

# 天然气集运工程

上册

孙自全編著

石油工业出版社

## 內 容 提 要

本書分上下兩冊出版，上册共分五章，分別敘述天然氣和氣藏的性質及測定這些性質的方法；氣井的完成和井下、井上設備；天然氣流量的各種測算方法和使用的儀表；試井理論、方法、操作、資料的整理和運用等等。在各章節中作者都大量利用了現場資料和現場的工作經驗。對常用的公式進行了推導。

本書內容具體，可供采氣工程技術人員和中等石油學校師生參考，並可供一般工作人員和工人進修使用。

統一書號：15037·616

## 天 然 氣 采 運 工 程

上 冊

王 自 全 編 著

石油工業出版社出版（社址 北京大柵欄石油工業部內）

北京市書刊出版業營業許可證出字第085號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 開本 \* 印張 11 \* 248 千字 \* 印 1-2,000 冊

1959年3月北京第1版第1次印刷

定價(10)1.70元

# 目 录

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| 第 1 章 天然气的性質 .....                             | 1   |
| 第 1 节 天然气的成分与分类 .....                          | 1   |
| 天然气的組成( 1 ) 天然气的分类( 3 )                        |     |
| 第 2 节 天然气分析 .....                              | 7   |
| 取样( 8 ) 奥氏仪分析法( 9 ) 色層分析法( 21 ) 低溫分餾法( 24 )    |     |
| 硫化氫含量的測定( 27 )                                 |     |
| 第 3 节 天然气的物理性質 .....                           | 29  |
| 基准情况( 29 ) 比重( 30 ) 天然气的压容关系( 40 ) 天然气的热( 48 ) |     |
| 天然气的爆炸( 60 ) 天然气的粘度( 62 ) 扩散( 68 ) 蒸气压力( 70 )  |     |
| 第 4 节 天然气的水含量与溶解度 .....                        | 71  |
| 天然气內的水含量( 71 ) 天然气的溶解度( 72 )                   |     |
| 第 5 节 二相的平衡 .....                              | 76  |
| 二相平衡的計算( 76 )                                  |     |
| 第 2 章 气藏及其物理性質 .....                           | 86  |
| 第 1 节 气藏、气層与气田 .....                           | 86  |
| 第 2 节 气藏構造 .....                               | 87  |
| 第 3 节 气藏的驅動 .....                              | 94  |
| 气驅( 95 ) 水驅( 95 ) 溶解彈性驅動( 96 )                 |     |
| 第 4 节 气層顆粒組成 .....                             | 96  |
| 岩样的准备( 96 ) 顆粒大小的測定( 97 ) 測定結果的整理( 98 )        |     |
| 第 5 节 气層的孔隙度 .....                             | 99  |
| 孔隙度的定义( 99 ) 孔隙度的測定( 100 )                     |     |
| 第 6 节 气層的渗透率 .....                             | 101 |
| 岩石的渗透性( 101 ) 渗透率的測算( 102 ) 天然气層的特征( 106 ) 有效  |     |
| 渗透率与相对渗透率( 108 )                               |     |
| 第 7 节 岩石的比面积 .....                             | 109 |

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 岩石比面积的意义(109)比面积的测算(109)                                                                                                   |     |
| 第8节 气田水                                                                                                                    | 111 |
| 气田水的种类(111)气田水的分析(112)                                                                                                     |     |
| 第3章 气井的完成和设备                                                                                                               | 116 |
| 第1节 气层的安全完善鑽开                                                                                                              | 116 |
| 高压气井(116)鑽井时的井口设备(117)气层的鑽开(118)                                                                                           |     |
| 第2节 气井完成                                                                                                                   | 119 |
| 完井方法的种类(119)裸眼完成法(120)射孔完成法(121)襯管完成法(122)礫石完成法(125)                                                                       |     |
| 第3节 气井的固井工作                                                                                                                | 128 |
| 气井固井工作的特点(128)水泥的一般性質(130)噴井时的注意事項(165)                                                                                    |     |
| 第4节 气井的设备                                                                                                                  | 138 |
| 套管和套管头(138)油管和油管头(144)堵塞器(146)油咀(150)聖誕树(152)高压閘門凡尔(159)                                                                   |     |
| 第5节 气井的完成                                                                                                                  | 159 |
| 下有油管气井的完成(159)無油管气井的完成(165)噴井时的注意事項(165)                                                                                   |     |
| 第6节 井場设备                                                                                                                   | 167 |
| 井場佈置(167)捕砂器(170)压力表(171)安全凡尔(173)分离器(175)集液器(185)溫度計(187)井場气管綫(188)                                                       |     |
| 第4章 气体流量的测算                                                                                                                | 189 |
| 第1节 测流原理与計算                                                                                                                | 189 |
| 固容式流量計(189)孔板流量計(190)垫圈流量計(215)彼托管流量計(218)开口彼托管流量計(211)临界速度流量計(224)非临界速度的孔板节流器(232)其他类型計流设备(232)計流标准的校正方法(234)测流代表的比較(235) |     |
| 第2节 主要测量仪表的構造、安裝与应用                                                                                                        | 235 |
| 固容流量計的安裝与应用(235)自动孔板流量計的構造、安裝与使用(241)累积式自动孔板流量計(247)远距离傳送自动孔板流量記录                                                          |     |

