

国外天然气勘探经验

调 研 文 集

四川石油管理局
重点科技情报调研项目
石油工业天然气科技情报协作组



四川石油管理局川西北矿区

一九八九

41111

国外天然气勘探经验



200367799

调 研 文 集

四 川 石 油 管 理 局 重点科技情报调研项目
石油工业天然气科技情报协作组

(1988—1989)



00249362

主编：周 继 荣

主审：庞 家 黎

5462/33



四川石油管理局川西北矿区

前 言

天然气勘探是一门理论性和实用性均很强的综合性学科。它既涉及到地下天然气的生、储、盖、运、聚、保以及沉积史、构造史、成岩作用史和孔隙演化史等一系列基础理论，又涉及到地面地质、矿场地质、地球物理勘探、地球化学勘探、地球物理测井以及实验室分析等实用学科和技术方法。

地下天然气的流动性、“四史”的演化和成藏条件的复杂性，更增加了天然气勘探的难度。国内天然气勘探正向新地层、新领域、新类型和新深度扩展，已展示出良好的前景，同时也遇到了严峻的挑战。在大量科学技术难题面前，除应根据不同的区域地质结构特征，视不同的情况，慎重地选择适应性的理论指导和配套的技术方法，组织多学科、多侧面的联合攻关外，尚应不断学习和借鉴国外天然气勘探的先进理论和技术方法，总结经验、吸取教训，以促进我国天然气工业的发展。

基于上述目的，我们根据石油工业天然气科技情报协作组和四川石油管理局下达的调研任务，结合四川盆地的特点和勘探的需要，针对致密砂岩体和海相碳酸盐岩两大含气领域，以油气藏勘探方法和储集岩评价为重点，开展了《国外加速天然气勘探的主要方法及经验教训》的情报调研课题的研究。编译出版了《国外天然气勘探经验》调研文集一册，约20万字，图表百余幅。文集围绕天然气的生成、运移、聚集、圈闭及气藏的形成和保存；含油气盆地研究及大型油气聚集带预测；油气普查勘探的一般方法；油气藏勘探的方法；储集层研究；油气普查中的教训等六个方面，共精选论文23篇。试图全面、系统地反映目前国外天然气成因、成藏条件、储层受制因素、孔隙预测模式等方面研究的新进展及各种类型的油气藏普查、勘探的新方法，以供从事勘探实践、科学研究和教学工作的广大科技人员参考。

鉴于时间、人力、水平所限，在题材方面难免出现“挂一漏万”、选材不当的缺点和编译上的谬误之处，敬请批评指正。

庞家黎

1989.8.14

目 录

前 言..... 庞家黎

国外加速天然气勘探的主要方法及经验教训(调研报告)..... 周继荣执笔(1)

天然气的生成、运移及气藏的形成

1、国外天然气成因的研究进展..... 周继荣编译(12)

2、地下水圈的含气率与天然气藏的形成..... 庞家黎译(26)

含油气盆地研究及大型油气聚集带的预测

3、沉积盆地的演化及在由被动边缘

向前缘拗陷过渡阶段含油气性的条件..... 庞家黎
周继荣译(30)

4、大型油气聚集带的形成条件..... 周继荣译(38)

油气普查勘探的一般方法

5、油气聚集的预测、普查和勘探的系统方法..... 周继荣译(41)

6、局部预测含油气性的原则和方法..... 周继荣译(48)

油气藏勘探的方法

7、由逆断层和收敛性扭断层所封闭的下盘断层圈闭的解释..... 何 军译(53)

8、在高勘探成熟区非背斜圈闭的调查方法..... 李如金译(79)

9、详细研究地震勘探方法以改进油气普查工作..... 李如金译(82)

10、油气普查中地球化学方法的主要应用范围..... 李如金译(83)

11、维也纳盆地的地球化学：推覆体内烃类形成模式..... 廖仕孟译(85)

12、复杂结构储集层的油气勘探及储量计算方法..... 詹廷选译(102)

储集层研究

- 13、变形机制对阿巴拉契亚中部推覆体储集潜力的影响……………邱宗浚译(105)
- 14、碳酸盐储集岩……………李志敏译(125)
- 15、复杂结构碳酸盐储集层的储量计算特征……………詹廷选译(142)
- 16、复杂碳酸盐储集层岩石物性分析结果的孔隙度类型……………詹廷选译(145)
- 17、怀俄明州哈特佐格浅谷油田香农砂岩中
岩类、成岩作用及岩相对孔隙性的控制……………杨正文译(149)
- 18、影响砂岩孔隙度的参数:砂岩孔隙度预测的一种模式……………邱宗浚译(168)
- 19、影响砂岩孔隙度的参数:砂岩孔隙度预测的一种模式:讨论
……………邱宗浚译(178)
- 20、影响砂岩孔隙度的参数:砂岩孔隙度预测的一种模式:答辩
……………邱宗浚译(180)
- 21、陆源孔隙储集层向裂缝储集层转化的机理……………詹廷选译(182)
- 22、砂岩油气藏的分布决定于储集层孔隙度……………詹廷选译(186)

油气普查中的教训

- 23、关于在普查油气藏时漏掉产层的几个原因……………周继荣译(190)

国外加速天然气勘探的 主要方法及经验教训

(调研报告)

