

东海西湖凹陷油气资源分布及勘探潜力分析

李上卿,李纯洁

(中国石化 上海海洋油气分公司,上海 200120)

摘要:该文在详细分析论述西湖凹陷石油地质条件的基础上,系统地计算了各构造区带的潜在油气资源量、推测油气资源量和总油气资源量,建立了油气资源系列和结构,论述刻画了西湖凹陷已发现和未发现的油气分布特征。同时还引进了气远景资源丰度的概念,并将西湖凹陷各构造区带的油气远景资源丰度与中国东部凹陷的油气远景资源丰度相比,分析了油气勘探潜力,着重论述了保坻斜坡和中央背斜构造带的油气勘探潜力。

关键词:资源丰度;资源系列;勘探潜力;西湖凹陷;东海

中图分类号: P632.1

文献标识码: B

西湖凹陷位于上海市以东的东海大陆架海域,距上海直线距离约 440 km,离浙江省宁波市最近距离约 330 km,海水深度 80~110 m。其地质构造位置位于东海陆架盆地中段的浙东坳陷东部,西侧以鱼山、海礁、虎皮礁三凸起和长江、钱塘凹陷西鞍部为界,东以钓鱼岛岩浆岩带为界,北与福江凹陷相邻,南与基隆凹陷相通^[1]。整个凹陷呈北北东向展布,长约 440 km,面积约 $5.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。西湖凹陷是东海陆架盆地油气勘探潜力最大的凹陷之一,已发现了平湖、春晓、宝云亭、武云亭、残雪、断桥、天外天和孔雀亭等 8 个油气田以及玉泉、龙二、龙四、花港、秋月和孤山等 6 个含油气构造,至 2001 年底共提交了各类油气储量约 $2500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 气当量。

1 地质概况

西湖凹陷从西往东可分成 5 个二级构造单元带,即保坻斜坡、三潭深凹、浙东中央背斜带、白堤深凹和天屏断裂带。西湖凹陷新生代以来,经历了 6 次较大的构造运动,其中白垩纪末的基隆运动、始新世末的玉泉运动和中新世末的龙井运动形成广泛的区域不整合,将西湖凹陷分为裂陷—坳陷—区域沉降 3 个演化阶段,相应的沉积形式为充填—超覆—披盖式沉积。每一演化阶段都具有其特定的构造特

征和沉积特征。

西湖凹陷新生代地层层序自下而上为古新统(鬲),中下始新统宝石组(鬲) (新揭示地层,暂定名),中上始新统平湖组(鬲),渐新统花港组(鬲),中新统龙井组(鬲)、玉泉组(鬲)、柳浪组(鬲),上新统三潭组(鬲)和第四系东海群(鬲)。除古新统外,其余地层全被钻井揭示。各地层沉积特征和沉积环境如表 1 所示。

2 石油地质条件分析

2.1 烃源岩的特征

西湖凹陷构造演化的多期性使凹陷内纵向上发育了 5 套烃源岩系:古新统、下—中始新统宝石组、中—上始新统平湖组、渐新统花港组及中新统烃源岩。源岩类型为泥岩和煤^[2]。

2.1.1 有机质丰度

受沉积环境影响,源岩有机质丰度在纵向上和横向上都存在差异。纵向上,宝石组、平湖组和中新统玉泉组泥岩中的有机质丰度较高,有机碳含量和氯仿沥青 A 含量都达到较好烃源岩的标准,有机质丰度为较高和高丰度;其次为渐新统花港组和龙井组泥岩,有机质丰度也已达烃源岩标准。古新统尚无钻井揭示,但根据地震等资料推测宝石组之下发育有一套厚度大、丰度高的烃源岩。同处于

