



海上丝绸之路研究书系（星座篇）

海上敦煌

——南海 I 号及其他海上文物

广东省人民政府参事室（文史研究馆）编

崔勇 张永强 肖达顺 著



SPM

南方出版传媒

广东经济出版社

《海上丝绸之路研究书系》 [星座篇]

黄伟宗 / 总主编

1. 《徐闻古港——海上丝绸之路第一港》
(刘正刚 乔素玲 著)
2. 《海陆古道——海陆丝绸之路对接通道》
(王元林 著)
3. 《广州十三行——明清300年艰难曲折的外贸之路》
(谭元亨 著)
4. 《侨乡三楼——华侨华人之路的丰碑》
(司徒尚纪 著)
5. 《古锦今丝——广东丝绸业的“前世今生”》
(刘永连 谢汝校 著)
6. 《南海港群——广东海上丝绸之路古港》
(周鑫 王潞 著)
7. 《海上敦煌——南海Ⅰ号及其他海上文物》
(崔勇 张永强 肖达顺 著)
8. 《沧海航灯——岭南宗教信仰文化传播之路》
(郑佩瑗 著)
9. 《香茶陶珠——广东特产及其文化交流之路》
(冯海波 著)
10. 《广交会——海上丝绸之路的新生与发展》
(陈韩晖 吴哲 黄颖川 著)

2004年元旦，珠江文化研究会会长黄伟宗在阳江市向联合国教科文组织介绍宋代沉船“南海I号”，使“海上敦煌”定位得到认同并传播海内外



2004年5月13日，黄伟宗等引领世界著名海洋学家吴京教授考察“南海I号”。吴京是美国科学院院士、台湾“中央研究院”院士、原成功大学校长



2005年，在广州召开“南海I号”整体打捞论证会



“南海1号”整体
打捞起浮仪式

2007年7月4日，时任广东省委书记张德江视察



2007年9月27日，时任全国政协副主席张思卿视察



2007年11月20日，原中央军委委员、总政治部主任于永波视察

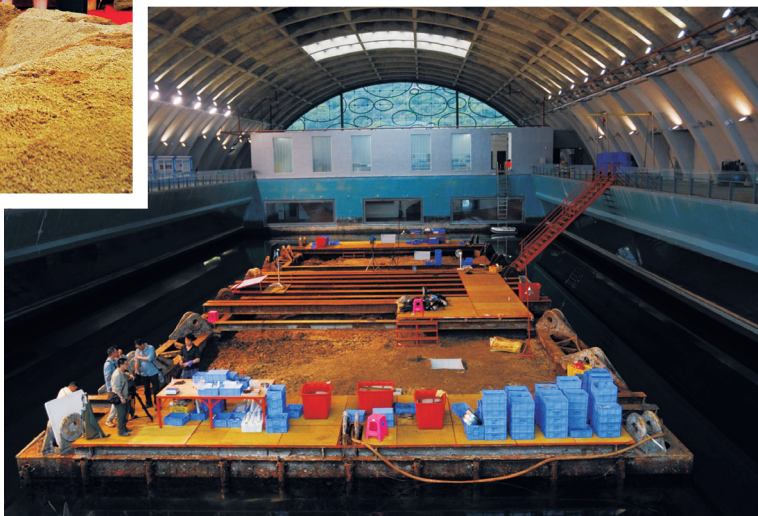


2007年12月19日，时任广东省省长黄华华视察





广东海上丝绸之路博物馆奠基仪式



广东海上丝绸之路博物馆“水晶宫”内的“南海I号”沉箱



2011年4月26日，中国首届“南海I号与海上丝绸之路”论坛在阳江广东海上丝绸之路博物馆开幕



海上丝绸之路研究书系（星座篇）

Haishang Dunhuang

海上敦煌

——南海 I 号及其他海上文物

广东省人民政府参事室（文史研究馆）编

崔勇 张永强 肖达顺 著

SPM

南方出版传媒

广东经济出版社

·广州·

图书在版编目 (CIP) 数据

海上敦煌：南海 I 号及其他海上文物 / 广东省人民政府参事室 (文史研究馆) 编；崔勇，张永强，肖顺达著. —广州：广东经济出版社，2015.9

(海上丝绸之路研究书系·星座篇)

ISBN 978 - 7 - 5454 - 3834 - 5

I. ①海… II. ①广… ②崔… ③张… ④肖… III. ①南海 - 沉船 - 考古 - 研究 - 阳江市 IV. ①K875.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 000743 号

出版发行	广东经济出版社 (广州市环市东路水荫路 11 号 11 ~ 12 楼)
经销	全国新华书店
印刷	佛山市浩文彩色印刷有限公司 (广东省佛山市南海区狮山科技工业园 A 区)
开本	730 毫米 × 1020 毫米 1/16
印张	14.5 2 插页
字数	200 000 字
版次	2015 年 9 月第 1 版
印次	2015 年 9 月第 1 次
书号	ISBN 978 - 7 - 5454 - 3834 - 5
定价	38.00 元

如发现印装质量问题，影响阅读，请与承印厂联系调换。

发行部地址：广州市环市东路水荫路 11 号 11 楼

电话：(020) 38306055 37601950 邮政编码：510075

邮购地址：广州市环市东路水荫路 11 号 11 楼

电话：(020) 37601980 营销网址：<http://www.gebook.com>

广东经济出版社新浪官方微博：<http://e.weibo.com/gebook>

广东经济出版社常年法律顾问：何剑桥律师

· 版权所有 翻印必究 ·

《海上丝绸之路研究书系》编撰组织成员名单

总组委会

主任：徐少华

副主任：李贻伟 张小兰 周 羲

总编委会

主任：张小兰 周 羲

副主任：黄 尤 麦淑萍 彭 贇

编 委：（按姓氏笔画排序）

王培楠 王肇文 卢锡铭 乔建葆 周克元 洪三泰

索建元 黄淼章 梁桂全 甄伟钢 蔡高声

学术委员会

主任：黄伟宗

副主任：司徒尚纪 谭元亨

委员：张 磊 陈永正 田 丰 徐远通 侯月祥 顾润清

叶春生 黄启臣 曾 骐 韩 强 章文钦 张其凡

杨兴锋 郑楚宣 吴松营 陈海烈 李庆新 王元林

刘正刚

编辑部

总 主 编：黄伟宗

副总主编：王培楠 司徒尚纪 谭元亨

总主编助理：郑佩瑗

编辑部成员：张 涛 曾 韬 王鹏程 谭 劲 莫羨春

钟振宇 庄福伍

执行编辑：赵韶沁 李海春 张琰琰 符文申 黄莹莹 郑旭东

广东省人民政府参事室（文史研究馆）

广东省海上丝绸之路研究开发项目组

广东省珠江文化研究会

组 编

总 序

建设21世纪海上丝绸之路

周 義

为响应中央关于推进海上丝绸之路建设的号召，按照广东省委、省政府的安排部署，广东省人民政府参事室(文史研究馆)及其所属的广东省海上丝绸之路研究开发项目组、广东省珠江文化研究会，作出了《广东省21世纪海上丝绸之路建设工程研究系列项目》的策划，以陆续出版《海上丝绸之路研究书系》带动这项系列项目工程的进行，是很好的，也是一件很有意义的事情。

中央要求21世纪海上丝绸之路建设，要形成“全方位开放新格局”。这项工程，就应当是全方位开放并多层面共举的建设工程。

从研究开发对象的性质上看。海上丝绸之路是自古以来我国与海外诸国交往的交通线路，它以商贸往来为主，但又具有外交、军事、文化等性质；它主要是我国与海外诸国相互经济来往性质，但又有和平亲善的民间友好往来意义；这就是其全方位、多层面之所在，从而对其研究开发，就应当从这些诸多方位或层面去进行，才是全方位、多层面开放共举的研究开发。

从研究开发的内涵与空间上看。作为21世纪海上丝绸之路建设工程，顾名思义，自然应以研究开发当今现状和今后发展为重、为主，但也不能离开古代文化遗存及其发展源流的研究开发；丝绸之路有海上与陆上(含边境、草原)丝路之分，以及海陆丝路之间的对接通道的研究开发；在丝绸之路中又有多种类别之路，诸如宗教、华侨华人、学术、科技、教育、文化、海洋、渔业、农业、特产、工艺等行业领域的海外交流之路，以及海上丝路的港口、线路、地

域（省内外、海内外）的古今研究开发，都是具有全方位和多层面研究开发的内涵与空间，并且都是可将这些方位或层面以开放并举的举措去进行的。

从研究开发的途径和方式上看。对这项工程（包括《海上丝绸之路研究书系》）的进行，也应当采取全面开放并多层面并举的方针，即软件开发与硬件开发、方案策划与方案实施、理论与实践总结、文案研究与实地考察、考察发现与媒体宣传，以及研究中多学科立体交叉、宣传中的多方式多渠道、开发中的实体工程与形象工程等，都是应当相互交叉同步进行，同时又是以全方位开放并多层共举的途径和方式进行的。

从研究开发的结果上看。这项工程应当既有逐步成果，又有总体成果，即对海上丝绸之路研究开发的途径和方式，是全方位并多层共举，同时又相互交叉同步进行，从而势必在进程中产生每步的成果，同时又会在每步成果中出现全方位、多层面的诸多成果，最后在总体上产生出包含各步诸多成果在内，而又是“更上一层楼”的全方位开放并多层共举的总成果。

以这样的理念指导、进行和完成的项目工程，必将不仅是取得项目成果的工程，而且是在进行的理念、途径和方式及其取得成果的模式上，都是比一般单项工程更丰富多彩而综合使用价值更高更大的工程。这样的工程及其成果，才会在21世纪海上丝绸之路建设的“全方位开放格局”中，持续发挥出增强广东省文化软实力的重大作用。

是为序。

[作者系广东省政协常委、广东省政协提案委主任，原广东省人民政府参事室（文史研究馆）党组书记、主任（馆长）]

前 言

广东海上丝绸之路十大文化“星座”的 发现和实证过程

黄伟宗

现在出版的《海上丝绸之路研究书系》第二辑[星座篇]，是广东省建设21世纪海上丝绸之路研究系列项目的组成部分，包括10部分册，即《徐闻古港——海上丝绸之路第一港》《南海港群——广东海上丝绸之路古港》《海陆古道——海陆丝绸之路对接通道》《海上敦煌——南海Ⅰ号及其他海上文物》《沧海航灯——岭南宗教信仰文化传播之路》《广州十三行——明清300年的曲折外贸之路》《侨乡三楼——华侨华人之路的丰碑》《古锦今丝——广东丝绸业的“前世今生”》《香茶陶珠——广东特产及其文化交流之路》《广交会——海上丝绸之路的新生和发展》。每部分册都是某个时期或某个种类的海上丝绸之路文化的主要标志或群体研究的介绍著作，因这些主要标志或某类群体，集中鲜明地体现了某个时期或某门类海上丝绸之路文化的光辉，故称之为“星座”（或称“星群”，下同。因为一个“星座”中有其包含的“星群”，而同类的“星群”亦可共称为一个“星座”）。所以，“星座篇”所含的10部分册，是广东海上丝绸之路十大文化“星座”的研究和介绍专著。

这十大文化“星座”，是广东省海上丝绸之路研究开发项目和珠江文化研究会（下称“我组我会”）的多学科专家教授，从20世纪90年代初开始，在广东省政府参事室党组的领导和大力支持下，在进行珠江文化研究的同时，研

究开发海上丝绸之路文化，迄今达20余年的进程中，逐步发现和实证出来的。向广大读者介绍这些“星座”的发现和实证过程，增进其对海上丝绸之路历史文化内涵的理解，是有所裨益的事。

（一）徐闻古港——海上丝绸之路第一港

早在1993年夏天，我偕同省参事室文化组参事，到封开和梧州考察，发现这个地方原是西汉时的“广信”县，是公元前111年（西汉元鼎六年）以汉武帝平定南越的圣谕“初开粤地，广布恩信”而取名，并在此设置统辖岭南九郡的“交趾部”首府（后人简称“广信首府”，并由此界分广东、广西），且由此发祥广府文化、岭南文化和珠江文化；同时，又从《汉书·地理志》中的一段记载得知：汉武帝也在这个时候，派黄门译长从广信到徐闻、合浦赴日南（今越南）出海外多国。这是中国最早的海上丝绸之路文字记载。但是从未有学者到徐闻实证这个记载。

2000年6月上旬，正当珠江文化研究会成立之际，我等一行冒着酷暑，到达徐闻县西南沿海土旺村（与徐闻古县治“讨网”音近），在二桥、仕尾一带，发现汉代板瓦、筒瓦、戳印纹陶片，以及汉墓、枯井口、烽火台等遗存，综合之前考古学者在此发现的汉代“万岁”瓦当、水晶珠、银饰、陶罐等文物，以及《汉书·地理志》中有：“自日南障塞，徐闻合浦开航”“徐闻南入海，得大州东南西北方千里”等记载，与田野考察实证与史料记载结合判断，这即是西汉海上丝绸之路始发港旧址。我随即写出省政府参事建议《应当重视海上丝绸之路的开发》，该建议受到省领导高度重视，即批准成立以黄伟宗参事为首的广东省海上丝绸之路研究开发项目组，负责进一步开展这项工作。这项发现和实证成果，意味着将联合国教科文组织专家考察团在泉州确定的中国海上丝绸之路在南宋的始发时间，推前到西汉，从而具有将中国海上丝绸之路史推前1300年的意义。

2001年11月下旬，项目组在湛江市举办“海上丝绸之路与中国南方港学术

研讨会”。来自北京、上海、广西、海南、厦门、泉州、香港、澳门等地百余名专家们，再次证实和认同了我们的发现和实证，从而确认西汉徐闻古港是历史上最早有文字记载的海上丝绸之路第一港，是广东海上丝绸之路的第一“星座”，同时发现和实证的合浦、雷州、遂溪等古港同是这“星座”的星群。

（二）南海港群——广东海上丝绸之路古港

从2001年至2003年，项目组同仁先后到南海沿岸的南岸、拓林、凤岭、樟林、白沙、大星尖、南澳、广州、香港、澳门、台山、阳江、电白、遂溪、雷州、徐闻、合浦、北海、钦州、防城等古港，以及西江、北江、东江、南江、漠阳江、鉴江、南流江、北流江等出海港口，进行实地考察，发现每个古港都有一段海上丝绸之路的辉煌历史，而且在历史上呈现此盛彼衰的现象，但又在总体上形成了从汉代至清代都不间断地有繁荣古港的形势和格局。由此说明，广东自古以来都有不间断的海上丝绸之路历史，在每个历史年代都有兴旺的古港和历史，是广东海上丝绸之路史最完整的实地见证和体现，从而可见广东是海上丝绸之路历史最长而完整、港口最多而辉煌的海洋大省。所以，这一系列南海港群，是广东海上丝路由一批星群共现的文化“星座”。

（三）海陆古道——海陆丝绸之路对接通道

早在20世纪90年代上半期，我在先后考察贯通湘桂至古广信（封开）的潇贺古道，以及南雄梅关珠玑巷时，已对海上与陆上丝路之间对接现象有所觉察，但真正意识到其重大意义则是本世纪初对这两条古道的再次考察。这两条古道的遗址和史料，都证实其本身从来就具有对接海陆丝绸之路的功能和意义。前者在《汉书·地理志》中已写明，汉武帝派黄门译长开创海上丝绸之路，就是从水陆联运的潇水至贺江古道到广信，然后又沿南江、北流江、南流江到达徐闻而出海的。这不就是名正言顺的海陆丝绸之路对接通道么？南雄梅

关古道是唐代贤相张九龄主持开通的。他在《开凿大庾岭路序》中写明了其目的，是为沟通中原与海外的贸易和往来。与梅关相连的珠玑古巷，是唐宋以来中原南下移民岭南以至海外的中转站，致世界广府人皆认其为“吾家故乡”，可见梅关珠玑巷在历史上起到对接海陆丝绸之路的重大作用。此外，我们还发现了南雄乌迳古道、乳源西京古道、连州南天门古道，以及西江、北江、东江、南江等水道及其相应的水陆通道，遍布全省，可见水陆古道是广东一道独特的亮丽风景线，具有对接海陆丝绸之路的重大作用，所以也是由诸多海陆丝路古道星群共现的一大文化“星座”。特别值得高兴的是，最近我们到梅州市考察，在大埔发现晋代开拓连接闽粤的梅磴古道的同时，在梅县松口发现了“南洋古道”。因为这里建有中国内地唯一的“世界移民广场”，是联合国教科文组织于2004年发起的旨在纪念海外华人的“印度洋之路”项目，并先后在马达加斯加的多菲内、留尼旺的圣保罗、莫桑比克、毛里求斯岛、科摩罗的马约特、印度的本地治里等地建设了同样的移民广场，在梅县松口建“广场”，是为了纪念19—20世纪离开中国前往印度洋群岛的中国人，同时，松口也是客家人“扬帆出海，开拓进取”的始发地，客家华侨的回归地，又是海内外华侨华人和印度洋国家人民之间经济文化友好往来的中枢地，所以，堪称海上丝绸之路的“印度洋之路第一港”，既是海陆丝绸之路对接点，又是江海对接的通道。

（四）“海上敦煌”——南海 I 号及其他海上文物

阳江南海 I 号宋代沉船，从发现、出水到进入海上丝绸之路博物馆安放，历时十年有余，自始至终都是世界性的新闻大事，因为这条沉船，是迄今世界海上出水历史文物中，历史最早、体积最大、文物最多、保存最好、价值最高的文化遗存。由于其是从事中外贸易的商运货船，因此具有海上丝绸之路文化性质；而且其文物以瓷器为主，代表了海上丝绸之路主要是“陶瓷之路”的特点；尤其是以往发现的海上丝绸之路文化遗存多是海岸文物，海中实物甚少。所以，2003年9月项目组对其考察时，我为其作了“海上敦煌在阳江”的题词。

从此，南海Ⅰ号有了“海上敦煌”的文化定位和代号。我作此定位的依据是：陆上丝绸之路文化遗存最多的是甘肃敦煌，约有6万件，故甘肃敦煌为陆上丝绸之路的文物中心和文化标志；而阳江南海Ⅰ号沉船中的文物，估计有6万~8万件之多，又是具有海上出水文物的“五最”优势，堪为海上丝绸之路的文物中心和文化标志，故称“海上敦煌”。由于当时《阳江日报》报道南海Ⅰ号是“海上敦煌”的文化定位，并在网上传播，被正在中山大学举办世界文化遗产申请培训班的联合国教科文组织的专家知道了，便托人找我引领，于2004年元旦前往阳江考察。当他们认真观看了南海Ⅰ号少量出水文物和听取介绍之后，当即表示“世界少有”，并认同“海上敦煌”的定位。2004年5月，著名的海洋学家、美国科学院院士、台湾“中央研究院”院士、原台湾“教育部长”兼成功大学校长吴京教授知悉并打电话到中大，请我邀请他来考察南海Ⅰ号，经上级部门批准后，我陪他到阳江考察。结果他对南海Ⅰ号的评价更高，认为“世界海洋史要由此改写”；接着他在中山大学对研究生作报告时又讲到，南海Ⅰ号与郑和下西洋是中国海上丝绸之路文化的高峰。所以这无疑是广东海上丝绸之路文化的一大“星座”。稍后发现和出水的南澳县“南澳Ⅰ号”明代沉船，也有相近的文化遗存和影响，应当属这一同类“星座”。

