

中国文化遗产研究院·文物保护科技系列·2017年

中国文化遗产研究院
李乃胜 陈岳 沈大娟 编著

沉船发掘现场保护研究

(2014~2016)

南海Ⅰ号



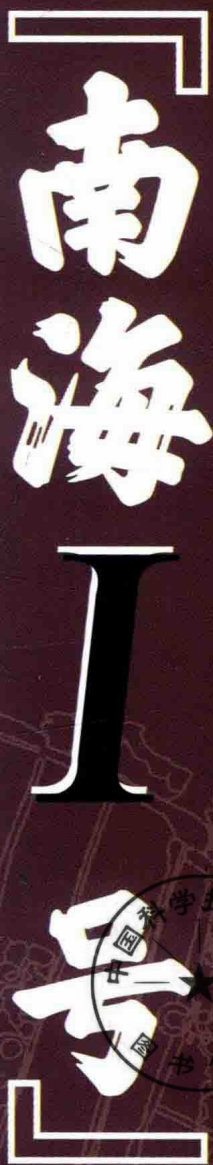
科学出版社

中国文化遗产研究院·文物保护科技系列·2017年

沉船发掘现场保护研究

中国文化遗产研究院
李乃胜 陈岳 沈大炳 编著

(2014~2016)



科学出版社

北京

内 容 简 介

“南海 I 号”宋代沉船船体及出水文物保护一直以来都受到各界的关注。本书全面介绍“南海 I 号”沉船发掘现场 2014~2016 年的保护工作,包括项目前期的评估、保护方案的制定,以及围绕“南海 I 号”开展的木质船体及陶瓷器、金属器、有机质文物、石质文物等出水文物的病害信息提取及现场“稳定性”保护工作。

本书适宜文物保护、考古学、科技考古等学科研究人员及相关院校师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

“南海 I 号”沉船发掘现场保护研究(2014—2016)/李乃胜,陈岳,沈大娟编著. —北京:科学出版社,2017.11

(中国文化遗产研究院.文物保护科技系列.2017 年)

ISBN 978-7-03-055147-4

I. 南… II. ①李… ②陈… ③沈… III. 南海—沉船—考古发掘—文物保护—研究—宋代 IV. ① K875.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 271251 号

责任编辑:雷 英/责任校对:邹慧卿

责任印制:肖 兴/书籍设计: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

*

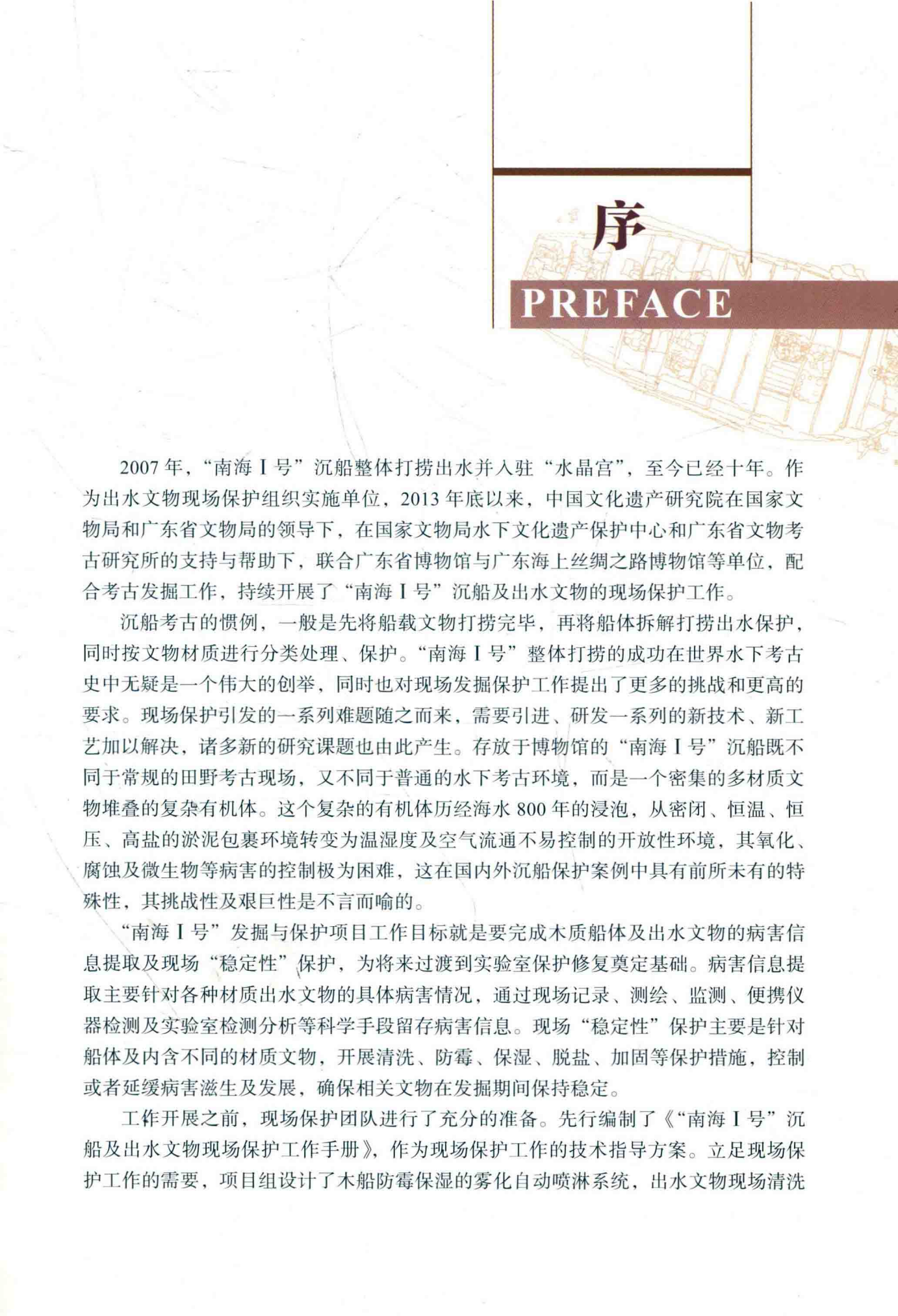
2017 年 11 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 11 月第一次印刷 印张:13 3/4

