

松潘—阿坝地区深部电性特征

陈 高^{1,2}, 吴健生³, 于 鹏³

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国石油化工股份有限公司南方勘探开发分公司, 云南昆明 650200

3. 同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092

摘要: 针对青藏高原东部特殊的“三角形”区域——松潘—阿坝地区, 通过两条测线的 MT 资料分析和反演, 对其深部电性特征进行了揭示, 发现松潘—阿坝区中深层构造较为稳定, 层状特点明显, 地下电性横向变化小, 具有稳定地块的特点。这里存在壳内低阻层, 厚度近 10~20 km; 深部(岩石圈地幔内部)的电性结构也有两种类型: 高阻异常区和具有幔内低阻层的次高阻异常区, 全区岩石圈厚度在 120 km 左右, 其四周由深断裂与邻区接触。该区深部电性特征不同于龙门山隆起的电性结构, 也不同于西秦岭构造带, 后者具有高阻基底, 岩石圈厚度或更薄或加厚。

关键词: 松潘—阿坝地区; MT 资料; 深部电性特征。

中图分类号: P631.3

文章编号: 1000-2383(2006)06-0857-04

收稿日期: 2006-03-15

Electrical Property of Deep Structure in Songpan-Aba District

CHEN Gao^{1,2}, WU Jian-sheng³, YU Peng³

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Southern Exploration & Production Company, SINOPEC, Kunming 650200, China

3. Faculty of Marine and Earth Sciences, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract: The magnetotelluric sounding (MT) surveying was recently conducted in the Songpan-Aba district in the north-west of Sichuan, a “delta” specific to the eastern part of the Tibetan plateau. The analysis of the two crossed MT inversion sections reveals a relatively stable block in the middle and deep structures of the Songpan-Aba district with conspicuous layers and few changes in electrical property. A low-resistivity layer about 10–20 km deep was found inside the crust. The electrical property of the deep layer (inside the mantle of the lithosphere) is classified as two types: the high-resistivity anomaly zone and the sub-high-resistivity anomaly zone with the low-resistivity layer inside the mantle. The corresponding lithosphere is about 120 km, so that the deep faults of the district contact their adjacent zones in all directions. The value of resistivity below the crust and upper mantle of the lithosphere is lower than that in its adjacent zones. The electrical property of the deep layer in this district is different from that in the uplifted Longmen Mountain, and also from that in the West Qinling structural zone characterized by both the high-resistivity basement and the thicker or thinner lithosphere.

Key words: Songpan-Aba district; magnetotelluric sounding (MT) data; electrical property of deep structure.

在青藏高原东部的川西北及邻区, 近东西—北西西向的西秦岭褶皱带, 近北东向的龙门山褶皱带和近北西向的三江褶皱带三者交汇形成一个特殊的“三角形”区域——松潘—阿坝地区(四川省地矿局, 1991; 蔡立国等, 1993)。这里, 地表大面积出露中上

三叠统及上三叠统地层, 人们在探索其成因, 解释其与周边褶皱带的关系时, 离不开对深部地质构造特征的认识。但由于各种原因, 这里的地球物理调查相对薄弱, 深部地质构造特征的研究程度还有待深入。“七五”期间完成的四川秀山—阿坝地学断面北段通

