

油气藏理论在我国油气勘探中的成就与发展

田 在 艺

(北京石油勘探开发科学研究院)



石油天然气的生成与油气藏形成的地质条件以及在地壳内某一地区环境的聚集在自然界是一个复杂的现象。研究这一问题具有深邃的理论意义,同时在实际应用上对于寻找油气是一个非常重要的规律性的问题。这一问题的认识与研究是随着人们与自然界在实践的斗争过程中逐渐启示和丰富自己的观点和认识,对于石油地质学这样一个重要问题上作出的建树,在科学上和实用上是宝贵的经验并不断地继承性地加以发展。

不言而喻,当人们开始发现油气藏(田)之后,因为它不象固体的沉积矿床一样在它原来沉积的地方成层,因而就会联想到油气的来源会从某一些地区的油气源岩运移聚集形成的油气藏,同时它一直完好地保存着没有遭到破坏和散失。从而得出一个概念——油气藏是一个具有孔隙性和渗透性的储集岩层,其上部被致密具有一定厚度的非渗透性盖层所覆盖,其储集岩层由于地壳运动产生了变形具有遮挡的圈闭条件,使油气圈闭其中。任何一种具有孔隙和渗透性的岩层,不管是碎屑岩,碳酸盐岩,火成岩或变质岩,都能成为储集层。一个油气藏的圈闭都是在储集层和盖层受地壳动力作用发生形变以后形成的,构造形变主要是褶皱作用、断层作用,或二者同时存在,这些作用可以在一个构造幕中完成,也可以经过几个构造幕完成。在油气勘探的实践过程中,逐渐地使我们认识到,在一个含油气盆地内,油气藏的形成过程是和地质历史上大地构造发展有关的一个统一整体过程,即油气的生成与油气藏的形成,整个是由大地构造对于生油气有机物质的堆积、沉积形成的旋回性,以及油气在地壳内的转化、移动规模、运移方向和聚集形成甚至破坏等等,都是决定油气在地下聚集过程的分布规律。对于以上这些问题,我们石油地质科学工作者必须获得解决,以便有助于我们完成寻找新油气藏(田)的唯一任务。

如此说来,油气藏圈闭形成的地质原理似乎是容易理解的,但具体的应用却是千变万化非常复杂的,如一些圈闭不一定是由形变造成的,而是储集层的地层变化包括沉

积岩相变化、矿物颗粒不规则的分布，或成岩作用中的溶解及胶结作用等，还有不整合面的剥蚀与超覆、侵蚀面的溶解及胶结作用，同样流体在储集层中的流动方向和油气水重力分异的影响，或断层褶皱变形的错综复杂性，甚至构造变化、地层变化、岩性变化及流体变化复杂的综合结果。这些客观存在的事物发展规律，由于勘探技术方法水平的限制和人们认识事物规律水平之间存在着一定的矛盾，在一个很长的时间内总是受到一定的局限，一个时期内认识不了的。因此，在油气勘探的初期阶段，总是在油气苗出露的地方进行钻井，找到一些油气藏（田），而对一些覆盖的地区或复杂的变形地带却总是以失败告终。我国30、40年代甚至50年代初都是在有油苗的地区勘探，如老君庙的干油泉、石油河、石油沟，独山子的泥火山地带，延长的延河地区，四川的石油沟等等。世界各国当然都是一样的，诸如苏联开始在高加索一带，美国在西部的落基山和加利福尼亚等地区。50年代晚期以后，由于中国油气勘探技术的突飞猛进，如重力、磁力、电法、地震及钻井等迅速发展，在中国东部的覆盖区，主要是松嫩平原和华北平原，大量地开展油气勘探工作，加强了油气地质与科学技术研究，其结果不但发现了油气田，增加储产量，在油气藏理论和勘探技术方面也获得了很大的成就和发展。

（一）生油气区控制油气藏的分布范围

大量的勘探资料说明，石油天然气的生成与油气藏的形成是在地壳断拗陷盆地的沉积岩层中，如松辽盆地是早白垩世统一的拗陷盆地，渤海盆地是早第三纪形成一系列分割性强的箕状断陷，每一个断陷都各自成为一个沉积和油气生成的地质体。沉积岩占据的拗陷或凹陷是地壳最活动的地带，以负向运动占绝对优势，形成接受沉积物的拗陷或凹陷，其堆积的沉积岩是相当巨厚的。如此下陷占优势的地质背景，能使有机物质迅速堆积下来，也只有有这样下降的地质构造条件下，还原性的介质才会产生，而还原介质是使油气有机物质保存下来的主要条件之一。内陆深水湖盆是陆源生物聚集和水生生物繁殖的有利场所，不仅河流运输来的陆源有机物质，同时深湖中滋生大量的水生生物，这些生物群落发育的分布规律是受河湖沉积体系控制的，呈环状或半环状展布，在一般情况下，由于古气候、水介质条件及沉积环境，导致不同类型干酪根的形成。在湖盆构造发育演化过程中，控制了水进水退和沉积物在纵向上呈旋回性的发育，如松辽盆地的下白垩统和渤海盆地的下第三系均具有生油、储层与盖层的旋回特征。在平面上根据生油拗陷或凹陷分布的一定规律，控制了油气藏形成“环带状”的展布规律。

