

中国文化遗产研究院·文物保护科技系列·2018年
山东省菏泽市定陶区文物局

定陶汉墓黄肠题凑 调查、保护与研究

成倩 王江峰 著

科学出版社

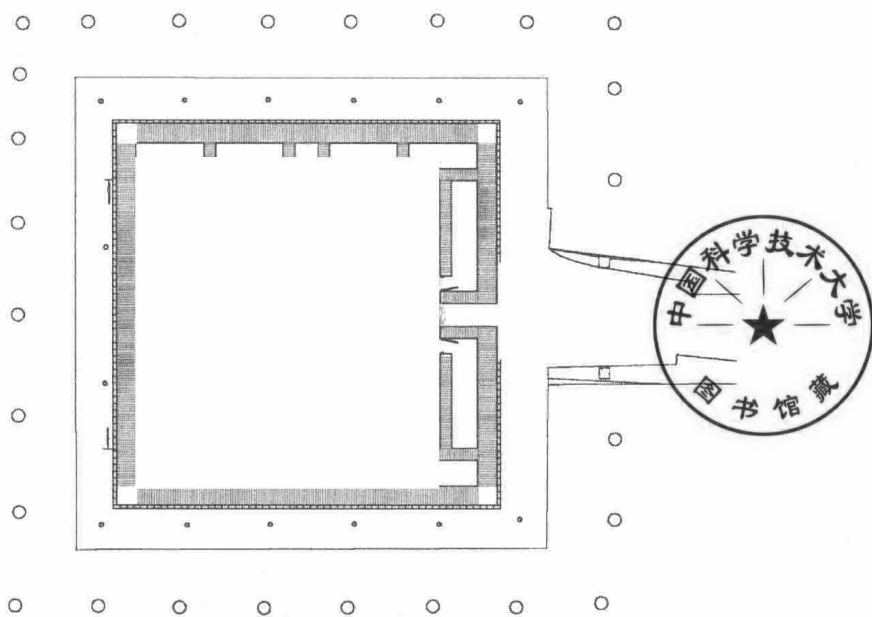


中国文化遗产研究院·文物保护科技系列·2018年

山东省菏泽市定陶区文物局

定陶汉墓黄肠题凑 调查、保护与研究

成 倩 王江峰 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

2013年,定陶王墓地(王陵)M2汉墓被评为“2012年度全国十大考古新发现”。本书以该墓出土“黄肠题凑”枋水木结构为研究对象,阐述了利用最新技术手段,开展现状调查、现场保护、动态监测、文字辨识以及保护技术研究等一系列工作,力求解决文物保护和考古研究中的实际问题,为大型出土(水)木质文物保护提供了示范案例。

本书适用于大专院校文化遗产保护及相关专业本科生和研究生使用,对文物保护与修复专业技术人员和考古工作者也具有参考价值与启示。

图书在版编目(CIP)数据

定陶汉墓黄肠题凑调查、保护与研究 / 成倩, 王江峰著. —北京: 科学出版社, 2018.7

ISBN 978-7-03-058252-2

I. ①定… II. ①成… ②王… III. ①汉墓—埋葬制度—调查研究—菏泽 IV. ①K892.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第155663号

责任编辑: 雷 英 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 金舵手世纪

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年7月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
2018年7月第一次印刷 印张: 20 1/4 插页: 16
字数: 450 000

定价: 228.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序 一 FOREWORD I

中国文化遗产研究院院长 柴晓明

定陶汉墓 M2 位于山东省菏泽市定陶区马集镇西北约 2000 米，是我国目前发现规模最大、规格最高、保存最完整的大型“黄肠题凑”葬制墓葬之一，其年代为西汉晚期。考古学界认为墓主为汉哀帝之母，即定陶恭王刘康之姬——丁氏。根据《汉书·哀帝纪》和《汉书·外戚传》等文献，丁太后去世后汉哀帝以汉代“天子之制”殓葬其母，并与恭王合葬，是目前所发掘的汉代最高等级的墓葬，也是学术界研究汉代帝王陵寝的重要标本，具有非常重要的地位。故如何在发掘后尽快保护该墓，并为今后长期保存该墓打下坚实基础，就成为当前一项非常艰巨的任务。

