

贵阳乌当断裂探测及第四纪活动初步分析*

雷东宁^{1,2}, 傅焰林^{1,2}, 蔡永建^{1,2,3}, 梁操⁴

(1. 中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室), 湖北 武汉 430071; 2. 武汉地震工程研究院, 湖北 武汉 430071;
3. 中国地质大学(武汉) 地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 4. 贵州省地震局, 贵州 贵阳 550001)

摘要:通过对乌当断裂野外实际构造地貌、地质特征调查, 室内断层物质测年分析, 结合地球物理、化学探测方法, 对乌当断裂的重点地段进行了研究, 分析了该断裂第四纪以来的活动特征。初步研究表明, 乌当断裂带为倾向 SE 的逆断层, 第四纪以来有不同强度的活动。经断层泥物质测年及综合地貌特征分析, 发现该断裂为一条第四纪早更新世弱活动, 中更新世强活动的断裂。断层泥物质电子自旋共振测年(ESR)年龄在 647 ~ 737 ka 之间, 表明乌当断裂在第四纪中更新世早期有活动。

关键词: 贵阳; 乌当断裂; 第四纪活动; 断层泥测年; 地球物理、化学探测

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)02-0213-07

0 前言

乌当断裂是贵阳市附近一条重要的断裂, 研究该断裂对于合理认识贵阳地区地震危险性 & 城市防震减灾规划有重要意义。阿发友等(2008)、范晓华等(1997)、刘彦良等(2009)对该断裂获得了一些重要的认识, 并在本区开展了许多有助于深入了解该断裂深部构造及区域演化的工作(万桂梅等, 2008; 范祥发等, 1998; 封永泰等, 2007; 邓新等, 2010; 于鹏等, 2008), 这为研究乌当断裂提供了最基础的资料, 但这些研究多侧重于黔中隆起演化及深部构造, 而对于该断裂的几何展布、第四纪以来的活动性等方面研究较少。笔者在该区已开展的一些工作获得的资料以及前人的研究基础上, 对乌当断裂的展布特征及第四纪以来的活动性进行分析。

1 乌当断裂特征

1.1 几何展布

乌当断裂为松桃—碧痕营断裂带南西段, 习惯上称为乌当断裂, 西起厂兴, 向北东经打桶寨、工学院、乌当、东风、杨家庄, 于上卡堡延出研究区外, 区内长约 58 km。该断裂总体上呈 NE 向展布, 局部呈 NEE 向。断裂走向与区域构造线方

向基本一致, 在黔灵北、乌当一带呈向西北凸出的弧形(图 1)。整条断裂由若干条 NE 向次级断层组成, 平面上大体相互平行或有夹角, 但各个次级断层规模较小, 延伸有限。大多分支断层为逆断层, 少数具有正断层性质(阿发友等, 2008)。

1.2 地质特征

乌当断裂总体呈 NE 向, 主断裂面倾向为 SE (图 1), 倾角多在 35° ~ 70°, 一些次级断层局部地段倾向为 NW。该断裂两侧发育上元古界—古近系地层, 且地层缺失较明显。乌当断裂可能早在震旦纪就形成, 具有多期活动的特点, 中间经历了约 7 个活动阶段, 现处于中新世—喜马拉雅压剪性阶段(贵州省地质局, 1987)。根据野外地质调查及有关资料, 较大的压性断裂断面呈波状弯曲, 形成叠瓦状复杂构造。本次野外实际地质调查, 所获得的乌当断裂表现为倾向为 SE 的逆断裂, 断裂面上陡下缓, 并深切变质基底, 这与刘彦良等(2009)所做地震剖面显示基本吻合。

2 地球物理和地球化学探测

乌当断裂所经过的一些地段被较薄的第四系残坡积层覆盖, 为了确定该断裂的展布及几何特征, 我们在久安乡雪厂村、打通村一带布置了物化探测联合剖面, 两条测线编号分别为 WD1、WD2。WD1 测线起点(26°30'12.2"N, 106°35'

* 收稿日期: 2011-07-01.

基金项目: 中国地震局地震研究所基金(IS200856069)资助.

