

方正断陷方 4 井区宝泉岭组二段沉积相研究

刘 群¹ 郭 巍² 金珍花³

(1. 黑龙江省地球物理勘察院, 黑龙江 哈尔滨 150036; 2. 吉林大学, 吉林 长春 130061;

3. 吉林省地质科学研究所, 吉林 长春 130012)

摘 要 :以依舒地堑方正断陷方 4 井区宝泉岭组二段为研究对象,以钻井、测井和地震资料为基础,综合运用沉积学、地球物理学等理论,开展方正断陷宝泉岭组二段的沉积相模式和沉积相展布特征研究。研究结果表明,方正断陷宝泉岭组二段沉积相类型主要为扇三角洲相、湖泊相、湖底扇相。根据地震相与沉积相之间的相应关系,确定了研究区宝泉岭组二段为横向水系比较发育的扇三角洲-滨浅湖-半深湖沉积体系。

关键词 :方正断陷;宝泉岭组二段;沉积相;地震相;黑龙江省

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2014.06.014

THE SEDIMENTARY FACIES OF THE SECOND MEMBER OF BAOQUANLING FORMATION AROUND FZ4 EXPLORATORY WELL IN THE FANGZHENG FAULTED DEPRESSION

LIU Qun¹, GUO Wei², JIN Zhen-hua³

(1. Heilongjiang Institute of Geophysical Exploration, Harbin 150036, China; 2. Jilin University, Changchun 130061, China;

3. Jilin Institute of Geological Sciences, Changchun 130012, China)

Abstract : Based on the drill hole, logging and seismic data, the styles and distribution of the sedimentary facies of the second member of Baoquanling Formation in Fangzheng faulted depression are studied with sedimentological and geophysical theories. The results show that the sedimentary facies types are mainly fan delta facies, lacustrine facies and sublacustrine fan facies. According to the correlation between sedimentary facies and seismic facies, it is identified that the second member of Baoquanling Formation belongs to the fan delta-shore shallow lake-semi-deep lake sedimentary system with developed horizontal drainage.

Key words : Fangzheng faulted depression; second member of Baoquanling Formation; sedimentary facies; seismic facies; Heilongjiang Province

0 引言

方正断陷为当前大庆外围盆地重点勘探地区,是提交储量最现实的地区。方正断陷经过多轮石油地质攻关研究,勘探取得了初步成果。据前人的研究成果,方正断陷发育三套烃源岩,宝二段是主要烃源岩之一。方正断陷油气藏类型主要为构造油气藏和岩性油气藏,岩性油气藏重力流成因的占较大比重,方 4 井取

心揭示了经典的浊积扇。因此,开展方正断陷沉积相研究对该区开展油气勘探具有重要意义。

本研究综合应用沉积学、测井地球物理学和地震地质学等方法,结合油气田地下地质学理论,利用研究区钻井、测井和地震资料,建立了研究区沉积相模式,开展了单井和联井沉积相特征分析。对研究区地震相类型和地震响应特征进行分析,确定研究区地震相展

收稿日期 2014-06-20;修回日期 2014-12-28。编辑 李兰英。

基金项目:中国地质调查局“松辽盆地深部及外围油气基础地质调查”项目(1212011120973)资助。

作者简介:刘群(1962—),男,高级工程师,现从事地质勘查工作,通信地址 黑龙江省哈尔滨市香坊区湘江路 1 号, E-mail://hrb-liuqun@sohu.com

通信作者:郭巍(1960—),男,博士,教授,主要从事沉积学与石油地质研究, E-mail//guoweijldx@163.com

布特征. 利用沉积相与地震相的转换模型, 确定了研究区宝泉岭组二段的沉积相展布规律.

1 地质概况

方正断陷地理上位于黑龙江省方正县、通河县、延寿县境内, 属于依舒地堑的中北段, 南邻尚志断隆、北接依兰断隆, 总体呈北东 40~50°方向展布^[1]. 该断陷地表被第四系的砂砾、砂质黏土所覆盖, 其厚度为 20~80 m, 断陷面积约 1460 km².

方正断陷基底包括古生代的基底和中生代凹陷型沉积构造基底, 表现为由数条断裂控制的、起伏相当大的复杂断块, 断陷基底的埋深和起伏主要受控制断陷的边界断裂和控制二级构造单元的主干断裂控制^[2].

根据基底的构造形态及盖层的构造变动特征, 整个方正断陷由北向南可分为北部斜坡、北部凹陷、中部凸起、南部凹陷和南部斜坡 5 个二级构造单元和 11 个三级构造^[3](图 1).

根据构造解释及研究成果, 结合区域构造背景及成盆机制分析, 方正断陷构造演化可划分为断陷初期、强烈断陷期、持续断陷期、断凹转化期、断陷萎缩期和断陷后期 6 个阶段^[4](表 1).

