

深圳市横岗-罗湖断裂第四纪活动性研究¹

马浩明 陈庞龙

(广东省地震局, 广州 510070)

摘要 本文在前人研究的基础上, 采用地质地貌调查、联合钻孔探测及地质年代测定等技术方法, 对深圳横岗-罗湖断裂的第四纪活动性进行了详细考察与综合研究。结果表明: 横岗-罗湖断裂最新一次活动发生在中更新世, 自晚更新世中期以来没有新的活动证据。

关键词: 横岗-罗湖断裂 断裂第四纪活动性 深圳市

引言

横岗-罗湖断裂隶属于北东向区域性五华-深圳断裂带的西南段, 是深圳断裂带的轴心断裂(图1)。自上世纪50年代以来, 地学界对深圳断裂带陆续展开了不同程度的调查研究, 其中“深圳市地震危险性分析和地震烈度”²、“莲花山断裂带西南段地震危险性研究”³以及“深圳市区稳定性评价”(地质矿产部深圳市区稳定性评价编写组, 1991)更是分别从不同角度较为系统地阐述了深圳断裂带的活动性。然而, 由于研究区植被发育且岩石风化强烈, 能够直接揭示断裂活动性的地质证据毕竟有限, 但随着近年来市政工程的大量建设, 不少地质观测剖面得以开挖, 为断裂活动性的调查研究提供了良好的场所。本文主要通过对断裂出露段的野外追索和地质剖面测量, 对断裂隐伏段进行钻孔探测, 并结合地貌调查、地球物理勘测资料对横岗-罗湖断裂的第四纪活动性进行综合分析研究。

1 断裂基本特征

如图1所示, 横岗-罗湖断裂在研究区内自东北坪山往西南经过横岗、新田、深圳水库, 然后进入罗湖区。以深圳水库为界, 大致可将横岗-罗湖断裂分成东北段和西南段。其中, 东北段自北往南又可分成3条大致平行展布的断裂, 依次是崑禾嶂-横岗-罗湖断裂(F_{2-1})、清风岭-烂寨顶断裂(F_{2-2})和炮台山-横岗头断裂(F_{2-3})。在横岗以东, 3条断裂的走向为北东东 60° — 67° , 倾向北西, 倾角 35° — 60° ; 在横岗以西, 3条断裂走向为北东 40° , 倾向北西,

¹ 基金项目 本项研究由深圳市活断层探测与地震危险性评价项目与深圳特区地震影响小区划项目共同资助

² 丁原章, 叶洪等, 1989. 深圳市地震危险性分析和地震烈度. 广东省地震局、国家地震局地质研究所.

³ 黄剑涛, 陈仁法, 任镇寰等, 2001. 莲花山断裂带西南段地震危险性研究. 广东省地震局.

【收稿日期】 2009-06-18

【作者简介】 马浩明, 男, 生于1977年。博士。助理研究员。主要从事地震地质、活动构造与基础工程、花岗岩成因学研究。Email:mhm8831@139.com

倾角 40°—65°，并在新田一带逐渐会聚。而西南段则从深圳水库进入罗湖区后，由数条略向东南凸出的弧形断裂组成，走向自北东 10°—35° 逐渐弯转至北东 50°—60°，倾向北西，倾角 45°—70°，主要代表性断裂是黄背岭断裂 (F_{2.4})、深圳水库-深圳海关断裂 (F_{2.5}) 等。

横岗-罗湖断裂自中侏罗世末晚至侏罗世初以来历经了断裂动热变质作用、韧性剪切变形变质作用和脆性-脆性变形作用 (李建超等, 1990)。与莲塘断裂 (F₃) 一左一右夹持控制宽 1—4km 的十字石-蓝晶石片岩带和二云母石英片岩带的出露。晚侏罗世末至早白垩初，韧性剪切带叠加发育在动热变质作用形成的片岩之上，沿带发育宽厚的糜棱岩带和构造片理化带，是一条左旋剪切滑移的塑性变形带 (陈挺光, 1989)。早白垩世以后，断裂带以脆性-脆性变形作用为特征，沿断裂带发育碎裂岩带和硅化岩带，局部见薄层糜棱岩，断裂性质以逆断为主。

2 断裂第四纪活动性

2.1 构造地貌特征

前已述及，横岗-罗湖断裂可分成西南段和东北段，两段的地貌特征截然不同：西南段被罗湖区高层建筑遮盖，仅在少数残丘上见其出露，如黄贝岭、谷对岭等地；而东北段则处于低丘陵台地地带，植被发育，自然露头差，但在工程开挖处可见较好露头。因此，东北段是研究构造活动地貌的重点区段。

