文章编号:1005-1538(2023)03-0071-09
DOI: 10.16334/j.cnki.cn31-1652/k.20220102394

基于环境监测的三星堆遗址祭祀坑考古现场预防性保护

谢振斌[1],唐 飞[1],王 冲[1],刘建成[1],李 军[2],肖 庆[1],冉宏林[1],孙 群[3],邓 宏[4]
(1. 四川省文物考古研究院,四川成都 610041; 2. 重庆声光电智联电子有限公司,重庆 400000;
3. 四川大学生命科学学院,四川成都 610000; 4. 西安元智系统技术有限公司,陕西西安 710000)

摘要: 目前考古现场保护主要以应急保护技术与临时加固材料的研究和应用为主,而关于考古现场预防性保护少有报道。本次三星堆遗址祭祀坑发掘保护构建了由考古舱、考古舱环境调控系统、空气质量监测系统、土遗址监测系统、区域气象站、预防性保护措施、监测信息智能管理平台组成的预防性保护体系。发掘前,通过土遗址监测系统和区域气象站获取文物埋藏环境信息和区域气象信息,为考古舱内环境设置提供了依据。发掘过程中,采取舱内温湿度调控、保湿、空气杀菌净化、控制舱内人数与新风换气等预防性保护措施,达到控制考古舱温湿度、减少细菌和真菌总数、降低舱内 CO_2 浓度,减缓象牙等文物失水速度的目的,有效控制了出土文物开裂、酥粉、霉菌暴发等病害发生,为考古发掘与保护赢得了时间。三星堆祭祀坑考古现场预防性保护的创新探索与实践为以后重要遗址的现场保护指引了方向、提供了可借鉴经验。

关键词: 三星堆遗址祭祀坑;考古现场;埋藏环境;监测;预防性保护
中图分类号: K878.6 **文献标识码:** A

0 引 言

1930年在意大利罗马召开的第一届艺术品保护科学方法研究国际会议上首次提出"文物预防性保护"概念,此后,国内外文物保护专业人士对其理论进行完善与实践探索[1]。我国对于文化遗产预防性保护理论研究与实践起步相对较晚。1995年,国家科委实施了《影响文物保护的环境因素及环境质量标准》课题研究,这标志我国将文物保存环境与病害成因关联研究纳入文物保护研究的重要范畴[2]。其后,我国学者相继开展了环境因素对文物的影响[3-4]、野外文化遗产保存环境评价[5-6]、馆藏环境控制理论及监控技术研究[7]。2015年颁布的《馆藏文物预防性保护方案编写规范》对馆藏文物预防性保护理念、保护内容、保护方法做出了阐释[8],为馆藏文物预防性保护技术研究与应用提供了方向。2021年出台了一系列有关馆藏文物监测终端和预防性保护设备的基本参数、技术要求及评定方法的行业标准。然而,目前国内外有关文物预防性保护理论与技术主要针对馆藏文物保存环境调控及露天文化遗产(如石窟寺、大遗址)的监测预警、防灾减灾、环境监测等方面,而针对考古现场系统开展预防性保护的案例暂没有实例报道。考古现场预防性保护是针对发掘过程中的风险进行识别与分析,通过主动改善发掘、运输、临时保存过程中的环境,提升保护技术,提前消除一些对出土文物保护不利的因素来达到延长其寿命的目的。

1 三星堆遗址祭祀坑发掘概况

三星堆遗址位于四川省广汉市三星堆镇鸭子河畔,发现于1929年,根据已有调查勘探资料,三星堆遗址总面积约12平方公里,城址面积约3.5平方公里,距今4500~3000年,是迄今在西南地区发现范围最大、延续时间最长、文化内涵最丰富的古蜀文化遗址。1986年,四川省文物考古研究所对一、二号祭祀坑进行了发掘,出土了金器、铜器、玉器、石器、象牙、海贝、陶器等各种类型文物及彩绘颜料(铜器表面与泥土中有残留痕迹)和其他残留物(如铜器

收稿日期:2022-01-05;修回日期:2022-07-28
基金项目:国家自然科学基金区域创新发展联合基金项目(U19A2045)资助,四川省科技计划重点研发项目(2020YFS0391;2021YFS0401;2021YFS0400)资助
作者简介:谢振斌(1971—),男,研究馆员,研究方向为文物保护,E-mail: 492087302@qq.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表面的纺织品残留物)[9]。

2019年10月至2020年5月,四川省文物考古研究院采取探方与探沟方式在一、二号祭祀坑周边进行了系统性考古勘探。2019年12月初,勘探出三号坑,其后又相继发现了四、五、六、七、八号坑。勘探过程中相继探出灰烬、铜渣、金器残件和象牙残渣。三至八号坑器物层埋藏深度分别为1.30~2.02 m、0.93~1.48 m,0.52~0.68 m、0.72~1.19 m,1.47~1.90 m、1.40~2.20 m,各个坑器物埋藏深度各有差异,但出土文物较多的三、七、八号坑的埋藏深度在1.30~2.20 m之间。

2 三星堆遗址祭祀区气象特征

广汉市属四川盆地中亚热带湿润气候区,气候温和,干湿明显,四季分明,春季降水较少,夏季较热,暴雨多,秋季常有绵阴雨,冬季干燥。多年平均气温为16.3 ℃,最热为7月和8月,最冷是1月,极端最高气温为38.9 ℃,极端最低气温为-5.3 ℃。多年平均降水量为890.8 mm,降雨主要集中在6至9月,多年平均相对湿度为82%。各月平均相对湿度一般在75%~85%之间。监测数据显示,2020年5月至2021年5月,最高气温38.8 ℃,最低气温为-3.3 ℃,降水量为910.5 mm,日最大降雨量为104 mm,最大相对湿度为99.5%,最小相对湿度为22.5%。