方正断陷沉积盖层自下而上可划分为: 下白垩统穆棱组和东山组, 古近系古新统乌云组、始新统新安村组、达连河组, 渐新统宝泉岭组, 新近系中新统富锦组、上新统道桥台组^[5].

2 沉积相类型和相模式

方正断陷宝泉岭组二段主要沉积类型划分为 3 个相, 7 个亚相, 11 个微相(表 2). 宝泉岭组二段沉积相主要为湖泊相和扇三角洲相, 宝二段下部主要为湖泊相沉积, 湖水由深变浅; 上部主要为扇三角洲相, 由扇

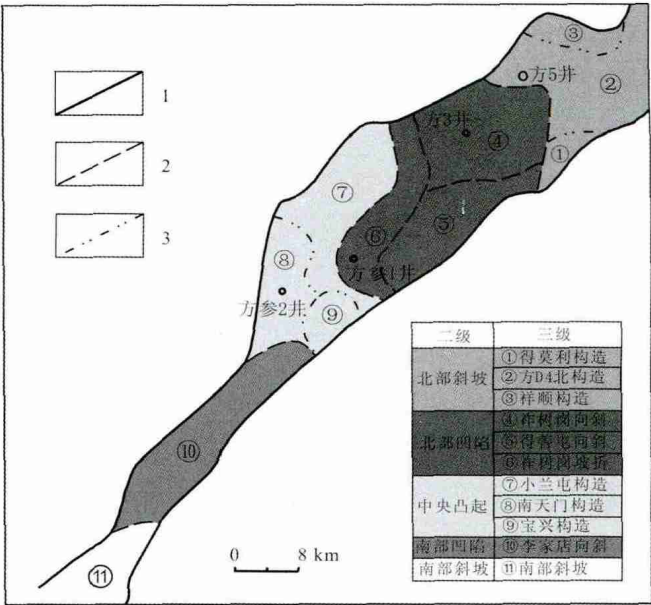


图 1 方正断陷构造单元划分简图
(据何星等 2008 略改)

Fig. 1 Tectonic units of the Fangzheng faulted depression
(Modified from HE Xing et al., 2008)
1—断裂(fault) 2—二级构造单元界线(boundary of second grade tectonic unit) 3—三级构造单元界线(boundary of third grade tectonic unit)

表 2 沉积相分类表
Table 2 Classification of sedimentary facies

相	亚相	微相
扇三角洲	扇三角洲平原	水上分流河道、水上分流河道间、河道间沼泽
	扇三角洲前缘	水下分流河道、水下分流河道间、河口坝、席状砂
湖泊	滨浅湖	湖沼、滨湖、砂质浅湖、泥质浅湖
	半深湖	
湖底扇	内扇、中扇、外扇	

表 1 方正断陷构造期次与演化阶段划分表
Table 1 Tectonic periods and evolutionary phases of the Fangzheng faulted depression

地层	构造期次	地层代码	对应组段	地震反射	构造运动	断陷演化阶	构造运动幕
新近系	地堑发育后期	N	富锦组	~T ₁ ~	整体抬升	断陷消亡	喜马拉雅运动幕
古近系	地堑发育时期	Eb ₂	宝二段	~T ₂ ~	挤压回返	断陷萎缩	
		Eb ₁	宝一段	~T ₃ ~	区域压扭	断凹转化	
		Ed ₂	达二段	~T ₄ ~	局部挤压	持续断陷	
		Ed ₁	达一段		持续拉张	强烈断陷	
		Ex	新安村组				
		Eu	乌云组	~T ₅ ~			

三角洲前缘到扇三角洲平原, 代表一个完整的水退过程.

2.1 扇三角洲相

扇三角洲是由冲积扇(包括旱地扇和湿地扇)作为物源, 在活动的扇体与稳定水体交界地带沉积的沿岸沉积体系^[6]. 水上部分的扇三角洲平原和水下部分的扇三角洲前缘在方正断陷均有分布.

2.1.1 扇三角洲平原亚相

扇三角洲平原亚相可分为水上分流河道、河道间和河道间沼泽 3 个微相(图 2), 主要分布在宝泉岭组二段的上部.

