

YOUQIHUATANFENXIYUYINGYONG

YOUQIHUATANFENXIYUYINGYONG

油气化探

分析与应用

任积文 黄福堂 孔庆云 言文伯 孙丽著

YOUQIHUATANFENXIYUYINGYONG

石油工业出版社

YOUQIHUATANFENXIYUYINGYONG

YOUQIHUATANFENXIYUYINGYONG

油气化探分析与应用

任积文 黄福堂 孔庆云 言文伯 孙丽 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从油气化探的基础理论入手,系统论述了油气化探工作方法,野外样品采集与样品的预处理、油气化探分析测试技术、油气化探数据处理,以及化探方法在大庆探区的应用等内容。对于各项分析技术,书中都较详细地介绍了样品制备、分析条件选择、分析步骤和分析精度的要求等。

本书适合油田中从事物探工作的科研人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

油气化探分析与应用/任积文等著.

北京:石油工业出版社,1997.8

ISBN 7-5021-2001-7

I. 油…

II. 任…

III. 油气勘探:地球化学勘探-化探分析

IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 08421 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京市宇辰贸易公司照排部排版

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 6.25 印张 160 千字 印 1—1000

1997 年 8 月北京第 1 版 1997 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2001-7/TE·1685

定价:12.50 元

前 言

油气化探是油气地球化学的一门分支学科，是综合勘探找油群体技术中的一种成本低、速度快的方法。近年来我国油气化探技术和理论研究又有了新的发展，并且逐渐地纳入油气普查勘探序列，成为油气勘探中一种有效的新方法。

全书分为六章，包括油气化探的基础理论、油气化探工作方法、野外样品采集与样品的预处理、油气化探分析测试技术、油气化探数据处理、化探方法在大庆探区的应用、水的化学组成与特征和松辽盆地北部地层水中可溶烃类分布与油气藏的关系等八个部分。书中内容涉及到样品制备、分析条件选择、分析原理、分析步骤和分析精度要求等。

全书由黄福堂和任积文定稿。倪峭丹等同志担任本书的审核工作，大庆石油管理局勘探开发研究院中心化验室邹信芳、单存龙等同志为本书提出了宝贵的修改意见，在此一并致谢。

由于作者水平有限，错误之处在所难免，敬请读者指正。

作者

1996年4月19日

目 录

第一章 油气化探的基础理论	(1)
第一节 油气的化学组成和物理性质	(1)
一、石油的化学组成	(1)
二、石油的物理性质	(3)
三、天然气的化学组成	(6)
四、天然气的物理性质	(7)
第二节 烃类迁移理论和模式	(7)
一、烃类迁移理论	(7)
二、烃类迁移模式	(8)
三、地球化学场内界面化学平衡特征	(9)
第三节 化探异常与油气关系	(12)
一、化探异常与含油气盆地的关系	(12)
二、含油气盆地化探异常指标界限值的确定	(12)
三、化探异常指标的选择依据	(13)
第二章 油气化探工作方法	(14)
第一节 油气化探的基本原理及使用的方法	(14)
一、油气化探的基本原理	(14)
二、油气化探使用的方法	(14)
第二节 油气化探工作的基本准则	(16)
一、从全盆地着眼, 选择适合不同地区、不同含油气盆地的最佳方法组合系列	(16)
二、油气化探必须结合地震方法	(17)
三、石油地质理论是化探异常解释的基础	(17)
四、小结	(17)
第三节 地质任务	(18)
第四节 测网布置	(18)
一、盆地早期评价测网部署	(18)
二、区带评价测网部署	(19)
三、圈闭评价测网部署	(19)
四、非背斜构造(相当于油藏评价)评价测网布置	(19)
五、井下化探	(19)

第三章 油气化探分析测试技术	(20)
第一节 土壤中烃类分析	(20)
一、酸解烃分析	(20)
二、活性炭吸附烃分析	(23)
三、土壤冷溶烃分析	(25)
四、紫外吸收光谱分析	(26)
五、荧光光谱分析	(27)
第二节 土壤中非烃分析	(28)
一、土壤蚀变碳酸盐 (ΔC) 分析	(28)
二、土壤热释汞分析	(30)
第三节 土壤和水中烃与非烃的碳同位素分析	(31)
一、水溶烃和土壤酸解烃碳同位素分析	(31)
二、土壤 ΔC 碳同位素分析	(32)
第四节 水中主要离子分析技术	(32)
一、水中溴离子分析 (品红硫酸比色法)	(32)
二、水中碘离子分析	(33)
三、水中硼离子分析 (姜黄素比色法)	(34)
第五节 水中有机物分析技术	(35)
一、水中脂肪酸分析 (非水中和容量法)	(35)
二、水中芳烃值数分析	(38)
三、水中挥发性酚分析 (4-氨基安替吡啉光度法)	(39)
四、水中苯及苯系物分析	(43)
五、水中溶解气分析	(44)
六、铍离子分析	(46)
第六节 油气化探指标评价	(48)
一、油气化探指标的地质意义和特点	(49)
二、油气化探指标评价方法	(51)
三、油气化探指标的评价	(52)
第四章 油气化探数据处理	(53)
第一节 指标关系分析及优选的方法	(54)
一、聚类分析	(54)
二、因子分析	(54)
三、对应分析	(54)
四、相关分析	(55)
五、回归分析	(55)
第二节 地球化学场背景与异常下限的确定方法	(55)
一、概率分布检验迭代统计方法	(55)

