

doi: 10.11720/wtyht.2021.2563

吴教兵,黎峻良,江兰,等.综合物探方法在广西罗城县活动断裂鉴定中的应用[J].物探与化探,2021,45(2):346-354.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.2563>Wu J B, Li J L, Jiang L, et al. The application of comprehensive geophysical method to the identification of active faults in Luocheng County, Guangxi [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(2): 346-354. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.2563>

综合物探方法在广西罗城县活动断裂鉴定中的应用

吴教兵¹,黎峻良¹,江兰²,陆俊宏¹,潘黎黎³,韦王秋¹

(1.广西壮族自治区地震局,广西南宁 530022;2.深圳市龙岗地质勘查局,广东深圳 518100;3.广东省珠海工程勘察院,广东珠海 519002)

摘要:城市活动断层探测在城市发展建设过程中和保障人民生命财产安全方面起到重要作用。本文以鉴定罗城断裂和上天桥—寺门断裂活动性为目的,在地震地质调查确定其断裂的几何学、运动学和年代学的基础上,选择第四系覆盖断裂最有可能活动的地段,重点采用高密度电法和地震映像方法来探测断裂在隐伏地段的具体位置,通过排钻验证,以及揭露其断裂与第四纪覆盖层之间的错断关系,来确定其断裂最新活动年代。结果表明,高密度电法和地震映像综合物探方法准确探测到了罗城断裂和上天桥—寺门断裂在隐伏地段的位置,且钻孔岩心中断裂面、断裂擦痕、断裂碎裂岩和构造角砾岩等发育,但断裂未错断第四系覆盖层,从而确定其断裂活动年代为早更新世。根据相关规范要求,罗城断裂和上天桥—寺门断裂全新世以来不活动,罗城县的建设规划可不采取避让措施,该鉴定结果为今后罗城县的工程建设提供了安全保障。

关键词:活动断裂;地震地质调查;高密度电法;地震映像;排钻**中图分类号:** P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2021)02-0346-09

0 引言

罗城地处桂北九万大山中心南麓,流经罗城的主要水系有武阳江、东小江等,通过罗城县的断裂主要为罗城断裂和上天桥—寺门断裂。由于罗城在广西地理位置上较偏僻,相关的调查研究工作程度较差,也未见相关人员对这两条断裂进行研究评价,因此,这两条断裂的空间展布和年代学特征尚未确定,无法分析其活动性和地震效应。

活动断裂是诱发地震的主要原因,12万年以来活动过的断裂定为活动断裂^[1],所以,城市工程建设应避让活动断裂,然而不同的研究学者,对避让的距离有不同的研究,避让距离有15 m^[2],避让距离有40 m^[3],避让距离有200 m^[4];非全新活动断裂可不采取避让措施^[5]等,说明不管避让距离多少,确定断裂活不活动才是最重要。在区域上,一般采用遥感解译断裂的活动性^[6-7]。在覆盖层较厚地区,

采用多次覆盖地震反射波法确定断裂活动性^[8-13];也有采用探地雷达来确定断裂活动性^[14];也有采用电法和浅层地震,并结合排钻来确定断裂活动性^[15-17];覆盖层较薄的隐伏地段,在隐伏断裂处进行探槽开挖,通过探槽的揭露情况来确定断裂活动性^[18]。

所以,本文采用地震地质调查来确认罗城断裂和上天桥—寺门断裂空间展布,在隐伏地段采用高密度电法和地震映像来精确定位断裂带的位置,通过打排钻的岩心揭露来确定其断裂带的位置和最新活动时代。

1 地震地质调查

罗城县地处溶蚀地貌,据地震地质调查,在溶蚀洼地、平原地区存在较厚亚黏土、黏质砂土层,厚度3~10 m不等,局部河流阶地处存在砾石层或砂砾层;溶蚀低丘或边坡存在较薄的冲积砾层及残坡积

收稿日期:2019-12-13;修回日期:2020-11-22

基金项目:广西科学研究与技术开发计划项目(桂科 AB17195022,桂科 AB18126040)

第一作者:吴教兵(1984-),男,工程师,主要从事活动断层探测、地震监测与研究工作。Email:wujiaobing@163.com

通讯作者:黎峻良(1989-),男,助理工程师,主要从事活动断层探测与研究工作。Email:269653004@qq.com

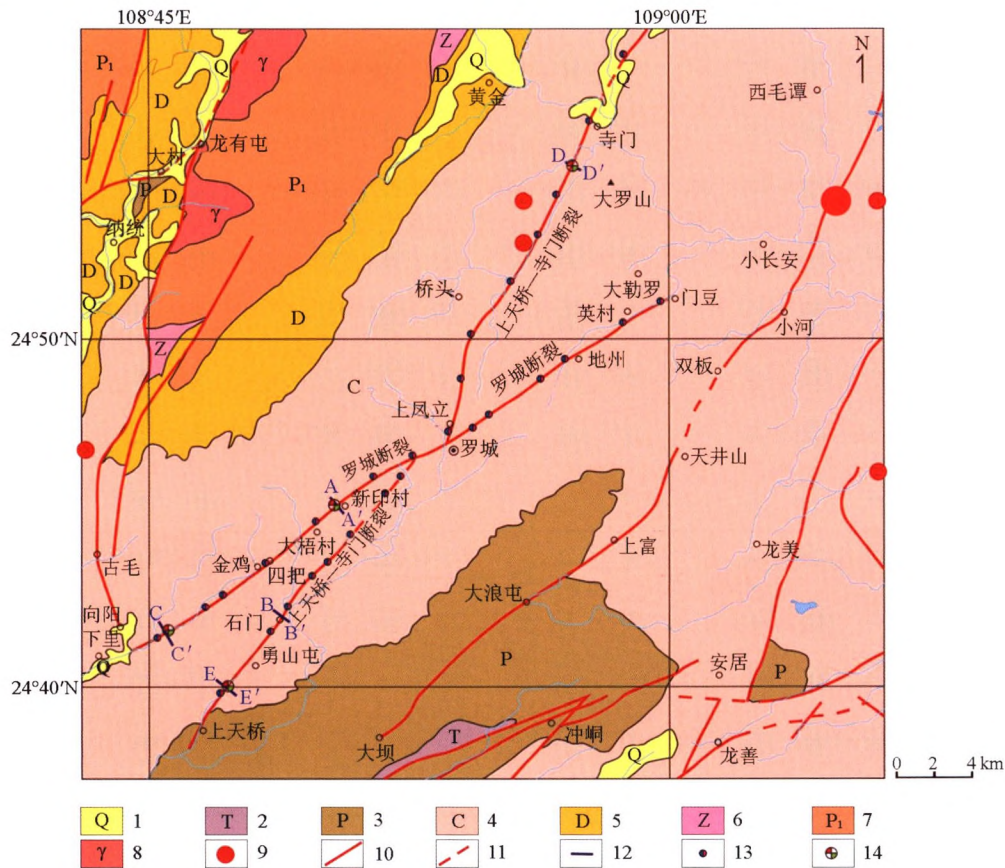
层,厚度 1~3 m 不等。下伏基岩主要有三叠系的薄层状灰岩,二叠系的灰岩,石炭系的灰岩、白云岩,泥盆系的灰岩、白云岩,震旦系的泥质砂岩、页岩,板溪群的板岩、千枚岩等(图 1)。

