

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.02.001

引用格式:柏道远,吴能杰,陈俊,等.湘潭九华奔驰路剖面第四纪小断裂及其构造应力场研究[J].华东地质,2018,39(2):81-89.

湘潭九华奔驰路剖面第四纪小断裂 及其构造应力场研究

柏道远¹,吴能杰²,陈俊¹,李彬¹,杨少辉¹,钟响¹

(1. 湖南省地质调查院,长沙 410016; 2. 湖南省地质矿产勘查开发局 414 队,益阳 413000)

摘要:湘潭市九华开发区奔驰路北侧有 1 条长约 130 m 的 EW 向人工开挖倾斜剖面,剖面下部为白垩纪戴家坪组紫红色细砾岩,上部为第四纪白沙井组砾石层和网纹红土。通过对该剖面进行详细的野外地质调查,发现剖面发育 24 条第四纪小断裂。这些断裂产状陡立,断面倾角一般为 70°~88°;根据走向和性质可分为 NW 向左行平移断裂、NE 向右行平移断裂、EW 向左行平移断裂和 NNE 向正断裂等 4 组。根据交切关系,这些断裂可分为 3 期:第一期为 NNE 向正断裂,第二期为 NW 向左行平移与 NE 向右行平移断裂,第三期为 EW 向左行平移断裂。根据切割地层时代并结合区域地质背景,认为第一期 NNE 向正断裂大体形成于中更新世中期,构造环境为区域伸展,可能与第四纪洞庭盆地及周缘伸展断陷有关;第二期 NW 向左行平移断裂和 NE 向右行平移断裂形成于区域 EW 向主压应力场,形成时代为中更新世—晚更新世,可能与青藏块体向东挤压产生的应力远程传导有关;第三期 EW 向左行平移断裂形成于区域 NE 向主压应力场,形成时代为晚更新世—全新世,可能与印度—澳大利亚板块向 NE 的挤压有关。奔驰路小断裂研究揭示了区域第四纪构造变形特征、构造体制及动力机制的复杂性。

关键词:构造应力场;期次;第四纪断裂;奔驰路剖面;湘潭

中图分类号:P542⁺.33

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2018)02-081-09

第四纪应力场是中国陆区第四纪构造研究的重要内容之一。尽管前人对部分地区第四纪应力场(包括现代应力场)进行过相关研究^[1-11],但由于地质时间短且变形强度较弱,这方面的研究资料总体不多。

长株潭地区位于洞庭盆地南缘外围,其第四纪沉积作用、构造活动和环境变化与洞庭盆地演化既有联系又有差异。前人对洞庭盆地第四纪地质进行了深入研究,在第四纪沉积^[12-15]、环境及其演化过程^[16-24]、构造活动^[25-33]等方面取得大量成果。长株潭地区第四纪地质研究则相对薄弱,主要对第四纪地层划分和沉积成因等进行研究^[34-37],而构造方面仅对长株潭地区构造抬升、掀斜、断裂等新构造活动进行了探讨^[38],以及部分研究者对局部断裂进

行描述^[39]。近年来,笔者在进行长株潭地区环境地质调查中,对该区第四纪断裂开展进一步研究。本文详细介绍湘潭九华奔驰路人工开挖剖面第四纪小断裂特征、断裂期次划分,初步探讨断裂形成的构造应力场及其构造背景,为区域第四纪构造活动、构造背景和动力机制研究提供参考资料。

