

doi: 10.12029/gc20190512

康晓倩, 冯暄, 侯贺晟, 孙成城, 刘乾, 俞海龙. 2019. 松辽盆地北部石炭—二叠纪地层厚度: 来自深反射地震的证据[J]. 中国地质, 46(5): 1116–1125.

Kang Xiaolian, Feng Xuan, Hou Hesheng, Sun Chengcheng, Liu Qian, Yu Hailong. 2019. Carboniferous–Permian stratigraphic thickness in northern Songliao Basin: Evidence from deep reflection seismic data[J]. *Geology in China*, 46(5): 1116–1125-(in Chinese with English abstract).

松辽盆地北部石炭—二叠纪地层厚度： 来自深反射地震的证据

康晓倩¹, 冯暄¹, 侯贺晟^{2,3}, 孙成城¹, 刘乾¹, 俞海龙¹

(1. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026; 2. 中国地质科学院, 北京 100037;
3. 中国地质调查局—中国地质科学院地球深部探测中心, 北京 100037)

摘要:在松 I~松 VI 6 条深反射地震剖面上依据震相特征并结合地质演化过程分析识别石炭—二叠系, 分析其层位反射特征及同相轴特征, 建立松辽盆地北部地区石炭—二叠系地震震相特征识别标志。主要震相特征为中—强反射能量, 局部存在高值, 整体同相轴连续—较连续, 由南到北、由西向东规律变化。利用已有的钻遇石炭—二叠系的探井资料和地震波传播速度, 得到研究区时间—深度转换关系。由研究区石炭—二叠系相位追踪对比后的反射时间分布, 计算石炭—二叠纪地层顶界面与底界面在深反射地震时间剖面上的走时之差, 通过时深转换得出研究区基底石炭—二叠纪地层厚度和分布。全区地层分布不很均匀, 主要在中央隆起带以东地区及西部断陷区出现 2 个厚度高值区; 地层整体由浅到深大致可分为上、中、下 3 层, 且地震震相特征互不相同。松辽盆地北部石炭—二叠系分布对东北地区主力油层之下的深层油气勘探提供了有价值的依据。

关键词:松辽盆地北部; 石炭—二叠系; 地层厚度; 深反射地震; 震相特征; 深层油气; 深地勘查工程
中图分类号: P534.45~46; P631.4'4 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2019)05-1116-10

Carboniferous–Permian stratigraphic thickness in northern Songliao Basin: Evidence from deep reflection seismic data

KANG Xiaolian¹, FENG Xuan¹, HOU Hesheng^{2,3}, SUN Chengcheng¹, LIU Qian¹, YU Hailong¹

(1. College of Earth Exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. SinoProbe Center, Chinese Academy of Geological Sciences and China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: Based on the characteristics of the seismic phase on the section including the horizon reflection characteristics and the in-phase axis characteristics and combined with the geological evolution process analysis, the authors established the seismic identification characteristics of the Carboniferous–Permian strata in the northern Songliao Basin. The Carboniferous–Permian strata were identified on six deep reflection seismic profiles of Song I–Song VI based on seismic phase characteristics. The main phase

收稿日期: 2019-03-15; 改回日期: 2019-08-29

基金项目: 中国地质调查局项目“松辽盆地深部油气基础地质调查”(DD20160207)资助。

作者简介: 康晓倩, 女, 1994 年生, 硕士生, 主要从事深反射地震剖面解释研究; E-mail: kangxq17@163.com。

通讯作者: 冯暄, 男, 1973 年生, 教授, 主要从事地震数据处理研究; E-mail: fengxuan@jlu.edu.cn。

characteristics are medium–strong reflection energy, existence of local high values and the continuous overall in–phase axis changing from south to north and from west to east. The time–depth conversion relationship of the study area was obtained by collecting the exploration data of the existing Carboniferous–Permian strata and the seismic wave propagation velocity. Based on the reflection time distribution of the Carboniferous–Permian phase tracing correlation in the study area, the authors calculated the travel time difference between the top and bottom interfaces of the Carboniferous–Permian strata on the deep reflection seismic time profile, and gave the thickness and distribution of the Carboniferous–Permian strata in the study area by time–depth conversion. The distribution of the whole area is not extremely uniform. There are mainly two areas with high thickness, namely, the eastern part of the central uplift zone and the western part of the fault depression zone. The whole strata can be divided into upper, middle and lower layers from shallow part to deep part, and the seismic phase characteristics are different from each other. The distribution of Carboniferous–Permian strata in the northern Songliao Basin provides a valuable basis for deep oil and gas exploration under the main oil layers in Northeast China.

Key words: northern Songliao Basin; Carboniferous–Permian; stratigraphic thickness; deep reflection seismic; seismic phase characteristics; deep oil and gas; deep exploration engineering

About the first author: KANG Xiaoqian, female, born in 1994, master candidate, mainly engages in deep reflection seismic profile interpretation research; E–mail: kangxq17@163.com.

About the Corresponding author: FENG Xuan, male, born in 1973, professor, mainly engages in seismic data processing research; E–mail: fengxuan@jlu.edu.cn.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. DD20160207).

1 引言

松辽盆地是横跨内蒙古自治区、辽宁省、吉林省及黑龙江省四省的我国东北地区中部大型中、新生代陆相含油气盆地,盆地四面环山,夹于亚欧板块与西太平洋板块交接地带,长 750 km,宽 330~370 km,面积约 26 万 m^2 (陈发景等, 1992)。前人对松辽盆地的地质与地球物理研究始于 1955 年,超过 60 年的勘探工作取得巨大成就,其中松辽盆地的形成演化,特别是基底的分布及晚古生代构造演化争议较多。

长期以来松辽盆地基底被认为由白垩系以下地层、石炭—二叠系浅变质岩系加上各个时期侵入岩体所构成,其性质是晚海西期近 EW 向褶皱带。近年来研究发现松辽盆地是于晚古生代时期海相沉积盆地前提下形成的叠合盆地,即晚古生代岩层并非都发生变质,传统意义上认为的晚古生界变质结晶基底存在争议(张兴洲等, 2008)。东北地区的中—新生代盆地典型如松辽盆地等大部分叠加在未变质的晚古生代残余海相沉积地层之上,中部地区的白垩纪盆地于早白垩世时期发育部分断陷沉积构造,到晚白垩世时期继续发育部分坳陷沉积,使得东北地区中—新生代盆地基底是变质结晶基底的想法发生变化,带来新的研究思路(张兴洲等, 2015)。东北地区整体晚古生代地层岩体发育较