此次采用定点观测法、横切剖面法以及局部追索法对罗城断裂和上天桥—寺门断裂进行地震地质调查,研究这两条断裂的平面展布形态、产状、内部

结构构造特征、活动期次,确定其几何分布特征、运动性质,以及断裂经过地区的具体位置。

1.1 罗城断裂地质地貌调查研究

据地质地震调查结果,罗城断裂总体走向 NE,从 SW 到 NE 依次经过下明泰、思爱村、南平屯、四把镇、新印村、罗城、地州至门豆,全长约 31 km。罗城断裂断面倾向 NW,断面倾角约 55°~70°,



1—第四系;2—三叠系;3—二叠系;4—石炭系;5—泥盆系;6—震旦系;7—板溪群;8—岩浆岩;9—地震;10—断裂带;11—隐伏断裂带;12—物探测线;13—地质调查点;14—排钻

1—Quaternary system;2—Triassic system;3—Permian system;4—Carboniferous system;5—Devonian system;6—Sinian system;7—Banxi group;8—Magmatic rock;9—earthquake;10—fault zone;11—concealed fault zone;12—geophysical survey line;13—geological survey point;14—drilling row

图 1 罗城县地震构造分布

Fig.1 Distribution map of seismic structure in Luocheng County

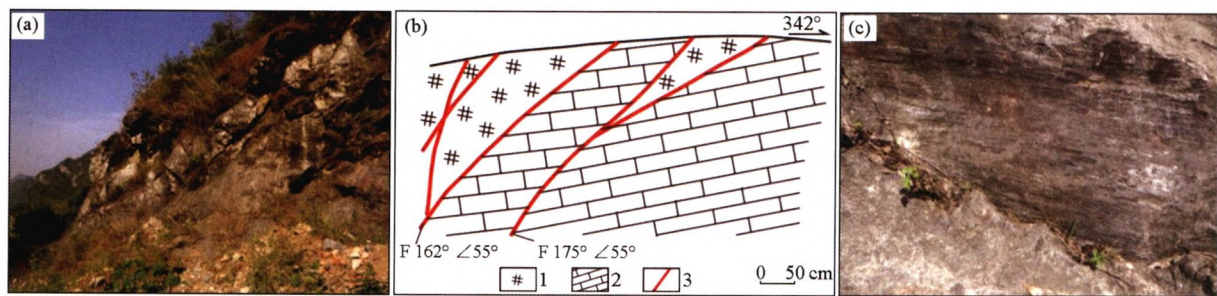
破碎带宽度在 10~15 m,局部露头可达 20 m。断裂经历多期次活动;早期破碎带主要为角砾岩,角砾呈次棱角状到次圆状,方解石铁质胶结,已经固结成岩,局部还可见残留的少许擦痕和阶步,表面铁质胶结;晚期破碎带发育于早期破碎带的中部,宽约 3~5 m,多以密集节理为主,多组节理切割破碎基岩,较松散或未胶结,局部可见新鲜方解石胶结角砾岩,露头多见水平擦痕和阶步,表面方解石胶结,指示右旋走滑运动特征。局部露头可见高角度摩擦镜面,该镜面发育于早期断面上,指示张性正断的作用。综

合推断该断裂早期为挤压逆冲特征,中期表现为走滑特征,晚期最新活动具有右旋走滑兼正断的特征(图 2)。

1.2 上天桥—寺门断裂地质地貌调查研究

据地质调查结果,上天桥—寺门断裂自上天桥、勇山、罗城、良勇至寺门,全长约 40 km。断裂可分为南北两段,在罗城县附近被 NEE 向的罗城断裂右旋错移约 2 km。

上天桥—寺门断裂南段断面倾向 NW,断面倾角约 65°~75°,破碎带宽度范围在 10~20m。其中



1—构造破碎带;2—灰岩;3—断裂带
1—tectonic fracture zone;2—limestone;3—fault zone

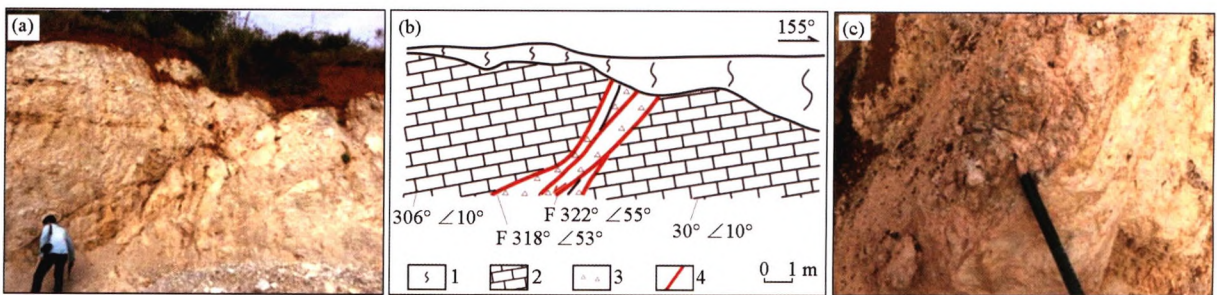
图 2 罗城断裂野外露头 (a)、构造剖面图 (b) 和发育 NW 向水平擦痕和阶步 (c)

