

物化探方法对古墓完整性的研究

彭格林 杨宗仁 余仁富 程真

(中国科学院长沙大地构造研究所 湖南 长沙 410013)

摘要：根据湖南春秋战国—秦汉古墓葬地质条件、埋葬特征与周边环境，遵循准确、简便、快捷和经济的原则，选择并运用放射性氡测量、汞测量和探地雷达等方法，对湘西北某县 AB 战国楚墓群 4 个大中型古墓和长沙杨家山古墓开展物化探综合勘查试验，取得了古墓完整性勘查研究的初步成功。

关键词：盗洞与塌陷；古墓完整性；考古勘查；物探；化探

中图分类号：P631 P632 K854.1 文献标识码：A 文章编号：1000-8918(2000)03-0233-08

湖南是南方乃至全国的文物大省，数十年来，屡屡有轰动世界的考古发现，湖南战国、西汉时期的古墓文物和长沙走马楼古井内数量巨大的三国纪年简牍、澧县城头山古城址等皆已蜚声海内外。但是，在大型古墓被动性抢救式发掘中或主动发掘时，最令考古界犯难的是古墓是否被盗过，如果没有被盗，棺槨是否塌陷，古墓是否完整等问题。如果能准确预报，就可以为考古界在主动或被动发掘大中型古墓葬时减少盲目性，并有效地避免人力、物力、财力、时间的不当投入，特别是在主动发掘大型古墓葬时这种预测预报更显得重要。

尽管运用航空遥感、地球物理和地球化学方法寻找和确定古墓、古遗址的研究和勘查工作，自 80 年代，就相继在陕西、河南、湖北、安徽等地开展过，并取得了不少可喜成果^[1~4]，然而，对古墓完整性勘查的研究，在国内乃至国外均无报道。针对湖南春秋战国—秦汉时期大型古墓多，其陪葬品若未遭人为盗掘，往往具数量大、保存好、文物价值高的特点，和湖南考古界对古墓完整性勘查研究的迫切要求，作者自 1998 年初立项研究，至今已近 2 a。先后对常德地区 A 县 AB 战国楚墓群的 4 个大中型墓葬和长沙市杨家山古墓群 2 个中型墓葬开展了地质、地球物理、地球化学勘查试验研究，向有关文物考古部门及时提出了古墓完整性预报。研究工作取得了可喜成果。

1 古墓的地质条件、埋葬特征、周边环境与研究方法的选择

所测古墓的埋藏深度与规模，墓地地形，密封材料与密封程度，墓穴周边地层岩性、结构构造，残存封土堆的高度、土质、植被，封土堆上及周边的现代建筑物状况（水塔、水池、房屋、高压线杆等），古墓下伏有无防空洞、地道、涵洞，以及施测时的气候（气温、湿度）等，既影响对古墓完整性勘查方法的选择，又是正确解释物化探异常考古意义的重要因素。由于研究的目的是希望寻找一套行之有效的预测古墓完整性的方法，并能为考古界认同和乐于使用，因此，除了能预报准确有效外，所选方法是否简便、快捷和经济，也是选择方法时必须考虑的。

1.1 地质条件、埋葬特征及周边环境

常德地区 A 县 AB 楚墓群是湖南省省级文物保护单位。位于湘西北武陵山脉向洞庭湖区过渡的丘陵地带。古墓皆属土坑竖穴长方形墓。所测古墓单个面积约 $500 \sim 1\,300 \text{ m}^2$ ，其上尚残存有高大的封土堆，多已被开成梯田种植茶树。根据该地科学发掘的大中型楚墓墓穴所揭露的地层剖面、墓葬外围公路边的人工剖面和零星的天然露头，可知古墓均埋葬在第四系中更新统白沙井组网纹状红土（棕红色、紫红色网纹状粉质粘土）内，大型墓葬棺槨外多用白（或青）膏泥加以密封，外填木炭一层，墓坑深约 10 余米。

长沙杨家山古墓群位于长沙市城东火车站南侧，为 60~70 年代经抢救性发掘后残存的丘陵台地，四周密布住宅楼和商场、厂房。残丘东西宽约 30 m，南北长 34 m，面积约 $1\,020 \text{ m}^2$ ，高出地面 3.45 m，除南侧外，东、西、北面皆为人工陡坎。残丘下数米处于“文革”时期挖有纵横密布的防空洞（地道式）。据人工剖面可知残存古墓群也全部分布在第四系中更新统网纹状红土内，但上部人为扰动复杂，已知原古墓群中已发掘过春秋、西汉、南宋等不同时期墓葬。

