

操聪,赵凌强,齐彦福,等. 2024. 依兰—伊通断裂带舒兰段深部电性结构研究[J]. 地震研究,47(2):245–252,doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000–0666.2024.0018.

Cao C., Zhao L. Q., Qi Y. F., et al. 2024. Study on deep electrical structure characteristics of the Shulan section of the Yilan-Yitong fault zone[J]. *Journal of Seismological Research*, 47(2):245–252, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000–0666.2024.0018.

依兰—伊通断裂带舒兰段深部电性结构研究^{*}

操聪^{1,2}, 赵凌强^{2♣}, 齐彦福¹, 吕宏斌², 郑勇², 杨雄²

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710043)

摘要: 依兰—伊通断裂带是划分我国中蒙和中朝2个活动地块的重要边界断裂,也是东北地区规模最大的断裂系统,以往研究认为该断裂活动较弱,但该断裂舒兰段在全新世有过强烈活动。针对这一问题,2021年在穿过依兰—伊通断裂带舒兰段位置布设了一条大地电磁剖面,对所获取的14个宽频测点数据进行了精细化处理和二维反演,获得了断裂带及其两侧地块的深部电性结构特征。结果表明:依兰—伊通断裂带舒兰段及其邻近地区电性结构表现为东西横向分块的特点,其中主断裂呈现延伸至中下地壳的中低阻条带,强度较弱,其东西两侧为高阻,强度较强。结合中国大陆其他活动断裂区的大地电磁探测结果,推测依兰—伊通断裂带舒兰段的电性结构分布特点有利于断层活动和形变累积,未来需要注意其地震孕育的风险。

关键词: 大地电磁; 电性结构; 依兰—伊通断裂; 舒兰段

中图分类号: P315.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000–0666(2024)02–0245–08

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000–0666.2024.0018

0 引言

依兰—伊通断裂带是划分中蒙和中朝两个活动地块的重要边界断裂,属于广义郯庐断裂的北延部分(邓起东等,2003)。该断裂经过地区人口密度较大、工业发达,是我国东三省最重要的经济发展区域,因此对于该断裂及邻近地区的地震风险性研究具有较重要的现实意义。

迄今为止,依兰—伊通断裂带上所记录到的最大地震为1963年黑龙江省萝北 $M_s5.8$ 地震,因此,传统观点认为该断裂不具有强活动性,不具备强震构造背景,其抗震设防水准和参数较低,仅Ⅵ度设防。进入21世纪,荆凤等(2006)利用遥感数据结合DEM数据发现依兰—伊通断

裂带除发生垂直升降运动外还发生过强烈的侧向挤压;闵伟等(2011)基于高分辨率卫星影像解译和探槽古地震研究,首次在吉林省境内舒兰段发现该断裂断错的最新地层年龄距今约1780a,地表破裂长度逾10km,相当于发生了一次 $M \geq 7$ 地震。这些研究成果表明:依兰—伊通断裂带的部分段落在全新世有过强烈活动,该结果改变了人们对该断裂“不活动或弱活动”的传统认识,引起了国内外同行的高度关注。此后,国内一些学者围绕依兰—伊通断裂带的活动构造与地震地质工作开展了更为深入的调查研究(Min et al, 2013; 疏鹏等, 2014; Zhu et al, 2015; 余中元等, 2016; Gu et al, 2016, 2017; Yu et al, 2017, 2018),发现该断裂带的大部分段落在晚第四纪以来构造变形强烈,地表断续发育且保存

^{*} 收稿日期: 2022–10–24.

基金项目: 国家自然科学基金(U1939205, 41874092); 地震动力学国家重点实验室开放基金(LED2019B06, LED2021B04); 山西太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站项目(NORSTY20–07).

第一作者简介: 操聪(1988–), 工程师, 主要从事地电场数据质量监控和大地电磁方法研究.

E-mail: caoconggcc@163.com.

♣通信作者简介: 赵凌强(1988–), 高级工程师, 博士, 主要从事大地电磁方法在深部构造探测中的应用.

E-mail: zhaolingqiang0926@126.com.

有明显的破裂遗迹和地貌变形特征,古地震活动呈现出明显的丛集特征。以舒兰段为例,在晚第四纪期间发生过多次强烈古地震事件($M \geq 7$),具备强震的孕震能力和构造背景,且呈现出明显的分段活动特征。

目前在依兰—伊通断裂带的研究主要为高分辨率卫星影像解译、断错微地貌测量和测年以及开挖古地震探槽等方面,尚缺少有关断裂深部精细结构方面的研究工作。该断裂由于长期受植被影响,伊通地区地质体出头较少,给野外地质调查带来了诸多困难。而大地电磁法所获岩石圈尺度的电性结构信息能够为地块单元的划分提供依据,是探测断裂带深部延展特点的一种重要深部地球物理方法(Zhao *et al.*, 2012; Cai *et al.*, 2017; 詹艳等, 2021)。鉴于此,2021年,我们穿过依兰—伊通断裂带舒兰段布设了一条长约70 km的高密度、宽频带大地电磁剖面,并对剖面所获数据进行了精细化处理和二维反演,获得了该断裂及其两侧地块的深部电性结构特征。