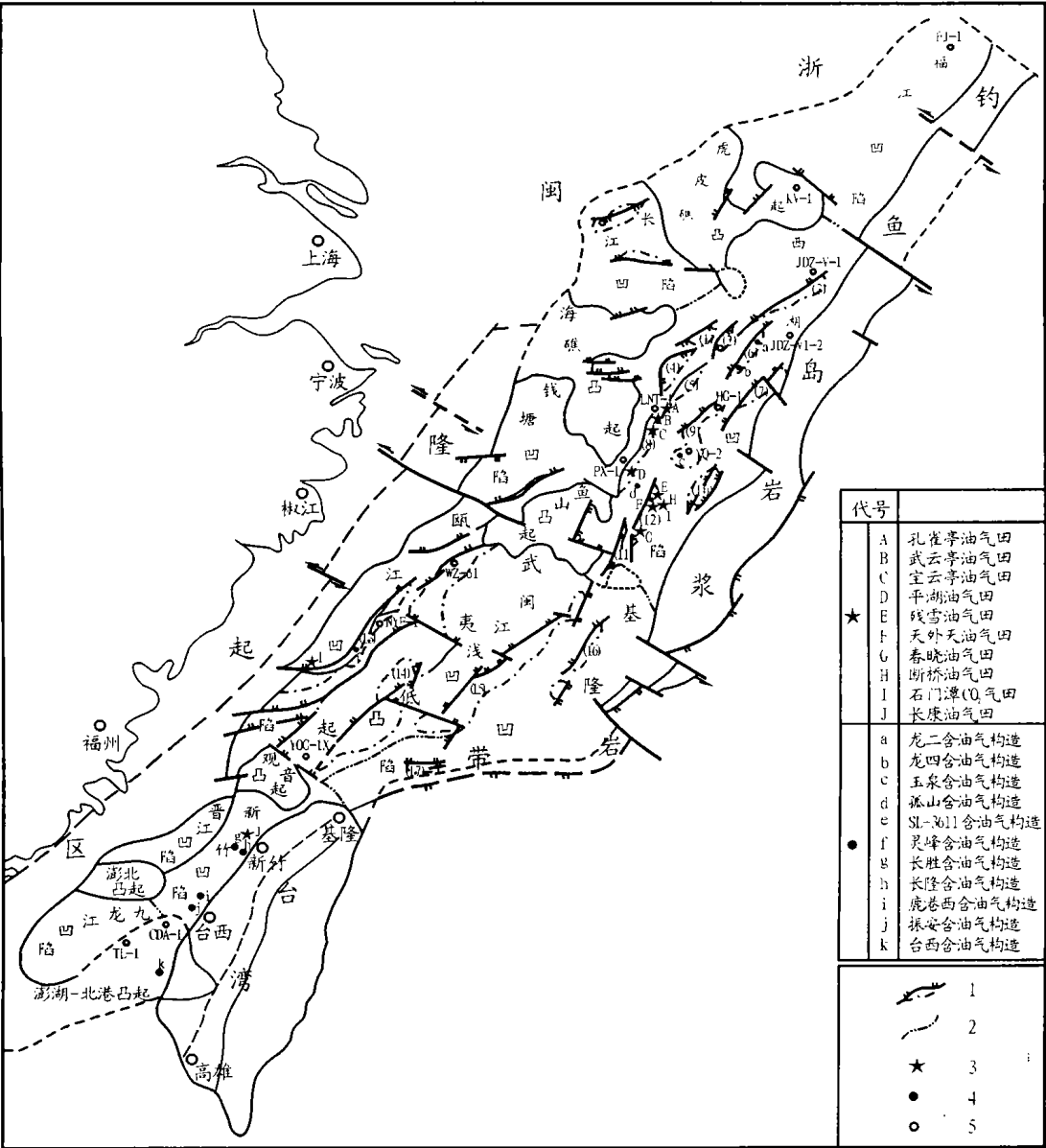


图1 东海陆架盆地构造区划图

1. 局部构造; 2. 凹陷间界线; 3. (油) 气田; 4. 含(油) 气构造; 5. 钻井
(1) 迎翠轩构造带; (2) 柳浪构造带; (3) 玉泉构造带; (4) 木香榭构造带; (5) 广意亭构造带; (6) 龙井构造带;
(7) 北高峰构造带; (8) 平湖构造带; (9) 西泠构造带; (10) 灵隐构造带; (11) 初阳构造带; (12) 苏堤构造带;
(13) 温东构造带; (14) 雁荡构造带; (15) 台北构造带; (16) 苏花构造带; (17) 大屯构造带

图1 东海陆架盆地构造区划图

东海陆架盆地的长江凹陷和瓯江凹陷内的钻井已证实古新统为一套重要的烃源岩, 并具有较高的生烃潜力。

横向上, 古新统泥质源岩有机质大部分为较高丰度, 在斜坡和凹陷北部为低丰度。始新统宝石组和平湖组泥质源岩有机质大部分为较高丰度和高丰度, 仅在迎翠轩—木香榭等局部地区为中等丰度。花港组、龙井组和玉泉组泥质源岩有机质丰度总体较下第三系要差, 大部分为中等和低丰度, 较高丰度仅局限于凹陷沉积中心, 并随着沉积中心向西北迁移。

