

潮湿环境下考古现场 土遗址保护探索性研究

王旭东 郭青林 谌文武 著
张虎元 孙满利 张明泉
王思敬 周双林 张秉坚



科学出版社

潮湿环境下考古现场土遗址保护 探索性研究

王旭东 郭青林 谌文武
张虎元 孙满利 张明泉 著
王思敬 周双林 张秉坚



科学出版社

北京

内 容 简 介

土遗址保护,尤其是潮湿环境下土遗址的保护一直是文物保护中最为困难的课题之一。本书针对我国潮湿环境土遗址面临的问题,主要开展了潮湿环境土遗址保护理念、潮湿环境土遗址特征、史前土遗址建造工艺、病害分类与病害机理、土遗址保护加固材料与保护效果评估、考古现场土遗址力学稳定性与控制技术等方面的研究,在潮湿环境土遗址保护理念、界定方法、病害分类方法及理化数据库研发、多因子耦合病害机理揭示、保护加固材料和现场施工工艺研发、加固效果的无损评价方法和手段、力学稳定性与控制技术等研究内容方面取得了一定突破,实质性推进了我国潮湿环境土遗址保护的研究工作。

本书可供从事遗址保护的科研人员 and 大专院校文物保护专业的师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

潮湿环境下考古现场土遗址保护探索性研究 / 王旭东等著. —北京: 科学出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-03-045663-2

I. ①潮… II. ①王… III. ①土质—文化遗址—文物保护—研究—中国 IV. ①K878.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第218523号

责任编辑: 樊 鑫 / 责任校对: 钟 洋
责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 张 放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年9月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015年9月第一次印刷 印张: 35 3/4

字数: 845 000

定价: 280.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

国家科技支撑计划

“潮湿环境下考古现场史前土遗址保护关键技术研究”资助出版

课题编号 (2010BAK67B16)

前 言

我国潮湿环境土遗址分布面积很广，大多是具有重大价值的史前考古遗址，是中华文明发源的直接实物证据，具有极其重要的保护意义和展陈价值。然而，大型土遗址保护一直是文物保护工作中最为困难的研究课题之一，尤其是潮湿环境中的土遗址，所处自然环境更为恶劣。雨水的冲刷，地表水和地下水的渗透和溶胀，夏日暴晒的干缩龟裂，冬季冰冻的表层起壳等都给遗址保护带来了巨大的困难。因此，潮湿环境土遗址的保护技术成为文物保护技术中一个亟待解决的重大课题。近年来，我国的土遗址保护研究多开展于西北干旱、半干旱地区，并在病害机理、保护加固技术措施方面有所突破，为我国北方地区的一些大型土遗址的保护提供了强有力的技术支撑。有关中原、南方等地区潮湿环境下土遗址的研究主要集中于保护加固材料和潮湿环境的界定，遗址保护问题仍然非常突出，研究和保护工程都开展得相对较少。从国内潮湿环境的几个重要土遗址，如良渚遗址、金沙遗址、里耶遗址、城头山遗址来看，保存状况不容乐观，遗址的病害极为复杂。为使潮湿环境土遗址保护取得实质性进展，国家文物局组织，由敦煌研究院联合兰州大学、中国科学院地质与地球物理研究所、浙江大学、西北大学、北京大学和中国科学院上海硅酸盐研究所，共同开展了科技支撑计划“潮湿环境下考古现场史前土遗址保护关键技术研究”课题，试图通过该课题的研究，对于潮湿环境土遗址保护方面有所突破。本书为该课题研究成果的集中体现。

一、保护理念的探索

研究开展之初，结合潮湿环境土遗址保护自身特点和多年土遗址保护实践，通过多次讨论，提出了以下几条潮湿环境下土遗址保护的理念。

1. 将遗址分为展示类遗址和非展示类遗址

将潮湿环境土遗址分为展示类遗址和非展示类遗址，以使我们的保护精力更加集中，工作目的性更强。由于潮湿环境土遗址大多规模较大，全面、完整的展示整个遗址本体，无论在资金还是在保护能力方面均存在很大的难度。因此，在保护工作开始之前，将遗址分为展示类遗址和非展示类遗址。对于展示类遗址，根据展示目的和要求，采取相应的工程技术措施进行保护；对于非展示类遗址，考古发掘后立即采取回填措施进行保护。通过将潮湿环境土遗址分为展示类遗址和非展示类遗址既能较好地解决资金和保护力量的不足，也能集中保护资源，有重点地对遗址的一些重点展示部

