

# 酒泉盆地营尔凹陷下白垩统烃源岩分布特征

周一博<sup>1</sup>, 柳广弟<sup>1</sup>, 谭修中<sup>2</sup>, 高岗<sup>1</sup>, 周在华<sup>2</sup>, 王银会<sup>1</sup>, 钟佳倚<sup>1</sup>, 刘庆顺<sup>1</sup>

(1.中国石油大学(北京)地球科学学院,北京 102249; 2.中国石油玉门油田分公司勘探开发研究院,甘肃 酒泉 735019)

**摘要:**在对酒泉盆地营尔凹陷层序地层划分的基础上,利用地震资料和重点井的测井和录井信息建立不同体系域下不同沉积相与暗色泥地比之间的关系,预测了营尔凹陷下白垩统暗色泥岩的分布。通过测井资料计算泥岩有机碳含量,进一步确定了暗色泥岩中烃源岩的厚度,预测了目的层烃源岩的分布。结果表明,下沟组 and 赤金堡组湖侵和高位体系域下部发育中强振幅、中低频率、中高连续的地震相,是烃源岩的有利发育区;下沟组烃源岩分布范围广,有机质丰度高,为研究区的主力烃源岩;而深部赤金堡组烃源岩厚度大,具有较大的生烃潜力,是下一步勘探的主要方向。

**关键词:**层序地层 地震相 烃源岩 达标率 下白垩统 营尔凹陷

**中图分类号:** TE112.113

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2013)01-0020-04

随着中国成熟油探区中浅层、常规地质圈闭勘探程度的提高,储量和产量持续增长,但难以满足国民经济发展的需求,深层、深水海域及中西部山前构造带、高寒地区等低勘探程度区逐渐成为中国今后油气勘探的重要方向<sup>[1]</sup>。作为油气形成的物质基础,烃源岩的评价在低勘探程度区早期评价中具有关键作用<sup>[2]</sup>,然而由于钻井资料和烃源岩样品的缺乏,有机地球化学、有机岩石学和测井等常规评价方法的应用受到了很大限制。

营尔凹陷勘探程度较低,在20世纪90年代勘探初期,仅在营北断阶带和长沙岭构造上发现了油气显示,直到21世纪初在长沙岭构造下沟组获得工业油气流才拉开了下白垩统油气勘探的序幕,然而,对下白垩统主力烃源岩层的分布和发育特征的认识不清,严重制约了油气勘探决策的制定。在层序地层框架建立的基础上,识别烃源岩的有利发育层段,通过对已钻遇井不同体系域和不同沉积相暗色泥岩的统计,结合地震响应特征预测了主要层序内烃源岩厚度,为凹陷资源潜力评价提供基础参数和依据。

## 1 区域地质概况

营尔凹陷位于酒泉盆地东部,面积约为2 000 km<sup>2</sup>。凹陷形成至今经历了早白垩世拉张断陷、晚

白垩世—古新世挤压隆升和始新世—新近纪拗陷挤压3个构造演化阶段<sup>[3-4]</sup>。目的层系下白垩统为东断西超的箕状断陷,平面上具有东、西分带,南、北洼凸相间的构造特征(图1),黑梁断层以东自南向北发育南部次凹、长沙岭构造、北部次凹和营北断阶带4个次级构造带。凹陷断裂特征明显,主要发育北东和北北东向正断层。

