

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2022.03.005

引用格式:朱红兵,陈国光,赵东东,等.微动探测技术在地层结构研究中的应用——以福州滨海新城核心区为例[J].华东地质,2022,43(3):297-305.(ZHU H B, CHEN G G, ZHAO D D, et al. Application of microtremor survey method in the study of stratum structure: A case study of Binhai New Town, Fuzhou City[J]. East China Geology, 2022, 43(3):297-305.)

微动探测技术在地层结构研究中的应用 ——以福州滨海新城核心区为例

朱红兵¹,陈国光¹,赵东东²,张宝松¹,邱兵叶¹,于雷¹,袁平峰¹

(1.中国地质调查局南京地质调查中心,江苏 南京 210016;

2.桂林电子科技大学,广西 桂林 541004)

摘要:微动探测技术以其快速、经济、受场地条件限制小等特点,广泛应用于浅部地质结构探测。该文采用基于线形台阵的高效、高密度数据采集与处理技术,在福州滨海新城核心区部署14条测线用于基岩埋深划分,通过空间自相关法从预处理后的微动信号垂直分量中提取瑞雷波相速度频散曲线,利用非线性遗传算法反演横波速度结构。结果表明,微动探测技术有效探测出研究区基岩埋深和地层结构,探明强风化花岗岩埋深为34~53 m,中风化花岗岩埋深为40~60 m,与区内搜集到的钻孔资料吻合,为福州滨海新城核心区地下空间安全利用评价提供了重要的科学依据。

关键词:微动探测;横波速度结构;基岩埋深;福州滨海新城

中图分类号:P315;P631

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2022)03-297-09

地层结构是城市地下空间安全开发利用中非常重要的基础地质资料^[1-3]。目前,常用于地层结构测量的方法主要有浅层横波反射地震和纵波反射地震方法。这两种方法具有高频特性好、反射能量强、分辨率高的特点,能分别有效识别浅部和深部的波阻抗界面和速度结构,但在城市区抗干扰能力相对较弱,很难保证数据质量,且施工场地一般比较复杂,往往难以满足浅层地震的施工条件^[4-5]。

面波勘探是近几十年来迅速发展起来的一种新兴工程地球物理探测技术,具有快速、经济、易激发、受场地条件限制小等优点^[6],已经在地质结构分层、隐伏断裂构造探测^[7]、地热调查^[8]、煤矿采空区探测^[9]、岩溶勘查^[10-11]和城市地质调查^[12-15]等多个领域取得不错的勘查效果。根据场源性质不同可以分为人工源面波和天然源面波(微动)勘探:人工源对浅部的探测精度高,但是由于激发能量一般较

小,探测深度较浅;天然源探测深度相对较大,野外工作灵活方便。由于福州滨海新城基岩面埋深相对较深,本文拟选取微动勘探方法开展探测工作,采用微动台阵探测技术获取场地的横波速度结构,进而达到划分地层结构的目的^[16]。

1 地质背景

福州滨海新城位于长乐区沿海地区,首石山、董奉山、南阳山三山环抱,面积188 km²,北含福州长乐国际航空港,南接松下港,面向东海,规划人口130万,其中核心区面积86 km²。

福州滨海新城核心区及周边出露地层较简单,主要发育上侏罗统南园组与第四系(图1)。上侏罗统南园组(J_3n)地层主要分布于机场南部、长乐市区、鹤上镇及古槐镇东部一带,在核心区周边主要有两个岩性段,即南园组第二段(J_3n^2)、第三段

* 收稿日期:2021-12-04 修订日期:2022-05-25 责任编辑:叶海敏

基金项目:中国地质调查局“福建省资源环境承载力综合评价(编号:DD20190301)”项目资助。

第一作者简介:朱红兵,1979年生,男,工程师,硕士,主要从事地球物理勘探工作。Email:275524686@qq.com。

(J_3n^3), 主要岩石类型为凝灰熔岩、熔结凝灰岩、晶屑凝灰岩等。区内第四系以海相地层为主, 从老到新可分为更新统残坡积(Q_{pel})、上更新统(Qp^3)、全新统(Qh)等^[17]。更新统残坡积层(Q_{pel})主要由花岗岩类及火山岩类岩石风化作用而成, 分布在低丘、残丘地区, 由棕红色、砖红色、灰白、灰黄色的黏性土组成。上更新统(Qp^3)分为冲洪积(apl)、海积(m)、冲积(al)、风积(eol)以及过渡类型冲海积(mc)等。其中, 冲洪积层由棕黄、灰白及褐红色的花斑状泥质砂砾、砾卵石、砂质黏土、黏土等组成, 厚 6~35 m, 一般厚 10~30 m; 海积、冲海积层主要为淤泥、黏土、砂土、砂砾卵石等组成; 风积层零星分布于漳港及江田迎风岸, 岩性为砖红色或褐红色半固结中细砂, 厚 2.0~10.2 m。全新统(Qh)广泛分布于全区, 包括冲洪积(apl)、冲积(al)、海积(m)、风积(eol)以及过渡类型冲海积(mc)等, 厚度一般 10~28 m。

