

土壤氡气测量在活动断裂探测中的应用 ——以大西安西咸新区为例

孟晓捷, 王根龙, 张茂省, 朱桦, 曾庆铭

(国土资源部黄土地质灾害重点实验室, 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要:西咸新区作为国家“一带一路”、“西咸一体化”等重大经济规划的重要组成部分,在周边地区发育多条活动性断裂,其对百姓日常生活影响较大。西咸新区城镇化建设迫切需要城市地质工作为其提供一定的科研成果作为参考和指导。为了更好的探明西咸新区断裂情况,拟以土壤氡气测量为主要探测手段,在研究区内布置15条测氡测线,结合地震剖面与露头剖面等其他相关资料来判断西咸新区内活动断裂分布情况。结果表明:①在西咸新区范围内,泾河断裂与渭河北岸断裂存在,其中泾河断裂分布于泾河河谷之下,渭河北岸断裂分布于渭河二级阶地与三级阶地之间。②西咸新区范围内渭河南岸断裂不存在,沣河断裂与皂河断裂则有待进一步研究。

关键词:西咸新区;土壤氡气测量;活动断裂

中图分类号:P66

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2016)03-0175-12

Application of Soil Radon Monitor in Exploring Active Faults —Taking Xi - Xian New Area as an Example

MENG Xiaojie, WANG Genlong, ZHANG Maosheng, ZHU Hua, ZENG Qinming

(Key Laboratory for Geo - Hazards in Loess Area, MLR, Xi'an Center of Geological Survey,
China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Xi - Xian New Area is an important part of the economic development programs in Chinese government's plan, such as "The Belt and Road" and "The integration of Xi - Xian". A number of active faults are developed surrounding this area, which bring apparent impact on civilians' daily life. The urban geological work is urgently needed to carry out, which can provide a certain geological guidance for the planning and construction of Xi - Xian New Area. In order to find out the exact distribution of these active faults, 15 radon monitor sections have been set out, and the distribution of active faults in Xi - Xian New Area has been analyzed and discussed through taking the soil radon monitor as the main detection method, and combining with the seismic sections, geological outcrop sections and other geological data. The results show that the Jing River Fault and the northern Wei River Fault are existed in this area. In which, the Jing River Fault is located under the Jing River Valley, while the northern Wei River Fault is situated at the area between the second and third terraces of Wei River. The Southern Wei River Fault and the Zao River fault are not existed in this area, and the details about these faults need to be further studied.

Keywords: Xi - Xian New Area; soil radon monitor; active faults

收稿日期: 2016-02-26; 修回日期: 2016-04-17

基金项目: 关中盆地 1:10 万水文地质工程地质调查(1212011140026)

作者简介: 孟晓捷(1986-), 男, 陕西西安人, 硕士, 主要从事城市地质调查工作。E-mail: mengjie0806@gmail.com

“一带一路”、“关天经济区”、“西咸一体化”等国家重大经济规划的施实,极大推动着关中盆地城镇化建设。作为国家重大经济规划区重要组成部分的西咸新区,城镇化建设迫切需要地质工作者提供更多的相关科研成果。关中盆地为典型的断陷盆地,断裂构造较为发育,历史上曾多次发生毁灭性地震灾害,西安地区也发育多条规模较大的地裂缝(张厚福等,1999;刘护军,2004;权新昌,2005;夏勇,2007;谢震乾等,2010;张朝锋等,2012),其对百姓日常生活存在较大影响。西咸新区与周边西安及咸阳地区有着相近的地质环境条件,因此加强对断裂分布的研究对于城市规划和建设尤为重要。而前人关于西咸新区范围内活动断裂是否存在、断裂位置分布等问题仍存在争议。笔者通过搜集前人研究文献,结

合野外基础地质调查工作,在研究区内布置 15 条氦气测量测线,并分析氦气异常特征,调查活动断裂分布情况,为后期的城市地质工作及西咸新区建设提供一定的地质指导。

1 区域地质概况

西咸新区位于关中盆地腹部,整体西北高东南低,高差约 200 m 左右。东西两侧分别为西安与咸阳所夹,由北向南分为泾河新城、空港新城、秦汉新城、沣东新城及沣西新城,是“关天经济区”及大西安建设的重要组成部分,规划面积为 880 km²。按地貌可分为黄土塬、河流阶地、洪积平原,内有渭河、泾河自西向东穿过(图 1)。