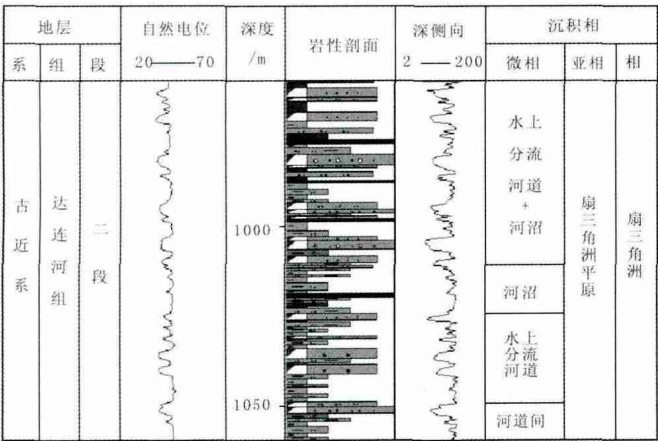


图 2 方参 2 井扇三角洲平原沉积特征

Fig. 2 Sedimentary characteristics of fan delta plain in FC2 drill hole

水上分流河道是扇三角洲中沉积物粒度最粗的部分, 构成了扇三角洲平原亚相沉积的骨架. 岩性主要为杂色、灰白色砂砾岩、含砾中粗粒砂岩、细砂岩和粉砂岩. 发育板状层理、槽状交错层理、楔状交错层理, 具不对称波痕及冲刷-充填构造, 自下向上表现为下粗上细的正粒序, 自然电位曲线显示为箱型, 反映了沉积过程中物源供给丰富, 水动力条件较强且能量快速变化的不稳定沉积环境, 为近源堆积结果^[6-7].

水上分流河道间微相垂向上夹于两期水上分流河道之间, 沉积物主要由灰色、浅灰色、绿灰色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩组成, 含少量植物茎干化石和碳屑. 顶部常受到后期发育的分流河道砂体的侵蚀冲刷, 在此作用下呈突变形态, 共同构成中高幅值的箱形-钟形电位曲线特征^[6-7].

河道间沼泽微相是扇三角洲平原中常见的沉积微相类型, 岩性主要由灰黑色、黑色碳质泥岩、泥岩和煤层组成, 局部夹薄层粉细砂岩. 煤层底部为水上分流河

道细砂岩或河道间灰色、浅灰色泥质粉砂岩或泥岩, 顶部常受到后期发育的水上分流河道砂岩的侵蚀冲刷. 方正断陷中仅少数井中发育河道间沼泽微相^[6-7].

2.1.2 扇三角洲前缘亚相

扇三角洲前缘亚相可分为水下分流河道、水下分流河道间、河口坝、席状砂 4 个微相(图 3), 主要分布在宝二段的中部.

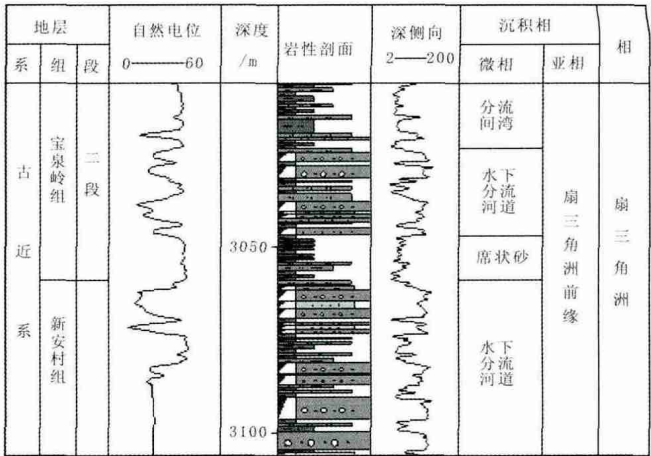


图 3 方 2 井扇三角洲前缘沉积特征

Fig. 3 Sedimentary characteristics of fan delta front in FC2 drill hole

水下分流河道岩性主要为灰色砂砾岩、含砾细砂岩、细砂岩、粉砂岩等, 呈现正韵律和复合韵律结构. 具有块状层理、板状层理及中小型槽状交错层理, 可见明显的冲刷面. 自然电位曲线多为钟型, 反映水动力能量由强到弱的变化^[6-7].

水下分流河道间微相岩性主要由灰色、深灰色泥岩及粉砂质泥岩组成, 发育波纹层理、槽状交错层理、弱变形层理, 含植物化石残片及大量碳屑, 见虫孔、虫迹等不同程度的生物扰动构造, 与水下分流河道可共同组成钟形电性特征^[6-7].

河口坝微相由中厚层的砂岩组成, 岩性以深灰色、灰色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩为主, 在垂向上构成典型的反粒序结构. 常见小型交错层理、波状层理和透镜状层理, 生物扰动明显, 可见虫孔. 自然电位曲线反映了粒度反韵律特征, 呈漏斗形、顶底渐变的箱形^[6-7].

席状砂微相是由湖浪和湖流对早期的河口坝和远砂坝进行再改造形成. 岩性主要以灰色、灰白色粉砂岩、细砂岩互层为特征. 自然电位曲线呈薄层指状^[6-7].