侵入岩主要为早白垩世—晚侏罗世岩体与古近纪脉岩。早白垩世—晚侏罗世岩体在区内分布范围较广, 岩性为浅肉红色中细粒正长花岗岩。古近纪脉岩零星分布于沿海地区, 主要为辉绿玢岩, 穿插于上述岩体中。

2 方法原理

微动台阵探测技术是用规则或者不规则的台阵来接收微动信号, 按提取面波频散曲线方法分为空间自相关法 (SPAC) 和频率-波数法 (F-K) 两种。SPAC 法是通过计算自相关系数, 并将其与相应的零阶贝塞尔函数拟合, 从而求出瑞雷波的频散曲线; F-K 法是通过计算信号的功率谱, 找出每个频率 f_0 功率谱上最大值对应的波数 k_i , 求得瑞雷波的频散曲线^[18]。对于相同的台阵半径, SPAC 方法能够获得比 F-K 方法更深的地下结构信息, 并且得到的地下速度结构精度较高, 故 SPAC 方法应用较广泛^[19]。

根据 AKI K^[20] 提出的空间自相关法 (SPAC), 微动测试数据采集需要布设环形阵列, 即在圆形中心布设 1 个台站, 在半径为 r 的圆形上均匀布设 n 个台站, 然后对中心台站与圆形上台站之间的相关系数进行方位平均, 最后得到瑞雷波频散曲线。OKADA H^[21] 对比分析了圆形上分别布设不同台站数的试验, 试验表明均匀布设 3 个台站最为高效,



1.全新统上段风积层; 2.全新统中段冲洪积层; 3.全新统中段海积层; 4.上侏罗统南园组第二段; 5.早白垩世正长花岗岩; 6.晚侏罗世正长花岗岩; 7.滨海新城核心区范围; 8.已知钻孔; 9.验证钻孔; 10.微动测量剖面

图1 福州滨海新城核心区地质图

Fig. 1 Geological map of the core area of Binhai New Town, Fuzhou City

圆形半径根据勘探深度来选择。ROBERTS J 和 ASTEN M^[22] 等提出有限方位的近源振动, 六边形较三角形阵列能更好地压制近源。LUO S 等^[23] 就 SPAC 法对定向波场的有效性和局限性进行了分析。BETTIG B 等^[24] 对空间自相关法 (SPAC) 进行

了改进,使得其适用于不规则阵列,进而可以根据不同的场地条件选择合适的采集阵列。本文运用 SPAC 法给出基于线形台阵多次覆盖的高效数据采集单点(图 2)求取频散曲线,基本原理如下。



图 2 线形台阵示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the linear array

假设线形台阵 A 和周围测点 B 的空间自相关函数 $S(\gamma, \theta)$ 为

$$S(\gamma, \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ \int_0^{2\pi} \exp[irk \cos(\theta - \varphi)] h(\omega, \varphi) d\varphi \right\} d\omega = \int_{-\infty}^{+\infty} g(\omega, r, \theta) d\omega, \quad (1)$$

式中: $g(\omega, r, \theta)$ 为空间协方差函数; $h(\omega, \varphi)$ 为频率-方位密度; ω 为角频率, rad/s; r 为观测半径, m; θ 为波的入射角, °; k 为波数, 1/m; φ 为方位角, °。

空间协方差函数 $g(\omega, r, \theta)$ 的方位平均表达式^[25]为

$$\bar{g}(\omega, r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp[irk \cos(\theta - \varphi)] h(\omega, \varphi) d\varphi d\theta = g(\omega, 0) J_0(rk), \quad (2)$$

式中: $J_0(rk)$ 为第一类零阶贝塞尔函数。

令 $\rho(\omega, r)$ 为角频率的空间自相关系数, 则由式(3)可以确定第一类零阶贝塞尔函数的宗量, 再根据式(4)确定瑞雷波相速度 $c(f)$, 进而得到频散曲线。

$$\rho(\omega, r) = \frac{\bar{g}(\omega, r)}{h_0(\omega)} = J_0(rk), \quad (3)$$

$$c(f) = \frac{rk}{2\pi fr}, \quad (4)$$

式中: $h_0(\omega)$ 为台阵中心点频率-方位密度, f 为

频率。

3 数据采集与处理

围绕福州滨海新城核心区地下空间安全利用评价工作, 在该区部署 14 条微动测线(图 1), 主要进行地层结构探测。

本次微动采集仪器为 Geometrics 公司研发的 Atom 采集站, 各站之间采用 WiFi 和 NFC(近距离无线通讯)方式进行数据通信, 极大地方便了野外操作。

