

文章编号: 1001-6112(2009)06-0593-05

中国南海 A 盆地深水区 古近系 B 组层序地层格架特征

陈欢庆¹, 朱筱敏², 张亚雄³, 张 晶¹

(1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 2. 中国石油大学(北京) 资源与信息学院 北京 102249;
3. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 北京 100083)

摘要: 运用 Vail 经典的层序地层学理论, 针对中国南海 A 盆地深水区古近系 B 组地层地震资料品质差, 无井资料、断层复杂、高温高压造成地层破碎导致层序界面不明显等困难, 综合浅水区井资料和深水地区地震资料, 采用井震结合相互验证的方法, 识别出 SB0, SB1, SB2, SB3, SB4 等 5 个层序界面, 将 B 组自下而上划分为 S I, S II, S III, S IV 4 个三级层序, 建立了研究区目的层三维等时层序地层格架。结果表明, 各层序界面和层序厚度在盆地和凹陷不同部位特征各异, 形成这种特征的地质要素主要是差异沉降作用、局部隆升剥蚀作用以及盆地断陷作用等。发育在层序界面附近的低位体系域的斜坡扇、盆底扇和高位体系域的扇三角洲等是隐蔽油气藏的发育区和油气勘探的有利区。

关键词: 层序格架; 层序地层; 地震层序; 古近系; 深水区; 中国南海
中图分类号: TE121.34 **文献标识码:** A

CHARACTERISTIC OF SEQUENCE STRATIGRAPHIC TRELLIS OF B FORMATION OF PALEOGENE IN DEEPWATER AREA IN THE A BASIN OF SOUTH CHINA SEA

Chen Huanqing¹, Zhu Xiaomin², Zhang Yaxiong³, Zhang Jing¹

(1. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China;*
2. *Faculty of Natural Resources & Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;*
3. *Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China*)

Abstract: Guided by classical sequence stratigraphy theory of Vail, and aimed at the difficulties of poor seismic data quality, no well data, complexity of faults, stratum fragmentation and stratigraphic sequence interfaces unsigned that formed by high temperature and high pressure of B Formation, finely carved up the stratum of B Formation of Paleogene in deepwater area. In this process, the well data of shallow water area and the seismic date of deepwater area were used, and five sequence interfaces of SB0, SB1, SB2, SB3 and SB4 were identified. Then the stratum of B Formation of Paleogene were divided into four third-class sequences of S I, S II, S III and S IV, and the three-dimensional isochronous stratigraphic sequence trellis of B Formation in the study area were founded. The study results show that reasons of the space-time distributing characteristic of each sequence were differently depositing, partly ascending and denudation effect and rift faulting. Slope fan and basin floor fan developed in LST and fan deltas developed in HST were stratigraphic traps developed areas and favorable areas of prospecting.

Key words: stratigraphic sequence trellis; sequence stratigraphy; seismic sequence; Paleogene; deepwater area; South China Sea

随着世界各国对能源需求的增加及陆上和海上浅水区油气发现难度的增大, 深水油气勘探不断受到高度重视。目前, 深水油气勘探的热点地区主要集中在西非、巴西、墨西哥湾、挪威、北海、地中海、东南亚等地^[1~4]。近年来, 随着陆上油气勘探的日益困难和能源形势的日益严峻, 我国也大力加强了深水油气勘探。2006 年哈斯基公司在中国南海的荔湾 3-1-1 深水探井有良好的天然气发现,

海、东南亚等地^[1~4]。近年来, 随着陆上油气勘探的日益困难和能源形势的日益严峻, 我国也大力加强了深水油气勘探。2006 年哈斯基公司在中国南海的荔湾 3-1-1 深水探井有良好的天然气发现,

收稿日期: 2008-06-24; 修订日期: 2009-10-09。

作者简介: 陈欢庆(1979-), 男, 博士后, 主要从事层序地层学和油气田勘探开发研究。E-mail: hqchen.1999@yahoo.com.cn。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2006CB202306)资助。

