

文章编号:1005-1538(2019)02-0053-08

秦兵马俑和汉阳陵遗址保存环境之比较

李 华¹, 胡塔峰², 杜维莎¹

(1. 陶质彩绘文物保护国家文物局重点科研基地(秦始皇帝陵博物院), 陕西西安 710600;

2. 中国科学院地球环境研究所, 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西西安 710075)

摘要: 为了探索一种适宜的遗址文物保存方式, 在四季分明, 气候变化较为剧烈的西北地区的文物遗址环境区, 达到最大程度保护遗址文物的目的, 通过对开放式的秦始皇兵马俑博物馆一号坑遗址环境的建筑结构、温度和相对湿度变化及大气颗粒物进行分析监测, 并与封闭式汉阳陵博物馆外葬坑的结果进行对比研究, 发现单从环境温湿度恒定、阻挡室外颗粒污染物和气态污染物的角度来讲, 封闭式的汉阳陵博物馆存在明显的优势。但依然不能阻止温湿度的季节间波动和室外空气污染物渗入的威胁, 同时还要预防室内污染的发生, 并且出现玻璃护围内部结露, 文物大面积返碱等问题, 并不能很好解决文物良好保存和观展目的。所以依旧需要探索一种适宜的遗址文物保存方式, 既能保持文物保存环境的温湿度的相对稳定和洁净, 又能缓解全封闭玻璃护围内部结露, 文物大面积返碱等问题, 最大程度延长遗址文物的寿命的同时, 满足观众参观的需求。本对比研究结果可为今后的设计提供参考。

关键词: 遗址博物馆; 开放式; 封闭式; 保存环境

中图分类号: K878 **文献标识码:** A

0 引言

遗址博物馆是覆盖建造在遗址之上, 用以对遗址发掘、保护、展示、教育和研究为主要目的的博物馆^[1]。遗址博物馆是我国文化遗产保护最重要的组成部分。在第一批至第六批 2 352 处全国重点文物保护单位中, 遗址类型的博物馆有 100 余座^[2]。近年来国家逐步加大大型遗址的保护、开发和利用, 遗址博物馆建设呈现迅速崛起之势。

遗址博物馆按其建筑结构与周围环境的关系可分为开放式和封闭式两种。秦始皇兵马俑博物馆一号坑和汉阳陵帝陵外葬坑(图 1)分别属于两种建筑的典型代表, 两个展厅都是我国不同经济发展时期最先进的遗址展厅建筑形式: 秦俑恢弘, 展厅必须大跨度才不影响展示他们的气势, 汉俑精细, 地下博物馆玻璃围护的结构使观众近距离感受其魅力。

秦兵马俑博物馆一号俑坑属于典型的开放式遗址博物馆建筑, 于 1979 年 10 月对外开放。汉阳陵博物馆帝陵外藏坑遗址保护展示厅, 是在帝陵封土 81 座外藏坑中东面 10 个外藏坑的原址上建成的全封闭式遗址展厅, 于 2006 年 4 月建成开放, 较秦俑

博物馆一号坑开馆晚 26 年。

因遗址具有不可移动性, 不可避免会受到周边自然地理环境和人为污染的影响。在遗址保护性建筑空间中, 必然会出现“古代遗址文物本体”与“现代外部环境”的物质和能量交换, 引发遗址文物病害。

本研究旨在通过对两种博物馆建筑形式、文物病害和大气环境等问题的对比来讨论各自的利弊, 探寻遗址博物馆合适的建筑展示模式和合理的环境控制方式来做到遗址文物最佳保护的目。

1 实验与分析

1.1 实验

分别于夏季 2013 年 8 月 6 日至 8 月 19 日, 冬季 2013 年 11 月 27 日至 12 月 10 日。在秦俑博物馆一号坑内文物修复区(图 1)设置室内采样点, 所有采样及监测装置放置于距地面 1 m 的监测平台上。室外采样点位于博物馆办公区二层楼的平台上, 距 1 号坑 150 m, 距地面约 10 m 布置采样点。利用 MiniVol 便携式气溶胶采样器(Airmetrics, 美国)以 5 L·min⁻¹ 的流量收集 PM_{2.5} 样品至 47 mm 石英滤膜(Whatman, 美国)上, 每个样品持续采集

收稿日期: 2017-10-11; 修回日期: 2018-03-18

作者简介: 李 华(1978—), 女, 2015 年毕业于中国科学院大学环境科学专业, 博士, 副研究馆员, E-mail: llhh669@sohu.com

18 ~ 24 h, 采样前石英滤膜于 780 °C 加热 3 h 以去除残留碳。使用 Q-Trak7575 便携式室内空气质量监测仪(TSI, 美国)记录室内、外的温度(T)、相对湿度

