

DOI: 10. 11720/j. issn. 1000-8918. 2013. 4. 17

汞气测量在陕西韩城春秋古墓中的应用

刘华忠¹, 杨帆^{1,2}, 张学君^{1,3}, 孔牧¹, 喻劲松¹, 张华¹

(1. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北廊坊 065000; 2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 中国地质调查局, 北京 100037)

摘要: 采用汞气测量方法对陕西韩城春秋古墓的位置、被盗情况进行勘查与判断。在墓区及外围, 对已开挖墓穴不同部位的空气、壤中气和土壤热释汞分别进行测量, 证实了古墓葬中存在高浓度的气汞、壤中气汞和土壤热释汞异常, 并利用汞异常的分布形态和位置确定了古墓位置和盗洞位置。

关键词: 汞气测量; 气汞; 壤中气汞; 土壤热释汞; 春秋古墓

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2013)04-0670-05

1981年, 常勇等在秦始皇陵开展了汞气测量, 在陵墓封土中心圈定了高强度的汞异常区, 获取了良好的效果, 考古学家认为该项工作是秦始皇陵考古工作的重大成果之一^[1]。1985年, 殷欣平等人在河南安阳殷墟重点文物保护单位, 采用土壤汞测量准确地圈定了殷墟保护区的范围, 并依据汞含量的差异将保护区内宫殿遗址区和平民墓葬区划分开^[2]。1998年, 彭格林等人在湖南常德地区战国墓群开展了试验研究, 认为汞测量较为准确地预测了古墓盗洞的分布位置^[3]。2002年, 刘崇民等人在秦始皇陵开展了汞测量试验, 在陵墓上方发现了高强度的汞异常区, 表明深部确有汞源存在, 异常范围可能反映了地宫的大体平面位置^[4]。另外, 我国土壤汞测量考古还在秦雍城遗址、山西北齐娄睿墓等地得到了成功的应用^[2]。以上实例表明, 汞气测量是古墓探测的有效手段之一。本次研究应陕西韩城春秋古墓考古项目组的邀请, 利用汞气测量(包括大气汞、壤中气汞和土壤热释汞)对正在发掘的韩城春秋古墓进行勘查, 查证古墓的具体位置及是否存在盗洞, 探讨汞气测量在考古中的作用, 并为汞气测量应用于

考古(特别是判别盗洞位置)提供了借鉴和参考。

1 汞气测量方法

汞气测量方法是抽取大气和壤中流动的汞气, 使用测汞仪, 分析检测汞含量, 达到探测大气和壤中气中汞含量的目的^[2,5-6]。

大气汞测量方法: 将过滤器、捕汞管和抽气筒用硅胶管连接, 抽取3 L气体。当大气中的汞进入捕汞管时, 汞与管内的金化合成金汞气, 使大气汞捕捉在捕汞管内。将捕汞管带回驻地, 使用高温(800℃)炉脱汞, 用测汞仪检测汞含量。

壤中气汞测量方法: 使用钢钎在测点的土壤中打制1.3 m深孔洞, 将螺纹采样器拧入孔中0.5 m深度, 将四周土壤夯实, 用硅胶管将采样器、过滤器、捕汞管和抽气筒连接, 再按大气汞测量步骤检测汞含量。

土壤热释汞测量方法: 采集地表以下1.5 m的土壤样品, 晾干过160目筛, 取筛下部分, 定量称取0.1 g样品放入石英舟内, 在高温(800℃)炉内脱汞, 使用测汞仪检测汞含量。

表1 分析数据质量参数

测量方法	准确度参数	参考物质	测试次数	最小值/(ng/mL)	最大值/(ng/mL)	平均值/(ng/mL)
土壤热释汞	对数偏差	GSS-1	12	0.000	0.035	0.019
		GSS-2	12	0.000	0.021	0.003
		GSS-3	12	0.005	0.060	0.023
	误差/%	GSS-3	32	1.167	12.833	5.229
大气汞、壤中气汞	对数偏差	饱和汞蒸气	12	0.003	0.035	0.019
	误差/%	饱和汞蒸气	12	0.758	8.333	4.545