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| · 仪(249)                                                                                                                  |     |
| 第3节 气矿流量仪表的管理与计算                                                                                                          | 251 |
| 流量计的校正与管理(251)自动孔板流量记录仪的实际计算(256)                                                                                         |     |
| 第5章 试井                                                                                                                    | 260 |
| 第1节 试井与回压力法的理论                                                                                                            | 260 |
| 试井目的(260)回压力试井的原理(260)试井中井底回压力的计算(263)试井中二项式与指数方程式的比较(283)试井应取得的资料(235)                                                   |     |
| 第2节 试井操作、记录与主要设备                                                                                                          | 285 |
| 试井时的布置(285)试井操作(287)试井记录(289)试井用主要仪表设备(291)                                                                               |     |
| 第3节 试井资料的整理与绘图                                                                                                            | 304 |
| 原始资料的初步整理(304)回压力试井结果的计算与制图(305)试井直线的性质与可能引入的误差(308)试井报告应包括项目(314)                                                        |     |
| 第4节 回压力试井资料的应用                                                                                                            | 315 |
| 井中有水的情况(315)井下坍塌或砂堵情况(316)气井的递减衰老情况(317)气井的酸处理前后试井结果(321)气井爆炸前后试井结果(323)气井生产的实际管理应用(323)试井结果在整个气田开采中的应用(324)气井渗透率的计算(326) |     |
| 第5节 试采                                                                                                                    | 327 |
| 试采的意义(327)试采工作步骤(328)井的性能(330)稳定产量及与隣井的关系(330)裂缝性气田气井的试采(331)                                                             |     |

# 第 1 章 天然气的性質

## 第 1 节 天然气的成分与分类

### 天然气的組成

天然气是以各种碳氫化合物为主的混合物，由許多性質不同的成分所組成，在常温常压下为气体。

各地所产天然气成分都不一致，但除極特別的外，气里平均含有 90% 体积以上的碳氫化合物，其中最主要的是烷屬烴( $C_nH_{2n+2}$ )，有时含少量的烯屬烴( $C_nH_{2n}$ )或炔屬烴( $C_nH_{2n-2}$ )。因为它是气态烷屬烴的混合物，所以天然气的主要成分就是甲烷( $CH_4$ )，乙烷( $C_2H_6$ )，正丙烷( $n-C_3H_8$ )，異丁烷( $i-C_4H_{10}$ )，正丁烷( $n-C_4H_{10}$ )，異戊烷( $i-C_5H_{12}$ )，正戊烷( $n-C_5H_{12}$ )及微量的重碳氫化合物。

但是天然气里亦含有一定量的其他气体，如氮气( $N_2$ )，硫化氫( $H_2S$ )，一氧化碳( $CO$ )，二氧化碳( $CO_2$ )，氧气( $O_2$ )，有机硫( $RS$ )，及氨气( $HCN$ )等。含有的种类，数量都依地区而異。

茲举世界上若干知名的油、气田的天然气成分为例，列于表 1。

由表 1 可見，各气田天然气的成分，虽然都是以碳氫化合物为主，但却有許多差別，这就决定了各地天然气的生产价值与开采方法。为了进一步認識天然气，分別把气的主要組成簡單的介紹一下。

甲烷是无色，稍微具蒜味極稳定的气体。天然气內含量最多，一般以体积計約达 80~90%。甲烷比空气輕，在  $20^{\circ}C$  和大气压下每公尺<sup>3</sup>重 0.669 公斤。它有很高的热值，約为煤的 1.5

