

石油、天然气和油田水

复习与思考

一、知识积累

1、石油主要由碳（C）、氢（H）、硫（S）、氮（N）、氧（O）等元素组成。其中主要是碳（C）、和氢（H）,其元素组成一般为:碳含量介于 80-88%之间，氢含量占 10-14%。

2、原油中的硫主要来自有机物的蛋白质和围岩的含硫酸盐矿物如石膏等，故产于海相环境的石油较形成于陆相环境的石油含硫量高。

3、在石油微量元素中，以钒、镍两种元素含量高、分布普遍，且鉴于其与石油成因有关联，最为石油地质学家所重视。V/Ni 比值可做为区分是来自海相环境还是陆相环境沉积物的标志之一。一般 $V/Ni > 1$ 被认为是海相环境， $V/Ni < 1$ 为陆相环境。

4、石油的化合物组成，归纳起来有两大类，既烃类和非烃类，其中烃类是主要的，这与元素组成以 C、H 占绝对优势相一致。

5、在化学上，烃类可以分为两大类：饱和烃或烷烃或石蜡烃（链烷烃及环烷烃）和不饱和烃--烯烃、芳香烃和环烷-芳香烃。

6、在石油中饱和烃在数量上占大多数，一般占石油所有组分的 50-60%。可细分为正构烷烃、异构烷烃和环烷烃。

7、尽管正构烷烃的分布曲线形态各异，但均呈一条连续的曲线，且奇碳数与偶碳数烃的含量总数近于相等。根据主峰碳数的位置和形态，可将正烷烃分布曲线分为三种基本类型：①主峰碳小于 C15，且主峰区较窄；②主峰碳大于 C25，主峰区较宽；③主峰区在 C15-C25 之间，主峰区宽。

8、石油中的不饱和烃主要是芳香烃和环烷-芳香烃，平均占原油重量的 20-45%。此外原油中偶可见有直链烯烃。烯烃及不饱和环烃，因其极不稳定，故很少见。

9、石油中已鉴定出的芳香烃，根据其结构不同可以分为单环、多环和稠环三类，而每个类型的主要分子常常不是母体，而是烷基衍生物。单环芳烃包括苯、甲苯、二甲苯等。多环芳烃有联苯、三苯甲烷等。稠环芳烃包括萘（二环稠合），蒽和菲（三环稠合）以及苯并蒽和屈（四环稠合）。

10、石油中的非烃化合物主要包括：含硫化合物、含氮化合物和含氧化合物。

11、石油中轻馏分包括石油气(醚)、汽油；中馏分包括煤油、柴油、重瓦斯油；重馏分包括润滑油、渣油。

12、聚集型天然气可以是气藏气、气顶气和凝析气。

13、分散性天然气包括油溶气、水溶气、煤层气、致密地层气和固态气水合物。

4、天然气的烃类组成一般以甲烷为主，重烃气次之。重烃气以 C₂H₆ 和 C₃H₈ 最为常见；>C₄ 者较少见。在多数情况下，含量随碳数增加而减少；但在有的气藏中也可见 C₃H₈ 和 C₄H₁₀ 异常高的现象。重烃气中 C₄-C₇ 除正构烷烃外，有时还有少到微量环烷烃和芳烃。

15、天然气的非烃组成有：二氧化碳(CO₂)、氮气(N₂)、硫化氢(H₂S)、氢气(H₂)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)、汞蒸汽(Hg)、稀有(惰性)气体。

16、原油碳同位素的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(PDB, 下同)一般为-22‰到-33‰之间, 平均-25‰到-26‰。前已提及, 海相原油的 $\delta^{13}\text{C}$ 值要高些, 大致在-27‰到-22‰; 陆相原油的 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏低, 一般为-29‰到-33‰。原油的 $\delta^{13}\text{C}$ 值有随年代变老显示轻微降低的趋势, 即年代较老的原油略显相对富 ¹²C, $\delta^{13}\text{C}$ 值相对低些。

17、油田水的产状主要有吸附水、自由水、毛细管水。根据油气水的关系又分为底水、边水。在油气田范围内的非油(气)层水, 可据它们与油(气)层的相对位置, 分别称为上层水、夹层水和下层水。

18、油田水的主要来源有沉积水、渗入水、深成水和成岩水。

19、苏林以 Na⁺/Cl⁻、(Na⁺-Cl⁻)/SO₄²⁻和(Cl⁻-Na⁺)/Mg²⁺这三个成因系数, 将天然水划分成四个基本类型, 即: 硫酸钠型、重碳酸钠型、氯化镁型和氯化钠型。

20、水是极性化合物, 纯水是不导电的。油田水因含各种离子, 能够导电, 水中含离子越多, 导电性越强。

二、技能训练

划分氯化钙型水的根据是水中 D

三、综合思考

1. 指出这两种烷烃为异戊间二烯型烷烃

画出其化学结构图

指出其判断油源的作用。

2. 指出分类原则和采用的方法

画出三角图解和分类表

举例说明三角图解的应用。

3. 石油类型差别

含蜡量

含硫量

微量元素差异

稳定同位素分布.

4. 液态石油的比重,在我国和前苏联是指在 101325Pa 下, 20°C (或 15.5°C) 石油与 4°C 纯水单位体积的重量比。欧、美各国则是用 101325Pa 下, 60F (15.55°C) 石油与 4°C 纯水单位体积的重量比, 通常称之为 API 度。在国际石油贸易中常以 API 度为单位。API 度与 60F 石油比重的关系可用下式换算: $API \text{ 度} = 141.5 / 60F \text{ 时比重} - 131.5$

5. 1) 石油的比重主要取决于化学组成。

2) 比重随碳数增加而增大, 碳数相同的烃类, 烷烃比重小些, 环烷烃居中, 芳烃比重较大。与胶质、沥青质相比, 烃类较之为小。

3) 密度是单位体积物质的质量。密度单位形式上与比重差别不大, 一般用 g/ml 或 g/cm³。密度与物质本身的成分和体积变化相关。

4) 液体石油的体积, 在常压下随温度升高而增大。温度每增加 1°F, 单位体积所增加的体积数称为膨胀系数。它不是一个固定的常数, 而是随比重减小而增大。

5) 压力对石油的体积也有影响, 随压力增大体积将因被压缩而减小。压力每增加 101325Pa, 单位体积被压缩的体积数称为压缩系数。压缩系数也不是一个常数。

6. 温度和压力是影响石油体积的两个主要因素。考虑原油是气、液、固三相物质的混合物, 以液态烃为主体的石油中含有不同数量的溶解气态烃、固态烃及非烃, 实际上, 在地下油气藏中, 温度和压力还不仅影响石油的体积, 同时还影响到石油本身的物质组成, 从而影响其质量。一方面, 温度的增加有使溶解气逸出液态石油的趋势; 另一方面, 压力的增加, 将使原油中溶解气量增加。在地下油气藏中, 温、压同时增加, 而压力增加使溶解气增加的效应远大于温度增加使溶解气逸出的效应; 与此同时, 溶解气量增加引起体积增加的效应, 远远超过随压力增加而使体积减小的效应。因此出现压力增加体积不是缩小而是增大, 直至达到饱和压力为止。

由此可见, 地下石油的密不仅与温度压力有关, 还与溶解气量有关, 且后者才是影响石油密度的本质因素。溶解气量增加则密度降低。地表和地下温、压条件不同, 不仅影响石油体积, 更主要的是由于溶解气量的差异, 导致石油物质组成的差异, 实质上是改变了石油的质量。地下石油含有较多的溶解气, 是地下石油密度较地表石油密度低的根本原因。

7. 1) 石油能溶于多种有机溶剂。如氯仿、四氯化碳、苯、醚等。

2)石油在水中的溶解度一般很低，通常随分子量的增加很快变小，但随不同烃类化学性质的差异而有很大的差别。其中芳烃的溶解度最大，可达数百到上千 PPm；环烷烃次之，一般为 14-150PPm；烷烃最低，仅几个到几十个 PPm。在碳数相同时，一般芳香烃的溶解度大于链烷。如已烷、环已烷和苯分别为 9.5、60 和 1,750mg/l，差别是非常明显的。苯和甲苯是溶解度最大的液态烃。

3)当压力不变时，烃在水中的溶解度随温度升高而变大。芳香烃更明显。但随含盐度和压力的增大而变小 (McAULIFFE, 1979)。当水中饱和 CO₂ 和烃气时，石油的溶解度将明显增加。

8. 石油在紫外光照射下可产生发荧光的特性称为萤光性。石油中只有不饱和烃及其衍生物具有萤光性。这是因为它们能吸收紫外光中波长较短、能量较高的光子，随后放出波长较长而能量较低的光子，产生萤光。萤光性可能与存在双键有关。

萤光色随不饱和烃及含双键的非烃浓度和分子量增加而加深。芳烃呈天蓝色，胶质为黄色，沥青质为褐色。

用石油具有萤光性，可以用紫外灯鉴定岩石中微量石油和沥青类物质的存在。

9. 大多数石油都具有旋光性，即石油能使偏振光的振动面旋转一定角度的性能。石油的旋光角一般是几分之一度到几度之间。绝大多数石油的旋光角是使偏振面向右旋转而成，仅有少数为左旋。石油的旋光性主要与组成石油的化合物结构上存在不对称碳原子（又称手征碳原子或手征中心）有关。

通常存在手征碳原子的甾、萜类化合物是典型的生物成因标志化合物。因素旋光性可以作为石油有机成因的重要证据之一。

10 1)天然气的烃类组成一般以甲烷为主，重烃气次之。重烃气以 C₂H₆ 和 C₃H₈ 最为常见；>C₄ 者较少见。在多数情况下，含量随碳数增加而减少；但在有的气藏中也可见 C₃H₈ 和 C₄H₁₀ 异常高的现象。重烃气中 C₄-C₇ 除正构烷烃外，有时还有少到微量环烷烃和芳烃。

2)天然气的烃类组成变化很大。

3)影响天然气烃类组成的因素很多，成气原始有机质类型、成气演化阶段、产状类型、保存条件以及次生变化等都能影响其烃类组成。但从统计的角度来看，纯气藏的重烃气含量一般较低，石油伴生气的重烃气含量相对较高，凝析气居中。

11. 一般常根据重烃气的含量将天然气划分为湿气和干气。但不同学者所用的参数、量值及具体的划分方案不尽相同。在天然气地质学上常用重烃气含量 5%作为划分干气和湿气的界限，C₂+≥5%称为湿气，C₂+<5%称为干气。

12. 1) 纯物质的临界温度系指气相物质能（通过加压）维持液相的最高温度。高于临界温度时，无论加多大压力，都不能使气态物质变为液态。在临界温度时，气态物质液化所需要的最低压力称为临界压力。高于临界压力时，无论多少温度，气、液两相不可能共存。这种临界状态只适用于纯物质，而不适于多组分系统。

对于各烃类组分来说，甲烷的临界温度为 -82.57°C ，乙烷为 32.37°C 。因此它们在地下除溶于石油和水或形成气水合物之外，均以气相存在。丙烷临界温度为 96.67°C ，在低于该温度时，在适当的压力下即可液化。因此丙烷及碳数更高的烷烃，在地下大多以液相存在，仅有少量与甲烷、乙烷呈气态或溶于石油或溶于水（数量更少）存在。

2) 从 PTV 关系曲线图、烃类混合物及多组分相图加以说明。

13. 气体扩散按引起扩散的主导因素可分为浓度扩散和温度扩散。按扩散介质可分为气体在气体中扩散（自由扩散）、气体在液体中扩散和气体在固体（岩石）中扩散。

浓度扩散是由物质的浓度差而引起，气体由高浓度处向低浓度方向流动，分子的相互运动趋向于拉平相互接触的容器内物质的浓度。随着温度升高，分子的热运动加速，扩散加快。浓度扩散遵循菲克第一定律，在非均匀介质中，在固定运动条件下有下列关系式：

$$dn/dt = -D'A dc'/dx$$

式中 dn --在 x 增加方向上浓度梯度为 c' 时，单位时间 dt 内通过截面积 A 的分子数（横截面积上的位移速度，单位为克分子/秒）； c' --单位体积内的分子浓度，克分子/厘米³； D' --扩散系数，厘米²/秒。

气体在液体中的扩散，从气体在液体表层溶解（吸收作用）开始，然后由于在各液体层中存在气体浓度差而进一步扩散。一般随分子量和分子大小的增加而减小，随压力和温度的升高而增大。

气体在岩石中的扩散比在自由空间进行得慢，也比在水中进行得慢。与自由空间扩散相比，在砂中较之慢 2-3 倍，在砂岩中慢 9-14 倍，在致密砂岩中要慢 100 倍。

在泥岩中（在约 70°C 以前），由于泥岩的强大吸着能力致使扩散作用复杂化。在此情况下，吸着膜将减少岩石中由游离水构成的岩石截面积，气体通过吸着膜的扩散近似于通过固体的扩散。

气体通过没有孔隙的岩石（矿物质）的扩散比通过孔隙岩石小 10-100 倍，但随着气体的温度和压力升高，扩散速度将大大加快。

热扩散（温度扩散）是由于存在温度差而产生，热扩散使轻分子或小分子气体趋向于在高温区集中，而重分子或大分子气体在低温区聚集。

天然气的扩散不可小视，扩散可使气田中的气大量散失。在漫长的地质历史中，甚至可使整个气藏消失。

14. 1)组成成分上的差别

总体上看，天然气和石油都是产出于地下岩石孔隙中的以烃类为主体的可燃有机矿产成分都可分为烃类和非烃两大类，且均以烃类为主。因此从组成成分的大类上看，二者是相似的。

但恰恰是在组成成分的主体部分，天然气与石油存在着显著的差别。众所周知，烃类是一大类有机物质的总称，其成员众多，结构复杂。天然气中仅包含少数几个最简单的成员，主要是甲、乙、丙、丁烷，戊烷以上所占比例甚微。总的趋势是随碳数的增加，其所占比例显著降低。石油则不同，石油几乎囊括了烃类的所有成员，至少是大部分成员。

此外在次要组分非烃成分上差别更为显著，天然气中非烃成分主要是 CO₂、H₂S 和 N₂。显然无论从分子量还是分子结构上与石油中含 O、S、N 及其它杂元素的非烃有机化合物相比较，前者都要简单得多。

分子量和分子结构的差别表现在分子大小上的差别。

2)物理性质上的差别

首先是相态的差别。天然气是单一气相，或以气相为主‘溶’有少量液态烃；而石油是液相为主的气、液、固三相混合物。由此而导致密度、粘度、溶解度、压缩性、吸附性和扩散性等物理性质上的差别。密度、粘度和吸附性，天然气远小于石油；压缩性、扩散性和溶解度则天然气远大于石油。

15. 1)碳同位素在油气来源、海陆相区别、生成温度等方面的应用；

2)无机气和有机气的区别；

3)气的氢同位素特征和气体成因；

4)硫、氮、氧同位素的初步应用。

16. 一.无机组成

1) 常用 Na⁺(包括 K⁺)、Ca²⁺、Mg²⁺和 Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻(包括 CO₃²⁻)这 6 种阳、阴离子代表大量无机组成。其含量则可用重量法、当量法和当量百分比法来表示。三种表示方法的关系如下：