46.4"E), 终点 (26°29'56.7"N, 106°35'57.2"E); WD2 测线起点 (26°30'33.7"N, 106°36'31.2"E), 终点 (26°30'24.5"N, 106°36'42.6"E)。为了初步判定断裂的位置, 分别用高密度电法、土氡及气汞测量方法对乌当断裂进行了探测。

2.1 久安乡雪厂村 WD1 测线

(1) 高密度电法: 该测线在久安乡雪厂村一带, 长 595 m, 电极间距 5 m。根据视电阻率反演结果, 并结合地质资料综合分析认为, 覆盖层厚度为 0.8~11.2 m, 基岩为灰岩, 强风化层厚度为 0.5~5.4 m。距离测线起点 117~121 m 和 294~298 m 处发现相对低阻异常, 视电阻率分别为 40~130 Ω·m 和 42~90 Ω·m, 顶部埋深分别约为 5.5 m 和 6.1 m, 笔者推测低阻异常区为断层破碎带 (图 2a)。在 460 m 和 510 m 处低阻异常出现在

剖面顶部, 距离地表较近, 可能由于地表层水的影响所导致。

(2) 气汞测量: 该测线长 600 m, 气汞的测点数为 61 个, 测点间距均为 10 m。气汞背景值取平均值 94 ng/m³, 标准方差为 13 ng/m³, 气汞异常下限值取为 120 ng/m³。在距测线起点 280~300 m 处的气汞值较高, 峰值与背景值的比值约为 1.6:1, 推测乌当断层可能在此处通过 (图 2b)。

(3) 土氡测量: 该测线长 600 m, 土氡的测点数为 61 个, 测点间距均为 10 m。土氡背景值取平均值 120 (脉冲/2 分钟), 均方差为 36 (脉冲/2 分钟), 异常下限值取为 192 (脉冲/2 分钟)。在距测线起点 300~320 m 处土氡值较高, 峰值与背景值的比值约为 2.3:1, 推测此处为断层破碎带位置 (图 2c)。