3 三星堆遗址祭祀坑考古现场预防性保护体系

3.1 建立考古现场预防性保护体系的必要性

三至八坑被发现后,围绕如何突破现行的现场保护方法和思维,在现场建立一个较为科学、系统的保护体系,满足全面收集文物埋藏环境信息、安全提取各类文物及遗存、尽可能采集潜在历史信息的需求,进行了多方面的探讨和研究。根据前期勘探出的遗存和一、二号祭祀出土文物研判,新发现的祭祀坑群将会出土大量的青铜器、金器、玉器、象牙、海贝等文物,以及潜在的竹木器、纺织品的残留物及其他微痕信息。广汉市多年气象数据显示,该区域夏季气温高、潮湿多雨,阳光充足,冬季阴冷干旱。从一、二号祭祀坑出土文物状况来看,象牙与海贝经过地下长期埋藏,物体中起粘结作用的有机成分已基本降解或消失,内部仅存羟基磷灰石等无机物,微孔与裂隙结构基本贯通,含水率高、多数已酥松碎裂[9];而竹木器、纺织品等有机质文物基本糟朽或碳化,仅局部残存一些痕迹。对勘探出土的骨渣及埋藏层土壤进行含水率测试,结果显示,象牙残渣含水率为45%,埋藏层土壤含水率为20%~23%,据此判断,祭祀坑埋藏环境为高含水率环境,出土角骨质文物和有机残留物的含水率会很高,出土后极易因失水而产生损坏,因此,采取适宜的预防性保护措施是本次考古发掘的迫切需求。另一方面,依照一、二号祭祀坑的器物和遗存堆积、叠压状况判断,每个祭祀坑的精细化发掘与文物提取需要较长时间,发掘时间可能贯穿多个季节,在这过程中如果仅依靠一些应急保护措施,而不对发掘环境温湿度与空气质量进行干预控制,长时间的发掘清理,出土文物及微痕物会因保存环境的突变而产生开裂、酥粉、剥落、霉菌暴发等病害。为有效抑制这些病变,给现场信息采集、发掘清理及器物提取争取更多的时间,建立现场预防性保护体系是非常必要。

3.2 三星堆祭祀坑现场预防性保护体系构架

祭祀坑考古现场保护体系由应急保护、预防性保护和安全防护三部分组成。现场预防性保护主要由考古舱、考古舱环境调控系统、空气质量监测系统、土遗址监测系统、脆弱文物预防性保护设备、区域气象站和监测信息智能平台组成。组成构架如图1所示。

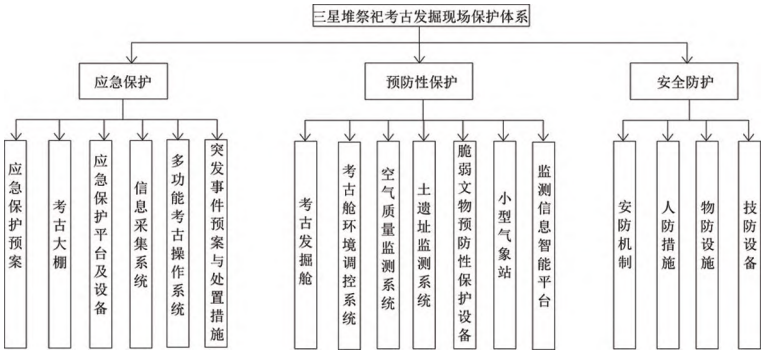

图1 祭祀坑考古现场保护体系构架图

Fig. 1 Frame diagram of the protection system of the sacrificial pit archaeological site

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4　三星堆遗址祭祀坑埋藏环境监测

4.1　监测系统布置

发掘前,在祭祀坑考古大棚内外和发掘舱内的不同区域建立了空气质量监测系统、土遗址监测系统和局域气象站。土遗址监测系统和局域气象站于 2020 年 5 月 11 日安装完成,土遗址监测系统包括不同区域的梯度土壤温度、体积含水率与电导率;局域气象站包括大气温湿度、二氧化碳、二氧化氮、风速风向、降雨量、光照、紫外等监测指标。考古大棚于 2020 年 8 月 10 日建成。考古舱环境调控系统和监测系统于 2020 年 11 月 27 日完成,其监测内容包括空气温湿度、有机挥发物(VOC)、光照、紫外、二氧化碳、二氧化氮。2021 年 4 月,为满足土遗址保护需要,根据祭祀坑分布状况,在考古大棚内外又布置了 6 组不同梯度的土壤监测终端,完善了土遗址监测系统。监测系统为准确掌握了祭祀坑埋藏环境,科学实施考古现场出土文物预防性保护提供了依据。监测点布置如图 2 所示。