2.1.2 有机质类型

西湖凹陷的有机质类型以腐殖型(Ⅲ型)为特色; 有机质显微组分以脂镜组和镜质组为主要成分^[3]。

在干酪根元素原子关系图上, 宝石组、平湖组源岩干酪根类型主要为含腐泥的腐殖型(Ⅲ₁型)和腐殖型(Ⅲ₂型), 其中Ⅲ₁型约占总量的60%, Ⅲ₂型约占总量的40%, 这主要是烃源岩树脂体含量较丰富的原因。花港组、龙井组和玉泉组源岩干酪根类型也主要为含腐泥的腐殖型(Ⅲ₁型)和腐殖型(Ⅲ₂型), 只不过Ⅲ₁型和Ⅲ₂型含量大致相等, 约各为

表 1 西湖凹陷地层沉积特征和沉积环境

物性特征及沉积环境特征表

地 层					分层 厚度/米	岩 性 描 述	沉积相
界	系	统	组	段			
新生界	第四系	东海群			375 ~ 455	浅灰、灰色粘土、粉砂质粘土层与浅灰色粉砂层、细砂层互层,底部为细砂层、含砾细砂层	浅海相
		上新统	三潭组		224 ~ 692.5	上部:灰色泥岩与粉、细砂岩互层 下部:灰白色砂砾岩、生物碎屑砂岩夹泥岩	海陆过渡带
	上第三系	中新统	柳浪组		0 ~ >800	黄灰、褐棕色泥岩与粉、细砂岩互层	河流相为主
			玉泉组		352 ~ 1 412	上段:杂色泥岩、粉砂质泥岩与灰黄、浅灰、灰白色泥质粉砂岩、粉砂岩、砂岩互层夹煤,含少量石膏 下段:浅灰、灰白色粉砂岩、细砂岩及深灰、绿灰色泥岩夹深灰色页岩、碳质页岩,东部凹陷带内煤层发育	河流相-湖泊相,夹海侵层
			龙井组		0 ~ 1 186.5	上段:浅灰、绿灰色泥岩与浅灰、灰白色粉细砂岩、中细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩互层,夹棕红色泥岩、含砾砂岩、砂砾岩 下段:深灰、绿灰色泥岩与浅灰、灰白色粉、细砂岩、泥质粉砂岩互层,夹碳质泥、页岩及煤,底部为细砂岩	河流相-湖泊相,夹海侵层
			渐新统	花港组 上段	0 ~ >700	深灰、绿灰、棕红色泥岩与浅灰、灰白色粉砂岩、细砂岩不等厚互层,夹煤层	三角洲相-湖泊相
				下段	0 ~ >400	深灰泥岩与灰白色细砂岩、粉砂岩互层,夹含灰质粉细砂岩、煤层、泥晶灰岩,底部为块状中砂岩、含砾砂岩	三角洲相-湖泊相
	下第三系	始新统	平湖组		>1 020	深灰色泥岩、含灰-灰质泥岩与浅灰色含灰质粉砂岩、粉细砂岩、细砂岩频繁互层,夹薄层泥晶灰岩、沥青质煤	半封闭海湾
			宝石组		>500	厚层灰、深灰色泥岩夹粉细砂岩	
		古新统	明月峰组			灰白色砂砾岩、含砾砂岩、粗砂岩、粉砂岩与灰色泥岩互层,夹煤层	浅海湾
			灵峰组			上部:浅灰色粉砂、细中砂岩夹灰黑色泥岩 下部:深灰色泥岩夹灰白色粉砂岩、生物灰岩	
			石门潭组			灰白色细、中、粗砂岩夹灰黑色泥岩	

注：东海陆架盆地瓯江凹陷钻井揭示。

50%。

2.1.3 生烃模式

西湖凹陷烃源岩有机质虽属Ⅲ型干酪根,但由于有机质显微组成、结构的不同,从而使得生油、气性有明显差别,存在着生气型和生油、气型两类生烃模式。

生气型成烃模式的油、气产率低,按最大产率计,油一般小于10~50%^[1],最终气产量大于油产量,成油阶段没有生油高峰或不明显。气主要是在生油高峰(340℃、 μm 约1%)之后大量生成,与典型Ⅲ型干酪根的热演化生烃规律相一致。西湖凹陷腐殖型(Ⅲ₂型)有机质成烃为这类生气型成烃模式。

生油、气型成烃模式的油、气产率高,有明显的生油高峰,最大油产率可达100~200%^[1],其中轻

烃约占液态烃的1/4左右,最大产气率可达150%^[1],生油高峰时的最大油产率与干气带终极气产率之比接近1:1。西湖凹陷含腐泥的腐殖型(Ⅲ₁型)有机质成烃为这类生油、生气型成烃模式。