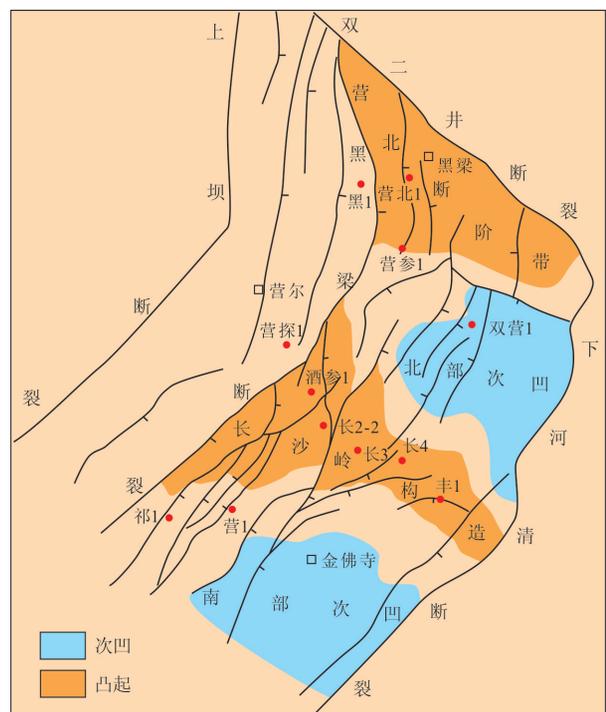


图1 营尔凹陷下白垩统构造纲要

收稿日期:2012-11-28。

作者简介:周一博,男,在读博士研究生,从事油气藏形成与分布规律研究。联系电话:13811541166, E-mail:zyb2011jason@163.com。  
基金项目:国家重点基础研究发展“973”计划“中低丰度天然气藏成藏机理”(2007CB209503)。

## 2 烃源岩的识别

### 2.1 层序地层格架与烃源岩层的分布

根据地震、钻井和测井资料,结合前人的研究成果<sup>[5-6]</sup>,将营尔凹陷下白垩统划分为1个一级层序(下白垩统),3个二级层序(中沟组、下沟组和赤金堡组)和6个三级层序(图2)。SQ1层序对应于赤金堡组一段,由于处于拉张断陷的初期,以滨浅湖一半深湖沉积为主,岩性以灰色泥岩和泥晶白云岩为主<sup>[7]</sup>,代表井为酒参1井和长101井。SQ2层序对应于赤金堡组二段,以深湖沉积为主,沉积了厚层暗色泥岩和页岩,为有机质富集、演化程度高、生烃潜力大的主力烃源岩。SQ3层序对应于下沟组一段和下沟组二段底部,是酒泉凹陷大面积水侵后断陷扩张的产物,该时期湖水面积小,水进水退频繁,以扇三角洲沉积为主,岩性下粗上细<sup>[3]</sup>,以暗色泥岩中夹砂岩、砂砾岩混层为主。SQ4层序对应于下沟组二段中上部,以滨浅湖沉积为主,由于水体偏氧化环境,地层中灰色、杂色泥岩混杂,夹有粉砂和泥质粉砂岩薄层。SQ5层序对应于下沟组二段顶部和下沟组三段,水体范围扩大,水体加深,以湖泊—三角洲沉积为主,发育深湖—半深湖相烃源岩层,为1套有机质丰度高、正处于生油窗范围的主力烃源岩层系<sup>[8]</sup>。SQ6层序对应于中沟组,为拗陷阶段沉积充填的产物,以深湖—半深湖沉积为主,沉积中心位