好,保存较完整,没有经历过低绿片岩相区域变质作用影响,揭示了该区石炭—二叠系主体地层未经强烈褶皱造山运动或者区域构造变质。东北地区晚古生代地层最终以环带状环绕分布于佳—蒙地块核心位置四周,发育形成了佳—蒙地块大陆边缘沉积主体部分(王成文等, 2008; Wang et al., 2011)。

前人利用近垂直地震反射方法对中国满洲里—绥芬河地学断面域内地壳深部结构以及莫霍面特征进行了研究,其资料处理过程中主要技术包括速度分析等,同时分析莫霍震相可以得到它的层状与似层状内部结构以及起伏、断裂等外形特征,初步处理了松辽盆地区域内总长为 1300 km 左右的近垂直反射地震数据,获得了松辽盆地内部莫霍面的埋深特征等信息(杨宝俊等, 1999, 2003)。随着近几年开展深层天然气的勘探,发现有烃类气存在于松辽盆地基底内石炭—二叠纪地层(赵志魁等, 2011),表明东北地区晚古生界具有巨大的油气资源潜力,应成为深部油气资源勘探的重要目标层系(侯贺晟等, 2018)。

上述可见,以往地质研究一般依靠松辽盆地周边地区露头或者钻井岩性资料来得到石炭—二叠系时期构造演化及地层现存认识,缺少地层地球物理特性的印证,无法直观给出盆地内部石炭—二叠系分布。地球物理工作在盆地内进行的多种方法

勘探大都是以测线方式进行,得到的为局部上古生界特性认识,鲜有对于松辽盆地北部地区石炭—二叠系整体的认识。该区未见利用深反射地震资料去圈定上古生界石炭—二叠系分布的研究。本文利用深反射地震资料建立石炭—二叠系震相特征识别标志来对东北地区主力油层之下的深层油气勘探提供了有价值的参考依据。

本文研究目的是预测研究区整体上部基底内石炭—二叠系的厚度以及分布范围,为东北地区主力油层之下的深层油气勘探提供重要依据。为此,搜集钻遇石炭—二叠系的探井资料,利用地震波传播速度,确定石炭—二叠系在深反射地震剖面上震相特征,结合地质演化过程分析建立松辽盆地北部地区的石炭—二叠系地震震相特征识别标志。在松 I~松 VI 6 条深反射地震剖面上依据震相特征识别石炭—二叠系,经过研究区石炭—二叠系相位追踪对比后,依据松科 II 井测录井及岩心描述资料建立地震剖面时间—深度转换关系,给出研究区基底石炭—二叠系的地层厚度及分布。

2 研究区地质概况

松辽盆地属于东北亚地区,该区经历了从元古宙到古生代期间古亚洲构造域演化,之后受到始于中侏罗世末时期滨太平洋构造域影响继续演化。总体看来,从古亚洲域转到滨太平洋域演化期间东北亚先后受到被动陆缘、斜向俯冲大陆边缘等众多阶段的影响(科瓦连科等,1986;徐嘉伟等,1993)。元古宙中—晚期,东北地区地处西伯利亚板块与中朝板块之间,性质是多岛洋盆。东北地区北部在新元古代末时期经历克拉通化(汪新文等,1997),表现为海域减小、洋盆趋于关闭,同时期中间一些地块进行拼接;晚志留世—早泥盆世期间佳木斯地块与松嫩地块完全拼合。泥盆纪古亚洲洋洋域继续减少至逐渐闭合。泥盆纪至早石炭世,东北亚东南部遭受剥蚀,同时松嫩地块与额尔古纳地块于该时期拼接完成。晚石炭世至三叠纪时期,东北亚开始了陆内环境叠合盆地进程,由最早的拉张逐渐转变为后期早二叠世末至三叠纪的挤压,表现为洋盆及裂陷槽逐渐由西到东关闭及构造隆升。中三叠世末期,华北板块与西伯利亚板块相互碰撞发生拼接且板内距离进一步减小,最终古亚洲洋闭合使得燕山

地区及华北板块北部遭受巨大逆掩推覆作用及褶皱作用,中国东部陆缘带由此形成为一体(章凤奇,2007)。到中侏罗世,西伯利亚板块与佳蒙地块进行了碰撞拼合,由此统一的东北亚大陆宣告形成(张兴洲等,2008)。晚侏罗世—早白垩世时期,古亚洲洋构造演化域结束,东北亚滨太平洋大陆边缘演化越来越强,表明了滨太平洋构造域演化期至此开始(章凤奇,2007)。

松辽盆地及其外围地区发育有多组深大断裂,盆地内部区域构造可划分为上覆盖层与基底两部分。基底为早期大地构造控制形态,上覆盖层构造是基底构造后期逐渐演化的结果。在盖层演化阶段,盆地深部地层主要受 NE 向断裂控制,拗陷期主要受 NW 向断裂控制,据此松辽盆地构造格局可以用南北分区、东西成带来概括。此外,位于松辽盆地中部的近 SN 向孙吴—双辽断裂,是一条重要的控盆断裂,该断裂两侧地球物理场具有明显不同的特征。对于孙吴—双辽断裂的性质,前人有不同的认识。经深反射剖面解释,在安达附近的上部地壳存在一组向西的推覆断裂,它可能是孙吴—双辽断裂的上部表征(杨宝俊等,1999,2003)。

结合基底地质演化及盖层发育的过程,松辽盆地一般分成西南隆起区、东南隆起区、东北隆起区、中央拗陷区、北部倾没区及西部斜坡区 6 个主要的一级构造单元(赵陟君,2015)。

3 研究资料与研究方法

3.1 深反射地震剖面野外采集与处理

研究资料主体为松 I~松 VI 6 条深反射地震剖面,是大庆物探公司于 1996—1999 年间完成的深反射地震探查长剖面,共长约 1300 km,简称“96 探查”。其中,松深 I 线长约 164 km,松深 II 线长约 144 km,松深 III 线长 176 km,松深 IV 线长 245 km,松深 V 线长 256 km,松深 VI 线长 324 km(杨宝俊等,2001)。

