



## 土遗址的系统性保护研究

孙满利<sup>1</sup>, 张景科<sup>2</sup>, 毛维佳<sup>1</sup>, 沈云霞<sup>1</sup>, 尚雪健<sup>1</sup>, 曹张喆<sup>1</sup>

1. 中国中亚人类与环境“一带一路”联合实验室文化遗产研究与保护技术教育部重点实验室,  
西北大学 文化遗产学院, 陕西 西安 710127; 2. 兰州大学 土木工程与力学学院, 甘肃 兰州 730000

**摘要** 科学认知土遗址系统和实施保护措施系统是土遗址系统性保护的两个方面。在深入分析我国土遗址保护的发展历程和现状问题, 总结历史经验、理论经验和实践经验的基础上, 采用系统论理论, 以价值为核心, 科学阐释土遗址系统的概念、组成、结构与功能以及状态参量和相态, 明确系统的环境和边界; 提出了防止或减缓土遗址系统从现有不均匀有序状态向均匀无序状态转变是土遗址保护的科学内涵, 土遗址的价值和信息保存状况是土遗址系统的状态, 状态变量为土遗址病害, 土遗址系统状态的评估就是评估病害对土遗址系统价值长久保存过程中产生的已有的、或可能的影响。保护措施系统包含管理措施、预防措施、干预措施、利用措施等, 是维持或改变土遗址系统状态的重要方式; 采用协同论分析了保护措施之间的协同机制, 提出有效性称为保护措施系统的序参量, 保护措施子系统的状态可用保护措施有效性来定量表征, 四类措施需协同作用, 以形成完整的系统性保护。

**关键词** 土遗址; 保护; 系统; 协同

**中图分类号**: K85 **DOI**: 10.16152/j.cnki.xdxbzr.2026-02-001

### A study on the systematic conservation of earthen sites

SUN Manli<sup>1</sup>, ZHANG Jingke<sup>2</sup>, MAO Weijia<sup>1</sup>, SHEN Yunxia<sup>1</sup>,  
SHANG Xuejian<sup>1</sup>, CAO Zhangzhe<sup>1</sup>

1. China-Central Asia "the Belt and Road" Joint Laboratory on Human and Environment Research, Key Laboratory of Cultural Heritage Research and Conservation, School of Cultural Heritage, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. School of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

**Abstract** Systematic conservation of earthen sites encompasses two fundamental dimensions: the scientific comprehension of the site system and the systematic implementation of conservation measures. Through an in-depth analysis of the historical development and current challenges in the conservation of earthen heritage sites in China, this study builds on the synthesis of historical, theoretical, and practical experiences. By applying system theory, a value-centric framework is established to define the earthen site system through its conceptual components, structure, functions, state parameters, and phase states, while clarifying system boundaries and environmental interactions. The scientific essence of conservation is identified as preventing or mitigating the transition of earthen site systems from their current non-uniform ordered state to a uniform disordered state. Here, the system's state reflects the preservation status of heritage values and informational integrity, with de-

收稿日期: 2025-11-11 修回日期: 2025-12-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFF0905904)

第一作者: 孙满利, 男, 博士, 二级教授, 博士生导师, 从事遗址类文物保护研究, sunml68@sohu.com。

terioration acting as the state variable. The assessment of an earthen heritage system's state essentially evaluates the actual or potential impacts of deterioration on the long-term preservation of the system's heritage values. The conservation measures subsystem integrates management, preventive measures, intervention techniques, and utilization strategies. Utilizing synergetics, this study reveals the coordination mechanism among these measures and proposes effectiveness as the order parameter governing the subsystem. Quantitative characterization of the subsystem's state is achieved through conservation effectiveness metrics. The synergistic interaction of these four categories of measures constitutes a holistic systematic conservation approach.

**Keywords** earthen sites; conservation; systematic; synergy

我国土遗址分布广泛、数量众多、类型多样、历史悠久、价值突出,是重要的不可移动文物资源和历史文明实证。受自然环境与人类活动的影响,土遗址及其保存环境产生了失稳坍塌、表面风化、环境恶化等不同程度的问题,需要通过各种技术措施和管理措施来保障遗址安全。土遗址保护历来是世界性难题,这与土遗址本体及其赋存环境的复杂多变特点有关<sup>[1-2]</sup>。①土遗址主要是由土质材料构成,土抗崩解性、抗风化性能差<sup>[3]</sup>,在自然界中难以长久保存,不同土遗址的建筑工程和方法迥异,土的工程特性变化复杂。②土遗址的赋存环境包括干旱区、湿润区至潮湿区,人文环境也比较复杂,如汉长安城位于城市中心区,秦雍城位于城乡结合部位,楼兰故城位于荒芜的无人区。遗址所在区域位置不同,经济发展水平也有差异,遗址的展示需求、保护经费投入、保护的需求和难度有很大差别。③土遗址的保存形态差异大,遗址规模从数平方米至数百平方公里不等,有单体遗址,也有规模较大的城址,还有一些线性分布的遗址,如长城、运河等。④土遗址又具有地上、地下、室外、室内、水下等复杂的保存形式。这都导致了我国土遗址保护工作难度极大。

我国土遗址保护经历了 4 个阶段。① 保护管理阶段。新中国成立以后,随着国民经济的复苏与发展,基本建设工程和农业生产建设造成文物破坏现象,文物保护的主要任务之一是防止人为破坏。这一阶段,主要实现了对遗址的保护管理和调查研究工作,设立了遗址保护管理机构。② 管理与利用阶段。改革开放后,随着国家经济高速发展,人们对文物的重视程度越来越高,管理条件进一步改善,在制定管理措施的基础上,开始发挥文物作用,但利用主要围绕遗址展开旅游宣传等经济建设活动,形式比较粗放。③ 管理、利用、抢救阶段。2002 年修订的文物保护法,提出了“保护为主、抢救第一、加强管理、合理利用”的

工作方针,遗址管理单位的管理能力明显提高,遗址利用规模进一步扩大,但多处于无序状态,效率有限,利用和保护矛盾之间的统筹性差;同时,抢救性保护工程全面开展,抢救了一大批濒危土遗址,一些重要土遗址的保存状况明显改观。④ 保护和利用协调发展阶段。当前,我国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾<sup>[4]</sup>,土遗址保护进入新的发展阶段——保护和利用协调发展阶段,文物保护的理论、技术聚焦解决文物保护与发展之间的关系,在保护中发展,在发展中保护,统筹考虑文物保护与经济、社会发展,达到保护与利用协调。开展系统性保护,实现高质量发展,创新文物保护理论,切实加大文物保护力度,推进文物有效利用,让文物活起来<sup>[5]</sup>,努力走出一条符合国情的文物保护利用之路。

## 1 我国土遗址保护现状及问题

### 1.1 我国土遗址保护现状

我国现有不可移动文物近 76.7 万处,其中全国重点文物保护单位共 5 058 处,省级文物保护单位 21 000 余处,市县级文保单位 11 万余处<sup>[6-7]</sup>,约有 6 万处属未核定公布为文物保护单位的不可移动文物,土遗址约占 1/3。

未定级土遗址大部分只采取了一些简单的管理措施,如安排文保员定期巡查,了解遗址的保存状况和防止人为破坏。

大部分全国重点文物保护单位和部分省级文物保护单位管理条件稍好,有专门的保护机构或专门的保护人员,部分遗址有如围栏、围墙等的保护设施,也建立了专门档案,实现防止人为破坏的功能。部分遗址通过收取门票,向游客开放。