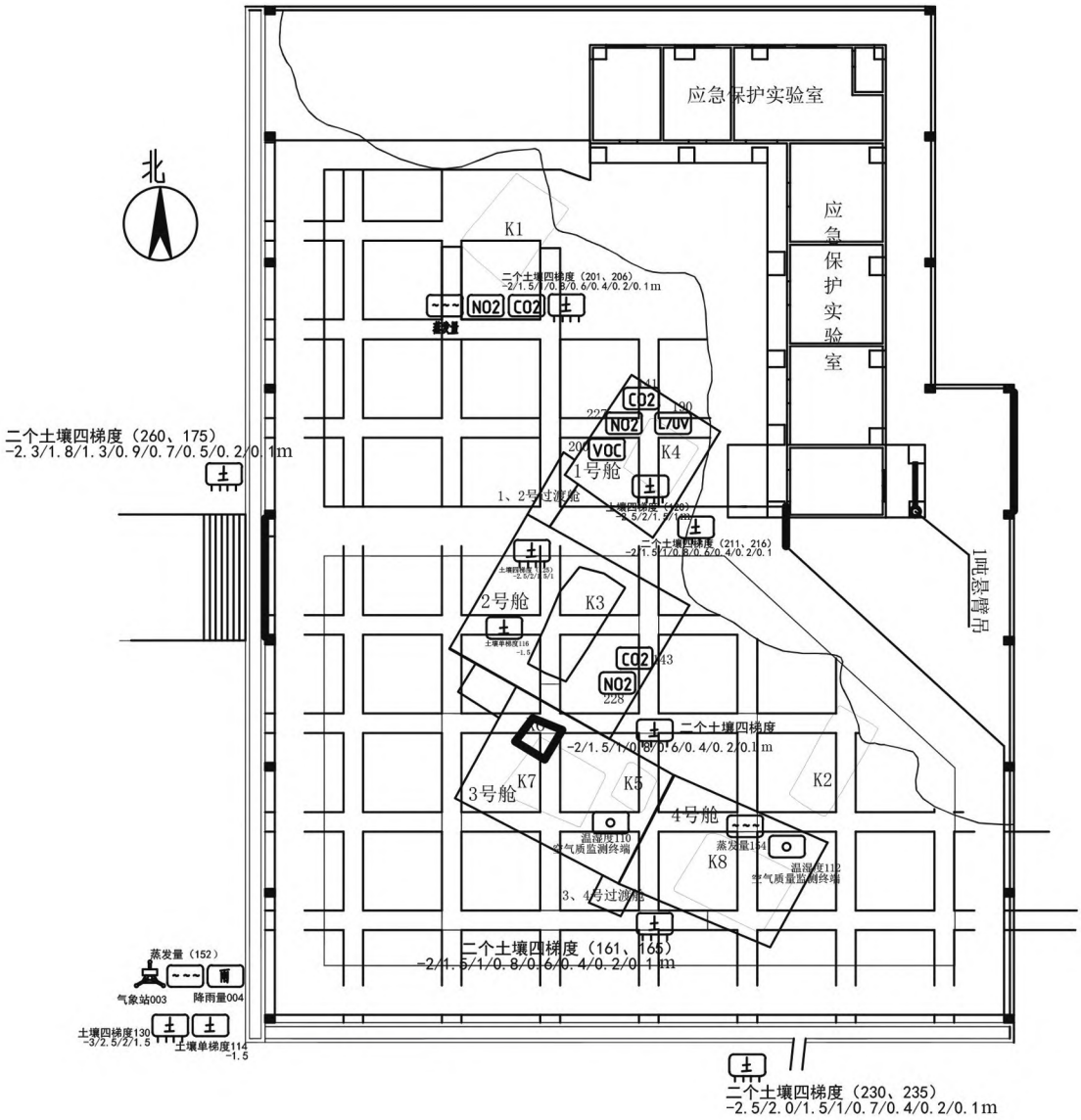

图 2　监测点布置图

Fig. 2　Locations of monitoring points

4.2　三星堆遗址祭祀坑埋藏环境监测数据分析

三星堆遗址祭祀坑埋藏文物赋存环境以考古大棚修建、考古舱建成、文物露出作为时间节点,可分为全曝露自然环境、半曝露自然环境和人为营造环境 3 种状态[10]。

考古大棚修好前(2020 年 8 月 10 日前),埋藏

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

文物完全曝露于自然环境中,根据广汉市气象数据,祭祀区 6 ~ 9 月气温高、降雨多,湿度大,这期间祭祀坑文物埋藏层易受到外界环境影响。以三号坑深 1.5 m 区域埋藏土壤为例(图 3),2020 年 5 月 11 日至 8 月 10 日,该处土壤最高温度达到 28.5 ℃。土壤体积含水率在 44.5% ~ 32% 之间波动,且受大气强降雨影响非常明显,当降雨强度超过 4 mm/d 时,其含水率和电导率在雨后 1 ~ 2 天急剧增加,越靠近地表区域,波动幅度越大。

考古大棚建成后,祭祀坑埋藏环境逐步由全曝露自然环境向半曝露自然环境转变,因 2020 年 8 月 11 日至 11 月期间过渡特征较明显,半曝露自然环境监测数据从 2020 年 12 月开始。同一点的土壤监测结果显示(图 4),2020 年 12 月 1 日至 2021 年 9 月 30 日,该处土壤最高温度为 18.2 ℃,最低温度为 12.6 ℃,波动幅度为 5.6 ℃;体积含水率在 41.3% ~ 39.1% 之间波动。对比同时期该点的监测数据,半曝露自然环境下,0.8 m 以上的土壤温度和含水率受外界气温与空气湿度影响而波动;0.8 m 以下的土壤含水率主要受大棚外地下水的水平补给和毛细水影响,此时,文物赋存环境的温度与含水率呈现季节性波动特点,但波动幅度明显变小。

图 3 三号坑深 1.5 m 处(2020.5.11—2020.8.10)温湿度与电导率曲线

Fig. 3 Temperature, humidity and conductivity curves at 1.5 - meter depth in the No. 3 pit (2020.5.11 ~ 2020.8.10)

图 4 三号坑深 1.5 m 处(2020.12.1—2021.9.30)温湿度与电导率曲线

Fig. 4 Temperature, humidity and conductivity curves at 1.5 - meter depth in the No. 3 pit (2020.12.1 ~ 2021.9.30)