二、趋势剩余分析	(55)
三、高、低通滤波	(56)
四、EDA 技术	(56)
五、多元马氏距离 D^2 法 (MAA)	(56)
第三节 油气化探图的编制	(57)
一、基础图件	(57)
二、推断解释图件	(57)
三、综合异常评价图件	(57)
四、其它图件	(57)
第五章 野外样品采集与样品的预处理	(59)
第一节 测量面积与采样点的布局原则	(59)
一、测量面积的基本原则	(59)
二、采样点的布局原则	(59)
第二节 采样目的层的确定与要求	(59)
第三节 样品采集的方法与要求	(60)
一、现场点位测量	(60)
二、土样的采集与要求	(60)
三、水样的采集与要求	(60)
四、化探样品预处理	(61)
第四节 干扰因素分析	(61)
一、地质—地球化学体系的研究	(62)
二、环境污染对化探成果的影响	(63)
第六章 油气化探方法在大庆探区的应用	(69)
第一节 盆地评价实例	(69)
第二节 区带评价实例	(73)
第三节 圈闭评价实例	(74)
第四节 岩性油气藏评价实例	(76)
第五节 井下化探利用酸解烃技术识别工业气层实例	(77)
一、理论依据	(77)
二、实例	(78)
附录一 水的化学组成与特征	(79)
第一节 天然水化学组成与特征	(79)
第二节 地下水的化学组成与特征	(80)
一、地下水的无机组成	(80)
二、有机物成分	(81)
第三节 同位素成分	(83)

第四节 水的物理性质.....	(83)
附录二 松辽盆地北部地层水中可溶烃类分布与油气藏的关系.....	(86)
第一节 地层水中脂肪酸含量分布与油气藏的关系.....	(86)
第二节 地层水中酚的含量特征与油气藏的关系.....	(87)
第三节 地层水中苯系物与油气藏的关系.....	(90)
第四节 地层水中芳烃值数与油气藏的关系.....	(92)
参考文献	(93)

第一章 油气化探的基础理论

油气化探是综合勘探找油群体技术中心的一种成本低、速度快的方法，它是以地表土壤和水中可溶烃类含量和油气苗显现地球化学现象研究为基础，以油气垂直运移理论为依据进行油气藏预测的。近年来油气化探技术与理论研究工作在我国有了新的发展，广大有机地球化学工作者逐渐对沉积盆地控矿（油矿）、物质扩散一对流迁移、地球化学场、油气富集方式、油气异常形成以及油气化探指标异常界限值确定等研究有了新的突破性认识，揭示了浅层地球化学效应与深层油气藏扩散一迁移的内在联系，它不仅丰富了油气化探的理论，而且促进了油气化探技术的发展，使油气化探在油气勘探的群体技术中发挥了重要的作用。

第一节 油气的化学组成和物理性质

由于石油与天然气是液态和气态，并具有流动性，因此有许多异常地球化学特性。油气生成迁移与扩散过程是连续的、多期的，所以油气运移中必然发生扩散而形成化探异常。油气地球化学物理特征是其化学组成和物理性质的内在因素决定的，因此研究油气的物理化学性质与特征具有十分重要的意义。

一、石油的化学组成

石油的化学组成是比较复杂的，不同地区石油的化学组成变化很大。尽管世界上各国的石油所处的地质条件和深度不同，但是它们的元素组成的变化范围很窄，构成石油的主要元素有碳（C）、氢（H）、氧（O）、硫（S）、氮（N），同时含有一定量的金属元素。

