我国瓦斯地质的普及起了推动作用。编图工作不仅将我国的瓦斯地质资料作了第一次系统的整理，^{我国多数煤矿瓦斯地质编图工作}而且培训了一批从事瓦斯地质技术的人员。

1983年煤炭部颁发的《关于加强瓦斯地质工作的通知》（煤炭部1751号文件）是我国瓦斯地质工作发展的一个新起点，加快了瓦斯地质发展的进程，使它明确地成为煤矿安全技术的重要组成部分，并很快出现在煤矿安全法规（煤矿安全规程85年修改稿）^{和煤矿瓦斯突出防治}之中。

1985年8月中国煤炭学会瓦斯地质专业委员会的成立，“瓦斯地质”刊物（不定期，内部发行）的创办，有关院校开设瓦斯

地质课并开始招收瓦斯地质研究生等，都标志着瓦斯地质学科正在迅速发展。

上述表明：瓦斯地质在我国作为一门独立的学科出现已成为事实。我国煤炭资源丰富，采矿技术条件和瓦斯地质条件多样化，瓦斯地质工作有着广阔的前景，瓦斯地质学科将会随着科研与煤矿生产的密切结合而迅速地发展起来。

一、瓦斯的性质和形成

(一) 矿井瓦斯的组成和性质

在煤矿井下生产过程中，从煤层、煤层围岩、采空区以及生产过程中产生的各种气体统称为矿井瓦斯。

矿井瓦斯成分很复杂，主要成分是甲烷(CH_4)，又称沼气，其次是二氧化碳(CO_2)和氮气(N_2)，另外还有微量或少量的重烃类气体(乙烷 C_2H_6 、丙烷 C_3H_8 、丁烷 C_4H_{10} 、戊烷 C_5H_{12} 等)和氢气(H_2)、一氧化碳(CO)、二氧化硫气(SO_2)、硫化氢气(H_2S)等。

甲烷在煤层气体中的比例可由0~100%无色无味，但煤层瓦斯往往含有少量其它芳香族碳氢化合物，因此常常伴随有一种苹果的香味。在大气压力为760毫米汞柱，温度 0°C 的标准状态下，每立方米重0.716公斤，与空气比较，其比重为0.554，与氧气适当混合具有燃烧和爆炸性。甲烷本身无毒，但是当空气中瓦斯浓度超过40%时(即空气中氧气含量下降到12%以下)，就会使人因严重缺氧而窒息死亡。

煤层瓦斯中甲烷及其它气体的主要物理性质见表1-1。

(二) 瓦斯的形成

瓦斯主要是在成煤过程中产生的，煤是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的。瓦斯的主要成分——甲烷、重烃、二氧化碳、氢气等，是这一过程中的伴生产物。

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。腐植质的成分以芳香族化合物为主，脂类化合物

煤层瓦斯中各种气体的主要物理性质

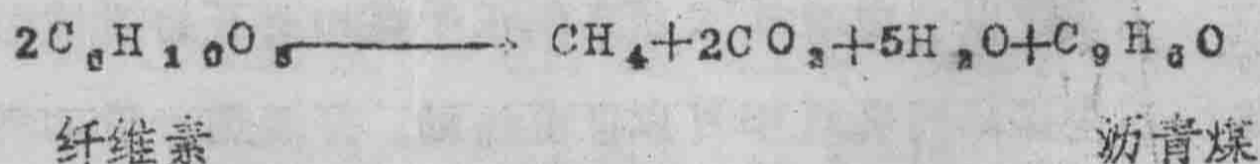
表 1-1

	甲烷 CH ₄	二氧化碳 CO ₂	一氧化碳 CO	硫化氢 H ₂ S	乙烷 C ₂ H ₆	丙烷 C ₃ H ₈	氢 H ₂
分子量	16.042	44.01	28.01	34.08	30.07	44.09	2.016
密度 (kg/m ³)	0.7168	1.98	1.25	1.54	1.36	2	0.09
对空气的比重	0.5545	1.53	0.97	1.17	1.05	1.55	0.07
沸点 K (101.3KPa)	111.3	194.5	83	211.2	184.7	230.8	20.2
爆炸下限 (%)	5	—	12.5	4.3	3	2.1	4
(293K, 101.3KPa)							
爆炸上限 (%)	15	—	74.2	45.5	12.5	9.35	74.2
(293K, 101.3KPa)							
发热量							
(MJ/m ³ , 288K)							
最高值	37.11	—	11.86	23.50	64.53	96.61	11.94
最低值	33.38	—	11.86	21.63	58.93	88.96	10.07

较少，其元素特征是贫氢富氧。腐植质产生的甲烷量较多，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CO₂、NO等。在这个阶段的晚期，由于地壳下降，沼泽水面上升和植物遗体堆积厚度的增加，使正在分解的植物遗体逐渐与空气隔绝。从而出现了弱氧环境或还原环境。在缺氧条件下，因细菌作用分解出沼气、重碳氢化合物、氢及其它气体，碳相对富集起来。纤维素分解的结果如下式所示：



据计算，1公斤纤维素在变成烟煤的过程中能生成6.4公斤沼气。在此阶段生成的瓦斯大部分扩散到空气中，在泥炭中保存的数量较少。

当泥炭物质由于地壳下降而为其它沉积物覆盖时，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、压力和作用持续时间的影响下，泥炭物质产生热分解，引起煤中发生一系列的物理——化学变化，使泥炭转变为烟煤，烟煤进而转变为无烟煤。

