

【文化遗产保护】

# 气候变化对文化遗产的影响： 基于空间信息的认知与应对

王心源 陈一仰 骆磊

**【摘要】**气候变化对文化遗产保持其原真性(authenticity)与完整性(integrity)构成挑战。如何理解并应对气候变化之于文化遗产的影响,是我们需要共同面对的科学和政策问题。基于空间观测信息,文章从气候变化对文化遗产的影响、社会认知以及采取的措施等方面进行探讨,并以气候变化带来的直接与间接影响的若干案例,展示空间信息技术在文化遗产监测、评估中的作用,提出应对气候变化影响的文化遗产保护若干建议。

**【关键词】**气候变化;文化遗产;空间信息技术

**【作者简介】**王心源(1964-),男,联合国教科文组织国际自然与文化遗产空间技术中心(北京 100094),中国科学院空天信息创新研究院(北京 100094),可持续发展大数据国际研究中心研究员(北京 100094),博士,主要研究方向为数字遗产保护与利用,E-mail:wangxy@aircas.ac.cn;陈一仰,中国科学院空天信息创新研究院,中国科学院大学(北京 100094);骆磊,联合国教科文组织国际自然与文化遗产空间技术中心,可持续发展大数据国际研究中心(北京 100049)。

**【原文出处】**《自然与文化遗产研究》(京),2022.4.3~11

**【基金项目】**中国科学院战略先导专项项目三课题五“数字一带一路自然与文化遗产保护与发展”(XDA19030500)资助。

今天,气候变化及其影响受到全世界的广泛关注,已经成为政府界、学术界以及民众共同的热点话题。

气候总是变化的,但文化遗产要保持其原真性(authenticity)与完整性(integrity),这就是气候变化与遗产保护的一对矛盾所在。《保护世界文化和自然遗产公约》缔约国大会于2007年通过了《气候变化对世界遗产影响的政策文件》,自该文件通过以来,缔约国已向世界遗产委员会提交了大量关于受气候变化影响的世界遗产保护状况的报告。2021年11月,联合国教育、科学及文化组织(UNESCO)《保护世界文化和自然遗产公约》缔约国大会第23届会议在其临时议程第11项发布的《针对世界遗产的气候行动相关政策文件更新》中指出:“气候变化已成为世界遗产面临的最重大威胁之一,可能会影响包括其完整性和真实性在内的突出普遍价值及其在地方层面的经济和社会发展潜力。”

2020年5月9日,欧洲遗产联盟(European Heritage Alliance)的49家成员起草了欧洲日宣言《文化遗产:欧洲未来的强力催化剂》。该宣言在明确文化遗产对于未来重要作用的同时,更强调指出:“文化遗产(包括文化景观)正面临着气候变化的重大威胁。”

在亚洲,2021年10月27-28日,由中国国家文物局、北京市人民政府共同主办的“亚洲文化遗产保护对话会”在北京以线上形式召开,会上发布了《关于共同开展亚洲文化遗产保护行动的倡议》。该倡议认识到:“亚洲是世界上面积最大、人口最多的大洲,是人类文明的重要发祥地,也是世界上发展速度最快、最充满活力的地区。受城市发展、气候变化、新冠肺炎疫情及武装冲突等影响,亚洲文化遗产保护面临前所未有的挑战。”

在文化及自然遗产真实性与完整性受气候变化影响的监测与评估方面,空间信息技术因其宏观、快速、客观、实时、长周期的技术优势而备受关注并得

以重点应用。为此,联合国教科文组织在2009年10月召开的第35届大会上批准成立UNESCO国际自然与文化遗产空间技术中心(HIST)。2011年6月,HIST获中国国务院批准,并于同年7月在北京正式成立。HIST是UNESCO在全球设立的唯一一个基于空间技术的世界遗产研究机构,旨在利用空间技术,为UNESCO及其成员国在世界遗产、世界生物圈保护区和世界地质公园的保护和管理方面提供空间技术支持,促进其可持续发展。

近年来,空间观测与其他众多来源的观测、调查、统计等数据一起形成地球大数据,在人工智能与云计算赋能下,为气候变化预报预测乃至文化遗产受影响分析提供了可能,为理解与应对气候变化带来的挑战提供了科学决策参考。