表 1

| 成分, 体积比<br>气 田 % | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 重碳氢<br>化合物 | H <sub>2</sub> S | O <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> | CO   | N <sub>2</sub> + R | CO <sub>2</sub> | 比<br>重<br>(空气<br>=1) |
|------------------|-----------------|-------------------------------|------------|------------------|----------------|----------------|------|--------------------|-----------------|----------------------|
| 自流井              | 87.81           | 7.25                          | 0.24       | 0.47             |                | 0.34           | 1.00 | 2.30               | 0.59            | 0.603                |
| 列 宁              | 70.83           | 10.81                         | 0.66       | 0.0055           | 6.57           |                |      | 5.33               | 5.86            |                      |
| 达 夏 伐            | 97.8            | 0.5                           | 0.35       |                  |                |                |      | 1.3                | 0.05            | 0.565                |
| 俄 巴 利            | 89.0            | 9.1                           | 1.9        |                  |                |                |      |                    |                 | 0.613                |
| 乌克兰斯哥            | 97.51           | 0.37                          | 0.72       |                  |                |                |      | 1.4                |                 | 0.579                |
| 附尔捷达             | 95.5            | 1.0                           | 0.3        |                  |                |                |      | 3.1                | 0.1             | 0.746                |
| 乌 克 达            | 88.0            | 1.9                           | 0.5        |                  |                |                |      | 9.3                | 0.3             | 0.634                |
| 哥尔得又姆            | 92.2            | 0.8                           | 0.1        |                  |                |                |      | 6.0                |                 | 0.589                |
| 达 拉 斯            | 50.6            | 10.9                          |            |                  |                |                |      | 38.4               | 0.1             |                      |
| 潘 汉 得            | 81.2            | 7.5                           | 6.9        | 0.01             | 0.2            |                | 0.09 | 3.8                | 0.3             |                      |

附：自油田采出的天然气成分例。

|       |      |      |      |  |  |  |  |      |     |       |
|-------|------|------|------|--|--|--|--|------|-----|-------|
| 罗马西吉諾 | 39.0 | 20.0 | 29.4 |  |  |  |  | 11.5 | 0.1 | 1.070 |
| 巴 佛 里 | 35.0 | 22.0 | 31.0 |  |  |  |  | 12.0 |     | 1.112 |

倍。在自然界中，除天然气含有甲烷外，在沼地植物腐化后还生成很純的甲烷，俗称沼气。

乙烷亦是無色气体，比空气稍重，在 20°C 和大气压下每公尺<sup>3</sup>重 0.125 公斤。如于 20°C 时加压至 38 大气压以上，便可化成比重为 0.446 的液体。

丙烷同样是無色气体，較空气重，在 20°C 和大气压下每公尺<sup>3</sup>重 0.1840 公斤，在温度 20°C 及 8.5 大气压以上时便化为液体。

正丁烷的密度約为空气的一倍。20°C 和一大气压下每公尺<sup>3</sup>重 2.4~5 公斤。它在大气压下和 0.6°C 以上方为气体，而当温度和压力升高时，例如在温度为 15°C，压力为 1.8 大气压时化成比重为 0.582 的液体。

異丁烷的化学成分与正丁烷同，只是分子内部結構与正丁烷有区别，物理性質不一样。例如異丁烷在大气压下，温度一

11°C 以下时为气体，温度升高后即轉为液体。

大气压下正戊烷在 36°C 以上，異戊烷在 28°C 以上时为气体。后者为汽油的組成部分。如第 8 章所述，凝析气田內含異戊烷很多。

其它重碳化合物通常气田里含量甚微，只有油田气頂內的天然气有时含的較多。

氮气是空气中的主要成分，在 20°C 和大气压下每公尺<sup>3</sup> 重 1.174 公斤。它是一种惰性气体，存在天然气內只能起到不良的作用。但有时鑽井会得到大量氮气，例如列宁格勒附近“配索西那亞”井里曾获得氮約 90%，这样特殊的井是有一定的工业价值的。

硫化氢是極臭有毒的可燃气体，燃燒时每立方公尺需 7.15 公尺<sup>3</sup> 空气，在 20°C 和大气压下重量为 1.438 公斤/公尺<sup>3</sup>。它容易溶解于水內，在大气压下和 20°C 时單位体积的水可溶 2.582 單位硫化氢，0°C 时可溶 4.67 單位硫化氢。在 18°C 及 17 大气压下硫化氢变为一种無色液体。它危害人体，腐蝕金属，除了有大量硫时能脫去並回收利用外，天然气內多不希望有它。

我国四川碳酸岩的天然气普遍都含有較多的硫化氢。

氦气是貴重的稀有气体，天然气里含量一般很微，一般不超过 1%。天然气中含氦量超过 0.1% 时即認為有提氦的工业价值，我們应特別予以注視。有些特殊气井产氦多，例如美国的科罗拉多及莫德里頓母的气井，在产出气中氦量达 7.18% 左右。