周继荣 执笔

科技情报调研课题《国外加速天然气勘探的主要方法及经验教训》，最初于1988年4月由石油工业天然气科技情报协作组下达给我们四川石油管理局川西北矿区，预定完成时间为1988年5月~1989年5月。同年8月，经过矿区有关领导研究，上报四川石油管理局，同月被批准列为局重点科技情报调研项目。

经过课题组一年来的努力工作，现已完成本课题的全部资料检索，搜集整理、翻译校对及图件清绘工作，出版调研文集《国外天然气勘探经验》，约20万字。本文仅仅作调研报告，简要介绍本课题的研究概况。

天然气地质学是一门综合性很强的学科。天然气勘探，既涉及到天然气在地下深处的生成、运移、聚集和保存的理论问题，需要对生气层、储集层、盖层和圈闭进行系统的深入的研究；也涉及到应用地面地质、矿场地质和实验室地质研究、地球物理勘探、地球物理测井、地球化学勘探和钻井勘探的技术和方法，对含油气盆地的发展历史和区域地质现状进行全面的研究，从中分析有效生油区和圈闭带的位置及基本状况，进行油气远景及资源评价研究，掌握大中型油气聚集带和油气田的形成条件及分布规律，确定最有利的油气圈闭及储集层位，通过布井钻探和试油，证实油气藏的存在并计算其工业性价值，为以后的勘探提供依据。

由于天然气的流动性和深埋地下的密封性，天然气藏的形成和演化是一个漫长的复杂的历史过程。它历经着各种热力学条件的影响和受到众多地质因素的控制。因此，天然气的勘探也是一个非常艰巨复杂的课题，需要严格的科学理论指导、先进的工艺技术完成。正如对世界上一切复杂事物的认识一样，天然气的勘探也是一个实践、认识，再实践、再认识，循环往复，以至无穷的过程。天然气勘探理论在不断地发展和完善，天然气勘探的工艺技术设备也在日益更新，因此，有必要学习和借鉴国外天然气勘探的先进理论、技术和方法，总结经验，吸取教训，以促进我国天然气工业的发展。

本情报调研课题正是基于上述目的，对国外天然气勘探的主要方法及经验教训进行了初步探索。现简要介绍如下：

一、天然气的生成、运移及气藏的形成

1、天然气成因研究

天然气成因是天然气地质学中的一个首要问题，要考察天然气的最重要的地质问题和地球化学问题，包括它们在沉积层中的存在量及其分布，研究它们运移的途径和形成矿藏的规律，都必须揭示天然气的成因。

编译文章《国外天然气成因的研究进展》从广义的天然气概念出发，介绍了近些年来国外天然气成因研究的发展状况，如生成天然气的主要作用，天然气的成因分类，生油气层观念的变化等；并对有机成因的天然气（包括岩石中分散有机质、集中的煤炭物质、分散的煤炭物质的气体）和无机成因的天然气（包括岩石成因的、放射性成因的、宇宙的、大气圈和水圈来源的气体）的研究，分别进行了较为全面系统的介绍。文章重点阐述了烃类气体的成因，如原始有机质的类型、有机质的组成、有机质转化的影响因素、烃类生成的垂直分带、生气量的计算、煤成气的特点和研究方法以及国外关于烃类无机起源的主要观点，也论述了油气田伴生气，如 H_2S 、 CO_2 、 H_2 、 N_2 和惰性气体的成因、烃类气体的转化和气藏化学组成的形成问题，对目前国际上广泛应用的天然气成因的同位素研究法进行了介绍。

2、天然气的运移及气藏的形成

天然气的运移是一个国际上长期研究的课题。天然气的运移包括初次运移和二次运移，运移的动力目前认为有压力（包括上覆沉积物的静压力和构造变形的动压力）、热力（由于埋藏加深、温度升高引起的膨胀作用）、浮力（地下流体密度差引起）、水力（孔隙地层中地下水流动）、毛细管力以及由于浓度差引起的分子力等。

形成天然气藏的油气二次运移的方向，主要受区域构造背景，即凹陷区与隆起区的相对位置及其发展演化历史的控制。一般位于生油凹陷附近或其中的隆起带和斜坡带，常成为油气运移的主要方向，特别是其中的长期的继承性隆起带。当然，油气运移方向也受到储集岩性、岩相变化、不整合和断层分布、水动力条件的控制，需要进行综合分析。

译文《地下水圈的含气率与天然气藏的形成》介绍了地下水中的天然气在构造运动作用下“脉动”运移形成气藏的机理。文章认为，在地下水中，从潜水到深部沉积岩水和岩浆水，都不同程度地含有溶解气。含气饱和度很高是异常高压带地下水的特征，这是由于在地层压力剧烈下降时，水的强烈脱气作用引起的。地下水圈中的水溶气足以形成任何天然气田，包括储量上举世无双的气田而绰绰有余。烃类气体的工业性聚集的形成，主要是由于地下水中天然气集中的结果。

文章认为，含油气盆地地下水的含气饱和度（溶解气的成份、数量及其弹性压力）具有以下的变化规律性：在其它条件相同的情况下，随着含油气盆地的含油气水层年龄的增长，地层水的含气饱和度下降，（ P_2/P_1 从1降到0.1或更低），其成分从甲烷开

始,经过重烃含量增加的甲烷氮气,变为氮气($\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3$, TY; $\text{N}_2 \rightarrow \text{N}_2$),它决定于含油气盆地沉积层生气潜力的降低。