位采取有效保护。

2. 将潮湿环境土遗址保护问题转变为“干燥环境”土遗址保护的问题

由于潮湿环境遗址土容易受地表水的冲刷和地下水的侵蚀,加之遗址土体自身较为脆弱的属性,决定了在不改变遗址土属性的情况下,发掘后露天保护难度极大。因此,在将遗址分为展示类遗址和非展示类遗址的基础上,通过修建保护棚、降排水、隔阻水、控制小环境等工程措施,将潮湿环境土遗址展示类遗址保护的问题转变为“干燥环境”土遗址保护的问题。如前所述,潮湿环境土遗址的问题关键是水的问题,一旦解决了水的问题,一些在干燥环境下使用的保护加固措施与施工工艺将可通过一定的改进后,在潮湿环境土遗址保护中得到推广和应用,从而解决潮湿环境土遗址保护的问题。

3. 保护提前介入并与考古工作深度交叉融合

多年来,我国遗址一般是考古发掘先行,保护工作相对滞后,经过多个遗址调查发现,考古发掘打破遗址保存环境平衡后,往往处于破坏最快的阶段,甚至在我国潮湿环境考古发掘现场多次发生过遗址体坍塌造成人员伤亡和文物损坏等事故,造成了不可挽回的损失。由于保护工作和考古工作之间的时间差,对很多遗址造成了损失的同时,也极大地增加了保护的难度。因此,潮湿环境土遗址的保护要提前介入考古工作,通过对遗址的预探测和预加固,抢在遗址变形、干缩开裂、坍塌未发生之前就开展保护。通过保护和考古工作之间的深度交叉与融合,在投入较小的情况下,最大限度地保存遗址所承载的历史信息,确保考古人员与遗址的安全。

4. 采取综合保护措施,确保遗址保护效果

多年的保护实践发现,土遗址保护是一个复杂的多学科问题,而土遗址病害及成因的多样性决定了一种保护方法是不能完全解决所有问题的。因此,潮湿环境土遗址保护需要搭建保护棚、采取降排水、隔阻水进行环境控制;需要采用锚固、灌浆、支顶等物理加固技术;也需要采用保护加固材料进行化学加固的技术手段。理想的土遗址保护项目,应该由多学科的高水平团队,在全面调查和正确分析病害成因的基础上,采用综合保护加固措施,才可能达到较好的保护效果。

5. 重视遗址监测与现场模拟保护

近年来,随着科学技术的发展,科学监测越来越成为我们开展科学保护的重要手段,科学监测对了解病害的发生、发展过程,揭示病害机理,评价加固效果等方面均有十分重要的意义。潮湿环境土遗址原来大多处于埋藏环境下,经过考古后暴露了出来,因此对考古和保护全过程的监测,可使我们很好地认识和了解原有埋藏环境及其发掘后环境的变化、遗址本体发掘前后的变化,对于保护方案的制订和保护措施的采

取有很好的指导意义。另外,也可以通过对整个考古及保护过程的现场模拟,及早发现考古过程中可能存在的问题,还可通过现场模拟保护,总结和凝练出可直接移植于考古遗址的成套保护加固技术,确保遗址有效保护。

二、主要开展的研究内容

在充分总结已有研究成果的基础上,根据以上研究理念,采用地质工程、岩土工程、物理化学、材料学以及文物保护等相关学科的理论和方法,初步解决了一些潮湿环境下考古现场史前土遗址保护中的难题。主要开展的研究内容有以下几点。

① 通过全面调查考古现场史前土遗址赋存环境特征,深入探讨了土遗址潮湿环境的界定方法与指标体系、环境要素监测方法等,并以杭州良渚遗址为例证,根据考古现场潮湿环境调查和监测内容,进行了数据分析及评价,进而针对潮湿环境特征和各种水体对土遗址的影响,初步提出了适用于潮湿环境考古现场的保护方法。