### 1 气候变化对于文化遗产影响的认知

全球气候变化的影响是全方位、多尺度和多层次的,既包括正面影响,也包括负面效应。但目前它的负面影响更受关注,因为其不利影响可能会危及人类社会未来的生存与发展。

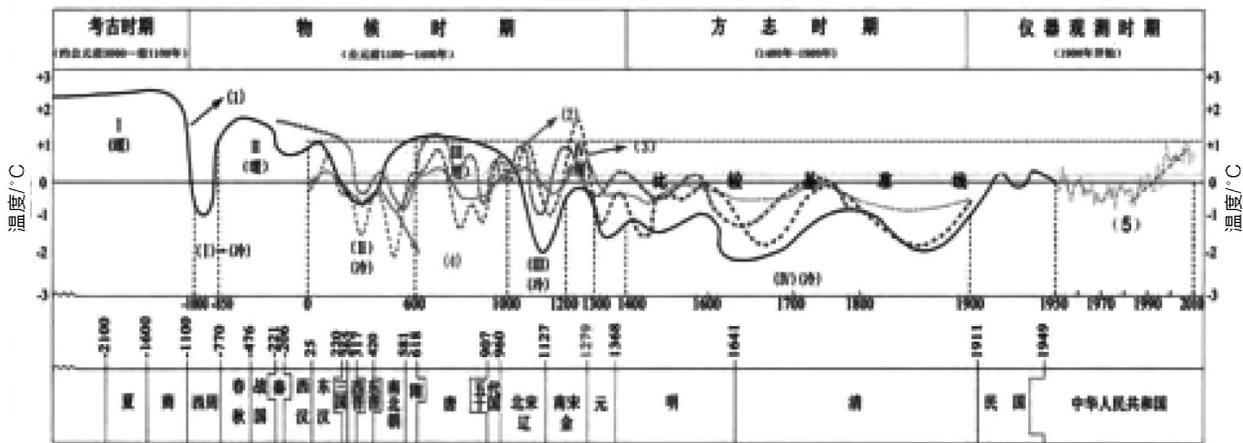
#### 1.1 不断变化的气候对过去环境产生不同尺度与程度的影响

气候变化是不断进行的。图1为中国5000年来的气温变化情况。本文基于我国学者利用物候资料以及历史文献重建的5000年来中国气候变化情况<sup>[1-4]</sup>,结合近60年来的气象记录资料,重新绘制形

成中国5000年来气温变化趋势综合图。由图1可见,近60年来气温上升变化速度增快,正在接近汉、唐时期的气温。

气候变化对自然生态系统已造成并将继续产生明显影响。科学观测与研究表明,全球气候变暖对地球的自然生态系统已经产生了深刻影响,如海平面升高、冰川退缩、冻土融化、河(湖)封冻期缩短、中高纬生长季节延长、动植物分布范围向南北极区和高海拔区延伸、某些动植物数量减少、一些植物开花期提前等。自然生态系统由于适应能力有限,容易受到严重的、甚至不可恢复的破坏。正面临这种破坏危险的系统包括冰川、珊瑚礁岛、红树林、热带林、极地和高山生态系统、草原湿地、残余天然草地和海岸带生态系统等。随着气候变化频率和幅度的增加,遭受破坏的自然生态系统在数目上会有所增加,其地理范围也将增大。

通过环境考古与遥感考古相结合,王心源研究团队揭示了巢湖流域过去1万年来气候变化、构造运动与人类活动、文明变迁的过程与关系<sup>[5-6]</sup>,结果表明:距今10000~7701年,流域气候温暖较湿、湖面较高;距今7700~6001年,流域气候温和湿润,出现高湖面特征;距今6000~2001年,流域气候总体上温暖较湿润,是全新世中气候最适宜时期;距今2000年左右出现一次明显的干旱事件,湖泊出现一次较大规模的退缩;距今2000~1000年进入气候转型时期,总



(1) 竺可桢 (1972); (2) 郑景云等 (2001); (3) 郑景云等 (2010); (4) 葛全胜等 (2012); (5) 王心源等, 60年来趋势。

图1 中国5000年来气温变化趋势综合图(来源:作者参考文献[1-5]重绘并补充)

体上转冷趋势明显,森林退缩,一直作为森林植被中主要建群树种的青冈属及栎属急剧下降,早、中全新世以来,形成的落叶阔叶、常绿阔叶混交林,迅速演替成以禾本科、蒿属和蓼属等为主的草地<sup>[5]</sup>(图2)。

气候变化导致气温、降水和湖岸变迁等生态环境的变迁,加之构造运动,致使古人改变自己的地域活动范围,而新的地域活动范围又产生聚落位置的更移和新的生产生活方式,由此引起古聚落的变更<sup>[7-8]</sup>。变化的模式可以归纳为图3。