在天然气中，其它成分均含量甚微。它們对于天然气的品質有害無益。各种成分的一般性質列在表 2 中。

### 天然气的分类

天然气工业在世界上日愈龐大，各地区采用許多不同的分类，或加以特殊的称呼，但一般的通用下述三种分类法：

表 2

| 成<br>分 | 分<br>子<br>式                      | 分<br>子<br>量 | 比<br>重<br>(干空气为1) | 比 容<br>公尺 <sup>3</sup> /公斤   |                               | 重 度<br>公斤/公尺 <sup>3</sup>    |                               | 临<br>界<br>温<br>度<br>°C | 临<br>界<br>压<br>力<br>公斤/<br>公分 <sup>2</sup><br>(绝对) |
|--------|----------------------------------|-------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|
|        |                                  |             |                   | 0°C<br>及<br>大<br>气<br>压<br>时 | 20°C<br>及<br>大<br>气<br>压<br>时 | 0°C<br>及<br>大<br>气<br>压<br>时 | 20°C<br>及<br>大<br>气<br>压<br>时 |                        |                                                    |
| 甲 烷    | CH <sub>4</sub>                  | 16.04       | 0.554             | 1.395                        | 1.4971                        | 0.7165                       | 0.6678                        | -82.5                  | 47.3                                               |
| 乙 烷    | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>    | 30.07       | 1.038             | 0.745                        | 0.7995                        | 1.356                        | 1.2634                        | 32.2                   | 49.8                                               |
| 丙 烷    | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>    | 44.09       | 1.523             | 0.509                        | 0.5462                        | 2.019                        | 1.8811                        | 96.8                   | 43.4                                               |
| 異丁烷    | i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 58.12       | 2.007             | 0.386                        | 0.4142                        | 2.668                        | 2.4858                        | 134.0                  | 38.2                                               |
| 正丁烷    | n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 58.12       | 2.007             | 0.386                        | 0.4142                        | 2.703                        | 2.5222                        | 152.0                  | 38.7                                               |
| 異戊烷    | i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | 72.15       | 2.49              | 0.312                        | 0.3348                        | 3.221                        | 3.0173                        | 187.8                  | 33.9                                               |
| 正戊烷    | n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | 72.15       | 2.49              | 0.312                        | 0.3348                        | 3.221                        | 3.0173                        | 197.2                  | 34.1                                               |
| 正己烷    | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>   | 86.17       | 2.995             | 0.258                        | 0.2768                        | 3.860                        | 3.3798                        | 234.8                  | 30.5                                               |
| 氮      | N <sub>2</sub>                   | 28.02       | 0.968             | 0.8                          | 0.8116                        | 1.250                        | 1.232                         | -147.1                 | 34.6                                               |
| 二氧化碳   | CO <sub>2</sub>                  | 44.01       | 1.52              | 0.506                        | 0.5176                        | 1.977                        | 1.930                         | 31.1                   | 75.5                                               |
| 硫化氢    | H <sub>2</sub> S                 | 34.08       | 1.178             | 0.649                        | 0.6666                        | 1.539                        | 1.500                         | 101.5                  | 91.8                                               |
| 空 气    |                                  | 28.966      | 1                 | 0.7734                       | 0.7843                        | 1.293                        | 1.205                         | -140.7                 | 34.8                                               |
| 水蒸气    | H <sub>2</sub> O                 | 18.016      | 0.622             |                              | 1.258                         | 0.804                        | 0.795                         | 374.1                  | 224.6                                              |

(1) 干气与湿气 它们的区别是含油量不同。通常 每公尺<sup>3</sup>含汽油在 100 克以上的天然气称做 湿气，而在 100 克以下的称做干气。本书所采取的这种标准，比较适于我国情况，并为大多数国家所采用。

