

职业技能培训教程与鉴定试题集

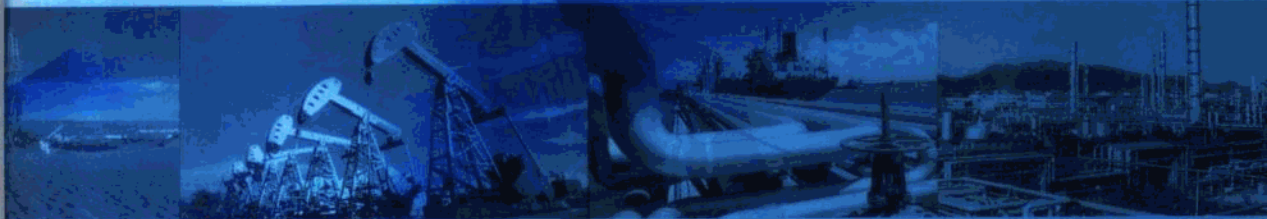
ZHIYEJINENGPEIXUNJIAOCHENGYUJIANDINGSHITIJI

采油地质工

CAIYOU DIZHI GONG

(上册)

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

职业技能培训教程与鉴定试题集

采油地质工

(上册)

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是由中国石油天然气集团公司人事服务中心,依据采油工国家职业标准,统一组织编写的《职业技能培训教程与鉴定试题集》中的一本。本书全面阐述了采油地质工的基础知识,可供初级、中级、高级采油地质工及技师、高级技师使用。本书语言通俗易懂,理论知识重点突出,且实用性强,可操作性强,是采油地质工职业技能培训和鉴定的必备教材。

图书在版编目(CIP)数据

采油地质工.上册/中国石油天然气集团公司人事服务中心编.
北京:石油工业出版社,2004.4

(职业技能培训教程与鉴定试题集)

ISBN 7-5021-4559-1

I. 采…

II. 中…

III. 石油开采-工程地质-技术培训-教材

IV. TE14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 002509 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www.petropub.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张 16.75

字数:424 千字 印数:1—5000 册

书号:ISBN 7-5021-4559-1 /TE·3190

定价:28.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《职业技能培训教程与鉴定试题集》

编审委员会

主 任：孙祖岭

副主任：刘志华 孙金瑜 徐新福

委 员：向守源 任一村 职丽枫 朱长根 郭向东
史殿华 郭学柱 丁传峰 郭进才 刘晓华
巩朝勋 冯朝富 王阳福 刘 英 申 泽
商桂秋 赵 华 时万兴 熊术学 杨诗华
刘怀忠 张 镇 纪安德

前 言

为提高石油工人队伍素质，满足职工培训、鉴定的需要，中国石油天然气集团公司人事服务中心组织编写了这套《职业技能培训教程与鉴定试题集》。这套书包括 44 个石油天然气行业特有工种和 21 个社会通用工种的职业技能培训教程与鉴定试题集，每个工种依据《国家职业（工人技术等级）标准》分初级工、中级工、高级工、技师、高级技师五个级别编写。

本套书的编写坚持以职业活动为导向，以职业技能为核心的原则，打破了过去传统教材的学科性编写模式。依据职业（工种）标准的要求，教程分为基础知识部分和技能操作与相关知识部分。基础知识部分是本职业（工种）或本级别应掌握的基本知识；技能操作与相关知识是本级别应掌握的基本操作技能与正确完成技能操作所涉及到的相关知识。试题集中理论知识试题分为选择题、判断题、简答题、计算题四种题型，以客观性试题为主；技能操作试题在编写中增加了考核内容层次结构表，目的是保证鉴定命题的等值性和考核质量的统一性。为便于职工培训和鉴定复习，在每个工种、等级理论知识试题与技能操作考核试题前均列出了《鉴定要素细目表》。《鉴定要素细目表》是考核的知识点与要点，是工人培训的知识大纲和鉴定命题的直接依据。为保证职工鉴定前能够进行充分的考前培训、学习，真正达到提高职工技术素质的目的，此次编入试题集中的理论知识试题只选取了试题库中的部分试题，职工鉴定前复习时应严格参照教程与试题集的《鉴定要素细目表》，认真学习本等级教程规定内容。

为使用方便，本套书中《采油地质工》分上、中、下三册出版，上册为基础知识，中册为初级工和中级工两个级别的内容，下册为高级工、技师、高级技师三个级别的内容。《采油地质工》由大庆油田组织编写，主编魏月芝、王伟。上册第一章、第二章、第七章由魏月芝编写，第三章、第四章由王伟编写，

第五章由刘兴伟编写，第六章由张洪君编写，第八章由关景华编写；中、下册初、中、高级工技能操作和相关知识由王伟编写，技师、高级技师技能操作和相关知识由魏月芝编写，理论知识试题由魏月芝编写，技能操作试题由王伟编写。最后经中国石油天然气集团公司职业技能鉴定指导中心组织专家审定，参加审定的专家有胜利油田毕淑红、辽河油田刘洋，大庆油田赵文勇、陶建文、王敬华、郎忠义、杨明亮、于立英等。在此表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和错误，恳请广大读者提出宝贵意见。

