

Study on the Method of Identifying Dalat Fault by Using Deep Geophysical Detection Technology

Guangtao Li, Li Cheng, Gang Su*, Hao Wu

China Earthquake Disaster Prevention Center, Beijing
Email: 44439599@qq.com, *565894914@qq.com

Received: Oct. 9th, 2019; accepted: Oct. 23rd, 2019; published: Oct. 30th, 2019

Abstract

In the Dalat Banner in the Hetao Basin, the Quaternary sediments are continuous and complete, especially the upper part is mostly silt layer or medium-fine sand layer, and the sediment is compact. In addition to the shallow seismic exploration method, a variety of geophysical methods can be used to determine the location and age of the active locations and their ages of the buried faults in the basin. In this paper, the resistivity sounding method and the ground penetrating radar method are used to jointly determine the location of the fault and the age of activity. Firstly, the position of the Dalat fault is located by the resistivity sounding method. At the same time, the ground penetrating radar is used to measure the depth of the 15 m depth from the surface to the ground in the abnormal section of the electrical sounding to determine the depth of the upper breakpoint of the fault, further inferred the latest activity era of the fracture.

Keywords

Resistivity Sounding Method, Ground Penetrating Radar, Dalat Fault, Buried Depth of Upper Breakpoint

利用深浅地球物理探测技术识别达拉特断裂的方法研究

李光涛, 程理, 苏刚*, 吴昊

中国地震灾害防御中心, 北京
Email: 44439599@qq.com, *565894914@qq.com

收稿日期: 2019年10月9日; 录用日期: 2019年10月23日; 发布日期: 2019年10月30日

*通讯作者。

摘要

在河套盆地内的达拉特旗，第四系沉积连续、完整，尤其是上部多为粉砂层或中细砂层，沉积物紧密。对于发育该盆地内的隐伏断裂的活动性位置及其时代的判定，除浅层地震勘探方法以外，还可以联合使用多种地球物理方法来对其位置和时代进行判定。本文就利用了电阻率测深法和探地雷达方法来共同判断断裂位置及活动时代。首先利用电阻率测深法对达拉特断裂位置进行定位，同时在电测深异常区段使用探地雷达进行从地表到地下15米深度范围的测量，以确定断点埋深，进而推断出断裂最新活动时代。

关键词

电阻率测深法，探地雷达，达拉特断裂，上断点埋深

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

达拉特断裂南起鄂尔多斯台地北缘，处于鄂尔多斯周缘断裂系内。目前对于达拉特断裂的研究非常少，它在鄂断裂系内是一条规模非常小的次级断裂，对该断裂的活动时代、活动特征及性质等的研究非常少，对该区构造特征的研究多数是对鄂尔多斯盆地北缘断裂的研究[1] [2] [3]。该断裂在达拉特旗南部截切了鄂尔多斯北缘断裂，属于隐伏断裂，地貌上有微弱表现，对于该断裂的研究仅限于在对鄂尔多斯北缘断裂的研究中有少量涉及。

为了判断达拉特断裂的具体位置及其上断点埋深情况，我们在此处采取了电阻率测深法和地质雷达法这两种方法来共同判断断裂位置及活动时代，取得了较好的效果。

因为达拉特断裂属于隐伏断裂，埋深约二十米，地表行迹不明显。探槽开挖及野外地质考察等研究方法不适用于该断裂，而浅层地震勘探方法及跨断层钻孔这两种方法虽然是较理想的勘测方法，但受限于经费、场地条件及地形地貌等多种因素，无法采用上述这两种方法对达拉特隐伏断裂进行研究。因此，在第四纪河湖相地层比较发育的达拉特地区，采用电阻率测深法这种深反射方法来探测断裂大致位置，并结合地质雷达这种浅层探测法来探测断层上断点埋深的方法不失为一种较有效的探测浅层隐伏断裂的方法。