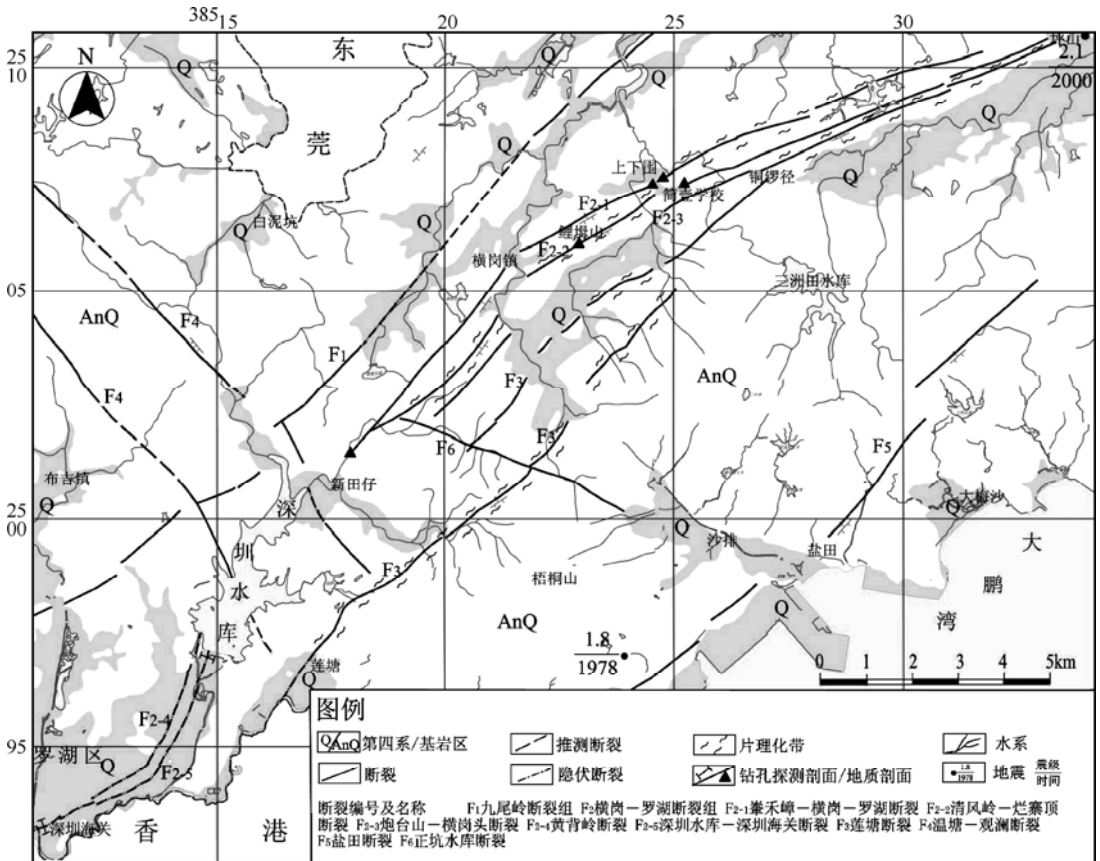


图 1 横岗-罗湖断裂与地震震中分布图

Fig.1 Map of Henggang-Luohu fault and earthquakes epicenter distribution

横岗-罗湖断裂的东北段蜿蜒于低丘谷地地区, 穿越横岗河谷地并控制坪山盆地的北缘。从横岗至坪山, 一系列低丘陵呈北东向排列, 成为坪山河谷地和龙岗河谷地之间的分水岭。这些低丘陵的高程相对一致, 构成了标高 100—150m 的古夷平面。断裂北西侧龙岗河谷地发育有标高 8—10m 的二级阶地和标高 3—5m 的一级阶地; 而断裂东南侧坪山河谷地北侧则发育标高 30—45m 的三级台地和标高 6—7m 的一级阶地, 而且坪山河谷地的阶地主要分布在河流南岸。据宋方敏等(1994)的研究, 100—150m 夷平面的形成时代约在距今 180 万年。以上事实表明: ①低丘陵、河谷的地貌发育受到了北东向断裂构造的影响; ②距今 180 万年, 研究区处于夷平状态的地壳逐渐抬升, 先成河流下切, 形成北东向的河流谷地; ③断裂北西侧龙岗河谷地相对抬升, 所以河流阶地比南东侧坪山河谷地发育; ④断裂南东侧三级台地的发育说明此时坪山河流域地壳运动相对稳定; ⑤坪山河南岸一级阶地发育主要受其南侧海岸山脉隆升的影响。

沿横岗-罗湖断裂通过的部位, 同一层状地貌面未见有明显错断; 深圳水库至坪山一带主要河流呈北东向, 支流则呈北西向与之交汇构成格状水系, 沿断裂未见河流同向扭曲。横岗-罗湖断裂东北段的构造地貌特征显示, 断裂东北段在 180 万年以来无明显活动迹象。