毫克当量 (毫克当量/升) = 重量数 (mg/l) / 当量值

毫克当量百分数 = 毫克当量数 (某离子) / 全部阴、阳离子的毫克当量数，表 1-20 为同一分析数据用三种方法表示的计算结果。

2) 含硫化氢而贫硫酸盐是油田水的特点之一。虽然水中无或很少硫酸盐而又含有大量 H₂S 时被认为是油田水的标志之一，但当水中无或很少 H₂S 而又有大量硫酸盐时，却不能断定其不是油田水，还必需结合其它条件加以综合分析。

3) 油田水中微量元素主要有碘、溴、硼、锶等，其中碘、溴、硼、及铵含量较高是油田水的又一特征。

4) 油田水中的碘可能来源于原始有机物质，特别是藻类。溴和硼含量高指示地下水几近停滞，有利于油气保存。

铵是原始有机质分解的产物，化学性质不稳定，易转变为氨及其它化合物。所以铵的存在进一步表明地下为还原环境，有利于油气保存。

5) 田水中还可有锶、钡等元素，但并非所有油田水都有。总之，油田水中微量元素的存在有助于对与油气有关的沉积、成岩环境及油气保存条件的研究。

二.有机组成

1) 油田水中常见的有机组分有烃类、酚和有机酸。一般油田水中常含有溶解的烃类气体，包括甲烷和重烃，尤其是重烃的存在往往表明与地下油气藏有关。重烃含量的多少则与距离油气藏的远近有关。一般非油田水中常只含少量甲烷。

2) 油层水中苯系化合物含量高，一般可达 0.03-1.58mg/l，最高可达 5-6mg/l，且甲苯/苯大于 1；非油层水中苯系化合物含量低，且甲苯/苯小于 1。

酚在油层水中含量也比较高，一般大于 0.1mg/l，最高可达 10-15mg/l，且以邻甲酚和甲酚为主；非油层水的含量低，且以苯酚为主。图 1-23 是前苏联某凝析气田的产层和非产层水中苯、酚含量分布对比图。

油田水中还常含数量不等的环烷酸、脂肪酸和氨基酸等。其中环烷酸是石油环烷烃的衍生物，常可作为找油的重要水化学标志。环烷酸的含量与距离油藏的远近有关，越近含量越高。此外，环烷酸的含量还与水型有关，它最容易富集在碱性的重碳酸钠型水中，而氯化钙型和氯化镁水中很少或没有环烷酸。这是因为环烷酸钠盐在水中的溶解度大，而环烷酸钙盐在水中难于溶解。故不能认为不含环烷酸的水就不是油田水，须结合水型分析。

三.矿化度

所谓矿化度是指单位体积水中所含各种离子、分子和化合物的总量，通常叫做水的总矿化度。总矿化度可用干涸残渣（将水加热至 105℃，水蒸发后剩下的残渣）重量或离子总量来表示，单位为 mg/l (ppm)、g/l 或毫克当量/升。

天然水可根据矿化度分为淡水（矿化度 < 1,000ppm），微咸水(1,000-3,000ppm)，咸水

(3,000-10,000ppm), 盐水(10,000-50,000ppm)和卤水(>50,000ppm)。地表的河水和湖水大多是淡水,其矿化度一般为几百 ppm。海水的总矿化度较高,可达 35,000ppm。与油气有关的水一般都以具有高矿化度为特征,这是由于油田水埋藏于地下深处,长期处于停滞状态,缺乏循环交替所致。

但无论海相还是陆相都存在有相对低矿化度的油田水,甚至出现相反的情况。

四、创新引导

1. 本题主要要求学生对本章的内容作一概括,能够系统掌握石油与天然气的化学组成、物理性质、分类、稳定同位素分布、区别(差异及判断方法手段),以及与之紧密相关的油田水的性质和类型及其判断油气田类型方面的作用。

2. 本题主要要求学生对本章的内容作一概括,能够系统掌握石油与天然气的化学组成、物理性质、分类、稳定同位素分布、区别(差异及判断方法手段),以及与之紧密相关的油田水的性质和类型及其判断油气田类型方面的作用。

3. 油田水一节中已给出了 2 种油气藏类型,从沉积学、构造地质学角度考虑,还可能有哪些构造或非构造的地质体可赋存油气? 这种思考对后面知识的学习是有利的。

油气成因与烃源岩

复习与思考

一、知识积累

1. 生物物质的生化组分包括脂类化合物、碳水化合物、蛋白质、木质素。
2. 脂肪酸只要经过去羧基、加氢就可得到烃类。

碳水化合物被氢还原后可以得到烃类。但碳水化合物大多易被喜氧细菌所消耗或者被分解成水溶物质,难于保存下来,这在相当程度上降低了它的成烃价值。在地质体中也不存在它们的原型。

蛋白质只要经过去羧基和去氨基后就可以形成烃类。

木质素仅存在于高等植物中,具有比纤维素更强的抗腐能力,还有丰富的芳环结构。它们主要是成煤的重要母质,也可生成天然气。

3. 沉积岩中的有机质,依据其可溶性可分为两部分:通常将岩石中不溶于有机溶剂或碱性溶剂的有机组分定义为干酪根;而可溶于上述溶剂的有机组分称为沥青。

4. I 型干酪根: H/C 原子比高, O/C 原子比低,以链状结构较多为特征。富含脂类化

合物，只含少量多环芳香烃和含氧官能团，主要来源于水生低等浮游生物，生烃潜力大。

III型干酪根：H/C 原子比低，O/C 原子比高，以芳香结构多为特征。主要来源于富含木质素和碳水化合物的陆生高等植物，多为异地有机质。生油潜力小，但可生成天然气。

II型干酪根：H/C 和 O/C 原子比介于上述二类之间，属混合型或过渡型干酪根。其生烃潜力视其接近 I 型或是接近III型而异。

5. 促使有机质演化的因素主要有细菌、温度、时间、和催化剂以及放射性物质、压力等。

6. 有机质演滑可分为成岩作用阶段（未成熟阶段）、深成作用阶段（成熟阶段）、准变质作用阶段（过熟阶段）。

7. 晚期成油说的证据主要来自地球化学方面，而早期成油理论则是建立在地质证据的基础上。

8. 油气的壳-幔深部成因与板块构造旋回各个演化阶段所形成的六种板块构造活动沉降带及其深部的岩石圈断裂带系统息息相关。

9. 一般说来，腐泥型（I型）干酪根主要来源于水生低等浮游生物的残体，富含烷族结构，是主要的成油有机质；而腐植型（III型）干酪根富含芳环结构，是成气为主的有机质。

10. 天然气的成因类型主要有生物成因气、油型气、煤型气和无机成因气。

11. 烃源岩包括油源岩、气源岩和油气源岩，习惯上通常叫作生油岩

12. 并非有机碳含量越高的生油岩越好。因为生油量的大小还取决于有机质向石油的转化，所以还需结合氯仿抽提物及总烃含量才能正确评价生油岩的有机质数量。

13. 氯仿抽提物是对岩样用氯仿作溶剂在索氏抽提器内连续抽提一定时间所获得的可溶有机质总量。也称氯仿沥青'A'或 C15+抽提物，常用单位重量岩石百分数或 ppm 表示。氯仿抽提物由饱和烃、芳烃、非烃和沥青质组成。

14. 热解是通过加热使一种化合物转变为另一种化合物的过程。高温热解可使不挥发的高分子聚合物(如生油岩中的干酪根)加热裂解为挥发性产物(烃类等)，岩样热解(图 2-39)所得到的游离烃(S1)、裂解烃(S2)之和，即热解总烃产率，通常用毫克烃/克岩石或千克烃/吨岩石表示。

15. 在煤岩组成中，镜质组比其它任何微观结构物质（壳质组、惰性组等）要丰富。镜质组包括有结构镜煤体和无结构腐植体，这两种物质的反射率大致相同，而且其成熟速度也相同。但与壳质组和惰性组的成熟度有所差异。因此测定反射率必须在镜煤组上进行，反映成熟度才具有一致性。

16. 随着生油岩成熟度的增高, 生成的油气越来越多, 导致可溶烃 (残余油气或吸附烃) S1 逐渐增多, 而热解烃 S2 却逐渐减少, 因而可以用热解峰顶温度 (T_{max})、产率指数 (I_p=S1/S1+S2)、氢指数 (IH) 和氧指数 (IO) 的变化来研究生油岩的成熟度。

17. 干酪根的成熟演化阶段也可借助于干酪根元素组成, 即 H/C 和 O/C 原子比及红外光谱特征予以确定。

18. 古代沉积和原油中高分子量范围的奇碳原子正烷烃与偶碳原子正烷烃的分布有着明显的不同, 现代沉积物中奇碳正烷烃远大于偶碳正烷烃; 古代沉积物中奇碳正烷烃略大于偶碳正烷烃; 而石油中两者几乎相等。据此用碳优势指数 (CPI) 来表示奇碳与偶碳正烷烃的相对含量, 并用于鉴定生油岩的有机质成熟度。

19. 石油中的钒、镍含量有随石油的比重增加而增长的趋势。钒的含量通常多于镍, 但陆相油却是镍多于钒。

20. V/Ni、生物标记化合物、碳同位素作对比参数普遍受到重视。因为它们既为母岩与油气共有, 又具有相对的稳定性。

二、是非判断 (举例)

1. 石油中钒、镍元素的绝对含量可能随风化、运移过程而变化, 但二者比值显现有规律的变化, 因而可以作为油气运移的标志。 (✓)

2. 油气苗是常见的油气显示, 在从未发现过油气苗的地区找到油气藏的前景相当悲观。 (×)

三、综合思考

- 1) 90%以上的油气产于沉积岩;
- 2) 生物标记化合物的结构为生物物质所特有;
- 3) 石油元素组成和微量元素组成与有机物质相似;
- 4) 石油所具的旋光性是生物物质的特性;
- 5) 实验可从有机质中获得烃类。

2. 1) 沉积有机质是沉积物的一部分 (尽管所占比例很小), 也是它所寄存的地质体的一部分, 所以沉积有机质也叫做地质有机质。其中既包括生物的遗体, 也包括生物生命过程中的排泄物和分泌物。生物死亡后其遗体将受到化学分解和细菌分解, 大部分以气态或成为水溶成分而逸散掉; 还有部分则被生物所吞食; 最后真正进入沉积物中去的只是很少的一部分。

2)从生物物质的发源地来说,沉积有机质有来源于水盆地本身的所谓原地有机质,这是普遍存在的部分,也是最主要的部分;还有来自自由河流和径流从周围陆地携带来的异地有机质。

3)冰川和风也是异地有机质的搬运营力,如许多孢子花粉要借风传播,人们曾在远离海岸的大西洋上空大气中见有植物成分的有形质点。但对风和冰川为沉积有机质所做的贡献,目前尚缺乏可信的定量评价。

3.1)喜氧细菌使有机质分解;厌氧细菌使有机质菌解的主要游离产物为 CH_4 、 CO_2 、 H_2S 、 H_2O 以及铵和磷酸盐离子。沉积有机质经细菌作用后,以气态和溶解态移走氮、硫、氧和磷等杂原子的有机质,使其碳、氢相对富集,从而在整体上成为更接近于石油样的物质;

2)说明地温梯度;烃类物质和抽提物随温度增加而增加;阐明门限温度和门限深度;

3)说明时间-温度的互补关系。

4)催化剂在干酪根成烃反应中的作用主要是降低反应所需的活化能,从而增加活化分子的百分率,以产生增加反应产物的效应;

5)放射性元素\压力\岩浆热\构造热等的作用;

在上述因素中,对有机质演化成烃最主要的因素是温度和时间,次为催化剂,细菌只在有机质演化的早期阶段起重要作用,其它因素仅起很有限的辅助作用或仅对局部有一定意义。

4. 一.成岩作用阶段--未成熟阶段

从沉积作用使沉积有机质进入埋藏状态开始,直至达到门限深度为止。有机质将要受到细菌作用、水解作用和酶催化作用,从而使原来的脂肪、蛋白质、碳水化合物、木质素以及核酸等生物化学聚合物转化成为分子量较低的脂肪酸、氨基酸、糖、酚等生物化学单体物质。同时产出 CO_2 、 CH_4 、 NH_3 、 H_2S 和 H_2O 等简单分子。生化单体物有些不再反应或成为沥青;而大部分将重新聚合成为腐植酸、富啡酸和腐植素之类的腐植质物质。这种复杂的高分子地质聚合物大多不再被细菌做为食料,并且由于与周围矿物相络合,可比较稳定地保存下来。只是在催化作用下才发生一定的反应。这种高分子地质聚合物就是沉积岩中干酪根的前身。保存在沉积物中的有机质,随着埋藏深度的加大,沉积物固结成岩,在缺氧环境下经历了复杂的分解和缩合作用,完成了从生物有机质到干酪根的转化阶段此阶段为有机质的早期转化阶段,与有机质改造和转化有关的生物化学作用主要有两种:一是细菌对有机质的分解作用,二是酵素的催化作用。

二.深成作用阶段--成熟阶段

随着埋藏加深，地温逐步升高。有机质将进入热催化转化阶段。这一阶段温度的作用显著，通常伴有粘土催化作用；对于埋藏较浅或地温梯度较低地区时代较老的地层中的有机质来说，可有较明显的时间因素的补偿作用。先期为地质聚合物的干酪根继续向较低分子的地质单体物质转化。在增高的温度作用下，干酪根的演化主要是其中的各种键依次断裂。先断开的是杂原子键，如 C-O、C-S 等，接着是 C-C 键。这些键断开的结果，生成 H₂O、CO₂、CH₄、N₂、NH₃ 和 H₂S 等挥发性物质，以及分子量比干酪根小的可溶于有机溶剂的有机物（包括烃类），简称可溶有机质。深成阶段是主要的生油阶段。这个阶段也可以说是石油成因现代概念的核心。据估计，石油中大约 80-95%的烃是在此阶段生成的。该阶段的中期是干酪根生油的高峰期；此阶段的晚期随着温度进一步升高，热催化优势逐渐转变为热裂解优势，主要形成凝析油和湿气。

三.准变质作用阶段--过成熟阶段

准变质或预变质作用是深成作用向变质作用的过渡。随着埋藏深度的进一步加深，在较高温度的作用下，有机质的热裂解反应迅速进行。由于氢的消耗，干酪根的 H/C 原子比已降得很低，生油潜力逐渐枯竭。据估计，干酪根 H/C 原子比降低到 0.45，无液态烃生成；降低至 0.3，则已接近甲烷生成的最低限。后成阶段中即使是已经生成的液态烃和重烃气也将裂解成热力学上更稳定的甲烷。有机质释放出甲烷之后其本身进一步聚缩，最终将成为石墨。

