

而 建筑 遗产

HERITAGE
ARCHITECTURE

003
2016

论以价值为中心的历史保护理论与
用中国本土的原创建筑来保护
文化多样性语境下的亚太地区活态遗产
苏格兰风土建筑研究的
日本合掌造民居复原研究
世界遗产澳门圣母雪地殿壁画的保护



目次

研究聚焦 001 论以价值为中心的历史保护理论与实践

[美] 兰德尔·梅森 / 卢永毅 潘玥 陈璇 译



019 用中国本土的原创建筑来保护城市

——杭州中山路存遗与城市复兴

王澍

理论与历史 028 文化多样性语境下的亚太地区活态遗产保护

吕舟



040 英格兰风土建筑研究的历程

[英] 亚当·梅组吉 / 陈曦 译

054 英国的风土建筑

[英] 詹姆斯·W·P·坎贝尔 / 潘一婷 译

遗产图说 068 沃菲尔德风土图记 Ⅲ

天然材料和地方身份

[美] 詹姆斯·沃菲尔德 / 陈曦 译



案例解析 080 日本合掌造民居复原研究案例

——白川村加须良地区旧山本家住宅

[日] 松本继太 [日] 宫泽智士 / 胡佳林 唐聪 译



098 滇西北剑川匠系世传营造口诀研究

宾慧中

108 从祭天敬祖仪式看白族民居的空间观念

邵陆



114 世界遗产澳门圣母雪地殿壁画的保护研究

戴仕炳 汤众 李峥嵘 [德] 汉斯·彼得·莱默尔

书评 123 风土：重返现代

潘玥

简讯 126

125 征稿启事

世界遗产澳门圣母雪地殿壁画的保护研究

The Conservation Strategy of the Frescoes in the Chapel of Our Lady of Guia in Macao

戴仕炳 Dai Shibing

汤众 Tang Zhong

李峥嵘 Li Zhengrong

[德]汉斯-彼得·莱默尔 Hans-Peter Leimer

摘要: 发现于1996年的澳门圣母雪地殿内17世纪早期湿壁画,为中国罕见的建筑室内装饰,具有重要的历史意义与美学价值。然而在2010年前后,该壁画开始呈现各类程度不同的病害,并伴有发展趋势。为使该壁画得到长期良好的保护效果,管理方对保护研究采取了分两期进行的策略。同济大学组建的跨学科团队完成了保护研究第一期——病害诊断与保护方案,具体研究内容为病害实录、建筑单元的排查诊断、环境监测,借助仿真模拟等现代技术手段,提出干预维护方案。通过对壁画历时五年的监测及其室内环境分析,各专业协同合作,最终确诊造成壁画病变的主要原因是由于教堂外围护体密实性严重不足,特别是单层瓦面导致的开裂渗漏等。保护团队据此诊断提出了针对性的保护维护方案,并建议在实施抢救性干预方案的同时,开展第二期的保护研究工作,用以对一期实施方案的有效性进行判断,或作为后期修正改进的依据。

关键词: 澳门; 圣母雪地殿; 壁画保护; 室内环境监测; 仿真模拟; 保护策略研究

Abstract: The frescoes from early 17th century discovered in 1996 in the Chapel of Our Lady of Guia in Macao are interior ornamentations that are rarely seen in China, and represent significant historic meanings and aesthetic values. Around 2010, damages in different forms were found and even become worse. To ensure conservation over time, two research phases are strategically planned by the manager. In the first phase, disease diagnosis and conservation plans were carried out by the interdisciplinary group from Tongji University. In this phase, architectural documentation, masonry inspection, interior environment monitoring, material testing both in situ and in laboratory were carried out, and new technologies such as hygrothermal simulation were employed, so as to propose the plan of conservational intervention. After five years of monitoring and analysis of interior environment, through multi-disciplinary cooperation, it was proved that the defects are caused mainly by tightness failure of envelope, especially high moisture in lime plaster substrate of frescoes caused by single layered roof. Based on the findings, a conservation recipe was proposed, and further research works as scope of work of conservation phase II, are proposed, which shall be started during the intervention measurements, and be used to judge the effectiveness of the works of phase I or as the basis for further corrections and improvements.