综观上述 2 处古墓群及马王堆西汉墓中已发掘的古墓棺槨、陪葬品可知，古墓木棺内外及陪葬漆木器常髹有辰砂所制的红色矿物颜料，为防腐防虫，古人通常在棺内外撒以朱砂。

1.2 研究方法的选择及其工作原理

1.2.1 放射性氡气测量法

AB 古墓群和杨家山古墓地的大中型古墓墓穴都座落在阻水性较好的红色网纹状粘土内。纹网状红土与棺槨或棺槨周缘的白膏泥之间应存在一个地下水运移带，由地表或地下汇聚的地下水携带易溶于水的惰性气体氡，在墓穴四壁显示异常。当人为盗洞直达棺槨后，被疏松的扰动土充填的盗洞就成为放射性镭子体氡逃逸到地面的良好通道，亦显示为氡异常。该方法使用的仪器携带方便，操作简单，信息提取快捷，花费不多。

1.2.2 汞测量法

我们在开展长沙地下古井的考古勘查试验研究中，发现古井内充填物的汞含量远远大于古井周边网纹状红土的，两者反差极大，古井上的汞异常曲线密集成一黑洞（形象称谓，图 1）。

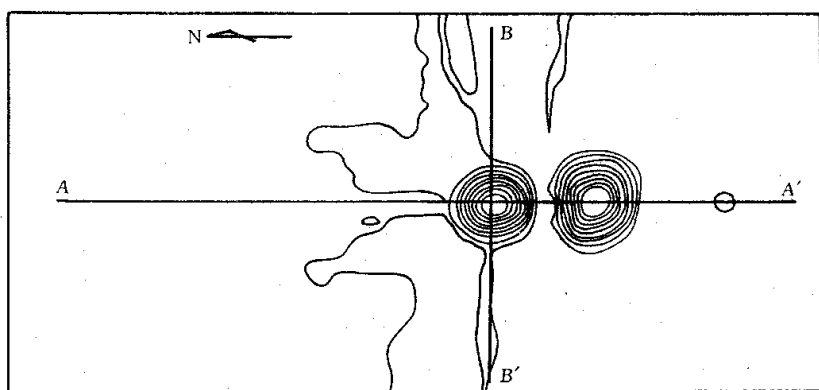


图 1 长沙市 D 工地地下古井土壤汞测量十字型剖面示意

背景值(网纹状红土) $10 \sim 30$; 古井异常 $(2\,000 \sim 3\,200) \times 10^{-6}$

这一现象提示我们，汞及其含汞矿物常作为防腐材料、颜料、油漆成分或药物存在于古墓棺槨内、残存古垃圾中，成为一种有别于地质体的“汞源”。汞和辰砂长期埋藏在土壤中，缓慢而连续地向地表散发汞蒸气。汞蒸气在上升途中不断与上覆土层发生各种物理、化学反应，当汞蒸

气被土层吸附或吸留时,形成汞异常;当汞溶于水或在地下渗流作用下沿墓壁斜坡迁移时,可反映保存较好的大型古墓葬轮廓。挖掘到底的盗洞正是汞蒸气易于散发的通道,显示高含量汞异常。实践表明汞测量法较准确可靠,测量简便,信息提取周期不长,费用也不昂贵。

1.2.3 探地雷达

又称地质雷达,是利用高频电磁波(主频为数十兆至上千兆)来探测地下目的体。由于测区大中型古墓的封土堆与下伏的原生土(网纹状红土)之间,封土堆和四周原生土与墓穴内的回填土、白膏泥、木炭、棺槨之间的界面,以及墓室空洞、墓室内的金属器物,甚至盗洞(到底的或不到底的)壁都是不同介质的界面,可以通过反射回的电磁信号采样及数模转换后,记录下来,在经处理后得到的地质雷达剖面图上显示出来。该方法在 AB 古墓群的古墓勘查中效果特别明显,不失为简便、快捷、直观、可靠的方法。但测量图像清晰度和解释准确性随深度加大而有所减弱。按目前仪器条件,比较适用于地表下 15~20 m 以上的古墓勘查。