2.2 储层的发育与分布

西湖凹陷储集层的岩性为陆源砂质岩,粒度从粉砂岩到砂砾岩都存在,以中、细砂岩为主。这些中、细砂岩储集层是凹陷油气储集的主要空间。

西湖凹陷第三系砂质岩储集层在纵向上的分布特征如下:Ⅰ类储集层埋深一般不超过2 000米, μm 小于0.4%,地温低于80℃,由于埋深较浅,孔隙度一般大于30%,渗透率大于 $1\ 250\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,具有特高的孔渗储集条件;Ⅱ类储集层 μm 为0.4%~0.6%,地温为80~110℃,原生孔隙降至15%左右,

次生孔隙由少变多,总孔隙度降到22%左右,渗透率降至 $250 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为高孔渗储层,目前花港组中的主力油气层大部分属于此种类型,例如平湖四井2300~2800井段的4层油层单层日产油300~500 t^3 ;Ⅲ类储集层 δ_{H_2} 为0.6%~0.85%,地温在110~145℃,次生孔和原生孔减少,但与源岩配套好的地区次生孔隙保存较好,如平湖、平北地区孔隙度、渗透率都较高,油气产量也较高;Ⅳ类储集层 δ_{H_2} 大于0.85%,地温大于145℃,原生孔、次生孔都明显减少,是最差的储集层。

西湖凹陷第三系砂质岩储集层在横向上的分布特征如下:最有利储集条件区为保俶斜坡和天屏断裂带,该区具Ⅰ、Ⅱ类储集条件的层位最多,始新统(主要是平湖组中段)及其以上地层的砂质岩均具有良好的储集性能;有利储集条件区主要分布于凹陷中南部的浙东中央背斜带及其两侧的局部深凹地区,该区花港组及其以上地层具有Ⅰ、Ⅱ类储集条件;较有利区和较差区则主要分布于凹陷北部的龙井构造带及其西侧的三潭深凹之中,其有效的储集层位主要是龙井组及其以上地层。

2.3 盖层的封闭类型及其特征

西湖凹陷的盖层都是泥质岩。泥岩的矿物成分以石英为主,约占55%~75%;其次为粘土矿物,约占20%~40%;长石和碳酸盐为10%~20%。

西湖凹陷存在3种盖层封闭类型:毛细管压力封盖、压力异常封盖和浓度异常封盖。毛细管压力封盖是依靠泥岩较高的突破压力对油气的封盖。这种封盖自上而下都存在,并随深度增加,毛细管压力封盖越显得重要。压力异常封盖是由于泥岩的欠压实作用,孔隙流体大量留在泥岩微孔隙之中导致异常压力封堵。西湖凹陷泥岩欠压实带分布于2800井以下的地层之中,分布范围较广,可将其看作区域性盖层。浓度异常封盖就是盖层本身是源岩,含烃浓度较高,对油气藏中烃类物质的扩散、散失起到阻滞作用。这种封盖对气的阻滞作用明显。

西湖凹陷盖层纵向上有如下分布特征:在3000井以下为Ⅰ类盖层条件,以异常压力封盖为主,同时也存在着毛细管压力封盖和浓度异常封盖机制,是油气最有利的封盖层。在3000~2000井之间,泥岩为Ⅱ类盖层条件,以毛细管压力封盖机制为主。其突破压力为 $10 \sim 1 \text{ MPa}$,中值半径为 $10 \sim 30 \mu\text{m}$,孔隙度为7%~15%,扩散系数为 $3.513 \times 10^{-10} \sim 4.900 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 。这类盖层可有效地封盖住原油,但对天然气的封盖效率较差。目前保俶斜坡和浙东中央背斜带花港组中的油、气藏全是此

类泥质岩盖层。在2000井以上,则为Ⅲ类盖层条件,盖层的孔隙度和中值半径都很高,突破压力低,对油气的封盖性差。例如玉泉构造上的玉泉一井,在2000井~1800井段,录井油气显示很好,但测试未获工业油气流,其主要原因之一可能是泥岩盖层为Ⅲ类的缘故。

西湖凹陷盖层横向上有如下分布特征:盖层条件好的地区为三潭深凹的中北部及临近该深凹的斜坡和龙井地区,同时在白堤深凹中部也有好的盖层条件存在。这些地区具有Ⅰ、Ⅱ类盖层条件的层位最多,一般玉泉组就已具备了Ⅱ类盖层条件。盖层条件较好的地区大体上呈环状分布于凹陷中偏北部的保俶斜坡和浙东中央背斜带地区。这些地区的龙井组及其以下地层已具备了Ⅰ、Ⅱ类盖层条件,它们与油气的储集、运移条件配置关系最好,是最有勘探意义的盖层分布区。盖层条件中等的地区主要分布于凹陷东北侧,这些地区具有Ⅰ、Ⅱ类盖层条件的层位相对最少,花港组以下的地层才具有良好的盖层条件。

