

气测井

姚敦光 傅殿英
徐有信 编著

石油工业出版社

P731.84

前 言

气测井是一种直接勘探油气藏的地球化学录井方法。其优点是能及时、直接监视和发现钻探过程中的油气层，它在探井中获得了广泛的应用。

由于气测井采用自动记录、气相色谱、泥浆全脱气方法，进行定性、定量解释，并使用电子计算机技术，在发现油气藏以及评价油气层等方面有了重要的进展。近年来，又引进了综合录井仪，开展钻井监控、地层孔隙压力评价，逐渐引起了石油勘探工作者的关注。为了提高气测工作者和有关人员的技术水平，我们在1976年大港油田编写的《气测井读本》基础上，经过补充和完善，编写了这部《气测井》。该书重点论述气测井理论基础，色谱气测仪结构及电子线路，现场测井方法、资料解释及地质应用。同时还简要地介绍了综合录井仪，有选择的举出了一些应用实例，以及在石油勘探应用中获得的地质效果。

大港油田测井公司经理魏振球同志主持了该书的编写工作。第一、四、五章由傅殿英同志编写，第二章由徐有信同志编写，第三章由姚汉光同志编写，全书插图大部分由徐有信同志绘制。本书稿经石油工业部石油勘探开发科学研究院高级工程师谭廷栋同志审核。在编写过程中，大港油田有关同志对书稿提出了许多宝贵意见，在此，表示衷心的感谢。由于我们的水平有限，书中难免有疏漏甚至错误，敬请读者批评指正。

编 者

一九八七年十二月

目 录

第一章 理论基础	(1)
第一节 用途与分类	(1)
第二节 石油和天然气的组成与分布	(2)
一、石油的组成	(2)
二、天然气的组成	(4)
三、油、气分布	(7)
第三节 烃气的基本性质	(8)
第四节 烃储集层的基本特征	(14)
第五节 油气进入泥浆的机理	(15)
一、油气进入泥浆的气体浓度	(15)
二、油气从井底返至地面过程中的状态	(16)
第六节 泥浆和岩芯的脱气	(17)
一、脱气原理	(17)
二、脱气器类型	(17)
三、岩芯和岩屑的脱气	(21)
第二章 色谱气测仪	(23)
第一节 气相色谱法简介	(23)
一、基本原理	(23)
二、分离条件的选择	(25)
三、定性与定量方法	(26)
第二节 色谱气测仪	(27)
一、方框图及外观	(27)
二、运转过程	(28)
第三节 气相色谱仪	(29)
一、主要性能	(29)
二、组成部分	(29)
第四节 色谱柱和色谱峰	(30)
一、气测仪上的色谱柱	(30)
二、分离度	(30)
三、色谱峰的形状	(30)
四、反吹	(31)
五、色谱柱的制法	(32)
第五节 鉴定器	(33)
一、热导鉴定器	(33)
二、氢焰鉴定器	(36)
第六节 气路	(38)
一、气路流程	(38)
二、空气压缩机	(44)

三、氢气发生器.....	(45)
四、样品泵.....	(48)
五、流速计.....	(52)
六、压力表.....	(52)
七、阀门.....	(53)
八、防堵器.....	(60)
第七节 直流稳压电源.....	(61)
一、AG型气测仪20伏稳压电源.....	(61)
二、直流电压变换器.....	(63)
三、电子管直流稳压电源.....	(64)
第八节 热导组分道电路.....	(65)
一、电桥平衡与调零.....	(65)
二、桥流调节与定量调节.....	(65)
三、输出衰减.....	(66)
第九节 氢焰鉴定器的电路.....	(66)
一、电流源的概念.....	(66)
二、氢焰鉴定器主体电路.....	(67)
三、AG型气测仪微电流放大器.....	(68)
四、4A型气测仪的微电流放大器.....	(74)
第十节 温控电路.....	(75)
一、方框图.....	(75)
二、恒温箱.....	(76)
三、双金属温度计.....	(76)
四、感温电桥平衡与温度设定.....	(76)
五、尖脉冲发生器.....	(77)
六、移相过程、移相范围与梯形波电压.....	(78)
七、恒温控制过程.....	(80)
第十一节 程控系统.....	(80)
一、组成及工作过程.....	(80)
二、KW2-1型微动开关.....	(81)
三、推板与凸轮结构.....	(82)
四、幅控.....	(82)
五、程控各凸轮位置相对关系.....	(84)
第十二节 管路延时电路.....	(84)
一、电路原理.....	(84)
二、尖脉冲发生器.....	(85)
三、双稳态触发器.....	(85)
第十三节 4A型气测仪程控电路.....	(88)
第十四节 记录器.....	(90)
一、电子电位差计测量原理.....	(90)
二、测量桥路.....	(91)
三、DF-209型放大器.....	(94)