石油的化学组成主要是烃类，还含有数量不多但较重的非烃类化合物以及胶质和沥青质。此外，还有一些具有特殊地球化学意义的特征化合物^[1]。

1. 石油的化学元素组成

石油主要由碳和氢两种元素组成，在石油中碳元素约占 83% ~ 87%，氢元素占 10% ~ 14%，碳氢元素质量比值（C/H）在 5.9 ~ 8.5 之间，氢原子和碳原子的数量比值大约为 1.85。这两种元素占石油元素组成的 95% ~ 99%。除了碳和氢元素外石油中还含有硫、氮、氧等元素，这些杂原子化合物主要是含硫化合物、含氧化合物和含氮化合物，这 3 种化合物中硫、氮、氧元素总含量占石油的 0.5% ~ 7%，多数一般小于 5%。

石油除了碳、氢、硫、氮、氧 5 种元素外，在石油中还发现了一些微量金属和非金属元素。

目前从石油灰分中发现了 38 种元素，按其含量多少和常见程度列举如下：

C、H、S、N、O、Fe、Ca、Mg、Si、Al、V、Ni、Cu、Sb、Mn、Sr、Ba、B、Co、Zn、Mo、Pb、Sn、Na、K、P、Li、Cl、Bi、Be、Ge、Ag、As、Gd、Au、Ti、Cr、Cd。

这些元素近似自然界有机物的元素组成，说明石油与原始有机物质存在着明显的亲缘关系。尤其是钒（V）和镍（Ni）是分布普遍并具有成因意义的两种微量元素。

我国石油中钒的含量很低，但镍含量略高，镍钒比值一般大于 13.0，最高达 940，比国外石油高近百倍。石油灰分中的钒、镍含量及其比值 (V/Ni) 已被用来确定生油岩相，进行油源对比。

石油中全部钒都是以卟啉络合物的形态存在的。这些卟啉主要是脱氧胆红紫素型。石蜡系油的钒含量一般高于沥青质油。不同地质年代石油钒浓度，其数值为 $0.35 \times 10^{-6} \sim 1.5 \times 10^{-6}$ 。

石油中的铜含量通常为 $0.31 \times 10^{-6} \sim 6.3 \times 10^{-6}$ ，石油中硒含量是其结晶丰度 (0.05×10^{-6}) 的 10~20 倍，锰含量约在 2.5×10^{-6} 以下，和铁一样。石油灰分中钼含量在 0.002%~0.1% 之间，石油中镍的浓度为 $100 \times 10^{-6} \sim 356 \times 10^{-6}$ ，在大多数石油中镍的浓度低于钒。

原油中的氟，含量为 $0.14 \times 10^{-6} \sim 1.1 \times 10^{-6}$ 。石油灰分中铬的浓度为 $0.01 \times 10^{-6} \sim 0.1 \times 10^{-6}$ 。石油含铁量在 $1 \times 10^{-6} \sim 120 \times 10^{-6}$ 范围内，硼的含量为 20×10^{-6} ，钴的含量为 $0.0027 \times 10^{-6} \sim 0.005 \times 10^{-6}$ 。

2. 石油的族组成

石油主要由烃类 (C, H)、非烃类 (O, S, N) 两部分组成。

目前能从石油中分离出来的烃类多达 200 余种，它们分属于烷烃 (C_nH_{2n+2})、环烷烃 (C_nH_{2n}) 和芳香烃 (C_nH_{2n-6})。前二者为饱和烃，后者为不饱和烃，烃类在石油中占 80% 以上，是石油的主要组成部分。

石油中的烃类主要有烷烃、环烷烃和芳香烃。在不同的石油中，各族烃类的含量相差很大，同一族烃在各种石油中的含量和结构也不尽相同，总的来说，烷烃含量较高，环烷烃次之，芳香烃最低。

非烃类主要有含氧化合物 (包括环烷酸、脂肪酸、酚等) 和含硫化合物 (硫醇、硫醚、二硫化物等)，多为杂环化合物，其中最有意义的是卟啉化合物。

石油中含氧化合物主要有环烷酸、酚和脂肪酸，三者统称为石油酸，石油中氧的含量为 0.01%~3%，在含氧化合物中研究最多的是环烷酸，脂肪酸在石油中含量非常稀少，石油中的酚大多是苯的衍生物。

石油中含硫化合物主要是噻吩类、硫酚类、硫醇类、硫醚类、多环硫化物，其次是二硫化物，包括脂族、芳香族、脂肪-芳香族等二硫化物和多硫化物、混合多硫化物，还有亚硫酰基化合物等。硫在石油中的存在状态，除少数呈游离态悬浮于石油中外，多以硫化氢和含硫化合物形式存在，一般不超过 1%，但有些油田含硫量可达 3%~7%。

石油中含氮化合物含量变化较小，一般为 0.1%~0.4%，少数情况可达 5%。含氮化合物主要是由生油有机质分解而成，石油中的胶质及沥青质中含氮量较高，尤其在沥青质中含量最高且稳定。