对巢湖流域过去气候—地貌等环境变迁的综合分析,为今天流域文化遗产保护以及区域社会经济文化可持续发展均提供了科学思路。

### 1.2 气候变化对文化遗产影响具有不同的时间、空间与程度的特性

在不同的时空尺度上,气候变化对文化遗产有着不同的影响。在全球、国家尺度上,气候变化对于文化遗产产生的影响往往是共性的,需要制定政策

性的应对策略;在河流流域、山系尺度上,气候变化造成的局域环境变化,对石窟寺、民族(种族)聚址群落(如位于河流阶地)等赋存的地形地貌环境产生综合影响;在建筑群或单体建筑小尺度上,气候变化产生如温度、湿度等差异形成风化、剥蚀、生物等病害的影响。从文化遗产本体来看,气候变化影响又可以分为直接(作用)影响与间接(作用)影响。

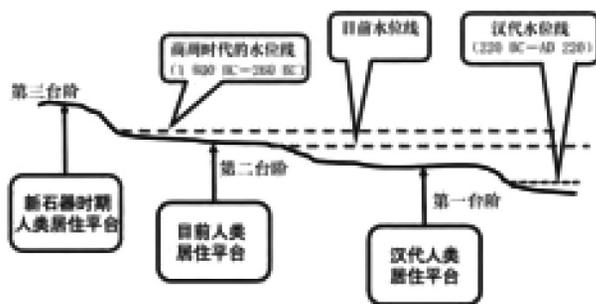


图3 巢湖水位变化与环巢湖人类居落位置关系示意图 (来源:作者自绘)