2.2 构造地质特征

本次研究对区内断裂东北段进行了野外追索和地质剖面测量。从深圳水库到坪山, 断裂发育在燕山晚期花岗岩和石炭系之中。在新田仔、鲤母山、上下围、简壹学校北西 200m 处、深圳中友工艺有限公司东侧山边等地, 可见到良好的地质露头, 其详细构造地质特征如下:

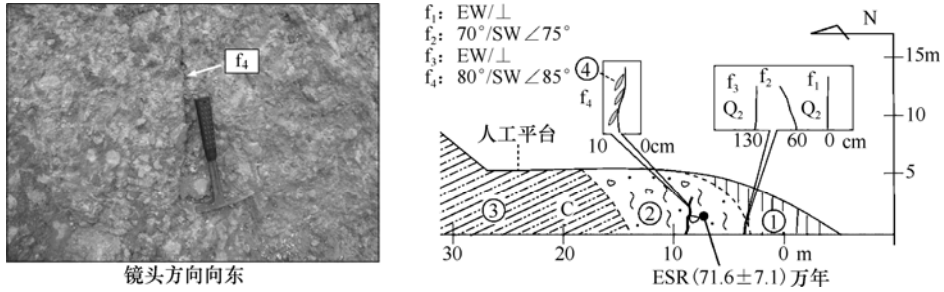
(1) 在新田仔北东 250m 小径山边, 可见断裂切割燕山晚期中粗粒花岗岩, 发育宽约 10m 的碎裂岩带, 带内物质由压碎角砾岩和碎裂花岗岩组成。花岗岩被切割成大小不一的棱角状角砾, 最小者仅 1cm 左右。局部地段密集破裂面发育, 间距约 1cm 左右, 总体产状为 $40^{\circ}/NW \angle 75^{\circ}$, 裂面不新鲜。碎裂岩带与强风化花岗岩围岩之间没有截然界线, 其上逐渐过渡为第四纪残积土层。残积层厚度为 1—2m, 未见被断裂扰动或切穿现象。

(2) 在横岗镇大康村鲤母山南西侧小路边, 多条压碎石英脉穿插在可视宽度达 90 余 m 的构造片理化带之中, 围岩为石炭纪泥岩、砂岩, 硅化明显。压碎状石英样品电子自旋共振年代测试结果显示, 其年龄为距今 (37.8 ± 3.7) 万年¹。此外, 在该地质剖面中还可可见一条北东向的脆性小断裂, 产状为 $60^{\circ}/NW \angle 70^{\circ}$ 。断面闭合, 断裂上下盘没有发生明显位移, 也没有扰动或切穿上覆盖第四纪残积薄层。

(3) 在上下围以南 300m 公路开挖处, 宽约 110m 的断裂破碎带发育在石炭纪砂岩、泥质粉砂岩中, 断裂带整体产状为 $60^{\circ} - 70^{\circ}/NW \angle 50^{\circ}$, 其内发育多条走向和倾向近一致的断层, 断裂物质由碎裂岩和硅化岩组成。在公路路堑东侧山坡壁面上可见产状为 $40^{\circ}/NW \angle 72^{\circ}$ 的次级断层, 次级断层内角砾岩与碎裂岩宽达 2—3m, 其中有 5—10cm 厚的紧密固结的泥状物质。泥状固结物电子自旋共振年代测试结果显示, 其年龄大于 150 万年。断裂破碎带的两侧均被第四系覆盖。在紧靠断裂下盘面东南侧第四系中, 网纹红土层发育, 可分为上部含砾网纹红土层和下部网纹红土化砾石层, 构成上细下粗的二元结构, 为冲积层含坡积成分。砾石直径约 1—3cm, 呈次棱-次圆状。网纹红土层内有 50cm 宽的白网纹填充带, 其内发育 3

1 样品电子自旋共振年代测试单位均为中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室; 光释光测试单位均为国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心。

条切割网纹红土层的断裂，这 3 条断裂规模非常小，产状分别为 f_1 : EW/⊥; f_2 : 70°/SW ∠75°; f_3 : EW/⊥。在网纹红土层中发育规模稍大的 f_4 断层，走向北东 80°，倾向北西，倾角 85°，宽约 1—2cm，高约 3m 多，但没有切穿顶部含砾网纹红土。 f_4 断层影响宽度约 10cm，左上盘面发育一组微小构造透镜体，长轴优势方向斜指向上，指示右下盘向上运动，本盘向下运动的微弱趋势，为正断性质。同时， f_4 断层整体结构显示出其张扭性特征。 f_4 断层附近土层样品电子自旋共振年代测试结果显示，其年龄为 (71.6±7.1) 万年 (图 2)。