字数:265 000

定价:260.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



序

PREFACE

2007年,“南海Ⅰ号”沉船整体打捞出水并入驻“水晶宫”,至今已经十年。作为出水文物现场保护组织实施单位,2013年底以来,中国文化遗产研究院在国家文物局和广东省文物局的领导下,在国家文物局水下文化遗产保护中心和广东省文物考古研究所的支持与帮助下,联合广东省博物馆与广东海上丝绸之路博物馆等单位,配合考古发掘工作,持续开展了“南海Ⅰ号”沉船及出水文物的现场保护工作。

沉船考古的惯例,一般是先将船载文物打捞完毕,再将船体拆解打捞出水保护,同时按文物材质进行分类处理、保护。“南海Ⅰ号”整体打捞的成功在世界水下考古史中无疑是一个伟大的创举,同时也对现场发掘保护工作提出了更多的挑战和更高的要求。现场保护引发的一系列难题随之而来,需要引进、研发一系列的新技术、新工艺加以解决,诸多新的研究课题也由此产生。存放于博物馆的“南海Ⅰ号”沉船既不同于常规的田野考古现场,又不同于普通的水下考古环境,而是一个密集的多材质文物堆叠的复杂有机体。这个复杂的有机体历经海水800年的浸泡,从密闭、恒温、恒压、高盐的淤泥包裹环境转变为温湿度及空气流通不易控制的开放性环境,其氧化、腐蚀及微生物等病害的控制极为困难,这在国内外沉船保护案例中具有前所未有的特殊性,其挑战性及艰巨性是不言而喻的。

“南海Ⅰ号”发掘与保护项目工作目标就是要完成木质船体及出水文物的病害信息提取及现场“稳定性”保护,为将来过渡到实验室保护修复奠定基础。病害信息提取主要针对各种材质出水文物的具体病害情况,通过现场记录、测绘、监测、便携仪器检测及实验室检测分析等科学手段留存病害信息。现场“稳定性”保护主要是针对船体及内含不同的材质文物,开展清洗、防霉、保湿、脱盐、加固等保护措施,控制或者延缓病害滋生及发展,确保相关文物在发掘期间保持稳定。

工作开展之前,现场保护团队进行了充分的准备。先行编制了《“南海Ⅰ号”沉船及出水文物现场保护工作手册》,作为现场保护工作的技术指导方案。立足现场保护工作的需要,项目组设计了木船防霉保湿的雾化自动喷淋系统,出水文物现场清洗

池，木材单体、陶瓷、金属等文物的自动清洗脱盐池，购置和配备了去离子水设备、超声波清洗机、色差计、三维视频显微镜、便携式 X 射线荧光元素分析仪等开展现场工作必需的硬件设备。

