

文章编号: 0253-9985(2001)04-0326-05

松辽盆地深部地震剖面解释与深部地质研究

杨光¹, 薛林福¹, 刘振彪², 刘金平²

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061; 2. 大庆石油管理局物探公司研究所, 黑龙江大庆 163357)

摘要: 通过6条长1 354.6 km的15 s深部地震剖面的综合解释, 揭示了松辽盆地深部许多重要的地层、侵入体和构造等深部地质特征。深部地震剖面的解释结果表明, 松辽盆地具有上、下地壳二分结构特征, 深部地震剖面上二者的界线划在网状反射层的顶面; 利用深部地震剖面上反射波的振幅强弱、波组连续性和波组外形等识别标志, 可识别出中、新生界、上古生界、前泥盆系、前寒武系、侵入岩体和基性岩浆底垫等地质体; 此外还发现在地壳深部存在着特殊地质体——地幔热底劈体, 这种深部地幔热底劈体在空间分布上与天然气的分布密切相关, 是进行无机成因天然气选区的重要依据。在深部地震剖面上解释的莫霍面隆起区与盆地沉降中心呈偏移镜像关系, 以及广泛发育的犁式断裂系和拆离带均表明松辽盆地是简单剪切作用的结果。

关键词: 松辽盆地; 深部构造; 深部地震勘探; 韧性剪切带; 地幔热底劈体

第一作者简介: 杨光, 女, 43岁, 副教授, 石油与天然气地质

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

随着石油勘探与深部构造认识的不断深入, 人们越来越迫切需要了解深部构造特征、深部构造与盆地构造的关系及深部地球动力学过程。地壳的反射图像、重磁场特征和地壳的电性结构是地壳演化历史的综合反映, 是老构造的残余与新构造叠加的结果。深部地质解释的目的是通过分析深部地质、地球物理资料, 获取深部构造信息, 为油气资源勘探提供深部地质依据。由大庆物探公司完成的长1 354.6 km的6条15 s松深大剖面, 第一次系统地提供了松辽盆地北部的深部反射图像, 对揭示松辽盆地深部特征、盆地形成演化和油气资源的分布具有十分重要的意义。

1 深部地层和侵入体

松辽盆地深部地层主要为古生界和前寒武纪地层, 火成岩等特殊地质体主要包括: 侵入岩体、基性岩浆底垫体和地幔热底劈体。

1.1 深部地层

根据松辽盆地周边地区前中生代地层的发育情况、钻井资料及已有研究结果, 松辽盆地的深部可能发育的地层如表1所示, 深部地震剖面解释结果表明, 松辽盆地上地壳深部地层主要由上、下古生界和前寒武系组成(图1)。

上古生界在盆地周边有广泛出露, 为一套浅变

质岩系, 主要由板岩、变质砂岩等组成, 成层性较好。钻探资料揭示基底岩系有很大一部分是由古生代地层组成的。古生代地层在地震反射剖面上表现为具有一定连续性的、能量较强的反射, 常可以看到反映地层褶皱弯曲的反射轴。

表1 深部地层组成

Table 1 Composition of deep strata

地层单元	地层特征	资料来源
上古生界	浅变质岩系, 主要包括板岩、千枚岩及灰岩类	
下古生界	板岩、粉砂岩、流纹质凝灰岩	据“黑龙江区域地质志” ^[1]
	花岗质片麻岩、片麻岩	通2、克2
前寒武系	片岩	克2
	斜长角闪岩	北深4

下古生界在松辽盆地周边地区是存在的, 推断上古生界之下可能存在着下古生界。但由于缺乏下古生界存在的直接证据, 并且难于与更老的地层有可以识别的明确界限, 所以将其笼统地表示为前泥盆纪地层。

前寒武系主要由片岩、片麻岩等深变质岩组成, 主要分布于隆起带上和地壳深部。前寒武系的反射特征主要表现为连续性较好的强反射, 各同相轴之间大体平行, 多数近水平, 也可以见到不明显的扁平透镜体。

1.2 侵入岩体

侵入岩体在地震剖面上主要表现为空白反射, 没有连续反射轴, 与相邻区的界限多为不规则状, 并被具有一定连续性的反射区所包围。在地震剖面素描图上, 侵入岩类表现为反射空白区(图 1)。

