

doi: 10.11720/wtyht.2020.0111

孟庆旺.综合物探方法在嘉祥县青山省级地质公园溶洞勘察中的应用效果[J].物探与化探,2020,44(6):1464-1469.http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0111

Meng Q W.The application effect of comprehensive geophysical method in karst cave investigation of Qingshan Provincial Geopark in Jiaxiang County[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(6): 1464-1469. http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0111

# 综合物探方法在嘉祥县青山省级地质公园 溶洞勘察中的应用效果

孟 庆 旺

(山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013)

**摘 要:** 嘉祥县青山省级地质公园地质遗迹非常丰富, 总面积 2.43 km<sup>2</sup>, 是以典型三山子组地层剖面、丰富构造形迹、泉水景观和洞穴类地质遗迹为主的小型地质公园, 为进一步促进旅游业的发展, 开拓岩溶洞穴景观面积, 采用综合物探方法寻找隐藏岩溶洞穴, 利用微重力勘察方法圈定异常 3 处, 均为连续性重力低特征, 同时利用高密度电阻率法对圈定异常进行了验证, 最终新发现具备一定规模的岩溶洞穴 3 个, 取得了良好的勘察效果。

**关键词:** 青山省级地质公园; 综合物探方法; 岩溶洞穴

**中图分类号:** P631

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2020)06-1464-06

## 0 引言

青山地质公园有纵横交错、出露典型的构造形迹, 年代久远、景观优美的岩溶地貌, 保存完整、代表性强的地层剖面, 丰富多彩的自然景观、矿泉遗迹等, 构成了园区独具特色的地质地貌景观。文化旅游资源独特, 有 2000 多年历史的国家重点文物保护单位青山寺, 有缅甸玉雕刻的中国目前保存最完整的佛像, 有刘伯承元帅指挥羊山战役能容纳千人的双层溶洞神游洞。为进一步促进旅游业的发展, 开拓岩溶洞穴景观面积, 通过微重力测量, 结合已知的神游洞微重力异常特征, 大致圈定重力低异常区 3 处, 然后利用高密度电法勘探对圈定的异常区进行纵向研究, 最终通过合理布设验证钻孔, 新发现具备一定规模的岩溶洞穴 3 个, 取得了良好的勘察效果。

## 1 勘察区地质概况

勘察区大地构造位于华北板块(I)鲁西隆起(II)鲁西南潜隆起区(III)菏泽—兖州潜断隆(IV)之嘉祥

凸起(V)的中北缘。区内新生界第四系分布广泛, 零星出露地层主要为古生界寒武系、奥陶系地层, 寒武系盖层之下为新太古界泰山岩群沉积变质地层。盖层内断裂构造不发育, 地表未见岩浆岩分布。

青山地质公园(图 1)地层由南到北, 由老至新, 依次发育寒武系长清群、寒武—奥陶系九龙群、奥陶系马家沟群、石炭—二叠系月门沟群、二叠系石盒子群、侏罗系淄博群、白垩系莱阳群、古近系官庄群、新近系黄骅群及第四系地层, 地层总体倾向 320°, 倾角 8°~12°。园区内出露地层主要为寒武—奥陶系九龙群崮山组、炒米店组、三山子组和第四系巨野组、平原组。区域构造错综复杂, 以断裂构造为主, 县境内较大的断裂构造有岳楼大徐庄断裂、嘉祥城南断裂、马村大山头断裂和嘉祥断裂 4 条, 通过野外地质考察在园区内发现了马村大山头断裂的天然露头 and 青山断裂。