此外，石油中还含有一部分由多种元素组成的结构极为复杂的高分子化合物，称为沥青质，其结构特征尚待进一步研究。通常所说的石油族组成，系指饱和烃 (烷烃和环烷烃)、芳烃、非烃和沥青质 4 种族份。

3. 石油的馏分组成

石油是一种不同沸点馏分的复杂混合物，一般石油可分为 5 个主要的馏分，即汽油馏分 ($<170^\circ\text{C}$)，煤油馏分 ($170 \sim 230^\circ\text{C}$)，轻柴油馏分 ($230 \sim 270^\circ\text{C}$)，重柴油馏分 ($270 \sim$

350℃)和润滑油馏分(350~500℃),残渣(渣油, >500℃)。

按分子组成的大小分:汽油($C_5 \sim C_{10}$)占30%,煤油($C_{10} \sim C_{12}$)占10%,轻馏分油($C_{12} \sim C_{20}$)占15%,重馏分油($C_{20} \sim C_{40}$)占25%,残渣(> C_{40})占20%。

按分子组成的种类分:石蜡烃(烷烃)占30%,环烷烃占50%,芳香烃占15%,含氮硫化物占5%。

4. 石油的组分组成

石油的组成十分复杂,尽管目前已能从中分离出来400多种化合物,但还仅是其中一部分,而且主要限于石油的低沸点馏分内。高沸点馏分中的化合物目前还不能一一分离。根据石油中不同化合物对不同溶剂的溶解及介质吸附等表现出来的不同特点,一般分为油质、胶质、沥青质和碳质。

(1)油质:油质为石油的主要组成部分,多为碳氢化合物组成的浅色粘性液体(有时为固体晶体)。油质含量高低是石油油质好坏的重要标志,油质含量高,石油的质量相对较好。

(2)胶质:一般为粘性或玻璃状的半固体物质,主要成分仍以碳氢化合物为主,但氧、硫、氮化合物增多,平均分子量变化大。颜色不同,淡黄、褐红到黑色均有。

胶质分为中性及酸性两种,以中性为多。酸性由芳烃及环烷烃缩合或氧化叠合而成。因此,随着石油的蒸发而氧化胶质含量不断增加。在轻质油中胶质含量一般在4%以下,在重质石油中一般在10%以上,多者可达25%。

(3)沥青质:沥青质比胶质含的碳氢化合物更少,氧、硫、氮化合物更多,平均分子量比胶质还大,为暗褐色或黑色固体物质,在石油中含量较少,一般在1%左右,个别可达3%~5%。

石油中胶质和沥青质称为石油的重组分,是非碳氢化合物比较集中的部分。在石油中含量高时,石油质量相对变差,含量低时石油质量相对变好。

(4)碳质:以碳元素状态分散在石油内,含量很少。从石油的组成来看,其组成相当复杂,在元素、烃与非烃、馏分和组分之间既有成因上的联系,又有成分及性质上的区别,这些区别和联系往往反映了它们内在的规律性。

二、石油的物理性质

石油有许多特殊的物理性质,而且差异和变化较大,这主要决定于石油的化学组成。

不同地质时期以及不同地域的原油,其组成变化甚大,在石油中已找到数千种单一的化合物,其中绝大部分是烃类化合物,这些化合物含量的变化决定了原油的物理性质。

1. 颜色

石油的颜色种类较多,从深色到浅色均有,一般多呈白、淡黄、黄褐、黑绿、淡红、黑及棕黑色。石油中的重组分含量愈高,石油的颜色愈深。

我国石油的颜色各地区也不一样(表1-1),石油颜色的不同,主要与石油内胶质和沥青质含量有关,胶质、沥青含量高则石油颜色变深。所以石油的颜色深浅大致能反映石油中重组分含量的多少。

2. 密度

石油的密度20℃时一般在0.75~1.00g/cm³之间,个别大于1.00g/cm³或小于0.75g/cm³,我国石油的密度一般在0.79~0.95g/cm³之间。