2.2 湖泊相

湖泊相在宝泉岭二段非常发育. 湖泊相包括滨浅湖、半深湖 2 个亚相(图 4、5). 滨浅湖相可分为湖沼、

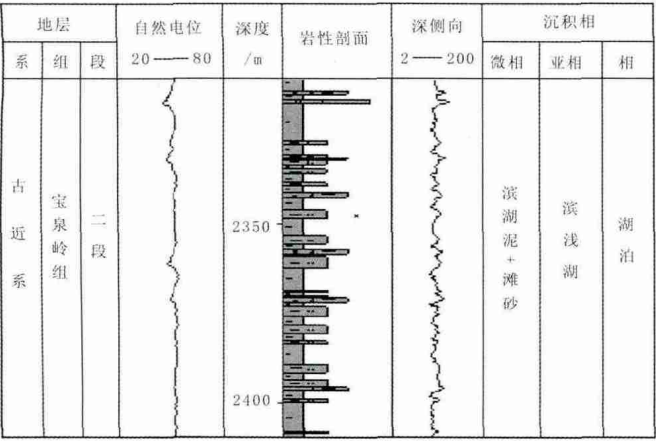


图 4 方 4 井滨浅湖相沉积特征图

Fig. 4 Sedimentary characteristics of shore and shallow lake facies in FC4 drill hole

滨湖、砂质浅湖和泥质浅湖 4 个微相。宝二段主要发育砂质浅湖和泥质浅湖,位于宝二段的中下部。半深湖主要出现在宝二段的底部。

2.2.1 滨浅湖亚相

滨浅湖亚相可分为湖沼、滨湖、砂质浅湖和泥质浅湖 4 个微相。湖沼微相主要由灰黑色碳质泥岩和煤层组成。滨湖和砂质浅湖一般由灰白色细砂岩、灰色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩组成,电性曲线一般为低幅齿化。泥质浅湖由灰色粉砂质泥岩、泥岩组成,发育块

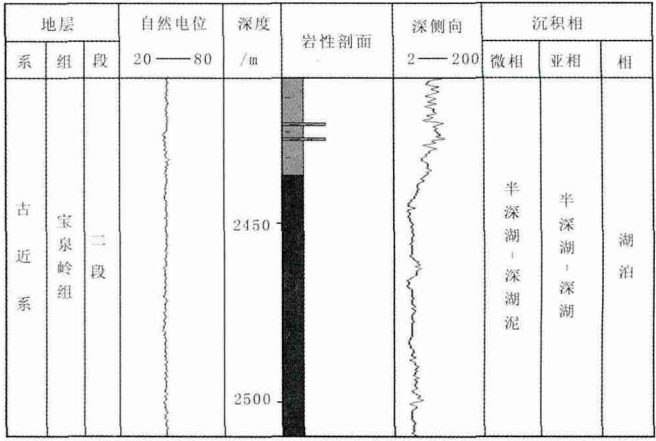


图 5 方 4 井半深湖相沉积特征

Fig. 5 Sedimentary characteristics of semi-deep lake facies in FC4 drill hole

状和水平层理及季节性韵律层理,常见生物扰动构造^[6]。

2.2.2 半深湖亚相

半深湖亚相岩性主要以深灰色、灰黑色、黑色泥岩为主,常见油页岩夹层,发育水平层理和波状层理,半深湖亚相在电性上表现为低幅、平滑的特征。

选取方 9、方 3 和方 4 井完成连井剖面,开展连井相分析。三口井间距不大,故宝二段的沉积特征基本一致。自下向上依次为半深湖相、浅湖相、扇三角洲前缘亚相、平原亚相(图 6)。

