

文章编号:1005-1538(2021)02-0092-06
DOI: 10.16334/j.cnki.cn31-1652/k.20180801262

气密展储空间内温湿度稳定性分析 ——以秦始皇帝陵博物院内气密展柜为例

郭晓光¹, 马生涛², 周华华¹, 张爱华¹

(1. 天津森林科技股份有限公司, 天津 300402; 2. 秦始皇帝陵博物院, 陕西西安 710600)

摘要: 温湿度是影响文物保存的重要因素。为了研究气密展储空间内温湿度的变化情况, 为文物的长期“稳定”展储奠定理论与实践基础, 对秦始皇帝陵博物院内一台气密展柜7个月的温湿度检测数据进行分析。结果表明: 展柜内温度随外界温度波动而波动, 湿度稳定性取决于展柜气密性与展柜内外相对湿度差值, 良好的气密性可以有效减缓外部环境湿度波动对展柜内湿度的干扰; 气密空间内湿度短期内波动主要受环境温度影响。

关键词: 相对湿度; 温度; 展柜; 文物保护

中图分类号: K854.3; G26 **文献标识码:** A

0 引言

做好文物预防性保护工作, 关键在于控制好文物的保存环境。影响文物保存的因素很多, 比如温度、湿度、氧含量、光照等; 其中, 温湿度是重要影响因素之一。例如木漆器, 存放环境相对湿度过低, 会造成器物的干裂和变形; 相对湿度过高则造成腐朽和虫害霉变等。湿度频繁变化, 会加速石质、金属等类型文物的老化。温度变化则会引起文物的热胀冷缩, 温度升高会加快老化速度, 加速微生物对文物(尤其是有机质文物)的腐蚀^[2]。保持文物保存环境中温湿度的稳定性对保护文物安全非常重要, 其关键是降低温湿度波动, 我国推荐的温度日波动小于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 相对湿度日波动幅度应小于 5% ^[3]。

文物展储空间良好的气密性能够有效减缓外界环境温湿度对文物展储空间内温湿度的影响, 长期维持空间内环境湿度的稳定性, 增强湿度的可控性, 有利于文物的长期预防性保护与储藏^[4-5]。为此, 秦始皇帝陵博物院利用气密展柜, 在非调控状态下, 对气密空间内外的温湿度进行了7个月的实时检测。本工作旨在研究气密展储空间内温湿度的变化情况, 为文物的长期“稳定”展储奠定理论与实践基础。

1 仪器与试验

气密展柜(CDZG-0.3LW型), 换气率为 0.02 d^{-1} , 天津森罗科技股份有限公司生产。Testo175H1温湿度记录仪两个, 展柜内外各放一个, 精度等级为: 温度 $\pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-20\sim+55\text{ }^{\circ}\text{C}$), 相对湿度 $\pm 2\%$ ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$), 数据均为瞬时值, 采样间隔为 10 min 。

将展柜置于秦始皇帝陵博物院的半地下库房, 温湿度监测从2017年3月30日开始, 至2017年10月26日截止, 中间未对展柜进行任何操作或移动。

2 结果与讨论

2.1 从不同的季节看密封展柜内温湿度的变化

秦始皇帝陵博物院位于西安市, 该市属暖温带半湿润大陆性季风气候, 四季分明: 春季温暖干燥; 夏季炎热多雨; 秋季凉爽, 气温速降, 秋淋明显; 冬季寒冷, 少雨雪。试验展柜的温湿度监测历经春夏秋冬3个季节, 用时将近7个月。在不同的季节, 密封展柜内外的湿度呈现出不同的变化规律, 为了便于分析博物馆不同展陈环境条件下密封展柜内的温湿度变化, 特选取4个有代表性的月份对展柜内外的温湿度数据进行汇总画图, 详见图1~5。

收稿日期: 2018-08-10; 修回日期: 2020-04-28

作者简介: 郭晓光(1952—), 男, 1977年本科毕业于东南大学自动控制专业, 正高级工程师, 2016年取得南开大学EMBA硕士, E-mail: zhh@cnrotech.com



