玛曲一北川 MT 大剖面及川西北地壳结构初探

黄锐1,李爱勇2,朱春生2,杨生3

(1. 中国石化油田勘探事业部,北京 100728;

2. 江苏省有色金属华东地质勘查局八一四队,江苏南京 212005;

3. 有色金属矿产地质调查中心,北京 100012)

摘 要:通过玛曲一北川 MT 勘探大剖面,揭示了沿线上地壳、下地壳、上地幔的空间展布与构造特征。认为上地壳盖层与基底之间存在一个自华北地块向龙门山方向的巨型推覆构造;上地壳,尤其 是结晶基底的厚度制约了地块的稳定性;壳内低阻层起伏、莫霍面的隆坳与地块的稳定性相关。 关键词:大地电磁测深法;剖面勘探;二维反演;层圈结构

中图分类号:P313.23 文献标识码:A 文章编号:1000-0844(2010)04-0334-05

Maqu-Beichuan MT Profiling and Preliminary Investigation of Crustal Structure in Northwest Sichuan, China

HUAN Rui¹, LI Ai-yong², ZHU Chun-sheng², YANG Sheng³

(1. Oil filed Exploration and Development DEPT. Beijing 100728, China;
2. Team 814, East China Bureau of Noneferometal Geological Exploration, Nanking 212005, China;
3. China Nonferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China)

Abstract: The Magnetotelluric exploration profile of Maqu—Beichuan shows the extent and structure characters of upper crust, lower crust and upper mantle along the sections. First, there exists a large nappe structure from north China block to Longmenshan tectonic belt between the overlying strata of upper crust and basement. Second, the thickness of upper crust, especially the one of crystalline basement, limits the stability of blocks. Third, the relief of low-resistivity layer in the crust and the swell or sag of Moho are close correlative to the stability of blocks.

Key words: Magnetotelluric sounding; Profile exploration; 2D inversion; Structure of layer circles

0 引言

为了对松潘一阿坝地区进行油气勘探早期评价 提供基础资料,中石化股份有限公司南方勘探开发 分公司在该区部署了多条 MT 剖面,以研究区内 中、古生界的空间展布、基底埋藏,推断区内主要断 裂的性质和规模,探讨上地幔以上地层的深部构造。 玛曲一北川 MT 大剖面是其中的一条,剖面地跨青 海、甘南、川北地区,自北向南经陇西秦岭、川西草 原,至四川盆地。本文介绍这条 MT 大剖面探测的 结果,并据此对研究区的地壳结构进行分析讨论。

1 剖面地质、地球物理概况

剖面西起玛曲西北约 50 km 处,经唐克、松潘, 终止于北川,全长 477 km。共布设了 240 个 MT 测 深点,平均点距 2 km,剖面点位见图 1。

测线北端为南秦岭断褶带;摩天岭、龙门山为断 褶带,南与四川盆地相接;川西草原三叠系广为覆 盖,印支期褶皱发育,具有与扬子地块共同的基底, 为"大扬子"古陆块的组成部分^[1-2]。沿线地层发育 较为齐全。震旦系至下古生界厚约 5 000~7 000 m,主要为含碳质泥板岩、硅质岩、夹砂砾岩、碳酸盐 岩盆地相一陆棚相沉积;上古生界厚约 2 500~





7 000 m,主要为碳酸盐岩台地相沉积;三叠系最厚 逾 7 000 m,为砂泥质岩夹碳酸盐岩的陆缘相沉积; 侏罗系至第三系为陆相洼地火山岩、煤系、泥砂岩。

物性参数通过3种方法获得:标本电阻率测定、 MT首支视电阻率统计和以往该区物探工作的成果 收集。沿线地层宏观上电阻率特性:浅洼沉积为低 阻,为20~200 Ωm;三叠系为中阻,100~500 Ωm; 上古生界为高阻,250~2 800 Ωm;下古生界为中一 中低阻,50~340 Ωm;元古界基底为中阻,160~450 Ωm。深层岩石已不可能取得实测数据,需以电性结 构变化予以追踪分层。