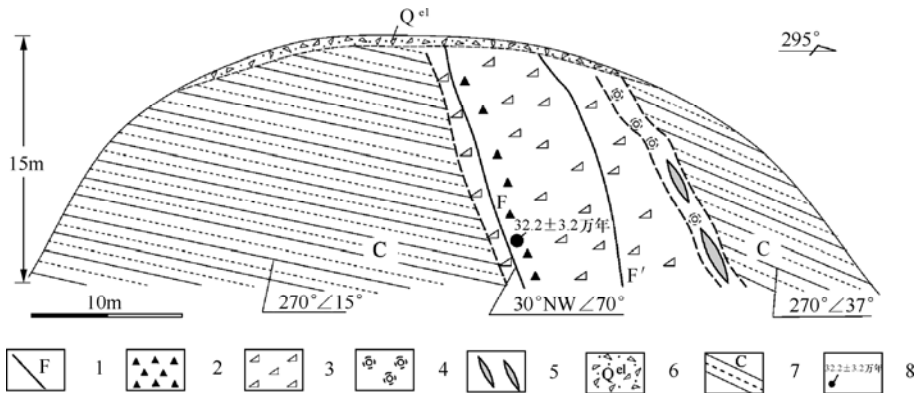


①均质黄土层；②网纹红土层；③石炭纪泥质砂岩；④微小构造透镜体

图 2 上下围横岗-罗湖断裂次级断裂地质剖面 (左侧为 f_4 之彩色照片)

Fig.2 Geological cross section of Henggang-Luohu fault at Shangxiawei

(4) 在简壹学校北西 200m 处，石炭纪中层灰白色砂岩中出露断裂破碎带，宽约 15m，断裂物质可见碎裂岩、角砾岩、断层泥和硅化岩。断裂上盘面附近地层出现牵引构造，指示断裂为逆断性质；上盘面断裂破碎带内出现宽约 3m 的构造透镜体带，单个透镜体最宽可达 20cm，长达数米，构造透镜体带内岩石强烈碎裂成岩屑状或岩粉状，局部出现硅化现象。断裂下盘面清晰，走向 30°，倾向北西，倾角 70°，其北西侧发育 1—10cm 的断层泥和 3m 宽的压碎角砾岩。断层泥电子自旋共振年代测试结果显示，其年龄为 (32.2±3.2) 万年。受断裂的影响，上下盘的地层倾角差异较大，上盘地层产状为 270°∠37°；下盘地层产状为 270°∠15°。断裂上覆第四纪残积薄土层，未见其被切穿或被扰动 (图 3)。



1 断裂；2 构造角砾岩；3 碎裂岩；4 硅化岩；5 构造透镜体；6 残积层；7 石炭纪砂岩；8 ESR 采样年龄

图 3 简壹学校北西 200m 处地质剖面

Fig.3 Geological cross section at 200 meters northwest of Jianyi school

(5) 在深圳中友工艺有限公司东侧山边可见断裂出露于石炭纪砂岩中。断层域总宽 8m, 可分成挤压片理化带、硅化岩带和碎裂岩带三部分。挤压片理化带宽约 1m, 岩石呈青灰色, 片状构造, 局部可见挤压透镜体; 硅化岩带宽 3m, 与挤压片理化带之间发育舒缓波状断层, 断面产状 $50^{\circ}/NW \angle 80^{\circ}$, 表面碎裂并硅化, 可见垂直擦痕; 碎裂岩带宽约 4m, 局部可见角砾, 原岩为青灰色炭质页岩。在碎裂岩带与硅化岩带之间接触部位发育滑动面, 产状 $45^{\circ}/NW \angle 50^{\circ}$, 其附近可见纺锤状透镜体。受断裂影响, 断裂上盘砂岩夹泥岩出现拖曳褶皱, 产状为 $350^{\circ} \angle 34^{\circ}$; 断裂下盘紫红色砂岩岩性正常, 地层产状为 $30^{\circ} \angle 28^{\circ}$ 。断裂顶部覆盖有 1—2m 厚的浅黄褐色含碎块残积土层, 土层未见被扰动。在断面部位取构造岩送中国地震局地质研究所作电子自旋共振年代测试, 其年龄结果显示为 (103.2 ± 10.3) 万年 (图 4)。