注:四月上旬温度下降有博物馆停止供暖因素

图1 四月份展柜内外温湿度比较

Fig.1 Comparison of internal and external humiture in April

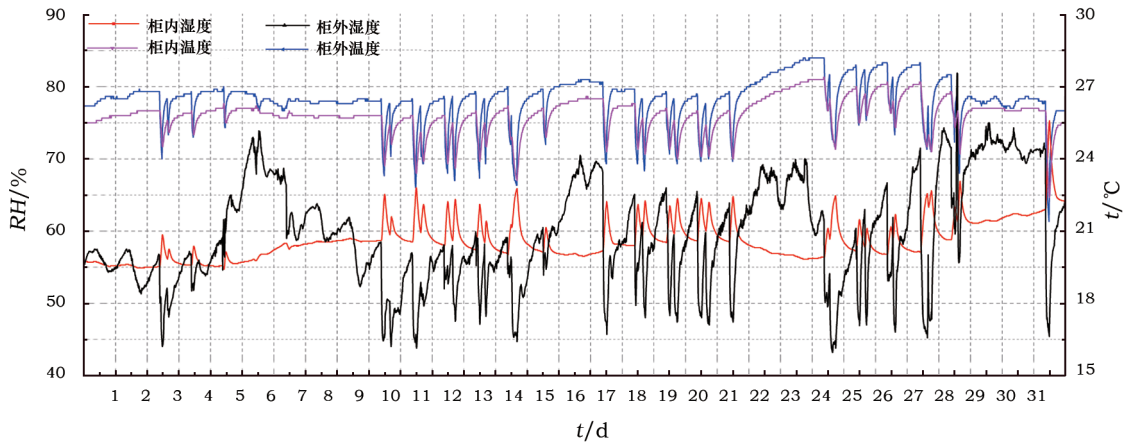


图2 七月份展柜内外温湿度比较

Fig.2 Comparison of internal and external humiture in July

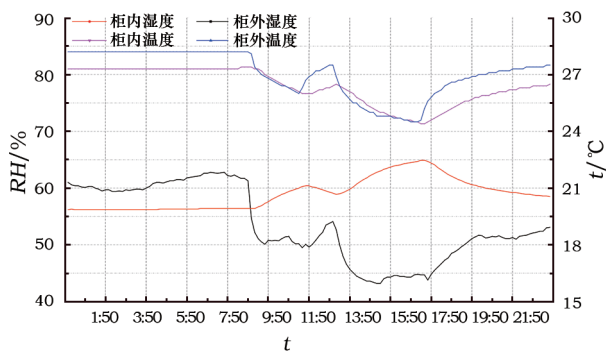


图3 2017年7月23日(周一)展柜内外温湿度比较

Fig.3 Comparison of internal and external humiture on July 23, 2017 (Monday)

四月份正值春季,温度和湿度变化幅度均比较大,如图1所示。西安春季空气较为干燥,有时会出现湿度极低的情况,如第20日,柜外环境相对

湿度由50%降至23%,如此剧烈的湿度变化对文物的保存是极为不利的。对比柜外湿度的剧烈波动柜内湿度稳定得多,当日柜内湿度维持在53%左右,波动幅度低于1%。四月份柜外环境湿度波动范围是22.8%~70.2%;柜内湿度波动范围47.6%~56.7%,日变化在5%以内。可见密封空间能够有效降低外界环境湿度的干扰,保持柜内湿度稳定性。

气密展柜内外湿度差距较大(例如图1中第20天和第24天),与柜内外湿度变化的影响因素密切相关。气密展柜与外界库房的气体交换缓慢,内部的相对湿度波动主要由温度波动引起,随库房内的温度变化而出现反向波动,在库房温度变化不大的情况下,相对湿度变化不会很大。柜外环境湿度则不同,不仅受温度的影响,还受自然界中水分蒸发、空气对流的影响,空气湿度常常出现大幅波动,因此

展柜内外湿度偏差较大。通过对比,进一步证实气密围护结构能有效减缓外界环境温湿度对内部湿度的影响。

图 2 反映的是夏季展柜内外的温湿度变化情况,可以看到展柜内外的温度和湿度出现周期性的剧烈波动。这是由于展柜所在库房配置空调,炎热的夏季该库房通过人工开启和关闭空调控制温湿度,下午闭馆后空调处于关闭状态,图 3 是第 24 天(即 2017 年 7 月 23 日,星期一)的温湿度变化,从图中可以看出工作人员上班期间(9:00 ~ 17:30)展柜外库房温度出现两次明显下降,在该段时间内,库房的湿度与温度有相同的变化趋势,即随着室内空调的开启,温度、湿度均明显下降,而展柜内温度与外部环境变化趋势一致,但是柜内湿度与柜外变化不同,与温度呈反向变化。库房内气温日变化最大 5.0 °C,相对湿度最大日变化为 29.1%;展柜内部温度日变化最大 3.7 °C,相对湿度日变化最大 9.2%。

