

气测井读本

大港油田《气测井读本》编写组编

石油工业出版社

气测井读本

大港油田《气测井读本》编写组编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍气测井仪器及气测资料解释,对有关气测井理论性问题也作了粗略叙述。在内容编排取舍方面,注意了普及与提高相结合和理论与实际相结合的原则,文理力求通俗易懂。书稿经前石油化学工业部石油勘探开发规划研究院勘探室审阅。

本书系在气测工培训教材的基础上,搜集有关厂矿资料编写而成,可供气测井工人阅读及从事气测井工作的工程技术人员和有关院校师生参考。

气 测 井 读 本

大港油田《气测井读本》编写组编

*

(根据石油化学工业出版社纸型重印)

石油工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

大兴县诸营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $10^{3/4}$ 字数239千字 印数1—1,900
1981年1月北京新1版 1981年3月北京新1版第1次印刷

书号15037·2303 定价0.74元

目 录

第一章 气测井概述	(1)
第 1 节 用途与分类	(1)
第 2 节 理论基础	(2)
第 3 节 气测仪工作原理	(20)
第 4 节 泥浆脱气	(28)
第二章 简易气测仪	(33)
第 1 节 气体分析仪	(33)
第 2 节 深度系统	(41)
第 3 节 记录仪	(47)
第 4 节 供电与辅助部分	(62)
第 5 节 调节与操作	(82)
第 6 节 维修与故障提示	(89)
第三章 色谱气测仪	(101)
第 1 节 气相色谱法简介	(101)
第 2 节 色谱气测仪概述	(111)
第 3 节 气体分析器	(118)
第 4 节 热导池鉴定器	(131)
第 5 节 氢火焰离子化鉴定器	(142)
第 6 节 记录仪	(153)
第 7 节 管路延时与程序控制	(165)
第 8 节 稳压稳频电源	(174)
第 9 节 深度及辅助设备	(189)
第 10 节 现场操作	(199)
第 11 节 调整及校验	(206)

第12节	维护保养与故障提示·····	(213)
第四章	现场测井方法·····	(221)
第1节	现场安装·····	(221)
第2节	井深计算与校正·····	(227)
第3节	泥浆迟到时间的计算·····	(229)
第4节	扩散气测与泥浆蒸馏操作·····	(234)
第5节	动力气体混合器的校验与用途·····	(238)
第6节	灵敏臂的焊接与活化·····	(244)
第五章	资料解释与应用·····	(250)
第1节	资料整理·····	(250)
第2节	定性解释方法·····	(269)
第3节	色谱气测资料解释方法·····	(285)
第4节	油、气、水层综合解释方法·····	(309)
第5节	应用举例·····	(319)
附表1	钻铤规范及容积·····	(332)
附表2	钻杆规范及容积·····	(333)
附表3	钻具环形体积·····	(334)
附表4	泥浆泵排量·····	(334)
附表5	梯形测流器泥浆排量·····	(340)

第一章 气测井概述

第1节 用途与分类

气测井是直接勘探油、气藏的一种地球化学测井方法。用来发现油、气层,判断油、气性质,估价油、气层产能等。是石油与天然气勘探的重要手段,在探井中获得了广泛的应用。

气测井资料是通过气测仪而获得的。一般采用记录沿井深剖面的全烃^①、重烃和钻时的简易气测仪。或者使用色谱气测仪,同时进行泥浆全脱气的定量测定。色谱气测仪连续自动记录沿井深剖面8条曲线,即全烃、钻时、甲烷、乙烷、丙烷、丁烷以及氢和二氧化碳非烃色谱曲线,能够比较可靠地发现油、气层,判断油、气性质。如果,进一步改进气测井方法和开展定量解释,还有可能估价油、气藏生产能力,为油、气田储量计算提供参数。

和其它测井方法一样,气测井也有其一定的局限性,如受地质条件、钻井参数、泥浆性能等因素的影响。因此,解释时需要进行综合分析。

按照气测井方法分类有:

1. 泥浆气测井:测定钻井泥浆中的气体含量和成份,泥浆气测有:

① 烃类气体的总含量称全烃,除甲烷之外的烃类气体的含量称重烃。

(1) 按脱气方式分类：①间断气测井——取泥浆样品定点测量分析；②连续气测井——自泥浆中连续脱气测量分析。

(2) 按测量条件分类：①钻井气测井——在钻井过程中进行气测；②扩散气测井——在完井下套管前或钻井中途泥浆静止后，再循环时进行气测。

2. 岩屑气测井：测定在钻井过程中，随泥浆携带出来的岩屑中的气体含量和成份。

3. 岩心气测井：测定钻井时取出岩石中的气体含量和成份。

目前，普遍使用泥浆气测井，在钻井过程中进行连续气测记录。间断气测井和扩散气测井，大多数是在有油、气显示井段进行测量。岩屑和岩心气测井很少使用。

第2节 理论基础

一、石油和天然气的组成与性质

(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份中占97~99%，其余成份是氧化物、硫化物和氮化物等。

凡是由碳原子和氢原子生成的化合物，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。

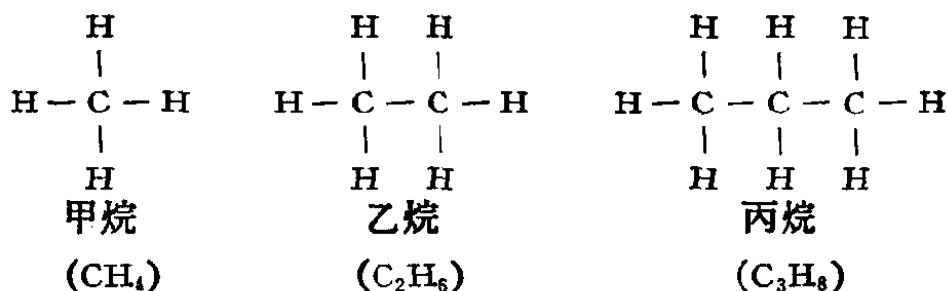
1. 烷烃化合物

在烷烃化合物中，碳原子与碳原子之间，互相用一个化

合价^①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，即余下的化合价都被氢原子饱和。

烷烃种类很多，它们是按碳原子的数目排列定名的，如含有一个碳原子的叫甲烷（ CH_4 ），二个碳原子的叫乙烷（ 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，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：



结构式中的直线表示价键。原子间互相连接的化合价叫化学键，简称价键。

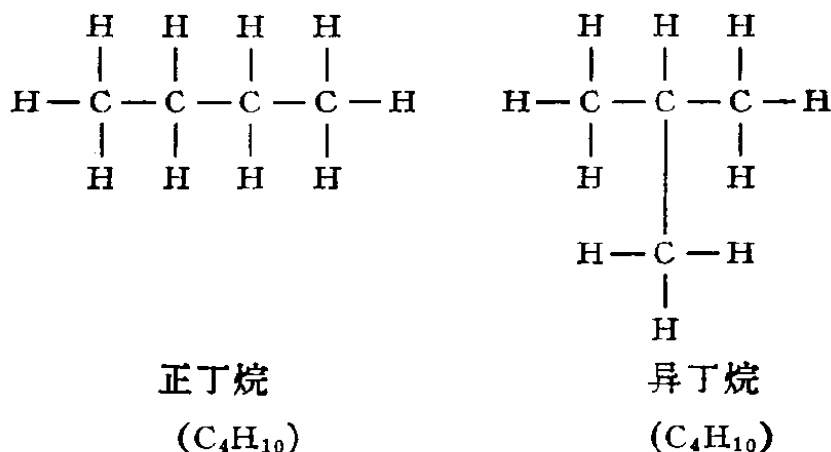
从上述结构式中可以看出，每两个相邻的化合物在组成上只相差一个 CH_2 ，这些化合物的分子式可以用通式 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ （ n 是碳原子数，它不能等于零）表示。凡是具有这种关系的化合物组成一个系列，叫做同系列，系列里的各个化合物叫做同系物。

从丁烷开始，分子里的原子有两种结构，一种是碳原子

① 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。

间互相连结成直链，称为直链结构；另一种是在直链上接上支链，称为支链结构。它们的分子式虽然都是 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。