2.4 油气成藏组合的类型

油气成藏组合的优劣主要受控于烃源岩、油气运移、储层、圈闭和时间、盖层等诸地质因素。在这5个要素中,源岩是成藏的核心,是物资保证,储、盖层是成藏的基础,而圈闭和运移是成藏的关键,在整体上缺一不可,互为依存并又有转化和发展,互为因果。因此,进行成藏组合分析应该采用动态的观点,而不是用静止和孤立的观点来分析和评价。

在综合考虑沉积旋回、岩性、岩相、生储盖组合、地层压力系统等特征的基础上,认为西湖凹陷主要发育两种类型的成藏组合:一是源岩区内完整成藏组合,此组合5个要素俱全,但在储层及盖层质量上有差异,是最有利的油气富集地带;二是源岩区外运移成藏组合,此组合虽在源岩区之外,但有较好的构造条件,依靠运移仍能形成油气富集。

2.5 油气成藏的主要控制因素

油气成藏组合受控于烃源岩、油气运移、储层、盖层、圈闭和其形成时间等诸地质因素。在油气成藏的五要素中,对西湖凹陷而言,主要控制因素是烃源岩、圈闭和运移。

2.5.1 烃源岩和生烃凹陷

平湖组和宝石组烃源岩分布广泛,生油气条件优越,所构成的始新统生烃凹陷展布于西湖凹陷中南部。因此在平湖构造带、苏堤构造带、西冷构造带和断桥构造一带,是油气富集条件最有利的地区,往往形成源岩区内完整成藏组合。

花港组烃源岩所形成的生烃凹陷范围较小,主体部位在西冷构造带一天外天构造一带;此外,始新统源岩生成的油气可形成次生聚集。所以,在西冷构造带一天外天构造一带即可形成源岩区内完整成藏组合,又兼有源岩区外运移成藏组合,因此成藏组合条件优越。

龙井组和玉泉组源岩范围主要在西冷构造带和龙井构造带一带,其它地区均远离源岩区。因此,除西冷和龙井构造带可形成源岩区内完整成藏组合外,其他地区成藏条件较差。

2.5.2 两种不同的应力与不同油气圈闭类型

西湖凹陷构造演化经历了断陷—拗陷—区域沉降 3 个发展阶段。其中,断陷和拗陷两个阶段为油气层系孕育的主要时期,对油气形成和分布起着决定作用。平湖组受断陷体制控制,为张性或张扭性应力场;在拗陷阶段则为挤压或压扭应力场。

断陷和拗陷两个不同的发展时期,形成的构造类型不同,油气藏类型及分布也不同。在同一凹陷不同的构造部位应力状况不同,构造类型也有差异。西湖凹陷断陷时期的构造主要是断裂控制的半背斜和断块;而拗陷时期的局部构造则主要是挤压背斜构造,它们多叠置在原有的断块隆起之上,为复合型构造,浙东中央背斜带上的诸构造均具有这种特点。在保俶斜坡带也是如此,仅挤压强度比中央背斜带小,也具有叠加复合的特征。

2.5.3 油气运移和聚集

西湖凹陷不同的构造部位有不同的运移方式和特征。保俶斜坡带为生烃凹陷的西侧缓坡,运移指向十分有利,烃类运移方式以侧向为主兼有纵向。在斜坡一带有一系列断裂,它们既是纵向运移的通道,也可形成遮挡条件,因此是油气的富集地区。浙东中央背斜带在总体上处于西湖凹陷中央部位,在区域上处于三潭深凹之东及白堤深凹之西,兼有纵向和侧向运移的双重特征,这里的大型褶皱和断裂都将构成运移的障碍或通道,因此其也是油气富集的地区。位于三潭深凹中的局部构造虽然数量不多,也位于油气运移的流向上。

3 油气资源分布特征

3.1 已发现油气资源分布特征

西湖凹陷已获探明、控制和预测石油储量计 $4\,302 \times 10^8$ 标天然气储量计 $2\,028.85 \times 10^8$ 标³。油气勘探开发实践表明,西湖凹陷已发现证实共有 4 套含油气层组,从下往上依次为宝石油气层组、平湖