编者

2003年10月

目 录

第一章 采油地质基础知识.....	(1)
第一节 石油和天然气基础知识.....	(1)
第二节 石油地质基础知识	(15)
第二章 采油工程基础知识	(85)
第一节 完井基础知识	(85)
第二节 采油井设备及其性能	(91)
第三节 深井泵	(95)
第四节 油水井站生产工艺流程.....	(103)
第五节 油水井作业及挖潜改造.....	(112)
第三章 油田开发基础知识.....	(136)
第一节 油田开发概述.....	(136)
第二节 油田开发方式.....	(141)
第三节 油水井配产配注.....	(150)
第四节 油田开发方案.....	(155)
第五节 油藏开发层系的划分.....	(158)
第六节 油田开发阶段的划分与调整.....	(163)
第七节 采油新技术.....	(169)
第四章 油水井管理及动态分析.....	(181)
第一节 油水井管理.....	(181)
第二节 录取、整理地质资料知识.....	(200)
第三节 生产动态分析基本知识.....	(202)
第五章 安全生产管理.....	(232)
第六章 全面质量管理知识.....	(236)
第七章 油田经济管理基本知识.....	(245)
第八章 技术培训及论文编写知识.....	(252)
第一节 技术培训知识.....	(252)
第二节 科技论文、科技总结报告编写知识.....	(255)
参考文献.....	(259)

第一章 采油地质基础知识

第一节 石油和天然气基础知识

一、石油基础知识

石油是一种以液体形式存在于地下岩石孔隙中的可燃性有机矿产。从直观上看，它表现为比水稠但比水轻的油脂状液体，多呈褐黑色；化学上是以碳氢化合物为主体的复杂的混合物。液态石油中通常溶有相当数量的气态烃和固态烃，还有极少量的悬浮物。因此，石油没有确定的化学成分和物理常数。

(一) 石油的物理性质

1. 地面条件下石油的物理性质

(1) 颜色：石油的颜色变化范围很广，从暗色到浅色都有。在透射光下，石油的颜色从无色透明逐渐过渡到淡黄、褐黄、淡红、棕色、黑褐色及黑色，或者介于两种颜色之间的过渡颜色。例如：四川油田川东石油为墨绿色，川中石油为黄色、深色甚至黑色；新疆克拉玛依油田的石油为褐黑色，而华北油田凝析油的颜色则为无色透明。石油的颜色浓度，往往取决于石油中胶质、沥青质的含量。胶质、沥青质含量愈高则颜色愈暗。一般轻质油的颜色微带黄橙色，且又透明；重质油多呈黑色。

(2) 气味：石油通常都有明显的气味。较轻质的石油带有芳香味；而浓黑的石油多带柏油味，含硫(S)、氮(N)化合物的石油有一股臭鸡蛋味。

(3) 相对密度：液体石油的相对密度是指在0.101MPa的压力条件下，20℃的石油的质量与同体积的4℃纯水质量之比。石油的相对密度一般介于0.75~0.98之间，个别地区有小于0.75或大于1.00的。例如：美国加利福尼亚油田石油相对密度竟高达1.01，而前苏联苏拉罕油田的石油却为0.71。我国各油田的石油相对密度大多数介于0.82~0.92之间。

一般把相对密度小于0.90的石油称为轻质油；而大于0.90的石油则称为重质油。相对密度小的油质好；相对密度大的油质差。石油相对密度大小取决于石油的化学成分，含烃类多的石油相对密度小，而含胶质、沥青质多的石油相对密度大，相对密度大于1.00的石油，用一般方法难以开采。

(4) 粘度：石油的粘度是指原油分子发生相对位移时所受到的阻力或内摩擦力。石油粘度的大小，取决于温度、压力和石油的化学成分。粘度随温度升高、溶解气量增加而降低，压力增高时，则粘度增大，石油中轻质油组分增加，粘度随之降低，而蜡、胶质、沥青质含量高时，则粘度亦高。

石油粘度的大小，是决定石油流动能力大小的重要参数，粘度大则流动性差，粘度小则流动性好。粘度这个参数，对了解油、气运移，油井动态分析，石油开采及储运都有重要的参考价值。如果石油粘度过大，原油在地层中或井筒内流动就困难，因此必须采取有效措施，如热力采油、稠油降粘等方法采油。如果原油粘度能降低一半，在其他条件相同时，就能使原油流量增加一倍。

(5) 溶解性：石油的溶解性是指石油能溶解于多种有机溶剂（如氯仿、苯、石油醚、四氯化碳以及酒精等）的性质。可根据石油溶解性简易鉴定岩石中有无微量的石油存在。石油在水中溶解度很低。