② 对与人类居住生活息息相关的房址与城址进行建筑工艺研究。研究表明,我国黄河流域、长江流域及内蒙古中南部等不同地区的聚落形态存在一些宏观方面的差异,北方地区以穴壁为墙体的浅穴和深穴等地穴式建筑为主,而南方长江流域等地区,由于自然环境及材料条件的原因,出现了南方特有的干栏式建筑。已发掘的考古遗迹中,黄河上游河套地区发现的古城址,多是垒筑的石墙;中原地区发现的其他龙山文化遗址如山西襄汾陶寺、河南登封王城岗、淮阳平粮台、郾城郝家台等城址,城墙筑造中已广泛采用夯筑或版筑技术。

③ 针对不同类型的潮湿环境土遗址,建立考古现场土遗址病害分类和评估方法,根据遗址病害的表现形式和成因,将病害划分为2大类9类26个亚类,制定了潮湿环境土遗址病害图示标准并搭建了潮湿环境土建筑病害图谱与理化数据库框架。

④ 以良渚遗址为例,采用多种先进的技术手段和检测方法,调查了潮湿环境下土遗址的病害类型;对潮湿环境土遗址理化性质进行了测试,并进行了时域反射、地质雷达、电法等多种无损检测方法,探讨了潮湿环境下土遗址开展无损检测的可行性;利用岩土工程的研究方法,采用水-热-变形耦合模型试验,研究了潮湿环境下土遗址病害的产生机理,最终从内外因两个方面阐述了潮湿环境土遗址病害的产生机理。

⑤ 筛选和研发适用于潮湿环境下考古现场土遗址的防风化加固材料。试验测试材料包括:PS加固材料、桐油石灰加固土、陈化石灰-乙醇分散潮湿土遗址加固剂、二次生石灰-乙醇分散潮湿土遗址加固剂、纳米水硬性钙硅铝无机醇分散加固剂、亲水性高拉伸有机/无机硅材料乳液加固剂、丙烯酸树脂非水材料和新型非水材料等多种保护加固材料。通过室内测试和现场试验研究,了解材料性能及适用性并进行了初步筛选;利用多种无损检测方法,进行了保护加固材料加固效果检测与评价并在加固效果评价这一土遗址保护难题方面有所突破。

⑥ 阐明考古现场遗址保护现状,分析史前遗址考古发掘保护现状和影响考古现场史前土遗址及其载体的力学稳定性因素,阐释考古现场土遗址变形破坏机制,揭示考古现场土遗址变形破坏过程;构建考古现场遗址土体的本构模型,确定考古现场土遗址力学稳定性评价方法;基于定性和定量评价结果,充分吸取潮湿环境下现代岩土工程加固的新理论和新技术,研发考古现场土遗址力学稳定性控制的锚固、灌浆、砌补支顶、围护等技术,并提出加固效果评价方法。利用研究成果,编制了良渚遗址城墙北墙试验性抢险加固工程设计方案。

通过以上研究,完成包括潮湿环境土遗址界定及保护理念研究、病害分类研究及理化数据库研发、病害机理研究、保护加固材料和现场施工工艺研发、加固效果的无损评价方法和手段、力学稳定性与控制技术研发等工作。在室内对9种保护材料进行了性能测试与表征,并进行了现场保护加固试验,对现场的保护加固效果进行了评估。通过课题的实施,形成了一支高学历、产学研结合的土遗址保护研发团队,也将其他相关领域的研究人员带入文物保护领域,有效地补充和提高了我国土遗址保护研发的能力和水平。