少部分全国重点文物保护单位和极少部分省级文物保护单位保护机构比较健全,保护管理条

件较好,能有效防止人为破坏,并实施了一些抢救性保护工程,土遗址的病害得到有效缓解,土遗址坍塌等毁灭性破坏被遏制。也开展了一些利用传承工作,有一些利用设施,制定了管理制度或条例。

有少量土遗址开展了预防性保护,这些土遗址保护管理机构一般比较健全,抢救性保护工程也已经实施,建设了遗址监测项目<sup>[8]</sup>,采用物联网技术实现了对土遗址的环境、安全和病害的实时监测<sup>[9]</sup>,发挥了预防性保护作用;也有遗址建设成遗址博物馆,并开展了较好的利用工作。但是,利用的效率和效果也因遗址不同有较大差异。

有极少量土遗址保护、研究、展示利用开展较好,明显地推动和促进了遗址保护工作。这类遗址一般保护管理机构健全,管理机构的功能比较完善,配置有专门的研究、保护、展示科研人员和工作人员,遗址的抢救性保护和预防性保护工作有序开展,但是,遗址保护和利用的有机协调机制还需要进一步探索,系统性保护的认识还不深入。

## 1.2 我国土遗址保护存在的问题

目前土遗址保护主要问题有以下几个方面。

1) 轻管理、重技术,过分夸大技术措施的作用。随着保护技术的发展,许多遗址保护中片面夸大了技术措施作用,忽略了管理措施的作用。管理措施往往是干预最小的一种手段,土遗址保护应将加强管理,注重日常保养放在首位。另一方面,许多遗址在采用技术保护后缺乏管理措施的后续跟进,保护加固与后期管理严重脱节,无法达到预期的保护效果。

2) 轻预防、重干预,过度强调干预技术的作用。遗址保护中多采用加固工程措施,不够重视或未采用预防性措施,导致病害不断发展<sup>[10]</sup>,只能被动采用抢救加固。

3) 调查不精细、价值阐释不精准、评估不准确。在实践中有较多保护工程勘察工作不细致,价值阐释针对性不强<sup>[11]</sup>,对遗址存在的问题评估不准确,导致保护措施不对症,保护效果不佳,无法实现有效保护。

4) 保护和利用结合不够。保护措施仅从遗址病害出发,未考虑遗址展示利用需求,没有或缺少考量具有保护功能的利用措施,二者结合力度不足,未达到保护和利用平衡。

5) 技术具有局限性。虽然土遗址保护技术取得了较大发展,但仍不能完全满足土遗址的保

护需求<sup>[12]</sup>,有许多问题还只能通过管理措施或预防措施来解决;受到社会和经济影响,即使一些相对成熟的技术也会因为经济原因暂时无法实行,技术手段受限。

6) 未考虑整体系统,保护措施的实施没有综合或协同考虑遗址整体的保护需求,还存在头疼医头、脚疼医脚的现象,没有把遗址本体和环境作为一个整体来考虑,也往往受技术、经费、理念等影响措施缺乏全盘性;保护措施协同性认识不足,管理、干预、预防、利用等保护措施没有充分协调,严重缺乏系统性保护。

7) 对土遗址劣变的本质规律研究不足,现有研究更多从具体病害点开始探索,没有对遗址作为一个系统进行研究,没有研究土遗址系统的演变规律,各类保护措施难以协同发挥作用。

如何协调土遗址保护和利用之间的矛盾,实现系统保护和整体保护,就需要突破传统的保护理论,开展系统性保护。系统性保护包含两个方面:对土遗址系统的科学认知和实施系统性保护措施。也就是要深入研究土遗址系统的组成、结构和演变规律,针对演变规律采取控制措施,发挥保护措施的协同作用,需探索适应新时代高质量发展的土遗址保护新理论,以实现土遗址的有效保护。

## 2 土遗址系统的科学认知

### 2.1 土遗址保护的科学内涵

保护是指为保存文物古迹及其环境和其他相关要素进行的全部活动,保护的目的是通过技术和管理措施真实、完整地保存其历史信息及其价值<sup>[13]</sup>。或者说,保护是指采取措施延长文物寿命的一种过程,是为了当前和将来的利用<sup>[14]</sup>。它既包括对文物区域的管理工作、文物保护的政策、法令及原则,也包括各种保护的措施,如日常保养维修、抢险加固、修复等。实质上,保护是一个矛盾问题,也就是哲学意义上的悖论或两难推理。

1) 从保护的本质讲。首先,遗址劣化是自然规律,是必然趋势,是土遗址在适应环境过程中从一个不均匀有序状态到另一个不均匀有序状态、最终至均匀无序状态的不断演进过程。土遗址的保护需要真实、完整的保存其全部价值与信息,而如何真实、完整保护土遗址所蕴含的信息,最好避免人为干预,干预必然造成影响。为了解决这个

矛盾,提出最低限度干预的保护原则,它包含两方面意思:一方面,人为不干预是最好的保持原状;另一方面,若无人为干预,就无法阻止土遗址劣化、消失的自然进程。其次,保护是人们的主观要求,是一种“逆势”行为。真实、完整保护好土遗址所蕴含的全部信息,是人们一直追求、未来也将持续追求的美好愿望,是社会发展的必然和现实需求。保护就是防止或减缓土遗址的劣化,违逆了土遗址的自然劣化进程,这就必然形成一种矛盾。

2)从保护与利用关系来看。保存价值的最终目的是为了发挥价值的作用,保护是第一位的,同时需要合理利用,合理利用也会反馈土遗址的保护,实现遗址的可持续发展,二者相辅相成。不能实现合理、有效利用的土遗址,保护动力就不强,甚至会引起更多的人为破坏,反而加速土遗址的劣化,合理利用是保持文物活力,反馈、促进保护的重要方法。因此,保护和利用是不可分割的。

土遗址保护就是解决遗址必然劣化与长久保存这一对矛盾,科学研究始于科学问题的确定。从唯象的描述到本质的剖析,这是科学研究的一般进程,明确土遗址保护科学问题是实现系统性保护的关键。从我国土遗址保护历史可以看出,不同阶段面对遗址保护的主要问题不同,所采用的方针、理念、手段、方法皆有侧重点。主要矛盾随着经济、技术、社会的发展是不断变化的,其解决的方法、手段也应与时俱进。当前,土遗址保护的主要矛盾转变为文物保护技术发展不充分与文物资源需要更充分保护利用之间的矛盾,有必要分析解决矛盾的科学问题本质。

首先,分析土遗址保护面临的实际问题。在自然因素和人为因素影响下,土遗址本体呈现突变式和渐变式两类破坏<sup>[15]</sup>,如坍塌和表面风化,导致土遗址本体不断减小、甚至消失,或者土遗址所蕴含的历史、科学、艺术等价值信息丧失、价值降低等;土遗址环境风貌被改变,导致环境中所蕴含的位置、选址、景观、自然风貌等价值信息被改变、误读、甚至磨灭;不当的干预导致土遗址原状部分或全部破坏,严重影响土遗址价值信息保存。

其次,这些问题都可归结至土遗址的病害,它是导致价值损失的根本原因。土遗址的病害实质上是土遗址的赋存环境和土遗址相互作用、相互制约引起的影响土遗址的安全、功能或继续使用的问题。土遗址的保护对象既包括土遗址本体及

赋存环境,也包括人文环境和文化传统,而赋存环境既包括本身成为土遗址价值体系一部分的一些景观环境、人文环境,也包含影响土遗址保存的环境因素,赋存环境和遗址本体之间相互交联,形成一个复杂巨系统。土遗址保护就是研究子系统之间的关系,通过调节、控制子系统相互作用关系,推进整个系统向预定方向发展,防止或减缓土遗址及环境劣化进程,最大化保存土遗址所蕴含的全部信息价值。