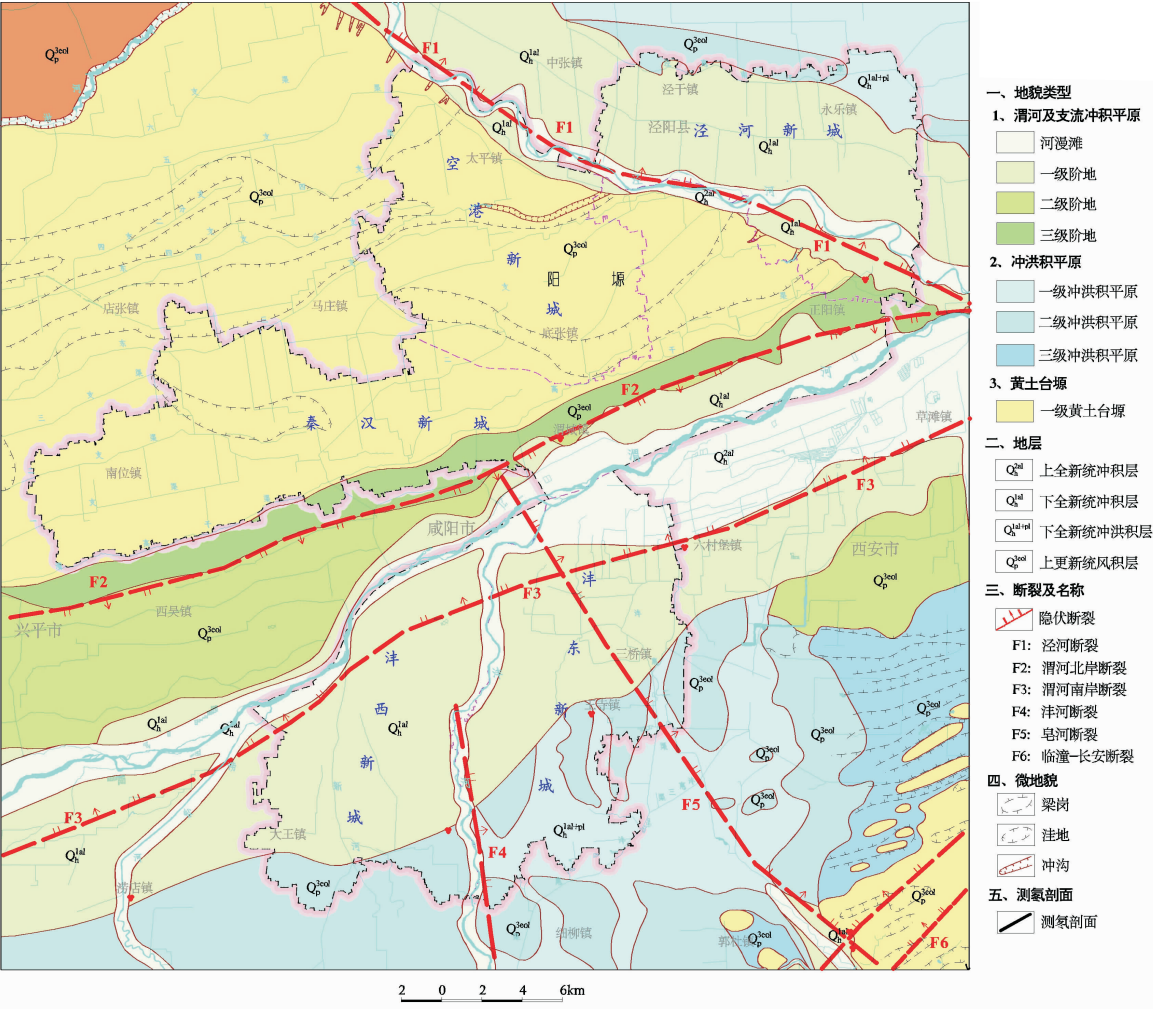


图 1 陕西西咸新区地貌及断裂分布图

Fig. 1 The distribution of landscapes and faults in Xi-Xian New Area

笔者根据前人的研究资料进行调研,可知研究区断裂情况分布如下。

(1)泾河断裂(F1):位于研究区北部,沿泾河走向分布,近南东向,倾向西北,倾角约 60° ,为新生代张性断裂,断距随着深度增加而增大。断裂南西侧为咸阳黄土台塬,北东侧为泾渭冲积平原。断裂在地貌上显示为泾河岸边的黄土陡坎,高差约70~100m,沿断裂带发育线状延伸的陡坎,常发生大规模的滑坡,也有温泉和地震发生。

(2)渭河北岸、南岸断裂(F2、F3):位于研究区中部,沿渭河走向分布,为新生代张性断裂,断距随着深度增加而增大。该断裂控制了关中盆地新生代沉积与构造演化过程,使得关中盆地形成“不对称”半地堑的构造格局(权新昌,2005;夏勇,2007)。另外,该断裂为基底岩相分界线,断裂以北为古生界灰岩,断裂以南为元古宇浅变质岩及燕山早期侵入岩体。断裂在地貌上显示为渭河三级阶地与二级阶地的分界线。但关于渭河南岸断裂(F3)是否存在目前仍有争议,这是本次探测工作的重点。

(3)前人资料(乔僖,1999)中推测的研究区南部存在2条隐伏断裂,即沔河断裂(F4)、皂河断裂(F5),验证它们是否存在及分布也是本次探测工作的重点。

2 原理与方法

2.1 工作原理

氡(Rn)属惰性气体,保留在岩石中的氡气是受束缚的,不能参与扩散和对流等迁移作用,但在活动断裂带等岩石疏松或孔隙相对较多的地段,一方面由于其破碎带胶结程度差,有效孔隙度和渗透率高,成为放射性气体富集和运移的良好通道;另一方面,由于地震、滑坡等地质灾害,使束缚在断裂带两盘岩石孔隙中的放射性气体释放出自由Rn,以游离原子的形式通过晶体缺陷或晶粒边界,沿着岩石空隙或裂隙系统迁移。因此,构造破碎带及裂隙发育带有利于氡气逸出与聚集。大量的观测实践已清楚地表明,构造带上方的地表附近,特别是活动断裂上方,往往能产生明显的Rn异常(KING C Y, 1978; KHAYRAT A H, et al, 2001; MONHAMED M, 2003)。常用的氡气测量法有 α 径迹测量、 ^{210}Po 法测量、常规氡气测量等。因此,利用测量断层氡气释

放强度与范围来寻找覆盖区断裂带的空间分布位置及分析评价其相对活动性成为比较准确靠谱的技术手段。

本次工作主要采用RaA测氡法,使用两台重庆地质仪器厂生产的HFS-6 α 射线快速测量仪进行平行测量,测量对象为 ^{222}Rn 第一次衰变为 ^{218}Po 时,在40~60cm深度土壤中所捕捉到出的 α 粒子。

2.2 测线布置

据以往的工作与前人研究,所有测线布设遵循测线尽量垂直于断层走向的原则(候彦珍等,1994),并尽量选择年代较久远的土路,避开垃圾填埋场地及潜水位埋藏较浅的地方;野外测量都是在天气晴朗、地表干燥的环境下进行的,以保证测量值的准确。

据前人研究(候彦珍等,1994),松散土层的覆盖厚度对土壤Rn含量及异常形态有着较大的影响,当覆盖层厚度不大时,所测量的氡气值就会呈现出峰值突出,异常明显的状态;当厚度增大到200m左右时,在其上覆土层中已不能观测到明显的Rn值异常。西咸新区渭河北部大部分地区均为黄土台塬,覆盖一定厚度的全新世、更新世黄土沉积与冲洪积物,可能会对测量结果带来一定影响。为了保证在该研究区内对测量结果能够做出正确解释,笔者按照已知到未知的思路,首先在前人研究成果及资料中已确认的断裂(泾河断裂F1、渭河北岸断裂F2)上进行试验,在与前人研究的成果相吻合,证明该技术手段在研究区内可以准确应用之后,再推广到其他未知断裂上进行测量与对比解释。

针对泾河断裂F1,垂直该断裂(F1)布置3条长测线J1、J2、J3(图2)。针对渭河北岸断裂F2,垂直穿过渭河断裂布置4条长测线W1、W2、W3、W4,均近南北向,依次自西向东排列。

在初步探测结束后,为研究清楚渭河南岸断裂是否存在这一问题,在长测线W1—W4,前人所推测的位置上加密布置6条长约5 km、点距10 m的短测线(W5、W6、W7、W8、W9、W10)进行二次探测,进一步确认是否存在Rn异常。其中W5、W6、W7位于已知渭河北岸断裂(F2)上方,W8、W9、W10位于推测存在的渭河南岸断裂(F3)上方。

另外,针对沔河断裂F4、皂河断裂F5的存在与分布问题,垂直于前人推测位置上方布置2条近东西向的长测线Z1、Z2,长度分别为20.32 km与17.89 km。点距均为30 m。