5. 1)有利油气生成的地质环境必须既要有利于有机质的生产和保存，又要有利于有机质的埋藏和转化。

2)盆地中有大量生物的繁殖，以作为有机质供给之源泉；丰富的有机质堆积和保存是油气生成的重要前提，需要相对宁静的沉积水体和较为稳定的还原环境。一般说来，浅海盆地和具有一定深度的内陆湖泊，是上述条件可能得以兼备的较为理想的古地理环境。

3)前三角洲、泻湖、海湾及其它带有封闭性质的拗陷区，是最有利的海域古地理环境。此外近些年来有人发现，某些陆坡部分也有相当丰富的有机质沉积，这是值得注意的新情况。

4)内陆湖泊有着更加良好的天然封闭条件和更加丰富的物质供给，在一定条件下，沉积物中有机质的相对含量更高。我国已知的油田绝大多数都是陆相条件下形成的。陆相生烃与海相生烃只在特色上有异，而无本质上的差别。

5)潮湿气候下可以造成有利的生烃环境，干燥或半干燥气候条件在一定时期内仍具有生成油气的可能性。

6)长期持续稳定下沉的大地构造背景；

6. 地质依据:

- 1)早期圈闭控制了石油的分布。
- 2)储层在油气藏内外成岩作用演化的差异。
- 3)油-水界面的变形。
- 4)未成熟的重油和'焦油'与早期排烃的证据。

成油机理:

1)最重要的问题是如何区别油藏中成熟作用形成的石油与来自生油岩的成熟石油。

2)如果用生物成因石油的早期生成的富集来解释石油的成因,那么储集层与上覆缺氧环境形成的沉积盖层的界面处,就是厌氧细菌大量繁殖的重要场所。在沉积物压实作用早期阶段,细菌会在上覆沉积物排出的富含有机质的流体中繁殖。微生物有机作用中主要是细菌在这种流体中繁殖,使有机质转变为原生石油,这种原生石油主要是细菌体壳形成的。细菌是原始石油和未成熟石油形成过程的主要营力,而不是对油藏破坏的生物降解作用的主要营力。由微生物转化来的未成熟烃类会被甲烷带走,并富集于准同生斯形成的圈闭之中。

7. 1)早在十九世纪所进行的一系列化学试验表明,通过无机途径(如金属碳化物与水作用)可以形成一定数量的烃类。

- 2)火山喷出的气体和熔岩流含有烃类。
- 3)石油的分布常受断达上地幔的深断裂控制。深断裂正是烃类向上运移最好的途径。
- 4)许多天体上存在有烃类。
- 5)石油中的旋光性可以由非旋光物质合成。
- 6)生命起源于烃类。
- 7)有机说难以解释数量巨大的石油聚集。

许多学者通过研究后认为,外部氢源在烃类形成过程中起着非常重要的作用,是促使油气形成的重要因素之一。

在自然界,氢的来源有多种,有原生的,有岩浆作用成因的,有变质成因的,有辐射作用以及构造作用成因的等等。

我国石油地质界学者张恺也积极主张油气成因二元论,认为板块构造理论能令人信服地阐明两种成因的油气都是自然界的客观产物,能把两者的成因机理在板块构造理论的基础上统一起来。并创立了板块构造旋回与油气壳-幔深部成因说。

8. 1)有机质未成熟的成岩阶段早期,有机质演化生气明显以细菌降解作用占优势,称之为生物成因气期;晚期随埋深增加而温度渐升,有机质演化的微生物作用趋于减弱,伴之以

低温降解生气作用逐渐增强并呈取代之势，逐步向热催化降解作用过渡，这是伴随沉积物的固结成岩作用加强而发生的，故称之为成岩气期。

2)有机质成熟的深成作用阶段早中期，埋藏进入生油门限温度，在温度为主辅以催化剂的作用下，有机质演化以生油为主，生气为辅，通常称为主生油期，尤以中期为生油高峰期；晚期随着埋藏深度的加深，在较高温度作用下，有机质演化由生油为主、生气为辅逐渐转为以生气为主、生油为辅，此期产气重烃含量较高，通常称为湿气期。

3)进入过成熟的准变质作用阶段，在更高温度的作用下，有机质演化产气以甲烷为主，先期生成的石油都要裂解为气烃甚至于全部甲烷化。

9. 1)有机碳含量及其标准

2)抽提物含量及其标准

3)岩石高温热解总烃产率（S1+S2）来表示有机质丰度及其标准。

10. 1)有机质类型即 I、II、III、IV型干酪根，主要是根据元素分析（即化学方法）来确定。此外，干酪根的镜下观察、红外光谱、X 光衍射等都可作为定型的辅助手段。

2)参见表 2-35。

各种干酪根的特征		海相或湖相成因的	陆相成因的		
		I、II型	III型		
		絮质的	草质的	木质的	煤质的
元素组成百分数	碳	83	82	83	89
	氢	11	8	5	3.5
	氧	6	10	12	7.5
氢碳原子比		1.6	1.2	0.7	0.47
生物标志化合物	$nC_{15}-nC_{21}$	奇碳优势	无		
	$nC_{27}-nC_{35}$	无	奇碳优势		
	姥鲛烷/植烷	低(<1)	高(>1)		
	姥鲛烷/ nC_{17}	低	高		
	三萜烷	低	高		

脂肪酸	C ₁₂ -C ₁₈	高	低
	C ₂₁ -C ₃₆	低	高
烃产量	C ₁	高	中等
	C ₂ -C ₁₄	高	低
	C ₁₅	高	低

(据 J.M.Hunt,1979)

11. 1)镜煤反射率 (RO)

镜煤反射率的测定,是将样品磨光后在显微镜反射光下进行测量。这是目前确定煤化作用阶段的最佳参数之一。已扩大应用于页岩和其它岩石中的分散有机质(干酪根)。

2)孢粉和干酪根的颜色

在显微镜透射光下,孢子、花粉及其它微化石结构,随成熟作用的增强而显示不同颜色。最初是黄色,然后是桔黄色或褐黄色(成岩作用阶段),褐色(深成作用阶段),最后是黑色(准变质作用阶段)。

3) 直接根据干酪根的颜色变化估测其成熟度,这一技术比较简单、快速。

4)使用热解方法测定成熟度

随着生油岩成熟度的增高,生成的油气越来越多,导致可溶烃(残余油气或吸附烃) S1 逐渐增多,而热解烃 S2 却逐渐减少,因而可以用热解峰顶温度(Tmax)、产率指数(Ip=S1/S1+S2)、氢指数(IH)和氧指数(IO)的变化来研究生油岩的成熟度。

5)用干酪根元素组成和红外光谱研究生油岩有机质的成熟度

干酪根的成熟演化阶段也可借助于干酪根元素组成,即 H/C 和 O/C 原子比及红外光谱特征予以确定。从图 2-45 可以看出,在成岩作用阶段是 O/C 原子比明显降低和 H/C 原子比微弱降低;在红外光谱图上,则主要表现为含氧官能团(C=O)逐渐消失(1770cm⁻¹ 吸收峰从①到②、③减弱)。深成作用阶段,以 II 型干酪根来说, H/C 原子比从 1.25 降到 0.5, O/C 原子比降到 0.05;红外光谱的特征是,脂键逐渐减少(2960cm⁻¹, 1460cm⁻¹, 1380cm⁻¹ 吸收峰减弱),芳核-CH 的吸收峰从 930cm⁻¹ 移到 700cm⁻¹。对于 II 型干酪根,当 H/C 原子比≤0.5 时,即到达干酪根准变质作用阶段,这时脂键和 C=O 键完全消失,只剩下芳核 C=O 键。

6)使用 C2-C7 轻烃组成判断生油岩有机质的成熟度

C2-C7 是干酪根热降解产物，而不是生物合成的，因为在生物体内和现代沉积物中很少见到这类轻烃。经研究，C2-C7 的组成与温度有一定的函数关系，这有助于确定生油岩有机质的成熟阶段。汤普森（K.F.M.Thompson, 1979）从不同成熟阶段母岩有机质中共分离出 29 种 C2-C7 范围的化合物。

7)用碳优势指数（CPI）来表示奇碳与偶碳正烷烃的相对含量，并用于鉴定生油岩的有机质成熟度。

由于原油中 CPI 值在 0.9-1.15 之间，因此认为只要沉积岩的 CPI 值接近这个范围就是成熟的生油岩；而且 CPI 值越接近于 1 的附近越成熟。CPI 值曾被认为是鉴定生油岩的一把钥匙。但应用中也遇到某些样品碳数范围比较窄，正烷烃出不到 nC34 或含量太低，计算误差大。

8)奇碳优势（OEP）由斯凯兰和史密斯（Scalem and Smith, 1970）提出，也用于表示奇、偶碳原子正烷烃的相对优势。

碳数的选择一般用主峰碳及前后的各两个正烷烃，共 5 个组分计算。式中 $i+2$ 为主峰碳数， i 为最低碳数。若 $i+1$ 为偶数，则指数为 (+1)，公式不变；若 $i+1$ 为奇数，则指数为 (-1)，计算时分子、分母倒置。

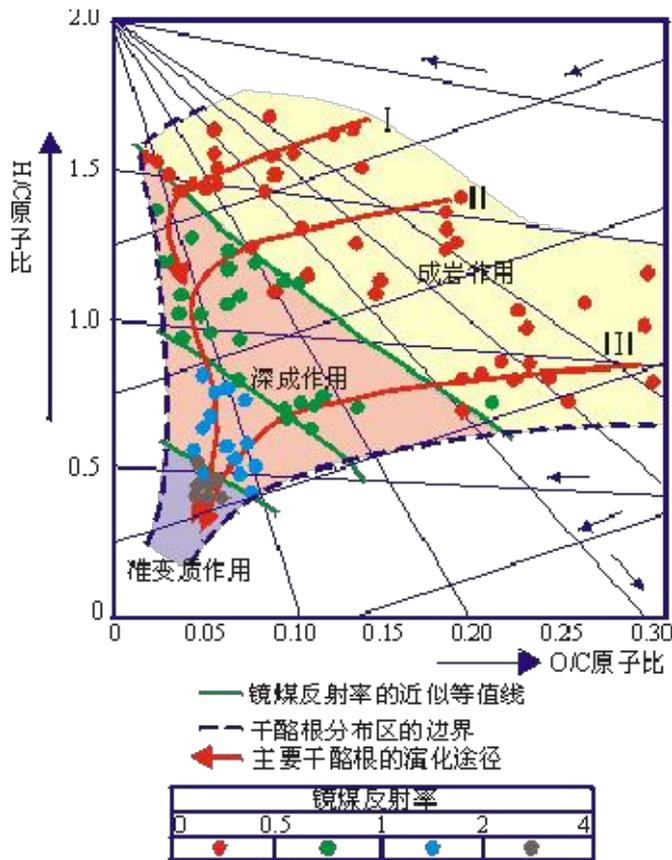
现代沉积物中正烷烃的 OEP 值高达 2.5-5.5，而古代沉积岩中一般在 0.9-2.4，原油 0.8-1.2 之间。因此，一般生油岩当其 OEP 值约为 1.0-1.2 时即已成熟；大于 1.2 为不成熟；小于 1.0 即出现偶奇优势并伴随植烷优势，可能与盐湖或海相碳酸盐有关；碳质泥岩 OEP 值高，主要是生油速度慢和烃转化效率低所致。

9)饱和烃的环数

随着埋深的增加，C15+饱和烃中的环烷烃从以三环、四环为主，变成以单环、双环为主。

10)异戊间二烯型化合物

随埋藏深度的增加，干酪根热降解形成的新生烃类，使直接或稍经变化而来自生物分子受到稀释，象植烷（Ph）、姥鲛烷(Pr)、甾烷和藿烷等，与其相邻的正烷烃比较，其相对含量都随深度增加而减少。因此 Pr/nC17，C31 藿烷/nC31 等参数的变化，都反映生油岩的成熟度。同时，甾烷和藿烷的立体异构化也能比较有效地反映生油岩有机质的成熟度。



III型干酪根释放氧的阶段开始得早，持续时间长；而II、I型干酪根开始得晚，持续时间短。相反，II、I型干酪根释放氢的阶段开始得早，持续得长。这就表现出三种干酪根产烃的性质和潜力不同，它们成油的门限值也不同。

干酪根从成岩作用阶段到准变质作用阶段的演化图

(据 Tissot, 1978)

12. 1)微量元素 (V、Ni)

石油中的钒、镍含量有随石油的比重增加而增长的趋势。钒的含量通常多于镍，但陆相油却是镍多于钒。来自同层位的石油其 V/Ni 比值应该相近，所以 V/Ni 可用作石油对比的参数。

2)正烷烃

用正烷烃进行油-源对比，主要考虑同源的石油其正烷烃分布曲线形态应该具有相似性。

3)生物标记化合物

卞啉本身也可用于原油对比。具有高分子量的生物标记化合物如卞啉、甾类、三萜类、异戊间二烯类，它们的分布特征不仅可用于油-油对比，也可用于油-苗对比和油-岩对比。异戊间二烯型烷烃在原油和生油岩中均有较普遍的分布，它们的化学性质非常相似。用之作为对比标志曾一度被誉为'指纹'化合物。由于异戊二烯型烷烃与相近碳数的正烷烃性质近似，有时也采用姥鲛烷/正十七烷 (Pr/nC17)、植烷/正十八烷 (Ph/nC18)、姥鲛烷+植烷/正十七

烷+正十八烷(Pr+Ph/nC17+nC18)作为对比标志。

4)碳稳定同位素

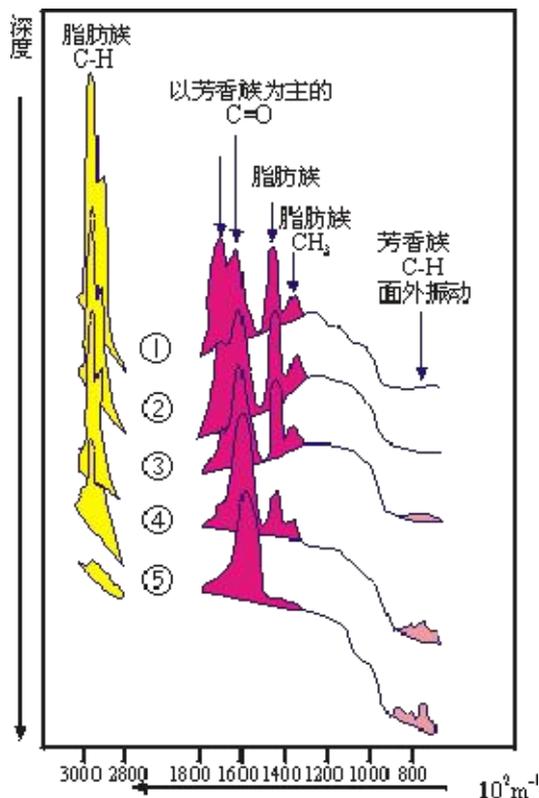
碳同位素是石油对比上使用较为广泛的一个对比参数。按 PDB 标准,石油的 $\delta^{13}\text{C}$ 值介于-18‰--34‰之间,平均约-29‰。石油本身各组分的值也是不同的。烷烃同位素最轻,环烷烃的 ^{13}C 含量接近于全油,芳烃重于全油。多环芳烃重于单环芳烃,再往下是非烃,至沥青质, ^{13}C 含量常是递增的。但这绝不是一成不变的,特别是当原油受到生物降解时,会使饱和烃 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高,非烃、沥青质 $\delta^{13}\text{C}$ 值稍低,从而严重打乱常规分布状态。利用碳同位素进行原油对比,最好是按不同馏分或组分进行。

5)低分子烷烃的成分配对

除用正烷烃分布曲线外,还可用低分子烷烃进行对比。但石油中 C1-C10 的轻质烃绝对浓度很容易受到运移和聚集过程中的外界因素影响,例如溶解、吸附、扩散、生物作用等;甚至会受到采样条件不同的影响。所以,直接对比化合物的绝对浓度只有有限的价值。为了避免这些非成因因素的干扰,厄德曼将化学结构和沸点相近的两种烃分子浓度做成比率,来与另一种原油相同分子对的相应比率进行比较。首先求出各相应配对分子浓度比率的对比值

$$(R): R=(\text{CAM}/\text{CAN})/(\text{CBM}/\text{CBN})$$

式中 CAM 和 CAN 是 A 油样中两种配对分子的浓度, CBM 和 CBN 是 B 油样中相同的配对分子浓度。R =1 时表示二者完全一致。



在红外光谱图上(图),主要表现为含氧官能团(C=O)逐渐消失(1770 cm^{-1} 吸收峰从①到②、③减弱)。深成作用阶段,红外光谱的特征是,脂键逐渐减少(2960 cm^{-1} , 1460 cm^{-1} , 1380 cm^{-1} 吸收峰减弱),芳核-CH的吸收峰从930 cm^{-1} 移到700 cm^{-1} 。对于II型干酪根,当H/C原子比 ≤ 0.5 时,即到达干酪根准变质作用阶段,这时脂键和C=O键完全消失,只剩下芳核C=O键。

II型干酪根(巴黎盆地下托森;撒哈拉志留系)演化的红外光谱

(据 Tissot, 1978)

四、创新引导

1. 目前的认识虽以有机说和晚期成油说占主导地位,但是,二元论仍有其依据。尤其是天然气,深部气的存在已被公认。那么,我们尚未涉足或知之较少的油气勘探领域是否存在? 我们的主攻方向是什么?