四、伺服机构的机械结构	(103)
五、变比例点	(104)
六、走纸机构	(105)
第十五节 深度记号系统	(109)
一、组成及原理简述	(109)
二、自整角机	(109)
三、深度传送器及其附件	(111)
四、转数表	(111)
五、深度指示器	(115)
六、记录器深度记号部件	(120)
第十六节 稳频稳压电源	(124)
一、原理方框图	(124)
二、可控整流	(122)
三、逆变主回路	(125)
四、稳压触发	(127)
五、稳频触发	(131)
六、稳频稳压过程	(132)
七、4A气测仪稳频稳压电源的特点	(132)
第三章 综合录井仪	(133)
第一节 综合录井与综合录井仪简介	(133)
一、综合录井目的与内容	(133)
二、综合录井仪概述	(133)
第二节 GD12型天然气总含量检测仪	(135)
一、概述	(135)
二、气路流程	(136)
三、电路	(137)
四、操作方法	(137)
第三节 GAL-31型天然气组分分析仪	(139)
一、概述	(139)
二、催化燃烧鉴定器工作原理	(140)
三、气路流程	(141)
四、电路	(143)
五、操作方法	(145)
第四节 钻井参数测定仪器	(147)
一、钻井深度和大钩负荷测定仪	(147)
二、双道钻时记录仪	(149)
三、钻盘转速和泵冲程分析器	(149)
四、泥浆压力和扭矩分析器	(150)
五、Z装置	(150)
第五节 泥浆参数测定仪	(151)
一、RESTOR-3型泥浆池泥浆体积测定仪	(152)
二、CALORIMUD-103型泥浆温度测定仪	(152)

三、连续泥浆比重测定仪	(153)
第四章 现场测井方法	(155)
第一节 现场安装	(155)
一、安装的准备工作的	(155)
二、深度传送系统的安装与检查	(155)
三、脱气系统的安放与检查	(157)
四、泥浆泵冲程指示器等部件的安装	(158)
第二节 井深计算与校正	(158)
一、井深与方入的计算	(158)
二、井深的校对	(158)
第三节 泥浆迟到时间的计算	(159)
一、参数的确定	(159)
二、泥浆迟到时间的计算	(160)
第四节 色谱气测仪刻度的标定	(161)
第五章 资料整理、解释与地质应用	(165)
第一节 资料整理及质量检验	(165)
一、原图的识别	(165)
二、原始资料的整理	(169)
三、成果图的绘制	(176)
四、质量检验与标准	(177)
第二节 钻速指数法确定储集层	(183)
第三节 烃组合法判断储集层流体性质	(188)
一、烃组成的三角形图解	(189)
二、烃组成的斜率图解	(192)
三、烃组成的形态图解	(192)
四、烃组成的区间图解	(193)
第四节 烃含量法预测储集层含气饱和度	(194)
一、油气进入泥浆的数学模型	(194)
二、烃含量图解	(195)
三、体积系数的计算	(199)
第五节 扩散法判断储集层流体侵入泥浆的程度和性质	(202)
第六节 解释方法与油气层评价	(204)
一、解释程序	(204)
二、影响因素分析	(206)
三、矛盾层分析	(211)
四、组合信息判别油气层	(214)
五、地质资料与测井资料的应用	(222)
第七节 地质应用及实例	(223)
一、发现油气藏	(223)
二、区分油气性质	(228)
三、判断含水性	(234)
四、寻找边缘井油水过渡带	(238)

五、检测井中的超压层	(238)
六、预示勘探方向	(239)
附录 “SQL” 气测解释程序	(251)
附表 书中使用的许用单位与非许用单位换算表	(270)

第一章 理论基础

第一节 用途与分类

气测井是勘探油气藏的一种直接的地球化学测井方法，它可以直接测量地层中天然气含量和组成，从而计算出储集层的烃组成、烃含量、孔隙地层压力和地层压力梯度，监视和发现钻探过程中的油气层。它在探井中获得了广泛的应用。

