

我国考古和文物保护工作中物探技术的应用

钟世航

(铁道部科学研究院 北京 100081)

摘要: 20世纪80年代以来,物探技术在考古和文物保护方面应用越来越多,在古墓探查、大型古建筑地下遗存现状探查、重要古建筑基础状况探查、古遗迹断代等方面,地球物理技术都找到了发挥作用的机会。本文通过地球物理技术在云冈石窟、龙门石窟、克孜尔石窟、北京故宫紫禁城、嵩岳寺塔、古泗州城遗址、凤阳明中都等的物理探查实例,以及查找古墓、古遗迹断代等方面的工作,介绍了我国在考古和文物保护领域应用地球物理技术的进展,并指出了物探在用于考古和文保时的特点和展望。

关键词: 考古;文物保护;地球物理勘探

中图分类号: K854 **文献标识码:** A

早在20世纪60年代,在我国就已经有用物探方法探查古墓的实例。而应用物探技术在考古和文物保护方面在我国得到更多的注意,还是在80年代开始的。其中,得益于黄克忠先生(原中国文物研究所所长)和安徽滁州地区文物保护研究所的物探队伍的工作。近20年来,在我国文物保护和考古方面应用物探技术的面越来越广,包括古墓的探查、古代建筑地下遗存的探查(如古砖窑、古建筑基础、古建筑遗迹、古护城河等)、现存古建筑基础状况的探查研究、石雕内部现状探查研究、石雕及石制古建筑表面风化状况的探测研究、古建(包括填土)和文物(钱币)等的年代测定等。本文仅能涉及少数实例。

1 古墓的探查

古墓一般埋深不大,且砖、石砌的墓及其内空的墓穴与其外的土壤物理性质差异大,用地球物理技术来探查它们效果较好。砖石、空穴与土壤电阻率差较大,故等视电阻率法是常用的方法。等视电阻率法是通过向地下供电,另两个电极测量,得到不同位置、不同深度地下的电阻率的分布来探查地下物体。通过等视电阻率法的图件,既可勾绘出古墓的轮廓,又可测出其顶、底的深度,图1是在安徽省亳县“曹四孤堆”(东汉时期砖石结构多室墓)上方的等视电阻率平面图与古墓平面对比图(已经挖掘证实),从图1中可

见等视电阻率曲线反映了墓的平面形状。

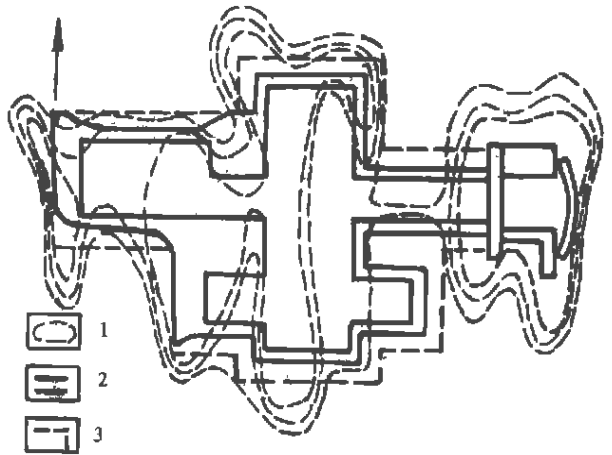


图1 “曹四孤堆”古墓平面与等视电阻率平面等值线对比图
(据滁州地区文物保护技术研究所,20世纪80年代初)

1. 等视电阻率线, 2. 墓室内层砖墙, 3. 墓室外廓
Fig. 1 Contrast with plane isogram of contour of apparent resistivity and plane of “Caosigutui” ancient coffin chamber
1. Contour of ρ_s , 2. Inner brick wall of coffin chamber, 3. Outline of coffin

20世纪90年代以后,高密度电法在我国应用越来越普遍,并发展了电法CT成像,为古墓的探查提供了新的技术。

许多资料表明,墓穴上方常有磁力异常,因此用磁力测量法来查找古墓也是一个较有效的方法。图2是河南新郑一个战国—汉代古墓葬区的磁测资

收稿日期: 2002-01-08; 修回日期: 2004-06-03

作者简介: 钟世航(1940—),男,研究员,从事工程与环境地球物理、隧道与地下工程等专业的科研和技术开发及考古与文物保护工作。

地址: 北京昌平京铁构件厂3-3-403, 邮编 102249, E-mail: zhongshh@vip.sina.com

料^[1], 从 ΔT 平面等值线图上可见 A、B、C 三处已知墓葬及陪葬坑上均有明显的磁异常。为什么在墓穴上方会有磁异常? 有一种意见认为是墓中可能有铁质随葬物, 或墓砖在砖窑烧制时产生了磁性。而笔者认为, 随葬物的铁质不足以产生如此大的磁异常, 而砖在烧制时即使被磁化, 在砌墓室时, 每块砖的方