预计 $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上的天然气储量,这一发现揭示了我国南海深水油气勘探的巨大潜力^[5]。国际上不同的地区不同的学者对深水区界限的理解不同,本文所指的“深水区”为 300 m 以下水深的地区。在深水区进行油气勘探,等时层序地层格架的建立是一切工作的基础,因此,层序地层学研究就显得尤为重要。

1 A 盆地深水区地质概况

A 盆地位于南海北部大陆架上,呈北东向延伸,属于陆内裂谷盆地。盆地自上世纪末发现某大气田以来,一直是我国天然气勘探的重要目标区域之一^[6,7]。盆地深水区的形成和发育分为断陷区、拗陷期等多个构造演化阶段。盆地内断裂构造非常发育,目前共发现十多条主干断层,深水区位于盆地南侧 F2 断层以南地区,面积约 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$,水深从 300~1 500 m 不等。区内主要分布有 C, D, E, F, G 等多个凹陷,各凹陷走向为北东—南西向(图 1)。同时研究区内发育 Z 和 Y 凸起。由于断层活动作用,深水区 B 组构造样式有半地堑和地堑 2 种类型,且以后者为主。A 盆地在断陷期分别沉积了 H, I 和 B 组 3 套地层。其中 B 组沉积为盆地主要的储集层之一^[6~8],也是本次研究的目的层,其顶底界分别为 SB4 和 SB0,沉积厚度最大可达 3 400 m。前人对 A 盆地做过大量的研究,但主要集中在浅水区,对深水区研究甚少。作为 A 盆地主要储集层的 B 组,其在深水区的层序地层格架还没有进行过详细的研究和细分,本文旨在三维层序地层等时格架建立的基础上对 A 盆地深水区的各层序在时空展布规律作以总结,为以后该地区

深水区油气勘探提供坚实的地质基础支持。

2 深水区古近系 B 组层序地层精细划分

2.1 深水区层序地层精细划分的思路

本次研究的区域为 A 盆地南侧深水区,无井资料,地震资料均为二维资料,且品质较差。同时,地质条件复杂,断层发育、高温高压的存在导致地层破碎,这些都使得在断层两盘层序界面的准确追踪对比变得更加困难。针对这一现状,研究中首先选用浅水区地层分布较齐全的过品质较好地地震剖面的钻井资料,井震结合进行层序地层的精细划分,然后将划分结果通过资料品质较好的联井基于测线网^[9],引向深水无井区,全区闭合对比,从而实现深水无井区的层序地层精细划分和三维等时层序地层格架的建立^[8]。

2.2 井震结合层序精细划分

在层序划分过程中,如果单纯依据钻井岩性进行分层,将会导致串层的严重错误(除非有精确的古生物资料),而单纯依靠地震资料,也很难实现层位的准确标定。在本次研究中首先对研究区的地质背景进行了解,主要包括盆地构造发育史、沉积演化史等。然后结合浅水区过地震剖面的取心井岩性、电性特征,进行岩电关系分析及沉积旋回划分,将其与地震剖面对比验证,确定单井层序地层界面,再将单井层序划分结果进行井震标定(图 2),相互验证,最后推广至全区。在井资料的选择时,应注意尽可能多地选择可以控制大范围区域的井,且这些井的地层不应该有较严重的缺失现象,以保证井上层序划分结果的准确性。在将层序细分结果引向深水区之前,应首先将井上层序细分的结果通过连井剖面统一。在井上,层序界面主要表现为岩心上的冲刷面、岩性突变等特殊沉积构造和岩性特征及测井曲线上的电性突变等特征。