2. 区域地质背景

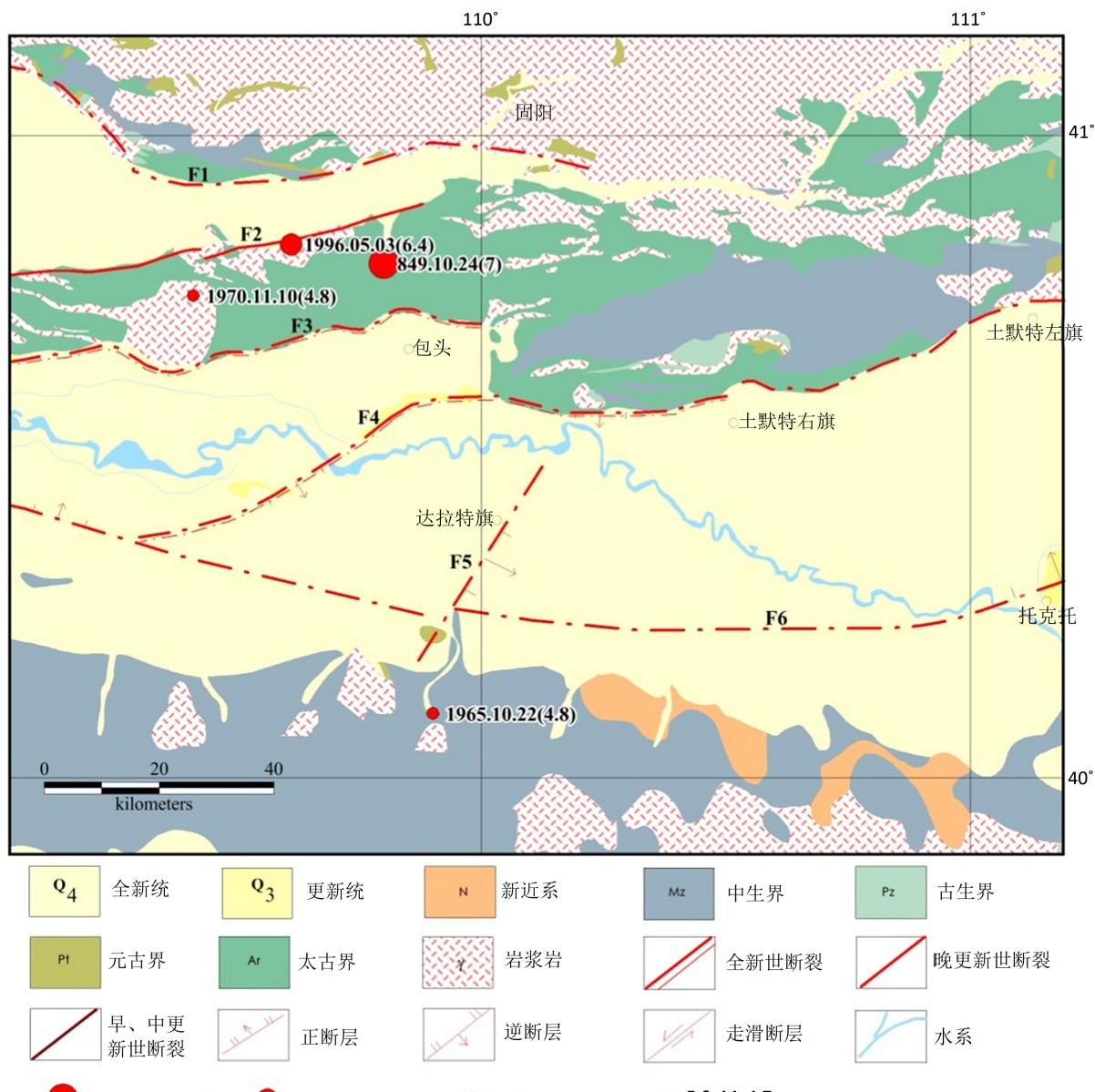
鄂尔多斯块体是一个稳定的块体，位于南北地震带北段东侧、又处于华北、华南和青藏高原东北缘三个陆块的汇聚部位，块体内部地震活动频度和强度均低，但其周边地震活动强烈，鄂尔多斯周缘的活断层在我国大陆内部自成一个体系，是一组十分具有活动特色的正断层系，沿此带历史上发生过5次8级及8级以上强震，约占我国历史上有记载的8级及8级以上强震的四分之一[4] [5]。

鄂尔多斯地块是一始新世开始形成，至今仍在活动，内部变形较小，其周缘边界断裂带变形强烈、强震频繁发生的活动地块及其边界组合[5]，许多研究者认为晚新生代地块本身具有逆时针旋转的特点[6] [7]，而其边界则表现为张性正断层活动为主，北东和近东西向断裂分别具有不同程度的右旋或左旋走滑分量[5] [8] [9]。

鄂尔多斯块体北缘的河套断陷盆地带为一EW向剪切拉张带，由呼包、白彦花和临河等3个次级盆

地右阶斜列组成。它们均为北深南浅的不对称盆地，分别受北侧大青山、乌拉山和色尔腾山山前正断裂所控制，新生界和第四系最大厚度可达 12,000 m 和 2400 m，均分布于西端的临河盆地。沿各山前断裂均形成多级晚更新世和全新世断层崖，全新世垂直滑动速率分别为 1.27~1.78 mm/a、1~1.5 mm/a 和 0.7~1.35 mm/a [10] [11] [12]。

达拉特断裂始于达拉特旗南，以北东走向过达拉特旗至黄河附近，长约 40 km。断层走向北东 50°~55°，倾向南东，倾角 39°~58°，处于隐伏状态(图 1)。该区晚新生代地层主要位于河套断陷区东部的呼包断陷区，地层沉积连续，为河湖相沉积，上部主要为中细砂 - 粉砂层。



断裂名称及编号：F1色尔腾山山前断裂；F2乌拉山北缘断裂；F3乌拉山北缘断裂；F4大青山山前断裂；F5达拉特断裂；F6鄂尔多斯北缘断裂；

Figure 1. Sketch map of fault structure in the study area

图 1. 研究区断裂构造位置简图

3. 勘测方法与技术

3.1. 勘探方法与原理简述

3.1.1. 电阻率测深法

电阻率测深法是电法勘探的一种方法，它是在地面的一个测深点上，通过逐次加大供电电极 AB 的距离，研究该测深点下垂直方向不同深度电阻率变化情况，根据电极排列方式的不同，又可分为三极测深法、对称四极测深法、温纳测深法、偶极测深法等。本次电阻率测深选用偶极 - 偶极装置，一是便于资料的反演解释为手段，二是为取得较好的地质效果为目的。

当地下存在断层时，断层破碎带与原岩层之间存在明显的电阻率差异。因而，通过电阻率测深剖面的工作，可以较为有效确定断层位置和倾向。通过多条剖面的追踪，还能有效确定断层的走向。电阻率测深法在水文地质、工程地质和煤田地质工作中应用较多，主要用于地下深层研究。