注: 对数偏差 = $|\lg C_i - \lg C_s|$, 误差 = $|C_i - C_s|/C_s \times 100\%$, 其中 C_i 为标准物质的第 i 次测量值, C_s 为标准物质推荐含量值; 饱和汞蒸气是指 20℃ 的饱和汞蒸气(汞浓度为 13.18 ng/mL), 每次测试 0.1 mL。

上述汞气测量方法依据中华人民共和国地质矿产行业标准汞蒸气测量规范(DZ0003-1991)要求,进行仪器的检查与标定,分析质量监控,结果完全达到规范的相关要求(表1)。

2 工作部署

本次汞气测量选择了陕西韩城春秋古墓 M28、

M95、M96、M98 号墓作为工作对象(图1、图2)。为了获取更多的信息支持面积性测量结果的解释,在已开挖的 HL27M 号墓墓坑不同部位对大气、壤中汞气和土壤热释汞进行了对比测量。在 M28、M95 号墓区的测量网度为 1 m × 1 m,在 M28、M95 号墓区的剖面测量点距为 1 m,其中 M98 号墓的 30 线经过一处新盗洞口。

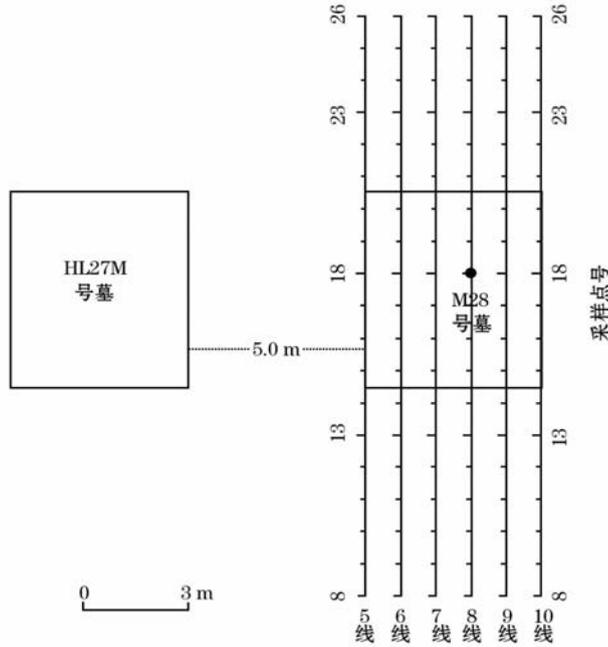


图1 春秋古墓 M28 号墓区汞气测量点位

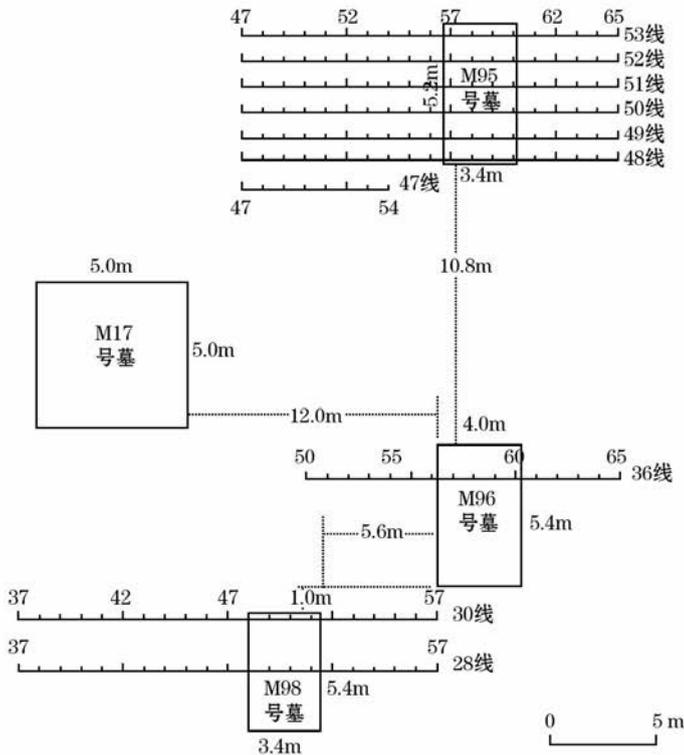


图2 春秋古墓 M95、M96、M98 号墓区汞气测量点位

3 空气汞、壤中气汞、土壤热释汞分布特征

3.1 空气汞浓度特点

在已开挖的 HL27M 号古墓及其墓坑不同部位抽取空气气体样品,采集样品 3 L,采气部位分别为坑口平地、棺椁上的平台和接近棺椁底部。每个样品连续测量两次,墓坑空气样品中汞浓度列于表 2。从表 2 可以看出,在春秋古墓棺椁及其周边,空气汞浓度具有显著特点,汞浓度值很高,平均值达 691.3 ng/m³,开挖的古墓坑口汞浓度亦可高达 147.4 ng/m³,棺椁平台的空气汞浓度也较高,达 515.7 ng/m³,但与棺椁底部空气汞相比,其浓度明显偏低。在墓坑中空气汞浓度的变化原因主要有两点:一是开挖过程大气混入,对墓坑中汞浓度具有稀释作用,但这种稀释作用随墓坑深度的增加而减弱;二是古代墓葬多使用汞或汞矿物辰砂,且多在坑底,氧化后形成的汞气比例大且易于在低处聚集。