目 录

第一章 潮湿环境考古现场土遗址的环境特征研究	(1)
1.1 考古现场土遗址潮湿环境特征研究	(1)
1.1.1 潮湿环境界定的意义	(1)
1.1.2 潮湿环境指标体系	(2)
1.1.3 土遗址保护中环境干湿度的评价方法与应用	(11)
1.1.4 潮湿考古现场土遗址环境特征	(13)
1.2 考古现场潮湿环境调查与监测	(16)
1.2.1 监测目的	(16)
1.2.2 调查与监测内容	(16)
1.2.3 调查与监测方法	(16)
1.2.4 监测数据分析评价	(22)
1.3 潮湿环境各种水体对考古现场土遗址的影响	(41)
1.3.1 大气降水对考古现场土遗址的影响	(41)
1.3.2 地表水对考古现场土遗址的影响	(45)
1.3.3 地下水对考古现场土遗址的影响	(46)
1.4 潮湿环境考古现场土遗址保护基本方法	(49)
1.4.1 建设防雨棚	(49)
1.4.2 修筑拦水堤(埂)与排水渠	(50)
1.4.3 修筑截渗墙	(50)
1.4.4 积水疏干	(50)
1.4.5 边坡支护	(51)
1.4.6 回填	(51)
1.5 小结	(51)
第二章 潮湿环境史前考古遗址建筑工艺研究	(52)
2.1 房屋建筑的建筑工艺	(52)
2.1.1 半地穴式	(52)
2.1.2 地面式	(53)
2.1.3 干栏式	(53)
2.1.4 高台式建筑	(54)
2.1.5 小结	(54)

2.2	史前城墙的建筑工程工艺	(55)
2.2.1	夯筑	(55)
2.2.2	堆筑	(56)
2.2.3	小结	(57)
2.3	小结	(58)
第三章	潮湿环境考古现场遗址病害分类研究	(59)
3.1	研究目的与意义	(59)
3.2	代表性遗址的主要病害调查与分析	(60)
3.2.1	元上都遗址	(60)
3.2.2	辽上京遗址	(63)
3.2.3	古城寨遗址	(65)
3.2.4	汉魏洛阳城遗址	(67)
3.2.5	楚皇城遗址	(70)
3.2.6	楚纪南城遗址	(71)
3.2.7	龙湾遗址	(71)
3.2.8	盘龙城遗址	(72)
3.2.9	天子驾六遗址	(73)
3.2.10	铜绿山古铜矿遗址	(74)
3.2.11	熊家冢遗址考古现场	(76)
3.2.12	良渚遗址考古发掘现场	(77)
3.2.13	茅山遗址考古现场	(84)
3.2.14	玉家山遗址考古发掘现场	(86)
3.2.15	草王嘴故城遗址	(88)
3.2.16	楚郢城遗址	(89)
3.2.17	魏长城遗址	(90)
3.2.18	神禾园遗址	(92)
3.2.19	病害统计分析	(92)
3.3	土遗址病害分类	(97)
3.3.1	自然破坏 (I)	(97)
3.3.2	人为破坏 (II)	(108)
3.4	小结	(109)
第四章	潮湿环境下考古现场土遗址病害机理研究	(110)
4.1	潮湿环境下遗址土体理化性质测试	(111)
4.1.1	土的基本物理性质	(111)
4.1.2	土的水理性质	(116)

4.1.3	土的力学特性	(119)
4.1.4	各指标间的相关分析	(119)
4.2	良渚遗址土基本物理化学性质测试	(120)
4.2.1	含水率测定	(120)
4.2.2	密度测定	(121)
4.2.3	土粒比重测试	(121)
4.2.4	界限含水率测试	(122)
4.2.5	可溶盐化学成分分析测试	(123)
4.2.6	热传导性能试验	(125)
4.3	良渚遗址现场无损探测	(127)
4.3.1	时域反射监测报告	(127)
4.3.2	地质雷达探测	(129)
4.3.3	电法	(140)
4.4	良渚遗址土的水 - 热 - 变形耦合模型	(145)
4.4.1	良渚遗址主要病害类型	(145)
4.4.2	水 - 热对土的物理力学性质的影响	(149)
4.4.3	水 - 热 - 体变耦合模型分析	(156)
4.5	潮湿土遗址水 - 热耦合作用试验研究	(164)
4.5.1	水 - 热耦合作用研究	(165)
4.5.2	水 - 热耦合作用试验方案	(165)
4.5.3	水 - 热耦合作用试验仪器	(167)
4.5.4	试验结果与分析	(169)
4.6	病害形成机理	(175)
4.6.1	土的因素	(175)
4.6.2	外界环境	(176)
4.7	小结	(178)
第五章	考古现场土遗址保护加固材料和现场施工工艺研发	(180)
5.1	潮湿地区土遗址 PS 渗透加固潜力研究	(180)
5.1.1	试验研究内容	(181)
5.1.2	试验采用的技术路线	(182)
5.1.3	潮湿环境遗址土基本性质及试样制备	(182)
5.1.4	PS 渗透加固试验	(185)
5.1.5	加固前后非饱和直剪试验	(195)
5.1.6	加固前后非饱和固结试验	(221)
5.1.7	压汞试验	(228)