油气层组、花港油气层组和龙井油气层组。其中平湖油气层组和花港油气层组获工业油气流,已经或即将投入开发,龙井油气层组也获油气流,而宝石油气层组仅见油气显示。西湖凹陷原油皆为凝析油或来源于凝析油的轻质油,原油具有比重低(0.758 ~ 0.82^{g/cm³})、含硫量低(0.02% ~ 0.1%)、含蜡量低(2% ~ 8%)和凝固点低(-19 ~ 0℃)的特点。天然气为常规气,甲烷含量高(大于 95%),不含或微含硫化氢气体,二氧化碳含量低。这主要是源岩类型、热演化和油气的生成史、运聚史所决定的。

平湖油气层组主要见于平湖和春晓地区,主要为气层,产凝析气。具有超压异常的特点,油气充满度高,多有边水存在,水型主要为氯化镁(硬水)及重碳酸钠(硬水)型,说明封闭条件良好。花港油气层组分布较广,在平湖、苏堤构造带和西冷构造带上皆有发现。其中在平湖地区多为油层,在浙东中央背斜带多为气层和凝析气层,一般都有底水,由于充满度不高,常呈“油(气)帽子”的形态。由于岩性的变化,花港组油气藏在不同构造部位含油气情况也有不同。龙井油气层组目前仅在玉泉、孤山构造上发现,含轻质油,作为含油气层系来说具有战略性意义,特别到西湖凹陷北部可能为一值得探索的新领域。宝石油气层组仅见于宝石构造的宝石一井,并为油气显示。由于宝石一井宝石组为大套泥岩,预测在储层物性变好的地区可获高产油气流,特别是在斜坡的南部和北部。

3.2 未发现油气资源分布特征

3.2.1 资源量计算

为求取西湖凹陷的各级油气资源量,在石油地质综合分析研究的基础上,采用物质平衡法、4.5 盆地综合模拟系统和蒙特卡洛容积法,重现西湖凹陷的地史、热史、生烃史、排烃史和运聚史,开展油气资源和勘探目标的综合评价^[4]。

盆地模拟的内容如表 2 所示。首先在盆地分析的基础上,建立地质过程的概念模型或地质模型,抽提其中最主要的作用变化控制因素,使用数学方法将原因变量与结果数据联系起来,形成地质过程的数学模型;然后通过软件编制和计算机试验应用,最终对盆地地质过程进行恢复计算(反演)、结果预测(正演)或研究分析(各种原因与多种结果之间的正、反演),得出可靠准确的定量地质结论。地史是整个盆地模拟的基础,其精度直接影响到后面四史的精

表 2 盆地五史模拟内容与方

法

模 型	模拟内容	模拟方法	考虑因素
地 史	沉降史 埋藏史 构造演化史	平衡剖面技术	构造与负荷沉降 沉积压实 异常压力 剥蚀事件 断裂活动 沉积间断 海平面变化与古水深
热 史	热流史 地温史 有机质 热演化史	特征曲线法 (%) 法	盆地成因类型 地温场热源 地温场热成因机制 地温场特征:热导率 地温梯度 大地热流值
生烃史	生烃量 生烃时间	产烃率曲线图版法	有机质丰度、类型 有机质热演化程度 有机质生烃潜力
排烃史	排烃量 排烃时间	物质平衡排烃法	初次运移相态、动力 排油临界饱和度
运聚史	运移方向 运移时间 聚集强度 聚集区	数值模拟法	水动力类型 地层压力 运移通道 排烃方向

效率、排烃量和排烃时间;运聚史是盆地模拟的重点,也是当今盆地模拟中的薄弱环节。

在油气勘探的各个阶段,都可以用容积法计算油气资源量。在西湖凹陷的油气勘探进程中,依据不同时期的地质资料,曾多次以容积法计算过潜在的油气资源量。随着勘探程度的逐年提高,油气田和工业油气井不断发现,对凹陷内不同地区的勘探目的层和油气藏类型有了一定的认识。因此,在计算潜在油气资源量的过程中,依据西湖凹陷钻井资料,统计求得所需参数的概率分布,从而求得各构造的潜在气资源量^[5]。

西湖凹陷油气资源计算表明,西湖凹陷石油资源量约为 23×10⁸标天然气资源量约为 24×10¹¹标³,油气资源均分布于东海水深 80~120 标³的浅海海域,储存于第三系砂岩之中。始新统平湖组、宝石组和渐新统花港组油气资源占油气资源总量的 86%,证明始新统平湖组、宝石组和渐新统花港组是油气勘探的主要目的层。