可见空调昼夜间歇运行情况下,库房内温湿度波动频繁,日变化值比较大,密封展柜可以起到一定缓冲作用,但是由于温度波动较大,湿度波动也比较明显。

文物在某一温度下有一缓慢适应过程,温度的频繁波动,会使文物频繁热胀冷缩而引起疲劳老化,温度的波动还会引起湿度波动,不利于文物的保存^[6]。根据图中的波动周期可以看出,在周末非温度调控时间段内,库房内的温度变化较为平稳,展柜内的温度和湿度均是比较稳定的。

从图 4 可以看出,九月份虽然柜外湿度波动范围较大,但由于温度波动不大,柜内湿度变化很小。其中环境温度最大日变化为 1.1 °C,柜内温度最大日变化 0.7 °C,展柜内相对湿度最大日变化为 2.4%。对比九月份和七月份展柜内外的温湿度变化,说明控制好展柜空间环境或所在空间周围的环境温度,密封空间内湿度将会维持在相对稳定的水平。

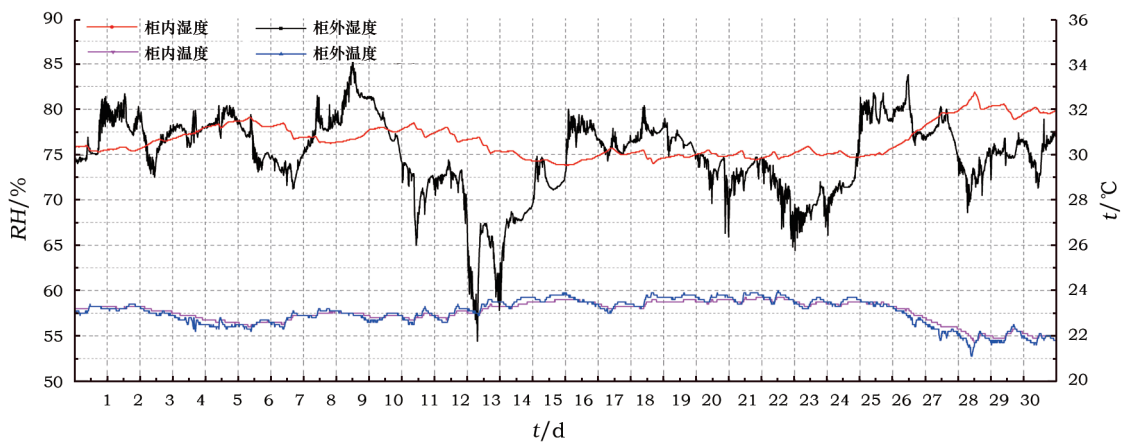


图 4 九月份展柜内外温湿度比较

Fig. 4 Comparison of internal and external humidity in September

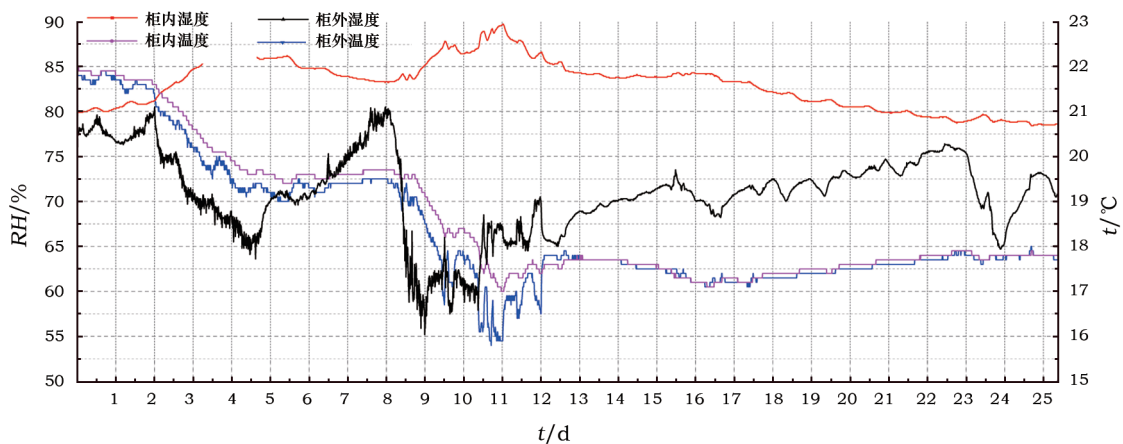


图 5 十月份展柜内外温湿度比较

Fig. 5 Comparison of internal and external humidity in October

从图5观察十月份的温湿度曲线,从第二天开始展柜内部湿度出现较大幅度上升,此后柜内湿度一直高于外界环境,且有较大差距。温度曲线同样是在第二天出现大幅的下降,直到第12天温度趋于平稳,且持续在较低水平。对比柜内外湿度和同期温度,不难看出柜内相对湿度的上升是由温度下降引起的。十月份柜外环境相对湿度平均值为70.9%,与九月份平均值74.9%相比,十月份柜外环境湿度平均值有所下降。由于环境温度下降导致柜内湿度相对上升,同时气候原因造成环境湿度下降,进而导致柜内外相对湿度相差悬殊。倘若展柜气密性差,柜内湿度与柜外湿度将会同步变化,不会长时间出现如此大的偏差。

与四月份相比,在相同温度下十月份展柜内的相对湿度要高一些(例如,4月9日,展柜内温度18℃,柜内相对湿度约为55%;10月11日,温度同样18℃时,相对湿度超过了85%)。十月份柜内湿度较高,与经历了高温高湿的夏季和秋淋天气有关,展柜外环境湿度长期高于展柜内部,长时间积累导致柜内湿度有所升高。可见,即使是高密封展柜,若要长期保持湿度在一定范围内,也要采取必要的调控措施。

通过对以上几个月气密展柜内外的温湿度对比和分析,可归纳出以下几点:

1) 从以上各个月份的温湿度变化情况都可以看出,气密展柜内的温度随环境温度的改变而改变,

变化幅度较环境略小;展柜内湿度变化主要受展柜内的温度影响,随着温度的改变呈反向变化,由于展柜内的温度是随环境变化的,因而气密展柜内湿度波动是与环境温度紧密相关的。