侵入岩类型多属于花岗岩类。

1.3 基性岩浆底垫

基性岩浆底垫体是近年来在盆地深部构造研究过程中提出的, 在地震剖面上主要表现为发育在莫霍面附近的由短强反射轴所构成的团状反射结构(图 1)。

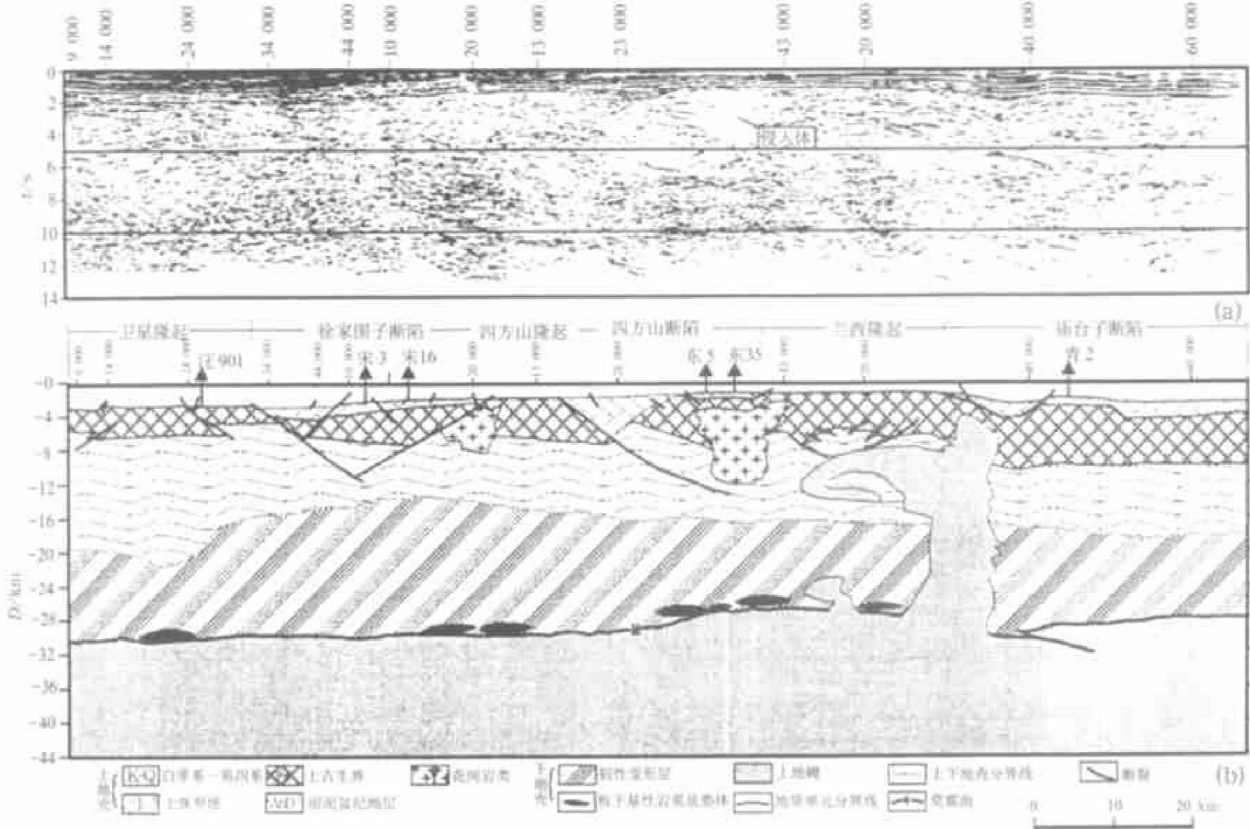


图 1 松深大剖面 II 测线地震反射记录素描图(a)与解释剖面图(b)

Fig. 1 Sketch maps of seismic reflection record(a) and interpreted section(b) in II measure line of Songliao Basin