（二）沉积相带控制油气藏的富集程度

研究含油气盆地中沉积相的分布规律，有助于油气勘探中掌握油气藏形成的特征，从而提高勘探经济效益。例如松辽盆地在早白垩世，地壳稳定，地形平缓，是一个大型拗陷盆地，盆地北、南、西部均发育有长短不同的河流注入湖泊的沉积体系，盆地边缘为洪积相，向盆地内部依次为辫状河流相、曲流河相、三角洲相、滨浅深湖相。盆地东部由于物源距离远，风化程度深，水体较浅，形成以红色泥岩为主的淤积相。盆地北部顺长轴方向是一条源远流长的巨型河流，发育了很大的三角洲沉积体系，从黑鱼泡开始，延伸到松花江，呈一舌状形体，三角洲平原、三角洲前缘、前三三角洲三带三层齐全，它的特点是面积大，厚度大，体积大，碎屑岩粒度适中，分选好，是理想的储油砂

体,所以形成了大庆长垣“二级构造带的油气聚集带”。渤海盆地在早第三纪是一个箕状断陷湖泊,每一个断陷自成一个沉积单元。由于湖岸水下古地形陡缓不一,分陡坡、凹槽与缓坡,各相带的宽窄与发育程度有较大的变化,陡坡一侧洪积扇与扇三角洲重叠,并直接与深水湖相相接,常出现洪水浊流沉积,是油气富集的有利地带。在凹槽内常有滑塌浊积岩。在缓坡一侧为洪积相、河流相、三角洲相,由于坡度缓,水域浅而广,陆源碎屑供应不足,多形成生物礁、生物灰岩和鲕灰岩滩坝沉积,油气富集程度较差。

(三) 古隆起区是油气运移的指向,以低隆起区最优越

我们在松辽盆地油气勘探过程中,总结了“生、储、盖、运、圈、保”六字的寻找油气藏的宝贵经验,这六个字的不同概念是以油气运移为纽带的一个有机体相结合的统一过程。也就是说,在一个含油气盆地内,分散在沉积岩体中的有机物质经过非常复杂的地质、物理和化学等条件的演化,使液体和气体的碳氢化合物在有孔隙的地层内和种种连通的裂缝里游移,在适当的条件下,聚集到具有储集和圈闭的构造岩层里,形成油气藏。同时在以后的地壳运动中,这些油气藏未遭受破坏,油气未出露到地面,而完整的保存又被发现成为油气田。

众所周知,在盆地接受沉积的过程中,由于受构造运动的控制,造成盆地某些地区基底上升,其上的沉积物被冲刷或沉积物堆积较薄,而另一部分拗陷或断陷,堆积了很厚的沉积物,在拗陷或断陷的盆地里,一般生油中心与沉降中心基本上是吻合的,但其位置在拗陷盆地位于盆地中心的下陷最深部位,断陷盆地常位于主断层断距最大的一侧。自生油区向邻近储集层排出油气后,理论上油气总是在浮力作用下寻求最短途径作垂向或侧向运移,即油气自拗陷或凹陷中心压力最大的地区垂直构造等高线向压力较小的地区,即凹中隆起区或盆地边缘隆起区运移,也就是油气运移的指向是古隆起区。这里值得注意的是,在拗陷盆地里,倾角最大的一侧隆起区,是油气运移的主要方向,缓坡一侧是次要方向;在双断的翘倾断块区,中间凸起是油气运移的主要方向,凹陷的翘起端是次要方向,其中低凸起区由于保存条件好,是油气勘探的最有利地带。由于在盆地的深拗(凹)陷区生油,古隆起区又是油气运移的指向,所以又总结了“定凹探边”、“定凹探隆”的勘探经验。