储集层和盖层

复习与思考

一、知识积累

1. 孔隙度是指岩石孔隙体积与岩石体积之比(百分数)。

2. 有效孔隙度(Φ_e)是指岩石中参与渗流的连通孔隙总体积(V_e)与岩石总体积(V_t)的比值(以百分数表示)。可用下式表示:

$$\Phi_e = V_e / V_t \times 100\%$$

3. 有效渗透率又称相渗透率，是指储集层中有多相流体共存时，岩石对其中每一单相流体的渗透率。分别用 K_o 、 K_g 、 K_w 表示油、气、水的有效渗透率。

4. 孔隙结构实质上是岩石的微观物理性质。它能较深入而细致地揭示岩石的储渗特征。确定喉道的大小和分布是研究岩石孔隙结构的中心问题。

5. 排驱（替）压力（ P_d ）：是指压汞实验中汞开始大量注入岩样的压力。换言之，是非润湿相开始注入岩样中最大的连通喉道的毛细管压力。在毛细管压力曲线上压力最小的拐点（图 2-5 中 A）所对应的压力即为排驱压力。岩石排驱压力越小，说明大孔隙越多，孔隙结构越好；反之，孔隙结构就越差。

6. 原生孔隙是指在沉积时期或在成岩过程中形成的孔隙。原生孔隙主要是粒间孔隙。

7. Schmidt 等参照研究程度较高的碳酸盐岩孔隙类型，结合碎屑岩的具体特点，将碎屑岩中孔隙类型分为 5 种，即粒间孔隙、特大孔隙、铸模孔隙、组分内孔隙和裂缝。

8. 沉积作用对碎屑岩的矿物成分、结构、粒度、分选、磨圆、填集的杂基含量等方面都起着明显的控制作用。而这些因素对储层物性都有不同程度的影响。

9. 一般说来接触式、接触-孔隙式胶结的岩石，其储油物性比基底式或孔隙-基底式胶结的岩石好。

10. 三角洲平原中的分流河道砂岩体，三角洲前缘的水下分流河道砂岩体、河口坝砂岩体、远砂坝砂岩体以及前缘席状砂体都是常见的良好的储集层。

11. 碳酸盐岩储集层是另一类重要的油气储集层。碳酸盐岩储层中的油气储量占世界油气总储量的一半，产量已达到总产量的 60% 以上。

12. 碳酸盐岩的次生孔隙是指在沉积期后发生的，受成岩后生作用控制的孔隙，它包括晶间孔隙和溶孔、溶洞。次生孔隙是碳酸盐岩储层重要的储集空间。

13. 碳酸盐岩中裂缝的类型很多，按成因可分为：构造裂缝和非构造裂缝两大类。非构造裂缝又可分为成岩裂缝、风化裂缝和压溶裂缝三类。

14. 溶蚀孔洞最发育的地带是风化壳以下潜水面附近的岩溶带。

15. 在潮坪上是形成鸟眼孔隙、窗孔状溶蚀孔隙、晶模孔和白云石晶间孔的主要场所，是世界上许多油气田的良好储集层。

16. 在油气勘探和开发工作中，对储集层的研究归纳起来主要有两方面的任务：（1）评价储层物性，掌握其变化规律；（2）预测储层的空间分布。其研究的主要内容包括：（1）研究储集层的物性参数（包括孔渗性和非均质性）；（2）研究储集层内流体的性质及其分布，并对其含油气性进行评价；（3）研究储集层的成因、分布、连续性及其横向变化；（4）研究储

集层的空间位置和顶底面的构造形态，为油气勘探和开发服务。

17. 在油气勘探和开发工作中，对储集层的研究归纳起来主要有两方面的任务：（1）评价储层物性，掌握其变化规律；（2）预测储层的空间分布。其研究的主要内容包括：（1）研究储集层的物性参数（包括孔渗性和非均质性）；（2）研究储集层内流体的性质及其分布，并对其含油气性进行评价；（3）研究储集层的成因、分布、连续性及其横向变化；（4）研究储集层的空间位置和顶底面的构造形态，为油气勘探和开发服务。

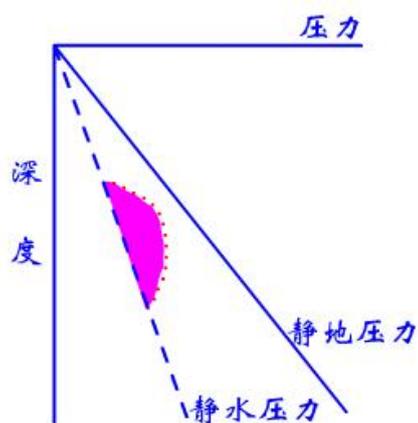
18. 近年来，以预测储层分布为主要目的发展起来的层序地层学和高分辨率层序地层学，就是多信息储层分布综合预测方法的典型代表。

19. 圈闭盖层 它是指直接位于圈闭储集层上面的非渗透岩层。它对圈闭中的油气起着直接的封盖作用。圈闭盖层又称局部盖层，简称盖层。

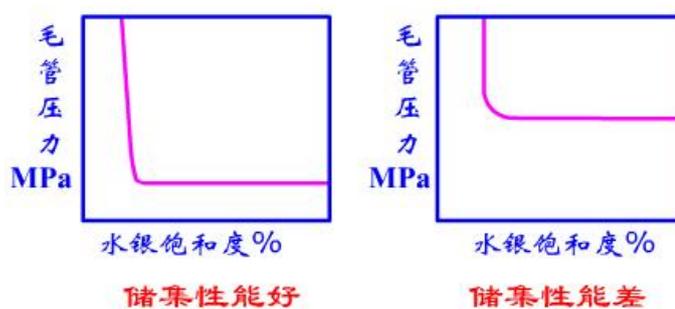
20. 目前已公认盖层的封闭机理有物性封闭、超压封闭及烃浓度封闭，但以物性封闭最为常见。

二、技能训练

1.



2.



三、综合思考

1. 岩石中全部孔隙体积称为总孔隙或绝对孔隙。总孔隙 (V_p) 和岩石总体积 (V_t) 之比 (以百分数表示) 就叫做岩石的总孔隙度或绝对孔隙度 (Φ_t)。可用公式表示如下:

$$\Phi_t = V_p / V_t \times 100\%$$

孔隙度反映储集层储集流体的能力。储集岩的总孔隙度越大,说明岩石中孔隙空间越多,但是它不能说明流体是否能在其中流动。岩石中不同大小的孔隙对流体的储存和流动所起的作用是完全不同的。

有效孔隙度 (Φ_e) 是指岩石中参与渗流的连通孔隙总体积 (V_e) 与岩石总体积 (V_t) 的比值 (以百分数表示)。可用下式表示:

$$\Phi_e = V_e / V_t \times 100\%$$

显然,同一岩石的绝对孔隙度大于其有效孔隙度,即 $\Phi_t > \Phi_e$ 。对未胶结的砂层和胶结不甚致密的砂岩,二者相差不大;而对于胶结致密的砂岩和碳酸盐岩,二者可有很大的差异。一般有效孔隙度占总孔隙度的 40%-75% (据 F. K. 诺斯, 1984)。在含油气层工业评价时,只有有效孔隙度才有真正的意义,因此目前生产单位一般所用的都是有效孔隙度。习惯上把有效孔隙度简称为孔隙度。

2. 当岩石为某一单相流体饱和时,岩石与流体之间不发生任何物理-化学反应,在一定压差作用下,流体呈水平线性稳定流动状态时所测得的岩石对流体的渗透率,称为该岩石的绝对渗透率。大量实验研究表明,当单相流体通过多孔介质沿孔隙通道呈层状流动时,遵循直线渗滤定律,法国人亨利·达西 (1856) 首先建立了这一定律,其简单表达式如下:

$$Q = K \cdot (F / \mu) \cdot (\Delta P / L)$$

式中比例系数 K 为渗透率; Q 为液体的体积流量; ΔP 为岩样两端的压差; μ 为液体的粘度; F 和 L 分别为岩样的横截面积和长度。因此有:

$$K = (Q \cdot \mu \cdot L) / (F \cdot \Delta P)$$

对于气体而言,由于气体的体积流量随温度和压力的变化而变化。因此,用达西公式计算气测渗透率时要作适当的变换。若假定气体是在恒温情况下通过岩样的,则岩石气测渗透率的表达式为:

$$K = (2 \cdot Q_2 \cdot P_2 \cdot \mu_g \cdot L) / (P_1 \cdot P_1 - P_2 \cdot P_2) \cdot F$$

式中, P_1 为岩样进口处压力; P_2 为岩样出口处压力; Q_2 为通过岩样后,在出口压力 (P_2) 下,气体的体积流量; μ_g 为气体的粘度; F 和 L 分别为岩样的横截面积和长度。

3. 有效渗透率又称相渗透率，是指储集层中有多相流体共存时，岩石对其中每一单相流体的渗透率。分别用 K_o 、 K_g 、 K_w 表示油、气、水的有效渗透率。

相对渗透率是指岩石中多相流体共存时，岩石对某一相流体的有效渗透率与岩石绝对渗透率之比。通常用 K_o/K 、 K_g/K 、 K_w/K 分别表示油、气、水相的相对渗透率。

由于岩石中有多相流体渗流时，必然会相互影响和干扰，因此，岩石的有效渗透率总是小于绝对渗透率。故其相对渗透率总是变化在 0-1 之间。

有效渗透率和相对渗透率不仅与岩石的结构有关，而且还与流体的性质和饱和度有密切关系。一般地说，每一相流体发生渗流时都有一个临界饱和度值，当其饱和度低于其临界饱和度和时，不发生渗流，有效渗透率和相对渗透率为零；当其饱和度达到临界值时，才能渗流，而且随着饱和度的增加，其有效渗透率和相对渗透率也增加，直到全部被它饱和时，其有效渗透率等于绝对渗透率，相对渗透率等于 1 为止。

4. 排驱（替）压力（ P_d ）：是指压汞实验中汞开始大量注入岩样的压力。换言之，是非润湿相开始注入岩样中最大的连通喉道的毛细管压力。在毛细管压力曲线上压力最小的拐点（图 2-5 中 A）所对应的压力即为排驱压力。岩石排驱压力越小，说明大孔喉越多，孔隙结构越好；反之，孔隙结构就越差。

5. 答题要点：

① 沉积作用对储层物性的影响

沉积作用对碎屑岩的矿物成分、结构、粒度、分选、磨圆、填集的杂基含量等方面都起着明显的控制作用。而这些因素对储层物性都有不同程度的影响。

② 成岩后生作用对储层物性的影响

(1) 压实作用和压溶作用

(2) 胶结作用

(3) 溶解作用

6. 答题要点：

① 沉积环境

② 成岩后生作用

(1) 溶蚀作用

(2) 重结晶作用

(3) 白云石化作用

(4) 压实及压溶作用和胶结作用

③ 构造因素

7. (提示: 参见本章表 3-4)。

8. 答题要点:

(1) 常规物性分析法:

(2) 储层孔隙结构研究法: 压汞法, 铸体薄片法、扫描电镜法和图像分析法。

(3) 当今储层物性研究的现状及发展趋势

9. 盖层的类型因划分依据不同而有不同的分类方案。按照产状和作用可将盖层分为 3 类 (据陈荣书, 1994):

(1) 区域盖层 它是指稳定覆盖在油气田上方的区域性非渗透岩层。区域盖层可以遍布凹陷或盆地的大部分地区, 具有厚度大、分布面积广、横向稳定性好, 具有塑性岩性等特点。区域盖层一般与圈闭储集层不直接接触, 它的作用是将油气运移限制在一定的地层单元内, 对盆地或地区的油气聚集起着十分重要的作用, 在很大程度上决定着盆地的含油气丰度与油气性质。

(2) 圈闭盖层 它是指直接位于圈闭储集层上面的非渗透岩层。它对圈闭中的油气起着直接的封盖作用。圈闭盖层又称局部盖层, 简称盖层。是本节论述的主要对象。

(3) 隔层 它是指存在于圈闭内, 对油气有封隔作用的非渗透岩层。它影响着油气藏中的油气以及压力的分布规律。

10. 答题要点:

盖层评价的参数主要有以下几个方面:

(1) 孔隙大小: 这是评价盖层最常用也是较有效的参数。因为孔隙大小既是影响排驱压力的重要参数, 也是制约石油及天然气扩散的重要参数;

(2) 盖层的渗透性和排驱压力: 这是与孔径大小密切相关的参数;

(3) 盖层的厚度及连续性;