(RH)。并使用 TSI9545-A 风速仪(TSI, 美国)对一号坑主门、侧门及前后廊道的风速进行检测, 来计算一号坑的自然通风量和换气率。



图 1 博物馆相对位置示意图

Fig. 1 Sketch map of the relative positions of the two museums

1.2 样品分析

$PM_{2.5}$ 的质量浓度采用重量法分析, 借助灵敏度为 $\pm 1 \mu g$ 的微电子分析天平(Sartorius Microbalance, ME5-F 型, 德国)称量采样前后的滤膜, 称重前, 采样滤膜均在恒温($20 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$)和恒湿($35 \pm 5\% RH$)箱内保存 24 h。 $PM_{2.5}$ 样品中的有机碳(OC)和元素碳(EC)浓度分析, 使用热-光碳分析仪(Atmoslytic 公司, DRI Model 2001 型, 美国)测定, 采用 IMPROVE A 分析协议中规定的热光反射法(TOR)获得样品中 OC 和 EC 的质量浓度。

2 文物保存环境对比

2.1 博物馆地理位置及周边环境

秦兵马俑博物馆和汉阳陵博物馆均位于陕西省西安市郊。秦兵马俑博物馆位于西安市东郊临潼区, 距西安市约 40 km。汉阳陵博物馆位于西安市北郊渭河北岸五陵塬的二阶台地上, 距西安市区中心 20 km。秦兵马俑博物馆西北有陇海铁路、西临高速、西潼高速以及兵马俑专用高速公路等, 西南是西安市东郊工业区, 有灞河热电厂、缝纫机厂、纺织工业。汉阳陵博物馆旁边有机场公路, 西铜高速, 西南 2 km 处为大唐渭河发电厂。两者皆为典型的城

市郊区环境, 直线距离 42.5 km, 地处暖温带半湿润半干旱大陆性气候, 年内温湿度变化显著, 周边均有明显污染源, 所处环境较为类似。

2.2 建筑形式对比

秦兵马俑一号坑总面积达 $14\,260 \text{ m}^2$, 以拱形玻璃钢架结构保护大厅; 大厅顶部中间有 180 m 长的采光带, 遗址与游客通道之间用 1 m 高的铁栏杆阻挡, 南北两侧各有三个侧门, 东面一个正门, 开馆期间七个门全部开启。汉阳陵帝陵外藏坑保护展示厅为一个整体封闭空间, 建筑面积近 $8\,000 \text{ m}^2$, 使用 U 形玻璃横跨在俑坑之上, 将文物和游客分隔在两个不同的环境中。整个玻璃展示厅有一个约 2.5 m^2 的玻璃门, 备工作人员日常清洁检修, 顶部覆土植草。

相比较汉阳陵外藏坑, 一号坑遗址建筑面积较大, 保护大厅除做到避雨和一定程度的遮阳外, 遗址和外界环境几乎处于完全联通的状态, 游客和遗址文物完全置于同一个空间, 建筑年代相对比较久远。

2.3 自然通风量比较

一号坑面积较大, 且自然通风, 使用示踪气体浓度衰减法不能实现示踪气体的均匀分布, 所以用风压估算^[3-7]。由于兵马俑一号厅属于自然通风建

筑,室内外温度差较小,忽略热压作用,使用下式计算体积流量。

体积流量：
$$L=\mu F\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

因风压差：
$$\Delta P=(K_f-K_b)\frac{v_w^2}{2}\rho_w$$

所以，
$$L=\mu Fv_w\sqrt{K_f-K_b}$$

式中, F 为开口面积, m^2 ; v 为空气流过开口的速度, m/s ; 流量系数 μ 及风压差系数 K 按照门窗流量系数表和长方形建筑风压系数^[8]要求取值(表 1)。测得兵马俑一号坑的自然通风量如表 2。一号坑总自然通风量 L 介于 $14.38 \sim 47.13 \text{ m}^3/\text{s}$ 之间,算得换气次数,ACH 指数在 $0.15 \sim 0.48 \text{ h}^{-1}$ 范围之内。而 2009 年采用示踪气体衰减法测定汉阳陵帝陵外葬坑玻璃围护内、外空气交换的 ACH 指数为 0.04 h^{-1} ^[9]。换算为系统通风量 $L=0.22 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

两者通风率比较发现兵马俑一号坑为汉阳陵帝陵外葬坑的 3.7 ~ 11.9 倍,通风量一号坑为帝陵外葬坑的 65.36 ~ 214.23 倍。显示秦兵马俑一号坑大

气与室外环境大气交换频繁,大气环境质量受室外环境影响明显。而帝陵外葬坑采用这种整体封闭的展示模式使得文物保存环境较为密闭独立,受室外环境干扰较小。

表 1 门窗流量系数^[8]长方形建筑风压系数表

门窗流量系数表			
项目	开度		
	90°	45°	0°
单扇门	0.75	0.45	0.34
双扇门	0.78	0.50	0.31
普通玻璃窗	—	—	0.15
竖向楼梯间	0.51	—	—