利用浅水区井资料时,应该充分认识到浅水区和深水区地层沉积的各自特点。浅水区地层多为高部位,剥蚀现象比较普遍,地层缺失现象常见,地层厚度较薄,其中 S1 和 S4 缺失严重。而深水区只是在突起和凹陷边部高部位地层缺失,而且地层总体上厚度较大,只是在局部凹陷部位缺失 S4 或 S1 的低位体系域。同时考虑到断层上下两盘地层厚度的变化,所以在层序对比的过程中厚度因素只能作为参考。而分布面积较大的上超、下超、顶超、削蚀等特殊的地震反射结构则成为对比的主要标志。SB4 界面和 SB0 界面是全区分布稳定的层序界面,可以准确对比,在对比中主要依靠 SB4 和

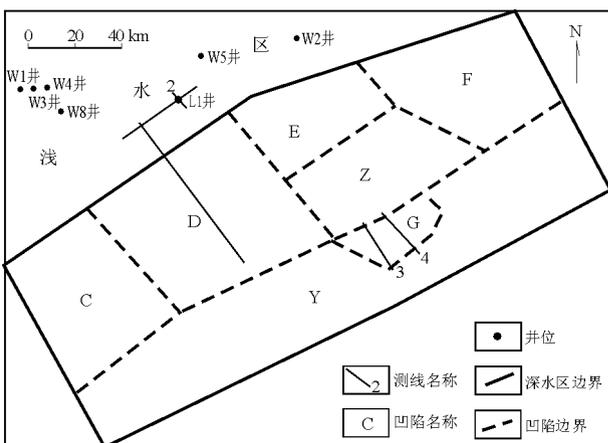


图 1 A 盆地构造区划示意图
据文献[8]改。

Fig. 1 Sketch of structure compartmentalization in deepwater area in the A Basin

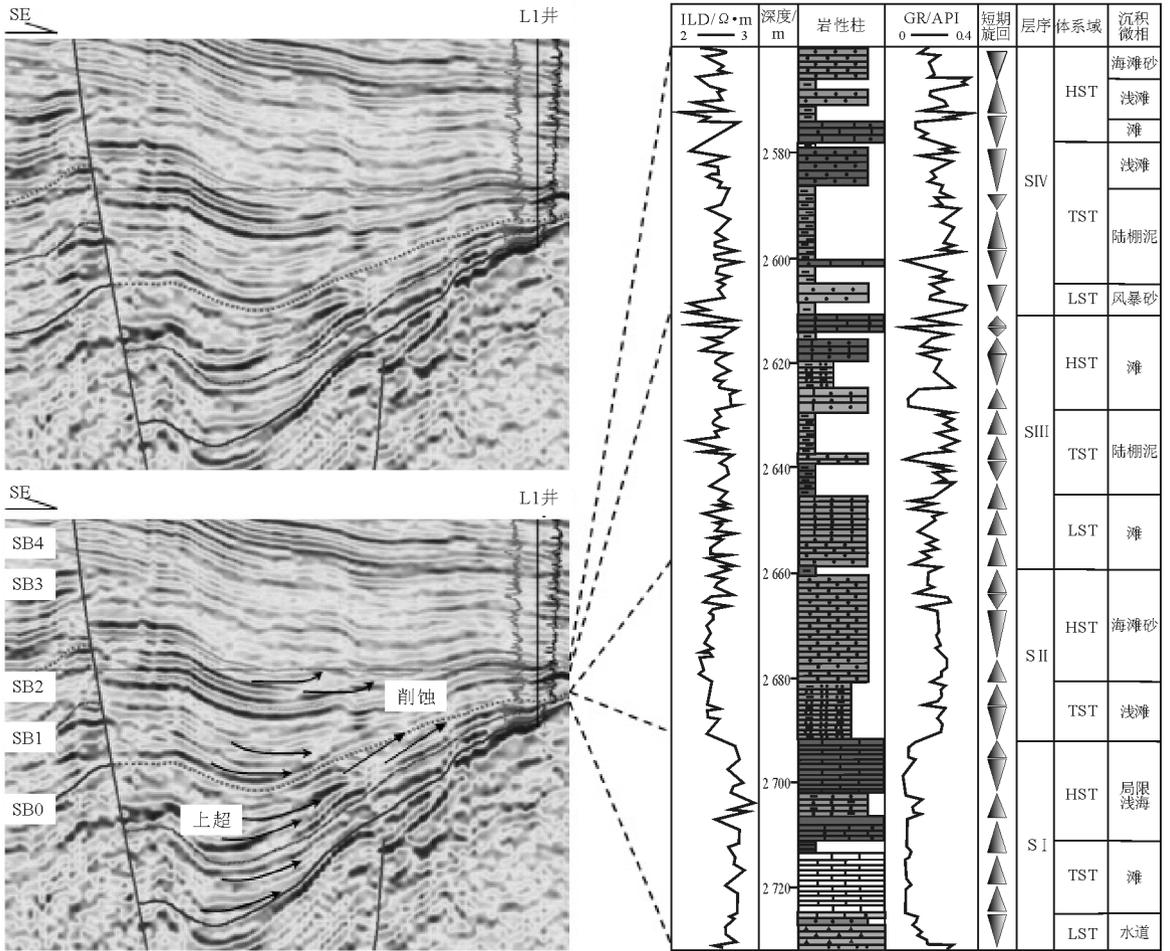


图 2 A 盆地 B 组 L1 井层序地层井震标定剖面位置见图 1 测线 2。

Fig. 2 Sequence stratigraphic demarcate of well data and seismic data of Well L1 of B Formation in the A Basin

SB0 界面准确标定 L 组的顶底界面,然后在 B 组内部依据 SB4、SB3 和 SB2 等界面的特殊地震反射结构进行细分,完成深水区长近系三维等时层序地层格架的建立。