2) 从气密展柜内部九月份的平均湿度明显高于四月份的平均湿度,以及十月中下旬的湿度变化可以看出,如果外界环境湿度长期高于或低于气密展柜内的湿度,展柜内湿度会缓慢上升或下降。

3) 结合以上两点,控制好所处环境的温度,有利于减小气密展柜内的温湿度波动;在外界环境总是高于或低于气密展柜内的适宜湿度时,若要维持气密展柜内的湿度在适宜范围内,对气密展柜的湿度调控是必要的。

2.2 气密展柜内外温湿度变化分析

为了更清楚地说明温度和外部环境湿度对气密展柜内部相对湿度的影响,将试验开始后,前40天(即2017-3-30 10:40至2017-5-9 10:30)实测数据与假设展柜完全密封状态下柜内理论相对湿度(即与环境无气体交换的理想状态下,根据Antoine公式计算出展柜内部理论相对湿度随柜内温度变化的曲线)的数据进行对比(图6)。通过对实测值、理论值及外界环境湿度进行对比可以看出,柜外湿度(即环境湿度)波动最大,柜内实际湿度与理论湿度波动相对较小,柜内实际湿度与理论湿度变化趋势基本一致。



图6 试验的前40 d相对湿度对比图

Fig. 6 Comparison chart of relative humidity of the first 40 days of the experiment

对比展柜内实际和理论相对湿度两条曲线,可以发现以下两点现象:第一,虽然整体变化趋势一致,但在大部分时间段两者差距会比较大(例如第1天至第3天);第二,在40天内因为温度的变化,柜内理论相对湿度的波动范围是41.0%~66.0%,柜

内实际相对湿度变化范围是40.3%~56.7%。

为了说明柜内相对湿度与理论值之间差距大小变化的原因,计算出了同时间段展柜内外的绝对湿度,绘制曲线如图7所示,通过展柜内外绝对湿度的变化曲线可以看出,展柜内部绝对湿度随柜外环

境绝对湿度的变化有微小波动,但是柜内变化比柜外小得多。柜外环境绝对湿度的变化范围是 $3.82 \sim 13.16 \text{ g/m}^3$,柜内绝对湿度的变化范围是 $8.03 \sim 9.40 \text{ g/m}^3$ 。

露点与温度的差值可以表示空气中的水蒸气距离饱和的程度。柜内的露点温度在 $8 \sim 11 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间,柜外环境的露点的变化范围是 $-2 \sim 16 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间。如图 7,第 33 天柜外环境的湿度相对于露点是 $16 \text{ }^\circ\text{C}$,环境的实际温度为 $21.1 \text{ }^\circ\text{C}$ (柜内 $20.7 \text{ }^\circ\text{C}$),易出现结露现象,而柜内无此威胁。