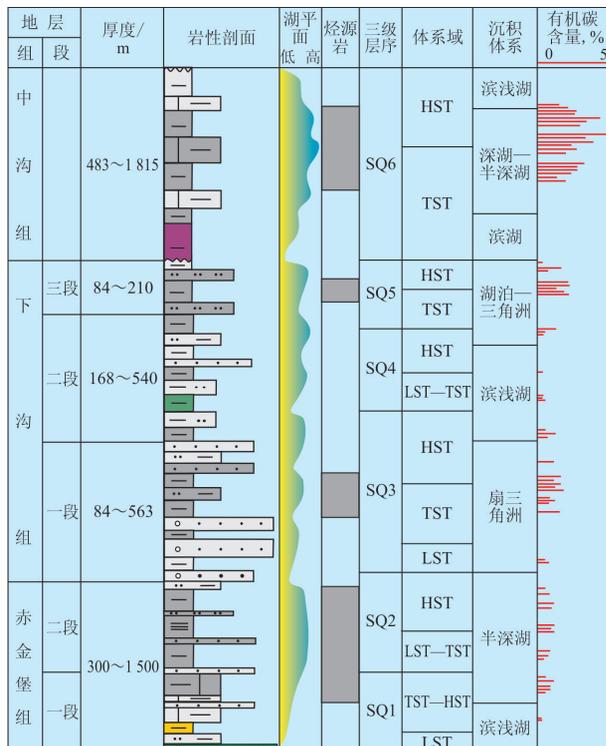


图2 营尔凹陷下白垩统层序地层划分

于北部次凹,岩性以暗色泥岩和灰质泥岩为主,有机质丰度高,但由于演化程度较低,未形成大规模油气聚集。

构造和气候是影响陆相层序的主要因素<sup>[9]</sup>,不同的构造演化阶段、不同体系域有着不同的沉积充填特征,影响着陆源沉积物的进入及有机质的富集和保存。烃源岩主要分布在湖侵体系域和高位体系域的下部,这个阶段水体加深,介质还原性强,利于有机质类型好、丰度高的泥岩的形成与保存<sup>[10]</sup>。如营参1井SQ6层序钻遇厚度为1 500 m的暗色深湖相泥岩,其中湖侵体系域发育厚度为430 m的黑色泥页岩,有机碳含量(TOC)平均值为2.57%,干酪根类型以I和II<sub>1</sub>型为主;长2-2井SQ5层序最大湖侵期发育厚度为20 m的深色泥岩,TOC平均值为2.09%,干酪根类型以II<sub>1</sub>和II<sub>2</sub>型为主;长4井位于深注带,SQ3层序湖侵和高位体系域下部发育厚度约为300 m的暗色泥岩段,TOC平均值为1.24%。钻遇SQ2层序的井较少,仅在长沙岭构造高部位的酒参1井和营参1井有所揭露,高位和湖侵体系域泥岩段的TOC平均值为0.5%~1%,推测该套地层在洼陷内有机质更为富集。

### 2.2 烃源岩的地震反射特征

利用地震反射特征确定有利生烃相带是行之有效的办法<sup>[11]</sup>。在地震相和沉积相模式指导下,深入分析了研究区有利生烃带的地震反射特征。营尔凹陷湖相沉积的泥岩具有中强振幅、中低频率、中高连续的地震反射特征,平行、亚平行的反射构型(图3),不同层位的烃源岩段地震反射特征有所差异,SQ3—SQ5层序湖相泥岩段具有中强振幅、中高频、中高连续的反射特征,平行、亚平行反射构型;SQ1—SQ2层序湖相泥岩表现为中弱振幅、中低频率、中低连续的反射结构,平行、亚平行和波状反射构型,反映了凹陷断陷初期水体较浅,岩层厚度横向不稳定的特点。然而,地震相分析存在多解性,

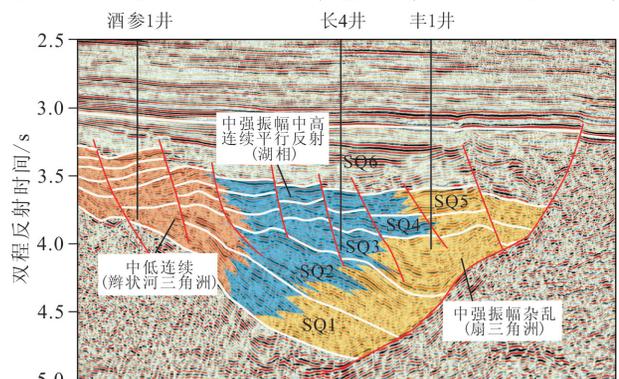


图3 酒参1井—丰1井主测线地震层序地层和地震相解释剖面

不同的沉积单元可能产生相同的地震相特征,并且受资料采集、处理因素的影响,相同沉积单元也可能产生不同的地震相特征,因此,在地震相识别的基础上,在沉积模式的指导下,需结合单井沉积相分析烃源岩的发育特征。