Key words: Macao; Chapel of Our Lady of Guia; conservation

of frescoes; indoor climate monitoring; hygrothermal simulation; conservation strategy

中图分类号: TU252; TU-87; TU1; K879.41

文献标志码: A

文章编号: 2095-7289(2016)03-0114-09

1 圣母雪地殿教堂及其壁画

澳门历史城区于2005年7月被联合国教科文组织列入《世界遗产名录》,圣母雪地殿教堂是澳门历史城区的重要组成部分。

该教堂始建于17世纪早期,准确的建造年份普遍认同应不迟于明天启二年(1622年)^[1]。教堂地处澳门半岛最高峰东望洋山顶炮台之上,与历史上中国海岸的第一座现代灯塔相邻(图1)。虽然教堂规模甚小,但因其特殊的地理位置而成为澳门地标,印于澳门钱币之上。东望洋炮台初建时,因其内有哨房、火药库和塔楼等防御设施,所以该山头一直被列为军事禁区,教堂于1976年葡萄牙驻军撤出澳门后才对外开放。

圣母雪地殿整体小巧玲珑,深受当时葡萄牙建筑样式的影响,带有浓厚的17世纪葡萄牙乡村修道院风格。建筑主体单层单开间,进深10余米,后部西侧附加10m²的耳房作为圣器室,入口处上方有一小阁台是唱诗席,室内总建筑面积约100m²。

教堂建筑空间上可分为四个部分:入口门厅(上方为唱诗席)、前殿(主体空间)、拜殿(与前殿间有壁柱拱券分隔)和祭殿(供奉圣母抱耶稣雕像)(图2)。屋顶采用筒拱结构,由厚重的砖石墙支撑,其最厚处达到1.1m,用以承载屋面拱顶和坡屋顶的重量,墙壁中间用砖石壁柱进行加固。

圣母雪地殿教堂建成近400多年来基本保存完好,整体建筑未见明显破坏。1996年,澳葡政府在



图 1

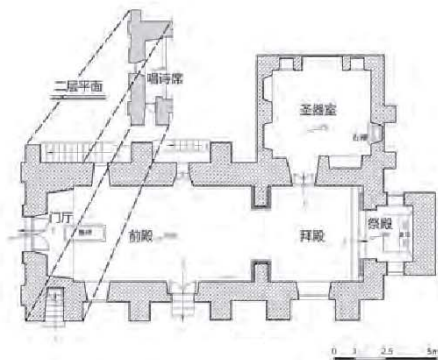


图 2



图 3

对教堂进行内部保护和修复时发现了壁画遗迹。该壁画运用中国绘画技法描绘圣经故事及其人物，属罕见于中国之艺术作品^[1]。从壁画最基层的颜料嵌入石灰层（图3）等特征判断，该壁画最初属湿壁画，即在地仗石灰层未干的状态下绘制的壁画，这也是这一艺术品能够保存至今且在被粉刷覆盖后仍能被修复展示的一个重要原因。

据澳门特别行政区文化财产厅介绍，1998年曾有一位葡萄牙壁画修复专家对前殿部分的彩色壁画图案进行修复，2001年澳门当地一位艺术家对圣器室内的壁画进行过修复（图4）。2003年至2004年，可能出于考虑教堂的结构承重等问题，原双层瓦屋面被改成单层瓦屋面，同时采用了锚杆对拉进行墙体加固。

2 保护研究工作策略与采取的技术措施

2.1 研究工作策略

圣母雪地殿教堂内的壁画于2010年前后呈现出劣化病变的严重态势，同时也发现教堂建筑存有多处渗漏。研究工作的目的就是找到原因，制定对策。

目前，对建筑内壁画的保护及其环境控制已经积

累了较为丰富的研究成果^[2-7]，欧洲也出台了重点保护教堂建筑等供暖技术标准。但考虑到澳门圣母雪地殿处于亚热带气候环境下，建筑构造及室内环境具有特殊性，已有的经验和欧洲的标准只可做参考，而不具有应用价值。为此，澳门特别行政区文化财产厅最终委托同济大学建筑与城市规划学院历史建筑保护实验中心组织、组建跨学科团队进行深入的保护研究工作。

要确保处于复杂气候环境下的壁画能够得到长期的保存与展示，必须为壁画提供合适的保存环境（图5）。为实现这一目标，研究工作至少需要分两期完成：第一期为查出病因制定方案，第二期为监测控制。目前第一期的研究工作已经完成，本文即是对这一期研究工作的总结。而即将开始的第二期提案要求委托方在完成保护工程实施的同时，并行开展控制工程质量的研究工作，同时对壁画本体及其环境进行有效性的监测评估，对可能存在问题的一期方案有关内容进行修正改进。