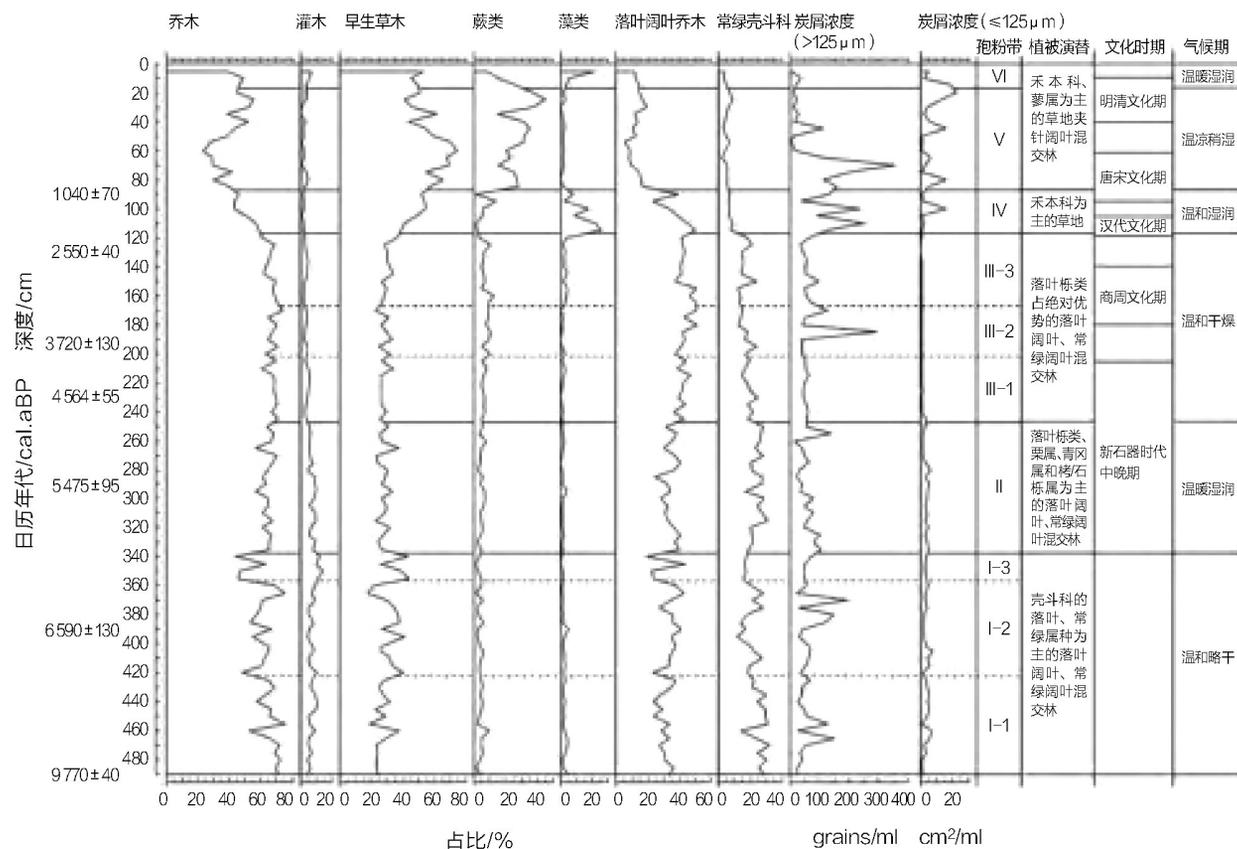


图2 巢湖湖泊沉积记录全新世环境变化及其与文化期的对应(来源:文献[7])

### 1.2.1 气候变化对于文化遗产的直接影响

气候变化对于文化遗产的直接作用可以分为缓慢的变化与急剧的变化2种影响。缓慢的变化影响包括风化剥蚀、沉积掩埋、冻融撑裂、地下水侵蚀、盐碱起壳等。缓慢而长期的变化对于文化遗产的影响往往是巨大的。例如,长城本体及其附属建筑(烽火台、障城、坞)均是根据地形地貌特征设置并因地制宜、就地取材进行构筑的。长城经由区域不同的地质、土壤甚至植被情况,使得各地长城在修建时的材料选择也不同。从历史文献记载来看,即使同一时代、同一条长城,在不同地域的修建方式也存在明显差异。从总体上来看,长城墙体及其附属设施主要有土筑、石垒和砖砌3种修建方式,使用较多的材料为土、石、砖、木材和石灰,常见不同材料的混筑。以明长城为例,燕山山地的长城主要是石、砖砌筑;黄土高原地区的长城多为黄土夯筑,间有砖石墙;河西走廊则基本以夯土墙为主。因此,在不同气候环境下,长城本体及其赋存环境长期遭受的气候变化影响也是不同的。图4(a)中,由于长期的风化剥蚀,曾经数米高的汉长城,如今仅仅几十厘米高,有的甚至消失。图4(b)中,由于近地面风长期侵蚀,致使汉长城烽火台形成哑铃颈部。在干旱、半干旱地区,风与沙质地表相互作用所形成的风沙流,使得绝大部分的沙子集中在离地面数十厘米高度的范围内,因此对于土质文化遗产形成强烈的磨蚀与损毁,遂形成哑铃“细颈”(红色箭头所示)。

急剧的气候变化包括极端天气引起的气象灾害,如洪水、风暴、火灾等对于文化遗产的影响。2020年7月6-8日,皖南地区连续3天的强降水天气引起的洪灾,致使旌德乐成桥、屯溪镇海桥、婺源彩虹桥3座见证古徽州历史人文的宋、明两代的古桥被洪水冲毁。

### 1.2.2 气候变化对文化遗产的间接影响

气候变化驱动人类活动范围变更,特别是气候变暖使得人类活动范围扩大。耕地范围的扩展、人类活动范围(道路修建)的扩大,都可能对于曾经“静躺”的文化遗产产生干扰。

利用遥感技术观察土地利用变化对于文化遗产地的侵占以及影响,可谓一目了然。图5展示了吉尔

吉斯斯坦碎叶城遗址(Ak-Beshim Site)及其周边土地利用的情况。从遥感图像可见,碎叶城遗址(红色边界)虽然受到农田的包围(蓝色边界),但是古城遗址的轮廓基本保持。而边界局部(如东部虚线段)可能受到农田的侵占,同时古城遗址内部有数条道路贯穿其中,古城遗址的完整性也会受到一定的影响。

土耳其希拉波利斯世界文化遗产(Hierapolis Ancient Ruins)也有相似情况。希拉波利斯古城遗址是公元前二世纪时建造的具有古希腊和古罗马风格的古城。在17世纪时,一场大地震将这座有2000多年历史的古城夷为平地,如今人们只能从断壁残垣中寻找当年古城的辉煌了。正是由于希拉波利斯遗址的边界不清,造成古城遗址被农田侵占情况的发生。

气候变化对文化遗产产生的间接影响另一个案



(a) 汉长城照片



(b) 汉代烽燧照片

图4 长时间缓慢的风化剥蚀造成严重的损毁  
 (来源:王心源摄)