表 2 春秋古墓 HL27M 号墓坑空气汞浓度 ng/m³

位置	ρ_1	ρ_2	平均值
靠近棺底部	657.3	725.3	691.3
棺上平台	419.3	612.0	515.7
坑口平地	170	124.4	147.4

注: ρ_1 、 ρ_2 分别为同一时间、同一位置两次采样的测量结果。

为了更好地比较墓坑空气汞浓度,对比了美国城市大气汞浓度^[7]和笔者单位及家属宿舍不同部位的空气汞浓度(表 3)。家属区与美国城市空气汞浓度大体相当,其差别在于家属区个别厨房通风欠佳和城区人口密集使空气汞浓度偏高。与 HL27M 号墓坑已测得的空气汞浓度比较,墓坑中空气汞浓度显著高于笔者家属区及美国城市空气汞浓度。在墓坑的不同部位仍可测得高浓度汞,表明墓坑中出现的汞高浓度与古棺椁关系十分密切。

表 3 不同采样位置大气汞浓度对比

位置	汞浓度/(ng/m ³)	备注	
家属区	居民厨房空气	8.9~70.6	随机抽取 7 户的实测值
	起居室空气	7.8~27.4	
	办公室空气	7.3	
	室外大气	7.0	
美国城市	居民厨房空气	10~35	据参考文献 ^[7]
	起居室空气	<10	
	办公室空气	4~16	
	室外大气	1~3	
HL27M 号墓坑	靠近棺处	691.3	同一位置两次实测的平均值
	棺上方平台	515.7	
	坑口地面处	147.4	

3.2 不同区段壤中气汞分布特点

在工作区内,对 M28、M95 号墓区及其外围、

M98 号墓已知盗洞、HL27M 号正开挖的土堆进行壤中气汞测量,获得的汞浓度结果列于表 4。由表 4 可知,在墓区内及外围、已知盗洞和古墓挖出的土堆上均获得了高浓度的壤中气汞,但各测量值之间的差异十分明显:在墓区内及外围,汞浓度最大值均超过了 1 000 ng/m³,而墓区内外汞浓度最小值差异十分明显,墓区内最小值明显高于墓区外;已知盗洞及挖出的土堆中,壤中气汞浓度均较高。