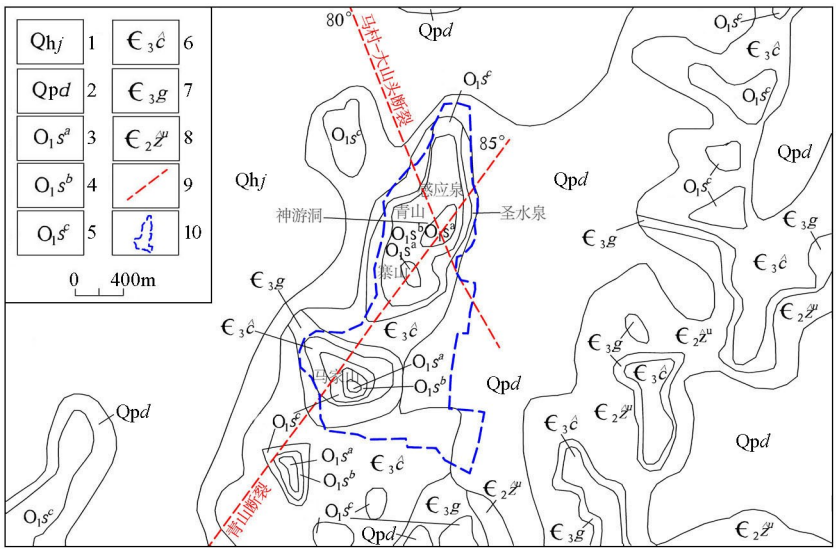
## 2 勘察方法与工作布置

微重力测量: 由于溶洞的存在, 导致地下地质体质量亏损或盈余, 使溶洞区与围岩存在明显的密度

收稿日期: 2020-03-10; 修回日期: 2020-06-20

基金项目: 局控地质勘察和科技创新项目“山东省嘉祥县青山省级地质公园溶洞勘察”(鲁地字 20184)(JKKC201825)

作者简介: 孟庆旺(1988-), 男, 潍坊诸城人, 工程师, 主要从事物化探找矿工作。Email: mqwsjz@163.com



1—巨野组;2—平原组;3—三山子组 a 段;4—三山子组 b 段;5—三山子组 c 段;6—炒米店组;7—崮山组;8—张夏组;9—断裂;10—园区边界  
1—Juye formation; 2—Plain formation; 3—Sanshanzi formation a; 4—Sanshanzi formation b; 5—Sanshanzi formation c. 6—Chaomidian formation; 7—Gushan formation; 8—Zhangxia formation; 9—fault; 10—park boundary

图 1 青山地质公园地质简图

Fig.1 Geological sketch of Qingshan Geopark

差异,表现为连续的明显的重力低异常特征,在微重力测量中表现为连续的重力低特征,因此在勘察区利用微重力测量寻找溶洞具备良好的地球物理前提。

高密度电法:岩溶一般发育于灰岩地区,灰岩遭受强烈溶蚀作用形成岩溶洞穴。在地下水等地质作用营力下,上覆土层中的砂土沿岩溶通道被带走,形成岩溶溶洞。根据实地测量结果,区内各类黏土的电阻率一般低于 30~50 Ω·m,灰岩的电阻率一般在 1 000 Ω·m 以上。由于本区的溶洞发育在潜水

面以上,该洞穴空间仅被空气等高阻体充填,在电场上表现为高阻异常,一般在 5 000 Ω·m 以上,因此在勘察区利用高密度电法测量寻找溶洞亦具备良好的地球物理前提<sup>[1-3]</sup>。

为进一步控制岩溶发育地带兼顾方便野外施工,微重力测量(图 2)测线大致沿等高线布设,测线方位角为 54°,网度 5 m×5 m,根据已知的神游洞低重力异常特征,大致圈定 3 处溶洞分布范围;在圈定低重力异常区布设高密度电法剖面 3 条(温纳装置),点距 5.0 m,每条勘探线剖面线长度均为 300 m,