天然气中含天然汽油，能够增加它的热量。天然汽油是石油工业中的主要产品之一。

但有許多国家认为含汽油量在 70 克甚至 50 克以上的天然

| 高热值                                            |                                                 |           | 低热值                                            |                                                 |           | 熔点,<br>°C (在大气压时) | 沸点,<br>°C (在大气压时) | 理論的<br>燃燒溫度,<br>°C | 实际的<br>燃燒溫度,<br>°C | 燃燒<br>所需的<br>空气<br>量<br>公尺 <sup>3</sup> /<br>公尺 <sup>3</sup> |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------|
| 0°C<br>及<br>大气<br>压时<br>大卡/<br>公尺 <sup>3</sup> | 20°C<br>及<br>大气<br>压时<br>大卡/<br>公尺 <sup>3</sup> | 大卡/<br>公斤 | 0°C<br>及<br>大气<br>压时<br>大卡/<br>公尺 <sup>3</sup> | 20°C<br>及<br>大气<br>压时<br>大卡/<br>公尺 <sup>3</sup> | 大卡/<br>公斤 |                   |                   |                    |                    |                                                              |
| 9520                                           | 8870                                            | 13280     | 8550                                           | 7966                                            | 11930     | -182.5            | -161.6            | 1980               | 1875               | 9.53                                                         |
| 16820                                          | 16611                                           | 12410     | 15370                                          | 14377                                           | 11330     | -182.5            | -88.6             | 2150               | 1895               | 11.67                                                        |
| 24320                                          | 22661                                           | 12040     | 22350                                          | 21912                                           | 11070     | -187.7            | -42.1             | 2300               | 1925               | 23.82                                                        |
| 31530                                          | 29540                                           | 11820     | 29050                                          | 27067                                           | 10890     | -159.6            | -11.7             | 2080               | 1900               | 30.97                                                        |
| 32010                                          | 29987                                           | 11840     | 29510                                          | 27496                                           | 10920     | -138.3            | -0.5              | 2080               | 1895               | 30.9 <sup>*</sup>                                            |
| 37712                                          | 25341                                           | 11715     | 34818                                          | 32603                                           | 10820     | -159.9            | 27.8              | 2090               | 1900               | 38.11                                                        |
| 37712                                          | 25341                                           | 11715     | 34818                                          | 32603                                           | 10850     | -129.7            | 36.1              | 2090               | 1900               | 45.2 <sup>*</sup>                                            |
| 42400                                          | 38506                                           | 11640     |                                                |                                                 | 10790     | -95.3             | 68.7              |                    |                    |                                                              |
|                                                |                                                 |           |                                                |                                                 |           | -209.9            | -195.8            |                    |                    |                                                              |
|                                                |                                                 |           |                                                |                                                 |           |                   | -78.5             |                    |                    |                                                              |
| 6140                                           | 5721                                            | 3990      | 5660                                           | 5274                                            | 3680      | -82.9             | -60.2             |                    |                    |                                                              |
|                                                |                                                 |           |                                                |                                                 |           |                   | -194.3            |                    |                    |                                                              |
|                                                |                                                 |           |                                                |                                                 |           |                   | 100.00            |                    |                    |                                                              |

气，就应称为湿气。世界上並沒有完全統一的标准。因此不应臆解湿气方有价值設厂提油，干气則否，这要看地区、气量、交通等等一系列情况而定。这种分类主要是給天然气工作者对氣質有一个含油概念。

在提煉天然汽油工程中，通称进入工厂的含油天然气为富气，而提出油后的天然气为貧气。富气不一定是湿气，而貧气大多肯定是干气。

(2) 淨气与酸气 依据天然气内含硫量而定。硫通常在气里起不良作用，因此必須脫除到一定程度。与湿气和干气的分别一样，各国采用的标准不一。在我国，公尺<sup>3</sup>含硫1克以上的天然气謂之酸气，而在1克以下的謂之淨气。

合成化学工業要求天然气，其含硫量在2毫克以下，特称純气。一般的工業要求含硫在1克以下。

(3) 成分的三角分类法 通称的三角分类法，是苏联耶列明克和馬克西莫夫依气的化学成分，把气体中碳氢化合物、氮、稀有气体、二氧化碳和硫化氢的含量作为标准对天然气进行分类。

如图1，共分十类如下：

- 第1类.....  $C_nH_m$  (即  $CH_4 + C_nH_{2n+2}$ ) 100~80%
- 第2类.....  $C_nH_m$  70~80%,  $N_2$  0~30%,  $CO_2$  0~30%
- 第3类.....  $C_nH_m$  30~70%,  $N_2$  70~30%,  $CO_2$  0~10%
- 第4类.....  $N_2$  100~80%
- 第5类.....  $N_2$  70~80%,  $C_nH_m$  0~30%,  $CO_2$  0~30%
- 第6类.....  $N_2$  30~70%,  $CO_2$  70~30%,  $C_nH_m$  0~10%
- 第7类.....  $CO_2$  100~80%
- 第8类.....  $C_nH_m$  0~30%,  $N_2$  0~30%,  $CO_2$  80~70%
- 第9类.....  $C_nH_m$  30~70%,  $CO_2$  70~30%
- 第10类..... 混合气