经过近四年的不懈努力，由中国文化遗产研究院出水文物保护团队牵头组织的船体及出水文物现场保护工作，初步完成了船体、陶瓷、金属和凝结物等各类出水文物的提取及“稳定性”保护，为船体后期脱盐、填充加固、展示利用以及将来的出水文物保护修复工作奠定了较为坚实的基础。

该书即是“南海 I 号”现场保护项目（2014~2016 年）阶段性成果的体现，重点凝练了“南海 I 号”船体的病害分析、现场清洗、保湿、防霉、化学加固、病害动态监测和喷淋系统的设计、建设、升级改造以及相关的研究工作。在出水文物保护方面，则记述了相关文物的现场提取、加固脱盐和部分文物的缓蚀封护及保护修复工作。

诚然，书中许多研究工作还有待突破，但该书的出版必将加深读者对“南海 I 号”出水文物重要价值，特别是对相关保护技术的进一步认识。同时，与读者共享配合考古发掘工作所采取的船体及出水文物现场保护工艺技术方法，将推进海洋出水船体及文物保护技术发展，有效保护珍贵的海洋文化遗产。

2017 年 9 月 7 日

前言

FOREWORD

“南海 I 号”是一艘南宋时期的木质商船，沉没于我国广东省阳江市东平港以南约 20 海里处，意外发现于 1987 年，是迄今中国境内发现的年代最早、船体最大、保存最完整的沉船。经多次水下考古调查后，2007 年，成功将其整体打捞出水，并安置在广东省阳江市海陵岛广东海上丝绸之路博物馆“水晶宫”。这次的整体打捞在世界水下考古界和打捞界均属首创。

“南海 I 号”作为国家文物局“十二五”规划重点保护工程项目，一直受到国家各级领导及文物局领导的高度重视。2011 年 5 月 3 日，国家文物局单霁翔局长、童明康副局长做出关于“南海 I 号”保护工作的重要批示和要求，指出有关各方应深入领会国家文物局领导的批示精神，充分认识“南海 I 号”保护工作的重要性、艰巨性和复杂性，要站在国家层面的高度将“南海 I 号”保护项目作为我国水下文化遗产保护工作的重中之重来抓。为落实该批示精神，国家文物局文物保护与考古司、中国文化遗产研究院及国家文物局水下文化遗产保护中心的相关领导及时部署了关于“南海 I 号”保护的各项工作。

2011 年 5 月 8~9 日，在广东海上丝绸之路博物馆召开工作协调及专家咨询会议，2011 年 9 月 6~7 日，再次召开“南海 I 号”文物保护工作协调会。根据两次会议精神，中国文化遗产研究院提交了“南海 I 号”沉船保护工作建议，并在 2011 年 9 月 23 日于青岛召开的“南海 I 号”保护与发掘方案研讨会上作了详尽的工作汇报，最终促成了 2011 年 10 月 28~30 日“南海 I 号”沉船现状评估与发掘保护预研究研讨会的顺利召开，此次会议标志着“南海 I 号”沉船整体发掘与保护项目的正式启动。

2011 年 10 月 28~30 日，中国文化遗产研究院牵头，于广东阳江组织召开了“南海 I 号”沉船现状评估与发掘保护预研究项目启动与研讨会。会上将与参会人员分为考古发掘组、文物保护组及沉箱评估组三个工作组进行了深入讨论，共同编制了“‘南海 I 号’沉船现状评估与发掘保护预研究的实施方案”，明确了各子项目承担单位的工作任务和实施计划，并报送国家文物局，顺利启动了“南海 I 号”现状评估与

发掘保护预研究项目。2012年7月4~6日，中国文化遗产研究院再次组织广东省文物考古研究所、国家文物局水下文化遗产保护中心和浙江省博物馆等单位，在上述评估工作的基础上，制定相应的发掘与保护预案，为“南海Ⅰ号”的整体发掘与保护奠定了坚实的基础。

2013年，保护工作组编制了《“南海Ⅰ号”沉船及出水文物现场保护工作手册》，在现场参与建设了考古发掘平台、测绘系统以及文物保护硬件平台，为“南海Ⅰ号”的现场发掘保护工作建设了相应的硬件设施。2013年11月28日，“南海Ⅰ号”保护发掘项目现场发掘工作正式开工，由中国文化遗产研究院、广东省博物馆与广东海上丝绸之路博物馆共同实施的现场文物保护工作同步进行。

