

东海陆架盆地西湖四陷

含油气系统 及目标评价

姜 亮 田海芹 著
马玉新 赵勇生

HAN YOU QI XI TONG JI MU BIAO PING JIA

石油大学出版社

东海陆架盆地西湖凹陷

含油气系统及目标评价

姜 亮 田海芹 马玉新 赵勇生 著

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

东海陆架盆地西湖凹陷含油气系统及目标评价/姜亮,
田海芹等著. —东营:石油大学出版社,2000.9
ISBN 7-5638-1381-1

I. 东… II. ①姜…②田…③马…④赵 III. 东海-大
陆架-构造盆地-油气藏-研究
IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 41542 号

东海陆架盆地西湖凹陷含油气系统及目标评价

姜 亮 田海芹 马玉新 赵勇生 著

出版者:石油大学出版社

网 址:<http://sunctr.hdpu.edu.cn/~upcpres>

电子信箱:upcpres@unctr.hdpu.edu.cn

印刷者:石油大学印刷厂

发 行 者:石油大学出版社(电话 0546—8392563)

开 本:787×1092 1/16 印张:8.75 字数:224 千字

版 次:2000 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

印 数:1—1000 册

精 装:32.00 元

平 装:22.00 元

前 言

西湖凹陷属东海陆架盆地内的一个次级构造单元,呈 NNE—SSW 向延伸,东侧为钓鱼岛隆褶带,西侧为海礁—虎皮礁隆起,北与福江凹陷相接,南与钓北凹陷相通,南北长约 440 km,东西宽约 110 km,总面积近 50 000 km²,蕴藏着丰富的油气资源。虽然东海陆架盆地,特别是西湖凹陷的油气勘探工作自 20 世纪 70 年代后期就已开始,但有关西湖凹陷成藏分布规律的综合性及成果总结,本书尚属首次。为经济、合理地开发海上油气资源,作者于 1999 年 12 月中旬专门组织召开了“东海陆架盆地油气勘探战略咨询会”。与会专家一致认为,西湖凹陷的石油地质条件相当复杂,对其进行油气勘探将涉及到复杂的国际关系、社会环境和地理环境,因此,希望本书能够了解西湖凹陷起到参考的作用,并希望带动更多的有识之士为西湖凹陷油气的高效勘探和开发出谋献策。

全书共分八章。第一章简要介绍了含油气系统的基本概念及研究方法;第二章为区域地质概况;第三章重点讨论了西湖凹陷含油气系统形成所必需的物质条件及圈闭保存条件,亦即层序地层学及盆地构造演化史;第四章对含油气系统诸要素进行了详细讨论;第五章则对含油气系统形成的诸地质作用及相互配置关系进行了详细论述;第六章系统总结了含油气系统的时空分布、类型及相互叠置关系;第七章对有利目标区进行了具体评价;第八章为全书的简要总结。

本书主要由姜亮高级工程师和田海芹教授撰写。参与本书编写的人员还有马玉新、赵勇生、王建平、于文芹、谢传礼、胡书毅、李明远、文玲、夏木林、李锋、刘克奇、王建伟、李艳娥、郭占珍等同志。

在本书的编写过程中,得到了中国海洋石油东海公司石油地质研究所和石油大学有关领导和同志们的大力支持。中国海洋石油东海公司、中国地质大学、中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院,以及中国科学院等有关单位提供了部分基础资料及研究成果。在此,谨向所有对本书出版给予关心和支持的领导和同志们表示衷心的感谢!

由于研究条件及研究人员水平所限,书中定有不足及错误之处,敬请批评指正!

作 者

2000 年 2 月 10 日

目 录

第一章 绪论	1
一、含油气系统的概念	1
二、含油气系统的描述内容及研究方法	4
第二章 西湖凹陷含油气系统形成的区域地质背景	6
第一节 西湖凹陷的区域构造位置	6
第二节 区域地质背景	6
一、中国东部区域应力场	6
二、西湖凹陷的地质背景	8
第三章 西湖凹陷含油气系统形成和演化的基本条件	16
第一节 西湖凹陷重点地区、重点层系层序地层学研究	16
一、有障壁海岸—泻湖海湾古地理背景	16
二、年代地层学特征	18
三、平湖组和花港组层序划分	20
四、平湖组和花港组主要沉积相类型及沉积体系	21
五、平湖组和花港组层序地层格架	23
六、平湖组和花港组中的生储盖组合	37
第二节 西湖凹陷构造发育史	39
一、西湖凹陷的基本构造样式	39
二、影响西湖凹陷的六次主要构造运动	40
三、盆地构造演化阶段	41
第四章 西湖凹陷含油气系统诸要素研究	44
第一节 烃源岩	44
一、三套主要烃源岩的层位及分布	44
二、烃源岩的有机质丰度	51
三、有机质热演化程度	58
四、油气源分析	62
第二节 储集岩	69
一、储集岩的分布	70
二、储集岩的储油物性	75
三、西湖凹陷储集岩的成岩作用特征	76
四、西湖凹陷储集岩评价	79
第三节 盖层	81
一、西湖凹陷盖层发育概况	81
二、主要的生储盖组合	81
第四节 疏导层	81