3.1.2. 探地雷达法

探地雷达是以不同介质间电性差异为基础的一种物探方法。通过雷达发射天线向目标体连续发射脉冲式高频电磁波，当遇到有电性差异的界面或目标体(介电常数和电导率不同)时即发生反射波和透射波。接收天线接收并记录反射波，通过连续的发射和接收电磁波形成时间记录剖面。根据记录到的反射波的到达时间和求得的电磁波在介质中的传播速度，确定界面或目标体的深度；同时根据反射波的形态、强弱及其变化等因素来判定目标体的性质。主要用于浅层研究。

3.2. 使用仪器设备

3.2.1. KGR-1 型电法仪

常规的电法仪器由于必须在较高的信噪比下才能获得有效的电阻率数据，在城市存在众多干扰(电力线干扰、工业游散电流干扰、大地电流干扰、天电干扰、电台干扰等)的情况下，通常无明显效果。为了实现抗干扰，达到精确探测的目的，我们采用了国内先进的抗强干扰 KGR-1 电法仪进行工作。仪器采用了先进的大功率模块 IGBT，具有体积小、发送功率大、时序精确、功耗小、可靠性高、操作方便等优点。其发送电压高达 400 V，发送电流可达 5 A，因而适合本地区电法勘探。

3.2.2. 探地雷达

探地雷达选用意大利 IDS 公司生产的 RIS 系列，天线主频选择 40 MHz。

4. 野外数据采集

本次电法剖面的布设，主要考虑所要探测的构造走向以及测区的地理环境，使测线尽量垂直于断层走向或与断层走向成较大交角，以便使探测结果能够较为准确地反映构造的位置及性质。

为了验证该断裂的新活动特征，同时也为了确定断裂的准确位置，我们曾在关牛犋附近进行了 3 条电阻率测深法和探地雷达法两种深浅不同方法的探测工作(图 2)，其探测结果如下。

测线 1：该条物探测线长度为 1380 米，方向大致为北西—南东向。电阻率异常点号为 130~170 米段，顶面埋深为 12 米左右，产状为南东向；同时，探地雷达反射波能量在 130~170 米段迅速衰减，深度 12~15 米，而异常区段两侧均有清晰的水平带状反射波。可见，此出浅部有探地雷达的异常区域，深部有电阻率异常，相互佐证，由表及里，由浅入深，确定为断层的的顶面埋深和准确位置。见图 3 和图 4 所示。

剖面 2：该条物探测线长度为 725 米，方向大致为北西—南东向。电阻率异常点号为 380~410 米段，顶面埋深为 50 米左右，产状为南东向；同时，探地雷达反射波能量在 420~500 米段迅速衰减，深度 12~15 米。但由于探地雷达的探测深度不足 50 米，所以在电阻率异常区段没有异常出现，为正常情况；

在探地雷达异常区段 420~500 米处，出现较低的电阻率值，埋深跟探地雷达相比大致相当，也相当于证明了两种方法的有效性。见图 5 和图 6 所示。

剖面 3：该条物探测线长度为 535 米，方向大致为北西—南东向。电阻率异常点号为 210~270 米段，顶面埋深为 12 米左右，产状为南东向；同时，探地雷达反射波能量在 210~270 米段迅速衰减，深度 12~15 米，而异常区段两侧均有清晰的水平带状反射波。此出浅部有探地雷达的异常区域，深部有电阻率异常，相互佐证，由表及里，由浅入深，确定为断层的顶面埋深和准确位置。见图 7 和图 8 所示。