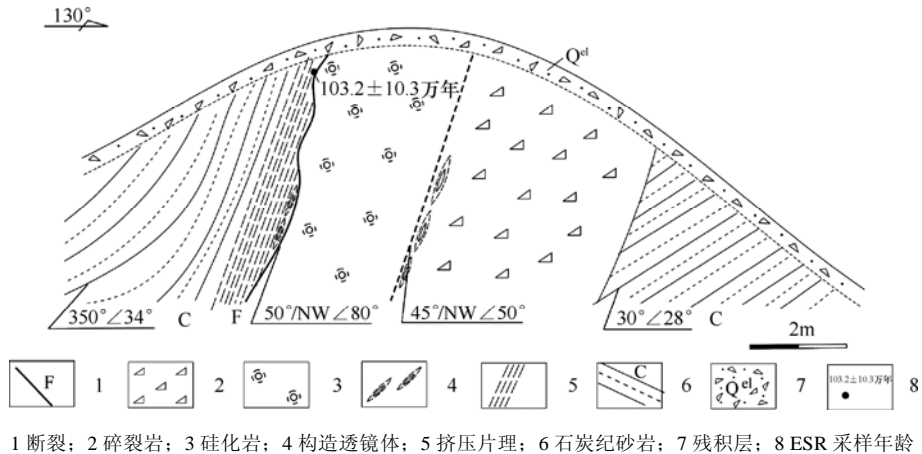


图 4 深圳中友工艺有限公司东侧山边地质剖面

Fig.4 Geological cross section at the hillside, east of the Shenzhen Zhongyou craft Co., Ltd

以上地质剖面构造地质特征表明, 横岗-罗湖断裂北东段地质露头上覆残坡积盖层未见受到扰动或切穿。断层物质电子自旋共振年代测试结果最小值为 (32.2 ± 3.2) 万年, 反映断裂最新活动时代在中更新世中期。此外, 本次野外地质调查获得了横岗-罗湖断裂次级断裂切割年龄为 (71.6 ± 7.1) 万年的第四纪网纹红土层的直接证据, 表明断裂在中更新世早期有过明显活动。

2.3 第四纪地质特征

为探讨区内断裂与第四纪地层的关系, 本次研究使用了 523 个地质钻孔资料, 编制了深圳特区第四系沉积等厚线图, 其中横岗-罗湖断裂西南段与第四系沉积厚度的关系如图 5 所示, 由图 5 可知研究区内第四系沉积厚度较小, 一般为 5—10m; 多个沉积中心分散在文锦南路至中原宾馆一带, 但未见其受断裂控制展布的现象。

为进一步探明横岗-罗湖断裂西南段潜伏在第四纪地层下的情况, 本次研究在深圳水库和深圳海关停车场两处布设了钻孔进行探测 (剖面位置参见图 1)。

深圳水库钻孔探测剖面位于深圳水库大坝主坝南侧 200m 处, 紧邻西侧沙湾河, 在地貌上表现为冲积谷地。谷地西侧为海拔 94.4m 的谷对岭, 为一风化残丘; 谷地东侧为东北向延伸的低山丘陵, 绵延长约 3km, 峰顶高程 100—161m。谷对岭出露基岩为震旦纪黑云母石英片岩、混合岩化黑云母片岩等。谷地东侧低山丘陵由石炭纪石英绢云母片岩、石英粉砂岩、