对气测井有多种的分类方式，一般按以下几种分类方式。

1. 按测井方式分类

- 1) 随钻气测。在钻井过程中测定由于岩屑破碎进入泥浆中的气体含量和组分。
- 2) 循环气测。在泥浆静止后再循环时，测定储集层在渗透和扩散的作用下进入泥浆中的气体含量和组分，故又称之为扩散气测。

2. 按脱气方式分类

- 1) 连续脱气。是一种不彻底的、不稳定的、非定量的连续的脱气方式。
- 2) 间断脱气。是一种彻底的、稳定的、定量的间断的脱气方式。

3. 按分析方法分类

- 1) 简易分析。测量全烃（或全量），分析甲烷、重烃和非烃。设备简陋、精度差。
- 2) 色谱分析。测量全烃（或全量），分析甲、乙、丙、异丁、正丁烷和氢、二氧化碳。
- 3) 定量分析。测量项目同于色谱分析。可求出泥浆含气饱和度以及呈溶解状态的甲、乙、丙、异丁、正丁烷和氢、二氧化碳。

4. 按测量对象分类

- 1) 泥浆气测。测定泥浆中的气体含量和组分。
- 2) 岩芯气测。测定岩芯中的气体含量和组分。
- 3) 岩屑气测。测定岩屑中的气体含量和组分。

钻井参数和泥浆参数与气测井有密切的关系。在综合录井中与气测有关的项目有：

- 1) 记号钻时。在钻井过程中，记录每钻进一米所需要的时间及相应的钻具深度，即井的深度。
- 2) 钻速指数。在钻井过程中，记录钻压、转速、钻时、排量及钻头类型和磨损程度等有关数值，经过数字处理，求出钻速指数。
- 3) 孔隙地层压力。在求出钻速指数的基础上，进一步做数字处理，计算出孔隙地层压力和地层压力梯度，检测超压地层。
- 4) 岩层孔隙度和渗透率。在求出钻速指数的基础上，进一步做数字处理，计算出岩石的孔隙度，或直接测定孔隙度和渗透率。
- 5) 泥浆性能参数。包括泥浆比重、粘度、温度、电阻率和泥浆池的泥浆体积。

第二节 石油和天然气的组成与分布

一、石油的组成

天然石油是一种以烃类为主的混合物。烃类化合物在石油成分中占97~99%，其余成分是氧化物，硫化物和氮化物等。

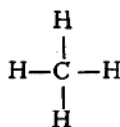
凡是由碳原子和氢原子构成的化合物，在有机化学中都统称为烃类化合物，或称碳氢化合物。石油中的烃类化合物按结构不同分为三类，即烷烃化合物、环烷烃化合物和芳香烃化合物。

1. 烷烃化合物

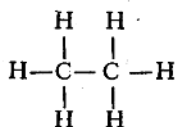
在烷烃化合物中，碳原子与碳原子之间，互相用一个化合价[●]连结，其余的化合价与氢原子连接，这种结构的烃类化合物，我们称之为烷烃，或者叫饱和烃。

烷烃的种类很多，它们是按碳原子的数目排列定名的。碳原子数在10以内的烃类以天支顺序命名，如含有一个碳原子的叫甲烷(CH_4)，两个碳原子的叫乙烷(C_2H_6)，三个碳原子的叫丙烷(C_3H_8)，四个碳原子的叫丁烷(C_4H_{10})，依此类推，其余分别命名为戊，己，庚，辛，壬，癸烷。碳原子数超过10后按数字命名，称为十一烷，十二烷，……，三十二烷等等。

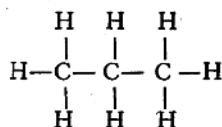
例如：



甲 烷
 CH_4



乙 烷
 C_2H_6



丙 烷
 C_3H_8

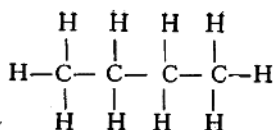
结构式中的直线表示价键。原子间互相连接的化合物叫化学键，简称价键。

从上述结构式中可以看出，每两个相邻的化合物在组成上只相差一个 CH_2 ，这些化合物的分子式可以用通式 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ （ n 是碳原子数，它不能等于零）表示。凡是具有这种关系的化合物组成一个系列，叫做同系物。上面例举的就是烷烃系列化合物。