2 MT 资料处理与反演

野外资料采集所用的仪器是加拿大 PHOENIX 公司生产的 V5-2000 系统,每一个测点布设 5 个 电磁场分量(E_x 、 E_y 、 H_x 、 H_y 、 H_z),电场极距 200 m, 每点平均观测时间 10 个小时,傅立叶变换后的资料 频率范围为 320~0.000 5 Hz,共 40 个频点。因测 区地广人稀,工业不甚发达,人文干扰相对较弱,所 获得的原始资料质量良好,优良率 90%。检查点相 对离差小于 5%。所有测点均采用了远参考处理, 远参考点布设在陕西省汉中勉县,与测区中心相距 约 200 km。

大地地磁测深的资料处理与解释过程包括原始 资料的预处理、资料的定性分析、定量解释、综合推 断获得地质成果。

原始资料的预处理是资料处理解释工作的基础,其任务是取得可靠的阻抗张量要素,视电阻率、

阻抗相位及其它 MT 参数,主要任务是去噪处理和 静态校正。本次工作中消除噪声影响各测点均采用 了 Robust 处理^[3-6]和远参考相关处理^[7],同时对于 部分测点的高频畸变和"飞点"借助了相位资料进行 恢复^[8];静态校正采用了阻抗张量分解技术^[9-10]和 聚类相关低通滤波^[11]对阻抗要素实施校正,不仅保 证视电阻率及相位不受静态畸变影响,也保证了其 它 MT 参数的正确性。

定性分析是对实测曲线类型,总纵向电导以及 视电阻率一频率断面和相位一频率断面进行分析, 定性地把握测区的电性特征、基底隆凹变化、构造单 元区分、断裂分布及地层变化规律。图2和图3是 剖面 TE 极化模式的视电阻率一频率断面和阻抗相 位一频率断面,两断面具有较好的相关性,说明静态 改正是合理的。曲线类型主要为 HKH 型,反应了 电性为高一低一高的纵向变化特征。断面等值线的 横向突变、扭曲为构造单元的分界处和断层位置。

定量解释分别采用了 Bostick 反演,一维反演 和二维反演方法。Bostick 反演虽然是一种近似的 反演方法,但不需要初始模型,没有人为因素干预, 反演结果唯一,忠实于原始资料,对成果的分析与解 释具有一定的指导价值。一维反演采用的是 Occam 反演方法,二维反演采用了共轭梯度的方法。 多种方法的反演结果相互佐证以求推断解释结果的 客观准确性。图 4 是 TE 和 TM 极化模式联合二维 反演的电阻率断面。实测资料最低频 0.000 5 Hz 的平均视电阻率为 50 Ωm,勘探深度可达 110 km (根据 Bostick 反演公式),所以二维反演结果成图 作到了-100 km 的深度。

3 剖面电性及地壳结构特征

3.1 剖面电性特征及地质推断

纵向上剖面基本电性特征的变化为高、低、高。 上部高阻层主体电性在 100 Ω m 以上,高阻可达 1 000 Ω m 以上,低阻可达 50 Ω m,为上地壳地层(部 分浅变质)的电性层,高阻主体主要为上古生界碳酸 盐岩。高阻层下部的电性过渡层电阻率降低,约 20 ~100 Ω m 之间,反映前震旦系变质结晶基底。中 上部低阻层的电阻率<10~20 Ω m,薄层状连续分 布,空间上两端跷起中间凹下,为壳内低阻层(局部 高导)。中部过渡层由中上部低阻层向下部高阻层 过渡,有一较宽厚的电性梯度带,起伏形态与其上的 低阻层相近,属下地壳部分。下部高阻层电阻率 300~1000 Ω m,为上地幔部分。80 km 以下电性逐



图 2 玛曲一北川 MT 剖面 TE 极化模式视电阻率一频率断面图





图 3 玛曲—北川 MT 剖面 TE 极化模式阻抗相位—频率断面图

Fig. 3 Impedance phase-frequency section of Maqu-Beichuan magnetotelluric profile (TE mode).