千枚岩及石英岩组成。

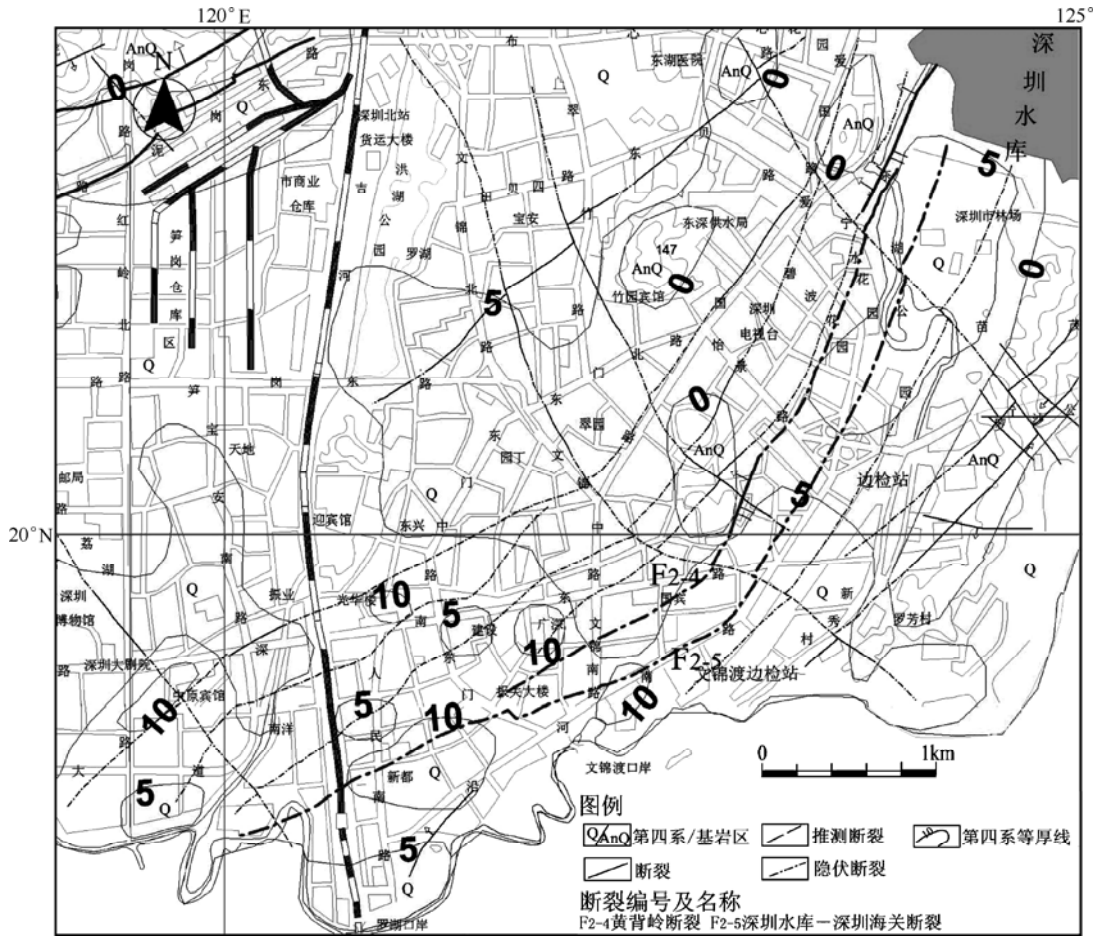


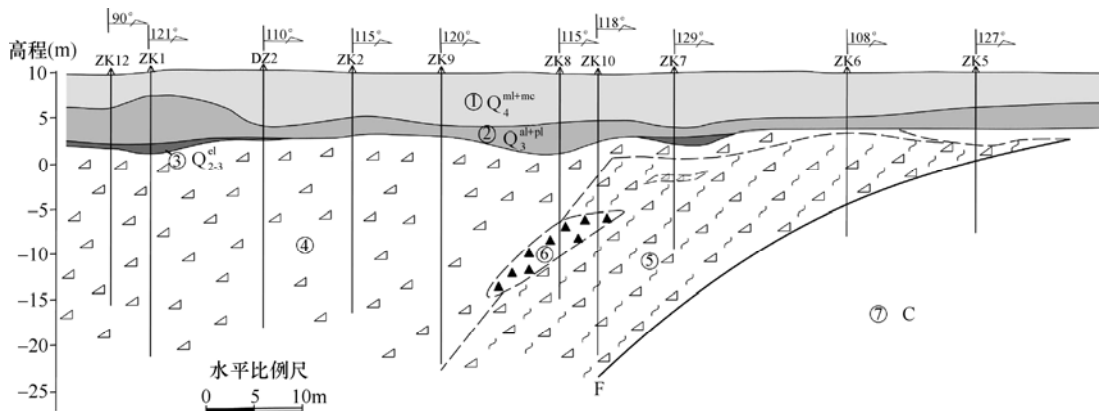
图 5 横岗-罗湖断裂西南段与第四系沉积等厚线分布图

Fig.5 Map of southwest segment of Henggang-Luohu fault and isopach of Quaternary deposit

钻孔剖面如图 6 所示，根据钻孔所揭露的资料，剖面内覆盖土层按其地质时代、成因类型及土性的不同自上而下划分为：全新统 (Q₄) 的填土层、冲积砾砂层、冲积含砾粉质粘土层、冲积粉质粘土层、冲积淤泥或含砂含砾石淤泥质粉质粘土层、冲积粉细砂层、冲积中粗砂层、冲积砾砂夹卵石层；上更新统 (Q₃) 的坡积粉质粘土层、坡积粘土层、冲积粉细砂层、冲积中-粗砂层、冲积砾石层；中-上更新统 (Q_{2,3}) 残积土层。全新世和晚更新世地层连续分布，在水平上无明显差异变化。局部地段可见中晚更新世的残积土层。作为断裂上覆盖沉积层底部冲积砾石层的光释光年龄样品测年结果显示为距今 (22.6±1.5) ka，表明断裂于晚更新世晚期以来没有活动迹象。

该钻探剖面还揭示了断裂破碎带总宽度超过 80m，断裂物质主要由碎裂岩、绿泥石化碎裂岩和构造角砾岩组成，原岩为石炭纪变质石英粉砂岩。破碎最为强烈的地段位于 ZK6、ZK7、ZK8 和 ZK10 孔一带，由绿泥石化碎裂岩和构造角砾岩组成，在剖面上显示为上宽下窄的形态，上部宽约 40m，下部宽约 20m。根据这 4 个钻孔揭露，