野外数据采集使用基于线形台阵的多次覆盖采集方式^[26](图 2)。本次微动探测点距 5 m, 24 个采集站为一个排列, 单次观测时间为 35~45 min, 观测结束后将整个排列移动到下一个排列, 从而形成连续测量剖面。

微动数据处理使用 Geogiga Surface Plus 软件, 主要数据处理步骤包括: ① 数据排列与坐标输入校验; ② 剔除高频干扰信号, 带通滤波参数为 0.1~50 Hz; ③ 采用 SPAC 法提取频散曲线, 主要参数设置为: 速度最大值为 1 000 m/s, 增量为 5 m/s, 频率分析范围 0.1~20 Hz, 时间分析步长 5 s, 深度转换系数为 0.5 等; ④ 集成频散曲线; ⑤ 反演频散曲线; ⑥ 绘制剖面图。

4 解译推断

4.1 横波速度特征

据陈建兴等^[27]研究资料(表 1), 研究区强风化花岗岩与覆盖层有 1.5~2 倍的速度差异, 中风化与强风化花岗岩有 1.5~2 倍的速度差异, 具备面波勘探的物性条件。因此, 利用微动探测技术可以在研究区浅部进行地层精细探测。

表 1 福州滨海新城地区工程钻孔横波波速统计表^[27]

Table 1 Statistics of shear wave velocity of boreholes in Binhai New town, Fuzhou City^[27]

地层岩性	最小横波波速/(m·s ⁻¹)	最大横波波速/(m·s ⁻¹)	平均横波波速/(m·s ⁻¹)	物性标本数/个
粉细砂	112.00	294.12	186.46	40
(含泥)粉细砂	157.00	326.00	228.93	40
淤泥质土	112.00	167.00	137.75	8
粉质黏土	300.00	343.00	324.17	10
砂土状强风化花岗岩	319.15	500.00	421.87	20
中风化花岗岩	744.00	1 250.00	922.62	21

4.2 CH5线地质解译

CH5线位于研究区东部(图1),由4个钻孔控制,因此本文以其微动剖面(图3(a))为例进行地层结构划分。CH5线横波视速度剖面垂向上由浅到深速度不断增加,呈现较明显梯级带异常,反映出明显界面信息;横向上等值线出现同向扭曲变形特征,反映出断裂破碎带信息;深部横波视速度顶面深度变化反映强风化、中风化花岗岩(基岩)展布特征。

根据钻孔 DK77、ZK148、ZK198、HK28 资料,结合该区横波波速特征(表1),CH5线横波视速度剖面可以划分出4个界面5个层位(图3(b)),5个

层位分别为:粉细砂层($S < 300$ m/s)、淤泥质土-(含泥)粉细砂层($190 \text{ m/s} < S < 320 \text{ m/s}$)、粉质黏土层($320 \text{ m/s} < S < 390 \text{ m/s}$)、全-强风化花岗岩($390 \text{ m/s} < S < 500 \text{ m/s}$)、中风化花岗岩($S > 500 \text{ m/s}$)。其中粉质黏土和全-强风化花岗岩顶界面最为清晰,淤泥质土-(含泥)粉细砂层顶界面也有较为明显。在点号1140~1220之间存在明显的低速带,且低速带有明显向深部延伸趋势,推测为断裂破碎带引起的异常;其对应横波视速度反映在钻孔 ZK198 的全-强风化花岗岩深度大于 ZK148 和 HK28,且在钻孔 ZK198 深部未见中风化花岗岩。综上所述,横波视速度划分地层与钻孔资料分层较为一致。