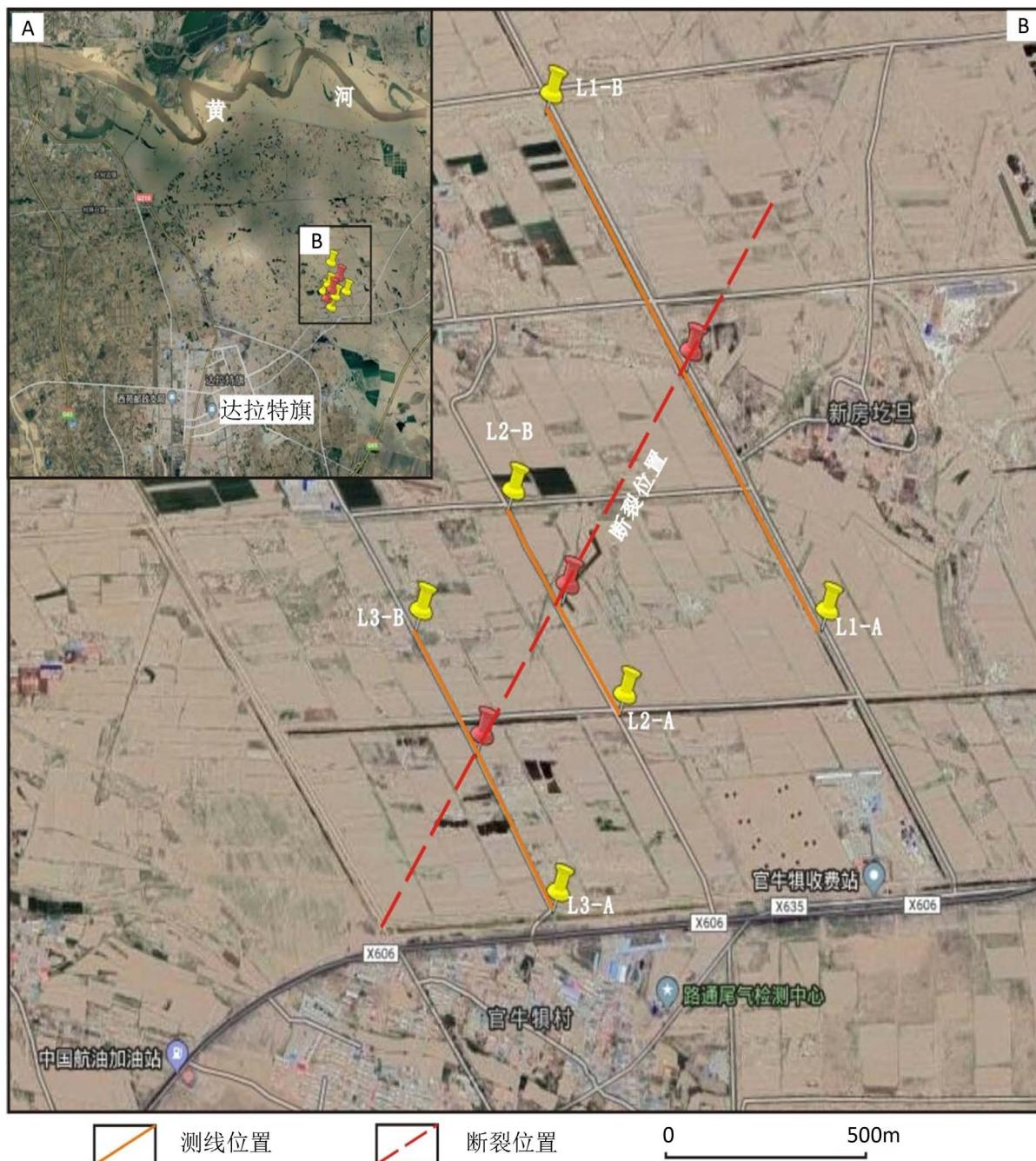


Figure 2. Line location map
图 2. 测线位置图

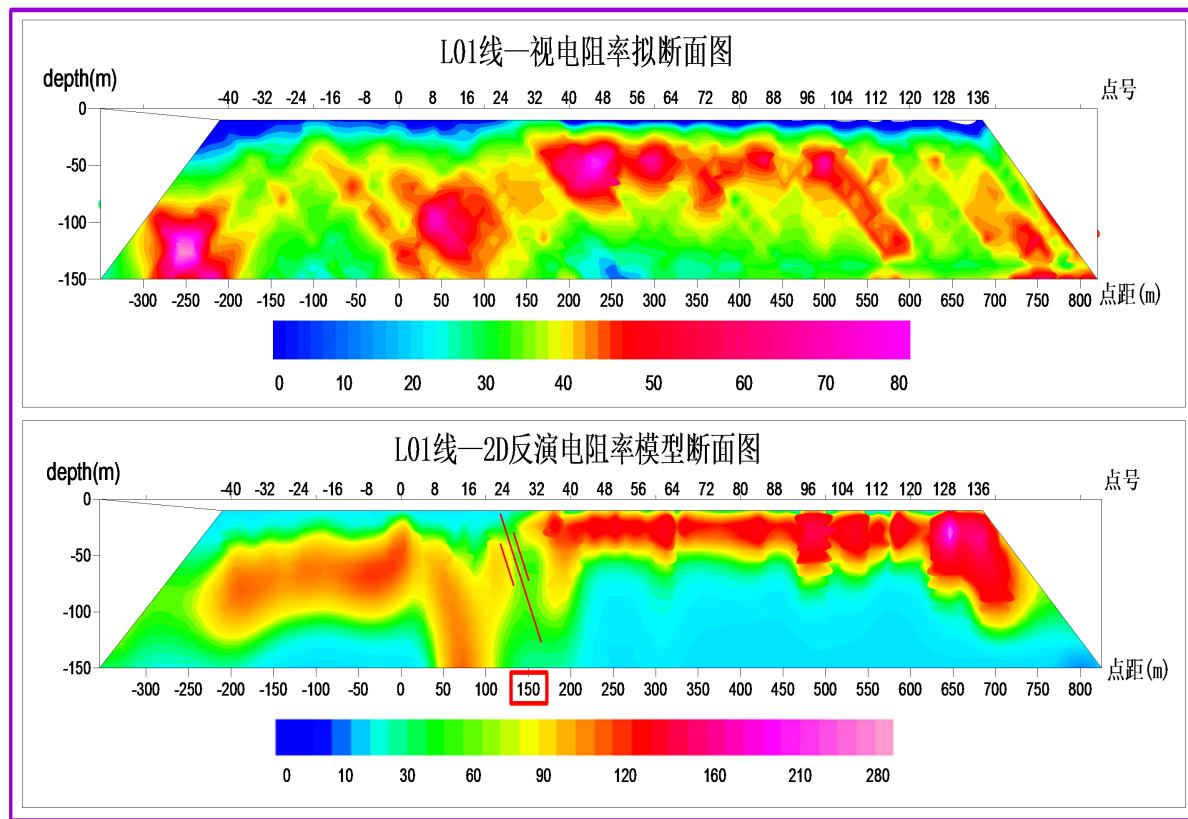


Figure 3. L01 line apparent resistivity pseudo section and 2D inversion resistivity model section