Fig.2 Field outcrop of Luocheng fault (a), structural section (b) and development of NW horizontal scratches and steps (c)

后期张性破碎带一般宽 1~2 m, 早期破碎带一般分布在破碎带两侧, 主要为压性碎裂岩带, 劈理、透镜体、次级节理等发育, 有的断面上有擦痕阶步发育, 显示压性左旋运动特性; 晚期破碎带一般分布在破碎带中部, 内部主要发育张性角砾岩, 胶结较为松散, 主要表现为正断性质 (图 3)。

上天桥—寺门断裂北段断面倾向 NW, 破碎

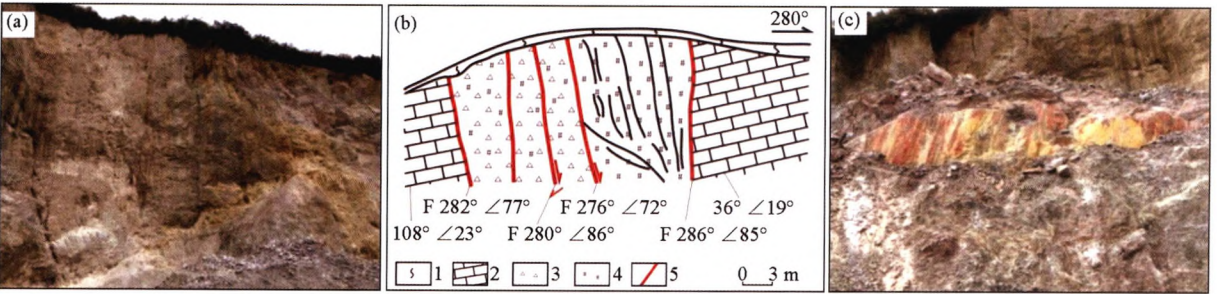
带宽度范围在 10~20 m。早期主要表现为张性正断运动特性, 晚期断面切割早期破碎带或者沿早期断面发育并改造早期擦痕阶步等运动学标志, 晚期活动影响范围多在 3~5 m, 沿晚期断面附近发育, 一般表现为角砾岩或者碎裂岩, 根据擦痕阶步等运动学标志判断晚期以右旋走滑活动为主 (图 4)。



1—残积黏土;2—灰岩;3—角砾岩;4—断裂带
1—residual clay;2—limestone;3—breccia;4—fracture zone

图 3 上天桥—寺门断裂南段野外露头 (a)、构造剖面图 (b) 和构造角砾岩 (c)

Fig.3 Field outcrop in the south section of Shangtianqiao—Simen fault (a), structural section (b) and structural breccia (c)



1—残积黏土;2—灰岩;3—角砾岩;4—破碎带;5—断裂带
1—residual clay;2—limestone;3—breccia;4—fracture zone;5—fracture zone

图 4 上天桥—寺门断裂北段野外露头 (a)、构造剖面图 (b) 和断裂面 (c)

Fig.4 Field outcrop in the north section of Shangtianqiao—Simen fault (a), structural section (b) and fault plane (c)

2 物探方法与成果解释

为了查明罗城断裂和上天桥—寺门断裂的活动性,基于地震地质调查,对断裂经过的重点研究隐伏区域采用高密度电法、地震映像综合方法进行探测,查明断裂在隐伏区的具体位置。本次物探布设了5条测线,罗城断裂上布设 A-A'和 C-C'测线,天桥—寺门断裂上布设 B-B'、D-D'和 E-E'测线(图1)。

2.1 物探方法

高密度电法是以岩土层介质导电性差异变化为基础的勘探方法,本次高密度电法使用重庆奔腾数控技术研究所生产的 WGMD-9 型分布式电法仪,采用 AMN 和 MNB 综合联剖装置^[19],直流供电 270~360 V,无穷远极垂直于测线距离 300~500 m,无锈钢电极垂直锤入地下 20 cm,确保与地下较好耦合,并浇盐水来减少接地电阻。根据场地展布情况,A-A'、B-B'和 D-D'测线采用点距 5 m,C-C'和 E-E'测线采用点距 10 m。高密度电法中断裂带推断依据:断裂带在水或黏土充填下表现为比较明显的低阻异常,在视电阻率断面等值线图上表现为相对低阻区;在联合剖面曲线上表现为低阻正交点。

地震映像以地下不均匀介质地震波传播速度差异变化为基础的勘探方法,本次地震映像使用北京水电物探研究所生产的 SWS-6 型浅层地震勘探仪,采用大锤人工震源,点距 1 m,采样时间 512 ms,检波器 4 Hz 和 28 Hz,最佳偏移距 14 m;开展地震映像前,先进行干扰波调查^[20-21](图5),道间距 2 m,偏移距 0 m,12 道 4 Hz 检波器。本次地震映像勘探是在确定高密度电法异常上进行。地震映像中断裂带推断依据:在地震映像剖面图上,具有低速特征的断裂带常表现为地震波同相轴错位、中断和明显的地震波同相轴下凹,以及具有绕射特征的断裂带表现