“96 探查”野外采集施工参数为:240 道,60 次覆盖,道间距 25 m,记录时间 15 s。

松 I~松 VI 6 条剖面的基本处理流程为:解编—野外静校正—滤波、球面扩散补偿—道集均衡—分选—单道预测反褶积—速度调整、初叠加、剩余静校正—动校正—叠加—叠后去噪—输出(杨宝俊

表1 三口钻井石炭—二叠系以上地层反射波平均速度计算

Table 1 Calculation of average velocity of reflected waves in the three holes of strata above Carboniferous-Permian strata

	钻遇石炭—二叠系 地层深度 h/m	石炭—二叠系顶界面 TWT t_{01}/s	石炭—二叠系底界面 TWT t_{02}/s	石炭—二叠系顶界面以上 平均速度 $V_1/(km/s)$
阳深1井	3942	3.02	3.34	2.61
四深1井	3833	2.5	3.10	3.07
杜101井	1946	1.6	2.34	2.43
平均速度 V	—	—	—	2.70

等,2001)。

本文利用的即是松 I ~松 VI 6 条深反射地震叠加剖面。

3.2 计算石炭—二叠纪地层厚度方法

平均速度经常用来做时深转换以将地震层位与钻井层位对比(何樵登等,2009)。松辽盆地到目前为止有 177 口探井钻遇石炭—二叠系同时取得岩性资料,177 口探井中有 41 口钻遇到了石炭—二叠系浅变质岩(高瑞祺等,1997)。利用已有的钻遇到石炭—二叠系探井数据,大庆探区典型如四深 1 井(3833 m 钻遇石炭—二叠系地层)、杜 101 井(1946 m 钻遇石炭—二叠系地层)阳深 1 井(3942 m 见石炭—二叠系地层)来计算石炭—二叠系沉积层地震波平均传播速度。表 1 中石炭—二叠系顶界面以上地层平均速度 V_1 计算公式为 $V_1=2h/t_{01}$, 平均速度 V 是 V_1 的平均值。

在深反射地震剖面上依据震相特征识别石炭—二叠系顶界面及底界面的走时,其中石炭—二叠系顶界面深度已知,石炭—二叠系底界面目前为止仍然没有钻井打穿,本文利用震相特征来识别底界面。利用上述典型三口钻井计算得到石炭—二叠系沉积层以上地层反射波平均速度为 2.70 km/s,松辽盆地内地壳平均速度为 6.197 km/s 左右(杨宝俊等,2001)。石炭—二叠系沉积层平均反射波速度 V 范围:2.7 km/s $<V<6.197$ km/s。参考松科 II 井声波测井曲线(项目内部资料)及满洲里—绥芬河地学断面速度结构图(杨宝俊等,1996)得到松辽盆地时深转换一维模型(图 1)。

在松 I ~松 VI 6 条深反射地震剖面上依据震相特征识别出石炭—二叠纪地层,确定顶界面及底界面各自对应的走时,利用时深转换模型得到石炭—二叠纪地层厚度。

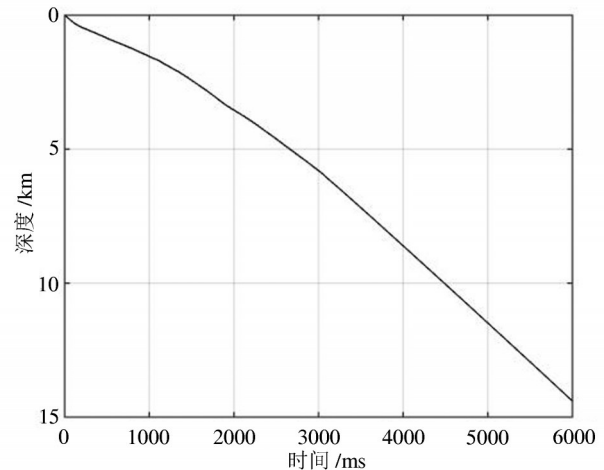


图1 松辽盆地时深转换一维模型

Fig.1 One-dimensional model of time-depth conversion in Songliao Basin

4 石炭—二叠系顶、底界面识别与解释

松辽盆地北部搜集钻遇石炭—二叠系探井资料表明大部分地层缺失侏罗系及三叠系,石炭—二叠系顶部界面是 T_5 不整合面,即白垩系火石岭组底界,石炭—二叠系残余地层与上覆火石岭组地层之间为局部不整合接触关系。 T_5 反射层在深反射地震剖面上反射波组特征明显,较易标定,是强波阻的一条比较连续的强反射界面。截止目前松辽盆地尚无钻井打穿石炭—二叠系,本文底界面是由钻井确定的石炭—二叠系震相识别出来的,具体为利用钻井控制石炭—二叠系顶界面,在井附近地震剖面确定出石炭—二叠系震相特征,并在全部 6 条剖面追踪,利用强相位特征在 6 条深反射地震剖面上识别出石炭—二叠系底界面,震相特征表现为一系列

近水平的中强振幅近连续反射。在深地震反射剖面上识别出的石炭—二叠系底界面与传统地质上认为的底界面是否一致未来需钻穿地层的钻井资料进一步印证。

早石炭世是海相沉积环境,地层相对稳定。早石炭世末整体隆升剥蚀,晚石炭世—早二叠世仍然存在海相沉积,夹有火山岩喷发,晚二叠世之后整体变为陆相沉积环境,形成一套较厚的陆相碎屑沉积,仅有局部残存海陆交互相沉积。区域地质研究