图5 吉尔吉斯斯坦碎叶城遗址(Ak-Beshim Site)  
(来源:骆磊绘制)

例是,因气候变化对自然环境产生影响,进而对大型线性遗产(诸如丝绸之路文化遗产)也产生影响。

1.2.3 气候变化给跨地域、巨型线性文化遗产保护带来系统性挑战

气候变化对于大型遗产以及巨型的线性遗产(如长城、丝绸之路)的保护更是带来系统性挑战,往往形成整体破坏、局部线路断缺乃至消失。例如长城大型线性遗产,由于延伸的范围巨大,覆盖不同气候的地理区域,因此不同气候变化都会对其产生影响。例如,由于洪水、风蚀、冻融的影响,造成巨型线性遗产长城墙体的损毁与断缺。再如,丝绸之路在长期气候驱动的环境变化背景下,塔里木盆地南缘发生沙漠向南侵进,掩埋汉以来的丝绸之路古城遗迹以及道路。丝绸之路的文化遗产(汉唐城镇、耕地),遭受沙漠南侵,被掩埋。事实上,丝绸之路赋存环境正在遭受全面的挑战。

2 空间信息技术对气候变化影响的观察、评估与预警案例

2.1 气候变化对于吴哥世界文化遗产影响的空间观察与评估

吴哥世界文化遗产所在的暹粒流域处于低纬度地区,属热带气候,每年5-9月是雨季,容易形成洪涝灾害。吴哥遗产地的河网面积超过1000km<sup>2</sup>,由数百条开挖的运河、堤防、护城河、水库、天然河道等组成,既有灌溉又有防洪功能。洪水是暹粒流域面临的重要问题,2011年,吴哥和暹粒市遭遇了50年来

最严重的洪水。如何降低吴哥的洪水风险成为(柬埔寨)国家吴哥地区遗址保护和管理局(APSARA National Authority)最关注的减灾与遗产保护问题之一。

利用 ALOS-PALSAR 和 COSMOS-SkyMed 卫星的 SAR 遥感影像数据,并结合地下水监测、旅游人数等大数据,建立洪水风险模型(FHI)来评估吴哥洪水风险性。FHI 模型是利用多参数方法并结合 GIS 空间分析和决策功能建立的,选取淹没频次、绝对高程、高程标准差和河网密度这4个指标作为 FHI 模型的基本参数,FHI 模型的表达式如式(1)所示。式中:FHI 为洪水风险性指数; $H_i$ 为风险性评估指标; $W_i$ 为各评估指标权重。

$$FHI = \sum_{i=1}^n H_i \times W_i \quad (1)$$

研究表明:吴哥文化遗产地核心区内高风险区与较高风险区主要分布在西人工湖右侧以及护城河的外延;中风险区主要分布在暹粒河的两侧;低风险区及较低风险区则占据了核心区内大部分区域(表1)。核心区内高风险区域及较高风险区面积约占核心区总面积的1.15%;中风险区面积约占核心区总面积的9.13%;低风险区及较低风险区面积约占核心区总面积的89.72%。缓冲区内高风险区及较高风险区面积较小,约占保护区总面积的0.40%;中风险区面积主要分布在罗洛寺河两侧及附近积水区,约占保护区总面积的5.90%;低风险区及较低风险区面积约占保护区总面积的93.70%<sup>[9]</sup>。此研究为吴哥世界文化遗产地抗灾保护提供了科学依据。

表1 吴哥文化遗产地遗址点洪水风险等级

序号	遗址点名称	洪水风险等级
1	Prasat Angkor Voat	中风险性
2	Prasat Baksei Cham Krong	较高风险性
3	Prasat Leak Neang	中风险性
4	Prasat Preah Neakpean	中风险性
5	Prasat Banteay Prei	中风险性
6	Voat Bakong	中风险性
7	Vat Chedei	中风险性
8	Prasat Ak Yum	较高风险性
9	Voat Preah Enteak Kosei	中风险性

## 2.2 气候变化对于丝绸之路天山植被垂直带及其相关天山廊道影响的评估与预测

在2013年6月21日召开的第37届世界遗产大会上,中国境内天山的托木尔、喀拉峻—库尔德宁、巴音布鲁克、博格达4个片区,以“新疆天山”名称成功申报成为世界自然遗产。2014年6月22日,中、哈、吉三国联合申报的陆上丝绸之路的东段“丝绸之路:长安—天山廊道的路网”成功申报为世界文化遗产。以“天山”为依托,同时成为世界自然遗产与世界文化遗产是少有的情况,这充分说明了天山地理与环境的独特性。