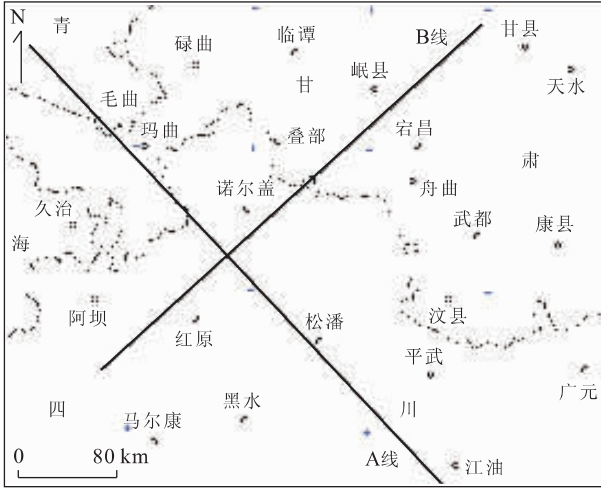


图 1 研究区及测线位置

Fig. 1 Studied area and the position of the survey profiles

过这一地区(杨华等, 1991), 揭示这里上、中地壳层速度比龙门山断裂带以东地区高 0.1~0.2 km/s, 整个地壳厚度厚约 20 km, 增厚主要发生在上、下地壳层; 同时, 在中地壳层存在 5~7 km 厚的低阻带, 埋深一般为 22 km、最深为 34 km, 电阻率几至几十欧姆米。此外, 在宏观上给出龙门山重力梯度带的地质解释及两侧岩石圈结构的差异, 岩石圈厚度在龙门山断裂带以西为 116~148 km, 龙门山断裂带以东为 84~90 km。

近年来人们注意到这一地区地处特提斯含油气带的东段, 东邻天然气工业基地——四川盆地, 其油气远景倍受关注。中石化南方勘探开发分公司于 2002 年在该区部署了沿测线的 MT 和重磁力调查。本文通过两条区域 MT 剖面(图 1)低频资料的分析、反演和解释, 在揭示深部电性特征的同时, 分析了本区深部构造特征及其与相邻单元的关系。

1 地层和岩石电性

将要讨论的两条 MT 剖面, A 测线由东南至西北经过龙门山隆起、后龙门山低隆起、松潘—阿坝区; B 测线由南西至北东经过黑水凸起、松潘—阿坝区、西秦岭南部隆起。

在野外对出露的岩石直接进行电阻率测定, 结果表明: 各种灰岩和变质石英砂岩的电阻率最高, 可达数千欧姆米以上; 其次是砂砾岩、砂岩、硅质岩、细砂岩的电阻率为几百欧姆米, 一般大于 300 Ω·m; 而板岩、千枚岩、石英砂岩的电阻率在 300 Ω·m 以

下; 含炭质硅质岩电阻率最低, 电阻率均值仅为几欧姆米。火成岩(侵入岩)属中阻特征, 其电阻率为数百欧姆米。

地表上, 松潘—阿坝地区大面积为中上三叠统及上三叠统覆盖区, 元古界、古生界出露在周边和褶皱带处。前震旦系的碧口群是一套变质火山岩、火山碎屑岩和沉积岩组合, 最大出露厚度为 1.6×10^4 m; 电性上, 总体属于中—高阻层。下震旦统为变砂岩、石英千枚岩、板岩, 厚度变化大, 600~4 000 m; 电性上, 总体属于中—低阻层。上震旦统下部为变质石英砂岩夹板岩, 上部以白云质灰岩、白云岩为主, 厚 500~600 m; 电性上属于高阻层。寒武系至志留系, 以炭硅质板岩、硅质岩及炭质板岩为主, 奥陶系、志留系夹有灰岩, 厚度可达上万米(分别为 2 000 多米、3 000 多米、4~5 km)。其中在松潘—阿坝地区的奥陶系发生相变, 下部为变质的石英砂岩, 上部为板岩夹结晶灰岩。电性上以砂岩为主的地层呈现中、低阻, 以灰岩为主的地层呈现高阻, 总体属于中阻层。泥盆系至早三叠统为稳定台地组合, 下部为石英砂岩、含砾岩屑砂岩, 向上为灰岩、生物碎屑灰岩, 厚 1~3 km。电性上为高阻层。中、晚三叠世发育大规模浊流沉积, 由砂、泥岩的韵律层构成大套的浊积岩系, 以中三叠统和上三叠统下部最发育, 厚 3~6 km。电性上呈现中、低阻特征。侏罗系—第四系主要为山间断陷小盆地中的河湖、沼泽相的粗碎屑岩沉积, 分布局限。其电性变化较大, 通常为中、低阻特点。其中, 中上侏罗统和下白垩统为火山岩组, 表现出高阻特点。