总之,土遗址保护要解决的科学问题就是一个不稳定的土遗址系统如何保持稳定态,或者如何控制土遗址系统从不稳定态向下一个稳定态转变的问题;亦或防止或减缓土遗址系统从现有不均匀有序状态向均匀无序状态转变。

## 2.2 土遗址系统的组成、结构与功能

### 2.2.1 土遗址系统的组成

系统是指由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体<sup>[16]</sup>。中国文物古迹保护准则提出:真实、完整地保护文物古迹在历史过程中形成的价值及其体现这种价值的状态,有效地保护文物古迹的历史、文化环境,并通过保护延续相关的文化传统<sup>[13]</sup>。因此,土遗址系统是指包括土遗址本体、自然环境、人文环境的能够反映土遗址所有价值和全部信息要素的复杂巨系统。从保护角度划分,土遗址系统包含3个子系统:土遗址本体、自然环境、人文环境(见图1)。

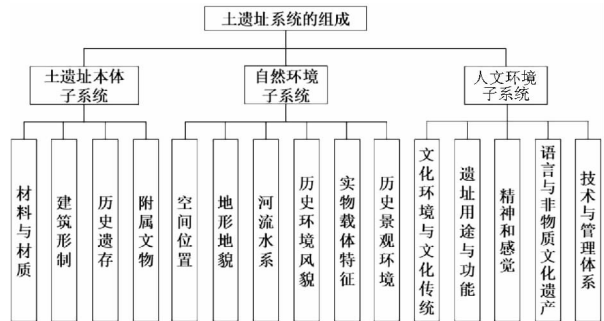


图 1 土遗址系统的组成

Fig. 1 The composition of earthen site system

1) 土遗址本体子系统。土遗址本体子系统包括遗址的材料与材质、建筑形制、历史遗存、附属文物等组分。材料和材质是指建造土遗址所采用的基本材料形式,如夯土、土坯、埴泥、砖石、木材等。建筑形制包括土遗址的外形尺寸、整体布局、结构设计、工艺与建造技法等。历史遗存包括具有研究价值的自然灾害或具有纪念价值的历史

事件遗留下的残损状态,以及不同历史时代遗留在文物古迹上的改动、变化痕迹等文化遗存。附属文物包括依附遗址存在的壁画、题刻、装饰、构件、设备、仪器等。

2) 自然环境子系统。自然环境子系统是指能反映土遗址价值的自然环境要素,如土遗址的空间位置、地形地貌、河流水系、历史环境风貌、实物载体特征等价值信息。空间位置是指遗址所在的地理位置与方位。地形地貌是指土遗址所在区域的地势起伏和形态。河流水系是指土遗址所在区域所属的水系和河流。历史环境风貌是指土遗址自建成至今由于历史作用而形成的特定的环境景观。实物载体特征是指土遗址所依附的岩体等载体的地层、岩性、结构特征等。自然环境要素的选择体现了古人在土遗址选址时的建筑规划思想,一定程度上也反映了古人对自然环境的科学认知。

3) 人文环境子系统。人文环境子系统是指土遗址所蕴含的古人关于建筑与城市规划设计、精神与感觉、历史文化、文化传统、价值体系、社会生活等价值信息。人文环境子系统包括历史景观环境、文化环境与文化传统、遗址用途与功能、精神与感觉、技术与管理体系、语言与非物质文化遗产等。

### 2.2.2 土遗址系统的结构

系统由各个组成成分构成,组分与组分之间存在相互作用,这种组分间的相互联系方式称为系统结构,即系统结构是组分或要素之间关联方式的总和<sup>[17]</sup>。一般根据组分在时间和空间上的不同关联方式,可以把结构分为时间结构和空间结构。一些系统的结构与时间和空间均有关联,则称该系统具有时空结构。

空间结构是指组分在空间的排列或配置方式,即组分在空间中的分布方式,以及由此形成的相互支持或相互制约的关系。土遗址的整体布局、建筑结构、遗迹分布、不同功能分区如居住区、墓葬区、工坊区等,地理位置、自然环境或景观环境等,都有一定的空间位置和分布方式,这些组分的集合共同构成了土遗址系统,这些组分之间互相影响彼此的存在或价值大小。如土遗址本体一般是自然环境或景观环境的重要组成部分;自然环境或景观环境是土遗址本体存在的基础,也往往影响着遗址本体的保存;遗址保护规划中,会把土遗址保护区域划分为遗址本体、保护范围、建设

控制地带等空间区域。

时间结构是指组分在时间流程中的关联方式。时间结构有不同时期和阶段的划分,系统的各个组分在不同时期和阶段之间的关联、衔接和过渡的方式就称为时间结构。土遗址在历史发展过程中,一般会经过不同时代的建设与改造,并遗留相应遗迹,它们是土遗址历史发展的见证,一些土遗址还保存有历史时期自然灾害的重要证据,或重要历史事件的证据,这些都是土遗址存在于整个历史过程中所产生和被赋予的价值。

土遗址系统的三大组分,即本体子系统、自然环境子系统和人文环境子系统之间既独立存在,又互相存在交叉与重叠、依托与支持,共同形成了土遗址系统的嵌套结构(见图2)。土遗址本体是自然环境的组成部分,本体的一部分艺术价值就通过景观环境来体现,如风蚀地貌等,本体和自然环境共同构成并扩展了土遗址的历史、科学、艺术价值;另一方面,本体和自然环境是人文环境的重要载体,一些人文环境靠本体和自然环境来体现,同时人文环境也有自身特有的表现形式,如土遗址所蕴含的文化传统、精神和感觉等。

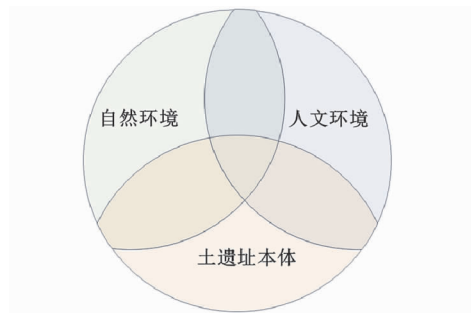


图2 土遗址的嵌套结构

Fig.2 Nested structure of earthen sites

价值是土遗址各个组分的共有特性,土遗址系统的价值是3个子系统价值的有机组合,这种价值的有机组合不是价值的简单合并,而是能够使整个系统价值大于3个单个子系统价值总和的集合,具有价值扩大的作用,体现了“1+1>2”的协同效果,3个组分价值之间存在互相干扰、互相影响、互相制约的作用,单一组分价值的降低,不仅会引起系统价值的变化,也可能引起其他组分价值的变化,共同作用形成土遗址系统的价值结构。土遗址的价值随时间变化会有增长、变化可能,价值呈现波动状态,而且,随着土遗址的自然劣化直至消失,价值具有明显的衰减性。价值波动与衰减是土遗址系统价值结构的鲜明特征。

### 2.2.3 土遗址系统的功能

系统功能是指系统与外部环境相互联系和相互作用中所表现出的性质、能力和功效,是系统内部相对稳定的联系方式、组织秩序及时空形式的外在表现形式<sup>[18]</sup>。系统功能由系统结构与外部环境共同决定,并依赖于系统结构,系统结构对系统功能具有决定性的意义。土遗址系统的结构是基于土遗址价值形成的,土遗址系统的结构又决定了土遗址系统具有体现价值的系统功能。价值是个人或社会的认知、感觉或需求,土遗址价值是土遗址系统的整体价值,而土遗址系统的外部环境所关注的正是土遗址价值,对外部环境开放,土遗址价值才得以展现。从文物保护角度来看,土遗址保护是保护土遗址所蕴含的价值,通过土遗址价值将各个组分有机结合起来,土遗址保护的核心便是保护土遗址的价值;反之,土遗址正是由于价值重要才值得保护。