一、储集岩疏导层	81
二、不整合面疏导层	82
三、断层疏导层	82
四、裂隙疏导层	82
第五章 西湖凹陷含油气系统诸地质作用及其相互关系研究	83
第一节 圈闭的形成	83
一、西湖凹陷的反转构造	83
二、圈闭的形成时期及类型	94
第二节 烃类的生成	100
一、烃类生成的三个关键时刻	100
二、有效烃源岩的范围	101
三、重要的生烃时期	101
第三节 烃类的运移与聚集	103
一、烃类的初次运移	103
二、烃类的二次运移与聚集	104
三、烃类运移聚集的关键时刻	112
第四节 烃类的聚集	112
一、烃类的聚集地区	112
二、油气藏形成的基本规律	113
第五节 油气藏的保存	115
第六章 西湖凹陷含油气系统及其时空论	116
第一节 成熟烃源岩分布区	116
一、成熟烃源岩分布区	116
二、油源对比	116
第二节 运移及圈闭	120
第三节 含油气系统时空论——关键时刻	121
第四节 含油气系统的类型及相互关系	121
一、含油气系统类型	121
二、含油气系统的成因演化分析	121
三、含油气系统的关系	123
第七章 西湖凹陷含油气系统有利目标评价	127
第八章 主要结论及建议	130
一、主要结论	130
二、几点建议	132
参考文献	133

第一章 绪 论

一、含油气系统的概念

1. 含油气系统的定义

含油气系统是一个天然的系统,该系统既包括成熟烃源岩及与此相关的所有石油和天然气,同时还包括油气聚集存在所必需的所有地质要素、成藏作用及其相互作用关系。

含油气系统的概念,可以追溯到 20 世纪 60 年代末 70 年代初。“石油系统”(Oil System)的概念则是 Wallace G. Daw 于 1972 年在 AAPG 年会上首次提出的。这个概念一经提出,就引起了石油地质学家们的重视,从那时起,人们从不同的角度对这一概念进行了大量的修正、补充和完善。今天的“含油气系统”(Petroleum System)实际上就是从这一概念发展演化而来的。含油气系统的概念,实质上蕴含了系统论的主体思想,且逐渐为勘探家们所接受,成为石油地质综合研究与油气勘探的重要思想方法和工具。

含油气系统的概念强调了地质现象的有序性,如油气生成、运移、聚集和保存的时空序列,通过研究这些序列及相互关系达到指出油气现今赋存部位的目的。因此,含油气系统方法强调以过程为主导的研究思路(Process-Oriented Study),突出了过程恢复(Process Restoration)、关系建立(Relationship Establishment)与最终结果的表征(Final Result Description),藉以指出油气赋存部位,最大限度地减小勘探风险。

现在人们一般认为,含油气系统是沉积盆地中一个自然的烃类流体系统,包含了活跃的烃源岩(Active Source Rock)、已形成的油气藏及油气藏形成时一切必不可少、相互关联的地质要素和作用。“油气”指高度富集起来的各种烃类物质;“系统”则指相互依存的并制约油气成藏的各种地质要素、作用与组合关系。“含油气系统”在空间上有其特定的展布范围与赋存层段,在时间上有其形成(Duration)和保存(Preservation)时限。因此,含油气系统的内涵可以抽象概括为活跃的烃源岩(Active Source Rock)、储集岩(Reservoir)、输导层(Conveyer)、盖层(Seal)等四大地质要素和油气生成(Hydrocarbon Generation)、运移(Migration)、聚集保存(Accumulation and Preservation)、圈闭形成(Trap Formation)等四大地质作用以及导致油气藏形成的上述各要素与作用的组合关系及其分布。

2. 含油气系统的命名

限于资料水平、研究或已知程度,含油气系统可分为已知的(Proven or Known)(!)、可能的(Possible or Hypothetical)(.)和推测的(Predicted or Speculative)(?)三个可靠性级别,含油气系统则以烃源岩、储集岩名称再缀以一个可靠性符号来命名,如西湖凹陷平湖组(!)含油气系统,即表示平湖组泥岩为生油岩、平湖组砂体等为储集岩的已知含油气系统。

在已知的含油气系统中,油—源或气—源关系是确定的,各项地质要素与地质作用过程已基本明确并建立了相互的组合关系,主要的油气藏业已发现,因此这类含油气系统的划分与研究的目的是在它的最大边界范围内发现尚未被揭示的油气藏和储量。在可能的含油气系统中,据地球化学资料确定了烃源岩的存在,经勘探发现了油气藏,但尚未建立烃源岩与油气聚集之间的地球化学对应关系,基本地质要素被部分揭示,但在系统性和三维描述成图的完整性上仍

有欠缺。源岩与油气藏之间、各项地质要素与作用之间关系的建立借助了中间环节的假设,因而存在一定的预测性。研究与划分这类含油气系统的目的是尽快建立烃源岩与油气聚集之间的对应关系,并努力通过中间环节的恢复和预测指出有利的含油气区带和远景勘探目标。在推测的含油气系统中,可根据地球物理与地质资料推测烃源岩与油气藏的存在。这种推测常依赖于区域构造与沉积充填史分析及盆地类比。对其进行划分与研究的主要目的是在油气勘探新区建立含油气系统的框架,选择重要勘探靶区及有利区带。

另一方面,含油气系统的确定性等级也反映了使用资料水平与研究深度的差异。因此,不同级别含油气系统的划分可使这一方法的使用者更好地了解不同勘探阶段含油气系统研究的内容与研究成果的内容和精度,从而更有效而又不跨越等级地使用这一工具,解决油气勘探面临的问题。

3. 含油气系统的划分

正确地确定和划分含油气系统,对于合理地进行资源评价与勘探决策尤为重要。“一滴油或极微量的气显示就足以证实含油气系统的存在,但将其划分出来则较为复杂。Magoon (1992)认为,一个活跃的生烃洼陷(Pod of Active Source Rock)就有一个含油气系统。但这种绝对方案对于在空间发生重叠或交叉的含油气系统的划分易造成混乱。鉴于此,可根据是否已发现油气藏作为划分含油气系统的先决条件。油气显示和空井分布是含油气系统优先考虑的内容,油气显示或油气藏表示了油气运聚(或调整破坏)的过程,而空井则指示无油气运聚发生,这是剖析油气运聚的主要线索;成熟烃源岩的展布代表了一个生烃中心、输导层和断层等使油气自源岩排出后向储集岩运移,据资料可靠程度可建立油—源之间的对应关系,以此明确该含油气系统的级别;区域盖层的覆盖边界是源自某一特定源岩的油气向上、向外运移的最大界限,因此区域盖层不但规定了一个含油气系统的地层层段,在平面上也常限定着含油气系统的地理范围;油气运移的分隔槽可据古构造图、古流体势图、古水文地质图等较容易地划分,并判断油气运移的方向和趋势。