表 4 春秋古墓不同区段壤中气汞测量数据 ng/m³

位置	样品数	最大值	最小值	平均值
M28 墓区内	33	9180.0	272.0	2264.5
M28 墓区外	74	3173.3	68.0	268.2
M95 墓区内	24	1337.3	158.7	452.8
M95 墓区外	87	2720.0	90.7	529.7
M98 墓已知盗洞	3	1484	997.3	1310.9
HL27M 墓挖出的土堆	4	5780	680	3428.3

工作区是墓穴密集的墓葬群,M95 号墓区面积仅为 17.68 m²,采样时另一个墓室刚清理完毕,墓室底部具有高浓度汞的垫土层被移至墓外堆积,造成 M95 号墓内壤中气汞浓度低于墓区外土堆中的壤中气汞。开挖垫土和古墓盗洞可使高浓度汞气随挖土和开挖通道向盗洞口及其附近的土堆运移,在盗洞口和开挖土堆上仍可出现高浓度壤中气汞^[8]。

3.3 土壤热释汞分布特点

在深入研究春秋古墓空气汞、壤中气汞浓度的同时,对 M28 号墓的墓区、墓区外以及正开挖的 HL27M 号墓棺盖等处采集土壤样品,测试土壤热释汞浓度,其结果列于表 5。可以看出,在 HL27M 号墓棺附近不仅存在高浓度大气汞,挖出的土堆中、土基棺盖上的土中仍可测得高浓度热释汞,汞浓度最高达 2 152.4 × 10⁻⁹。

表 5 春秋古墓 M28、HL27M 号墓土壤热释汞浓度

位置	汞浓度/(ng/m ³)	
M28 号墓区	最大值	248.8
	最小值	10.4
	平均值($n=11$)	52.38
M28 号墓区外	最大值	37
	最小值	4.6
	平均值($n=11$)	8.09

注: n 为样品数。

在尚未开挖的 M28 号古墓区内和墓区外平地土壤中,热释汞浓度差异也十分明显。墓区内的土壤热释汞最大值和平均值显著高于墓区外^[3],约是墓区外的 6 倍以上。

综上所述,在韩城春秋古墓的空气、壤中气和土壤中存在显著高浓度汞,尽管这些高浓度汞的来源有待进一步研究与考证,但在墓区内、墓坑上下等

位置出现的汞浓度差异,以及古墓盗洞出现的高浓度汞均表明,汞气测量方法是考察古墓的有效地球化学勘查方法,可用来圈定古墓室的位置,判断和确定盗洞的位置。

4 测量结果讨论

4.1 M98 号古墓剖面测量结果

在 M98 号古墓布置的 30 线恰好穿过一个较新盗洞(图 3)。壤中气汞测量结果显示,在 M98 号古墓范围见明显的壤中气汞异常,异常中心与 M98 号古墓位置对应完好。由于新盗洞回填土松软,不利于壤中气汞聚集,部分壤中气汞扩散至大气中,使该处壤中气汞略偏低。

M98 号古墓宽 3.4 m,为了完全控制 M98 号古墓范围内的壤中气汞分布特点,布置的 30 线长 20 m,远远超过了 M98 号古墓范围。图 3 中 40 点附近的壤中气汞异常可能是由其他墓穴引起的。

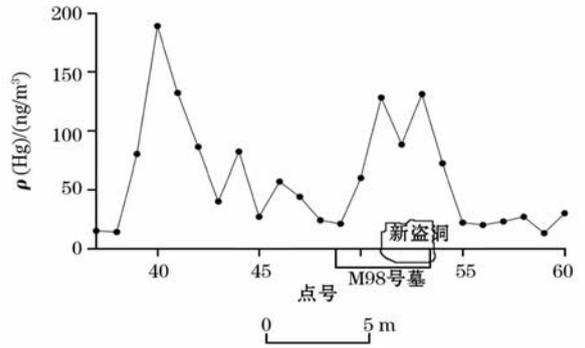


图 3 春秋古墓 M98 号墓 30 线壤中气汞分布

4.2 M28、M95 号古墓测量结果

在 M28 和 M95 号春秋古墓采用 1 m × 1 m 网度开展壤中气汞测量(图 4)。图中显示:在古墓区的主体上方土壤中见明显的壤中气汞异常,其中 M28 号古墓的壤中气汞异常强于 M95 号古墓;在古墓壤中气汞主体异常旁侧或墓区外侧,见有明显的壤中

