

含盐油气盆地

马新华 华爱刚 李景明 姚建军 主编

(北京)

13

石油工业出版社

含盐油气盆地

马新华 华爱刚 李景明 姚建军 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书较为全面地介绍了国内外含盐油气盆地沉积环境及沉积模式,含油气特点以及含盐盆地与油气的关系。另外,还介绍了与此相关的勘探和钻井技术。

本书可供从事油气勘探的科技工作者阅读,也可作为石油大专院校相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

含盐油气盆地/马新华等主编.

北京:石油工业出版社,2000.9

ISBN 7-5021-3114-0

I. 含…

II. 马…

III. 含油气盆地, 含盐-地质构造-研究

IV. P618.130.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 70465 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)

河北省地勘局测绘院印刷厂排版

石油工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 7.5 印张 192 千字 印 1—700

2000 年 9 月北京第 1 版 2000 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3114-0/TE·2381

定价: 19.80 元

编委会名单

主编：马新华 华爱刚 李景明 姚建军

编委：朱芳兰 刘荣华 王 昕 刘昆民

李家庆 赵章彬 丁向民 张海琴

前 言

世界含油气盆地中的大部分盆地同时也是含盐盆地。虽然人们在油气勘探中已注意到盐的影响，但盐在含油气盆地中的作用并未引起人们足够而高度的重视。人们只是在地震勘探过程中发现，在有盐的地方地震信号非常复杂；在钻井过程中因盐的蠕动而使井眼变形；或在油气生产过程中发现因盐的作用而导致套管严重损坏的现象等等。事实上盐对油气及其生产的影响远远不只这些。研究表明，在含盐油气盆地中，盐在油气的生成一直到最后的保存，即整个含油气系统中都起着重要的作用，而这种作用可能至今尚未完全被人们认识清楚。

尤其是在开发大西北、西气东输的大背景下，认真研究羌塘盆地、塔里木盆地等西部盆地盐与油气的关系更有特殊意义。

随着人们对含盐油气盆地认识的不断深入，相应的研究工作也逐步展开。我们也借此契机编辑了《含盐油气盆地》一书，汲众家之长、博众家之彩，旨在为我国的油气勘探事业提供一些有益的信息。

本书共分六章，由马新华、华爱刚、李景明、姚建军主编，马新华、华爱刚统稿全书，刘友民教授在百忙之中审核了全书并提出了许多宝贵的修改意见，在此表示敬意。本书在编辑过程中引用和参考了不少兄弟单位的文献，段敏同志帮助换算并统一了全部计量单位，卢林生教授和李建中主任工程师也给予本书很大的支持，在此一并表示感谢。

另外本书在编辑的过程中，难免会有不妥之处，敬请专家和读者匡正。

编者

2000年6月

目 录

第一章 含盐油气盆地综述	(1)
第一节 含盐油气盆地分布	(1)
第二节 资源远景	(3)
第三节 勘探概况	(4)
第四节 相关认识	(5)
第五节 油气勘探的经验教训	(9)
第二章 含盐油气盆地沉积环境及沉积模式	(11)
第一节 沉积环境	(11)
第二节 沉积物源	(17)
第三节 沉积模式	(18)
第三章 含盐油气盆地油气藏类型及油气聚集	(25)
第一节 盐上油气藏	(25)
第二节 盐间油气藏	(29)
第三节 盐下油气藏	(32)
第四节 油气圈闭类型	(36)
第五节 油气聚集的影响因素	(38)
第六节 油气差异聚集	(40)
第四章 含盐油气盆地地震勘探技术	(49)
第一节 地震技术和含盐盆地简介	(49)
第二节 成像方法的选择	(54)
第三节 叠前深度偏移应用实例	(60)
第四节 盐下成像分析	(65)
第五节 地震成像处理实例	(69)
第五章 含盐油气盆地油气田钻井完井技术	(73)
第一节 井眼的稳定性	(73)
第二节 钻井检测与措施	(74)
第三节 钻井液	(76)
第四节 盐层钻井工具	(77)
第五节 盐层固井	(78)
第六节 套管	(82)
第七节 实例	(84)
第六章 含盐油气盆地实例	(88)
第一节 墨西哥湾含盐盆地	(88)
第二节 加蓬含盐盆地	(94)
第三节 第聂伯—顿涅茨含盐盆地	(105)
参考文献	(111)

第一章 含盐油气盆地综述

有关含盐盆地的概念问题,目前国内外还没有发现统一的具体的定义。我国有的学者认为盐度超过4%的湖可称之为咸水湖,在此成盆的可称之为含盐盆地。国外的学者认为,一个盆地中的盐含量超过其沉积体积的8%,就可称之为含盐盆地。我们在研究含盐盆地的过程中发现含盐盆地中的油气在生、储、盖、圈、运、保等方面明显受盐的因素的影响,所以在没有统一的量化标准前提下,我们认为“一个盆地中油气的生、储、盖、圈、运、保明显受盐的因素的影响,这种盆地可称之为含盐盆地”这一说法较为合理。

世界上许多含盐盆地同时也是含油气区。据统计全球含油气盆地和具远景的含油气盆地有近200个,有一半以上盆地发现了商业性油气田,而其中58%的油气田又与盐系地层有关。这些含盐油气盆地控制的已探明石油储量和天然气储量分别为89%和80%。欧亚大陆所有含盐盆地,无论其含盐地层属于哪个地质年代,均含油气,而且其中有些盆地(如近东、中东和北海的含盐盆地)还是世界上最大的含油气区。墨西哥湾也非常典型,该地区运用完善的地震成像技术和地质理论,在水平盐席下的多种类型圈闭中找到了丰富的油气资源。1990年埃克森公司在密西西比河谷211 Midkey远景区有了世界上第一个重大的盐下发现,而且引起工业界的广泛关注。除了美国墨西哥湾之外,西非海岸、东非海岸、挪威的布伦特海、约旦海等海上地区也广布着盐构造。