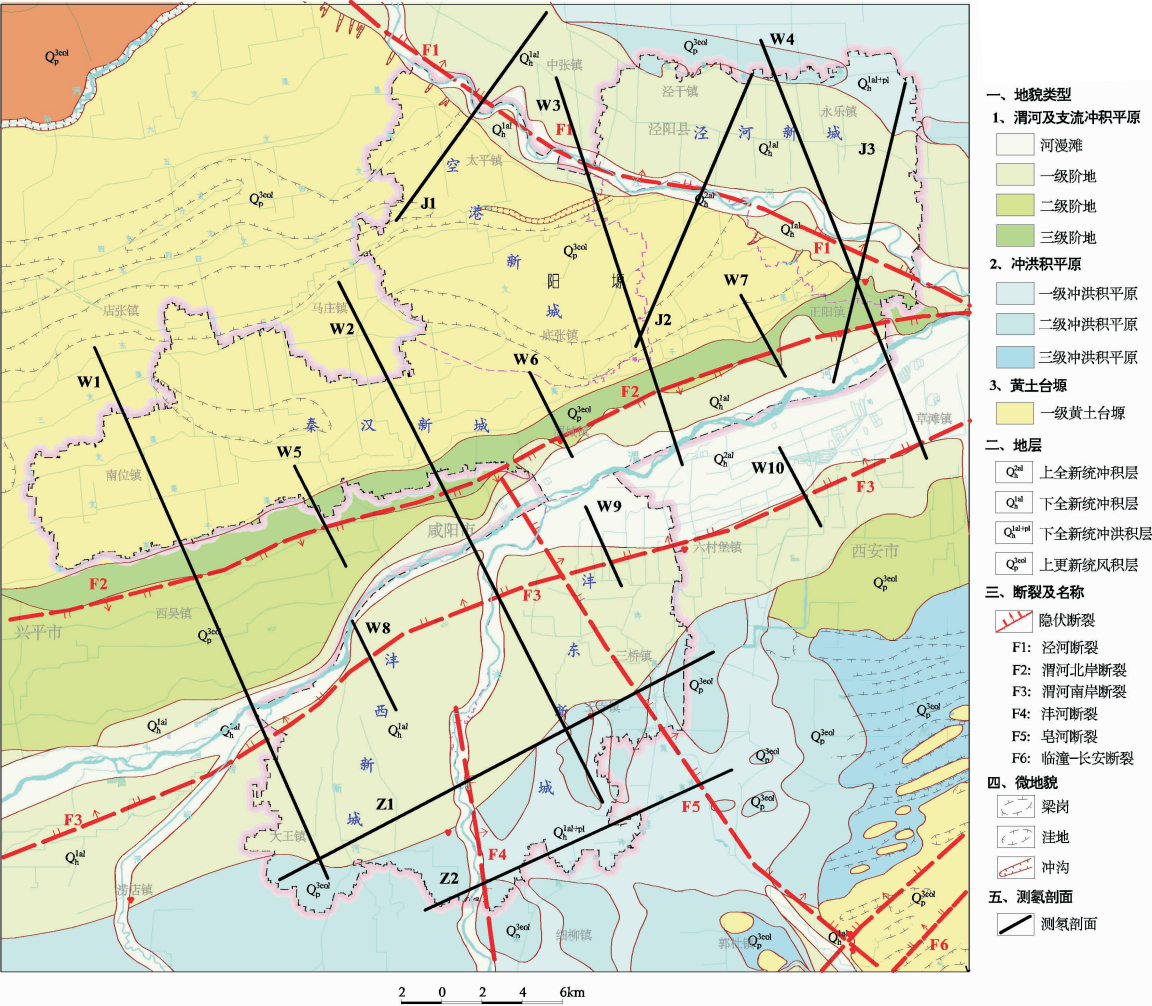


图 2 西咸新区氡气测量测线分布图

Fig. 2 The distribution of soil radon monitor sections in Xi-Xian New Area

2.3 工作方法

每天野外工作前,对测量仪器进行例行检查,检查仪器的密封系统是否良好,电池电压值和校验信号是否正常,阈值旋钮是否归位,利用标准样对仪器进行校正。点距控制按照手持 GPS 距离测量,每个点记录坐标,控制精度。

到达测点后,记录员记录土质及周边环境情况,在测点位置上挖一个锥形探坑,坑口直径为 15~20 cm,坑底直径为 10~12 cm,坑深为 40~50 cm,必要时可加深至 60~70 cm 或更深。探坑轴线应尽量垂直于水平面,总的要求是探坑应穿过腐殖层,坑底平整。在坑底用仪器所配的专用铲,取一定量的细土壤于样品盒中,用取样器将样品盒中的土壤成形,再取出放入仪器的电离室进行测量,测量 2min,读

取脉冲计数。

2.4 数据处理

据公式 $C_{Rn}=J\times N_{\alpha RaA}$ 可知: α 粒子与氡气浓度成正比,可直接计算氡浓度。式中: C_{Rn} 为氡气浓度; $N_{\alpha RaA}$ 为 α 粒子的计数; J 为换算系数[(Bg/m³)/脉冲](本次工作将该值确定为 200 Bg/m³)。在测量完 α 粒子数之后,将结果用公式:

$$\bar{X}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^nX_i \quad S=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^n(X_i-\bar{X})^2}$$

分别计算测量数据平均值和标准差。以上公式中: n 为样本数; X_i 为第 i 个测点读数; S 为标准方差; $\bar{X}$ 为样本平均值。以每条测线测值的平均值加减 3 倍标准差为限,剔除特别大或特别小的测量值后的平均值作为背景值。

根据中国地震局断层探测标准,地球化学探测在对观测数据进行干扰排除的基础上,各测项异常下限值应为该测项的均值与 2~4 倍均方差之和,超出此下限值推测为可能存在活动断层的地球化学异常(徐锡伟等,2005)。根据此次的实际工作情况,取异常下限值为均值与 2 倍均方差之和。

3 测量结果

3.1 泾河断裂长测线 J1、J2、J3

测线 J1 从泾阳中张镇过泾河到太平镇,进入空

港新城,至马庄镇,长度约 20.17 km,点距 30 m;测线 J2 长约 18.81 km,从泾河新城姚坊乡过泾河穿秦汉新城至空港新城底张镇,长度约 18.81 km,点距 30 m;测线 J3 长约 15.67 km,从泾河新城永乐镇泾河,经高庄镇至秦汉新城正阳镇,长度约 15.67 km,点距 30 m。3 条测线均起始于黄土台塬,在黄土台塬上测值无异常现象,表现为在一定范围内震荡往复,平均值为 15。向北进入泾河河谷地带时,出现 α 脉冲计数值异常区,宽度约 200 m,在 3 条剖面上均显示为脉冲计数陡增。再向北进入泾河左岸一级阶地后数值又恢复正常(图 3)。