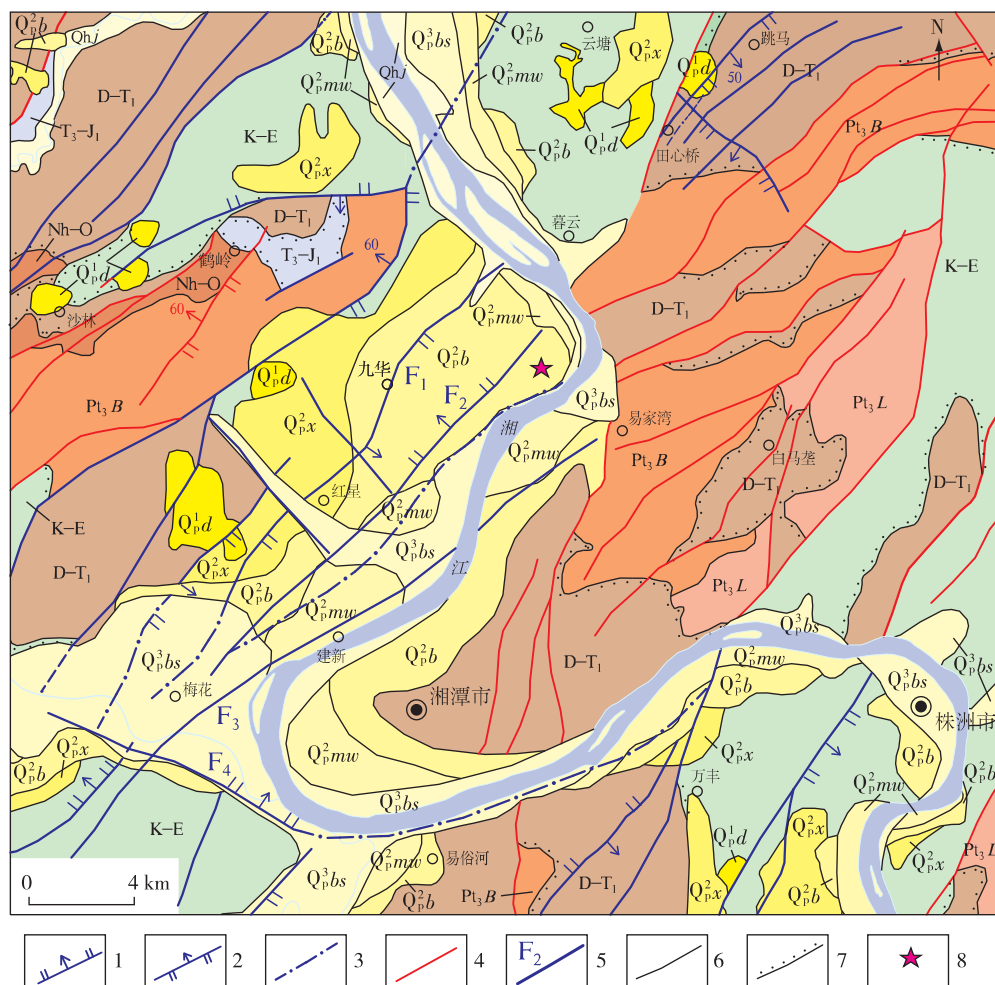
1 区域地质概况

湘潭九华地区为丘陵地貌,海拔一般为 40~250 m。出露地层由早到晚有青白口纪冷家溪群和板溪群、南华系—奥陶系、泥盆系—三叠统、上三叠统—侏罗统及白垩系—古近系等(图 1)。第四系广泛分布于湘江及其支流河谷和两侧,主要为河流冲积,局部为洪积,自早至晚为早更新世洞井铺

* 收稿日期:2017-07-13 修订日期:2017-08-09 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局“湖南 1:5 万铜官等 9 幅环境地质调查(编号:12120114011501)”项目资助。

第一作者简介:柏道远,1967 年生,男,研究员级高级工程师,主要从事区域地质调查与基础地质研究工作。



1. 正断裂; 2. 逆断裂; 3. 隐伏断裂; 4. 前第四纪断裂; 5. 第四纪断裂及编号; 6. 地质界线; 7. 角度不整合界线; 8. 九华奔驰路剖面位置。Qh.j. 全新世桔子洲组; Q_p^{bs} . 晚更新世白水江组; Q_p^{mu} . 中更新世马王堆组; Q_p^b . 中更新世白沙井组; Q_p^x . 中更新世新开铺组; Q_p^d . 早更新世洞井铺组; K-E. 白垩系—古近系; T_3-J_1 . 上三叠统—下侏罗统; D-T₁. 泥盆系—下三叠统; Nh-O. 南华系—奥陶系; Pt₃B. 青白口纪板溪群; Pt₃L. 青白口纪冷家溪群。断裂名称: F₁. 九华—庙湾里断裂; F₂. 泉塘—砂子岭断裂; F₃. 瓦铺子—青莲庵断裂; F₄. 姜畲—金霞山断裂。

图1 研究区区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of the study area

组、中更新世新开铺组、白沙井组和马王堆组, 晚更新世白水江组和全新世桔子洲组等, 分别组成一级至五级阶地, 反映第四纪以来的阶段性抬升。

区内断裂以 NE 向为主, 少量 NW 向, 个别近 EW 向(图 1), 部分为第四纪以来的基底断裂继承性活动产物。

2 奔驰路剖面第四纪断裂特征

2.1 剖面概况

剖面位于湘江西侧、第四纪 NE 向泉塘—砂子

岭断裂南东盘(图 1), 为湘潭九华工业区奔驰路北侧人工开挖小山丘的斜切剖面。由于高度较大, 该开挖切面分为上、下 2 部分, 中间为宽约 3 m 的水平台阶(图 2); 观察及所述断裂均位于下开挖斜切剖面(高约 5.5 m), 剖面呈 EW 向, 长约 130 m, 斜坡向南倾斜, 倾角约为 50°。相对于一般垂直剖面或水平切面, 奔驰路倾斜剖面为全面观察断裂提供了更好条件, 既可观察断裂向下延伸情况, 又可观察断裂在水平方向的走向特征。因剖面倾斜, 各剖面素描图中断裂产状的图面效应显示立体感。

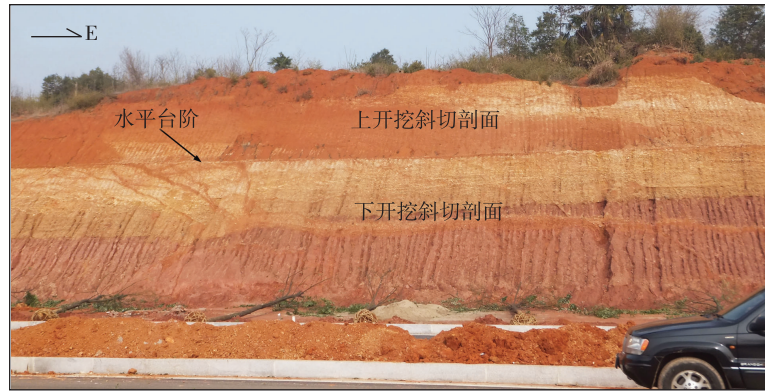


图 2 奔驰路北侧人工开挖剖面

Fig. 2 Artificial section on the north side of the Benchi Road

剖面自下而上依次为白垩纪戴家坪组和第四纪白沙井组(图 3),白沙井组由下部灰黄—灰红色冲积砾石层(厚约 4 m)和上部网纹状红土(厚 4 m 以上)组成。白垩纪戴家坪组为紫红色细砾岩,呈块状,较松散;砾石成分复杂,砾径 2~5 mm 为主,多呈棱角—次棱角状;胶结物为硅质、泥质。白沙井