长方形建筑风压系数		
建筑方位	垂直	偏斜
迎风面 K_f	0.95	0.7
侧面	-0.40	—
背风面 K_b	-0.15	-0.5

表 2 兵马俑一号坑自然通风量

Table 2 Ventilation rate of Pit No. 1 in the Terracotta Museum					
建筑方位	尺寸/m	开窗面积 $F/\text{m} \times \text{m}$	形制	数量	通风量 $L/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
主入口	高 2.3, 宽 1.5	2.3×1.5	双扇	2	$7.34 \sim 15.8$
侧门	高 1.8, 宽 0.8	1.8×0.8	单扇	6	$2.7 \sim 10.2$
窗	高 2.4, 宽 3.6	1.2×1.2	—	95	$6.34 \sim 21.13$
总自然通风量					$14.38 \sim 47.13$

2.4 温湿度对比

1) 温湿度变化趋势对比。温湿度是促进文物发生化学和生物腐蚀的重要因子,温湿度波动是文物产生物理风化的主要原因。

将汉阳陵外葬坑^[10]和秦兵马俑一号坑冬夏季温湿度观测结果^[11]进行比较显示(图 2),汉阳陵遗址厅内的温湿度在同一季节内基本保持恒定,同一季节温湿度只有细微的变化,季节之间存在一定幅度的波动。保持在冬季温度 $13.5 \sim 14.8 \text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度 $73.3\% \sim 76.5\%$,夏季温度 $24.5 \sim 25.9 \text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度 $73.0\% \sim 82.2\%$ 。汉阳陵外葬坑遗址区内与游客通道的温度和相对湿度差异明显,相对湿度比遗址区低 20% ~ 55%,游客通道的温湿度波动相对较大。已有研究表明,遗址区与室外的温湿度差异较遗址区与游客通道更为显著^[11]。表明玻璃围护的存在对维持遗址区内微环境的季节内稳定有一定作用,对保持环境温湿度的相对恒定有较为明显的作用。可见展示区顶部覆土植草,玻璃分隔模式有

效缓冲了外界大气环境温度的骤变。

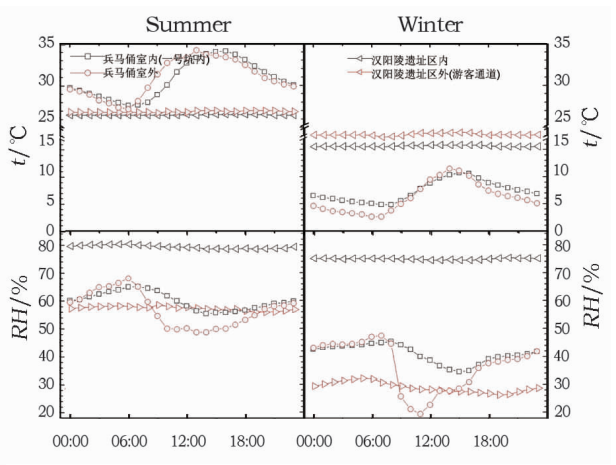


图 2 兵马俑和汉阳陵遗址内外的日均温湿度滑动平均值变化对比

Fig. 2 Changes of temperature and humidity inside and outside Pit No. 1 in the Terracotta Museum and the burial pit in Han Yangling Museum in summer and winter

而对秦兵马俑一号坑和馆外温度及湿度对比(图 2)可以看出,一号坑保持在冬季温度 2.8~13.6℃,相对湿度 20.0%~57.6%,夏季温度 23.2~37.5℃,相对湿度 43.0%~78.5%。表现出明显的日间波动和剧烈的季节波动,冬夏季温度波动达 23.4℃,湿度波动达 43.5%。一号坑和馆外温度近乎呈现同步变化,而湿度也有随室外变化而变化的趋势,一号坑保护大厅对俑坑温湿度的恒定作用不显著。

对比汉阳陵和兵马俑两种遗址保存环境发现秦兵马俑一号坑环境温度夏季高于帝陵外葬坑,冬季低于帝陵外葬坑,相对湿度远低于帝陵外葬坑。温湿度的波动较帝陵外葬坑剧烈。且由于其开馆较早,并且为开放模式,致使其开馆后在较短的时期内湿度迅速下降^[12]。可见封闭的帝陵外葬坑环境对文物保存空间的温湿度恒定起到良好的作用。

2) 温湿度波动幅度对比。图 3 给出了汉阳陵外葬坑和秦兵马俑一号坑馆内夏冬两季的温度和相对湿度的日较差图。采样期间汉阳陵外葬坑冬夏季室内的温湿度基本恒定不变,遗址厅内夏季的温度日较差平均为 0.4℃,湿度日较差几乎为 0,冬季遗址厅内日较差平均为 0.5℃,湿度日较差平均为 2.8%。可见汉阳陵外葬坑展厅的恒温恒湿效果较好,受到室外气温和人为活动的影响较小。均小于文物保存普遍要求的温湿度波动下限值温度 2℃和湿度 3%^[13]。秦兵马俑一号坑夏季温度日较差月均值 5.4℃左右,湿度日较差为 9.2%,冬季坑内温度日较差为 3.5℃,湿度日较差为 8.0%。显示较为开放的一号坑展示环境导致温度的大幅波动。秦兵马俑一号坑温度日较差冬季为汉阳陵外葬坑的 11 倍,夏