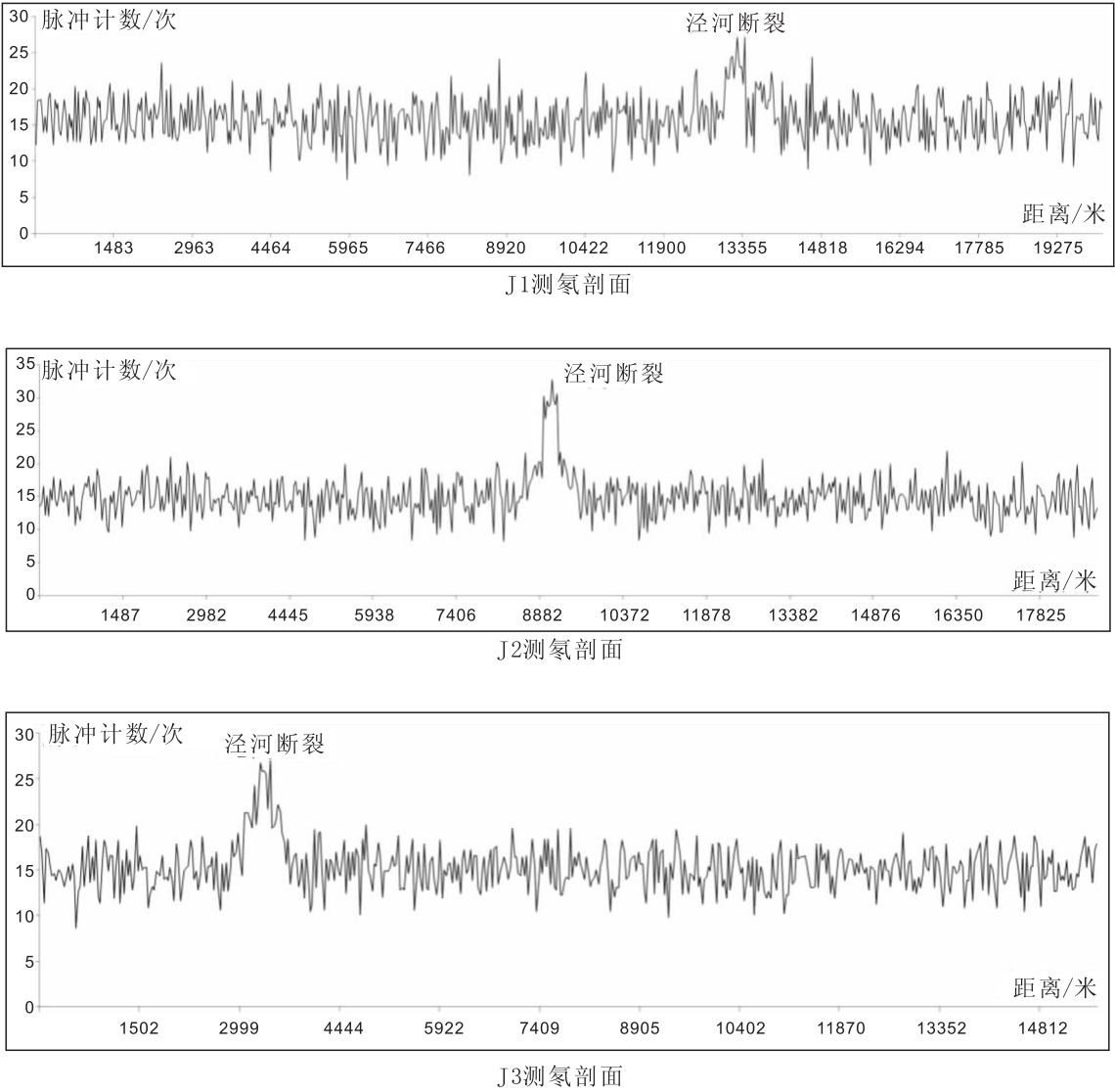


图 3 泾河断裂测氡剖面图(J1、J2、J3)

Fig. 3 The soil radon monitor sections(J1、J2、J3) of Jing River fault

据前人研究,认为泾河断裂为地震勘探推测断裂,走向北西,倾向北东,地貌上显示为沿泾河南岸分布的黄土陡坎,高差约 70~100 m。根据西安地质调查中心所做的《西咸新区地震小区划报告》(2014)中对该断裂进行了浅层地震勘探和钻探验证工作,也认为该断裂是存在的,且活动时代最早应为中更新世末期或晚更新世早期。本次测量结果显示在泾河河谷上方氡离子的 α 脉冲计数值大幅增加,与前人所认为的泾河断裂分布位置基本吻合。

3.2 渭河北岸断裂长测线 W1、W2、W3、W4

4 条测线均为北西—南东方向,由北向南垂直通过前人所推测的渭河北岸断裂。测线 W1 从沣西新城大王镇向西北穿过西吴镇再进入秦汉新城最西段的南位镇,长度约 33.53 km,点距 30 m;测线 W2 从沣东新城镐京乡至咸阳市,再进入秦汉新城到马庄镇,长度约 34.44 km,点距 30 m;测线 W3 从西安六村堡镇向西北至秦汉新城,再经空港新城至中张镇,长度约 26.88 km,点距 30 m;测线 W4 从西安草滩镇至渭河,向西北过永乐镇、泾河,直至泾河新城北山渠镇,长度约 21.71 km,点距 30 m(图 4)。

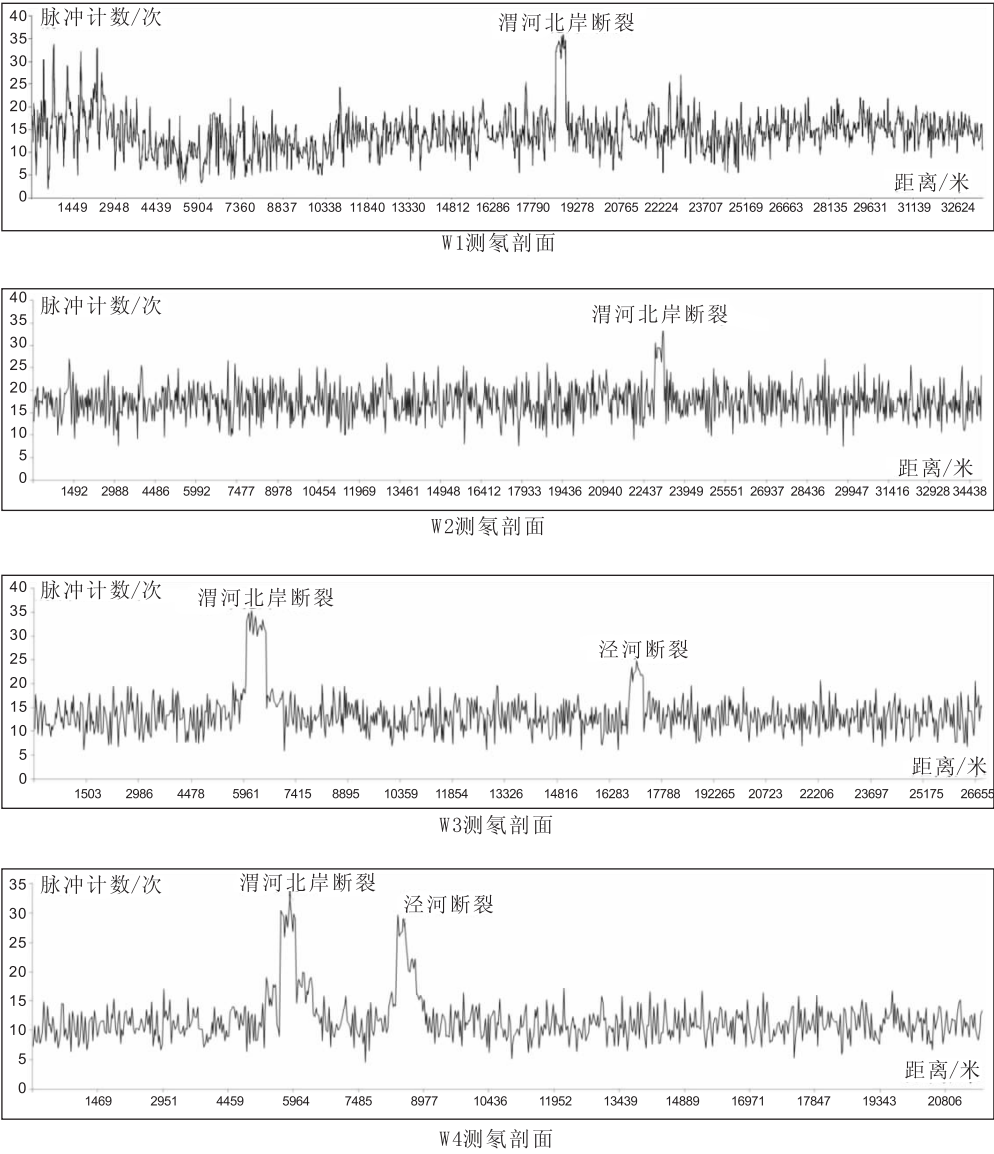


图 4 渭河北岸断裂测氡剖面图(W1、W2、W3、W4)