组砾石层具块状构造,砂、泥质充填胶结;砾石主要成分为石英砂岩和脉石英,砾径 1~5 cm 为主,次圆—圆状。

白沙井组与戴家坪组分界面总体自东向西倾斜,倾角约为 5° , 60 m 距离内高程下降约为 5 m (图 3)。

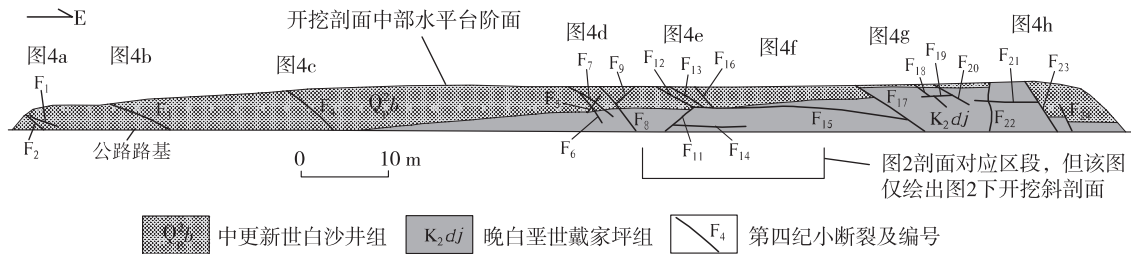


图 3 奔驰路剖面(下开挖斜切剖面)断裂分布

Fig. 3 Distribution of the faults at the deeply excavated Benchi Road section

2.2 各断裂特征

剖面上发育 24 条第四纪小断裂(图 3),其断裂产状、特征及性质等见图 5 和图 6,现自西向东介绍如下。

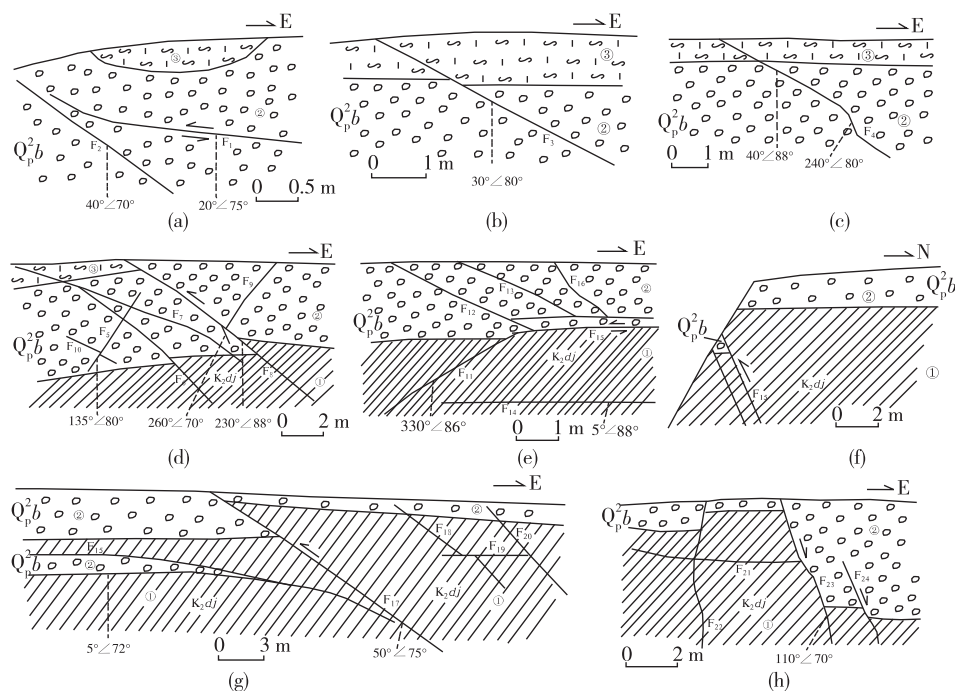
断裂 F_1 : 紧邻 F_2 北侧(图 4a),切割白沙井组砾石层;走向 NWW,产状 $15^\circ \sim 20^\circ / 75^\circ$;断裂带宽为 20~30 cm,带内泥化并发育剪切面理,白色网纹沿面理发育。次级压性剪裂面(白色网纹)指示左行平移性质(图 5a)。

断裂 F_2 : 切割白沙井组砾石层。产状为 $40^\circ / 70^\circ$ (图 4a),断裂带宽约 15 cm,带内泥化并见剪切面理(图 5b),为平移断裂。

断裂 F_3 : 切割白沙井组砾石层和网纹状红土,

未见底。走向 NWW,断面平直,产状为 $30^\circ / 80^\circ$;断裂带具泥化、碎粒化并发育剪切面理,结合其陡倾产状,认为其应为平移断裂。斜切剖面上砾石层与网纹状红土界线略错位,显示正断裂效应(图 4b)。鉴于剖面上 NW 向断裂具左行平移特征,推测该断裂亦为左行平移,正断裂效应可能与界面局部凹凸导致北东盘界面较低有关。

断裂 F_4 : 切割白沙井组砾石层和网纹红土,走向 NW,产状约为 $40^\circ / 88^\circ$ (图 4c)。断裂带宽约 10~15 cm,具泥化、碎粒化并发育剪切面理,指示平移性质。断面总体平直,下部弯曲,产状为 $240^\circ / 80^\circ$ (图 4c)。弯曲段为主断裂派生的次级剪裂,断裂实为 2 条 NW 向断裂通过次级剪裂首尾相接形成。