揭示了松辽盆地中—新生界之下仍有部分晚古生代地层未发生区域变质。

为了方便与井资料对比,选取三口典型钻井附近深反射地震剖面处上的石炭—二叠系局部位置剖面,分别是阳深1井、四深1井和杜101井(图2,井的位置为投影参考位置)。

分别选取 250 道,道间距 25 m,CDP 每道长 12.5 m,即每段剖面长 3125 m。

图2中 I 为松深 I CDP 4300~4550 段剖面,石

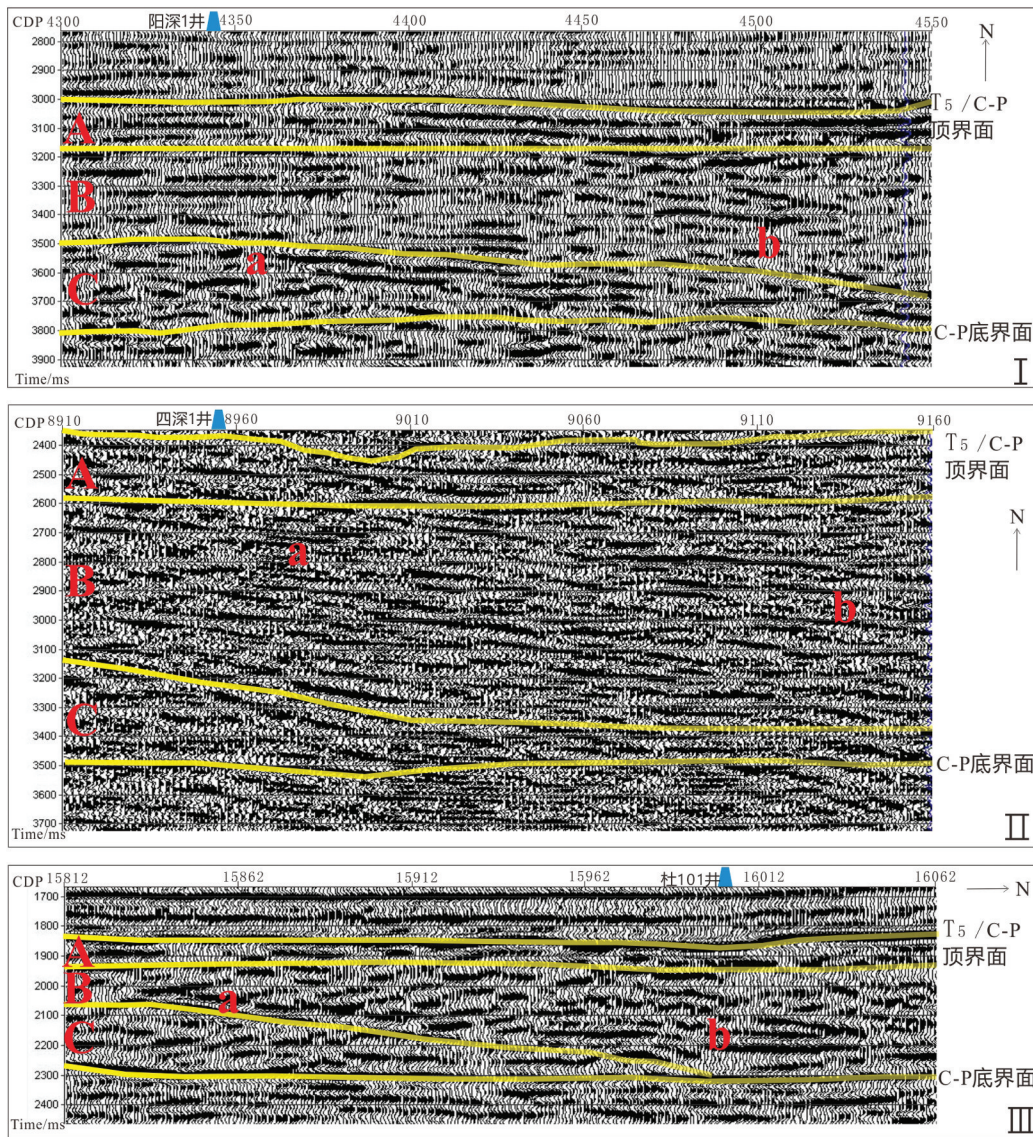


图2 邻井深反射地震剖面段

I—松深 I 阳深 1 井附近剖面; II—松深 II 四深 1 井附近剖面; III—松深 VI 杜 101 井附近剖面

Fig.2 Deep reflection seismic section of adjacent wells

I—Songshen I near the Yangshen—1 well profile; II—Songshen II near the Shenshen—1 well profile;

III—Songshen VI near the Du 101 well profile

炭—二叠系整体水平分布较平稳,地层厚度为2800 m左右,其中3000~3300 m段为比较连续的层状反射地层,层内的反射波组为水平层状,同相轴较连续—连续,中—强反射能量,其中a区震相强,反射能量高,局部同相轴存在交错现象;b区同相轴弱连续,中强反射能量。Ⅱ为松深Ⅱ CDP 8910~9160段剖面,石炭—二叠系整体水平分布由浅到深向东倾斜,地层厚度为3800 m左右,同相轴较连续,反射能量比较强,其中a区视频率高,符合海相地层特征,到b区视频率变低,同相轴逐渐平缓。Ⅲ为松深Ⅵ CDP 15182~16060段剖面,石炭—二叠系顶底形态清楚,整体相位横向变化剧烈,应是当时浅海沉积环境造成,其中a区地层同相轴交错于南侧,b区地层水平连续性较好,整体强相位同相轴由南到北逐渐向东倾斜至平稳。综合来看,石炭—二叠系整体由浅到深可以分为三层,分别用A、B、C来表示,A地层整体厚度稳定,反射波整体表现为近水平层状;B地层从左到右逐渐变厚,同相轴由倾斜到平缓;C地层从左到右逐渐变薄,同相轴趋于平缓。

松辽盆地北部石炭—二叠系地层地震剖面震相特征识别标志如下:(1)连续层状反射地层震相特征:地层内部反射波组为近水平层状,同相轴表现为较连续—连续,中—强反射能量。(2)地层反射特征较弱,钻井为石炭—二叠纪地层震相特征:地层内部反射波组没有明显的反射特征,同相轴弱连续,弱反射。(3)由南到北变化趋势为同相轴连续—较连续—弱连续—断续,局部连续性较好,相位个数先增加后减少,能量强反射—中强反射能量—中反射能量逐渐减弱,局部存在高值。(4)由西向东变化趋势为同相轴较连续—连续—较连续—弱连续,局部连续性比较好,相位个数先增加后减少,能量变化为较强反射—强反射—中强反射能量—弱反射能量,先增加后逐渐减弱,局部存在高值。