Fig. 4 The soil radon monitor sections(W1、W2、W3、W4) of northern Wei River fault

W1 剖面中起始部位虽然 α 脉冲计数值相对较高,平均值接近 30 次/min,但属于数据震荡较为剧烈,并没有形成一定宽度的数值异常带,但这段数据震荡的区域位于仓油乡一大王镇附近,为渭河南岸断裂从下经过的推测地带,还需要进一步加密测量。随后该剖面向北越过渭河河漫滩直到渭河北岸一级阶地, α 脉冲计数值较低,平均值约 19 次/min。渭河二级阶地与三级阶地接触周边, α 脉冲计数值显著增加,平均值为 35 次/min,最高为 37 次/min,高值范围带宽约 300m,三级阶地以北至黄土台塬, α 脉冲计数值降低,平均值约 20 次/min。

W2 剖面中, α 脉冲计数值在渭河北岸一级阶地

以南均值较低,直到渭河北岸二级阶地和三级阶地之间出现峰值,高值范围带宽约为 300 m,最大值达到 34 次/min。剖面向北进入黄土台塬后, α 脉冲计数值出现降低。

W3 剖面 and W4 剖面在地理位置上均穿过渭河北岸断裂(F2)和泾河断裂(F1), α 脉冲计数值在渭河南岸没有异常,过渭河进入二级阶地中部后出现峰值,最高值分别为 34 次/min、33 次/min。黄土台塬上 α 脉冲计数值没有出现异常。但向北在泾河断裂(F1)附近,又出现异常,类似于布置于泾河断裂上方的 J1—J3 剖面,同时也可以通过 W3、W4 直观的比较出渭河北岸断裂上方所测得的异常值高于泾河断裂异常值。

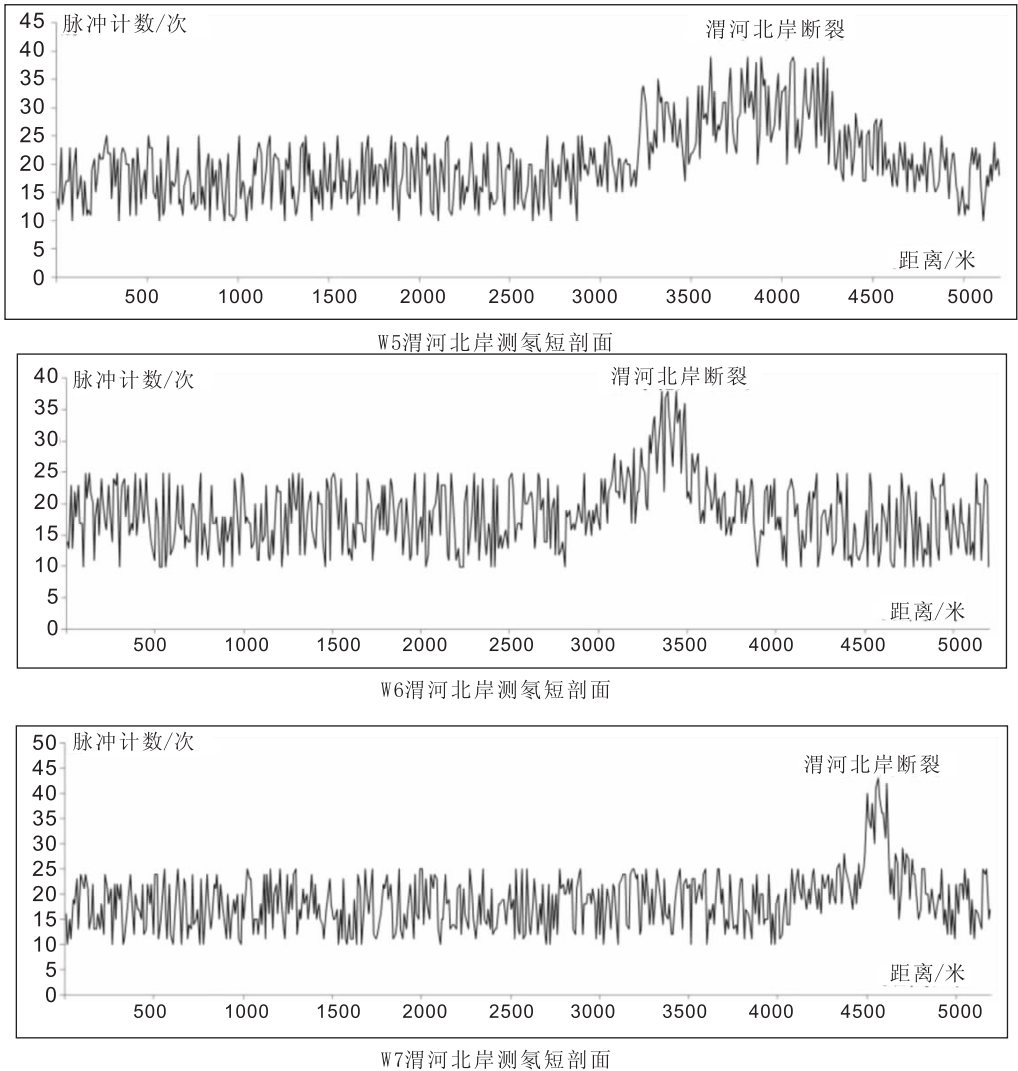


图 5 渭河北岸断裂测氡短剖面图(W5、W6、W7)

Fig. 5 The short soil radon monitor sections(W5、W6、W7) of northern Wei River fault

根据前人对渭河断裂的研究(刘护军,2004;权新昌,2005;夏勇,2007;谢震乾等,2010;张朝锋等,2012;师亚芹等,2007;冯希杰等,2008)可知,西安草滩以西的渭河北岸断裂存在于二级阶地与三级阶地之间。本次测氡的数值结果能与前人的研究成果基本吻合。结合前述研究可知,测氡探测活动断裂这一技术手段能够在西咸新区研究区内推广使用,用

来寻找区内其他可能存在的活动断裂。

3.3 渭河断裂加密短测线 W5—W10

为了更好的直观对比渭河北岸断裂与可能存在的渭河南岸断裂在氡气测量值上的差异,在 4 条渭河断裂测氡测线 W1—W4 间加密布置了 6 条长约 5 km 的短测线,渭南北各 3 条,其中,渭河北岸测线为 W5—W7,渭河南岸测线为 W8—W10(图 5、图 6)。