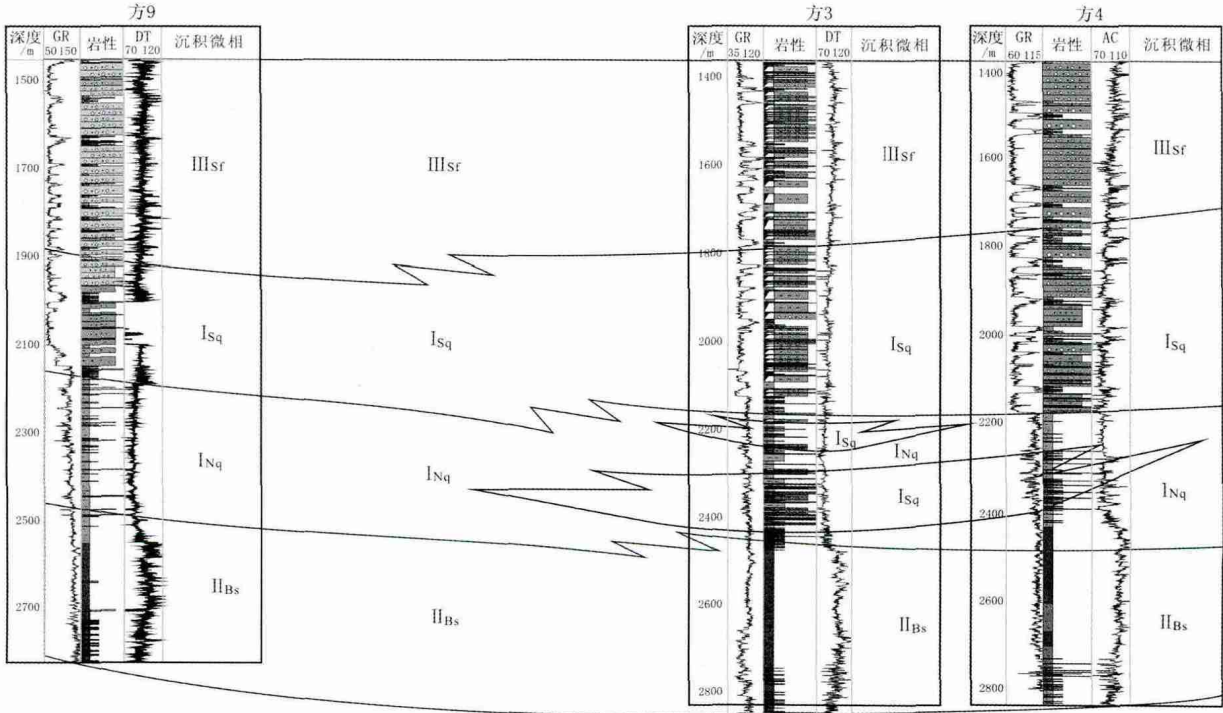


图 6 方 9-方 3-方 4 井连井剖面图

Fig. 6 Profile along FC9-FC3-FC4 drill holes

I_{sq} —砂质浅湖微相(sandy shallow lake microfacies) I_{nq} —泥质浅湖微相(argillaceous shallow lake microfacies) II_{Bs} —半深湖微相(semi-deep lake microfacies) III_{Sr} —扇三角洲水下分流河道微相(fan delta underwater distributary channel microfacies)

钻井揭示半深湖出现在宝二段的底部,岩性主要为黑色泥岩和黑灰色泥岩,浅湖相沉积岩性主要为灰黑色泥岩、灰色泥岩、灰色粉砂岩等,但方3井和方4井浅湖相中发育有扇三角洲前缘亚相,可能是在浅湖沉积过程中水流速度迅速降低,然后缓慢升高,多次重复此过程,在整体上显示为水流速度降低的水退现象。浅湖和扇三角洲交替出现,反映水退和水进交替发生,代表了变化较剧烈的高能环境。

3 研究区地震相研究

3.1 地震相类型

方正断陷宝泉岭组二段常见的地震相类型为强振幅连续亚平行反射地震相、中强振幅较连续亚平行反射地震相、中振幅较连续发散反射地震相、中振幅断续杂乱反射地震相、中振幅断续亚平行反射地震相、中弱振幅较连续亚平行反射地震相等。

强振幅连续亚平行地震相波阻抗差高,振幅较稳定,上下岩性之间连续性较好,反射同相轴光滑平直、连续性好且横向延伸较长,反射层为微波状亚平行结构,分布在滨浅湖或盆地中心,反映泥岩夹有砂层的反射,代表低能环境下匀速沉积^[8](图7)。

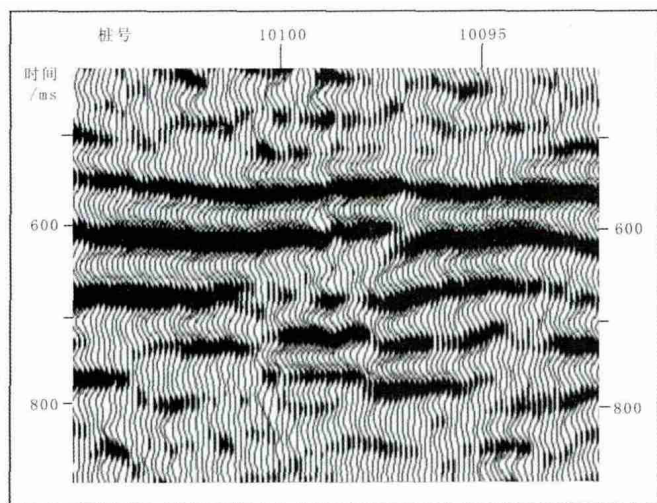


图7 方正断陷89-554线强振幅连续亚平行反射结构

Fig. 7 High-amplitude continuous parallel reflection structure

中强振幅较连续亚平行地震相波阻抗差中等,振幅较稳定,地层之间岩性较连续,反射同相轴连续性较好且横向延伸较长,反射层之间为微波状亚平行结构,代表匀速沉积作用,分布于湖泊或盆地中心,反映砂夹薄泥地层反射,为低能较稳定环境^[8](图8)。