1 野外观测与资料处理

1.1 方法介绍

大地电磁方法是利用大气和电离层中产生的自然电磁信号测量地下电阻率结构的一种地球物

理方法。大地电磁测深数据由在地球表面测量所得的电场和磁场组成,与频率相关的复值阻抗张量相关,由此可确定视电阻率和阻抗相位。由于大地电磁观测响应包含的周期范围很广,高频数据对浅部构造敏感,长周期数据对深部构造敏感(陈乐寿,王光镗,1990),因此该技术可以用于不同空间尺度下的成像地下结构——从地表到上地幔,目前均已获得了广泛应用(Zhao *et al.*, 2012; Cai *et al.*, 2017; 赵凌强等, 2019, 2020, 2022a, b; 詹艳等, 2021; 操聪等, 2022)。

1.2 大地电磁剖面和数据采集

依兰—伊通断裂带是东北地区规模最大的断裂系统,在东北地区长度延伸接近1 000 km,断裂整体上呈NE向展布,该断裂自西南向北东分布有沈阳、四平、铁岭、伊通、长春、舒兰、哈尔滨、延寿、方正、依兰、汤原、佳木斯、鹤岗、萝北等主要城镇(图1a)。

为研究该断裂带及其两侧的深部电性结构特征,我们穿过依兰—伊通断裂带舒兰段布设了一条大地电磁剖面,西北起始于断裂西侧的松辽盆地地块,向南东方向进入那单哈达岭地体,剖面长约70 km,共布设14个测点(图1b)。2021年7—8月,我们开展了野外数据采集工作,共耗时15 d,使用2台加拿大凤凰公司的MTU-5A设备同时进行数据采集(频带范围320~0.000 5 Hz)。

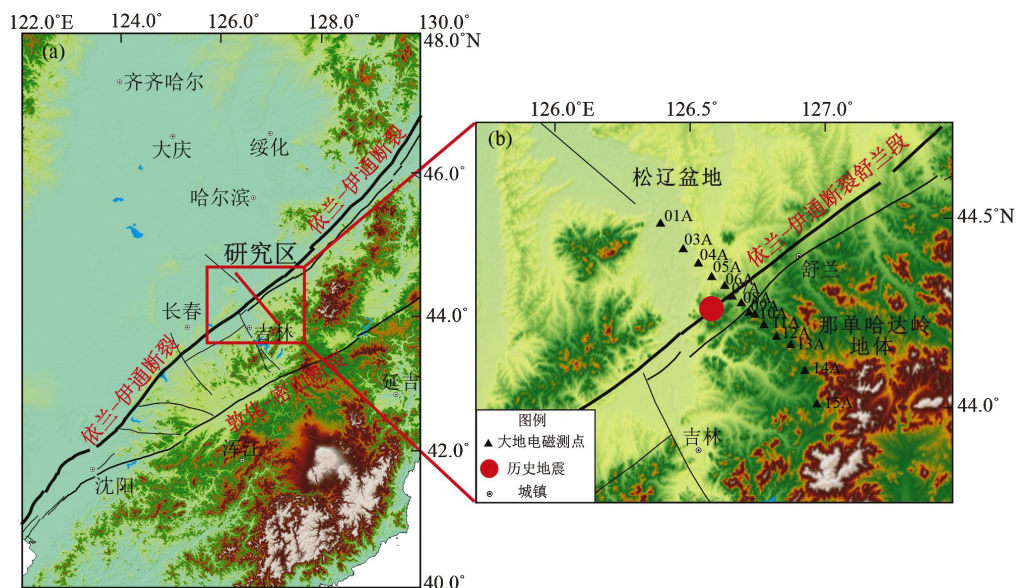


图1 依兰—伊通断裂带分布图(a)和舒兰段大地电磁实测点位图(b)

Fig. 1 Distribution of the Yilan-Yitong fault (a) and location of the magnetotelluric measuring sitets in Shulan section (b)

由于依兰—伊通断裂带舒兰段主断裂附近是本文研究的重点地区，所以主断裂附近的测点间距加密至2~3 km，主要用于获得主断裂区精细电性结构信息。断裂外围松辽盆地地块和那单哈达岭地体由于构造较为简单，测点间距加大至

5~8 km，主要用于获得大尺度区域电性构造信息。图2给出了研究区14个测点的视电阻率和相位曲线，同时标注了依兰—伊通断裂带的位置，由图可见，该断裂带东西两侧电性存在明显差异。