(f) 为垂直于人工开挖斜剖面的推断剖面, 其它均为人工实际开挖倾斜剖面

Q_p^2b . 中更新世白沙井组; K_2dj . 晚白垩世戴家坪组; ①. 基座(紫红色细砾岩); ②. 砾石层; ③. 网纹红土。

图 4 奔驰路剖面小断裂示意图

Fig. 4 Small-scale faults at the Benchi Road section

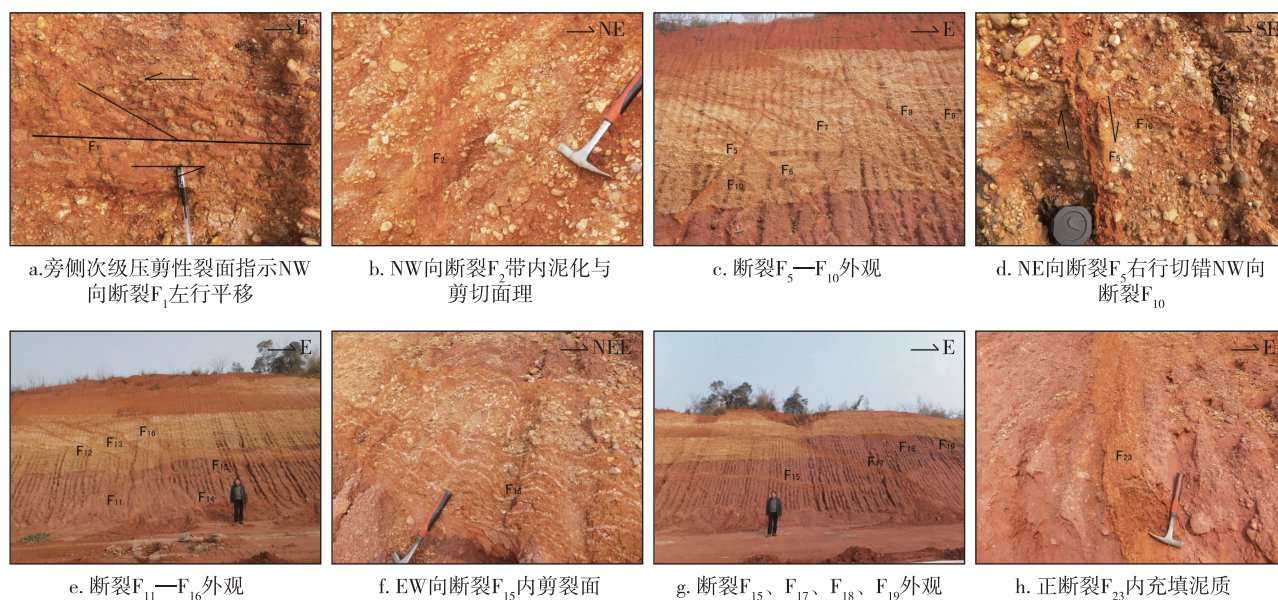


图 5 奔驰路剖面断裂特征照片

Fig. 5 Photographs showing the features of the faults at the Benchi Road section

断裂 F_5 : 切割白沙井组砾石层, 规模小, 剖面延伸长约 4 m(图 4d)。走向 NE, 产状为 $135^\circ \angle 80^\circ$ 。断裂带宽约 4 cm, 具泥化、碎粒化并发育剪切面理。

断裂明显右行切错 NW 向断裂 F_{10} , 错距约 2 cm(图 5d)。

断裂 F_6 和断裂 F_7 : 均为 NW 向小断裂(图

4d),断裂带具泥化、碎粒化(图 5c)。其中 F_6 切错白沙井组与白垩系界线,视错距约 15 cm,与后述 F_8 断裂相似,在斜切剖面上显示左行平移兼逆冲效应; F_7 往下中止于白沙井组与戴家坪组界面之下(图 4d)。尽管未能准确量取 F_6 产状,但 F_6 与 F_8 在剖面上显示走向平行且地层错位效应相同,推断 F_6 也为产状直立的左行平移断裂。

断裂 F_8 :切割白沙井组和戴家坪组。走向 NW,产状为 $230^\circ \angle 88^\circ$;带宽 6~10 cm,带内泥化、碎粒化且剪切裂面发育。断裂旁侧次级压剪节理产状为 $260^\circ \angle 70^\circ$,指示左行平移;断裂明显切错白沙井组与戴家坪组界面,视错距约 0.8 m,显示左行平移与逆冲效应(图 4d)。白沙井组与戴家坪组界面因倾斜向东渐高(图 3),北东盘相对上升平移。根据错距、断裂产状及地层界面产状等计算,断裂实际左行平移距离约为 10 m。

断裂 F_9 :为 NE 向断裂,带内泥化。断裂往南(下)终止于 NW 向断裂 F_8 (图 4d)。

断裂 F_{10} :走向 NW,产状为 $40^\circ \angle 70^\circ$,延伸仅约 2 m,规模小,被 NE 向断裂 F_5 右行切错(图 5d)。

断裂 F_{11} :紧邻断裂 F_{12} — F_{16} 发育(图 4e,图 5e)。走向 NE,产状为 $330^\circ \angle 86^\circ$ 。下部切割戴家坪组,往上切割白沙井组。断裂带宽约 20 cm,带内泥化、碎粒化并发育剪切面理,次级剪切断裂指示右行平移。

断裂 F_{12} 、断裂 F_{13} 及断裂 F_{16} :均为 NW 走向(图 4e,图 5e),切割白沙井组砾石层,断裂带内均具泥化;被 EW 向断裂 F_{15} 切割(图 4e)。

断裂 F_{14} :切割戴家坪组紫红色细砾岩,推测往上切入白沙井组;走向 EW,产状为 $5^\circ \angle 88^\circ$;断裂沿 EW 走向延长约 8 m,带宽 5 cm 左右,具泥化、碎粒化。

断裂 F_{15} :产状为 $5^\circ \angle 72^\circ$,向东略向下弯转(图 4g),长约 24 m,西端止于 NE 向断裂 F_{11} (图 4e),东端于 NW 向断裂 F_{17} 下方尖灭(图 4g),阻隔 F_{16} 等 NW 向断裂(图 4e,图 5e),表明 EW 向断裂 F_{15} 晚于 NW 向与 NE 向断裂。该断裂由 2 个次级断裂组成,西段两断面之间的夹块为白沙井组砾石层,断裂南盘和北盘分别为戴家坪组和白沙井组(图 4e);东段两断面之间的夹块为白沙井组,断裂南盘、北盘均为戴家坪组(图 4g);断夹块宽度自西向东变窄,最终合并为 1 条断裂(图 4g)。断裂带泥化、碎粒化并发育剪切面理(图 5f)。旁侧的次级剪裂指