（五）沧海航灯——岭南宗教信仰文化传播之路

2000年6月，项目组到韶关曲江南华禅寺考察。南华禅寺是东晋时期印度和尚智药三藏兴建的，世界上20多个国家和地区公认南华禅寺为“祖庭”，并自建“分庭”，尤其是禅宗六祖惠能在南华禅寺弘扬禅宗文化，将外来的佛教“中国化”“平民化”，其被毛泽东称为中国禅宗佛教“真正的创始人”，被世界媒体称为“东方三圣人”“世界千年十大思想家”之一。南华禅寺的创建及其世界各地的“分庭”，以及六祖惠能的世界影响，都经海上丝绸之路。广州的“西来初地”，是东晋时印度佛教禅宗和尚达摩，从海上丝绸之路到达广州的登岸地。达摩是中国禅宗教派始祖，由此其登岸地也标志着海上丝绸之路

是“佛教传播之路”。稍后在肇庆考察时，发现明代著名传教士利玛窦在此传入天主教的同时也传入西方现代文明，并将中国传统文化传进西方，成为“沟通中西文化第一人”，接着又在广州的石室教堂见到基督教从西方传入的史迹，从而感悟到海上丝绸之路也是基督教、天主教文化传播之路。同时，在广州的怀圣寺见到伊斯兰教文化传入中国的史迹，认识到海上丝绸之路也是伊斯兰教传播之路。在广州的光孝寺、六榕寺和新兴的国恩寺，还看到佛教传入传出的国外的记载，以及在广州参加过出海祭神的南海神庙庙会，在各地见到拜祭“海神”的妈祖庙、天后庙和“江神”龙母庙等，使我更深更广地感悟到海上丝绸之路也即是宗教信仰文化传播之路，进而感到这些从海上传遍岭南各地的宗教信仰文化有似“沧海航灯”般的文化星群，自然也当是广东海上丝绸之路的一大文化“星座”。

（六）广州十三行——明清300年的曲折外贸之路

广州十三行是清代最大的商帮——粤帮的统称，又近似明清时代“海关”，是清乾隆至同治年间全国唯一对外通商并具海关职能的口岸，历时300余年，直至鸦片战争后“五口通商”才结束。在其兴旺时期，全世界50多个国家或地区都有其分号或代办机构，与其有贸易关系的国家和地区则更多。所以，十三行实则是清代中国海上丝绸之路的中心和标志，是海上丝路即外贸之路的典型，很有历史文化意义。近十年来我和项目组的多位同仁，为发掘其文化遗存都多次撰写过调研报告和参事建议，以及历史报告文学、电视剧本等作品。所以这也是广东海上丝路文化一大“星座”，其星群遍布世界五大洲。

（七）开平碉楼、侨墟楼、排屋楼——华侨华人之路的丰碑

海外华侨华人和侨乡文化，实质上也是海上丝绸之路文化的一种产物和体现，因为出海回归、联络交流，都必经海上丝路，所以海上丝绸之路也即是

华侨华人之路。自2006年以来，项目组一直关注华侨和侨乡文化现象，多次到江门、开平、台山、恩平、鹤山、新会、蓬江、东莞，以及潮州、汕头、汕尾等地考察，先后发现并提出“广侨文化”“客侨文化”“潮侨文化”等文化现象和文化定位，受到海内外媒体的普遍关注。尤其是2006—2011年，项目组先后到开平考察，发现已被列为世界文化遗产的“开平碉楼”和台山的“侨墟楼”，以及东莞凤岗的“排屋楼”，都具有见证海上丝路文化即华侨华人文化的典型代表意义。因为这三种文化，都是华侨华人文化与广东三大民系（广府、客家、潮汕）文化交叉融合的文化形态；而这三种“楼”，则是这三种文化形态的实体体现，并且是海上丝绸之路的产物和载体。特别是“侨墟楼”，它是侨乡中墟集商市的总称，因其既是传统农村墟集，又是华侨投资所建的“楼”，并有与海外通商的码头和商行，具有自十三行统管海外通商结束后，所出现的中国海外通商在侨乡遍地开花的转型意义，所以也是海上丝绸之路文化在侨乡泛化的体现。此外，潮汕地区的“红头船”和“侨批”等现象，以及珠海在近代出现的容闳所开拓的“西学东渐”和中国留学生之路，也都是华侨华人文化即海上丝路文化的实证，是华侨华人之路的丰碑和星群。所以，这也是广东海上丝绸之路的一大文化“星座”。

（八）古锦今丝——广东丝绸业的“前世今生”

位于广州西关的锦纶会馆旧址是清代建筑，它是广东最早的丝绸行会成立地，也是广东丝绸行业历史变迁和海外丝绸贸易兴衰发展状况的见证。如果说这座历史文物是广东丝绸业“前世”的文化载体的话，那么广东丝绸业“今生”的文化载体则非广东丝绸集团莫属。所以，可以“古锦”和“今丝”四字而喻广东丝绸业的“前世今生”。广东丝绸集团总公司及其所代表的南方丝绸行业，是项目组自成立以来一直合作的伙伴，既共同研究开发海上丝绸之路文化，又考究南方古今丝绸生产和贸易发展之路，从中发现广东的丝绸生产与贸易早在清代已位于全国前列，珠三角以桑基鱼塘围海造田繁殖丝绸生产，陈启

源最早创办现代机械缫丝厂，“广丝”（尤其是香云纱）“广绣”风靡海内外，可谓“今丝”品牌，一直古今不衰，改革开放后更是蓬勃发展。据该公司统计，迄今已行销海外181个国家和地区，可见丝绸贸易是广东海上丝绸之路经济带的主干之一。所以，这也当是广东海上丝绸之路又一大文化“星座”，其星群遍布海内外。

（九）莞香、茶叶、陶瓷、南珠——广东特产及其文化交流之路

东莞自古是著名的香料生产贸易之乡，所产香料多为沉香，因其质特优，被誉为“莞香”，“女儿香”是其最名贵的品种和代表。据刘丹《女儿香》描写：“女儿香”乃东莞地道著名土特产，亦为东莞最负盛名之皇家贡品，又是畅销海内外的特产商品。史载：明末清初盛景年间，“岁售逾数万金……故莞人多以香起家”；常常一艘艘载满莞香的货船从东莞运至香港，使莞香成为和茶叶、陶瓷同期出口海外的名贵货物，也使得转销莞香至海外的港口冠名“香港”；近年我们先后到东莞寮步、大岭山考察，仍可见到售香赏香如潮的“香市”景象，此可谓海上丝绸之路又名香料之路的根由。

其实，海上丝路主要是运销土特产至海外，同时又运海外各国的土特产到中国，互通有无，古今如此。广东的出口特产或高新尖产品很多，如佛山陶瓷、潮汕茶叶、英德红茶、肇庆端砚、湛江南珠、怀集金燕，以及当今东莞制造业产品、云浮石材产品等，都是行销世界的商品。所以，海上丝路即是茶叶、陶瓷、珍珠、燕窝等特产及其文化交流之路，尤其是最新的制造业、物流业、运输业、科技业等进出口经济文化交流之路。对广东来说这些都是特别兴旺发达的，也是星群特多特大的海上丝绸之路文化“星座”。

（十）广交会——海上丝绸之路的新生和发展

20世纪50年代中期，在广州创办的“中国出口商品交易会”（简称“广交

会”），是中华人民共和国成立后重开海上丝绸之路的新起点，可谓海上丝绸之路之新生和发展。在改革开放前，“广交会”是中国对外贸易最重要的渠道，有“中国第一展”之称，20世纪80年代后“广交会”取得巨大发展。迄今“广交会”已成功举办116届，而且从开始的“出口商品交易”，发展为现在的“进出口商品交易”，交易面和交易额均与时俱增、俱进，带动了会展业在广东的飞速发展，如影响世界的深圳“高交会”“文博会”等，都是广东海上丝绸之路和海洋文化持续发展的重要标志。所以，这也是广东海上丝绸之路一大文化“星座”和不断持续发展的星群。

以上是迄今我组我会发现和实证出的广东海上丝绸之路十大文化“星座”。正如宇宙太空的星座星群尚需不断发现那样，我们将再接再厉，持续努力发现和实证出更多更大的海上丝绸之路，尤其是21世纪海上丝绸之路的新文化“星座”星群。

应当特别郑重地指出的是：我们所称之“发现”，是因为这些“星座”的文化景点或旧址虽然早已存在，人们也很熟悉它，但尚未有人从海上丝绸之路文化的价值和意义上，去认识和发掘它的文化内涵和作出文化定位，而我们则是首先这样做，故以“发现”谓之。所谓“实证”，是实地考察证实之意。这是学术研究的重要途径之一，是与文案研究相辅相成的。这十大“星座”都是我组我会多学科专家教授20余年来，结合文案研究进行实地考察而逐步发现和实证出来的。显然，这样做虽然实实在在，并不断有新的发现，但毕竟学术提炼的火候不足，匆促、感性、粗糙的缺陷难免。正因为如此，在制定《广东21世纪海上丝绸之路建设工程项目规划》中，我们特地以《海上丝绸之路研究书系》项目，弥补以往的不足，尤其是特地组织[星座篇]的写作，将以往发现、实证成果进行学术深化。

[星座篇]10部分册的作者，多数是从当年起步时即参加考察过程的专家教授，部分后起之秀，也是对其所写专题比较熟悉的学者或记者。从总体上说，他们都是对我组我会学术团队20余年考察发现实证成果的深化，是体现当今各个相关领域最新的研究成果，所以是海上丝绸之路理论建设的学术系列专

著。另外，我们考虑到在21世纪海上丝绸之路建设中，应当向广大群众和外国朋友做宣传普及工作，使他们对于广东海上丝绸之路文化的特色和优势有所了解，所以，我们也力求每部书都图文并茂，尽量选用原始照片和引用原始资料，力求通俗易懂，并兼具备学术性、资料性和可读性。

最后，我想借[星座篇]出版的机会向相关部门提些建议，仅供参考：

1. 建议省有关部门和上述“星座”所在地区或单位，以建设21世纪海上丝绸之路的高度和需要出发，以古为今用、中洋并用的方针，继续深入研究、深入开发、深入宣传，尽力争取将其列入世界物质或非物质、生态或记忆的文化遗存或遗产，千方百计地使这些“星座”永远持续地迸发出更大的光芒。

2. 继续扩大发掘更新更大的“星座”及星群，如科技、海洋、渔业、水利、水运、农业、林业、工业、文化、文艺、教育等领域，从古至今都有与海外诸国交往的历史和实绩，都有海上丝绸之路的线路、遗存和实绩，这些都是海上丝路文化的“星座”或星群，应当“八仙过海，各显神通”地发扬光大。

3. 加大力度全方位地研究宣传海上丝路“星座”及星群，可以将现已发现的十大“星座”，编列出版研究书系，制作电视系列片，创作美术、摄影、散文、诗歌、音乐等门类的系列作品，以及邮票、明信片等。各行业、各领域新发现的“星座”及星群也可以这样做。而且，都可以将这些系列著作或作品，制成外售商品或对外交往的信物或礼品，作为我省的“名片”“品牌”打造，既是文化创造，又是扩大宣传，也即是持续开拓海上丝绸之路。

（本文作者为广东省政府参事室特聘参事、广东省海上丝绸之路研究开发项目组组长、广东省建设21世纪海上丝绸之路专家智库成员、广东海上丝绸之路研究院学术委员、广东省珠江文化研究会会长、中山大学教授，是享受国务院特殊津贴的作家、文艺理论批评家、文化学者。）

目录

第一章 “南海 I 号” / 1

第一节 南海寻踪 / 2

一、发现沉船 / 2

1. “南海 I 号”之名由来 / 2
2. 中英合作计划打捞荷兰商船 / 2
3. 1989 年中日联合调查 / 3

二、南海寻踪 / 4

第二节 沉船出水 / 5

一、水下试掘 / 5

1. 2002 年度调查工作 / 5
2. 2003 年度调查工作 / 8
3. 2004 年水下工作 / 9

二、打捞方案 / 13

1. 方案制定过程 / 13
2. 方案的选择 / 16
3. 方案的意义 / 19

三、整体打捞 / 20

1. 整体打捞工作概述 / 20

2.	钢沉井的设计和制造	/ 23
3.	凝结物清理和沉船定位	/ 29
4.	钢沉井的运输、沉放	/ 38
5.	底托梁的穿引	/ 54
6.	保泥、保水措施施工	/ 63
7.	“南海 I 号”起浮、出水	/ 67
8.	“南海 I 号”的拖航	/ 81
9.	“南海 I 号”拉移上岸和进入“水晶宫”就位	/ 83
10.	整体打捞意义	/ 91
四、	“南海 I 号”保护环境的构建与维护	/ 107
1.	保护环境研究的设计思路	/ 108
2.	“南海 I 号”沉船地点与保护场所周围的水环境分析	/ 108
3.	海水及沉船上沉积物中生物环境分析	/ 111
4.	“南海 I 号”沉船保护的人工控制水环境的设计	/ 115
5.	“南海 I 号”保护环境技术流程示意图	/ 116
6.	文物保护方案以及实施情况	/ 117
第三节	考古发掘与保护	/ 118
一、	“水晶宫”试掘	/ 118
1.	试掘的具体内容	/ 118
2.	第一次试掘的成果及发现的问题	/ 119
3.	第二次试掘的成果及其意义	/ 120
二、	整体保护与考古发掘	/ 121
1.	整体保护立项	/ 121
2.	项目阶段性进展	/ 123
3.	工作进度与初步成果	/ 128
4.	项目总结	/ 147
5.	下一步工作建议（2012—2013年）	/ 148

第四节 出水遗珍 / 148

一、陶瓷器 / 149

1. 景德镇窑系 / 149
2. 龙泉窑系 / 154
3. 德化窑 / 155
4. 闽清义窑 / 165
5. 晋江磁灶窑 / 167

二、金属器 / 170

三、其他文物 / 173

1. 石质文物主要有石砚和石雕挂饰 / 173
2. 有机物主要有漆片、果核等 / 173

第二章 海上丝绸之路 / 175

第一节 海上丝绸之路 / 176

一、海上丝绸之路航线发展简史 / 176

二、国内沿海遗存 / 180

1. 福建连江定海白礁海域水下考古调查 / 180
2. 福建平潭“碗礁 I 号” / 180
3. “华光礁 I 号” / 181
4. “小白礁 I 号” / 181
5. 平潭大练岛元代沉船 / 181

三、海外相关遗存 / 182

1. 东亚海域的古代沉船及其遗物 / 182
2. 在环南海海域和东南亚发现的中国陶瓷 / 183
3. 南亚考古发现 / 188
4. 波斯湾沿岸和伊朗考古发现中国陶瓷器 / 188
5. 在中亚的考古发现 / 189

6. 在西亚的发现 / 189
7. 在非洲的考古资料 / 190
8. 在欧洲的沉船 / 191
9. 在美洲的出土物 / 191

第二节 广东海上丝绸之路其他遗产举例 / 192

一、2005年广东省第一届水下考古培训班 / 193

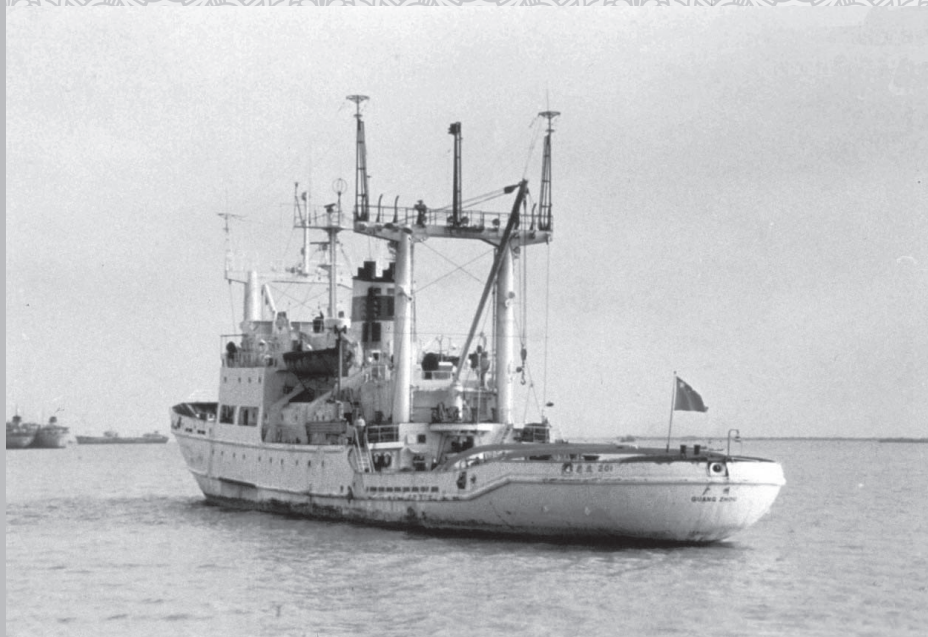
1. 培训班概述 / 193
2. 出水遗物 / 194

二、“南澳 I 号” / 199

1. 概述 / 199
2. 调查和试掘 / 200
3. 物探调查 / 200
4. 两个年度的发掘情况 / 201
5. 出水文物 / 202
6. 沉船情况 / 208
7. 保护情况 / 208
8. 对社会和学界的影响 / 209

第二章

『南海一号』



第一节 南海寻踪

一、发现沉船

1. “南海I号”之名由来

“南海I号”沉船发现于1987年8月，当时打捞出水的文物共247件，这批文物后被移交给广东省博物馆保管，因鉴定为中国宋元时期的产品，所以当时称“南海宋元沉船”，但此称呼并未成为该沉船的正式名称。1989年11月15日至11月20日，由中国著名考古学家俞伟超先生为队长，日本水中考古学研究所田边昭三所长为副队长组成的中日联合调查队对该沉船进行了第一次调查。依照考古工作惯例，将这艘沉船定名为“中国南海I号沉船”（见《福建文博》1997年第2期，张威《南海沉船的发现与预备调查》），后简化为“南海I号”。简化的时间及正式的官方文件无从查考。

2. 中英合作计划打捞荷兰商船

1987年年初，英国海洋探测打捞公司（The Maritime Exploration and Recovery Ltd.）马丁（Mr. Martin），来到交通部广州救捞局业务处，希望合作打捞一艘沉没于下川岛附近海域的荷兰东印度公司商船“林斯堡号”（Rimsberg）。据称这条沉船是英国海洋探测打捞公司在荷兰古籍图书馆和航海图书馆一本1772年有关广东的杂志中查到的，“林斯堡号”船长42米，船上装有385.5吨锡锭、6箱白银、136吨胡椒以及可可、棉布、毛皮等货物。不久，公司向中国政府主管部门提出打捞申请。中方决定采取合作形式，指定交通部广州救助打捞局参与。该年8月，打捞工作在川山群岛海域进行。

川山群岛由上川岛、下川岛两个大岛以及其他一些小岛组成。那片海域地处广东中部通往西部海上交通的主航道上，也是古代中国通往西方世界的“海上丝绸之路”必经之地。“南海I号”沉船就在这片海域被发现。中国、英国的打捞人员在预设海域用声呐仪器探测海底，发现了目标，潜水人员下水探

摸，由于淤泥深厚，并没有发现荷兰商船遗迹。英国考古人员转而采用一吨重的抓斗探挖，却意外捞出247件器物，包括陶瓷器、铜器、锡器、镀金器、铁器等，年代是宋元时期。中方工作人员初步判断，这是1艘中国宋元沉船，可能是往来中国和东南亚、阿拉伯国家的贸易商船。中方现场负责人尹干洪及时停止了现场工作，并迅速报告广东省文物管理部门，停止打捞，采取相应的保护措施，并把打捞上来的文物移交广东省博物馆。

3. 1989年中日联合调查

川山群岛海域沉船的发现，引起国家文物部门的高度重视。1989年8月，经国务院批准，中国历史博物馆与日本国水中考古学研究所签订合同进行南海沉船遗址水下考古调查、发掘的意向书，决定同年11月进行第一次调查。