向随机砌放, 也使整个墓不应产生磁异常。之所以几乎每个墓都会产生磁异常, 是因墓穴的空穴效应: 介质(墓穴周围的土壤和墓外廓墙)在地磁场作用下发生感应磁化, 使空穴周围形成一个磁化体, 产生空穴的磁场(图 3), 这使得几乎所有的空穴南边为正磁异常, 北边为负磁异常。



图 2 新郑战国—汉代古墓葬区 ΔT 磁异常等值线图

1. 零等值线, 2. 正异常等值线, 3. 负异常等值线, 单位: nT

Fig. 2 ΔT plane contour of magnetic anomaly in area of ancient coffin of Zhangguo times - Han Dynasty (2400 - 1800 years ago) in Xinzheng 1. $\Delta T=0$ 2. $\Delta T>0$ 3. $\Delta T<0$, unit: nT

地球物理探查的其它一些方法, 也被用来探查古墓, 例如高精度重力测量(利用空穴与周围土壤的密度差)、探地雷达法(利用墓穴对从地面发射的雷达波的反射)、弹性波反射法(从地面激发弹性波, 利用墓穴对弹性波的反射)、航空照片和遥感等。图 4 (见彩版插页 4)是用“陆地声纳法”(极小偏移距高频宽带弹性波反射连续剖面法), 在北京良乡黑古台战国乐毅墓的一条剖面资料。从剖面上可以清楚地看到墓的两外墙的反映(A、D), 墓中隔成 3 个墓室的两道隔墙反映(B、C), 以及墓的顶底的反射波同相轴。

由于古墓的探查对地球物理技术提出较高的要求, 即不仅找到古墓, 还要较精确地确定古墓的外墙

边界, 确定墓中墓室形制, 确定墓的顶底埋深, 对物探来说, 除了要求采用 2 种以上方法互相验证, 补充, 要求工作更精细外, 还要求对物探方法给予必要的改进, 或采用更新的技术。

2 古建筑地下遗存的探查

2.1 大型建筑物群地下遗存物的探查

许多古建筑物的地面部分已荡然无存, 但其基础部分则往往因在地下而得以保存; 有些地面建筑物因各种原因被掩埋于地下; 有些建筑物损毁后其砖石遗物被就地掩埋。它们与周围土壤的物理性质有差异, 故可用物探来查找这些地下遗存。

1) 安徽凤阳明中都遗址的探查。这是我国用

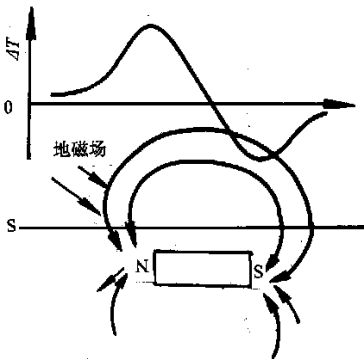


图 3 空穴产生感应磁化磁异常示意图

Fig.3 Diagram about producing magnetic anomaly of induction magnetization owing to a underground chamber

物探技术和航测照片相结合, 对一个大的遗址进行系统探查的第一例(1983~1985年, 安徽滁州地区文物保护技术研究所及作者)。1368年, 朱元璋在他的家乡安徽凤阳县境内建立了一座京城, 现地面仅存皇陵、鼓楼遗址及皇城城墙几段残部, 其它均已成耕地。原城墙内外耕地田垄方向的不同以及残存的小段城墙根, 清晰地在航测照片上显示出原城墙的位置。根据航摄照片判释后, 再采用电阻率法探明了几个城门洞的位置、门基面宽和进深, 查明了皇城的“金水河”的位置、走向、宽度及金水桥的位置, 并勘查出皇城内的奉天门的位置及台基情况, 还发现了原“天坛”的存在及位置。图5为探查“金水河”的电剖面部分资料。由于原“金水河”在填平时充填了砖、瓦、碎石和土的混合物, 因此它的电阻率远高于

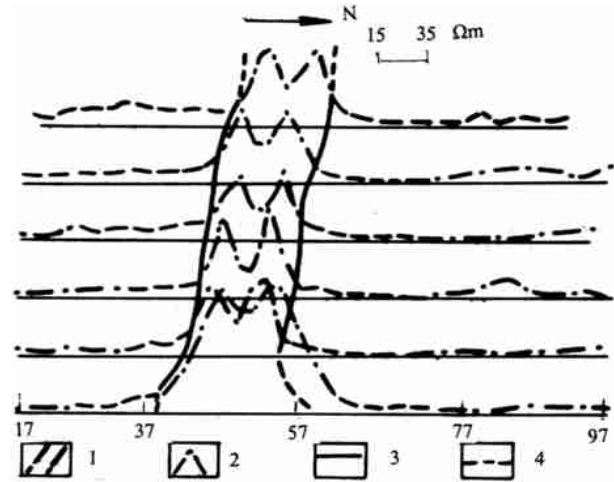


图5 凤阳明中都午门前探查金水河的等视电阻率平剖图

1. 埋于地下的金水河位置, 2. 等视电阻率曲线,
3. 测线及测点号, 4. 测线号

Fig. 5 Plane profile figure of apparent resistivity of prospecting Jinshuihe river in front of Wumen gate in Middle Capital of Min Dynasty, Fengyang