天然气藏形成的最重要条件是地下水的极限含气饱和。烃类均化作用的主要机理是构造运动。首先,构造运动有助于加剧水的脱气,引起气和油的强烈上浮;其次,沉积岩层处于经常性的运动中,由于内力和外力作用表现的结果而“震荡”着。由于日、月引力的影响,地壳每日时升时降;再加上浪潮、风暴特别是地震的影响,导致岩石骨架变形,沉积层的裂缝、孔洞和微裂隙频繁地振动和开启闭合,足以克服一切阻力,不断地排挤油气,在浮力作用下向上运移,在盖层下聚积,并进而运移到最近的圈闭形成油气藏。因此,大多数油气藏的形成时期与地球发展的主要造山运动阶段相一致。

上述学说较为圆满地解释了天然气运移成藏的过程。

二、含油气盆地研究及大型油气聚集带的预测

1、含油气盆地研究

含油气盆地是油气生成、运移和聚集的基本地质单元。含油气盆地的沉积演化历史,包括沉积史和构造史,在垂向上控制着圈闭和油气的分布。含油气盆地的拗陷中心在平面上控制着油源区的分布。盆地内的沉积相控制着生油气层、储集层和油气藏的分布,而油气聚集带的形成是圈闭带同油源区和储集岩相带有机配合的结果。含油气盆地研究,就要研究在不同地质历史时期,含油气盆地的沉积和构造发育特点,生储盖层系的组合状况,以及含油气盆地平面上有效生油区的位置、沉积相的演变和圈闭带的分布。

译文《沉积盆地的演化及在由被动边缘向前缘拗陷过渡阶段含油气性的条件》就是研究盆地发展史之一例。

文章认为,沉积盆地的构造类型在时间上和空间上的更替,由岩石圈演化的总的方向性所确定;从岩石圈板块构造的观点出发,在一个地质构造周期范围内,它表现为大陆的分裂,新海的形成及其后来的闭合,伴随着造山作用。相应演化的一系列沉积盆地,在大多数情况下以断裂型盆地开始,以后连续地演变为被动边缘盆地、俯冲盆地,最后变为山间盆地。因此,在每一具体的条件下,为了正确地评价含油气性前景,必须不仅查明沉积盆地的现今构造,还要查清它的地质历史,也就是存在于每一连续发展阶段的古盆地类型以及它们在时间上和空间上的对比关系。这种必要性出自两方面考虑:其一,每一盆地具有自身的油气生成和油气聚集条件的特征;其二,相互更替的盆地的每一个对结局盆地的含油气性提供确定的贡献。

文章指出,深水拗陷一边缘隆起的构造形态,是前缘拗陷早期阶段的特征,这对于它的含油气性有着巨大的意义。深水拗陷受限制的水交换环境,建立了有利于有机质聚集、保存和高质量油气源岩形成的滞留条件;边缘隆起是限制深水拗陷的独特的接合带,它后来处于由该拗陷运移的油气聚集的极其有利的位置。

一系列构造成因带和沉积成因带在被动边缘沉积盆地的含油气性中起着重要的作用。在大陆——海洋的过渡区域中,基底的阶状断层,特别是地垒式断块或者火山成因

的隆起属于构造成因带。许多油气田，包括大型的和特大型的油气田与之有关。与陆棚——斜坡界限配套的沉积成因带，可能具有障壁礁、砂堤、“生长”断层、尖灭带和相变带、剥蚀表面、盐洲等，在有利的条件下，可能形成油气圈闭。文中列出了现代被动边缘沉积盆地中各种类型的圈闭和油气藏的分布模式。

文章认为，在处于拉伸和沉降的构造状态下形成的这些沉积盆地中，实际上缺乏由于挤压的结果形成的并至今作为普查工作主要目标的典型的背斜构造，其中的背斜主要是与“生长”断层相结合的褶皱、覆盖构造和致密构造（位于地垒、断块、盐和粘土的底辟、礁等之上）、重力褶皱或者沉积体，它们通常表现出比较狭窄的地层间隔而与挤压背斜相区别。

基底阶状断层的复活起着最重要的作用，它们在挤压条件下能够变形为逆断层和逆掩断层。沿这些深部断层的反向运动通常导致上覆沉积层变形为拉伸的断面上的褶皱。世界上最大的油田加瓦尔油田以及伏尔加—乌拉尔盆地的奥伦堡气田等，就与此类构造有关。

笔者认为，本文对于四川盆地的勘探具有一定的指导意义。

国内有的研究者指出，四川盆地是断裂方式形成的地台型、板块内部沉积盆地。其演化早期是稳定的广海相沉积，后期断陷、拗陷活动强烈。深部基底断裂多，盖层断层简单。深部断层支配褶皱，常形成次一级块断体。断褶构造演化程度和后期保存条件是油气聚集关键，储层具非均质性或致密性，有利部位为断褶构造程度低或潜伏构造，伴生构造，应抓隐伏断裂及复合型圈闭。笔者赞同这种见解。

2、大型油气聚集带的形成条件和分布规律

油气聚集带是含油气盆地内，在同一构造带或岩相变化带中，油气聚集条件相似的一系列油气藏或油气田的总和。油气聚集带是圈闭带同油源区和储集岩相带有机配合的结果。大型油气聚集带的形成条件和分布规律，是国际石油地质学家长期研究的重要课题，也是加速天然气勘探、迅速扩大天然气储量的重要途径。