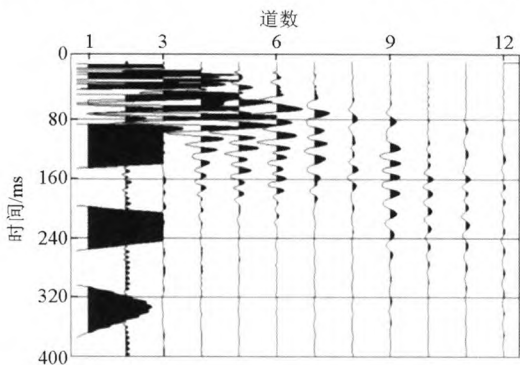


图5 干扰波调查

Fig.5 Survey map of interference wave

为地震波同相轴形成绕射弧。

2.2 物探成果解释

对高密度电法数据进行了格式转换,绘制了不同极距联合剖面曲线图;综合三极装置数据绘制了视电阻率断面等值线图。对地震映像资料进行了废道删除、增益调整和滤波处理,并绘制出了各测线的地震映像剖面图,地震映像记录点为每一道的激发点和接收点的中点。

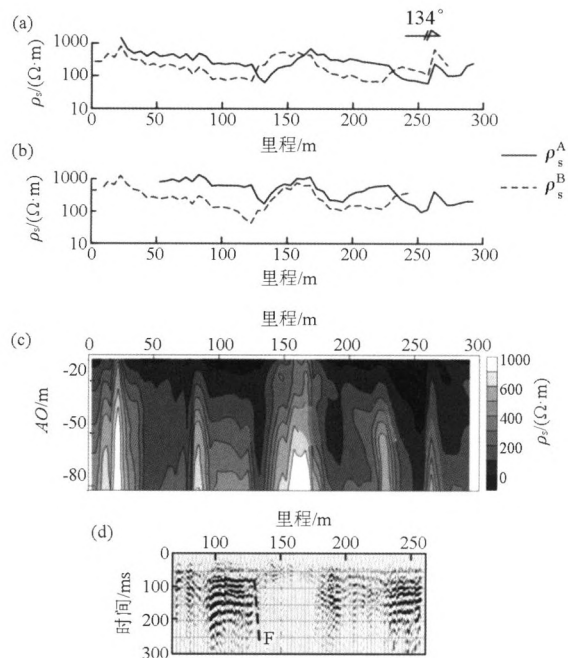
1) A-A'测线(图6)。在极距 AO 为 22.5 m 曲线图上看,在 125 m 和 230 m 位置上存在低阻正交点;在极距 AO 为 52.5 m 曲线图上可看,在 235 m 位置上存在明显的低阻正交点,然而 125 m 位置上曲线分离。从视电阻率等值线图上看,对应 120~140 m 为低阻带,且 240~260 m 也为低阻带。从地震映像波形图上看,对应 130 m 位置地震波能量减弱和同相轴上升,且地震波同相轴数不一致;对应 235 m 处地震波同相轴较一致,判定 235 m 的低阻正交点为地表低阻物的干扰。综合推断 120~140 m 可能为断裂带的位置。

2) B-B'测线(图7)。在极距 AO 为 22.5 m 和极距 AO 为 52.5 m 曲线图上可以看到没有明显的低阻正交点。从视电阻率等值线图上看,在 100 m 和 150 m 为高低阻分界线。从地震映像波形图上看,对应 100 m 位置地震波同相轴发生错断和下滑现象。综合推断 100 m 可能为断裂带的位置。

3) C-C'测线(图8)。在极距 AO = 35 m 曲线图上可以看到在 140 m 和 345 m 位置上存在较明显的低阻正交点;在极距 AO = 85 m 曲线图,320 m 位置上存在较明显的低阻正交点。从视电阻率等值线图上,对应 140 m 处为浅部低阻带,320 m 为高低阻分界线。从地震映像波形图上看,对应 140 m 位置地震波同相轴较一致,对应 320 m 发生地震波同相轴错断和上升现象。综合推断 320 m 可能为断裂带的位置。

4) D-D'测线(图9)。在极距 AO 为 22.5 m 曲线图上可以看到在 100 m 位置上存在明显的低阻正交点;在极距 AO 为 52.5 m 曲线图 100 m 处也见明显的低阻正交点。从视电阻率等值线图上,对应 100 m 处为低阻带。从地震映像波形图上看,对应 100 m 位置地震波同相轴数明显不一致,且发生地震波同相轴错断现象。综合推断 100 m 可能为断裂带的位置。

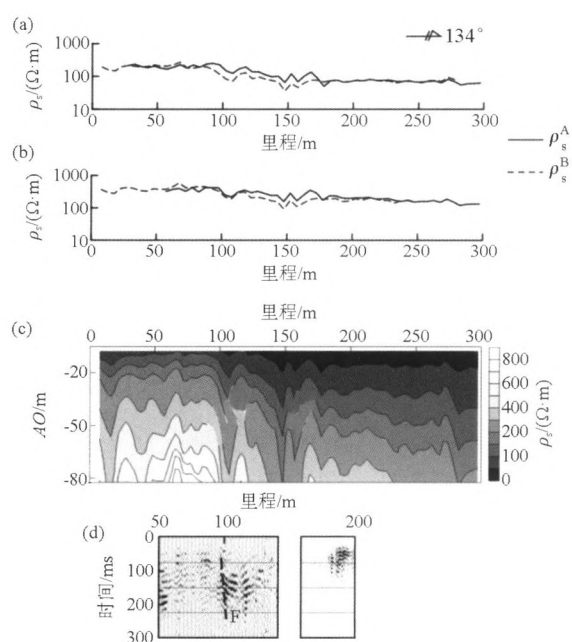
5) E-E'测线(图10)。在极距 AO 为 35 m 曲线图上看,在 220、300 和 430 m 位置上存在较明显的



a—极距 $AO=22.5\text{m}$ 的联合剖面曲线; b—极距 $AO=52.5\text{m}$ 的联合剖面曲线; c—视电阻率等值线; d—地震映像波形
a—polar distance $AO=22.5\text{m}$ multiple section; b—polar distance $AO=52.5\text{m}$ multiple section; c—apparent resistivity contour map; d—seismic image waveforms