例如：

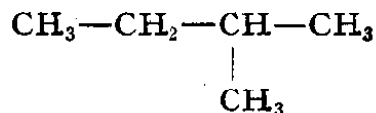


戊烷 (C_5H_{12}) 有三种不同的同分异构体。

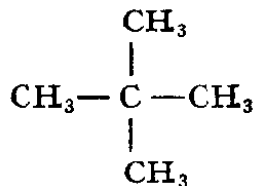
正戊烷结构式：



异戊烷结构式：



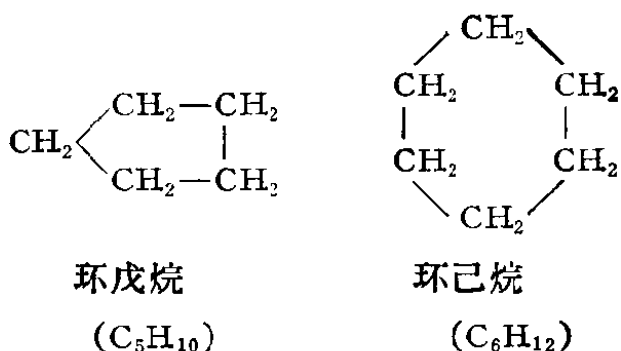
新戊烷结构式：



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，故有此名。它们的性质比较稳定。其分子式通式为

C_nH_{2n} 。例如：



环烷烃和烯烃成同分异构体，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和炔烃。

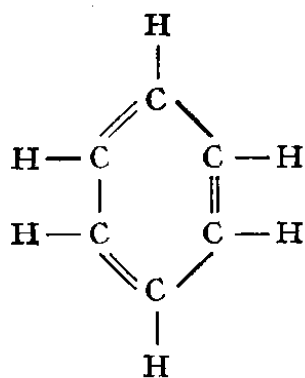
烯烃和炔烃以及芳烃类化合物，都未被氢原子饱和，所以又称它们为不饱和烃。例如：



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，或简称芳烃。

芳烃的分子式通式为 C_nH_{2n-6} 。这类化合物中具有代表性的是苯，它具有六边的环状结构。



苯 (C_6H_6)

石油的成份极不一致，与产地有关。不同油田的石油，所含的各种烃类化合物的比例是不同的（见表 1-1）。

表 1-1 石油的烃类组成

数 值 范 围	烃 类 的 百 分 含 量 (%)		
	烷 烃	环 烷 烃	芳 香 烃
最 大 数 值	0~75	20~80	5~60
通 常 数 值	5~55	25~75	10~40
世界石油平均值	30	46	24

从表 1-1 中按含量来看，通常环烷烃占第一位；在少数情况下，烷烃占第一位；仅在特殊情况下，芳烃占第一位。我国大多数油田的石油含烷烃较多，其次是环烷烃，而芳烃较少，属于烷族——环烷族石油。

对于气测井有意义的是石油中含的烷烃。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 ($\text{C}_1 \sim \text{C}_4$) 的烷烃呈气态；含有 5~15 个碳数 ($\text{C}_5 \sim \text{C}_{15}$) 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，不但可以测定 $\text{C}_1 \sim \text{C}_4$ 的烃类气体，还可以测定 $\text{C}_5 \sim \text{C}_8$ 的烃类气体，这对于气测

井资料解释很有帮助。

(二) 天然气的组成与分布

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、沉积岩气体以及变质岩和火成岩中的气体等。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、气田中的气体简称为天然气。

油、气通常是储集在沉积岩层中。在沉积岩中，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（见表1-2），可以做为含油、气性的一种气体标志。

表 1-2 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

沉积岩层中的天然气，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

油田气的主要成份是烃气。其中除含甲烷外，还含有较重的气态烃（ $C_2 \sim C_4$ ）和液态烃（ C_5 以上的烃蒸气）。

油田气的主要成份除烃气外，还含有氮、二氧化碳等，有时还含有硫化氢或氢。

气田气是指纯气藏，或者是石油与天然气相比较所占数量很少，例如凝析气或混合气等。气田含天然气成份的特点是以甲烷为主，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，有时含有硫化氢。

在含油构造中，油藏顶部的孔隙性岩层经常含有烃气，可以认为是气体运移的结果。在有些情况下，也能形成单独的气体聚集。

各个油、气田的天然气组成含量极不相同，它与油、气藏生成条件和地质构造等因素有着密切的关系。表1-3和表1-4为××油田油层和气层天然气中烃气组份含量。从表中看出，在不同构造和不同层位油、气层中天然气组份含量是不同的，油田气和气田气中烃气的组份含量的差别，具有普遍的规律性，不受构造等条件的限制。这种差别主要在于重烃含量组份上，以表1-4和表1-5数据中归纳起来看油田气和气田气重烃含量的差别如下：