在研究中主要以浅水区岩心详细观察描述的且过品质较好的地震剖面、地震界面清楚、地层较齐全的 L1 井、W1 井和 W2 井为主,W3 井、W4 井和 W5 井等为辅,将这些过地震剖面的井的岩性、电性特征与地震剖面上反射同相轴特征反复对比,确定 SB4、SB3、SB2、SB1、SB0 等层序界面,然后通过资料品质较好的联井基干测线网引到深水区长近系,从而实现全区的层序界面等时闭合对比,建立全区的层序地层格架。在井震结合层序划分过程中使得单井岩电资料与地震资料相互印证,做到了地震层序所属的年代地层单元与测井资料划分的岩性单元的有机统一,最终将 A 盆地深水区长近系 B 组地层自下而上划分为 S I, S II, S III 和 S IV 4 个三级层序(图 2)。

2.3 各层序界面特征

层序是一套相对整齐的、成因上存在联系的、顶底以不整合面或与之相对应的整合面为界的地层单元^[10]。在层序划分的过程中,层序界面的识别是关键^[11~17]。在地震剖面上追踪层序界面时主要根据超覆、尖灭、削蚀等不整合接触关系进行识别(图 3)。4 个层序 5 个层序界面的详细特征见文献^[8]。总体上看,各层序界面在盆地或凹陷的中部主要表现为平行不整合关系,而在靠近盆地或凹陷的边部,主要表现为角度不整合关系。在盆地或凹陷边部及凸起等高部位,受断层活动及地层隆升等因素影响,地层削蚀现象比较明显。深水区长近系 B 组沉积属于盆地断陷期,断层十分发育,形成了许多次一级的注中隆和隆中注,在这些注中隆和隆中注的边部层序界面也多表现为角度不整合和削蚀现象。