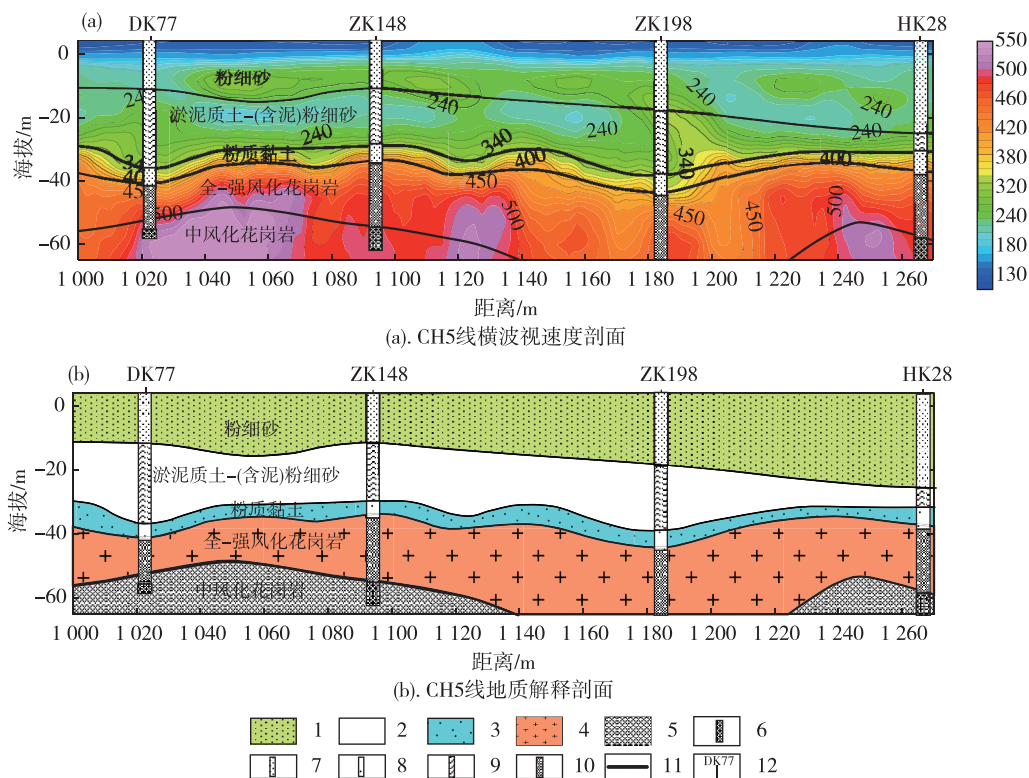


图3 CH5线地质综合解释剖面

Fig. 3 Comprehensive geological interpretation section of the Line CH5

4.3 GJ2线地质解译

GJ2线位于研究区西部(图1),图4(a)中横波视速度剖面反映了速度随深度增加不断变大的特征。在无钻孔控制的情况下,根据CH5线横波视速度剖面划分的5个层位速度,结合该区横波波速特征

(表1)在GJ2线划分出5个地层(图4(b)),淤泥质土层($S < 200$ m/s)、粉细砂层($200 \text{ m/s} < S < 300 \text{ m/s}$)、粉质黏土层($300 \text{ m/s} < S < 390 \text{ m/s}$)、全-强风化花岗岩($390 \text{ m/s} < S < 500 \text{ m/s}$)、中风化花岗岩($S > 500 \text{ m/s}$)。淤泥质土层和粉细砂层分布较连续,厚