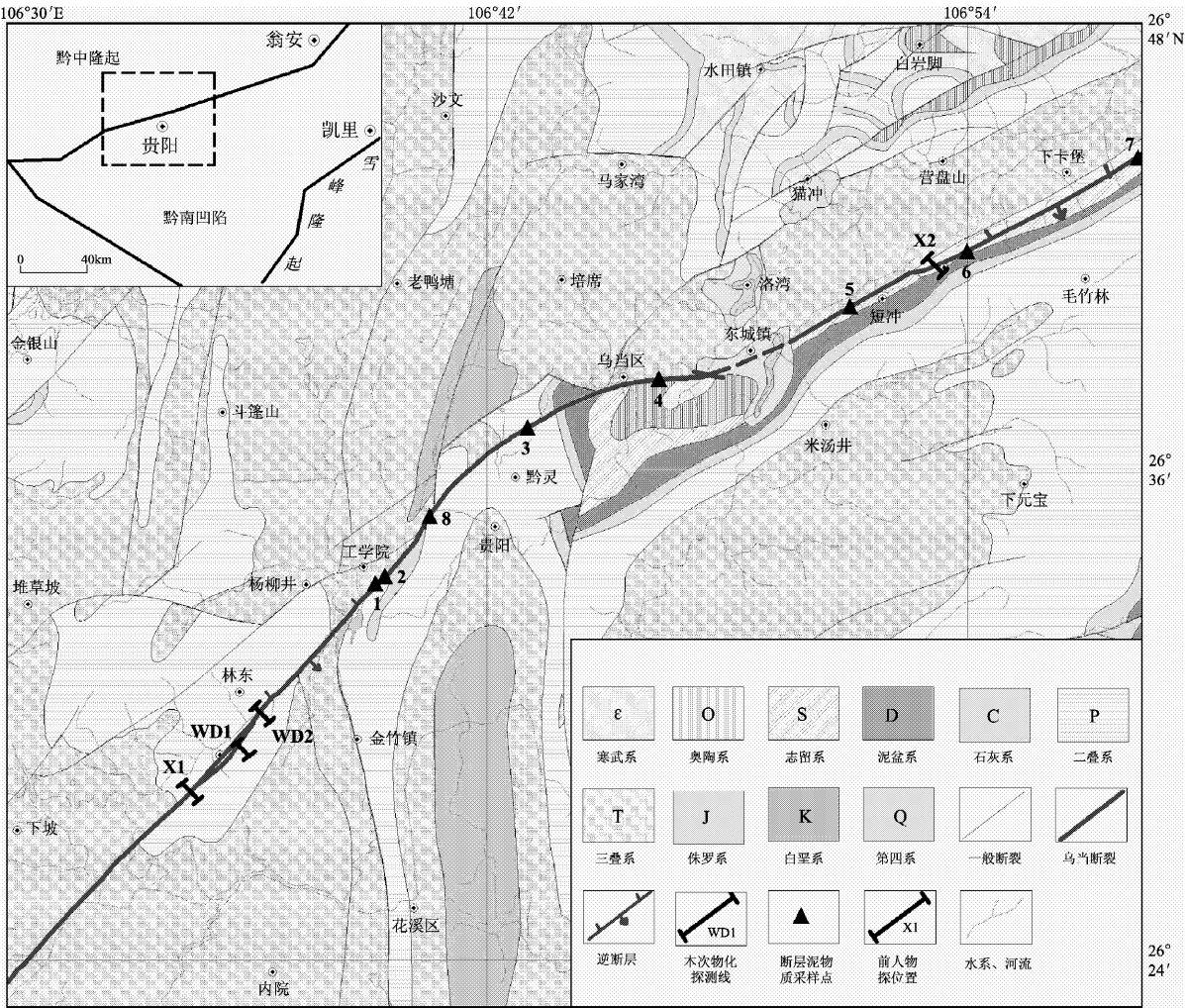


图 1 研究区乌当断裂地质构造简图^①

Fig. 1 Geological structure map of the Wudang Fault in study area

① 根据 1:50 万地质底图, 乌当断裂局部地段变化依据实际野外断裂活动性调查修编。

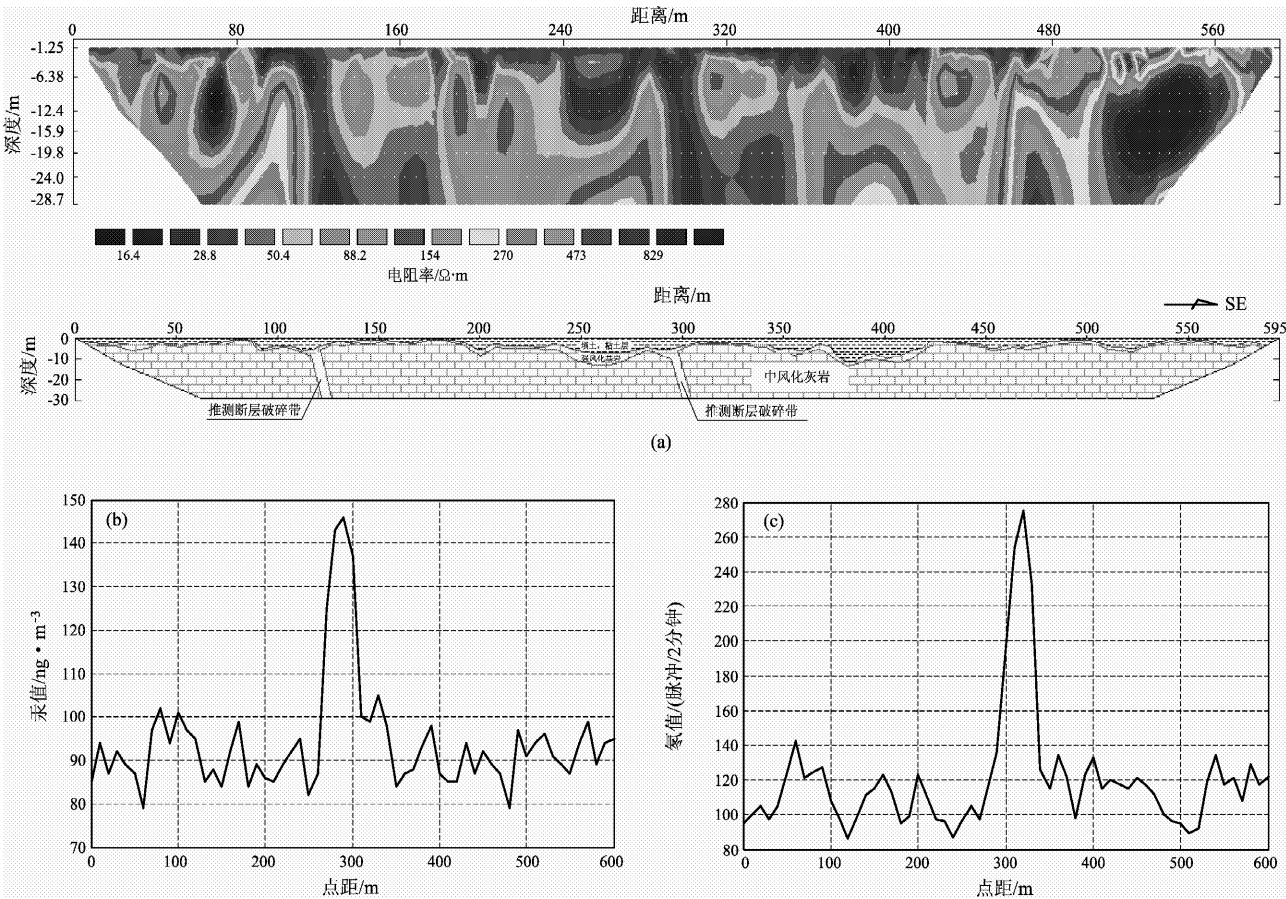


图2 久安乡雪厂村测线WD1物化探测及地质解释剖面
(a) 视电阻率反演色度图及地质解释剖面；(b) 气汞测值图；(c) 土氡测值图
Fig. 2 Geophysical-geochemical detection and geological interpreting map
of Line WD1 in Xuechang Village, Jiu'an Town