文物发掘出露后,如不对舱内的温湿度和空气质量进行人为干预,文物仍处于半曝露自然环境,露出的文物极易受外界温湿度变化、空气污染物、降尘、微生物、紫外光及人为因素的影响[11-12]。三号祭祀坑埋藏器物及遗存堆积叠压关系十分复杂[9],精细化发掘与信息提取需要花费很长时间,有些文物从露出到提回库房,要在原位保存 3 至 4 个月,这期间,如不对考古舱内环境进行人为干预,有些文物(如象牙、海贝、漆木器残留物等)极易产生开裂、酥粉等病害。

为了给考古舱环境调控提供依据,在祭祀坑发掘过程中,对每个坑不同深度填土的含水率、pH、密度按 GB/T 50123—1999《土工试验方法标准》进行测试,结果如图 5 ~ 8 所示。

测试结果表明,每个坑填土的重量相对含水率变化没有规律性,其数值在 18.39% ~ 22.69% 之间波动,与之前 1.5 m 深处土壤含水率基本相同(土壤监测终端所测含水率为体积含水率)。6 个坑的填土都呈弱碱性,其中四号坑填土 pH 值最大,为 7.49 ~ 7.80。6 个坑的填土密度在 1.86 ~ 1.99 g/cm^3

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

之间,各个坑的每层填土的密度变化都没有规律性。整体来看,各个坑填土的物理性能存在一定差异,但都呈现含水率高、密度大、弱碱性的特点,这给文物制造了一个潮湿、封闭、弱碱性的赋存环境[13]。

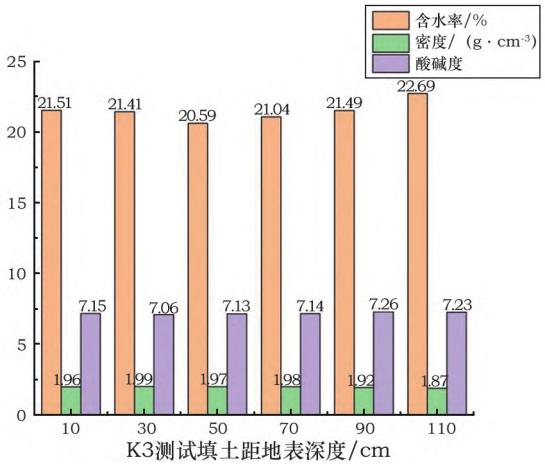

图 5　三号坑不同深度填土的重量相对含水率、pH 值及密度

Fig. 5　Weight relative moisture content、pH value and density of the No. 3 pit fill stratum at different depths

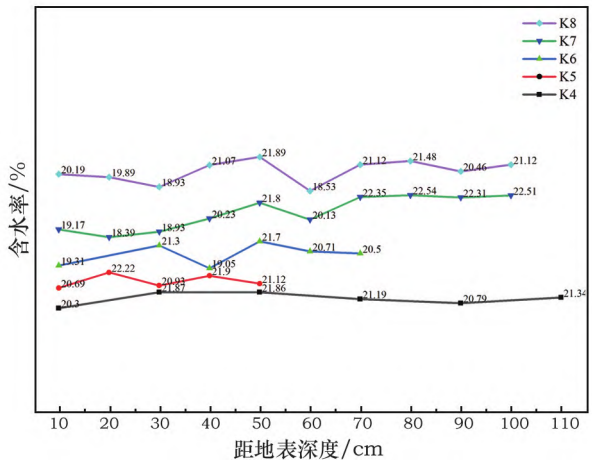

图 6　四至八号坑不同深度填土的重量相对含水率

Fig. 6　Relative moisture content per unit of weight of fill stratum of the No. 4 ~ No. 8 pits at different depths