### 3 烃源岩的发育特征和厚度预测

以往对烃源岩的分析通常按岩性地层单元以平均值或分布范围给出评价,难以反映其在地质空间上的展布,而在层序格架中利用地球化学方法揭示不同体系域中烃源岩的分布规律与生烃潜力,结合剖面和平面的体系域分布能更准确描述烃源岩的空间分布特征<sup>[12]</sup>。以此为依据,首先统计已钻井中不同体系域沉积相与暗色泥地比(暗色泥岩厚度与地层厚度的比值)的关系,将有效烃源岩的达标率作为约束条件,预测了营尔凹陷下沟组和赤金堡组有效烃源岩的分布,而中沟组烃源岩形成的沉积环境单一,以深湖一半深湖相为主,主要分布在北部次凹。

#### 3.1 暗色泥岩发育特征

营尔凹陷下白垩统为典型的断陷沉积,水进水退频繁,泥岩颜色变化大,其中,黑色泥页岩、深灰色泥岩生烃潜力大,为主要烃源岩,其次为白云质泥岩、含钙泥岩和灰色泥灰岩,而灰绿色泥岩和紫红色泥岩丰度低,不划归到暗色泥岩范围。

营尔凹陷下白垩统沉积环境主要包括扇三角洲、辫状河三角洲、浊积扇、滨浅湖和深湖一半深湖。研究表明(图4),深湖一半深湖相暗色泥地比最高,高位体系域和湖侵体系域分别为0.84和0.9,是发育暗色泥岩的主要相带;滨浅湖相和前扇三角洲相暗色泥地比范围基本一致,高位体系域和湖侵体系域为0.35~0.5;辫状河三角洲前缘和扇三角洲前缘亚相暗色泥地比变化范围一致,而辫状河

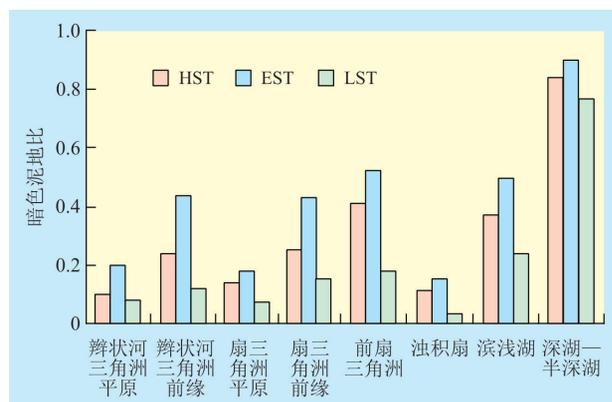


图4 营尔凹陷不同体系域不同沉积相的暗色泥地比

三角洲平原、扇三角洲平原及浊积扇相暗色泥岩不发育,暗色泥地比小于0.2。暗色泥岩主要分布在湖侵体系域,其次为高位体系域,低位体系域暗色泥岩不发育;深湖一半深湖相、前三角洲和滨浅湖相的高位体系域和湖侵体系域的暗色泥地比均大于0.8,相差较小,而扇三角洲前缘位于水陆接触带,水体变化大,湖侵和高位体系域的暗色泥地比发育差异较大。

#### 3.2 烃源岩发育特征

烃源岩是富含有机质、地质历史过程中生成并且排出了油气的岩石,一般具有粒细、色暗和富含有机质的特征<sup>[13]</sup>,暗色泥岩通常具有生油特征,但并非都具有排烃能力。烃源岩生成烃类主要由残留烃和排出烃2部分组成,当生成的烃类满足其自身的吸附溶解、孔隙充填后才具有排烃的能力<sup>[14]</sup>,通常烃源岩的排烃能力主要与岩性结构、厚度、埋深、剩余压力和有机质的赋存方式有关<sup>[15-16]</sup>,营尔凹陷烃源岩的排烃能力主要与TOC有关:小于烃源岩TOC下限的样品排烃量微小,残留烃近似等于生成的烃类,且随TOC的增加而增大;而大于烃源岩TOC下限的样品,残留烃随TOC的增加没有明显的变化,主要反映了烃源岩排烃后对残留烃类的饱和和吸附状态,将此临界点定为烃源岩的标准,同时考虑到有机质成熟度对排烃能力的影响<sup>[17]</sup>,按层位分别确定了烃源岩的TOC下限,下沟组一段、二段和赤金堡组分别为0.8%,0.8%和0.6%。