### 2.3 土遗址系统的环境和边界

系统本身具有规定性,即有别于其他系统和事物的规律和确定性的特性。系统的规定性可分为内部规定性和外部规定性,前者包括了系统的组分与结构,后者是指系统与环境之间关联互动的方式。系统还具有整体涌现性,整体涌现性是指系统整体具有而其元素或组分总和所不具有的特征,由于规模效应、结构效应、环境效应等,形成整体效果大于部分效果之和。整体是部分的有机组合而非简单相加,即系统具有组合特征而不是加和特征。

系统环境是指独立于系统之外但与该系统相关联的一切事物的集合,是决定系统整体涌现性的重要因素,土遗址系统的环境就是影响土遗址保存的外部影响因素,包括自然因素和人为因素两类(见图 3)。

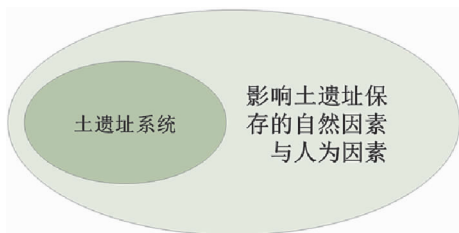


图 3 土遗址系统与环境集合示意图

Fig. 3 Schematic diagram of earthen site system and environment collection

系统边界是指把系统与环境分开来的集合。土遗址系统边界可以用价值来判断,是对土遗址

系统价值的保存、变化起作用与不起作用之间的界限,凡是含有价值信息的内容都是系统内部要素,而对土遗址价值存在与变化有影响的因素是系统的环境。

### 2.4 土遗址系统状态的评估

#### 2.4.1 系统信息的组成

事物在发展变化过程中面临的各种可能性集合称为该事物的可能性空间。任何事物都具有一定的可能性空间。人们根据目的改变条件,使事物沿着众多可能性空间中特定的明确方向发展,由此形成了控制<sup>[19]</sup>。要实现更精准的控制,就需要尽可能多地了解一个事物的可能性空间,即掌握与事物有关地尽可能多的信息。信息是指描述客观世界存在物质的属性,系统的诸多属性都可以归纳为系统的信息。系统的组分性质、组分之间的比例、相对位置关系、连接方式、系统的形状、结构、功能等,都属于系统的信息,通过信息可以更客观全面地认知系统。

土遗址系统的发展与演变也存在多种可能性空间,系统可能处于稳定状态,也可能处于不稳定状态。例如,土遗址的某一面墙体可能保持稳定,也可能发生坍塌,想要了解土遗址系统的状态就需要掌握其所具有的信息。实质上,掌握土遗址系统所具有信息的过程就是土遗址勘察工作,所了解和掌握的信息则是土遗址勘察的内容。

根据系统与外部环境之间的关系,土遗址系统的信息可以分为系统内部信息和系统外部信息两部分,即土遗址系统的组成、结构等对土遗址发展有作用的内因,与影响土遗址系统演变的外因。

1) 系统内部信息。土遗址的系统内部信息,即土遗址系统的内部影响因素,是指对系统价值起到作用的系统组成和系统结构等信息,包括本体、自然环境和人文环境,如土遗址本体的材料、形制、工艺、结构、地理位置等。

2) 外部影响因素。土遗址系统的外部信息,即土遗址系统的外部影响因素,是指独立于土遗址系统之外却影响土遗址系统发展与演变的信息。如土遗址的地形地貌、气象环境、河流水系,土遗址周边地区的经济条件、工业设施与活动、农业生产、社区分布与管理等。

#### 2.4.2 系统状态的表征

系统状态是指系统中可以观察和识别的状况、态势、特征。系统状态一般可以用系统状态量进行表征,系统的状态量是系统的定量特性,随系

统状态的变化发生数值改变的状态量称为系统的状态变量<sup>[16]</sup>。系统的状态变量是描述系统随时间和不同情况变化的量,特定状态变量数值对应了特定的系统状态,以此体现系统的基本特征。

土遗址系统的状态是指土遗址的价值和信息保存状况,可以用价值和信息保存的真实性、完整性来表征,即土遗址系统的状态量就是遗址价值和信息的真实性、完整性方面的保存程度。土遗址病害的产生与发育会影响土遗址价值的保存程度,根据病害的发育程度可以来表征土遗址系统的状态量,即土遗址系统的状态变量是土遗址的病害。

土遗址系统状态的变化既受到系统内部各元素之间的相互作用与影响,也受到外部环境变化的影响。因此,土遗址病害是系统内部组成、结构及外部影响因素参数组成的函数,病害的变化反映了系统外部影响因素的变化引起的系统内部组成、结构的改变,可以通过控制外部影响因素参

数,实现对土遗址系统状态的控制,这就是土遗址保护。

### 2.4.3 系统状态变量的类型

土遗址系统的状态变量有土遗址本体、自然环境和人文环境的病害,总体可归纳为土遗址本体病害和赋存环境病害两大类。病害的载体和对象不同,病害分类与表现也有所不同。

土遗址本体的病害主要是由自然因素和人为因素两方面引起的,通过对土遗址本体病害的分析、整理、归纳,将土遗址本体的现有病害分为 2 个大类、8 个类、22 个亚类<sup>[20]</sup>,随着研究的深入,还可以进一步细分。

土遗址赋存环境的病害多表现为区域性病害。根据影响因素作用的特性可以分为自然破坏与人为破坏。土遗址赋存环境的影响因素较多,根据不同影响因素的类型和成因差异可以分为 2 个大类,19 个类(见图 4),也可以进一步细分。

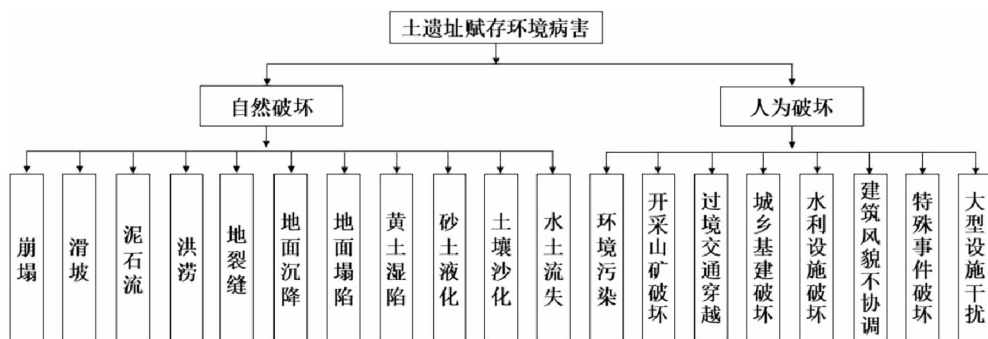


图 4 土遗址赋存环境病害分类

Fig. 4 Classification of environmental deterioration of earthen sites

### 2.4.4 土遗址系统的状态参量

不同病害类型,描述病害变化的参数也不一样,每一种病害(状态变量)可以采用可控性指标与可测性指标来定量描述病害的程度(见表 1),可控性指标可以对病害进行定量或定性评价,可测性指标可以采用已经成熟的各种定量技术手段或定性描述分类来表示。土遗址系统病害不同,状态变量的组成也不一样,若一个系统有  $n$  个状态变量,用这  $n$  个状态变量作为分量构成的列向量,称为系统的状态向量。

状态向量的所有可能值的集合在几何学上称为状态空间,可以用病害的状态向量组合来表示土遗址系统的状态空间。状态空间表达式是一种采用该状态描述系统动态行为的时域数学模型,包括状态方程和输出方程,建立土遗址系统的状