国内含盐盆地或盐系地层的分布也非常广泛,如中原、江汉、塔里木等。盐的因素在以往的油气勘探中并未提到议事日程来受到应有的重视,所以目前国内有关含盐盆地油气勘探方面的资料较为罕见,更不太系统。我们编写此书旨在抛砖引玉,若有不当之处,敬请读者指正为怀。

第一节 含盐油气盆地分布

据统计全球153个含盐盆地主要分布在北半球,其中又以欧亚板块最多,其次是北美,南半球仅有为数不多的含盐盆地。

含盐盆地多分布在古地台的大型负向构造单元或叠置在继承性发育的盆地中,也可能分布在边缘拗陷或裂谷拗陷内。由于长期稳定下沉,封闭或半封闭的古水盆有利于有机质的堆积和保存,只要地质环境具备适宜的古地温条件,有机质就可以转化为油气。

从全球范围看,碳酸盐岩和砂岩是含盐盆地的主要储集岩,含盐沉积是影响储集性能的重要因素之一。对碳酸盐岩储集性能的影响有两个方面:一是改善储集性能。许多研究者认为,在碳酸盐岩成岩期间,碳酸盐岩的沉淀使盐水中的 Ca^{2+} 减少,而 Mg^{2+} 的含量相对增加,这种富含 Mg^{2+} 的盐水在蒸发回流作用时又渗流到碳酸盐岩中, Mg^{2+} 交代 Ca^{2+} 而使碳酸盐岩白云石化。白云石化所形成的白云石要比方解石的体积缩小12.5%,碳酸盐岩的孔隙度因此增加。二是碳酸盐岩的储集性能变坏。盐如果以胶结物形式沉淀在砂岩孔隙中,砂岩的储集性能就变差且致密坚硬。

盐不仅具有较强的致密性而且具有极强的可塑性,当埋藏具有足够的深度及压力极不均

衡时就要发生可塑性流动，正是这种流动极大地影响着油气的聚集。

在厚盐层沉积区，由于差异压实，盐层可向上流动改变上覆岩层的产状而形成各种类型的圈闭。只要这些圈闭形成于油气运移之前，就可为油气运移、聚集、成藏提供有利条件。如加蓬盆地和宽扎盆地由于盐核上拱程度不同而形成了背斜、砂岩尖灭、地层等油藏；普里皮亚特盆地、滨里海盆地、二叠盆地等在盐上层，盐间层和盐下层发现了与盐构造成因有关的多种类型油气藏，而且含有丰富的油气。

含盐盆地中影响油气运移、聚集所需的盖层、良好的储集层和构造圈闭条件往往受到含盐沉积的影响。世界上有 60% 的特大油气田（其中 92 个油田、23 个气田）都是由蒸发岩作盖层。如布尔干油田，封闭油气的盖层是中始新统硬石膏层。

含盐油气盆地形成于一定的大地构造单元，在时间和空间上经历了特定的大地构造和古气候的演化阶段，形成了有利于有机质堆积、保存和转化的地球化学条件，还具备油气生排运聚保的良好地质背景，从而形成多套含油气层系、多种类型油气藏。

(1) 含盐盆地生油岩系与区域构造和古气候带关系密切。含盐油气盆地在一个大的构造运动旋回周期中，会相应地形成一套完整沉积旋回，并在此旋回中形成一套生油岩层和盖层，从而形成一套生储盖组合。在沉积旋回末期，即构造运动强烈时期，一般来说是圈闭主要形成时期，也是油气主要生成和运移时期，并构成含盐盆地良好的生排运聚配置关系。

含盐油气盆地不仅受构造运动控制，而且明显受古气候条件控制，所以形成不同类型的沉积盆地和沉积模式，并相应地形成不同母质类型的生油岩系。

分布在干旱气候带的咸水型膏盐盆地，如南威尔士上三叠统、落基山区绿河组、澳大利亚 Office 盆地 Hill 组、葡萄牙晚侏罗世 Cabacos 层、潜江凹陷潜江组、柴达木盆地中新统都属于盐湖沉积，湖水不断蒸发浓缩，水介质含盐度逐步升高；湖水演化到高咸化阶段时，水生生物逐渐减少，种属单调，而陆源植物影响较大。母质类型以腐殖型或偏腐殖的混合型为主，有机质丰度低，产烃率低，适于生成气态烃，但是富气程度又与有机质的成熟度有关。

(2) 含盐盆地的多构造层和多韵律特征与多含油气结构层系关系密切。含盐油气盆地中纵向上常常具有多个含油气结构层系的特点；油气生、运、聚过程各层系的油气藏既有一定的成因联系又各具特色。在地质年代上，一个含油气结构层系是由同一时期地层岩性单元组成，也可由跨年代地层岩性单元组成。从成藏组合关系上看，凡是主要成盆时期形成的含油气层系，不仅具有丰富的油源条件，而且具有良好的储盖条件，如俄罗斯的蒂曼—伯朝拉盆地和德国西北部盆地。

(3) 含盐盆地中的油气差异聚集规律。有关形成油气差异聚集的基本条件，我们将在第三章的第六节中详细介绍，这里就不赘述了。

在含盐盆地中，以气为主的聚集带分布于凹陷最下倾部位，含油聚集带则分布在含气带的上倾方向形成外带，这是含盐盆地中油气分布最重要特征之一，如滨里海盆地、波斯湾盆地、非洲的三叠盆地等。