度变化不大;粉质黏土层、全-强风化花岗岩及中风化花岗岩厚度变化较大,全-强风化花岗岩深度一般为 40~60 m,部分地段推测可能接近 70 m。综上

所述,GJ2 线与 CH5 线相同地层横波视速度范围基本一致,且 GJ2 线地层横波视速度也与本区横波波速特征(表 1)较为一致。

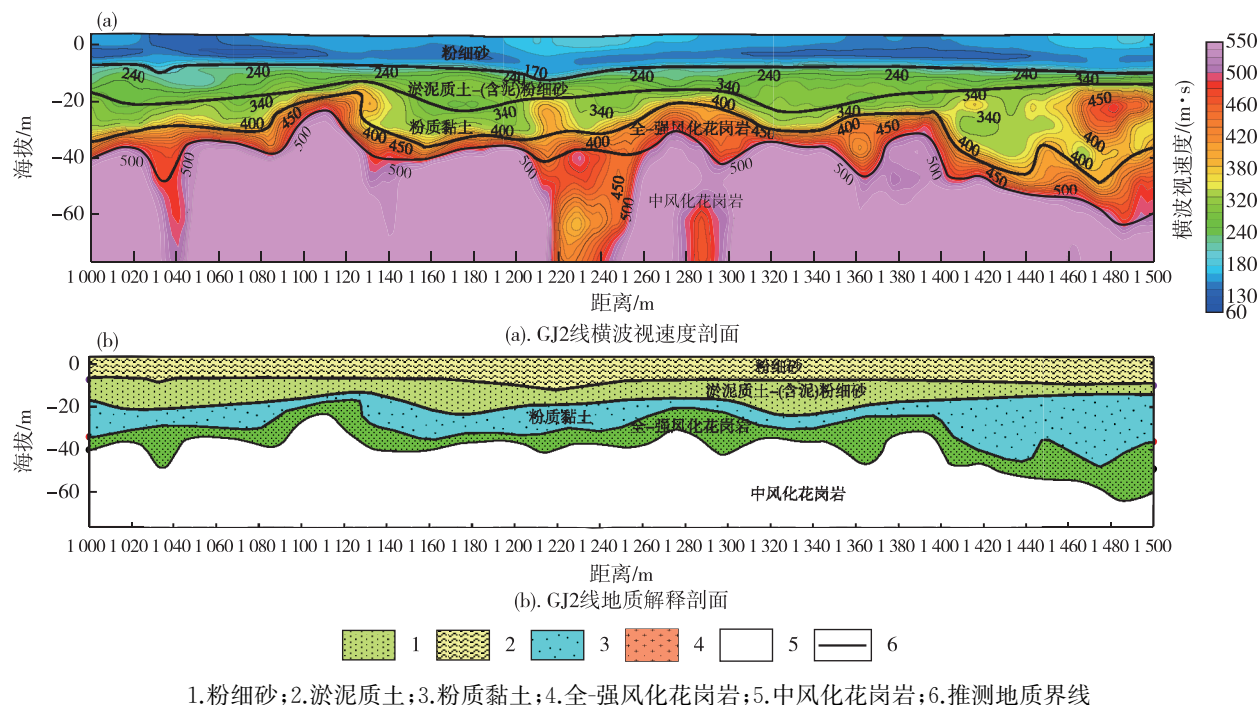


图 4 GJ2 线地质综合解释剖面

Fig. 4 Comprehensive geological interpretation section of Line GJ2

4.4 滨海新城核心区基岩埋深推断

根据 CH5 线横波视速度剖面和研究区内的钻孔资料^[28]划分了 5 个层位速度,对福州滨海新城核心区 14 条微动剖面的地层结构进行了划分。根据 14 条微动剖面强风化花岗岩和微风化花岗岩顶面埋深,编制了福州滨海新城核心区强风化和微风化花岗岩顶面埋深图(图 5,图 6)。研究区强风化花岗岩顶面埋深一般为 34~53 m(图 5),文武砂镇北部和文武砂水库东西两侧强风化花岗岩顶面埋深较浅,最大埋深<45 m。微风化花岗岩顶面埋深一般为 40~60 m(图 6),文武砂镇北部和文武砂水库东西两侧微风化花岗岩顶面埋深较浅,最大埋深<55 m,古槐镇东部、江田镇北部及东侧海域中风化花岗岩埋藏较深,最大深度超过 100 m。

断裂构造导致基岩风化程度不均匀,断裂分布区风化厚度更大,造成区内微风化花岗岩分布加深,从而使断裂构造附近基岩持力加深或处于不稳定之中,增加了地下工程受到破坏的风险,给城市工

程建设带来安全隐患。福州滨海新城核心区强风化和微风化花岗岩顶面埋深图(图 5,图 6)中,古槐镇东部、江田镇北部及东侧海域风化层埋深较大,存在断裂构造风险,在这些区域进行城市工程建设时存在安全隐患。

5 结论

(1)本次微动探测采用一种基于线形台阵多次覆盖的高效数据采集技术,可有效避免场地条件的限制,实现高效、高密度、大深度数据采集。

(2)通过对微动数据进行反演,结合钻孔及物性资料,划分了福州滨海新城核心区微风化花岗岩及以上地层结构。

(3)编制了福州滨海新城核心区强风化、微风化花岗岩顶面埋深图,分析了强风化、微风化花岗岩顶面埋深变化的原因,并对地下工程受到破坏的风险进行了评价,为城市地下空间开发利用提供了重要支撑。

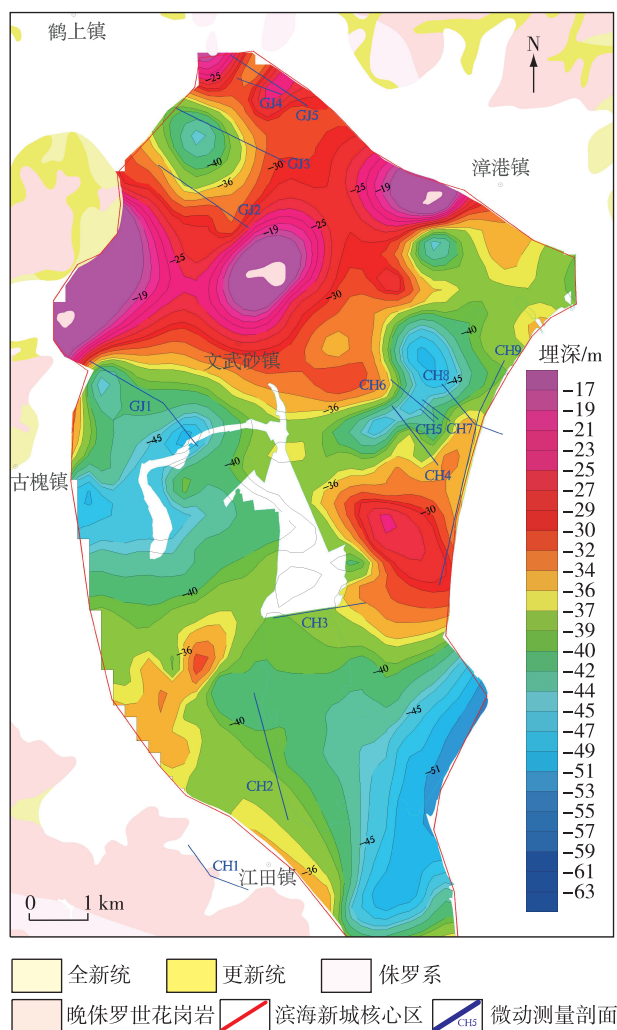


图5 福州滨海新城核心区强风化花岗岩顶面埋深图
Fig. 5 Buried depth of intensely weathered granite in the core area of Binhai New Town, Fuzhou City