中振幅较连续发散地震相波阻抗差中等,振幅较稳定,地层较连续,反射同相轴连续性较好,但呈现发

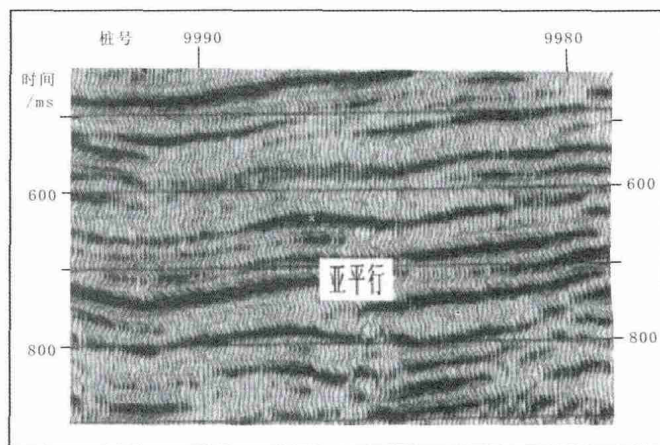


图8 方正断陷89-554线中强振幅较连续亚平行反射结构

Fig. 8 Medium high-amplitude continuous and parallel reflection structure

散状分布,表明地层是倾斜的且向发散端地层厚度增大,反映砂夹薄泥的沉积结构,与扇三角洲前缘相对应,常发育在低能环境盆地边缘^[8](图9)。

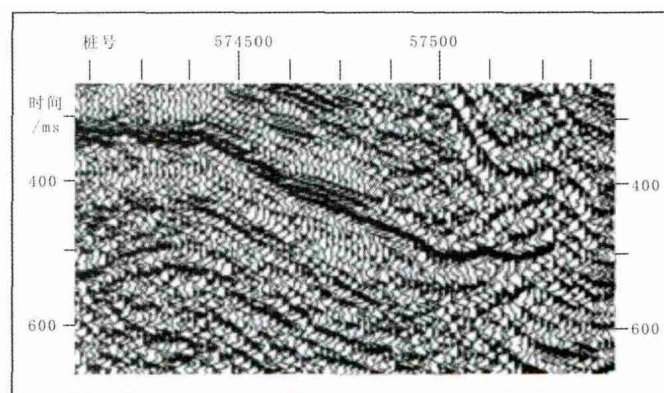


图9 方正断陷93-1003线中振幅较连续发散反射结构

Fig. 9 Medium amplitude continuous spread reflection structure

中振幅断续杂乱地震相波阻抗差中等,反射同相轴连续性很差,呈杂乱交叉合并状,地层横向变化明显,对应于滑塌作用下的湖底扇相或扇三角洲沉积,反映沉积环境变化剧烈或地层受到强烈变形,分布于盆地边缘或断层附近^[8](图10)。

中弱振幅较连续亚平行反射地震相波阻抗差低,振幅较稳定,地层之间岩性较连续,反射同相轴较连续,呈现波状亚平行结构,可能是地层受到挤压弯曲变形造成的,多出现在湖泊或盆地中心,反映低能环境下的稳定沉积^[8](图11)。

3.2 地震相与沉积相转相模型建立

通过对宝泉岭组二段地震相与单井相进行综合对

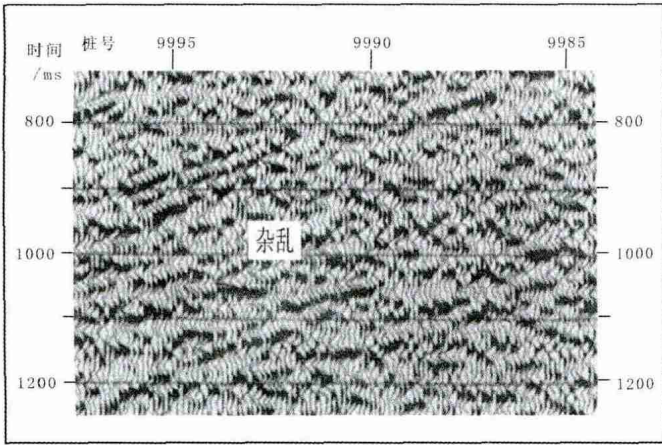


图 10 方正断陷 93-570 线中振幅断续杂乱反射结构
Fig. 10 Medium amplitude discontinuous clutter reflection structure