(6) 导电性：石油的导电性是指石油的导电能力。石油及其产品具有极高的电阻率，是不良的导电物质。石油的电阻率为 $10^9 \sim 10^{16} \Omega \cdot m$ ，与周围的矿化水和岩石相比较，可视为无穷大。地球物理测井就是利用流体的这种导电性确定油、气、水层的。

(7) 荧光性：石油在紫外线照射下可产生荧光的性质称为石油的荧光性。石油的油质组分发浅蓝色明亮的荧光，胶质组分发淡黄色半明亮的荧光，沥青质组分发褐色暗淡的荧光。利用石油的荧光性，可以鉴定岩心、岩屑及钻井液中是否有微量石油存在。

(8) 含蜡性：石油中以溶解状态和悬浮状态存在的石蜡占石油质量的百分数称为石油的含蜡量。含蜡量多时，石油相对密度也较大，也可使井底和井筒结蜡，给采油工作增加困难。

(9) 凝固点：由于温度下降，石油由液态开始凝固为固态时的温度，称为石油的凝固点。凝固点的高低与石油组分有关，主要取决于石油含蜡量的多少，含蜡量高的，凝固点也高。低凝固点的石油为优质石油。

(10) 旋光性：石油能将偏振光的振动再旋转一定角度的能力，称为石油的旋光性。石油的旋光角一般是几分之一度到几度之间。不同的石油，其旋光性亦有所不同，有左旋、右旋之分，绝大部分石油的旋光角向右旋移，仅有少数为左旋。因为只有有机化合物才具有旋光性，所以石油的旋光性是“石油有机生成说”的有力证据之一。

2. 地层条件下石油的物理性质

石油储集在地下储油岩层内，油层的压力和温度都比地面高得多，并且油层中的石油又总是溶解一定数量的天然气，因而地下石油与地面条件下石油的物理性质大不相同。在计算油田储量和合理开发油田时，必须掌握地层条件下的石油物理性质。

(1) 相对密度和粘度：在地层条件下，石油的相对密度与石油中溶解的天然气的量、地层压力和温度有关。石油中溶解气量多者则相对密度小，溶解气量少者则相对密度大。在其他条件不变的情况下，相对密度随温度的升高、溶解天然气量增加而降低。在地下 1500~700m 处，石油的粘度值通常仅为地表粘度值的 50% 左右。

(2) 原始气油比：在原始地层条件下，每 1t 石油中能溶解的天然气的量称为原始气油比。原始气油比的大小取决于天然气和石油的成分、温度和压力条件。石油中溶解的天然气的量多，能使石油的相对密度和粘度减小，体积增大。

(3) 饱和压力：在油层条件下，当地层压力高于一定数值之后，天然气就会完全溶解于石油中，地下的油、气就处于单相——液相状态。当地下石油已为天然气所饱和，则多余的天然气就会聚集在油藏上部形成气顶，地下的油、气就处于两相——液相和气相状态。

当油田投入开发后，地层压力也就逐渐降低，压力降到某一数值以后，原来溶解在石油中的天然气就不断地分离出来，故把从石油中分离出第一个气泡时的压力，称为石油的饱和压力。对于有气顶的油藏来说，饱和压力等于原始地层压力；而单相状态的石油，未被气体所饱和，地层压力要降得很多，才能出现气相。饱和压力是油田开发的基本数据之一。

饱和压力的大小与石油和天然气的性质有关。在石油中的天然气含量是决定饱和压力大小的一个重要因素，而地层温度也有一定的影响。如果原油性质、温度基本相同，气油比高者，则饱和压力就大；如原油轻质成分少、重质成分多时，溶解的天然气的量少，则饱和压力就低。当温度增加时，饱和压力也随之增加。

(4) 体积系数：地层条件下石油的体积与其在标准状况下地面脱气后石油体积之比值，称为石油的体积系数。用下式表示：

$$B_{oi} = \frac{V_{\text{地下}}}{V_{\text{地面}}} \quad (1-1)$$

式中 B_{oi} ——体积系数；

$V_{\text{地下}}$ ——地层条件下石油的体积， m^3 ；

$V_{\text{地面}}$ ——与 $V_{\text{地下}}$ 同体积的石油采到地面脱气后的体积， m^3 。

影响体积系数的因素有压力、温度及石油中的溶解天然气量。其中溶解天然气量对石油体积变化起着主要作用，这在油层压力低于饱和压力时反映最明显。

由于油层一般都处于高温高压下，地层石油中溶有大量的天然气，溶解的天然气量和油层温度对体积系数的影响，远远超过弹性压缩的影响，故地层条件下石油的体积比在地面脱气后的体积要大，一般石油体积系数均大于 1。体积系数是计算石油储量，进行油田动态研究常用的基本参数之一。