在含油气系统划分的过程中,一个棘手的问题是多个含油气系统的组合关系。含油气系统在空间与时间上常具有多种组合型式。以两个含油气系统为例,它们可能具有以下时空组合关系(图 1-1):

- (1) 并列型。两个含油气系统相互独立,但可能地层范围近于一致(图 1-1a)。
- (2) 交叉型。两个含油气系统的地区范围交叉,交叉带内的圈闭具混合油源,且油气聚集期可不一致(图 1-1b)。
- (3) 叠置型。上下含油气系统各自独立,地层范围相叠置,地区范围相重叠(图 1-1c)。它的一个特例是“重合型”,即上下含油气系统的地区范围近于完全一致(图 1-1c)。
- (4) 侧接型。介于(a)与(c)之间,两个含油气系统各自独立,但空间上呈侧接关系(图 1-1d)。
- (5) 同时型。两个含油气系统的时代近于一致(图 1-1e)。
- (6) 连续型。两个含油气系统的时代有先后之分,但在时限上相承接(图 1-1f)。
- (7) 间断型。两个含油气系统的时代有先后之分且不相接,一般存在两个关键时刻(图 1-1g)。
- (8) 分段型。某一含油气系统的时代具有分段性,具两个以上关键时刻,与另一个含油气系统的时代匹配可有同时、连续或间断等关系(图 1-1h)。

识别含油气系统之间的这些关系对于深入剖析一个地区或盆地的油气地质条件相当重

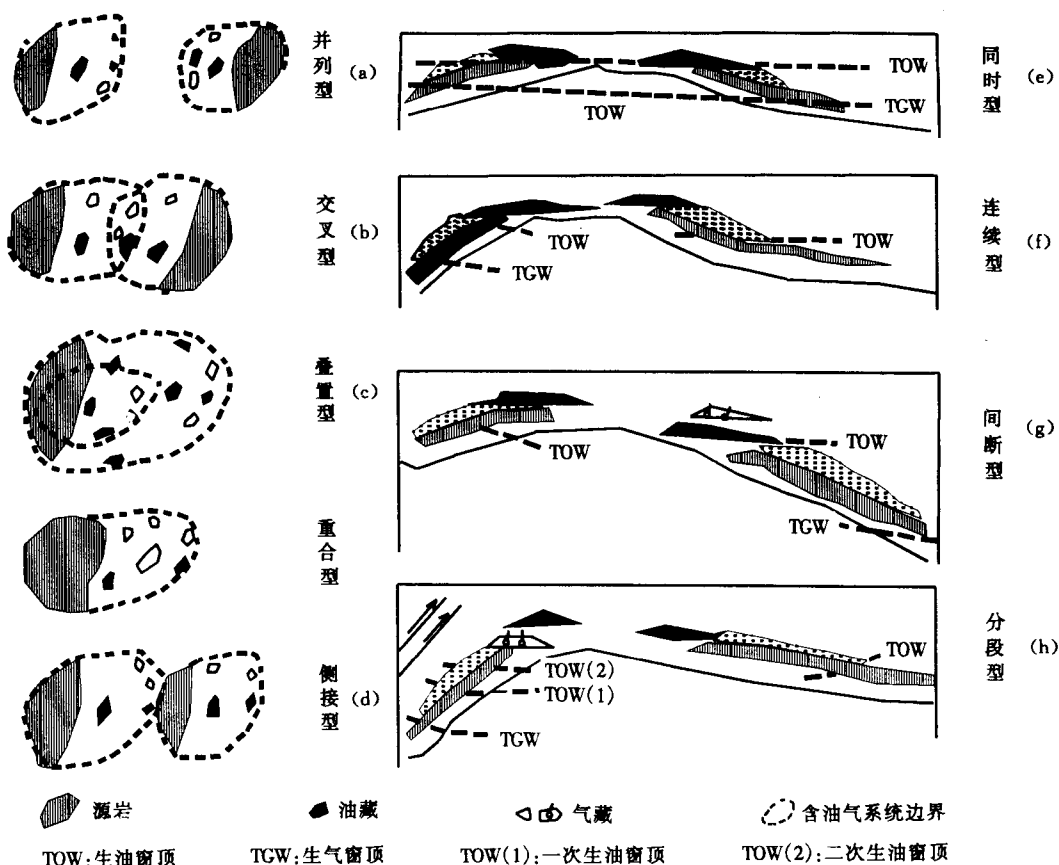


图 1-1 两个含油气系统的空间与时间组合关系(据胡见义等,1997)

要,以叠置型含油气系统组合为例,它可能具有以下不同的特征:多套生储盖组合相互独立,各自的时刻与圈闭组合不同;几套生油岩的生、排烃高峰可不一致,或同时、或间断、或连续,这样将存在多个成藏期,它们和另一个含油气系统的匹配关系也就甚为复杂;上下含油气系统可能出现成熟烃源岩不同,但圈闭、运移通道、封盖层完全一致的情况,在上下油源层被区域性断层贯通时尤为如此。

4. 含油气系统的分类

人们对事物本质属性的认识,常常借助于分类来完成,通过对特征过程与属性相似的事物进行归类而达到对共性规律的认识与特性的区分,从而在认识事物的同时,更有效地把握规律。含油气系统的研究也不例外。20 余年来已提出了多种分类意见,可概括为以下几种方案:

(1) 根据烃源岩的有机质类型(I、II、III型)、储集岩岩性以及含油气系统是单一的(Purebred)还是复合的(Hybrid),将含油气系统分为 12 类。单一的含油气系统是指在该系统形成的地质时期内,构造格架没有发生重大变革,而复合的含油气系统在形成过程中发生了大的构造改造,并且认为若无这种变革,就不能形成含油气系统(Magoon,1992)。根据烃源岩的时代及展布区域也可划分含油气系统,如全球上侏罗统含油气系统(Magoon,1992; Klemme, 1994)。

(2) 根据系统赖以存在的沉积盆地的地球动力学环境,将含油气系统分为大陆裂谷型、地台型与造山带型三种类型(Perrodon,1992)。

(3) 根据烃源岩熟化成烃的主控因素分为典型与非典型含油气系统(Magoon 和 Dow, 1994)。前者是指生油岩被上覆岩层深埋而热成熟生烃,后者是指未成熟烃源岩因受火成岩侵入、大洋中脊与裂谷深部热流或生物作用等影响而局部发生生烃、排烃所形成的。

(4) 根据油气充满程度(过充注、正常充注、欠充注)、运移排烃方式(垂向与横向)与封盖油气的质量(高阻抗与低阻抗)进行成因分类(Demaision 和 Huizinga, 1991)。这种成因分类较静态地质要素的描述分类更进了一步。

(5) 油气相态与盆地类型相结合进行含油气系统分类(窦立荣等,1996)。鉴于陆相盆地油气相态及资源潜力受构造风格、古气候与埋深等诸多因素的控制,可以油气相态为基础进行分类。纵向上分为含生物气系统、含油气系统、含凝析油系统和含气系统,进而以盆地或凹陷的构造风格为基础,划分出裂陷型、坳陷型、挤压型等含油气系统。

(6) 按油气生成与运聚两个子系统的关系进行分类,即据生烃子系统与运聚子系统是否在同一地层之中、过程发生的同期与非同期以及生烃子系统的多寡进行分类。

以上表明,含油气系统的分类既不统一,各家的立足点也多种多样。但须明确的是含油气系统概念的应用是以更有效地寻找油气资源为目的,分类的主旨在于为分门别类地建立描述方法提供统计学框架。因此,可操作性是第一位的。对于某一具体盆地,含油气系统应以其主控因素为基准进行分类。本书的含油气系统分类则重点考虑了含油气系统分类的科学性及可操作性。

二、含油气系统的描述内容及研究方法

含油气系统的描述内容及研究方法可用图 1-2 和表 1-1 简要说明。

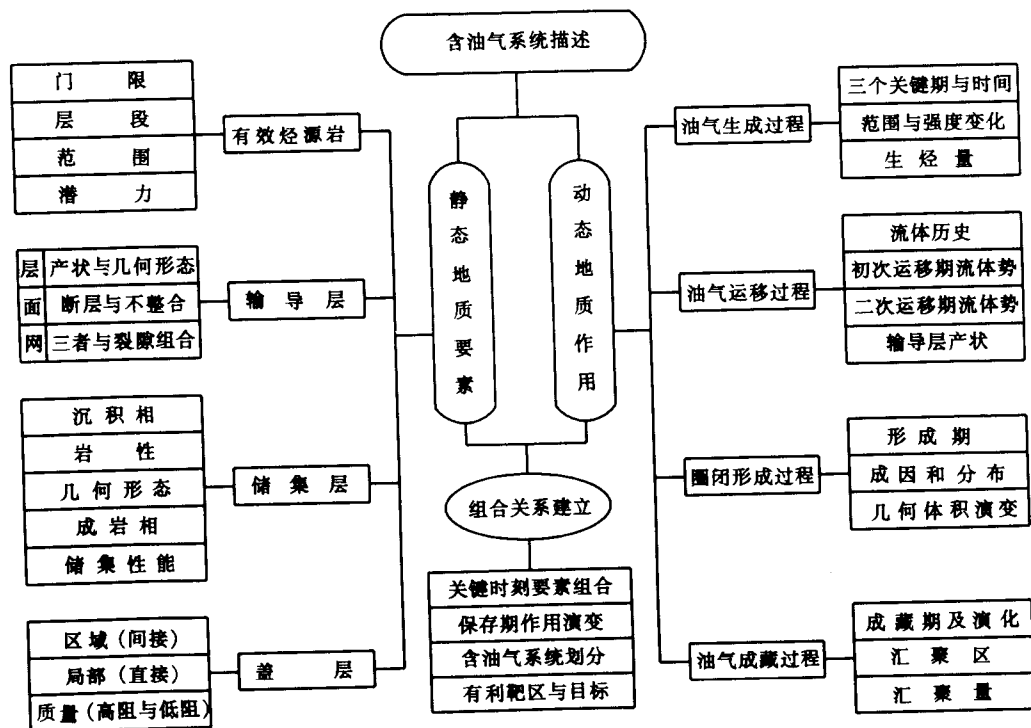


图 1-2 含油气系统的描述内容(据胡见义等,1997)

在含油气系统的描述与研究中,烃源岩埋藏史、含油气系统的平面分布、含油气系统的剖面分布及含油气系统事件综合图的编制都是非常重要的。

表 1-1 含油气系统的描述内容及研究方法(据胡见义等,1997,略修改)