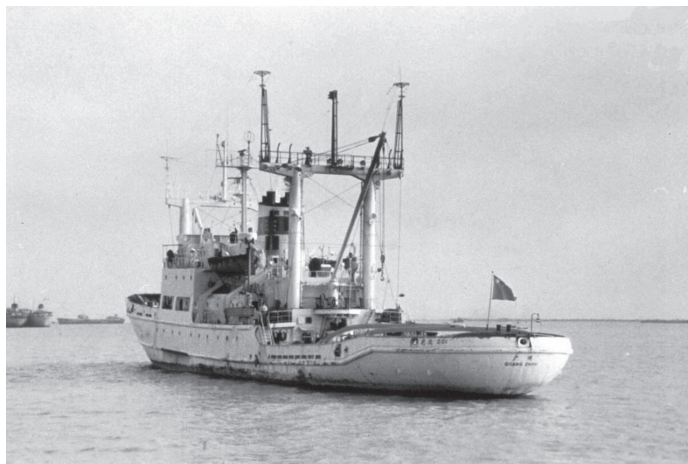
随后，国家文物局、中国考古学会、中国历史博物馆、日本考古学会等联合成立了“广东南海宋元沉船调查专家组”，著名考古学家、中国考古学会会长苏秉琦任正组长，日本考古学会会长江上波夫任副组长。



第一次协调会

1989年11月15日，由中国、日本考古专家组成的南海沉船联合调查队在广州正式成立，队长是著名考古学家、中国历史博物馆馆长俞伟超教授，副队长为日本水中考古学研究所所长田边昭三教授。调查工作得到广东省文物管理委员会、广东省博物馆、交通部、广州救捞局等机构的协助。广州救捞局出动了

“穗救201号”“穗救205号”拖轮等船舶参加调查。



1989年调查船

第一阶段：对沉船扫测定位，测定沉船准确位置。使用了SMS-960型海底扫描系统、福康484微波测距仪等先进设备，测定海底地貌、探测沉船的精确位置、拍摄现场、测算海流等工作。11月17日，成功找到沉船的确切位置，深度22米。掌握了沉船遗址周围的水文、能见度、气象等第一手资料。

第二阶段：海况、海流调查与遗址表面测量。使用了EMC-107型直读式电磁流速计测试海况。11月19日，中日考古人员轮流下水，进行遗址测量，草绘平、侧面图。中方队员张威在探摸中采集到一块木片。朝日电视台工作人员高桥雅彦、藤田亨在拍摄过程中采集到一块青白瓷片，经确认，与1987年打捞到的瓷器完全一样。由于海底能见度太差，水下拍摄无法完成。从初步掌握的资料看，沉船遗址表面面积为1平方米，高30厘米，大部分船体可能为泥沙淹没。

二、南海寻踪

在国家文物局、中国历史博物馆、广东省文化厅等领导的关怀与支持下，一度中断多年的“南海I号”沉船发掘工作于2001年春季重新得以继续开展。由于此次工作得到了香港“中国水下考古探索研究会”陈来发等诸位先生在资金、潜水器材、潜水手段等多方面的大力资助，使得工作重新启动并顺利推进。

4月24日上午6时调查工作船正式起航，前往工作地点。由于闸坡港距工作地点很远，单程航行时间为5个小时，所以后来改为以阳江市的东平港为工作基地，单程航行时间缩短为3个小时。

前期的寻找定位工作由香港方面提供的旁侧声呐系统，按照1987年英国人提供的位置示意图和1989年交通部广州救捞局报告的坐标开展搜寻工作。由于没有海上寻找沉船的经验，香港方面租用的旁侧声呐系统属于老式设备（一直存在故障）兼之聘请的声呐的判读员不熟悉该系统，又缺乏在海上寻找点状目标的经验，受海浪的干扰或由于渔民的作业方式的改变（由原来的单船围网改为双船刮底的拖网），使海床变平坦等而影响其声呐判读的缘故，搜寻工作非常不顺利。后期改用中科院南海海洋研究所提供的美国克莱英旁侧声呐与浅地层剖面二合一组合仪，取得了比较理想的效果。由于探测拖鱼本身既可作声呐平面海底扫测又可以同步显示拖鱼正下方的海底地质剖面，在1989年声呐扫描的海域，与救捞局提供的坐标点几乎重合的测线上很快发现了一处声波反射异常点，后经潜水探摸发现了两块大的含铁质的凝结物，救捞局的潜水员也证实水下的地貌和他们在1987年工作的地点相同，同时在这一点又有几片属于南宋时期的白釉、青白釉、酱釉瓷片出水，与“南海I号”沉船出水的瓷器基本一致。定位系统所测得的坐标验证了1989年探测定位所取得的坐标数据基本准确，因此，“南海I号”沉船坐标点得以重新确认。

第二节 沉船出水

一、水下试掘

1. 2002年度调查工作

中国历史博物馆、广东省文物考古研究所等单位合作，于2002年6月20日至

7月20日对“南海I号”沉船进行了进一步的调查。此次调查的重点是对沉船的尺寸和埋藏状态进行调查。通过抽泥等水下工程作业后，基本上达到了预期的目的。本次工作共进行了32天，其中出海工作20天，出海遇大风大浪中途返回6天，因预先得知天气状况没有出海6天。可以说因气候原因造成的工作影响非常小，工作效率是很高的，可工作天数比例超过1:1。

本次工作分两个阶段进行：第一阶段是物探调查。物探调查又分旁测声呐和浅地层剖面仪两种调查方式，“南海I号”采用的是两种方式相结合进行的。第二阶段是综合第一阶段的发掘情况，以及潜水员提供的早期沉船线索，初步估算出了沉船的大致尺寸和沉没状态。船长约30米，宽约7米。出于对沉船的保护和潜水员的安全，没有将沉船的底部全部抽出，仅根据浅地层上的影像估算出沉船的高度约4米。在工作即将结束前抽泥时抽出了一块较大、较平的凝结物块，其下是一大块的平面木板，推测是船的平面甲板。取出部分凝结块经分析后可以看见，该平面是二次凝结造成的，凝结块中的瓷片非常碎，而且各种不同窑口、不同器形的瓷片混杂在一起，与第一季发掘的每种器形都单独存





2002年水下考古工作照

在于某一相对位置的情况有所区别。这种情况应该是1986年发现“南海I号”时，部分被抓斗抓坏的瓷器碎片重新倾倒入海后形成的二次堆积凝结而成，由于堆积的位置正好位于主甲板上，因此形成了平面凝结块。凝结块下的木板很平，潜水员用手伸到了甲板内，发现里面有很大的空间，估计是一个较为完整的船舱。

出水遗物除在沉船表面采集到两件青白瓷的碗，在舷外的泥面上采集了五件青白瓷碗，铜钱若干和两件铜环，其中有一件可以看到表面的镀金痕迹，此外有比较多的漆器碎片和煤块，最重要的是出水了一件纯金的金环，是“南海I号”重新发现以后第一次出水的纯金饰物。抽出的铜钱共计有“崇宁重宝”“皇宋通宝”“宋元通宝”“开元通宝”“宣和通宝”“熙宁元宝”“政和通

宝”等十三个年号。

2. 2003年度调查工作

根据国家文物局《关于“南海 I 号”沉船探摸工作的意见函》及国家博物馆、广东省文化厅、阳江市人民政府达成的关于《“南海 I 号”水下考古及文物保护工作协调意见》的精神，“南海 I 号”沉船考古队于2003年5~6月，对沉船进行了调查，本次调查的目的是为了全面了解“南海 I 号”沉船遗址埋藏状况及船体本身的保护现状，为制订全面发掘计划及船体整体打捞可行性论证收集必要的技术数据。基于此项工作任务，发掘队又具体制定了详细的工作内容。本年度的物理探测仅获得了比较准确的型深数据。从浅地层的图形分析，该沉船最深处为泥下5米，如减去覆盖在沉船之上的1~1.5米的淤泥后，沉船的实际型深应为3.5~4米，与已知的同时期其他古沉船的型深相近，数据基本可靠。至于长宽等数据只能通过其他途径来获取。但由于今年的工作季节的天气状况极为不理想，可出海的时间有限，提高工作效率就显得非常关键。开始阶段为了赶时间，将大多数的出海机会都用于抽泥，后来发现，遗址的回淤速度很快，有的地方抽出了船舷，但第二天就又回淤了，水下没有能见度，回淤的地方又进行再次工作。为了改善重复抽泥的状况，考古队采用了标志杆的方法，具体原理就是将抽出的船舷旁插上用四分管裁成的2米杆，间隔一般为1~1.5米，以人在水下没有能见度的情况下，用手可以分辨船向和已抽的船长为标准，在没有摸到船舷的情况下，也可以确认被抽出船舷后又回淤的范围，避免了重复抽泥。最后通过水下抽泥和探摸，初步确定了沉船的长约为30米（在28~32米之间），宽8米左右，也与已知的同时期沉船的尺寸相近。为了获取不同层位的洋流数据，考古队采用了连续性、长时间的动态测流的方法，每次测流的时间均在6小时以上，尽量接近完成一个半日潮的全过程。首先将测流计的测流时间调整为30秒，即每30秒钟出一组数据，包括水流速度和水流方向，具体的操作方法如下。

从2米开始为第一个测点，第一个数据不采用，待测流计稳定后的第二个数据作为该层水层的实测数据，然后向下沉降2米，仍然采用第二组数据作为有

效的实测数据，依次类推，直至获取从2~24米中11个水层的全部数据，以这11个数据作为一个周期，然后，将所有数据横向排列，即得出每层水深的流速、流向的变化规律，同时将同层水深的测量间隔时间也恰好把握在13~14分钟之间。采用这种方法可以清楚地发现每层水深在不同时段的变化规律。沉船的沉态方向一直是近2年一直没有解决好的问题，因为水下的能见度很差，水下罗盘基本上无法判读，最后只好使用测流计上的内置电子罗盘进行方向测量。测量方式是利用直读式测流计中的内置电子罗盘功能，因为测流计的叶轮的护造罩和测流计体的边缘与测流计的中轴线平行，无须再进行方向校正。测量前让操作测流计的潜水员在船上进行模拟测量，熟悉操作程序，然后使用水面供气水下进行测量。首先在沉船的中部抽出一段船舷后，将测流计平靠在沉船的船舷旁，固定4分钟后或取多组数据，待仪器稳定后取最后3个重复的相同数据，该数据即为沉船的精确轴向，测量结果显示该沉船的轴向为234度。

采集泥样使用的是管转方式，即用2根1米长四分管，中部用活头相接，由潜水员带到沉船旁，用力插入淤泥中，然后拔出，卸去后部，将两头密封即可。但本次由于采用的水管孔径太小，采集的泥样不够理想，有的泥样含贝壳类杂质太多，有的泥样内有碎木屑，采集的淤泥达不到测试的最低量，因此采用更大孔径的水管重新采样。

木样采集带有随机性，但采集到的木样却具有代表性，下半部埋在淤泥下的保存良好，而上半部暴露在水中的就受到了船蛆的严重侵蚀。其中1件木样标本有明显的侧角，应是横档与船板相接部位的船材。

由于有整体打捞的需要和设想，在完成了潜水工作后，考古队用1艘工作船由沉船点到拟定放置打捞出水的沉船地点进行了沿途的物探调查，发现由沉船点到闸坡海与域地海底状况非常理想，水下没有障碍物，且沿途的水深均保持在20米左右，在接近十里银滩约150米处时，水深仍然能保持在8~10米之间，为今后沉船打捞离底后的运输过程提供了水文资料。

3. 2004年水下工作

2004年度调查是在前几个年度调查的基础上进行的一次详细调查，调查队

由中国历史博物馆水下考古研究中心和广东省文物考古研究所以及福建、山东等部分水下考古专业人员组成，于2004年5月7日起对“南海I号”沉船进行了进一步的调查。本次调查以探摸沉船的实际尺寸，并同时采集水质、水流、能见度、涌浪、海底淤泥等沉船周围的自然环境的数据，为发掘沉船做最后准备。

本次工作从5月7~28日止，共进行了22天，其中出海工作20天，因天气状况未能出海2天，可以说因气候原因造成的工作影响非常小，其工作效率是从开展“南海I号”调查和试掘以来最高的1次。

本次工作分两个阶段进行：第一阶段是物探调查部分，物探调查又分旁测声呐和浅地层剖面仪两种调查方式，“南海I号”采用的是两种方式相结合进行的，前期的物探调查仅进行了2天，就准确地确定了“南海I号”的经纬度。

第二阶段是潜水调查，主要是在前几次的基础上进行更大面积的揭露。此次工作从5月8日起至28日止这一工作阶段中，救捞局专业潜水员共计潜水190人/次，潜水时间6650分钟。水下考古专业人员共计潜水16人/次，潜水时间480分钟。

本次潜水工作的主要手段仍然是以水下抽泥，大面积揭露沉船为主，抽泥的位置集中在沉船的右舷外（以目前推论的船艏朝向东北为定位依据）。迄今为止，抽出的舷板长度约为22米，但此长度还没有经过验证，基本上是以多个潜水员的口述结论推算的大致尺寸。另外，由于工作仍在进行，沉船的船艏、船艉还不能确认，估计是实际的船艏还没有抽出的缘故。

在抽泥期间，水下考古专业人员多次到水下对沉船进行实地观察，但由于能见度不好，基本上为零，只有通过手部探摸的方式进行，以确认沉船的具体位置。

沉船最明显的是干舷，基本上顺着泥沟连续分布。在沉船的东北部近船头方向，可以摸到1块巨大的整木，其横截面为圆角方形，边宽（直径）最少在50厘米以上，走向与舷板垂直，推测应该是主桅杆的底座。此外，还可以摸到边长约30厘米主龙骨和与其垂直平放的船肋等构件。另外，从探摸的情况分析，在船舷内的船舱中有大量的瓷器，码放整齐，在瓷器之上是大块的铁质凝结物，可能是铁锅一类的铁器，凝结物的高度为80~100厘米，分布连续，从船艏到船艉均有大范围分布。

在抽泥过程中，我们对滤网过滤后剩余的残碎遗物进行了分析，从遗物种类和性质以及分布的范围和数量进行量化的对比，对抽泥时所处沉船的位置进行了推论，得出结果与实际探摸的情况基本吻合。例如，从5月16日开始大量出水铜钱，开始有300多枚，到5月19日铜钱的出水量达到了高峰，近4000枚，短短的4天内的铜钱出水数量达6000多枚，到5月20日铜钱出水量急减为198枚，至28日则未出水1枚铜钱。铜钱的类别超过35种，最早的为东汉的“货泉”，其次是隋唐的“五铢”（字体排列顺序由右到左）及“开元通宝”，绝大部分是北宋各年号的铜钱，最晚的年号是南宋的“绍兴元宝”，其中有个别较少见五代十国时期的铜钱，如后周的“周元通宝”，后唐的“唐国通宝”等。铜钱中还混杂了1枚金戒指，其上有8个镶嵌珍珠的位置，但仅保留了3枚珍珠。据此推测此位置应该是船舱上层舱室住人或放置贵重物品的位置，而这些铜钱基本上是散落在干舷以外的堆积，散落的原因基本上可以肯定是上层舱室自然散架造成的。

本次的工作以测量为主，基本上不采集遗物，但在抽泥过程中，难以避免散落在沉船周围的沉船遗物，因此在抽泥过程中将阻碍抽泥位置又属于散落于沉船外围的少部分遗物采集出水。

同年9月，为了细化“南海I号”整体打捞方案，广东省文物考古研究所委托广州打捞局进行1次物探为主的调查工作。采集到30米海床的资料和“南海I号”准确数据，为整体打捞方案的制定提供了依据。至此，“南海I号”整体打捞方案的数据采集告一段落。



在施工船上通过调整锚链精确定位



潜水员准备下水工作



潜水员



抽泥出泥口及过滤网



海上钻探



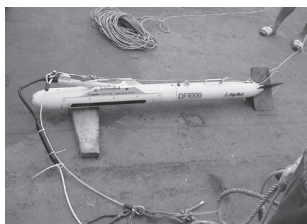
取泥样



测量流速



显示流速



旁侧声呐



2004年联合国教科文组织专家视察“南海I号”沉船

二、打捞方案

1. 方案制定过程

“南海I号”沉船是目前我国发现的保存较为完好，出水文物最为精美的一艘古代沉船，它所包含的历史、艺术、科技发展等重要信息难以估量。但由于“南海I号”沉船所处海域海况较恶劣（详见附件一：“南海I号”沉船现场气象及海洋环境资料），涌浪大，且水下能见度为零，不利于水下考古。根据委托方的要求，按照《中华人民共和国文物保护法》和国家“保护为主、抢救第一、合理利用、加强管理”的文物工作方针，同时参照世界文化遗产保护公约，对古代文化遗产保护要求“原始性”“真实性”和“完整性”的原则，为尽可能地保护和收集“南海I号”沉船所涵盖的所有历史文化信息，制定整体打捞、异地发掘的方案。鉴于古沉船的船体为木质结构，在水下浸泡800多年后，大多已经较为松软。沉船的大部分是埋在海床之下的淤泥中，因此沉船船体没有受到奢木类海洋生物（如船蛆等）的进一步蛀蚀，文物也没有受到如滕壶等海洋贝类生长造成的硬性胶结。为了最大限度地保护该沉船的船体结构和

沉船文物，将沉船连同船内的文物，船体周围起固定和保护作用的淤泥一同吊离海床面，并移到海上丝绸之路博物馆的“水晶宫”内，通过改善水质，使得水下考古人员在高能见度情况下安全、细致地进行水下发掘。

为了更好地保护和发掘，使沉船在发掘过程中免遭二次破坏，广东省文化厅、省文物考古研究所于2003年与协助单位广州救捞局开始就沉船的保护和打捞工作进行了磋商，制定了整体打捞的初步意向，其宗旨就是将沉船整体迁移到一处安全的水域进行细致的发掘研究。广东省文物考古研究所提出了“设计适合于水下沉船船坞安装的钢板预制件，要求在水下便于安装，并达到足够的搬运强度、实施水下安装。将沉船连同文物、起固定作用的泥沙围在船坞中，并成功吊离发掘现场。安全地将沉船安放在事先准备好的人工水域内”这三个基本要求，2004年年中，该方案进入实施过程。

2004年9月，广东省文化厅、广东省文物考古研究所与广州救捞局合作，根据“南海I号”整体打捞的要求，针对打捞方案制定的需要，进行了以数据采集为目的的调查工作，数据采集的项目具体包括沉船的沉态和尺寸的探摸和测量；海床下30米钻孔和泥样采集；回淤速率的测量；全潜驳沉放点的选择；拖航的路径探测；48小时流速记录及海水水样采集及分析等七个方面，为制定整体打捞方案提供了第一手资料。其后，广州打捞局与华南理工大学交通学院船舶与海洋研究所等协作单位进行了沉箱设计和计算，沉箱整体打捞模型试验，波浪补偿试验等。在前期的工作完成后，于2005年5月3日编制完成了《“南海I号”整体打捞及保护方案》第一版。2005年5月16日，国家文物局组织考古、文物、救捞、海洋工程、海军和海洋环境方面的专家在北京对《“南海I号”整体打捞及保护方案》与国家博物馆水下考古研究中心编制的《“南海I号”原地打捞发掘方案》进行了论证，原则上通过了《“南海I号”整体打捞与保护方案》。2005年6月26日，国家文物局领导、省文化厅领导和国家博物馆水下考古研究中心、交通部广州打捞局、广东省文物考古研究所有关专家在广州召开会议，讨论《“南海I号”整体打捞及保护方案》的细化问题。2005年6月29日，《“南海I号”整体打捞及保护方案》第一次修改版编制完成。2005年7月30日，《“南海I号”整体打捞及保护方案》第二次修改编制完成。2005年