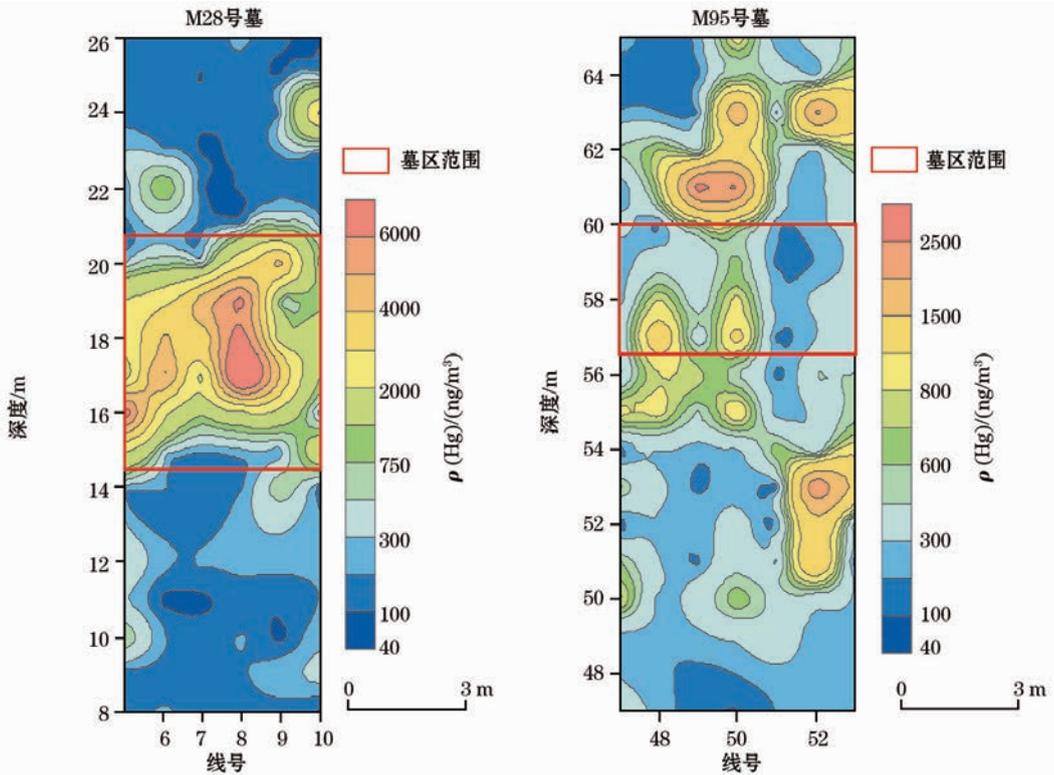


图 4 春秋古墓 M28、M95 号墓汞气测量等值线分布

气汞异常,其中 M28 号古墓西侧异常呈长条状北东—南西向展布,并与古墓主体异常连在一起,长条状异常在墓区西侧尚未封闭,有略增强的趋势;M95 号古墓外侧异常分布在墓区东侧边部,主体形状为近椭圆状。

分析 M28、M95 号古墓区的壤中气汞异常认为:依据考古工作者现场实地勘查圈定的墓范围,M28

号古墓范围较大,M95 号古墓范围较小。古墓葬范围的大小可能是引起异常强弱的重要因素。M28 号古墓范围偏大,其主墓体上方壤中气汞异常明显偏强。分析古墓主体外侧出现的汞异常,并对照 M98 号墓新盗洞上方出现的汞异常认为,在 M28 号墓汞主异常旁侧出现的长条状汞异常和 M95 号墓东侧出现的强汞异常可能由盗洞引起,M95 号墓西侧汞