我国天然气是属于第1类的；大多数国家的天然气亦是第1类的。天然气中除了有特殊的稀有气体外，碳氢化合物愈多愈佳，所以只有第1类气方具有大的經濟意义。三角分类法对特殊气有明确的区别，但把一般天然气就归在第1类，少数的归在第2类中，不能更細的說明气的性質。因此除在勘探工作中使用外，采气工業上不常用这种分类法。

为了对于天然气有明确的概念，气矿通常如下区分气体：

- 1) 干淨气；
- 2) 干酸气，含硫  $x$  克；

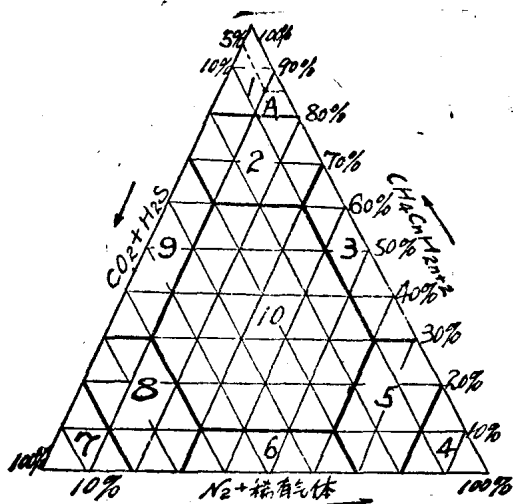


圖 1

3) 湿酸气, 含油  $y$  克, 硫  $x$  克;

4) 湿淨气, 含油  $y$  克。

## 第 2 节 天然气分析

通常所謂分析, 就是以体积百分比表明气体的組成。分析方法目前有三种: 奥氏仪分析法、色層分析法及低温分餾法。

**奥氏仪分析法** (奥尔撒特)在我国气矿上最常用, 設備比較簡單, 我国能自制, 分析操作不复杂。使用緩慢的燃燒法可以測定总饱和烴含量及平均碳原子数, 在采气工業上基本可以符合要求。但作为天然气化工厂設計的精确資料是不足的。

**色層分析法** 仪器比奥氏仪稍多, 但从气田区中心試驗室观点来看仍屬簡單的, 价格不貴, 我国亦能制造。分析气体中的微量含分有一定的精确度, 分析效率好, 所需時間不多。

**低温分餾法** 能精确的分离出甲烷、乙烷等成分, 但仪器設備昂貴, 尤其不易得到冷却剂——液体氮, 操作亦复杂, 需用的时

間也多，所以一般不用。

## 取 样

分低压取样与高压取样两种。

低压取样最简单的方法是用玻璃瓶装上饱和食盐水，以排水法取样。在第一次取样前，饱和食盐水须用气样饱和，以免气样中可溶成份影响分析结果。欲避免酸性气体（如硫化氢及二氧化碳）溶解，以用带酸性的硫酸钠饱和溶液为佳。欲使所取气样具有代表性，一般取样体积为 5~10 公升，若工作不便，且须经常分析，亦可用一公升瓶。取样瓶的塞子，橡皮管接头，三通活塞等，必须严密，保证不漏气。每次取样前，按规定须用 10~15 倍于气样的气体排除取样瓶的空间。一般排气不少于 5 次，以保证气样中不会混入空气。在任何情况下不得用清水代替饱和食盐水。取样瓶的连接管宜短，并且不可直接连接到表压超过 140~230 毫

米水银柱的气源上，必须连接时，要经过减压等安全装置。

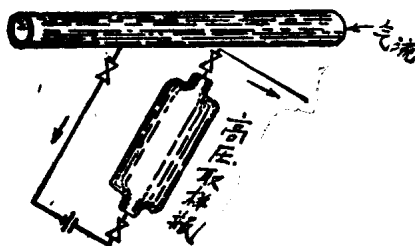


圖 2

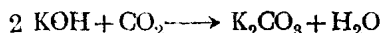
高压取样的取样瓶如图 2，两端均有凡尔，使气进入一端，而自另一端喷出，充分将瓶内原有气体排去。然后，通常先关出气凡尔，再关

进气凡尔。必须注意，高压取样瓶的试验压力为工作压力的 1.5~2 倍，并且要定期作检查，以免发生事故。制造高压取样瓶的材料，除能耐压外，并不与天然气成分起作用。

## 奥氏仪分析法\*

## 1. 吸 收 液

(1) 氢氧化钾溶液 一般配成 30 % (按重量) 的氢氧化钾溶液以吸收  $\text{CO}_2$ 。每容积可吸收 40 容积的  $\text{CO}_2$ 。作用迅速, 容易吸收完全。反应如下:

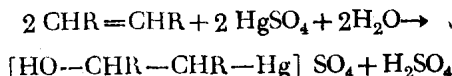


亦有用  $\text{NaOH}$  的, 但不如  $\text{KOH}$ 。因为当溶液为  $\text{CO}_2$  所饱和时形成难溶于吸收剂的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 会析出结晶, 堵塞管道。

若  $\text{CO}_2$  过低 (1 % 以下), 用  $\text{KOH}$  作吸收剂, 准确度就不高。要作精确测定, 必须用滴定法, 即以定量气体通入一定浓度的  $\text{Ba}(\text{CH})_2$  溶液, 用草酸或柠檬酸在酚酞存在下滴定。

$\text{KOH}$  不但吸收  $\text{CO}_2$ , 全时亦吸收  $\text{H}_2\text{S}$ 。故天然气中有  $\text{H}_2\text{S}$  存在时, 须全时另行测定  $\text{H}_2\text{S}$  含量, 才能确定  $\text{CO}_2$  含量。

(2) 硫酸汞吸收溶液 天然气中含有烯烃, 但其量甚微。为了精确测定, 要用硫酸汞溶液吸收。反应如下:



上述反应是不可逆的, 作用很快, 且硫酸汞溶液不吸收烷烃, 分析的绝对误差不会超过 0.2 %。但硫酸汞溶液可与一氧化碳 ( $\text{CO}$ ) 作用生成  $\text{CO}_2$ , 所以用硫酸汞 ( $\text{HgSO}_4$ ) 溶液吸收烯烃后, 须再用  $\text{KOH}$  溶液吸收。生成的  $\text{CO}_2$  其缩减体积当成  $\text{CO}$  计算。

每容积的  $\text{HgSO}_4$  溶液可吸收 13 容积的乙炔, 3.5 容积的丁烯; 因其吸收烯烃量大, 同时天然气中烯烃含量甚微, 故使用时间可以很久, 不需常更换。

硫酸汞吸收液的配制是使 57 克  $\text{HgSO}_4$  溶于 200 克 22 % 的

\* 这一部分系根据四川石油勘探局隆昌气矿试验研究室的“天然气分析”摘要编写的。

$\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液中。配制时，若  $\text{H}_2\text{SO}_4$  濃度小于 13 %， $\text{H}_2\text{SO}_4$  就会水解而生成黃色沉淀；若  $\text{H}_2\text{SO}_4$  濃度大于 24 %， $\text{H}_2\text{SO}_4$  就溶解不完全，要殘留一部分白色沉淀。

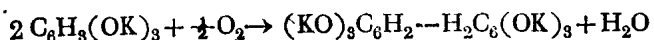
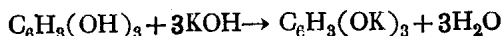
(3) 硷性的焦性沒食子酸溶液 一般測定氧量，均用硷性的焦性沒食子酸溶液。因为它在  $15\sim 20^\circ\text{C}$  吸收迅速，且很完全。

天然气中一般不应含氧，往往由于取样时混入空气，因而有微量氧存在。但若氧量大于 40 % 或吸收液使用过久，則有生成 CO 的危害，故应配制两种吸收液。

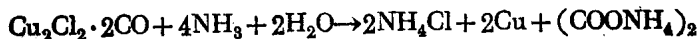
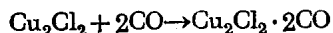
1) 測定气样中含氧量时以 5 克焦性沒食子酸溶于 15 毫升水中，以 48 克 KOH 溶于 32 毫升水中，按这样比例分別配成两种溶液，然后混合，配够需要量。每容积的吸收液可溶解 8—10 容积的氧。

2) 測定高濃度氧量（包括測定氧的純度）时用飽和 KOH 溶液按每 200 毫升加入 15 克的焦性沒食子酸的比例配制。配制时須在冰浴（或冷水浴）中进行。

硷性的焦性沒食子酸吸收氧的反应如下：



(4) 氨性氯化亞銅溶液 用氨性氯化亞銅溶液吸收 CO，比較經濟、适用，因为它和 CO 可生成比較稳定的化合物。其反应如下：



新配的吸收剂，可以完全吸收 CO；但吸收了大量的 CO 以后，就会吸收不完全。新配的吸收剂，每毫升吸收 CO 不得超过 0.05 毫升。由于  $(\text{COONH}_4)_2$  並不是很稳定的化合物，高温时会分解而析出 CO，故不宜在高温下进行吸收。此外，若 CO 吸收量过大，經震盪会放出 CO。