2005年在广州召开“南海I号”沉船发掘方案论证会

10~11月，广东省文化厅组织广州打捞局、国家博物馆水下考古研究中心对方案再次进行优化和完善，并完成相关沉箱保泥保水实验和相关力学计算。2005年11月14日，《“南海I号”整体打捞及保护方案》第三次修改版编制完成。至此，在不断的修改、完善与细化中，“南海I号”沉船的整体打捞方案日趋成熟。此外对于沉船整体打捞出水后进入“水晶宫”的技术细节，“水晶宫”的设计要求以及沉船在“水晶宫”中的后期发掘方案等，也进行了细致的研究和设计。至此，“南海I号”沉船整体打捞的理论依据及技术储备基本完成。

经过多次的专家论证，“南海I号”沉船整体打捞方案被采纳并实施准备工作。

广东省委、省政府一直高度重视和支持“南海I号”沉船文物保护工作，李长春同志、卢瑞华同志在广东工作时明确指示要做好“南海I号”保护工作，时任张德江书记、黄华华省长、陈绍基主席、李兰芳副主任、雷于蓝副省长多次到阳江市视察“南海I号”沉船打捞出水的文物，广东省政府成立了由雷于蓝副省长任组长，广东省发改委、广东省财政厅、广东省科技厅、广东省文化厅、阳江市政府负责人参加的“广东省‘南海I号’保护工作协调领导小组”，阳江市政府无偿划拨12万平方米建设用地，用于广东海上丝绸之路博物馆建设。



时任广东省委书记张德江视察



全国政协副主席张思卿视察



原中央军委委员、总政治部主任于永波视察



时任广东省省长黄华华视察

2. 方案的选择

(1) 制定“南海I号”沉船两套整体打捞方案的背景。

“南海I号”沉船的发现，为我国水下考古专家研究和考证古代海上丝绸之路的历史和发展提供了一个良好的机遇。但由于该沉船所处海域海况恶劣，水深且水下能见度为零，如采用传统的原地水下发掘办法，其效率、安全和发掘的完整性将受到很大限制。根据委托方的要求，希望将“南海I号”船体、舱内文物及附属淤泥整体打捞起来，迁移到正在建设的海上丝绸之路博物馆预留的水池内，通过改善水质，提高水下能见度，更有效地进行水下发掘“南海



广东海上丝绸之路博物馆奠基仪式



广东海上丝绸之路博物馆“水晶宫”内的“南海I号”沉箱

I号”。受有关方面委托，广州打捞局自2001年开始就如何打捞“南海I号”进行了多方探讨和研究，并委托华南理工大学对“南海I号”整体打捞可行性进行论证，于2003年10月曾编制了《“南海I号”古沉船整体打捞原则方案》，并经过了初步论证；即“南海I号”整体打捞方案一之前身，采用7000吨驳船整体抬浮“南海I号”的施工方案。

2004年9月，为了细化“南海I号”整体打捞方案，广东省文物考古研究所委托广州打捞局进行一次以物探为主的数据采集工作。采集到30米海床的泥样资料，以及“南海I号”尺寸的准确数据。同年底，广州打捞局4000吨起重船“华天龙号”通过立项，并开始建造，预计2006年初可以投入商业运作。由于“南海I号”水下整体打捞重量约2500吨，采用4000吨起重船“华天龙号”整体打捞“南海I号”无论在技术上或在工艺上都是可行的，据此广州打捞局制定了“南海I号”整体打捞方案二。

(2) 两个打捞方案的技术分析。

方案一：采用7000吨驳船整体抬浮“南海I号”施工方案，由于需要安装垂直提升千斤顶、水下连接钢绞线，工艺比较复杂；抬浮驳船因受波浪影响而产生摇

摆，为了保证平稳起浮，还要使用波浪补偿系统；同时“南海I号”悬吊在抬浮驳下面进行长距离拖航到下潜点，虽然技术上成熟可行，但增加了不可预见的风险。

方案二：采用4000吨起重船“华天龙号”整体吊浮“南海I号”施工方案，由于“华天龙号”属超大型起重船，具有良好的抗风浪能力，可直接将“南海I号”整体打捞出水，放在7000吨驳船甲板上，再拖航到广东海上丝绸之路博物馆水晶宫。该方案大大减少了不可预见的风险。

（3）施工的安全方面。

方案一：驳船将钢沉井连同“南海I号”抬浮离开泥面后，还需拖到全潜驳下潜点下放至全潜驳的甲板上，在驳船拖航的过程中，钢沉井由于处于水面以下，且钢沉井与驳船间由钢丝绳连接，易受风、浪、流的影响而产生摇摆，导致各受力点发生受力不均匀现象，而且天气情况瞬息万变，无法保证拖航过程中的天气一直处于理想状态。

钢沉井下放至全潜驳上后，在全潜驳起浮过程中，由于无法保证全潜驳与海底的黏结力均匀作用于驳船，可能会使全潜驳在起浮过程中产生倾斜，而且亦无法保证在此过程中天气、海流处于理想状况。

方案二：使用4000吨起重船吊浮钢沉井的作业过程较短，而且4000吨起重船有着良好的抗风浪能力。“南海I号”吊放至7000吨驳船进行加固后，在拖航过程中可绝对保证安全，因此该方案受天气等外因的影响很小，安全方面有很大的保障。

（4）施工工艺方面。

方案一：使用驳船和线性绞车对24米水深处的钢沉井进行抬浮在国内还是首次，国外虽有成功的先例（“库尔斯克号”打捞），但在国内，这方面的技术和工艺还不是很成熟，存在一定的风险。

方案二：一是使用起重工程船打捞沉船在国内是很成熟的工艺，广州打捞局在海上吊装、打捞等方面有着非常丰富的施工经验，曾经使用起重工程船打捞起大小小几百艘沉船，因此使用4000吨起重船吊浮钢沉井有着很大的把握。二是该方案中使用线性绞车拉移钢沉井的工艺在国内也是比较成熟的工艺，广州打捞局曾使用拉移小车、线性绞车拉移过船舶、沉箱等重件上驳船，每一次都圆满

成功，所以这次拉移钢沉井上岸在技术、施工工艺方面是有保障的。

(5) 两个打捞方案主要经济指标分析。

方案 指标	7000吨驳船整体 抬浮方案	4000吨起重船整体 吊浮方案
打捞工期	240天	210天
打捞费用	181625081元	138538201.27元

根据两个方案，形成上述主要经济指标对比表，显示出4000吨起重船整体吊浮方案在工期和费用两方面的优势。

综合上述分析，4000吨起重船“华天龙号”整体吊浮“南海I号”施工方案二在安全性和打捞成本等方面，均优越于7000吨驳船整体抬浮“南海I号”施工方案一，推荐采用4000吨起重船“华天龙号”整体吊浮“南海I号”施工方案二。

3. 方案的意义

《“南海I号”整体打捞及保护方案》的成功实践在社会经济效益方面最突出的贡献是：

(1) 整体打捞，把“南海I号”完整地移到正在设计建设中的海上丝绸之路博物馆，既避免了目前“南海I号”处在外海、文物可能被盗、可能被拖网渔船损坏的危险，又没有改变其原来存在的海水环境，这是对沉船及船载文物的最佳保护方法，充分体现了“保护为主、抢救第一、合理利用、加强管理”的精神。

(2) 整体打捞，把“南海I号”移到海上丝绸之路博物馆内，可以使今后的发掘研究工作在室内进行，避免了海上发掘能见度低，受海流、风浪、气候影响大的不利因素，发掘、保护的安全性大大提高，发掘、保护的工作质量也将大大提高，将更加全面地保存沉船及船载文物的各种历史信息。

(3) 整体打捞，也是最贴近世界文化遗产保护公约“原始性”“真实性”

和“完整性”要求的方案。水下考古资料不仅仅是精美的瓷器，“南海I号”中更包含着许多不可预见的历史文化信息。

(4) 整体打捞，就是把“南海I号”移到海上丝绸之路博物馆内进行发掘、保护、研究，将最大限度地避免海上发掘因能见度、海流、气候影响的不利条件下对文物造成的损坏，特别是避免了打捞完船载文物、沉船散架的遗憾。

(5) 整体打捞，把“南海I号”移到海上丝绸之路博物馆内，可以不必一次性发掘完毕，而是随着研究的不断深入、保护技术的不断完善持续地发掘研究，更好地掌握了发掘、研究、保护工作的主动权，为研究、保护工作保留了持续发展的宝贵资源和工作平台。

三、整体打捞

1. 整体打捞工作概述

经过多次论证后，2007年4月9日，“南海I号”整体考古打捞工作正式启



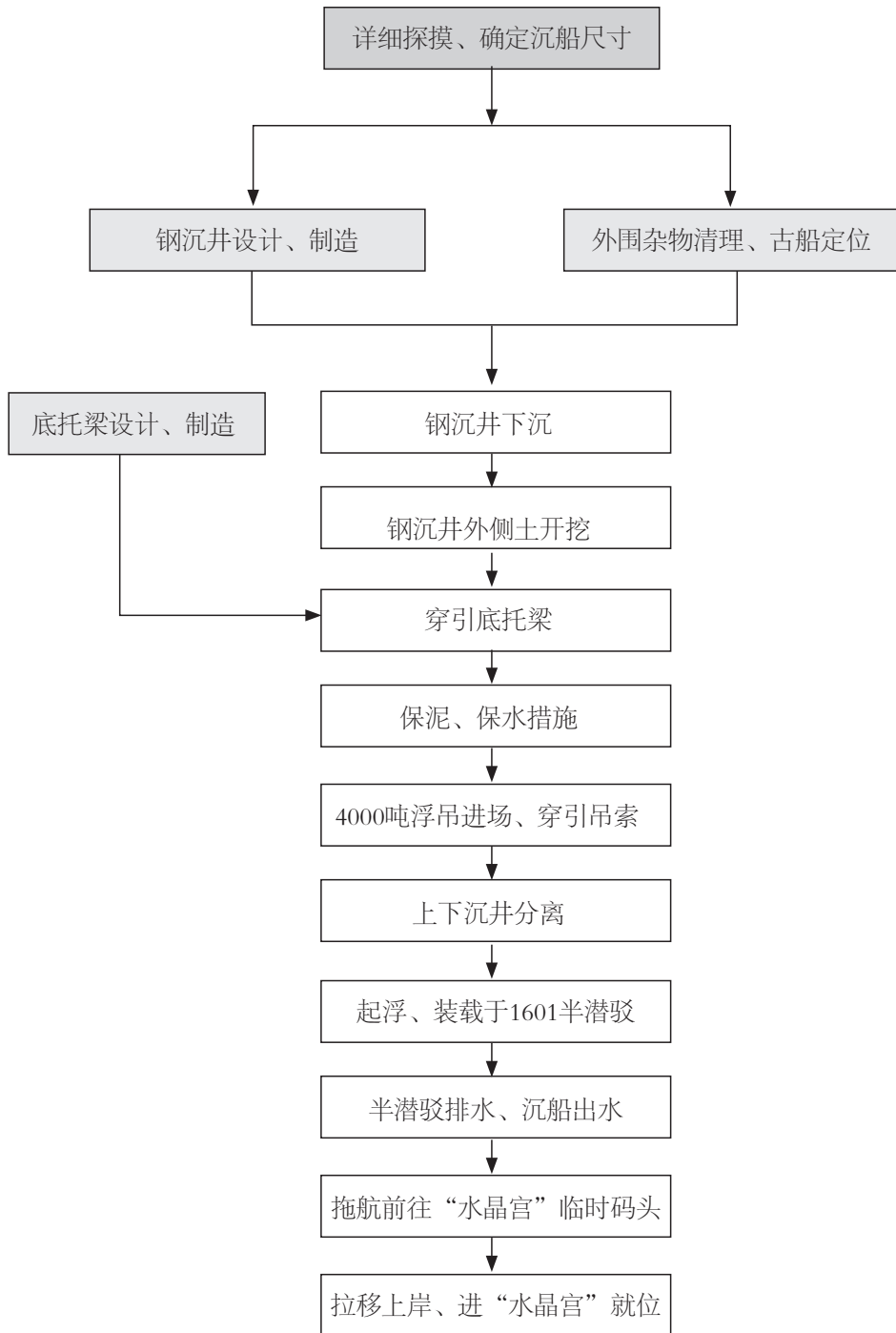


“南海I号”整体打捞起浮仪式

动。首先是“南天柱号”船组进场进行施工，拉开了“南海I号”整体考古打捞的序幕。2007年12月22日，“南海I号”整体出水；12月28日，“南海I号”进入水晶宫，这标志着“南海I号”整体考古打捞工作的圆满完成。

整个考古打捞工程的施工共历时264天，先后投入了包括亚洲最大的起重船“华天龙号”（4000吨）和“重任1601”16000吨半潜驳等大型船舶设备共21艘。潜水员下水3016班次，潜水作业时间共3250小时。这在我国乃至全世界的打捞史上无疑是一个创举！

整体考古打捞方案的总体思路是，在对“南海I号”进行详细的探摸后，确定古沉船的准确尺度；设计一个比古沉船尺寸大的钢结构沉井，然后把钢沉井在古沉船的位置下压到设计标高，将沉船、载物以及周围泥沙按原状固定在钢沉井内，在古沉船下面穿引钢结构的底托梁，使钢沉井和底托梁形成一个整体体系，将分散、易碎的东西一体化、一次性吊浮起运，迁移到岸上的水晶宫中进行科学的水下考古发掘。总体打捞工艺流程为：



2. 钢沉井的设计和制造

钢沉井是整个打捞工程中最重要结构，是所有后续工作的载体，打捞施工中的所有工序均围绕着钢沉井进行施工。其设计得合理与否直接关系到整个考古打捞项目的成败。

(1) 钢沉井尺寸的选取。

经过多次的探摸和测量，“南海 I 号”的尺寸为：30.4米×9.8米×4.2米。这个尺寸与原来我方在做初步设计时的船体尺寸23.8米×9.6米×3米相比大了很多，这给钢沉井的设计和工程的施工增加了非常大的难度。根据古沉船的尺寸，钢沉井的内壁长度选取33米，每边有1.3米的余量；内壁宽度选取12米，每边有1.1米的余量。因此，根据古沉船的尺度，钢沉井的平面尺寸确定为33.3米×14.4米。

对于钢沉井的选取，首先取决于工程区域的地质概况：

根据《“南海一号”古沉船探摸打捞岩土工程勘察报告》（广东省地质物探工程勘察院，2004年9月），工程区域揭露的地层主要为第四系的淤泥、淤泥质土、砂层和粉质黏土层。

淤泥，位于表层，厚度仅1.50~1.80米。

淤泥质土，分布广泛，饱和、软塑，含较多粉细砂，局部夹薄层粉细砂，标准贯入试验击数3~5击，厚度27.8~28.7米，其下卧层为粗砂或粉质黏土。

根据土质勘探报告，确定钢沉井在高度方向采用上下钢沉井组合的方式：下钢沉井的作用主要有两个：第一，保证在钢沉井外围挖土时，钢沉井内的土不会通过钢沉井的底部流失，避免沉井外侧土出现隆起的现象；第二，上钢沉井外侧土开挖后，下钢沉井起着支撑和固定整个上钢沉井的作用。上钢沉井的作用是将古沉船罩住，穿引底托梁等工序均在上钢沉井进行施工，最后起浮是将上下钢沉井分离，吊走上钢沉井，把下钢沉井留在海里。

上钢沉井的高度选取7.2米，装载“南海 I 号”沉船的有效高度为6.15米，高度方向的余量为1.95米。下钢沉井高度的选取是根据钢沉井底部泥土抗隆起稳定性分析来确定。

对此，我们还需要做钢沉井底部抗隆起稳定性等分析。其中，钢沉井底部抗隆起主要采用两种分析方法：

- ① 计算墙体极限弯矩的抗隆起分析法及Prandtl与Terzaghi抗隆起分析法。
- ② 有限元弹塑性分析法。

本计算主要是分析当两侧开挖深达8米时引起的基坑内外基土的位移和稳定。

还有相关稳定性分析：

钢沉井分为上下钢沉井两部分，上钢沉井的高度确定为7.2米，下钢沉井的高度在方案设计中考虑5米和6米两个高度进行比选。为了在高度方向上留有足够的作业空间，泥面开挖时开挖到上下钢沉井交界面以下0.8米，也就是从原泥面起计为8米（分析时考虑到钢沉井下沉后顶部与泥面在同一平面）。

钢沉井短向间距已足够大，为14.4米，而长向两壁间距为35.7米，可以认为钢沉井壁内的土体破坏时的竖向破坏面离另一侧的钢沉井壁还很远。开挖后钢沉井壁内的土体及开挖面下的土体稳定性可参照基坑土体稳定性分析的有关方法进行。

土体均在海水面以下，因而可考虑用浮容重。由于表层淤泥只有1.50~1.80米，为简化起见，只考虑淤泥质土。

由于矩形钢沉井本身属刚性结构，因而分析重点在于通过土体稳定性分析确定出合理的嵌固深度。具体方法可采用力学分析法，即以土力学理论为基础，计算主要通过基坑底部土体的抗隆起稳定性分析来评估、确定嵌固深度。

按现有地质资料及开挖深度进行抗隆起稳定性分析，计算结果表明，开挖高度8米、嵌固深度为5.2米时安全系数为1.039~1.33。开挖高度8米、嵌固深度为4.2米时安全系数为0.995~1.06。

从钢沉井底部抗隆起稳定性分析可以看出，在比选的两个方案中，下钢沉井高度为5米时，钢沉井内部的泥土不会出现大的变化，可以满足稳定性的要求。综合考虑钢沉井下沉施工因素，选取下钢沉井的高度为5米。

据相关研究计算，钢沉井的内侧有效截面尺寸为：33米×12米，高度为：上钢沉井7.2米，下钢沉井5米。

2007年12月21日，装载着古沉船的钢沉井被打捞出水后，我们可以看到钢沉井内部的泥面基本是平的，没有出现泥面凹陷的现象，这证明钢沉井尺寸的选取是可行的。

根据土质勘探报告，确定钢沉井在高度方向采用上下钢沉井组合的方式：下钢沉井的作用主要有两个：第一，保证在钢沉井外围挖土时，钢沉井内的土不会通过钢沉井的底部流失，避免钢沉井外侧土出现隆起的现象；第二，上钢沉井外侧土开挖后，下钢沉井起着支撑和固定整个上沉井的作用。上钢沉井的作用是将古沉船罩住，穿引底托梁等工序均在上沉井进行施工，最后起浮是将上下钢沉井分离，吊走上钢沉井，把下钢沉井留在海里。

上钢沉井的高度选取7.2米，装载“南海 I 号”沉船的有效高度为6.15米，高度方向的余量为1.95米。下钢沉井高度的选取是根据钢沉井底部泥土抗隆起稳定性分析来确定的。

（2）钢沉井的结构设计。

钢沉井是整个“南海 I 号”沉船打捞项目中最重要结构件，其设计、制造、下沉和就位成功与否直接关系到整个项目的成败，它是整个水下施工的载体，下一步的考古打捞工作将紧紧围绕着该钢沉井展开。

针对本项目工期紧张、技术难度高的特点，广州打捞局集中了技术、工艺、施工等各方面的人才自行设计和制造了该沉井。该钢沉井的技术难点在于：第一，它是一个特殊的施工结构，施工中的工况相当复杂，而且整个钢沉井下沉时必须罩住“南海 I 号”沉船，其内部必须是中空的，这使钢沉井的结构设计难度很大；第二，为了最大限度地保护“南海 I 号”沉船以及文物，设计中除了要保证钢沉井的结构强度满足要求外，整个钢沉井在施工中的变形也要严格控制；第三，钢沉井下沉到位后要在钢沉井的横向安装36条底托梁并使这些梁与钢沉井形成一个整体进行受力，这在施工史上是一次大胆的创新；第四，钢沉井结构的设计必须考虑后续施工复杂的工艺，整个后续的施工均围绕着钢沉井进行，底托梁穿引架的固定、受力点、保泥板的施工、古沉船的起浮等工序都是围绕着钢沉井进行的，这使得钢沉井在构造设计上相当的复杂。