2.4 层序精细划分的结果

本次层序划分的结果(图 4),层序 S I 顶底界

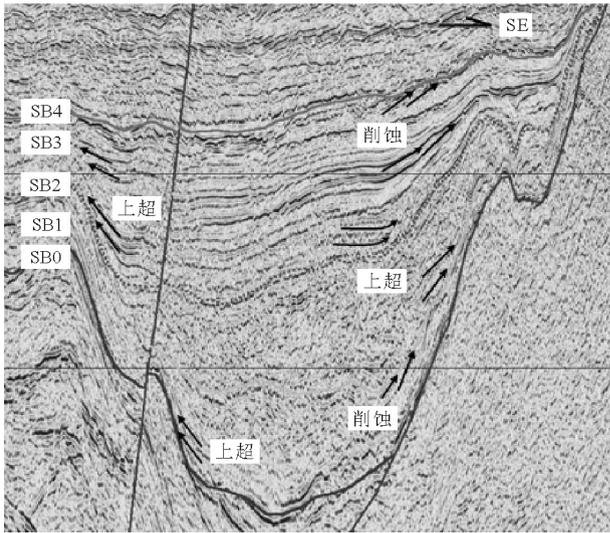


图 3 A 盆地 B 组层序界面地震反射特征
剖面位置见图 1 测线 3。

Fig. 3 Characteristic of sequence boundary
of seismic reflection of B Formation in the A Basin

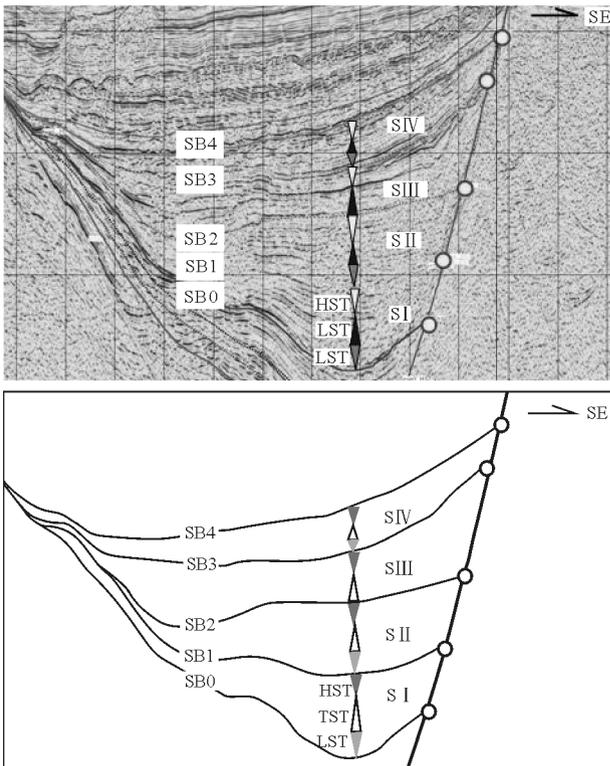


图 4 A 盆地某凹陷 B 组某主测线层序地层格架
据文献[8]改;剖面位置见图 1 测线 4。

Fig. 4 Stratigraphic sequence trellis of some inline survey
of B Formation in one depression in the A Basin

面分别为 SB1 和 SB0,大体对应 B 组三段;层序 SII 顶底界面分别为 SB2 和 SB1,大体对应 B 组二段;层序 SIII 顶底界面分别为 SB3 和 SB2,大体对应 B 组一段下部;层序 SIV 顶底界面分别为 SB4 和 SB3,

大体对应 B 组一段上部。值得一提的是,将研究区 B 组划分为 4 个三级层序,在理论上也是可行的,具体的证据见文献[8]。

3 深水区 B 组层序格架时空展布特征

从各层序地层等厚图上可以看到(图 5),总体上 SI 和 SIV 厚度较小,而 SII 和 SIII 厚度较大,4 个层序的厚度差别较大。SI, SII, SIII, SIV 层序的最大厚度分别为 1 300,1 500,1 000,1 600 m,除 SIII 最厚处位于西南部 D 凹陷外,其余 3 个层序最大厚度处均位于东北部 E 凹陷。由于断层发育且倾角较大,导致地层厚度在局部突变。