表 1-1 我国部分油田不同油层的石油颜色

产地与层位		颜色	产地		颜色
大 庆		褐黑色	江 汉	潜三段	黑 色
大 庆	台 2 井 Y 层	灰 绿		潜四段	黑 色
	哈 16 地 G 层	绿 色		新一段	棕黑色
胜 利	沙一段	黑 色	四 川	延长油层	棕黑色
	沙二段	黑 色		永坪油层	黑 色
	沙三段	黑 色		桂花香二层	浅黄色微透明
	沙四段	黑 色		桂花安塞层	黑棕色
	东营组	褐黑色		桂花东岳庙层	黑棕色
	明化镇组	棕黑色		南充凉高山层	黑 色
辽 河	沙一段	褐黑色	新 疆	库车油苗	红棕色透明
	沙二段	黑 色		克拉玛依乌尔禾	黑 色
	沙三段	黑 色		克 下 油	棕黑色
	东营组	黑 色		克 上 油	黑 色
辽 宁	抚顺油页岩油	棕黑色		独山子混层	黑棕色
	曙 光	灰黑色		依奇克里克克查勒努尔	棕黑色
扶余油田	杨大城子	黑 色	大庆安组		深褐黑色
	新北黑帝庙	灰黑色	青 海	冷湖五号	浅黄绿色透明
任丘成旦系		黑褐色		鱼卡油层	黑 色
南 海		黑褐色		下干柴沟组	棕黑色
大 港		黑 色		大港沟组	黑 色
玉 门	老君庙 J 油层	灰黑色	海 南	涌沙山	黑 色
	老君庙 M 油层	黑 色		茂 名	黑 色
	鸣儿峡志留系	褐黑色		茂名油页岩油	黑 色
	下白垩系	褐黑色		苏 北	黑 色
门	石 油 沟	棕黑色	苏 北		黄色透明
	白 扬 河	棕黑色	西 藏		黑 色
江 汉	潜一段	棕黑色	广 东		浅黄色透明
	潜二段				

石油按密度可分为轻质油（密度小于 0.8600g/cm^3 ），中质油（密度在 $0.8600 \sim 0.8950\text{g/cm}^3$ ），重质油（密度大于 0.8950g/cm^3 ）。

在同一个石油产地中，不同埋藏深度的石油密度依埋藏深度的增加而增加。

3. 粘度

石油粘度因类型不同变化比较大，一般为 $2 \sim 1000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。影响石油粘度的因素有石油的组分、温度与压力。石油中含轻馏分多，其粘度小，含重馏分及胶质、沥青质多，则粘度高；温度升高粘度会急剧下降；压力增高石油的粘度增大，但当有游离气存在时，压力增高，石油中的溶解气量增加，粘度降低。

4. 凝固点

石油凝固点的大小与石油中高分子化合物含量多少有关，尤其与石蜡含量密切。一般情况下，当石蜡含量超过 10% 时，凝固点有较明显的变化，含量越高，凝固点越高；相反，石油中轻质馏分含量高时，凝固点就低，我国部分油田石油凝固点在 $-1.6 \sim 52^{\circ}\text{C}$ 之间。

5. 沸点

石油的沸点同当时温度条件相差很大，石油中轻质油沸点为 $20 \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，碳数在 $\text{C}_5 \sim \text{C}_7$ 之间；重质汽油沸点为 $70 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ，碳数在 $\text{C}_6 \sim \text{C}_{12}$ 之间；煤油沸点为 $200 \sim 270^{\circ}\text{C}$ ，碳数在 $\text{C}_{12} \sim \text{C}_{15}$ 之间；柴油沸点为 $240 \sim 350^{\circ}\text{C}$ ，碳数在 $\text{C}_{16} \sim \text{C}_{18}$ 之间；机油沸点为 350°C ，碳数在 $\text{C}_{16} \sim \text{C}_{20}$ 之间；凡士林沸点大于 350°C ，碳数在 $\text{C}_{18} \sim \text{C}_{22}$ 之间。

6. 闪点

闪点是指可燃液体的蒸气同空气的混合物在临近火焰时能发生短暂闪火时的温度。在同样条件下，当温度再高一些，不仅是蒸气，连液体也发生燃烧现象，这温度被称为燃点。

通常测定的闪点都以标准压力 0.1MPa 下的数值表示。一般石油的闪点在 $30 \sim 170^{\circ}\text{C}$ 之间，高于 450°C 馏分油闪点在 $280 \sim 296^{\circ}\text{C}$ 之间，一般石油中各馏分的闪点随沸点升高而升高。

7. 热容

热容是加热 1g 石油使其提高温度 1°C 所必需消耗的热量（以 J 表示）。

在温度到 50°C 时，不同的石油的热容变动范围相当窄，大约在 $1.7 \sim 2.0\text{J}$ 之间。同一规律一样，随石油密度的增加其热容量降低，分子量增高，相应地其沸点和密度增大，烷烃的热容也减小，石油的发热量变化幅度在 $37683 \sim 46057\text{kJ/kg}$ 之间。因石油的化学成分不同，其发热量也有差异，一般烷烃石油含氢较多，其发热量比环烷烃和芳香烃石油都高。