依据松辽盆地北部的石炭—二叠系地震震相特征识别标志,在松Ⅰ~松Ⅵ6条深反射地震剖面上进行石炭—二叠系相位追踪对比,得到松Ⅰ~松Ⅵ6条深反射地震剖面解释图(图3)。利用松辽盆地时深转换—维模型,给出研究区基底石炭—二叠纪地层厚度及分布。

松辽盆地的北部地区石炭—二叠纪地层厚度以及分布范围如图4,基于综合地球物理资料揭示,

松辽盆地的北部地区广泛存在石炭—二叠系,地层厚度分布深浅不均,其中有两个厚度高值区,分别是中央隆起带以东区域以及西部断陷区,最厚达6500 m,通常是3000~5000 m。

5 讨论

5.1 地质学解释

库拉—太平洋板块持续向亚洲板块之下俯冲带来上地幔的物质对流,之后经历了地幔不断上涌、隆起,拉张导致上覆岩石圈减薄并因旧破裂面的继承性活动造成断陷,最终形成了中国东部地区大型盆地。其中库拉—太平洋板块是以NWW向向下俯冲,解释了后期中新生代岩浆活动、断裂构造以及盆地构造均以NNE方向展布。种种构造演化结果造成现在我们看到的松辽盆地展布方向为NNE向。

松辽盆地形成构造背景认识如下:

(1)构造动力学背景研究发现松辽盆地经历多次挤压—拉张旋回演化(李忠权等,2005);(2)松辽盆地主体是由3个单型盆地叠合形成的,与古前陆盆地、裂陷以及坳陷盆地一一对应;(3)松辽盆地在裂陷末期、嫩江组沉积末期、明水组沉积末期、古近纪末等时期都遭受过大规模构造演化,这期间嫩江组末期的构造演化起了决定性作用,使得一系列NNE向含油气构造带生成,并在后期受到反转构造作用生成了油气藏圈闭。

生物地层研究结果表明,松辽盆地石炭—二叠系经历了由海相到陆相的演化,层位沉积相特征如表2。

研究表明松辽盆地基底以及周边区域石炭—二叠系广泛分布,上古生界生烃潜力巨大。6条松辽盆地深部地震剖面也揭示了晚古生代地层分布于松辽盆地基底,范围广,地层厚度变化差别比较大。主要有两个厚度高值区,分别是中央隆起带以东地区及西部断陷区,最厚达6500 m,一般为3000~4000 m。不同地区的基底地层年代有差别,松辽盆地北部地区的晚古生代地层大多属于早—中二叠世地层。松辽盆地中部地区的晚古生代地层则是晚石炭—中二叠世地层;大部分区域缺失泥盆纪地层(王满,2010)。

5.2 关于石炭—二叠纪地层地质—地球物理认识

杨光等(2001)通过对这6条15 s深反射地震剖

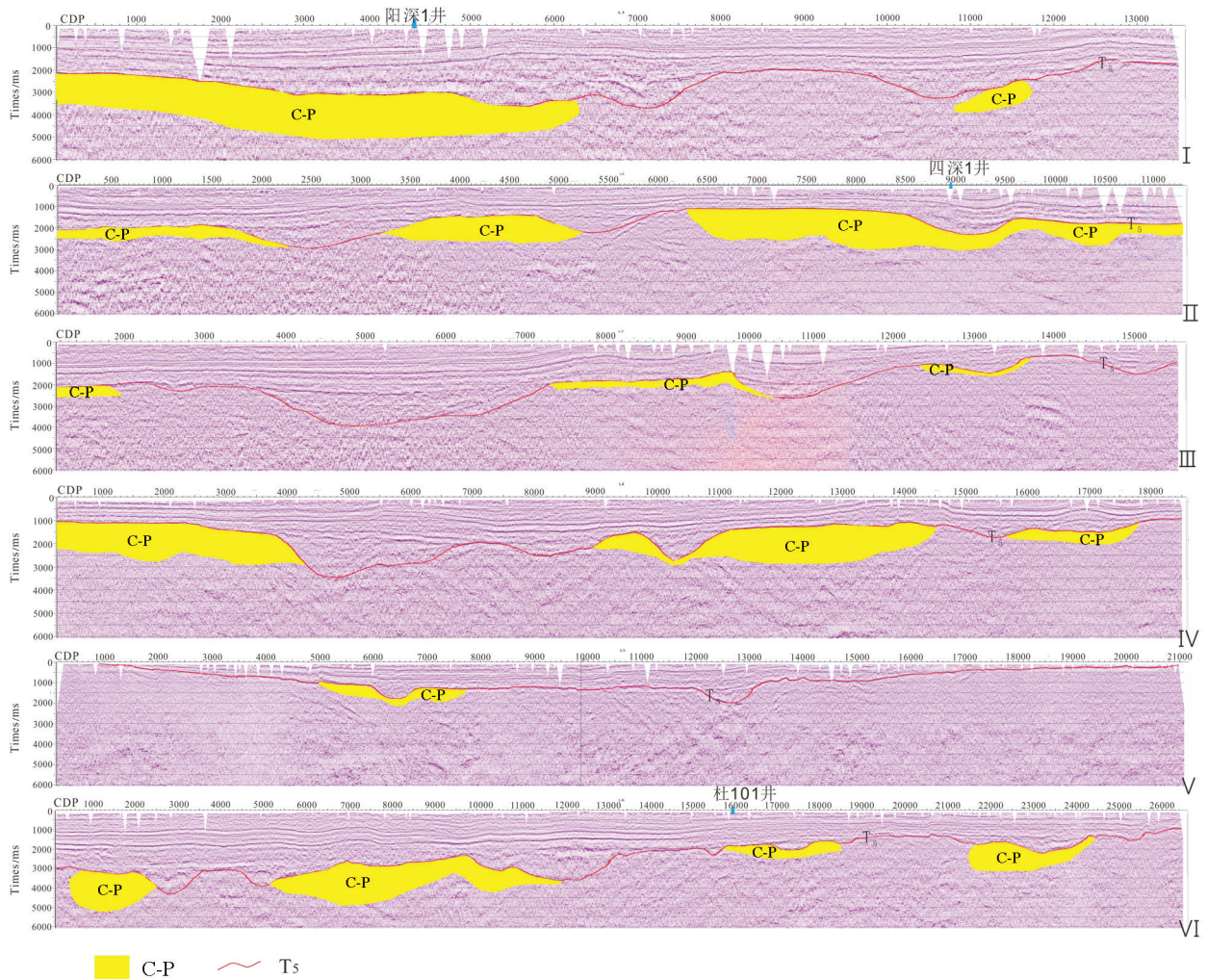


图3 松辽盆地深反射地震剖面石炭—二叠纪地层解释

I—松深 I 剖面解释图; II—松深 II 剖面解释图; III—松深 III 剖面解释图; IV—松深 IV 剖面解释图;
V—松深 V 剖面解释图; VI—松深 VI 剖面解释图