天山是位于欧亚大陆腹地的、世界上最大的独立纬向山系之一,东西横亘2500余km,南北平均宽250~350km。天山拥有极为丰富的自然景观和山地垂直景观,在巨大垂直高差内发育了从雪峰冰川到荒漠的完整的山地垂直自然带,天山冰川被认为是全球气候变化的“敏感器”。丝绸之路天山廊道的贯通有赖于沿线的绿洲的存在,而绿洲是有赖于天山冰雪融水补给的。气候变化对于天山山地垂直带造成影响,进而影响绿洲以及丝绸之路天山廊道线路的文化景观。同时,天山生物多样性丰富,拥有大量的珍稀濒危物种和数量众多的地方特有植物。其中,位于新疆天山世界自然遗产的天山东段的博格

达发育了温带干旱区典型的山地垂直自然带谱,是温带干旱区山地生态系统的最典型代表。

利用遥感、气象观测以及模型研究表明,温带荒漠带海拔高度由东向西逐渐升高,反映气候变化背景下欧亚大陆腹地纬向上山地垂直带不同的水热状态。2001-2018年时序卫星遥感数据监测结果表明,天山山地森林带分布海拔上限总体趋势较为平稳,海拔下限近似“W”形态分布:中天山山地森林带分布海拔上下限相对高于东、西天山分区,其海拔上限均高于2800m,海拔下限均高于2200m。基于气象站点观测数据以及天山植被带遥感观测实证,整个天山山系“暖化”趋势明显,湿度却有空间分异现象。预测未来天山植被垂直带的变化,将随着不同段天山温度上升却因干湿情况不同而产生不同的带间变化情况(图6)<sup>[10]</sup>。

植被垂直带的稳定性不仅关系到天山世界自然遗产的突出普遍价值(OUV),而且关系到天山廊道世界文化遗产赋存环境的存在与区域社会经济可持续发展。对天山垂直自然带的定量刻画及认知与全球气候变化的关系进行探讨,应对气候变化所采取的自然遗产保护措施以及相关的天山廊道世界遗产文化遗产的赋存环境背景的稳定性认知均有着重要的价值。

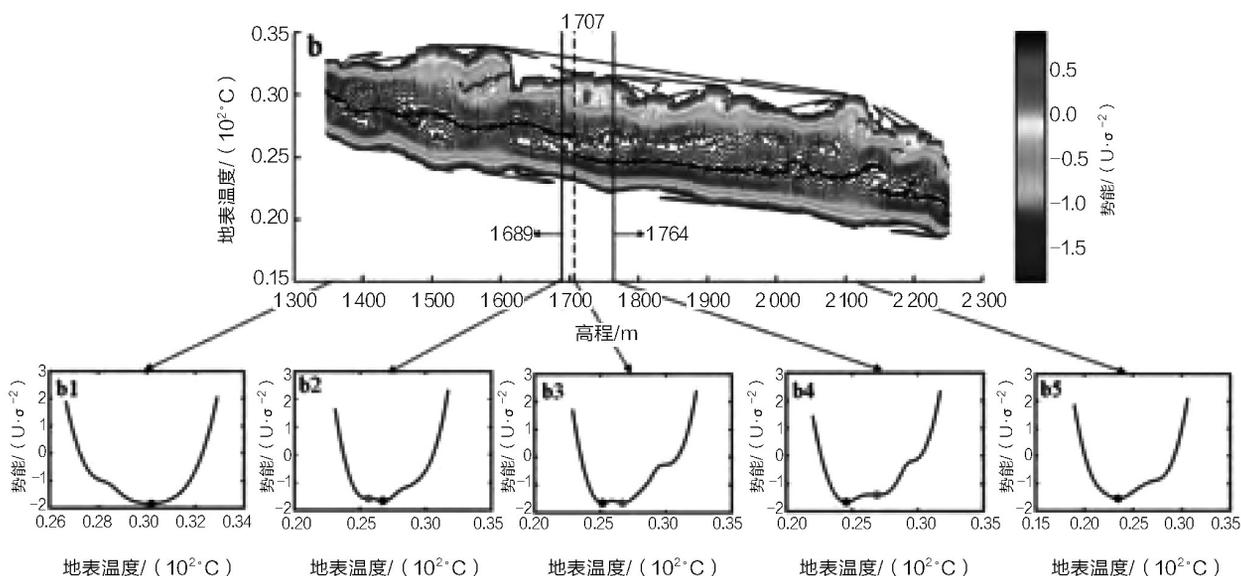


图6 山地草原带—山地针叶林带地表温度(LST)的势能值随海拔梯度的变化特征 (来源:文献[10])