2.2 采用的主要技术措施与组织架构

一期研究中的重要研究内容之一是对壁画及其所在建筑现状的信息采集，包括对建筑本体的基础信息

- 图 1 澳门东望洋山顶炮台上的圣母雪地殿教堂（左）与灯塔（右）（图片来源：汤众摄影）
- 图 2 圣母雪地殿低层平面图（图片来源：汤众绘制）
- 图 3 体视显微镜下的圣母雪地殿壁画表面（图片横边宽度约4mm，可见粗的红色颜料嵌入石灰地仗层，图片来源：戴仕炳摄影）



图 4a



图 4b

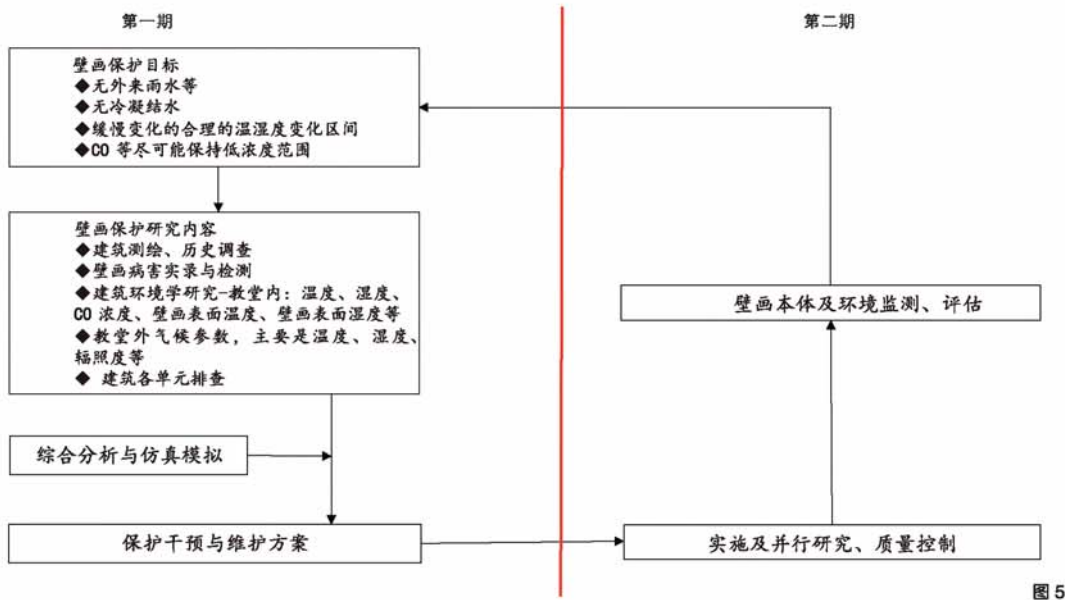


图 5

采集,含测绘、历史调查等;同时,参照现有的国家文物局标准^[8-10]对壁画现状进行测绘取样。环境信息采集过程中,除对不同进深、不同高度的温湿度数据进行采集之外,还对建筑对外开放等管理信息进行了采集,包括游客数量等。然后在采集到的大量信息基础上,通过数据分析寻找壁画表面呈现各类病害的各种参数之间的关联性。在仿真模拟实验成果的帮助下,提出干预维护方案。

由于壁画保护研究工作的复杂性,研究团队由中德多学科不同专业的研究人员组成,不仅有与壁画保

护相关的材料病理学研究人员,还有建筑学专业及专门从事建筑环境和建筑物理学研究的人员。材料病理学研究侧重以理化实验与分析对壁画表现进行微观探索;建筑环境研究则侧重对教堂内外的环境状态进行信息采集与分析,并应用专业软件对现状进行仿真模拟(图6);建筑物理学专业人员通过模拟分析不同屋面构造的湿热变化,为保护措施的确提供依据。整个研究由建筑学专业人员主持协调工作,一方面配合材料病理学研究人员,从历史和文化的角度对壁画的形成过程和方式进行分析,另一方面配合建筑

图 4 表现在背景与色彩处理上不同风格的圣母雪地殿壁画修复(图片来源:汤众摄影) 4a为葡萄牙式修复,4b为中式修复

图 5 澳门圣母雪地殿壁画保护策略(图片来源:戴仕炳绘制)