8. 溶解性

石油具有易溶于有机溶剂的性质。石油在很多碳氢化合物溶剂中都十分易溶解，溶剂如苯、香精、醚、三氯甲烷、二硫化碳、四氯化碳；在戊醇中难溶解，在纯乙醇中只能有少部分被溶解。环烷烃石油比芳烃石油容易溶解。温度愈高则石油的可溶性也随之升高。

根据石油的溶解性，可以鉴定岩石中是否含有微量的石油。

石油和石油产品本身也是很好的溶剂，能溶解碘、硫、橡胶、许多种胶质以及大多数的动物和植物油类。

石油中溶解的烃类，主要是烷烃、芳烃和含氧化合物。

石油中某些烃类在水中溶解的特点是芳香烃 $>$ 环烷烃 $>$ 烷烃。

9. 荧光性

石油在紫外线光照射下，发出一种特殊“光亮”的特征，称为石油的荧光性。石油发荧光是一种冷发光现象。石油及沥青质类发光现象取决于化学结构，发光现象是含芳香环化合物的特征，饱和化合物则不发光。石油中不同组分的荧光颜色是不同的，油质发天蓝色、青色；轻胶质发绿色；重胶质发黄绿色；沥青质发褐色。石油的密度与荧光颜色有明显的差异（表 1-2）。

表 1-2 不同密度的原油荧光颜色

API	密 度 (g/cm ³)	荧 光 颜 色
< 15	> 0.9659	棕色
15 ~ 25	0.9659 ~ 0.9042	桔红色
25 ~ 35	0.9042 ~ 0.8498	黄色 → 乳白色
35 ~ 40	0.8498 ~ 0.8251	白色
> 40	< 0.8251	兰色/白色 → 紫色

利用这一特性,在油层剖面上可以检测出痕迹石油,从而建立了化探中的荧光法。

10. 旋光性

石油的旋光性是指偏光通过石油时,偏光面对其原来的位置旋转一定角度的光学特性。偏光面旋转的角度叫旋光角,石油的旋光角一般小于 1,个别可以大于 1。偏光面旋转的方向,绝大多数石油为右旋,只有个别的石油为左旋,旋光性与有机物质有关,环烷烃的旋光性最强,芳香烃次之,烷烃最小,无机化合物没有旋光性。

11. 导电性

石油主要成分是碳氢化合物,为非极性物质,是非导体,石油的电阻率为 $10^{11} \sim 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ 。

无水的石油和石油产品是非导体或者说介电质,它们的电容率变化很小,在 1.86 ~ 2.38 之间,同空气的电容率 (1.0006) 相近,约为火漆玻璃和云母的电容率的 1/3 ~ 2 倍。

无水石油的电阻非常大,以致实际上它们没有电导率了。如,石蜡的电导率约为 10^{-6}S/cm ,而纯水则为 10^{-6}S/cm (在 0℃ 时)。

石油是一种不良的导电物质。可以利用这种特性在钻井时进行电测并以了解含油层的位置和深度。

12. 石油的分子量

石油中最小的分子是分子量为 16 的甲烷。最大的分子是沥青质,分子量达几千。我国大庆油田石油的分子量变化范围在 305.7 ~ 642.3 之间。

13. 热膨胀系数

石油的受热膨胀现象服从液体热膨胀的规律,大多数的石油及石油产品的体积依温度的变化不是依照直线规律,而是依照更复杂的规律,因为它们体积膨胀系数不是常数,而是温度的函数。

各种石油的热膨胀系数有显著的不同,一般规律是:石油愈轻,其膨胀系数愈大,对于同一石油的不同馏分来说,膨胀系数的变化也同上述情况类似,馏分愈轻,则其膨胀系数愈大。

三、天然气的化学组成

天然气的组分组成是不同地区和构造的天然气成因判别及类型划分的直接标志,它的组分组成的变化受母质类型和成熟度的影响。

天然气的化学组成主要是由烃类气体、非烃类气体和少量的稀有气体及微量的汞气所组成。烃类气体中主要含有甲烷、乙烷、丙烷、异丁烷、正丁烷、异戊烷、正戊烷和乙

烷，个别天然气中还含有庚烷、辛烷和壬烷等。天然气中还发现 2, 2-二甲基丁烷，及少量的烯烃组分，如丙烯、反丁烯和正丁烯等。非烃气体主要含有氮气、二氧化碳、一氧化碳、硫化氢等，还含有微量稀有气体氦和氩等。

