

岩溶洞穴地球物理考古方法集成研究 ——以南京汤山直立人洞穴为例

周春林,袁林旺,张惠

(南京师范大学地理科学学院,210097,江苏,南京)

[摘要] 根据相关地球物理勘探的实践,勾画洞穴勘探的知识技术体系.据此建立已知洞穴和未知洞穴的地球物理勘探方案与工作流程,并在南京汤山直立人洞穴的考古研究中进行了综合应用,取得预期效果.综合地球物理考古可以在一定程度上解决单一地球物理勘探的多解性和不确定性等问题.

[关键词] 洞穴考古,综合地球物理勘探,南京汤山

[中图分类号]P534.63, **[文献标识码]**A, **[文章编号]**1001-4616(2005)03-0102-04

Study on Integration of Geophysical Technology for Archeology in Karst Area ——A Case Study on the *Homo Erectus* Cave in Tangshan, Nanjing

Zhou Chunlin, Yuan Linwang, Zhang Hui

(School of Geographical Science, Nanjing Normal University, 210097, Nanjing, China)

Abstract: Based on the relative experiences in the geophysical prospecting, this paper draws the knowledge-based technology system. Accordingly, the scheme and the working flow of the geophysical prospecting in the known cave and the unknown cave are established, which are comprehensively utilized in the archeological research of the *Homo erectus* cave in Tangshan, Nanjing. Thus, the expected effect has been achieved. To some extent, the synthetic geophysical prospecting for archeology is helpful to solve the problems of multiple solution and uncertainly on the single geophysical prospecting.

Key words: cave archeology, synthetic geophysical prospecting, Nanjing Tangshan

0 引言

中国有约 90.7 万 km² 的碳酸盐岩出露,岩溶面积广大,发育历史悠久.许多岩溶洞穴是早期人类赖以生存的重要场所,寻找此类埋藏洞穴具有重要意义.地球物理方法可以应用于岩溶洞穴勘探并可为洞穴后期挖掘提供大量的决策辅助信息.作者相继将精密磁测(GPM)、探地雷达(GPR)等地球物理勘探方法引入到洞穴环境考古研究中^[1,2].基于各种方法各有优劣的事实,本文尝试将多种地球物理方法进行集成,所构建的工作方案与流程,在南京汤山直立人洞穴考古研究中进行实践并取得预期结果.这一集成方案为岩溶洞穴地球物理考古提供了可行的技术路线.

1 洞穴勘探的知识技术集成体系

洞穴遗址勘探是众多领域知识与勘探技术体系的综合应用.从理论上讲,地球物理勘探并不能解决诸如遗址、文化层的问题,它所能解决的只是确定相对于正常背景的异常及其分布.对于异常性质的确定需要丰富的背景知识与经验,以及特定的边界条件.洞穴勘探可能涉及到下列的理论知识与应用技术(图 1).

收稿日期:2005-02-28.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40073020).