在项目前期和开展过程中，相关领导多次赴现场调研、检查前期工作的进展情况，做到了领导主抓，多单位合作，各子项目研究工作齐头并进。项目组定期召开工作进展会议，及时总结并上报国家文物局，定期交流，及时发现并解决问题。

2014年11月17日，国务院副总理刘延东视察了“南海Ⅰ号”保护发掘现场，对“南海Ⅰ号”的保护工作提出了三点要求：一是要坚持科学发掘；二是要做好出水文物的保护工作；三是要进一步挖掘“南海Ⅰ号”的历史文化内涵，做好研究与展示工作，为贯彻落实习近平总书记提出的“一带一路”倡议做出积极贡献。

正是在各级领导高度重视与项目组严谨求实的工作态度下，“南海Ⅰ号”保护发掘项目才得以顺利开展至今。

目 录

CONTENTS

序

前言

第 1 章 项目前期评估

1.1	水晶宫微环境气氛评估	001
1.2	水晶宫内水环境评估	001
1.3	沉箱腐蚀状况及其对沉船遗址影响的调查	004
1.4	出水文物现状评估	032
1.5	本章结论	043

第 2 章 发掘保护预案

2.1	现场保护预案	045
2.2	出水文物实验室保护预案	065
2.3	发掘后水晶宫水环境维护预案	080
2.4	本章结论	082

第3章 “南海Ⅰ号”船体现场保护

3.1 船体遗址保湿与防霉	085
3.2 单体木质文物现场保护	096
3.3 船板监测	099
3.4 发掘与保护现场环境监测	112
3.5 “南海Ⅰ号”船体木材分析报告	119
3.6 “南海Ⅰ号”船体木材表面附着物的分析探讨	138
3.7 本章结论	142

第4章 “南海Ⅰ号”出水陶瓷器现场保护

4.1 信息提取	145
4.2 清理	147
4.3 脱盐	148
4.4 特殊处理的陶瓷器保护与脱盐	154
4.5 本章结论	160

第5章 “南海Ⅰ号”出水金属文物现场保护

5.1 铁器的现场保护	161
5.2 铜器的现场保护	170
5.3 金、银、锡、铅器的现场保护	180
5.4 本章结论	187

第6章 “南海Ⅰ号”出水有机质、石质文物及凝结物现场保护

6.1 漆器	188
6.2 其他有机质	196

6.3 石质文物的现场保护	203
6.4 凝结物的现场保护	205
6.5 本章结论	208

后记	209
----	-----

第1章 项目前期评估

1.1 水晶宫微环境气氛评估

水晶宫内环境气氛的检测作为一项日常的工作由广东海上丝绸之路博物馆承担。在气体检测设备安装到位前,采用大气采样袋对水晶宫的室内气体样品进行保存,累计采样30个批次。在设备安装到位后,对前期采集的气体样本进行检测。综合检测数据表明,在开展项目前期评估时,水晶宫内气体环境中主要存在 CO_2 、 CO 、 SO_2 、 H_2S 等气体,以 CO_2 、 CO 为主,其中 CO_2 约500 ppm、 CO 约36 ppm,而 SO_2 、 H_2S 合计约0.1 ppm。

1.2 水晶宫内水环境评估

受中国文化遗产研究院委托,中山大学承担了水晶宫水体水质的监测分析。

从2011年11~12月,在水晶宫内共采集水样4批次。采样点分别设置在“南海I号”沉箱的前、中、后部,由表层到底层分3层采集水样,水样总数36个。

参照国家《海水水质标准》(GB 3097—1997)^[1]及《水和废水监测分析方法》(第四版)^[2],对全部水样的水温、溶解氧(DO)、盐度(‰)、酸碱度(pH)、悬浮物(SS)、总氮(TN)、总磷(TP)、化学需氧量(COD_{Cr})、生化需氧量(BOD_5)、铁(Fe)、锌(Zn)、锰(Mn)、铜(Cu)等指标进行了测定和分析,并对水样中细菌总数及浮游生物种类和数量进行了观察。

水温的变化:11月份水温的变化范围是 $24.6\sim 26.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,12月份的变化范围是 $19.2\sim 23.6\text{ }^{\circ}\text{C}$;每批次水样中,同一样点不同水层的水温变化范围 $<0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

盐度的变化:在所有水样中,盐度的变化范围是 $18.2\text{‰}\sim 21.2\text{‰}$;同一批次同一水层的盐度变化很小,但随深度增加略有增加。