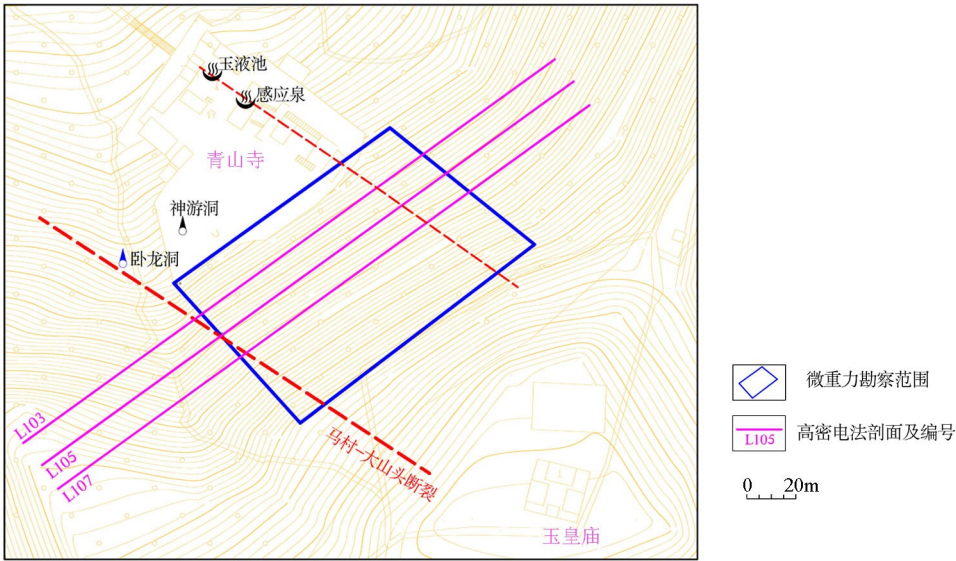


图 2 青山地质公园岩溶勘察工作布置

Fig.2 Layout of karst investigation in Qingshan Geopark

通过对圈定的异常区进行研究,在异常区均为高阻反映,且与微重力异常范围基本一致,最终合理布设验证钻孔,进一步对勘察区溶洞分布情况进行了控制,最终发现具备一定规模的岩溶洞穴 3 个,取得了良好的勘察效果<sup>[4-6]</sup>。

3 物探资料解释

3.1 重力异常特征

由于溶洞的存在,导致地下地质体质量亏损或盈余,使溶洞区与围岩存在明显的密度差异,表现为连续的明显的重力低异常特征<sup>[7]</sup>。

3.1.1 布格重力异常

由勘察区布格重力异常图(图 3)可知,布格重力异常特征表现为 WN 高 SE 低的分布特征,总体为重力梯级带反映,布格重力异常值范围为 $(9.46 \sim 11.14) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

局部布格重力低异常区有 3 处,第一处位于勘察区中部,面积约  $1\,401 \text{ m}^2$ ,总体表现为梯级带上的重力低反映,布格重力异常值范围为 $(10.24 \sim 10.70) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ,该低重力异常的西部为已知的神游洞的反映,西部低异常东侧异常口径变小,但再往东异常具备一定的连续性,推断亦为溶洞的反映。第二处位于勘察区东部,面积约  $418 \text{ m}^2$ ,总体表现为梯级带上的重力低反映,布格重力异常值范围为 $(10.46 \sim 10.72) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ,且该低重力异常往东未封闭,因此往东可能还有一定延伸,该异常的西侧存在一处相对高布格重力异常,将此异常与西侧第一处低重力异常分开,从异常走向上看这两处异常可能相连通,已知的玉液池及感应泉的连线往南延伸穿过该重力低异常区。第三处位于勘察区南部,面积约  $533 \text{ m}^2$ ,总体表现为条带状重力低反特征,布格重力异常值范围为 $(9.70 \sim 9.88) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。异常具备一定的连续性,推断可能为溶洞的反映<sup>[8]</sup>。