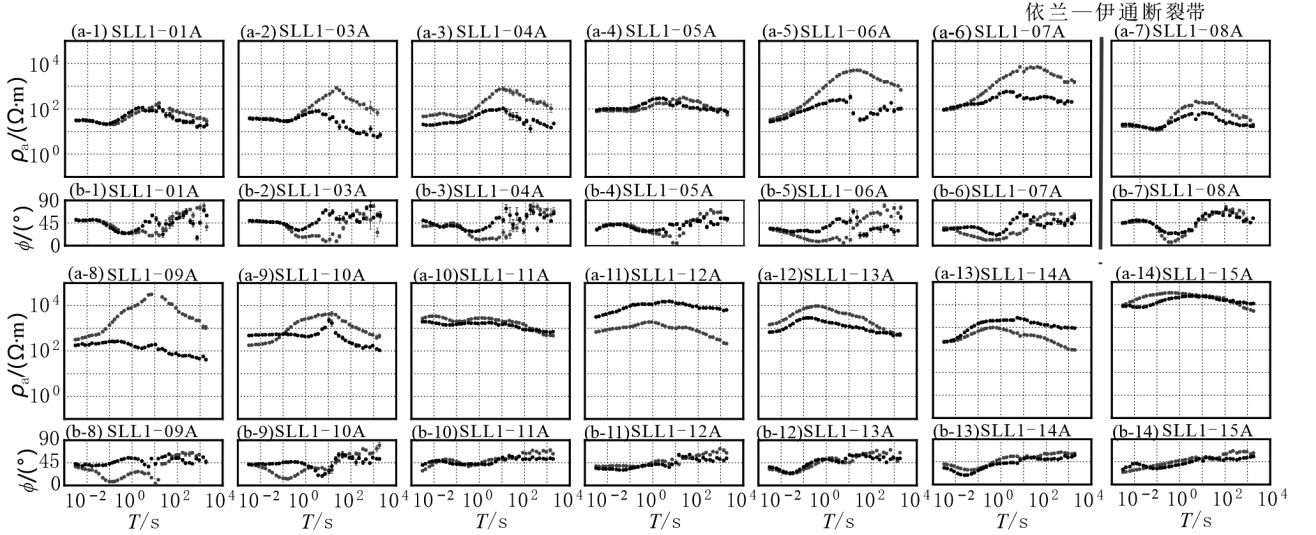


图2 研究区14个测点的视电阻率 (a) 及相位 (b) 曲线

Fig. 2 Apparent resistivity (a) and impedance phase (b) curves at 14 sites along the profile

1.3 区域电性走向

相位张量分解技术可以获得大地电磁剖面的电性走向信息、维性信息以及地下电性结构的变化趋势。本文使用陈小斌等(2004)开发的MTP软件中的相位张量分解方法计算统计了此次大地电磁剖面全部14个测点全频段和分频段的电性走向玫瑰花瓣图(图3a)。电性走向玫瑰花瓣图(320~0.001 Hz)表明沿剖面全部测点全频段电性走向为北偏东45°或者北偏西45°，结合图1中所示的该区依兰—伊通断裂带舒兰段呈现出NE走向的构造特点，我们认为研究区电性走向整体上为北偏东45°，为下一步的二维反演计算提供了数据旋转的依据。

1.4 维性特征分析

每个相位张量椭圆对应二维偏离度角 $|\beta|$ ，考虑到吉林地区的干扰情况相对较小，结合以往的研究结果(Caldwell *et al*, 2004; Bibby, *et al*, 2005; Cai *et al*, 2017)，确定 $|\beta| < 6$ 时，地下介质可近似为二维情况； $|\beta| > 6$ 时，地下介质可视为三维情况， $|\beta|$ 越大表明MT数据的三维性越强。图3b给出了沿剖面 $|\beta|$ 随距离分布图，从图

中可见，研究区整体上 $|\beta|$ 相对较小，大部分都小于6，说明研究区符合二维假设条件。分地块来看，研究区西侧的松辽盆地中高频部分 $|\beta|$ 最小，数值接近于0并一直延伸至依兰—伊通断裂穿过区域，表明该区域浅部近似为一维或者二维层状结构，推测这可能是由于松辽盆地浅表的新生代沉积层较厚所致，与野外实际数据采集过程中的观测结果较为类似。松辽盆地低频部分 $|\beta|$ 相对较大，部分测点出现了超过6的情况，说明该地区中深部构造可能相对复杂。研究区东侧的那单哈达岭地体相对于松辽盆地， $|\beta|$ 相对均一，整体上相对较小，表明该地体自浅部至深部构造相对简单。

使用相位张量分解技术获得的每个测点的旋转不变量 φ_2 随周期的分布特征指示该测点地下视电阻率值随频率的变化规律，由于频率与深度的对应关系，实际上是大地电阻率随深度的变化关系，所以当 $\varphi_2 < 45^\circ$ 时，该测点下方的电阻率随深度的增加而增加，当 $\varphi_2 > 45^\circ$ 时，该测点下方电阻率随深度的增加而降低(Heise *et al*, 2008)。图2c给出了沿剖面14个点的相位不变量 φ_2 随距离