(四) 区域构造控制油气藏圈闭的构造样式

中国陆相含油气盆地由于所处的大地构造位置不同,所受的地球动力不同,各盆地油气藏圈闭的构造样式也就各自相异。例如松辽盆地是在海西褶皱基底上发育起来的早期(晚侏罗世—早白垩世)为地堑地垒式裂陷盆地,中期(白垩纪泉头时至嫩江时)为大型拗陷盆地,盆地内为垂直差异运动,形变不强烈,只是背、向斜相间的平缓构造,倾角一般小于 5° ,但由于东部抬升,西部凹陷,背斜仍是不对称形式,向凹陷一侧较陡,背凹陷一侧较缓,局部构造多为短轴背斜,或穹隆,或鼻状,在中央凹陷的挠曲带上,常有同生断层、滚动背斜伴生。在晚期(晚白垩世至第三纪)由于地壳上升,盆地萎缩,在一些隆起地区,上白垩统和第三系则明显变薄或缺失。

例如渤海盆地发生在稳定地台基底上,由于地壳张裂或扭裂作用,发育着一系列张

性正断层, 上部倾角陡, 随深度增加倾角变小, 呈铲形断裂, 形成一系列的箕状断陷, 这些正断层控制的箕状断陷是含油气区的基本地质构造单元。在下第三系生油气岩系沉积过程中, 由于裂陷不断发育及沉积物的重力压实作用, 发育着一系列的生长正断层, 在下降盘一侧常产生重力牵引的滚动背斜, 或因沉积有巨厚的塑性岩层, 如膏、盐、泥岩等, 则因浮力上升产生挤入褶皱, 形成盐丘构造。在裂陷盆地的后期, 引张与裂陷幅度较弱, 盆地萎缩隆起, 此时产生微弱的挤压应力, 形成平缓的压性构造。总之, 渤海盆地块断活动强烈, 断裂发育, 地层不整合和沉积间断多, 岩性岩相变化大, 因此不仅发育断块圈闭、背斜构造, 还有不同层系间的不同地层岩性圈闭, 形成不同类型圈闭相互叠置的“复式油气聚集带”。

(五) 油气藏的圈闭类型及其分布规律

目前我国已发现的油气藏数量不少, 类型也丰富多采, 概括起来有5类26亚类, 这对于今后研究油气藏的形成富有理论意义, 同时对今后有效地勘探油气资源, 增加储量, 提高产量, 也很有必要, 大有好处。

1. 构造圈闭油气藏

构造圈闭油气藏系指包括储油岩层在内的一系列岩层发生形变或褶皱或断裂所形成的圈闭, 其圈闭构造形状与变位视其作用力与岩层应变相适应而决定, 可以进一步划分为背斜圈闭、断层圈闭和膏盐岩刺穿构造圈闭。

2. 岩性圈闭油气藏

岩性圈闭油气藏是储油岩层的岩性变化形成的圈闭, 即渗透性的储油层在成岩过程中纵横变化上变为不渗透性的岩层, 如砂岩凸镜体油气藏、灰岩凸镜体油气藏、河道砂岩油气藏、上倾尖灭岩性油气藏、生物礁块油气藏等。

3. 地层圈闭油气藏

地层圈闭油气藏指的是地层接触关系, 相互组合形成的油气圈闭, 如不整合地层油气藏、超覆地层不整合油气藏、侵蚀地层不整合油气藏等等。

4. 流体圈闭油气藏

流体圈闭油气藏是在成岩和构造圈闭形成过程中由于水动力的圈闭形成的, 如鼻状、阶状、向斜等构造水动力圈闭。

5. 复合圈闭油气藏

从油气藏的资料分析, 很少一个油气藏的圈闭是单一因素形成的, 常与多种因素有关, 如构造-岩性油气藏、构造-地层油气藏、构造-流体油气藏等。

我们知道, 沉积盆地是形成油气藏(田)的基本地质构造单元, 但由于各个盆地所处的大地构造单元不同, 地质发展史相异, 构造式样、沉积模式均有所差别, 因而各有各的油气藏的成油组合和分布规律。60年代我们根据松辽盆地坳陷构造特征, 总结了“二级构造带”是油气的聚集带, 80年代又就渤海盆地块断活动特征总结了“复式油气聚集带”成油气规律。

松辽是个大型坳陷盆地, 褶皱平缓, 断层不发育, 沉积相带呈环状或半环状分布, 自生油凹陷中心向四周均发育有大小不同的河流三角洲砂体, 导致油气藏分布规律具有

明显的分带性。西部平缓单斜带,走向南北,地层向西超覆,向东倾斜,形成地层超覆不整合油气藏、小幅度背斜或阶状或鼻状油气藏;在靠近中央坳陷的一侧有挠曲带,局部发生断裂,形成同生断层滚动背斜油气藏;在中央坳陷区可以寻找浊流沉积的凸镜砂岩油气藏;在盆地东部发育有大型背斜油气藏,如大庆、四克吉、乾安、扶余、华子井、农安、长春岭等。