据统计，世界上64%的天然气探明储量分布在埋深750~3000米的范围内；较大型气田中，75%的储量是在砂岩中，25%的储量是在碳酸盐岩中。已发现的88.4%的巨型气田属于构造圈闭。

较大型油气聚集带的90%分布在地台区，但在非地台型盆地（美索不达米亚、马拉开波）也发现一些最大的油气田。这些盆地的地质特征不是典型的褶皱区，沉积岩的褶皱程度较弱，烃类保存较好。主要的油气资源属于克拉通边缘陷区、地台边缘陷陷、地槽褶皱的前缘陷陷带、山前陷陷。因为这些地区的长期拗陷有利于大型油气田的形成。

在大型油气田形成过程中，不整合面具有一定的作用；若沉积间断位于巨厚岩层之上，形成大型油气田的可能性较大。在以强烈稳定沉降为特征的大型古盆地中，烃类生成强度及其保存是形成大型油气田的必要条件。

研究证实，在板块型大型地台盆地中或在包含有穹窿井未经破坏的巨厚岩层覆盖的大台向斜中，大型油气聚集区主要分布在大型正向构造单元中。在相对较小的盆地中或

在穹窿顶部沉积岩厚度不大的地台上，油气聚集区主要从属于大型负向构造单元内部的二级正向构造带。如果沉积岩厚度很大（6~7公里以上），油气常富集在盆地边缘；如果沉积岩层厚度不超过4~5公里，则油气常富集在中部。在山间盆地也发现这种特点。在地堑和裂谷盆地中，油气或者分布在中部，或者靠近边缘分布。在山前拗陷中油气聚集不仅发现在拗陷最深地带，而且还发现在地台一翼的斜坡带。

按照油气差异聚集原理，大型和特大型油气田首先在厚度梯度最大的较低部位圈闭中，也是位于油气自生气区侧向运移通道上第一个圈闭内。当存在若干个生气气中心时，位于拱状隆起上的油气田的储量愈大，则自该油气田至这些凹陷中心之间的总距离愈近，即烃类运移的总途径愈短。

大油气藏从属于不同特征应力交会处——接合带、断裂发育区和压扭变形带等这一事实，可以作为认识大型油气藏形成过程的重要先决条件。

巨型油气田的特点是其与以重力阶地形式的深大断裂有关。这些地带处于长期持续下沉的沉积盆地背景上，经受了不同方向的振荡运动，创造了特别有利于形成大型油气藏的地球动力学环境。

地温梯度是可能形成大型油气聚集区的具体辅助指标之一。在具备聚集油气的一切必要地质因素的碎屑岩沉积盆地中，热流值高有利于中等以上储量油气藏的形成。

地层水中含气饱和度是形成大型气田的有决定性影响的因素之一，基岩埋藏深度大是控制大型天然气聚集的又一个重要因素。深部地层的岩性成分和含气地层的褶皱程度是决定不同深度大型气田形成的必要条件。大型天然气聚集仅能形成在可靠的泥质岩或蒸发岩盖层发育地区和由负向构造运动向正向构造运动转换地区，因此，在古生界地层中形成大型气藏必定伴有蒸发岩封闭。

天然气进入圈闭的多阶段性可能成为形成大型天然气聚集的重要因素之一。

译文《大型油气聚集带的形成条件》认为，古老板块和年轻板块的结合部位，衔结框架的褶皱构造的地台“活动的”边缘部分具有最大的前景。生气气中心与聚集带在空间和时间上的配合，所有的大型油气聚集带的形成与作为生气气中心的强烈拗陷作用地区有关。具铁镁壳的拗陷向克拉通斜坡转化的部位经常控制着油气聚集带的分布。划分油气聚集的决定性标准之一，是导致地层水强烈脱气和古油藏转化为凝析气藏的回返上升运动的规模和幅度，交叉的局部隆起在形成油气聚集带中起着重要的作用。

文章指出，只有在综合分析所有影响烃类生成和运移作用强度，区域性的大型油气聚集带在岩石圈中分布的深度和构造分带性的因素总和，才能科学地解决预测大型油气聚集带的复杂课题。

三、油气普查勘探的一般方法

由于油气藏形成的长期性，发展的多样性，分布的复杂性，给油气藏的普查勘探工作带来了极大的困难。这些情况决定了油气普查勘探的特点是，必须采用区域性的综合的系统方法。

译文《油气聚集的预测、普查和勘探的系统方法》提出，解决油气圈闭和油气藏普

查勘探任务的系统方法的主要原理是：完整性、结构性、级别性、体系和环境的相互依赖性。文章列出了表明油气形成条件和聚集分布规律之间相互关系以及对它们的预测、普查和勘探工作序列的系统图，并分别进行了阐述。还建立了含油气境域的静力学系统模式，划分了含油气境域的等级，论述了该系统各元素之间的紧密联系。在分析含油气境域系统的基础上，详尽地研究了油气藏的分类，进而介绍了油气藏的预测、普查和勘探的系统方法。

《局部预测含油气性的原则和方法》认为，由于寻找油气藏的条件更加复杂化（转入研究小幅度的隆起、各种非背斜型和复合型圈闭以及巨大埋深的产层），在钻探局部对象中采用的预测含油气性前景的方法也在完善着。