的分布。由图可见,沿剖面各地块的电性变化趋势互相不一致,与 $|\beta|$ 分布较为相似,松辽盆地中高频呈现出高相位的特点,表明该地区浅部可能以低阻体为主,这也与该地区较厚的新生代沉

积层相对应。研究区最显著的特点是沿整条剖面,低频部分均以高相位为主,在剖面中段这种高相位更为明显,这表明研究区中段的深部可能存在着明显的低阻结构。

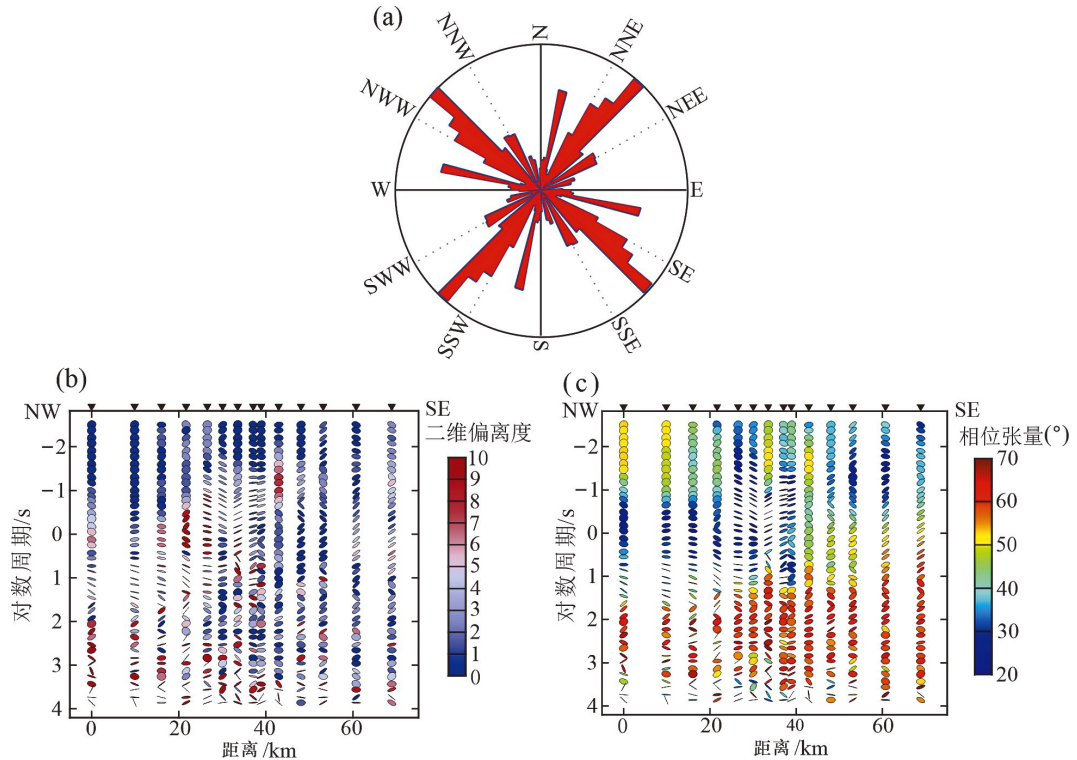


图3 不同频率相位张量分解最佳主轴电性走向玫瑰花瓣图 (a)、
二维偏离度角 $|\beta|$ 图 (b) 以及相位张量图 (c)

Fig. 3 The rose diagram of the optimum principal axis (a), the two-dimensional deviation angle $|\beta|$ diagram (b), and the phase tensor diagram (c) from the phase tensor decomposition along the profile

2 二维反演

在对剖面上所有数据进行张量分解定性分析之后,需要对剖面上所有数据进行反演计算。在分析二维偏离度角 $|\beta|$ 时认为沿剖面符合二维假设条件,所以我们将对整条剖面进行二维反演计算。本文确定的沿剖面的电性优势走向方向为北偏东 45° ,二维反演计算时将该剖面所有的测点旋转至优势走向方向,获得了TE和TM模式的数据,将这2类数据作为输入数据。在计算前,需要删除游离的飞点,还需要进行一维拟合分析,删除无法一维拟合的部分频点。

结合蔡军涛和陈小斌(2010)关于二维反演结果的研究,认为TM模式的视电阻率和相位数

据更能代表真实的地下结果。所以在二维反演计算中,通过使用不同的门槛误差方式来调节不同的数据权重,尽可能地使用TM模式数据。在实际操作中,将TM和TE模式数据的门槛误差分别设置为2%和5%。本文使用非线性共轭梯度法(NLCG)的算法程序进行二维反演计算,结合研究区的实际电阻率值分布特点,确定初始模型为 $100 \Omega \cdot m$ 电阻率的均匀半空间。在二维反演计算中,通过使用不同的正则化因子(Tau)进行多次反演计算并进行对比分析,最后选用 $Tau = 10$ 的反演结果作为最终解释结果,总迭代次数共72次。图4中两种极化模式实测和响应对比显示,本次反演计算拟合情况较好,表明反演结果较为理想,能够较好地反映地下实际的介质分布特征。