季 13.5 倍;湿度日较差冬季为汉阳陵外葬坑的 2.9 倍,夏季远大于 3 倍以上。监测结果显示秦俑一号坑的温度和相对湿度波动远大于封闭的帝陵外葬坑,表明开放的环境受室外环境温湿度变化影响明显。

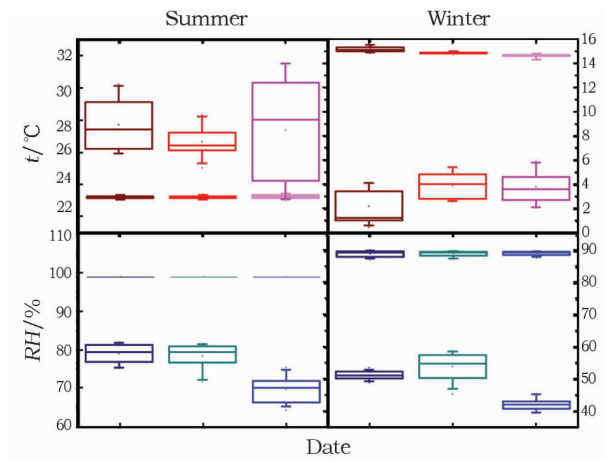


图 3 汉阳陵外葬坑和兵马俑一号坑内冬夏季温(ΔT)湿(ΔRH)度日较差图

Fig. 3 Diurnal temperature and humidity ranges of Pit No. 1 in the Terracotta Museum and the burial pit in Han Yangling Museum in summer and winter

3) 与博物馆环境标准的比较。表 3 给出了现有的一些博物馆和室内环境温湿度标准(或推荐值)。可见,兵马俑博物馆一号坑这种相对开放环境的温湿度变化与波动都存在高于标准和推荐值以及相关博物馆的观测值的情形,而全封闭的汉阳陵外葬坑环境对温湿度的恒定调控起到很好的作用。在没有人工调控措施的情况下,接近国际博物馆环境控制要求,甚至优于某些室内空气质量标准。

表 3 博物馆温湿度环境标准(推荐值)

Table 3 Environmental standards for temperature and humidity of museums (recommended values)			
数据提供者	温度/℃	相对湿度/%	参考
兵马俑博物馆一号坑	2.8 ~ 13.6(冬)	20.0 ~ 57.6(冬)	[10]
	23.2 ~ 37.5(夏)	43.0 ~ 78.5(夏)	
汉阳陵博物馆外葬坑	13.5 ~ 14.8(冬)	73.3 ~ 76.5(冬)	[11]
	24.5 ~ 25.9(夏)	73.0 ~ 82.2(夏)	
博物馆室内环境标准	15 ~ 25(ΔT = 2 ~ 5)	45 ~ 60(ΔRH = 3 ~ 5)	张志军, 1998 ^[13]
	20	40 ~ 45	Thomson, 1986 ^[14]
	20 ~ 25	40 ~ 70(有机物)	Erhardt, 1994 ^[15]
		<45(金属)	
	22 ~ 28(夏季)	40 ~ 80(夏季)	GB/T 1883—2002
	16 ~ 24(冬季)	30 ~ 60(冬季)	Indoor Air Quality ^[16]
	18 ~ 22		ASHRAE ^[17]
	20 ~ 25	40 ~ 70	HKIAQ ^[18]

2.5 污染物的浓度水平

1) 秦俑一号坑与汉阳陵帝陵外葬坑 PM_{2.5} 浓度水平。PM_{2.5} 是一种重要的大气颗粒物污染物,会对文物造成物理污损和化学腐蚀破坏。

图 4 给出了汉阳陵帝陵外葬坑^[19]与兵马俑冬夏季室内外大气中细粒子 PM_{2.5} 质量浓度及室内外 I/O 比的时间变化序列。

夏季兵马俑一号坑 PM_{2.5} 质量浓度日均值变化范围为:31.0 ~ 100.0 μg/m³, 平均值 65.7 ± 17.0 μg/m³, 遗址区与馆外的 I/O 比值为 0.82 ~ 1.45, 俑坑略低于室外; 冬季兵马俑一号坑 PM_{2.5} 质量浓度日均值变化范围为:38.6 ~ 207.2 μg/m³, 均值 98.6 ± 58.5 μg/m³, 遗址区与馆外的 I/O 比值为 0.88 ~ 1.59。汉阳陵遗址区夏季 PM_{2.5} 质量浓度日均值变化范围为:11.5 ~ 26.3 μg/m³, 平均值 18.4 ± 4.6 μg/m³, 遗址区与游客通道的 I/O 比值为 0.40 ~ 0.82, 遗址区浓度低于游客通道, 变化趋势较为一致。汉阳陵遗址区冬季 PM_{2.5} 质量浓度变化范围为:15.3 ~ 89.8 μg/m³, 均值 28.0 ± 18.9 μg/m³, 遗址区与游客通道的 I/O 比值为 0.32 ~ 1.54。仅有一天, I/O 比值大于 1, 为冬