Fig.3 Interpretation of Carboniferous-Permian strata in the deep reflection seismic profile of the Songliao Basin

I—Interpretation of Songshen I profile; II—Interpretation of Songshen II profile; III—Interpretation of Songshen III profile; IV— Interpretation of Songshen IV profile; V— Interpretation of Songshen V profile; VI— Interpretation of Songshen VI profile

表2 松辽盆地石炭—二叠系不同层位沉积相 (据任战利等, 2002)

Table 2 Sedimentary facies of different Carboniferous-Permian strata in the Songliao Basin

层位	源岩岩性组合	沉积相
上二叠统	砂岩、泥岩、灰岩	浅海相、海陆交互相
下二叠统	砂岩、泥岩、灰岩	海陆交互相、浅海相
上石炭统	泥岩、煤及炭质泥岩、火山岩	陆相、海陆交互相
下石炭统	火山岩、泥砂质岩	海相

面的综合处理解释,将松辽盆地基底岩层划分为上、下地壳二分结构,利用深反射地震剖面上反射波能量强弱、层状波组连续性和外形等识别标志,

重点解释了侵入岩体、基性岩浆底垫等在内的地质体以及地幔热底劈体(杨光等, 2001),表明了利用深反射地震剖面震相特征识别地层方法的合理性。

近年室内外的研究表明,松辽盆地局部地区晚古生代岩石没有发生变质,并且化石保存较完好。对露头区的岩样进行了伊利石结晶度分析发现,许多晚古生代的岩样目前仍处于高级成岩阶段(张兴洲等,2008),这对松辽盆地基底晚古生代地层构造演化的认识具有重要意义,为该地区油气研究提供了新的方向。

前人识别松辽盆地石炭—二叠系主要以地质

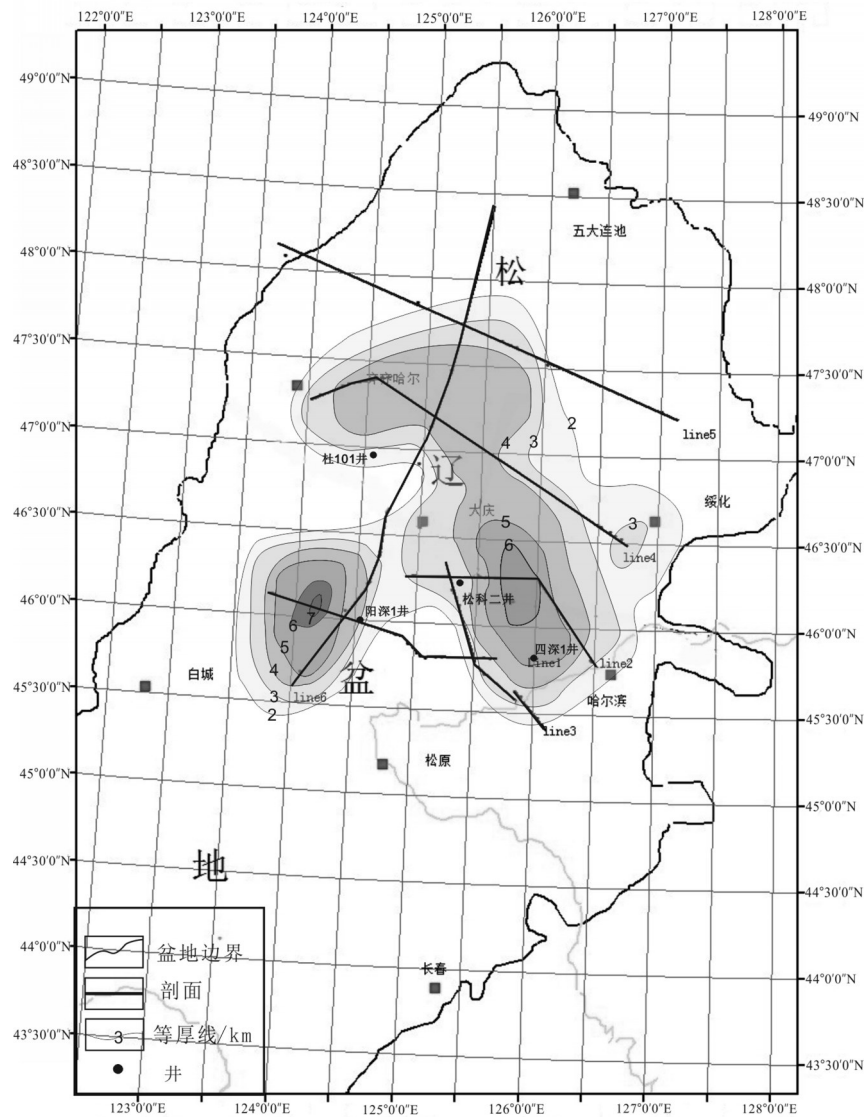


图4 松辽盆地北部石炭—二叠纪地层厚度图
Fig. 4 Carboniferous–Permian thickness map in the northern Songliao Basin

研究为主,地球物理特征为辅(葛荣峰等,2010;任战利等,2011),对于石炭—二叠纪地层反射波传播速度甚少提及。本文确定和对比石炭—二叠系震相后,在6条深反射地震剖面上标注石炭—二叠系顶部及底部地震波双程走时 t_0 值,因剖面位置分布使 t_0 数据疏密不同,不同位置精度不同,所以 t_0 等值线图仅有定性分析的意义,后依据松科Ⅱ井测录井及岩心描述资料建立地震剖面时间—深度转换关系,给出了松辽盆地北部基底的石炭—二叠纪地层厚度分布图。因目前还没有钻井打穿石炭—二叠纪地层,速度模型尚有较大误差,精度后续研究有