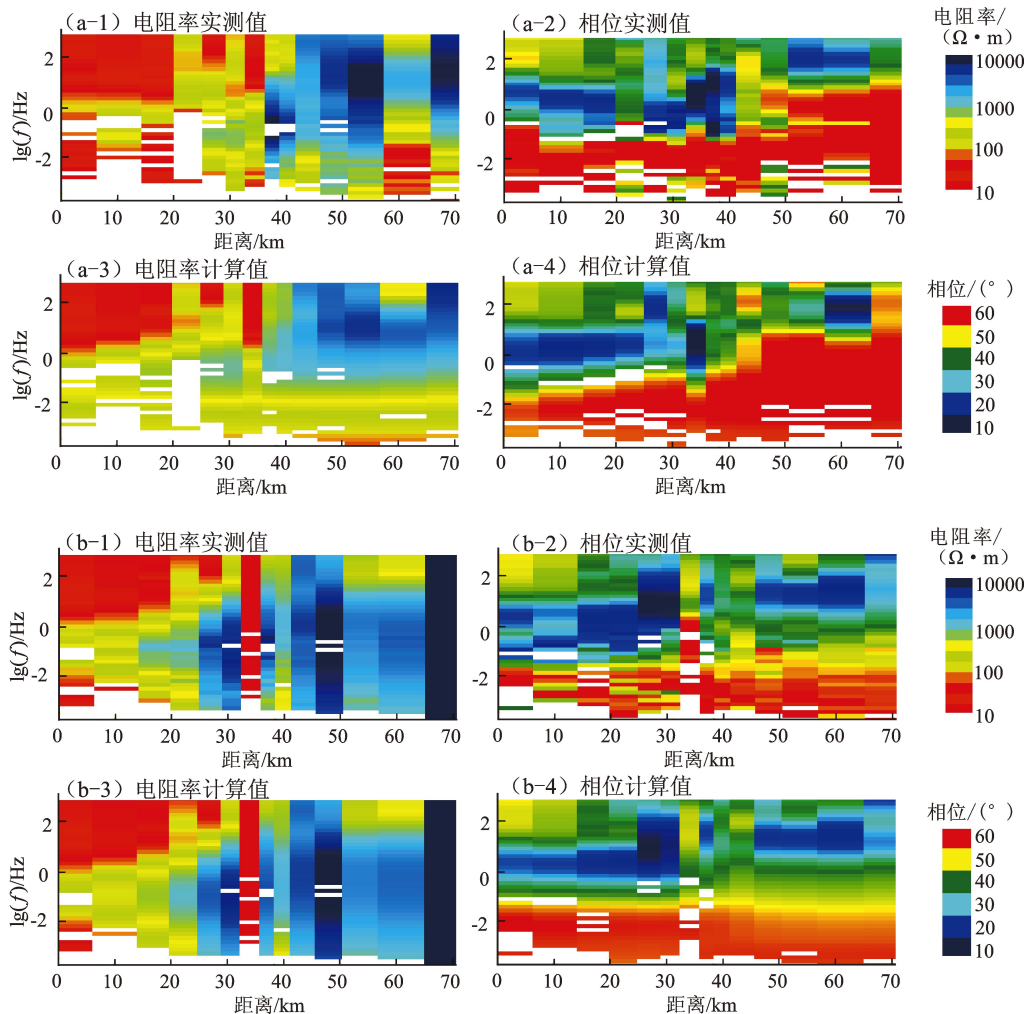


图4 TE (a) 和 TM (b) 极化模式实测和响应对比图

Fig. 4 Comparison of the measured values and the calculated values obtained by TE polarization mode (a) and TM polarization mode (b)

3 分析与讨论

沿剖面 60 km 深度的二维电性结构图像和解译如图 5 所示, 图中标注了依兰—伊通断裂带舒兰段的实际位置及其在地下可能的分布情况。

如图 5 所示, 整体上看, 研究区表现出明显的东西横向分块的特点, 在电性差异最大的区域正好对应着依兰—伊通断裂的穿过位置, 其中松辽盆地和那单哈达岭地体以高阻体为主, 依兰—伊通断裂带穿过位置以中低阻结构为主, 将其分别标注为 R1, R2 和 C。其中松辽盆地浅部存在着约 1 ~ 2 km 深的低阻层, 呈明显的层状分布, 向东延伸至依兰—伊通断裂带附近截