勘探成果表明，世界上公认的典型油气差异聚集带均位于含盐盆地内，而且都有良好的盐膏层作区域性盖层。如波斯湾盆地伊朗西南部的三排油气差异聚集带，各构造带上同一层位的局部构造高点和溢出点的埋深向西北方向逐渐变深，这些圈闭的主要产层是灰岩，属于构造裂缝性储层，背斜带具有良好的连通储集层，上方有 1000m 厚的盐岩石膏层作区域盖层，故油气只能做侧向运移，从而产生了三排明显的油气差异聚集带。美国西内盆地、加拿大阿尔伯塔盆地、埃及苏伊士盆地都有类似的油气差异聚集关系。

一些含盐盆地由于受到干扰因素的影响而没有显示出油气差异聚集的特征。这些因素包括：后期地壳运动破坏了沉积和构造发育的继承性，这就必然导致油气重新分配；气体溶于石油中的量随着埋藏深度的不同而变化，并随温度、压力条件的改变而改变；区域水动力条件、水压梯度的大小及水动力方向直接影响油气的分布规律。

(4) 含盐盆地油气在纵向上的分带性。勘探实践表明，随着含盐盆地油气勘探程度不断加深，油气的相态转变与其埋深之间有一定的关系。这与盐盆的沉陷、生油岩母质类型及其演化程度、所处的温度和压力条件有密切关系。在纵向上烃类相带有明显分带性，上部是石油的主要集中带，下部是天然气的主要集中带。有学者对墨西哥湾和二叠盆地的油气垂向分布进行分析，发现随着埋深不断增加，油藏的数量从 2400 m 开始逐渐减少直至消失，而凝析气藏和气藏开始占优势，在埋深 2400m 以下油藏总数占全部油气藏的 46%，在埋深 3000m 以下为 37%，在埋深 3600m 以下为 30%，在埋深 4800m 以下为 11%。

由于含盐盆地的古构造、古地理和地球化学条件不同，在多数情况下油气藏垂向分带是不完整的。按油气藏垂向分布特点大致可分为 4 种类型：

①气藏—油藏—气藏。凡是生油岩埋深大、热演化程度高、油气运移活跃的地区，中部为油藏集中分布带，深部为气藏，如松辽盆地歧口和廓固凹陷，俄罗斯的蒂曼—伯朝拉盆地中北部。

②油藏。生油岩母质类型以腐泥型或偏腐泥型的混合型为主，埋藏适中，仅达生油高峰，盆地保存条件好，在纵向上主要分布油藏，如潜江凹陷和苏伊士盆地西北部。

③气藏—油藏。生油岩类型以腐泥型为主，埋藏适中，热演化程度低，盆地构造运动强烈，断裂发育，如柴达木盆地和安哥拉宽扎盆地。

④油藏—气藏。生油岩类型以偏腐殖的混合型为主，热演化程度高，部分已进入湿气和干气生成阶段，盖层条件好，油气分布基本上保持原生的垂向分带性，如东濮凹陷和加蓬盆地东南部。

第二节 资源远景

世界上著名的波斯湾油区、阿尔伯达油区、萨斯喀彻温和北达科塔油区以及西欧斯塔斯福特钾盐矿床都产于蒸发式建造的含盐盆地中。

资料表明，阿尔伯达、萨斯喀彻温和北达科塔的石油原始可采储量中的 3/4 都产于泥盆系和密西西比系储集层中，而其中 1/3 产于蒸发岩组。

油气是在温暖潮湿气候条件下水下还原环境的产物。但对古代盐的形成，则有各种不同的见解。如：萨布哈假说、沙漠盆地学说、返流假说、分离盆地假说、深水深盆理论、干缩深盆学说等等。这些理论的共同点是：盐是干热气候条件下卤水浓缩的产物。众所周知，油和盐形成的气候条件是不同的，但二者形成的主要地质条件是相似的，它们之间存在着一定的内在联系。

含盐盆地的生成条件完全具备生油的可能性。首先，含盐盆地既有利于盐类堆积，又有利于有机物质的聚集。一般来说，在面积巨大的沉积盆地内，含盐沉积占据的年代越多，或含盐建造的厚度越大，油气的储量就越丰富。如波斯湾盆地从寒武纪到第三纪有 6 个地质年代，有硬石膏、石膏、盐岩的沉积。该盆地拥有的油气储量占世界第一位，探明的可采储量占世界探明油气储量的 38%。墨西哥湾盆地有 4 个地质年代含盐建造沉积，也是地球上油气聚集的主要地区之一。前苏联的伏尔加—乌拉尔盆地是一个面积巨大的油气盆地。该盆地

共发现 634 个油气田，其中就有著名的罗马什金、杜玛兹等大油田。

我国许多地质学家认为，断陷盆地是中新生成盐作用的一个特点，盐层间的碎屑层既是重要的生油岩，也是最主要的油气聚集岩层。渤海湾盆地中的东濮凹陷是一个断陷构造形成的高山深盆。它的四周内黄隆起、兰考凸起、鲁西隆起环抱；由于构造断裂活动特别是东侧兰聊断裂的强烈差异升降活动，使东濮凹陷的周边山脉急剧上升，以及凹陷内的相对强烈下降，形成了高山深盆的地貌景观。这种地形地貌特征，对该区的气候、植被和水文地质条件等有着决定性的影响，成为最有利的现代成盐环境。在渐新世早期，本区气候炎热，而湿度不大，降雨量少造成入流量与蒸气量之间逆差递增，湖水逐渐浓缩咸化，最后有岩盐、石膏析出。