国家文物局对定陶汉墓的研究、保护等工作高度关注。2012 年，国家文物局领导要求中国文化遗产研究院承担历史责任，迎难而上，做好定陶汉墓相关保护工作。此后中国文化遗产研究院作为技术总牵头单位，积极推动定陶汉墓的保护工作，与山东省文物局以及菏泽市、定陶县政府和文物部门等齐心协力，为定陶汉墓保护工作做出不懈努力，并在现场保护、展示的研究及方案的设计等方面取得重大成就。

众所周知，出土出水大型木构文物保护是国际性难题，从瑞典瓦萨号和英国玛丽罗斯号沉船，到我国的杭州跨湖桥独木舟、随州曾侯乙墓、六安双墩一号黄肠题凑等诸多案例，无不在保护过程中遇到各种难题，工作周期较长，许多工作仍在持续进行中。定陶汉墓出土黄肠题凑用材量大约 2000 立方米，不仅体量硕大，而且历经 2000 多年岁月洗礼和黄河泛滥淤埋，致使这一饱水木构建筑在重见天日之时，已经出现木材开裂、盐析、微生物大片滋生等诸多病害。发掘出土的定陶汉墓遗迹位于距离当代地表 11 米的一个大深坑中，不断受到地下水、自然降水的侵扰，又为已经脆弱斑驳的文物躯体增添了新的伤害，情况相当复杂。面对这样一项珍贵而特殊的保护对象，开展长期的保护工作犹如“摸着石头过

河”一般，没有现成的经验可供借鉴。

定陶汉墓“黄肠题凑保护”项目组是一个由年轻人组成的团队。尽管团队部分成员参与过高句丽墓葬壁画原址保护及南海Ⅰ号出水文物保护等项目，但是对于大型出土木结构的原址保护经验仍属寥寥。可贵的是，子项目负责人成倩以及沈大娟等同志不畏困难，查阅大量中英文文献，赴国内外遗址考察调研，与国内外专家深入交流，借鉴各项保护经验与教训，不断思考完善满足定陶汉墓黄肠题凑特定需求的一整套保护思路。例如，定陶汉墓自动控制喷淋系统是我国在文物遗址上的首次应用，保障了黄肠题凑在较长时间内的稳定，为后续的保护设施建设、保护研究赢得了时间。汉墓环境监测系统利用激光调制技术克服了极端高湿环境下对汉墓环境的精准监测和数据传输难题，也是一项创新性的实践。以王江峰为首的定陶区文物局团队与项目组密切配合，五年间精心组织，落实现场监测等，做了大量工作。

本书主要反映的就是定陶汉墓保护项目的子项目“黄肠题凑保护”工作和研究的部分成果。该书系统阐释了目前所能做到的保护该墓葬黄肠题凑的科学方法，具有学术和现实意义。更重要的是，通过这一项目的历练，项目组同志不仅积累了解决实际保护问题的经验，更锻炼了将高新科学技术用于文物保护领域的能力。我希望中国文化遗产研究院的青年业务人员在面对祖先留给我们厚重的文化遗产时，更加具有敬畏感和历史责任感，不仅努力将每一项保护工作做得更好，而且能够把自己的工作实践心得整理、发表出来，供业界评判、指导。



2018年6月

序 二 FOREWORD II

湖北省博物馆原馆长、研究馆员 陈中行

在人类的历史长河中，出土的竹木漆器类文物以它各色的造型、神秘的纹样、精巧的工艺、深厚的历史文化内涵，成为文化遗产宝库中的独特一支。我国是一个出土木质文物历史悠久、类型极为丰富的国家，不仅竹木漆器精致繁多，而且出土（出水）的大型饱水木结构也层出不穷。例如，杭州跨湖桥遗址出土8000年前独木舟、湖北随州曾侯乙墓、浙江绍兴印山大墓、上海元代水闸遗址、成都商业街出土船棺葬、扬州天山广陵王汉墓出土黄肠题凑、安徽六安双墩一号墓出土黄肠题凑、北京的大葆台汉墓和老山汉墓，等等。出水文物有广东阳江的“南海Ⅰ号”、海南省博物馆藏“华光礁一号”，宁波“小白礁一号”等重要的木质沉船等，不胜枚举。