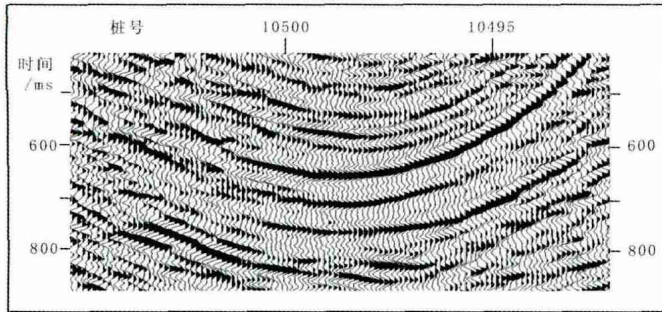


图 11 方正断陷 93-570 线中弱振幅较连续亚平行反射结构
Fig. 11 Medium low amplitude in continuous and parallel reflection structure

比,结合地层厚度、砂体累厚、泥岩厚度及砂地比分布特征,建立了研究区地震相与沉积相的转相模型(表3)。

表 3 地震相与沉积相对应关系表
Table 3 Correlations between seismic facies and sedimentary facies

沉积相类型		地震相类型	
相	亚相	主要地震相类型	次要地震相类型
湖泊	滨浅湖亚相	中振幅较连续亚平行、中振幅断续亚平行	中振幅断续波状
	半深湖亚相	中强振幅较连续亚平行	中振幅较连续-断续波状
扇三角洲	扇三角洲平原亚相	中振幅断续杂乱	中振幅较连续亚平行、中振幅断续亚平行、中强振幅断续波状
	扇三角洲前缘亚相	中振幅断续杂乱	中振幅较连续-断续波状、中振幅较连续波状
湖底扇	湖底扇相	中振幅断续杂乱、中振幅断续波状透镜形或丘形	强振幅较连续波状、强振幅较连续波状

4 宝泉岭组二段沉积环境恢复

在利用地震资料完成研究区宝二段地震相图的基础上,根据已建立的地震相与沉积相转相模型,对方正断陷宝泉岭组二段沉积环境进行了分析恢复(图 12)。

方正断陷周缘地带,单井相型为扇三角洲平原和扇三角洲前缘亚相,地震相型主要为中振幅断续杂乱反射地震相和中振幅断续亚平行反射地震相。根据地震相和沉积相转相模型,该地震相区应为扇三角洲沉积。在断陷中央地带及底部地震相为中强振幅较连续亚平行反射地震相、中振幅较连续-断续波状反射地震相,该地震相区的沉积应为半深湖沉积。断陷中下部靠近东部断裂区域以及方 D4 井区,地震相类型为中振幅较连续亚平行反射地震相和中振幅断续亚平行反射地震相,该地震相区为滨浅湖沉积。在方 D1 井区的西南部和断陷下部出现中振幅断续杂乱反射地震相和中振幅断续波状反射丘形地震相,该地震相区为湖底扇沉积。

综合上述特征分析,宝二段沉积时期,方正断陷周缘主要发育了一系列规模不等的扇三角洲沉积,局部地带形成了小规模湖底扇沉积,盆地中间地带为半深湖沉积,半深湖沉积的边缘发育滨浅湖沉积,总体构成了横向水系比较发育的扇三角洲-滨浅湖-半深湖沉积体系。

5 结论

1)方正断陷宝泉岭组二段主要发育 3 种沉积相类型,分别为扇三角洲相、湖泊相、湖底扇相,可进一步划分为扇三角洲平原、扇三角洲前缘、滨浅湖、半深湖、内扇、中扇和外扇 7 个亚相。

2)根据宝泉岭组二段地震相类型及特征,研究区可划分出 4 个地震相区,分别为中振幅断续杂乱反射地震相区、中强振幅较连续亚平行地震相区、中振幅断续亚平行地震相区、中振幅断续波状丘形反射地震相区。

3)地震相与沉积相之间对应关系密切,中振幅较连续亚平行和中振幅断续亚平行与滨浅湖相对应,中强振幅较连续亚平行与半深湖相对应,中振幅断续杂乱与扇三角洲相对应,中振幅断续杂乱和中振幅断续波状透镜形或丘形与湖底扇对应。