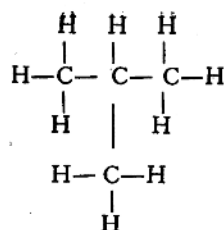
烷烃中，从丁烷开始，分子里的原子间有两种结构，一种是碳原子间互相连结成直链，称为直链结构；另一种是直链上接上支链，称为支链结构。虽然它们的分子式都是 C_4H_{10} ，但性质不同，是两种有机物，称此为同分异构体。为了区分这两种烷烃，直链结构的烷烃叫正烷烃，支链结构的烷烃叫异烷烃。

●化合价是用作衡量各种元素原子化合能力的标志，即各种元素的原子互相结合生成各种化合物时，一种元素的原子与其它元素的原子结合的能力。例如：氢原子的化合价是1，氧原子是2，氮原子是3，碳原子是4，等等。

例如:



正丁烷 (C_4H_{10})



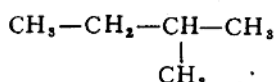
异丁烷

戊烷 (C_5H_{12}) 有三种不同的同分异构体,

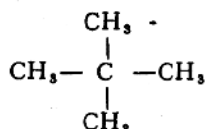
正戊烷结构排列式:



异戊烷结构排列式:

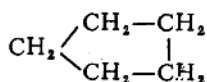


新戊烷结构排列式:

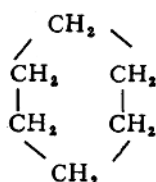


2. 环烷烃化合物

环烷烃是碳链两头用一价链连合而成的环状结构的化合物, 故获此名。它们的性质比较稳定。其分子式通式为 C_nH_{2n} 。例如:



环戊烷
 C_5H_{10}

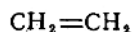


环己烷
 C_6H_{12}

环烷烃和烯烃为同分异构体, 如环戊烷是戊烯的同分异构体, 环己烷是己烯的同分异构体。

上面所述的化合物, 碳原子之间互以一价连接, 其化学键又叫单键。除此之外, 在有些化合物中用两个或三个化合价连接, 即双键或三键。如果碳原子与碳原子之间用双键或三键连接, 余下的化合价与氢原子连接, 生成的化合物分别叫烯烃或炔烃。

烯烃、炔烃 (分子式通式为 $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$) 和芳香烃, 都未被氢原子饱和, 所以又称它们为不饱和烃, 例如:



乙烯



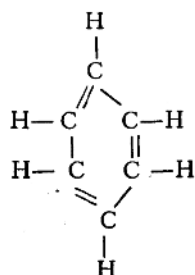
乙炔



3. 芳香烃化合物

芳香烃化合物的结构方式也是环状，但是它具有每个双键间隔一个单键。而且每个单键也都间隔一个双键的特点，与其它环状烯烃性质差别很大，由于这类化合物具有强烈芳香气味，故命名为芳香烃，或简称为芳烃。

芳烃分子式通式为 C_nH_{2n-6} 。这类化合物中具有代表性的是苯。它具有方边的环状结构。



苯(C_6H_6)

石油的成分极不一致，它与油气藏有关。不同油田的原油所含的各种烃类化合物的比例是不同的。通常是烷烃和环烷烃占第一位，在少数情况下，芳香烃占第一位。我国大多数油田的原油含烷烃较多，其次是环烷烃，而芳香烃较少，属于烷族-环烷族石油。

对于气测井有重要意义的是石油中所含的烷烃。液态石油中含有大量的气态、液态和固态的烷烃。在标准压力和常温下，含有1~4个碳数($C_1 \sim C_4$)的烷烃呈气态；含有5~15个碳数($C_5 \sim C_{15}$)的烷烃呈液态；含有16个碳数(C_{16})以上的烷烃呈固态。在气测井进行色谱分析时，可以测定 $C_1 \sim C_4$ 的烃类气体，有时还可以测定 $C_5 \sim C_6$ 的烃类气体。

二、天然气的组成

天然气这一名词，广义的讲，是指一切地方天然存在的气体，它包括大气，地表气，碎屑岩、碳酸盐岩以及岩浆岩中的气体等。对于气测井来说，研究的主要对象是油。气田中的天然气。按照习惯，我们把油、气田中的气体统称为天然气。

油气通常是储集在碎屑岩、碳酸盐岩以及岩浆岩中，常见的气体一般有甲烷、重烃、硫化氢、二氧化碳、氢和二氧化氮等气体。这些气体与油、气藏有着直接或间接的关系（表1-1），可以做为含油气性的一种气体标志。