与精巧的竹木漆器相比，大型木结构具有体量硕大、结构复杂、承载的考古历史信息丰富等特点，反映出古代工匠对木材属性的认识和对“木作”技术的成熟应用。但是，由于遗址出土木构的木材种属不同、埋藏环境不同、腐蚀程度不均匀，大型木结构整体的原址保护方式具有很强的局限性。

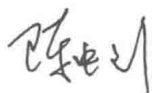
跨湖桥遗址于2002年被评为“2001年度全国十大考古新发现”，2006年被国务院核定公布为第六批全国重点文物保护单位。算是有缘，在跨湖桥独木舟遗址发现的同年，我承担了国家“十五”科技攻关项目——“遗址大型饱水木构件的原址保护技术研究”。跨湖桥独木舟遗址项目于是成为重要的保护研究类型和重点案例。团队通过十多年的研究和施工，集结了众多领域的科研力量，终于使跨湖桥独木舟及其遗址得到基本稳定。因此，我深知大型出土饱水木结构的原址保护是一项非常具有挑战性的任务。

山东定陶M2汉墓是目前我国已经问世的10余座“黄肠题凑”墓葬中规模最大、保存最为完整的一座西汉王陵，具有极为珍贵的历史、科学和艺术价值，被评为“2012年度全国十大考古新发现”。

大型出土饱水木质结构文物的保护，由于其存在的遗址或者墓葬环境的不同，特别是地质环境的不同，原址保护的方法和技术亦不尽相同，因此这也是文化遗产保护领域的一类国际性难题。以成倩为首的中国文化遗产研究院定陶汉墓黄肠题凑保护团队联合定陶区文物局王江峰等同志，以出土汉墓黄肠题凑木结构建筑为对象，系统地阐述了现状调查、现场保护与监测、保护研究等几方面的工作成果。黄肠题凑保护团队根据定陶汉墓遗址的实际保存情况，采用了自动控制双流体喷雾喷淋系统、半导体激光调制和分布式感温光纤环境监测系统等最新科技，应用于汉墓黄肠题凑的抢救性保护。这些技术是首次在国内大型遗址中应用，其保护方式先进，成果具有创新性和其他同类遗址可借鉴性。

为了满足黄肠题凑原址保护的需求，项目团队开展了近四年的脱水加固对比实验，其研究成果可服务于未来的现场保护工作；针对黄肠题凑动态的变化特征，团队人员对本体和保存环境连续监测、分析，灵活应对汉墓动态变化，切实采取相应保护措施，体现出较好的保护技术水平；采用高光谱成像技术，解决了黄肠题凑墨书文字的辨读问题，为考古研究提供了重要的实物证据。这些研究成果对于其他国内外大型饱水木质文物保护具有重要的参考意义。

这几年来，关于定陶汉墓保护项目的专家咨询会、论证会，我已经参加过大大小小数十次之多，也见证了项目的进展和取得的各项成绩。成倩同志一直坚持将最新的科学技术与古老的黄肠题凑的保护研究相结合，努力维护汉墓的安全稳定，为后续长期保护处理提供了有力的条件。作为新一代的保护工作者，能够迎难而上，勇于承担，努力解决保护工程的实际问题，十分可贵。在本书出版之际，我欣然为其撰序，希望她再接再厉，在出土木质文物保护领域做出更大的贡献！



2018年4月

序 三 FOREWORD III

中国文化遗产研究院原副院长、研究馆员 马清林
定陶汉墓保护项目负责人

在人类发展历史中，留下了无数历史遗迹和遗物，其中木质类文物遗存丰富多样，包括竹木漆器和古代建筑结构体，其科学保护也面临诸多难题。20世纪70年代，我国文物科技保护专家胡继高、陈中行先生等开展了竹木漆器保护研究工作，取得了很多成果，积累了丰富经验。在21世纪初期，又启动了大型木质文物保护研究工作和工程实施。由于大型出土木构筑物具有体积庞大、不易整体移动和难于均匀脱水定型等特点，因此亟须开展科学研究，开启新思路，寻找新的保护技术。