我国中部江汉盆地潜江凹陷晚始新世潜江组盐系地层厚约 3500m，盐岩累计厚度超过 1800m。该盆地处于干旱—半干旱气候带内，盆地发育过程与海水有过某种联系，在主干断裂活动的控制下，多旋回盐类沉积发育。在湖盆构造的各个阶段，盆内沉积物类型及其沉积环境的复杂程度有所不同。一般情况下平缓拗陷期沉积环境单调，断陷期沉积环境较复杂，但每个阶段都有含盐地层出现，其中晚始新世潜江组沉积时期盐湖最为发育。各类盐湖滩坝都很发育，这是江汉盆地盐湖所独具的特征。这些储集层与生油岩横向上互相穿插，纵向上层层叠置，构成良好的自生自储集合。在黄骅拗陷南部王官屯地区沙河街组四段中下部的官 901 取心中石膏岩发育；在苏北阜宁组一段中也有少量的石膏。以上事实说明在老第三纪早期中国东部确实存在一个干旱气候带。这种干旱气候带对成盐作用的发生和发展起了重要作用。

学者的研究证明，盐湖相沉积往往富含有机物。在世界各国现存盐湖、蒸发沼泽及高盐量泻湖中有些生物因不能适应环境而使原有的种类锐减，但有机物总量却很大。盐层可改变上覆岩层产状并形成各种构造圈闭而影响着油气的聚集，因此每一个盐层构造就可能是一个潜在的油气圈闭。而盆地中盐丘构造的含油气性主要取决于主体沉积物的沉积环境。

沉积物中对沉积环境的反映，有机组分比无机组分更为灵敏，所以古生物是判断古地理的重要标志之一。水体含盐度对生物的影响极大，常随水体盐度的变化而发生明显改变。因此，生物化石是一个划分海相、陆相、海陆过渡相的主要标志。例如，东濮凹陷三段，除见到鲕化石形目艾氏鱼、鲈形目及德弗兰藻外，还见到反映典型海相环境的钙质超微化石。学者们据此认为本区当时与海洋有一定程度的沟通，不是单纯的陆相盆地，至少在沙三段时期，应是与海在时间上或空间上有一定联系的盆地，很可能是一个与当时海侵的古海或古海湾相连通或时通时闭的海陆过渡性质的半咸水盆地。

在地质史上，海面的升降或海侵与海退的交替，存在着周期性的变化。因此海水的内泛与古气候有关。我国东部拗陷盆地早第三纪海泛时期，正是气候干旱时期，则与成盐期相吻合。一般在湖水淡化阶段生油岩及储集岩发育，咸化阶段的盐膏岩则是良好的盖层。显然，这套自生、自储、自盖的含油气组合与蒸发岩发育有密切关系。因此在三角洲前缘带发育的盐丘构造是油气聚集的良好场所，反之，如果盐丘发育在不利的生储油相区，就不可能含有油气。

第三节 勘探概况

墨西哥湾的盐下油气勘探工作投资多、力度大，令世人瞩目，其多年积累的经验教训受到世界各地的重视。

墨西哥湾自 1983 年钻第一口盐下探井以后，7 年的勘探工作均未找到油气，仅发现一些储层特性较好的砂层。1990 年埃克森公司首先钻获第一口盐下油井，在 3030~4000m 的

深部发现了盐下油藏, 估计储量约 $(1.6\sim 3.2) \times 10^7 \text{t}$, 但因海水过深 (1303m) 而未开发。

1993年, 美国三大石油公司又在路易斯安娜的近海首次发现盐下油田。此后1年内又成功地发现了三个盐下油田。1995年钻了4口发现井。经过3年半盐下认真地勘探, 在墨西哥湾共钻29口盐下井, 其中11口见油气, 成功率约38%。尽管每口干井耗资甚高 (约3000万美元), 不少公司仍未放松盐下勘探。据国外专家预测已探明的25个盐下油气藏的总储量为 $1.9 \times 10^{10} \text{t}$ 原油和 $4.25 \times 10^{12} \text{m}^3$ 天然气。

盐下油气勘探中盐体在常规地震剖面上出现明显畸变是首遇难题。近年来, 三维地震应用超级计算机进行数据叠前深度偏移处理的技术不断改进, 已能取得比较真实的盐层图像。但是, 这种复杂处理过程既耗时又耗资, 其成本比常规三维地震时间偏移法要高出10倍; 而且所需的地震观测资料特别多, 所以资料采集过程漫长。为了绘制出一个块体 (block) 的图像, 要求绘制该块体周围9个块体的图像。若要取得墨西哥湾60个盐下块体的三维地震信息, 需要18个月的观测时间。因此, 专家们一再强调, 提高盐下油气勘探效益的关键在于尽快提高和改善盐下地震的成像技术。部分公司已将钻采投资投向地震勘探技术的研究。

墨西哥湾的盐下地质结构与世界上其他地区 (如苏伊士湾和北海) 相比要复杂得多。较老的侏罗系盐层常常横向嵌入第三系沉积之内, 类似一个大掩冲带。这类结构估计约占墨西哥湾面积的30%。而且, 其盐下层多为高岩石压力下的软岩层, 这样钻井作业就非常困难。

国外各大公司勘探和开发盐下油田的积极性变化较大。近些年来, 菲力普斯与阿纳达科公司在路易斯安娜海上的南 Timbalier 260 地块上发现了 Teak 盐下油田, 4口测试井中日产量最高的一口井日产原油600t, 产气 16.98m^3 。探明这个油田付出的代价很高, 钻井耗时8个月, 耗资2000万美元。1997年7月钻井数量锐减 (仅4口), 1996年同期钻井11口。而且只发现了一个盐下块体。一口井在6561m深处盐体的上、下钻遇有效厚度达91m的产层。

总之, 专家们认为, 墨西哥湾在盐下油气勘探技术上所取得的成就只能视作万里长征途上迈出的第一步。下一步最为关注的问题将是进一步弄清在何处能获得大油气藏, 以及如何才能经济有效地开采它们。