止。结合野外实际观测, 我们推测这些低阻层是新生代沉积层较厚所致, 与二维偏离度角 $|\beta|$ 显示的该区域浅表为一维或者二维层状结构相对应。研究区东侧的那单哈达岭地块浅部存在类似的高阻层, 与该地区基岩出露的现象相对应。松辽盆地浅层低阻之下存在着延伸超过 40 km 的高阻基地 (R1), 该深度可能超过了莫霍面, 这表明松辽盆地下方构造相对稳定。研究区东侧的那单哈达岭地块自浅表至中下地壳也表现为较为完整的高阻体, 且呈现出西浅东深的铲向高阻体特点。高阻层之下以中低阻结构为主, 该中低阻结构延伸至依兰—伊通断裂下方, 并向上延伸至 5 km 深度。

如上所述, 松辽盆地和那单哈达岭地块的电性构造特征差异较大, 显示出这两个地块可能分

属不同的构造单元,图5中显示的分布特征也表明依兰—伊通断裂带舒兰段是一条切割地壳尺度的深大断裂。为了确定该断裂段的具体位置,我们在该区域进行了加密观测,确定出该断裂段的准确位置位于 SLL1-08A 测点附近,这与地震地质调查认为的断裂可能穿过区域相吻合(图1)。该断裂表现为宽度约为 5 km 的中低阻结构,向下延伸至莫霍面,表明该断裂可能贯穿了整个地壳尺度。依兰—伊通断裂带舒兰段整体特点为断裂以较窄的中低阻结构夹在东西两侧高阻体之中,高阻体更容易累积构造应力,中低阻结构易于发生塑性变形,呈现出极为不稳定的构造特点。结合中国大陆其他容易发生大地震的活动断裂区的大地电磁探测结果(Zhao *et al.*, 2012; Cai *et al.*, 2017; 赵凌强等, 2019, 2020, 2022a, b; 詹艳等, 2021; 操聪等, 2022), 推测依兰—伊通断裂带舒兰段主断裂这种分布特点不但有利于应力累积,还可能在长期的摩擦锁定期内,进一步促进地震的发生。

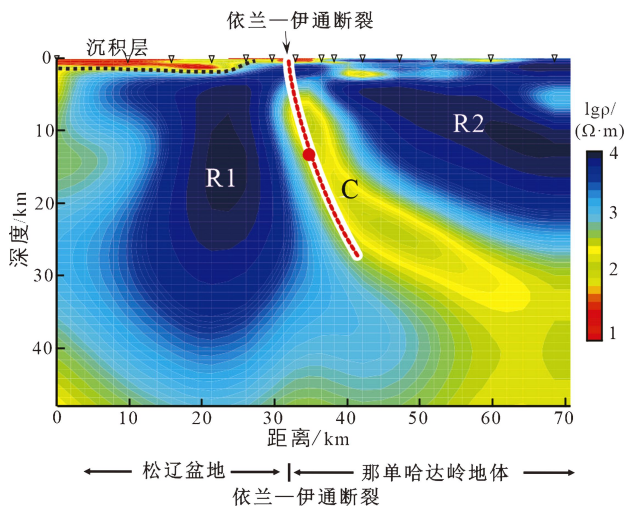


图5 深部电性结构图和解译图

Fig. 5 Deep electrical structure and interpretation of profile along the Shulan section of the Yilan-Yitong fault zone

4 结论

本文对一条在穿过依兰—伊通断裂带舒兰段的大地电磁剖面上获取到的数据进行了精细化处理和二维反演,获得了该断裂带及其两侧地块的

深部电性结构特征,得出以下主要结论:

(1) 电性结构模型显示,大致以依兰—伊通断裂带为分界,断裂带两侧的松辽盆地和那单哈达岭地块表现为两种不同的电性结构特征:断裂西侧的松辽盆地浅部电性表现为低阻,层状分布明显,中下部电性表现为高阻体;东侧的那单哈达岭地块表现为自西向东由浅至深的铲状高阻体,这种电性结构特征可能指示这两个地块分属不同的构造单元。

(2) 依兰—伊通断裂带舒兰段为向下延伸至莫霍面的低阻结构,呈现出高低阻梯度带的特征,强度较大易于应力积累,发生运动变形。结合中国大陆其他活动断裂区的大地电磁探测结果,未来需要注意其地震孕育的风险。

参考文献:

- 蔡军涛,陈小斌. 2010. 大地电磁资料精细处理和二维反演解释技术研究(二)——反演数据极化模式选择[J]. 地球物理学报, 53(11): 2703-2714.
- Cai J T, Chen X B. 2010. Refined techniques for data processing and two-dimensional inversion in magnetotelluric II: which data polarization mode should be used in 2D inversion? [J]. Chinese Journal of Geophysics, 53(11): 2703-2714. (in Chinese)
- 操聪,赵凌强,党昊,等. 2022. 内蒙古狼山山前断裂中段大地电磁探测研究[J]. 大地测量与地球动力学, 42(9): 976-979.
- Cao C, Zhao L Q, Dang H, *et al.* 2022. Study on magnetotelluric detection of the middle section of Langshan piedmont fault in inner Mongolia [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 42(9): 976-979. (in Chinese)
- 陈乐寿,王光镠. 1990. 大地电磁测深法[M]. 北京:地质出版社, 10-15.
- Chen L S, Wang G E. 1990. Magnetotelluric sounding[M]. Beijing: Geological Publishing House, 10-15. (in Chinese)
- 陈小斌,赵国泽,詹艳. 2004. MT资料处理与解释的Windows可视化集成系统[J]. 石油地球物理勘探, 39(S1): 11-16.
- Chen X B, Zhao G Z, Zhan Y. 2004. A visual integrated windows system for MT data processing and interpretation[J]. Oil Geophysical Prospecting, 39(S1): 11-16. (in Chinese)
- 邓起东,张培震,冉勇康,等. 2003. 中国活动构造与地震活动[J]. 地学前缘, 10(S1): 66-73.
- Deng Q D, Zhang P Z, Ran Y K, *et al.* 2003a. Active tectonics and earthquake activities in China[J]. Earth Science Frontiers, 10(S1): 66-73. (in Chinese)
- 荆凤,申旭辉,洪顺英,等. 2006. 基于遥感技术研究依兰伊通断裂带[J]. 地震, 26(3): 79-84.
- Jing F, Shen X H, Hong S Y, *et al.* 2006. A study on Yilan-Yitong fault zone based on remote sensing technology[J]. Earthquake, 26(3): 79-84. (in Chinese)

- 闵伟,焦德成,周本刚,等. 2011. 依兰—伊通全新世活动的新发现及其意义[J]. 地震地质, 33(1): 74–79.
- Min W, Jiao D C, Zhou B G, *et al.* 2011. The significance of discovery on Holocene activity on the Yilan-Yitong fault in northeast china[J]. Seismology and Geology, 33(1): 74–79. (in Chinese)
- 疏鹏,闵伟,刘玉刚,等. 2014. 依兰—伊通断裂方正段晚第四纪以来的构造活动及其地貌表现[J]. 震灾防御技术, 9(2): 226–237.
- Shu P, Min W, Liu Y G, *et al.* 2014. Tectonic activity and geomorphic features of the Fangzheng section of Yilan-Yitong fault in the late quaternary period[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 9(2): 226–237. (in Chinese)
- 余中元,张培震,闵伟,等. 2016. 依舒断裂尚志段晚全新世以来的强震复发间隔:来自古地震与历史文献的约束[J]. 地震地质, 38(4): 844–861.
- Yu Z Y, Zhang P Z, Min W, *et al.* 2016. Lake Holocene average recurrence interval of great earthquakes of shangzhi part of the Yilan-Yitong fault zone, nechina: Constraints from paleo-earthquakes and historical written records[J]. Seismology and Geology, 38(4): 844–861. (in Chinese)
- 詹艳,梁明剑,孙翔宇,等. 2021. 2021年5月22日青海玛多 $M_s 7.4$ 地震深部环境及发震构造模式[J]. 地球物理学报, 64(7): 2232–2252.
- Zhan Y, Liang M J, Sun X Y, *et al.* 2021. Deep structure and seismogenic pattern of the 2021. 5. 22 Maduo (Qinghai) $M_s 7.4$ earthquake[J]. Chinese Journal of Geophysics, 64(7): 2232–2252. (in Chinese)
- 赵凌强,孙翔宇,詹艳,等. 2022a. 2022年1月8日青海门源 $M_s 6.9$ 级地震孕震环境和冷龙岭断裂分段延展特征[J]. 地球物理学报, 65(4): 1536–1546.
- Zhao L Q, Sun X Y, Zhan Y, *et al.* 2022a. The seismogenic model of Menyuan $M_s 6.9$ earthquake on January 8, 2022, Qinghai Province and segmented extensional characteristic of the Lenglongling fault[J]. Chinese Journal of Geophysics, 65(4): 1536–1546. (in Chinese)
- 赵凌强,詹艳,孙翔宇,等. 2019. 利用大地电磁技术揭示2016年1月21日青海门源 $M_s 6.4$ 地震隐伏地震构造和孕震环境[J]. 地球物理学报, 62(6): 2088–2100.
- Zhao L Q, Zhan Y, Sun X Y, *et al.* 2019. The hidden seismogenic structure and dynamic environment of the 21 january Menyuan, Qinghai, $M_s 6.4$ earthquake derived from magnetotelluric imaging[J]. Chinese Journal of Geophysics, 62(6): 2088–2100. (in Chinese)
- 赵凌强,詹艳,王庆良,等. 2020. 祁连山东端冷龙岭隆起及邻区深部电性结构与孕震构造背景[J]. 地球物理学报, 63(3): 1013–1025.
- Zhao L Q, Zhan Y, Wang Q L, *et al.* 2020a. The deep electrical structure and seismogenic background of Lenglongling uplift and its adjacent areas in the eastern and of Qilian Mountains[J]. Chinese Journal of Geophysics, 63(3): 1013–1025. (in Chinese)
- 赵凌强,詹艳,王庆良,等. 2022b. 大地电磁数据揭示的1303年洪洞8级地震区精细结构和孕震环境[J]. 地震地质, 44(3): 686–700.
- Zhao L Q, Zhan Y, Wang Q L, *et al.* 2022b. The seismogenic structure of the 1303 Hongtong $M 8$ earthquake inferred from magnetotelluric imaging[J]. Seismology and Geology, 44(3): 686–700. (in Chinese)
- Bibby H M, Caldwell T G, Brown C. 2005. Determinable and non-determinable parameters of galvanic distortion in magnetotellurics[J]. Geophys, 163: 915–930.
- Cai J T, Chen X B, Xu X W, *et al.* 2017. Rupture mechanism and seismotectonics of the $M_s 6.5$ Ludian earthquake inferred from three-dimensional magnetotelluric imaging[J]. Geophys, 44: 1275–1285.
- Caldwell T G, Bibby H M, Brown C, *et al.* 2004. The magnetotelluric phase tensor[J]. Geophys J Int, 158: 457–469.
- Gu C C, Zhu G, Zhang M T, *et al.* 2016. Features and origin time of Mesozoic strike-slip structures in the Yilan-Yitong Fault Zone [J]. ChinEarth Sci, 59: 2389–2410.
- Gu C, Zhu G, Zhang S, *et al.* 2017. Cenozoic evolution of the Yilan-Yitong graben in NE China: an example of graben formation controlled by pre-existing structures[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 146: 168–184.
- Heise W, Caldwell T G, Bibby H M, *et al.* 2008. Three-dimensional modelling of magnetotelluric data from the Rotokawa geothermal field, Taupo Volcanic Zone, New Zealand [J]. Geophys J Int, 173: 740–750.
- Min W, Liu Y G, Jiao D C, *et al.* 2013. Evidence for Holocene activity of the Yilan-Yitong fault, northeastern section of the Tan-Lu fault zone in northeast China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2: 207–216.
- Yu Z Y, Yin N, Shu P, *et al.* 2018. Late Quaternary paleoseismicity and seismic potential of the Yilan-Yitong fault zone in NE China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 151: 197–225.
- Yu Z, Zhang P, Min W, *et al.* 2017. Late Holocene slip rate and average recurrence interval of great earthquakes on the Shangzhi segment of the Yilan-Yitong fault zone, northeastern China: Constraints from paleo-earthquakes and historical written records [J]. Island Arc, e12231.
- Zhao G Z, Unsworth M J, Zhan Y, *et al.* 2012. Crustal structure and rheology of the Longmenshan and Wenchuan $M_w 7.9$ earthquake epicentral area from magnetotelluric data [J]. Geology, 40(12): 1139–1142.
- Zhu G, Hu W, Song L S, *et al.* 2015. Quaternary activity along the Tan-Lu fault zone in the Bohai Bay, East China: Evidence from seismic profiles [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 114: 5–17.