(4) 埋深。

四、创新引导

1. 储层与盖层的标准是人们据勘探实践归纳和规定的。过去不是储层的某些岩层, 现在却产出了油气。试根据国内一些勘探实际阐述该问题。

圈闭和油气藏

复习与思考

一、知识积累

1. 任一圈闭都具有下列三个基本要素：(1) 储集层；(2) 盖层；(3) 一定的遮挡条件。

2. 油气藏的重要特点是在'单一的圈闭内'。这里'单一'的含意主要是指受单一的要素所控制，在单一的储集层中，在同一面积内，具有统一的压力系统和统一的油、气、水边界。如果不具备这些条件，即使是位于同一面积上的油气聚集，也不能认为是同一个油气藏。

3. 根据控制圈闭形成的地质因素，可将圈闭分为四大类；即构造圈闭、地层圈闭、水动力（流体）圈闭和复合圈闭，各大类圈闭又可根据其圈闭形态和遮挡条件，进一步划分为若干亚类。

4. 闭合面积是指通过溢出点的构造等高线所圈闭的封闭区的面积，或者更确切地说，就是通过溢出点的水平面与储集层顶面及其它封闭面（如断层面、不整合面、尖灭带等）所交切构成的闭合区的面积。

5. 油（气）藏高度：是指油（气）藏顶点到油（气）水界面的垂直距离。若有气顶时，油水界面和油气界面之间的垂直距离，称为油藏高度；而油气藏顶点到油气界面的垂直距离，称为气顶高度；此时油藏高度加气顶高度之和即为油气藏高度。它是指示油气藏大小的一个重要参数。

6. 通常把油（气）水界面与油（气）层顶、底面的交线称作含油（气）边界，其中与油（气）层顶面的交线称为外含油（气）边界，与油（气）层底面的交线称为内含油（气）边界。若油（气）藏的高度小于油（气）层的厚度时，则油（气）水界面与油（气）层底面不相交，这时油（气）藏的内边界就不存在。由相应的含油（气）边界所圈闭的面积分别称作内含油（气）面积和外含油（气）面积。通常含油（气）面积是指外含油（气）面积。

7. 背斜圈闭的形成条件较简单，主要是储集层发生弯曲变形，形成向四周倾伏的背斜，其上方被非渗透性盖层所封闭，下方和下倾方向被水体或与非渗透性岩层联合封闭而成。背斜圈闭的闭合区就是通过溢出点的构造等高线所圈定的封闭区。

8. 在背斜油气藏内，由于重力分异的结果，气占据背斜的顶部，油居中呈环带状分布，水在下面托着油气。在静水条件下，油气和油水界面是水平的，含气和含油边界都平行背斜储集层顶面的构造等高线。有的油气藏存在明显的油水过渡带。油气藏内具有统一的压力系统。

9. 所谓逆牵引背斜是指同生断层上盘的沉积岩层在向下滑移过程中，因逆牵引作用而形成的滚卷背斜。这类背斜的形成主要是沉积过程中同生断层作用的结果，而与构造运动无关。

10. 差异压实背斜通常可直接反映下伏古地形突起的分布范围和形状，高点位置也基本一致，但其闭合度则总是比古地形突起的高度小，且向上逐渐递减直到消失，地层倾角向上也逐渐变小。

11. 断层能否形成断层圈闭，主要取决于以下两个方面：①断层本身的封闭性；②在构造图上断层线与构造等高线（或岩性尖灭线）能否构成一个闭合圈。

12. 断层圈闭的形式是多种多样的，但在成因上它们又有着内在的联系，最基本的共同点，就是它们都是在储集层的上倾方向为断层所封闭。

13. 裂缝性背斜圈闭和背斜圈闭是有区别的，其主要区别在于裂缝性背斜圈闭的储集层不是呈层状展布，而是仅在裂缝发育带形成呈带状分布的不甚规则的裂缝储集体。

14. 凡是储集层的岩性或物性发生变化而形成的圈闭，称为岩性圈闭。储集层的岩性或物性变化，可以是沉积作用过程中形成的，也可以是成岩、后生作用过程中形成的。

15. 透镜型岩性圈闭没有溢出点。其圈闭的闭合面积、闭合度及容积，完全由透镜状储集体的大小和形状所确定。透镜状储集主要由碎屑岩（砂、砾岩）和鲕状、粒屑碳酸盐岩等组成。

16. 成岩和后生作用形成的岩性圈闭和油气藏，以碳酸盐岩中与白云岩化和溶蚀作用有关的油气藏最为重要。这类圈闭和油气藏的储集体大多呈不规则的透镜型。

17. 不整合油气藏上倾方向为不整合遮挡所限，下倾方向油（气）水界面与油（气）层顶面构造等高线相平行或基本平行。

18. 按照古地貌学的概念，潜山仅指侵蚀期后被新沉积物掩埋在地下的侵蚀残丘。但在目前应用中，潜山的概念已扩大化了。它包括不论是侵蚀成因的，还是构造成因的，或者是二者结合生成的一切被掩埋的古地形突起。其中有剥蚀形成的残丘，断裂作用形成的断块山，褶皱和侵蚀作用形成的蚀余背斜，以及褶皱和断块双重作用产生的半背斜等等。

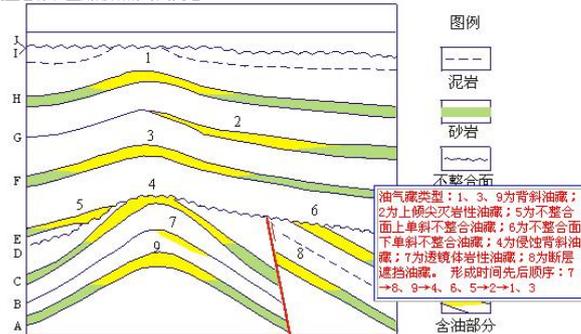
19. 由于油水界面和气水界面的倾斜度不同，因此在同一水头梯度下石油和天然气的水动力圈闭的位置也是不同的。石油圈闭向水头降落方向偏移更多，且随水头梯度增大而增大。

20. 一个油气地质工作者必须懂得，虽然形成圈闭的机理并不复杂，但各种地质因素结合形成圈闭的可能性，却是千变万化的，既可以形成单一地质因素所控制的构造、地层、水动力圈闭，但相当多的情况下是两种或两种以上因素相结合，形成复合圈闭。由于构成圈闭

的因素甚多，组合形式可以说是变化无穷。

二、技能训练

1、根据下图确定油气藏类型名称和圈闭形成的时间先后。



三、综合思考

1.1) 圈闭是储集层中能聚集和保存油气的场所。或者更形象地说，圈闭是储集层能作为盛装油气的容器部分。

2) 任一圈闭都具有下列三个基本要素：(1) 储集层；(2) 盖层；(3) 一定的遮挡条件。

3) 一旦有足够数量的油气进入圈闭，充满圈闭，或占据圈闭的一部分，便可形成油气藏。油气藏是单一圈闭内具有独立压力系统和统一油水（或气水）界面的油气聚集，是地壳中最基本的油气聚集单元。若圈闭中只聚集了石油，则称油藏；只聚集了天然气，则称气藏；二者同时聚集，则称为油气藏。

4) 以圈闭的成因为主，以圈闭形态和遮挡条件为辅的划分原则，前者作为划分大类的依据，后者作为划分亚类的依据。根据控制圈闭形成的地质因素，可将圈闭分为四大类；即构造圈闭、地层圈闭、水动力（流体）圈闭和复合圈闭，各大类圈闭又可根据其圈闭形态和遮挡条件，进一步划分为若干亚类。

2. 圈闭的大小主要由圈闭的有效容积确定，它表示圈闭能容纳油气的最大体积。一个圈闭的有效容积，取决于闭合面积、闭合高、储集层的有效厚度和有效孔隙度等参数。

1) 闭合高（度）和闭合面积的确定（静水条件下油气等势面呈水平面的情况、在动水条件下，油气等势面要发生倾斜或弯曲的情况）。

2) 储集层有效厚度和有效孔隙度的确定。

油气藏的度量：

1) 油（气）藏高度。

2) 含油（气）边界和含油（气）面积。

3) 气顶和油环。

3. 构造圈闭分类：1) 背斜圈闭 2) 断层圈闭 3) 裂缝性背斜圈闭 4) 刺穿圈闭 5) 多因素构造圈闭

成因：

1) 背斜圈闭的成因较多，主要有岩层受侧向挤压而成；或差异性升降运动而造成。也可以与断层活动有关（如逆牵引背斜）。塑性物质的上升活动亦可形成背斜圈闭。

2) 断层能否形成断层圈闭，主要取决于以下两个方面：①断层本身的封闭性；②在构造图上断层线与构造等高线（或岩性尖灭线）能否构成一个闭合圈。

3) 致密、性脆的非渗透性岩层，由于构造作用或其它改造作用，裂缝可以特别发育，从而导致出现孔隙和渗透性变好的局部地区，当其周围被非渗透性围岩所限，则可形成圈闭。

4) 地下岩体刺穿沉积岩层时，使储集层发生变形、并直接与刺穿岩体结合而形成的圈闭。

4. 1) 凡是储集层的岩性或物性发生变化而形成的圈闭，称为岩性圈闭。储集层的岩性或物性变化，可以是沉积作用过程中形成的，也可以是成岩、后生作用过程中形成的。在沉积作用过程中形成的岩性变化所造成的岩性圈闭，有时又称为沉积圈闭。

2) 在成岩、后生作用过程中形成的岩性圈闭，称为成岩圈闭。它可以是储集层的一部分变为非渗透性遮挡而形成圈闭，也可以是非储集层的一部分变为渗透性储集体，其四周或上倾方向和上方被封闭而形成圈闭。在成岩圈闭中，又以溶蚀和次生白云岩化作用在碳酸盐岩发育区形成的岩性圈闭和油气藏更为重要。

3) 从岩性圈闭形成的构造、沉积背景来看，岩性圈闭既可形成于单斜和鼻状构造地区，也可形成于不同级次的正向构造单元的轴部、翼部和端部，还可产生于负向构造单元（如向斜）的斜坡上。岩性圈闭也常形成于水进、水退变化较频繁的古河道、湖岸、海岸线附近，或湖盆、海盆中古地貌变化较大的地带，因为这些地区频繁的水进和水退引起沉积古地理条件的更替，并导致岩性岩相的急剧变化，这为岩性圈闭的形成创造了有利条件。

5. 不整合圈闭中聚集工业性的油气后称为不整合油气藏。它常具有以下一些特点：

1. 不整合油气藏上倾方向为不整合遮挡所限，下倾方向油（气）水界面与油（气）层顶面构造等高线相平行或基本平行。

2. 不整合油气藏的储集层岩性和产状多样。既有碎屑岩，也有碳酸盐岩及其它岩类；既可以是层状，也可以是块状。储集空间以次生孔隙为主。

3. 不整合油气藏多发育在地壳升降运动较频繁，沉积岩系之间沉积间断较多的地区。特别是沉积盆地的隆起和斜坡区，不整合现象普遍，有利于形成这种类型的油气藏。

4. 不整合油气藏伴随的圈闭类型较多，它既可形成中小型油气田，也可形成大型油气田。

6. 生物礁是礁型圈闭形成的核心。生物礁的形成与造礁生物的发育有关。无论在海进或海退条件下，只要造礁生物发育，都能形成生物礁。

1) 礁型油气藏中的油气分布情况，在很大程度上取决于礁型储集体的均一性，油气可以充满整个礁体，也可以只充满礁体的一部分，甚至有的礁型油气藏则主要位于礁前砾（粒）屑带。如加拿大阿尔伯达盆地的红水礁型油田（图 4-49）。

2) 礁型油气藏储集空间类型多，储集物性好，含油气丰富，一般都具有高产的特征。世界上有 10 口日产量曾达万吨以上的高产井，其中有 4 口来自礁型油气藏。

3) 礁型油气藏常在一定的古地理环境背景（地台边缘或凹陷边缘）上，成群成带分布，构成一个巨大的含油气带。一个地区如果发现了一个礁型油气藏，往往可在其附近发现多个类似的油气藏。

7.1) 水动力，可以看作是使储集层中地下水发生流动的力。Hubbert 把它称为水的力场强度（ E_w ），并用下式表示之：

$$E_w = -\nabla \Phi_w \text{ (或 } -\text{grad} \Phi_w \text{)}$$

在水动力作用下，油、气的力场强度，应是净浮力和水动力的合力。因此，油、气等势面（垂直油气力场强度）的方向也相应改变，向 E_w 方向倾斜（即油水界面向 E_w 方向倾斜），油、气等势面与储层顶面构造等高线就不相平行。在这种情况下，倾斜或弯曲的等油气势面可以使静水条件下不存在圈闭的部位，形成新的油气圈闭。这种圈闭称之为水动力圈闭。它的闭合可由闭合的等油气势（或等 h_o 、等 h_g ）线圈定。

2) 油水、气水界面的倾斜度与水头梯度、流体密度差有着密切关系。其关系如图 4-51 及下式所示：

$$\text{tg}\theta(o/w) = dz/dl = \rho_w / (\rho_w - \rho_o) \times dh/dl$$

$$\text{tg}\theta(g/w) = dz/dl = \rho_w / (\rho_w - \rho_g) \times dh/dl$$

式中 $\theta(o/w)$ 、 $\theta(g/w)$ 分别代表油水、气水界面的倾斜度； ρ_w 、 ρ_o 、 ρ_g 分别代表水、油、气的密度； dh/dl 为水头梯度。假设在地层条件下，水、油、气的密度分别为 1.0、0.7 和 0.2 g/cm³，那么前式放大系数 $\rho_w / (\rho_w - \rho_o)$ 和 $\rho_w / (\rho_w - \rho_g)$ 分别为 3.3 和 1.25。由此可知，油水界面的倾斜度比气水界面的倾斜度要大。

由于油水界面和气水界面的倾斜度不同，因此在同一水头梯度下石油和天然气的水动力圈闭的位置也是不同的。石油圈闭向水头降落方向偏移更多，且随水头梯度增大而增大。

但是，这种偏移是有一定限度的。当油水界面倾斜度大于背斜顺水头梯度一侧的储集层倾角时，背斜就不能有效圈闭石油，但仍能成为天然气的圈闭。若气水界面的倾斜度大于背斜翼的倾角时，则连天然气亦圈闭不住。在这种情况下，石油和天然气都被驱出该背斜，只能在其运移方向的适当部位形成的新圈闭中再聚集成油气藏。

8.1) 构造-地层复合油气藏

凡是储集层上方和上倾方向由任一种构造和地层因素联合封闭所形成的圈闭和油气藏称为构造-地层复合圈闭和油气藏。

2) 构造-水动力复合油气藏

常见的有背斜-水动力油气藏和断层-水动力油气藏。

3) 地层-水动力复合油气藏

4) 水动力-构造-地层复合气藏

四、创新引导

1. 我们在地表所见到的各类圈闭，一般油气都跑掉了，只有埋藏一定深度，圈闭才能成藏和保存。大家学习了基础理论知识和一般地质知识，二者的结合和应用是发现地下圈闭的有效方法和手段，它们已成为专门的学科。请大家自己思考，一般地质理论和什么基础理论结合可使我们达到目的？