局部预测是根据综合面积缺少的研究对象（Ⅲ级背斜构造、不同类型的非背斜构造）的地质学标志，以及根据地层剖面（单独的储油气层）来评价含油气性。它包括预测流体遮挡、虚伪盖层和储集层的三个主要参数、圈闭的产能，而对于预测的有产能的对象，补充评价油气藏高度、烃类相态和它们聚集的规模。

局部预测完成于地带的和准局部预测之后，并务必是针对位于有前景的地带、剖面上有前景的部分的研究对象，并且根据准局部预测的资料，具有肯定评价含油气性的特点。

局部预测含油气性方法的基础，是在系统研究中的构造观点原理：体系的完整性，研究的方向性和研究级别的从属性，分析的综合性，处理的多样性，采用方案的形式性。

文章详细阐述了局部预测含油气性的方法。

四、油气藏勘探的方法

油气藏勘探的方法是多种多样的，但在不同的探区，处于不同的勘探阶段，针对不同的勘探对象，其勘探方法也具有灵活性和侧重性。我们调研的主要范围是：

1、非背斜油气藏的勘探

虽然迄今为止，在世界上发现的大油气田中，背斜油气田占四分之三以上，而且背斜圈闭至今仍是油气普查勘探的主要目标，但随着勘探程度的提高，可供勘探的典型的大背斜圈闭越来越少，国际上越来越注意非背斜型油气藏的勘探。特别是在处于拉张和沉降构造状况下形成的沉积盆地中，挤压形成的典型背斜构造极少，更应把研究非背斜型油气圈闭的工作提上议事日程。正如前面所述，在这类沉积盆地中，它们常是油气圈闭的主要类型。

译文《由逆断层和收敛性扭断层所封闭的下盘断层圈闭的解释》以苏门答腊和加利福尼亚南部的油气田实例，说明在被压缩而变形的盆地内，被逆冲断层和收敛性平移断层所封闭的下盘断层圈闭为油田的重大扩展和新领域的勘探提供了良机。这些断层在横剖面上具有逆向断距，而在构造上翘处离开断层的地层倾斜又经常提供横向闭合（在油层倾向方向上）。这种上翘是普遍的，它形成于下盘断块的边缘，是断块边缘褶皱、断层牵引和朝断层走向横向缩短的结果。有效的断层封闭和纵向闭合（平行于油层走向）是最不确定的圈闭控制。断层封闭可能由紧靠下跌油层的较老的渗透率较低的岩层的斜接所提供，或者由断层带内不渗透的物质所造成。断层带流体流动的遮挡层包括页岩状

的浸润断层泥、碎裂的断层泥、矿物沉积,或者沥青和焦油浸染物。纵向闭合最常见是在下盘断层边缘由宽阔的正向起曲或弓形弯曲所形成,或者由地层油层的尖灭所形成。次级断层,主要块断层的交叉和雁列褶皱也可能提供纵向闭合。

勘探范围可以重点地从存在着上盘闭合的补充扩展,到与断层面上盘构造无关的大型圈闭,文章提供的断层圈闭的各种几何形态,可作为在其它盆地勘探的识别和圈定模式。

译者认为,本文对川西北地区龙门山逆掩断层带的勘探具有重要参考价值。

《在高勘探成熟区非背斜圈闭的调查方法》指出,在美国的高勘探程度地区,仍有相当大部分的油气资源未勘探出来。它们主要属于小型的岩性及复合圈闭范畴,地层不整合起着主要的作用。对于这类油气田的普查,是根据矿场地球物理资料,详细研究剖面岩石组成的变化以及采用高分辨率的地震勘探方法。文章对此进行了详细介绍。

2、地球物理和地球化学勘探

地球物理法是利用物理学原理和技术来解决地质问题的方法,主要包括地球物理勘探和地球物理测井。地球化学勘探是研究地下油、气藏向地表扩散、渗滤的微量烃类及其运移过程中与周围介质所发生的生物化学及物理化学变化的产物。

《详细研究地震勘探方法以改进油气普查工作》报道了美国的一些公司在普查小型构造圈闭、地层圈闭工作中改进地震勘探方法的信息。

《油气普查中地球化学方法的主要应用范围》提出,地球化学测量的主要研究对象是生油层的有机碳,以及产生油气的酞酐根;表明生油层热成熟度的重要参数之一是镜煤质的反射率;用电子计算机预测来研究岩石热成熟度级别的模拟过程,具有重大的意义。镜煤质的反射率可以反映烃类的相态,根据温度场的数值可以确定钻井的深度。地球化学勘探可用于非背斜型油气圈闭的研究,因为其中的油气多数是短距离运移,与生油气层关系密切,当然,这种预测要结合地质、构造及地震勘探资料进行。地表地球化学勘探能够指出烃类的区域性运移方向。

《维也纳盆地的地球化学:推覆体内烃类形成模式》指出,维也纳盆地是阿尔卑斯——喀尔巴阡推覆体内的一个第三纪拉张盆地。沉积岩厚度,包括上第三系盆地沉积,中生代推覆复合体和中生代原地地层,可能超过1千米。

通过地球化学分析研究,认为油、气源若是位于推覆体下的原地侏罗系地层。这些岩层的大部分生油潜力在推覆过程中被保存下来,大多数烃类是推覆活动以后,上第三系沉积埋藏后形成的。