示断裂 F_{15} 左行平移;据 EW 走向、向南倾斜剖面显示的地层重复情况(图 4g),推断该断裂尚兼有逆冲(图 4f)。

断裂 F_{17} :为 NW 向断裂,产状为 $50^\circ \angle 75^\circ$;断裂带宽 40 cm 左右,具泥化、碎粒化。明显错开白沙井组与戴家坪组之间界面,显示 NE 盘抬升,视位错距离约 1.8 m(图 4g,图 5g)。结合其它 NW 向断裂分析,断裂 F_{17} 应为左行平移断裂,北东盘相对上升的错位与白沙井组和戴家坪组分界面西倾有关。

断裂 F_{18} 、断裂 F_{19} 及断裂 F_{20} :位于断裂 F_{17} 北东盘,均为小断裂或节理,长仅 5~8 m。其中 F_{18} 和 F_{20} 走向 NW,切割白沙井组和戴家坪组,但未明显错开地层分界面; F_{19} 走向 EW,切割戴家坪组(图 4g)。EW 向断裂 F_{19} 切错 NW 向断裂 F_{18} 并受 NW 向断裂 F_{20} 限制(图 4g),表明 EW 向断裂较 NW 向断裂形成晚。

断裂 F_{21} :切割戴家坪组,走向 EW,长约 7 m。断裂带宽约 20 cm,具泥化。 F_{21} 向西与 NW 向断裂 F_{20} 相接,切割 NNE 向正断裂 F_{22} 但未造成后者错位,暗示断裂规模小; F_{21} 往东中止于断裂 F_{23} (图 4h),表明 NNE 向正断裂形成时代早于 EW 向断裂。

断裂 F_{22} :产状向西陡倾,断裂面不平直。断裂带宽 10~30 cm,带内泥化。明显切错白沙井组砾石层与戴家坪组砾岩分界面,西盘(上盘)相对东盘下降约 35 cm(图 4h),为正断层。

断裂 F_{23} :走向 NNE,向东陡倾,断面略呈双弧形弯曲,右侧下部产状为 $110^\circ \angle 70^\circ$ (图 4h)。断裂带宽 10~30 cm,具泥化、碎粒化(图 5h)。断裂切错白沙井组砾石层与戴家坪组砾岩分界面,东盘向下错移约 3.5 m(图 4h),为正断裂。

断裂 F_{24} :为向东陡倾的 NNE 向正断裂,上端中止于白沙井组,将白沙井组与戴家坪组分界面切错约 0.6 m。

2.3 第四纪断裂总体特征

综上所述,奔驰路剖面第四纪断裂产状均陡立,倾角一般 $70^\circ \sim 88^\circ$,切割白垩纪戴家坪组细砾岩及第四纪白沙井组砾石层和网纹红土,一般均为规模不大的小断裂;规模相对较大的 NW 向断裂 F_8 和 F_{17} 的平移距离分别约为 10 m 和 20 m。断裂带多具泥化、碎粒化,且常发育剪切面理。断裂带宽一般 10~30 cm,少量 5 cm 左右。部分断裂带较宽

并非断裂规模较大,主要与围岩结构松散有关。

根据断裂走向不同,可分为 NW 向(含 NW 向)、NE 向、EW 向和 NNE 向 4 组。NW 向断裂有 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_6 、 F_7 、 F_8 、 F_{10} 、 F_{12} 、 F_{13} 、 F_{16} 、 F_{17} 、 F_{18} 和 F_{20} ,为左行平移断裂,如 F_1 、 F_6 、 F_8 和 F_{17} 均具有明显的左行平移标志。NE 向断裂有 F_5 、 F_9 和 F_{11} ,为右行平移断裂, F_5 和 F_{11} 具有明显的右行平移标志。EW 向断裂有 F_{14} 、 F_{15} 、 F_{19} 和 F_{21} ,为左行平移断裂, F_{15} 和 F_{19} 具有明显的左行平移标志。NNE 向断裂有 F_{22} 、 F_{23} 和 F_{24} ,为 NNE 正断裂,白垩系与第四系界面的错位显示断裂上盘下降。

值得关注的是,由于断裂切割,第四系及白垩系均结构松散,未见擦痕、阶步等发育。尽管如此,根据近直立的断裂产状,基本确定上述 NW 向左行平移、NE 向右行平移和 EW 向左行平移断裂属平移断裂而非逆断裂。此外,平移断裂内剪切面理的发育排除其为非构造裂缝的可能性。

3 讨论

3.1 第四纪断裂活动期次及时代

NE 向断裂 F_5 右行切错 NW 向断裂 F_{10} (图 5d)、NE 向断裂 F_5 与 NW 向断裂 F_6 、 F_7 相交但彼此间无明显错位(图 4d)、NE 向断裂 F_9 中止于 NW 向断裂 F_8 (图 4d)等以及相反的平移指向,指示 NE 向断裂与 NW 向断裂为同期共轭剪切断裂。

EW 向断裂 F_{15} 切割 NW 向断裂 F_{12} 、 F_{13} 及 F_{16} (图 4e),EW 向断裂 F_{19} 切错 NW 向断裂 F_{18} 并受 NW 向断裂 F_{20} 控制(图 4g),表明 EW 向断裂晚于 NW 向断裂。

EW 向断裂 F_{15} 西端止于、迁就并与 NE 向断裂 F_{11} 相连(图 4e),表明 EW 向断裂晚于 NE 向断裂。

EW 向断裂 F_{21} 中止于 NNE 向正断裂 F_{23} ,NNE 向正断裂 F_{22} 上盘明显下降未造成 EW 向断裂 F_{21} 错位(图 4h),表明 EW 向断裂晚于 NNE 向正断裂。

鉴于北邻洞庭盆地第四纪期间相继经历了早更新世—中更新世中期的伸展断陷和中更新世晚期以来的挤压拗陷阶段^[30-31],而奔驰路剖面 NW 向左行与 NE 向右行平移断裂与区域挤压构造背景有关,因此推断剖面中 NNE 向正断裂早于 NW 向与 NE 向平移断裂。