(二) 石油的组成

1. 石油的元素组成

石油没有确定的化学成分，因而也就没有确定的元素组成。石油尽管是多种多样，但它们的元素组成却局限在较窄的变化范围之内，碳 (C)、氢 (H) 占绝对优势。根据对世界各地油田石油化学分析资料统计，石油中含碳量在 80%~88%，含氢量在 10%~14%，碳、氢含量的总和大于 95%，石油的碳氢比 (C/H) 介于 5.9~8.5 之间。碳、氢两种元素在石油中组成各种复杂的碳氢化合物，即烃类存在，它是石油组成的总体。

石油中除碳、氢外，还有氧 (O)、氮 (N)、硫 (S) 等元素，它们总量一般不超过 1%，个别油田可达 5%~7%，这些元素在石油中多构成非烃类有机化合物。它们含量虽少，但对石油质量有一定影响，如石油中含硫，则具有腐蚀性，且降低石油的品质。

除上述元素外，在石油成分中还发现有 30 余种微量元素，但含量较少。其中以钒 (V)、镍 (Ni) 为主，约占微量元素的 50%~70%。因此，在石油残渣中提炼某些稀有元素，是一个值得注意的领域。

2. 石油的烃类组成

从有机化学角度来讲，凡是仅由碳、氢两种元素组成的化合物，称为碳氢化合物，简称“烃”。石油主要是由三种烃类组成：即烷烃、环烷烃和芳香烃。

3. 石油的组分组成

根据石油中不同的物质对某些介质有不同的吸附性和溶解性，将石油分为四种组分。

(1) 油质：油质是由烃类（几乎全部为碳氢化合物）组成的淡色油脂状液体，荧光反应为浅蓝色，它能溶于石油醚中，但不能被硅胶吸附。油质是石油的主要组成部分，含油量约为 65%~100%。油质含量高，颜色较浅，石油质量好；反之则质量差。

(2) 胶质：胶质呈浅黄褐色，为半固态的粘稠状流体。密度为 1.00~1.07g/cm³，能溶于石油醚，也能被硅胶所吸附，荧光反应为淡黄色，多为环烷族烃和芳香族烃组成。在轻质石油中胶质含量一般不超过 4%~5%，而在重质石油中胶质含量可达 20%，石油呈褐色或黑褐色的原因之一，就是因为胶质存在。

(3) 沥青质：沥青质是暗褐色或黑色的脆性固体物质，温度高于 300℃ 时则分解成气体和焦炭。沥青质的组成元素与胶质基本相同。只是碳氢化合物减少了，而氧、硫、氮的化合物增多了，密度大于 1.00g/cm³，不溶于石油醚，但可溶于苯、二硫化碳、氯仿、三氯甲烷

等有机溶液中，却不溶于酒精、汽油，可被硅胶吸附，荧光反应为深黄褐色。在石油中沥青质含量很少，一般小于1%，个别情况可达3.0%~3.5%。

(4) 碳质：碳质是黑色固体物质，不具荧光，不溶于有机溶剂，也不被硅胶所吸附，由更高分子碳类物质组成。石油中一般不含或极少含碳质。

4. 石油的馏分组成

石油在升温过程中，当增加到一定温度时，石油中的某些组分就由液体变为气体而蒸馏出来，这种在一定温度下蒸馏出来的组分称为馏分。随温度不同，馏分的产物也有所不同。见表1-1。

表 1-1 石油的馏分产物

温 度	产 品
95℃以下	轻汽油
40~180℃	航空汽油
250℃	汽车汽油
120~240℃	重汽油
200~315℃	煤油
270~300℃	润滑油
190~350℃	柴油
350℃	柏油

石油组分是衡量石油品质的标志之一，质量好的石油含油质高。胶质和沥青质的存在增加了石油的结蜡性，并使石油产品的颜色加深，对石油的炼制是不利的。

二、天然气基础知识

天然气从广义上理解，是指以天然气状态存在于自然界的一切气体。在石油地质学中所指的天然气是指与石油有相似产状的、通常以烃类为主的气体，即指油田气、气田气、凝析气和煤成气等。

(一) 天然气的物理性质

1. 相对密度

天然气的相对密度是在标准状态下，即温度为0℃，压力为0.101MPa的天然气的同体积空气质量之比。天然气的相对密度一般在0.6~1.0之间，比空气轻。含重烃量多的天然气相对密度也大，如中原油田个别油、气藏的天然气相对密度竟高达1.0298，主要是天然气中含重烃所致。相对密度小的天然气，其主要成分以甲烷为主，含量约为90%以上。例如四川油田某气藏，天然气相对密度为0.562，其甲烷含量高达98.15%，相对密度大的天然气中甲烷含量相对较少。

天然气是各种气体的混合物，重组分气体含量高，则相对分子质量和密度越大。因此密度可以反映出天然气的气体组分。天然气中各组分的相对密度可以根据它的组分含量计算出来。一般天然气液化后，体积缩小1000倍，故在天然气和石油产量、储量中，常采用1000m³天然气相当1m³石油来比较，其利用价值也大致相当。