1.2.4 磁法、电法勘查

春秋战国大中型古墓中多陪葬青铜礼器、兵器等金属器皿。依据古墓中金属器皿存在与否来推断古墓是否被盗过,这适于开展磁法或电法勘查。但是 80 年代中期某物探队曾对 AB 古墓群某战国大墓进行过电法、磁法勘查与古墓被盗情况的预测,因没有料到古墓被盗后,又遭焚烧,而烧后的土层形成的“高磁异常”致使异常解释失误。在本次研究中,注意到电法、磁法勘查目前尚无法区分被火焚烧的被盗古墓与未盗古墓的事例,故暂不选用。

综上所述,湖南春秋战国—秦汉古墓的完整性勘查研究,主要选用了放射性氡法、汞测量法和探地雷达。实践证明,这一组物化探综合勘查手段基本上达到了准确、简便、快捷、经济地预测古墓完整性的目的。

2 物化探异常特征与考古推断

以 AB 古墓群 M₃ 号、M₄ 号古墓勘查资料为例。

2.1 放射性氡测量异常特征与解释

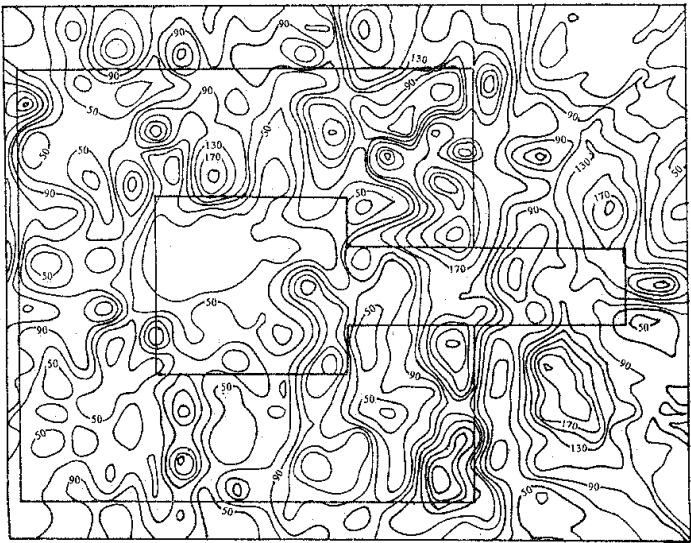


图 2 AB 古墓群 M₃ 放射性氡异常示意



图3 AB古墓群M₄放射性氩异常示意

图2、图3所示M₃和M₄号古墓氩测量异常具有以下特征:①背景值平均每分钟60~90次;②高异常和特高异常串珠状或顺长轴方向排列;③高和特高异常相对集中分布在测区中段东侧和中部。

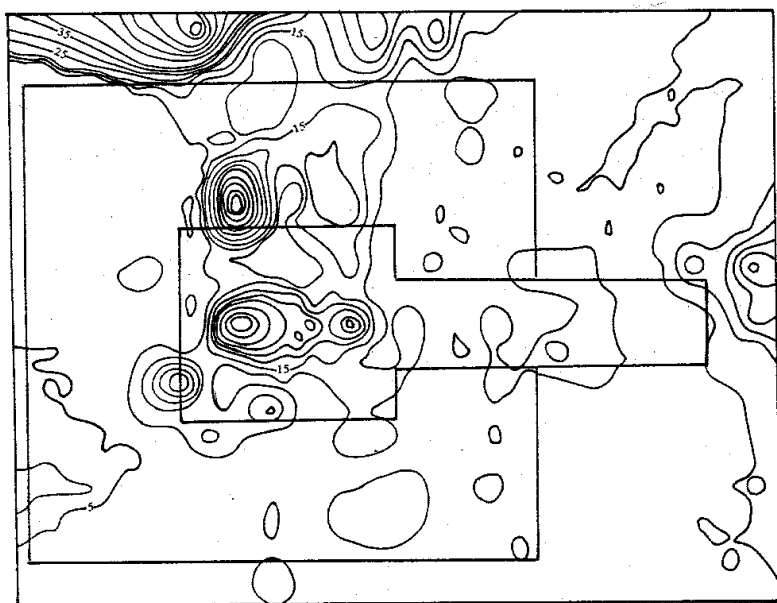
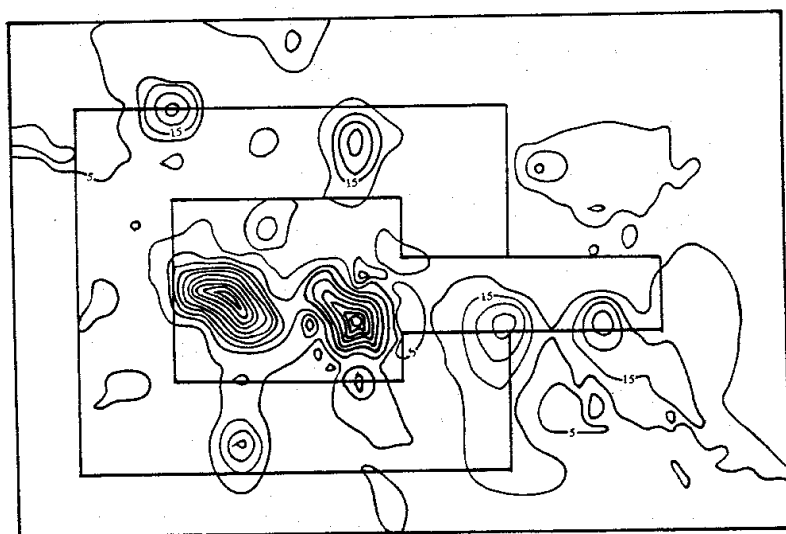
M₃和M₄虽残留封土堆高大,均在6m左右,呈明显穹丘状,但这种地形对放射性氩法影响并不明显。在开展测量的日子里,气温、湿度几乎无变化,提取信息的时间亦统一在午后数小时内,从而把气候对氩测量的影响减到了最小。可以近似地视所测各点氩含量为自然状态下的结果。经研究,该测区内不存在“地质体氩异常源”,故氩异常基本表征某些汇聚地下水的考古界面的存在,如墓坑、墓室和盗洞等。