油、气藏的垂直分布表明油气经过主要断层明显地垂直运移。

维也纳盆地也可以看做是在其它推覆体油气生成的一个模式。

《复杂结构储集层的油气勘探及储量计算方法》认为,用传统方法钻开和开发这类储层往往不能获得积极的效果。大多数研究者认为,有效孔隙度大于3%的微裂缝碳酸盐储集层是既能产油又能产气的工业性储集层。按照这个观点,苏联广泛分布的孔隙——孔洞——裂缝性碳酸盐岩具有重要意义。

对孔隙空间结构复杂的低渗透储集层,工业性开发的途径之一是在油气田适宜的地质结构上进行爆炸,从而在近井空间形成张开裂缝系统,排出储层基质中的油气,在夹层

和层组之间建立纵横向上的良好的水动力联系,因而出现人工建造的巨厚块状油气藏。

文章详细介绍了广泛运用爆炸强化油气流的条件下,油气采收率及可采储量的计算方法。

五、储集层研究

储集层是油气藏形成的基本条件之一。储集层的层位、类型、形态特征、分布范围、发育程度、内部结构特征和储集物性的变化规律控制着地下油气的分布、储产油气的能力,并直接影响油气藏的类型。因此,深入进行储集层的研究,不仅可以掌握含油气盆地的储集层条件在纵、横向上的变化规律,寻找有利油气富集地带,而且结合其它因素,还可进一步预测可能出现的油气藏类型和分布情况,给勘探工作提供依据。

勘探阶段储集层的研究,主要包括储集层分布的研究和储集岩物性的研究。

主要的储集岩类型有两种:碎屑岩和碳酸盐岩。我们调研的重点是碎屑岩,特别是砂岩储集层。

1、储层研究的一般方法

国外研究储层性质的常规方法主要包括沉积结构和相分布的沉积学分析,以及确定岩石的成分、结构、孔隙度和成岩史的岩石学研究。对没有遭受重大变形和断裂的区域,运用以上研究方法已足够了。然而,随着对类似推覆体这样的复杂构造区勘探程度的进一步加深,还必须研究变形机制对减小或提高孔隙度的作用。

译文《变形机制对阿巴拉契亚中部推覆体储集潜力的影响》推断,与各种变形机制相伴生的有限应变,能极大地改变推覆体中储集岩的孔隙度和渗透率。例如压溶和碎裂机制会降低孔隙度和渗透率,而拉伸断裂和角砾化作用将增大孔隙度和渗透率。有限应变与初始孔隙度和最终孔隙度之间在理论上的演变关系表明:在应变超过1.5的岩石中很少有孔隙被保存下来。对这些机制中相对重要的几种类型加以研究,可用来确定阿巴拉契亚中部推覆体储层性质的区域变化和局部变化。烃类潜力的区域界限可由有限应变资料和热成熟度资料(牙形刺色变指数或CAI)相结合来确定。根据这些研究,作者得出结论:生油潜力主要限定在阿巴拉契亚高原地区内;生气潜力在山谷、山脊和高原地区由西向东减弱,且其大致的东部界限由北山逆断层所限定。

对本文提出的影响储层性质区域变化和局部变化的决定性因素的分析,有助于评价其它推覆体内具有远景构造的储集潜力。

2、碳酸盐储集层研究

据统计,碳酸盐岩中的油气储量已接近世界总储量的一半,产量则已达总产量的60%以上。

碳酸盐储集层分布的研究,主要是通过沉积环境分析,确定和寻找粗结构沉积和生物礁分布的有利相带;研究碳酸盐岩的成岩后生变化,包括古水文条件、古潜水面变

化、地下水活动历史；确定储集层内孔、洞发育带；分析构造发育史，确定古风化壳位置；通过局部构造以及控制裂缝发育的区域构造研究，寻找构造裂缝发育带。

译文《碳酸盐岩储集层》研究了碳酸盐储集层的孔隙结构、孔隙的形成和发展变化。它详细论述了碳酸盐储集层的孔隙种类、沉积环境与储集层之间的关系、成岩作用与储集层发育之间的关系等问题。

文章认为，碳酸盐岩中孔隙的形成和破坏是由于许多变化的结果。原生孔隙发育于高能环境，其中的细粒粉砂和粘土级颗粒被带入悬浮并搬运到较深水中。在低能环境的藻网沉积中，随着有机物的腐烂和释放出气泡，产生窗状或鸟眼孔隙。储集层中的最终孔隙或者取决于（1）没有成岩作用，或（2）创造次生孔隙的成岩变化或消除原生孔隙。

在早期地面蚀变作用期间，最有利于孔隙形成的是那些受到渗流水淋滤的带和早期的白云岩化的带。然而，早期成岩作用趋于减少孔隙率。

在埋藏期间，增加孔隙的有利条件与在拉张地区开启缝发育的带有联系，特别是在致密的均质的地层中。通常，埋藏期与原生孔隙网络的破坏相联系。

岩溶作用发育大的孔隙，任何溶于大气水中的碳酸盐岩都可形成岩溶储集层。然而，这样的储集层并不常见且只能保存在特殊的条件下。

《复杂结构碳酸盐储集层的储量计算特征》指出，同碎屑岩比较碳酸盐储集层的特点是储容和渗透性以及岩石骨架的矿物成分变化大，裂缝和洞穴作用破坏了储容性与渗透性之间的相关关系，而岩石固相的每组分特征也使岩石物理模型复杂化。剖面上强烈的纵横向不均质性 with 深部泥浆滤液渗透带相结合，妨碍着对地层渗透性未改变部分的研究。因此，对复杂类型碳酸盐储集层的研究，使用标准的测井组合，在用普通水冲洗液钻进的井中选取岩心，根据裸眼段或套管段的整体测试资料，都往往不能达到目的。