5.1.8	黏土矿物分析	(241)
5.1.9	X 衍射试验	(244)
5.1.10	X 射线荧光分析	(245)
5.1.11	扫描电镜试验	(246)
5.1.12	小结和建议	(267)
5.2	桐油石灰加固土研究	(268)
5.2.1	加固材料的选取原则	(269)
5.2.2	选择依据	(270)
5.2.3	碳化材料的选取	(271)
5.2.4	加固土试验研究	(277)
5.2.5	遗址土和加固土的斥水性研究	(299)
5.2.6	浸水稳定性分析	(305)
5.2.7	遗址土和加固土毛细水上升特性分析	(308)
5.2.8	小结	(327)
5.3	纳米水硬性钙硅铝无机醇分散加固剂和亲水性高拉伸硅材料乳液加固材料研究	(328)
5.3.1	概述	(328)
5.3.2	陈化石灰 - 醇分散潮湿土遗址加固剂的探索性研究	(329)
5.3.3	二次生石灰 - 醇分散潮湿土遗址加固剂的探索性研究	(333)
5.3.4	石灰基液态水硬性加固剂用于潮湿土体的加固探讨	(337)
5.3.5	亲水性高拉伸有机 / 无机硅材料乳液加固土遗址的探索性研究	(348)
5.3.6	现场加固试验	(356)
5.4	非水分散体加固遗址土研究	(359)
5.4.1	丙烯酸树脂非水材料深入研究	(359)
5.4.2	新型非水材料的制备和性能研究	(365)
5.4.3	非水材料分散液性能检测	(369)
5.4.4	非水分散膜的性能检测	(371)
5.4.5	非水材料对土的渗透性能和固化	(375)
5.4.6	非水材料对土的固结的检验	(377)
5.4.7	非水材料对湿土固结的检验	(385)
5.4.8	保护材料现场试验	(388)
5.4.9	新型非水保护材料良渚遗址现场试验	(389)
5.4.10	潮湿环境土遗址保护的其他试验研究	(394)
5.5	桥式聚倍半硅氧烷遗址加固材料的设计及合成	(403)
5.5.1	研究目的	(403)

5.5.2	研究思路	(404)
5.5.3	室内测试	(405)
5.5.4	结果与讨论	(408)
5.5.5	现场试验	(412)
5.6	烧料姜石和烧阿嘎土加固材料研发与试验研究	(413)
5.6.1	研究内容、方法、技术路线及加固材料的物理化学性质	(413)
5.6.2	加固材料的制备	(413)
5.6.3	加固材料的物理化学性质	(414)
5.6.4	加固材料的基本物理力学性质	(428)
5.6.5	加固材料实验	(440)
5.6.6	结果及讨论	(444)
5.7	加固材料加固效果评价	(446)
5.7.1	热物理参数测定对土遗址保护现场加固效果的检验	(446)
5.7.2	红外热像对土遗址保护现场加固效果检验	(457)
5.7.3	电阻率测试	(472)
5.7.4	显微观察检测	(482)
5.7.5	亲水、憎水测试	(487)
5.7.6	保护加固材料综合评价	(491)
5.8	小结	(494)
第六章	考古现场土遗址力学稳定性与控制技术研究	(496)
6.1	史前遗址考古发掘	(496)
6.1.1	史前遗址考古	(496)
6.1.2	史前遗址发掘	(497)
6.2	考古现场遗址保护研究现状	(498)
6.2.1	基坑开挖、变形、破坏与支护	(499)
6.2.2	史前考古现场土遗址保护现状	(508)
6.2.3	考古发掘探方与基坑工程的差别	(509)
6.3	良渚遗址力学稳定性及控制技术研究	(509)
6.3.1	概述	(509)
6.3.2	工程地质条件	(510)
6.3.3	变形破坏特征	(515)
6.3.4	发育机理研究	(527)
6.3.5	治理方法	(529)
6.3.6	良渚遗址考古现场土遗址稳定性评价	(530)
6.3.7	裂隙注浆试验	(536)