### 2.3 暴雨洪涝极端天气事件对于文化遗产影响的遥感应急评估

气候变化使得近些年全球极端天气事件概率明显提升。遥感对于灾中文物风险应急管理 and 灾后文物灾损调查与核灾工作提供科学支持。

2021年7月20-25日,河南郑州、新乡一带遭受了严重的暴雨洪涝灾害,部分气象站点降水记录超过历史极值。此次洪涝灾害对于河南郑州等地不可移动文物灾害损失严重。据报道:郑州商城遗址等全国重点文物保护单位因暴雨出现局部覆土塌方;大量考古遗址现场被洪水淹没或冲毁,亟待开展文物灾害调查与核灾工作。

利用国产高分三号雷达卫星具备穿透云雨观测能力,近实时地反映地表水浸(例如积水深度大于10cm)情况,为不可移动文物洪涝灾害水浸监测以及受损宏观评估提供科技手段。为了第一时间宏观把握暴雨极端事件对不可移动文物的影响,HIST研究团队基于高分三号雷达卫星影像对洪涝灾害淹没信息的敏感性,利用7月20-25日郑州市周边区域逐日卫星影像,使用研发的遥感解译方法,开展暴雨洪涝空间观测和评估。

研究结果显示:7月20日郑州市区受暴雨洪涝影响显著的国保和省保单位共计58处,其中中国保单位22处;7月21日郑州市区受暴雨洪涝影响的国保和省保单位降为27处,其中中国保单位8处;20-25日高分三号雷达卫星持续监测结果表明,郑州市周边市区78处省级及以上文保单位受整个洪涝灾害事件影响,其中8处水浸超过48h,15处水浸超过24h。

### 3 应对气候变化影响背景下的文化遗产保护的若干建议

2021年11月,UNESCO《保护世界文化和自然遗产公约》缔约国大会第23届会议在《针对世界遗产的气候行动相关政策文件更新》中指出:特别“需要获得支持和能力建设援助,并鼓励发达国家向发展中国家进行技术转让和融资”,强调该更新文件要体现在促进全球伙伴关系、包容性和团结以及“世界遗产气候行动目标”在知识共享、能力建设和意识中。充

分利用包括遥感影像在内的地球大数据作用,为保护文化遗产起到科学、有效、精准的作用意义重大。因此,笔者提出以下6点建议。

(1)深入开展文化遗产本体保护与赋存环境关系的研究。文化遗产本体的变化往往是由于赋存环境的变化引起。本体与赋存环境一体化保护是新时代文化遗产保护的新特点。特别在研究气候变化对于文化遗产的影响,需要把文化遗产今天的背景环境(赋存环境)同遗产本体一起考虑,开展切实的有效的科学保护。

(2)加强文化遗产形成的文化与自然历史背景研究。过去全球变化(past global changes)分为2个时间段:时间阶段I将集中研究最近2000年的地球历史,这段时间是人类对地球影响最大的时期;时间阶段II将集中研究晚第四纪的最后几十万年的冰期-间冰期旋回,此段研究深化我们对全球气候变化自然过程的认识。文化遗产保护,需要了解、知道该遗产过去形成的自然、社会与文化背景,这样才能更好地认识过去的人类活动在何种程度上改变了气候和全球环境,以及未来气候变化背景下我们该采取如何应对策略。

(3)把文化遗产从“后”保护位移到“前”保护。充分发挥空间信息技术在文化遗产探测、发现、监测、评估以及管理等方面的作用,特别在危害风险早发现、无损探测中的独特作用,结合地面调查、统计等数据,建立文化遗产大数据平台,实施精准预测或预警的保护,有效应对气候变化等灾害的影响。

(4)加大数字遗产研究与应用力度。数字遗产是指由文化与自然遗产本体转换成数字形式的产品,包含文化与自然遗产数字产品的生成与记录、保存与保护以及加工(研究)、传播与呈现等有关的所有动态或静态的数字产品。让世界遗产永存,数字化技术就是一条值得倡导的途径。

(5)加强文化遗产保护的国际合作网络建设。特别是诸如跨区域、覆盖多种文化类型的“一带一路”的文化遗产彼此之间有不同程度的关联,这为建立国际研究与保护合作平台提供基础。用历史文化遗