2. 粘度

天然气的粘度是指天然气在流动时，分子间所产生的内摩擦力。粘度是以分子间相互碰撞的形式体现出来的。在压力接近 0.101MPa 的情况下，温度增加时，分子的活动性增强，碰撞的次数增多，粘度也增加。天然气的粘度受气体组成、温度、压力的影响。但在高压与低压下，其变化规律是不同的。在低压下，气体的粘度几乎与压力无关，随温度的增加而增大。在高压下，压力变化是影响粘度的主要因素。气体的粘度随压力的增加而增大，随温度的升高而减小。

3. 溶解度

任何气体均可不同程度地溶解于液体中。在一定压力下，单位体积的石油所溶解的天然气量，称为该气体在石油中的溶解度。当温度不变时，单组分的气体，在单位体积溶剂中的溶解度与绝对压力成正比。

各种不同成分的气体，在同一温度、压力及同一石油中的溶解度是不同的，一般相对分子质量较大的气体，溶解度也较大。天然气在石油中的溶解量随压力增加而增大，而随温度增加而减少。当天然气溶于石油之后，就会降低石油的相对密度、粘度及表面张力，使石油的流动性增大。天然气也可以溶于水中，但较溶于石油中的溶解能力小 10 倍。天然气在地下水中的溶解量，随着含盐量增多而减少。

4. 压缩系数

一定质量的气体，当压力改变时，则气体的体积发生变化。变化量的大小与压力的变化值有关，与原始气体体积的大小有关，也与气体的性质有关。在相同温度压力下，1mol (分子) 真实气体天然气的体积与理想气体的体积之比，称为天然气的压缩系数。一般用高压物性实验方法测定。因真实气体比理想气体更容易被压缩，故压缩系数小于 1。压缩系数是气田开采中计算气层压力必不可少的数据之一。

5. 体积系数

相同质量的天然气，在地层条件下所占的体积，与地面标准状态下所占的体积之比，称为天然气的体积系数。在计算天然气储量和采出量时，要进行地面条件下与地层条件下体积的换算，就必须了解天然气的体积系数。

6. 临界温度、临界压力

每种气体都有一个特有的温度，在此温度以上，无论多大压力，都不能使气体液化，这个温度称为临界温度。而与其相应的压力，称为临界压力。

天然气是由各种碳氢化合物和其他气体混凝而成，不同碳氢化合物，具有不同的临界温度和临界压力。

(二) 天然气的组成和分类

天然气是各种气体的混合物，其主要成分是各种碳氢化合物，其中甲烷 (CH_4) 占绝大多数，一般含量都大于 80%，次为乙烷 (C_2H_6)、丙烷 (C_3H_8)、丁烷 (C_4H_{10}) 及其他重质气态烃，它们是天然气中的主要可燃成分。除上述烃类气体外，天然气中还含有少量二氧化碳 (CO_2)、氮气 (N_2)、氧气 (O_2)、氢气 (H_2)、硫化氢 (H_2S)、一氧化碳 (CO) 等气体和极少量氦 (He)、氩 (Ar) 等惰性气体，这些不可燃烧成分，影响天然气的热值。

1. 根据重烃含量分类

一般情况下相对密度在 0.58~1.6 之间的多为干气，在 1.6 以上的多为湿气。

(1) 干气：天然气的化学组成以甲烷为主，甲烷含量在 98% 以上，乙烷与乙烷以上的

重烃很少或没有。这样的气体称为干气。它可来自地下干气藏，也可由煤田气、沼泽气聚集而成。干气可形成纯气田。

(2) 湿气：天然气的化学组成仍以甲烷为主，甲烷含量在 80%~90% 之间，乙烷及乙烷以上的重烃超过 10%~20%，这样的气体称为湿气。它的出现可以标志地下深部有油藏存在。

(3) 伴生气：天然气的化学组分中，甲烷含量在 80% 以下的气体称为伴生气。

在现场简易鉴定干气与湿气的方法就是将天然气点燃，仔细观察火焰颜色，若为蓝色即为干气；若为黄色即为湿气。也可将气体通于水中，水面上呈彩色油膜的则为湿气；干气不具此特征。

湿气常与石油相伴生，而干气多与纯气藏有关。

2. 根据矿藏分类

(1) 气田气：天然气中主要含甲烷，约占 80%~98%，重烃气体很少，约占 0~5%，不含戊烷或戊烷以上的重烃，或含量甚微。

(2) 油田气：天然气中主要成分除含甲烷外，乙烷与乙烷以上的重烃较多，在 5%~10% 以上，与石油共生，又称为石油气。

(3) 凝析气：天然气中除含有大量甲烷外，戊烷或戊烷以上的烃类含量也较高，含有汽油和煤油组分。主要是由于油、气藏的埋藏深度加大，处于高温、高压下的碳氢化合物为单相气态，采到地面后，由于温度、压力降低而发生凝结，由原来单相气态的碳氢化合物转为液态石油。近些年来，发现许多凝析气油田，在开采时，从井底喷上来的气体，到井口附近，由于压力和温度降低而转化为汽油。