2 MT 资料的定性分析

2.1 MT 曲线特征

松潘—阿坝区 MT 曲线基本以 HK 型为特征(图 2), 反映了地下高一低—高一低的电性结构。据地表露头岩层和上文岩石电性资料, 上部低阻电性层可能是以三叠系为主的砂泥岩浊流沉积的反映。按近似公式推算, 下部低阻电性层埋深已达 20~30 km, 可能是壳内低阻层的反映。两支视电阻率曲线在观测频段基本重合或同步变化, 高频翼由于浅部地层电性变化可能出现次一级波动, 曲线或变成 KHK 型和 K 型, 反映测线经过地区中深层构造较为稳定, 层状特点明显, 地下电性结构横向变化小, 具有稳定地块特点。围绕松潘—阿坝区四周的 MT

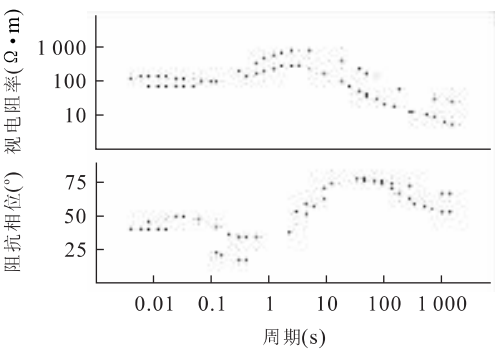


图 2 松潘—阿坝区 HK 型 MT 曲线特征

Fig. 2 HK type MT curves of Songpan-Aba area

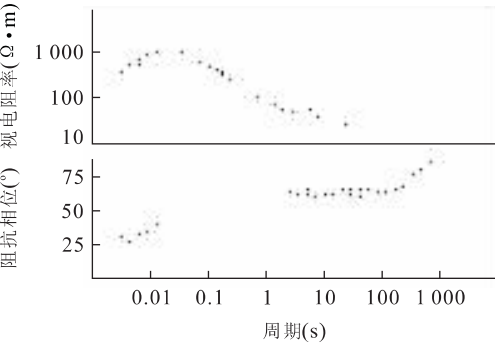


图 3 西秦岭南部隆起与松潘—阿坝区交接处 MT 曲线特征

Fig. 3 MT curves in the adjacent area of south uplift area of West Qinling and Songpan-Aba area

曲线或表现为上下两支 MT 曲线差异很大,或 MT 曲线低频段在双对数坐标上呈接近 450 渐近线趋势衰减(图 3)。反映地下深部为低阻基底,推测是深部断裂带的反映。

2.2 阻抗断面图的特征

由视电阻率断面图(图 4a)可见,在松潘—阿坝区基本在 1~0.01 Hz 频段出现很强的高阻带,0.01 Hz 以下的频段则出现相对的低阻带。高阻带不仅连续性好,并且频段范围往西北方向增大。上部高频段也有一定强度的高阻体断续出现,具有一定的连续性。

在后龙门山低隆起,上述在 1~0.01 Hz 频段的高阻带连续性较差,断续分布。这一高阻带强度往东南方向逐渐减弱,并有往高频段上翘的特点;在与龙门山隆起交接处,中、低频段出现明显的低阻带分布。以 1~0.01 Hz 频段的高阻带为标志,松潘—阿坝区与后龙门山低隆起的深部分界不在地表分界(剖面 200 km 处)的下方,而是在后龙门山低隆起内部,地表分界东南面 45 km(剖面 155 km 处)。这里