此外西非、东非的厄立特里亚及挪威皆已开展了含盐盆地的油气勘探工作, 并积累了一些经验。

1995年, 美国阿纳达科石油公司与埃塞俄比亚政府签订合同, 在厄立特里亚的红海上进行盐下油气勘探, 1996年又与约旦签订了产量分成合同, 用其经验在约旦东北部 Safawi 块体的火成岩、玄武岩之下进行大面积的勘探。

挪威的巴伦支海历年来一直被视为盐下油气藏的勘探对象, 但多年来一直未获成功。该区域的一大目标是挪威 Hammerfest 盆地东北部的 Nordkap 盆地, 在此已发现不少油气。在巴伦支海钻的523口探井中, 仅有16口见油, 估计储量为 $2.54 \times 10^8 \text{t}$ 石油和 $7.44 \times 10^{10} \text{m}^3$ 天然气。由于该地区地理和气候条件所限, 至今尚未研究出有效的开采方法。

第四节 相关认识

一、关于含盐盆地与油气

油气是温暖潮湿气候条件下水下还原环境的产物。而对盐的成因, 则有各种不同的理解, 但综合分析二者形成的主要地质条件却有许多相似之处。

1. 盆地的稳定沉降

一般认为形成含油气盆地和含盐盆地，都必须至少在几个地质期或世之内有稳定沉降的构造运动，这种沉降构造运动所造成的古盆地为油、盐共生提供了条件。所以长期稳定沉降的盆地是盐和油气共生的基础。

从目前已知的既有盐沉积又有丰富油气的古沉积盆地来看，盐层的厚度都比较大。如波斯湾油区，从寒武纪到第三纪有六个地质年代有厚层状的盐沉积，由硬石膏、石膏、岩盐夹少量泥灰岩、页岩和石灰岩组成的下法尔斯组，其厚度可达2000m。美国的帕拉多克斯盆地，在盆地沉降最深的部位，盐层厚度也大约为2000m，占盆地地层剖面厚度的70%~80%。这些巨厚盐层反映出三个显著的特点。

(1) 在古地质年代，盐沉积的速度较快，如西德北部二叠系镁灰统盐沉积速度达到5cm/a，有的盆地可超过10cm/a。

(2) 沉积前可能存在一个具有一定深度的古水盆。有学者对阿拉巴契亚、墨西哥湾、古地中海盆地的下沉速度进行了计算，下沉速度最小的0.03mm/a，最大的为0.3mm/a，这比盐沉积的速度小得多；有的学者因此认为，凡有巨厚盐层堆积的古沉积盆地必然早于盐沉积，水盆不仅存在一个初始深度，而且在盐沉积时还要不断下沉。

(3) 盐为卤水蒸发的产物，因此古水盆必然是封闭或半封闭的，并且由于卤水浓缩，水体中的含氧减少而形成缺氧的还原环境。

盐沉积的这些地质条件也是油气形成必不可少的，这种长期稳定下沉、封闭或半封闭的古水盆为有机质堆积、保存提供了有利条件。只要以后具备适宜的古地温条件，有机质就可以转化为油气。

由于盐和油气形成的沉积环境具有一致性，所以二者所处的大地构造单元也非常吻合，都分布于稳定地台的凹陷区、地台边缘凹陷区或褶皱带山前的凹陷区和各构造单元内的断陷区。

2. 生物高产率的蒸发环境

生物的繁殖在蒸发环境中有二大特点：

(1) 生物种属减少。生物的繁衍总是遵循这样一条生态学原理，当某一种环境的特性大大不同于生物生存繁殖最佳条件时，生物的种属就要发生贫化。而盐湖就是使生物种属贫化的环境。

造成生物种类减少的因素可能有以下几方面：卤水具有巨大的渗透压力，所以生物在盐湖中必须具有一种避免因渗透作用而导致脱水的功能才能幸存。当盐湖的pH值超过正常海水的pH值(8.2)达到9时，盐水中二氧化碳的浓度几乎为零，植物甚至藻类因此不能进行光合作用而死亡。盐水的比热值和蒸发作用的速度随盐度增高而降低，这就会造成盐水的水温比相邻广海海水的温度高，并达到不利某些生物生存的程度。盐水中氧的溶解度随盐度和温度的增高而降低，从而影响某些生物的生存。大多数海洋生物适应于阴阳离子平衡状态的海水，一旦溶解于海水中任何一种盐类发生沉淀，阴阳离子的比值发生变化，就可能导致生物种属的贫化。

(2) 极高的生物产率。尽管盐度的增加使生物种类减少，但却给幸存的生物造成极佳的繁殖条件，使幸存生物的生产率极高。

国外一学者观察了旧金山海湾南端埃尔维索太阳蒸发池中绿藻的繁殖情况，并对其产率进行了统计，当盐度为4.5%~9.4%时，绿藻的产率为大洋的20~30倍。前苏联库伦达大

草原塔纳塔湖岸周缘有一个厚数厘米的由盐水虾、盐水蝇和盐水藻等生物遗体组成的生物层。在美国的大盐湖也有这些相同生物大量繁殖的情况。这些生物的耐盐性极强，当盐度达到20%~29%时，盐水虾繁殖的密度5000个/m³，由于盐水蝇数量巨大，竟使得湖滨地区变为黑色。盐水蝇蛹为印第安人提供了冲足的食物来源。某些高等生物也具有极强的耐盐性，不仅能在盐度较高的盐湖中幸存，而且繁殖也很迅速。美国墨西哥湾的马德湖是一个被161km长的海岸障壁岛与大洋隔开的泻湖，湖水盐度一般为3.5%~7%，最高可达11%，这个面积仅为得克萨斯湾20%的马德湖，鱼产量却占了整个得克萨斯湾的50%。