存联通今天的纷争世界,启示寻找解决之策。特别要基于数字技术加强亚洲各国共同探索文化遗产关联与保护机制研究与行动。

(6)建立文化遗产学科。文化遗产学科涉及考古、遗产保护(技术、方法、体系)、文化价值评估、文化遗产阐释等内容。通过建立学科,实现加强科学研究、人才培养的目的,实现文化遗产保护与利用的可持续发展。

#### 4 结束语

气候变化已成为世界遗产保护面临的最重大威胁之一,需要我们开展新的认知并采取新的对策。新时代文化遗产保护研究内容与实践行动发生新的变化——从遗产本体保护向遗产本体及其所在环境的共同保护发展;从后遗产保护向与认定前的遗产保护(即广泛的遗产保护)相结合;从文化遗产实体保护向文化遗产实体与数字化保护相结合;从被动保护向主动保护迈进。新时代文化遗产保护的变化,要求我们对于文化遗产病害、危害风险、损失评估、修复工艺以及保存技术与方法等方面,必须在科学认识、技术方法、执行方案与行动上进行调整与适应。

特定自然环境孕育了相适应的人类生产活动,某种生产活动形成相对应的人类生活方式。文化遗产就是过去人类生产、生活活动留下的物质遗存。在气候、地貌、植被等构成的自然环境中,气候是最为活跃的自然因素。气候变化影响与文化遗产保护是一对矛盾的存在,只有深刻地理解遗产地所在的自然与人文环境特征,才能更好地理解遗产本体特质,进而实施更有效的措施与方法来保护遗产,并应对气候变化产生的影响。特别是长期的气候变化再叠加构造运动对于地形地貌的改造,形成人类生存环境的不断变化与聚居的不断迁徙,这不仅是对文化遗产保护提出了采取针对性措施的要求,也给人类有效的防灾减灾提供了科学的参考。

文化遗产保护要从理念与行动2个方面进行,提升文化遗产保护的共同话语体系,发挥文化遗产国家之间的联系、合作与桥梁作用,共同促进经济、环

境及社会可持续发展,实现构建人类命运共同体的愿景。

致谢:HIST的陈富龙研究员、杨瑞霞副研究员以及 HIST 秘书处副秘书长刘少波参与论文构架讨论。陈富龙研究员提供2021年7月20日河南郑州暴雨洪涝灾害有关图文、吴立教授提供巢湖有关图文资料、刘洁博士提供吴哥遗产地洪涝灾害评估、万红博士提供有关天山植被垂直带的有关图文资料,在此谨表谢意。

#### 参考文献:

- [1]竺可桢.中国近5000年来气候变迁的初步研究[J].考古学报,1972,(37)1:15-38.
- [2]郑景云,张玉远,葛全胜,等.过去2000年中国东部干湿分异的百年际变化[J].自然科学进展,2001,11(1):65-70.
- [3]郑景云,邵雪梅,郝志新,等.过去2000年中国气候变化研究[J].地理研究,2010,29(9):1561-1569.
- [4]葛全胜,郑景云,郝志新,等.过去2000年中国气候变化的若干重要特征[J].中国科学:地球科学,2012,42(6):934-942.
- [5]王心源,吴立,张广胜,等.安徽巢湖全新世湖泊沉积物磁化率与粒度组合的变化特征及其环境意义[J].地理科学,2008,28(4):548-553.
- [6]WANG X Y, ZHANG G S, WU L, et al. Environmental changes during early-middle Holocene from the sediment record of the Chaohu Lake, Anhui Province[J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(S1): 153-160.
- [7]吴立,王心源,周昆叔,等.巢湖流域新石器至汉代古聚落变更与环境变迁[J].地理学报,2009,64(1):59-68.
- [8]WU L, WANG X Y, ZHU C, et al. Ancient culture decline after the Han Dynasty in the Chaohu Lake basin, East China: a geoarchaeological perspective[J]. Quaternary International, 2012, 275: 23-29.
- [9]刘洁.基于遥感和GIS的世界文化遗产风险综合研究:以吴哥世界文化遗产为例[D].北京:中国科学院大学,2019:86-92.
- [10]WAN H, WANG X Y, LUO L, et al. Remotely-sensed identification of a transition for the two ecosystem states along the elevation gradient: a case study of Xinjiang Tianshan Bogda world heritage site[J]. Remote Sensing, 2019, 11(23): 2861.