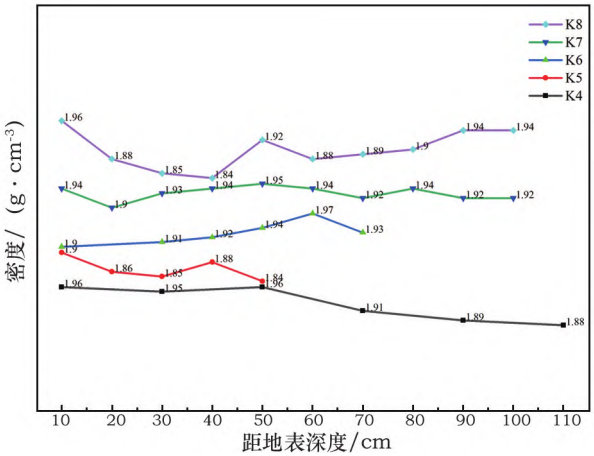

图 7　四至八号坑不同深度填土的密度

Fig. 7　Density of fill stratum of the No. 4 ~ No. 8 pits at different depths

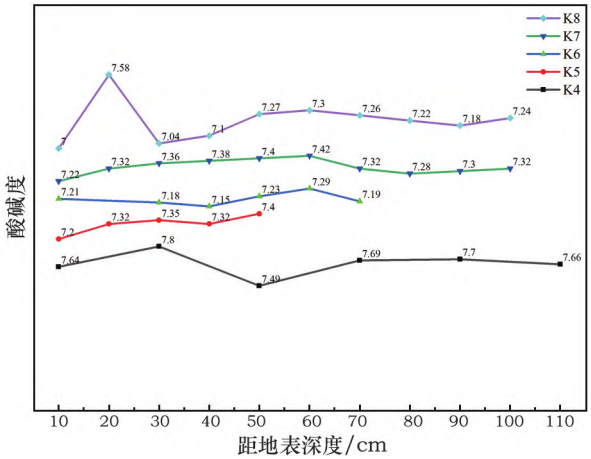

图 8　四至八号坑不同深度填土的 pH 值

Fig. 8　pH value of fill stratum of the No. 4 ~ No. 8 pits at different depths

5　基于监测成果所采取的现场预防性保护

5.1　考古舱温湿度控制

监测数据显示,考古大棚建成后,祭祀坑文物埋藏层土壤温度在 12.6 ℃ ~18.2 ℃之间波动,埋藏层土壤体积含水率常年高于 28.4%。对勘探出的象牙残渣分析,其相对含水率在 40% 以上,孔隙与内部裂隙发达、外部釉层致密内部酥松,在自然条件下(如图 9 中第 5 种实验条件)极易失水。基于埋藏环境监测数据及象牙特性,设定考古舱环境温度为 18 ℃,波动幅度为 2 ℃,湿度为 80% 左右,波动幅度低于 5%。考古舱温湿度控制通过考古大棚、密闭考古舱与温湿度调控系统共同实现。本次发掘共设 4 个考古舱和 2 个过渡舱,其中 1 号舱(四号坑)长 5.9、宽 5.8、高 5.3 m,2 号舱(三号坑)长 10、宽 9.6、高 5.3 m,3 号舱(五、六、七号坑)长 9.6、宽 7、高 4.5 m,4 号舱(八号坑)长 9.6、宽 7、高 3.8 m。在 1 号舱与 2 号舱之间设置过渡舱,3 号舱与 4 号舱之间设过渡舱,各舱之间通过推拉门可连通可独立管理。考古舱建于探坑上部,主体框架采用钢制圈梁,地基铺设于地面,无地基桁架安装,立柱采用方管,横梁为矩管。屋顶采用硅岩净化板,四周采用大面积厚 5 mm 的高透光亚克力板模块化铝塑窗框,亚克力板透光率为 93%,

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

紫外线阻隔率为93.35%。舱内安装考古信息记录系统、新风系统、多功能考古操作系统及无紫外冷光源照明等设施。1、2号考古舱环境调控系统由水冷温湿度控制、加湿器和新风组成,3、4号考古舱环境调控系统改进为直膨式恒温恒湿调控机组+加湿段+杀菌段(高压静电杀菌)+新风段组成,通过这些技术集成,考古舱内的温湿度能达到预设要求。

5.2 考古舱空气质量维护

舱内空气质量通过新风系统和控制舱内人数等措施来维护。不同条件下,舱内CO_2、NO_2体积浓度测试成果如表1所示。

表1 不同测试条件下舱内CO_2、NO_2体积浓度

Table 1 Volumetric concentrations of CO_2 and NO_2 under different testing conditions (10^{-6})

测试项目		舱内人数 0人	设定人数 四分之一	设定人数 二分之一	设定人数 四分之三	设定人数 满员
新风关闭	CO_2体积在空气中占比	500~550	820~930	1 040~1 120	1 150~1 290	1 350~1 460
	NO_2体积在空气中占比	0.060~0.062	0.060~0.063	0.062~0.063	0.062~0.063	0.062~0.064
新风换气2次/(m^3·h)	CO_2体积在空气中占比	400~460	650~730	800~890	910~1 030	1 090~1 150
	NO_2体积在空气中占比	0.060~0.062	0.060~0.063	0.062~0.063	0.061~0.063	0.062~0.064
新风换气4次/(m^3·h)	CO_2体积在空气中占比	370~420	550~630	730~780	820~870	910~980
	NO_2体积在空气中占比	0.060~0.062	0.060~0.063	0.062~0.063	0.061~0.063	0.063~0.064

测试结果表明,当加大新风换气次数,减少舱内人员时,舱内CO_2浓度明显降低,但NO_2浓度变化较小;当新风换气次数按4次/(m^3·h),4个舱的人数分别达到设定的8人、21人、13人、11人时,舱内空气中CO_2体积占比低于$1\,000\times10^{-6}$,NO_2体积占比低于0.07×10^{-6}。

5.3 微生物病害控制

取祭祀坑埋藏层土壤进行微生物多样性分析,结果显示,祭祀坑埋藏层土壤检测出毛壳菌属、伞状霉属、被孢霉属、青霉属、毛球菌、曲霉属、念珠菌、节菱孢属、木霉属、树粉孢属等真菌,其中念珠菌、木霉属、树粉孢属、曲霉属为优势菌属;检出酸杆菌、马赛菌、柠檬酸杆菌、极谱单胞菌新鞘脂菌属、硝化螺旋菌门、伯克氏菌属黄杆菌、念珠菌、钩端螺菌属、假单胞菌嗜甲基菌等细菌,其中念珠菌、节菱孢属、木霉属、树粉孢属为优势菌属。按GB/T 18204.3—2013《公共场所卫生检验方法第3部分:空气微生物》标准对考古舱内不同工况下空气中的微生物采样分析,结果如表2所示。

从1号舱工况2检测结果可看出,当考古舱全封闭且无新风和杀菌系统时,空气中真菌总数为2 979.9 CFU/m^3,高于我国GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》(细菌总数、真菌总数都不得高于2 500 CFU/m^3)要求,如果象牙类文物露出来后,置于这种环境中,极可能在较短时间内暴发以霉菌为主的微生物病害,需采取微生物病害控制措施。

表2 不同工况下考古舱内空气微生物数检测成果[14]

Table 2 Measurement results of airborne microbial counts in the archaeological cabin under different working conditions