储集层中的天然气，按照它的成因条件和化学组成，可以分为油田气、气田气和煤田气等。

1. 油田气和气田气

油田气又称为伴生气或湿气，它的主要成分是烃气。其中除含甲烷外，还含有较多的重烃($C_2 \sim C_4$)和液态烃(C_5 以上的烃蒸气)。除烃气之外，还含有氮、二氧化碳等。有时还含有硫化氢或氢。

气田气又称为干气，是指纯气藏储集的气体。气田气中天然气成分的特点是以甲烷为主，其含量一般高达90%以上，重烃气含量是微量的。此外，还含有二氧化碳和氮，有时含

表 1-1 含油、气性的气体标志

气 体 标 志	标志与油、气藏关系	标志与其它关系
重烃(C_nH_{2n+2})	油、气藏组成部分	
甲烷(CH_4)	油、气藏组成部分	在煤气和沼气中可能有少量的甲烷
硫化氢(H_2S)	石油和天然气还原, 含硫化化合物 和石油中硫化物的分解	还原作用中可能产生硫化氢
二氧化碳(CO_2)	石油和烃气的氧化和石油中含氧物 质的分解	煤和有机物氧化以及碳酸盐分解的 产物
氢(H_2)	石油和烃气分解时的可能产物	水和有机物分解时同样能产生氢
二氧化氮(NO_2)	通过生物化学作用而与运移烃气 有关的间接指标	生物化学作用在土壤中和底土中 能产生二氧化氮

有硫化氢或氢。

凝析气和富气属于湿气类型, 它们与凝析油和原油伴生, 油的数量所占比例较少, 富含烃气, 烃气的成分介于油田气和气田气之间。

各个油气田的天然气的组成含量是不同的, 它与油气藏的成因和分布规律有着密切关系。表1-1和表1-2是某油田油层和气层的烃气组成。从表中可以看出: 不同构造和不同层位的油气层中, 烃气组成是不同的; 在同一构造和同一层位油气层中, 烃气组成则基本相似。原生油气藏的烃气组成比较稳定, 次生油气藏的烃气组成变化较大。

气田气具有普遍性的规律性, 它与油田气有明显的差别, 这种差别主要在于重烃含量上, 从表1-2和表1-3数据中归纳起来看, 油田气和气田气在重烃组成上的差别如下。

油田气重烃相对含量……10.8~34.39%。

气田气重烃相对含量……0.48~2.29%。

凝析气重烃相对含量……10~13%。

2. 煤田气

煤田气主要成分是甲烷、氮和碳酸气等。

煤层及其围岩中天然气的组分同样有较大的变化, 这些组分上的变化是随着距地表距离, 气体渗透率以及地质条件的不同而改变。在气体风化带中, 愈接近地表, 煤层中氮和碳酸气的含量就愈大。在深部煤层中, 天然气主要是由甲烷组成, 简称为煤成气。

在煤田气中, 没有重烃气, 或是其含量极微, 这是因为重烃易被煤吸附的缘故。

煤田气中有氢。尤其是在煤田的围岩或底水中, 经常发现有氢的存在。此外, 还含有微量的氨或硫化氢。

3. 其它形式的气体聚集

在沉积岩中, 除了跟石油和煤有关的或单独形成的天然气烃气聚集之外, 还有含氮和碳酸气的气体聚集。这种类型的气藏中, 甲烷处于次要地位, 而碳酸气则占主要地位, 如二氧化碳气藏就是属于此类的气体聚集。

表 1-2 某油田油层天然气组分

构造层位	甲 烷				乙 烷				丙 烷				丁 烷			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
I 号 上部油层	94.39	86.57	74.18	58.11	1.48	3.6	6.2	6.50	1.03	0.75	1.0	1.01	0	0.3	0.72	1.0
II 号 上部油层	94.67	89.33	73.1	—	2.53	6.69	6.86	—	0.6	2.53	28.1	—	0.15	1.0	1.05	—
I 号 中部油层	—	86.48	76.83	66.44	—	6.08	7.92	8.71	—	2.42	2.57	3.14	—	2.75	1.81	2.26
II 号 中部油层	93.32	89.37	73.2	67.03	2.78	4.28	10.05	16.15	0.52	1.01	4.48	11.26	0.39	0.48	2.0	3.11
III 号 中部油层	94.87	—	—	—	1.67	—	—	—	1.31	—	—	—	0	—	—	—
IV 号 下部油层	—	82.28	74.8	64.47	—	10.06	13.34	17.56	—	4.26	7.12	11.30	—	2.52	4.1	5.53
V 号 下部油层	—	86.4	75.28	67.5	—	5.1	8.57	11.5	—	3.38	8.98	11.38	—	2.12	4.74	7.14
VI 号 下部油层	—	83.55	75.93	—	—	8.8	13.26	—	—	3.89	7.01	—	—	1.92	3.19	—
VII 号 下部油层	—	84.06	77.47	—	—	8.3	10.48	—	—	4.36	5.95	—	—	2.06	3.84	—
VIII 号 下部油层	—	84.52	75.62	—	—	8.12	11.06	—	—	3.83	6.88	—	—	2.34	4.75	—
IX 号 下部油层	—	86.06	77.93	—	—	7.33	10.68	—	—	2.32	6.22	—	—	1.15	2.72	—
X 号 下部油层	—	84.41	79.53	—	—	8.26	10.42	—	—	3.49	5.36	—	—	1.39	3.27	—
IX 号 下部油层	—	—	79.62	—	—	—	9.54	—	—	—	5.94	—	—	—	3.02	—