季监测期的第二天(2013. 12. 26), 这与重度污染事件期间颗粒物的室外渗入速率和玻璃护围内外沉降速率差异有关。夏季汉阳陵外葬坑室内外质量浓度的 I/O 比值的平均值夏季为 0.13 ± 0.59, 冬季为 0.62 ± 0.32。之前的研究表明, 遗址区与馆外的 I/O 比值冬夏季平均为 0.33^[20], 明显小于 1, 遗址区浓度远低于馆外, 显示遗址区颗粒物明显的室外源。冬夏季兵马俑 1 号坑 PM_{2.5} 质量浓度的 I/O 比值平均值分别为, 冬季 1.07 ± 0.16, 夏季 1.04 ± 0.19, 均略大于 1, 较之前的研究结果 0.80^[21] 更大, 表明兵马俑博物馆开放的建筑模式使室内颗粒物的浓度主要受室外渗入控制, 并且随着建筑的逐渐老旧, 渗入影响愈加强烈, 而且兵马俑 1 号坑, 游客和遗址几乎处在同一个区域, 还受游客活动影响, 而汉阳陵属于地下建筑, 且有全封闭玻璃围护阻隔游客区和遗址区, I/O 比值的差异反映了建筑形式对于颗粒态污染物质量浓度的影响。而室内外 PM_{2.5} 的变化趋势两种环境下均趋于一致, 表明两种环境下室内颗粒物在一定程度上均受室外渗入的影响, 而兵马俑一号坑和室外 PM_{2.5} 的时间变化序列同步性更好, I/O 比值更接近与 1。

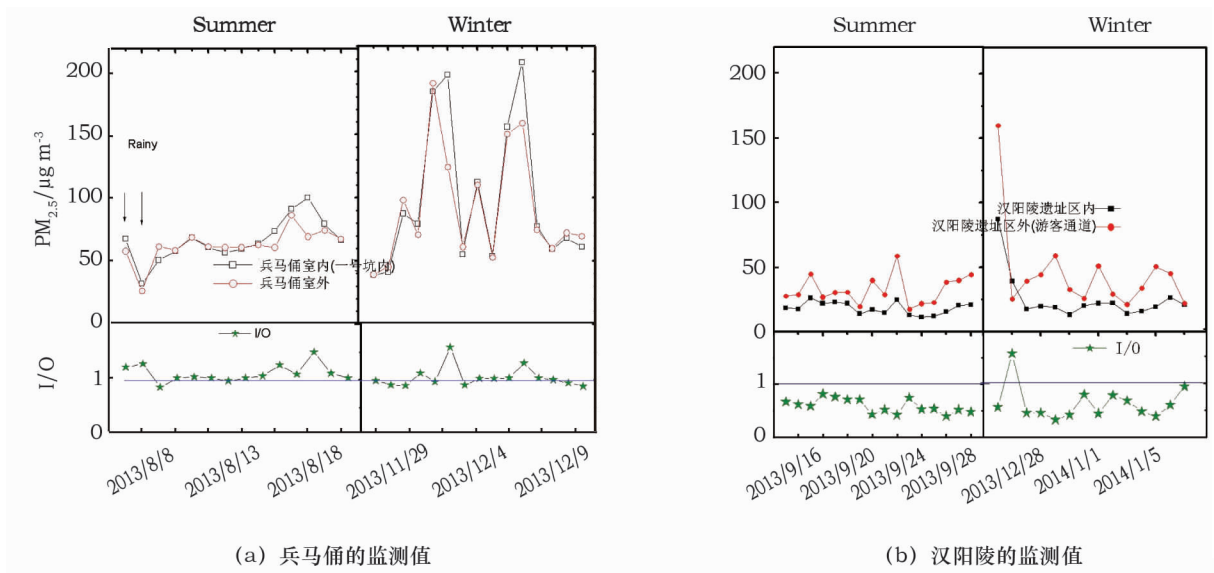


图 4 PM_{2.5} 日均质量浓度及 I/O 比时间序列
Fig. 4 Average daily mass concentration and I/O ratio of PM_{2.5}

2) 与其他环境标准及博物馆环境比较。表 3 为汉阳陵、兵马俑馆与欧美一些博物馆的监测结果及 USEPA2007 和 ASHRAE 62 - 2001 标准的比较。可以看出, 兵马俑一号坑坑内的颗粒污染物较欧美博物馆均高, 尤其是冬季, 高出 50% 以上, 夏季较国家空气质量二级标准低, 冬季较国家空气质量

二级标准高, 冬夏季均高于 ASHRAE 标准, 远高于 USEPA 标准。而汉阳陵外葬坑遗址厅内的颗粒物污染较为轻微, 与国外的博物馆水平相当。远低于国家空气质量标准及 ASHRAE 标准。表明汉阳陵这种馆藏形式对于阻挡室外颗粒物向室内的渗透作用显著。