内容	描述内容	描述图件	描述方法
含 油 气 系 统 描 述	有效烃源岩:门限、层段、范围与潜力	① R_o-H 曲线;②海(湖)侵层序岩相图;③有效烃源岩等厚图;④生烃强度等值线图;⑤ TTI 等值线图;⑥关键时刻生油事件剖面图	①油/气—源对比方法;②源岩潜力评价;③层序海(湖)侵体系域圈定;④剥蚀与埋藏史计算;⑤ TTI 计算;⑥古地温计算;⑦测井生油评价;⑧热模拟实验
	储集层:岩相、岩性、几何形态与成岩	①层序低位和高位体系域岩相图;②砂体几何形态图;岩性—物性统计图;③砂岩百分比等值线图;④储层成岩相划分图	①层序地层学分析;②沉积相分析;③储层描述;④实验室物性分析;⑤成岩相分析
	输导层——层、面、网	①关键时刻输导层顶面埋深图;②同上①~③;③断层与不整合面起伏形态图;④裂缝与断层组合分布图	①同上①~③;②FMS、BHTV FMI 与 CBIL;③砂岩百分比统计法;④有限元法;⑤断层与不整合面描述技术
	盖层:区域性、局部性与质量	①同烃源岩②;②盖层岩性变化图;③盖层等厚图;④破裂压力—岩性与厚度关系图;⑤排替压力分布图(等值线);⑥剩余压力分布图	①排替压力实验室分析;②同烃源岩③;③同储集层⑤;④同输导层;⑤测井地震剩余压力计算
系 统 地 质 作 用 过 程 描 述	油气生成过程:三个关键时刻对应时间与产生的有效范围,延续时间与对应的生烃量	①生烃门限、高峰与结束期烃源岩平面分布图;②烃源岩产烃率— R_o 图版;③三个关键时刻生烃强度等值线图;④不同阶段生烃量— R_o 关系图	① TTI 计算与成图;②生烃热模拟实验;③古地温确定(AFTA 法与流体包裹体法);④烃源岩综合评价法
	油气运移过程:初次运移期与层段、二次运移期流体势、流体历史分析与关键时刻输导层产状	①关键时刻流体势等值线图;②关键时刻输导层产状与连续性平面变化图;③关键时刻输导层成岩相;④源岩 $\Phi(\Delta t)-H$ 曲线	①流体历史分析技术;②流体势计算;③三维古构造恢复技术
	圈闭形成过程:形成期、分布与几何体积和构成	①圈闭发育图;②分期圈闭分布图;③圈闭构成评价图;④圈闭封闭性评价图	①隐蔽圈闭描述技术;②同上③;③圈闭描述评价技术;④储层成岩分析技术
	油气藏形成过程:汇聚区划,汇聚量与成藏期确定	①同油气运移①;②油气聚集区带划分图;③分区带油气运聚量计算;④同圈闭形成④	①油藏地球化学;②同油气运移①和②;③油气资源区带评价方法
成藏要素及作用组合关系	关键时刻要素及作用组合关系 含油气系统划分 有利勘探靶区与目标	①油气田、油气显示与空井分布图;②含油气系统事件组合图;③关系时刻要素特征平面组合图;④有利聚集区带划分评价图;⑤有利含油气目标评价图;⑥含油气系统剖面图;⑦含油气系统平面分布图;⑧勘探部署图	①石油地质综合研究;②盆地模拟;③油气资源评价;④经济评价;⑤决策分析

第二章 西湖凹陷含油气系统形成的 区域地质背景

含油气系统及层序地层学不仅为人们提供了一种综合性的研究方法,更重要的是为人们打开了如何研究复杂问题的思路。只有把某一研究地区放在更广泛的时间—空间内时,人们才会从更大的整体上去研究思考问题。为此,当我们把西湖凹陷与整个东海盆地联系起来时,甚至与整个中国东部盆地联系在一起时,会发现,西湖凹陷的形成演化过程与东海盆地及整个中国东部盆地的形成演化过程是类似的,即断陷早期造盆,断陷中后期充填,拗陷期展平。进一步解释就是,中生代(及古新世),地壳拉张,产生裂谷,盆地开始形成;(古新世)始新世和渐新世,盆内断裂差异发育,逐级控制,次级单元分化,沉降沉积基本同步,是盆地沉积充填的重要时期;中新世后,盆地转入衰退期,拗陷发育,趋于统一。区域应力场的演化是,整体为拉张,局部有压剪(扭);早期断陷,后期隆褶或反转。尽管人们的认识及阶段划分方案不尽相同,但盆地演化的三部曲基本上是一致的。

第一节 西湖凹陷的区域构造位置

西湖凹陷位于东经 $124^{\circ}15'$ 至 $127^{\circ}00'$, 北纬 $27^{\circ}30'$ 至 $31^{\circ}30'$ 之间,属东海陆架盆地内的一个次级构造单元,呈 NNE—SSW 向延伸,东侧为钓鱼岛隆褶带,西侧为海礁—虎皮礁隆起,北与福江凹陷相接,南与钓北凹陷相通,南北长约 440 km,东西宽约 110 km,总面积近 50 000 km²(图 2-1)。图 2-1 是一个跨时代、跨构造层的、为东海陆架盆地油气勘探和开发所应用的“复合性、综合性”图件。从图 2-1 中可以看出,在早第三纪始新世平湖组发育时期,西湖地区及其周围的相关邻区尚处于统一的构造背景和古地理背景之中。

第二节 区域地质背景

一、中国东部区域应力场

本书的中国东部地区主要是指受太平洋板块、欧亚板块(有关的古生代造山带对局部地区有影响)、印度洋板块及青藏板块等若干构造地质体共同影响的中国东部沿海地区,包括渤海湾地区、苏北地区及东海地区等。中国东部地区,总体上是处在拉张应力的背景控制之下,裂谷、断陷、拗陷发育,这是中国东部中生代盆地主要的演化方式和演化阶段。拉张应力控制了断陷盆地的垂向活动,使基底断块离散并升降;剪切应力则控制了断裂的走向和平面分布。

而在新生代,中国西部印度洋板块与青藏板块碰撞、挤压,并不断向中国东部传递应力;东面太平洋板块向中国东部大陆俯冲,因此造成了中国东部以南东—北西向主压应力为主的中新生代大地构造应力格局。这也是中国新生代地质背景的总体轮廓。但正如上文所述,在中新