图 6 A-A'测线物探成果

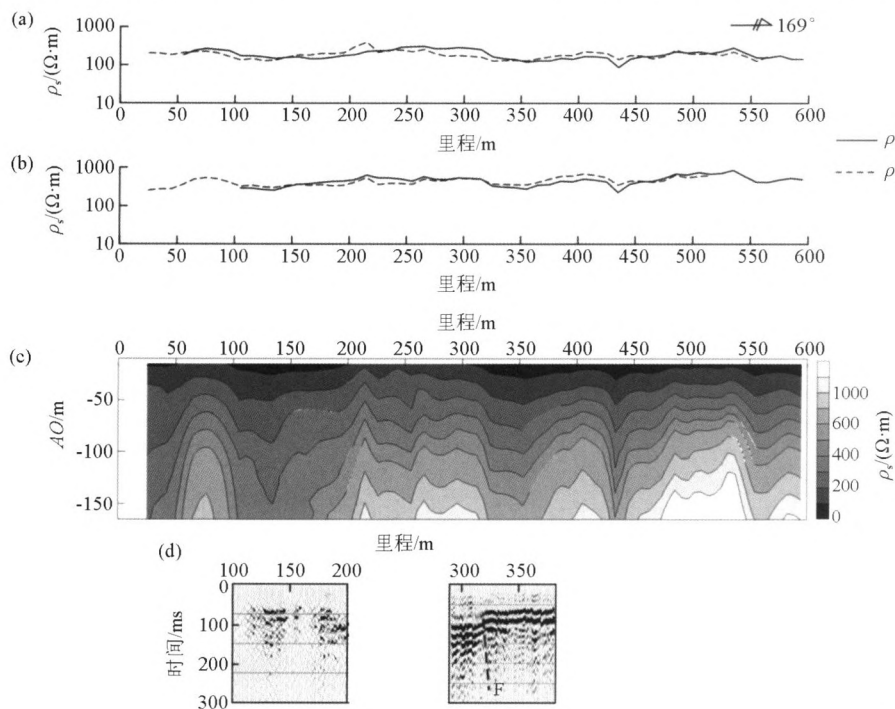
Fig.6 Geophysical prospecting results of line A-A'



a—极距 $AO=22.5\text{m}$ 的联合剖面曲线; b—极距 $AO=52.5\text{m}$ 的联合剖面曲线; c—视电阻率等值线; d—地震映像波形
a—polar distance $AO=22.5\text{m}$ multiple section; b—polar distance $AO=52.5\text{m}$ multiple section; c—apparent resistivity contour map; d—seismic image waveforms

图 7 B-B'测线物探成果

Fig.7 Geophysical prospecting results of line B-B'



a—极距 $AO=35\text{m}$ 的联合剖面曲线; b—极距 $AO=85\text{m}$ 的联合剖面曲线; c—视电阻率等值线; d—地震映像波形
a—polar distance $AO=35\text{m}$ multiple section; b—polar distance $AO=85\text{m}$ multiple section; c—apparent resistivity contour map; d—seismic image waveforms

图 8 C-C'测线物探成果

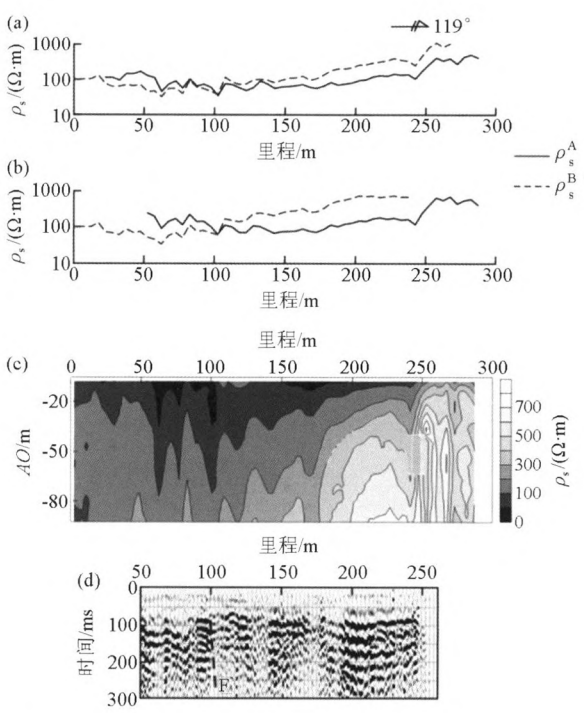
Fig.8 Geophysical prospecting results of line C-C'

低阻正交点;在极距 AO 为 85 m 曲线图上看,未存在明显的低阻正交点。从视电阻率等值线图上看,对应 220 m 处为明显的低阻带,且 220 m 处为高低阻分界线,对应 300 m 处为浅部低阻带,对应 430 m 处为高低阻分界线。从地震映像波形图上看,对应 200 m 位置地震波同相轴数明显不一致,且能量增强,发生错断现象。综合推断 200 m 可能为断裂带的位置。

3 钻探

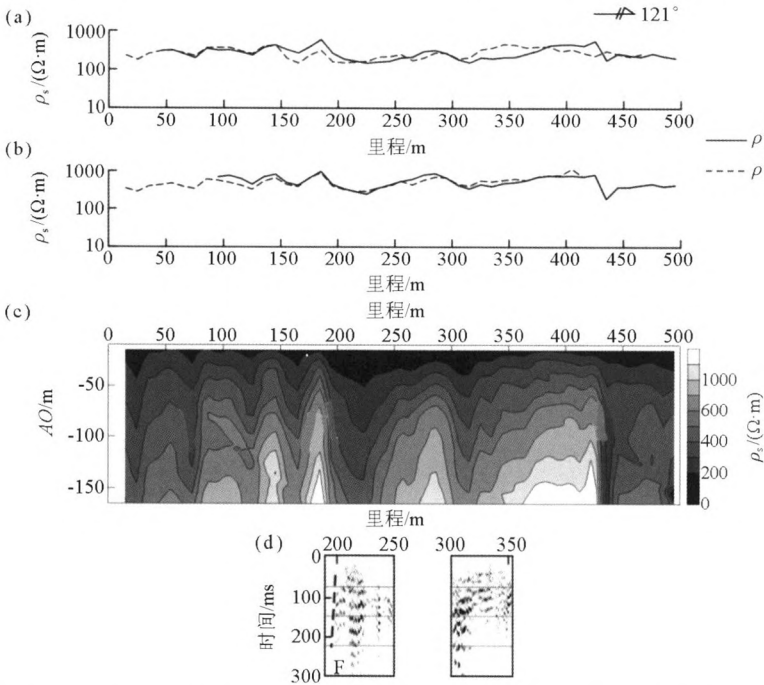
为了确定罗城断裂和上天桥—寺门断裂的最新活动时代,分别在 A-A'测线、C-C'测线、D-D'测线和 E-E'测线等 4 处物探异常进行了钻探验证,钻探采用排钻方式,每处打 5 个钻孔,且在同一直线上,并垂直于断裂带走向方向,且相邻钻孔间距 2~5 m。B-B'测线物探异常处有光缆通过,而无法钻探。