3.2.2 资源分布特征

西湖凹陷各区带的油气勘探极不平衡。在平湖构造带和苏堤构造带,二维地震已达到 2标³×2标³或 1标³×1标³,三维地震已基本达到全覆盖,在部分区域开展了化探工作,现有 24 口钻井,并发现 8 个油气田;在龙井构造带、玉泉构造带和三潭深凹,二维地震已达到 4标³×4标³、2标³×2标³或 1标³×

1标³,但未开展三维地震勘探,部分区域开展了化探工作,已有 9 口钻井,并发现 6 个含油气构造;西湖凹陷的其他区带勘探程度相对较低,二维地震测网仅达到 8标³×8标³、4标³×4标³或 2标³×2标³,仅在西湖凹陷南斜坡有三维地震和一口钻井。据此,经地质评价将西湖凹陷分为 3 类:Ⅰ类区带是已形成油气田的区带,有平湖构造带和苏堤构造带;Ⅱ类区带是已有油气发现的区带,有龙井构造带、玉泉构造带和三潭深凹;Ⅲ类区带是尚未发现油气的区带,除Ⅰ类区带和Ⅱ类区带外,其他地区均为Ⅲ类区带。

西湖凹陷已获石油探明、控制和预测储量计 4 302×10⁴标³已获天然气探明、控制和预测储量计 2 028.85×10⁸标³。石油总资源量为 23×10⁸标³潜在石油资源量为 3×10⁸标³推测石油资源量为 20×10⁸标³天然气总资源量为 23 770×10⁸标³,潜在天然气资源量为 10 698×10⁸标³,推测天然气资源量为 11 043×10⁸标³。这表明,西湖凹陷油气资源丰富,已发现的探明加控制储量仅为总资源量的 3.8%,进一步证实西湖凹陷油气勘探潜力巨大。Ⅰ类区带中的平湖构造带已获石油探明和控制储量计 2 771×10⁴标³石油总资源量 2×10⁸标³潜在石油资源量为 0.7×10⁸标³推测石油资源量为 1×10⁸标³已获天然气探明和控制储量计 474×10⁸标³,天然气总资源量 2 915×10⁸标³,潜在天然气资源量为 2 171×10⁸标³,推测天然气资源量为 221×10⁸标³。苏堤构造带已获石油探明和控制储量计 1 531×10⁴标³石油总资源量为 2×10⁸标³潜在石油资源量为 0.5×10⁸标³推测石油资源量为 2×10⁸标³已获天然气探明和控制储量计 854×10⁸标³,天然气总资源量为 4 619×10⁸标³,潜在天然气资源量为 1 788×10⁸标³,推测天然气资源量为 1 977×10⁸标³。Ⅱ类区带中的龙井—玉泉构造带未获石油探明和控制储量,石油总资源量为 2×10⁸标³潜在石油资源量为 0.6×10⁸标³推测石油资源量为 3×10⁸标³已获天然气控制储量为 27×10⁸标³,天然气预测储量为 679×10⁸标³,天然气总资源量 5 052×10⁸标³,潜在天然气资源量为 2 575×10⁸标³,推测天然气资源量为 1 776×10⁸标³。三潭深凹未获探明和控制储量,石油总资源量为 5×10⁸标³潜在石油资源量为 0.2×10⁸标³推测石油资源量为 5×10⁸标³天然气总资源量为 3 901×10⁸标³,潜在天然气资源量为 737×10⁸标³,推测天然气资源量为 31 647×10⁸标³。Ⅲ类区带中的北斜坡、南斜坡、玉皇和白堤—天屏区带石油总资源量依次为 3×10⁸标³、0.6×10⁸标³、1×10⁸标³和 5×10⁸标³天然气总资源量依次为 11 197×10⁸标³、1 214×10⁸标³、5 624×10⁸标³和 43 884

表 3 西湖凹陷区带综合评价排队表

评价区名称	面积/10 ⁴ km ²	油气远景资源量/10 ⁸ 标	油气远景资源丰度/(10 ⁸ 标/10 ⁴ km ²)
苏堤	2 954	5.9	20.08
龙井—玉泉	4 421	7.6	17.13
平湖	4 118	4.1	9.99
三潭	9 466	9.4	9.89
白堤—天屏	16 201	9.7	5.98
南斜坡	4 296	1.9	4.32
玉皇	4 699	1.9	4.07
北斜坡	12 395	3.7	3.01
合计	58 550	44.2	7.54

表 4 中国东部凹陷油气远景资源丰度数据表

凹陷名称	面积/10 ⁴ km ²	油气远景资源量/10 ⁸ 标	油气远景资源丰度/(10 ⁸ 标/10 ⁴ km ²)
东营凹陷	5 850	14.06	24.03
车镇凹陷	2 340	3.60	15.38
沾化凹陷	3 610	3.79	10.50
惠民凹陷	7 700	4.42	5.74