表 4 各个博物馆室内 PM_{2.5}质量日均浓度与大气环境标准及其它博物馆研究的比较

Table 4 Average daily mass concentrations of indoor PM_{2.5} in various museums and from atmospheric environmental standards and studies of other museums

数据提供者	地点	研究时间	日均质量浓度/($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	参考
汉阳陵博物馆	遗址厅	2013. 9	18.4 ± 4.6	实测
		2013. 12 ~ 2014. 1	28.0 ± 18.9	
兵马俑博物馆	一号坑	2013. 8	65.7 ± 17.0	实测
		2013. 12	98.6 ± 58.5	
USEPA 标准			35	USEPA, 2007 ^[22]
ASHRAE 标准			65	ASHRAE
				62 ~ 2001 ^[17]
国家二级空气质量标准			75	GB 3095—2012 ^[23]
Archaeological Museum of Thessaloniki	Greece	1999. 4 ~ 1999. 6	40.5	Mouratidou, 2004 ^[24]
Royal Museum of Fine Arts	Antwerp	1999. 2	2 ~ 5	Gysels K., 2002 ^[25]
J. Paul Getty Museum	California	1987. 7 ~ 1987. 8	15	Nazaroff, 1993 ^[26]
Sepulveda House		1987. 11 ~ 1988. 1	21	
		1987. 7 ~ 1987. 8	30	
		1987. 11 ~ 1988. 1	62	
Asinou Church	Cyprus	1997. 4 ~ 1998. 1	16.9	Salmon ^[27]

3) 秦俑一号坑与汉阳陵帝陵外葬坑污染气体浓度水平。对比 2006 ~ 2007 年测得的秦俑一号坑及汉阳陵外葬坑室内外污染气体 SO₂ 及 NO_x 的浓度水平及室内外浓度比率(I/O)(表 5)发现, 两处冬夏季室外大气中两种污染气体的浓度水平均相当, 汉阳陵略高于兵马俑, 约为秦俑 SO₂ 的 1.5 ~ 2.6 倍, 约为秦俑 NO_x 的 1.6 ~ 2.4 倍; 而室内两处的浓度差距甚远, 夏季汉阳陵 SO₂ 浓度不及秦俑的 1/5, 冬季约为秦俑的 1/9, 夏季汉阳陵 NO_x 浓度约为秦俑的 1/100, 冬季约为秦俑的 1/9。冬夏季汉阳陵室内 SO₂ 的浓度均处于 3 ~ 5 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, NO_x 浓度更低, 为 0.2 和 1.41 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 低于国际文物组织制定的二氧化硫和 NO_x 浓度标准(10 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), 而秦俑室内浓度均高于上述标准(10 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)。

两处室内外的污染气体的浓度比率相差较大, 冬夏季汉阳陵室内外的 I/O 比介于 0.01 ~ 0.12, 兵马俑室内外的 I/O 比介于 0.74 ~ 1.18, 汉阳陵室内外的 I/O 比远小于秦俑的, 秦俑约为汉阳陵的 6 ~ 118 倍。可见汉阳陵玻璃护围的建筑模式有效地阻隔了污染气体从室外的渗入。很大程度上预防了室外污染气体对文物的侵蚀破坏。而 NH₃ 的室内外浓度比, 汉阳陵为 1.43 和 1.65, 秦俑为 0.86 和 1.09, 汉阳陵大于秦俑, 由于 NH₃ 一般为人为源, 由室内工作人员或游客产生, 表明汉阳陵这种玻璃护围模式在阻挡室外气体污染物入侵的同时, 也阻碍了室内污染气体的散逸, 所以这种封闭的展示模式尤其要预防室内污染的发生。

表 5 秦俑一号坑及汉阳陵外葬坑中污染气体浓度水平

Table 5 Concentration levels of SO₂, NO_x, NH₃ of Pit No. 1 in the Terracotta Museum and the burial pit in Han Yangling Museum

测量地	季节		Indoor/($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	Outdoor/($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	I/O
汉阳陵外葬坑	夏季	SO ₂	3.56 ± 0.29	30.94 ± 17.67	0.12
		NO _x	1.41 ± 0.28	25.12 ± 7.52	0.06
	冬季	SO ₂	4.51 ± 5.74	147.03 ± 71.16	0.03
		NO _x	0.23 ± 0.47	46.81 ± 13.60	0.01
秦俑一号坑	夏季	SO ₂	19.57 ± 6.14	20.11 ± 6.40	0.97
		NO _x	12.51 ± 3.15	10.56 ± 3.05	1.18
	冬季	SO ₂	42.16 ± 5.57	57.18 ± 8.78	0.74
		NO _x	23.72 ± 6.45	29.32 ± 8.65	0.81