据各处钻探揭露(图 11),第四系覆盖土层完整,未见被错断现象;灰岩或白云岩岩心较破碎,揭露有断裂面、断裂擦痕、构造角砾岩、构造碎裂岩和断层泥等,部分岩心为铁质物或方解脉胶结充填,发育有剪节理(图 12)。从而判定,断裂带多期发育,最新活动时代为早更新世,晚更新世以来不活动。



a—极距 $AO=22.5\text{m}$ 的联合剖面曲线;b—极距 $AO=52.5\text{m}$ 的联合剖面曲线;c—视电阻率等值线;d—地震映像波形
a—polar distance $AO=22.5\text{m}$ multiple section;b—polar distance $AO=52.5\text{m}$ multiple section;c—apparent resistivity contour map;d—seismic image waveforms

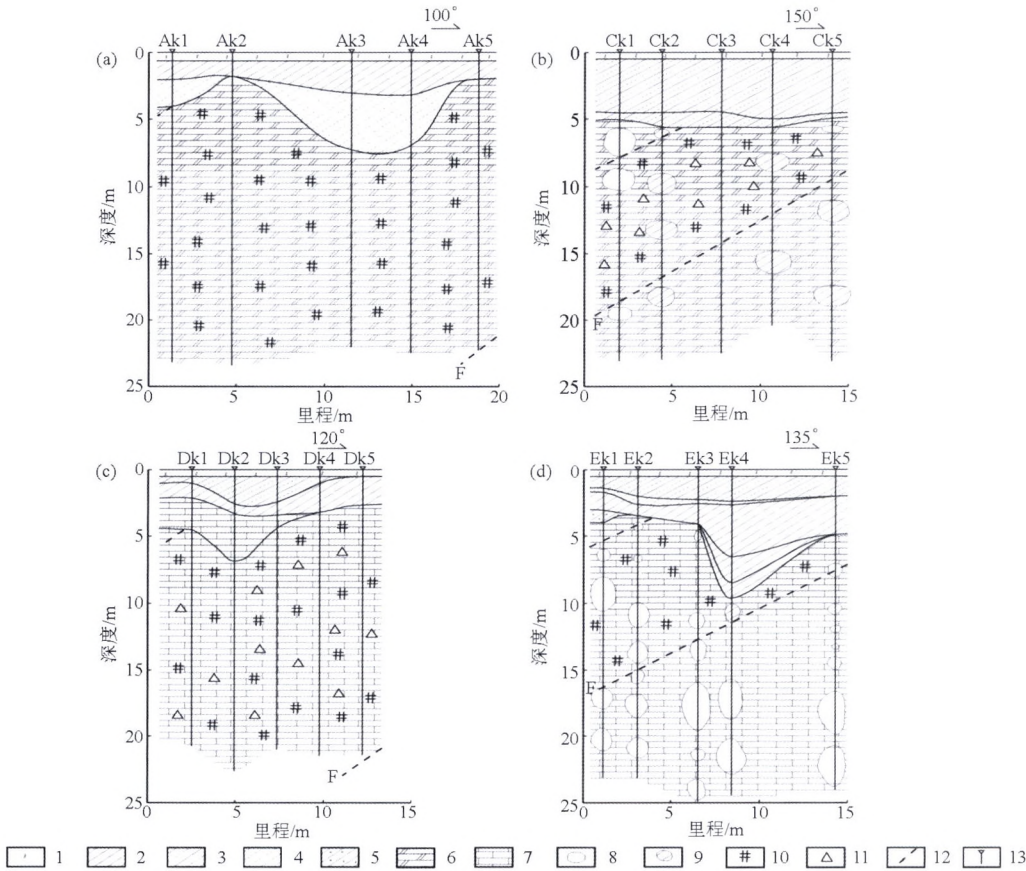
图 9 D-D'测线物探成果
Fig.9 Geophysical prospecting results of line D-D'



a—极距 $AO=35\text{m}$ 的联合剖面曲线;b—极距 $AO=85\text{m}$ 的联合剖面曲线;c—视电阻率等值线;d—地震映像波形

a—polar distance $AO=35\text{m}$ multiple section;b—polar distance $AO=85\text{m}$ multiple section;c—apparent resistivity contour map;d—seismic image waveforms