断层倾向北西，总体视倾角为 52° 。在断层内部的绿泥石化碎裂岩及构造角砾岩内采集的样品电子自旋共振测年结果为 (67.7 ± 6.7) 万年和大于 150 万年，表明断裂在中更新世早期及以前活动过。



- ① Q_4^{ml+mc} 全新世人工填土层与海陆交互相沉积层；② Q_3^{al+pl} 晚更新世冲洪积层；③ Q_{2-3}^{el} 中-晚更新世残积层；
④ 碎裂岩；⑤ 绿泥石化碎裂岩；⑥ 构造角砾岩；⑦ 石炭纪变质石英粉砂岩

图 6 深圳水库钻孔探测剖面图

Fig.6 Geological borehole logs along Shenzhen Reservoir Line

深圳海关停车场钻孔探测剖面位于深圳海关总部停车场内，场地地势平坦开阔，南侧距深圳河约 300m，东侧为深圳火车站，西侧距布吉河约 400m，距渔民村约 200m，平均海拔高程为 3—5m，钻孔剖面如图 7 所示。根据钻孔所揭露的资料，剖面内覆盖土层按其地质时代、成因类型及土性的不同自上而下划分为：全新统 (Q_4) 的人工填土层、海陆交互相淤泥质土层、海陆交互相砾砂层、海陆交互相中粗砂层、粉细砂层；上更新统 (Q_3) 冲积粉质粘土或粘土层、冲积粉砂细砂层、冲洪积砾石层。作为断裂上覆盖沉积层底部的光释光年龄样品测年结果显示为距今 (9.6 ± 0.3) ka，表明断裂于全新世以来没有活动迹象。

该钻探剖面还揭示了断裂破碎带总宽度超过 25m，断裂物质主要由碎裂岩、构造角砾岩和千枚岩组成。剖面中 ZK7 孔、ZK12 号孔孔深 15.50—21.50m、ZK13 号孔孔深 17.00—22.00m 和 ZK11 号孔孔深 18.00—23.00m，揭露了原岩为石炭纪变质石英砂岩的碎斑石英岩。而 ZK8、ZK9 和 ZK10 号孔、ZK11 号孔孔深 14.80—16.50m 和 ZK13 号孔孔深 14.90—15.50m 则揭露了原岩为石炭纪变质石英砂岩的构造角砾岩。在构造角砾岩与碎斑石英岩之间为厚 1.0—1.2 m 的千枚岩条带。在构造角砾岩和千枚岩中还可可见大量的挤压破裂面，尤其在 ZK10、ZK11、ZK13 孔的千枚岩与碎斑石英岩接触界面附近特别清晰，致使部分岩芯顺破裂面方向断开，其倾角为 40° — 45° 。钻孔剖面显示断裂上部被第四纪沉积物平缓覆盖，断裂底界面倾向北西，视倾角为 39° ，结合渔民村、深圳地铁、深圳火车站以及海星大厦等地工程地质钻探所揭露的断层形态，推断断层走向为北东 70° ，倾向北西，倾角 40° 左右。在构造角砾岩内采集的断层样品电子自旋共振测年结果为 (59.2 ± 5.9) 万年和 (73.2 ± 7.3) 万年，同样表明断裂在中更新世早期及以前活动过。

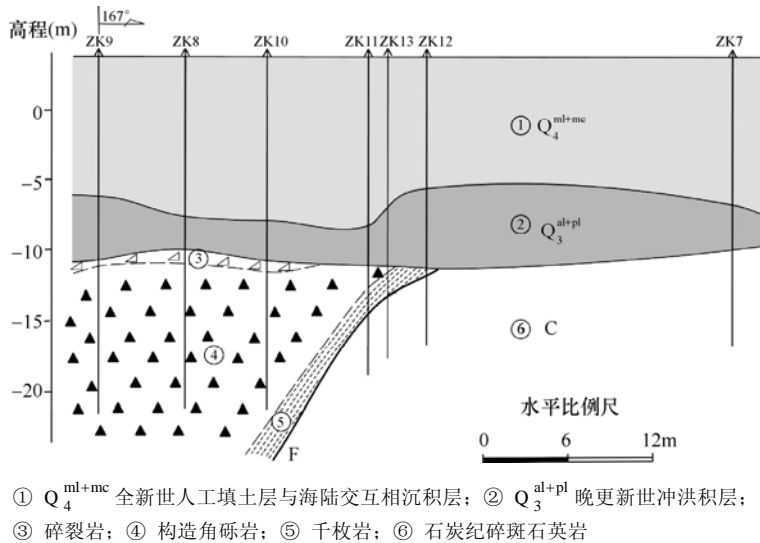


图 7 深圳海关停车场钻孔探测剖面图

Fig.7 Geological borehole logs along the parking lot line of Shenzhen customs

3 讨论和结论

以深圳水库为界，横岗-罗湖断裂通过部位地貌类型差异明显：断裂东北段位于低丘陵台地区，沿断裂未见同一层状地貌面有错断现象，亦未见河流同向扭曲现象；断裂西南段位于河岸冲积、海积平原区，但第四纪沉积层厚度仅为 5—10m，沉积等厚线未见受断裂控制。