渤海盆地是块断式的箕状凹陷构造特征,沉积物源方向多,岩性岩相带变化快。在大断层一侧形成陡坡带,中间具有深槽区,另一侧为缓坡,所以油气藏具有三带的分布规律。陡坡带的上升盘由于基底掀斜断裂,形成潜山油气藏、地层超覆不整合油气藏;下降盘由于拉张和沉积重力作用,常产生一系列逆牵引滚动背斜油气藏。在深凹陷区若有块断潜山,常形成不整合潜山或断块潜山油气藏,在潜山上覆盖层中,多形成继承性的披覆构造油气藏,因为深凹陷中发育有滑塌浊积岩,常形成凸镜体砂岩油气藏。在缓坡一侧除发育有地层超覆不整合油气藏外,在斜坡的浅湖地带,常形成砂岩上倾尖灭、粒屑灰岩、生物灰岩、鲕灰岩等油气藏。

(六) 油气藏圈闭勘探技术有了进一步的发展

油气勘探的实践,使我们深刻地认识到必须以沉积盆地为整体进行区域勘探,因为沉积盆地是油气藏形成的基本地质构造单元。除研究盆地整体的构造发展史、构造形成式样、沉积相及沉积体系、生油凹陷及油气源岩的沉积环境、地热演化史及其油气藏在时空上的分布规律以外,还得相应地发展勘探技术,以发现和搞清油气藏在地下存在的形态和它的量度,这是一个很重要的实践问题。

60年代我们在松辽盆地运用了综合地球物理勘探,重力、磁力、电法等测定了基底深度和起伏,确定盆地范围,查明沉积岩厚度和结构形态,基本上划分了盆地构造单元。又用地震反射法对盆地进行区域地震勘探,整体解剖盆地区域构造,研究基底和盖层构造特征,进行地震层序划分和地震相研究,从而发现和查明了明显的背斜圈闭如大庆长垣、升平、龙虎泡、四克吉、泰康隆起、大安、红岗子等的构造形态、高点位置、闭合面积和闭合高度,选择了有利的构造进行钻探,发现了大庆油田,从而达到预期的勘探目的。

进入渤海盆地勘探以来,由于客观地质体的块断构造——断层圈闭或被断层复杂化的背斜圈闭、岩性圈闭、地层圈闭等等,地震勘探为了查明这些各种类型圈闭体的存在及其量度,重点注意得到好反射层,开展各种圈闭体的解释和研究工作。

地震资料采集质量和处理技术水平不断提高,地震勘探不仅能查明大型构造圈闭,还能探测小幅度的构造、深层构造和复杂断块构造,特别是三维地震技术的应用,能够精确查明断裂,圈定油气水边界,在提高勘探效益方面,发挥了重要的作用。

地震地层学是应用反射研究岩性地层,从而把地震勘探研究的对象从层面发展到岩性,在此基础上发展的地震岩性模拟技术,应用电子计算机反复叠加,自动修改岩性模型,逐渐逼近地震剖面反映地下实际岩性的分布,为勘探隐蔽油气藏取得了显著成绩。

油气检测是应用地震的振幅、频率、速度、波形等直接检查油气。一种是叠后检测,国外1972年开始研究亮点技术,在墨西哥湾获得成功,我国1982年开始研究油气层

速度和反射特征，预测油气田，建立了东部地区砂泥岩剖面的检测标志，但由于陆相湖盆岩性变化大，这项技术尚需进一步研究。一种是叠前检测，1984年开始研究，分析叠加前道集记录反射振幅，随炮检距或入射角的变化，包括横波或泊松比信息与油气的关系，得出了气层反射震幅随炮检距增加而增加，水层则相反。这项技术检测气层的前景是很有现实意义的。

总之，油气藏的勘探技术有了进一步的发展，野外仪器向多道化和智能化发展，重视三维地震勘探，开始推广垂直地震剖面方法，横波勘探也有较大的进展，地震资料处理水平不断提高，地震资料解释普遍建立数据库和使用解释系统，应用地震各种信息，开展盆地沉积模式、沉积环境、岩相、岩性等方面的解释，结合测井资料，对油气藏工程如岩石孔隙度、油气水界面和孔隙内充填物等进行研究，使地震勘探从单纯寻找地下几何形态油气藏的局面，进入了可以寻找非构造油气藏和盆地沉积模式等比较完整的新阶段。