待提高。

6 结论

通过约1300 km深反射地震资料震相对比,顶底界面识别及时深转换,得到松辽盆地北部石炭—二叠纪地层厚度分布,主要认识如下:

(1)松辽盆地北部地区石炭—二叠系分布较广,由古构造演化推测整体原始展布为NEE向,现今总体为NNE向分布,全区分布不很均匀,厚度差别较大,从2000~6500 m不等,西部断陷区以及中央隆起带以东地区厚度较大,其他区域分布较薄。

(2)石炭—二叠纪地层在深反射地震剖面上震相特征识别标志为:较连续—连续的层状反射,中—强反射能量;整体由南到北,由西向东同相轴连续性规律变化,反射能量局部存在高值。

(3)松辽盆地北部石炭—二叠纪地层整体由浅到深大致可以分为上、中、下3层,上部地层厚度稳定,反射波组呈水平层状;中部地层从左到右地层厚度增加,同相轴由倾斜到平缓;下部地层从左到右逐渐减薄,同相轴由向下倾斜趋于平缓。

盆地北部整体石炭—二叠系的分布稳定,是今后深层油气资源勘探和研究中有一个层位。

致谢:感谢项目组成员提供的资料和帮助。

References

- Chen Fajing, Wang Xinwen, Zhang Guangya, Cao Shoulian, Luo Chuanrong. 1992. Tectonic and dynamic background of the Mesozoic and Cenozoic oil and gas basins in China[J]. *Geoscience*, 6(3): 317–329 (in Chinese with English abstract).
- Gao Ruiqi, Cai Xiyuan. 1997. Formation Conditions and Distribution of Oil and Gas Fields in Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1–321(in Chinese).
- Ge Rongfeng, Zhang Qinglong, Wang Liangshu, Xie Guoai, Xu Shiyin, Chen Juan, Wang Xiyong. 2010. Tectonic evolution of the Songliao Basin and the transformation of tectonic regimes in Eastern China[J]. *Geological Review*, 56(2): 180–195 (in Chinese with English abstract).
- He Qiaodeng, Han Ligu, Wang Deli. 2009. Seismic Exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–220(in Chinese).
- Hou Hesheng, Wang Chengshan, Zhang Jiaodong, Ma Feng, Fu Wei, Wang Pujun, Huang Yongjian, Zou Changchun, Gao Youfeng, Gao Yuan, Zhang Laiming, Yang Jin, Guo Rui. 2018. Deep continental scientific drilling engineering in Songliao Basin: Resource discovery and progress in earth science research[J]. *Geology in China*, 45(4): 641–657(in Chinese with English abstract).
- Ke Walianke. 1986. Mesozoic magmatism in the Mongolia–Ekhodsk belt and its possible geodynamic interpretation[C]// Heilongjiang Geological Translation, (1): 11–21 (in Chinese).
- Li Zhongquan, Wang Honghui, Tian Jingchun, Liu Xingde, Ying Danlin, Hu Xiaoqiang, Luo Qihou, Duan Xinguo. 2005. Restoration of Deep Prototype Basins in the Songliao Basin[R]. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese).
- Ren Zhanli, Cui Junping, Feng Jianhui, Ren Laiyi, Liu Li. 2002. Study on the formation period of oil and gas reservoirs in Qiaokou area of Dongpu Sag[J]. *Petroleum Exploration and Development*, (6): 15–18 (in Chinese with English abstract).
- Ren Zhanli, Xiao Deming, Chi Yuanlin, Ren Yanguang, Liang Yu. 2011. Thermal evolution history of the basement Carboniferous–Permian in the Songliao Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 32(3): 430–439 (in Chinese with English abstract).
- Wang Chengwen, Jin Wei, Zhang Xingzhou, Ma Zhihong, Chi Xiaoguo, Liu Yongjiang, Li Ning. 2008. New understanding of Late Paleozoic tectonic attributes in Northeast China and neighboring areas[J]. *Journal of Stratigraphy*, (2): 119–136 (in Chinese with English abstract).
- Wang Chengwen, Li Ning, Sun Yuewu, Zong Pu. 2011. Distribution of Tuvaella Brachiopod Fauna and its tectonic significance[J]. *Journal of Earth Science*, 22(1): 11–19.
- Wang Man. 2010. Restoration of Thermal History of the Upper Paleozoic in the Northern Songliao Basin[D]. Changchun: Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Wang Xinwen, Liu Youyuan. 1997. Pre–Mesozoic tectonic evolution in Northeast China and its relationship with the development of the Late Mesozoic basin[J]. *Geoscience*, (4): 434–444 (in Chinese with English abstract).
- Xu Jiawei, Zhu Guang, Ma Guofeng. 1993. Some Understandings on the Evolution of the East Asian Continent[M]. Beijing: Seismological Press, 25–30 (in Chinese).
- Yang Baojun, Li Qinxue, Tang Jianren, Liu Cai, Wang Jianmin, Wang Zhaohu, Li Zhanlin, Feng Xuan, Yu Ping, Li Shizhe, Liu Yang, Fu Lei. 2003. Morphology, three–instantaneous processing results and geological interpretation of the Moho surface in the Songliao Basin[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 46(3): 398–402,437 (in Chinese with English abstract).
- Yang Baojun, Liu Cai, Jiao Xinhua. 1999. Geophysical characteristics of the basement of the Songliao Basin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 29(Supp.): 13–19 (in Chinese with English abstract).
- Yang Baojun, Liu Cai, Yang Pinghua, Hou Guangbing, Feng Xuan. 1999. Study on the characteristics and genesis of Moho surface by near vertical seismic reflection method[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 42(5): 617–628 (in Chinese with English abstract).
- Yang Baojun, Mu Shimin, Jin Xu, Liu Cai. 1996. Geophysical comprehensive study of the Geoscience section of Manzhouli–Suifenhe River in China[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, (6): 772–782 (in Chinese with English abstract).
- Yang Baojun, Tang Jianren, Li Qinxue, Liu Cai, Liu Zhenbiao, Deng Shiyu, Li Qingren, Wang Hongzhi, Li Zhanlin, Wang Gongxian, Dong Shixue, Feng Xuan, Zheng Haishan, Wang Shiyu. 2001. Deep reflection seismic exploration in Songliao Basin[J]. *Progress in Geophysics*, (4): 11–17 (in Chinese with English abstract).
- Yang Baojun, Zhang Meisheng, Wang Pujun. 2003. Geological–Geophysical Analysis of Oil and Gas Areas in China[M]. Beijing: Science Press, 41–43(in Chinese).
- Yang Guang, Xue Linfu, Liu Zhenbiao, Liu Jinping. 2001. Deep seismic section interpretation and deep geological study in