该钢沉井采用双壳板架结构，根据钢沉井在施工过程中的不同用途将其分

成上钢沉井和下钢沉井。下钢沉井5米高，它的作用是使整个钢沉井在施工过程中稳定并确保钢沉井外侧开挖后古沉船不会继续下沉；上钢沉井7.2米高，其作用是罩住整个古沉船，在水下安装的36条底托梁也将支撑在该段，最后上钢沉井将连同文物一起打捞出水面而下钢沉井将被留在海里。

钢沉井上设置的主要功能区包括：第一，3个静压区，分别位于钢沉井的中部和两侧；第二，双壳夹层的厚度为1.2米，其夹层在施工中将进行灌砂、压重；第三，16个300吨吊点，亚洲第一吊“华天龙号”将利用这16个吊点将上钢沉井以及古沉船一起吊至全潜驳；第四，千斤顶连接结构，施工中将用千斤顶在水下把底托梁穿引到钢沉井上。

“南海I号”考古打捞钢沉井总长35.7米，宽14.4米，高12.2米（其中上钢沉井高7.2米，下钢沉井高5米）。

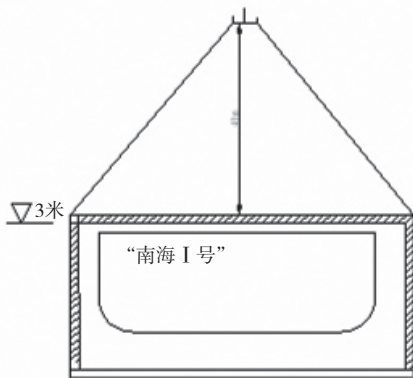
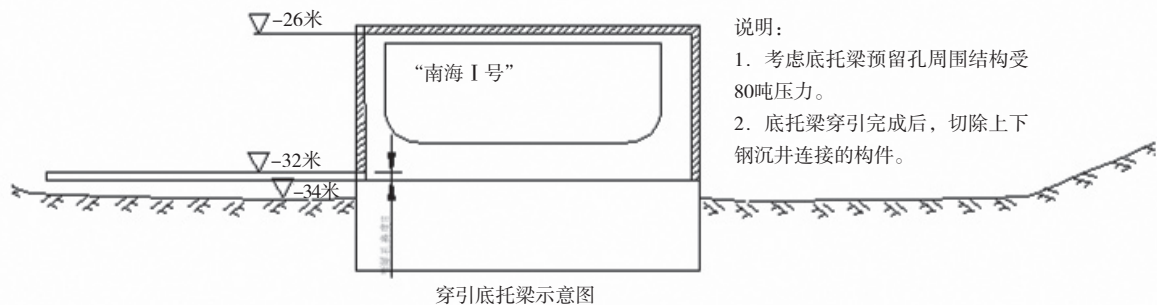
首先做好相关的工况分析。

钢沉井的主要工况如下：

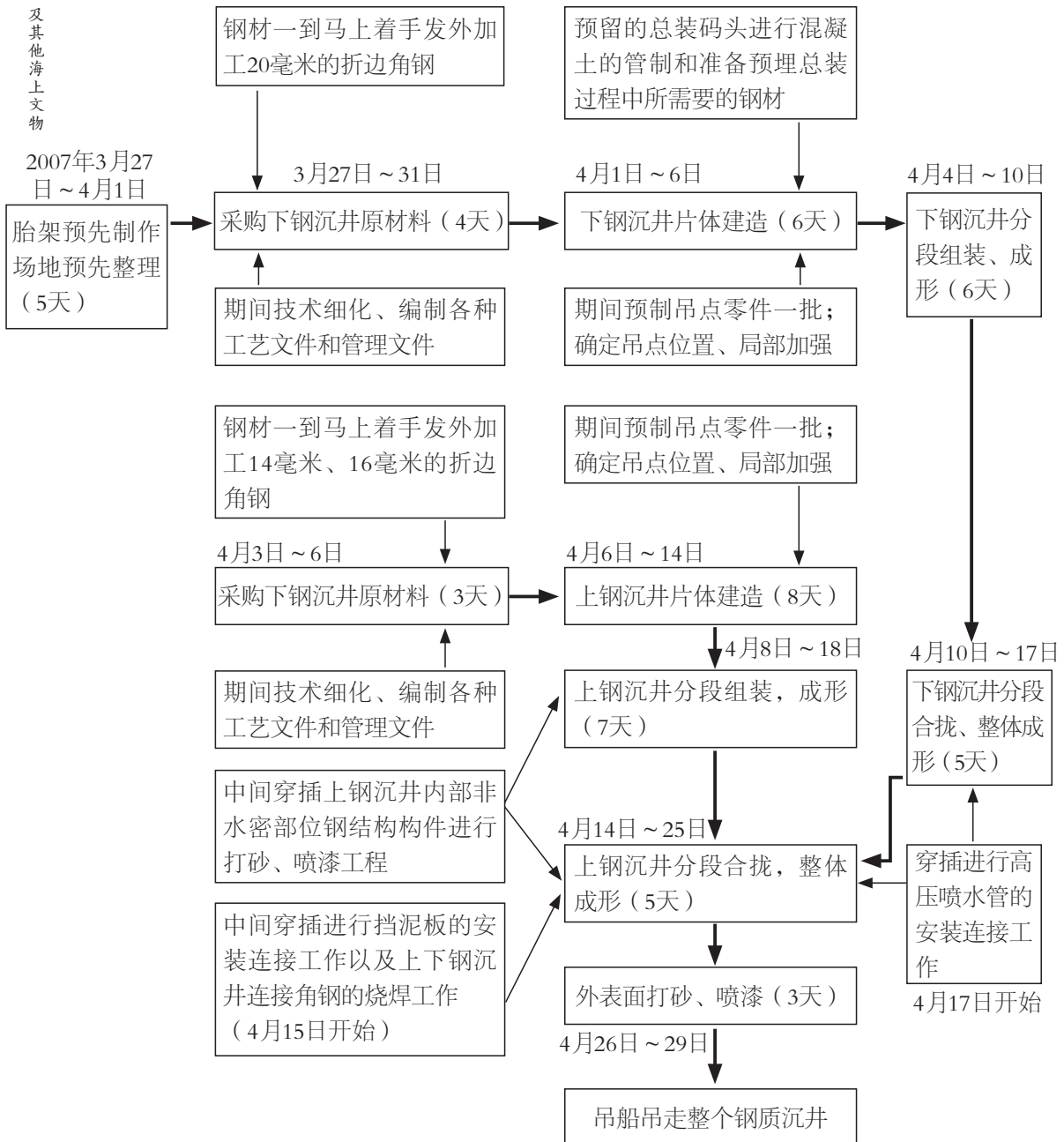
通过工况结构分析和计算（包括沉井整体下沉计算，阻沉力计算，下钢沉井结构计算，下钢沉井结构尺寸布置，下钢沉井内外侧主动土压力计算，下钢沉井水平环结构计算，下钢沉井面板及次梁结构计算，上钢沉井结构计算，上钢沉井结构尺寸布置，上钢沉井水中内侧主动土压力，上钢沉井全部出水后内侧主动土压力，上钢沉井下底梁结构计算，上钢沉井面板及次梁结构计算，上钢沉井吊耳结构计算，吊轴计算，吊耳板计算，吊耳板与壁板的连接计算等）钢沉井结构设计要满足强度要求。

其次才是钢沉井的制造。

钢沉井总重量为550吨，由广州打捞局自行制造，其制造历时仅为1个月，在工期紧张的情况下发挥出了我们打捞人的精神，克服了天气、场地等客观条件的影响，顺利制造出了该钢沉井，为“南海I号”的成功打捞迈出了第一步。



编制：唐韧坚



“南海 I 号”沉井建造时间规划图

最后还要保证焊接工艺和质量控制。

3. 凝结物清理和沉船定位

(1) 凝结物清理过程。

根据2007年2月8日的探摸情况，在“南海 I 号”沉船的表面及周围存在大量的凝结物，凝结物的硬度较大，阻碍打捞钢沉井的沉放安装。为此，需要对凝结物进行清理。本次清理的主要任务是对钢沉井下沉区域及钢沉井区域内高出泥面的凝结物进行清理，以防钢沉井在下沉的过程中受到阻碍。

首先，针对这些高出泥面的凝结物，我们做出相应的清理方案：

拟用一艘工作母船“南天柱号”，并由一艘拖轮负责拖航及现场守护。采用气升式抽泥器清除凝结物表面上的淤泥，在凝结物的底下攻打千斤洞，穿吊索，然后用起重船将凝结物吊起。施工方法如下：

1) 工作母船布锚就位。

由GPS进行现场定位后，根据现场风、流、涌浪等情况，确定布锚方案，原则为顶浪布锚，艏艉抛八字锚，锚缆长约为300米。

2) 抽泥。

潜水员下水，寻找探摸结束后留下的定位方管，顺着定位方管找到“南海 I 号”沉船右舷前方的凝结物，然后沿凝结物的边缘抽开表面的淤泥，将凝结物整体露出泥面。

3) 大块凝结物的分解。

对于面积、体积较大的凝结物，要先对其进行分解再处理。

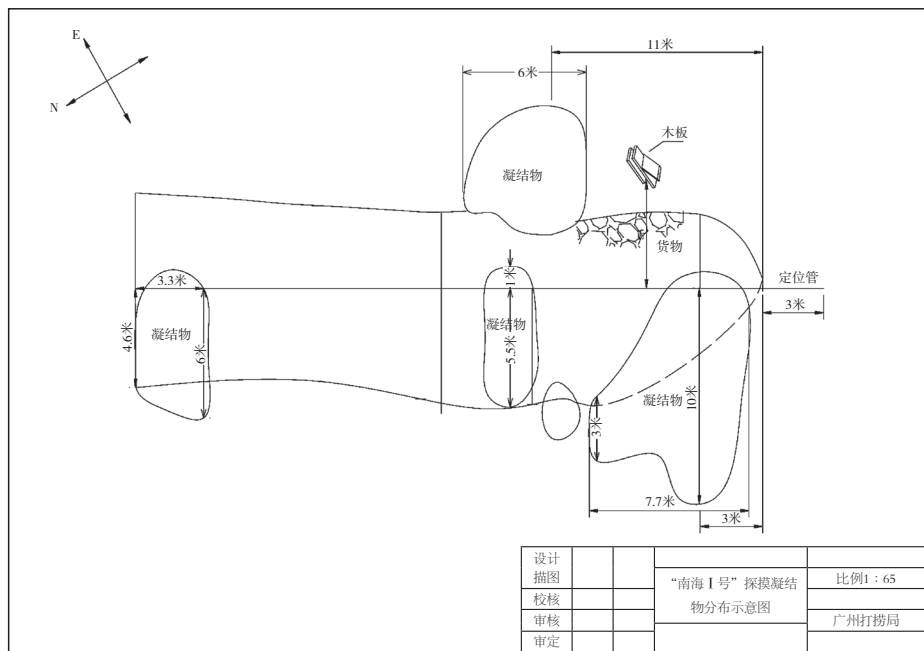
4) 攻打千斤洞。

根据凝结物的形状和大小，选择较为合适的地方作为起吊的位置，用攻泥器攻打千斤洞。当千斤洞打通后，穿引千斤吊索。

5) 起吊。

潜水员水下利用吊篮或网兜装载凝结物，捆绑加固后，起吊出水，将其放在甲板上。

其次，对古沉船及文物采取相应的保护措施。



凝结物分布示意图

在清理凝结物的过程中，我们任何施工工艺都是从古船和文物的安全为出发点，确保古船本身和文物不受到损害。

①气升式抽泥设备用支座支撑，整个座于泥面，使其不受波浪的影响。抽泥管用带钢丝的轻质透明胶管，减小对文物的损坏。

②在抽泥管出口处放置过滤网中进行过滤，以免细小文物遗失。在出水的大部分文物中，如金丝、金铜手镯、铜钱币、瓷器片等都是通过过滤网收集到的。

③清理古沉船船旁凝结物时，可采用各种方法将凝结物切成碎块，用网兜装盛，然后吊走。这样可以防止在起吊的时候碎块掉落，减少对古沉船和文物的损坏。

④制作定位框架，确定清理范围：制作了一个与钢沉井尺寸一样的框架沉放在钢沉井下放的区域，然后根据框架定位，清理钢沉井下沉区域的凝结物。

⑤为确保凝结物清理干净，在清理完凝结物以后，再要据位框架对钢沉井下放的区域进行仔细的检查，以确保钢沉井在下沉的过程中不受到凝结物的阻碍。

据探摸所知，古船的左舷旁中前方、右舷旁前方和古船艏部三个地方有凝结物。为了钢沉井的顺利沉放，务必要清除这三个地方的凝结物。而凝结物里有宋代的瓷器、铜器、铁器和古币等贵重物品，硬度很大并连成一片，要将其逐一捞起，可以说工作量和难度相当大。

2007年4月8日，“南天柱”由“穗救拖3”拖航前往现场进行凝结物的清理工作。4月9日15:30分，“南天柱”到达现场后，立即通过GPS卫星定位系统进行定位和布锚。4月10日7:30分，潜水员开始对“南海I号”沉船进行探摸，并检查上次探摸时所做的标记，从船艏到船艉中轴线的地方放两条对接的槽钢，用于潜水员在水下辨别古船的方向。经过探摸槽钢的位置没有发生位移后，接着开始清除凝结物。

4月11日11:30分，潜水员用一天半的时间，将“南海I号”沉船的第一块凝结物打捞出水，打响了“南海I号”沉船打捞工程的第一炮，也对第一阶段清除凝结物的方法有了新的突破。针对水下凝结物分布不均、厚度不一、硬度不同等特点，潜水员随机应变、开拓进取、不断创新，对不同的凝结物采取不同的清理方法，对于大块的凝结物，采取先分解再处理的措施。潜水员仅用了12天105人次入水，就将“南海I号”沉船左右舷旁的多达25吨凝结物全部清理完毕。其中，在4月18日当天就捞起约5吨凝结物，创下此次最高的纪录。

大块凝结物的分解方法：

①高压水炮冲割法。

古船船艏位置存在大面积的凝结物，而且都连成一片，正好覆盖在船体上。如果直接采取攻打千斤洞穿吊索的方法，则攻泥器有可能损坏凝结物底下的船体和文物，而且直接吊起来，凝结物本身的强度不够。根据实际情况，我们先寻找到这一大片凝结物最薄、强度最小的地方，然后用高压水炮对这个薄弱的地方水平方向进行冲击，把它分割开来。

②钢丝锯割法。

沉船船体的右侧存在大量的厚度大、体积大、硬度大的凝结物，高压水炮根本无法将其冲割开来，由于这些凝结物下不存在文物，所以我们可以采用攻打千斤洞，然后再穿引钢丝绳的方法。由于凝结的形状不规则，光用钢丝绳无法将其吊起，所以我们利用工作母船上的卷扬机绞拉钢丝绳，将大块的凝结物锯断，从而达到分解的目的。

③锄头撬割法。

在船体周围还存在大量的形状不规则，厚度大，埋泥较深的凝结物，采用高压水炮以及攻打千斤洞的方法都不适用。根据这种情况，我们现场施工人员充分发挥创新精神，发明锄头撬割法。首先寻找到这一片凝结物中，有坎、有凹的地方作为锄头的受力点，再利用甲板上的卷扬机进行绞拉，将其分割开来。

4月22日18:30分，经过施工人员12天的艰苦奋斗，克服重重困难，不断创新，将“南海I号”古船左右舷旁的凝结物全部清理完毕。

4月25~28日，我们再次利用浅剖仪对“南海I号”周边区域进行了浅地层剖面勘察，目的是为获得“南海I号”准确的型深，证实整个古沉船的船底板不超过泥面下5米，为钢沉井能完全罩住“南海I号”提供论据。同时探测古船周围的凝结物的情况，确认凝结物清理完毕。使用浅地层剖面仪和精密测深仪还可以对“南海I号”区域进行水深地形、埋藏深度、浅层地质状况等进行测量，确定“南海I号”的船体厚度、浅部地层中的地质情况等，为下一步打捞施工提供准确的第一手资料。

①导航定位。

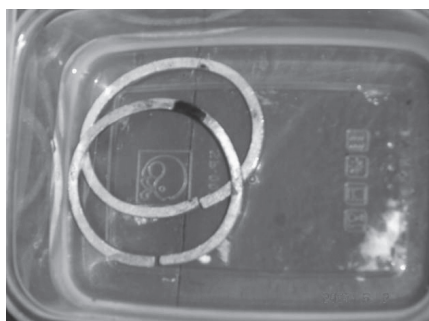
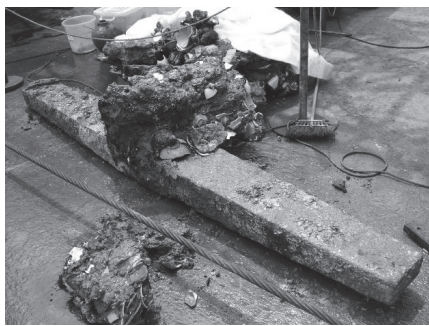
本次作业使用WGS84坐标系统。为了确保古船坐标准确，使用先进的DGPS设备定位，其精度为 ± 1.0 米。导航定位时通过导航软件与测深仪和地层剖面仪连接，实现同步定位。导航定位要连续工作，实时定位。

②地层剖面探测。

本次物探工作使用的浅地层剖面仪为美国Edgetech公司生产的3200XS浅地层剖面仪，通过换能器发射线性扫描全谱频率（例如2~16千赫兹/20毫秒）的FM脉冲，水听器中所接收到的声波回波穿过脉冲压缩滤波器，从而产生高分辨率的海底地层图像。



锄头撬割法中的锄头



清理出水的凝结物、锚碇石、金器、铜器及瓷器

③质量评述。

影响地层剖面记录质量的因素除系统性能、拖体拖曳方式、数据采集和处理参数选择外，水深条件、底质条件及海况的好坏都是重要因素。为保证良好的剖面记录质量，海上勘测选择在适宜的海况条件下进行，取得了较好的效果；但是工作时移动过慢的船速和“南天柱号”较大的起伏晃动对结果的准确性产生了一些影响。

④资料解析。

通过对“南海I号”沉船附近的浅地层剖面进行分析，“南海I号”沉船周边的地质环境为软土层，以淤泥、淤泥质黏土为主，由于存在二次反射的原因，本次浅地层测量有效探测范围约24米。

根据显示出有图像可以划分出3个连续性较好的强反射界面。界面一即海水与海底的界面，由于底质以淤泥为主，致密性不强，因此本层上半部分呈黑白相间的条理状；界面二位于海底面以下约9米处；界面三位于海底面以下约18米处，未发现不明硬质物体。

在浅地层剖面仪经过“南海I号”沉船船体时，由于船体与淤泥相比较为致密、硬度较大，其反射信号很强，并且较为均匀，大多数声波被反射的结果导致船体下方的地层被部分掩盖，沉船的厚度可以直接从剖面图上量取。