3 结 论

秦始皇兵马俑博物馆、汉阳陵博物馆,为不同历史时期展陈建筑的典范,各有特色。秦俑恢弘,大跨度的展厅和开放式的展陈让人瞬间领略秦帝国的强大;汉俑精细,地下博物馆展示使观众近距离感受其内涵。在建设初期对遗址文物的保护起到一定的作用,但由于建筑年代不同,通风条件和建筑形式差异显著。汉阳陵外葬坑全封闭的建筑在温湿度恒定,阻挡室外颗粒污染物和气态污染物方面也存在明显的优势,显著降低了游客和外界环境对遗址文物的干扰、影响和破坏程度。但却出现玻璃内部结露,文物大面积返碱等问题,并且不能完全隔绝室外环境温湿度和污染物的影响。依旧不能很好地解决文物良好保存的目的。总体来讲,在这种大气污染较重,四季分明,气候变化较为剧烈的西北地区,相对而言封闭式展示模式更加有利于维持遗址及文物保存环境的温湿度稳定和洁净。

即便全封闭的汉阳陵外葬坑保护模式依然不能完全阻止室内外空气交换,遗址区温湿度依然存在较大的季节间波动,温度冬夏季季节均值之差:11.9℃,相对湿度季节均值之差:5.7%。同秦俑一样,也面临微环境条件波动和室外空气污染物渗入的威胁。同时还要预防室内污染的发生。

由于遗址环境是一个复杂的多项体系,是一种动态体系,每一处遗址文物具体所处的环境各不相同,本身的遗址规模,埋藏文物类型等特征也不尽相同,所以要求综合各种因素结合遗址各自的特点设计一种介于开放和封闭模式之间的建筑形式,通过增加多重缓冲体系,从而既能保持文物保存环境的温湿度的相对稳定和洁净,又能缓解全封闭玻璃护围内部结露,文物大面积返碱等问题,来应对遗址文物的预防性保护需求,最大程度地延长遗址文物的寿命。

参考文献:

- [1] 吴永琪. 遗址博物馆学概论[M]. 西安:陕西人民出版社,1999.
WU Yongqi. Introduction Relic's Museology[M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House,1999.
- [2] 徐婧. 基于考古遗址保护与展示的国内遗址博物馆案例调查研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2014.
XU Jing. Cases study of heritage site museum based on conservation and interpretation[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology,2014.
- [3] 孙一坚. 工业通风[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002:178-187.
SUN Yijian. Industrial Ventilation[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2002:178-187.
- [4] 茅清希. 工业通风[M]. 上海:同济大学出版社,2001:290-294.
MAO Qingxi. Industrial Ventilation[M]. Shanghai: Tongji University Press,2001:290-294.
- [5] 彭小勇. 自然通风计算方法和计算参数的应用研究[J]. 暖通空调,2000,30(6):27-29.
PENG Xiaoyong. Calculation method and design parameters of natural ventilation[J]. HV&AC,2000,30(6):27-29.
- [6] 龚光彩,李红详,李玉国. 自然通风的应用与研究[J]. 建筑热能通风空调,2003(4):4-20.
GONG Guangcai, LI Hongxiang, LI Yuguo. Indoor air quality analysis and measurements of big complex commercial centers[J]. Building Energy & Environment,2003(4):4-20.
- [7] 段双平,张国强,彭建国,等. 自然通风技术研究进展[J]. 暖通空调,2004,34(3):22-28.
DUAN Shuangping, ZHANG Guoqiang, PENG Jianguo, et al. Development in research of natural ventilation[J]. HV&AC,2004,34(3):22-28.
- [8] 周军莉,张国强,许艳,等. 自然通风开口流量系数影响因素探讨[J]. 暖通空调,2006,36(12):42-45.
ZHOU Junli, ZHANG Guoqiang, XU Yan, et al. Discussion on influencing factors of opening discharge coefficient in natural ventilation[J]. HV&AC,2006,36(12):42-45.
- [9] 李库. 汉阳陵地下博物馆遗址区域环境状况调查[J]. 文博,2013(2):88-91.
LI Ku. Environment condition survey of inside the Display Hall of Burial Pits at the Hanyangling Museum[J]. Relics and Museology,2013(2):88-91.
- [10] 杨雅媚. 汉阳陵地下博物馆空气质量状况及其对文物的影响[M]. 西安:中国科学院地球环境研究所,2009.
YANG Yamei. Air quality inside the display hall of burial pits at the Hanyangling Museum and its influence to historical relics[M]. Xi'an: Institute of Earth Environment, CAS,2009.
- [11] 姚雪. 汉阳陵外藏坑遗址热湿环境时空分布特征及影响因素研究[M]. 西安:西北大学,2011.
YAO Xue. Study on thermal environment time-space distributed characteristics and influencing factors of Yang Mausoleum of Han Dynasty in Shannxi[M]. Xi'an: North West University,2011.
- [12] 董俊刚. 秦始皇兵马俑博物馆室内空气溶胶理化特征与来源解析[D]. 北京:中国科学院地球环境研究所,2007.
DONG Jungang. The physical and chemical characteristics and source appointment of indoor aerosols at Emperor Qin's Terracotta Museum[D]. Beijing: Institute of Earth Environment, CAS,2007.
- [13] 张志军. 秦始皇兵马俑保护研究[M]. 西安:陕西人民教育出版社,1998.
ZHANG Zhijun. Study on environmental quality of Emperor Qin's Terra-Cotta Museum[M]. Xi'an: Shaanxi People Press,1998.
- [14] THOMSON. The museum environment[M]//Association with the International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London: Butterworths,1986.
- [15] DAVID E, MARION M. Relative humidity re-examined[J]. Studies in Conservation,1994,39:32-38.
- [16] 卫生部和国家环境保护总局. 室内空气质量标准: GB/T