1.4 地幔热底劈体

在图 1 东侧兰西隆起下 6 km 处的地壳深部存在着一个反射很弱的区域, 在地震剖面上表现为“亮点”, 该区域的边界模糊而不规则, 并穿切了莫霍面。松辽盆地北部地区地下 5 km 处地温梯度等值线平面图上存在着高地温梯度区, 该区与该剖面上出现的亮点区域相对应, 推测这个具有特殊反射特征的深部地质体可能是高热的, 应当是一种源于地幔的热底劈体。地幔热底劈体存在的区域可作为无机成因气体的首选勘探区。由于流体相的存在, 在有地幔热底劈体出现的地区, 应当出现低阻区, 大地电磁测深资料的解释结果证明了这一点。在地震剖面上所解释出的地幔热底劈体, 在大地电磁测深剖面上显示为电阻率为几欧姆米的低阻区。这种底劈体可能是由于上地幔发生了部分熔融作用, 从上地幔中分离出的“流体相”在压力作用下上升, 穿过莫霍面后, 在下地壳或上地壳的下部聚集,

形成初期的岩浆体。

2 地壳结构与深部构造作用

根据松深地震反射结构特征、重磁资料、大地电磁资料^[2], 结合目前国际上对地壳结构研究结果, 将研究区的地壳分为上、下两个部分(表 2)。

表 2 松辽盆地地壳结构模型

Table 2 Model of crustal texture in Songliao Basin

地壳结构		底部界面	地震反射结构
上地壳	白垩系	T ₄	连续平行反射
	侏罗系	T ₃	断续反射
	上古生界		缓倾斜不连续反射
	下古生界		弱反射、空白反射
	前寒武系		断续较强反射
下地壳		莫霍面	网状反射、凸透镜状反射
地幔		软流圈	下部倾斜反射

上地壳下部在许多地方存在着“反射空白区”, 在地震素描图上表现得尤为明显。松辽盆地地壳

的地震反射结构与世界上许多盆地区的地壳反射结构相似,自上而下由上部反射层、中间空白反射区和下部反射层所组成。其中,上部反射区是中、新生代沉积地层和上古生界的反映。中间空白反射区和下部反射区分别代表了两种不同的深部温压条件和深部构造作用方式。

松辽盆地的地壳结构在横向上存在着明显的不均匀性,在剖面上的一些地段,地壳结构中的中间反射区不发育。这是由于松辽盆地中央隆起下存在前寒武系地体的断续强反射造成的。

在地壳的不同深度,由于温压条件的不同,所经历的构造历史不同,构造作用方式和构造特征也明显不同。从遭受的构造变形历史来看,深部地壳由相对较老的地层组成,经历了长时期的构造作用,呈现为复杂的构造变形面貌。从地壳不同深度的力学性质来看,上地壳上部呈脆性,上地壳下部为脆-韧性过渡带,以发育板状断层或犁式断层为特征。下部地壳则总体表现为韧性变形,以发育近水平的韧性剪切带为特征(图2)。

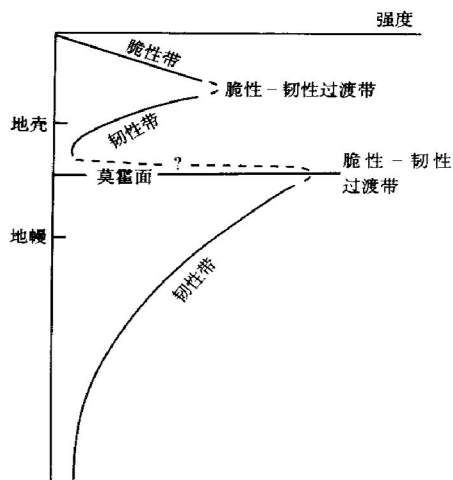


图2 岩石圈强度示意图

Fig. 2 Schematic diagram of lithospheric intensity

2.1 上地壳

上地壳上部由前寒武-古生代地层组成。但地壳的均一化作用相对较弱,在地震剖面上可以识别出伸展构造和挤压构造两种主要的构造类型。伸展构造主要是晚中生代伸展作用的产物,挤压构造是古生代末-中生代早期多次挤压构造作用的结果。