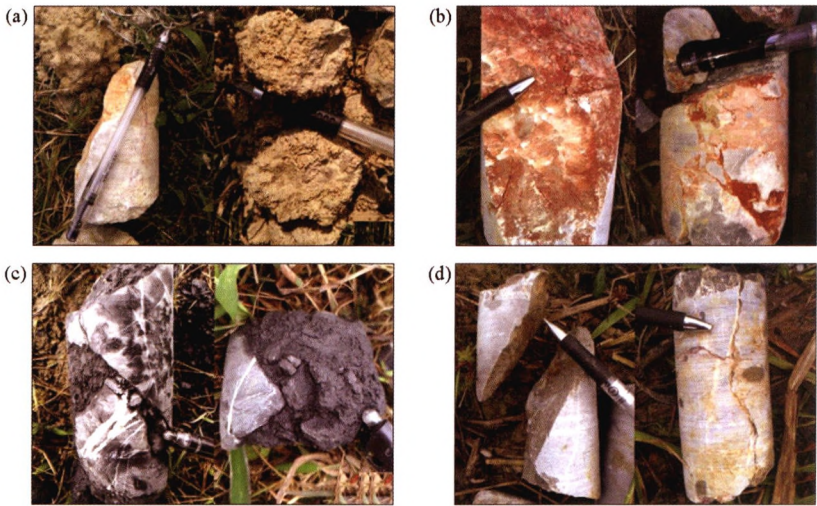
图 10 E-E'测线物探成果
Fig.10 Geophysical prospecting results of line E-E'



a—A-A'测线;b—C-C'测线;c—D-D'测线;d—E-E'测线;1—耕植土;2—黏土;3—粉质黏土;4—粉土;5—含砾黏土;6—白云岩;7—灰岩;8—水充填的溶洞;9—黏土充填的溶洞;10—构造碎裂岩;11—构造角砾岩;12—断裂;13—钻孔
a—A-A' line;b—C-C' line;c—D-D' line;d—E-E' line;1—arable soil;2—clay;3—silty clay;4—silt;5—gravelly clay;6—dolomite;7—limestone;8—water filled karst cave;9—clay filled karst cave;10—structural cataclastic rock;11—structural breccia;12—fracture;13—drilling hole

图 11 各测线钻探剖面

Fig.11 Drilling profile for each line



a—A-A'测线钻探揭露断裂面和构造碎裂岩;b—C-C'测线钻探揭露断裂擦痕面和构造角砾岩;c—D-D'测线钻探揭露断裂面和断层泥;d—E-E'测线钻探揭露断裂面和构造裂隙
a—A-A' line drilling exposes fracture surface and structural cataclastic rock;b—C-C' line drilling exposes fracture scratch surface and structural breccia;c—D-D' line drilling exposes fracture surface and fault gouge;d—E-E' line drilling exposes fracture surface and structural fracture

图 12 各测线的钻探岩心

Fig.12 Drilling core for each line

4 结论

1) 通过地震地质调查,罗城断裂总体走向 NE,全长约 31 km,断面倾向 NW,断面倾角约 $55^{\circ} \sim 70^{\circ}$,早期为挤压逆冲特征,中期表现为走滑,晚期最新活动具有右旋走滑兼正断的特征。

2) 通过地震地质调查,上天桥—寺门断裂全长约 40 km,分为南北两段。南段断面倾向 NW,断面倾角约 $65^{\circ} \sim 75^{\circ}$,早期显示压性左旋运动特性;晚期主要表现为正断性质。北段断面倾向 NW,早期主要表现为张性正断运动特性,晚期以右旋走滑活动为主。

3) 采用高密度电法与地震映像综合方法,探明了罗城断裂和上天桥—寺门断裂在第四系覆盖层地区的具体位置,钻探采用排钻方式,揭露了断裂面、断裂擦痕、构造角砾岩、构造碎裂岩和断层泥等,且第四系覆盖土层完整,未见被错断现象。

4) 钻探结果显示罗城断裂和上天桥—寺门断裂对上覆土层及阶地无错移,经区域第四系地层时代对比,上覆土层和阶地时代为晚更新世,推断罗城断裂和上天桥—寺门断裂最新活动时代为早更新世,晚更新世以来不活动。

5) 确定罗城断裂和上天桥—寺门断裂晚更新世以来不活动,罗城县的城市建设可不采取避让措施。

参考文献 (References):

- [1] 活动断层探测 (GB/T 36072-2018) [S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2018: 1-3.
Surveying and prospecting of active fault (GB/T 36072-2018) [S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2018: 1-3.
- [2] 徐锡伟, 郭婷婷, 刘少卓, 等. 活动断层避让相关问题的讨论 [J]. 地震地质, 2016, 38(3): 477-502.
Xu X W, Guo T T, Liu S Z, et al. Discussion on issues associated with setback distance from active fault [J]. Seismology and Geology, 2016, 38(3): 477-502.
- [3] 雷启云, 柴炽章, 孟广魁, 等. 基于构造活动历史的活断层工程避让研究 [J]. 工程地质学报, 2015, 23(1): 161-169.
Lei Q Y, Chai C Z, Meng G K, et al. Tectonic activity history based method for engineering safety distance to active fault [J]. Journal of Engineering Geology, 2015, 23(1): 161-169.
- [4] 全国中小学校舍安全工程地震工作指南 [S]. 北京: 中国地震局, 2009: 1-3.
Earthquake work guide for safety engineering of primary and secondary school buildings in China [S]. Beijing: China Earthquake Administration, 2009: 1-3.
- [5] 岩土工程勘察规范 (GB50021-2001) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 66-67.
Code for investigation of geotechnical engineering (GB50021-2001) [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009: 66-67.
- [6] 鲁恒新. 基于国产高分辨率遥感影像精细解译哈思山南麓活动断层 [D]. 北京: 中国地震局地震预测研究所, 2016.
Lu H X. Interpretation of South-Hasi-Mountain active fault zone based on domestic high resolution remote sense image [D]. Beijing: Institute of Earthquake Prediction, China Earthquake Administration, 2016.
- [7] 张璇, 张元生, 张丽峰. 卫星热红外遥感在地震预测和断层活动中的应用研究进展 [J]. 地质论评, 2016, 62(2): 381-388.
Zhang X, Zhang Y S, Zhang L F. Research progress of satellite thermal infrared remote sensing in earthquake prediction and fault activity [J]. Geological Review, 2016, 62(2): 381-388.
- [8] 张叶鹏, 王红, 黄朝宇, 等. 浅层地震勘探在工程场地地震安全性评价近场工作中的应用 [J]. 物探与化探, 2004, 28(5): 463-466.
Zhang Y P, Wang H, Huang C Y, et al. The application of shallow seismic exploration to the Near-site researches on the seismic safety evaluation of the construction sites [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004, 28(5): 463-466.
- [9] 何正勤, 潘华, 胡刚, 等. 核电厂址隐伏断裂探测中的地震勘探方法研究 [J]. 地球物理学报, 2010, 53(2): 326-334.
He Z Q, Pan H, Hu G, et al. Study on the seismic exploration method to detect buried fault in the site of Nuclear Power Plant [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53(2): 326-334.
- [10] 王银, 孟广魁, 柴炽章, 等. 隐伏活断层探测中的精定位技术——以银川盆地芦花台断裂为例 [J]. 地震地质, 2015, 37(1): 256-268.
Wang Y, Meng G K, Chai Z Z, et al. The accurate location methods for buried active exploration: an example of Luhutai faults in Yinchuan graben [J]. Seismology and Geology, 2015, 37(1): 256-268.
- [11] 张慧利, 张琳, 夏媛媛. 浅层地震勘探在城市活断层探测与危险性评价中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 2014, 11(1): 85-88.
Zhang H L, Zhang L, Xia Y Y. The application of shallow seismic prospecting methods to urban active fault detection and risk assessment [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2014, 11(1): 85-88.
- [12] 安好收, 罗传根. 浅层纵横波联合勘探在活动断层探测中的应用 [J]. 物探与化探, 2019, 43(3): 543-550.
An H S, Luo C G. The application of combined exploration of shallow P-wave and S-wave to active fault detection [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(3): 543-550.
- [13] 徐建宇. 地震方法在城市浅覆盖区活断层调查中的应用 [J]. 物探与化探, 2016, 46(6): 1104-1107.
Xu J Y. The application of seismic method to the investigation of active faults in urban shallow Quaternary sediment area [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 46(6): 1104-1107.
- [14] 薛建, 黄航, 张良怀. 探地雷达方法探测与评价长春市活动断层 [J]. 物探与化探, 2009, 33(1): 34-66.
Xue J, Huang H, Zhang L H. The application of the gpr method to