在暗色泥岩中包含未达烃源岩标准的样品,为准确反映烃源岩的分布,张振英等提出达标率的概念,即泥岩样品中达到烃源岩标准的样品含量<sup>[18]</sup>。为弥补泥岩样品采集的不完备和录井存在的误差,利用测井( $\Delta \log R$ 法)评价了研究区泥岩段的有机碳含量,统计了不同层位不同沉积相暗色泥岩中烃源岩的达标率(表1)。营尔凹陷半深湖和深湖相有机质丰富,烃源岩达标率在75%以上;滨浅湖和浊积扇水体较浅,保存条件稍差,烃源岩达标率为50%~75%;而水动力较强的扇三角洲和辫状河三角洲沉积体系的烃源岩达标率相对较低,一般不超

表1 不同沉积相暗色泥岩的烃源岩达标率 %

地层	沉积相						深湖一半深湖
	辫状河三角洲平原	辫状河三角洲前缘	扇三角洲平原	扇三角洲前缘	浊积扇	滨浅湖	
下沟组三段	51	55	29	44	73	75	87
下沟组一段	47	51	24	36	67	71	76
赤金堡组	48	48	26	41	69	52	81

过60%,与扇三角洲沉积体系相比,辫状河三角洲暗色泥岩段的烃源岩达标率更高。

### 3.3 烃源岩分布特征

利用地震资料进行层序和体系域的划分及地震相和沉积相的对应关系分析,明确暗色泥岩发育相带的空间展布特征,结合不同体系域下不同沉积相带的暗色泥地比,计算了下沟组 and 赤金堡组暗色泥岩的厚度,利用不同沉积相带烃源岩达标率预测重点烃源岩层段的厚度及空间分布。

营尔凹陷陡坡带主要发育扇三角洲、近岸水下扇和深湖相沉积,缓坡带发育辫状河和滨浅湖相沉积,烃源岩发育中心靠近陡坡带,不同时期湖体范围控制着有效烃源岩的分布。SQ1—SQ2早期,湖盆范围小,水体较浅,沉积速率快,地震剖面表现为低连续杂乱反射特征,岩性横向变化快,随着水体

加深,SQ2时期,水体稳定,形成了连续分布的厚层泥岩、白云质泥岩,平面上具有下河清和金佛寺南、北2个沉积中心,北部次凹烃源岩最大厚度约为500 m,南部次凹最大厚度约为450 m,更靠近长沙岭地区(图5a)。SQ3时期为断陷扩张期,湖水萎缩,扇三角洲发育,暗色泥岩主要分布在湖相,北部次凹烃源岩最大厚度为250 m,与SQ1—SQ2相比,向缓坡带迁移,南部次凹烃源岩最大厚度约为200 m,向金佛寺地区迁移(图5b)。SQ5时期湖盆达到鼎盛时期,沉积环境以三角洲为主,物源供给与水体可容空间达到平衡,具有明显的加积特征,地震剖面上具有强振幅高连续的反射特征,发育了研究区重要的湖相烃源岩,北部次凹烃源岩最大厚度约为350 m,南部次凹最大厚度约为300 m,沉积中心迁移到金佛寺地区以南(图5c)。