溶解氧的变化:在全部水样中,溶解氧的变化范围是 $1.7\sim 7.0\text{ mg/L}$;后三个批

次中水样的溶解氧均超过 4.0 mg/L; 同一样点同批次水样中, 表层水的溶解氧含量最高, 并随深度增加而递减。

酸碱度: 所有水样的酸碱度基本稳定在 pH 6.4, 呈弱酸性。

悬浮物的变化: 悬浮物含量的变化范围是 39.5~237 mg/L; 变化规律为表层少、底层多, 不同批次间的数值差异较大。

总氮的变化: 总氮含量的变化范围是 2.50~4.44 mg/L; 11 月份 (平均 3.57 mg/L) 总体高于 12 月份 (平均 2.97 mg/L); 表层水与底层水中总氮含量的差异不大。

总磷的变化: 各批次水样中, 总磷含量最低时未检出, 最高时为 0.4 mg/L; 11 月份的平均值为 0.036 mg/L, 12 月份的平均值为 0.039 mg/L; 12 月份的 16 个水样中有多个样品中未检测到总磷, 但其中 12 月 27 日沉箱后部采样点中层水的总磷含量较高 (0.4 mg/L)。

化学需氧量的变化: 在全部水样中化学需氧量的变化范围是 4.04~20.3 mg/L; 11 月份的平均值是 13.03 mg/L, 12 月份的平均值为 9.53 mg/L, 总体上 11 月份较 12 月份高; 多个样点中, 随水的深度增加, 化学需氧量呈小幅度增加。

生化需氧量的变化: 生化需氧量的变化范围为 0.121~0.544 mg/L; 该值的分层分布没有规律; 两个月份间也未见明显差别。

海水中铁含量的变化: 各样点海水中铁含量的变化范围是 0.351~0.662 mg/L; 11 月份的平均值为 0.468 mg/L, 12 月份的平均值高于 11 月, 为 0.58 mg/L; 各批次样品中均呈现出底层水铁含量高于表层的现象。

海水中锌含量的变化: 全部水样中的锌含量变化范围为 0.0691~0.126 mg/L; 11 月份的平均值为 0.0824 mg/L, 12 月份为 0.0914 mg/L, 略高于 11 月, 总体上呈现出一定的增加趋势; 相对而言, 表层水中锌的含量较底层和中层少。

海水中锰含量的变化: 各批次水样中锰含量的变化范围是 0.0301~0.1220 mg/L; 11 月份的平均值为 0.0931 mg/L, 12 月份的平均值是 0.0694 mg/L; 分层分布不规律。

海水中铜含量的变化: 各批次水样中铜含量的变化是 0.0124~0.0664 mg/L; 11 月份的平均值为 0.0481 mg/L, 12 月份的平均值为 0.0315 mg/L; 绝大多数样点上呈现出随深度增加、铜含量增加的趋势。

海水中细菌总数的变化: 全部水样中细菌总数在 $10^2 \sim 10^4$ 个/mL 范围内; 10^2 级的数据只出现在 11 月份, 而 12 月份的水样中绝大多数样品的细菌总数在 10^4 个/mL 数量级上, 较 11 月份明显高出一个数量级, 显示出细菌总数在增加。

浮游生物种类和数量: 在全部水样中未检测到浮游动物。观察到的浮游植物共 14 属, 它们分别是蓝藻类的柯孟藻 (*Komvophoron*) [图 1-1 (d)]、螺旋藻 (*Spirulina*)、颤藻 (*Oscillatoria*) [图 1-1 (c) 和 (h)], 硅藻类的直链藻 (*Melosira*) [图 1-1 (g)], 圆筛藻 (*Coscinodiscus*) [图 1-1 (a) 和 (e)], 针杆藻 (*Synedra*) [图 1-1 (f)], 双壁藻 (*Diploneis*)、曲舟藻 (*Pleurosigma*)、桥弯藻 (*Cymbella*)、羽纹藻 (*Pinnularia*)、

舟形藻 (*Navicula*)，以及绿藻类的栅藻 (*Scenedesmus*)、拟新月藻 (*Closterium*) 和纤维藻 (*Ankistrodesmus*) [图 1-1 (b)]。



图 1-1 水晶宫水样中的多种浮游植物

(a, e) 圆筛藻; (b) 纤维藻; (c, h) 颤藻; (d) 柯孟藻; (f) 针杆藻; (g) 直链藻

其中蓝藻类的颤藻和柯孟藻占了藻类总数量的很高比例(分别是51.65%和33.54%),硅藻的种类虽然较多,但数量上所占比例不高(占11.92%);11月份浮游植物的平均值是3200个/L,12月份的平均值是1383个/L,较11月份明显下降;多数样点表层和中层的浮游植物数量较多,个别样点底层中也有较多浮游植物。