6.3.8 砌筑支顶	(540)
6.4 小结	(545)
第七章 结论与展望	(546)
7.1 结论	(546)
7.2 展望	(548)
参考文献	(551)
后记	(554)

第一章 潮湿环境考古现场土遗址的环境特征研究

潮湿环境土遗址保护之所以是一个世界性的难题，主要原因是土遗址本身就是极为脆弱的一类文化遗产，加之所在潮湿环境下水的作用，导致了其极难保存。因此，研究潮湿环境下土遗址保护加固技术，首先需要研究的就是潮湿环境的环境特征，以及如何表征潮湿环境、监测方法等内容。本章从潮湿环境的界定着手，研究了潮湿环境定义的指标体系，以良渚遗址为例开展了潮湿环境下土遗址水环境特征的调查与监测，并针对相关的环境因子，提出了具体的监测方法；利用调查结果，详细分析了地表水、地下水等对遗址的危害，并针对水对遗址的危害，提出了降排水、阻隔水等遗址水害的具体防治对策。

1.1 考古现场土遗址潮湿环境特征研究

1.1.1 潮湿环境界定的意义

土遗址直接与大地相连，天然土体强度低、水稳定性能差。因此，即使采取加棚遮盖等措施，也很难避免降水、地表水及地下水等因素对其产生影响，如雨蚀剥离、流水掏蚀、冲沟等。目前，土遗址的保护研究工作主要集中于干旱地区，并取得了许多成果。而潮湿环境由于水分这一环境要素的参与，使得它对土遗址的作用更为复杂，形成的病害、采取的保护措施也与干旱环境相差很大。因此，在土遗址的保护工作中，科学判别土遗址所处环境的干湿程度至关重要，这直接影响到所采取的预防和保护措施的可行性及有效性。

由于研究对象的差异，不同的研究领域对于干旱环境和潮湿环境的判定方法不同。毛飞等根据全国 602 个气象站 1961~2008 年逐日气象资料（包括平均气温、最高气温、最低气温、水汽压、日照时数、风速和降水量等要素），用 FAOPenman-Menteith 方法计算逐日潜在蒸散量，得到全国各站历年年降水量与年潜在蒸散量比值，称为干湿指数。根据国内外的研究成果，结合中国气候特点，他将全国干湿气候分为 7 个等级，分别命名为过湿区、潮湿区、湿润区、半湿润区、半干旱区、干旱区和极端干旱区，具体见表 1-1。农业气候区划的分区系统由三个等级组成，依次为农业气候大区、农业气候带和农业气候区。

表 1-1 干湿气候分区

气候分区	干湿指数
过湿	>2.00
潮湿	$1.50 \sim 2.00$
湿润	$1.00 \sim 1.50$
半湿润	$0.50 \sim 1.00$
半干旱	$0.20 \sim 0.50$
干旱	$0.05 \sim 0.20$
极端干旱	<0.05

农业气候区的划分中，用干燥度（即蒸发力与降水量之比）作为区分干湿的标准，并用月干燥度线性内插确定干湿期。采用沙什科的干燥度 $D=\sum d/r$ ，式中 $\sum d$ 为年（或月）饱和差的总和（mb）， r 为年（或月）的降水量（mm）。卢其尧等曾对 K 和 D 的年度进行过分析，发现有如下关系：东部季风区 $D=2.34K^{1.63}$ ；青藏高寒区 $D=5.18K^{1.15}$ 。在东部季风区 $K=1$ 为干湿气候的分界，在青藏高寒区应改为 $K=0.75$ 。据 K 与 D 的关系式，定出干湿期标准（ D 值）。算出各月的 D 值，再根据干湿期标准用图解内插法确定潮、湿、早、干的起止日期与持续日数。

此外，《公路自然区划标准》采用潮湿系数进行二级区划。电工、热工等领域则采用空气相对湿度来区分干湿环境，一般室内相对湿度未超过 60% 者称为干燥环境；室内仅有短时间、少量排出水蒸气或冷凝水情况，空气相对湿度大于 60%，但未超过 75% 者，称为潮的环境；室内空气相对湿度超过 75% 则称为湿的环境；室内湿度接近 100% 者（即完全处于湿气笼罩之下）称为非常潮湿的环境。