2.1.1 伸展构造

松辽盆地构造演化的伸展作用是晚侏罗世以来最强的一次构造运动。伸展构造的主要构造要素包括中生代控盆犁式断裂系和拆离带。

控盆犁式断裂系构成了松辽盆地晚侏罗世断

陷盆地的控盆边界断裂,断裂的组合形式呈阶梯状地堑或半地堑状,主要几何特征是断裂倾角向深部逐渐变缓,运动学特征表现为最大垂直断距可达4 km以上的正向错断。

拆离带是指发育于地壳深部的一个强烈构造变形带,产状平缓,其在地壳变形中起着调节不同深度层次上构造变形的作用。地球物理特征显示为高导和低速。本区的大地电磁测深剖面上没有发现这样的高导层,而是在一定深度(15 km左右)之下的整个深部地壳均显示为电阻率为几欧姆米的高导层。研究区下地壳的普遍高导性是由于强烈韧性变形所造成的,那么韧性变形带的顶界面应当是脆性-韧性变形过渡带,即拆离带发育的位置。韧性变形带在地震剖面上表现为网状反射结构,所以在地震剖面上拆离带发育的位置应当是具有网状反射结构层的顶界面,笔者将该界面作为上、下地壳的分界面。

松辽盆地在地震剖面上难以识别出拆离带和拆离断层,从地壳浅层延伸下来的断裂在一定深度消失,难以确定出一个明确的界面。推测拆离带深度主要在15~20 km之间变化,一些地区可达到25 km左右。该带的深度变化与规模较大的侏罗纪断陷盆地之间存在着类似莫霍面与盆地之间的镜像关系,如在图1测线上拆离带与徐家围子断陷呈镜像关系。

2.1.2 逆冲和推覆构造

逆冲-推覆构造是研究区的一种重要的深部构造类型,主要特征为:

(1) 卷入逆冲、推覆构造的地层为前寒武系(前泥盆纪地层)、上古生界地层;

(2) 大多数逆冲推覆构造表现为老地层(如前寒武系)向新地层(上古生界)中推覆;

(3) 逆冲推覆构造多发育于隆起带上,发育多种类型的推覆;

(4) 松辽盆地最大推覆距离小于5 km, IV测线明水斜坡逆冲推覆带的推覆距较大,约为4 km, V测线富锦断陷西侧的逆冲带的推覆距离约为5 km。

从石炭-二叠系卷入了推覆构造和逆冲-推覆构造被晚侏罗世地层覆盖来看,基底逆冲-推覆构造应发生于二叠纪末至晚侏罗世之间。从华北-东北古生代末期-中生代的区域构造演化来看,华北-东北地区在这一时期主要经历了两个较强的挤压

作用阶段, 第一个挤压作用阶段发生于古生代末期, 第二个挤压作用阶段发生于中侏罗世末期, 主要的构造事件包括辽西地区推覆构造的形成, 表现为古生代-元古代地层推覆于早、中侏罗世地层之上。松辽盆地逆冲推覆构造可能是在这两个挤压构造作用时期形成的。

2.2 下地壳

下地壳的岩石组成为麻粒岩相和角闪岩相高级变质岩, 主要包括麻粒岩、榴云岩、片麻岩。以发育韧性剪切带为特征, 交织分布的韧性剪切带构成了“网状结构”或“鳄鱼结构”^[3]。松辽盆地地区地壳深部反射结构也具有与造山带类似的结构。

网状结构是在下地壳的特定应变条件下形成的。在下地壳所处的温度、压力条件下不可能再发生任何脆性变形, 而以韧性剪切占主导地位, 无论在拉张或挤压条件下, 均会出现X形剪切面, 沿这些剪切面发生韧性变形, 在垂直切面内, 拉张作用下产生的扁豆体的纵横比值要比挤压形成的扁豆体的比值大。组成这些“凸透镜体”的岩石属于麻粒岩相。

网状结构的发育程度与中生代盆地存在着相关性。这主要表现为断陷盆地下的韧性剪切带一般比隆起下的韧性剪切带发育, 在松深VI测线上, 徐家围子断陷下的网状结构比相邻地区发育。

2.3 莫霍面

2.3.1 识别标志

莫霍面是一个过渡带, 主要由镁铁质麻粒岩组成, 厚度可变并具有不同的内部结构。其主要特征是地震波速突变和表现为层状地震相。由于缺乏可靠的速度资料, 笔者对莫霍面的确定主要以莫霍面的反射特征为依据, 其识别标志是莫霍面表现为一个强反射轴束, 在莫霍面之上主要是“网状”和“凸透镜状”反射结构, 该面之下有一些斜向反射。