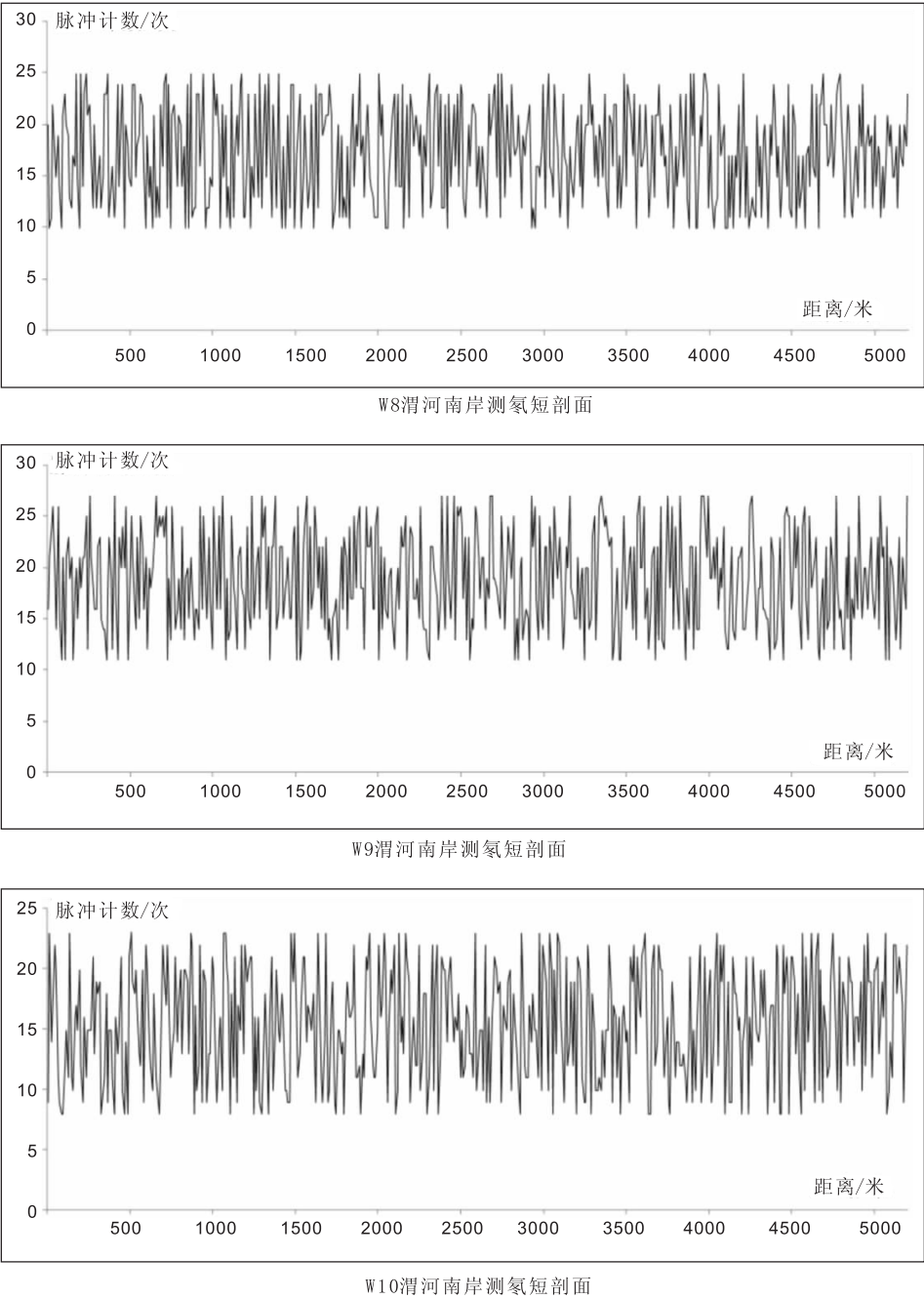


图 6 渭河南岸断裂测氡短剖面图(W8、W9、W10)

Fig. 6 The short soil radon monitor sections(W8、W9、W10) of southern Wei River fault

渭河北岸短剖面测量结果与 W1—W4 剖面测量结果基本一致,在渭河二级、三级阶地交界处的 α 脉冲计数值突然出现增加,很好的显示出渭河北岸断裂的存在性。但在渭河南岸短剖面测量结果中可见: α 脉冲计数值呈现剧烈震荡并具有一定的波段性,但没有出现类如泾河断裂与渭河北岸断裂的异常带特征,可以初步判定在西咸新区范围内,渭河南岸断裂不存在,至于 α 脉冲计数值呈现剧烈震荡的原因,推断与地裂缝发育有关,需要进一步证实。

3.4 沔河及皂河断裂长测线 Z1、Z2

Z1 测线由户县大王镇南部沿 NE 方向沿渭河南岸的二级阶地与南部的二级冲洪积阶地的交界线延伸至西安市西郊,Z2 测线由户县大王镇东南约 2 km 处出发,沿 NE 向延伸至西安市西南郊区,2 条测线均长约 20 km。从测量剖面上可见, α 脉冲计数值偏低,大部分测值在 10~20 次/min 的范围内波动,均没有出现异常(图 7)。因此,暂且初步判定西咸新区范围内,这 2 条断裂不存在或先前存在但活动微弱,被深埋地下,需要进一步证实。

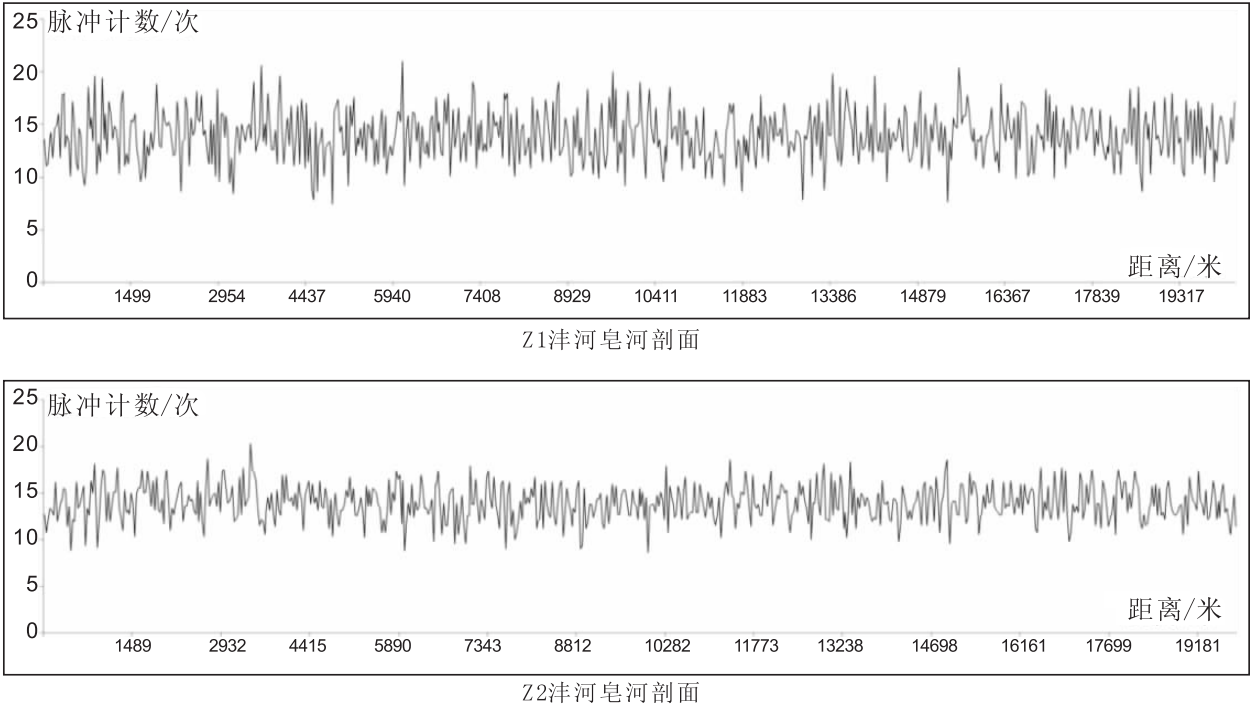


图 7 沔河、皂河断裂测氡短剖面图(Z1、Z2)