大小裂缝都发育的碳酸盐地层的特点是渗流模型复杂、油气储集层的基质可能具有很低的渗透性和容量性。较之渗透性相近的碎屑岩，岩石基质中的烃类含量一般较高。在轻质油气的厚层块状油气藏中，低孔（3~6%）、低渗（ $0.1 \sim 1.1 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ ）碳酸盐岩基质的油气饱和度可达80~90%。

文章强调了特殊的地球物理测井对研究复杂结构碳酸盐油气田的重要作用。它们包括在基准井进行的宽频声波测井、BULK，脉冲中子测井，核磁测井，在观察井重复进行的中子和声波测井，及在测试过程中进行的测井，它们可以解决标准测井组合至今不能解决的课题：确定油气界面、油水界面及复杂储层和流体系统中的油气饱和度和，划分裂缝带，油气井产能评价，研究一种流体驱替另一种流体驱替的过程等等。

《复杂结构碳酸盐储集层岩石物性分析结果的孔隙度类型》指出，乌拉尔山前拗陷别尔库托夫凝析气田的石灰系层是石灰岩和白云岩层系。主要有效容积与次生溶蚀孔和裂缝有关，原始孔隙只在一些白云岩和白云化灰岩石中是有效的。岩石的上述特点是由于区域性断裂作用所致，它一方面使沉积岩变致密和变质，而另一方面使得裂缝及次生孔隙发育，从而改善了储集性能。

文中研究了具次生孔隙的储集层，划分了它的孔隙类型。第一类岩石孔隙度为2~3%，有裂缝，电阻相对较低，纵波时差和渗透率变化幅度大；第二类岩石孔隙度大于

3%，裂缝较少，作为溶蚀标志的次生孔眼发育，孔隙度变化范围大，孔隙度与其它储集参数之间的关系比较密切。

3、砂岩储集层的研究

砂岩储集层分布的研究，主要是沉积环境的研究，核心问题是解决古海(湖)岸线的位置，因为砂岩体最发育于海陆过渡带，故还要确定古河流的位置，进一步确定沉积微相；还要确定物源方向，实际为确定古河床的位置及变化，可根据地层厚度、岩屑及矿物百分含量，粒度变化进行分析；在上述工作基础上，确定砂岩体的位置、类型及分布范围，以及开展对储集物性的研究。

译文《怀俄明州哈特佐格浅谷油田香农砂岩中岩类、成岩作用及岩相对孔隙性的控制》报道，哈特佐格浅谷油田是一个大油田，其生产层香农砂岩周围为页岩封闭，属于极好的地层圈闭。

文章通过大量岩心、薄片、微古生物分析及x射线衍射和电子显微镜扫描等方法研究，认为香农砂岩是晚白垩世陆棚砂岩复合体沉积，推断出其成岩作用史，确定了古海岸线的位置，并根据岩性、沉积构造划分出六种沉积相(A~F)，其孔隙度和渗透率依次降低。

文章认为，分散的碎屑粘土对孔隙性起着主要的控制作用，但在相A和B中主要生产层段的交错层砂岩中它们含量稀少，孔隙变化主要受成岩作用控制。微孔隙对渗透性不起作用，它们主要与碎屑粘土有关。水饱和度随微孔隙增加而增加。

推断的共生序列是：(1)菱铁矿的胶结作用；(2)粘土包裹颗粒的生成；(3)石英的胶结作用；(4)方解石和白云石的胶结作用；(5)碳酸盐胶结物及一些骨架颗粒的溶解作用；(6)石英的次生胶结作用与一些特殊矿物夹层的形成；(7)石油的富集。

《影响砂岩孔隙度的参数：砂岩孔隙度预测的一种模式》根据地壳内部、遍及全球的428处岩心资料，应用因子分析，对影响砂岩孔隙度的13个因素进行了分级评价，并提出了计算砂岩孔隙度的经验计算模式。

文章认为，影响砂岩孔隙度最重要的参数是年龄、矿物的组成(碎屑石英的含量)、分选和最大埋藏深度。温度只起次要的作用。孔隙度同第一类参数之间的关系，除深度在500~5000米区间外，均为线性关系。

没有或只有很少胶结物的砂岩孔隙是能估计的，在1000磅/英寸²(6.9兆帕)静压下的超压砂岩中的孔隙度约1.9%。

由于压实作用与胶结作用的相互关系，胶结物使孔隙减小的作用甚微，因为它能起稳定砂岩骨架的作用，在砂岩成岩史中，胶结作用比压实作用时间短暂。

淋滤作用能形成大量有意义的次生孔隙，但对其复杂机理尚未完全了解，对次生孔隙的预测困难。

《陆源孔隙储集层向裂缝储集层转化的机理》指出，不同盆地绝大多数油气藏埋藏深度在3.5~4公里，且与陆源孔隙储集层有关。随着勘探目的层埋藏深度的增加，裂缝储集层的油气藏将增多；当达到和超过临界压实压力的深度时，碎屑岩的储容性明显地