2. 考虑圈闭本身的有效性、油气的来源和形成时间、；流体的运移、构造活动和油气的保存条件等。

油气运移

复习与思考

一、知识积累

1. 油气运移是不能回避和否认的客观存在。首先，油气是流体，可以流动是其自然属性；这是油气运移的客观基础和先决条件。再说，有限的油（气）田范围内拥有巨大的油气储量，油气聚集显然是分散的油气经过运移的结果。

2. 油气初次运移需要解决的主要是两个问题，一是相态问题，二是通道问题。

3. 油的相对渗透率随含油饱和度的增高而增大。在压实作用达到大量水已经被排走时，油的渗透率及相对渗透率为油提供了特别有利的单相运移条件。至少要生油母岩中油足够丰富和充分集中时，油才呈连续单相被排泄出来，这是一种完全可能的设想。

4. 天然气能溶于水，在石油中的溶解度很大。因此地层中的孔隙水和石油都可作为天然气运移的载体。天然气也可呈独立相态运移（包括分子扩散、气泡和连续气相）。

5. 天然气分子扩散是建立在天然气浓度差基础上的，当母岩中生成的天然气达到一定数量，使母岩系统内外达到一定的浓度差时，分子扩散就会发生。分子扩散的强度除浓度差这一基本因素外，还与扩散介质的性质有关。由气源岩与砂岩储集层（即砂、页岩）簿互层组成的岩性组合扩散作用最为明显。

6. 连续气相运移主要出现在成油期后的成气阶段。此时一方面除干酪根热解生气外，成油阶段先期生成的液态烃亦将热裂解形成天然气，故该阶段形成的天然气量大；另一方面，由于压实作用，孔隙水尤其是自由水减少，同时热裂解作用又使液态石油减少，亦即天然气运移可资利用的载体减少，促成连续气相运移成为天然气运移的主要相态。

7. 由于泥岩层顶底附近排水在先，先行压实，致使泥岩层中部的水排出不畅，以致在负荷压力下内部的流体不能及时排出；因而保持了偏高的孔隙率，呈现为欠压实状态；对整个泥岩层来说则处于非均衡压实状态。贮存在泥岩层中部孔隙中的流体要承担较大的负荷压力，即除静水压力外还要分担部分静岩压力，于是泥岩层中部流体压力就出现异常高压。

8. 温度的升高从许多方面促进油气初次运移。除上所述之外，温度还有助于解脱被吸附的烃类；有助于降低流体粘度；有助于降低油水间界面张力；在主要深度范围内还有助于气烃的溶解；以及有助于烃在水中的溶解等。

9. 虽然粘土矿物脱水有可能成为初次运移的有利因素，但未必是主要的，更不是唯一的。

10. 显然，基于油气成因的现代概念，石油初次运移只能出现在达到生油门限之后。笼统地说，天然气的初次运移出现比石油要早。此外，对石油的初次运移还应考虑到未熟-低熟石油运移的可能性，这可能与有机质类型有关；只要有相当数量的未熟-低熟石油形成，在早期压实阶段尤其是该阶段后期，就应有相应的石油初次运移。

11. 油气的二次运移是指油气自源岩中排出并进入邻近运载层（带）以后沿储层、断层、裂隙、不整合面等通道的运移。广义的二次运移泛指油气脱离母岩后所发生的一切运移，包括聚集起来的油气由于外界条件的变化所引起的再运移。

12. 油气二次运移中最主要和最普遍的阻力就是毛细管压力。

13. 浮力是二次运移中的主要驱动力。物理学上对浮力的定义是物体所排开液体的重量。油气地质学中所谓的浮力通常是指同体积的油、气与水的重量之差。

$$14. \Sigma F_1 = (M/\cos\alpha) \times (\rho_w - \rho_o)g \times \sin\alpha \times l = M(\rho_w - \rho_o)g \times \tan\alpha \times l$$

15. $Q/Ft=K \times (P_2-P_1)/L\mu$

16. $F_1 > P_c \pm 1 \cdot dp/dl$ 或者 $F_1 \leq P_c \pm 1 \cdot dp/dl$

17. 最近，石油化学示踪剂的研究结果证明了'限制性的通道理论'。该理论认为有些油田整个运移系统都充满了石油，运移系统的通道只有几十米，或者其宽度更小（S.R.Larter, 1995）。运移路径中可能只有 1%-10%的输导层横断面面积被使用（England 等，1987）。地下油气运移通道的特征被描述为片状，其运移方向明显受石油运移时所通过岩石的水平渗透率控制（Rhea 等，1994）。

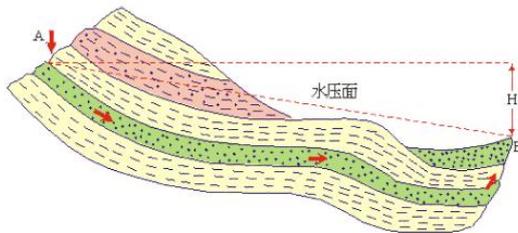
18. 在以浮力和水动力为主要动力的驱动下，油气二次运移的方向总是循着阻力最小的路径由高势区向低势区运移，或者说从单位质量流体机械能较高的地方向较低的方向运移，直至遇到圈闭聚集起来形成油气藏，或者运移到地表散失掉亦或形成油气苗。在沉积盆地中，油气源区一般位于盆地的深凹陷带，而深凹陷带又往往是盆地内压实水流的高水头区（高水势区）；压实水流通常是流向与之相邻的盆地边缘斜坡或隆起（凸起）带（低势区）。由深凹陷→斜坡或隆起（凸起）的方向是水流和浮力的共同指向，所以这自然成为油气二次运移的主要指向。尤其是那些地质历史上长期继承性发展的隆起带更为有利。

19. 二次运移过程中吸附作用显著时，石油成分变化的总趋势是：胶质、沥青烯、卟啉及钒镍等重金属减少，轻组分增多；而烃类呈现烷烃增多，芳烃相对减少；烷烃中低分子烃相对增多，高分子烃相对减少。

20. 一般是生于较深处的石油，向上运移至埋藏较浅的圈闭中聚集的过程中，随着运移环境变浅，当大气降水通过断层或储层地表露头渗入运移环境时，可能发生较强的氧化作用。所以通过石油的成分变化也可反映石油的垂向运移。

二、技能训练

画出水动力产生的示意图。



A-供水区, B-泄水区

三、综合思考

1. 答题要点:

- 1) 油气必须经过运移才能聚集成为油气藏;
- 2) 油气运移是不能回避和否认的客观存在。
- 3) 油气运移是与油气成因紧密联系的。

2. 答题要点:

1) 水溶运移说

曾经提出过的水介质运移方式有:

分子溶液或真溶液、胶体溶液、乳浊液

2) 油相运移

说明毛细管压力和浮力的关系

饱和度与油相运移的关系

3) 气体溶液运移

3. 答题要点:

天然气能溶于水,在石油中的溶解度很大。因此地层中的孔隙水和石油都可作为天然气运移的载体。天然气也可呈独立相态运移(包括分子扩散、气泡和连续气相)。

1) 水溶气相 5 个问题

2) 油溶气相

3) 独立气相(气泡、分子扩散)

4) 连续气相

4. 答题要点:

- 1) 毛细交替作用、胶结作用、扩散作用。
- 2) 非均衡压实与异常高压的形成;
- 3) 增压机理与异常高压的强化(热力作用、粘土脱水作用)
- 4) 水延缓排出的附加效果。

5. 答题要点:

- 1) 深埋藏-高成熟-有利排油型
- 2) 深埋后抬升-高成熟-有利排油型
- 3) 持续中埋藏-中等成熟-抑制排油型

4) 中埋后抬升-低成熟-不利排油型

5) 浅埋藏-低熟油-早生早排型

6. 答题要点:

1) 油气初次运移的方向是指向储集岩的;

2) 这表明砂岩(储集层)与页岩(生油层)的接触面积(不是砂岩体积)是控制储量的一个重要因素。接触面积越大,页岩向砂岩的排流效率就越高。

3) 砂岩储集层也并非越多越厚越好。剖面中生、储层分布上最好有适当的搭配,以保证既有充足的烃源供给,又有较好的排流效率。

7. 答题要点:

1) 浮力是二次运移中的主要驱动力;

2) 阿基米德浮力公式、地层倾斜时的浮力公式;

3) 石油上浮的临界油柱高;

4) 水动力。

8. 答题要点:

1) 油气二次运移普遍认为是以连续烃相运移为主要相态;

2) 二次运移的阻力和驱动力也是针对游离相油气运移提出来的;

3) 二次运移中其它相态也有涉及,比如呈分子溶液状态的运移,脱溶问题,但其在二次运移中所占的地位都显著居次。

4) 如果说水溶气也看作一种资源的话,天然气(主要是甲烷)呈溶解相运移是不能忽视的。

9. 答题要点:

1) 二次运移的通道主要是渗透性储层、断层和不整合面、岩层之间的层面也是较为通畅的运移通道。。渗透性储层连通的孔隙系统是最广泛最基本的二次运移通道,油气聚集也正是居于其中。

2) 通过不整合面进行的二次运移常可达到很远的距离,这对陆相沉积尤为重要。

3) 石油二次运移的路径受到严格约束,其聚集通道紧靠封闭层的下面。石油化学示踪剂的研究结果证明了'限制性的通道理论'。

10. 母岩抽提物与油藏中石油的组成成分上并不完全等同,一般只具有相似性。这除了初次运移中不同成分排出难易程度差别之外,也有石油在二次运移过程中变化的因素。二次运移中石油的高分子量成分以及极性成分易被矿物所吸附,而轻质的和无极性成分则能较自

由地通过。这样就产生了天然的色层分异效果。二次运移过程中吸附作用显著时，石油成分变化的总趋势是：胶质、沥青烯、吡啶及钒镍等重金属减少，轻组分增多；而烃类呈现烷烃增多，芳烃相对减少；烷烃中低分子烃相对增多，高分子烃相对减少。反映在物理性质上，表征为比重变轻，颜色变淡，粘度变低。通过油-源和油-油对比，可以对油气二次运移的轨迹进行追踪，建立油藏与油源之间的联系。

四、创新引导

1. 油气运移过程中必然存在着散失问题，如何考虑？

从运移路径、非储层但可容纳部分油气的地质体的截留、运移通道上注入非圈闭层的散失方面归纳。

油气藏的形成与破坏

复习与思考

一、知识积累

1. 油气藏，特别是大型油气藏形成的基本条件应包括：充足的油气源，足够的油气运移动力，良好的运移通道，有效的储集层，有利的生储盖组合，大容积的有效圈闭。

2. 生油拗陷在盆地内的展布，归纳起来大致有以下三种基本型式：（1）位于盆地中央地带，如松辽、西西伯利亚、洛杉矶、锡尔特等盆地；（2）偏于盆地一侧，如波斯湾、伏尔加-乌拉尔、阿尔伯达、山九昆等盆地；（3）多生油凹陷，即统一的含油气盆地中存在若干个生油凹陷，如渤海湾盆地。

3. 所谓生储盖组合，系指三者组合的型式。其实质是以怎样的关系组合在一起才能使生油层中生成的油气有效地驱向储集层，而储集层中储存的油气不致向上逸散。

4. 分析上述各图可以看出，不同型式组合中生、储层的接触方式和接触面积都有一定的差异，因而输导能力也各不相同。一般互层型（上覆-下伏复合型式）最佳，侧变型、上覆-下伏型次之；封闭型虽然接触面积广、输导能力较强，但明显地受到透镜状储集体大小的限制。

5. 据真柄钦次（1978）对世界各油区泥岩中流体压力在垂向上分布的分析，认为巨厚泥质生油层向储集层提供流体（包括油气）的，主要是由紧靠储集层的 30m（100ft）左右的生油层，其余部分的效率很低。根据这一研究得出，单层厚度为 30-50m 的油层具有最高的排烃效率。随着连续厚度增大，排烃效率降低。连续厚度大于 200m 以上，排烃效率明显

降低。

6. 世界上不同地区砂岩中油藏分布与砂岩百分率之间的关系统计结果表明，砂岩百分率为 20-60% 区间，是油气分布的有利地带。

7. 当油水界面在流水作用下发生倾斜时，如果两端的高程差 (ΔZ) 大于闭合度 (hc)，或油水界面的倾角大于圈闭中储集层顶面的倾角，则该圈闭就不可能聚集石油，即不再是有效圈闭。

同样，如果圈闭的闭合度 (hc) 小于油水过渡带的厚度，则该圈闭即使有油聚集，也不能产出纯油，因而也就不能算做有效圈闭。

8. 综上所述，能形成巨大油气藏的有效圈闭必须具备：'大（大容积）、近（距油源近，在运移路线上）、早（形成时间早）、高（闭合度高）及保（保存条件好）'这五个基本条件。

9. 油气聚集成藏包括单一圈闭和系列圈闭的油气聚集成藏。单一圈闭的油气聚集成藏最简单，也是研究油气聚集成藏的基础。因此，首先从研究单一圈闭的油气聚集成藏开始。

10. 单一圈闭中最简单、最常见的是背斜圈闭。其基本特点是：储集层顶面呈拱形、由顶向四周下倾；其上方为非渗透性岩层所封闭，下方高位能区被水体所封闭；闭合区由通过溢出点的构造等高线所圈定。

在静水条件下，储集层中运移的油气遇到背斜圈闭时，先在最高部位聚集起来；后来的依次由较高部位向较低部位聚集。

11. 非背斜圈闭除储集层的顶、底板为非渗透性岩层封闭外，在储集层上倾方向还存在不同类型的非渗透性遮挡。其闭合区是由储集层上倾方向的非渗透性遮挡线和储集层顶面的构造等高线联合构成的。除透镜型岩性圈闭外，其它各类圈闭同样都存在溢出点。因此，油气在其中的聚集程序与背斜圈闭没有什么区别。

$$12. Z_{co} \times [2\gamma \times (1/r_t - 1/r_p) / (\rho_w - \rho_o)g] \pm [\rho_w / (\rho_w - \rho_o)] \times (dh/dx) \times x_o$$

13. 所谓油水过渡带，在理论上是指纯含油带（除束缚水占据的空间外，其余孔隙空间全部为油所占据）的底到 100% 含水带的顶面之间的垂直距离。这两个界面在实际工作中不易确定。在油田开发中一般把产无水纯油带的底面到产纯水带顶面的垂直距离称为油水过渡带，即同时产出油水的井段。其数值一般小于理论上的油水过渡带厚度。

14. 油气差异聚集得以发生，必须具备下列基本条件：①在区域倾斜的下倾方向存在丰富的油源区；②具有良好的油气通道，使油气在较大的范围内作区域性运移；③在区域倾斜背景上存在相互连通的系列圈闭，而且溢出点向上倾方向递升；④储集层中充满地下水，而且处于相对静止状态。

15. 在自然界中，油层埋藏深度、温度、压力是不一致的。若储集层下倾方向埋深大、压力高，达到或超过泡点压力时，油层中只有溶解气。而不存在游离气顶，就无法形成纯气藏分布，或纯气藏出现于上倾方向适当部位的圈闭中。此外，盖层分布不连续，有天窗、断层发育、水动力作用、地壳运动的影响都可使油气分布变得更为复杂。