作者简介:周春林,1966—,博士,副教授,主要从事地貌与第四纪、地理信息系统的教学与研究. E-mail: clzhou@njnu.edu.cn

万方数据

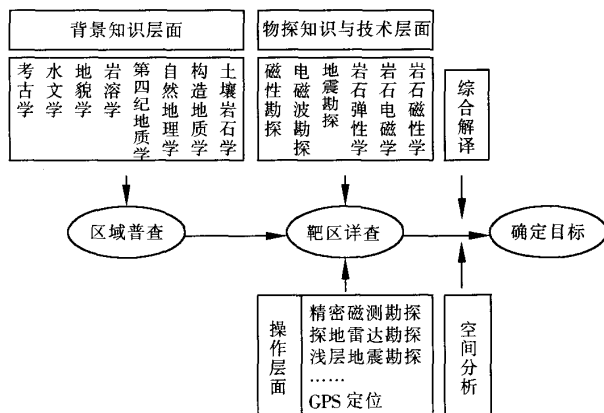


图1 洞穴遗址勘探的知识、技术集成及其工作流程

2 靶区洞穴勘探方案

2.1 未知洞穴的勘探

根据区域地质地貌演化、岩溶发育历史和洞穴分布规律的研究,初步确定可能洞穴分布区,即靶区后,可先利用旋进磁力质子仪进行面上精密磁测。由于精密磁测操作简便,成本极低,对场地条件要求不高,山坡环境允许以不同的分辨率进行三维测量。测量数据经室内处理和分析后,一般就可提供靶区埋藏洞穴有无、洞穴平面分布的初步信息。在此基础上,对异常区进行浅层地震勘探(折射地震与反射地震)。一方面可以验证精密磁测的结果,另一方面可以弥补前者在深度判别方面的缺陷。相对磁测而言,地震勘探的成本较高,但是可以满足确定洞穴深度的需求,有助于后期洞穴的开发。

尽管探地雷达在判断洞穴有无和埋深方面较准确^[2,3],但相关研究表明 GPR 对溶洞大小的预测比实际尺寸偏大^[4],且对地观测环境要求较高,在起伏较大和有障碍的山坡上难以开展等,因此在未知洞穴勘探方案中没有推荐使用 GPR(图2)。

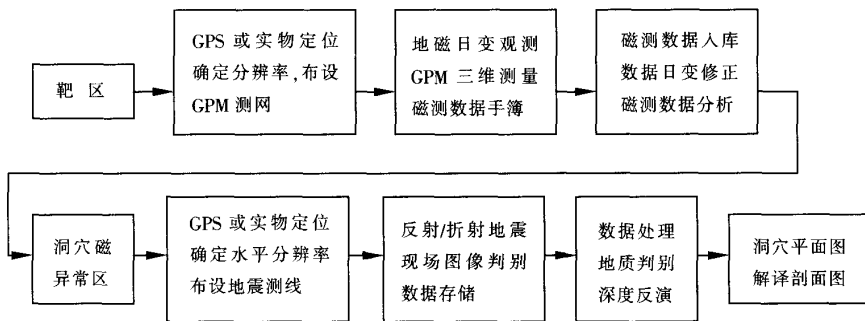


图2 未知洞穴勘探方案与工作流程

2.2 已知洞穴的内部勘探

对已知洞穴进行勘探主要是解决洞穴内部充填结构、洞穴基底形态与洞穴堆积厚度等。那些发现人类化石或古人类活动遗迹的洞穴更是希望地球物理勘探能够有助于确定洞穴内部埋藏堆积中是否含有考古工作者所关心的化石、石器、灰烬。虽然地球物理勘探不能直接提供此类信息,但它能够为考古及其它专业工作者提供深入思考和决策的先行信息。洞穴内部的勘探是在一个相对闭合空间中进行的,探测的目标在洞底,但受到来自洞壁、洞顶的干扰,增加了未来资料解译、判别的难度。当洞底相对平整、洞穴规模较大时地震法和探地雷达法可以发挥重要作用(图3)。