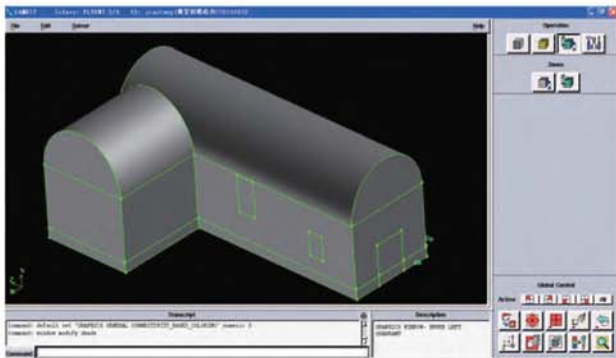


图 6a

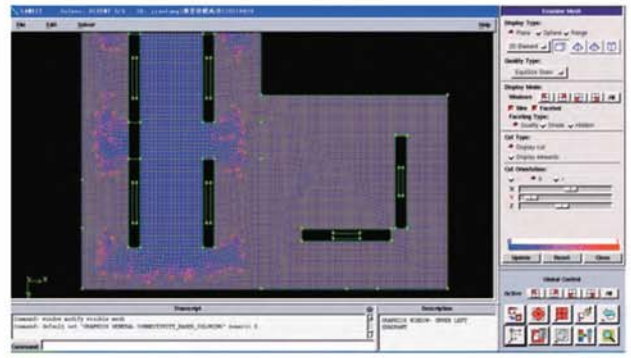


图 6b



前殿南墙面

图 7

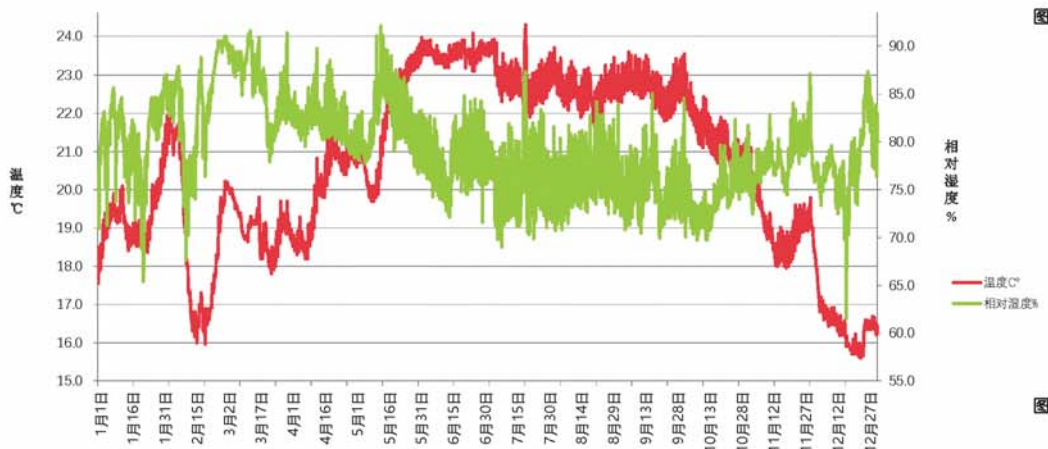


图 8

环境研究人员分析建模。同时，建筑学专业人员还需负责进行测绘和病害记录等基础工作（图 7），并协同各学科研究人员共同确定整个建筑各处温湿度的长期信息采集点。

研究工作主要由中国大学的教授、研究生和实验工程师完成，随时保持与德国大学教授、专家的沟通，及时交流技术成果。研究过程中，团队通过口头、书面等方式将发现的问题及时汇报给管理方，管理方在保障开放参观的前提下及时采取有利壁画的维护、改进等保护措施，做到了很好的互动。

3 第一期研究主要成果

一期研究从 2010 年开始到 2015 年 9 月，历时近 5 年，采集数据丰富，取得了丰硕的研究成果。限于篇幅，本文仅分享其中涉及建筑环境学与应用建筑物理学的部分。

对建筑环境的监测数据分析显示，教堂近壁面温度全年在 15℃ ~ 26℃ 之间，随季节变化，相对湿度在 65% ~ 90% 范围内变化，主要集中在 70% ~ 85% 的区域内（图 8）。总体而言，教堂内全年温度控制较为合理，但相对湿度高，不利于壁画

- 图 6 圣母雪地殿室内温湿度场与流场的模拟（图片来源：李静娴绘制）
- 图 7 圣母雪地殿前殿南墙面病害分布（图片来源：戴仕炳摄影）
- 图 8 圣母雪地殿内测点 11 全年温湿度变化曲线（图片来源：李静娴绘制）