油田气重烃含量·····	10.8~34.39%
气田气重烃含量·····	0.48~2.29%
凝析气田气重烃含量·····	10~13%

2. 煤田气

煤田中含有大量的天然气，它的主要成份是甲烷、氮和碳酸气等。

煤层及其围岩中天然气的组份同样有较大的变化，这些

表 1-3 × × 油田油层天然气烃气组份

构	造	层	位	甲				乙			
				烷				烷			
				1	2	3	4	1	2	3	4
I	号	上	部	94.39	86.57	74.18	68.11	1.48	3.6	6.2	6.50
II	号	上	部	94.67	89.33	73.1	—	2.53	6.69	6.86	—
I	号	中	部	—	86.48	76.83	66.44	—	6.08	7.92	8.71
II	号	中	部	93.82	89.87	73.2	67.03	2.78	4.28	10.05	16.15
III	号	中	部	94.87	—	—	—	1.67	—	—	—
IV	号	下	部	—	82.28	74.8	64.47	—	10.06	13.34	17.56
V	号	下	部	—	86.4	75.28	67.5	—	5.1	8.57	11.5
VI	号	下	部	—	83.55	75.93	—	—	8.8	13.26	—
VII	号	下	部	—	84.06	77.47	—	—	8.3	10.48	—
VIII	号	下	部	—	84.52	75.62	—	—	8.12	11.06	—
IX	号	下	部	—	86.06	77.93	—	—	7.33	10.68	—
X	号	下	部	—	84.41	79.53	—	—	8.26	10.42	—
XI	号	下	部	—	—	79.62	—	—	—	9.54	—

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

续表

构造	层	位	丙				丁			
			烷				烷			
			1	2	3	4	1	2	3	4
I	号	上层	1.03	0.75	1.0	1.01	0	0.3	0.72	1.0
II	号	上层	0.6	2.53	2.81	—	0.15	1.0	1.05	—
I	号	中层	—	2.42	2.57	3.14	—	2.75	1.81	2.26
II	号	中层	0.52	1.01	4.48	11.26	0.39	0.48	2.0	3.11
III	号	中层	1.31	—	—	—	0	—	—	—
IV	号	下层	—	4.26	7.12	11.30	—	2.52	4.1	5.53
V	号	下层	—	3.38	8.98	11.33	—	2.12	4.74	7.14
VI	号	下层	—	3.89	7.01	—	—	1.92	3.19	—
VII	号	下层	—	4.36	5.95	—	—	2.06	3.84	—
VIII	号	下层	—	3.83	6.88	—	—	2.34	4.75	—
IX	号	下层	—	2.32	6.22	—	—	1.15	2.72	—
X	号	下层	—	3.49	5.36	—	—	1.39	3.27	—
XI	号	下层	—	—	5.94	—	—	—	3.02	—

表 1-4 ××油田气层天然气烃气组份

构造	层位	气体组份				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						
XII 号	下部气层	85	7.5	3.5	2	气体比重:0.6~0.8

组份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。在深部煤层天然气主要由甲烷组成。

在煤田气中，没有重烃气，或者含量极微。这些微量重烃气的由来是因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和底水中，经常发现有氢的存在。此外，还含有微量的氨和硫化氢。

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，而碳酸气占主要地位，如二氧化碳气藏就是属于此类气体聚集。

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。它的主要成份有：甲

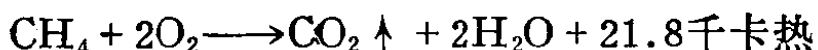
烷，碳酸气和氮气。有时也含有氢和稀有气体。

(三) 石油和天然气的性质

石油和天然气的性质是多方面的。石油的主要特性是可以燃烧，燃烧性质好，发热量高。它的比重多介于0.75~0.98之间（在20℃时与同体积的水相比）比水轻。具有一定的粘度，随着温度升高石油粘度降低。粘度是指液体流动时，质点之间摩擦力的大小。

由于气测井主要是分析石油和天然气中的气体，所以下面我们重点分析天然气的特性，而且仅限于对气测井有意义的几方面特性。

(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。不同的气体其导热性质也不同。一般用热导率或热导系数表示。热导系数是指在单位时间内垂直通过气体截面积在单位距离上使气体温度变化一度的热量，它的单位是（卡/厘米·秒·℃）×10⁶。

天然气的物理常数见表1-5。从表中看出，天然气中烷烃的热导系数随着分子量的增加而逐渐减小。

(3) 吸附性：某种物质的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和烷烃的分子量有