图 3. L01 线视电阻率拟断面和 2D 反演电阻率模型断面图

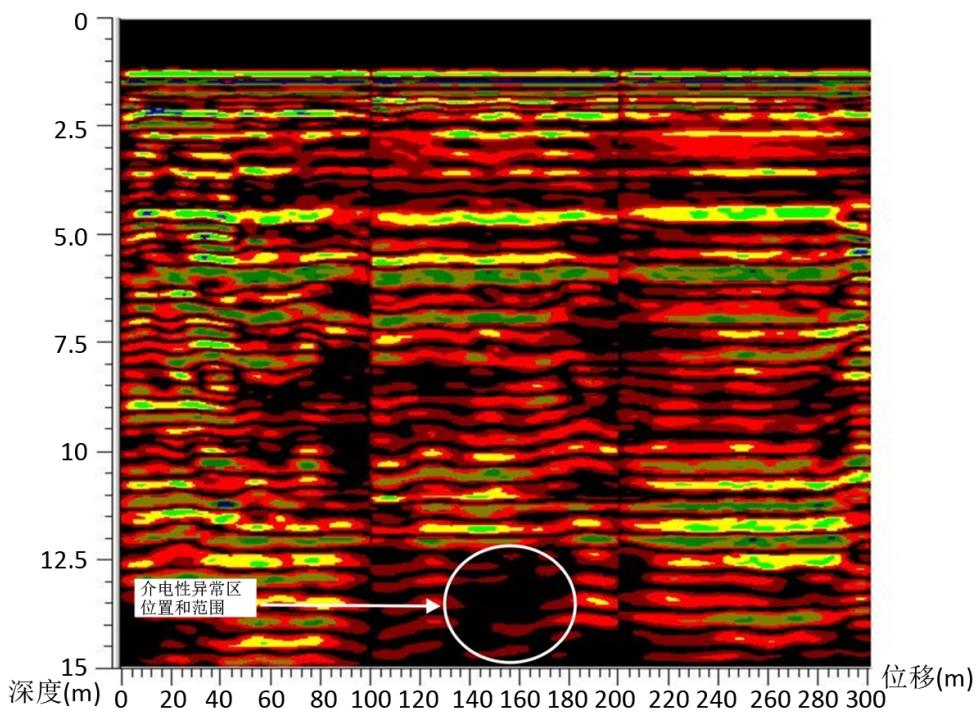


Figure 4. L01 line ground penetrating radar profile

图 4. L01 线探地雷达剖面图

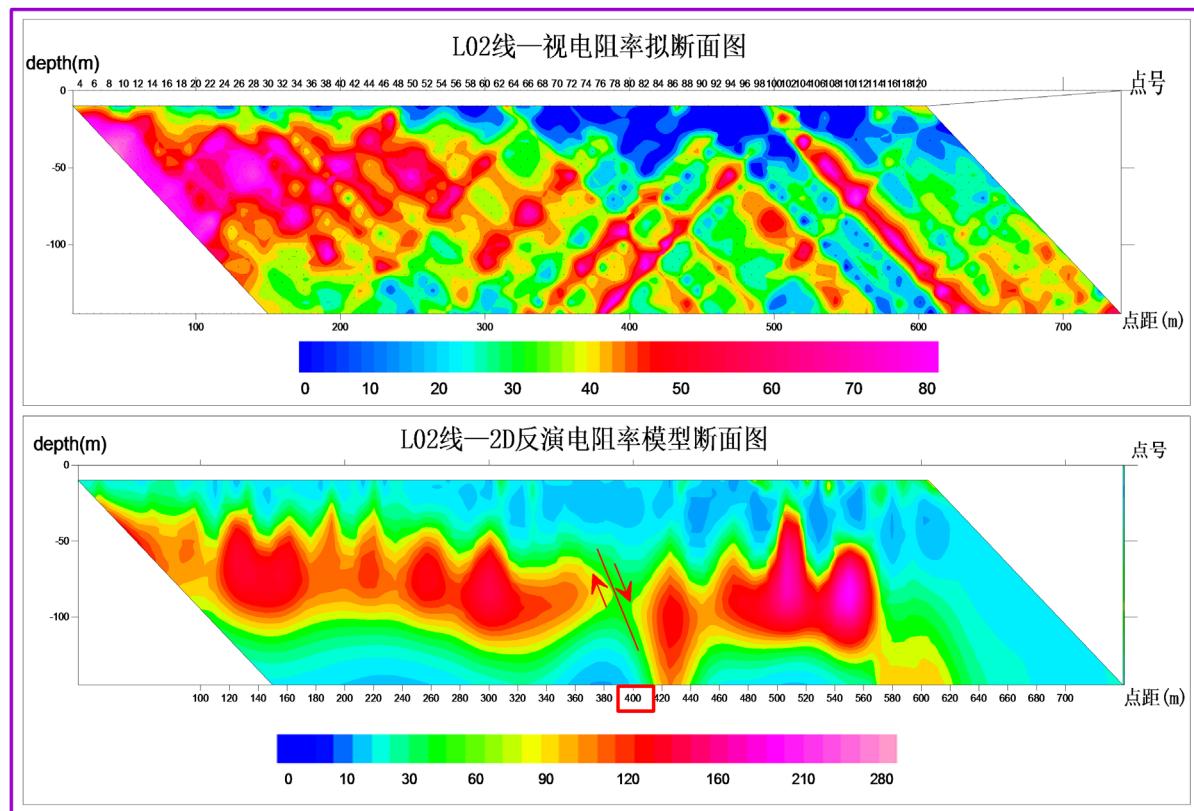


Figure 5. Sectional view of L02 line apparent resistivity pseudo-section and 2D inversion resistivity model
图 5. L02 线视电阻率拟断面和 2D 反演电阻率模型断面图