综上所述,九华奔驰路剖面第四纪小断裂可

分为 3 期。第一期为 NNE 向正断裂,第二期为具共轭关系的 NW 向左行平移断裂与 NE 向右行平移断裂,第三期为 EW 向左行平移断裂。鉴于 NNE 向断裂切割白沙井组,而白沙井组形成时代为中更新世中期^[31]或早更新世^[32],且北邻洞庭盆地早更新世—中更新世中期为伸展断陷而中更新世晚期以来为挤压拗陷^[30-31],推断第一期 NNE 向正断裂形成时代大体为中更新世中期。第二期 NW 向左行平移断裂与 NE 向右行平移断裂、第三期为 EW 向左行平移断裂形成于中更新世晚期—全新世。

3.2 第四纪断裂活动构造背景及构造体制

研究表明,受周边复杂的板块格局和构造边界影响,中国陆区第四纪不同地区、不同时期断裂构造背景及构造体制(应力场)颇为复杂。关于中国大陆,万天丰^[1]认为早更新世因印支板块、澳大利亚板块和菲律宾海板块向北运移与欧亚大陆板块碰撞而具近 SN 向挤压,中更新世以来欧亚大陆板块与周边板块在不同方向相互作用,使不同地区水平挤压应力方向不同(其中华南地区 NW 向挤压为主)。关于西南地区,谢富仁等^[5]认为青藏高原东侧鲜水河断裂带第四纪早期(早—中更新世)构造应力作用为 NE-SW 向挤压,晚更新世至今以近 EW 向挤压和近 SN 向拉张为特征;进一步研究认为青藏高原北、东边缘第四纪早期受来自印度板块碰撞青藏块体产生的垂直块体边界方向的挤压,晚期因形成 NW-SE 向的引张而以走滑型构造应力场为主,最大主压应力方向自早至晚发生顺时针旋转^[6];杜义等^[9]认为昆明盆地及周边地区早—中更新世构造应力作用以近 EW 向挤压和近 SN 向拉张为特征,晚更新世以来以 NNW-SSE 向挤压和 NEE-SWW 向拉张为特征。关于东南沿海地区,张路等^[7]认为福建沿海地区受菲律宾板块向北西运动影响,第四纪区域主压应力方向为 NNW 向-NW 向。

涉及剖面所在江汉—洞庭盆地及外围地区的第四纪应力场研究争议较多。万天丰^[1]认为华南地区早更新世为 SN 向挤压,中更新世开始区域应力场以 NW 向水平挤压应力为主。陈立德等^[10]对武汉阳逻王母山断层及地震楔研究,提出相应的主压应力方向为 NW 335°左右,但未明确具体时代。姚运生等^[4]认为第四纪至今江汉—洞庭盆地以 NE-SW 向挤压和 NW-SE 向拉张为主,高士钧等^[3]认为

江汉盆地地应力最大水平主压应力方向为 NE $60^{\circ} \sim 65^{\circ}$,李蓉川等^[2]提出江汉—洞庭盆地主要受 NNW 向水平引张应力场控制,陈小斌^[8]认为江汉—洞庭盆地区具有明显 NE 向拉张的特征。

结合洞庭盆地第四纪构造活动研究成果^[30-31],初步提出奔驰路剖面 3 期第四纪断裂形成的构造体制和构造背景如下。

第一期 NNE 向正断裂大体形成于中更新世中期,构造环境为区域伸展,可能与地幔上隆背景下深部物质迁出导致洞庭盆地及周缘产生伸展断陷有关^[30-31]。

第二期 NW 向左行平移断裂和 NE 向右行平移断裂形成于区域 EW 向主压应力场(图 6a),形成时代为中更新世—晚更新世,可能与青藏块体向东挤压^[5,9]产生的应力远程传导有关。值得注意的是,白沙井组与戴家坪组界面向西掀斜可能是该期 EW 向挤压所致。

第三期 EW 向左行平移断裂形成于区域 NE 向主压应力场(图 6b),形成时代为晚更新世—全新世,可能与印度—澳大利亚板块向 NE 向挤压有关。长沙岳麓区排塘公路边见一条 NW 向逆断裂(图 7),产状为 $230^{\circ} \angle 70^{\circ}$,清楚可见白垩系砾岩逆冲于第四系洪积砾石层之上,错距达 6 m 以上,证实第四纪存在一次 NE 向挤压事件。

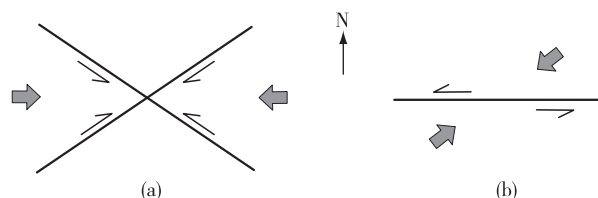
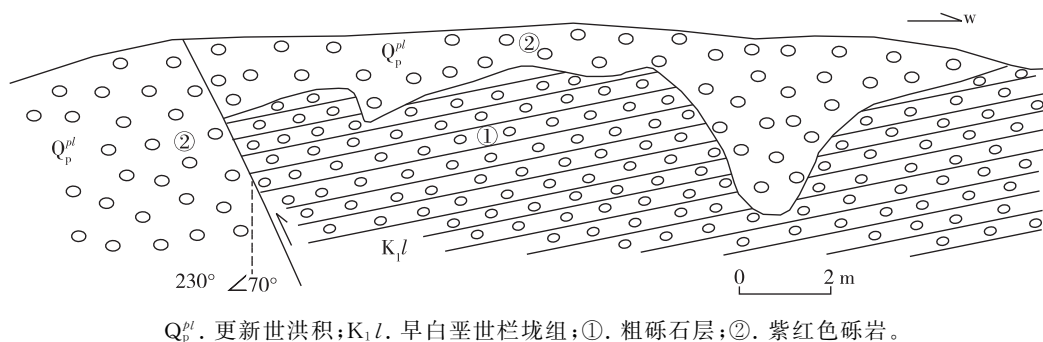