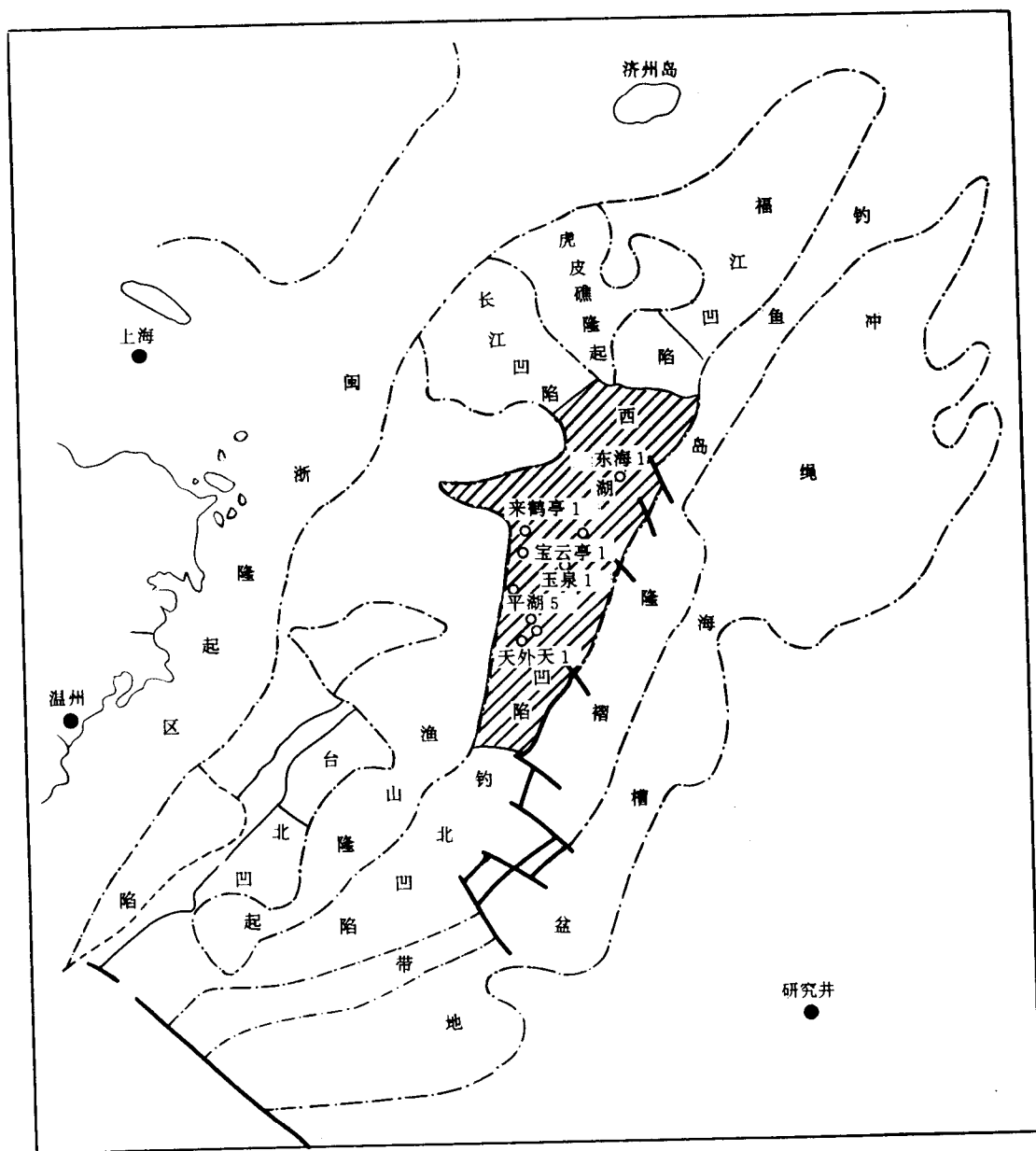


图 2-1 西湖凹陷区域构造位置图

生代,中国东部总体上是处在拉张应力的背景控制之下,这是为什么呢?板块之间的相互作用,是地壳运动地质作用的一个方面;地球自转、地球内部能量的再分配、再聚集、再释放而引起的地壳运动、甚至是地幔物质的运动,则是地质作用的另一个方面。大量研究已基本证明,在中新生代,中国东部地幔确实存在上隆现象,这是地幔软流圈热对流上涌的结果。地幔上面的岩石圈是一个弹性壳层,而地幔是具有牛顿粘滞性的层状流。地幔热对流上涌,形成上涌柱,使得中国东部地壳随地幔同时上隆。结果,南东—北西向挤压所派生的南西—北东向的拉张应力,与地幔上隆所产生的张力合在了一起,从而产生了中国东部中新生代的引张应力场。这就是中国东部盆地形成和演化的区域应力场背景。曾有人做过专门研究,证明引起地壳底部变形的切

向应力与中国地表形态十分吻合。同时模拟计算结果也表明,我国东南陆缘为向东的扩散流区,由于地幔流主要向东—东南方向流动,它牵引我国东部大陆岩石圈向太平洋、菲律宾和爪哇海沟方向迁移,并形成了一系列地堑和沉降盆地。

为此,研究中国大陆的造山运动和大断裂的形成必须考虑地幔对流应力场以及印度板块与太平洋板块联合作用的水平应力场这两个重要因素。地幔对流在岩石圈下部产生的拖曳力,可能不仅仅是板块运动的主要驱动力,而且还是板内应力的主要来源之一。基于印度洋板块、太平洋板块、菲律宾板块和欧亚板块之间的相互作用,及一系列边缘海盆地的形成与存在,势必影响我国东部陆缘盆地和断裂体系,促使东部陆缘形成目前一致性很好的统一应力场和构造格局。