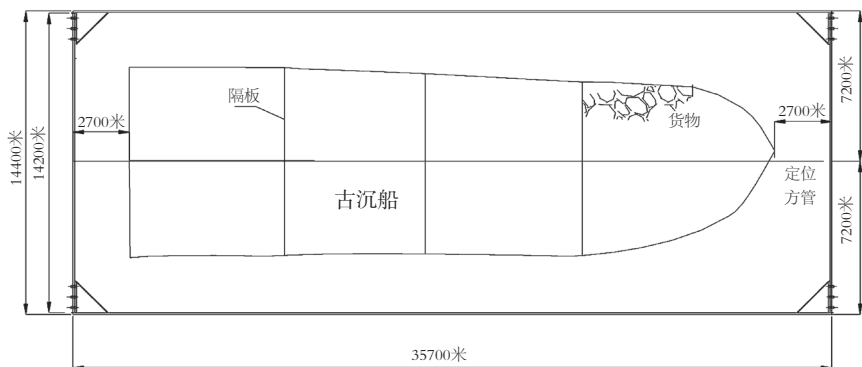
根据多次剖面探测图像上获得的沉船厚度，可以绘制船体厚度分布图，船体底部的埋泥深度多在3.5米以上，最大约5米。

（2）沉船定位。

古沉船能否精确定位，直接影响到钢沉井能否准确罩在古沉船上，这也是整个工程成败的关键。因此，我们必须认真做好古船的定位方案。

①根据探摸的结果，找出古船船头和船艉中心的位置，再利用一条长36米，截面边长为8厘米×8厘米的长管放在古沉船的中心线上，作为定位方管，以做参考之用。

②利用定位方管做一个与沉井外围相同的尺寸的框架，罩在古沉船的外围，其位置与钢沉井沉放的位置相同，两边距中心定位管为7.2米，两端距古沉船船艏船艉为2.7米。当钢沉井沉放时，可以按照定位框架的位置沉放，以确保



定位框架示意图

能将古沉船罩在里面。

③打定位桩。为了方便沉井下放，并且安放准确到位，决定在定位框架外侧打四组定位桩，每组三根。这样，在钢沉井下放的过程中，可以直接将钢沉井紧贴定位桩下放，以确保钢沉井下放又快又准。同时，为钢沉井下压过程中的平稳度提出供了保障。

1) 测量定位框架四个角的坐标。

在定位过程中，我们主要是利用GAPS和超短基线测出定位框架四个角的坐标。

5月2~4日，我们利用超短基线系统测出定位框架四个角的坐标。在钢沉井下放时，在钢沉井的四个角放上信标，只要钢沉井的四个角所显示的坐标位置与定位框架四个角的坐标位置相吻合时，钢沉井即下放到位。

①设备连接。选择GPS天线的安装位置时要考虑适合接收卫星信号，天线上方应没有遮挡物。GPS天线的安装位置应该尽量远离其他电子设备和天线（尤其是视频天线）。测深仪换能器应刚性安装于工作母船船舷，保持竖直。超短基线换能器采用法兰盘刚性安装于工作母船船舷，保持竖直，换能器应整体低于船底，保证声脉冲发射和返回信号不被遮挡。换能器安装后，使用电罗

经系统对换能器内置的罗经进行校正，记录相对误差。

②为使定位作业正常进行并取得高质量的符合技术要求的资料，设备使用之前项目负责人应对设备进行检查与调试，确保各种调查设备试验运转正常，方可在作业中使用，船长应配合项目负责人进行检验。

③由潜水员带上四个信标，将分别放在定位框架的四个要测量的点上，保持竖直，换能器应放在框架表面上，保证声脉冲发射和返回信号不被遮挡。同时，在船体某处固定换能器，换能器向水中发射声脉冲询问信号，信标接收该信号并发回收发器相对换能器的方位和距离及自身的深度，换能器接收应答信号通过超短基线主机传送给导航计算机进行处理，即可获得信标的相对位置。

2) 启用不打桩直接由“南天龙号”安装沉井的方案。

根据“南海I号”考古打捞的施工计划安排，5月6日进行打定位桩的作业，由于天气影响，现场风浪较大，我们千辛万苦租到的最大的打桩船根本无法进行打桩作业。为了满足施工要求，项目组当机立断更改方案，经过详细分析和科学论证，项目组启动不打定位桩、直接安装沉井的备用方案，即用900吨打捞起重工程船“南天龙号”替代“南洋号”，采用高精度的超短基线水下定位设备进行定位，直接进行钢沉井安装。同时，潜水员水下监控，以确保钢沉井安装精确到位。

选择该方案具有以下几点优势：

①用大的起重船进行安装，船舶吃水深，平稳度较好，可以保证钢沉井在安装过程中不会摇摆。

②使用高精度短基线定位设备定位。该设备具有三维监测功能，可以实时监测沉井下放的平衡度、水下姿态和深度，以保证钢沉井平稳下降，并精确安装到预定位置。

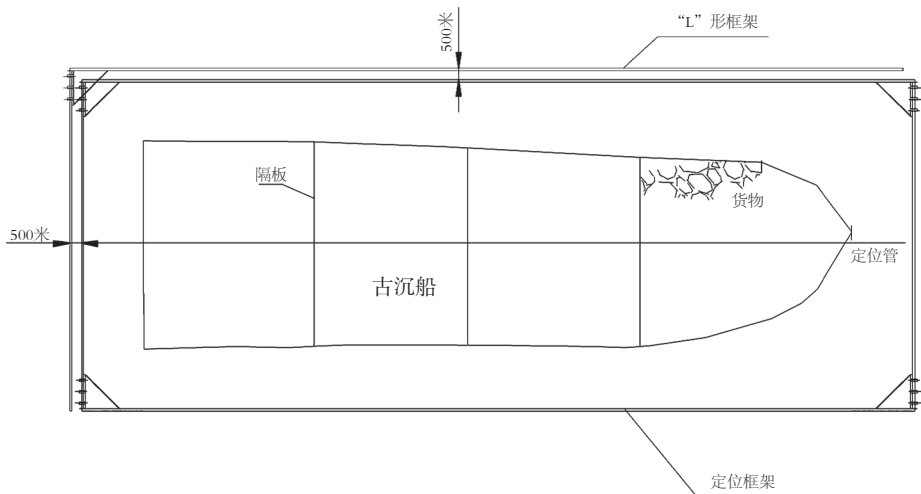
③在钢沉井接近泥面时，潜水员水下检查沉井与定位标记之间的位置。在“南海I号”的周围，事先布设好了一系列的定位标记，潜水员水下验证钢沉井位置，保证到位后下放钢沉井。

④“南天柱号”在“南天龙号”对面就位，协助拉钢沉井的两端，以克服水流的影响。

⑤选择平潮时间吊装钢沉井，尽量减小水流对安装的影响。

3) 安装“L”形框架。

5月7日，为了使钢沉井在沉放定位的过程中，潜水员在水下判断钢沉井的位置是否准确有一个参考的依据，以确保钢沉井沉放到位，我们现场又做了一个长边为36米、短边为15米的“L”形框架，放在定位框架外约50厘米的地方，这样钢沉井在沉放的过程中，潜水员只要确认钢沉井的两外距“L”形框架的两边只有50厘米，那么钢沉井的位置就已经准确了。



“L”形框架示意图

4) 事实证明，采用不打定位桩而直接由“南天龙号”安装钢沉井的方案是完全正确的，而且符合科学论据。

①采用高精度的超短基线定位设备及潜水员水下配合进行钢沉井安装精确度高，能够保证钢沉井下放到位。

②不用打桩，大大节约了时间。根据现场的情况，打每根桩所需要的时间大约在8个小时，12根桩则需要96个小时，不用桩，则节省了近4天的时间，使

工期得到了保证。

③为钢沉井周围开挖工作及穿底梁工作减少了工作量。钢沉井下放到位后，12根定位桩肯定会影响到挖泥工作和穿底梁工作，潜水员在水下切割定位桩无疑是一件很复杂的、耗费大量时间的事。不用打桩，则为钢沉井周围的开挖工作和穿底梁工作节省了大量的水下工作时间。

其中，在定位过程中主要工作人员有：

- a. 现场指挥1人；
- b. 工程师2人；
- c. 潜水队长1人；
- d. 潜水医生1人；
- e. 潜水员20人；
- f. 捞工4人；

共计（不包括各船船员）29人。

4. 钢沉井的运输、沉放

吊装的钢沉井、压重块规格及数量如下：

钢沉井：35.7米×14.4米×12.5米，重量510吨

压重块500吨：14.36米×8米×1.9米×1件

300吨：10米×8米×1.5米×1件

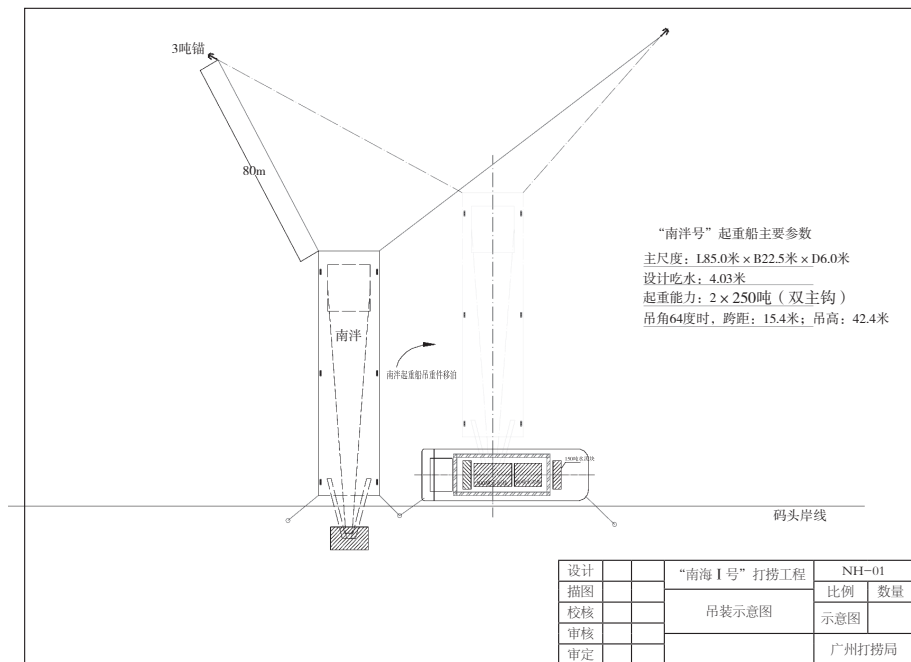
150吨：5.5米×3米×3.6米×2件

（1）拖航运输。

在5月5日前，“南洋号”及“重任201号”移船至预制场码头，“南洋号”以丁字形靠好码头，“重任201号”平靠码头。

1) 吊装索具的准备。

在“南洋号”进场前准备好本次吊装索具，吊索选用2条掌环直径78毫米×70米麻芯钢丝绳，4条掌环直径78毫米×37米麻芯钢丝绳，4条直径78毫米×30米麻芯钢丝绳，2条掌环直径78毫米×48米钢丝绳，2条掌环直径77毫米×49米钢丝绳。“南洋号”进场后，松下双主钩，进行穿挂吊索。



船舶吊装示意图

2) “重任201号”甲板面处理。

在“重任201号”装船前，先对装船位置进行放线，由于“重任201号”有梁拱的存在，需垫平重件的装船位置：用8条15.5米、8条2.5米钢板桩垫平钢沉井装船的位置并对其烧焊加固；压重块位置用枕木垫平，再用细绳拉线，用薄板垫平确保各点高度一致使得各个支撑点均匀受力。

3) “南洋号”吊装。

“南洋号”移船至将起吊装船的压重块位置就位，松下双主钩，穿挂吊索。按“重任201号”装载图装船位置先吊装压重块，再装钢沉井。吊装对应重件的吊索及挂络方法如下：

①300吨压重块。

选用2条掌环直径78毫米 × 70米掌环钢丝绳兜底吊。



吊装沉井

②300吨压重块。

选用4条掌环直径78毫米×37米掌环钢丝绳兜底吊，每2条掌环通过1个85吨卸扣连接，掌环的腰挂于“南洋号”吊钩。

③150吨压重块。

150吨压重块预埋了4个50吨吊点，选用4条直径78毫米×30米麻芯钢丝绳吊环吊，由4个50吨卡环连接。

④钢沉井。

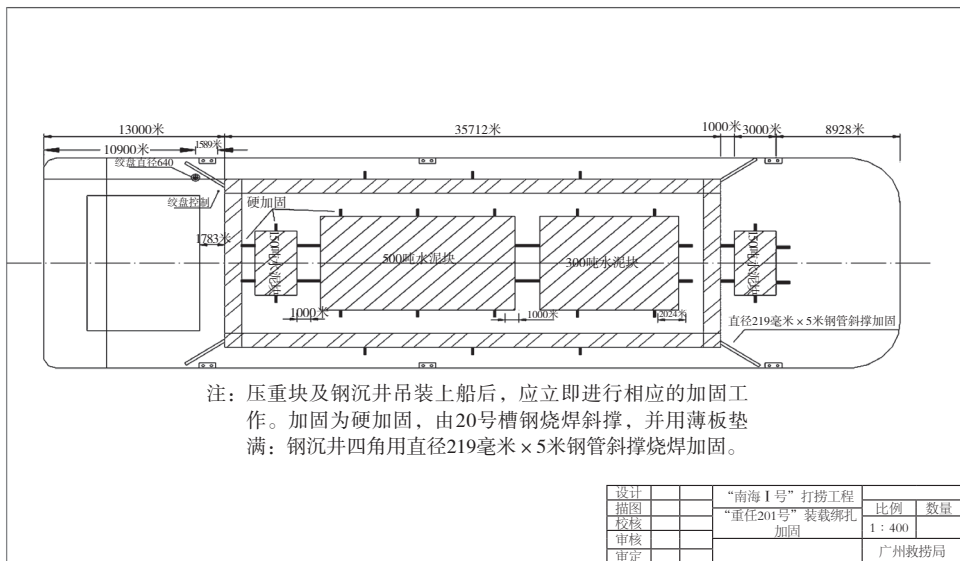
完成压重块吊装后，“南洋号”“重任201号”需移船至二船队码头就位，进行钢沉井吊装。钢沉井吊装选用其靠中间的4个300吨吊耳，由2条掌环直径78毫米×48米钢芯钢丝绳，2条掌环直径77毫米×49米钢芯钢丝绳折双吊装，销的直径为220毫米，2条掌环直径78毫米×48米钢芯钢丝绳用150吨卡环与钢沉井连接。

4) 重件在“重任201号”的绑扎加固。

压重块及钢沉井吊装上船后，应立即进行相应的加固工作。压重块和钢沉井采用硬加固，加固材料为20号槽钢和直径219毫米圆管。

通过计算，钢沉井吊装和压重块吊装各种系数符合工程要求。

5月6日，压重块及钢沉井吊装上“重任201号”后，立即进行相应的加固工作。5月14日，“拖1号”拖“重任201号”从小洲基地出发。5月16日13:30分



加固示意图

到达“南海 I 号”打捞现场。

(2) 定位。

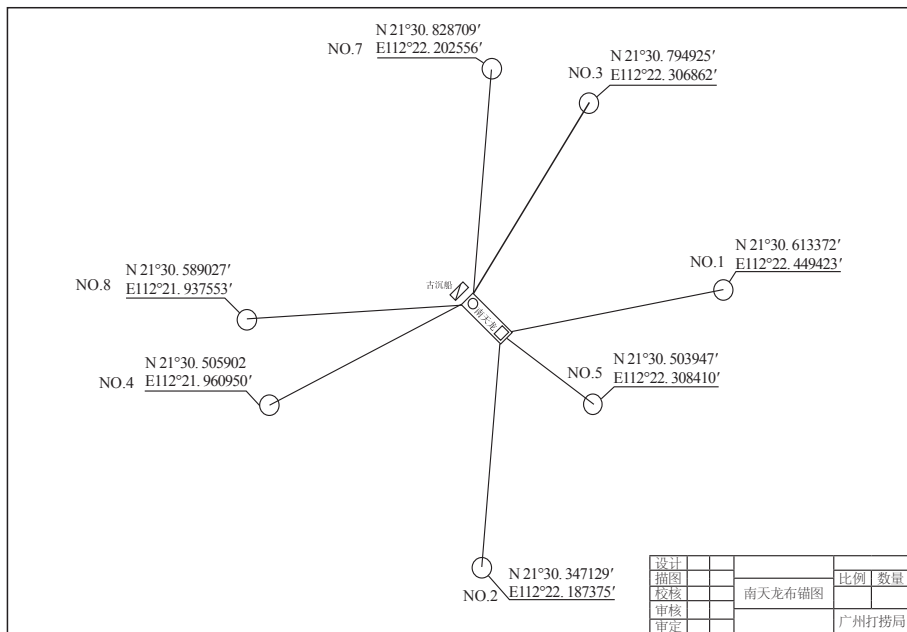
5月16日7:30分，“德鹏号”拖900吨浮吊“南天龙号”到达“南海 I 号”现场。9:30~13:00分，“德鹏号”协助“南天龙号”抛锚就位。同时“拖3号”协助“南天柱号”就位。

根据“南海 I 号”沉船定位框架四个角的大地坐标，转换出其相应的平面坐标，再根据平面上其相对位置画出“南天龙号”的锚位及锚标。

本次“南海 I 号”打捞定位工程，将采用先进的海洋导航定位设备（主要为DGPS、电罗经、超短基线和声速计等）为“南天龙号”进行实时定位、监控，指导“南天龙号”对钢沉井的下沉进行操作，以保障钢沉井能顺利下放。

现场作业应能达到下列要求：

- ①采用先进的DGPS定位系统设备。
- ②采用超短基线，实时获得钢沉井四个顶角的位置和水深。
- ③采用先进的资料采集和导航系统，实时监控并指导下沉工作。



在完成设备的准备和调试后，开始导航定位和数据记录工作。计算机导航屏幕上图形化显示工作船的具体位置、坐标、航向、速度、偏移距离、水深等数据，引导工作母船到达指定位置，并抛锚固定，随时提供母船的准确方位和坐标。

在仪器工作过程中，仪器操作人员将保证仪器和设备处于最佳工作状态，记录下定位中的各项参数，并记好作业班报，对可疑点随时进行现场记录。

每次定位开始和结束时应填写起始时间和结束时间；在定位过程中应正确记录清晰定位点号及现场所遇特殊情况；记录每天的工作量，并签上操作员的姓名。在定位过程中技术负责人应对各种定位资料及时检查。在作业期间，每隔一段时间对仪器设备和定位参数进行检核。

在钢沉井下放的过程中，由于整个过程基本在水下操作，许多传统的测量仪器均不起作用，我们将利用超短基线对钢沉井进行定位；在下压的过程中，我们利用GAPS姿态仪对钢沉井的状态进行24小时的监控，以保障钢沉井能平稳

地下沉到位。

①预先将四个充满电的信标分别固定在钢沉井的四个上角点，同时将GAPS姿态仪事先安装在钢沉井壁内。

②量取四个信标的安装位置，安装时尽量保持高度一致。

③超短基线换能器安装选择：工作母船“南天龙号”设计吃水起重作业时为4.5米，按超短基线换能器吃水8米计算，由于钢沉井高度约为12米，则在钢沉井底部深度为20米以下时，超短基线无法工作。这段时间，钢沉井的详细坐标、方向、深度、倾斜状态等都无法在计算机屏幕上显示。如果超短基线换能器安装在靠近“南海I号”一侧，则换能器吃水可调整为2米，即在钢沉井底部深度为14米浅时，超短基线无法工作。

④起重臂将钢沉井慢慢下放，结合DGPS定位信号和方向桩腿，慢慢调整钢沉井方向，钢沉井慢慢入水，在钢沉井顶端（即安装超短基线信标的部位）高于超短基线换能器的时候，超短基线换能器无法和信标进行通信。