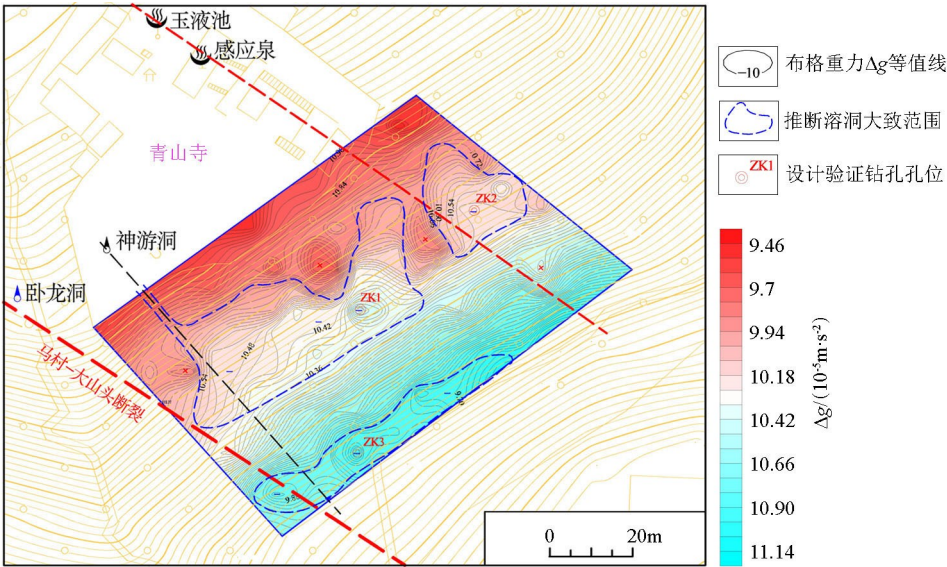


图 3 青山地质公园布格重力异常

Fig.3 Bouguer gravity anomaly map of Qingshan Geopark

马村一大山头断裂位于勘察区的西南部,穿过勘察区,该断裂在布格重力异常图上表现为同向扭曲的特征,卧龙洞即位于该断裂往北的延长线上,对溶洞的发育有利。

3.1.2 剩余布格重力异常特征

为突出异常分布,对布格重力数据进行位场转换,求取剩余布格重力异常(图 4),上述 3 处局部重力低异常客观存在,第一处布格重力低异常区往南口径变窄,但往东的延伸趋势基本一致,且范围大致相同。其他两处异常范围较原平面基本相同,且低重力异常较为明显,表明该低重力异常客观存在,可

能为溶洞发育引起<sup>[9]</sup>。

3.1.3 综合推断

通过本次重力测量,发现较为明显的布格重力低异常区 3 处,第一处为已知的神游洞的反映,其他两处在布格重力异常原平面,以及剩余布格重力异常图上均有明显反映,推断可能为溶洞的反映。

3.2 高密度电法测量视电阻率特征

由地球物理特征可知,视电阻率变化与地层变化存在一定的规律性,当某一地层因受力错动或地层突变时,在视电阻率曲线上会表现出高阻或是低阻的异常特征。若某一地层因某种需要而挖除或是



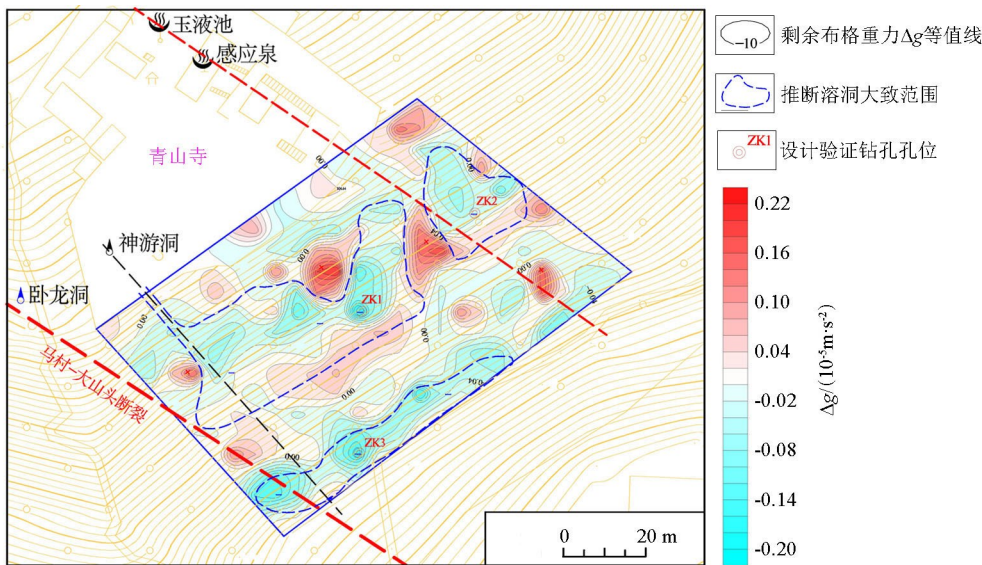


图 4 青山地质公园剩余布格重力异常

Fig.4 Residual bouguer gravity anomaly map of Qingshan Geopark

受地下流体冲刷,从而形成洞穴,该洞穴空间仅被空气等高阻体充填,地球物理场上则反映为高阻地质体的异常特征,但洞穴被水、黏土等低阻体充填,则反映为低阻地质体的异常特征,根据以上电阻率变化特征,现以 L105 线为例解释如下。