1.1.2 潮湿环境指标体系

在土遗址保护研究中，土壤含水率、空气相对湿度和潮湿系数三个参数被用来界定潮湿环境或潮湿状态。由上述内容可知，环境由多种环境要素组成，潮湿环境是各环境要素共同作用的结果，不能由单一要素界定。而且根据环境主体的不同，各环境要素所起的作用程度不同，需用综合评价法来衡量各环境要素的比重，判定环境状态。因此，本部分内容结合土遗址自身特性及其环境影响因子，分析、筛选判定土遗址环境干湿度的指标，并应用模糊数学综合评价法最终判定环境的干湿程度，为土遗址的保护工作提供数字化依据。

1. 常用环境干湿度的指标分析

1) 降水量

一个地区降水量的多少不仅是决定其干湿程度的重要因素，而且还决定着地区地表水、地下水资源量的多少，而水资源量的多少又直接影响着本地区的干湿程度。对于土遗址来说，降水量的集中程度对其影响很大，并直接关系到预防及保护措施的有效性，即采取长久性措施还是建立应急预案。因此，降水量是土遗址保护中界定环境

干湿度的重要指标。

2) 空气相对湿度

相对湿度是指空气的水汽分压与同温度下饱和空气的水汽分压比值的百分数,以 RH 来表示。空气相对湿度反映了大气环境中的水分状况,是一个地区环境干湿程度的直观感受。因为空气相对湿度直接作用于土遗址,故将其作为判定环境干湿度的重要指标。

3) 潮湿系数

潮湿系数是指年降水量 R (mm) 与年蒸发量 Z (mm) 的比值,一般用 K 来表示。与降水量相比,潮湿系数能够反映某一地区水分的收支情况,是该地区干湿程度的决定因素。它是衡量气候、热量、水分状况的综合指标,能够较全面反映土遗址所处环境的干湿程度。

4) 土壤含水率

土壤含水率是指土壤中水分的质量与总质量比值的百分数。它间接反映了一个地区环境的干湿状况,却直接反映了土壤环境中的水分状况,对于土壤结构及其植被状况都具有重要作用。因此,将其作为判定环境干湿度的重要指标。

5) 橘小实蝇飞翔活跃度

橘小实蝇的飞翔活跃度是指一定环境条件下,橘小实蝇正在飞翔的数量,实验中用诱捕量来表示其飞翔活跃度。刘建宏等的实验表明,橘小实蝇飞翔活跃度相对较低时期,正好与空气相对湿度最低值出现的时间相吻合。这与 Andrei 得出的结论一致。据以上分析,橘小实蝇的飞翔活跃度与环境的干湿程度密切相关,故将一定环境下橘小实蝇的诱捕数作为环境干湿度的判定依据。

6) 蜗牛的休眠率

蜗牛温湿度不适时,则封口休眠蛰伏。何铁海等在不同湿度下对蜗牛的休眠率和活动率进行测试,测试结果表明,相对湿度越低,蜗牛休眠率越高,相对湿度高则活动率强。故将蜗牛休眠率作为环境干湿度的判定指标。

7) 森林覆盖率

森林覆盖率是指一个国家或地区森林面积占土地总面积的百分比。它是一个地区环境干湿程度的直接作用结果,反过来,它又具有调节气候、保持水土、涵养水源等作用。然而,森林覆盖率对土遗址的保护也具有不利的作用,应密切关注。因此,将森林覆盖率作为判定环境干湿度的重要指标。

8) 湿生、旱生指示植物

湿生植物指在比较潮湿的环境中才能正常生长和繁殖的植物,抗旱力低,有的种类只要叶片失水 1% 便趋萎蔫。典型的湿生植物有:小灯心草、半边莲、海芋等。旱生植物指借助形态、结构、生理和生长特性,在干旱条件下能长期忍受干旱,并且能保持水分平衡和正常生长发育的植物。典型的旱生植物有:骆驼刺、仙人掌、沙拐枣等。根据植物的这一水分特性,将湿生、旱生植物作为指示性植物来判断环境的干湿程度。