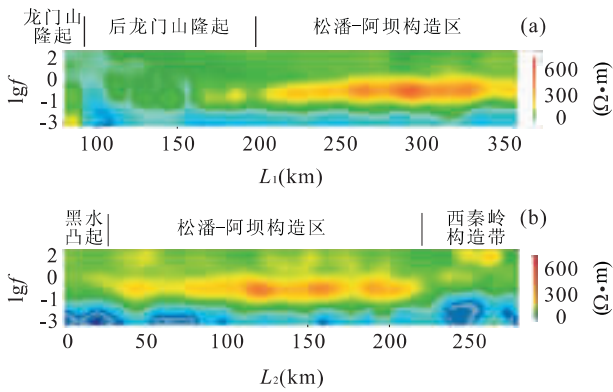


图 4 A 线(a)和 B 线(b)视电阻率断面图

Fig. 4 Cross-sections of apparent resistivity of survey profiles A and B

恰好在中、低频段出现明显的低阻带分布。

在龙门山隆起,断面上部为低阻层,中频段为次高、次低阻体纵向相间,低频段为高阻层。

B 线上支视电阻率断面图(图 4b)揭示,在黑水凸起处,上支视电阻率断面总体为高频端为高阻层分布,低频端为低阻层分布,在中、低频段出现次一级的高阻层分布;在松潘—阿坝区,突出表现在中频段有强度大、连续性好的高阻层分布。此外,低频端通常分布着比高频端分布的低阻层电阻率值更低的低阻层。在它的西南端,西秦岭南部隆起段表现为在高频段分布着连续性较好、具有一定强度的高阻层。

上述剖面特征反映了松潘—阿坝区在中、低频段存在稳定的高阻层分布,它具有强度大,连续性好的特点。这一标志是松潘—阿坝区明显区别相邻构造单元的重要特征,也反映了本区具有相对稳定地块的特点。

3 MT 资料的反演与解释

采用了大地电磁偏移成像方法和带约束的 MT 模拟退火等反演方法(于鹏等,2001;杨辉等,2002)对 MT 资料进行了反演处理,并在物性等资料控制下对反演结果进行了综合地质解释(图 5,6)。

图 5 是 A 线 MT 资料反演结果,它揭示了地表至 140 km 埋深处的地下电性结构。由图可见:(1)在龙门山隆起处,50 km 埋深之下视电阻率较大。50 km 埋深之上,有一低阻块,低阻块顶深约 6 km,底深约 50 km,视电阻率约几至数十欧姆米。该区西北端分布有较陡立、切割到 110 km 左右的低阻带,