- detecting and estimating active faults in Changchun[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2009, 33(1): 34-66.
- [15] 吴敦兵, 高鹏飞. 高密度电法和地震映像在隐伏断裂中的应用——以玉林天然气支线项目为例[J]. *工程地球物理学报*, 2016, 13(1): 94-98.
- Wu J B, Gao P F. The application of high density resistivity method and seismic imaging method to concealed fault-Taking the Yulin gas line project as an example[J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2016, 13(1): 94-98.
- [16] 林承灏, 王雷, 黎哲君, 等. 电成像与浅层地震联合在浅覆盖区隐伏断层探测中的应用[J]. *地质与勘探*, 2017, 53(1): 133-140.
- Lin C H, Wang L, Li Z J, et al. Application of collocated resistivity tomography and shallow seismic method to the detection of concealed faults in areas with thin covers[J]. *Geology and Exploration*, 2017, 53(1): 133-140.
- [17] 吴敦兵, 高鹏飞, 陆俊宏, 等. 综合物探方法在广西柳州隐伏断裂探测中的应用[J]. *地质与勘探*, 2019, 55(4): 1026-1035.
- Wu J B, Gao P F, Lu J H, et al. Application of multiple geophysical methods to the detection of buried faults in Liuzhou, Guangxi[J]. *Geology and Exploration*, 2019, 55(4): 1026-1035.
- [18] 李细光, 李冰溯, 潘黎黎, 等. 广西灵山 1936 年 6(3/4) 级地震地表破裂带新发现[J]. *地震地质*, 2017, 39(4): 69-78.
- Li X G, Li B S, Pan L L, et al. A new finding of surface rupture zones associated with 1936 Lingshan M6(3/4) earthquake, Guangxi, China[J]. *Seismology and Geology*, 2017, 39(4): 69-78.
- [19] 程志平. 电法勘探教程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007: 3-20.
- Cheng Z P. Course of electric exploration[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2007: 3-20.
- [20] 单娜琳, 程志平, 刘云祯. 工程地震勘探[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006: 146-154.
- Shan N L, Cheng Z P, Liu Y Z. Engineering seismic exploration[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006: 146-154.
- [21] 单娜琳, 程志平. 地震映像方法及其应用[J]. *桂林工学院学报*, 2003, 23(1): 36-40.
- Shan N L, Cheng Z P. Seismic imaging profiling method and application[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2003, 23(1): 36-40.

The application of comprehensive geophysical method to the identification of active faults in Luocheng County, Guangxi

WU Jiao-Bing¹, LI Jun-Liang¹, JIANG Lan², LU Jun-Hong¹, PAN Li-Li³, WEI Wang-Qiu¹

(1. Earthquake Administration of the Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China; 2. Shenzhen Longgang Geological Exploration Bureau, Shenzhen 518100, China; 3. Zhuhai Engineering Exploration Institute of Guangdong, Zhuhai 519002, China)

Abstract: Urban active fault detection plays an important role in the process of urban development and construction and also in ensuring the safety of people's lives and property. In this paper, with the purpose of identifying the activity of Luocheng fault and Shangtianqiao-Simen fault and on the basis of geometry, kinematics and chronology of the fault determined by the seismic geological survey, the authors detected the specific location of the fault that lies at the most likely active segment and is covered by the Quaternary sediments by high-density electrical method and seismic imaging method, which was then verified by drilling arrangement. In addition, the latest active age of the fault was determined through the offset relationship between the fault and the Quaternary overburden. The results show that the location of Luocheng fault and Shangtianqiao-Simen fault in the concealed segment can be accurately detected by the high-density electrical methods and seismic mapping method, and the fault activity age is determined to be the early Pleistocene based on the fact that fracture surface, scratch, cataclasite and structural breccia are developed, but the fault does not cut the Quaternary overburden. According to the requirements of relevant specifications, Luocheng fault and Shangtianqiao-Simen fault have not been active since the late Pleistocene, so the construction planning of Luocheng county does not need to take avoidance measures, and the appraisal results provide safety guarantee for the project construction of Luocheng County in the future.

Key words: active fault; seismic geological survey; high density electrical method; seismic imaging; drilling arrangement

(本文编辑:叶佩)