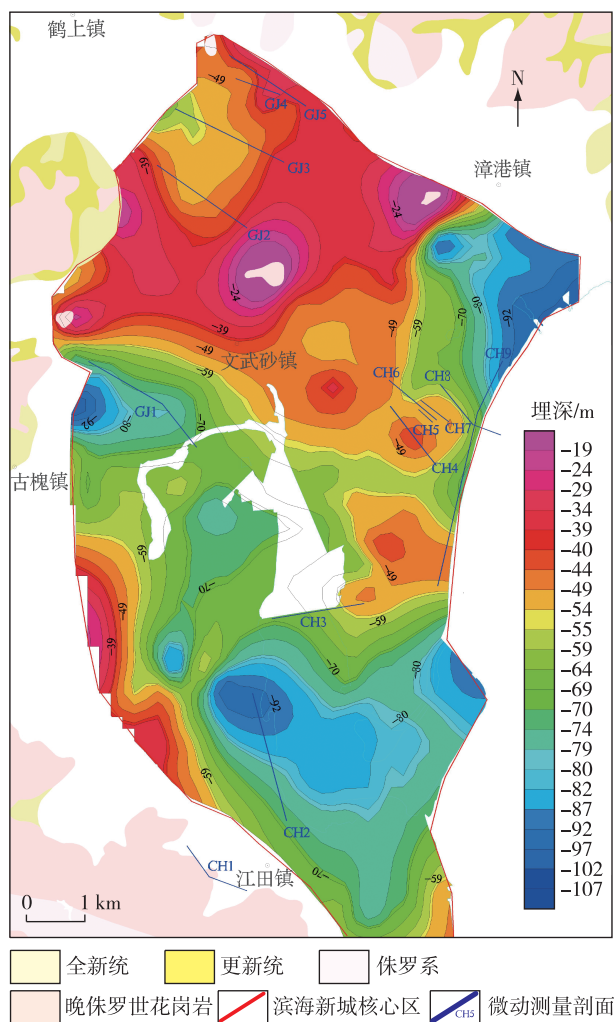


图6 福州滨海新城核心区中风化花岗岩顶面埋深图
Fig. 6 Buried depth of weathered granite in the core area of Binhai New Town, Fuzhou City

参考文献

- [1] 陈泉霖,葛晓明,陈文林,等.基于城市工程建设的福建莆田城区地质环境承载力评价[J].华东地质,2020,41(3):295-304.
CHEN Q L, GE X M, CHEN W L, et al. Assessment of urban engineering construction-based geological environment carrying capacity in the urban area of Putian City, Fujian Province[J]. East China Geology, 2020, 41(3):295-304.
- [2] 田聪,苏晶文,倪化勇,等.城市地下空间资源评价进展与展望[J].华东地质,2021,42(2):147-156.
TIAN C, SU J W, NI H Y, et al. Progress and prospect of urban underground space resources evaluation[J]. East China Geology, 2021, 42(2):147-156.
- [3] 程光华,苏晶文,李采,等.城市地下空间探测与安全利用战略构想[J].华东地质,2019,40(3):226-233.
CHENG G H, SU J W, LI C, et al. Strategic thinking of urban underground space exploration and safe utilization[J]. East China Geology, 2019, 40(3):226-233.
- [4] 陈国玉,陆晓春,龚育龄.横波勘探在基岩埋深调查中的应用[J].工程地球物理学报,2014,11(1):89-94.
CHEN G Y, LU X C, GONG Y L. Application of s-wave exploration in the investigation of bedrock burial depth[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2014, 11(1):89-94.
- [5] 岳航羽,张保卫,王凯,等.一种适用于沿海滩涂区的浅