(a) Chromaticity diagram inverted by apparent resistivity and geological interpreting section;
(b) Measurement value of gas mercury; (c) Measurement value of soil radon

2.2 久安乡打通村WD2测线

(1) 高密度电法：该测线在久安乡打通村一带，测线长445 m，电极间距5 m。由视电阻率反演结果，结合已有地质资料综合分析，覆盖层厚度为3.8~17.2 m，基岩为灰岩，强风化层厚度为3.3~11.8 m。距测线起点50~100 m处出现低阻异常，视电阻率为49~200 $\Omega \cdot m$ ，推测此处可能为断裂发育处，其它测线地段未发现明显低阻异常（图3a）。

(2) 气汞测量：该测线长400 m，气汞的测点数为41个，测点间距均为10 m。气汞背景值取平均值91 ng/m^3 ，标准方差为10 ng/m^3 ，异常下限值取为111 ng/m^3 。在距测线起点70~90 m处气汞值较高，峰值与背景值比值约为1.4:1，推断此处为断层通过地段（图3b）。

(3) 土氡测量：该测线长400 m，土氡的测点数为41个，测点间距均为10 m。土氡背景值取土氡平均值118（脉冲/2分钟），均方差为42（脉冲/2分钟），异常下限值取为202（脉冲/2分钟）。在距测线起点80~100 m的测线段土氡值较高，峰值与背景值比值约为2.2:1，推测此处为断层破碎带位置（图3c）。

3 断裂第四纪活动的地质地貌特征

3.1 地貌特征

乌当断裂地貌特征十分明显，断裂北西盘地貌高程为1 200~1 300 m，断裂南东盘地貌高程为900~1 100 m，断裂两侧高程差200~300 m。乌当、东风一带地貌面起伏不大，地貌差异不甚明