态数学模型有助于评估土遗址系统的状态。

### 2.4.5 系统的稳定态与相变

系统的状态、特性、结构、行为、功能等随时间的推移而发生的变化,称为系统演化。系统演化具有普遍性,并具有两个基本方向:一是由简单到复杂、从低级到高级的进化;一是由有序到无序、由高级到低级的反向退化<sup>[13]</sup>。土遗址系统的演化是一种反向退化,是在系统内部组分之间相互作用和外部环境变化的双重推动下逐渐走向无序的演化。

系统状态分为暂态和终态,终态分为四种情况:不动点、周期解、准周期、混沌解。土遗址系统的终态是混沌解,即土遗址系统最终走向消亡的无序结构,系统终态呈现出混沌的特点。土遗址保护的理想情况是将土遗址系统的终态改变为不

动点,即此时状态只取固定值,系统即使受到扰动 发生改变,也会变回原来的状态。

表 1 常见病害的状态参量

Tab. 1 State parameters of common deterioration types

病害类型	可控性指标	可测性指标
崩塌	稳定系数、运动形式、活动状态、崩塌源扩展方式	几何尺寸(崩塌源和堆积体)、土的性质、结构面、诱发因素、水文地质条件
滑坡	稳定系数、扩展方式、变形特征	几何尺寸、土的性质、结构面、滑坡速度、诱发因素、水文地质条件
泥石流	冲淤变幅、堵塞程度	沟口扇形地特征、松散物特征、泥石流冲出方量、植被覆盖率、诱发因素、土的性质、水文地质条件、相对高差
洪涝	冲刷范围、规模等级	洪水水位、频率、河道与遗址关系、降水量、降水频率
地裂缝	活动状态、地裂缝扩展方式、伴生裂缝的排列方式	单次事件裂缝的几何尺寸、土的性质、结构面、诱发因素
地面沉降	沉降层位、空间变化规律	沉降区面积、历年累计沉降量、平均沉降速率、土的性质、结构面、诱发因素、水文地质条件
地面塌陷	活动状态、塌陷坑扩展方式、塌陷地质模式、规模等级	地面塌陷量、塌陷范围、塌陷深度、塌陷速度、土的性质、结构面、诱发因素
黄土湿陷	类型、规模等级、第四系覆盖层特征	土的性质、结构面、水文地质条件
砂土液化	类型、规模等级	土的性质、结构面、应力分布状态、历史地震特征、水文地质条件
土壤沙化	沙漠流动状态、植被类型与分布生长情况	沙漠面积、土的性质、结构面、植被覆盖率、气候特征、水文地质条件
水土流失	侵蚀类型、规模等级	土壤平均流失厚度、土壤平均侵蚀模数、土壤侵蚀强度、土的性质、结构面
环境污染	污染源、规模等级	污染物含量、污染物浓度
开山采矿破坏	开采方式	开采规模、与遗址本体的距离、土的性质、结构面
过境交通穿越	公路类型	穿越位置、面积占比、行车流量
城乡基建破坏	建筑类型	建设范围、建筑体量
水利设施破坏	破坏类型	遗址的破坏规模、特征
建筑风貌不协调	建筑外观、建筑类型	建设范围、建筑体量
大型设施干扰	设施类型、影响方式	与遗址本体的空间关系

赋存环境病害

续表1

病害类型	可控性指标	可测性指标
片状剥蚀	风化速度	土的性质、结构、构造、风化影响因素
掏蚀	稳定系数、掏蚀速度	几何尺寸、土的性质、掏蚀位置、掏蚀影响因素
裂隙缝	类型、起伏状态、粗糙程度、填充情况、渗水情况	几何尺寸、土的性质、张开度、裂隙产状
冲沟	类型、水的补给、径流和排泄条件、发育程度	几何尺寸、土的性质
生物破坏	类型、形态特征、发育程度	几何尺寸、土的性质、覆盖度、聚生度
汇水侵蚀	类型、水的补给、径流和排泄条件、发育程度	电导率
历史破坏、近现代破坏	破坏类型、发育程度	数量、几何尺寸、颜色

系统的稳定状态与不稳定状态可以互相转化。如密闭的墓室在长期作用下已经达到稳定状态,当考古发掘墓室被打开时,由于墓室与外界环境构成了新的开放系统,墓室这个系统会转化为不稳定状态;而处于不稳定状态的土遗址,可通过保护措施达到稳定状态。所以,保护土遗址时,需要分析土遗址系统的状态是否稳定,防止稳定状态发生相变。

土遗址的相变符合质变理论,可以通过飞跃和渐变两种方式实现。如处于极限平衡状态的土遗址,在降水、振动等因素影响下,突然发生坍塌,是通过飞跃形式实现的质变;人为挖掘取土而破坏遗址也是飞跃形式的质变;由于表面风化,遗址体量慢慢劣化缩减,直至消失殆尽,是通过渐变方式实现的质变。

#### 2.4.6 系统状态的评估

土遗址系统状态的评估,就是对土遗址病害的评估。它不仅是对病害的发生、发育以及演化趋势评估,也是对病害对遗址价值潜在影响的评估,即评估病害对土遗址系统价值长久保存产生的已有的、或可能的影响。不同的病害类型引起的遗址破坏及其作用规模不同,因此,对土遗址病害的评估可分为以下两个方面<sup>[21]</sup>。

1) 赋存环境病害可按照地质灾害的方法与程序开展评估。主要评估土遗址区域性的病害,通过对灾害活动强度或规模、灾害活动频次、灾害分布密度、灾害危害强度等的分析评估,判断地质灾害对土遗址系统价值及其真实性、完整性的影

响程度。

2) 本体病害主要有稳定性和表面风化两个方面。土遗址失稳可导致土遗址突然的局部坍塌,评估时应考虑到土遗址的裂隙分布、应力分布等;表面风化的长期作用可导致遗址不断缩小直至消失,评估时应考虑表面风化的类型、位置、发育程度、影响因素等。通过土遗址本体病害的分析评估,判断遗址稳定性和表面风化对土遗址系统价值及其真实性、完整性的影响程度。

在每一个病害评估的基础上,可以采用层次分析法、模糊数学等现代分析评估技术对系统状态进行定量评估,通过长期研究与积累,也可以构建状态数学模型,利用机器学习、人工智能等手段全面提升土遗址保护水平。

### 3 土遗址的系统性保护措施

系统状态评估结果稳定,则需保持现状,若不稳定,则需采取相应的保护措施。保护措施也需要评估,以便充分发挥保护措施之间的协同作用,实现系统性保护。

#### 3.1 措施体系组成

保护措施对文物保护起到直接作用或间接作用,根据不同的分类标准,保护措施可以分为不同的类型。根据措施的属性可以分为管理措施和技术措施两大类;根据措施的功能还可以分为预防、加固、修缮、利用等;根据措施的技术特点也可以分为传统技术、现代技术;根据措施的性质分为可