由于展柜具有一定的气密性,其内部湿度较外部环境稳定,主要随柜内温度的变化而变化,但因其与外界环境仍存在一定气体交换,致使展柜内部湿度与理论值有所偏差。正如图 7 所示,当展柜内外湿度相差不大时,内部的绝对湿度变化相对较小;环境湿度与柜内湿度相差较大时,柜内绝对湿度变化随之增大。相对湿度比理论值波动小的原因是柜内与环境有限的气体交换降低了温度变化带来的影响。展柜气密性以及展柜内外的湿度差均会对柜内湿度的变化趋势造成影响。



图 7 试验的前 40 d 绝对湿度对比图

Fig. 7 Comparison chart of absolute humidity of the first 40 days of the experiment

3 结 语

通过对秦始皇帝陵博物院气密展柜内外的温湿度数据分析表明:气密展柜内的温度随展柜所处环境的温度变化而变化;气密展柜内的绝对湿度维持在较为稳定的状态,相对湿度会随展柜所处环境温度的变化呈反向波动;气密展柜内相对湿度比较稳定,受外界环境湿度干扰小。通过以上分析可以看出,采用气密性良好的展柜,有助于维持气密空间内相对湿度的稳定;另外,若气密展柜所处环境的湿度长期偏高或偏低,可借助于必要的调控设施更好地维持其内部湿度的稳定性。

参考文献:

- [1] 刘畅. 浅谈博物馆文物库房温湿度环境控制[J]. 中国文物科学研究, 2009(3): 58-59.
LIU Chang. Environmental control of temperature and humidity in cultural relics storeroom of museum[J]. China Cultural Heritage Scientific Research, 2009(3): 58-59.
- [2] 杜树志. 中国航海博物馆文物保存环境温湿度的研究[J]. 国家航海, 2011(1): 24-33.

- DU Shuzhi. Study on the temperature and humidity of cultural relics preservation environment in China Maritime Museum[J]. National Maritime Research, 2011(1): 24-33.
- [3] 陈元生, 解玉林. 博物馆文物保存环境空气质量标准研究[J]. 文物保护与考古科学, 2002, 14(增刊 1): 152-191.
CHEN Yuansheng, XIE Yulin. Studies on museum environmental standards[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2002, 14(Suppl 1): 152-191.
- [4] 徐方圆, 吴来明, 解玉林, 等. 用示踪气体法检测文物展柜换气率技术研究[J]. 文物保护与考古科学, 2012, 24(2): 1-5.
XU Fangyuan, WU Laiming, XIE Yulin, et al. Technology for evaluation of showcase tightness by using tracer gases[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2012, 24(2): 1-5.
- [5] 王方. 故宫古建筑内温湿度问题初探[J]. 文物保护与考古科学, 2014, 26(3): 85-93.
WANG Fang. A preliminary survey of the interior temperature and humidity of historic buildings in the Palace Museum[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2014, 26(3): 85-93.
- [6] 徐方圆, 解玉林, 吴来明. 文物保存环境中温湿度研究[J]. 文物保护与考古科学, 2009, 21(增刊 1): 69-75.
XU Fangyuan, XIE Yulin, WU Laiming. Study on temperature and humidity in the museum environment[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2009, 21(Suppl 1): 69-75.

Analysis of temperature and relative humidity stability in airtight spaces—a case study of an airtight showcase in Emperor Qinshihuang's Mausoleum Site Museum

GUO Xiaoguang¹, MA Shengtao², ZHOU Huahua¹, ZHANG Aihua¹

(1. *Tianjin CNRO Science & Technology Co., Ltd., Tianjin 300402, China;*

2. *Emperor Qinshihuang's Mausoleum Site Museum, Xi'an 710600, China*)

Abstract: Temperature and humidity are two of the most important factors that influence the preservation of cultural relics. It took seven months to get continuous test data from an airtight showcase in Emperor Qinshihuang's Mausoleum Site Museum. The results show that the internal temperatures of the showcase fluctuated with the change of external temperatures and that the stability of humidity depends on the air airtightness and difference in relative humidity between inside and outside of the showcase. Good airtightness could effectively reduce interference of ambient humidity. A short-term fluctuation of internal relative humidity of an airtight space was mainly affected by environment temperatures, so good control of temperature could effectively reduce the fluctuation of relative humidity.

Key words: Relative humidity; Temperature; Showcase; Preservation of cultural relics

(责任编辑 潘小伦;校对 马江丽)