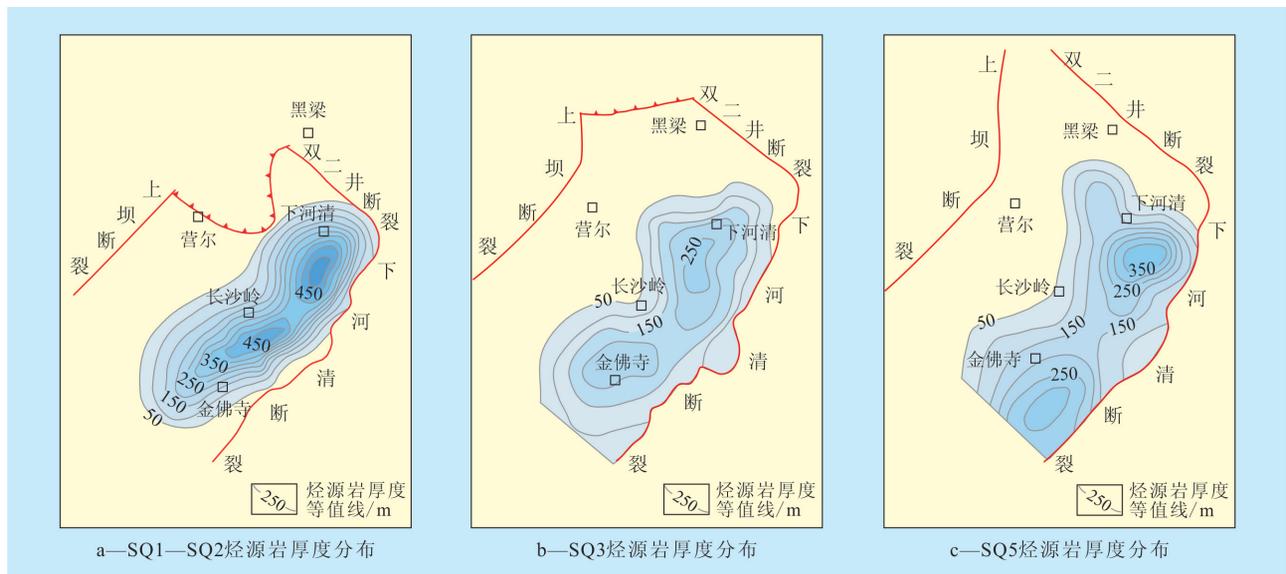


图5 营尔凹陷下白垩统烃源岩分布特征

## 4 结束语

利用地震资料和测井信息,结合钻井地质信息,可对低勘探程度区烃源岩的空间分布进行有效预测。利用单井沉积相约束地震相可识别无井区烃源岩层的发育特征,通过对暗色泥岩热解资料的分析,明确研究区烃源岩的排烃特征,可识别烃源岩的分布范围,再结合测井资料计算烃源岩的达标率,进而预测烃源岩的厚度。研究表明,营尔凹陷烃源岩主要分布在SQ1—SQ2,SQ3和SQ5的湖侵和高位体系域,平面上发育下河清和金佛寺2个沉积中心,下白垩统烃源岩的发育模式与酒西坳陷的青西、石大凹陷具有良好的对比性,对河西走廊盆地群中同类型凹陷烃源岩的预测提供基础依据。

### 参考文献:

- [1] 潘继平.中国油气资源勘探现状与前景展望[J].地质通报,2006,25(9/10):1 055-1 059.
- [2] 刘震,常迈,赵阳,等.低勘探程度盆地烃源岩早期预测方法研究[J].地学前缘,2007,14(4):159-167.
- [3] 李文厚,赵文智.酒泉盆地营尔凹陷的扇三角洲[J].石油与天然气地质,1997,18(4):300-304.
- [4] 潘良云,谢结来,李明杰,等.酒泉盆地白垩纪—新生代区域构造演化与油气勘探[J].石油与天然气地质,2006,27(1):62-69.
- [5] 娄占伟,潘良云,张宏伟,等.甘肃酒泉盆地营尔凹陷层序地层特征与岩性勘探目标[J].现代地质,2005,19(4):563-569.
- [6] 侯秀林,谷丽冰.酒泉盆地营尔凹陷下白垩统层序地层划分及沉积体系特征[J].现代地质,2009,23(5):809-815.

(下转第27页)