工况与测试结果	1号舱	2号舱	3号舱	4号舱
工况1	舱内固定8人,新风换气4次/(m^3·h),无杀菌系统	舱内固定21人,新风换气4次/(m^3·h),无杀菌系统	新风换气4/(m^3·h),有杀菌系统,舱门经常打开,舱内无人员进出,始终保持13人	舱内固定11人,舱内人员静止,新风换气4次/(m^3·h),有空气杀菌模块,舱门关闭
测试结果	细菌总数110.7 CFU/m^3 真菌总数150.8 CFU/m^3	细菌总数215.5 CFU/m^3 真菌总数270.7 CFU/m^3	细菌总数96.6 CFU/m^3 真菌总数320.4 CFU/m^3	细菌总数61.2 CFU/m^3 真菌总数58.9 CFU/m^3
工况2	舱内无人,新风停止2 d,无杀菌系统	舱内固定15人,新风换气4次/(m^3·h),无杀菌系统	新风换气4次/(m^3·h),有杀菌系统,舱门经常打开,舱内有人员进出,但始终保持13人	舱内固定11人,舱内人员工作,新风换气4次/(m^3·h),有空气杀菌模块,舱门关闭
测试结果	细菌总数459.3 CFU/m^3 真菌总数2 979.9 CFU/m^3	细菌总数60.1 CFU/m^3 真菌总数975.3 CFU/m^3	细菌总数349.8 CFU/m^3 真菌总数731.4 CFU/m^3	细菌总数123.7 CFU/m^3 真菌总数530 CFU/m^3

注:所有工况下,考古舱温度为(18±2)℃,湿度为80%±5%。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

以往考古现场生物病害防控常采取喷洒杀菌抗藻剂防治与机械清除方法[15]。本次发掘拟对埋藏层土壤和器物内泥土进行有机残留物分析及出土骨渣和象牙 DNA 测定,加之祭祀出土象牙数量大,保护周期长,如前期就使用杀菌抗藻剂会使微生物产生耐药性[16],同时抑菌剂会促使微生物群落发生改变,产生新的微生物种属,可能对文物造成更大的破坏[17]。为避免对样品分析和后期保护造成影响,发掘过程中,通过控制考古舱温度与舱内人数、穿戴防护服与手套及口罩、新风换气,空气净化杀菌等物理措施来抑制微生物病害。根据表 2 检测结果,当考古舱门关闭,舱内人员不超过规定人数,所有人员穿戴防护服和口罩,换气次数为 4 次/(m^3 · h)时(1 号舱工况 1、2 号舱的工况 1 与工况 2),舱内空气中细菌数量为 60.1 ~ 215.5 CFU/m^3,真菌数量为 150.8 ~ 975.3 CFU/m^3;而当空气质量调控系统中加入杀菌功能时(4 号舱工况 1 和 2),舱内空气中细菌数量为 61.2 ~ 123.7 CFU/m^3,真菌数量为 58.9 ~ 530 CFU/m^3。测试结果表明,采取这些物理抑菌措施后,舱内细菌和真菌远低于 GB/T 18883—2002 要求。对比 1、2 号舱与 4 号舱的检测结果可知,环境调控系统中的杀菌模块能有效降低考古舱空气中的细菌和真菌总数,对发掘过程中控制微生物生长具有积极作用。对比 3 号舱与 4 号舱的检测结果可以看出,考古舱门是否关闭、舱内人员流动状况对舱内细菌和真菌数量有较大影响。

实际工作表明,系列物理防治措施取得了非常好的效果,四号坑象牙于 2021 年 1 月露出,6 月全部提取;三号坑象牙于 3 月露出,7 月底全部提取,七号和八号坑象牙于 8 月露出,至 2022 年 2 月仍在提取,象牙和其他器物表面均没有暴发微生物病害。

5.4　保水保湿措施

虽然考古舱内为高湿环境,但监测数据显示,当外界温度较高、湿度较低时,舱内日蒸发量仍可达到 1 ~ 5 mm,这对高含水率的脆弱质文物(如象牙)在原位长时间滞留十分不利。为减缓水分蒸发对出露文物的影响。文物露出后,采用高温灭菌的湿润毛巾或吸水纸紧贴其表面,然后用保鲜膜将器物层进行整体覆盖,防止其表面水分蒸发。每天根据坑内蒸发量情况,采取喷微雾方式对坑壁微量补水 2 至 3 次,并用聚乙烯薄膜将坑壁四周进行覆盖,防止出露文物快速失水。没有工作时,用聚乙烯薄膜将坑口封盖。2021 年 9 ~ 11 月,开展了象牙残段在不同条件下的失水试验,结果如图 9 所示。

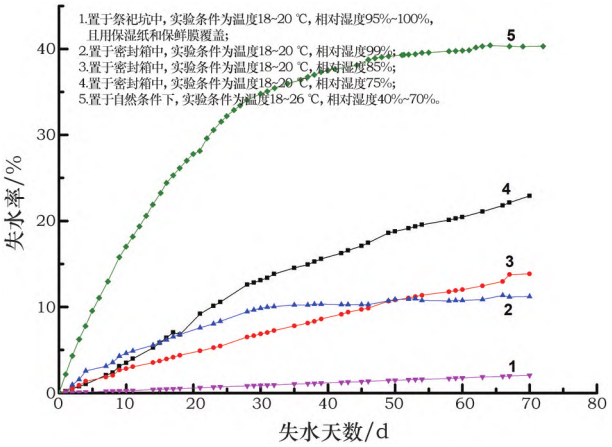

图 9　象牙残段不同实验条件下的失水率

Fig. 9　Dehydration rate of ivory fragments under different experiment conditions

试验结果表明,采取与发掘时相同的保水措施,70 d 后,象牙残段失水率为 2.06%,其他试验条件下,象牙残段失水率均大于 11%,自然条件下,70 d 后,象牙失水达到平衡,失水率为 40.2%。这说明现场保湿措施极大地减缓了象牙失水速度。