图 4 玛曲-北川 MT 剖面 TE 和 TM 模式联合二维反演电阻率断面图

Fig. 4 2-D inversion resistivity section of Maqu-Beichuan magnetotelluric profile (TE&TM mode).

渐变小,应属受深部(深 100 km 以下)幔内高导的 影响而弱化。地质解释推断见图 5。 3.2 地壳层圈结构特征 壳内低阻层呈条带状纵贯剖面图中上部,厚约 2.5~5 km。南秦岭隆起带埋深达 48 km 左右,斜 坡状。川西盆地呈坳陷状,中部深约 40 km,边部浅 约 20 km。摩天岭、龙门山一带又呈隆起状,凸起高 处为 11 km 左右。四川盆地处于斜坡,埋深 20 km 以下。壳内低阻层局部呈高导状态,本剖面上埋深 11~36 km 之间,与中国区域壳内高导的一般埋深 15~30 km 接近。壳内低阻层的高导性一般认为与 壳内主导的滑覆拆离、高地热、岩石相态有关,而成 为上地壳与下地壳之间的界面。由此推测扬子地块 的上地壳相对较薄,其稳定性略次。壳内低阻层由 于其高地热的特性有人认为与居里面有关。





Fig. 5 Structure features of layer circles in the crust under the profile line.

上地壳位于壳内低阻层之上,分上、下两部分。 上部沉积盖层(Z、Pz、T)对应高阻主体,包括整个 中、古生界,底界起伏形态大致与壳内低阻层相近。 厚度上以川西草原最厚,四川盆地与南秦岭次之, 中、古生界地层齐全,厚13~17 km,龙门山最薄,约 3~4 km,仅有震旦系与下古生界地层。下部结晶 基底(AnZ)以元古界变质岩、岩浆岩组成结晶基底, 其厚度制约了上地壳的稳定性。扬子地块基底相对 较薄,其中川西草原较厚,约16 km,构成若尔盖地 块;而摩天岭、龙门山一带仅6~9 km。显然前者的 稳定性较后者为强。沉积盖层的构造烈度前者较后 者为次,反映川西草原所在若尔盖地块为次级稳定 的地块特征,成为川西盆地稳定的基地,盖层厚大, 构造相对舒展平缓,较其南北两侧单元简单。

盖层的主要断裂大部分深延至基底顶面滑脱 层,归结到由北秦岭向龙门山方向推移的巨型推覆 构造。南秦岭以 F₁ 为第二列推覆体;川西草地与摩 天岭以 F₂ 为第二列推覆体;摩天岭地区又以 F₃ 为 反冲推覆;龙门山断裂带以 F₄ 为巨型推覆体的前锋 带。

下地壳为壳内低阻层之下的过渡电性层,厚度 20 km 左右,较稳定。现代大地构造学认为其岩性 为高压状态下的酸性岩到中性岩之间的岩石,界于 类麻粒岩与闪岩。

上地幔厚约 40~60 km。深部 100 km 以下有 幔内高导出现的迹象。 下地壳与上地幔之间的莫霍面在该剖面上的起 伏形态呈二隆一坳:华北地块边缘南秦岭处于幔坡 (其北主体可能为幔坳),深度>58 km;川西草原处 于幔坳之上,深度为 51~51 km;龙门山一带为幔 隆,深度为 35 km。可见莫霍面的隆起与上地壳结 晶基底的消减、沉积作用的减弱、构造烈度的增强密 切相关。

4 结语

川西北区域性 MT 剖面经反演揭示的电性结 构十分清楚。垂直方向上分离出高、低、高为特征的 电性层,显示了层圈结构的上地壳、下地壳与上地 幔,以及其间的巨型推覆构造、壳内底阻层、莫霍面 的分布与特征。横向上展示了华北地块南缘及扬子 地块各次级构造区块的层圈埋深、厚度、隆坳形态及 其与地块的稳定性之间的联系。为揭示川西北的地 壳结构进行了初探,也显示出 MT 资料在大地构造 学探测方面的有效性。

[参考文献]

- [1] 黄邦强编.大地构造学基础及中国区域构造概要[M].北京: 地质出版社,1984.
- [2] 蔡立国,郑冰,刘建荣,等. 青藏高原东部石油地质基本特征 [M]. 南京:南京大学出版社,1993.
- [3] Egbert G D, Booker J R. Robust estimation of geomagnetic transfer functions, Geophys[J]. Roy. Astr. Soc., 1986, 87: 175-194.