从高密度电法勘探 L105 线视电阻率拟断面(图 5)可以看出,该剖面与 L103 线视电阻率特征相类似, $\rho_s$  范围在  $500\sim9\,000\,\Omega\cdot\text{m}$ ,视电阻率曲线随勘探深度增加而增大,这与地下赋存的三山子组灰岩相对应。

剖面上视电阻率变化较大,高阻异常较为明显,且高阻异常主要分布在测线中间部位,剖面上明显的高阻异常主要有 3 处。第一处在点号 120 m 处,视深度为 55 m,为呈圆形高阻异常,视电阻率峰值为  $9\,000\,\Omega\cdot\text{m}$ ,该处异常位置与布格重力异常的第

一处高阻异常相对应,为神游洞的反映,异常连续性较好,且异常往东具有一定的延伸。第二处在点号 165 m 处,视深度为 55 m,为呈圆柱形高阻异常,视电阻率峰值为  $8\,000\,\Omega\cdot\text{m}$ ,该处异常位置与布格重力异常第一处异常往东延伸部位相对应,推断为溶洞的反映概率较大。第 3 处在点号 200 m 处,视深度为 60 m,为圆形高阻异常,视电阻率峰值为  $6\,500\,\Omega\cdot\text{m}$ ,经查证,该处异常位置与第二处布格重力低异常位置对应,推断可能为溶洞的反映。