在研究过程中,根据该地区大墓位置明确、有残留封土堆、墓道东向的特征,首先设法确定古墓中轴线位置。对照氩异常平面分布图发现,串珠状高、特高异常和异常长轴方向的连线大致位于所推测的墓口和墓室位置上,而某些特高异常正位于墓室上方或周边近处。由此提出氩测量对墓口、墓室位置、规模和盗洞位置的预报。由于M₃和M₄封土堆上已开梯田种茶,封土多少被人为扰动,所测氩值也有被干扰的可能,这在解释时不能不加以注意,并在选择测量方法上加以弥补,以便互验互补。

2.2 汞测量异常特征与解释

图4、图5所示M₃和M₄古墓土壤汞异常的特征是:①背景值平均为 10×10^{-6} ;②高异常($30 \sim 40 \times 10^{-6}$)和特高异常(黑洞,在 100×10^{-6} 以上,最高值达 420×10^{-6})多呈等轴状,直径2~3m不等;③高和特高异常多位于封土堆中部或位于由氩测量所推定的墓室、墓道上方及其周边近处。

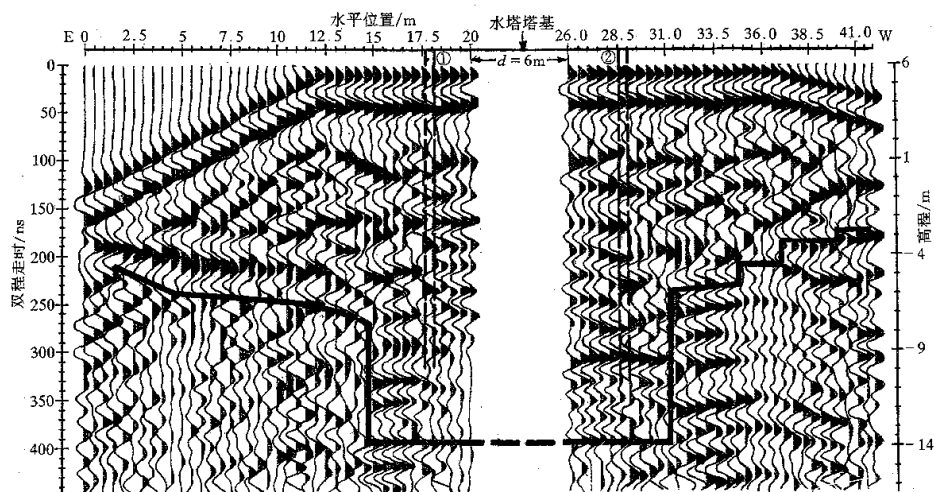
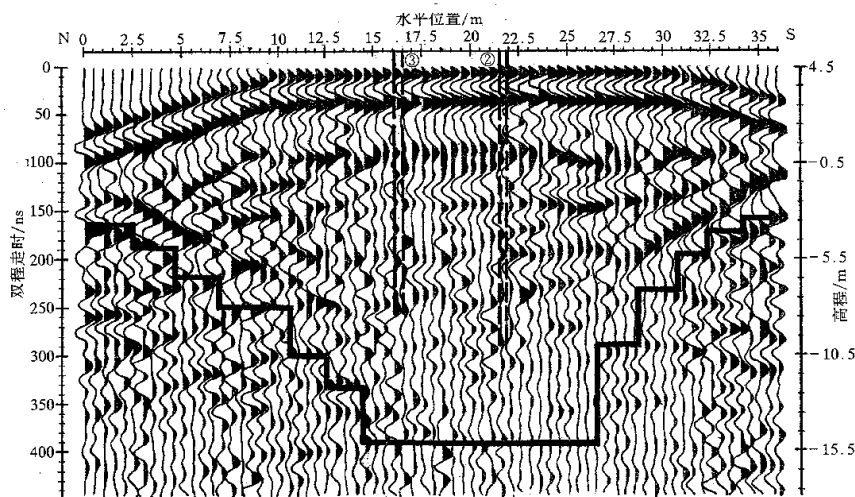
汞测量基本上不受地形、气候的影响,在地表确系原始状态(修建古墓以来,土层未遭人为搬运),而地下又无含汞高的地质体或汞气体运移带时,这类等轴状的黑洞或高异常应可考虑为人类活动之产物。前述可知,AB古墓群分布在厚度较大的网纹状红土丘陵上,浅部无含矿体和断裂带分布,故可排除存在“地质汞源”的可能性。反之,其位置、规模(直径)、形态都显示了“古墓汞源”的存在。等轴状异常直径因汞向上运移扩散晕的关系,比盗洞直径大1~2倍,可视为正常。由此作出其中多为古墓历代盗洞的推断。并与氩异常解释互为补充印证。