4)方正断陷宝泉岭组二段沉积时期,总体构成了横向水系比较发育的扇三角洲-滨浅湖-半深湖沉积体系。

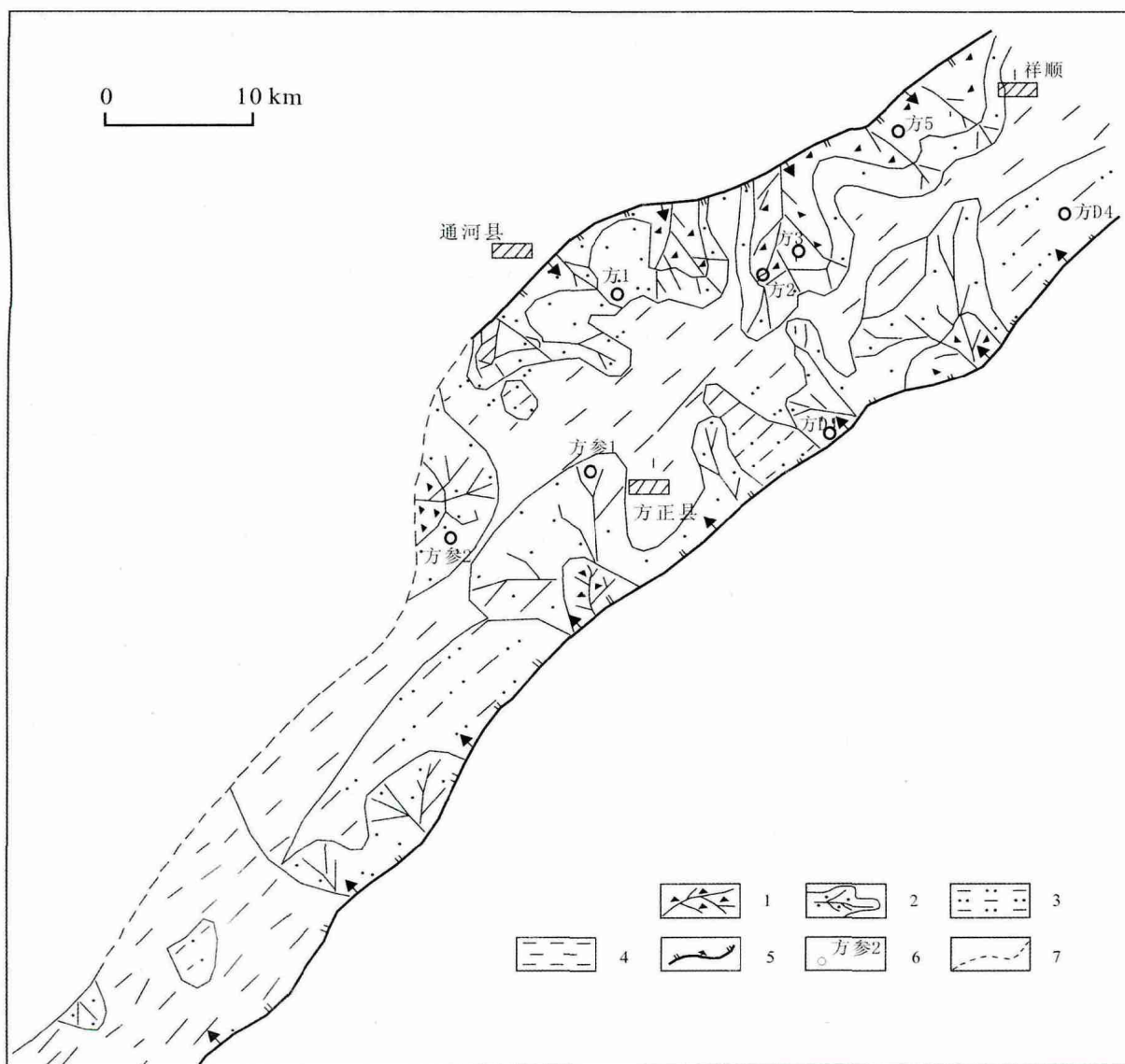


图 12 依舒地堑方正断陷宝二段沉积相平面分布图

Fig. 12 Sedimentary facies map of the Baoquanling Formation in Fangzheng faulted depression of Yishu graben

1—扇三角洲平原(fan delta plain) 2—扇三角洲前缘(fan delta front) 3—滨浅湖(shore-shallow lake) 4—半深湖(semi-deep lake) 5—断裂边界
(boundary of fault) 6—井位及井名(drill hole and code) 7—资料边界(boundary of data)

参考文献:

- [1] 曹成润, 王子文. 佳-伊地堑方正断陷的断裂控盆效应[J]. 大庆石油学院学报, 1996, 20(3): 1—4.
- [2] 何星, 杨建国, 李映雁. 依-舒地堑方正断陷古近系构造演化与沉积相带展布特征[J]. 中国地质, 2008(5): 902—910.
- [3] 刘绍平. 巴彦浩特盆地的构造类型[J]. 西南石油学院学报, 2003, 24(3): 24—27.
- [4] 马新博. 方正断陷三维区宝一段沉积特征研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2012.
- [5] 王大庆. 方正断陷白垩系—古近系层序地层学研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2009.
- [6] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
- [7] 黄智辉. 地球物理测井资料在分析沉积环境中的应用[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [8] 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.