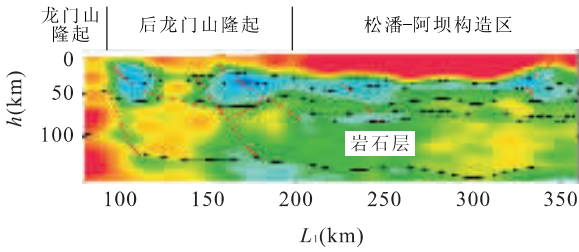


图 5 A 线 MT 资料反演结果断面图

Fig. 5 MT inversion result of profile A

上部实线为莫霍面,下部实线为岩石层底界面,两条虚线之间为低阻层

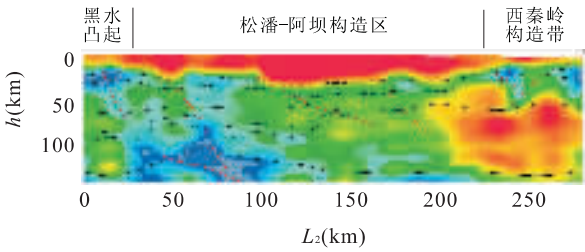


图 6 B 线 MT 资料反演结果断面图

Fig. 6 MT inversion result of profile B

上部实线为莫霍面,下部实线为岩石层底界面,两条虚线之间为低阻层

为青山—平武断裂的反映。(2)在后龙门山低隆起处,50 km 之下岩层视电阻率较大,可进一步分成两部分:靠龙门山隆起段这一部分主要低阻层出现在 110 km 埋深处,其上的岩层以 40 km 为界分成上部完整的高阻块和下部夹有相对的低阻块。另一段主要低阻层出现在 15~55 km 和 90~140 km 深度两处,而 20 km 以上为完整的高阻块,35 km 到 90 km 则是次低阻块。(3)在松潘—阿坝区,地下 20~30 km 之上为完整的高阻块,其下分布着厚度为近 10 km 的低阻层。这一低阻层往东南方向埋深逐渐变浅,在后龙门山低隆起处东南段已近于地表。这里地表出露的岩层是三叠系,低阻层之下,分布着厚度约 70~80 km 左右的次高阻层。这一次高阻层内部,在地下 60~70 km 处可进一步识别和追踪出一个低阻层分布。这一次高阻层下面分布着另一更低阻的电性层,解释为软流层。由图可见松潘—阿坝区与后龙门山低隆起间出现低阻带,一直影响到 90 km 埋深处,并成为这一深度间两侧不同电性特征的分隔线。这里与红原东断裂相呼应。

对 A 线电性结构可以得到以下认识:浅部 20 km 以内是上部地壳高阻层;之下分布着 10~20 km 厚的壳内低阻层,该层与地震测深得到的低速度相当;壳内低速度之下与莫霍面之间为下部地壳次高阻层;结合重力反演得到的莫霍面埋深从东南到西北深度从 45 km 变化到 60 km。莫霍面之下的岩石圈地幔,在龙门山构造带和后龙门山低隆起之下为高阻异常区;松潘—阿坝区之下为次高阻异常区,并可进一步识别和追踪出一个低阻层分布。岩石圈底界面从剖面东南 100 km 变化到剖面西北 130 km,此界面以下为软流圈。

对 B 线电性结构的分析也可以得到以下认识:地下 20~30 km 之上为上部地壳高阻层;在上部地壳高阻层之下为厚度 10~20 km 左右的与壳内低速

层对应的壳内低阻层;在壳内低阻层与莫霍面之间为下部地壳次高阻层;结合重力反演得到的莫霍面从剖面西南至东北,深度从 59 km 变化到 50 km。莫霍面之下为岩石圈地幔,该层在横向上电阻率变化较大。从剖面西南端开始,巴颜喀拉构造带黑水凸起之下为相对高阻异常区。松潘—阿坝区之下主体为相对高阻异常区。但在靠黑水凸起这一区域岩石圈地幔的高阻特征不明显,解释为深部断裂构造作用的影响。在西秦岭构造带之下主体为高阻异常区。岩石圈底界面从西南到东北起伏变化,在西秦岭构造带和黑水凸起处埋深较大,130 km 左右。在松潘—阿坝区埋深较浅,110~120 km 左右,浅埋区出现在上述靠黑水凸起高阻特征不明显的地区。岩石圈地幔内部的低阻层见于黑水凸起和松潘—阿坝区靠黑水凸起高阻特征不明显的地段,厚度一般为 10 km,埋深在 70 km 左右。说明松潘—阿坝区深部(岩石圈地幔内部)的电性结构也有两种类型。

4 结论

通过两条区域大地电磁测深资料的定性分析和定量反演,发现:(1)松潘—阿坝区中深层构造(一直至地下 20~30 km 深处)较为稳定,层状特点明显,地下电性横向变化小,具有稳定地块的特点,其四周由深断裂与邻区接触。(2)松潘—阿坝区深部(岩石圈地幔内部)的电性结构也有两种类型:相对高阻异常区和具有幔内低阻层的次高阻异常区。其深部电性特征不同于龙门山隆起的电性结构,也不同于西秦岭构造带。(3)松潘—阿坝区壳内存在低阻层,埋深为 20~30 km 左右,厚度近 10~20 km。岩石圈底界面埋深沿剖面上变化于 100~120 km 间。

(下转 878 页)