土壤, 在电剖面曲线上表现为差值达 $40\Omega\cdot\text{m}$ 的高电阻率异常。而“天坛”呈圆形的矮墙坍塌后, 其砖、瓦就地埋入土中, 经过犁耕、含砖、瓦碎块的土扩展成宽数米的电阻率略高于普通土壤的圆形环, 它比宽不足 0.5m 的墙基更易被探查出来。

2) 河南开封西南郊北宋东京外城墙。它已掩埋在地下, 采用航空摄影照片和电阻率法相结合, 查明了城墙的位置与走向。这是继凤阳明中都的勘查后, 用物探方法探查古城墙的又一成功实例(滁州地区文物保护技术研究所)。

类似凤阳明中都遗址、开封宋东京城墙等的考古探查研究, 其对象面积大、类型多样, 是我国悠久绵长历史的重要遗存, 也是我国考古研究的重要对

象, 又是地球物理技术很好发挥效益的对象。由于对象复杂, 通常采用不止一种物探方法联合来探查, 这样能取得更好的效果。

3) 古泗州城遗址的探查(铁道部科学研究院铁建所、铁路工程总公司地质物探试验中心, 1992年)。洪泽湖旁淮河边的古泗州城在清康熙年间被2次洪水完全淹没于泥砂中, 许多建筑物较完好地保存于地下。为地下水平钻孔法铺设输油管线, 进行了地下障碍物的探查。而测区恰跨古泗州城西北角。使用了电阻率法、探地雷达、陆地声纳、频率测深等多种物探方法。在测区的西边缘, 探到了地面下约3m、高达8m、宽约2m的墙状物, 它们在测区内延续达100m, 钻探确认为砖石物体, 这是古泗州城的一段城墙。电阻率法在距此“城墙”160~170m处发现了断续但绵延的物体, 与古籍资料记载对比, 它可能是距城墙100步之外的当年的防洪大堤的遗存。物探资料还反映了(经钻探证实)埋于地下的石桥及一些已坍塌的建筑物遗址。

4) 北京故宫(紫禁城)范围内的物探探查。这是较大规模系统探查地下遗存之一例(1994~1995年)。这是在近 0.8km^2 范围内的普查, 目的是进一步研究紫禁城内建筑物的拆、建变迁史, 并探查故宫的地下建筑。使用了电阻率法和探地雷达, 探查出了几十处地下物体, 其中包括埋入地下的废弃水井、柱础、地下蓄水池、古代地下涵管等, 还有一些殿基、墙基及房基。例如发现多处地下墙状物, 其中右翼门西北、中右门正西、体仁阁南沿的3道墙基与文献记载的明代宫墙(现已无存)相符合; 宁寿门南丹墀物探反映的几道墙基(墙根), 经开挖证实; 春禧宫南丹墀发现了房基状物, 在挖掘时揭露出了砖砌的房基一角; 慈宁宫类似房基的物探异常, 经开挖发现是地下纵横码排的柏木基础……。

2.2 古代建筑物基础状况的探查

古建筑基础状况是考古及文物保护要研究的重要内容。这些基础埋于地下, 用地球物理技术作探查研究是较适宜的。

1) 嵩岳寺塔基础状况的探查。这是一典型探例(1986~1987年)^[2]。座落在嵩山脚下的嵩岳寺塔是我国现存最古的砖塔, 建于公元520年。要探查的是(1)塔基深度, 塔是座落于基岩面上还是在土层上?(2)是否建有面积大于塔身的基础(文献记载, 未发现在建该塔的北魏时代, 存在有扩大的塔基础)? 由于是重点保护文物, 在有足够资料之前, 不得进行发掘探查, 故必须依靠物探技术。采用电阻率法和探地雷达来作探查, 以声波跨孔法作备用。

对问题(1), 探查思路是: 现有的地面是逐年堆积增高而成, 建塔之后, 嵩岳寺几经兴衰, 每次修复, 形成一个新地面, 如果能探查出每一次形成的地面(它们基本上是水平的)和基岩埋深, 找到建塔前的最早的地面, 就可以判断建塔时的基岩埋深, 断定塔是否建在基岩上。物探探出了各期形成的地面, 并查明, 建塔前的地面在基岩之上 0-1m, 现地面已在基岩面上 4-5m, 是经 1500 年沧桑后形成的。可以断定, 古塔直接建在风化片麻岩的基岩之上; 并可推断, 塔座落处基岩较平坦, 可能是经过了人工平整的。

对问题(2), 通过电阻率法和雷达探查, 探查出埋在地下并高出基岩 2-3m 的用砖或石砌的塔基, 它的外边界可达塔身外 5-7m, 这是一个塔的锥形的扩大基础。开挖探槽证实了它的存在, 是用石砌成的。图 6 是由物探资料给出的一条典型横剖面。