- 层高精度地震探测技术[J].物探与化探,2019,43(6):1225-1235.
- YUE H Y, ZHANG B W, WANG K, et al. A high-precision seismic detection technique for shallow layer in coastal zone[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2019,43(6):1225-1235.
- [6] 张维,何正勤,胡刚,等.用面波勘探技术探测浅部速度结构[J].地球物理学进展,2013,28(4):2199-2206.
- ZHANG W, HE Z Q, HU G, et al. Detecting shallow velocity structure with surface wave exploration technique [J]. Progress in Geophysics, 2013, 28 (4): 2199-2206.
- [7] 徐佩芬,李世豪,杜建国,等.微动探测:地层分层和隐伏断裂构造探测的新方法[J].岩石学报,2013,29(5):1841-1845.
- XU P F, LI S H, DU J G, et al. Microtremor survey method: A New geophysical method for dividing strata and detecting the buried fault structures[J]. Acta Petrological Sinica, 2013, 29(5): 1841-1845.
- [8] 刁天仁,杜隼.综合物探方法在安徽省岳西县溪沸地热勘探中的应用[J].工程地球物理学报,2019,16(6):815-821.
- DIAO T R, DU F. Application of comprehensive geophysical prospecting method in Xifei geothermal exploration in Yuexi county, Anhui Province[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2019, 16 (6): 815-821.
- [9] 曹振国.微动观测方法在煤矿陷落柱探测中的应用[J].山东煤炭科技,2010(1):89-90.
- CAO Z G. Application of micro-motion observation method in detection of subsided column in Coal Mine [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2010 (1):89-90.
- [10] 李耐宾,裴世建.微动技术在大连地铁岩溶勘察中的应用[J].工程地球物理学报,2019,16(5):580-585.
- LI N B, PEI S J. Application of micro-motion technology in karst exploration of Dalian Metro[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2019, 16 (5): 580-585.
- [11] 黄光明,赵举兴,李长安,等.岩溶区地下溶洞综合物探探测试验研究——以福建省永安大湖盆地为例[J].地球物理学进展,2019,34(3):1184-1191.
- HUANG G M, ZHAO J X, LI C A, et al. Experimental Study on integrated geophysical exploration of underground karst caves in karst areas—a case study of the Great Lake Basin in Yong'an, Fujian Province [J]. Progress in Geophysics, 2019, 34(3):1184-1191.
- [12] 查雁鸿.城市强干扰条件下无损地质勘查的一种有效方法——微动法[J].城市建设理论研究(电子版),2018,34:86.
- ZHA Y H. An effective method for non-destructive geological exploration under the condition of strong urban disturbance—The micro-motion method [J]. Study on the Theory of Urban Construction (Electronic version), 2018, 34:86.
- [13] 李雪燕,陈晓非,杨振涛,等.城市微动高阶面波在浅层勘探中的应用:以苏州河地区为例[J].地球物理学报,2020,63(1):247-255.
- LI X Y, CHEN X F, YANG Z T, et al. Application of urban microtremor higher-order surface waves in shallow exploration: A case study in Suzhou Creek area[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2020, 63(1): 247-255.
- [14] 李巧灵,雷晓东,李晨,等.微动测深法探测厚覆盖层结构——以北京城市副中心为例[J].地球物理学进展,2019,34(4):1635-1643.
- LI Q L, LEI X D, LI C, et al. Exploration of thick overburden structure by micro-motion sounding method—a case study of Beijing sub-center [J]. Progress in Geophysics, 2019, 34(4):1635-1643.
- [15] 李万伦,田黔宁,刘素芳,等.城市浅层地震勘探技术进展[J].物探与化探,2018,42(4):653-661.
- LI W L, TIAN Q N, LIU S F, et al. Progress in urban shallow seismic exploration technology [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(4): 653-661.
- [16] 高艳华,黄溯航,刘丹,等.微动探测技术及其工程应用进展[J].科学技术与工程,2018,18(23):146-155.
- GAO Y H, HUANG S H, LIU D, et al. Development of microtremor detection technology and its engineering application [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(23): 146-155.
- [17] 林立栋.福州新区滨海新城地下空间安全利用评价报告[R].福州:中国地质调查局南京地质调查中心和福建省地质调查研究院,2020:2-10.
- LIN L D. Evaluation Report on safety utilization of underground space of Binhai new town in Fuzhou New District [R]. Fuzhou: Nanjing Geological Survey