5.5　信息智能管理平台

利用无线传感网络、移动通讯等技术,将考古舱环境、土遗址环境、象牙保存库房环境等离散采集监测数据通过信息智能管理平台统一存储、管理、展示。设置各项监测指标的阈值,当监测数据超出阈值时实现异常事件预警,有利于管理者实时掌握现场和库房环境,为精细化管理提供了科学手段。

6　结　论

当前考古现场保护主要是针对出土脆弱文物保护与微痕信息提取需求开展的应急保护技术与分析方法研究[18],而考古发掘引发的环境突变对文物所产生影响是多方面的,其作用机理也十分复杂。文物从出土到进博物馆前的这个阶段恰好是出土文物面临保存环境突变最大,最不稳定,最容易产生病变的,这阶段该采取怎样的预防性保护体系,需要对文物埋藏环境、不同阶段文物变化情况以及这文物变化与环境影响之间的关联性等问题进行监测和研究,为出土文物不同阶段的保存创造最佳环境,实现文物病害变化的有效控制。因此,在发掘前,对文物埋藏环境进行分析与监测,发掘保护过程中尽可能营造与原有埋藏环境相近的环境,对出土文物保护极为重要。另外,考古出土文物预防性保护应该从考古发掘→整理、修复→临时存贮全过程去系统规划。监测也应基于物联网技术监测终端发展,不仅

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

要对出土文物全流程的保存环境进行监测,而且要对文物本体的变化状况进行跟踪监测与评估,使之形成考古出土文物预防性保护的一部分。

三星堆祭祀坑考古发掘基于埋藏环境监测、出土文物材质特性及保护需求,现场建立了应急保护与预防性保护相结合的保护体系,虽然实际效果超出预想,但由于这方面的工作国内外没有可以参考的理论与实际案例,实施过程中,经历了不断摸索、不断总结,不断完善的过程,许多理论依据与保护技术需要深入研究、完善和提炼,并探索实践考古现场预防性保护设施设备的标准化与产业化,为今后重要遗址的考古现场预防性保护提供可借鉴经验与依据。

致 谢: 三星堆祭祀坑预防性保护体系建设过程中,文物保护总顾问马家郁先生和首席专家吴顺清先生,以及全国四十家合作单位的专家与工作人员为保护体系建设与出土文物保护建言献策;重庆声光电智联电子有限公司、西安元智系统技术有限公司、海尔集团、陕西十月文物保护有限公司等单位为保护体系提供了相应的设施设备,并与我院技术人员根据保护需求对一些设备共同进行了创新实践,在此,一同向大家表示衷心感谢!

参考文献:

[1] 张蕊,宋纪蓉. 预防性保护理念在原状唐卡保护中的应用探索——以养心殿西暖阁佛堂唐卡为例[J]. 故宫博物院院刊,2021(7):123-125.
ZHANG Rui, SONG Jirong. On preventive conservation idea applied to the protection of Thangkas as original state with the case of Thangkas enshrined in the Buddhist Hall of Moral Cultivation Palace [J]. Palace Museum Journal, 2021(7):123-125.

[2] 赵凡,樊斌. 石质文物建筑抢救性与预防性保护的践行和思考——以张澜故居月台石刻为例[J]. 四川建筑,2021,**41**(2):54-55.
ZHAO Fan, FAN Bin. Practice and thinking of the rescue and preventive protection of stone cultural relic buildings: taking Zhang Lan's former residence rock carvings as an example[J]. Sichuan Architecture, 2021, **41**(2):54-55.

[3] 郭宏. 文物保存环境概论[M]. 北京:科学出版社,2001:10-55.
GUO Hong. Introduction to cultural relics preservation environment [M]. Beijing: Science Press, 2001:10-55.

[4] 詹长法. 预防性保护问题面面观[J]. 国际博物馆(中文版),2009(3):96-99.
ZHAN Changfa. Aspects of preventive protection[J]. International Museum (Chinese Edition), 2009(3):96-99.

[5] 吴美萍. 预防性保护理念下建筑遗产监测问题的探讨[J]. 古建园林技术,2012(2):26-29.
WU Meiping. Discussion on the monitoring of architectural heritage under the concept of preventive protection[J]. Traditional Chinese Architecture and Gardens, 2012(2):26-29.

[6] 王旭东. 基于风险管理理论的莫高窟检测预警体系构建与预防性保护探索[J]. 敦煌研究,2015(1):105-109.
WANG Xudong. Construction of a monitoring and precaution system and exploration of preventive conservation at the Mogao Grottoes based on risk management theory[J]. Dunhuang Research, 2015(1):105-109.

[7] 马金香. 预防性文物保护环境监测调控技术[M]. 北京:科学出版社,2015:1-35.
MA Jinxiang. Preventive cultural relics protection environmental monitoring and control technology[M]. Beijing: Science Press, 2015:1-35.

[8] 中华人民共和国国家文物局. 馆藏文物预防性保护方案编写规范[S]. 北京:文物出版社,2016:1-4.
The National Cultural Heritage Administration of the People's Republic of China. Guidelines for the preparation of preventive protection plans for cultural relics in collections[S]. Beijing: Cultural Relics Press, 2016:1-4.