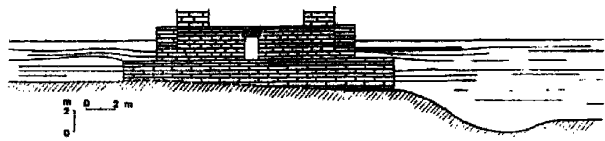


图 6 通过嵩岳寺塔塔身的物探解释剖面图
图中细实线为老地面; 地墙状符号所示为砖或石砌的建筑
Fig. 6 Cutaway view of Songyuesi pagoda plotted from geophysical prospecting data

2) 北京故宫建筑基础。它也以物探(电阻率法和探地雷达)为主, 钻探验证进行了探查, 包括对紫禁城地下基础、太和殿-保和殿三台及乾清宫月台等基础状况、城门及城墙的基础等。有许多重要的发现, 例如: 整个紫禁城范围内地下有连成一片的人工夯筑的垫层, 厚度从 3.0m 至 8.5m, 其厚度由承重需要和位置重要程度而定。物探资料还对这些人造构筑的垫层分层情况作了典型点探查, 特别是对保和殿-太和殿三台及乾清宫月台的夯筑分层及结构作了重点探查。

3) 绍兴城市广场大善寺塔基稳定性评价。采用了地震剪切波法、地基土震动固有周期测量等作了地层分层, 研究有无扩大基础、测量人工夯筑基础层厚度、塔基础承载力评价等工作*。

2.3 地下洞穴及其它地下遗存的探查

除了墓穴外, 物探还常被用于探查其它地下洞穴和地下遗存。对古砖窑、瓷窑等, 它们一直处于固定的地磁场作用下, 由于在烧窑时温度很高, 在出窑时要降温, 在温度降到居里点时, 砌窑的砖、泥保存了较强的剩余磁化。窑停用后窑位没有挪动, 因此在地面上有较强的磁异常, 可以用磁力测量法来探

查。古代居住遗址中, 古人的灶坑也会有剩余磁化, 也有用磁力测量成功探查古代居住遗址的实例^[1-3]。对其它地下洞窑及地下遗存的探查异于墓穴, 难度也更大, 现举二例。

①新疆克孜尔千佛洞峭壁中被掩埋石窟的探查^[4]。克孜尔千佛洞位于新疆拜城县古龟兹国境内, 始掘于东汉, 是我国现存最早的佛教石窟寺庙, 也是保存完整的古龟兹文化遗址, 现存 200 余石窟, 有一部分石窟保存了许多精美的壁画, 画中保留了许多犍陀罗风格, 并具龟兹的民族特色。石窟分几层挖掘在砂、泥岩组成的陡峭的岩壁中。由于山体崩坍, 有一些石窟被山岩碎石及砂土所埋。20 世纪 70 年代偶然机会出露了一个被埋石窟, 其中保留有壁画和泥塑。1998 年在几个地段用物探探查其它被埋石窟(图 7)。

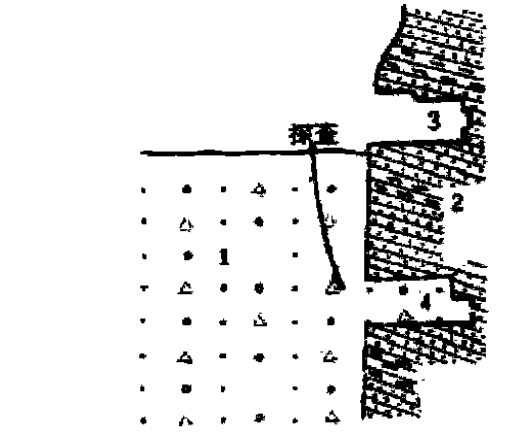


图 7 探查被埋石窟示意图
1. 堆积物, 2. 砂岩和泥岩, 3. 石窟, 4. 被埋石窟
Fig. 7 Diagram showing detection of buried cave
1. Accumulation debris. 2. Mudstone and sandstone 3. Cave 4. Buried cave