根据《海水水质标准》(GB 3097—1997)^[1]的各项相关指标,水晶宫内海水的溶解氧含量达到和超过三类水标准,个别样品达到一类水标准;酸碱度偏酸;化学需氧量的值远远大于四类水的标准(5 mg/L);但生化需氧量却达到了一类海水的要求(1 mg/L);国家标准中各项金属指标中只有铜与本项目的指标相同,对比结果可以看出,水晶宫海水中铜的含量仅符合三类水质标准(0.05 mg/L)。

按照2007年建设部公布并实施的《游泳池水质标准》(CJ/T 244—2007)^[3]细菌总数应 ≤ 200 个/mL。以此为参照,水晶宫海水中的细菌总数高于标准泳池水的1~2个数量级。

对比“南海 I 号”原址及阳江水晶宫近海海水中的相关指标(与早期检测数据比较),目前水晶宫海水的pH远低于正常海水的pH(8.0左右);总氮和总磷的量都上升了10倍。金属类中,锌上升了2倍,锰上升了5~10倍,铜的含量也增加了一倍。

根据有关报道,水晶宫外浴场海水的pH长期保持在8.0~8.5,盐度在21‰~31‰。在这两个指标上,水晶宫内海水有较大差异。

总体上讲,在开展项目前期评估时,水晶宫中海水的状况表现为:水质远低于宫外海水浴场的水质,并具较高含量的溶解氧;同时,水晶宫的水质与“南海 I 号”原址海水水质也存在很大差异,表现为海水中的营养物质、金属物质含量都有较大幅度的提升。高溶解氧的水环境中又存在一定数量的微生物,这些对沉船木材的保护以及该状况下沉箱的保存都有不良影响,主要是溶解氧加速了铁的氧化,微生物加速了对木材纤维素的分解。

另外,水晶宫中存在的浮游植物提示我们:水晶宫中的光照强度过大,使得水中的浮游植物有了能够进行光合作用的基本条件,加上水中的营养物质达到一定水平,故浮游植物得以存活。

1.3 沉箱腐蚀状况及其对沉船遗址影响的调查

1.3.1 沉箱腐蚀状况

1. 沉箱制造情况调查

由广州打捞局提供的沉箱制造资料显示,沉箱长35、宽15、高7.5 m,总重约

271.6 t, 沉箱制造和检验参照《中国造船质量标准》(CSQS)^[4]。沉箱水平环 T 型材、横隔板、顶梁面板(上、下)、底梁面板(上、下)、隔舱构件、内外壁板、环板、顶环板等主要承力部位为 Q345 钢, Q235 钢应用于水平撑杆、竖向扶强材、下沉井灌砂管等。整个沉箱采用焊接工艺, Q345 钢板焊接, 焊条采用 E5015, 其余焊接采用 E4315。

所有外露的气割边缘切割截面光洁度均达到优级或磨平, 腹板与翼缘板焊接尽量采用自动焊(自动焊丝采用 H10Mn2, 焊剂采用 HJ330), 手工补焊。未注明焊缝按同类焊缝施焊, 未注贴脚焊缝高度取被连接薄板的 0.6 倍厚度, 未注厚薄板对接都应有不大于 1:2.5 的斜坡口。在翼缘板与腹板都要拼接的情况下, 翼缘板与腹板的拼接焊缝错开 200 mm 以上, 在不降低材料性能的情况下水平环板采用折边制作。完工后沉箱全部构件做富锌底漆一度, 外板再做橙黄色面漆一度。

2. 沉箱母材材质分析

1) 取样

“南海 I 号”沉箱主体部分由 Q345 钢和 Q235 钢组成, 分别从沉箱顶部、侧面切割 Q345(长方形)及 Q235(平行四边形)带锈钢板, 进行化学成分、金相及力学性能分析, 钢板表面锈蚀采用机械打磨的方式进行清除, 边缘不做处理。表 1-1 为取样尺寸。根据沉箱母材取样测算, 从沉箱制作至今, 五年间腐蚀损失厚度 2~3 mm。

表 1-1 沉箱本体样品尺寸

钢板样品	样品状态	长/mm	宽或高/mm	厚/mm
Q345	带锈	475	142	16
	除锈	475	142	14
Q235	带锈	685	115	12
	除锈	685	115	9