3 综合物探在汤山洞穴考古中的应用

3.1 精密磁测:埋藏洞穴平面分布勘探

在葫芦洞洞口以西 8 m 沿山坡南北向布置测网,图4是精密磁测的可视化结果。最大异常区能较好地万方数据

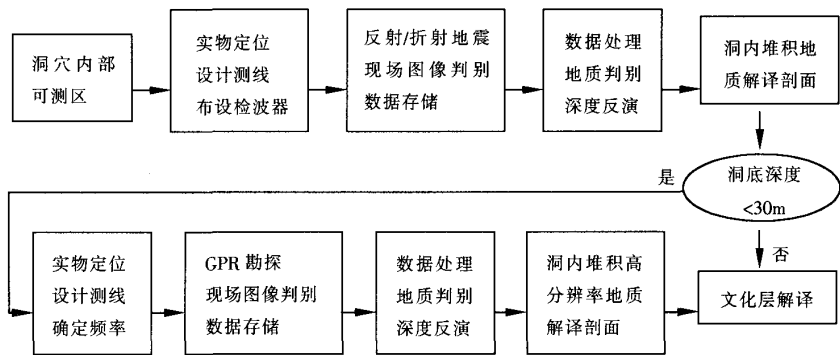


图 3 洞穴内部勘探方案与工作流程

反映葫芦洞(西部)的平面形态特征. 根据洞穴内部实测水平距离,可以推断异常区在葫芦洞西壁以西 10 m 多才尖灭. 过去曾认为,这 10 m 多长、12 ~ 16 m 宽的异常区也是洞穴,因崩塌而与葫芦洞分隔^[1]. 尽管此后的研究揭示异常区不仅与埋藏洞穴有关,还可能与灰岩中沿断裂分布的红色岩系有关^[5],但这不影响异常区反映埋藏洞穴形态轮廓及实际洞穴比已知洞穴范围大的结论.

洞穴内部东侧局部磁测还表明东部的洞底可能曾有一个被碎石土填塞的、类似漏斗状的空洞结构.

3.2 折射波地震测量:洞穴基底埋深勘探

洞穴碎屑堆积与洞穴基岩在物性上存在明显区别,尽管受洞内场地及不良环境条件的限制,折射波法仍可在一定范围内揭示洞底起伏形态和埋深(图 5). 以碎屑堆积平均波速 600 m/s、基岩面上折射波平均波速 4000 m/s 计算,洞穴东部最大基岩埋深在 13 m 左右. 折射法地震虽然不能揭示这厚达 13 m 的洞穴堆积的细部特征,但为探地雷达的高分辨率勘探提供了依据.

3.3 探地雷达测量:洞穴堆积层勘探

6 条测线表明洞穴底部基岩埋深在 10 ~ 11 m,洞底相对较平,局部有起伏,有小型切入基岩的溶蚀漏斗洼地. 基岩之上可以分辨出多层碎屑堆积物,可相对精确地计算出堆积厚度. 强反射层为角砾层,弱反射层为碎屑粘土层,角砾层中可能含有古人类和其它动物化石.(图 6)

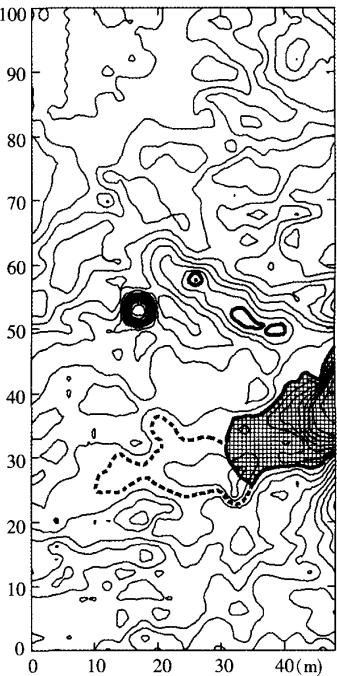


图 4 相对磁场强度等值线图

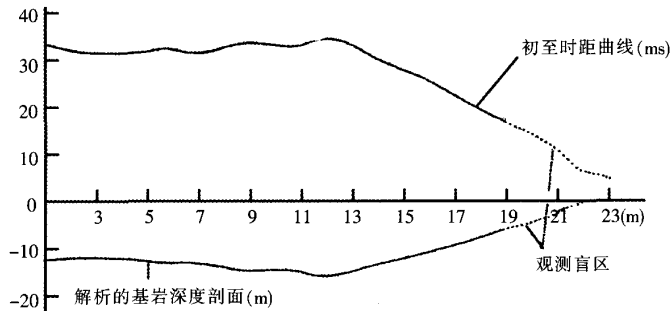


图 5 洞穴内东侧折射地震解译结果

综上,精密磁测能够较好地解决埋藏目标(如洞穴)的大致形态及平面分布,浅层地震和探地雷达能够勘探埋藏目标的深度. 与精密磁测相比,探地雷达适应性强,图像直观,能够相对精确地确定目的体垂直深度;与折射地震相比,探地雷达为主动勘探,不存在接收盲区,有较为满意的探测精度与分辨率,但其探测深度有限. 3 种地球物理勘探方法可以相互补充,测量结果在一定程度上亦可相互验证. 在岩溶学和沉