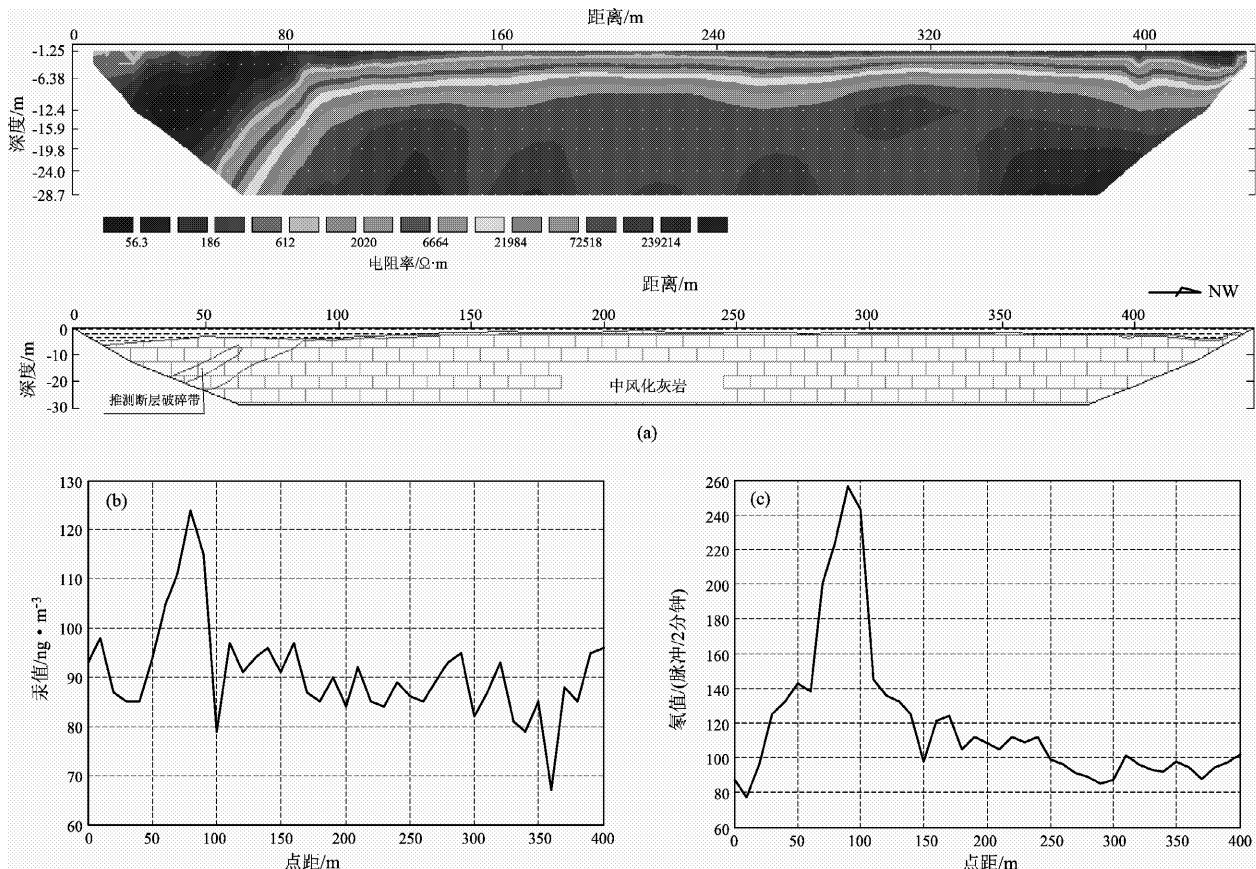


图3 久安乡打通村测线WD2物化探测及地质剖面
(a) 视电阻率反演色度图及地质解释剖面; (b) 气汞测值图; (c) 土氡测值图
Fig.3 Geophysical-geochemical detection and geological interpreting map
of Line WD2 in Datong Village, Jiu'an Town

(a) Chromaticity diagram inverted by apparent resistivity and geological interpreting section;
(b) Measurement value of gas mercury; (c) Measurement value of soil radon

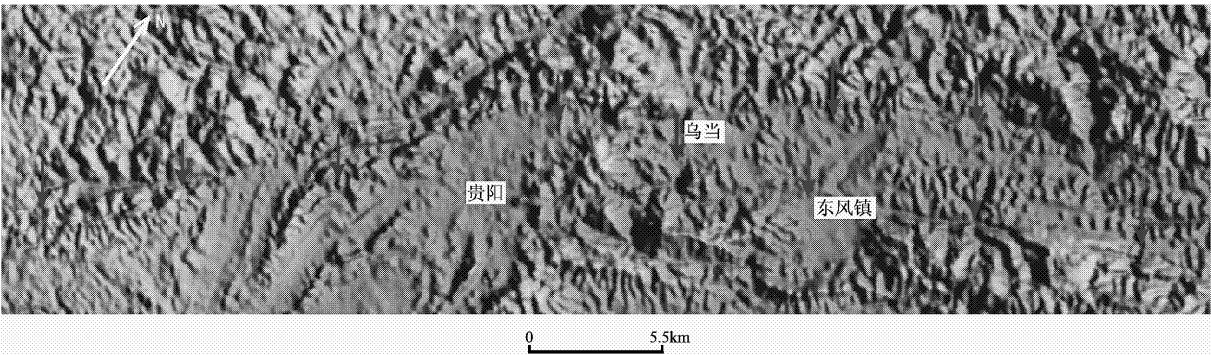


图4 乌当断裂DEM地貌图
Fig.4 DEM geomorphologic map of Wudang Fault

显，而野外观察局部地貌差异十分清楚。断裂经过东风镇向东延伸后，断裂南支地貌差异表现为南东高，北西低（图4）。在黔灵山北剖面野外观察点，断裂两盘存在着二十几米的地貌落差。

3.2 地质特征

(1) 五里冲剖面：在五里冲贵州工学院附近，乌当断裂形成高约20 m、长达100 m的赭红色断层陡崖。陡崖呈波状弯曲展布，走向NE30°~40°，

倾向 140°，倾角 70°~80°。断层上盘为中三叠统中厚层灰岩，下盘为下三叠统砂岩、局部见夹页岩。断层破碎带宽 10~12 m，主要由构造角砾岩、挤压片理带、碎裂岩和厚约 20 cm 的断层泥组成（图 5）。断裂破碎带内挤压片理、透镜体发育，挤压特征明显，破碎带为钙质胶结，较坚硬。在五里冲一带的乌当断裂上采集了两组断层泥样品，编号分别为 WLC-1、WLC-2，年代测试结果分别为 647 ka、733 ka，表明断裂在第四纪早更新世末期—中更新世早期有一定的活动。

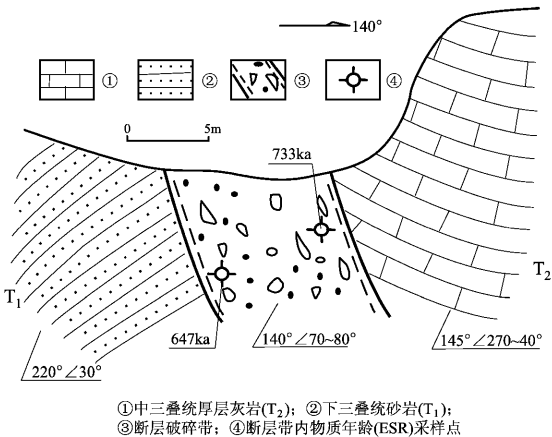


图 5 五里冲乌当断裂构造剖面

Fig. 5 Tectonic section of Wudang Fault in Wulichong

(2) 高雁剖面：在贵阳市乌当高雁垃圾填埋场，乌当断裂带内发育北西向次级断裂。该次级断裂构成乌当断裂带的一部分，其活动反映出乌当断裂带的特征。该次级断裂发育在奥陶系薄—中厚层泥质灰岩及泥质白云岩中，由一组产状大致相同的正断层组成，其上盘依次下降，形成阶梯状断层组合，断面产状 215°∠50°。断裂上断点进入 Qp₁₊₂^{pal} 冲洪积物但切穿 Qh^{pal}，表明乌当断裂在第四纪早、中期有过活动（图 6）。