图 6 第二期断裂(a)和第三期断裂(b)形成的区域最大压应力方向(箭头所示)

Fig. 6 Regional maximum pressure-stress direction formed from the second-stage faults (a) and the third-stage faults (b)



Q_p^{al}. 更新世洪积;K₁l. 早白垩系栏垅组;①. 粗砾石层;②. 紫红色砾岩。

图 7 排塘 NW 向逆断裂

Fig. 7 NW-trending thrust fault at Paitang

3.3 区域构造意义

九华奔驰路小断裂反映中更新世以来 EW 向和 NE 向 2 期区域挤压事件。长株潭地区发育的 NE 向第四纪规模逆断裂(另文阐述)、湘北澧县谢家屋场第四系中发育的 NE 向背斜^[30-31]、武汉阳逻王母山断层及地震楔^[10]以及中更新世以来华南区域应力场特征^[1]等均表明第四纪(可能为早更新世以后)尚存在另一期 NW 向挤压事件。从区域大地构造格局看,多期不同方向挤压事件可能与第四纪太平洋板块、菲律宾海板块、澳大利亚板块以及印支板块等周边板块运动及其形成的复杂的构造边界条件对华南地区的影响有关。但多次挤压应力方向的改变发生在如此短时间内似乎过于频繁,因此研究区第四纪挤压应力方向的改变除本文提出

的板块运动影响外,可能尚与深部物质迁移^[30]、地壳均衡补偿^[1]等因素有关,具体机制有待深入研究。

4 结 论

(1)湘潭市九华开发区奔驰路剖面上的第四纪断裂,根据走向和性质可分为 NW 向左行平移断裂、NE 向右行平移断裂、EW 向左行平移断裂以及 NNE 向正断裂 4 组,其中前 2 组为共轭剪切断裂。

(2)剖面断裂可分为 3 期:第一期 NNE 向正断裂,大体形成于中更新世中期,构造环境为区域伸展,其动力机制可能与第四纪洞庭盆地及周缘的伸展断陷有关;第二期 NW 向左行平移断裂和 NE 向右行平移断裂,形成于区域 EW 向主压应力场,形成时代为中更新世—晚更新世,可能与青藏块体向

东挤压产生的应力远程传导有关;第三期EW向左行平移断裂,形成于区域NE向主压应力场,形成时代为晚更新世—全新世,可能与印度—澳大利亚板块向北东方向的挤压有关。

(3)奔驰路剖面小断裂研究揭示区域第四纪构造变形特征、构造体制及动力机制具有一定的复杂性。

参考文献

- [1] 万天丰. 中国第四纪的构造事件与应力场[J]. 第四纪研究, 1994, 14(1): 48-55.
- [2] 李蓉川, 吴兴国. 江汉—洞庭盆地地震活动性研究[J]. 地震研究, 1992, 15(3): 255-262.
- [3] 高士钧, 储昭坦. 江汉盆地钻孔测井资料确定地应力最大水平主压应力方向[J]. 地壳形变与地震, 1997, 17(4): 57-61.
- [4] 姚运生, 罗登贵, 刘锁旺, 等. 江汉洞庭盆地及邻区晚中生—新生代以来的构造变形[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(2): 140-145.
- [5] 谢富仁, 祝景忠, 舒赛兵. 鲜水河断裂带区域第四纪构造应力场的分期研究[J]. 地震地质, 1995, 17(1): 35-43.
- [6] 谢富仁, 张世民, 窦素芹, 等. 青藏高原北、东边缘第四纪构造应力场演化特征[J]. 地震学报, 1999, 21(5): 502-512.
- [7] 张路, 曲国胜, 朱金芳, 等. 福建沿海盆地第四纪构造运动模式与动力学环境[J]. 地质通报, 2007, 26(3): 275-288.
- [8] 陈小斌. 中国陆地现今水平形变状况及其驱动机制[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(8): 1056-1064.
- [9] 杜义, 荆振杰, 谢富仁. 昆明盆地及周边地区第四纪构造应力场分析[J]. 中国地震, 2009, 25(1): 31-40.
- [10] 陈立德, 邵长生, 王岑. 武汉阳逻王母山断层及地震楔构造研究[J]. 地质学报, 2014, 88(8): 1453-1460.
- [11] 吴富江, 毛素斌, 钟千方, 等. 江西新构造运动的基本特征与地震分布规律[J]. 华东地质, 2016, 37(2): 97-105.
- [12] 李长安, 张玉芬, 皮建高, 等. 洞庭湖古湖滨砾石层的发现及意义[J]. 第四纪研究, 2006, 26(3): 491-492.
- [13] 柏道远, 倪艳军, 周柯军, 等. 湖南津市黄牯山第四纪泥砾混杂堆积成因探讨[J]. 热带地理, 2009, 29(6): 594-599.
- [14] 陈渡平, 李长安, 柏道远, 等. 洞庭盆地第四纪地层格架初拟[J]. 地质科技情报, 2014, 33(1): 67-73.
- [15] 赵举兴, 李长安, 许应石. 洞庭盆地古沉江砾石层的沉积特征及沉积环境[J]. 地质科技情报, 2014, 33(1): 85-89.
- [16] 蔡述明, 官子和, 孔昭宸, 等. 从岩相特征和孢粉组合探讨洞庭盆地第四纪自然环境的变迁[J]. 海洋与湖沼, 1984, 15(6): 527-539.
- [17] 张晓阳, 蔡述明, 孙顺才. 全新世以来洞庭湖的演变[J]. 湖泊科学, 1994, 6(1): 13-21.
- [18] 皮建高, 张国梁, 梁杏, 等. 洞庭盆地第四纪沉积环境演变的初步分析[J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 6-10.
- [19] 来红州, 莫多闻, 李新坡. 洞庭盆地第四纪红土层及古气候研究[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 130-137.
- [20] 柏道远, 李长安, 陈渡平, 等. 洞庭盆地两护村孔重矿物特征及其对第四纪构造活动与环境演变的响应[J]. 地质论评, 2010, 56(2): 246-260.
- [21] 柏道远, 李长安, 张文卿, 等. 洞庭盆地两护村孔孢粉组合及其气候与地层意义[J]. 地质科学, 2010, 45(4): 1125-1138.
- [22] 柏道远, 李长安, 王先辉, 等. 第四纪洞庭盆地澧县凹陷构造活动特征及动力学机制探讨[J]. 地球学报, 2010, 31(1): 43-55.
- [23] 柏道远, 吴能杰, 李长安, 等. 华容隆起及周缘第四纪构造—沉积特征与演化[J]. 中国地质, 2010, 37(5): 1243-1256.
- [24] 柏道远, 李长安, 周柯军, 等. 第四纪洞庭盆地赤山隆起与安乡凹陷升降运动的沉积记录[J]. 沉积学报, 2010, 28(4): 645-658.
- [25] 刘锁旺, 甘家思, 李蓉川, 等. 江汉洞庭盆地的非对称扩张与潜在地震危险性[J]. 地壳形变与地震, 1994, 14(2): 56-66.
- [26] 薛宏交, 耿爱玲, 龚平. 江汉洞庭盆地水系展布特征与新构造运动[J]. 地壳形变与地震, 1996, 16(4): 58-65.
- [27] 梁杏, 张人权, 皮建高, 等. 洞庭盆地第四纪构造活动特征[J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 11-14.
- [28] 梁杏, 张人权, 皮建高, 等. 构造沉降对近代洞庭湖区演变的贡献[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(6): 690-696.
- [29] 来红州, 莫多闻. 构造沉降和泥沙淤积对洞庭湖区防洪的影响[J]. 地理学报, 2004, 59(4): 574-580.
- [30] 柏道远, 李长安, 王先辉, 等. 第四纪洞庭盆地构造性质及动力机制探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2010, 34(3): 317-330.
- [31] 柏道远, 王先辉, 李长安, 等. 洞庭盆地第四纪构造演化特征[J]. 地质论评, 2011, 57(2): 261-276.
- [32] 韩竹军, 聂晓东, 周本刚, 等. 湖南常德地区桃源推测隐伏断层是否存在? [J]. 地震地质, 2006, 28(1): 1-11.
- [33] 韩竹军, 向宏发, 姬计法. 洞庭盆地南缘常德—益阳—长沙断裂中段活动性研究[J]. 地震地质, 2011, 33(4): 839-854.
- [34] 芮耀俊. 关于“白沙井层”成因与时代的研究现状[J]. 地质论评, 1964, 22(2): 158-159.