(4) 煤成气：天然气中除含有大量甲烷外，重烃气体含量很少，但有较多的二氧化碳气。

三、油田水

在油田范围内发育的地下水称为油田水。研究油田水非常重要，在油、气田勘查阶段，油田水的成分及活动性，是确定含油、气远景和预测油、气藏存在的依据之一。在油、气田开发阶段，油田水的动态和成分对判断井下情况，分析井间关系，进而合理利用天然驱动能量，都是必不可少的。油田水的深度、压力及含盐度等，对钻井过程中的工程措施和钻井液保护都是重要的资料。

(一) 油田水的物理性质

油田水因溶有各种物质，其物理性质同纯水有些不同。油田水的主要物理性质如下所述。

1. 密度

油田水由于溶解盐类比较多，所以矿化度也较高，密度变化较大，一般均大于 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 。如四川油田三叠系石灰岩气藏水的密度为 $1.001\sim 1.010\text{g}/\text{cm}^3$ ，甘肃老君庙油田的油田水密度为 $1.010\sim 1.050\text{g}/\text{cm}^3$ 。

2. 粘度

油田水因含有盐分，粘度比纯水高，一般都大于 $1\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

3. 颜色和透明度

油田水一般不像平时用的水那么透明，而呈混浊状，并常带有颜色。含氯化氢时呈淡青绿色；含铁质时呈淡红色、褐色或淡黄色。

4. 嗅味和味道

当油田水混入少量石油时,往往具有石油或煤油味;含硫化氢时,常有一股刺鼻的臭鸡蛋味。溶有岩盐的油田水为咸味,溶有泻利盐的油田水为苦味。

(二) 油田水的化学成分

1. 油田水的离子元素

油田水的化学成分非常复杂,所含的离子元素种类也很多,其中最常见的离子为:

阳离子: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ;

阴离子: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} 。

油田水中除上述离子外,还含有一些特有的微量元素,其中有碘、溴、锶、硼、钡等。它们与油、气没有直接关系,但若它们含量甚高,则表明是油、气保存的有利地质环境,所以可作为找油、气的间接标志。

2. 油田水的矿化度

常用矿化度来表示油层水中含盐量的多少。矿化度表示 1L 水中主要离子的总含量,也就是矿物盐类的总浓度。即水中各种离子、分子和化合物的总含量。(单位符号: mg/L)

地表的河水和湖水大都是淡水,它们的矿化度在多数情况下都很低,一般为几百毫克每升。海水的总矿化度比较高,可达 35000mg/L 。与油、气有关的水,一般地说,都以具有高矿化度为特征,这是由于油田水埋藏在地壳深处,长期处于停滞状态,缺乏循环交替所致。例如,科威特布尔干油田白垩纪砂岩,水的矿化度为 154400mg/L ,我国酒泉盆地某油田的油田水的矿化度为 $30000\sim 80000\text{mg/L}$ 。值得注意的是,有些油区因外来水的渗入,与油气有关的地层水矿化度也很低。但在通常情况下,海相沉积中比陆相沉积中的油田水矿化度高,碳酸盐岩储层中的水比碎屑岩储层中的水矿化度高;保存条件好的储层中的水比开启程度高的储层中的水矿化度高;埋藏深的比埋藏浅的地层水矿化度高。

(三) 油田水的产状

油田水的产状可根据油田水与油、气分布的相对位置,分为底水、边水和夹层水。

1. 底水

底水是在油、气层底部,托着油、气的水。油—水(或气—水)界面仅与油、气层顶面相交(图 1-1)。

2. 边水

边水是聚集在油、气层低处(如背斜的翼部),从油、气层边缘部分包围着油、气的地下水。油—水(或气—水)界面与油、气层的顶、底面相交(图 1-2)。

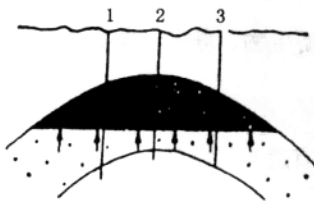


图 1-1 底水驱动油藏

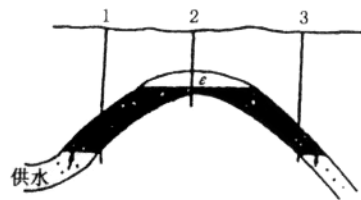


图 1-2 边水驱动油藏

3. 夹层水

夹层水是夹在同一油、气层中的较薄而面积不大的地下水。

(四) 油田水的类型

油田水化学成分的形成取决于它所处的地质环境。在不同的地质环境中,经过长时期的化学及物理作用,形成了各种不同成分的油田水。在不同地质环境中形成的油田水,含有不同类型的盐类。从一些典型的盐类组合可以反映油田水形成的地质环境。按照苏林分类法,将油田水分四种类型。