- 18883—2002[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- Ministry of Health and State Environmental Protection Administration. Indoor air quality standard; GB/T 18883—2002[S]. Beijing: Standards Press of China,2002.
- [17] The American Society of Heating. Refrigerating and air – conditioning engineers. Ventilation for acceptable indoor air quality[Z]. ASHRAE Handbook – HVAC Applications. ASHRAE special Publications and in ASHRAE Transactions.
- [18] Hong Kong Environmental Protection Association. Hong Kong indoor air quality management group standards[S]. Hong Kong: Hong Kong Air quality Management Group, 1999.
- [19] 贾文婷,胡塔峰,曹军骥,等. 汉阳陵帝陵外藏坑保护展示厅遗址区的微环境及气溶胶理化特征[J]. 地球环境学报,2015(5):1–10.
- JIA Wenting, HU Tafeng, CAO Junji, *et al.* Characterization of microclimate and aerosol inside the Display Hall of Burial Pits at the Hanyangling Museum[J]. Journal of Earth Environment,2015(5):1–10.
- [20] LI Hua, HU Tafeng, JIA Wenting, *et al.* Evaluation of policy influence on long – term indoor air quality in Emperor Qin’s Terra – Cotta Museum, China[J]. Atmosphere,2015(6): 474–489.
- [21] CAO J J, RONG B, LEE S C, *et al.* Composition of indoor aerosols at Emperor Qin’s Terra – cotta Museum, Xi’an, China, during summer, 2004[J]. China Particuol,2005,3:170–175.
- [22] Fine particulate source apportionment using data from the USEPA speciation trends network in Chicago, Illinois: comparison of two source apportionment models MJ Rizzo, PA Scheff – Atmospheric Environment,2007.
- [23] 国家环境保护局科技标准司. 环境空气质量标准:GB 3095—2012[S]. 北京:中国环境出版社,2012.
- National Environmental Protection Agency. Science and technology standards division. Environment air quality standard; GB 3095—2012[S]. Beijing: China Environmental Science Press,2012.
- [24] MOURATIDOU T, SAMARA C. PM_{2.5} and associated ionic component concentrations inside the archaeological museum of Thessaloniki, N. Greece[J]. Atmospheric Environment, 2004(38):4593–4598.
- [25] GYSELS K, DEUTSCH F, GRIEKEN R V. Characterisation of particulate matter in the Royal Museum of Fine Arts, Antwerp, Belgium[J]. Atmosphere Environment,2002,36:4103–4113.
- [26] NAZAROFF W W, LIGOCKI M P, SALMON L G, *et al.* Airborne particles in museums. Research in Conservation No. 6. Marina del Rey[M]. The Getty Conservation Institute, 1993: 38–41,91–103.
- [27] SOLOMON P A, FALL T, SALMON L, *et al.* Chemical characteristics of PM10 aerosols collected in the Los Angeles area[J]. Japca – the Journal of the Air & Waste Management Association,1989,39(2):154–163.

Comparison of site environments of Emperor Qin’s Terracotta Warriors and Horses Museum and Han Yangling Museum

LI Hua¹, HU Tafeng², Du Weisha¹

(1. Key Scientific Research Base of Ancient Polychrome Pottery Conservation (Emperor Qinshihuang’s Mausoleum Site Museum), SACH, Xi’an 710600, China;

2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi’an 710075, China)

Abstract: In order to better preserve cultural relics in the environment of the northwest region where the seasons are distinct and climate changes are sometimes drastic, we investigated the architectural design, ventilation, presence of aerosols and conservation environment of Pit No. 1 in the open Emperor Qin’s Terracotta Museum, and then compared these factors with those of the enclosed Han Yangling Museum. It was found that the completely enclosed building of Han Yangling Mausoleum has relatively constant temperature and humidity, and the obvious advantage of blocking outdoor pollutants; however, it still does not entirely stop the seasonal fluctuations of temperature and humidity as well as infiltration of outdoor air pollutants. Furthermore, the occurrence of indoor pollution, moisture condensation inside glass enclosures and the appearance of alkali on large areas of cultural relics have to be prevented as well. Therefore, suitable ways still need to be explored to preserve cultural relics of site areas, not only maintaining the relative stability of temperature and humidity, and cleanliness of the preservation environment of the cultural relics, but also alleviating the common issues of enclosed buildings mentioned above, so as to prolong as much as possible the life of ruins and cultural relics, and to meet the demands of visitors.

Key words: On – site museum; Open – mode; Enclosed – mode; Preservation environment

(责任编辑 潘小伦)