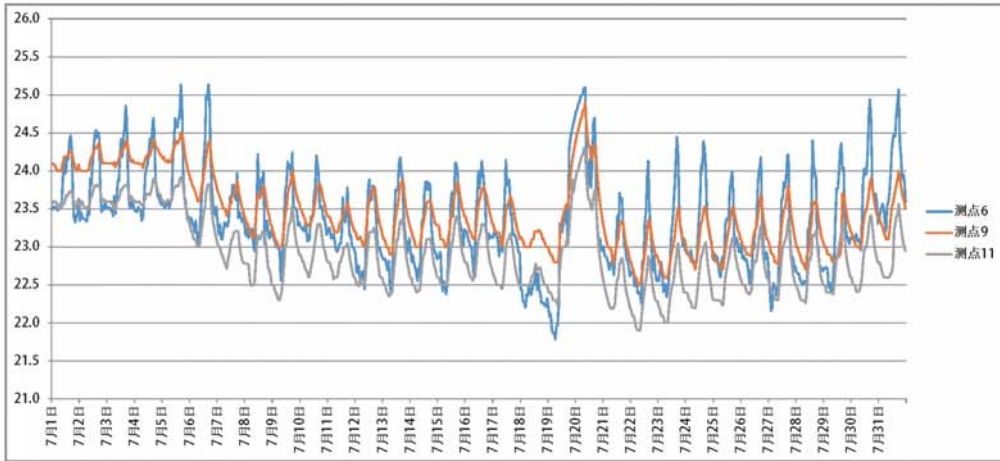


图 9

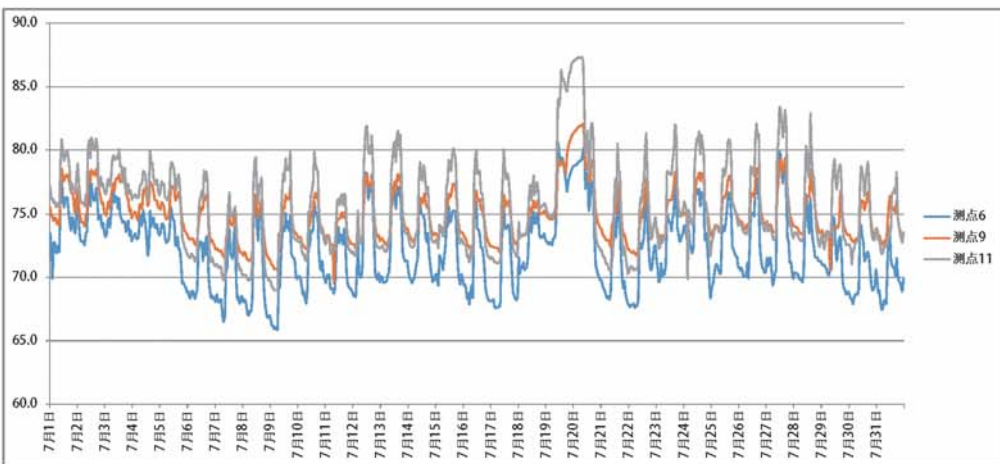


图 10

保护。具体来说，教堂内全年温湿度在空间分布上的大致规律为：沿进深方向，前殿全年近壁面温度由大逐渐变小，湿度规律不明显；在垂直高度上，夏季非空调作用高度区域内，温度明显升高，湿度变小（图 9，图 10），其他季节，温度和湿度的变化与高度变化不相关；南北方向，夏季南墙温度略高于北墙，其他季节温度所呈现的规律性不明显，南墙近壁面全年相对湿度略低于北墙。顶部近壁面相对湿度波动明显，受室外环境影响大，壁画的湿环境比较恶劣，教堂屋顶存在较严重的漏水情况，易造成壁画材料的湿膨胀

和壁画表面生物霉变。教堂的门窗缝隙较大，整体密封性不足。

根据种种迹象分析推测 2004 年修缮时对屋面构造的改变，可能是教堂穹顶壁画受到损害及房屋局部渗漏的主要原因。为验证这一推测，参照最新的建筑物理学研究成果和已经形成的规范导则^[11,12]，研究人员利用 WUFI 软件仿真模拟分析了不同屋面含水率等的变化特点。WUFI 是分析墙体、屋面湿热变化的计算机模拟软件，是目前建筑节能设计常用的计算机辅助手段。近年来，这一辅助设计软件也应用到建筑遗

表1 圣母雪地殿屋面构造层含水率变化仿真模拟计算采用的简化技术变量

	单层瓦构造现状	双层瓦构造历史状态	现代化轻质屋面
第二层瓦	-	12mm	12mm
空气层	-	85mm	85mm
第一层瓦	12mm	12mm	12mm
石灰砂浆层	5mm	5mm	
天然水硬石灰 SP 砂浆	-	-	5mm
泡沫玻璃保温层	-	-	20mm
穹顶砌筑青砖	240mm	240mm	240mm
底灰浆层	10mm	10mm	10mm
地仗面层	10mm	10mm	10mm
壁画层	1mm	1mm	1mm