16. 在石油成因、运移等章中业已指出，生油层达到主生油期时才能大量生成石油，然后排出。油气藏形成的时间只能晚于主成油期，而不可能更早。因此，我们就可以根据对生油层中有机质演化的地质、地球化学资料，确定主生油期，并把这个时间作为油气藏形成的最早时间（即不可能早于该时间）。

17. 容积应大于或等于油气藏容积的原则，对比不同发展阶段圈闭容积和现存油气藏容积之间的关系，就可以确定油气藏形成的最早的可能时间。

当油气藏被断层切割时，还可以利用断层与油气藏的相互关系，通过确定断层形成的时间，作为油气藏形成时间的最早或最晚时间的界限。

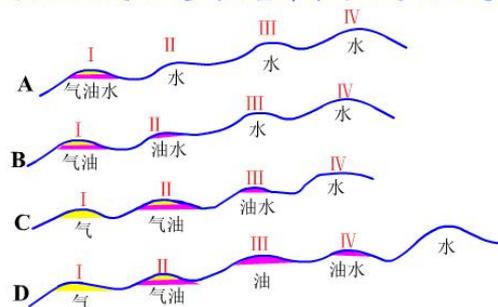
18. 各种直达地表的通道不可能一直敞开。在重力作用下，或在氧化沥青和地下水沉淀的堵塞作用下，这些通道可以在不同程度上被堵塞。一般说埋藏较深的油气藏其通向地表的通道可能在较短的时期内被封闭；而埋藏较浅的油气藏其通道不易被封闭，油气逸散损失较严重，甚至会遭到彻底的破坏。

19. 当断层断开某一产层时，其断裂作用将原生单一的圈闭分解定型为若干规模大小不等的次级圈闭，赋集在原先单一圈闭中油气重新在各次级圈闭中分配并聚集成藏。

20. 当断层断开某一产层时，其断裂作用将原生单一的圈闭分解定型为若干规模大小不等的次级圈闭，赋集在原先单一圈闭中油气重新在各次级圈闭中分配并聚集成藏。

二、技能训练

1. 分阶段画出浮力造成的差异聚集现象的示意图。



三、综合思考

1. 答题要点：

大型油气藏形成的基本条件应包括：

1) 充足的油气源（四个方面），足够的油气运移动力（浮力、水动力、高异常地层压力、地静压力等）；

2) 良好的运移通道（类型、效果）；

3) 有效的储集层（类型、效果）；

4) 有利的生储盖组合（类型、效果）；

5) 大容积的有效圈闭。

2. 答题要点：

圈闭容积的大小，主要取决于：

1) 闭合面积；

2) 闭合高度；

3) 储集层的有效厚度和有效孔隙度等参数。

对聚油条件不同的圈闭进行对比分析表明，一个有效圈闭应具有：

1) 距油源区近；

2) 形成时间早；

3) 闭合度高和保存条件好。

3. 在静水条件下，储集层中运移的油气遇到背斜圈闭时，先在最高部位聚集起来；后来的依次由较高部位向较低部位聚集，直到充满整个圈闭为止。这时，该圈闭的聚油作用已完成；若再有油经过时，无法继续在其中聚集，只能通过溢出点溢向上倾方向，但对天然气则不同。由于天然气比油轻，它可以继续进入圈闭，而将其中的石油排出。这一过程一直进行到将原先被石油占据的圈闭容积完全被天然气占据为止（图 6-8，III）。至此，单一背斜圈闭的油气聚集已最后完成，从而形成单一背斜圈闭的油气藏。在条件不发生变化时，油气在圈闭中建立起相对稳定的平衡状态。（图示）

4. 圈闭封闭烃柱的最大高度，与盖层封闭能力及闭合度有关。圈闭封闭烃柱的最大高度（即临界烃柱高度），可用伯格公式表示之：

$$Z_{co} \times [2\gamma \times (1/r_t - 1/r_p) / (\rho_w - \rho_o)g] \pm [\rho_w / (\rho_w - \rho_o)] \times (dh/dx) \times x_o$$

式中 Z_{co} 为临界油（烃）柱高度； γ 为油（烃）水界面张力； r_t 为喉道孔隙半径，这里是指盖层孔隙的半径； r_p 大孔隙半径，这里是指储层的孔隙半径； ρ_w 、 ρ_o 分别为水、油的密度； $(dh/dx) \times x_o$ 为水头差。

当盖层封闭能力强，封闭的烃柱临界高度大于或等于闭合度时，闭合度即为圈闭封闭烃

柱的最大高度；当盖层封闭能力差，能封闭的临界烃柱高度小于闭合度时，该高度即为圈闭封闭的烃柱最大高度。

但是，该公式仅适用于砂质岩，不适用于粘土岩，而且计算喉道孔隙半径（ r_t ）的公式过于理想化，需要作一些调整。目前比较普遍采用的，而且效果较好的方法是，用压汞法测得的毛细管压力曲线，直接确定储集层和盖层的排替压力，并把汞-空气系统的排替压力，换算成烃-水系统的排替压力。

由于烃水系统的盖层和储集层的排替压力差存在下列关系：

$$2\gamma(1/\gamma_t - 1/\gamma_p) = P_d(B) - P_d(R)$$

(1) 式可以改写成：

$$Z_{co} - [P_d(B) - P_d(R)] / (\rho_w - \rho_o) g \pm [\rho_w / (\rho_w - \rho_o)] \times (dh/dx) \times x_o$$

又因烃水系统和汞-空气系统的排替压力存在下列关系：

$$P_d(h_w) = [\gamma_{nw} \times \cos(\theta_{hw}) / \gamma_{ma} \times \cos(\theta_{ma})] \times P_d(ma)$$

式中 $P_d(h_w)$ 、 γ_{nw} 、 θ_{hw} 分别代表烃-水系统的排替压力、界面张力和接触面； $P_d(ma)$ 、 γ_{ma} 、 θ_{ma} 分别代表汞-空气系统的排替压力、界面张力和接触角。

根据实验统计数据， $\gamma_{ma} = 480 \times 10^{-3} \text{N/m}$ ， $\gamma_{hw} = 21 \times 10^{-3} \text{N/m}$ （平均值）， $\cos \theta_{nw} = 1$ ， $\cos \theta_{ma} = 0.776$ 。代入（4）式可得：

$$P_d(h_w) = 0.056 P_d(ma)$$

在实验室分别测得汞-空气系统的盖层排替压力 $[P_d(B)(ma)]$ 和储集层的排替压力 $[P_d(R)(ma)]$ 后，可根据（5）式换算成 $P_d(h_w)$ 。再代入（3）式，即可求得静水条件和动水条件下的临界烃柱高度。

圈闭中可能的最大油气藏高度与封闭的最大烃柱高度是有一定区别的。两者之间的差值为油水过渡带。

5. 对于发育于区域均斜背景上（即与油源区垂直或斜交的）系列圈闭油气聚集的基本原理，最早是由加拿大石油地质学家格索（W.C.Gussow, 1951-1954）所阐明，并称之为油气差异聚集原理。

当圈闭 I 被油气充满时，继续进入的天然气可以通过排油在圈闭中集直到整个圈闭被气充满为止，而排出的油则通过溢点，向上倾方向的圈闭 II 中聚集。若油气源充足，上述过程相续在圈闭 III 和 IV 中发生；如油气源不足时，上倾方向（即距油源区较远）的圈闭则不产油气，只产水，称之空圈闭。在系裂背斜圈闭中自上倾方向的空圈闭，向下倾方向变为纯油藏 → 油气藏 → 纯气藏的油气分布特征，是由油气差异聚集造成的（图示）。

差异聚集得以发生，必须具备下列基本条件：①在区域倾斜的下倾方向存在丰富的油源区；②具有良好的油气通道，使油气在较大的范围内作区域性运移；③在区域倾斜背景上存在相互连通的系列圈闭，而且溢出点向上倾方向递升；④储集层中充满地下水，而且处于相对静止状态。

在系列圈闭中，一旦上倾方向最高的圈闭被油气充满后，该系列圈闭的油气聚集基本上业已完成。如果这时油源区仍继续生成油气，而又不能向上倾方向溢出的话，天然气将排挤油和水，并使之向储集层下倾方向回流。在这种情况下，天然气将占据最高背斜的顶部，甚至充满整个背斜圈闭，而油则占据向斜部分，形成向斜油藏。

6. 答题要点：

确定油气藏形成的时间，对勘探目标的选择和评价，提高油气勘探的成功率，加快油气勘探，都有十分重要的意义。

- 1) 根据生油层的主生油期确定
- 2) 根据区域倾斜发生的时期确定
- 3) 根据圈闭形成的时期确定
- 4) 根据饱和和压力确定
- 5) 根据圈闭容量
- 6) 利用成岩过程的岩石和矿物学资料确定

7. 造成原先油气藏破坏的地质作用即为圈闭被破坏的作用，主要有侵蚀、断裂、刺穿，以及岩浆侵入所导致的热变质作用等。

侵蚀作用可以使圈闭上方的盖层被侵蚀，以致油层直接出露地表；或盖层残留厚度过小，以致不足以封闭油气。油气可以不断向地表逸散，使油气藏遭到严重的乃至彻底的破坏。但有些情况下油层上倾方向被侵蚀出露的面积较小。石油被氧化后可以形成沥青塞，使得下倾方向未逸出的油气得到保护，形成所谓沥青封闭型圈闭。

断裂和刺穿作用的结果，都可使油气圈闭造成一定程度的破坏，进而引起油气沿刺穿岩体及断裂系统向地表逸散。

此外，当构造运动使圈闭容积减少时，油气可以向上倾方向发生再运移。

8. 答题要点：

1) 原生油气藏的改造定型与油气再分布的地质作用（断裂对原生油气藏的改造并造成油气再分布的作用表现在多方面）。

2) 次生油气藏的形成与油气再分布的地质作用（次生油气藏的形成及油气的再分布跟

断裂作用密切相关。)

3) 引起油气再分布的其它地质作用 (储集层不均衡掀起作用; 储集层因构造运动上升变浅时, 油层的压力相应地下降, 于是油内的溶解气将游离析出, 形成气顶; 水动力作用不仅造成油水界面倾斜, 而且明显改变圈闭的大小和位置, 甚至使原有圈闭消失。)

四、创新引导

1. 请据一般地质知识综合讨论引起油气藏破坏和次生气藏形成的作用和结果。我们用什
么方法来判断油气藏是否被破坏过?

前一问要求总结油气藏破坏的各种情况。

后者思考:

- 1) 分析方法;
- 2) 直接观察方法;
- 3) 间接观察方法。

含油气系统与含油气盆地

复习与思考

一、知识积累

1. 在任一含油气盆地 (凹陷) 内, 与一特定有效烃源岩层系相关, 包含油气聚集成藏所必不可少的一切地质要素和作用, 在时间、空间上良好配置的物理-化学动态系统。其顶受区域盖层及上覆岩系所限, 底为底层烃源岩所覆盖的储集层。

2. 含油气系统的研究重点是烃源岩与油气藏之间的成因关系, 即查明盆内或区内烃源岩有机质在何时以何方式转化成烃? 油气在何时以何方式运移? 何时何地聚集成藏? 油气藏的类型及分布规律如何?

3. 基本地质要素包含有效烃源岩层系、储集层、盖层及上覆岩系。

4. 在生成子系统中, 需定量研究区域充注量及圈闭的油气充注量两个参数。

圈闭充注量 (Trap Charge): 圈闭能够捕集的烃类数量, 等于圈闭集烃范围内生成的油气量减去运移过程中的散失量。

5. $SPI = [h(S1+S2)\rho]/1000$

6. 垂向运移 旋回式、间隔式 (断层)

侧向运移 侧变式、间隔式 (不整合)

低阻 正常充注、欠充注、盖层封闭差（局部盖层、薄、突破压力小）

7. 上凸构造圈闭的顶部盖层同时也是侧向封堵层，对油气聚集保存最有效，所以世界上大部分常规石油储量都发现于四面闭合的构造中。若一构造圈闭依赖于断层封闭，常会有封盖风险。

8. 在含油气系统的划分与研究中，需要进行与多学科配合的基础研究，涉及下列关键技术，油-源对比追踪技术；有效烃源岩评价方法；油气圈闭成因及有效性研究技术；油气运移-聚集机制研究技术；含油气系统与含油气盆地模拟技术；层序地层学方法；油藏地球化学技术；流体历史分析技术；古构造分析技术；地球物理综合技术。

9. 区域封闭以及它们与潜在圈闭间的关系应及早在评价过程中确定。应特别加以注意的是圈闭形成的时间同烃的生成、运移和聚集的时间上的配套关系。在烃运移停止之后形成的圈闭没有吸引力，除非早期形成的圈闭又发生了油气再运移。

10. 因此用地球化学盆模法来估计运移效率能否取得较好的效果受使用者对假设的相对渗透率曲线特别是残余油饱和度的估计所限制。实际上，最恰当的方法可能是在类似的地质背景下使用类比法和模板法来建立二次运移效率。

11. 盆地模拟一词经常用来描述对油气生成、排出、运移、圈闭和保存的一系列过程的模拟，这一含义包涵沉积盆地模拟和含油气系统模拟，含油气系统模拟试图重建一特定系统内的烃演化史，盆地模拟经常同时涉及几个含油气系统。

12. 油藏地球化学技术是 80 年代末期新兴的边缘学科。这一学科应用化学原理研究流体（油、气、水）在储层中发生的化学反应与变化，并以此判断储层结构演化、油藏形成与变动历史、油藏内部非均质性。其中储层孔隙内部成岩自生矿物同位素分析提供了矿物形成时间，而矿物组合变化则反映了孔隙流体组成的某种变化。

13. 埋藏历史图。包含地质时代与绝对年龄、岩性柱子、岩层层组名称、深度、烃源岩、储集层、盖层、上覆岩系等栏目，在埋藏史曲线上标注生油窗顶、生气窗顶及油气系统的关键时刻。

14. 含油气盆地的形成和发展是受大地构造条件所控制，所以含油气盆地的分类也都以不同的大地构造理论为基础。

15. 迪肯森（Dickinson, 1976）以板块构造观点对盆地演化和分类进行论述，首先将盆地分为两大类：裂谷环境，是以离散板块运动和张性构造为主，由于地壳变薄发生了下沉作用；造山环境，是以聚敛板块运动和压性构造为主，由于板块俯冲而引起地壳下沉，也可能由于沉积负荷加大而促进下沉。然后，又将每一大类作进一步划分。

16. 冒地斜沉积棱柱体 (miogeoclinal prism): 位于大陆和大洋过渡带的陆阶、陆坡和陆隆上的沉积复合体, 并将张裂的大陆边缘埋盖起来

17. 周缘前陆盆地 (peripheral foreland basin): 与碰撞造山带相邻, 发生在克拉通周缘的盆地。

18. 在含油气盆地中, 圈闭不是一种孤立现象, 而往往属于一个构造带或地层相带, 在不同大地构造环境的盆地中往往形成不同的构造样式或圈闭类型。而含油气盆地又是油气生成、运移和聚集的基本地质单元。可根据含油气盆地所处的不同大地构造位置或环境, 可以用来预测沉积体系特征及油气圈闭类型, 进一步指明油气聚集带及油气分布区, 从而推断其含油气远景和确定勘探方法。