图4 AB古墓群 M_3 汞测量异常示意图5 AB古墓群 M_4 汞测量异常示意

2.3 探地雷达剖面特征与考古推断

图6为横穿 M_3 墓道、墓坑、墓室的 S_{ab} 线探地雷达长剖面,图7为纵贯 M_3 与 S_{ab} 线垂直的 S_{cd} 线探地雷达剖面,剖面上电磁反射波波形图像清晰可辨,具有明显的特征:①顶部地面波依地形起伏而上下;②在地面波之下,波形同相轴有序排列显示明显的2层结构。上层同相轴排列多近水平状,边缘部分或平行地表面或平行下层顶界面;下层波形同相轴倾斜,明显与上层平缓同向轴相交(不整合);③在垂向上出现波形同相轴错断位移的不连续现象。

探地雷达显示剖面形态时受地形影响。施测时,在现场就已通过实测标出了地形起伏线,因此,成图校正后,图6、图7上的地面波反映的是实际的地面起伏。剖面图上的上层平缓结

图6 AB古墓群M₃的S_{ab}线探地雷达剖面图7 AB古墓群M₃的S_{cd14}线探地雷达剖面

构,反映的是堆土夯实的主要层界面,在墓室内和上方堆土层中呈水平状态夯实,在墓室外至墓口处则随封土堆向上收敛变窄,夯层呈缓斜坡状。与上层迥异的是下层呈倾角稍陡的斜坡状结构,反映的应是原生的网纹状红土。由此不难推断出墓室的轮廓、墓坑边坡的形态和墓口位置。墓室上方或墓坑边坡、墓道上方的波形同向轴错断处则极可能是盗洞位置,如图6、图7所示。

有趣的是,依据波形图像所推断的墓坑边坡形态,M₃南、北、西方皆为四五级阶梯(土台),唯东侧为缓斜坡道,正与东方为墓道的规律吻合(见图6),为探地雷达推断的准确性加了1分。

对AB古墓群M₃和M₄进行物化探综合解释表明:M₃与M₄均已被盗,M₃的主盗洞位于头箱上方或北侧,M₄主盗洞位于头、脚2箱上方。据探地雷达波形分析,前者有未塌陷的可能,后者已塌陷。

3 初步验证

AB 楚墓群—— $M_1 \sim M_4$ 尚未发掘。为配合本次试验研究,在野外勘查试验结果初露端倪后,湖南省考古研究所曾派员配合,进行铲探初步验证。即在 $M_1 \sim M_4$ 古墓被预测有盗洞的适当位置上布施 1 个或数个铲探钻孔,探孔深 10~15 m 不等。钻探表明, M_2 与 M_4 局部深处存在有明显扰动迹象的洞体,墓深部聚水多, M_4 的铲探钻孔中尚散发难闻气体(铲探并未打到棺槨盖板),均表征其预测盗洞的存在。在情况特别复杂的杨家山古墓群,在所选物化探勘查手段预报后的抢救性发掘结果表明,其预报也已具有一定程度的可靠性。