山东定陶王墓地（王陵）属于第七批全国重点文物保护单位，该遗址M2号墓自2010年10月山东省文物考古研究所、菏泽市文物管理处、定陶县文管处联合组队抢救性发掘，出土了“黄肠题凑”形制的椁室。木椁顶部共有五层枋木封盖，厚1.6 m。椁室底部也垒砌四层枋木，厚约1.28 m。墓室内高约1.85 m。整个墓室在水位之下，底部有厚约0.2 m的淤泥。木椁墓室用木材总量约2000立方米。木材种类有柏木、楠木、硬松木等，棺为梓木。这是我国目前已经发掘“黄肠题凑”形制墓葬中规模最大、保存最为完整的一座。

定陶M2汉墓发掘和“黄肠题凑”椁室出土，引起国家文物局、山东省政府和社会各界的高度关注。2012年，受国家文物局领导指示，要求中国文化遗产研究院组织相关力量，调研情况，以原址保护为原则，提出定陶汉墓保护的决策建议。9月，中国文化遗产研究院“定陶汉墓保护项目组”成立，由木质文物保护、生物防治、遗址水环境控制和考古学方面的专业人员组成。

2013年1月，中国文化遗产研究院党政联席会议议定定陶汉墓保护项目由马清林副院长督办，许言副院长辅助，以强化院内多专业力量参与。

2014年3月，山东定陶县文物局发来《山东定陶王墓地（王陵）M2汉墓

原址保护工程方案》文物保护工程设计合同书,以及《关于定陶王墓地(王陵)M2汉墓原址本体保护的说明》公函。确定定陶王墓地(王陵)M2汉墓的本体保护基本面积为:以黄肠题凑汉墓为中心放大的正方形区域,边长为 $50\text{ m}\times 50\text{ m}$ 。柱洞、积砂槽及 $50\text{ m}\times 50\text{ m}$ 范围内夯土属于本体保护范围,施工中不能受到影响,在设计时应充分考虑。

2014年5月,“《山东定陶王墓地(王陵)M2汉墓保护工程(一期)》方案论证会”在国家文物局召开。认为该方案以墓葬所在区域的水文地质勘察结果为基础,以疏干排水、修建挡水墙和原址保护为基本思路,结合原址支顶与保护设施建设,为黄肠题凑和夯土区的长期有效保护创造了良好环境,并为展示创造了条件,有利于定陶汉墓的保护和长期保存。同时建议立刻启动“黄肠题凑”的自动喷淋设施建设。

2014年6月,财政部、国家文物局在京组织召开了“2014年度国家重点文物保护单位专项补助资金额度较大项目评审会”,确定了项目预算编制和预算终审。7月,山东定陶王墓地(王陵)M2汉墓“黄肠题凑”喷雾喷淋系统实施方案专家咨询会召开。

至此,在项目组和相关合作单位的共同努力下,经过两年多时间的考察、研究、专家会议评估及领导指导,定陶汉墓原址保护工程正式拉开序幕。

定陶M2汉墓原址保护是一项非常复杂的系统工程,涉及水文地质、岩土力学、环境科学、建筑学、化学、文物保护、微生物学和考古学等。根据M2汉墓保存现状实际问题 and 保护侧重,项目研究和工程实施分五个方面:①M2汉墓保护设施工程;②M2汉墓保护设施建设中的相关考古工作;③M2汉墓墓圻与夯土区保护前期研究;④M2汉墓黄肠题凑的临时性保护与前期研究;⑤M2汉墓生物病害监测及防控前期研究。保护研究工程汇集了中国文化遗产研究院、北京科技大学、中国科学院微生物研究所、南开大学、北京化工大学、中铁西北科学研究院有限公司、中国航天科技集团公司第十一研究院等国内科研设计工程技术人员。