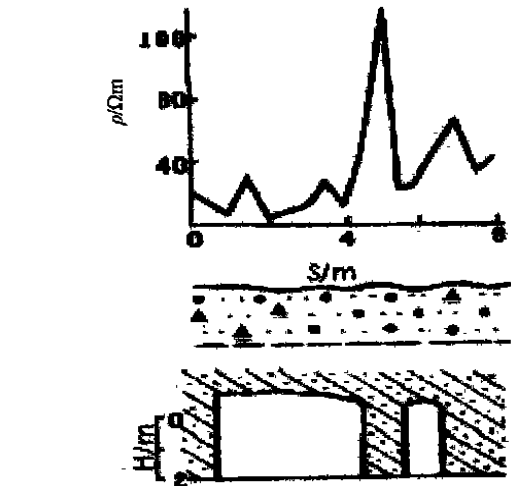


图 8 006 号窟上方地面的电阻率剖面曲线
Fig. 8 Configuration resistivity curve over cave No. 006

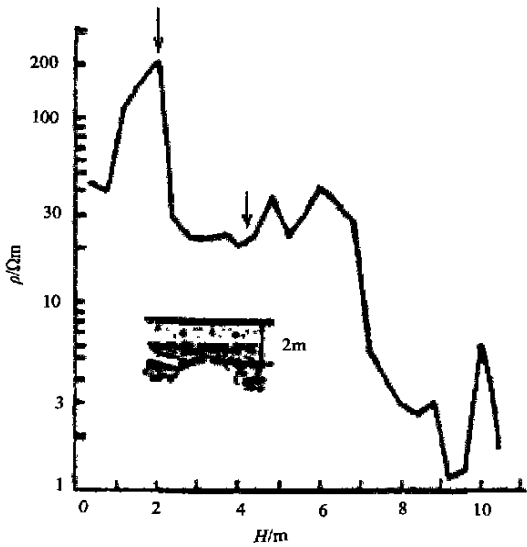


图 9 被埋石窟上方电测深曲线之一

Fig. 9 One of Curves of electric sounding over a discovered cave

采用电阻率法。首先在一已知石窟上方试验, 得知石窟呈低电阻率反映。其两侧的石壁和窟中间的石隔断墙则与高电阻率相对应(图 8)。然后又用测深法来测定找到的一些低电阻物是地下的泥质物还是山崖中的被埋洞窟; 并测出其顶底埋深。图 9 是探查后经验证的一个被埋洞窟上方一条测深曲线。

2) 嵩岳寺塔中地宫的探查^[2]。据已有资料, 在建该塔的时代, 尚未发现有在塔中建地宫的情况, 但电阻率法探查发现在塔中心地面(铺了石板和砖), 有一个 1.5m×1.5m 的低电阻体(图 10), 其顶部在塔内地面下约 0.9m, 深达 2.5m, 确认为锥形地宫, 后经发掘证实它是一个已被充填了细土的地穴, 其顶部在塔内地面下 0.9~1m。

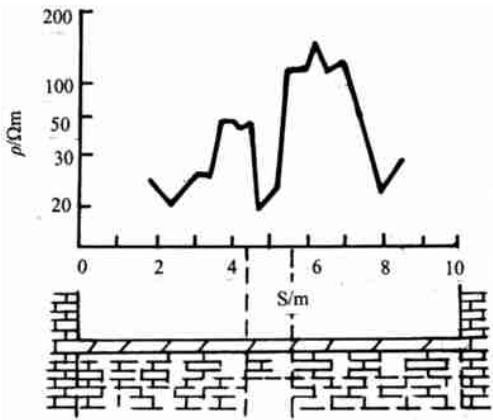


图 10 通过地宫上方的电阻率剖面曲线

Fig. 10 An underground object of low resistance discovered inside the pagoda

3 古物现状的探查

例 1, 石雕风化深度及防风化涂液渗入石雕表面深度的测量^[3]。精美的石雕表面的风化将使石雕遭到破坏, 特别是现代大气污染更增加了风化速度。为防止石雕表面风化, 目前的技术途径是, 设法测量出石雕表面的风化深度, 然后在其表面喷涂防风化液, 它们深入石雕表层, 凝固后既能起防止石雕风化的效果, 又能使水分能自由进出石雕。但若渗入深度不够, 则反会导致石雕迅速破坏。其技术关键之一是准确地测定风化深度和防风化剂渗入深度, 这个深度一般为 10mm~25cm 左右。物探技术可用于这种测定。由于岩石的强风化、弱风化与未风化的部分有明显的电阻率差, 而防风化涂液渗入岩石后, 又会改变岩石原来的电阻率, 故采用电阻率微测深法可测出所需的那些参数, 并已在云冈石窟(见图 11)、龙门石窟、克孜尔石窟、乐山大佛、南越王墓等作过成功的实测。同时也用声波测量来判定喷涂防风化剂后对石雕表面的加强效果, 因为防风化剂渗入石雕表面并凝固后, 将加大岩石的强度, 同时声波在其中传播的速度会随岩石强度的增高而增高。

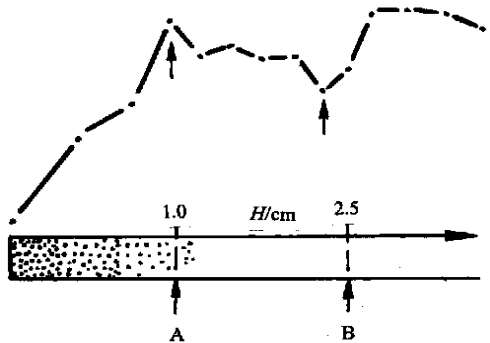


图 11 云冈石窟实测石雕风化深度与实际观察资料对比

A. 含盐富集层 B. 强风化层下界

Fig. 11 Contrast with weathering depth measured by resistivity sounding method and condition