异常中心可能为盗洞位置。该处汞异常紧邻 M95 号墓,由于墓葬较小,盗洞可能直接进入主墓室。M28 号古墓主体汞异常旁侧的汞异常向外延伸,尚未见其终端,推测盗洞口可能在墓区外侧,该长条状异常可能为进入主墓室的盗洞位置。

5 结论

(1) 在韩城春秋古墓葬的空气、壤中气和土壤中普遍存在高强度汞异常。这些汞异常随着与棺椁及墓中心位置的接近而逐渐增强,异常值可以达到背景区的几十至上百倍。

(2) 墓葬区内外的壤中气汞异常具明显差异,通常墓葬区内汞浓度明显偏高。墓葬区内、外高浓度汞主要来自墓室内高强度的汞异常,墓葬区外汞异常明显偏低,且大多数地段处在背景范围。

(3) 古墓葬的盗洞具有十分明显的壤中气汞异常。古墓盗洞口延伸的盗洞上方汞异常十分明显,具有十分清晰的异常形态特征,是墓室汞浓度沿盗洞外溢的体现。

(4) 采用 1 m × 1 m 高密度壤中气汞测量方法,对 M28 和 M95 号古墓壤中气汞浓度进行测量,获得

了较为理想的结果。在古墓主墓室上方获得了十分明显的壤中气汞异常,异常强度与古墓葬规模大小密切相关。墓葬规模大,壤中气汞异常强,反之规模小则异常小。依据壤中气汞异常形态和分布位置可以判断古墓盗洞的位置。

参考文献:

- [1] 常勇,李同. 化探汞量测量在考古中的应用[J]. 中国地质, 1983(7):21-22.
- [2] 伍宗华,金仰芬,古平等,等. 汞的勘查地球化学[M]. 北京:地质出版社,1994:31-58.
- [3] 彭格林,杨宗仁,余仁富,等. 物化探方法对古墓完整性的研究[J]. 物探与化探,2000,24(3):234-240.
- [4] 刘崇民,史长义,胡树起,等. 汞量测量及 α 杯氢测量在探测秦皇陵中的应用[J]. 物探与化探,2005,29(4):336-341.
- [5] 常勇,李同. 秦始皇陵中埋藏汞的初步研究[J]. 考古,1983(7):659-663.
- [6] 卫敬生. 地球化学测汞方法应用讨论[J]. 物探与化探,1998,22(6):21-27.
- [7] 美国城市大气环境分析报告[J]. 生命科学仪器,2004(1):49.
- [8] 刘耀伟,阎贤臣,张谦,等. 土壤中微量气体汞含量与隐伏活动断层的关系[J]. 西北地震学报,1989,11(1):79-81.

THE APPLICATION OF MERCURY VAPOR SURVEY TO ARCHAEOLOGICAL DETECTION OF THE SPRING-AUTUMN TOMB IN HANCHENG CITY

LIU Hua-zhong¹, YANG Fan^{1,2}, ZHANG Xue-jun^{1,3}, KONG Mu¹, YU Jing-song¹, ZHANG Hua¹

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: In this paper, mercury vapor survey was employed to detect or judge the location and the grave robbery situation of the Spring-Autumn Tomb in Hancheng City. In the burial ground and peripheral section, a variety of methods of mercury vapor survey were carried out for mercury in air, mercury in soil gas and thermal-release mercury of soil in different parts of the grave. The high concentration mercury anomalies were delineated. This paper demonstrates that the shape and area of the distribution of mercury anomalies delineated by mercury vapor survey can be used to find the location of the tomb and the place of the cave dug by tomb-robbers.

Key words: mercury vapor survey; gas mercury; mercury in soil gas; thermal-release mercury of soil; Spring-Autumn Tomb

作者简介: 刘华忠(1963-),男,工程师,从事勘查地球化学基础理论和方法技术研究。