逆措施和不可逆措施等。

本文根据措施的性质和功能将保护措施分为

4 个类型:管理措施、干预措施、预防措施、利用措施(见图 5)。

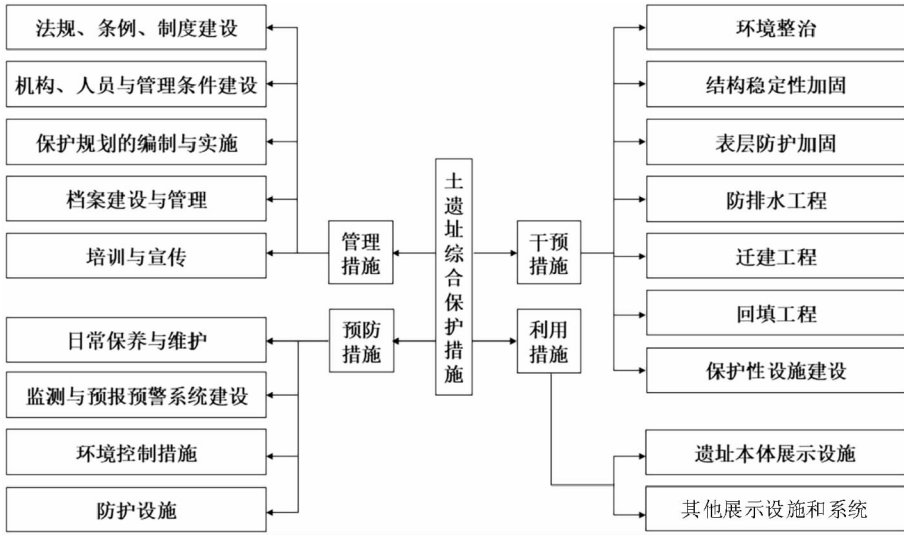


图 5 土遗址综合保护措施分类

Fig. 5 Classification of integrated conservation measures for earthen sites

### 3.2 措施体系结构

管理措施、预防措施、干预措施、利用措施的性质和功能有所不同,多种措施同时实施时会互相配合或互相干扰,共同影响和控制保护措施的整体保护效果。针对不同的遗址保护问题,四类措施都有可能起到预防作用,也有可能起到加强管理的作用。在土遗址保护实践中,针对某一遗址保护问题,往往可以只采用单一措施,也可以同

时采用两类、三类或四类措施,由此构成一个完整的保护措施子系统。这有两层含义:①对一个复杂的土遗址系统而言,存在的问题往往不是单一的,而是多个问题的综合体,因此,针对不同问题采用不同的措施构成一个整体,起到保护效果;②针对某一问题,可以采用几种措施共同作用。这两方面保护措施的集合就是综合保护措施(见图 6)。

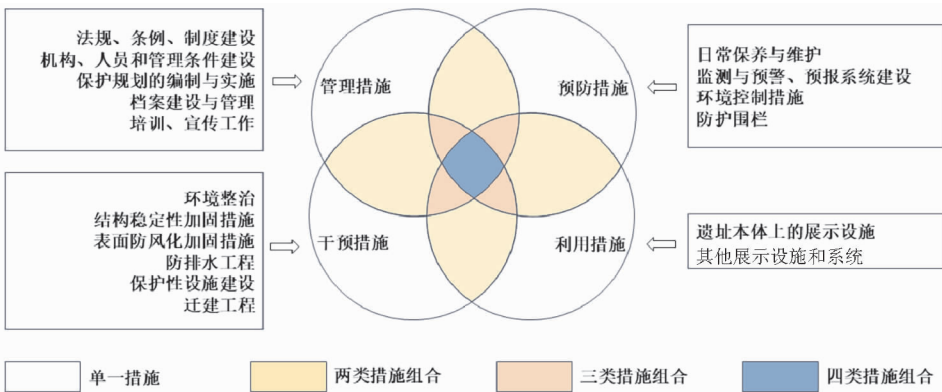


图 6 土遗址综合保护措施体系组成与结构图

Fig. 6 Framework and components of the integrated conservation measures system for earthen sites

### 3.3 措施协同机制

土遗址保护是采用保护措施调节土遗址系统的内部关系,使土遗址系统按照设计目标运行的过程。措施的组合和排列,就是保护措施的协同作用过程,措施之间的协同机制就是研究措施之间的共同作用关系。保护措施的协同机制体现在 5 个方面。

#### 3.3.1 整体性保护与措施的限制性

土遗址保护是一个整体保护和系统保护统筹实施的工作,应将土遗址系统视为一个整体,坚持完整性原则,进行全面、系统的保护。保护土遗址本体时,应考虑该措施对赋存环境和遗址风貌的影响,不能仅从保护本体角度考虑措施的可行性和效果,应从整体思考,统筹全局;与此同时,保护

遗址的赋存环境也要考虑本体的状态和实际情况,不能将各个组分分隔开来。另外,保护措施也尽可能采用多种手段结合,共同发力,共同实现保护目的,发挥组分之间的有机组合的优势,即尽量实现多个措施的整体实施效果大于单个措施简单合并的实施效果。另一方面,必须充分认识保护措施的局限性。目前,文物保护技术还不成熟,还不能完全解决遗址出现的问题,这就要求尽可能采取多种措施,配合实施,通过综合保护减少对遗址本体的影响程度,最大化的实现保护效果。

### 3.3.2 层次性

我国的文物保护方针是“保护为主,抢救第一,加强管理,合理利用”。因此,保护措施的运用也具有层次性。保护是基础,是第一位的,只有在保护的基础上才能考虑合理利用;利用必须是合理的、有尺度的、可持续发展的、符合高质量发展要求的,是以不损害文物本体及其环境的价值为前提的。针对管理措施、预防措施、干预措施和利用措施而言,措施之间也有先后顺序,体现了措施协同的层次性。管理是土遗址保护的基本工作,是为实现土遗址保护与土遗址价值进行的协调和组织工作,也是四类措施中对遗址影响相对最小的措施,在制定综合保护措施时,应首先考虑管理措施。预防措施符合最低限度干预原则要求,为减少对文物古迹的干预,应优先考虑预防措施,再考虑干预措施。合理利用是文物古迹保护的重要方法,在有效保护的前提下可以科学地实施利用措施。四类措施的层次性体现在选择保护措施时的优先级上,在措施实现功能程度同等时可按照管理措施、预防措施、干预措施和利用措施的先后顺序考虑优先度。另一方面,每一类措施之间也存在干预、影响程度不同,若不同的干预措施,在潮湿环境和干旱环境对文物影响程度有差异,保护效果也有差别,不同的管理措施,由于管理条件的不同,实现管理目的也有差异,因此,同一类措施之间的选择也存在层次性。

### 3.3.3 互补性与竞争性并存

四类措施在解决同一个问题时可以互相补充,从而降低另一种措施的实施难度。如针对游客踩踏遗址的问题,可以采用围栏措施,但实际上往往还存在游客翻越围栏的问题,如果一味从预防措施的角度出发,考虑架高围栏等方法,势必造成景观效果、游客体验感,经费等问题。因此,可在修建适宜高度围栏的基础上,采取加强人工巡

查和监测等预防措施以及游客管理、宣传培训等管理措施,发挥措施间的优势互补,共同解决问题。另一方面,四类措施也存在互相竞争的问题,由于经费、人员力量的限制与影响,往往无法保证所有措施同时实施,只能在某一阶段先采用一种措施,使得措施实施存在先后或无法并行的竞争关系。

### 3.3.4 动态性

随着社会经济和建设的发展、人们的认知水平、文化需求和保护理念的变化,文物保护的需求会发生较大的改变,保护措施的使用策略可能发生根本性变化。如由于交通建设需求,道路必须穿越遗址,原有土遗址系统的平衡状态被打破,必须采取新的保护措施使其达到新的平衡,这就是保护措施的动态性,也就是保护措施需要根据社会发展需求而产生动态变化。又如由于水利工程建设需求,导致遗址被淹没,这就可能需要实施新的保护措施。