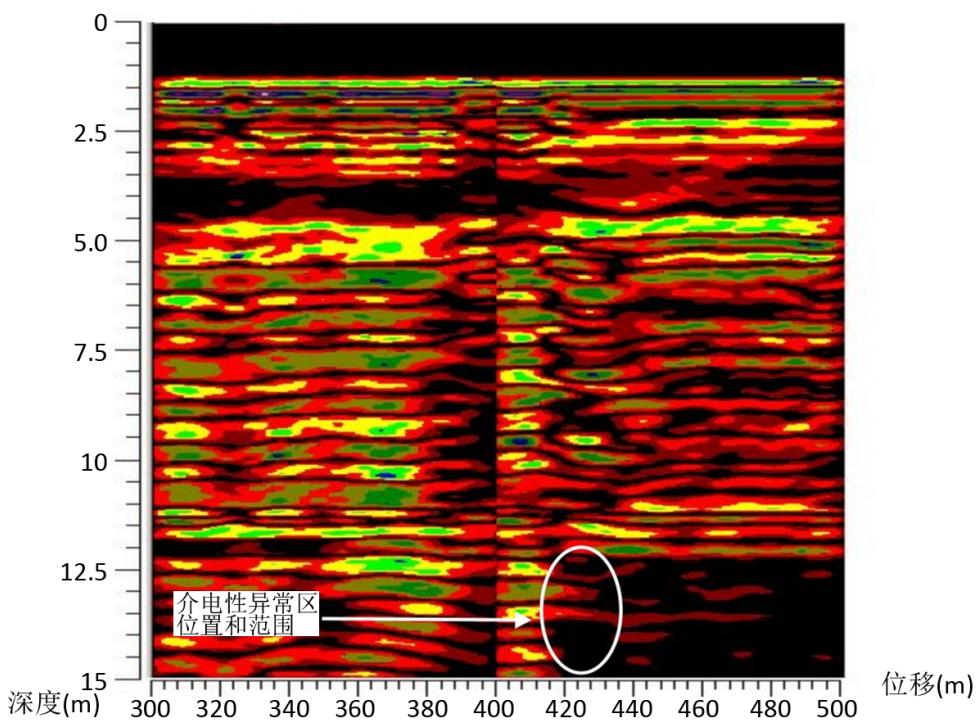


Figure 6. L02 line ground penetrating radar profile
图 6. L02 线探地雷达剖面图

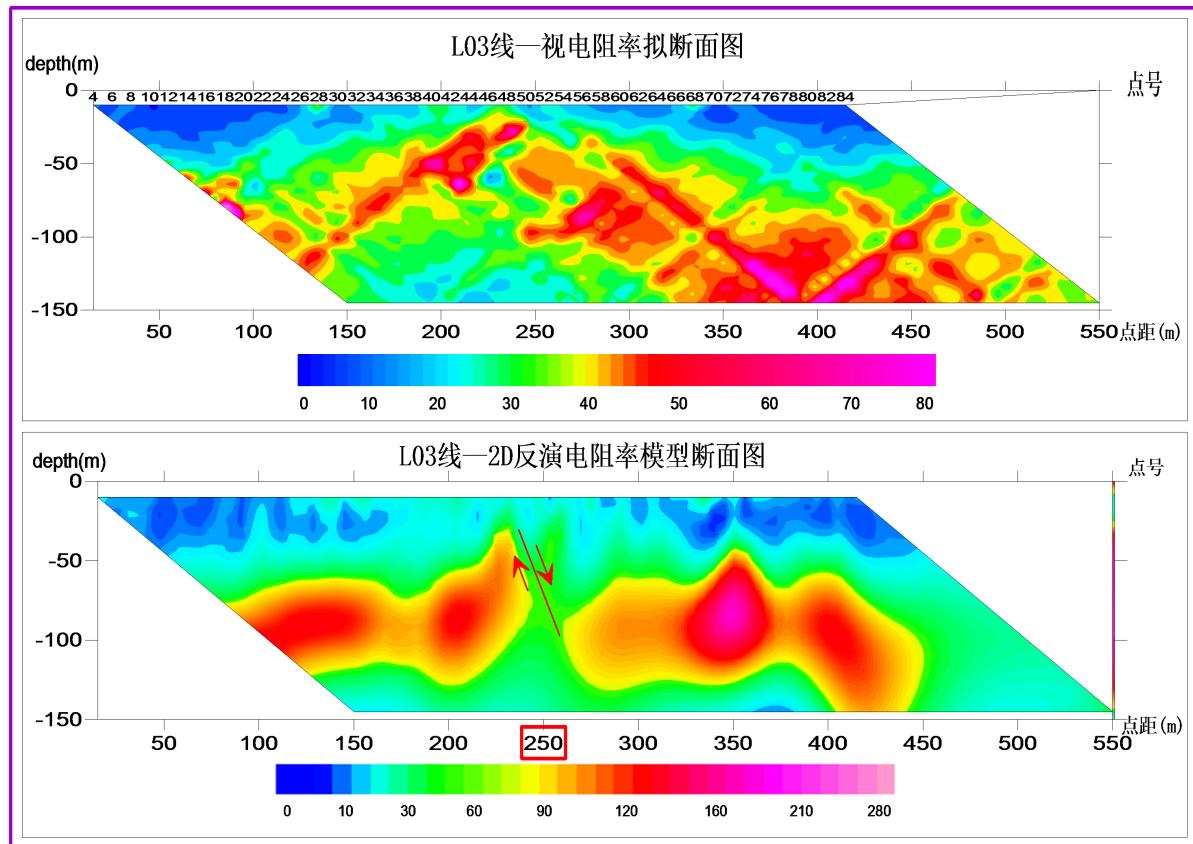


Figure 7. Sectional view of L03 line apparent resistivity pseudo-section and 2D inversion resistivity model
图 7. L03 线视电阻率拟断面和 2D 反演电阻率模型断面图