(3) 黔灵山剖面：在近场区的黔灵山一带，可见断裂在二叠系茅口组灰岩中发育。断面倾向南东，倾角约 35°，断面波状起伏。断层上盘岩层产状较下盘稍陡，上盘产状为 310°∠35~40°，无明显变形及变位，整个断层在本观察点处由两条断面构成（图 7a, b）。

两条破裂面构成一透镜体，在透镜体末端汇合，根据透镜体及断面上的擦痕来看，该断裂具有明显的逆断性质。整个透镜体由断层角砾岩构成，宽约 1~2 m，断层角砾岩已固结，较为坚硬；上断面发育小规模断层泥状物质，为半固结的

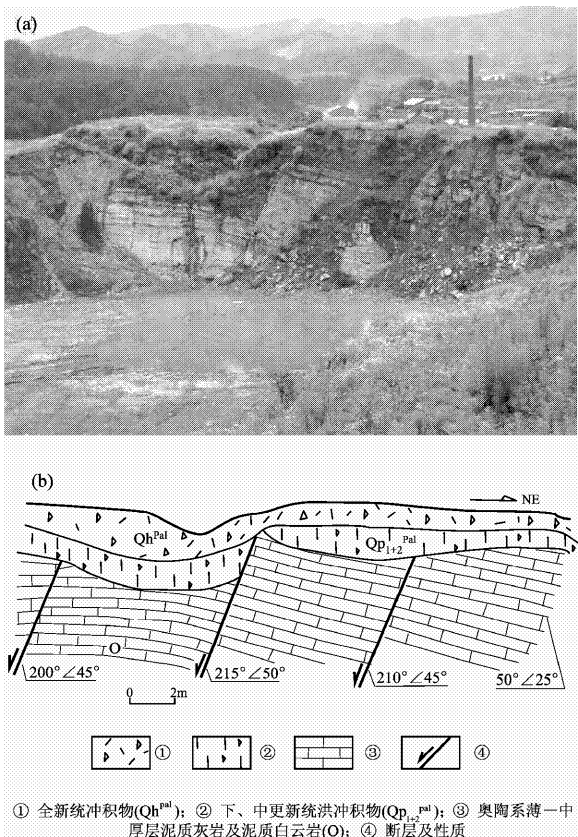


图 6 贵阳市乌当高雁垃圾场乌当断裂露头 (a) 及构造剖面 (b)

Fig. 6 Outcrop (a) and tectonic section (b) of Wudang Fault in Gaoyan Dump, Wudang District in Guiyang

断层泥。采集的含钙断层泥物质扫描电镜（SEM）鉴定显示，中更新世有活动。

(4) 龙里县竹林村剖面：断裂以密集挤压裂面成带，宽约 20 m 的破碎带内有大小破裂面十余条，破碎带内除挤压片理、透镜体发育外，靠近滑动面还产出厚度不大的断层泥（图 7c, d），断裂压性特征表现明显。从断层面上发育的擦痕来判断，断裂具有右旋—逆断性质。采集断层泥经 SEM 法鉴定结果显示，该断层泥石英砂颗粒为棱角状，表面形貌桔皮状结构约占 90%，次贝壳状结构约占 10%，可见弧形擦痕。

另外，在偏坡一带，断裂发育在三叠系地层中，断层带内发现半胶结断层泥，采集的断层泥物质编号为 PP-3，其 ESR 测年年龄为 712 ka。在东风短冲西一带断层泥物质经 SEM 年龄测试，断裂在早更新世弱活动，中更新世有强烈活动。在乌当东、杨家庄北东等地采集的断层泥物质均显示，断裂在第四纪早、中更新世有活动（表 1）。