天然气的元素组成是：C 为 42% ~ 78%，H 为 14% ~ 24%，O + S + N 为 0.3% ~ 44%。天然气中甲烷是主要成分，含量高达 80% 以上，而乙烷、丙烷、丁烷等含量较少，此外，一般均含有少量的 CO₂，H₂S，N₂，O，Ar 及 He 等。局部地区发现有高含量的 CO₂ 或 CO₂ + H₂S 气藏、N₂ 气藏。一般情况下，油田气重烃（C₂ ~ C₅）含量较高，气田气重烃含量较少。

气体由于分子间的引力极小，因此分子可以自由扩散迁移。

天然气成因极为复杂，主要有：生物成因气、煤变质成因气、岩浆活动成因气、放射性成因气及有机质热裂解成因气。

四、天然气的物理性质

天然气是一种无色的气液混合体，相对密度一般小于 1，沸点和熔点随分子量的增加而升高，低级的烷烃每增加一个“CH₂”对沸点影响都很大，差数在 20 ~ 48℃ 之间，其它物理常数如物态随分子量的增加而改变，C₁—C₄ 的烷烃是气态，C₅、C₆ 的烷烃是气液混合态。

天然气物理性质变化很大，主要特征有：

- (1) 颜色：无色，有汽油味，有时有硫化氢味，可燃。
- (2) 相对密度：天然气的相对密度随着气体分子量增大而增大，一般在 0.6 ~ 1 之间。
- (3) 粘度：天然气的粘度随气体分子量的增大而减小，随温度和压力增高而增大，在 0℃ 时天然气粘度为 0.00131mPa·s，在 20℃ 时为 0.0120mPa·s。
- (4) 溶解性：天然气在不同程度上溶解于水和石油中。当压力降低、温度升高、水的含盐量增加时，天然气的水中溶解度减小。
- (5) 分子量：天然气的分子量一般在 16.0 ~ 32.0 之间。

天然气分子量是研究天然气物理性质的一个重要参数，它是天然气类型划分判断运移的一个可靠指标。天然气的分子量是由每种组成天然气分子的百分含量累加而成的。根据天然气中各组分的分子量和质量百分含量，即可求出天然气分子量。计算公式如下

$$M_g = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{M_i}}$$

式中 C_i——i 组分的重量百分比；

M_i——每个组分的分子量；

M_g——总分子量。

第二节 烃类迁移理论和模式

一、烃类迁移理论

储层烃类垂向微渗逸，并在近地表形成各种各样的地球化学效应场，这一理论是地表油气化探的理论依据。

关于烃类迁移机制,目前有几种说法,多数研究者认为油气中 $C_1 \sim C_5$ 烃是以微气泡透过油气田上方微裂隙体系上升,由于不同的地质条件,渗透的方式有所差异,可分为以渗透作用为主的区域和以扩散作用为主的区域。渗透作用迁移占优势的,通常见于断裂构造发育的地区,而在构造活动过程发育较差的地段,尤其是存在着厚度很大的粘土岩的情况下,在覆盖着油气藏的沉积层中,扩散过程在烃类近垂向迁移中起相当大的作用,常见于随着剖面深度的增加,烃类浓度增加。

关于烃类迁移机制,也包括烃类在迁移道路上的分异问题,这对近地表烃类的形成也有很大影响,主要表现为三种效应,即吸附—色层分离效应、分选色层分离效应和扩散分异效应。从而造成烃类在迁移过程中经历了无数次的吸附和脱附的过程,平均每米达 5000 次以上,所以烃类迁移与上面覆盖层的岩性、粘土矿物种类、环境、阻挡层物性等多种因素有关。

当然烃类近地表迁移也要考虑到水迁移和生物迁移,尤其在表生地球化学环境中,虽然气体迁移仍在继续,但水迁移已成为主要的形式,生物迁移也比较活跃。

烃类迁移除受内在因素控制外,影响迁移的外界因素主要是它所处的地球化学环境。气候条件与烃类迁移关系密切,地质构造,地貌条件对烃类迁移带来很大影响。

二、烃类迁移模式

就石油和天然气地球化学而言,扩散迁移和对流迁移是烃类迁移的两种基本模式。

1. 扩散迁移

扩散迁移是分子布朗运动的一种现象,任何物质分子都处于不断地运动状态,并使其浓度在各个方向上均一或相等,力图达到热动力平衡状态。它是在元素浓度差的作用下(温度差和压力差等因素将会加速分子的扩散作用)自动地从高浓度处向低浓度处移动。扩散迁移是均一体系内物质分子或元素浓度均匀变化的过程,具有以下特点:

(1) 扩散是一个连续的物质迁移过程,在此过程中体系内元素的浓度发生连续的变化。

(2) 扩散时,介质不一定发生移动,体系内浓度梯度的存在是扩散的基本动力。

(3) 扩散的速度与浓度梯度成正比,因而随距离增大而速度减小,即元素的扩散服从菲克(Fick)定律

$$I_m = -D_m \cdot \text{grad} C$$

式中 I_m ——扩散流量(物质通过单位面积的数量);

grad ——矢量梯度;