表2 圣母雪地殿主要构造层质量含水率仿真模拟结果及评估:

	单层瓦构造现状	双层瓦构造历史状态	现代化轻质屋面
含水率: 总屋面 [kg/m ³]	47.1	8.06	8.3
含水率: 屋面瓦下部 [kg/m ²]	170	21	20
含水率: 地仗表层石灰层 [kg/m ²]	263(约 22wt%)	170(约 14wt%)	173(约 14wt%)
壁画表面霉菌生长	是	是	是

(红色代表极度危险, 绿色代表没有危害)

产的保护当中, 用以判断是否需要传统构造进行改进以及改进后可能的风险评估等, 为保护修复方案提供参考。

若将屋面构造层简化并选择最薄处进行模拟(表1), 其结果显示: 现有的单层瓦屋面防水功能最弱, 壁画地仗层含水率极高; 如果参数不变, 仅将单层瓦屋面改成双层瓦, 其防水性能将大幅度提高(表2)。同时, 仿真模拟还发现, 添加有防潮隔热层的所谓现代屋面构造与传统双层瓦屋面相比, 防渗性能并没有实质性的优势可言。

4 结论与建议

4.1 重要结论

通过信息采集、定量分析和比对分析 2011 年到 2015 年壁画病变状况, 可以得出以下最重要的结论:

(1) 现肉眼能观察到壁画粉化、脱落、变色等

病害, 主要是由于外围护体(屋面、墙面等)密实性差、渗漏等导致雨水、下渗水、毛细水进入壁画内引起的。水在运移、干燥等过程中, 溶解于壁画地仗层内, 其中的水溶盐结晶溶解(图11), 导致壁画大面积脱落。在外围护体的渗漏没有得到根治的情况下, 24 小时运转的空调加速了渗入到壁画内的水分的蒸发, 从而导致壁画破坏加剧。

(2) 现有单层屋面构造下的穹顶壁画石灰地仗层常年处于潮湿状态, 室内环境监测结果也说明, 夏季穹顶壁画表面温度波动极大, 其根源为屋顶隔热差, 温差变化大, 继而引发屋面微开裂及圣器室与拜殿之间屋面开裂, 这些裂隙成为冷凝水聚集并进一步发展的破坏点(图12)。另外, 空调使用不当也会导致冷凝水的滋生, 从而导致壁画褪色。但需要说明的是, 这并非壁画破坏的最主要原因。

(3) 灰尘是导致壁画色彩模糊的第三个原因。

图9 圣母雪地殿内测点 6、9、11 七月温度变化曲线(图片来源: 李峥嵘绘制)

图10 圣母雪地殿内测点 6、9、11 七月湿度变化曲线(图片来源: 李峥嵘绘制)

灰尘既可能来源于游客，也可能来源于不当清洁，如吸尘器导致的二次扬尘污染。

4.2 保护措施建议

4.2.1 研究期间采取的整改措施

在一期保护研究阶段，主管单位及时采纳了保护研究团队提出的建议将发现局部病害进行了整改，其中有北侧踏步的防水处理（图 13）、外墙面的重新粉刷（增加防水密实性）、门窗的密封、屋面天沟的防水处理等。这些措施有效抑制了由于雨水、冷凝水等导致的病害发展。

4.2.2 长效保护与维护措施

研究期间采取的整改措施虽起到了缓解作用，但依然没有从根本上解决壁画遭受破坏的根源问题，屋面穹顶壁画呈现越来越严重破坏的趋势。对此，团队提出了针对性抢救、修复维护、监测与管理等不同阶段的不同保护措施。

（1）建筑本体与壁画抢救性保护措施

此项属紧急干预措施，目的为根除在短期内就可能对壁画发生彻底破坏的病灶，整改内容为对南北立面两处踏步进行防水修复以及恢复原屋面双层瓦结构（图 14）。除此之外，紧急干预措施还包括无需干预本体、无需耗费大量资金，但能明显缓解壁画损害的技术或管理手段，如停用现有的普通干式吸尘器，改用湿式吸尘器，移走放在南外墙壁的空调主机等。

（2）修复与维护

修复与维护为完成抢救性措施后施行的包括对建筑本体有一定干预的修缮措施，如提升围护体的防水、防潮性能，重新设计空调系统及运行方式，降低冷热交换、干湿交替对壁画表面的影响。其他应该采取的干预措施，有外排水系统和门窗的改建等。在根除了所有外部病灶后，再对已经破损的壁画表面进行二次修复保护，相应的保护措施可能有排盐，空鼓部位加固，对壁画中有历史依据的部位进行复原等。