目前完成的6条深部地震测线基本控制了松辽盆地北部地区莫霍面起伏变化的总体轮廓, 其总体规律是从西向东由深变浅, 从南向北由浅变深, 莫霍面隆起的最高点位于兰西地区(图1)。

对各测线莫霍面深度的统计结果表明, 南部地区莫霍面的平均深度为31.6 km, 最小深度近30 km, 位于兰西隆起下; 最大深度为34 km左右, 位于大庆断阶带之下。中部地区莫霍面的平均深度为32.5 km, 最小深度近30 km, 位于绥化断陷之下; 最大深度约为36 km, 位于林甸断陷和黑鱼

泡断陷之间的隆起带下。北部地区莫霍面深度变化比较平缓, 平均深度为33.4 km, 最小深度为33 km, 接近盆地东部的边界地带; 最大深度为35 km, 位于剖面西侧的隆起带之下。西部地区莫霍面的平均深度32 km, 最小深度为31 km左右, 位于剖面中部的林甸断陷之下; 最大深度近于36 km, 位于剖面南端的古龙断陷之下。

与重、磁资料所获得的莫霍面资料相比, 由地震资料所确定的莫霍面的深度偏大, 且证实莫霍面不是一个连续面, 在一些地方可能存在着类似正断层和逆断层的错断现象, 估算的垂直断距介于1~6 km之间。在松深I, II, VI测线上均见有莫霍面被“逆断层”错断现象。

由于松辽盆地基底是由板块(地体和微地块)拼合而成的, 可能保留了老构造的残余, 显示为莫霍面被逆冲断层错断的迹象。而被正断层错断可能是由于盆地的拆沉作用造成的。莫霍面被地幔热底劈体穿切隔断, 则在地震剖面上不显示莫霍面的地震反射特征。

2.3.2 性质

莫霍面是一个相变界面, 地质历史时期的造山作用或成盆作用对深部温压条件的改变必然会使莫霍面的位置和形态发生改变。同时各种深部地质作用都可能改变莫霍面的深度和形态。莫霍面在地壳演化过程中沿着地壳的底界面可以增长, 也可以发生侵蚀。莫霍面的相对稳定时期是有限的。在现代间冰期内, 北欧大陆冰川后退, 海岸带上升, 从切割出的峡谷深度推算, 地壳经弹性变形到均衡大约需要1 Ma的时间。从松辽盆地的总的演化趋势分析, 莫霍面趋于与松辽坳陷盆地达到均衡。

2.3.3 与中生代盆地的关系

莫霍面作为壳/幔界面, 在岩石圈构造变形中起着重要作用, 莫霍面的形态变化反映了构造作用的类型和活动方式。典型的莫霍面与盆地的镜像关系表明盆地的形成符合纯剪模式, 地幔隆起与盆地沉降中心的偏移表明盆地的形成符合简单剪切模式。已有的研究表明, 盆地富含油气的必要条件是莫霍面局部上隆, 凡是莫霍面分布平缓, 呈斜坡状或下凹状的盆地区, 油气储量很少或没有; 而大、中型油气盆地深部都有相当幅度的莫霍面隆起^[4]。

莫霍面与盆地主要有镜像和同步两种关系类型。在分析盆地与莫霍面关系时, 应当研究莫霍面的动态变化性。由不同方法所确定的莫霍面具有

不同的含义。根据重力资料推算出的莫霍面是现代的界面,与中生代或更早时期的情况出入甚大。地震资料所确定的莫霍面也主要反映了距现代较近时期莫霍面的状态,但由于地震资料可以反映莫霍面变化的细节,所以可以保留一些距现代较近时期强烈构造运动所形成的莫霍面形态。对松辽盆地而言,晚中生代以来主要有两次重要的地壳沉降,即晚侏罗世断陷作用与白垩纪以来的整体沉降。与此相应的是整个松辽盆地莫霍面趋于消除晚侏罗世断陷时期所形成的局部差异,使莫霍面变得比较平坦。