4 结论

对 AB 楚墓群 4 个大中型古墓和长沙杨家山古墓群 2 个中型墓葬开展的地质、地球物理和地球化学勘查试验研究结果和初步验证(或开挖验证)表明,古墓完整性勘查研究已初获成功。经过努力,极有可能获得重大进展。

1. 放射性氡测量结合铲探可以提供墓葬结构、规模信息和到底盗洞的可能位置。但地表植被的干扰因素不可小视。

2. 汞测量可以较准确地预测古墓到底盗洞的分布位置。

3. 探地雷达可以较准确地提供古墓葬地下形态、结构与规模,验证核实到底盗洞位置,并可指示未到底盗洞的分布情况和是否积水、塌陷的信息。但对埋深在 15 m 以下的被探测体效果变差;对埋藏深度的预测有时因土层速度的变化而影响其可靠性。

4. 由 M_3 和 M_4 的勘查试验表明:上述 3 种方法综合使用、综合解释,对残存封土堆未被人为强烈改造的大中型土坑竖穴墓,在主动或抢救性发掘前可以提供准确的古墓完整性预报。

5. 对长沙市杨家山古墓群的勘查试验和发掘验证(另文发表)表明:对残存封土堆内或墓坑上方填土中人为改造强烈、晚期墓葬叠置或墓坑下方有人工洞体密布的中型土坑竖穴墓,上述 3 种方法均不同程度地受到干扰。为达到古墓完整性预测目的,有必要一方面在技术、工艺上加以改进;另一方面在解释物化异常和波形图像时要更加细心识别,以剔除“虚幻”。

6. 在经费允许的条件下拟引入可弥补探地雷达随深度加大而信息减弱的地球物理方法。

在古墓完整性勘查研究中,得到湖南省政府、省科委和省文物局的大力支持;得到了湖南省考古研究所和长沙市考古研究所的密切配合;中国地质大学李大心教授参与了探地雷达勘查试验;立项过程和研究中还得到了中国科学院地球物理所张立敏研究员、中国科学院测量与地球物理所张赤军研究员和地矿部物化探研究所金仰芬高级工程师给予的宝贵指教,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 常勇,李同.秦始皇陵中埋藏汞的初步研究[J].考古,1983(7):659~663
- [2] 吴天成,高吉成,江宜生,等.地球物理方法勘探古墓实例[J].物探与化探,1988,14(2):151~153
- [3] 孙家柄,马吉苹,廖志东,等.楚古都—纪南城的遥感调查和分析[J].遥感信息,1993(1):27~29
- [4] 张寅生.物探在考古勘探中的应用初探[J].物探与化探,1990,14(6):444~451

INTEGRATED RESEARCHES OF ANCIENT TOMBS GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL PROSPECTING METHODS

Peng Gelin ,Yang Zongren ,She Renfu ,Cheng Zhen

(*Changsha Institute of Geotectonics ,Chinese Academy of Sinices ,Changsha 410013*)

Abstract On the basis of geological setting ,burial characteristics and circumjacent environment of the graveyards of the Spring and Autumn Period ,the Period of Warring States ,Qin Dynasty and Han Dynasty in Hunan Province ,the authors used such geophysical and geochemical integrated methods as radiometric radon survey ,mercuriometric survey and ground penetrating radar to explore four large-medium-sized AB Chu-tombs in a certain county in northwestern Hunan and Yangjianshan ancient tombs in Changsha City. The results indicate the successfulness in prospecting for the integrity of the ancient tombs.

Key words stolen tombs ,integrity of ancient tombs ,archaeological exploration ,geophysical and geochemical prospecting

第一作者简介 彭格林(1940—),男,湖南省黔阳县人。1964年北京地质学院勘探系煤田地质专业毕业,1981年武汉地质学院北京研究生部沉积环境与古地理方向研究生毕业,1982年获硕士学位。现在中国科学院长沙大地构造研究所,研究员,主要从事大地构造与成矿学、煤地质学、泥炭地质学、煤层气地质学和煤田找矿勘探工作。近年开展考古勘查研究,侧重研究古井勘查和古墓完整性勘查。出版专著4本,发表论文50余篇。