C ——物质浓度(活度);

D_m ——分子扩散系数,它表征该物质在静止介质中扩散迁移的能力,其值相当于浓度梯度等于 1 时的扩散数量,量纲为 cm^2/s 。

式中右边的负号,说明物质向浓度减小的方向扩散。

(4) 扩散作用受温度、压力、介质的物理性质等因素的影响。

分子的扩散作用,不仅在流体静止时发生,在运动状态下同样也会发生,不但有水平方向上的横向扩散,还有垂直方向上的纵向扩散。在浅层化探异常形成中,轻烃($C_1 \sim C_{10}$),尤其是气态烃的扩散作用有重要意义。据 Leythaeuser (1980) 的资料,甲烷的扩散系数最大($2.12 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$),他在加拿大西部中生代气源岩的研究中指出,甲烷通过面

积为 1000km^2 、厚为 200m 的一个体积进行扩散，形成一个具有 $1.5 \times 10^9\text{m}^3$ 的工业气藏，只需要 $50 \times 10^4\text{a}$ 。

2. 对流迁移

对流迁移是物质在孔隙或裂隙岩石中，随着运动介质（地下水）一起的迁移。它是自然界引起物质迁移的重要方式。

物质对流迁移的数量与物质的浓度、介质的运动速度有关，可用下式表示

$$I_k = C \cdot v$$

式中 I_k ——物质对流迁移量；

C ——物质在地下水（液体）中的浓度或活度；

v ——运动介质（地下水）的流动速度。

物质的对流迁移是很复杂的，因为地下水在多孔介质渗流时，实际速度的分布是很不均匀的，特别是在纵向上运动介质通过不同时代的含水层或非均质岩层时，更是如此。

对流迁移是石油和天然气垂向运移在浅层形成勘探异常的一种重要机制。在含油气盆地中油气水作为一个完整的流体系统，能够沿断层垂直向上运移已被许多事实所证明；世界上的几个大含油气区。例如，中东的波斯湾、北美的墨西哥湾、南美委内瑞拉的马拉开波湖区、欧洲的北海地区及北非的埃及、利比亚、突尼斯、阿尔及利亚等都处在五大洲的裂开线两侧。在许多盆地中石油的储量与断距成正比，即断距越大形成的储量越大（墨西哥湾沿岸、北海、尼日尔三角洲、普洛耶什蒂、洛杉矶等盆地）；形成盆地的主断层附近产油多；发育不完全的断谷或块断盆地以及扭断盆地产油多等。我国东部中生代断陷盆地中，不同级次的张性同生断层及其后期的活动为油气垂直运移提供了通道和动力。

Price 提出的深盆地热水垂直运移模式，就是建立在物质对流迁移的基础上的。他认为在深盆地异常高压作用下，断层面一般是张开的，可以使高压流体沿断面向上垂直运移，当流体上升进入正常压力层段时，如果流体向上运移所需的压力小于进入侧向的砂层压力，则流体将继续向上运移，一直到最后渗出地面散失。

综上所述，扩散迁移和对流迁移是形成油气勘探异常的两种基本类型，前者是由物质的浓度梯度引起的，后者是因流体动力梯度等因素的存在而发生的，但两种迁移方式不是孤立进行的，而是有一定的内在联系或是同时进行的，只是有主有次而已。它们的优势程度一般用贝克来特（Peclet）数判断。

三、地球化学场内界面化学平衡特征

圈闭中的油气组分通过扩散迁移和对流迁移作用与周围介质接触时，界面上的平衡特征与条件发生变化。一方面烃类气体与岩石发生物理变化，形成地球物理场——地球物理直接找油的研究内容；另一方面烃类气体与岩石发生化学变化形成地球化学场。对于油气勘探异常的形成与强度而言，影响界面化学平衡的以下几种作用具有重要意义。

1. 吸附作用

在自然界中，由于同晶型置换、不完整的键或者晶格内的缺陷、质点表面的化学分解、离子置换等，在岩石或矿物颗粒表面形成电荷（正或负）的剩余量，这种不平衡可以在吸附环境中由异性离子（分子）来补偿。如克拉克值很高的硅和氧是岩石的主要成分，常以硅酸溶胶的形式存在。其胶粒表面带负电荷，因此能吸附某些阳离子。矿物表面电荷的性质主要取决于 pH 值，当 pH 值较低时，表面电荷以正的为主；当 pH 值较高时，表面