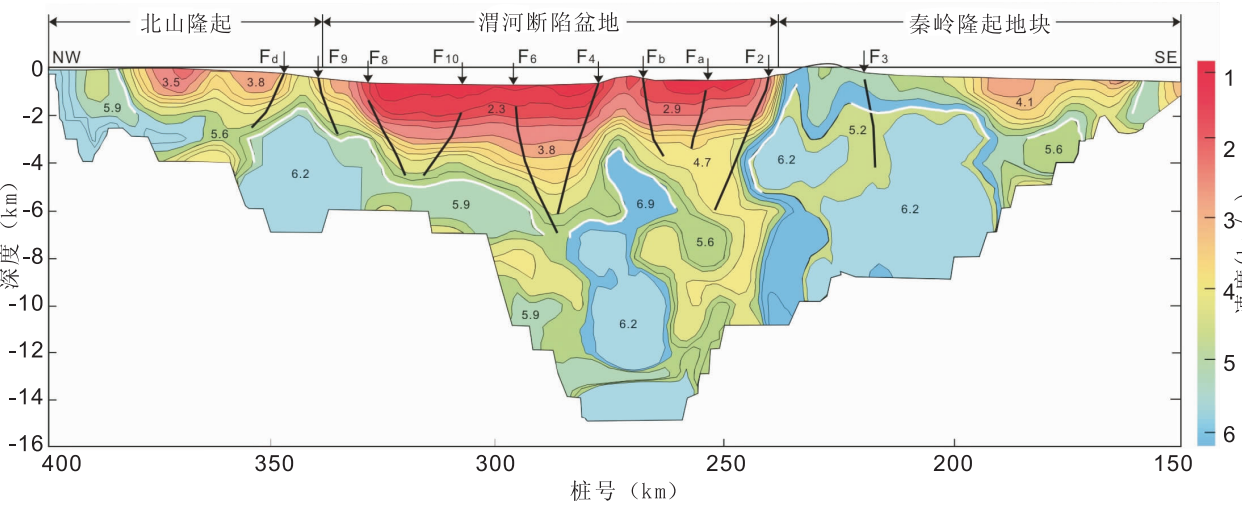
Fig. 7 The soil radon monitor sections(Z1、Z2)of Feng and Zao River faults

4 讨论及结论

综上所述,使用测氡法在西咸新区内进行活动断裂探测是一种切实可行的技术手段,该方法的探测结果很好的验证了泾河断裂与渭河北岸断裂的存在,判断出泾河断裂位于泾河河谷地带,渭河北岸断裂位于渭河北部二级阶地与三级阶地的交接处。也初步判定在该研究区内渭河南岸断裂、沔河断裂、皂

河断裂不存在。但对于探测断裂的存在性,仅仅使用一种方法是不够的,仍需要其余技术手段来相互证明。

(1)据前人所做最新的关中盆地高分辨率地震折射剖面(任隽等,2012)(图 8,由关中盆地的北山向东南延伸穿过西安西部地区直达秦岭)可知,在西咸新区范围内,地震剖面中只可见到渭河北岸断裂,倾向南,未见到渭河南岸断裂。结合测氡剖面的显示结果可推断:在西咸新区内渭河南岸断裂不存在。



F2. 华山西侧断裂;F3. 铁炉子断裂;F4. 临潼-长安断裂;F6. 渭河北岸断裂;F8. 乾县-富平断裂;F9. 口镇-关山断裂;
F10. 渭南-泾阳断裂

图 8 关中盆地高分辨率地震折射剖面图

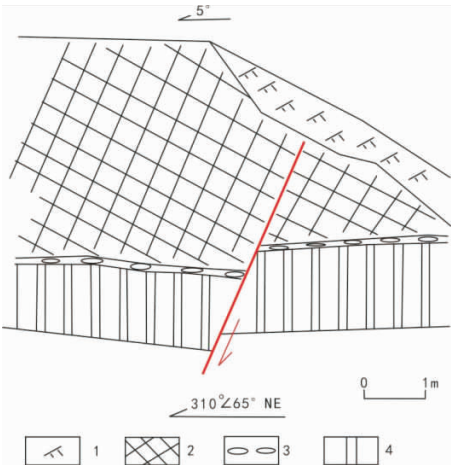
Fig. 8 High-resolution seismic section across the Guanzhong Basin(REN Jun,et. al,2012)

(2)据西安地质调查中心所做的《西咸新区地震小区划报告》(2014)可知:皂河断裂沿河谷方向向西北延伸,倾向南西,长约 52km。长安西街(少陵塬边)西安长安区长安酒(少陵塬边)见到该断裂将晚更新世地层明显错断(图 9、图 10),反映该断裂南段晚更新世仍具有活动性,但再向北西,该断裂在西安市区呈隐伏状态,活动不明。



图 9 长安酒厂皂河断裂露头图(摄影:冯希杰)

Fig. 9 The photo of outcrop of Zao River fault in Chang'an Alcohol Factory(Photoed by FENG Xijie)



1. 全新世人工填土;2. 晚更新世古土壤(S1);3. 钙质结核;
4. 中更新世黄土(L2)

图 10 长安酒厂皂河断裂剖面图

Fig. 10 Zao River fault section in Chang'an Alcohol Factory

但随后在西安市地震小区划工作中,在长安区少陵塬和神禾塬之间的韦兆村布置浅层地震勘探剖面,垂直于皂河河谷方向(图 11),地震时间剖面变密度图反射波组信息丰富,信噪比高连续性好,波组特征清晰。综合分析该测线地层产状基本水平,无明显断层存在。

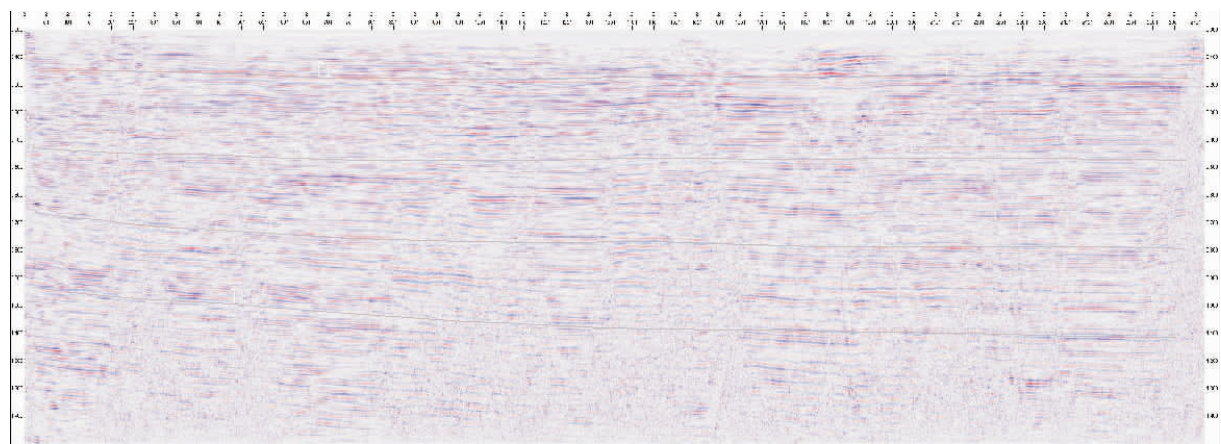


图 11 西安长安县韦兆村剖面图(西咸新区地震小区划报告)

Fig. 11 Shallow seismic section acrossing Weizhao Village of Xi'an(Xi-Xian New Area Seismic Report)

随后又在咸阳二号桥以及铁路桥东侧的小王村附近的渭河南岸进行了浅层地震勘探,勘探结果地质解释在测线桩号 5992 处存在断层(图 12 , DF_{x12}),推测为皂河断裂。