A. Layer with rich salt B. Dividing line of layer with serious weathering

例 2, 乐山大佛的现状研究^[4](铁道部科学研究院、国家文物局文物保护技术研究所)。建于公元 713~803 年的乐山弥勒大佛, 高 62m, 是存世的最大古代佛雕。1994~1995 年曾用多种手段对它进行现状的全面调查研究, 包括外形测绘、立体摄影、地质研究、修补材料的调研、内部状况的探查、文献查找等。由于佛的脸、身、手、足都有泥或石灰质的被覆层及彩绘, 故用物探方法对其背后的石雕现状进行探查, 探查出被覆层的厚度, 就可知道石雕的现在面貌; 并探查石雕的破损情况等。采用了电阻率法(电

剖面及电测深)、核物探法(热中子散射、 γ 量子散射法, 它们可以测出被测物的密度和含水量)、声波法(反射、折射与透过等方法)等作综合探查, 取得了多项成果。成果之一是, 肯定了大佛是依山雕凿, 浑然一体, 但齐额以上高出山体部分则是先用条石雕凿好螺髻, 然后堆高成型并在上面精心码砌螺髻形成头顶; 物探方法准确地测定了石雕和码砌的螺髻间的界线。成果之二是准确地测出了脸、手腿等身体各部的被覆层的厚度, 以此可掌握石雕的现貌。成果之三是查出了脸部的几处大的破损, 确定了它们的位置及破损深度。成果之四是查出了脸部的几处出水点, 它们是脸部石雕的破损和孔隙率大的含水砂岩, 下雨时, 雨水从大佛头顶螺髻渗入, 经岩体的裂缝下渗, 并从这些破损处和含水砂岩流出形成出水点并从被覆层的裂缝涌出。成果之五是探测了一些可能危及石雕的裂隙情况。成果之六是探测了佛身岩体的风化深度。图 12 为佛脸部被覆层含水率等值线图。它是在久不下雨之后在脸部表面测的, 反映了脸部被覆层背后的石雕各部位含水情况。

鼻下, 雨后从这些地方通过被覆层裂缝继续涌水, 造成“流泪”、“流涕”不止。再如争论多年的大佛右手形态, 一种意见认为大佛石雕右手如现状呈手心向下抚膝状。一种意见认为是手心向上, 一种意见认为是右手前臂举起, 后石雕破坏、前臂断裂, 用附加物改制如现状。探查确认右手前臂未遭破坏, 石雕原状即现状……。

4 石雕、石窟裂缝深度及止水注浆深度探查

石雕或石窟产生裂缝, 可能使它们产生更大的破损, 也可能使地下水沿裂缝流出造成水害。在维修保护时可采用注浆粘结和止水注浆。止水注浆方法是引导水流向排水点, 这就需要控制注浆液的注入深度。作者在大足石刻曾成功地用电阻率微分电测深法探测裂缝深度和止水注浆液的注入深度。

5 考古中地球物理方法断代

断代是考古中的一个重要内容, 我国于 20 世纪 90 年代用地球物理技术来进行断代。其中用磁性地层学及磁性调查法来确定古遗存、古人类化石的生产或保存时代已有一些实例^[1]。其原理是, 地磁场的极性和磁倾角、磁偏角及磁场强度是不断变化的, 特别是磁场的极性变化, 已经有已知的国际地磁年表可作对比。因此通过对所要确定的地层所处的地层剖面的第四纪沉积物样品, 测出其地极磁性变化柱状图, 然后与国际地磁年表对比, 就可以确定地层剖面的地质时间区段以及古遗存所处地层的时间位置。例如, 已用此方法确定了湖北“郧阳人”化石地层的时代^[1], 对丁村旧石器文化遗址和许家窑旧石器文化遗址的断代等。

还有报道用 X 射线荧光“指纹”对古钱币作断代和地域的鉴定, 这种方法还可以用于作彩绘颜料物质成分分析等方面。

6 结 语

在考古和文物保护中应用地球物理技术已有许多成功的实例, 应用的范围也十分广泛。由于考古和文物保护的对象多种多样, 情况和要求解决的问题也种类繁多。这既为地球物理技术提供了广阔的舞台, 也给地球物理技术提出许多应当改进、发现的课题。根据笔者的经验, 在考古和文物保护方面应用地球物理时, 应注意下列几点:

(1) 探查者要很好地研究被探测的对象, 地球物理探查应与古迹或文物的调查、地质调查密切地结合。

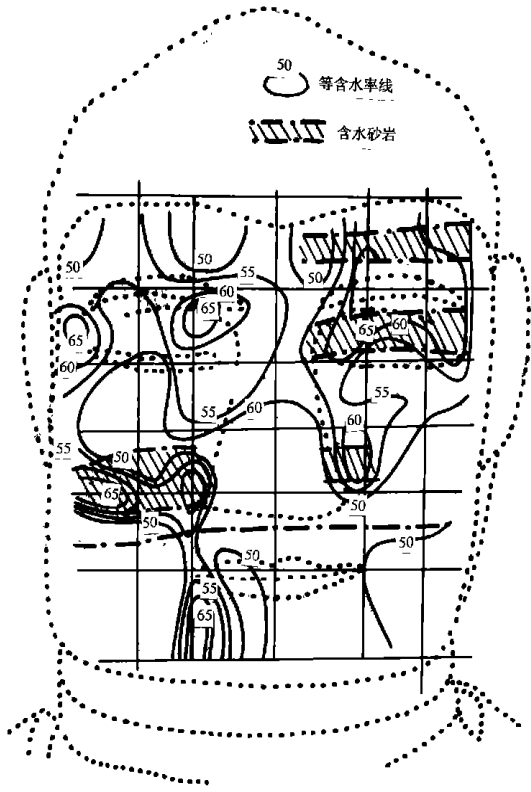


图 12 乐山大佛脸部被覆层含水率等值线图
Fig. 12 Plane contour of moisture content on the cover of face of Leshan great Buddha

这些成果也解决了一些争论多年的问题。例如, 大佛经常在大雨后“流泪”、“流涕”数日, 查出的石雕出水点有的在眼部, 有的在眼角, 有的在鼻侧和

(2) 要灵活使用既有的地球物理方法, 根据要解决的问题及探测对象特点选择合理而经济的方法, 灵活而合理地布置现场工作。

(3) 应清醒地了解, 每一种物探资料都可能有多解性, 不能迷信某一种方法, 故在可能条件下应采用综合物探方法, 使得可通过两种以上方法的资料互相补充、互相印证, 增强探查的可靠与准确性。

(4) 往往要根据任务需要对既有地球物理技术作必要的改造和发展。

(5) 考古工作中往往有许多新发现, 物探探查中也往往会在原订目标和计划之外有新的发现, 这时有必要变更计划和目标向新的发现追踪, 这就有可能得到意外的收获。

(6) 一些被探查对象与周围介质虽有物理性质差异, 但差异并不算大, 这就需要提高地球物理探查的现场观测精度和降低信噪比, 加强资料处理, 突显异常。同时也要对弱小的异常给以充分重视, 它们或许就是应发现的现象。

考古和文物保护涉及对象甚广, 本文挂一漏万。文中除有引用文献及说明出处者外, 均出自笔者及笔者所工作的单位。

参考文献:

- [1] 阎桂林. 考古磁学—磁学在考古中的应用[J]. 物探与化探, 1996 20(2): 141-148.
YIN Gui-lin. Archeological magnetism—the application of magnetism in Archeology [J]. Geophys Geochem Expl, 1996, 20(2): 141-148.
- [2] 钟世航. 用物探方法解决文物保护和考古中某些难题[J]. 地球物理学报, 1991, 34(5): 636-643.
ZHONG Shi-hang. New progress in applying geophysical exploration

methods to protecting historical relics and to archeology [J]. Chin J Geophys, 1991, 34 (5): 636-643.

- [3] 孙秀容, 许东儿, 等. 绍兴城市广场大善寺塔基础稳定性地球物理评价[A], 全国资源与环境调查及工程检测新技术研讨会 [R], 2001, 11.
SUN Xiu-rong XU Dong-er, et al. National symposium of Source and Environmental Investigation and New Technology of Engineering Measurement [R]. 2001, 11.
- [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.
ZHANG Yin-sheng. A preliminary discussion on the application of geophysical prospecting to archaeological exploration [J]. Geophys Geochem Expl, 1990 14 (26): 444-451.
- [5] 黄克忠, 钟世航. 云冈石窟风化的微测深试验[J]. 文物与考古科学, 1989, 1(1): 28-33.
HUANG Ke-zhong, ZHONG Shi-hang. Test with a microthamater at weathering stone sculpture of Yungang cave [J]. Sci Conserv Archaeol, 1989, (1): 28-33.
- [6] 苏朴, 刘椿. 布容正向时中的短期反向事件在考古断代中的应用[A]. 水文、工程、环境国际学术讨论会论文摘要[C].
SU Po, LIU Chan. Proceedings of International Symposium of Hydrographic, Engineering, Environment (Abstract) [C].
- [7] 钟世航. 用物探方法给乐山大佛诊断[A], 见: 中国地球物理学会编著, 地球物理科普文选第一集—地球和地球物理[C]. 北京: 地质出版社, 1994. 160-166.
ZHONG Shi-hang. Using geophysical survey methods to diagnose the disease for great stone statue Buddha in Leshan [A]. In: Chinese Geophysical Society ed. The earth and geophysics—selected works of geophysics No. [Q]. Beijing: Geological Publishing House, 1994. 160-166.
- [8] 曹利国, 黄志琦, 等. 古币的 X 射线荧光“指纹”[A]. 见: 陈懿等主编. 地球物理与中国建设[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 245-247.
CAO Li-guo, HUANG zhi-qi, et al. X-ray “Loops and Whorls on a Finger” of Ancient Coins [A]. In: Cen Yong et al Geophysics and China Construction [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 245-247.