受裂缝所控制。因此，要预测含油气性和布置钻井，应当论述裂缝性储集层最可能的模式，即查明裂缝分布规律。为此，首先必须认识碎屑储集层转化的机理。

文章把泥岩——流体——储集层作为一个系统进行研究，把沉降阶段Ⅰ——初始阶段（运移阶段）、Ⅱ——主要阶段（流体在储集层中重新分配并产生裂缝）、Ⅲ——临界阶段（流体从孔隙空间流向裂缝储集体），论述了孔隙储集层向裂缝储集层转化的影响因素及过程。指出第Ⅱ阶段的特点是流体在储集层中再分配，产生裂缝和把碎屑孔隙型储集层改造成孔隙——裂缝型储集层。此阶段具有油气藏勘探开发的最佳条件：整个地层上具有符合工业标准的孔隙度和裂缝率，岩石具有储容性。

文章认为，裂缝在泥质颗粒含量最少及砂和粉砂组含量最高的地段发育；在局部隆起上，则是由于褶皱作用——顶部附近岩石变松的结果。在深埋藏的异常高压条件下，不可能保存孔隙性储集层，它们必然会转变为具裂缝的致密岩石。

《砂岩油气藏的分布决定于储集层孔隙度》分析了乌克兰的喀尔巴阡和沃伦——波多利油气区中油气藏的分布规律。主要的油气藏属于早期破坏作用阶段的沉积，只有早期破坏的沉积中才有流体遮挡和能够富集成油气藏的高孔隙度（最大孔隙度超过10%）陆源砂岩储集层分布。

少数几个油气藏与裂缝性低孔隙岩石有关，这些岩石经过了晚期破坏作用。但在区域地质发展的当时阶段，却是在早期破坏作用的温度压力条件下回返上升的，这种油气藏只占该区油气藏总数的7.2%；其余的油气藏（92.8%），据岩心分析，与高孔隙度碎屑岩储集层有关。大部分油气藏（74.7%）属于岩心分析最大孔隙度为10~25%的碎屑岩，这相当于早期破坏作用阶段的气煤和长焰煤亚期的沉积物改造。早期破坏作用阶段孔隙度超过10%的沉积物分布的深度取决于当时的温度或古地温能否把岩石加热到165℃，以及区域地质发展史。

六、油气普查中的教训

译文《关于在普查油气藏时漏掉产层的几个原因》分析了在不同地区很晚才发现的产层，有时是很好钻探甚至长期开发的油田中储量丰富的产层的情况，说明在普查阶段漏掉产层经常不是由于偶然的原因引起，而是在评定钻开剖面的前景时，对于选择探井试油区段应用同一种方法论观点的结果。

评定含油气前景有两种相反的（但并不相互矛盾的）原理：（1）正面评定原理：任何研究对象，如果具有含油气可能性的证据，它就有前景的。（2）反面评定原理：任何研究对象，如果不存在缺乏产能的证据，它就有前景的。

两种原理都具有确定其适用范围的特征。应用正面评定原理发现了许多含油气地区 and 大型油田，但它也具有本身的缺点，其一、是评定某些证据及所有证据总和的意义的主观性；其二、是视作研究对象含油气性的现有证据的数量，取决于对它的研究程度。文章列举了应用正面评定原理，在东土库曼、鞑靼、巴什基里亚等地区漏掉产层的实例，说明该原理应用的局限性。

（下转25页）

国外天然气成因的研究进展

周继荣 编译

天然气成因是天然气地质学中的一个首要问题。要考察天然气的最重要的地质问题和地球化学问题,包括它们在沉积层中的存在量及其分布,研究它们运移的途径和形成矿藏的规律,都必须揭示天然气的成因和来源。

广义的天然气指岩石圈中存在的一切天然生成的气体,包括自然界中的各种气态单质和化合物,如烷烃($\text{CH}_4 \sim \text{C}_8\text{H}_{12}$), CO_2 , N_2 , H_2S , O_2 , H_2 , CO , SO_2 , NH_3 , 及稀有气体—He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn等。狭义的天然气指油田气和气田气,又称可燃气体,它主要由气态的低分子烃和一些非烃气体(CO_2 , N_2 , H_2S 等)混合组成,其中烃类气体,特别是甲烷通常占很大比例。

一、概 述

1、生成天然气的作用

地球中气体的生成作用十分广泛。形成天然气的主要作用有: 1) 化学反应: 其强度由温度和压力控制; 2) 生物化学反应: 其发生与生物体的生命活动有关; 3) 放射—化学反应: 发生在各种辐射的影响下; 4) 放射性衰变和其它原子核反应。但是,在自然界中很少有单一生成的气体单独聚集,它们总是不同程度地互相混合着。

2、天然气的成因分类

天然气的生成具有如下特点: 一方面,不同的作用可能产生相同成分的气体; 另一方面,同一作用可能产生不同组分的气体。因此,只能根据生成天然气的主要作用进行成因分类(表1)。

多年来,国际上天然气成因分类法为数众多,其着眼点不外乎以下几个,即气体的生成作用、原始母质、化学组成、存在或表现形式及在地壳中的发育部位。

自然界中任何存在形式的烃类气体的主要数量,由沉积岩中以分散的或集中的(煤)状态存在的有机质被改造时产生。因为这些气体在形成过程中与沉积岩有某些相似,所以又被称为有机沉积气体。