第 32 卷

[4] Sutarno D, Vozoff K. Robust M-estimation of magnetotelluric impedance tensors[J]. Expl. Geophys., 1989, 20, 383-398.

- [5] 林长佑,武玉霞,刘晓玲.大地电磁响应函数的除偏估算和误差的研究[J].西北地震学报,1988,10(3);25-38.
- [6] Chave A D, Thomson D J, Ander M E. On the robust estimation of power spectra, Coherences, and transfer functions[J]. Geophys. Res., 1987, 92: 633-648.
- [7] 杨生,鲍光淑,张全胜.远参考大地电磁测深法应用研究[J].物 探与化探.2002,26(1):61-66.
- [8] 杨生,鲍光淑,张少云. MT 法中利用阻抗相位资料对畸变视电

(上接 317 页)

4 结语

本文运用数学语言对四种映射原则进行阐述, 得到四种映射原则对应的数学映射关系;为方便地 震动衰减关系转换的数值计算,给出了计算流程;并 以美国西部为参考区,计算了云南地区的基岩水平 向地震加速度峰值衰减关系。所得结果表明本文给 出的四种数学映射关系和数值计算流程在转换过程 中是可行的,最小扭曲映射原则、最小扭曲可逆映射 原则得出的结果在某种程度上要优于 IR 映射原 则、IM 映射原则得出的结果。

[参考文献]

- [1] 胡聿贤,张敏政. 缺乏强震观测资料地区地震动参数的估算 方法[J]. 地震工程与工程振动, 1984,4(1):1-11.
- [2] 胡聿贤,周克森,阎秀杰.缺乏地震动加速度记录地区地震动

阻率曲线的校正[J]、地质与勘探。2001,37(6):42-45.

- [9] Bahr K. Interpretation of the magnetotelluric impedance tensor, regional induction and local telluric distortion [J], Geophys., 1989,62,119-129.
- [10] Groom R W, Bailay R C. Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presenc of local 3-D galvanic distortion[J]. Geophys. Res., 1989,94:1913-1925.
- [11] 许建荣.平面聚类静态校正法[J].石油地球物理勘探,2004, 39(6):720-723.

估计的映射法[J]. 地震工程与工程振动, 1996, 16(3); 1-10.

- [3] 汪素云,俞言祥,高阿甲,等.中国分区地震动衰减关系的确 定[J].中国地震,2000,16(2):99-106.
- [4] 孙崇绍. 西北黄土地区河谷城市地震动参数小区研究[J]. 西 北地震学报,2007,29(1): 3-11.
- [5] 唐丽华,李锰,王海涛. 伽师一巴楚地区中强地震加速衰减关系研究[J]. 西北地震学报,2007,29(4): 377-384.
- [6] Chandra U. Attenuation of intensities in the United States[J]. Bull. Seism. Soc. Amer., 1979, 69(6):2003-2024.
- [7] 俞言祥,汪素云.美国西部水平向基岩加速度反应谐衰减关系 [A]//新世纪地震工程与防震减灾[G].北京:地震出版社, 2002:559-565.
- [8] 俞言祥,汪素云.青藏高原东北地区水平向基岩加速度峰值 与反应谐衰减关系[J].地震学报,2004,26(6):591-600.
- [9] 俞言祥,汪素云.中国东部和西部地区水平向基岩加速度反应谱衰减关系[J].震灾防御技术,2006,1(3);206-216.

³³⁸