- Center, China Geological Survey and Fujian Institute Of Geological Survey, 2020:2-10.
- [18] CAPON J. Applications of detection and estimation theory to large array seismology[J]. Proceedings of the IEEE, 1970, 58(5):760-770.
- [19] 王振东. 面波勘探技术要点与最新进展[J]. 物探与化探, 2006, 30(1):1-6.
- WANG Z D. Main points and latest development of surface wave exploration technology[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2006, 30(1):1-6.
- [20] AKI K. Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors[J]. Bulletin of the Earthquake Research Institute, 1957, 35: 415-456.
- [21] OKADA H. Theory of efficient array observations of microtremors with special reference to the SPAC method[J]. Exploration Geophysics, 2006, 37(1): 73-85.
- [22] ROBERTS J, ASTEN M. A study of near source effects in array-based (SPAC) microtremor surveys [J]. Geophysical Journal International, 2008, 174(1):159-177.
- [23] LUO S, LUO Y, ZHU L, et al. On the reliability and limitations of the SPAC method with a directional wavefield[J]. Journal of Applied Geophysics, 2016, 126:172-182.
- [24] BETTIG B, BARD P Y, SCHERBAUM F, et al. Analysis of dense array noise measurements using the modified spatial auto-correlation method (SPAC): Application to the Grenoble area [J]. Bollettino Di Geofisica Teorica Ed Applicata, 2001, 42(3):281-304.
- [25] LING S, OKADA H. An extended use of the spatial autocorrelation method for the estimation of structure using microtremors[C]. Society of Exploration Geophysicists of Japan, 1993:44-48.
- [26] 陈基伟, 赵东东, 宗全兵, 等. 基于线形台阵的高精度微动技术在城区岩性地层精细划分中的应用[J]. 物探与化探, 2021, 45(2):536-545.
- CHEN J W, ZHAO D D, ZONG Q B, et al. High precision microtremor technology based on linear array and its application to the fine division of lithostratigraphy[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(2):536-545.
- [27] 陈建兴, 郑有强, 陈珑珑, 等. 福州至长乐机场城际铁路滨海新城站详细勘察阶段岩土工程勘察报告[R]. 福州: 华东勘测设计院(福建)有限公司, 2019.
- CHEN J X, ZHENG Y Q, CHEN L L, et al. Geotechnical investigation report on the detailed investigation stage of the new Binhai City Station of fuzhou-Changle Airport Intercity Railway[R]. Fuzhou: Huadong Engineering (Fujian) Corporation Limited, 2019.
- [28] 陈建兴, 郑有强, 周会信, 等. 福州地铁 F1 线工程详勘报告[R]. 福州: 华东勘测设计院(福建)有限公司, 2019.
- CHEN J X, ZHENG Y Q, ZHOU H X, et al. Detailed investigation report of Fuzhou Metro F1 line project[R]. Fuzhou: Huadong Engineering (Fujian) Corporation Limited, 2019.

Application of microtremor survey method in the study of stratum structure: A case study of Binhai New Town, Fuzhou City

ZHU Hongbing¹, CHEN Guoguang¹, ZHAO Dongdong², ZHANG Baosong¹, Di Bingye¹,
YU Lei¹, YUAN Pingfeng¹

(1. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;

2. Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract: The microtremor detection technology has been widely used in the exploration of shallow geological structure because of its swiftness, economy and being less limited by site conditions. The authors adopted the efficient and high-density data acquisition and processing technology based on the linear array,

and deployed 14 survey lines in the core area of Binhai New Town, Fuzhou City to divide the bedrock depth. The Rayleigh wave phase velocity dispersion curve was extracted from the vertical component of the preprocessed microtremor signal by spatial autocorrelation method, and the shear wave velocity structure was inversed by nonlinear genetic algorithm. The application results showed that the microtremor technology could effectively detect the bedrock buried depth and stratum structure, the buried depth of the intensely weathered granite was 34~53 m and the that of the moderately weathered granite was 40~60 m in the study area, which is consistent with the borehole data collected in the area. The research results provided an important data basis for the safety utilization evaluation of underground space in the core area of Binhai New Town, Fuzhou City.

Key words: microtremor; velocity structure; bedrock depth; Binhai New Town, Fuzhou City

《华东地质》编辑部与作者的约定

(1)作者投稿时应保证投稿我刊之前未投给任何其他期刊,或虽曾投给其他期刊,但已被拒绝刊用。投稿我刊之日起 60 日内,不要再投给任何其他期刊,除非收到我刊拒稿信息。

(2)稿件一旦被本刊录用,作者即将论文整体及附属于论文的图、表等可许可使用的著作权转交本刊。许可期限为论文著作权的法定保护期为限,许可地域范围为全世界。作者依著作权法行使或向第三方转让上述权利时,不得损害本刊利益。

(3)本刊除具有印刷版外,还具有网络版。稿件一经录用,所有版本的版权即由作者转让给本刊,同时许可本刊转授第三方使用。凡不愿将文章以网络版发表者,请在来稿时声明,本刊将作适当处理。来稿刊用后,一次性支付稿酬(包含中国学术期刊(网络版)、中文科技期刊数据库、中国核心期刊(遴选)数据库等收录单位的作者著作权费),并向作者免费赠送当期样刊 2 册。

(4)编辑部承诺在 60 日内给出刊用与否的通知。在 60 日内未收到退稿通知时不应将稿件另投他刊,否则视为一稿多投。对一稿多投的稿件,本刊无条件弃用;对其作者及其所在团队,编辑部保留有关权利。

(5)稿件文责自负。编辑部有权对来稿进行文字和技术性删改,如不可修改,作者应事先声明。

(6)投稿方式:请登录本刊投稿网站,点击“作者投稿”注册后投稿。

《华东地质》编辑部