注：表中，1、2、3、4分别代表不同气态比重，其数值为：1—0.5~0.6，2—0.6~0.7，3—0.7~0.8，4—0.8~0.9。

表 1-3 某油田气层天然气烃气组分

构 造	层 位	气 体 组 分				备 注
		甲 烷	乙 烷	丙 烷	丁 烷	
I 号	上部气层	96.92	0.93	0.13	0	气体比重 均为0.5~0.6
II 号	上部气层	97.47	0.82	0.27	0	
III 号	上部气层	96.62	0.48	0	0	
III 号	中部气层	95.4	1.62	0.64	0	
其 它	下部气层	95.34	1.15	0	0	
凝 析 气 层						
Ⅳ 号	下部气层	85	7.5	3.5	2	气体比重: 0.6~0.8

这种类型的气体聚集,一般是与火成岩有关,有的也与岩盐、光卤石等有关。在钾盐石中,氢的浓度较高。

4. 扩散气体

在沉积岩中,除了聚集形成矿藏的石油、天然气和煤之外,还有大量呈扩散状态的天然气。它的主要成分有甲烷、碳酸气 and 氮气,有时也含有氢和稀有气体。

三、油、气分布

油、气是按照成因条件而分布的,烃气和石油都是有机质热演化的产物,而不同的演化阶段所生成的气体特征各不相同。有机质热演化表明,可溶有机质和不溶有机质随深度呈规律性变化,即有连续性又有阶段性,根据其变化可划分四个演化带,每个带都有相应的天然气生成物(见图1-1)。

1) 未成熟带。本段以生物化学作用为主,生成物主要为生物甲烷气。

2) 成熟带。本段以低热解作用为主,生成物主要为油,并伴生天然气。

3) 高成熟带。本段以高热解作用为主,生成物主要是凝析气。

4) 过成熟带。本段以热裂解作用为主,生成物为热裂解甲烷气。它是由 I、II 类干酪根及与煤系地层有关的母质所生成的煤成气(或油型气)。

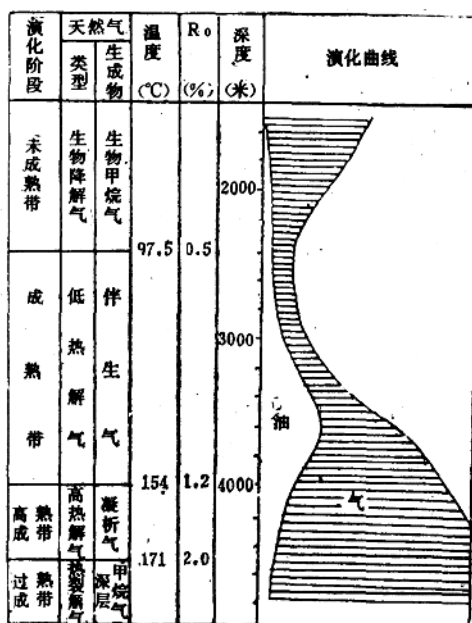


图 1-1 天然气垂向分布序列

由上述可知,天然气形成由上至下的垂向分布序列,即生物甲烷气—原油伴生气—凝析气—深层甲烷气。这种垂向分布序列称为共生聚集的分布序列。由于断裂的多次活动,油气多次聚散,将会使油气的分布在垂向上呈交替出现,称之为交替式分布序列。