综上所述,剖面上较为明显的高阻异常有 3 处,高阻异常位置与布格重力低异常位置大致对应,除此之外未见明显异常,进一步证实了 3 处溶洞的存在。

3.3 勘察成果

通过本次微重力测量,圈定布格重力低异常区

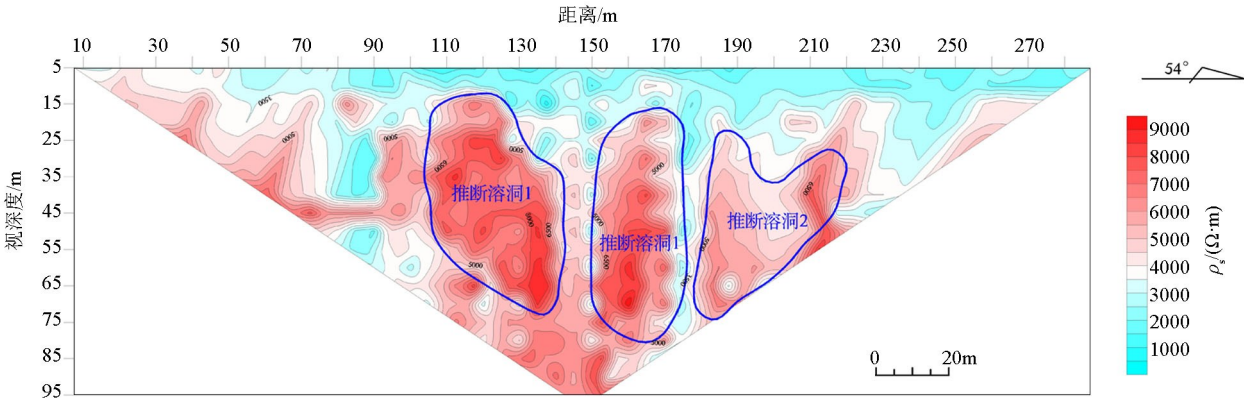


图 5 L105 测线视电阻率拟断面

Fig.5 Contour map of apparent resistivity section of line 105

3 处(图 6),利用高密度电法勘探对布格重力低异常进行纵向剖析,发现了与圈定的布格重力低异常大致对应的高阻异常,结合已知的神游洞,对重力推

断溶洞进行了确认。为了进一步确认推断结果,进行了钻孔验证,证实了物探工作所圈定的溶洞,取得了较好的勘察效果<sup>[10-12]</sup>。

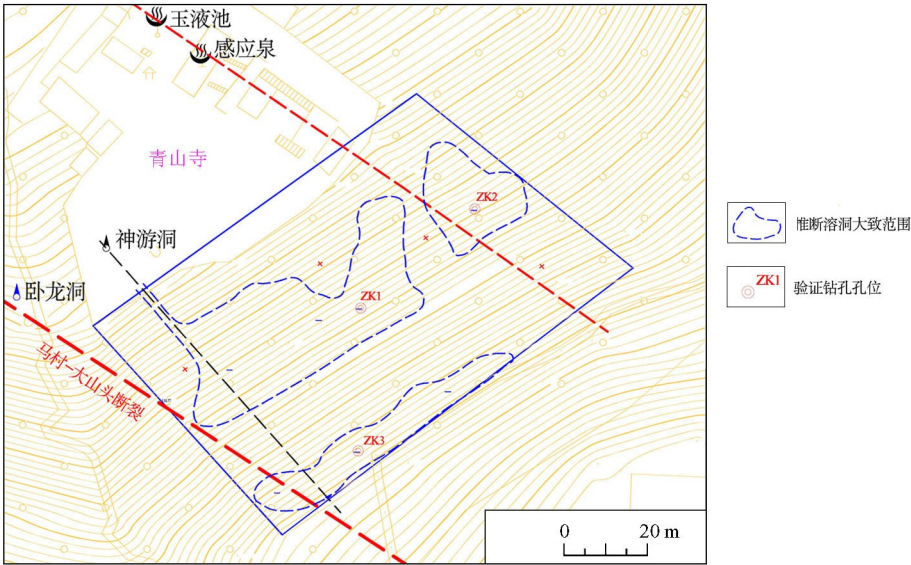


图 6 青山地质公园溶洞范围平面

Fig.6 Plan for karst cave area in Qingshan Geopark

4 结论

1) 微重力法对于溶洞的勘察较为适宜和有效,具有受电磁及地形环境干扰小、准确度高等优点,通过本次重力测量,发现较为明显的连续重力低异常 3 处,且一处为已知的神游洞的反映,其他两处为新发现溶洞的反映,重力勘探在溶洞的勘察中具有独特的效果。

2) 高密度电法具有勘探精度高、成本低、效率高、信息丰富、解释方便等优点,利用高密度电法勘探对布格重力低异常进行纵向剖析,发现了与圈定的布格重力低异常大致对应的高阻异常,两种物探方法相互印证,提高了勘察成果的可靠性。

3) 钻孔资料与勘察成果吻合度较高,连续重力低高电阻区即为溶洞的反映,由此可见综合物探方法在溶洞的勘察中应用效果良好,在发挥各自优势的同时,可以减少技术瓶颈导致的假异常,提高解释精度。

参考文献 (References) :

[1] 唐苏芹,曾理.山东省东平县大洪顶山区岩溶洞穴景观资源评价[J].山东国土资源,2014,30(3):79-82.  
Tang S Q, Zeng L. Karst cave candscape resource assessment in Hongdingshan area in dongping county of shandong province [J]. Shandong Land and Resources, 2014,30(3):79-82.