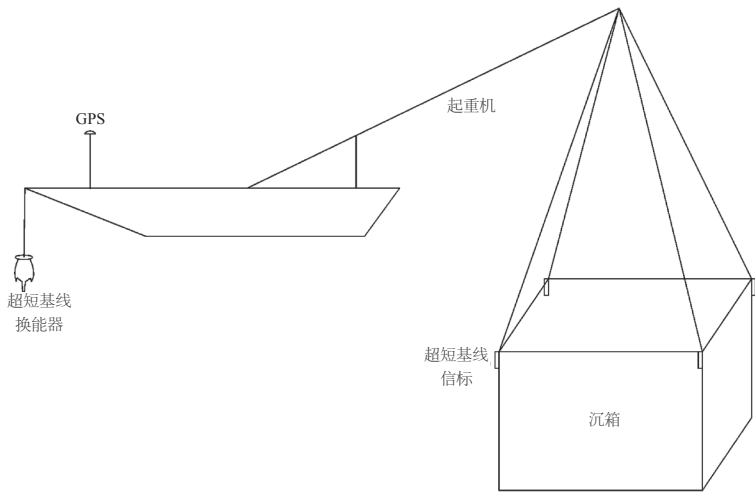
⑤超短基线定位检测：当钢沉井顶端低于超短基线换能器的时候，超短基线换能器可以和信标进行通信。在钢沉井顶部入水大于2米后，收发定位以及高度信号。

⑥实时显示：在工作时计算机屏幕上能够实时显示钢沉井四个角点的准确位置和深度。这个时候，根据定位框架四个角的位置及“南海I号”的实际方位角度，慢慢调整钢沉井方向，使之完全一致。

⑦当钢沉井出现倾斜和移位时，倾斜大于0.2~0.3米、位移大于0.3~0.4米时，可以及时提醒吊臂操作员调整吊缆，使钢沉井恢复平衡。当钢沉井位置、方位、平衡性调整合适后，慢慢下放，使钢沉井接触海底。

⑧在下放过程中，根据实时水深和水下信标三维位置计算钢沉井底部距海底的准确高度。

⑨钢沉井入泥后，钢沉井顶部放置多块巨大的混凝土重块以便钢沉井下沉。钢沉井在下沉过程中，计算机屏幕实时显示钢沉井四个角点的准确位置和深度，如果出现倾斜，及时通知操作人员调整混凝土重块位置，使钢沉井恢复平衡。



仪器工作示意图

我们考虑到定位中可能存在的问题并提出相关的解决方案。

①可能存在的问题：由于超短基线换能器覆盖范围为下方 $\pm 90^\circ$ 度，因此在沉箱顶部高于超短基线换能器或未入水时，超短基线无法获得沉箱的准确坐标、方向、倾斜等数据。

解决方案：利用DGPS解决钢沉井的定位，并结合潜水员水下定位，可以在沉箱顶部低于超短基线换能器时准确地对钢沉井进行调节。

②可能存在的问题：超短基线信标电池可持续使用的时间一般为28小时。

解决方案：如果作业时间过长，需要潜水员取回信标进行充电后，重新安装使用。

③可能存在的问题：由于水下信标的安装位置会被吊缆或钢沉井遮挡，超短基线的数据可能会出现跳动，

解决方案：应等数据稳定后，再继续操作。

④可能存在的问题：在钢沉井下放或升起过程中会在海水中造成很多气泡，影响声脉冲传播。

解决方案：吊机操作员操作时应尽量缓慢。

⑤可能存在的问题：如果作业时海浪较大，浅海海洋噪声对超短基线探测的精度有一定影响。

解决方案：吊机操作员操作时应尽量缓慢，密切关注定位状况。定位软件加入定位滤波，自动剔除粗差数据和噪声滤波。

⑥可能存在的问题：在钢沉井下放前和升起前，都会对沉船位置进行冲泥，导致海水混浊或产生较厚的浮泥，使超短基线和测深仪无法工作。

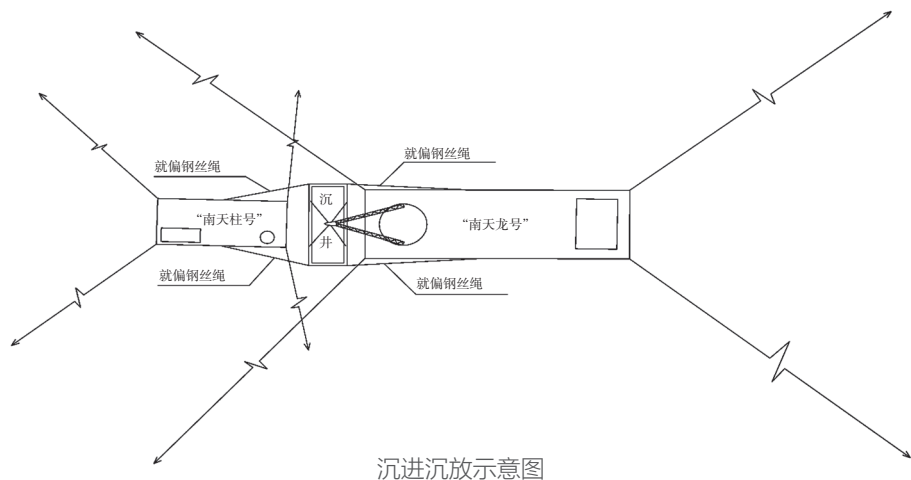
解决方案：应进行人工冲刷或等待条件允许后，再继续工作。

⑦可能存在的问题：钢沉井入泥后，钢沉井顶部放置多块巨大的混凝土重块以便下沉，在这个过程中，可能会对水下信标造成损坏，或对信号造成遮挡。

解决方案：在预安装时采取保护措施，防止水下信标造成损坏。

（3）沉放过程。

5月16日17：00分，“南天龙号”“南天柱号”以及“重任201号”分别就位完毕。“南天龙号”做起吊前的准备。



5月17日13：00分，定位设备连接调试完毕，“南天龙号”安装钢沉井的所有准备工作就绪，并开始起吊安装。14：00分，钢沉井开始入水，同时启动超



“南天龙号”起吊钢沉井前

短基线和GAPS对钢沉井进行定位与监控，时刻了解钢沉井沉放的位置、深度、平衡状态。16：30分，钢沉井距泥面约50厘米时，2名潜水员下水，根据“L”形框架的位置来确认钢沉井的位置是否准确。17：10分，钢沉井定位准确，顺利入泥。

根据地质勘察报告，海底土质为淤质土，取其内摩擦角为7.4度，黏结力为8.5千帕。船载瓷器的浮重度取为13千牛每立方米，约占钢沉井内容物体积的1/3，其余内容物（主要是淤泥质土）的浮重度取为8.4千牛每立方米，因此钢沉井内容物的平均浮重度为9.93千牛每立方米。

根据地质勘探资料进行分析、计算，钢沉井下沉到位所需的最大静压力约为1800吨。

5月17日17：00分，钢沉井沉放位置准确，顺利入泥。17：30分，灌沙船运载约400吨沙到达现场，开始对上钢沉井进行灌沙。为了防止钢沉井倾斜，在灌沙的过程中，“南天龙号”的双钩始终保持有50吨的力。5月18日15：30分，400吨沙全部灌入上钢沉井中，沉井入泥约4米。5月19日01：00分，上钢沉井灌沙灌满，03：00分，“南天龙号”解钩，钢沉井入泥约5~5.5米。截至此时，

所有静压的水下重量已达到约1000吨。



给钢沉井壁内灌沙

5月24日11:30分，“南天龙号”起吊500吨的水泥压块压在钢沉井上，钢沉井入泥约6~6.5米。5月25日12:00分，“南天龙号”将1个500吨、1个300吨、2个150吨的压重水泥块静压在钢沉井上。到1800吨时，继续对下沉灌沙。5月26日21:30分，下钢沉井所有舱室已经灌满。沉井入泥约8.5米。此时，所有静压的水下重量已达到约2200吨。

按照泥质勘探的结果，钢沉井下沉到位大约需要的静压的水下重量约为1800吨。而事实证明，泥土比勘探的结果要黏、要硬，为了保证钢沉井下沉到位，项目组现场决定，在钢沉井结构允许的情况下增加钢沉井上的静压重量。

①校核钢沉井的结构强度。

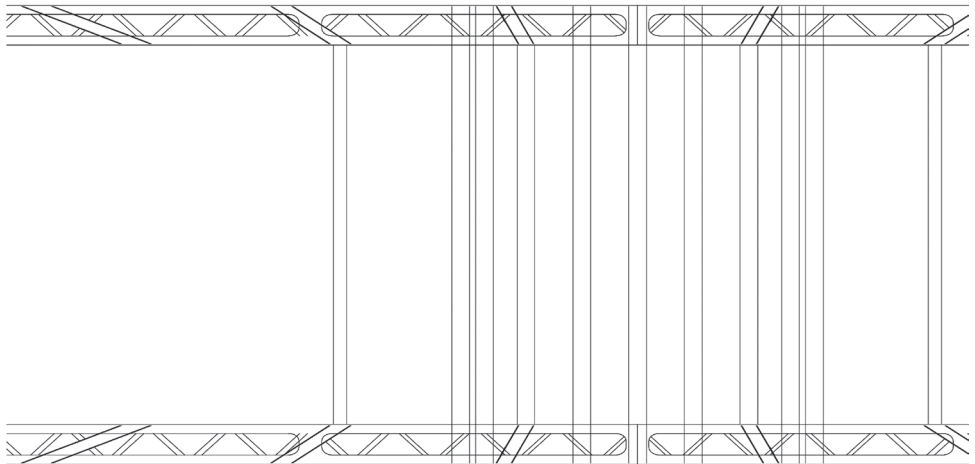
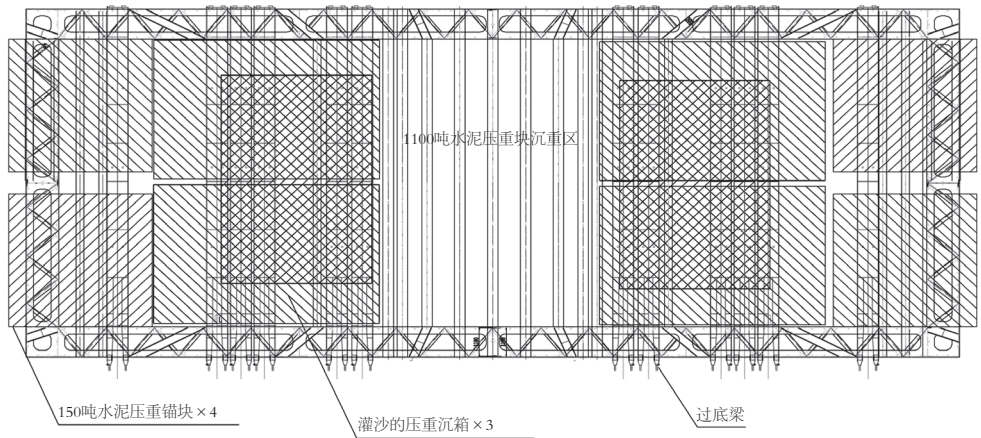
②让底托梁横跨在钢沉井上面，作为承受钢沉井静压的横梁。

③用制作码头的水泥沉箱作为静压块，每个沉箱的重量约为300吨，水下重量约为180吨。

④可对水泥沉箱里灌沙，以增加其静压的重量。每个沉箱可装载沙的水下重量约为120吨。

⑤利用水泥锚块作为静压块，每个水泥锚块约为150吨，水下重量约为90吨。

⑥钢沉井上压重沉箱及水泥锚块的摆放位置如下图所示：



静压压重块分布示意图

5月30日至6月14日，“南天龙号”共安装6个压重沉箱和4个水泥锚块到钢



“南天龙号”吊水泥压重块静压

沉井上，并且每个压重沉箱里都灌满沙。钢沉井入泥约10.5米，比方案中还相差1~1.5米。共计静压的水下重量约为4400吨。

（4）四周挖泥下沉。

根据浅剖仪探测的结果，古沉船的底部大约在泥面下5米的位置，而上钢沉井的高度为7.2米，如果在钢沉井下沉到10.5米时就开始穿底梁，那么，过底梁有可能穿烂沉船的船底。以钢沉井的结构强度计算，不可能再增加静压力，在这种情况下，项目组经过讨论，决定采取先进行下一步工作，即开始钢沉井四周的开挖工作。先进行挖泥工作具有以下优点：

- 1) 钢沉井下沉所需要的静压力，远远大于计算所需的静压力，现在无法下沉到位，最大的原因就是泥土的黏性太强、太硬，导致下压过程中与钢沉井的静摩擦力太大，阻碍了钢沉井的下沉。在保持静压力的情况下，先挖泥可以使钢沉井外围与泥土的摩擦力消除，减小钢沉井整体的下沉摩擦阻力，从而使钢沉井下沉。

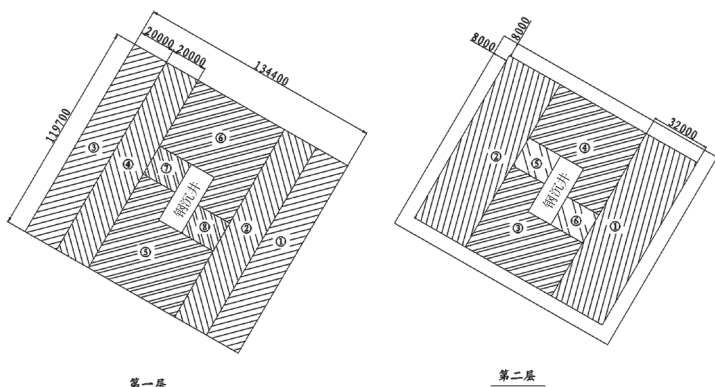
- 2) 因为穿底托梁工作的需要，钢沉井两侧的泥面必须低于钢沉井面8米，

因此也需要对钢沉井的四周进行挖泥。

3) 提前挖泥, 可以不用担心钢沉井下沉到位后再挖泥会使钢沉井继续下沉的问题。

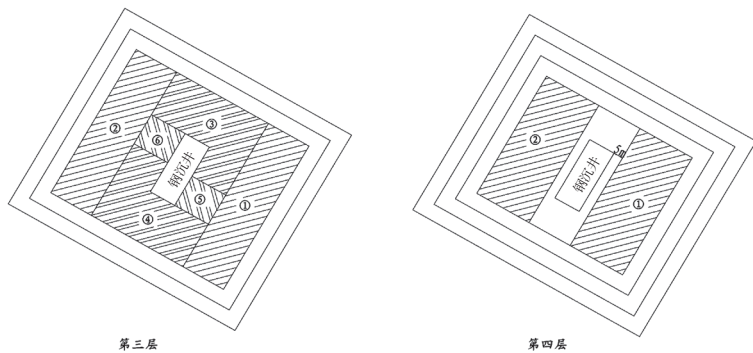
①挖泥的要求。

在保持钢沉井上3700吨的静压力的情况下挖泥, 要保证钢沉井能够平稳。为了使钢沉井不发生倾斜, 要求钢沉井的2个长边挖泥的深度为8米, 两边的挖泥深度为6米。钢沉井左右两边开挖的宽度各为25米、前后各为10米, 成梯形, 具体如下图所示。



注: 每挖一层, 长短边减小16米。

第一层、第二层挖泥示意图



注: 1. 第三层钢沉井周围20米范围内将用姿态仪进行全程监控。

2. 第四层钢沉井长边5米范围内和短边将不挖泥。

第三层、第四层挖泥示意图

②挖泥方案。

挖泥船是采用先进的18立方米抓斗挖泥船，用北京54坐标系DGPS定位系统，可根据潮汐的变化来定深挖泥。

a. 测量钢沉井的四个角的坐标位置，挖泥船通过定点抛锚就位，同时通过显示屏显示出抓斗挖泥的位置。

b. 有测量船通过声呐测水深，可以测量钢沉井周围的泥面的高度，作为挖泥深度的参考依据，同时也可以测量出钢沉井表面与周围泥面的高度差。

c. 挖泥船根据潮汐的变化，把握好挖泥的深度，一层一层地挖深，每一层深度为2米，共分4层。

d. 做好标尺，每挖一层泥，潜水员下水检查钢沉井的状态以及了解钢沉井下沉的情况，并随时做好调整钢沉井上静压力的准备。

③对钢沉井的保护措施。

在挖泥过程中，为了防止钢沉井倾斜或者倒踏，项目组在设计挖泥方案的同时也制定防范措施。

a. 在挖泥的过程中，时刻通过GAPS姿态仪来监控钢沉井的动态，确保钢沉井平稳。

b. 挖泥船采用高精度的DGPS定位，保证每一抓斗抓泥的位置与设计的一样，特别是到了钢沉井周围，防止抓斗与钢沉井碰撞而损坏钢沉井。

c. 每一层挖泥的顺序均由外向内，并且要对称挖泥，防止侧压力而导致钢沉井倾斜。

④挖泥过程。

6月19日，挖泥船“金健号”（拖轮“航锋1号”和2艘泥驳船）船组到达“南海I号”现场。6月20日晚，在做好准备工作后，开始挖泥。经过10多天的连续作业，在通过姿态仪和施工人员特别是潜水员的24小时监控下，不断地对钢沉井的状态进行探摸及监测，确保了整个钢沉井在开挖过程中的安全。2007年7月5日，挖泥工作顺利完工，共挖了约7万立方米的泥。



挖泥船正在挖泥

(5) 四周抽泥下沉。

经过大型抓斗船10天的挖泥作业，7月5日已开挖到泥面下8米，即满足穿底梁作业的开挖深度，经仪器监测和潜水员水下检查，钢沉井标高依然如故，没有达到穿引底托梁的设计深度，还必须采用相应的措施使得钢沉井下沉。

根据以上情况分析，钢沉井外壁的摩擦阻力已基本克服，钢沉井不能继续下沉的原因是在钢沉井底端遇到了含泥沙层，端部承载力很大。项目组决定采用气升式抽泥方法抽除钢沉井刃脚的泥层，从而减小钢沉井端部泥土的承载力，使钢沉井下沉到位。为此，广州打捞局增派500吨起重打捞工程船“南洋号”进场，协同“南天柱号”采用大口径的气升式抽泥设备进行抽泥。在抽泥过程中，采取对称抽泥，加强监测，使钢沉井均衡、平稳下沉。我们做了以下准备：

①“南洋号”和“南天柱号”分别在钢沉井的右侧和左侧就位。“南洋号”负责对钢沉井的右侧抽泥，“南天柱号”负责对钢沉井的左侧抽泥。

②“南洋号”采用16寸抽泥管，“南天柱号”采用10寸抽泥管分别对钢沉井的两侧同时进行抽泥，使钢沉井两侧刃脚的泥层能够同时被抽除，从而能够保证钢沉井能够左右平衡下沉。

③在抽泥过程中，抽泥管上用油漆做标记，保证抽泥的深度在泥下11

米左右。

④先将2条抽泥管集中抽钢沉井尾部淤泥，待钢沉井尾部到位后，再用同样的方法抽钢沉井首部淤泥，使整个钢沉井缓慢下沉到位。

⑤在抽泥的过程中，姿态仪GAPS对钢沉井的状态进行24小时监控。在钢沉井发生横倾的时候，通过改变抽泥的位置及时地调整，以确保钢沉井能够平衡下沉。

经过10天的24小时作业，钢沉井尾部缓慢下沉，7月12日钢沉井尾部下沉到位，入泥约11.5米。

7月24日，钢沉井首部下沉到位，入泥约11.5米，达到我们设计的下沉深度。经过76天的努力奋战成功突破了“南海I号”考古打捞工程的第一道难关。



“南洋号”和“南天柱号”同时抽泥

(6) 清理静压块。

在钢沉井下沉到位后，为使钢沉井不再继续下沉，项目组决定以最快的速度清理走钢沉井的压重水泥块、压重沉箱、压重锚块等。7月25日，500吨浮吊“南洋号”开始对钢沉井上的压重块进行清理，7月30日，所有的压重块清理完毕。同时，通过卸沙孔开始对钢沉井的上沉井进行卸沙、减载。