19. '油气聚集带'是指油气聚集的地带, 并非指油气产生地带。油气聚集带内的油气, 是由相邻近的生油区汇集起来, 油气聚集带的周围可能都是它的汇油面积, 也可能汇油面积仅仅存在于油气聚集带的一侧, 或某一方向。该带所以能聚集丰富的油气, 还与它具有良好的油气聚集条件有密切关系。

20. '油气田是一定(连续)的产油面积上油气藏的总和; 该产油气面积可以是受单一的构造或地层因素所控制的地质单位, 也可以是受多种因素所控制的复合的地质单位'。

二、技能训练

1. 含油气系统的命名法尚在探索中, Magoon 等(1994)认为含油气系统的名称应该包括烃源岩层名称、主要储集层名称及可靠性等级的符号:

(!) 已知含油气系统: 油气藏与烃源岩有良好的地球化学匹配关系。

(•) 假想含油气系统: 利用地球化学资料可以确定烃源岩存在, 但烃源岩与油气藏之间缺乏对比依据。

2. 答题要点:

1) 基本地质要素包含有效烃源岩层系、储集层、盖层及上覆

2) 成藏作用过程包含具备基本地质要素到圈闭形成、油气生成、运移、聚集等油气藏形成的全过程。时间跨度可从几百万年至三亿年(Tissot, 1984); 这些要素与作用必须有良好的时间-空间配置, 才能使有机质转化为油气, 进而形成油气藏, 并经历漫长的保存阶段。

3. 答题要点:

1) 在研究含油气系统的组成时, 必须分析含油气盆地或含油气区内, 是否能满足有效

含油气系统存在的定量基础:

- (1) 在圈闭形成过程中或形成后, 体积上有足够数量的油气生成;
- (2) 有利的运移排出几何通道, 保证油气能呈汇聚式地运移到圈闭中去而不致逸散;
- (3) 存在容积足够大的系列圈闭, 能够保存从最初注入至现在继续充注的油气。

2) 研究含油气系统的组成时, 可以提出不同的方案, 但是至少应包括四个子系统:

- (1) 生成子系统。
- (2) 储集学系统。
- (3) 运移-捕集子系统。
- (4) 保存子系统。

4.1) 侧向排烃油气系统

要求有横向连续的区域盖层覆在广泛发育的渗透性储层单元之上(即盖-储'双层'结构)、弱-中等挤压构造变形或完整的单斜坡道。

侧向排烃系统的特点:

(1) 油藏常出现在远离烃源区的未成熟沉积地层中, 长距离运移的油藏占该系统聚油体积的 50%以上, 运移距离可逾 160km。

(2) 出现于有效区域盖层之下同时代的单一储层系统中, 储藏有该系统聚集的绝大多数油气。

(3) 有效区域盖层中, 断裂作用较小或不明显。

(4) 在过充注的侧向排烃系统中, 近盆地边缘较浅的未成熟地层部位常见大型重油藏。如委内瑞拉东部、西加拿大阿萨巴斯卡巨型极重油带。

2) 垂向排烃油气系统

油气汇聚式垂向排出与中-高等构造变形、变位有关。张性、扭性及冲断构造可产生断层-裂隙系统, 成为汇聚式油气垂向运移通道。

垂向排烃系统的特点:

(1) 几乎所有油气藏均出现在区域生油窗的正上方及其毗邻地区, 侧向运移距离短, 往往小于 30km。

(2) 常发育叠置的多层油气藏, 有时时代差异大但却含相同成因类型的原油, 垂向上各层原油常见层析现象。

(3) 断裂作用仍保持活动性, 直到最后的有效区域盖层沉积时为止。

(4) 在过充注垂向排烃系统中, 若断裂作用至今仍具活动性, 地表常见许多油气苗。

5. 1) 油-源岩对比技术包括总组成分析法 (Bulk methods) (如成分分馏、元素组成分析和同位素比值分析) 和分子分析法 (生物标志物和它们的热生成物)。成功的油-源岩对比需要分清油在成分上的成因特征和非成因特征之间的差异。碳同位素比值和特定的分子特征是油-源岩对比最好的参数。

2) 可靠的油-源岩对比可以为估算生油量和确认油运移路径奠定基础。当同一张图说明一套烃源岩具有合适的有机质丰度、类型和热成熟度, 并处于合适的地层关系, 那么也就说明油有可能产于那套烃源岩。

3) 油源对比至少有三个限制。第一, 只有成熟烃源岩才能提供可靠的油源对比。第二, 来自与油对比的烃源岩的油状物或沥青常用有机溶剂抽提。第三, 某一油滴与准确的烃源岩样品是否能够对比, 这种可能性还很遥远。

4) 请简述常规法和分子技术法。

6. 1) 有效的圈闭必须包括有几个关键的组成部分。这些组成部分包括适当的储集层和盖层 (包括阻碍烃从圈闭侧边逸散侧向盖层), 以及断层泄漏等在圈闭评价中它们都是必须被强调描述的。

2) 关于各种圈闭类型的论述主要是从横剖面的角度来看, 作圈闭评价时应针对不同形式的圈闭的各种平面形态进行详细了解。

3) 区域圈闭评价应集中于在有效的含油气系统中找出潜在的圈闭。区域封闭以及它们与潜在圈闭间的关系应及早在评价过程中确定。应特别加以注意的是圈闭形成的时间同烃的生成、运移和聚集的时间上的配套关系。

4) 单个圈闭的进一步评价, 一旦被确定, 就应该开始选择作图面。最理想的是将圈闭的盖层面作为作图面。实际圈闭盖层面的选择, 要求盖层和储集层的特征描述成为圈闭评价的必要组成部分。

7. 答题要点:

1) 流体历史分析的目的是追溯烃类流体从源岩到圈闭的踪迹; 二是提供石油运移成藏的信息; 三是建立烃类流体运聚模式、储层流体形成史模式。

2) 通过借助储层有机岩石学与水文地球化学、成岩矿物的同位素分析及油气藏的形成期, 为油气藏演化史提供充分的依据。

3) 流体历史分析 (Fluid History Analysis, FHA) 的核心是将储层有机岩石学与水文地球化学、成藏矿物同位素地质年代学、油气藏地球化学三个方面实验研究与盆地的埋藏史、热演化史、沉积成岩史三个方面分析相结合来综合研究烃类流体运聚成藏史。

8. 盆地中油气丰度直接由四个主要条件来决定，这就是：

1) 在沉积层系中必须富含生油的有机物质 (material)，在氧化作用、稀释作用和筛选作用受到限制的条件下，可以形成有利的生油沉积。

2) 考虑到有机物转化为油气，必须有适当的热作用，以达到热成熟 (maturity)，所以要注意盆地热流值与埋藏时间和深度的关系。

3) 要使油气富集起来，就要有有利的运导层或其它运移通道，因此油气运移是富集的重要因素，倾斜的砂层或张性断层常为此提供良好的运移条件。

4) 为了使油气聚集得以保持 (maintenance) 则多孔储集层必须为不渗透的盖层所遮盖，并要有适宜的圈闭条件。

上述四个油气富集因素的有利配合，使生油层、运移通道和储集层互相接触，在适宜的热流和应力条件下可以形成油气富集。

9. 1) 板块构造观点对盆地演化和分类进行论述，首先将盆地分为两大类：裂谷环境，是以离散板块运动和张性构造为主，由于地壳变薄发生了下沉作用；造山环境，是以聚敛板块运动和压性构造为主，由于板块俯冲而引起地壳下沉，也可能由于沉积负荷加大而促进下沉。然后，又将每一大类作进一步划分。

2) 以地球动力学为基础来进行盆地分类，把盆地作为岩石圈上巨大的沉陷区域，以岩石圈地球动力学的研究为前提，将盆地划分为张裂环境盆地、挤压环境盆地、剪切环境盆地、重力环境盆地，再据盆地所处的大地构造位置或地壳性质等进一步划分。

10. 1) 类型划分；

2) 说明如下油气聚集带的主要特征：

(1) 背斜型油气聚集带

(2) 断裂型油气聚集带

(3) 礁型油气田 (藏) 带

三、创新引导

1. 1) 主要与圈闭理论勘探、成藏组合勘探、盆地分析等理论对比。

2) 从首选目标、勘探思路、主要技术手段方面对比。

2. 1) 几何形态分类；以固定论为基础的盆地分类；以活动论为基础的盆地分类。

2) 分类原则、主要类型；

3) 从地质基础理论和油气勘探角度探讨各种分类的优缺点及自己赞同的分类方案。

3. 通过文献调研，提出自己的认识，并与有关教师进行讨论。

综合训练

一、填空

1. 圈闭形成的必要条件包括：储层、盖层和遮挡条件。
2. 典型的油田水型通常为：氯化钙型水和重碳酸钠型水。
3. 储集岩的储集空间通常分为两大类型，即孔隙和裂隙。
4. 利用光学方法测定生油岩有机质成熟度的指标有：镜质体反射率和孢粉的颜色。
5. 压实作用、热力作用和粘土脱水作用是油气初次运移的主要动力因素。
6. TTI 值的计算使用的参数是温度和时间。
7. 三种盆地的不同含义指沉积盆地、地貌盆地和构造盆地。
8. 根据圈闭中油、气、水分布的相对位置，把含油外缘以内的油层水称为底水，把含油外缘以外的油层水称为边水。
9. 石油化合物组成中，芳香烃（不饱和烃）和非烃（杂环）具有旋光性。
10. '石油'：一词，最早是由我国北宋时期的科学家沈括提出，记载于《梦溪笔谈》中。

二、选择填空

1. D
2. C
3. C
4. D
5. C
6. A
7. D
8. A
9. B
10. C

三、是非判断题

1. ×
2. √

3. ✓
4. ×
5. ×
6. ✓
7. ×
8. ✓
9. ×
10. ✓

四、名词解释

1. 油气聚集作用：油气在圈闭中受阻滞，积聚形成油气藏的过程，称油气聚集作用。
2. 镜质体反射率：镜质体是一种常见的有机质煤岩组分，它是由一些被链绞合的缩合芳环束组成，随温度的升高，芳环束逐渐结合成更大的缩合芳香页片。伴随缩合芳香页片的加大定位排列的增强，就引起反射率的升高，因此可用镜质体反射率的高低判断有机质成熟度。
3. 次生孔隙：指沉积物成岩过程中，受成岩作用或成岩后生作用控制形成的孔隙。
4. 地层圈闭：即不整合圈闭，指主要受不整合面遮挡所形成的圈闭。
5. 储集岩。凡具有连通孔隙，能使流体储存并在其中渗透的岩石（层）称储集岩（层），它是构成圈闭和油气藏的基本要素之一。

五、简要问答

1. 简述蒂索将干酪根划分为几种类型？它们有何特征？其成油意义如何？

干酪根是指沉积岩中不溶于碱、非氧化性酸和有机溶剂的那一部分分散有机物质。

蒂索将干酪根划分为三类：

I 型：H/C 原子比高，O/C 原子比低（ $H/C > 1.5$ ， $O/C < 0.1$ ）；

III型：H/C 原子比低，O/C 原子比高（ $H/C < 1.0$ ， $O/C > 0.15$ ）；

II型介于上二种之间。

I 型主要生成石油，偶尔成煤；

III型干酪根主要成煤，少量生气，成油意义大的主要为 I 型，次为 II 型。

2. 简述油气藏形成的条件。

(1) 有足够的油气源；

- (2) 有利于油气运移的通道;
 - (3) 有良好的生储盖组合;
 - (4) 有与油气形成时间配套的圈闭条件;
 - (5) 有良好的油气保存条件。
3. 简述热力在油气藏形成中的作用。
- (1) 热膨胀是油气初次运移的动力因素之一;
 - (2) 粘土矿物脱水需要一定的温度 (100--120℃附近);
 - (3) 温度不利于形成异常高压;
 - (4) 有机质转化排除甲烷气有利于增强气热效应;
 - (5) 热力场方向决定了油气运移的总体方向。
4. 差异压实背斜有何特点?
- (1) 背斜幅度由浅→深, 幅度增加 (由深至浅减少);
 - (2) 背斜隆起幅度与顶部或翼部泥质岩含量有关;
 - (3) 多为宽缓、两翼对称的背斜。
5. 油气初次运移的相态有哪些
- (1) 游离的油、气相, 油相和气相;
 - (2) 乳浊溶液;
 - (3) 胶聚溶液;
 - (4) 真溶液;
 - (5) 气体溶液;
 - (6) 分子扩散。

六、综合思考题

1. 进行古构造发育史分析需要哪些原始资料?
- (1) 该区地层及沉积厚度资料;
 - (2) 地层的沉积速率资料;
 - (3) 主要岩相分布资料;
 - (4) 岩浆活动资料;
 - (5) 断裂及褶皱分布资料;
 - (6) 横剖面图;

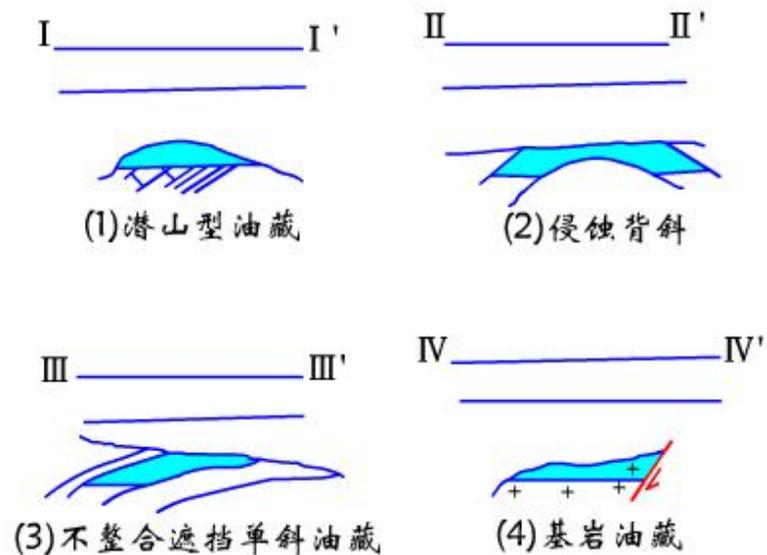
(7) 有关构造图。比较结晶基底与沉积盖层石油地质特点。

2. 比较结晶基底与沉积盖层石油地质特点。

- (1) 油气绝大部分分布在沉积盖层中；
- (2) 生油岩来自于沉积盖层，基岩油气来自于沉积盖层；
- (3) 沉积盖层储层特征多样，而基岩中储层主要以裂缝和次生孔隙为主；
- (4) 沉积盖层圈闭多样，而结晶基底圈闭以不整合面下的潜山型圈闭为主；
- (5) 由于不整合形成上下不协调现象。

七、作图题

1. 用横剖面图表示三种不整合面下油气藏类型。



2. 标出图中可能出现的圈闭类型，勾画出最大闭合面积