[2] 赵健.山东的喀斯特洞穴[J].中国岩溶,1991,10(4):335-345.  
Zhao J. Karst caves in Shandong Province [J]. Karst in China, 1991, 10(4):335-345.  
[3] 周治民.综合物探方法在栖霞中桥地区溶洞塌陷地质灾害调查中的应用[J].山东国土资源,2019,35(8):47-52.  
Zhou Z M. Application of comprehensive geophysical prospecting method in geological Hazard in vestigation of Karst cave collapse in Qixiazhongqiao area [J].Shandong Land and Resources, 2019, 35(8):47-52.  
[4] 赵健.鲁中南地区喀斯特洞穴旅游资源的初步评价[J].中国岩溶,1981,7(2):139-146.  
Zhao J. Preliminary evaluation of karst cave tourism resources in central and southern Shandong Province. Karst [J], Karst in China, 1981, 7(2):139-146.  
[5] 卢耀如.中国岩溶—景观—类型—规律[M].北京:地质出版社,1986:22-23.  
Lu Y R. Karst landscape type law in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986:22-23.  
[6] 中国科学院地质研究所岩溶研究组.中国岩溶研究[M].北京:科学出版社,1979:261-267.  
Karst Research Group, Institute of Geology, Chinese. Academy of Sciences. Karst research in China[M]. Beijing: Science Press, 1979:261-267.  
[7] 孟凡松,张刚,陈梦君,等.高密度电阻率法二维勘探数据的三维反演及其在岩溶探测中的应用[J].物探与化探,2019,43(3):672-678.  
Meng F S, Zhang G, Cheng M J, et al. 3-D inversion of high density resistivity method based on 2-D high-density electrical prospecting data and its engineering application [J]. Geophysical and Geo-

chemical Exploration, 2019, 43(3): 672 – 678.

[ 8 ] 郭健强,赵茹玥,甘伏平,等.综合电法在岩溶山区地下水勘探中的应用——以湖南怀化长塘村为例[J].物探与化探, 2020, 44(1): 93 – 98.

Wu J Q, Zhao R Y, Gan F P, et al. The application of electrical prospecting method to groundwater exploration in karst mountainous areas: A case study of Changtang Village, Huaihua area, Hunan Province [ J ]. Geophysical and Geochemical Exploration, , 2020, 44(1): 93 – 98.

[ 9 ] 朱晓刚,袁炳强,冯旭亮,等.基于 MT 和重力资料的渭河盆地西部地区基底属性[J].物探与化探, 2020, 44(2): 254 – 261.

Zhu X G, Yuan B Y Q, Feng X L, et al. Basement attribute of western Weihe Basin based on MT and gravity data [ J ]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(2): 254 – 261.

[ 10 ] 许艺煌,黄真萍,程志伟,等.高密度电阻率法在弃渣堆积体分布调查中的应用[J].物探与化探, 2020, 44(2): 435 – 440.

Xu Y H, Huang Z P, Cheng Z W, et al. The application of high density electrical resistivity method to the investigation of the distribution of slag accumulation in hydropower station [ J ]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(2): 435 – 440.

[ 11 ] 屈利军,李波,周佩.综合物探方法在湘中贫水山区找水中的应用[J].物探与化探, 2017, 41(5): 835 – 839.

Qu L J, Li B, Zhou P. The application of multiple geophysical methods to water exploration in the arid areas of central Hunan Province [ J ]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(5): 835 – 839.

[ 12 ] 林希仲.井—地直流电法在岩溶地基探测中的应用[J].物探与化探, 2016, 40(3): 619 – 623.

Lin X Z. The application of borehole-to-surface electrical prospecting to karst foundation survey [ J ]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(3): 619 – 623.

The application effect of comprehensive geophysical method in karst cave investigation of Qingshan Provincial Geopark in Jiaxiang County

MENG Qing-Wang

( Geophysical and Geochemical Exploration Institute of Shandong Province, Jinan 250013, China )

**Abstract:** Qingshan Provincial Geopark in Jiaxiang County, with a total area of 2.43 km<sup>2</sup>, is rich in geological relics. It is a small geopark mainly composed of typical Sanshanzi Formation stratigraphic profile, rich structural traces, spring landscape and cave type geological relics. In order to further promote the development of tourism and expand the landscape area of karst caves, the authors used comprehensive geophysical methods to look for hidden karst caves, and utilized microgravity survey methods to delineate three anomalies, all of which are of continuous low gravity characteristics. At the same time, the high-density resistivity method was used to verify the delineated anomalies. Finally, three karst caves with a certain scale were found, and good exploration results were achieved.

**Key words:** Qingshan Provincial Geopark; comprehensive geophysical methods; karst caves

( 本文编辑:王萌 )