蒸发环境下，幸存生物具有如此之高的产率可能与下列因素有关：

这部分生物具有过滤摄食的功能。这种功能可以把盐滞留在体外，所以高盐度卤水的巨大渗透压力丝毫不影响生物的繁殖。水体中的滋养面数目减少使浮游生物得以大量繁殖。所谓滋养面就是由于各类生物所需的生活条件不完全相同而在水体不同深度形成不同的生物层。每一个生物层就构成一个滋养面。在同一滋养面上，为保持生态平衡，生物之间进行着激烈的生存斗争，某些生物成了另一些生物的食物，因此限制了生物无止境的繁殖。据计算，在这种相互制约的斗争中，有90%的生物量要损失掉，特别是作为动物食物的藻类。当剩余的生物死亡后，其遗体下沉进入下一个滋养面，又可能成为这一层生物的食物，从而使生物遗体的堆积量更少。很显然，滋养面越多，生物量损失就越大。在盐度超过正常海水盐度的盐湖中，由于生物种属的贫化，幸存生物的天敌大大减少，因此基本上不存在各种生物之间争夺滋养物、空间和其他共同所需物的斗争，幸存生物也就得以大量繁殖，尤其是草食生物在盐水环境中被淘汰而使藻类和其他浮游植物迅速繁殖。有学者认为，水体中的滋养面不超过2~4小时，最有利于生物的繁殖和生物残骸的堆积。

有关滋养物相对浓缩和补给的问题，有学者认为对浮游植物蓬勃繁殖起决定作用的主要滋养物是氮和磷的化合物，而浮游植物生长对这些化合物的最低需求和最佳环境之间只有很小的浓度差，因此，滋养物的浓度和补给量的略微增加就能导致浮游植物迅速而突然的“昌盛”。盐湖正好提供了这方面的最佳条件。蒸发作用导致盐湖的盐度增加，水体中的滋养物也随之相对浓缩；当盐水浓缩到接近于石膏沉淀的盐度点（12%）时，盐水所含的磷、氮化合物的数量是多种浮游植物的最佳量。另外，由于富含滋养物的陆缘海海水周期性地注入含盐盆地以补偿蒸发损失的同时也带进丰富的滋养物，这样浮游物就可不断地生息繁衍。

除了含盐盆地本身具有极高的生物产率，并成为形成生油层的主要物质来源外，补给水注入含盐盆地时，大量的海洋生物也随之进入含盐盆地，并因不适应高盐度环境而死亡。这也是形成生油层的重要物质来源。

二、关于勘探技术

(1) 目前叠前深度偏移 (PsDM) 是深刻认识复杂盐丘问题的较好办法。在勘探阶段，特别是对于三维资料的处理，深度偏移的费用太高。实际上，首先使用二维资料获得图像，进行合理的控制以便对三维测量做合适的设计、记录和处理。盐丘内部同相轴不能正确归位，会造成较大的错误。在二维偏移范围内的成像，特别是盐体下三维偏移会使图像有明显的改进。对于储层开发的进一步的成像要求深度偏移，最终要求完全的叠前深度偏移。

(2) 地震绕射层析成像法已成功应用于野外数据，其结果与叠前聚焦速度分析和叠前深度偏移所得的结果一致。绕射层析成像和叠前聚焦速度分析都能证实研究区中的盐体内有不均匀的速度分布。用叠前深度偏移成像的地下界面较好，但是绕射层析成像的处理时间和所需的先前信息要少得多。所以绕射层析成像可作为边缘地区生成初始模型之用。

(3) 深度偏移技术在几方面促进了勘探和钻井的发展。首先,它减少了盐翼及盐下钻探的风险性。盐翼的准确成像使钻机不再钻入盐体本身,从而减少了机械冒险。其次,深度偏移技术使盐下构造更易识别,排除了许多与井位有关的风险。最后,深度偏移技术正用于开发领域。深度偏移技术还提供了将成像与解释结合起来的新的工作范例。以往的地震成像以序列的方式进行,成像之前进行资料采集,最后是解释工作。相比而言,新范例是一个更为并行的过程,其中成像准备和解释相互结合可同时进行。这一改变对石油公司所用地震勘探方法有几点启示:首先,成像与构造解释同步进行,各项技术可互相检验。第二,“资料处理”与“地震解释”之间的划分已不明显。在过去十年中,解释与处理之间的相互联系已经加强,深度偏移代表了二者的彻底结合,且最终结果利用了其协同作用。第三,由于地学工作者逐渐习惯了新方法,采集和最终解释之间转换的时间有所减少,特别是三维资料。成像和解释同时进行导致费用降低。

深度偏移是对复杂构造进行成像的一项技术。精确的速度分析与深度偏移方法相结合,可以从原本模糊的图像中消除大量的畸变。当然,其中仍存在问题,例如遍布的多次波反射能量,一直有碍于人们对盐下反射层以及被穿过不规则盐体的波极大改变了的地震振幅的认识。然而,这些问题并未使成像成为不可能。盐下发现的增加要求更经济地开发新油田,这将驱使石油工业界逐步解决此类盐下质量问题,进一步提高在复杂地质情况下对盐下目标成像的能力。深度偏移是否成功的主要制约因素是速度模型的精度。当今的技术发展趋势强调开发能得到精确速度模型的更快、更好的方法。其中比较有前途的是全球层面 X 线照相术,试图以系统而有效的方式寻找最佳模型。此外,有理由预测技术费用将继续降低。因此可以预计在全数据体的三维叠前深度偏移将逐渐普及,复杂构造的勘探将进一步向前推进。

(4) 基性盐反射层成像是油气工业界基性盐勘探尝试的一个重要组成部分。针对目的层的三维叠前深度偏移为基性盐成像提供了一条有效且经济的途径,同时也是目前最佳的基性盐成像方法。