中国东部地区,从白垩纪到第三纪时期发育了一系列由正断层控制的地堑、地垒构造,形成一个大致连续的盆地体系。它与太平洋东岸的美国西部晚新生代盆地山脉构造具有十分相似的构造特征与演化历程。东海坳陷盆地作为整个中国东部地区众多构造单元之一,自然也受着区域应力场的控制和影响。当然,不同地区、不同时期的局部应力场会有所不同。如渤海湾盆地尽管存在有压扭性弧形帚状断裂体系,但很少发育逆断层,而东海盆地及西湖凹陷,自中新世后便发育了许多逆断层,这就是局部应力场的产物,也是矛盾的对立统一体,即压应力可以转化成张应力、剪切应力、压扭应力等(这种转化实际上是力在不同位置、不同时期的分解)。

晚新生代环亚洲大陆板块体制新的调整对盆地的后期演化、改造有着积极作用,并赋予后者以新的动力。渐新世是中国东部大陆边缘大规模盆地扩张期,也是地壳相对活跃的时期。这是由于渐新世以来,太平洋板块对欧亚板块的碰撞挤压作用加剧,在东北方向上张应力场加强,块断破裂迅速发展,盆地演化进入高潮期。地裂运动是在深部热活动背景下,张应力场增强,并追踪老断裂发生脆性破裂进行的。此期的东海盆地及西湖凹陷则处于大面积快速下沉调整期。特别是到了中新世后期,太平洋板块对欧亚板块的碰撞挤压作用的压应力在西湖凹陷占据了主导地位,使得西湖凹陷从张性应力场转变成了压性应力场,产生了一系列逆断层及反转构造。

总之,在中新生代,中国东部的区域应力场为张性,局部存在压性应力场。

二、西湖凹陷的地质背景

(一) 西湖凹陷的基底

西湖凹陷的基底由元古界老基底和中生界新基底构成。

可以说,西湖凹陷同东海盆地一样,是在古老的结晶基底的基础上,经裂陷发育而形成的盆地。结晶基底主要为元古界的变质岩系,古生界基本缺失。到了中生代,由于受燕山运动的影响,结晶基底再次活化,地壳拉张形成裂谷盆地,一些切入基底的深大断裂成了裂谷盆地的边界;同时也控制了盆地的后期演化。进入新生代,才真正进入了盆地的发育时期(表 2-1)。

西湖凹陷发育于东亚大陆边缘减薄的陆壳上,处于太平洋板块向西俯冲的弧后环境。凹陷中部的 Moho 面深约 25 km(图 2-2),向东、西两侧具有变厚的趋势。第三纪盆地基底为元古界的古老结晶基底及晚侏罗世—早白垩世的火山岩及沉积岩构成的“年轻基底”。晚侏罗世至早白垩世,太平洋板块强烈扩张向北移动,与特提斯和欧亚板块之间发生左旋扭动,使中国东部广泛隆升褶皱和断裂,造成华南大陆及东海区内大范围的中酸性岩浆活动。在此基础上发育了一些小型的晚侏罗世—早白垩世的沉积盆地。这些地层中的一部分也构成了第三纪盆地的基底岩系。

表 2-1 东海陆架盆地地层与构造运动一览表

地 层		东海陆架盆地		接触关系	地震反射层	构造运动		地质结构	
时代	组名	西带	东带			东海	台湾	西带	东带
第四纪	东海群		Nn21—Nn19	平行不整合		海槽运动	台湾运动		区域披盖
上新世	三潭组		Nn18—Nn12	不整合		龙井运动	海岸山脉运动	区域披盖	
中新世	柳浪组			局部平行不整合					
	玉泉组	Nn11 Nn4	Nn5						
	龙井组								
渐新世	花港组			不整合		花港运动		隆起	
始新世	平湖组	Np17、Np16 P11	P17—P12	不整合		玉泉运动	埔里运动		
	温州组	Np15							
	瓯江组	Np12 P8		不整合		瓯江运动			
古新世	明月峰组	Np11、Np10 P7							
	灵峰组	Pn9—Np5							
	石门潭组	P5、P6		不整合		雁荡运动	太平运动	半地	陷
晚白垩世				不整合		基隆运动		坳	
前晚白垩世									

构成凹陷东缘的钓鱼岛隆褶带为上古生界至三叠系的变质岩系, 含有大量的中酸性侵入岩和火山岩系。在隆褶带上可能发育有下第三系, 形成于局部断陷或洼地。这些地层也受到了强烈的挤压褶皱。从结构上看, 西湖凹陷是在古老的基底岩系上裂陷形成的(图 2-3)。其东边缘断裂也可能是切割元古界结晶基底的断裂, 因而东侧盆缘断裂以东的钓鱼岛是否也有可能存在元古界的基底岩系是值得今后注意的问题。

总之, 盆地的基底主要为古老的变质岩系和时代较新的火成岩及沉积岩系。

(二) 西湖凹陷的盖层

西湖凹陷是我国东海陆架盆地规模较大的第三系含油气盆地。西湖凹陷内充填的厚达万余米的第三纪沉积地层即为该凹陷的盖层。

西湖凹陷内钻井已揭穿的第三系地层厚达五千多米。据地震资料推算, 第三系最后可达一万多米。“六五”以来, 前人对西湖凹陷的生物地层作过较系统的研究工作, 尽管在一些具体层位归属上还有分歧, 但总的地层框架是清晰的。在综合前人研究成果的基础上, 本书采用表 2-2 所示的划分方案。由表 2-1 和表 2-2 可以看出, 西湖凹陷的盖层主要由古新统, 始新统八角亭组(瓯江组)和平湖组, 渐新统花港组, 中新统龙井组、玉泉组及柳浪组, 上新统三潭组及第四系东海群所组成。岩性以碎屑岩为主, 极少发育碳酸盐岩。