从图 5 可以看出,B 组 SI 沉积中心在研究区东北部;SII 以研究区北部凹陷带为主要沉积中心;SIII 沉积中心主要位于研究区西北;SIV 沉积中心以西北部凹陷为主;陵水组的沉积中心主要体现为早期从东北向西南迁移,后期由西南向东北迁移的特征。由此可以推断,在 B 组沉积早期,北东方向的物源供给要强于南西方向的物源供给,而随后北东方向物源供给减弱,南西方向物源供给增强,整体上 B 组表现为水体不断上升的趋势;该阶段对应盆地断陷期,除了沉降作用,断陷作用也在盆地的整体演化过程中达到顶峰。

由于 B 组对应盆地断陷期,断层发育,总体看来,各层序的厚度在盆地或凹陷的中央部位与盆地或凹陷的边部差异较大,在盆地或凹陷中心,地层齐全,厚度较大,在盆地或凹陷边部,地层逐渐尖灭,这主要是差异沉降作用、局部隆升剥蚀作用以及盆地发育过程中或后期断陷等作用影响所致。在凸起或其它构造高部位,由于剥蚀或无沉积作用,地层可能缺失,导致厚度减薄。同时,局部多个凹中隆和隆中洼的存在,更加剧了层序界面及层序厚度在三维空间上的变化。

4 结论

1)在深水区地震剖面 and 浅水区井资料上可以同时识别出 SB4,SB3,SB2,SB1,SB0 等层序界面,可将 B 组自下而上划分为 SI, SII, SIII, SIV 4 个三级层序。其中 SIII 和 SII 地层厚度最大,SIV 和 SI 厚度较小,4 个层序的厚度差异较大。这个特征在靠近 F2 断层的凹陷带表现的最为明显,表明 B 组沉积期有两支分别来自西南和东北部的区域性物源对深水区沉积产生较大的影响。