三、关于钻井完井

盐层地质结构复杂,选用合适的钻井液是盐层钻井成功与否的关键因素之一。国内外用于盐层钻井的钻井液主要是油包水乳化钻井液和饱和盐水聚合物钻井液。在用于盐层钻井的钻具组合中,具有侧向力切削和倒划眼的钻具结构比较理想。

防止盐层套管损坏的措施是:钻出规则井眼,注入优质水泥,使水泥与地层之间胶结牢固。选用抗匀质载荷和非匀质载荷强度大的套管。根据具体情况可选用厚壁套管、高抗挤强度套管和多层套管。在盐岩层可进行定向钻井和常规的完井。运用新的分析方程可用于盐岩层任何应力、温度和缩速率下的工程计算。

由于使用特种钻井液和需要特殊套管设计,钻长段盐岩层的费用昂贵,但这是开采上倾油气藏的重要方法。钻长段盐岩必须考虑可替代的方法,以改变定向钻井的程序,从而避开盐岩层。钻井设计必须考虑如何安全钻进盐层;如何预防套管挤毁,如何对付非盐间互层;如何控制钻盐上、下及盐层中的井段,以及使成本最低化。

在缺乏经验的地区,钻井液设计应能防止盐流卡钻、减少井眼冲蚀、抑制或防止在非盐层出现任何事故。这个准则要求使用半饱和盐水泥浆。因为它的比重较高足以对付冲蚀所不能解决的盐流、对付气体侵入或其他钻井难题。

按最坏情况进行套管设计,即按无封隔液的回压作用、无水泥环且盐层有不均匀的载荷

作用等情况设计。外压力梯度采用 8.2737kPa/ft ^①，安全系数采用 1.125；或采用两层套管封隔盐层。要强调固井质量达到全优。除了封隔千米盐层外，一般不推荐使用含盐水泥。能引起卡钻、挤毁套管的盐流堆积来得很快，有的几乎不太明显。邻近井钻进情况和有关该地区完成井中出现问题的资料是非常重要的。

第五节 油气勘探的经验教训

一、区域着手、解剖全盆、重点查明区域地质和石油地质

含盐盆地内油气的形成和分布受多种因素的控制。因此，不了解含盐盆地总的控制因素，不认识地层、岩性、构造、水文地质等多种因素对油气形成所可能起的作用，就不可能有预见性地、有成效地找到油气资源。

尤因塔盆地红洗油田的成功发现就是一个很好的例证。用地面地质调查和井下地质方法既查清了构造形态又查明了储集层尖灭带的分布，并通过岩性、岩相研究，查明了砂岩尖灭延伸情况，在该构造上布探井时既考虑了岩性因素，也兼顾了构造高点的裂缝发育区。

二、重视各种类型的成藏条件

在含盐盆地的新探区，分析探区剖面及岩样之后，可以发现多个油气藏组合，对它们的分析和评价是一个十分棘手的问题。例如：墨西哥湾雷佛玛尔油区从勘探第三系油层至找到中生界石灰岩主力油层为止，经历了 61 年漫长的曲折勘探历程。荷兰格罗宁根大气田也经历了主力成藏组合的选择问题，从而使主力气层的发现推迟了 7 年。

三、重视地球物理勘探和探井、滚动勘探断裂构造带、提高勘探效益

在含盐盆地区域地质和地球物理研究中，评价井、探井具有重要作用。采集的资料，不仅有助于划出程度不同的远景区，验证物探资料解释成果，选准主攻方向，也有助于快速地发现新的油气田。

从世界大多数含油气盆地断裂构造带的发现过程可以看出，有时预探阶段和详探阶段间距仅仅是一个井网加密的过程，然后逐渐过渡到开发阶段，形成了在一个断块区内部详探阶段与采油阶段的共存的复杂局面。

苏伊士盆地拉马登油田的断块构造，深浅的高点位置不吻合，用地震查明目的层的断块结构及构造形态后，利用滚动勘探开发，才取得了好的勘探效果。

应该特别指出的是，断裂构造带预探见油，不应做出简单的乐观预测，而应从断裂构造带的整体出发，做细致的研究工作，往往必须进行滚动勘探和开发，才有可能搞清断裂构造带的基本情况。

四、多次计算储量，寻找新储量

对含盐地层中油气藏原始地质储量进行评价，除其他因素外，要依靠该油藏油水界面的深度，而在某些砂岩与泥、页岩互层的油藏中往往不是一个油水界面，这就影响了油藏原始地质储量的正确评价。苏伊士盆地贝拉伊姆油田，由于对此问题未曾料及，因而经过了较长时期的开采后才在储量核实中查明了油田的实际情况。该油藏内存在多个油水界面，并且高层位比低层位有更低的油水界面，这个新发现大大增加了油田面积和储量。按照新找出的实际油水边界，合理调整开发部署，取得显著成效。

① $1\text{ft}=0.3048\text{m}$ 。

总之,世界含盐油气盆地油气勘探的基本思路应该是:从一个含盐沉积盆地油气勘探的全局着眼,要重视区域地质和综合地球物理作用,并始终把它摆在优先位置;在勘探部署要根据含盐沉积盆地的地质研究程度和油气勘探工作的发展,及时实施勘探战略转移;要着重采用综合勘探方法,发展和综合利用各种新理论、新技术,降低勘探成本,提高勘探效果,不断寻找更多的油气藏。

五、总体分析研究含盐盆地,选准靶区目的层

立足全盆地综合研究,解剖盆地与油气的关系。首先,加强对盐层岩相的研究,特别是对有利于沉积富含有机质岩石的环境研究,也要加强对碎屑岩层和生物成因建造的认识,恢复古地理是盆地石油勘探的基础。其次,在对含盐沉积体系的研究中,重点应放在沉降带上,不仅应优先勘探向斜深部,还应优先勘探沉降带的较深边缘区;第三,考虑各种地质事件过程,准确恢复地质史是了解地质事件的关键,对现象的观测结果与对现象的分析相对照,找出规律和模式,指导盆地油气勘探。