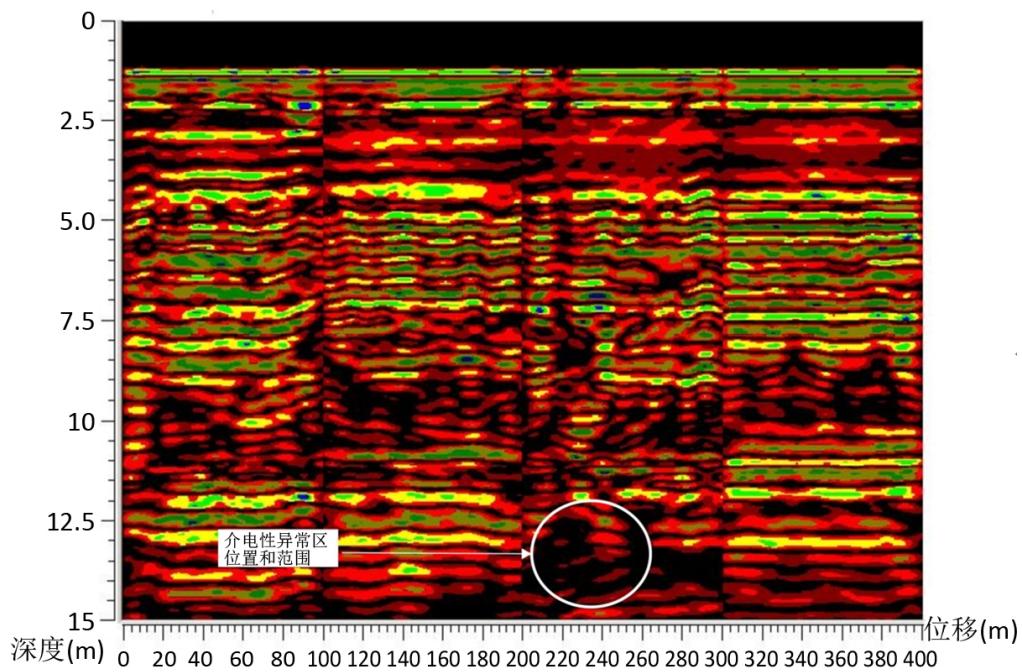


Figure 8. L03 line ground penetrating radar profile
图 8. L03 线探地雷达剖面图

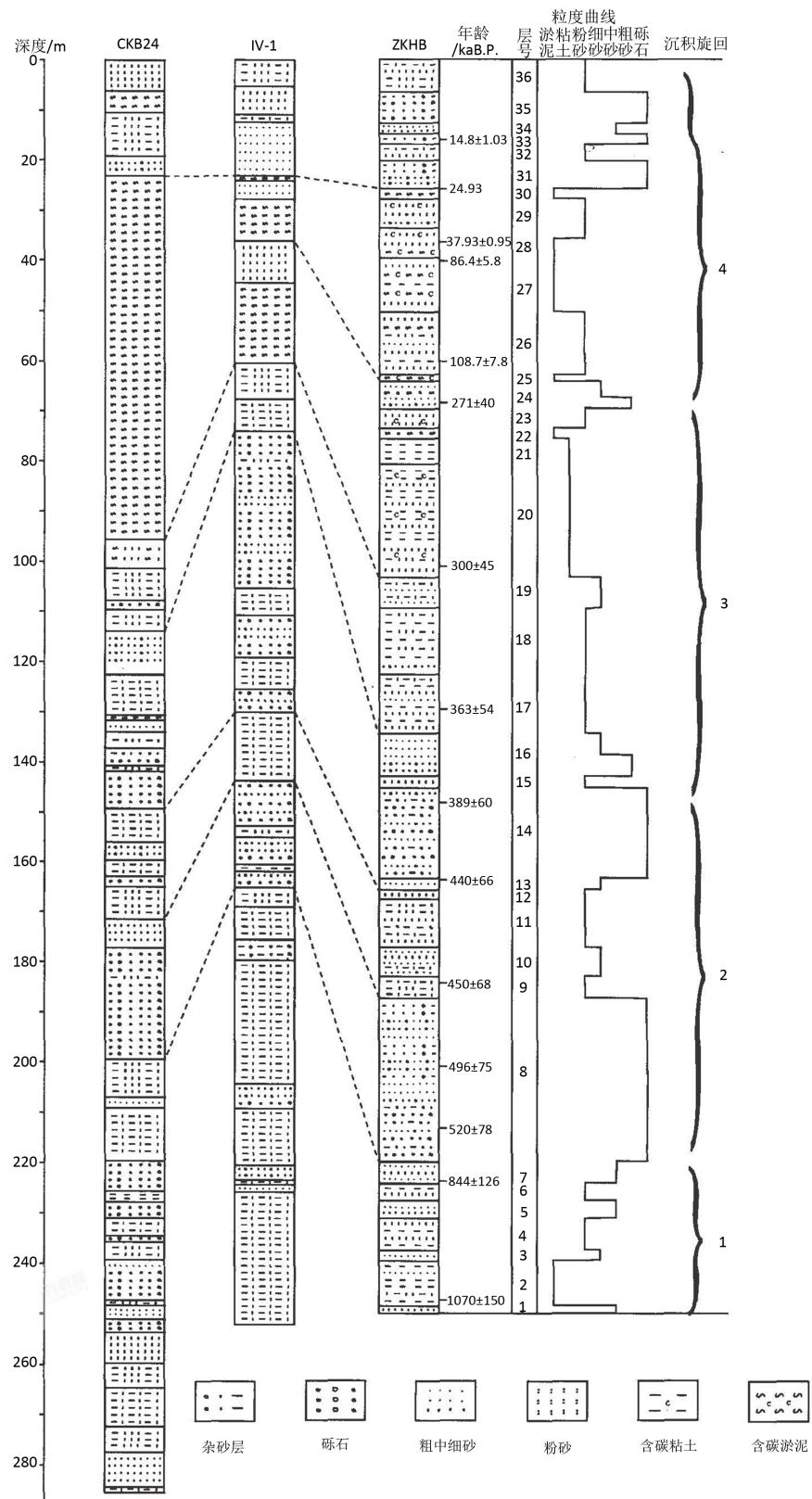


Figure 9. Quaternary borehole profile of the Hetao Basin (According to [11])
图 9. 河套盆地第四纪钻孔剖面(据[11])