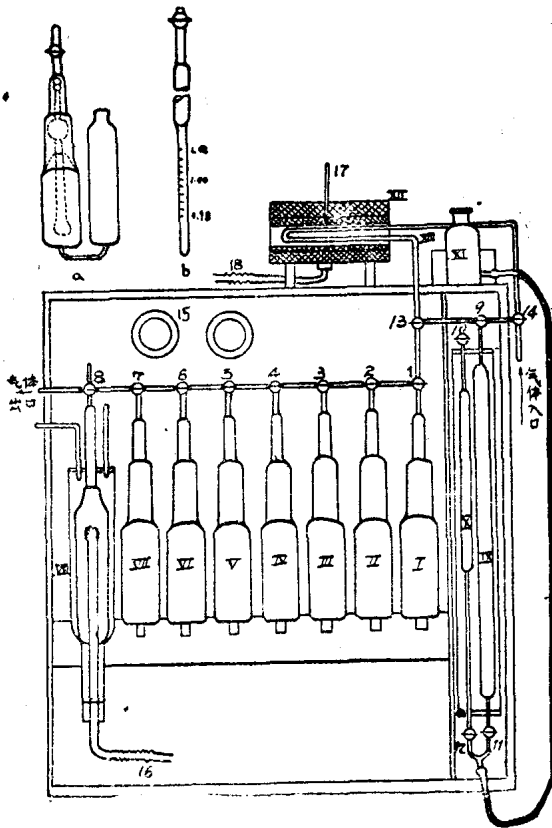
氨性氯化亞銅溶液除吸收 CO 外，还可吸收  $\text{O}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$ 、烯烃及微量的高级碳氢化合物，所以在安排吸收管时应考虑此点，即

应在吸收 CO 前將  $O_2$ 、 $C_2H_2$ 、烯烴除去（天然气中一般沒有  $C_2H_2$ ）。

在吸收过程中气体会帶出少量的氨气，因此在吸收 CO 后，应以 10 %  $H_2SO_4$  除去氨气。

氨性氯化銅溶液的配制，是用 250 克  $NH_4Cl$  溶于 750 毫升水中，將此溶液注入吸收瓶中，再加 200 克  $Cu_2Cl_2$ 。此瓶須先放入紅銅絲数卷，並应迅即塞紧，隔絕空气，以免氧化。待溶液靜置至無色或淡黄色时始能应用。

## 2. 仪 器 設 备



如圖 3, *I* 至 *VII* 为吸收管, 依次裝入 KOH,  $\text{HgSO}_4$ , 稀  $\text{C}_6\text{H}_5(\text{OH})_3$ ,  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2$ , 10 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 飽和 NaCl 溶液及濃  $\text{C}_6\text{H}_5(\text{OH})_3$  溶液, 分別作为吸收  $\text{CO}_2$ , 不飽和烴,  $\text{O}_2$  (气样),  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ , 盛气样及測定氧的純度用。

*VIII* 为燃燒管, 內有鉑絲卷通电流以作慢燃燒用; 外有水套管, 內裝冷水, 冷却燃燒管, 以免爆炸。

*IX* 为量管, 刻度至 0.5 毫升, 以作計量气体体积用。外有水套裝冷水, 以保持量管內气体温度与室温一致。

*X* 为补偿管, 用来校正量管內气体因室温及压力变化而發生的体积变化。

*XI* 为調位瓶, 內裝飽和食鹽水, 用橡皮管与量管及补偿管 (各有考克 11, 12) 連接, 用来調节量管及补偿管水位, 以便于讀讀数及校正。調位瓶口与大气通。

*XII* 为电热器, 作加热燃燒氧气之用。

*XIII* 为氧化銅管, 內裝  $\text{CuO}$ , 作氧化氫气之用。

1~14 为玻璃考克, 分別連接各个管道, 作通閉气流或水流用 (其中 12 3 4 5 6 7 8 9 13 14 为三通; 10 11 12 为兩通)。

15 为交流电表, 控制慢燃燒电流。

16 为变压器, 控制慢燃燒电压。

17 为溫度計, 控制燃燒氫温度。

18 为变压器, 控制电热器电压。

圖中 *a* 为各吸收管側面圖, *b* 为补偿管的一部分放大圖。

### 3. 操 作 步 驟

#### (1) 准备工作:

1) 如圖 3 裝好仪器, 配好各种吸收剂、飽和食鹽水等。考克塗以普通滑油, 橡皮管和玻璃管連接處塗以用酒精溶解的虫膠。

2) 試漏在量管內引入 50~60 毫升空气, 將各吸收管及燃