积学理论的支持下,综合地球物理勘探可以为洞穴形成、演化和进一步考古研究等提供依据。

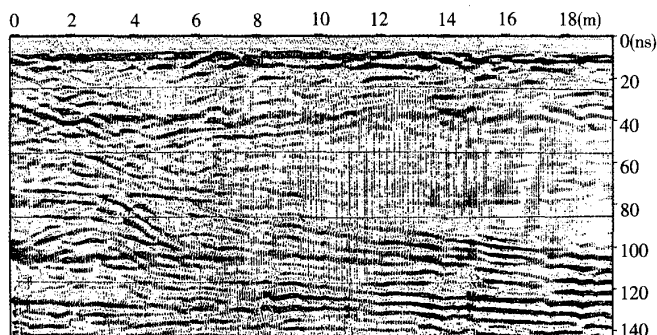


图6 洞穴内东部测线(东西向)GPR图像

4 结论与讨论

南京汤山直立人洞穴附近地表的精密磁测查明的异常区主体的形状可以较为精确地与埋藏其下的洞穴形态相比较。西延的异常区因洞穴内部堆积阻隔,尚不能证实是否为该洞穴的自然延伸。洞穴内部磁测的异常区被判断为冲填的空洞结构,虽然没有挖掘验证,但是洞穴内探地雷达剖面上的拱形波在一定程度上支持了磁测的判断。无论是探地雷达勘探,还是折射地震波勘探都表明洞穴内东部洞底的埋深可能在10 m以上。虽然没有探槽验证,但是洞穴南侧含直立人化石小洞的埋深就在现在洞穴地面的6 m以下^[6],因此洞穴主体碎屑堆积物埋深在10 m以上还是可信的,对这一堆积的挖掘可能会有新的考古发现,值得今后关注。

汤山直立人洞穴及附近区域多种地球物理勘探方法的试验,为构建以精密磁测、探地雷达为核心,以浅层地震为纽带,与区域地质学、地理学和地质考古学研究相结合的岩溶洞穴综合地球物理勘探的知识技术体系与方案提供了一次成功的实践。此集成方案不仅可以应用于岩溶洞穴,还可以推广应用到具有空洞结构的、其它相关地下目标体的勘探与考古研究。

在应用综合地球物理方法进行洞穴考古时仍需加强两个基本问题的研究。其一是目标信息的不确定性,3种方法在进行深度演算和平面范围界定时,都是根据经验值确定。即便有本地地点精确的地球物理参数,在描绘地下各目标体空间特征时也会存在一定的不确定性。尤其是当物性差别不大时(如石器与碎石块),很难断定埋藏目标的精确属性,此时更需要多种方法和知识的综合运用,辅以必要的补充钻探验证。其二是主观解释的多解性,地球物理考古具有很强的技术性和经验性,需要在大量的实践工作中建立不同埋藏目标体的正演模型。埋藏洞穴及其内部堆积是地球物理勘探研究的一个相对薄弱的研究领域,根据各种勘探测量数据反演埋藏洞穴及其内部堆积结构、基底地层和地质构造在一定程度上还存在多解性问题。多学科协作和多技术集成可望有效减少这种主观认识的差异性。

[参考文献]

- [1] 周春林,张志天. 埋藏喀斯特的精密磁测——以南京汤山猿人洞穴为例[J]. 中国岩溶,1997,16(3):275—282.
- [2] 周春林,陈晔. 探地雷达研究进展[J]. 南京师大学报(自然科学版),1998,21(1):111—115.
- [3] 王传雷,祁明松. 地下岩溶的地质雷达探测[J]. 地质与勘探,1994,30(2):58—60.
- [4] 程晔,赵明华,曹文贵,等. 高速公路地质雷达探测溶洞成果精度提高方法的探讨[J]. 公路,2004,(2):64—69.
- [5] 许汉奎. 南京汤山“白垩纪古溶洞岩层”的年代和成因新认识[J]. 地层学杂志,2002,26(3):216—220.
- [6] 吴汝康,李星学,主编. 南京直立人[M]. 南京:江苏科技出版社,2002.

[责任编辑:陆炳新]