在2014年国家文物局批复后,经过三年多时间的努力,至2017年底,定陶M2汉墓保护的各项工作取得了很多成果,达到了项目设计的预期,部分项目已开始实施。

本书主要介绍山东定陶王墓地(王陵)M2汉墓“黄肠题凑”的临时性保护与前期研究及实施情况,该部分由成倩、沈大娟副研究员负责,开展了“定陶汉墓黄肠题凑保护、监测与前期研究子项目”工作;为“黄肠题凑”“量身定制”的自动控制喷淋系统保证了饱水木结构较长期的稳定,光纤传感技术应用下的环境监测系统可以实时在线显示黄肠题凑保存状态;持续三年跟踪监测木材的动态变化和榫室内、外环境因素波动规律;在实验室开展以环境因素控制为主导的“黄肠题凑”整体脱水保护技术前期研究,获得了大量的数据和科学结论。

《定陶汉墓黄肠题凑调查、保护与研究》一书作为《山东定陶王墓地（王陵）M2 汉墓保护工程（一期）》的部分内容，是大型木质文物或木构文物科学保护的重要尝试性科学研究成果。由于考古工作的新进展，重要发现不断出现，具体保护工作思路也发生了调整。但是，M2 汉墓前期的科研成果仍然具有科学意义和实践指导意义，它们的分集出版，必将发挥学术指导和科研成果扩散的作用，持续为祖国和人类的文化遗产保护发挥作用。



2018年4月

前言 PREFACE

定陶王墓地（王陵）M2 汉墓（以下简称“定陶汉墓”）位于山东省菏泽市定陶区马集镇大李家村西北约 2000 m 处。近年来，该墓葬多次被盗，墓室正上方和东北角均出现盗洞痕迹。经山东省文物局研究并报国家文物局批准后，于 2010 年 10 月上旬，山东省文物考古研究所组队开始对 M2 定陶汉墓进行抢救性发掘。

迄今为止，墓室清理工作基本完成，墓葬“黄肠题凑”形制保存完整，有彩棺、丝袍等少量随葬品。该墓葬整体呈“甲”字形，墓圻呈正方形，边长约 28.3 m，加之柱洞等与墓室结构相关的设施，整个墓葬范围约 40 m 见方。“黄肠题凑”墓椁呈正方形，边长 23 m。整体使用木材量高达 2000 m³。是目前我国已经发掘的 10 余座“黄肠题凑”墓葬中规模最大、规格最高、保存最完整的一座。被考古学界评为“2012 年度全国十大考古新发现”。

“黄肠题凑”葬制是汉代高级贵族的特殊丧葬制度，它从一个侧面反映了汉代的礼仪制度、等级制度及思想文化的发展等。“黄肠题凑”是这种葬制中重要的葬具，它最晚出现在战国时期的“题凑”制，在西汉时期盛行一时，在东汉砖室墓的兴盛中逐渐没落，是竖穴木椁墓发展到鼎盛的一种形制。但是由于这是一类等级较高的葬制，文献记载和考古发掘的资料并不丰富，人们对于这类墓葬内部的构筑形式没有全面的认识。定陶王墓地 M2 汉墓黄肠题凑的出土，使我们更为深入地认识“黄肠题凑”的葬制、建筑结构及其折射出的汉代的社會、文化风貌。

墓地距黄河 60 km，南距黄河古道近 80 km。经年累月的黄河冲积淤埋使该墓葬的封土厚达 11 m，然而地下水位距离地表下常年维持在 2 m 左右。因此，封土淤埋较深、水位运行较浅，这些都使得后续的考古和保护工作阻力重重。目前汉墓遗址仍处于积水坑中，黄肠题凑椁室木材整体处于饱水状态。局部墙体木材和椁室外顶部糟朽更为严重，并且逐渐出现失水、开裂、盐析、微生物滋生等病害。2012 年 9 月，山东省文物局和定陶县文物局正式委托中国文化遗产研究

院作为技术总牵头单位，承担以“黄肠题凑”为核心的定陶汉墓保护工程。这时距离出土发掘已有近3年时间，期间工作人员不断进出墓室，反复抽取墓室积水，导致墓室环境剧烈波动等，加剧了木材腐蚀糟朽的进程。