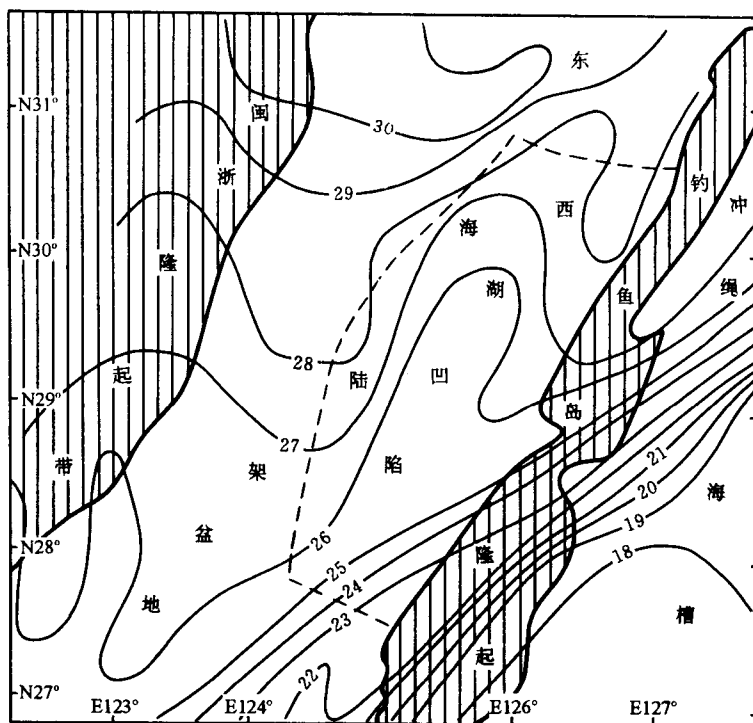


图 2-2 西湖凹陷及邻区 Moho 面深度等值线图

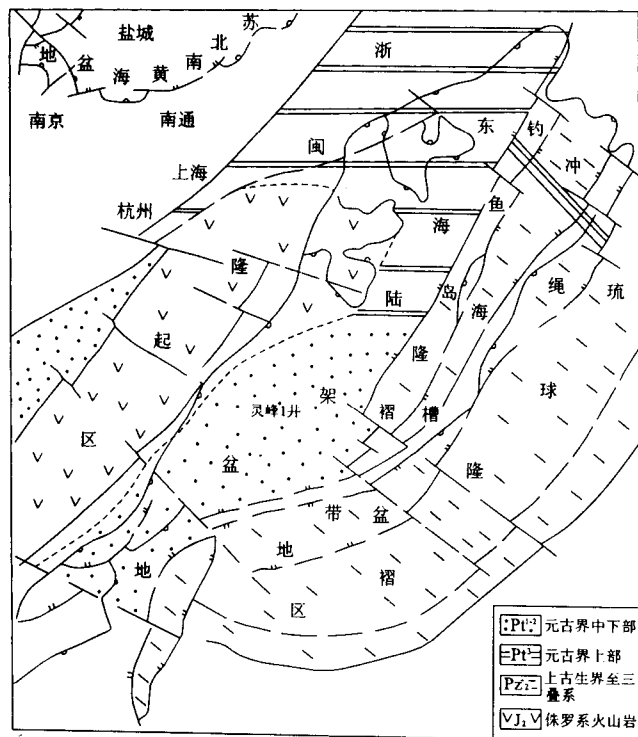


图 2-3 东海新生代沉积基底分布略图(据陆永潮等修改)

表 2-2 西湖凹陷地层划分方案

地层年代		反射界面	地 层	
第四系	更新统	T ⁰ (3 Ma) (海槽运动)	东 海 群	
上 第 三 系	上新统	T ₁ ¹ (10 Ma) (龙井运动)	三潭组	上段
				下段
	中新统	T ₂ ² (16 Ma) (花港运动)	柳浪组	
			玉泉组	
			龙井组	
下第三系	渐新统	T ₃ ³ (23 Ma) (玉泉运动)	花港组	上段
				下段
	始新统	T ₄ ⁴ (37 Ma) (瓯江运动)	平湖组	上段
				中段
				下段
				八角亭组(瓯江组)
	古新统	T ₆ ⁶ (65 Ma) (燕山五幕)	(明月峰组?,雁荡运动)	
			(灵峰组和石门潭组?)	

前 第 三 系

1. 古新统

天外天 1 井在 4 895~5 000.3 m 钻遇了一套碎屑岩与火山岩交互的地层, 厚达 2 000~6 000 m。考虑到盆地构造发展史, 这套地层可能是代表古新世盆地初始裂陷期的沉积。

2. 瓯江组

瓯江组是在平湖地区平湖 2 井、平湖 3 井及平西 1 井平湖组之下钻遇的一套中酸性火山岩与中粗粒砂岩互层的地层, 火山岩包括安山岩和凝灰岩等, 同位素年龄为 42.5~56.5 Ma。该套地层发育于裂陷中晚期, 沉降快, 推测以海湾或滨岸湖泊相沉积为主。

3. 平湖组

区内大部分钻井钻遇平湖组, 主要为滨岸沼泽、潮坪、海湾泻湖、潮控三角洲或河口湾环境下的沉积物。自下而上可划分为三个段, 主要由深灰色的泥岩、灰质泥岩、部分含砾砂岩以及煤层等组成。厚 2 000~3 000 m。属中、晚始新世。

4. 花港组

花港组一般厚 1 000~2 000 m, 是一套形成于滨海湖泊、淡化海湾背景下的河流沼泽、滨浅湖及湖泊三角洲沉积。按岩性组合可划分为上、下两段。上段主要由灰色、绿灰色或褐红色泥岩、砂质泥岩和灰色、灰白色砂岩或砂质砾岩等组成, 夹少量薄煤层。下段由灰色、深灰色泥岩、灰白色砂岩、砂质砾岩等组成, 夹有少量煤层或煤线。为渐新世早期地层。

5. 龙井组