Study on Deep Electrical Structure Characteristics of the Shulan Section of the Yilan-Yitong Fault Zone

CAO Cong^{1,2}, ZHAO Lingqiang², QI Yanfu¹, LU Hong Bin², ZHENG Yong², YANG Xiong²

(1. School of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

(2. The Second Monitoring and Application Center, China Earthquake Administration, Xi'an 710043, Shaanxi, China)

Abstract

The Yilan-Yitong fault zone is an important boundary of the China-Mongolia active block and the China-Korea active block, and it is the largest fault system in Northeast China. The latest research results show that the Shulan segment of the Yilan-Yitong fault zone was intensively active in the Holocene, which challenges the previous conclusion that the fault activity in the Holocene was weak. In this paper, a broadband magnetotelluric profile data obtained at 14 measuring sites across the Shulan section of the Yilan-Yitong fault zone have been refined and inversed in 2D space, and the characteristics of the deep electrical structure along the Shulan section of the Yilan-Yitong fault zone have been obtained. The characteristics of the deep electrical structure of the blocks on both sides of the Shulan section have been obtained too. The results show that the electrical structure of the Shulan section and its adjacent areas is characterized by East-West lateral blocking; the main fault of the Shulan section is embedded in the unstable medium-low-resistivity bands extending to the middle-lower-crust, on east side and west side of the Shulan section there exist the high-resistivity bodies. Referring to the magnetotelluric detection results of other active-fault areas in Chinese Mainland, we speculate that the electrical structure feature of the Shulan section is conducive to stress accumulation and faulting. There exists earthquake risk in this area in the future.

Keywords: magnetotellurics; electrical structure; the Yilan-Yitong fault zone; the Shulan section