Application of geophysical technology for archaeology and preservation of cultural relics

ZHONG Shi-hang

(China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Since 1980s the potentiality of geophysical technologies to solve problems in archaeology and preservation of cultural relics has more and more been acknowledged by archaeologists, workers of preservation of cultural relics and geophysicists. Geophysical technologies have found chances to show its ability to surveying ancient coffin chambers, prospecting the underground civilization of great ancient constructions, and dividing history periods into stages for historic sites and antiques. In the paper information has been given about progresses of application of geophysical technologies for archaeology and preservation of cultural relics by means of showing the survey examples on Longmen Grottos, Yungang Grottos, Kezier Grottos area, area of the Imperial Palace-Forbidden City of Beijing, the foundation of the Songyuesi Pagoda, the ancient civilization of the ancient Sizhou City, the Middle Capital of Min Dynasty in Fengyang, etc.

Key words: Archaeology, Preservation of cultural relics; Geophysical technology

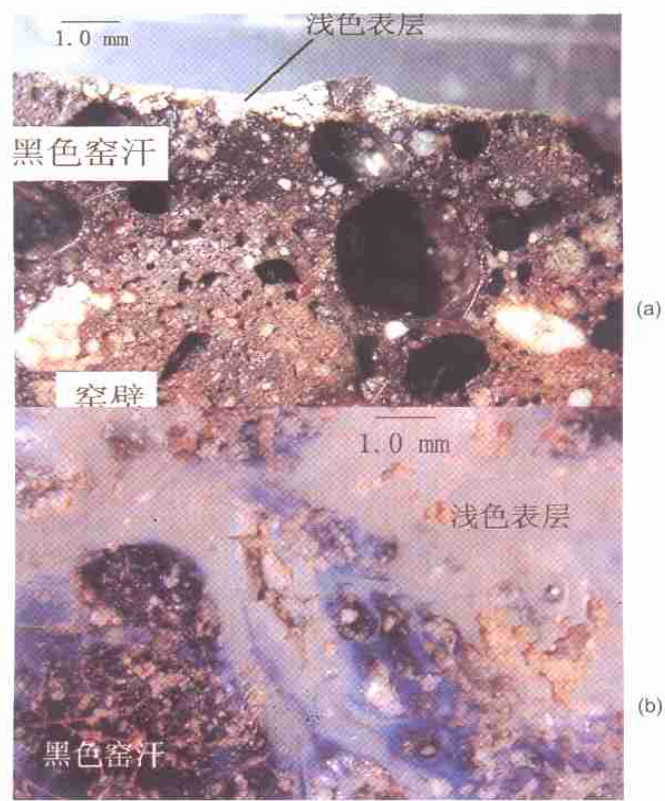


图 8 窑汗
Fig.8 Kiln sweat

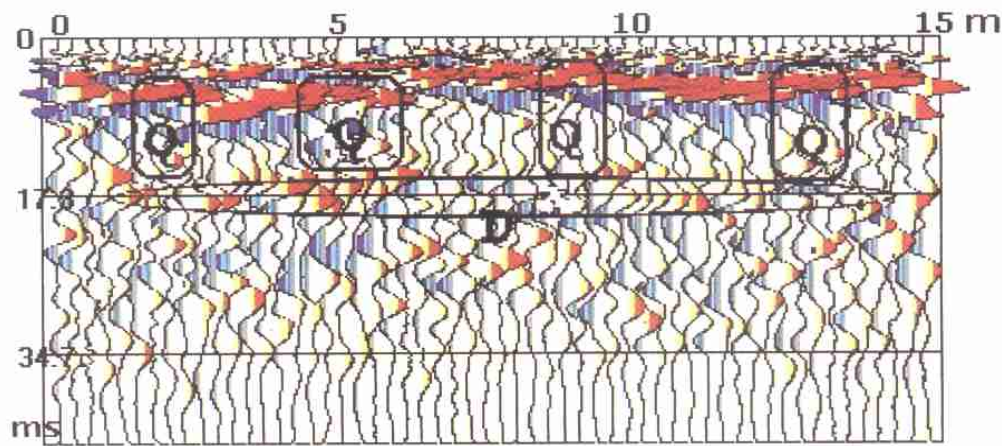


图 4 北京良乡古台战国乐毅墓上一条“陆地声纳”剖面
对于直立的墙和小洞穴，“陆地声纳”的图像是一条弯曲双曲线的同相轴，Q 表圈出的墙的图像，
D 表圈出的底的图像，ms 为双程反射时间。

Fig.4 A landsonar profile on famous general Yueyi ancient coffin of Zanguo times in Liangxiang of Beijing
Figure of landsonar on a vertical wall is a hyperbola