根据达拉特旗 L01、L02 和 L03 三条测深电阻率模型断面图和探地雷达反射波能量衰减度的显示，推断了达拉特断裂的位置和走向：总体走向 $50^{\circ}\sim55^{\circ}$ ，断面倾向南东，倾角 $39^{\circ}\sim58^{\circ}$ 。在 3 条探地雷达反射剖面中，发现探地雷达异常反射区在地面以下约 12 m 左右，即断层的上断点埋深在 12 m 左右。

5 最新活动时代讨论

通过对断裂上断点埋深的地层年代数据我们可推断出断裂的最新活动时代，前人对河套盆地内地层单元划分有较多研究[13] [14] [15] [16]，其中李建彪等[17]通过对呼包盆地钻孔岩芯进行系统的岩石学、年代学和孢粉带的分析，综合盆地已有的研究成果，并与邻区对比，划分了盆地第四纪地层单元，并从下到上划分出 4 个沉积旋回(图 9)。测年结果表明，钻孔剖面底部达到了早更新世晚期。17 个年龄数据可以分为 3 组：S1~S5 ($14.8 \pm 1.03\sim108.7 \pm 7.8$ kaB.p.) 属于 Q₃；S6~S14 ($271 \pm 40\sim520 \pm 78$ kaB.P.) 属于 Q₂；S15~S17 ($844 \pm 126\sim1070 \pm 150$ kaB.p.) 属于 Q₁ [17]。

根据该地层单元的建立，对比探地雷达所反映的上断点埋深情况，我们可知，达拉特断裂可能在晚更新世晚期 - 全新世早期有过活动。

6. 结论

综合电阻率测深法和探地雷达两种方法，推断出达拉特断裂的位置和走向：总体走向为 NE $50^{\circ}\sim55^{\circ}$ ，断面倾向南东，倾角 $39^{\circ}\sim58^{\circ}$ 。而其最新活动时代，通过对比前人在该区所建立的第四纪标准地层剖面，认为达拉特断裂最新活动时代为晚更新世晚期 - 全新世早期。

基金项目

中海油煤制气项目(201012)资助。

参考文献

- [1] 郭宝震, 塔拉, 周海涛, 等. 基于精密水准的鄂尔多斯西北缘现今垂直运动分析[J]. 震灾防御技术, 2017, 12(3): 523-528.
- [2] 刘腾. 鄂尔多斯盆地东北缘断裂构造特征及其油气成藏效应[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2017.
- [3] 孙昌斌. 鄂尔多斯西北缘与东南缘典型断裂晚更新世以来活动性研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2018.
- [4] 邓起东, 尤惠川. 断层崖研究与地震危险性估计——以贺兰山东麓断层崖为例[J]. 西北地震学报, 1985(1): 29-38.
- [5] 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1988: 1-328.
- [6] 苏刚. 以运动地块为单元的区域地震活动研究[J]. 西北地震学报, 1984, 6(2): 1-8.
- [7] 徐锡伟, 程国良, 马杏垣, 等. 华北及其邻区块体转动模式和动力来源[J]. 地球科学, 1994(2): 129-138.
- [8] 邓起东, 徐锡伟, 于贵华. 中国大陆活动断裂的分区特征及其成因[C]//中国活动断层研究. 北京: 地震出版社, 1994: 1-14.
- [9] 江娃利, 肖振敏, 王焕贞. 内蒙大青山山前活动断裂带西端左旋走滑现象[J]. 中国地震, 2000, 16(3): 203-212.
- [10] 尤惠川. 河套断陷盆地带地质构造特征及其成因机制的讨论[J]. 现代地壳运动研究, 1985(1): 88-97.
- [11] 李克, 吴卫民, 杨发, 等. 大青山山前活动断裂分段性研究[C]//邓起东. 中国活动断层研究. 北京: 地震出版社, 1994: 102-113.
- [12] 吴卫民, 聂宗笙, 许桂林, 等. 色尔腾山山前断裂带活断层研究[J]. 活动断裂研究, 1996(5): 113-124.
- [13] 聂宗笙. 内蒙古河套盆地晚更新世地层划分、环境演变及黄河的贯通[J]. 地学前缘, 2019, 26(4): 259-272.
- [14] 聂宗笙, 李虹, 马保起. 内蒙古河套盆地晚更新世晚期化石动物群[J]. 第四纪研究, 2008, 28(1): 14-25.
- [15] 吴利杰, 张翼龙, 李政红, 等. 河套盆地第四纪岩石地层区划及沉积序列[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(10):

91-101.

- [16] 吴利杰, 张翼龙, 石建省. 河套盆地第四纪沉积古地理特征及演化[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(8): 135-145.
- [17] 李建彪, 冉勇康, 郭文生. 呼包盆地第四纪地层与环境演化[J]. 第四纪研究, 2007, 27(4): 632-644.