1. 硫酸钠(Na_2SO_4)水型

这种水型代表着大陆环境,是环境封闭条件差的反映,不利于油、气的聚集和保存。

2. 重碳酸钠(NaHCO_3)水型

这种水型在油、气田区分布广泛,它的出现一般可作为含油、气良好的标志。

3. 氯化镁水型(MgCl_2)水型

海水多属氯化镁水型。氯化镁水型多为过渡类型,在封闭环境中要向氯化钙水转变。因此,在很多情况下,氯化镁水型存在于油、气田内部。

4. 氯化钙(CaCl_2)水型

在完全封闭的地质环境中,地下水与地表水完全隔离,不发生水的交替,水的成分继续发生变化,并出现了新的盐类,从而使氯化镁水型转变为氯化钙水型。这是最深部的水型,代表地下水所处的地质环境封闭良好,很有利于油、气的聚集和保存,是含油、气的良好标志。

在现场油水井动态分析中,我们经常根据油田水的水型和总矿化度来判断油井的见水情况——见的是注入水还是地层水。因为地表的注入水通常矿化度低,多为重碳酸钠水型。而地层水矿化度高,多为氯化钙或氯化镁水型。另外,同一油区内,不同油层中水的类型和矿化度也有差异,所以在现场也常应用这两种资料分析多层生产的油井所见水的出水层位,以便比较准确地卡封高含水层,提高油井产量。总之,油田水的水型和总矿化度是油田开发中比较重要的资料。

四、石油天然气的生成、运移及储集知识

(一) 油、气的生成

有机物质为石油的生成提供了根据,有机质主要是指生活在地球上的生物遗体。要使有机物质保存下来并转化成石油,还要有适当的外界条件。

自然界中的生物种类繁多,它们在不同程度上都可以作为生油的原始物质。比较起来,低等生物作为生油的原始物质更有利,更重要。因为:低等生物繁殖力极强且数量也多,低等生物多为水生生物,死亡后容易被保存;另外它在地史上出现最早,其生物物体中富含脂肪和蛋白质。

一般认为生油物质主要是水生低等生物,如浮游生物、珊瑚、藻类、各种微生物、介形虫、有孔虫等。

1. 生油条件

要使有机物质保存下来并转化成石油,还需要有适当的条件。

1) 古地理环境和地质条件

现代和古代沉积岩的调查结果表明,浅海区、海湾、泻湖区及内陆湖泊的深湖—半深湖区适于生物生活和大量繁殖,特别是前三三角洲地区,河流带来大量有机物,为生物提供了大量的养料,使生物更加繁盛。所以上述地理环境中的沉积物具有丰富的有机物。这样的地区水体较宁静,氧气含量低,具有还原环境,有利于有机物的保存,是生成石油的有利的地理

环境。

上述一些有利生油的地理环境能否出现并长期保持，是受地壳运动所控制的。这样的地区应该具备地壳长期持续稳定下沉，而沉积速度又与地壳下降速度相适应，且沉积物来源充足。下降时间长，沉积物厚度就大，包含在沉积物中的有机质总量也多。随着埋藏的深度不断加大，长期保持着还原环境，压力、温度也逐渐增高，有利于促使有机质快速向石油转化。

2) 物理化学条件

有机物转化成油气，是一个复杂的过程。

细菌作用：细菌是地球上分布最广、繁殖最快的一种生物。在沉积物中细菌对有机物的分解作用，主要是在沉积以后的初期进行的，在还原环境里，细菌能分解沉积物中的有机质而产生沥青质，所以说细菌的活动在有机质成油过程中起着重要的作用。

温度：随着沉积物埋藏深度的增加，温度也将随之增高，有机质在地热作用下形成烃类，随着温度的增高和时间的增加，烃类的产率也增高。在温度增高过程中所形成的产物成分也随着改变，在较高温度下，轻烃的含量增加。如果温度不断升高，作用时间延长，热解的产物将是气态物质（主要是 CH_4 ）和碳质残渣。油气生成所需要的温度，随生油母质不同而有差异，已探明的油层多低于 100°C ，这也说明生油过程不需要特高的高温条件。

压力：沉积物埋藏的深度随着地壳下降而不断加深，上覆地层厚度不断增大，温度压力也随着升高。压力升高可以促使有机质向石油转化的进行，促进加氢作用使高分子烃变成低分子烃，使不饱和烃变成饱和烃。

催化剂：催化剂的存在能加速有机质的转化，例如，在 $150\sim 200^\circ\text{C}$ 温度下，用硅酸铝作催化剂，可以使脂肪、氨基酸以及其他类脂肪化合物产生烃类化合物，当膨润土作催化剂时，加热到 200°C ，则会有烃类产生，沉积岩中粘土矿物分布广泛，是天然的催化剂。

上述各种因素在有机物质分解和烃类的生成作用中，都在不同程度地起作用。总之，油气生成的过程，就是有机质逐渐演化的过程，也是一个极其复杂的过程，是漫长地质时期综合作用的结果。