2)在无井、地震资料品质较差、断层复杂的深水区,结合构造发育史、沉积发育史,单井沉积旋回

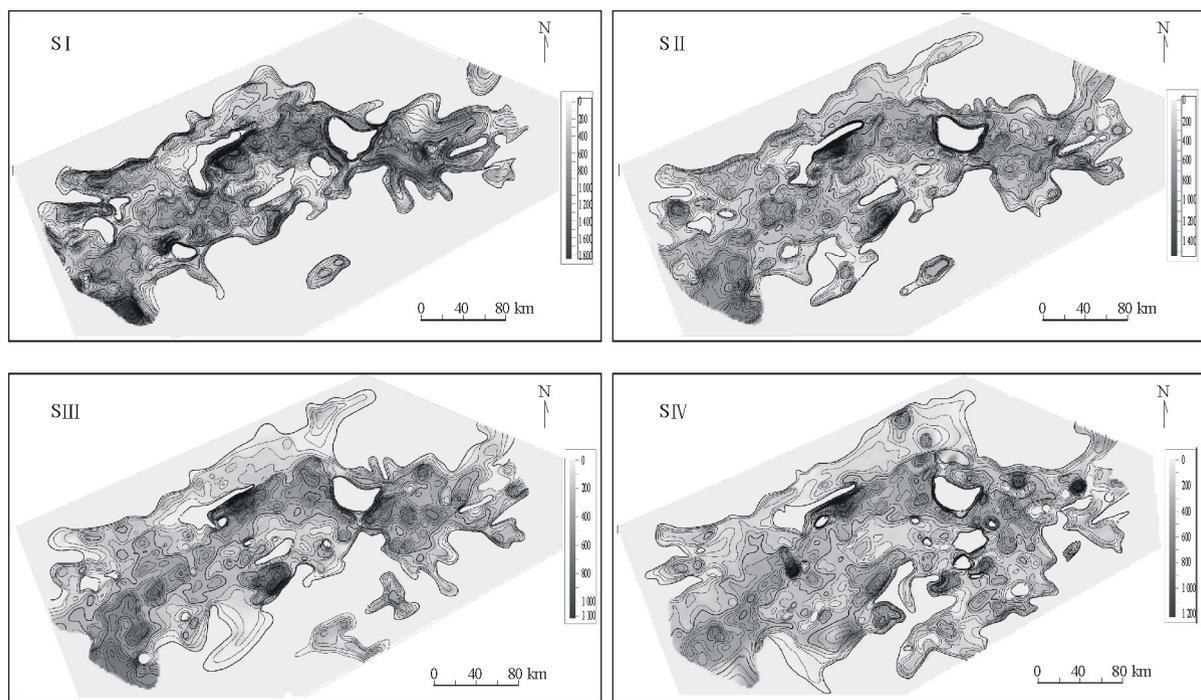


图5 A盆地B组各层序地层等厚图

位置见图1。

Fig. 5 Thickness maps of sequences stratigraphy of the B Formation in the A Basin

特征和大套地层的反射波动力学特征,运用井震标定、相互印证的方法划分层序可以很好解决断层两盘层序界面难以准确对比的问题,建立研究区目的层等时层序地层格架。

3)深水区盆地断陷期层序界面在盆地或凹陷中心多表现为平行不整合或整合关系,在盆地或凹陷的边部多表现为角度不整合接触关系。由于差异压实作用、断陷作用等影响,层序厚度在盆地或凹陷的不同部位变化较大。在各层序低位体系域发育的盆地扇和滑塌浊积扇及高位体系域发育的扇三角洲和斜坡扇等是有利的隐蔽油气藏的发育区域,而海侵体系域的广泛分布的海相泥岩则是有利的烃源岩。有利的砂体与海相泥岩在时空上的有效配置,预示着本区具有巨大的油气勘探潜力。

参考文献:

- Henry S P, Paul W. Deepwater remains immature frontier [J]. *Offshore*, 2002, 62 (10): 48~50
- 张功成,米立军,吴时国等. 深水区——南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J]. *石油学报*, 2007, 28(2): 15~21
- 王春修. 国外深水油气勘探动态及经验[J]. *中国海上油气(地质)*, 2002, 16(2): 141~144
- 陈斯忠,宋建民,陈伟煌. 对海上找气的思考[J]. *中国海上油*

- 气(地质), 2003, 17(3): 153~159
- 戴金星,胡安平,杨春等. 中国天然气勘探及其地质理论的主要新进展[J]. *天然气工业*, 2006, 26(12): 1~5
- 龚再升等. 中国近海大油气田[M]. 北京:石油工业出版社, 1997
- 蔡乾忠. 中国海域油气地质学[M]. 北京:海洋出版社, 2005
- 陈欢庆,朱筱敏,刘长利等. A盆地深水区L组海相地层层序地层特征[J]. *矿物岩石*, 2009, 29(1): 104~120
- 张万选,张厚福,曾洪流等. 陆相地震地层学[M]. 东营:石油大学出版社, 1993
- 朱筱敏. 层序地层学[M]. 东营:石油大学出版社, 2000
- 董艳蕾,朱筱敏,李德江等. 渤海湾盆地辽东湾地区古近系地震相研究[J]. *沉积学报*, 2007, 25(4): 554~563
- 马良,周江羽,王旭丽等. 伊通盆地盆路河断陷始新统地层对比[J]. *石油实验地质*, 2008, 30(3): 260~269
- 孙家振,李兰斌. 地震地质综合解释教程[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2002
- 许杰,何治亮,郭建华等. 塔里木盆地及周缘晚泥盆世沉积演化[J]. *石油实验地质*, 2008, 30(6): 568~574
- Magbagbeola O A, Willis. B J. Sequence stratigraphy and syndepositional deformation of the Agbada Formation, Robertkiri field, Niger Delta, Nigeria [J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(7): 945~958
- 王亚琳,杨贵丽,徐春华. 合肥侏罗纪盆地性质及其与大别造山带沉积响应[J]. *石油实验地质*, 2007, 29(1): 57~62
- 陈新军,徐旭辉,朱建辉等. 松辽盆地十屋断陷层序地层研究[J]. *石油实验地质*, 2007, 29(5): 462~465