油、气在平面上的分布,依热演化区和母质类型两个因素控制平面的展布。

原油伴生气在生油岩达到成熟的生油凹陷内都有分布。凝析气生成条件表明,母质类型是基础,演化阶段是条件,因此,该气除受沉积盆地演化历史的控制外,还受母质类型的控制。如某坳陷生成凝析气的母质类型属于腐泥—腐殖型,而这种母质类型,则具有局部分布特点。生物甲烷气是有机质演化的早期阶段生物细菌作用的产物,因此该气多分布于生油岩未成熟的生油凹陷中。煤成气多分布于煤系地层发育热裂解作用强的地区。

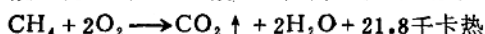
在断裂比较活动的地区,常常见到混合气,即上述五种类型天然气中的任何两种以上的天然气混合物,如生物甲烷气和原油伴生气的混合气。

第三节 烃气的基本性质

石油和天然气的性质是多方面的,由于气测井主要是分析测定石油和天然气中的气体,所以下面我们重点分析对气测井有意义的几种天然气特性。

1. 可燃性

天然气中的烷烃极易燃烧,燃烧后的产物是二氧化碳和水,同时放出大量的热量。例如甲烷燃烧生成二氧化碳和水,同时放出热量,即:



2. 导热性

气体的导热性是指气体传播热量的能力。不同的气体具有不同的导热能力,其导热能力一般用热导率或热导系数表示,热导系数是指:设在物体内部垂直于导热方向上取两个相距1厘米、面积为1平方厘米的平行平面,而这两个平面的温度相差1°C,则在1秒内从一个平面传导到另一平面的热量,它的单位是:卡/(厘米·秒·°C)。

天然气的可燃性、导热性是气体分析中采用电化学鉴定器的基础。天然气的物理常数可见表1-4。从表中可以看出,天然气中烷烃的比重随分子量的增加而增高,热导系数随着分子量的增加而逐渐减小。沸点与熔点也相应地发生变化。

表 1-4 天然气物理常数

气 体	分子式	分子量	比 重 (克/升)	相对比重	沸 点 (°C)	熔 点 (°C)	热导系数 (卡/厘米·秒·°C) × 10 ⁶
甲 烷	CH ₄	16	0.7168	0.5545	-161.13	-184	7.15
乙 烷	C ₂ H ₆	30	1.3562	1.049	-89.0	-182.8	4.26
丙 烷	C ₃ H ₈	44	2.02	1.562	-41.11	-189	3.58
正丁烷	C ₄ H ₁₀	58	2.673	2.067	+0.6	-135	3.22
二氧化碳	CO ₂	44	1.9767	1.529			3.37
氮	N ₂	28	1.2505	0.9674			5.66
硫化氢	H ₂ S	34	1.5392	1.1906			3.05
氢	H ₂	2	0.08987	0.0695			39.70

3. 吸附性

某种物质吸附性是指固体表面分子和气体分子之间存在着引力。当气体分子碰撞到固体表面时，气体分子暂时停留在固体表面上，这种现象叫做吸附。这里所说的固体表面，也包括固体内部孔隙的表面。

天然气具有被某种物质吸附的特性，吸附量除与温度和压力有关外，主要和吸附剂的吸附能力以及烷烃分子量有关。分子量愈大的烷烃，愈容易被物质吸附，但不易解吸（摆脱吸附称为解吸）；反之，分子量小的烷烃，不易被吸附，容易解吸。这种特性是气相色谱分离烃气混合气的基础。

地层中的岩石对天然气同样具有吸附性，其吸附量与岩石的性质以及温度和压力有关，吸附的特征常以毛细管凝结现象出现，如烃的蒸汽压接近饱和时，将发生毛细管凝结液态烃的现象。不同的岩石，吸附烃气的量是不同的，表1-5是砂岩、粘土在真空中加热105°C，对烃气吸附量的实验结果，从中可以看出，在同样的条件下，粘土比砂岩吸附量要多；重组分比轻组分吸附量要多。这种吸附现象表明，岩石对天然气的吸附能力主要由烃气性质和岩石性质所决定，同时也与地层的温度和压力有关。

表 1-5 岩石对天然气的吸附

气 体	岩 石	压力，毫米水银柱	吸附量，厘米 ³ /公斤
甲 烷	砂 岩	686	29.6
丙 烷	砂 岩	733	600.6
丁 烷	砂 岩	791	1152.3
乙 烷	砂 岩	839	10.6
甲 烷	粘 土	762	71.8
丙 烷	粘 土	725	1013
丁 烷	粘 土	690	1644