2) 沉箱母材化学成分分析

沉箱母材样品按国标 GB/T 20066^[5]进行取样, 分析方法依照国标 GB/T 20125^[6]进行, 分析结果见表 1-2。

表 1-2 沉箱母材化学成分分析

牌号	质量等级	化学成分(质量分数)/%								
		C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti	Al
Q345	E	0.16	0.2	0.38	0.013	0.0034	<0.005	<0.005	0.0018	0.019
Q235	B	0.19	0.17	0.41	0.015	0.02	—	—	—	—

根据 Q345、Q235 钢板的化学分析结果, 参照国标 GB/T 1591—2008^[7] 及 GB/T 700—2006^[8], “南海 I 号”沉箱使用的钢板分别为 Q345E 和 Q235B 钢板。

Q345E 属于低合金高强度结构钢, 具有高强度、高韧性、良好的耐蚀性及良好的焊接性能, 低温下同样具有良好的韧性。沉箱 Q345 钢合金元素中含微量的 P、S, 很大程度地降低了钢板加工过程中的冷脆和热脆的可能, 提升了钢板的力学性能, Al、Nb、V 微量元素的添加有助于细化钢材晶粒。

Q235B 为碳素结构钢, 有一定的伸长率、强度, 良好的韧性和铸造性, 易于冲压和焊接, 但材料整体综合力学性能不及 Q345 钢。

3) 沉箱钢材金相组织分析

分别在沉箱 Q345 和 Q235 两块母材中心部位取样, 经包埋、预磨、抛光后采用 4% 硝酸乙醇进行浸蚀, 金相显微组织观察参照国标 GB/T 13298—1991^[9]。金相组织分析结果见图 1-2 和图 1-3。

从图 1-2 和图 1-3 可以看出, Q345 钢、Q235 钢的金相组织均为铁素体+珠光体, 部分区域组织呈条带状, 组织不均匀, 为热轧钢板, 有较多的珠光体组织, 对钢板硬度有一定提升。