- Songliao Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 22(4): 326–331 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Fengqi. 2007. Early Cretaceous Volcanic Event in the Northern Songliao Basin and its Geodynamics[D]. Hangzhou: Zhejiang University (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xingzhou, Guo Ye, Zeng Zhen, Fu Qiulin, Pu Jianbin. 2015. Dynamic background of the formation and evolution of the Mesozoic and Cenozoic basins in Northeast China[J]. *Earth Science Frontiers*, 22(3): 88–98 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xingzhou, Zhou Jianbo, Chi Xiaoguo, Wang Chengwen, Hu Daqian. 2008. Late Paleozoic tectonic–sedimentary characteristics and hydrocarbon resources in Northeast China[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 38(5): 719–725 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Shejun. 2015. Tectonic evolution of the Songliao Basin[J]. *Inner Mongolia Petrochemical*, 41(1): 139–141 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhikui, Jiang Tao, He Junling. 2011. Prospect of oil and gas exploration in Carboniferous–Permian in Songliao Basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(1): 221–227 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈发景, 汪新文, 张光亚, 曹守连, 罗传容. 1992. 中国中、新生代含油气盆地构造和动力学背景[J]. *现代地质*, 6(3): 317–329.
- 高瑞祺, 蔡希源. 1997. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1–321.
- 葛荣峰, 张庆龙, 王良书, 解国爱, 徐士银, 陈娟, 王锡勇. 2010. 松辽盆地构造演化与中国东部构造体制转换[J]. *地质论评*, 56(2): 180–195.
- 何樵登, 韩立国, 王德利. 2009. 地震勘探[M]. 北京: 地质出版社, 1–220.
- 侯贺晟, 王成善, 张交东, 马峰, 符伟, 王璞珺, 黄永建, 邹长春, 高有峰, 高远, 张来明, 杨璠, 国瑞. 2018. 松辽盆地大陆深部科学钻探地球科学研究进展[J]. *中国地质*, 45(4): 641–657.
- 科瓦连科. 1986. 蒙古—鄂霍次克带中生代岩浆作用及其可能的地球动力学解释[C]//黑龙江地质译文集, (1): 11–21.
- 李忠权, 王洪辉, 田景春, 刘兴德, 应丹琳, 胡晓强, 罗启后, 段新国. 2005. 松辽盆地深层原型盆地恢复[R]. 成都: 成都理工大学.
- 任战利, 崔军平, 冯建辉, 任来义, 刘丽. 2002. 东濮凹陷桥口地区油气藏形成期次研究[J]. *石油勘探与开发*, (6): 15–18.
- 任战利, 萧德铭, 迟元林, 任延广, 梁宇. 2011. 松辽盆地基底石炭—二叠系热演化史[J]. *石油与天然气地质*, 32(3): 430–439.
- 汪新文, 刘友元. 1997. 东北地区前中生代构造演化及其与晚中生代盆地发育的关系[J]. *现代地质*, (4): 434–444.
- 王成文, 金巍, 张兴洲, 马志红, 迟效国, 刘永江, 李宁. 2008. 东北及邻区晚古生代大地构造属性新认识[J]. *地层学杂志*, (2): 119–136.
- 王满. 2010. 松辽盆地北部上古生界热演化史恢复[D]. 长春: 吉林大学.
- 徐嘉炜, 朱光, 马国峰. 1993. 东亚大陆边缘演化的若干认识[M]. 北京: 地震出版社, 25–30.
- 杨宝俊, 李勤学, 唐建人, 刘财, 王建民, 王兆湖, 李占林, 冯晖, 于平, 李世哲, 刘洋, 付雷. 2003. 松辽盆地反射地震莫霍面的形态、三瞬处理结果及其地质解释[J]. *地球物理学报*, 46(3): 398–402, 437.
- 杨宝俊, 刘财, 焦新华. 1999. 论松辽盆地基底的地球物理特征[J]. *长春科技大学学报*, 29(增刊): 13–19.
- 杨宝俊, 刘财, 杨平华, 侯广兵, 冯晖. 1999. 用近垂直地震反射方法研究莫霍面的特征与成因[J]. *地球物理学报*, 42(5): 617–628.
- 杨宝俊, 穆石敏, 金旭, 刘财. 1996. 中国满洲里——绥芬河地学断面地球物理综合研究[J]. *地球物理学报*, (6): 772–782.
- 杨宝俊, 唐建人, 李勤学, 刘财, 刘振彪, 邓世玉, 李青仁, 王洪志, 李占林, 王功先, 董世学, 冯晖, 郑海山, 王世煜. 2001. 松辽盆地深部反射地震探查[J]. *地球物理学进展*, (4): 11–17.
- 杨宝俊, 张梅生, 王璞珺. 2003. 中国油气区地质—地球物理解析[M]. 北京: 科学出版社, 41–43.
- 杨光, 薛林福, 刘振彪, 刘金平. 2001. 松辽盆地深部地震剖面解释与深部地质研究[J]. *石油与天然气地质*, 22(4): 326–331.
- 张兴洲, 郭冶, 曾振, 付秋林, 蒲建彬. 2015. 东北地区中—新生代盆地群形成演化的动力学背景[J]. *地学前缘*, 22(3): 88–98.
- 张兴洲, 周建波, 迟效国, 王成文, 胡大千. 2008. 东北地区晚古生代构造—沉积特征与油气资源[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 38(5): 719–725.
- 章凤奇. 2007. 松辽盆地北部早白垩世火山事件与地球动力学[D]. 杭州: 浙江大学.
- 赵志魁, 江涛, 贺君玲. 2011. 松辽盆地石炭系—二叠系油气勘探前景[J]. *地质通报*, 30(1): 221–227.
- 赵陟君. 2015. 松辽盆地构造演化[J]. *内蒙古石油化工*, 41(1): 139–141.