在这一过程中生成的气态产物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：



泥炭、褐煤

烟煤

在整个煤化作用过程中都有烃类气体组分产出。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，烃类主要生成于气煤至瘦煤阶段，甲烷的主要生气阶段是肥煤至瘦煤（图1-1，Ⅱ型干酪根为成煤过程中产生各种气体的主要有机质）。

二、瓦斯在煤^中层的赋存状态

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矿井瓦斯预测都有直接的意义。

（一）煤层中瓦斯的赋存状态

根据实验室和现场的测定结果，瓦斯在煤层中有游离、吸附和吸收三种存在状态（图1-2）。

1. 游离状态
瓦斯以自由的气体状态存在于煤和岩石的孔隙中，游离的气体分子在煤体的孔隙中可以自由运动，并遵循一般的气体定律，从压力大的地方向压力小的地方运移。煤和岩石中游离瓦斯的含量取决于孔隙度、裂隙度（自由空间的大小）和它所承受的瓦斯压力。

2. 吸附状态

由于瓦斯分子和固体颗粒之间的分子引力，瓦斯分子被吸附在煤体和岩体的微空隙表面，形成一层瓦斯薄膜。吸附瓦斯就是滞留在煤或岩石微空隙表面的气体。体存在煤中的瓦斯有80~90%以上呈吸附状态。吸附瓦斯不能自由运动，不服从气体定律。吸附

量的大小取决于煤对瓦斯的吸附能力，而吸附能力又取决于煤的孔隙率、变质程度以及外界湿度和压力。

3. 吸收状态

瓦斯分子进入煤的分子团中，与煤分子紧密地结合在一起，成固溶体，这和气体被液体溶解的现象相似。

(二) 瓦斯解吸

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平衡状态，吸附状态的瓦斯分子与游离状态的瓦斯分子处于不断地交换之中。若外界压力降低或温度升高，或给予冲击和振荡时，影响了分子的能量，则能破坏其平衡，吸附瓦斯可变为游离瓦斯，产生新的平衡状态。这种由吸附瓦斯转变为游离瓦斯的現象称为解吸。

瓦斯在吸附状态时不能形成瓦斯的内能，只有通过解吸变为游离瓦斯才能形成瓦斯的内能。

当煤中的瓦斯压力从平衡状态过渡到正常的标准大气压状态时，煤体释放的瓦斯量就是煤的解吸瓦斯量（图 1-3）。

(三) 影响瓦斯吸附的主要因素

1. 瓦斯压力

在

如图 1-4，吸附等温线是给定温度下表示吸附瓦斯量 $Q_{吸}$ 与瓦斯压力 P 之间的函数关系的曲线。在低的瓦斯压力下（ P 小于 100 KPa ）， $Q_{吸}$ 与 P 几乎成正比。在较高的瓦斯压力下（ P 大于 5000 KPa ），吸附瓦斯量随瓦斯压力的增长量极微。

2. 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（图 1-4），二氧化碳气体比甲烷更易被吸附，甲烷又比氮气容易吸附。

3. 温度

在相同的平衡压力下，吸附瓦斯量随温度升高而降低（图 1-4）。从 26℃ 起，烟煤温度每增加 1℃，其吸附量降低 0.8% 无烟煤温度每增高 1℃，其吸附量减少 0.6%。

4. 煤的比表面积

煤的比表面积是指一克煤所拥有的表面积，可以通过试验和计算获得。根据湖南煤炭研究所的测定结果，煤的吸附瓦斯容量随比表面积增大而增加（图 1-5）。

5. 煤质牌号

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

三. 煤层瓦斯的运移

国内外许多研究者采用试验的方法对不同煤种的产气量进行了测试和计算（图 1-7、表 1-2），而现今煤层中的实际瓦斯量只有发生率的十分之一或更少，这是煤层中的瓦斯在长期的地质历史过程中运移的结果。

煤气发生率和视煤气发生率

表 1-2

产气量 项目 m^3/T	褐煤	长焰煤	气煤	肥煤	焦煤	瘦煤	贫煤	无烟煤
煤气发生 率 (R_g)	38—68	138—168	182—212	199—230	240—270	257—287	295—330	346—422
视煤气发生 率 (R_e)		100—130	144—174	161—192	201—232	219—249	257—262	306—374

(据苏联科兹洛夫)

可以把成煤过程中形成的瓦斯划分为以下几个部分:

- (1) 保存在煤层中的瓦斯;
- (2) 从煤层中运移出来, 储集于围岩中的瓦斯;
- (3) 从煤层中运移出来, 溶解于地下水中的瓦斯;
- (4) 排放到大气中的瓦斯;
- (5) 聚入煤成气藏的瓦斯。

研究煤层瓦斯的运移方式及运移条件, 对估算煤层的瓦斯含量, 分析瓦斯分布不均衡的原因有直接意义。

(一) 煤层瓦斯的运移方式

瓦斯的运移主要有渗滤和扩散两种方式。

1. 渗滤

渗滤是指瓦斯或天然气通过畅通的喉管和裂隙, 构造破碎带运移的方式, 也称为自由流动或渗透。