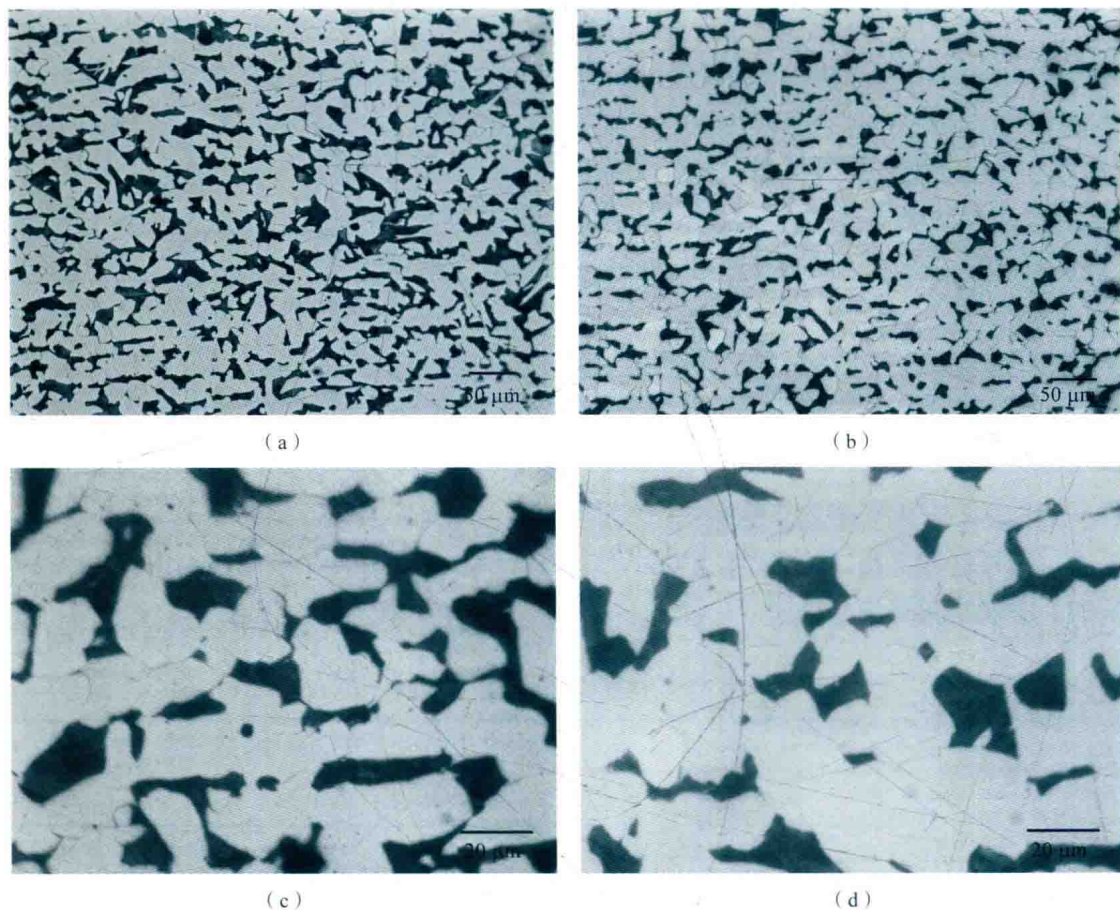


图 1-2 Q345 钢金相组织

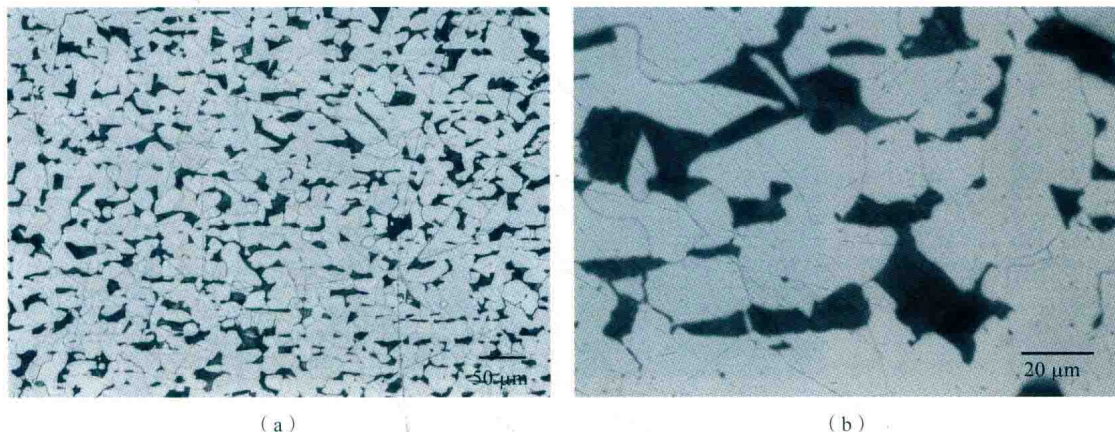


图 1-3 Q235 钢金相组织

4) 沉箱母材力学性能分析

沉箱钢板力学性能测试样品取样及制备参照国标 GB/T 2975—1998，测试方法依据国标 GB/T 228—1987《金属拉伸试验方法》^[10]。表 1-3 为 Q345 钢、Q235 钢对应国标的拉伸性能及沉箱腐蚀后的钢材拉伸性能测试结果。

表 1-3 沉箱钢板的力学性能测试结果与标准钢的比较

项目 \ 牌号	Q345		Q235	
	沉箱母材	标准钢	沉箱母材	标准钢
质量等级	E	E	B	B
钢板厚度 /mm	14	≤16	9	≤16
拉力强度 /MPa	431	470~630	428	370~500
屈服强度 /MPa	279	≥345	287	≥235
断后伸长率 (A)	25.5	≥20	23.5	≥26

通过对比可以看出，腐蚀后的“南海 I 号”沉箱 Q345 钢板的屈服强度及拉力强度均有所下降，Q235 钢板的断后伸长率有所降低。屈服强度及拉力强度都是反映材料内在性能的本质指标，沉箱 Q345 钢力学性能的下降可能一方面是由于取样部位为沉箱上方，钢板锈蚀非常严重，虽然测试前对钢板表面的锈蚀都进行清除，但金属本体及晶粒间隙仍发生锈蚀；另一方面是由于沉箱四壁都受到承载沉船及淤泥的压迫，已经发生严重变形，因此沉箱顶部的连接钢板也受巨大的拉力导致金属晶粒的变形及一定的位错。由于沉箱主要承力部位为 Q345 钢，受力发生形变的量较大，因此，Q345 钢的力学性能比 Q235 钢下降得多。

3. 沉箱腐蚀状况

1) 沉箱现场取样

2011 年 11 月 24 日，项目组成员在现场对沉箱不同位置的锈蚀样品进行采集。对沉箱暴露于空气中的横梁进行编号，以此为基础进行标记，详见图 1-4、图 1-5 和表 1-4。