国内外许多含盐油气盆地近50年的油气勘探表明,大多数含盐盆地都经过几十年的迂回曲折,历经勘查靶区和目的层转移后才获得实质性的勘探突破。造成主攻方向失误原因很多,但最重要的一点就是思想上忽视盆地整体研究,工作部署缺乏区域综合调查。

六、重视盆地内箕状断陷的研究,寻找有利圈闭

箕状断陷具有继承性发育和先凹后抬的特点,在沉积过程中每个箕状断陷自成一个独立沉积系统、成油单元和油气富集中心。国内外对箕状断陷的勘探都有极成功的例子,加强这方面的研究工作,有助于了解盆地内箕状断陷的分布特点,从而有助于寻找有利的构造或圈闭。

对箕状断陷内圈闭的评价,只能把它置于在空间上与生油岩的位置进行比较,在时间上与油气生成期对比,同时尽可能确切地分析形成油气各个阶段的相对年代,这样才能确定某个圈闭的意义。

七、加强低熟油气和页岩裂缝成因的研究,寻找低熟油气区和勘探页岩裂缝油气藏

从沉积相上看,低熟油气大都分布在盐湖相盆地内。盐湖相、强还原环境有利于有机质保存和早期转化,是某些低熟油形成的重要条件。在碳酸盐和硫酸盐沉积阶段,水介质呈碱性,在无机盐的催化和触媒作用下,类脂化合物易水解或化学分解,进一步还原生成烃类。国内含盐盆地低熟油气分布较广,从层位上看,主要分布在第三系,埋深较浅,从储层上看,主要有砂岩、泥质灰岩和白云岩,且物性较好。因此,研究低熟油成因机理、成烃模式,有利于扩大和开辟勘探新领域。

从应力学上分析,在含盐盆地内的不对称背斜中,页岩裂缝受张应力控制,不对称背斜的顶部裂缝很少,产量高的井部位于平缓的侧翼部分。连通裂缝发育的地方是上升断块,而下落断块因压力作用,裂缝闭合的可能性很大,因此,断裂等应力作用对形成页岩裂缝性储层有很大的影响。对含盐盆地页岩裂缝的研究一方面要注重地层压力、应力分析,另一方面要充分利用井下和地震资料,根据岩石学研究和岩心分析结果,就可以确定裂缝中充满油的生油层往往就是具有商业开采价值的油层。

第二章 含盐油气盆地沉积环境及沉积模式

第一节 沉积环境

在无机化学的概念中，盐类是金属阳离子和酸根离子的化合物。在沉积岩中，盐岩属化学沉积岩类，传统上也统称为蒸发岩。常见的类型主要有卤盐类，如钠盐和钾岩；硫酸盐类，如石膏和硬石膏；碳酸盐类，如灰岩和白云岩等。其中，碳酸盐岩和盐与油气聚集之间有着直接的和（或）间接的关系。盐岩，无论是古代还是现代，都可能存在于多种环境中。

一、沙漠与半干旱环境

沙漠和半干旱环境的盐岩主要发育于萨布哈和干盐湖亚环境中。内陆萨布哈是风蚀作用与沉积作用的平衡面，或者是沟通当地潜水面的“风蚀沉积窗”。萨布哈的沉积物主要来自更向陆一侧的间歇性河流。在暴雨季节，间歇河洪水横溢，并将一部分负载沉积物如砂、粉砂和粘土带到萨布哈中并沉积下来。蒸发成因的盐类主要有石膏和硬石膏，它们往往沉淀在碎屑颗粒骨架间隙中。如果雨量相对充足，局部低洼处可能暂时被水淹没而形成干盐湖，干盐湖内通常可形成富集的盐沉积，包括成层状的石膏和盐。

典型实例有红海亚喀巴湾以北阿拉伯谷地中的现代萨布哈（图 2-1）、欧洲西北部二叠纪沉积的内陆萨布哈和干盐湖（图 2-2）。

二、冲积平原环境

冲积平原一般以河道沉积、河道边缘沉积

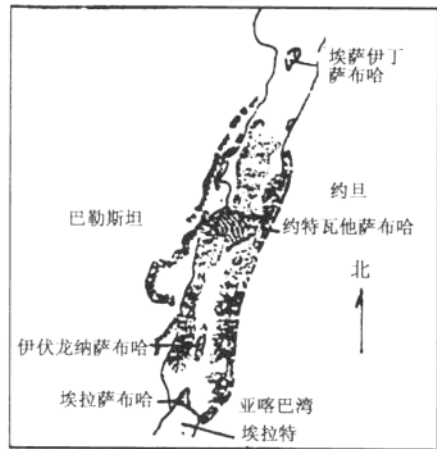


图 2-1 阿拉伯谷地中的现代萨布哈和干盐湖

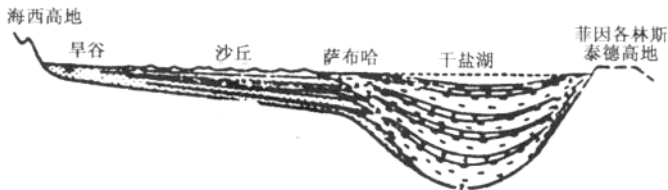


图 2-2 欧洲的北部二叠纪萨布哈和干盐湖的横剖面示意图

和越岸沉积的砂岩、粉砂岩和粘土为主。在一定的条件下，越岸流可能在区域的泛滥盆地内沉积分散着无机盐矿物，例如硫酸盐和碳酸盐。古代的实例如巴勒斯坦侏罗系的因马组砂岩