### 3.3.5 阶段性

保护措施的选择存在阶段性。阶段性包含两层含义,一是受经济和技术影响,一些理想条件下保护效果好的保护措施难以实施,土遗址保护有使用恰当的保护技术的原则要求,这种恰当就通过技术经济合理来体现;同时,科技的不断发展促生了新的保护技术,在文物保护领域,数智技术应用逐步广泛,已经从最初的信息存储与传输阶段,逐步深化至数据处理与分析,直至现今的自动化与智能化分析展示阶段<sup>[22]</sup>,技术涵盖文物风险识别<sup>[23-25]</sup>、病害机理研究<sup>[26]</sup>、风险控制措施<sup>[27-28]</sup>以及预警系统<sup>[29]</sup>等方面,新技术的应用可能使得土遗址保护技术产生根本性变化。土遗址保护是持续与反复进行的一项工作,各个阶段保护措施的实施,必须为未来新技术的应用留有空间。二是土遗址系统的需求改变时,对保护措施的需求也会产生根本性变化,如保护规划不同,考古发掘现场的土遗址可能需回填保护,也可能被建成遗址博物馆、考古遗址公园等。不同时间下不同保存状态的土遗址所需的保护措施存在很大差异,这也是保护措施阶段性的主要体现。

## 3.4 保护措施系统的序参量

序是指系统内部元素与元素、系统与元素、系统与系统之间相互联系和相互作用的规则,在子系统之间可以比较其有序程度的联系称为有序关系。所谓有序,是指事物之间和事物内部的诸要

素之间有规则的联系或有规律地转化,无序指事物之间和事物内部的诸要素之间混乱无规则的组合,其转化亦无规律<sup>[30]</sup>。保护措施系统开始往往处于无序状态,保护措施的采用多是就某个问题简单采用单一措施,呈现头疼医头的现象,措施的协同,就是按照措施的协同机制,实现措施的有序组合。对保护措施系统而言,协同就是促进一个无序系统向有序系统的转化。

有序和无序需要以某种规则为根据,规则确定以后才能对事物进行排序,判断其有序性。依据的规则不同,事物的有序程度也会不同,通常有两种序:结构排列上的结构序和在实现不同功能时有一定先后的功能序。采用保护措施时有管理、预防、干预、利用的先后顺序,研究保护措施的协同作用,就需要考虑保护措施系统的有序程度。序参量是指描述系统的有序程度的系统状态变量,随着系统由无序向有序方向演化,有序程度增加,序参量由0变为正的有限值,并由小向大变动。序参量与描写系统状态的其他变量相比,随时间变化较慢,所以也称其为慢变量;相应地,将系统内随时间变化较快的状态变量称为快变量。

所有保护措施的目的都是对土遗址实施有效保护,保护措施的有效程度是表征保护措施状态的最关键状态变量,可以用保护措施有效性定量表征;不同措施之间协同作用,组成保护措施体系,整个保护措施体系形成一个完整的保护措施系统,保护措施系统整体控制土遗址系统。不同的措施系统,有效程度不一样,系统有序的程度越高,系统的有效性越大,因此,可以将保护措施系统的有效性称为保护措施系统的序参量。

### 3.5 序参量的评估方法

#### 3.5.1 保护措施有效程度评估

保护措施有效性是对某一保护措施宏观状态的定量表征,包括措施对遗址的风险程度、措施对遗址系统的干扰程度、施加措施后对遗址真实性、完整性的影响程度、措施和遗址的兼容性、措施的可靠性、措施的建设成本和运营成本、措施的耐久性等指标。

1) 措施对遗址的风险程度,是指由于技术、经济、管理等能力或条件限制,措施实施时造成措施达不到预期效果或措施本身对遗址有潜在风险,或者措施实施后,由于可能存在的执行力不足或措施本身失效对遗址可能造成的潜在风险。

2) 措施对遗址系统的干扰程度,可依据文物

保护基本原则及不改变文物原状原则判断。可以从对遗址原状的认知是否科学、合理准确、保存现状和恢复原状方面的技术方法是否定位科学准确、措施力度、范围、规模是否定位合理等方面进行判断,判断可采用专家评判等方法。

3) 施加措施后对遗址真实性的影响程度,是指由于措施实施后对遗址价值真实性可能造成的影响,包括对遗址真实性掩盖,降低或丧失等破坏,或造成公众对遗址真实性的误读或误解等等。可以从措施对遗址的材料、工艺、设计及其环境和它所反映的价值信息的影响进行判断。

4) 措施实施后对遗址完整性影响程度,是指措施实施后对遗址价值完整性造成的影响。可以从对时间维度和空间维度两方面价值是否保存完整进行判断。

5) 措施和遗址的兼容性,包括措施的材料、工艺、性能、外貌、景观等各方面和遗址系统的和谐、统一程度以及措施可逆性等方面,对管理制度等管理措施可以设定为兼容性最好。可以从是否采用传统工艺、材料性能和遗址性能匹配程度、景观效果是否与遗址文化和遗址现状适应、外貌是否和遗址地形地貌和谐、措施可逆性或可再处理性等角度判断。

6) 措施的可靠性,是指措施的科学合理性,措施有效实施后能解决遗址所存在问题的程度。可根据措施对遗址病害的治理程度进行分析判断。

7) 措施的建设成本和运营成本,是指措施实施和运营时的成本与遗址管理单位经费筹集能力相对大小。

8) 措施的耐久性,是指相比措施成本而言措施能有效施加保护作用的时间延续程度。

#### 3.5.2 保护措施系统的有效性评价

保护措施系统的有效性是对保护措施系统状态的定量表征,它包括两个层次问题:几种措施协同作用对遗址某种病害的解决程度,所有措施形成的体系对整个遗址系统的保护程度。保护措施系统的有效性评价就是评价能够有效解决遗址现存问题的若干个综合保护优化方案的有效性,由此得出各个综合保护优化方案对解决遗址病害与整个系统保护程度的排序。

保护措施系统有效性是对遗址本体及其环境所采取的综合保护措施实施效果的定量表征,包括:保护方案的分期是否按照病害的严重程度合理安排;保护措施的选择与管理、预防、干预、利用

实施顺序的匹配情况;“保护为主,抢救第一,加强管理,合理利用”方针是否贯彻;资金保障程度;执行能力情况;方案实施的难易程度;与保护规划的契合度等。

1) 保护方案的分期是否按照病害的严重程度合理安排。在查明遗址保存状态与保护现状的基础上,主要依据各类病害发育的严重程度明确遗址待解决具体问题的紧急程度。

2) 保护措施的选择与管理、预防、干预、利用实施顺序的匹配情况。不同的保护措施及其施加顺序会对遗址保护产生不同的保护效果,管理措施是长期产生保护效果的措施,对遗址本体的干预程度最小;预防措施注重维持遗址的长效安全,对遗址本体的干预程度也较小,因此可优先选择使用这两种保护措施。在判断综合保护方案时需要综合考虑各个措施施加顺序的匹配情况。

3) 保护措施系统必须符合“保护为主,抢救第一,加强管理,合理利用”的工作方针和“保护第一、加强管理、挖掘价值、有效利用、让文物活起来”的工作要求。

4) 资金保障是指是否具有充足的资金完成各分期的综合保护方案。

5) 执行能力情况是指综合工作人员、办公设备和附属设施等支撑条件判定遗址管理机构对综合保护方案的执行能力。

6) 方案实施的难易程度是指综合保护方案的各项措施实施所需的技术、工艺等具体操作的难易程度,以及获取所需材料、设备的难易程度。

7) 与保护规划的契合度。遗址保护规划是对遗址本体及其环境一定时间段内的保护、利用和管理等主要措施的计划,保护规划的分项规划中包含对保护措施的设计要求,综合保护措施方案需要与保护规划中保护措施的设计相契合。

保护措施的有效性和保护措施系统的有效性都可以借助现代综合评价方法如层次分析法、模糊数学法等予以定量评价,要取得科学的评价结果,关键是获得合理、科学的权重,可以采用问卷调查、专家打分等形式,问卷调查的人群和专家组成的代表性尤为关键,并且尽量开展多形式结果比对,提高评价的准确性和可靠性。