木质文物属于有机质吸湿性材料，其特征是材质脆弱不稳定，非常容易受到环境变化、生物破坏、人为影响等因素的干扰。在经历了2000多年的密封水侵，汉墓原本干燥坚固的木材以饱水糟朽的状态重见天日，其木材组织、结构与建造初期不可同日而语。如此大体量的饱水木质建筑结构的保护在我国文物保护历史上尚属首次，亦属于一项国际性的难题。工程涉及面广、工程量大、风险值高，是一个跨多学科领域的综合性文化遗产保护工程。

作为文物保护工作者，我们面临的一项巨大的挑战和任务是：在建设保护设施期间，如何维持汉墓木材形貌暂时的稳定性？如何保证建筑结构的稳定？如何使饱水的木结构能够保持一个长期稳定的存放状态？

为此，本书以山东定陶汉墓出土饱水木质黄肠题凑椁室为研究对象，开展了前期调查、保存现状分析和科学检测，探讨了木材腐蚀风化的原因；并详细介绍为期3年的临时性保护施工期间，饱水黄肠题凑椁室的保护、监测、维护等方面的工作，以及在实验室展开相关研究工作的最新结论。在保护研究过程中，意外发现题凑木材内侧的墨书文字，为判断汉墓墓主身份、营造年代、营造技术等方面提供了重要的考古信息，并以此研究了墨书黄肠题凑的保护技术。本书希望为后续的现场保护、设计和利用提供重要的科学依据，亦希望为国内外大型出土木构建筑的保护修复提供翔实的案例和经验。

本书的第1章和第2章展示了定陶汉墓2012年的现状调查情况；第3章为文献调研；第4~7章侧重于介绍现场保护和动态监测；第8~11章着重于阐述相关保护研究工作；第12章回顾了文物保护工程的组织管理；第13章为结语。

目 录 CONTENTS

序一	柴晓明 (i)
序二	陈中行 (iii)
序三	马清林 (v)
前言	(ix)

第 1 章 概况..... (001)

1.1 定陶汉墓考古背景.....	(001)
1.2 “黄肠题凑”墓葬制度及考古发现.....	(003)
1.2.1 “题凑”类墓葬建筑材质.....	(005)
1.2.2 “黄肠题凑”建筑形式.....	(006)
1.2.3 “黄肠题凑”建筑历史沿革.....	(006)
1.2.4 定陶汉墓“黄肠题凑”建筑结构.....	(009)
1.3 定陶汉墓“黄肠题凑”保护进展.....	(010)

第 2 章 保存现状调查与评估..... (014)

2.1 保存现状与病害调查.....	(014)
2.1.1 保存现状.....	(014)
2.1.2 病害调查.....	(017)
2.2 科学分析.....	(019)



2.2.1	木材种属	(019)
2.2.2	微观形貌观察	(025)
2.2.3	木材化学组成分析	(026)
2.2.4	木材、积水及土壤盐分分析	(031)
2.2.5	“黄肠题凑”木材的物理特性	(034)
2.2.6	木材保存状况和糟朽程度分析	(038)
2.2.7	小结	(042)
2.3	保存现状与病害原因探讨	(042)
2.3.1	木材腐蚀的内因	(042)
2.3.2	水的破坏性	(043)
2.3.3	盐分的影响	(044)
2.3.4	环境变化的影响	(044)
2.3.5	微生物的影响	(048)
2.3.6	小结	(048)
第 3 章	文献调研	(051)
3.1	木材保护基本概念	(051)
3.2	木质文物干缩性原理	(053)
3.3	大型饱水木质文物脱水保护的国外调研	(053)
3.3.1	瑞典战船 Vasa 号	(053)
3.3.2	意大利出土木质文物保护调研	(054)
3.4	大型饱水木质文物脱水保护的国内调研	(065)
3.4.1	安徽六安双墩一号汉墓黄肠题凑	(065)
3.4.2	江苏扬州汉广陵王墓黄肠题凑	(066)
3.4.3	浙江萧山跨湖桥遗址独木舟	(066)
3.4.4	湖南长沙西汉渔阳墓黄肠题凑	(068)
3.5	大型饱水木质文物脱水保护的文献查阅	(070)
3.5.1	国外研究情况	(070)
3.5.2	国内研究情况	(071)