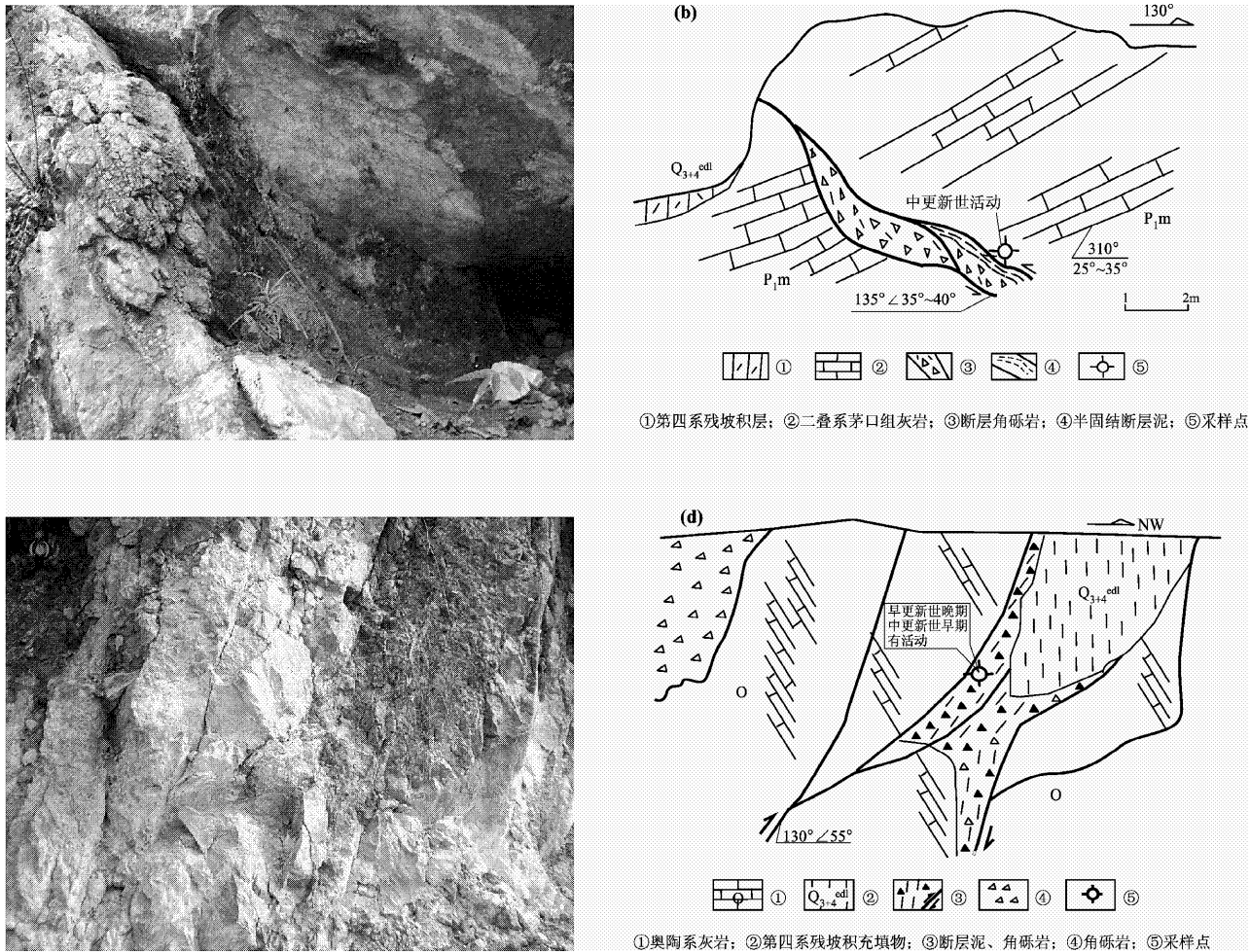


图7 乌当断裂带黔灵山北、龙里竹林村露头及构造剖面

(a) 黔灵山细部露头照；(b) 黔灵山北构造剖面；(c) 竹林村露头照；(d) 竹林村构造剖面

Fig. 7 Outcrop and geological section of Wudang Fault in north of Qianling Mountain and Zhulin Village, Longli Town

(a) Detailed outcrop in north of Qianling Mountain；(b) Tectonic section in north of Qianling Mountain；
(c) Outcrop in Zhulin Village；(d) Tectonic section in Zhulin Village

表1 乌当断裂带断层物质测年一览表
Tab. 1 Fault gouge Dating of Wudang Fault belt

样品序号	采样编号	采样位置	测试物质	测试方法	测试结果	备注
1	WLC-1	五里冲	断层泥状物质	ESR	647 ka	
2	WLC-2	五里冲	断层泥状物质	ESR	733 ka	断层带内
3	QL-SEM	黔灵山北	断层泥	SEM	中更新世有活动	物质测年，测
4	WD-SEM	乌当东一带	断层泥物质	SEM	早、中更新世有活动	试目标矿物均
5	DC-SEM	东风短冲西一带	断层泥物质	SEM	早更新世弱活动，中更新世有强烈活动	选择石英，该
6	YJZ-SEM	杨家庄北东	断层带内物质	SEM	中更新世活动强烈	矿物由于其稳
7	ZL-SEM	龙里竹林村	断层泥状物质	SEM	早更新世晚期，中更新世早期有活动	定的物理性质
8	PP-3	偏坡	断层泥状物质	ESR	712 ka	而得到广泛应