## 4 结 语

土遗址是一个复杂的巨系统,土遗址保护也

是一个系统工程。按照系统论的理论,本文科学阐释了土遗址系统是开展系统性保护的基础。土遗址系统包含了遗址本体和环境,以土遗址价值为核心,分析了土遗址系统的状态,提出病害反映了土遗址系统从有序到无序演变的过程,可表征土遗址系统状态,对土遗址保护就是防止或减缓土遗址系统从现有不均匀有序状态向均匀无序状态转变。土遗址系统性保护不但包含科学认知土遗址系统,也包括实施系统性的保护措施,保护措施包括管理、预防、干预和利用等,有效性是表征保护措施状态的最关键状态变量,四种措施的协同作用构成完整的保护措施系统,并可以用系统有效性定量表征。

## 参考文献

- [1] 王旭东. 潮湿环境土遗址保护理念探索与保护技术展望[J]. 敦煌研究, 2013(1): 1-6.  
WANG X D. Exploration of conservation philosophy for earthen sites in humid environments and an outlook on future conservation technology [J]. Dunhuang Research, 2013(1): 1-6.
- [2] 王旭东. 中国干旱环境中土遗址保护关键技术研究新进展[J]. 敦煌研究, 2008(6): 6-12.  
WANG X D. New progresses on key technologies for the conservation of Chinese earthen sites in arid environment[J]. Dunhuang Research, 2008(6): 6-12.
- [3] 崔凯, 谌文武, 匡静, 等. 干湿交替与盐渍双重作用下干旱和半干旱地区土遗址劣化效应[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 43(6): 2378-2384.  
CUI K, CHEN W W, KUANG J, et al. Effect of deterioration of earthen ruin with joint function of salinized and alternating wet and dry in arid and semi-arid regions[J]. Journal of Central South University(Science and Technology), 2012, 43(6): 2378-2384.
- [4] 中共中央办公厅 国务院办公厅. 关于加强文物保护利用改革的若干意见[EB/OL]. (2018-10-08) [2025-07-11]. [https://www.gov.cn/zhengce/2018-10/08/content\\_5328558.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2018-10/08/content_5328558.htm).
- [5] 李六三. 深入学习贯彻新时代文物工作方针 推动文化遗产保护事业发展[EB/OL]. (2022-09-07) [2025-07-11]. [http://www.ncha.gov.cn/art/2022/9/7/art\\_2646\\_177107.html](http://www.ncha.gov.cn/art/2022/9/7/art_2646_177107.html).
- [6] 一言, 陈鸣. 全国重点文物保护单位统计特征分析与研究[J]. 东南文化, 2021(4): 6-15.  
YI Y, CHEN Y. An analysis of the statistics on major historical and cultural sites protected at the national

- level[J]. *Southeast Culture*, 2021(4): 6-15.
- [7] 李瑞. 文物事业十年成就 | 赓续文明根脉 筑牢自信根基[EB/OL]. (2022-10-20)[2025-07-11]. [http://www.ncha.gov.cn/art/2022/10/20/art\\_722\\_177806.html](http://www.ncha.gov.cn/art/2022/10/20/art_722_177806.html).
- [8] DONG M, HU H, GUO Q L, et al. Correlation of environmental parameters and the water saturation induced deterioration of earthen archaeological sites: The case of world heritage Liangzhu City, China[J]. *Heritage*, 2021, 4(1): 387-400.
- [9] 李华. 物联网技术在秦始皇帝陵博物院环境监测中的应用[J]. *文物保护与考古科学*, 2020, 32(4): 110-116.
- LI H. Application of the internet of things to the environmental monitoring of Emperor Qinshihuang's Mausoleum Site Museum[J]. *Sciences of Conservation and Archaeology*. 2020, 32(4): 110-116.
- [10] GUO Q L, WANG Y W, CHEN W W, et al. Key issues and research progress on the deterioration processes and protection technology of earthen sites under multi-field coupling[J]. *Coatings*, 2022, 12(11): 1677.
- [11] 孙华. 遗产价值的若干问题——遗产价值的本质、属性、结构、类型和评价[J]. *中国文化遗产*, 2019(1): 4-16.
- [12] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发“十四五”文物保护和科技创新规划的通知[EB/OL]. (2021-11-08)[2025-06-30]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-11/08/content\\_5649764.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-11/08/content_5649764.htm).
- [13] 国际古迹遗址理事会中国国家委员会. 中国文物古迹保护准则[M]. 北京: 文物出版社, 2015.
- [14] 孙满利, 王旭东, 李最雄. 土遗址保护初论[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [15] 孙满利, 陈彦榕, 沈云霞. 土遗址病害研究新进展与展望[J]. *敦煌研究*, 2022(2): 136-148.
- SUN M L, CHEN Y R, SHEN Y X. New progress and prospects in research on earthen site deterioration [J]. *Dunhuang Research*, 2022(2): 136-148.
- [16] 谭璐, 姜璐. 系统科学导论[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2018.
- [17] 魏宏森, 曾国屏. 系统论——系统科学哲学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [18] 段晓君, 林益, 赵城利. 系统科学教程[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [19] 金观涛, 华国凡. 控制论与科学方法论[M]. 北京: 新星出版社, 2005.
- [20] 孙满利, 李最雄, 王旭东, 等. 干旱区土遗址病害的分类研究[J]. *工程地质学报*, 2007(6): 772-778.
- SUN M L, LI Z X, WANG X D, et al. Classification of deteriorations associated with many earthen heritage sites in arid areas of northwest China[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2007(6): 772-778.
- [21] 孙满利. 土遗址病害的评估体系研究[J]. *文物保护与考古科学*, 2012, 24(3): 27-32.
- SUN M L. A system for evaluating the deterioration of earthen sites [J]. *Sciences of Conservation and Archaeology*, 2012, 24(3): 27-32.
- [22] 孙满利, 邓凯, 沈云霞, 等. 数智技术在文物预防性保护中的应用现状及前景[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2025, 55(1): 23-35.
- SUN M L, DENG K, SHEN Y X, et al. The application and prospect of digital intelligence technology in the proactive conservation of heritage preservation[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2025, 55(1): 23-35.
- [23] 王生科, 张斌, 张翔. 无人机倾斜摄影在文化遗产土遗址保护中的技术应用研究[J]. *文物鉴定与鉴赏*, 2024(20): 36-39.
- [24] 邓旭帅, 李子璇, 张云春, 等. 人工智能目标检测技术在书画文物病害调查中的应用[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2025, 55(1): 98-105.
- DENG X S, LI Z X, ZHANG Y C, et al. Application of artificial intelligence object detection technology in disease identification of calligraphy and painting cultural relics[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2025, 55(1): 98-105.
- [25] 杨杰. 明长城夯土墙体表面病害快速调查方法研究[D]. 张家口: 河北建筑工程学院, 2022.
- [26] 许长源. 基于光纤传感的石质文物苔藓腐蚀过程关键参数在线检测方法研究[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2024.
- [27] 叶飞. 基于小波相关分析 LSSVM 的不可移动文物裂缝开度预测[D]. 西安: 西安科技大学, 2021.
- [28] 李丹丹. 馆藏金属文物预防性保护中环境风险分析方法的研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2023.
- [29] 卢世主, 郭雨晴. 基于数字孪生的革命旧址监测与预警系统研究[J]. *包装工程*, 2021, 42(14): 47-55.
- LU S Z, GUO Y Q. Monitoring and precaution system of revolutionary sites based on digital twin[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(14): 47-55.
- [30] 曾健, 张一方. 社会协同学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.