[9] 四川省文物考古研究院. 三星堆祭祀坑[M]. 北京:文物出版社,1999:16-419.
Sichuan Provincial Cultural Relics and Archaeology Research Institute. Sanxingdui sacrificial pit[M]. Beijing: Cultural Relics Press, 1999:16-419.

[10] 汪怡珂,罗昔联,陈思宇,等. 文物的赋存环境及其预防性保护问题[J]. 文物保护与考古科学,2020,**32**(2):95-99.
WANG Yike, LUO Xilian, CHEN Siyu, *et al.* The environment of cultural relics and relevant preventive conservation problems[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2020, **32**(2):95-99.

[11] 王惠贞,冯楠,宋迪生. 考古发掘现场环境突变对出土文物的破坏及应急保护研究[C]//吉林大学边疆考古研究中心. 边疆考古研究(7). 北京:科学出版社,2008:303-310.
WANG Huizhen, FENG Nan, SONG Disheng. The damage of buried objects by environmental abrupt change on the excavation field and the urgent conservation research[C]//Frontier Archaeology Research Center of Jilin University. Frontier Archaeology Research (7). Beijing: Science Press, 2008:303-310.

[12] 左威. 考古发掘现场环境突变对出土文物的破坏及应急保护对策[J]. 技术与市场,2020,**27**(7):173-174.
ZUO Wei. The destruction of unearthed cultural relics caused by sudden environmental changes at the archaeological excavation site and emergency protection measures[J]. Technology and Market, 2020, **27**(7):173-174.

[13] 张明泉,张琳,王旭东,等. 考古现场土遗址保护中环境干湿度判定指标体系的建立与应用[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2013,**49**(4):465-469.
ZHANG Mingquan, ZHANG Lin, WANG Xudong, *et al.* Establishment and application of an index system discriminating the dry and humid environment in the earthen monument protection on archaeological sites[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2013, **49**(4):465-469.

[14] 四川大学生命科学学院. 三星堆遗址工作舱空气微生物检测报告[R]. 2021.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

College of Life Sciences, Sichuan University. Test report of airborne microorganisms in the working cabin of Sanxingdui site [R]. 2021.

[15] 刘自军. 饱水木质文物的微生物病害研究——以南海 I 号沉船和定陶 M2 黄肠题凑汉墓为例[D]. 天津:南开大学,2018.
LIU Zijun. Studies on microbial contaminations of waterlogged wooden relics: taking the Nanhai No. 1 shipwreck and Dingtao M2 *huangchang ticou* tomb as examples [D]. Tianjin: Nankai University, 2018.

[16] MORTON L H G, GREENWAY D L A, SURMAN S B, *et al*. Consideration of some implications of the resistance of biofilms to biocides [J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 1998, **41**: 247 – 259.

[17] MARTIN – SANCHEZ P M, BASTIAN F, ALABOUVETTE C, *et al*. Two new species of the genus *Ochroconis*, *O. lascauxensis* and *O. anomala* isolated from black stains in Lascaux Cave, France [J]. Fungal Biology, 2012, **116**: 574 – 589.

[18] 于宗仁,苏伯民,陈港泉,等. 文物出土现场保护移动实验室在考古发掘现场应用支撑研究中分析体系的构建[J]. 敦煌研究,2013(1):51 – 55.
YU Zongren, SU Bomin, CHEN Gangquan, *et al*. Construction of the analytic system in the application supporting research with the mobile conservation laboratory for archaeological excavation sites [J]. Dunhuang Research, 2013(1): 51 – 55.

Preventive conservation of the sacrificial pit at Sanxingdui site based on environmental monitoring

XIE Zhenbin[1], TANG Fei[1], WANG Chong[1], LIU Jiancheng[1], LI Jun[2], XIAO Qing[1], RAN Honglin[1], SUN Qun[3], DENG Hong[4]

(1. *Sichuan Provincial Cultural Relics and Archaeology Research Institute*, *Chengdu* 610041, *China*;
2. *Chongqing Acoustics Optics Electronics Zillions Electronics Co., Ltd.*, *Chongqing* 400000, *China*;
3. *College of Life Sciences*, *Sichuan University*, *Chengdu* 610000, *China*;
4. *MicroWise System Co., Ltd.*, *Xi' an* 710000, *China*)

Abstract: At present, in terms of the conservation of archaeological sites, research is mainly focused on the application of emergency conservation measures and temporary consolidation materials, but there are relatively fewer reports on preventive conservation of archaeological sites. In the excavation and preservation project for the sacrificial pit at Sanxingdui site, a preservation system, consisting of archaeological excavation cabins, an environmental control system, an air – quality monitoring system, preventive conservation measures and an intelligent information – monitoring management platform, etc., was established. Before the excavation, through the earthen site – monitoring system and regional meteorological station, information of cultural relic burial environment and regional meteorology was obtained, to provide reference for setting interior environment of the cabins. During the excavation, various preventive conservation measures, such as temperature and humidity control, air sterilization and purification, limitation of the number of people in a cabin and fresh air ventilation, were taken to control the temperature and humidity in the cabin, reduce the amount of bacteria and fungi, lower the concentration of CO_2, and slow the dehydration process of relics (e. g., ivory objects), which effectively controlled the cracking, crisp powdering and mildewing of unearthed cultural relics, hence providing sufficient time for on – site excavations. The innovative exploration and practice of preventive conservation of the sacrificial pit at Sanxingdui site could guide the direction and set an example for the on – site conservation of important archaeological sites in the future.

Key words: Sacrificial pit at Sanxingdui site; Archaeological site; Burial environment; Monitoring; Preventive conservation

(责任编辑　潘小伦;校对　张存祖)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net