注：电子自旋共振测年（ESR）由中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室测定；扫描电镜（SEM）测年由中国地质大学（武汉）地质过程与矿产资源国家重点实验室测定。

4 结论与讨论

通过对乌当断裂野外的地貌、地质特征的调查, 断层物质测年等分析, 并在一些地段布设地球物理、地球化学测线。综合分析认为: (1) 乌当断裂为向南东倾的逆断层; (2) 分支断层具正断性质, 切错第四纪早、中更新世地层; (3) 断层泥物质电子自旋共振测年在 647 ~ 737 ka 之间, 显示断裂在第四纪中更新世早期有活动; (4) 断层泥物质扫描电镜测年及地貌特征分析认为, 断裂第四纪早更新世有弱活动, 中更新世强烈活动。

黔中一带地表分布第四纪少而薄, 受新构造隆升的影响, 整个地区处于隆起剥蚀状态, 仅在一些沟谷地段分布少量第四系残坡积物、冲洪积物, 这为直接分析断裂第四纪的地质证据带来较大困难。乌当断裂穿越研究区内少有的乌当白垩—第四纪盆地, 该地段断裂呈隐伏状, 在乌当盆地开展详细的地震地质工作对深入研究乌当断裂带活动性具有重要意义。

乌当断裂是贵阳市附近重要区域性断裂, 笔者初步分析了该断裂的基本地质特征、活动性, 为本区防震减灾规划及分析该断裂潜在地震危险

性奠定了基础。

中国地震局地震研究所宋琛工程师及贵州省地震局工程地震研究中心的人员为野外物探工作的开展、资料解译提供了帮助, 中国地震局地震研究所刘锁旺研究员为本文的撰写提出了宝贵建议, 在此一并表示感谢。

参考文献:

- 阿发友, 周洪庆, 杜定全. 2008. 高密度电法在乌当断层探测中的应用[J]. 勘察科学与技术, (2): 58-60.
- 邓新, 杨坤光, 刘彦良, 等. 2010. 黔中隆起性质及其构造演化[J]. 地学前缘, 17(3): 79-88.
- 范祥发, 王亮, 朱大友. 1998. 黔中—黔东南地区深部地质构造和“黔中隆起”重力异常初步解释[J]. 贵州地质, 15(3): 229-233.
- 范晓华, 杜定全, 周洪庆, 等. 1997. 贵阳市乌当地区逆冲推覆构造的特征分析[J]. 贵州工业大学学报, 26(2): 23-26.
- 封永泰, 赵泽恒, 赵培荣, 等. 2007. 黔中隆起及周缘基底结构、断裂特征[J]. 石油天然气学报, 29(3): 35-38.
- 贵州省地质局. 1987. 贵州省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 刘彦良, 杨坤光, 邓新. 2009. 镇远—贵阳断裂带活动历史及其对黔中隆起演化的制约[J]. 地质科技情报, 28(3): 41-47.
- 万桂梅, 汤良杰, 郭彤楼, 等. 2008. 黔中隆起及邻区分带性变形特征[J]. 地质学报, 28(3): 316-320.
- 于鹏, 张罗磊, 王家林, 等. 2008. 重磁地震资料联合反演黔中隆起物性结构[J]. 同济大学学报, 36(3): 406-412.

Detecting on Wudang Fault in Guiyang and Preliminary Analysis of its Quaternary Movement

LEI Dong-ning^{1,2}, FU Yan-lin^{1,2}, CAI Yong-jian^{1,2,3}, LIANG Cao⁴

(1. Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, Hubei, China)

(2. Institute of Earthquake Engineering of Wuhan, Wuhan 430071, Hubei, China)

(3. Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

(4. Earthquake Administration of Guizhou Province, Guiyang 550001, Guizhou, China)

Abstract

Through the field investigation of tectonic landform, geological characteristic and the gouge dating analysis on Wudang Fault in Guiyan, combing with the geophysics and geochemistry detecting method, we study the key segment of Wudang Fault and analyze the movement characteristic of it from Quaternary Period. The results show that Wudang Fault is a reversed fault which trends to the northwest and dips to southeast, and has various movements in different intensity from Quaternary Period. It moved weakly in the Early Pleistocene and moved strongly in the Middle Pleistocene during Quaternary Period by means of fault gouge dating and analyze of comprehensive geomorphic feature. The ESR dating of fault gouge ranges from 647 ka to 737 ka, which suggests that the fault is active in the Middle Pleistocene during Quaternary Period.

Key words: Guiyang; Wudang Fault; Quaternary Period activity; fault gouge dating; geophysics and geochemistry detecting