该断层倾向南西,倾角为 82° 左右,为正断层,时间剖面变密度图显示断层剖面构造特征较清楚,断层两盘地层产状近水平,上盘地层向下错位,断层断距不大。

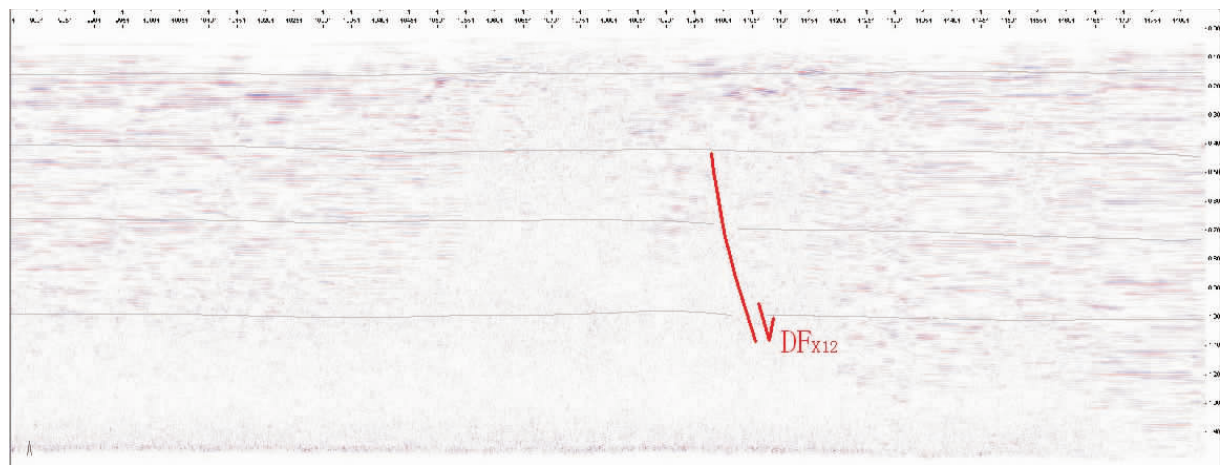


图 12 咸阳塬二号桥东侧小王村浅层地震剖面图(西咸新区地震小区划报告)

Fig. 12 Shallow seismic section acrossing Xiaowang Village, the east of No. 2 bridge in Xianyang loess(Xi-Xian New Area Seismic Report)

综上所述,在关于皂河断裂的研究中,前人先是在西安长安新街长安酒厂发现断裂的露头,并明显错断晚更新世地层,但在西安长安县布置垂直于皂河河谷的浅层地震勘探剖面后,却无法在地震剖面上找到有关断裂存在的有力证据。随后在咸阳小区划工作中,在咸阳二号桥东侧的渭河南岸布置浅层

地震勘探剖面后,却得到了断裂存在的证据。结合本次工作中皂河断裂周边氦气测量无异常的结果,依然无法判断该条断裂是否存在。在各种证据互相矛盾的情况下,该条断裂的存在情况及分布位置,则有待于进一步研究。

(3) 沔河断裂的资料较少,还有待于进一步研究。

参考文献(References):

- 张厚福, 方朝亮, 高先志等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 239-245.
- ZHANG Houfu, FANG Chaoliang, GAO Xianzhi, et al. Petroleum geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, China, 1999: 239-245.
- 刘护军. 渭河盆地的形成演化与东秦岭的隆升[D]. 西北大学, 2004.
- LIU Hujun. Formation and Evolution of the Weihe River Basin and uplift of the Eastern Qinling Mountains[D]. Northwest University, Xi'an, China, 2004.
- 夏勇. 渭河盆地新生代沉积特征及与构造的关系[D]. 长安大学, 2007.
- XIA Yong. The sedimentary characteristic of Cenozoic in Weihe Basin and its Relationship with Tectonics[D]. Chang'an University, Xi'an, China, 2007.
- 权新昌. 渭河盆地断裂构造研究[J]. 中国煤田地质, 2005, 17(3): 1-8.
- QUAN Xinchang. Weihe basin faulted structure study[J]. Coal Geology of China, 2005, 17(3): 1-8.
- 谢振乾, 杨建军, 郑宁平. 论渭河盆地断块运动及地震活动特征[J]. 陕西地质, 2010, 28(2): 59-65.
- XIE Zhenqian, YANG Jianjun, ZHENG Ningping. Characteristic of fault-block movement and seismicity in the Weihe Basin[J]. Geology of Shaanxi, 2010, 28(8): 59-65.
- 张朝锋, 郭安林, 龚奇福, 等. 概述渭河地堑的形成发育和邻区的耦合关系[J]. 陕西地质, 2012, 30(1): 6-13.
- ZHANG Zhaofeng, GUO Anlin, GONG Qifu, et al. Formation and evolution of the Weihe Graben and the coupling relationship with its adjacent areas [J]. Geology of Shaanxi, 2012, 30(1): 6-13.
- 陕西省地质矿产厅. 西安地区环境地质图集[M]. 西安: 地图出版社, 1999.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Shaanxi Province. The Atlas Of Environmental Geology of Xi'an Area. [M]. Xi'an: Map Publishing Press, 1999.
- 石玉春, 吴燕玉. 放射性物探[M]. 北京: 原子能出版社, 1986: 126-149.
- SHI Yuchun, WU Yanyu. Radiometric Geophysical Prospecting [M]. Beijing: Atomic Energy Press. 1986: 126-149.
- 侯彦珍, 王永才, 张根深. 土壤气氛测量影响因素的初步研究[J]. 华北地震科学, 1994, 12(2), 55-59.
- HOU Yanzhen, WANG Yongcai, ZHANG Genshen. A preliminary study of the influence factor on soil gas radon measurement [J]. North China Earthquake Science, 1994, 12(2), 55-59.
- 中国地震局. 中国地震活动断层探测技术系统技术规程 [M]. 北京: 地震出版社, 2005: 18.
- China Earthquake Administration, Stipulation on technical system for China earthquake active fault surveying[M]. Beijing: Seismological Press, 2005: 18.
- 师亚芹, 李晋, 冯希杰等. 渭河断裂带古地震研究[J]. 地震地质, 2007, 29(3): 607-616.
- SHI Yaqin, LI Jin, FENG Xijie, et al. The study of paleo-earthquake on the Weihe fault zone[J]. Seismology and Geology, 2007, 29(3): 607-616.
- 冯希杰, 李晓妮, 任隽, 等. 渭河断裂深、中、浅和近地表显示[J]. 地震地质, 2008, 30(1): 264-272.
- FENG Xijie, LI Xiaoni, REN Juan, et al. Manifestations of Weihe Fault at deep, middle, shallow and near-surface depth[J]. Seismology and Geology, 2008, 30(1): 264-272.
- 任隽, 彭建兵, 王夫运, 等. 渭河盆地及邻区地壳深部结构特征研究 [J]. 地球物理学报, 2012, 55(9): 2939-2947.
- REN Jun, PENG Jianbing, WANG Fuyun, et al. The research of deep structural features of Weihe basin and adjacent areas[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55(9): 2939-2947.
- 西安地质调查中心. 西咸新区地震小区划报告, 2014.
- Monhamed M. Soil radon survey for tracing active fault: a case study along QenaSfaga road, Eastern Desert, Egypt [J]. Radiation Measurements, 2003, 37(3): 211-216.
- Khayrat A H, Oliver M A, Durrani S A. The effect of soil particle size on soil radon concentration[J]. Radiation Measurements, 2001, 34: 365-371.
- KING C Y. Radon emanation on San Andreas fault[J]. Nature, 1978, 271, 516-519.