3.5.3 饱水木质文物脱水加固处理方法研究	(072)
------------------------------	---------

第 4 章 自动控制喷雾喷淋系统

目

录

4.1 引言	(083)
4.2 历史上大型古沉船的喷淋保护	(083)
4.3 设计目的	(085)
4.4 设计内容	(085)
4.4.1 墓室内部喷雾喷淋管路	(085)
4.4.2 墓室外顶部喷淋	(088)
4.4.3 动力机房机组	(089)
4.5 耗液量统计	(091)
4.6 运行效果	(092)
4.7 结论	(093)

第 5 章 环境监测系统设计及实施

5.1 设计目的	(095)
5.2 保存环境	(096)
5.3 光纤传感技术原理	(097)
5.3.1 传统湿度监测的缺陷	(097)
5.3.2 TDLAS 技术原理	(097)
5.3.3 分布式光纤温度传感系统	(099)
5.4 系统设计及实施	(101)
5.4.1 系统总体方案设计	(101)
5.4.2 墓室内温度及高湿环境的监测	(101)
5.4.3 墓室外顶温度监测	(103)
5.4.4 墓室周围环境温湿度监测	(104)
5.4.5 系统信息的展示与利用	(105)



5.5	结论	(107)
第 6 章	环境监测分析与利用	(109)
6.1	墓室温度一致性情况分析	(110)
6.1.1	墓道口至墓室内部温度一致性	(110)
6.1.2	S1 小室范围内温度一致性	(113)
6.1.3	墓室四周温度一致性	(115)
6.1.4	盗洞处温度变化情况	(119)
6.1.5	墓室温度回归分析	(119)
6.1.6	小结	(121)
6.2	墓顶温度数据分析	(122)
6.2.1	遮阳棚下温度变化情况	(122)
6.2.2	墓顶温度变化情况	(123)
6.2.3	大气、遮阳棚与墓顶温度变化对比	(124)
6.2.4	小结	(126)
6.3	墓顶保护与监测系统的评价与改进	(127)
6.3.1	模型建立	(127)
6.3.2	温度场数学模型	(127)
6.3.3	风速场数学模型	(129)
6.3.4	水蒸气质量场数学模型	(130)
6.3.5	评价与预测	(131)
第 7 章	定陶汉墓木材监测	(135)
7.1	监测目的	(135)
7.2	监测对象	(136)
7.2.1	喷淋终端水	(136)
7.2.2	墙体木材	(136)
7.2.3	结构裂隙	(140)

7.3	监测方法	(143)
7.3.1	喷淋系统终端水质	(143)
7.3.2	木材材质	(143)
7.3.3	木材裂隙	(144)
7.4	监测结果	(144)
7.4.1	喷淋终端水质监测结果	(144)
7.4.2	木材监测结果	(145)
7.4.3	裂隙监测结果	(148)
7.5	数据分析	(148)
7.5.1	喷淋阶段监测点木材含盐量对比	(148)
7.5.2	喷淋前后盐分对比分析	(148)
7.5.3	与新鲜柏木含盐量对比	(154)
7.5.4	喷淋前后 pH 对比分析	(154)
7.6	结论	(156)
第 8 章	黄肠题凑木材脱水保护研究	(157)
8.1	实验目的	(157)
8.2	黄肠题凑木材腐蚀特征	(158)
8.2.1	样品前期准备	(158)
8.2.2	分析过程	(158)
8.2.3	木材腐蚀特点讨论	(159)
8.3	PEG 加固技术模拟实验	(160)
8.3.1	PEG 加固剂初步筛选实验	(160)
8.3.2	两步法 PEG 加固剂筛选实验	(162)
8.3.3	实验结果与讨论	(163)
8.4	环境控制木材脱水模拟实验	(173)
8.4.1	实验目的	(174)
8.4.2	样品制备	(174)
8.4.3	实验内容与步骤	(175)