2. 生油过程

(1) 初期生油阶段：沉积物埋藏不深时，细菌比较发育，有机质在细菌的作用下发生分解，生成大量气态物质，如气态烃（ CH_4 ）、二氧化碳（ CO_2 ）、氮气（ N_2 ）等，因此又称为生气阶段。有机质经过生物化学分解作用后，同时生成复杂的高分子固态化合物，称为干酪根。后期由于温度、压力和催化剂等因素开始发生影响，可生成一定数量的液态烃类，其中包括少量从有机质继承下来的液态烃类。

(2) 主要生油阶段：随着埋藏深度的增加，温度和压力不断升高，细菌活动逐渐减弱，进入地热主导作用阶段，主要是干酪根在温度、压力作用下发生热催化降解和聚合加氢等作用生成烃类，不仅有气态烃，而且有大量的液态烃，故称主要生油阶段。此阶段的生油作用开始是逐渐的，后来比较迅速，随着演化的发展，氧、硫、氮等杂元素减少，原油的相对密度、粘度降低，胶质、沥青质不断减少，轻质馏分增加，原油的性质变好。

(3) 热裂解生气阶段：随着沉积物埋藏深度的进一步加深，有机质经受着更高的温度和压力的作用，发生深度裂解，以生成气态烃为主，因此称为热裂解生气阶段。

研究石油生成的阶段性的意义，不仅可以判断有无石油的生成，而且还可以推论石油存在的可能性。

（二）油气运移

石油和天然气都是流体，因而都能流动。油气在地壳内的任何流动，都称为油气运移。

1. 油气运移的动力因素

（1）地静压力：上覆沉积物负荷所造成的压力称为地静压力。在地壳发展过程中，随着沉积盆地基底不断下降和沉积作用的不断进行，沉积物的堆积越来越厚，于是上覆沉积物的地静压力也会越来越大，当达到一定程度时，早期沉积物逐渐被压缩，开始成岩，并将其孔隙间所含水及少量石油、天然气挤出来，向低压区的孔隙空间运移。在沉积物紧结成岩过程中，油气从生油层向临近储集层发生同期运移的过程中，地静压力的作用是极为重要的。

（2）构造运动力：也称动压力，地壳在运动过程中，无论水平运动或升降运动，都会在岩石内部表现出大小和方向各异的应力活动，它们超过一定的岩石强度，就会使岩石变形变位，造成各种褶皱和断裂，并同时驱使沉积岩中所含的流体发生运移。同时构造运动力能够造成各种通道，为油气运移创造了极为有利的条件。

（3）水动力：充满地层中的水在流动过程中所产生的力，称为水动力。在水动力的作用下，油气将随水的活动一起运移。但是水动力因素对油气有两种完全不同的作用，一方面可以使油气聚集起来，另一方面也可以使聚集起来的油气遭到破坏。

（4）浮力：液体对浸在液体里的物体有向上托起的力，这种力叫做浮力。当气体进入饱含水体的储集层后，油气水就会按其密度不同进行分异，天然气最轻，居上部；石油居中；水最重，在下部。由于地壳运动，在倾斜的地层里，更有利于浮力发挥作用。

（5）毛细管力：在毛细管内，使液面上升或下降的作用力称为毛细管力。液面上升还是下降，决定于液体对管壁的润湿程度。若润湿，则上升；不润湿，则下降。液体具有尽可能缩小其表面的趋势，在地下充满油、气、水的岩石中，由于油、水对岩石孔隙管壁界面的张力不同，润湿程度也不同。一般水比石油容易润湿岩石。因此在岩石孔隙中，当油与水接触时，界面向水突出，毛细管力指向油。当孔隙细小的泥质岩与孔隙较大的砂岩接触时，泥质岩中的石油将被砂质岩中的水排替出来，进入砂岩中。这就是毛细管力的作用。

2. 油气运移的过程

1) 初次运移

在生油层中生成的石油和天然气，自生油层向储集层的运移称为初次运移。生油层中生成的石油和天然气，最初是呈分散状态存在于生油层中的，要形成有工业价值的油气藏，就必须经过运移和聚集的过程，一般认为初次运移的介质是生油层中间隙水（原生水），随着上覆沉积负荷的逐渐增大，而促使油气运移的作用力主要是地静压力，次要是毛细管力。对于油气在初次运移过程中的物理状态，既可以呈胶状分散的微滴在溶液或气体中移动，也可以呈真溶液状态运移。

2) 二次运移

油气的二次运移是指油气进入储集层以后，在储集层内的运移。进入储集层中的油气在浮力、水动力等因素的作用下，向一切压力较低处发生大规模的运移，并在局部压力平衡处（圈闭内）聚集起来。二次运移包括单一储集层内的运移和从这一储集层向另一储集层运移的两种情况。假如油气聚集以后，该地区又发生多次构造运动，则每次构造运动对油气的进一步运移和聚集都产生一定的作用。油气二次运移的主要时期，也就是油气聚集和油气藏形成的主要时期。油气二次运移的主要外力作用是动压力、水动力和浮力。