- [35] 黄培华. “白沙井组”的成因与时代[J]. 地质论评, 1965, 23(5): 418-420.
- [36] 陈长明, 谢丙庚. 湖南第四纪地层划分及其下限[J]. 地层学杂志, 1996, 20(4): 271-276.
- [37] 陈立德, 邵长生. 江汉—洞庭盆地下更新统地层划分与对比——“白沙井砾石层”再研究[J]. 地层学杂志, 2014, 38(2): 208-219.
- [38] 唐晓珊, 孙海清. 论株洲—湘潭地区的新构造运动[J]. 湖南地质, 1991, 10(3): 177-185.
- [39] 任镇寰. 长沙地区第四纪断裂研究[J]. 地质论评, 1987, 33(6): 571-576.

The Quaternary small-scale faults at the Benchi Road section in Jiuhua, Xiangtan and study of tectonic stress fields

BAI Dao-yuan¹, WU Neng-jie², CHEN Jun¹, LI Bin¹, YANG Shao-hui¹, ZHONG Xiang¹

(1. Hunan Institute of Geology Survey, Changsha 410016, China; 2. The 414 Geological

Team of Hunan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Yiyang 413000, China)

Abstract: A 130 m-long EW-trending artificial inclined section is exposed on the north side of the Benchi Road in the Jiuhua Development Zone of Xiangtan, Hunan Province. Lower part of the section is burgundy fine-grained conglomerate of the Cretaceous Daijiaping Formation while upper part is gravels and vermicular red earth of the Quaternary Baishajing Formation. On the basis of detailed field geological investigation of the section, we found 24 Quaternary small-scale faults along the section. The faults are steep with dip angles of $70^{\circ} \sim 88^{\circ}$. Based on striking and natures, these faults can be divided into four groups: NW-trending sinistral strike-slip faults, NE-trending dextral strike-slip faults, EW-trending sinistral strike-slip faults and NNE-trending normal faults. Among the four groups, the former two groups are conjugated shear faults. According to their intersection relations, faults can be divided into three stages: the first-stage NNE-trending normal faults, the second-stage NW-trending sinistral strike-slip faults and NE-trending dextral strike-slip faults, and the third-stage EW-trending sinistral strike-slip faults. According to the regional geological settings and the era of cutting layers, the authors suggest that the first stage NNE-trending normal faults were formed in Middle Pleistocene under regional extensional tectonic setting, and their forming mechanism was probably related to the extension and subsidence of Dongting Basin and its adjacent areas. The second stage NW-trending sinistral strike-slip faults and NE-trending dextral strike-slip faults are controlled by EW-trending major pressure stress during Middle Pleistocene-Late Pleistocene, and their forming mechanism is probably related to the eastward compression of Qinghai-Tibet block. The third stage EW-trending sinistral strike-slip faults are controlled by NE-trending major pressure stress during Late Pleistocene-Holocene, and their forming mechanism is probably related to the north-eastward compression of India-Australia plate. The study of the small-sized faults at the Benchi Road section reveals the deformation features of Quaternary regional structure, tectonic regimes and dynamic mechanisms.

Key words: tectonic stress fields; stages; Quaternary faults; Benchi Road section; Xiangtan of Hunan Province