4. 溶解性

天然气具有溶解于石油，也具有溶解于水的特性。天然气的溶解近似的遵守亨利定律，即是在常压下，某液体中单一溶解气的量正比于液体上的该气体的压力及该气体相应的溶解系数，用下述方程式表示为：

$$Q = kap$$

式中 Q ——平衡状态下的溶解气量，
 a ——溶解系数（或称溶解度），
 p ——气体的压力，
 k ——与单位有关的比例系数。

该定律适应于常温常压下，随着压力的增加，该线性比例将发生变化，随着温度的升高溶解度通常减少。

天然气的溶解能力，通常用溶解度来表示。在一定的温度和压力下，单位体积溶剂所能饱和溶解的某种气体的体积，叫做该气体的溶解度。表1-6列出了各种温度下天然气在水中的溶解度。

表中数字表明，各种气体在水中的溶解度相互差别很大，烃气在水中的溶解度不大，属于最不易溶解的气体之列。碳酸气和硫化氢在水中的溶解度比烃气要大得多。因此，在

表 1-6 天然气在水中的溶解度(P=1大气压)

气 体	分 子 式	温 度 (°C)				
		0	20	40	60	80
甲 烷	CH ₄	0.0556	0.0331	0.0237	0.0195	0.0177
乙 烷	C ₂ H ₆	0.0987	0.0472	0.0292	0.0218	0.0183
丙 烷	C ₃ H ₈	—	0.0360	—	—	—
正 丁 烷	C ₄ H ₁₀	0.0315	0.0206	—	—	—
二氧化碳	CO ₂	1.7130	0.8780	0.5300	0.3590	—
氮	N ₂	0.0235	0.0154	0.0118	0.0102	0.0096
硫化氢	H ₂ S	2.6700	2.58	1.66	1.19	0.92
氢	H ₂	0.0215	0.0182	0.0164	0.0160	0.0180

地下水中，溶解气的组成与同水接触的游离气的组成会有很大区别。

地层条件下烃气在水中的溶解度如图1-2所示。该图标示出38°C，以克分子数表示的C₁~C₄和氢气在水中的溶解度。

从图1-2可见，甲烷、乙烷和氢的溶解度是随压力的升高而增大，并非呈线性变化。丙烷曲线趋于一条直线，而丁烷曲线几乎是一条直线。

图1-3为天然气在水中的溶解度与温度和压力的关系曲线。在非高压下，溶解气量随温度的升高而减少，在高压下，溶解气量随温度的升高而增大，呈谷形变化。

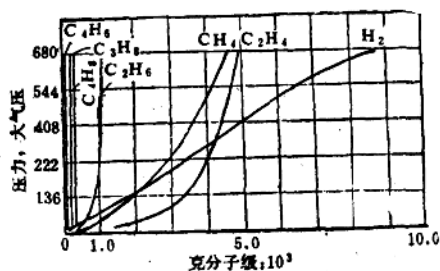


图 1-2 烃气在水中的溶解度

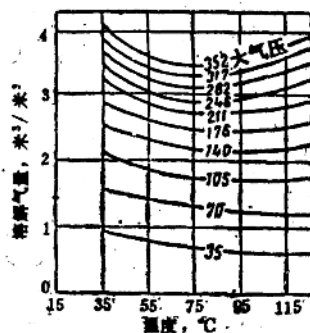


图 1-3 烃气在水中的溶解度与温度和压力的关系

上列烃气溶解度是在蒸馏水中实验得来的。在地层水中，盐类杂质将会降低气体的溶解度，溶解的烃气和其它烃类衍生物，如酸、氧化、硫化物也将会影响它们的溶解度。

烃气在石油中的溶解度比在水中要大得多。以甲烷为例，在石油中的溶解度约为水中溶解度的10倍。在标准压力下，甲烷在某些石油中的溶解系数约为0.3。乙烷在某些石油中的溶解系数为1~1.5。丙烷在石油中的溶解度还要大，溶解系数约为25~30。至于丁烷和更重的烃类，它们可按任何比例与石油相混合。

碳酸气和硫化氢比较容易地溶解在石油中，氢和氮气不易溶解在石油中。因此，烃气和液态烃极易溶解在石油中，这是化学亲和力的结果。而其它气体组分却不易溶解在石油中，而是易于溶解在水中。