横岗-罗湖断裂东北段的构造地貌特征显示，断裂东北段在 180 万年以来无明显活动迹象；而西南段钻孔探测剖面则显示，断裂上覆盖第四系自晚更新世晚期以来没有活动迹象。另外，据人民桥与国贸大厦之间的钻孔剖面显示，横岗-罗湖断裂被 10 多米厚的第四系覆盖，该底层下部为晚更新统砂砾层，上层为全新统。钻探剖面显示，断层两侧的 Q_3 — Q_4 层位连续，埋深一致，并没被断裂错移，表明该断裂自晚更新世以来没有明显的活动（陈伟光等，2001）。

野外地质露头研究表明，横岗-罗湖断裂断层物质由碎裂岩、构造角砾岩、硅化岩等组成，断裂没有错动上覆残坡积层。电子自旋共振测年结果显示，横岗-罗湖断裂最新活动于中更新世中期。同时，野外地质调查还获得了横岗-罗湖断裂次级断裂切割第四纪网纹红土层的直接证据。两条钻孔探测剖面获得的断裂样品电子自旋共振测年数据反映出断裂活动于中更新世早期。此外，在黄贝岭的横岗-罗湖断裂断层泥中石英颗粒热发光年龄测定表明，横岗-罗湖断裂的活动期为距今 56.9—93 万年（地质矿产部深圳市区域稳定性评价编写组，1991）；而中国地震局地质研究所对黄贝岭的横岗-罗湖断裂断层泥进行电子自旋共振测年获得的结果为 (41.1 ± 10) 万年和 (49.8 ± 15.5) 万年¹。在深圳水库溢洪道右侧美展馆北面水库山庄附近，横岗-罗湖断裂次级断裂的断层物质热释光测年结果为距今 (14.2 ± 1.1) 万年、 (27.4 ± 2.1) 万年、 (31.4 ± 2.4) 万年、 (58.6 ± 4.3) 万年²。上述测年数据表明，横岗-罗湖断裂活动于中更新世中、晚期。

1 广东省深圳市地质局，2003. 深圳市黄贝岭 F_3 断层微量位移监测研究报告.

2 深圳市勘察研究院，2005. 深圳水库溢洪道两侧场地断裂活动性及地面裂缝稳定性与建筑适宜性评价报告.

除此之外,本次研究还布设了 20 条浅层地震测线,但均未发现断裂错移第四系覆盖层底界的现象。由于深圳地区第四系沉积物的最老年龄不超过晚更新世中期,所以可认为横岗-罗湖断裂自晚更新世中期以后没有活动。

综上所述,横岗-罗湖断裂最新一次活动发生在中更新世,自晚更新世中期以来没有新的活动证据。

本文得到广东省地震局潘建雄研究员的指导帮助,在此谨致谢意!

参考文献

- 陈挺光, 1989. 深圳断裂带基本特征及其现今活动性. 广东地质, **4** (1): 51—61.
- 陈伟光, 赵红梅, 李富光等, 2001. 深圳市断裂构造的活动性及其对地质环境的影响. 热带地理, **21** (1): 45—50.
- 地质矿产部深圳市区域稳定性评价编写组, 1991. 深圳市区域稳定性评价. 北京: 地质出版社.
- 李建超, 丘元禧, 1990. 广东莲花山燕山早期断裂带热变质带的基本特征及形成机制的探讨. 长春地质学院学报, **20** (1): 11—20.
- 宋方敏, 范福田, 汪一鹏等, 1994. 深圳断裂带第四纪活动性研究. 见: 中国地震学会地震地质专业委员会主编, 中国活动断层研究. 北京: 地震出版社, 186—195.

The Quaternary Activity of Henggang-Luohu Fault in Shenzhen City

Ma Haoming and Chen Panglong

(Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China)

Abstract Based on the previous studies, the quaternary activity of Henggang-Luohu Fault in Shenzhen City was investigated by means of geological and geomorphic survey, combined borehole detecting, OSL and ESR dating technique. The results indicate that the latest activity of the fault occurred at middle Pleistocene period. No evidence of activity after middle period of later Pleistocene has been found.

Key words: Henggang-Luohu fault; Fault activity in Quaternary; Shenzhen City