4.3 监测与控制：第二期研究工作

壁画保护是一项长期、复杂的工作，因而建议在开展第一期研究提出抢救性保护干预措施的同时，即开展第二期研究工作，以控制干预措施的质量，监测干预过程中及之后壁画的病害变化，以判断一期保护整改措施的有效性，及是否达到预计的保护目标。



图 11

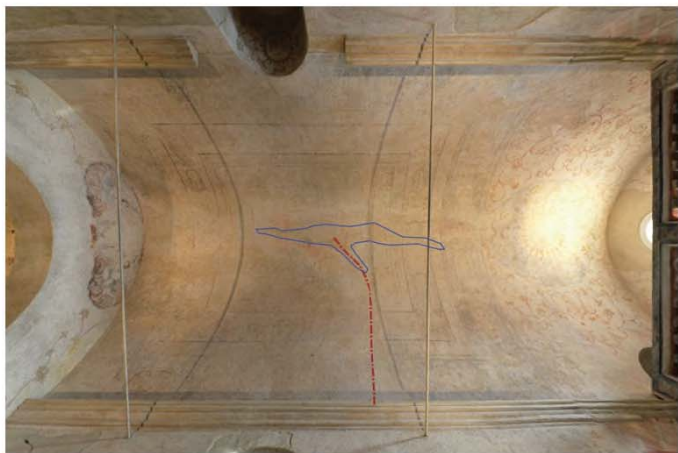


图 12

5 展望

澳门圣母雪地殿壁画具有重要的历史、文化与艺术价值，近年来频繁出现且呈加剧态势的病害，一方面是壁画自然衰老的结果，但更大程度上是与后期干预及使用不当有密切的关系，如将原屋面从历史状态的双层瓦面改为单层瓦面，降低了屋面防水、隔热的性能。

不当干预在过去数十年的国际文化遗产保护中不乏其数。保护干预需要做的除了干预本身，最需要的是甄别哪些干预是正确的，哪些是错误的。准确的干预判断需要多学科、多专业协作和现代技术的支持，保护人员自身长期的工作积累，以及经费支持，但更重要的是要整合、善用各学科提供的信息和现代的科



图 14

- 图 11 圣母雪地殿屋面渗漏及冷震水导致的损害 (图片来源: 戴仕炳摄影, 2015 年 8 月)
- 图 12 圣母雪地殿前殿天花由于屋顶渗水导致的损害 (图片来源: 汤众摄影)
- 图 13 圣母雪地殿北侧外踏步及其整改 (图片来源: 戴仕炳摄影, 13a 摄于 2010 年, 13b 摄于 2015 年 8 月)
- 图 14 抢救性措施 (图片来源: 汤众摄影并绘制)
1. 天沟防水; 2. 屋面修复, 恢复双层瓦; 3. 踏步防水及改善排水; 4. 移走室外空调

学技术手段, 使其真正有效地服务于保护对象本身。同时, 监测与维护是未来保护的重要策略。

本研究项目在历时五年的工作中, 先后有两所中国高校、两所德国高校, 一家澳门企业和两家上海企业参与。尽管研究团队在工作期间遇到语言、技术、空间和文化等障碍, 但本文所介绍针对雪地殿壁画一期保护提出的整改措施, 最终获得委托方认可, 将在不久后得到实施。

6 致谢

本项目研究得到同济大学常务副校长伍江、中国科学院院士常青和中国文化遗产研究院副总工程师王金华在理论、策略构想等方面的指导; 澳门特别行政

区文化局文化财产厅资助了本项目的开展, 张鹤桥、李文峰、蔡建龙、陈聪、叶建雄等为本项目的目标制定提出明确的方向; 澳门新高建材工程有限公司周永强高效地协调组织了研究工作。澳门文物保存学会的陈志亮先生提供了珍贵的壁画历史资料, 并与团队多次进行了有益的讨论; 研究工作同时得到同济大学历史建筑保护实验中心(高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室的一部分)的支持。参加本项目的还有吴俊鑫、赵群、修同斌、孙静婷、徐之锐、何韶颖、郎朗、陈恽生、李磊、陈国军、周月娥、唐雅欣、钟燕、陈彦、沈莉莉等, 其中钟燕参与了文章定稿工作。在此, 对上述单位和个人表示感谢。

参考文献:

- [1] 戴璐. 澳门东望洋山圣母雪地殿壁画研究 [J]. 文化杂志, 2009, 70: 1-52.
- [2] MAEKAWA S, TOLEDO F. Sustainable Climate Control for Historic Buildings in Hot and Humid Regions[C/OL]. Florianópolis - BRAZIL: The 18th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2001, [2016-06-04]. https://getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/plea.pdf
- [3] KILIAN R, VYHLIDAL T, BROSTROEM T. Development in Climate Control of Historic Buildings: Proceedings from the International Conference "Climatization of Historic Buildings, State of the Art"[J/OL], Linderhof Palace, December 2nd, 2010. [2016-06-4]. <http://forschungsallianz-kulturerbe.de/download/3-8167-8637-5-developments-in-climate-control-of-historic-buildings.pdf>.
- [4] 郭宏. 文物保存环境概论 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 25-83.
- [5] ZEHNDER K. Long-term Monitoring of Wall Paintings Affected by Soluble Salts [J]. Environmental Geology, 2007, 52(2): 353-367.
- [6] BUCK R D. A Specification for Museum air-Conditioning [J]. Museum News Technical Supplement Part 1, 1964(6): 53-57.
- [7] 徐方圆, 解玉林, 吴来明. 文物保存环境中温湿度研究 [J]. 文物保护与考古科学, 2009, 21(增刊): 69-75.
- [8] WW/T 0001-2007, 古代壁画病害与图示 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [9] WW/T 0006-2007, 古代壁画现状调查规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [10] WW/T 0032-2010, 古代壁画地仗层可溶盐分析的取样与测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [11] WTA-Merkblatt 6-1-01/D: Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen[S]. München: Fraunhofer IRB Verlag: 2002.
- [12] WTA-Merkblatt 6-3-05/D: Rechnerische Prognose des Schimmelpilzwachstumsrisikos[S]. München: Fraunhofer IRB Verlag: 2005.

Synopsis

The Chapel of Our Lady of Guia in Macao was built around 1622 and is one of the most representative historic architecture of the Macao old town, which is listed as World Cultural Heritage since 2005. The frescoes discovered in 1996 and restored respectively in 1998 and 2001, are the only true fresco in greater China. The restoration of the mural paintings is of particular importance, not only because these frescoes have historical and symbolic meanings, but also because they present a unique fusion of Chinese and Western cultures. From 2010, damages in the forms of flaking, discoloration, cracking, efflorescence were found in some interior spaces of the Chapel and some defects even became worse. To find

the causes of defects and optimize conservation intervention, two research phases are planned, i.e. in the first phase, deterioration causes shall be identified, and method statement for intervention shall be specified. In the second phase, intervention shall be conducted and monitoring during and after intervention shall be followed and the effects shall be controlled. A multidisciplinary comprehensive research group from two Chinese, two German universities and three consulting companies were organized. From 2010 to 2015, architectural documentation, masonry inspection, and assessment, interior climate (temperature and Rel. humidity in vertical and horizontal profiles) monitoring, material testing including in situ microscopy were carried out. Three proposals were submitted to the administration office during the research period for prompt maintenance. To diagnose roof configurations, WUFI, a kind of computer modeling of hygrothermal (moisture and heat) transfer through roofs, was used to compare three kinds of roof construction options. All synthesis has proved that the deterioration and discoloration of the mural paintings are directly caused by moisture, which is mainly related to tightness failure of the envelope, especially high moisture in lime plaster substrate of frescoes caused by the single layered tile roof. The hygrothermal fluctuation caused by air conditioning and windows or opening-closing doors for visitors contribute to the deterioration. Dust sedimentation is responsible for staining. Based on the findings, a conservation plan was proposed, which includes changing single layered clay tile roof back into the double tiled roof in history, getting rid of moisture from the exterior wall, and installing new air condition system. Further documentation, monitoring, and maintenance, as a scope of work of conservation phase II, shall be followed during and after future conservation measurements.

作者简介: 戴仕炳, 同济大学建筑与城市规划学院 (上海 200092) 教授。

汤众, 同济大学建筑与城市规划学院 (上海 200092) 高级工程师。

李峥嵘, 同济大学机械与能源工程学院 (上海 200092) 教授。

汉斯-彼得·莱默尔, 德国希尔德斯海姆应用技术与艺术大学 (希尔德斯海姆 31134) 教授。

收稿日期: 2016-07-04

Biography: Dai Shibing, professor at the College of Architecture and Urban Planning, Tongji University(Shanghai 200092).

Tang Zhong, senior engineer at the College of Architecture and Urban Planning, Tongji University(Shanghai 200092).

Li Zhengrong, professor at the School of Mechanical and Engineering, Tongji University(Shanghai 200092).

Hans-Peter Leimer, Professor at the University of Applied Sciences and Arts Hildesheim, (Hildesheim 31134)Germany

Received date: 04 July, 2016