松辽盆地与莫霍面大体属镜像关系。但各个断陷盆地与莫霍面之间关系则比较复杂。有镜像、偏移镜像和同步多种关系,以偏移镜像为主。

3 深部与深层断裂

深部和深层断裂的成生关系主要表现为继承、归并和转化。继承是指深层断裂是在前期所形成的深部断裂的基础上发展起来的。归并表现为在深层所发育的控制中生代盆地的犁式断层,断层倾角随深度增加逐渐变缓,最终归并到拆离带上;转化是指断裂的性质由脆性转化为韧性的过程。

松辽盆地在 10~20 km 范围内有一个脆性-韧性转化的过渡带,一些主要的由深层向下延伸的断裂经过渡带,断裂的倾角变缓,直到水平,归并到韧性变形层中。对中生代伸展断裂系统来说,从深层断裂向深部断裂的转化证实,深部的韧性变形层与深层断裂是同一应力场、同一构造作用时期不同深度变形层次上的不同表现。即深层的犁式断层、深部拆离面和韧性变形层是同一构造作用的产物。与继承相比,归并和转化反映了同一构造作用时期同一构造应力场中深层断裂与深部断裂之间的转化关系,而继承则反映了不同构造作用时期深层与深部断裂构造之间的成生关系。

4 盆地成因机制

对松辽盆地成因机制的研究中,提出了许多假设、假说和模式,主要包括拉张机制、挤压机制等。本次研究所获得的地质信息是探讨松辽盆地成因机制,建立松辽盆地的形成演化模式的重要参考依据。

(1) 松辽中生代盆地是在继承基底构造的基础上发展起来的。中生代断陷盆地与基底构造轮廓具有良好的对应关系。

(2) 松辽盆地从变形特征可以明显地分为上部犁式断裂系,其下部主要表现为发育水平和近水平的韧性剪切带。拆离带(脆-韧性变形层)是一个重要的构造活动带,该带之上的上部地壳的主要控盆犁式断层多向深部延伸至该面。该带之下的地壳或岩石圈多以塑性流变为主。

(3) 莫霍面起伏与中生代断陷盆地不具有典型的“镜像”关系,而是表现为一种“偏移镜像”关系。

(4) 深部(下地壳)处于一种高热状态,盆地的东部地区热活动性比西部地区强。上部地壳发育犁式断裂,下部地壳发育韧性变形带,证明该盆地主要是由拉张作用形成的。中生代的断陷盆地只是在一定程度上继承了基底构造,但从地壳演化的地球动力学过程来看,这种构造的继承关系不仅仅表现为后期断裂构造是前期构造的继续和发展,其中可能隐藏着深刻的地球动力学关系。松辽盆地南部地区的地壳为加里东造山带,辽西和华北为陆台型地壳,而松辽为海西期褶皱带型地壳,为相对年轻的地壳。这种地壳类型的差异及深部壳幔结构的差异是影响松辽盆地形成机制的重要因素。

根据目前对盆地成因机制的认识^[5],由莫霍面起伏与中生代断陷盆地不具有典型“镜像”关系,可以推断松辽盆地不是由纯剪模式形成的。莫霍面与断陷盆地对应关系上类似于由简单剪切作用所形成的盆地。虽然目前还缺乏盆地形成的地球动力学方面更多证据,但从盆地的几何形态、盆地构造的运动学特征来看均与由简单剪切模式所形成的盆地类似。

综上所述,结合中国东部太平洋西缘构造演化,松辽盆地主要是在中国东北前中生代这一特殊的大地构造背景下由简单剪切作用形成的。

参 考 文 献

- 1 刘俊杰,刘荣芝,伦志强,等. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1983
- 2 M-SGT 地质课题组. 中国满洲里-绥芬河地学断面域内岩石圈结构及其演化的地质研究[M]. 北京:地质出版社,1994
- 3 李江海. 大陆下地壳研究进展评述[J]. 地质科技情报, 1991, 10(1): 9~16
- 4 邵学钟,张家茹,殷秀华,等. 油气勘探与地壳深部构造研究[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(2): 11~14
- 5 Kusznir N J, Ziegler P A. The mechanics of continental extension and sedimentary formation: a simple-shear pure-shear flexural cantilever model[J]. Tectonophysics, 1992, 215: 117~131

(下转第336页)