映某一地区的油气资源潜力。油气远景资源丰度是指某一地区的油气远景资源量与该面积的比值,比远景资源量更能说明不同地区的勘探潜力。例如东营凹陷油气勘探潜力巨大,油气远景资源丰度高达 24.03×10^8 标/10⁴km²,惠民凹陷油气勘探潜力较小,油气远景资源丰度仅 5.74×10^8 标/10⁴km²(表 4)。西湖凹陷油气远景资源丰度为 7.54×10^8 标/10⁴km²,油气勘探潜力优于胜利油田的惠民凹陷,较沾化凹陷差,表明西湖凹陷有较好的油气勘探潜力。由表 3 可知,在西湖凹陷勘探潜力较好的前 4 个区带是苏堤、龙井—玉泉、平湖和三潭区带。苏堤构造带油气远景资源丰度高达 20.08×10^8 标/10⁴km²,与东营凹陷相似;龙井—玉泉、平湖和三潭区带油气远景资源丰度分别为 17.13×10^8 标/10⁴km²、 9.99×10^8 标/10⁴km² 和 9.89×10^8 标/10⁴km²,可与车镇、沾化凹陷相比,油气勘探潜力较好。其他 4 个区带油气远景资源丰度均较低,与惠民凹陷相似,油气勘探潜力相对较弱(表 3、4)。

4.1 中央背斜构造带

中央背斜构造带的构造为背斜,面积大,长期处于油气运移指向区,易于聚集油气,当具备油气保存条件时,就可形成油气藏。春晓、天外天、残雪、断桥气田和龙井、玉泉含油气构造的发现,就证明了这一点。但中央背斜构造带发育的近东西向的断层,对油气保存条件有一定的影响,增加了勘探风险。其中的 4 个局部构造如湖心亭、环滨、金鼓和残北构造,石油潜在可采资源量为 315×10^8 标,天然气潜在可采资源量为 1.240×10^8 标,勘探潜力大,风险小,应是下步勘探的首选目标。

春晓区块共有 6 个局部构造。其中宝石、初阳和云亭构造位于斜坡,火成岩发育,油气成藏规律尚不清晰,在宝石构造钻探的宝石一井仅见油气显示,属于勘探潜力大、有风险的构造;春南、玉带桥和映波桥构造属中央背斜构造带,其邻近的春晓构造已获油气并即将投入开发,它们具有相同的构造特征,因此预计春南、玉带桥和映波桥构造属于勘探潜力大、风险小的构造。

4.2 保俶斜坡

保俶斜坡的矿权区构造多为断块,数量多、面积小,长期处于油气运移指向上,易于聚集油气,当具备油气保存条件,就可以形成油气藏。平湖油气田的开发,宝云亭、武云亭、孔雀亭油气田和秋月、孤山含油气构造的发现,就证明了这一点。保俶斜坡矿权区地质构造特征有较大差异,油气产层也不相同,平湖区块的平中地区产层为平湖组和花港组,平北地区产层为平湖组,预计在迎翠轩—木香榭可能为

$\times 10^8$ 标。
3.2.3 区带远景资源量

未发现油气资源量是潜在资源量和推测资源量之和,为远景资源量。西湖凹陷油气远景资源量高达 44.2×10^8 标油当量,由于凹陷面积较大,油气远景资源丰度仅为 7.54×10^8 标/10⁴km²。西湖凹陷油气远景资源分布极不均匀(表 3)。Ⅰ类区带中的平湖构造带油气远景资源量为 4.1×10^8 标油当量,苏堤构造带油气远景资源量为 5.9×10^8 标油当量,分别为总量的 9.33% 和 13.43%。Ⅱ类区带中的龙井—玉泉构造带油气远景资源量为 7.6×10^8 标油当量,三潭区带油气远景资源量为 9.4×10^8 标油当量,分别为总量的 17.15% 和 21.20%。Ⅲ类区带中的北斜坡、南斜坡、玉皇和白堤—天屏区带油气远景资源量分别为 3.8×10^8 标、 1.9×10^8 标、 1.9×10^8 标和 9.7×10^8 标油当量,分别为总量的 8.50%、4.20%、4.34% 和 21.93%。由此可见,三潭区带和白堤—天屏区带油气远景资源量占总量的 43.13%,两个Ⅰ类区带平湖和苏堤区带油气远景资源量占总量的 22.76%,不到 35% 的油气远景资源量分布于其他 4 个区带之中。

4 油气勘探潜力分析

远景资源量是尚未发现的资源量,能较好地反