5. 底托梁的穿引

(1) 底托梁的构造和结构设计。

底托梁的穿引是“南海 I 号”沉船打捞工程中关键工序之一，也是整个工程中施工难度最大的环节，且底托梁的穿引工期也是制约整个工期的关键。该海域受风浪和水流等影响比较大，且在31米水深处能见度几乎为零，在这种海况下进行“海底穿梁”，史无前例，难度相当大。该工序中潜水作业的次数最多，对潜水员的要求最高，潜水作业的难度也是最大的。

“南海 I 号”沉船打捞工程中底托梁的结构设计具有其多方面的特点。

1) 独特的岔口设计。

在底托梁的设计阶段，结合钢沉井的结构特点，对底托梁的结构形式进行了多方面的讨论和研究，底托梁的结构形式关系到下一步保泥板的穿引问题，最终选取了独特的岔口结构，是为了便于下一步保泥板的穿引。钢沉井在结构设计上，将钢沉井顶梁与底梁的立柱连接设置在底托梁岔口中间，梁与梁之间无须设置立柱，使保泥板穿引利用最简便的锚机绞拉方法即可完成。

2) 底托梁的拉引设计。

底托梁的拉引对轴线的要求非常高，在15米的拉引过程中，轴线偏差必须控制在10厘米以内，才能保证底托梁的穿引成功。利用千斤顶拉引底托梁，轴线偏差较小。

底托梁拉引所需拉力为52.3吨，在拉引过程中底托梁的受力结构和构件设计如下：

- ①出于底托梁的拉力点大于2倍安全系数的考虑，每个拉力眼板设计拉力为70吨。
- ②卸扣本身的安全系数已达到4倍，考虑到卸扣尺寸对拉引难度的影响，所以卸扣不宜选择过大，卸扣选取了35吨竖琴卸扣，拉力和尺寸均能满足拉引的要求。
- ③千斤顶为整个底托梁拉引工序的关键设备，且潜水员需在千斤顶架内工作，故千斤顶和千斤顶架的安全系数更重要，每个千斤顶设计的安全拉

力为70吨，保证了结构和施工安全。

④拉引掌环为钢丝绳厂家特别定购产品，厂家试验的破断力达到120吨，达到了该工程的设计要求。

3) 底托梁的水密设计。

底托梁采取水密设计，减轻底托梁的水下重量，有利于潜水员的安装，减轻了整体起吊装船的重量。

4) 底托梁的倒退设计。

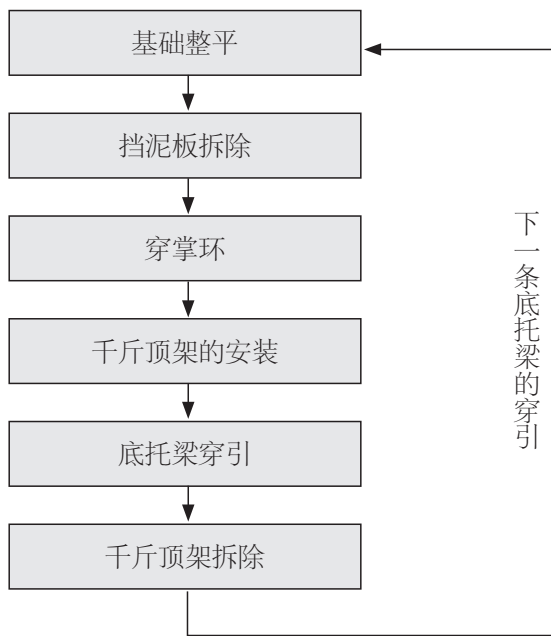
底托梁在穿引不顺利的情况下，必须倒退出钢沉井。底托梁上设置螺栓安装孔，并设计了2个50吨顶推千斤顶，利用顶推连接箱梁进行连接，在拉合千斤顶不够拉力的情况下，也可以协助拉合千斤顶一起穿引，使底托梁进退自如。

底托梁的结构尺寸为15059毫米×825毫米×450毫米，底托梁照片如下图所示。



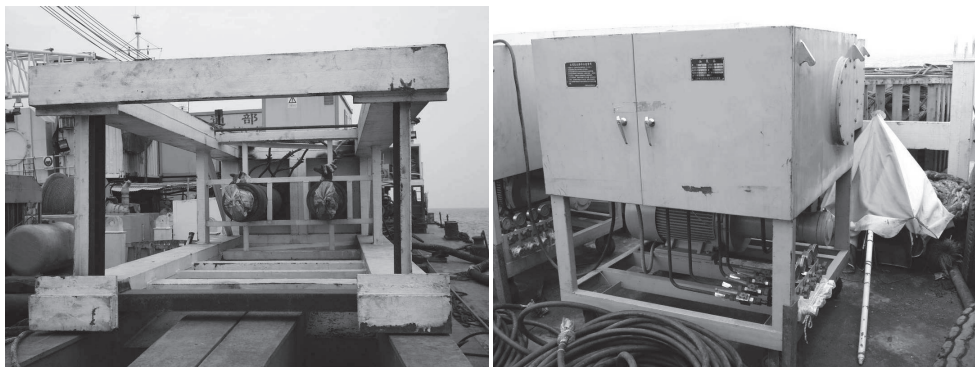
底托梁

底托梁的穿引工艺流程：



拉合千斤顶照片：





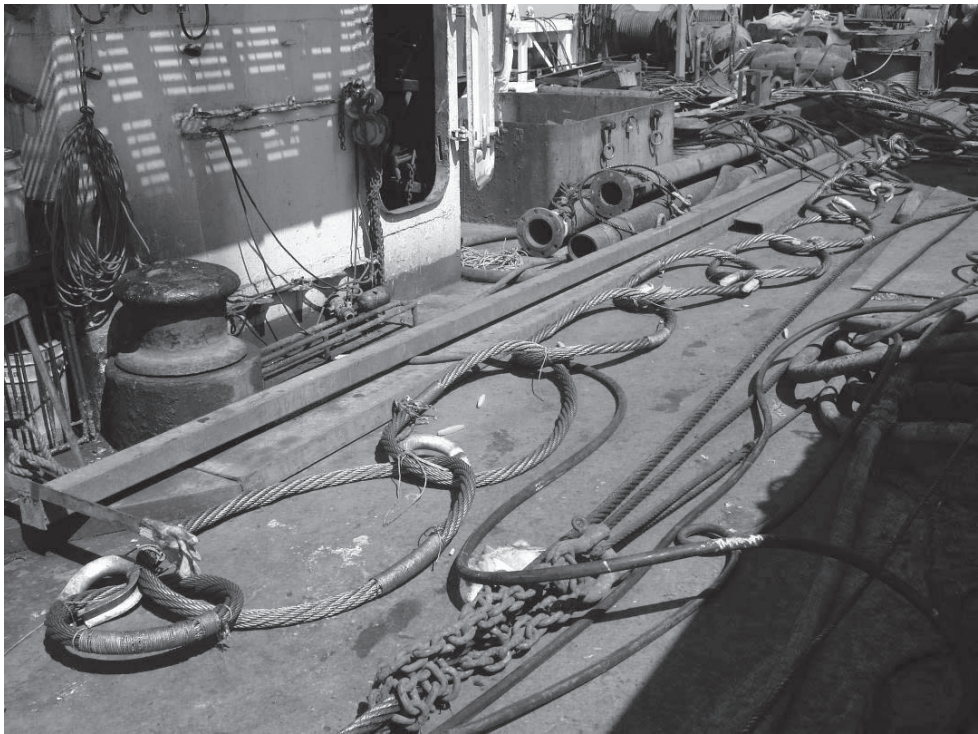
顶推连接箱相关照片：



5) 其他设备照片。

①拉合掌环。

底托梁在穿引过程中使用的拉合掌环，采用直径46毫米钢芯钢丝绳。



②钢丝绳导向架。

拉合掌环在穿引过程中使用的导向架。



③浮袋。

千斤顶架安装和底托梁穿引过程中使用的浮袋，有3种规格：500千克、1000千克和2000千克。



(2) 底托梁穿引施工过程。

底托梁的穿引从8月23日开始，11月13日结束，总工期82天。底托梁安装时间表如下：

梁号	开始安装时间	完成时间	梁号	开始安装时间	完成时间
1	8月23日	9月3日	12	10月11日	10月12日
2	9月3日	9月12日	13	10月12日	10月13日
3	9月13日	9月16日	14	10月13日	10月16日
4	9月16日	9月18日	15	10月16日	10月17日
5	9月18日	9月19日	16	10月17日	10月18日
6	9月19日	9月21日	17	10月18日	10月19日
7	9月27日	9月28日	18	10月19日	10月20日
8	9月28日	9月30日	19	10月20日	10月22日
9	9月30日	10月1日	20	10月22日	10月22日
10	10月7日	10月9日	21	10月22日	10月27日
11	10月10日	10月11日	22	10月27日	10月28日

续表

梁号	开始安装时间	完成时间	梁号	开始安装时间	完成时间
23	10月28日	10月29日	30	11月7日	11月8日
24	10月29日	10月31日	31	11月8日	11月9日
25	10月31日	11月3日	32	11月9日	11月9日
26	11月3日	11月4日	33	11月9日	11月10日
27	11月4日	11月5日	34	11月10日	11月11日
28	11月5日	11月5日	35	11月11日	11月12日
29	11月5日	11月7日	36	11月12日	11月13日

底托梁的穿引过程是以大量潜水作业为基础的，整个穿引过程共潜水2016人次，最多在船潜水员达到53人，底托梁的穿引工作占据了整个工程67%的潜水作业量。

在底托梁穿引的开始阶段遇到了几方面的问题：

- ①千斤顶架安装难度较大，安装时间较长。
- ②底托梁在穿引过程中，轴线不对正，无法穿引到钢沉井对面梁孔。
- ③底托梁在穿引过程中，阻力较大，原先设计的喷水管喷水力度不足。
- ④底托梁的梁头卸扣插销容易被钢沉井内壁阻住，导致底托梁穿引失败。
- ⑤拉合掌环之间通过卸扣连接，卸扣尺寸较大，穿引阻力较大。
- ⑥底托梁部分进入对面梁孔后，底托梁上下轴线有10厘米左右偏差时，底托梁的变截面斜位与钢沉井内壁贴死，阻力太大，拉合千斤顶拉力不足。
- ⑦使用浮袋协助安装千斤顶架和底托梁的过程中，有突然浮起的危险，对潜水员的安全构成极大威胁。

相关解决方案：

- ①对千斤顶架横梁进行改装，将横梁厚度变薄，有利于千斤顶架的安装。
- ②底托梁重新配置喷水管，并设置向上和向下喷水，既有利于减少底托梁上下的间隙，也有利于调整底托梁上下轴线。
- ③底托梁设置沿前一条底托梁的侧向喷水管，使底托梁能沿着前一条底托梁侧面穿引，有利于调整底托梁的左右偏移。
- ④安装限位架，有利于减少底托梁的左右偏移。

⑤将底托梁的梁头卸扣插销直接焊接，减小插销和钢沉井内壁阻住的可能性。

⑥拉合掌环之间取消卸扣连接，重新定做互相连接的拉合掌环，并用重型“马眼”连接，使得底托梁穿引过程很顺畅，同时提高了水下作业的效率。

⑦底托梁的变截面斜位贴住钢沉井内壁，拉合千斤顶拉不动的情况下，在钢沉井梁孔安装钢凳子。

⑧在千斤顶和底托梁的尾部挂一个500千克左右的锚链，防止千斤顶架和底托梁的突然浮起。

⑨改进措施的相关照片如下所示。



改良后的千斤顶横梁



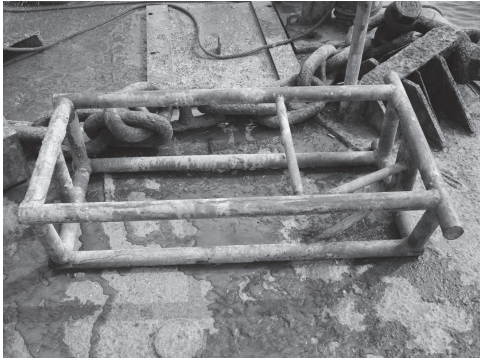
底托梁梁面增加的喷水管



喷水管的向上和向下喷头



喷水管的侧面喷头



底托梁安装过程中使用的限位架



穿引过程中使用的钢凳子



千斤顶架和底托梁在安装过程中均使用的锚链

2007年8月23日开始穿引第一条底托梁，第一条底托梁从古沉船的船艏位置穿起，但底托梁穿引到钢沉井对面梁孔后，底托梁上下轴线偏差较大，底托梁未能穿引成功，第一条底托梁经历了“三进二出”，最终未能穿引成功。经项

目组研究后，决定改良底托梁，在梁面重新布置喷水管，设置上下喷水头调节上下轴线，并从沉船船头位置第一条底托梁穿起。9月3日第一条底托梁终于穿引成功，共历时12天。

9月3日，第二条底托梁开始穿引，当底托梁穿引到对面钢沉井梁孔后，底托梁出现了左右轴线偏差的问题。项目组对出现的新问题做了进一步的研究和讨论，决定在底托梁上布置侧面喷水头，并安装限位架，通过再次的改良后，底托梁穿引的轴线偏差问题基本上得到解决。

在底托梁的穿引过程中，千斤顶架的安装始终制约着整个穿引时间，如何有效地减少安装时间成为工程技术人员和施工人员共同研究的课题。工程技术人员对千斤顶架进行了进一步的改良，将横梁厚度设计得更薄且不影响强度，更有利于安装。施工人员对安装工具提出了更多的改进措施，使安装更加方便，通过大家的共同努力，千斤顶架的安装时间大大缩短，有效地提高了穿引的效率。

在成功穿引了5条底托梁后，项目组技术人员对穿引过程进行了优化和总结，并制定出一套穿引工序，有效地提高了穿引效率。底托梁的穿引工作也由开始的12天1条提高到24小时1条，最快达到了15个小时1条，无不体现了现场技术人员和施工人员的艰辛和智慧。11月13日11时30分顺利、安全地穿过最后1条底托梁，“南海I号”打捞工程攻克了第二道难关。

经过82天的艰苦奋斗，底托梁的穿引工程最终顺利完成，为“南海I号”沉船打捞成功奠定了坚实的基础，也为今后的类似项目提供了借鉴和指导作用。

6. 保泥、保水措施施工

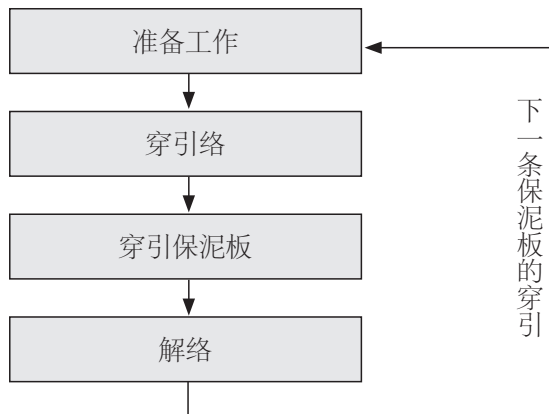
(1) 保泥板的施工。

底托梁设计的梁梁之间的间隙为10厘米，底托梁在穿引过程中，轴线出现偏差，导致梁与梁之间的间隙出现大小不一。底托梁的穿引状况如下：

梁号	与前一条梁的 间隙（右舷） cm	与前一条梁的 间隙（左舷） cm	梁号	与前一条梁的 间隙（右舷） cm	与前一条梁的 间隙（左舷） cm
1	4	12	19	10	7
2	2	5	20	7	10
3	16	3.5	21	12	7
4	9	15	22	8	11.5
5	16	8	23	13	6
6	4	12	24	5	15
7	16	8	25	14	14
8	7.6	7	26	5	10
9	10	5.5	27	13	6
10	12	16	28	8	14
11	7	7	29	10	8
12	6	15	30	8	13
13	10	6	31	16	6
14	7	13	32	5	15
15	12	6	33	15	8
16	6	11	34	9	14
17	15	6	35	9	7
18	6	15	36	2	5

根据梁与梁之间的实际间隙，保泥板采用现场开料现场加工的方法进行施工。

1) 保泥板施工的工艺流程。



2) 保泥板施工工艺。

①一般施工工艺。

正常情况下，保泥板所采用的施工工艺如下：

a. 准备工作。

保泥板的准备工作包括：保泥板根据实际的梁与梁之间的间隙进行开料加工，并在保泥板的头部开孔；潜水员将寄放在底托梁上的引络整理好；安装保泥板钢丝绳导向架。

b. 穿引络。

利用工作母船的锚机和钢丝绳导向架由寄放引络穿引直径26毫米钢丝绳。

c. 穿引保泥板。

选择合适的卸扣，将直径26毫米钢丝绳连接上保泥板，根据梁与梁的间隙，由间隙大的一边穿引到间隙小的一边。当保泥板开始进入钢沉井时，潜水员要检查保泥板进入钢沉井的状态，保证保泥板在两条底托梁的梁面穿引。

d. 解络。

保泥板穿引到位后，潜水员解除引络，并将露出钢沉井的保泥板用电割割除。

②“弓箭式”穿引工艺。

在引络断裂的情况下，所使用的“弓箭式”穿引工艺：

a. 在保泥板穿引位置的两侧分别寻找两个固定点，一个作为穿引钢丝绳的封尾，一个挂导向滑车作为穿引钢丝绳的导向。

b. 将保泥板设计成“T”形结构，增加保泥板的刚度，每块保泥板的长度约8米，并设置多个浮力点，根据保泥板的重量布置浮球，由两侧分别推入钢沉井。

c. 在保泥板上设置钢丝绳的导向轮。

d. 利用工作母船的锚机将保泥板推入钢沉井。

3) 保泥板穿引过程中出现的问题：

①保泥板在穿引过程中，遇到了以下几方面的问题：

a. 保泥板未能搭在两条底托梁的梁面。

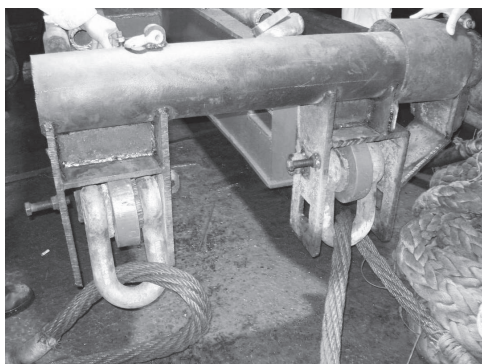
b. 寄放引络在穿梁过程中断裂。

c. 底托梁的喷水管在钢沉井内侧立柱位置爆焊，导致喷水管变形阻住保泥板的穿引。

②针对以上问题，项目组采取了相应的处理方法：

- a. 未能搭上梁面的保泥板重新穿引。
- b. 引络断裂的位置采取双边“弓箭式”穿引的方法。
- c. 喷水管变形阻住保泥板穿引采取单边“弓箭式”穿引的方法。

4) 相关照片。



钢丝绳导向架



“弓箭式”穿引方法中使用的自制导向轮



“弓箭式”穿引的保泥板吊放入水

保泥板穿引工作完成后，进行保水措施的施工，对保泥板与底托梁之间留下的缝隙，利用木尖、毛毯等堵漏材料进行封补，保证整个钢沉井达到保泥保水的目的。

7. “南海 I 号”起浮、出水

(1) 吊装。

1) 吊装方案概述。

“南海 I 号”的起浮工作主要包括上下钢沉井连接结构的切割、上钢沉井吊放“重任1601号”、半潜驳起浮和钢沉井的绑扎加固四个阶段。上下钢沉井连接结构的切割工作由潜水作业支持船“南天顺号”完成，在“华天龙号”进场之前，36块连接板已经切除了26块，只剩下钢沉井四角各2块及中间各1块。

“南海 I 号”的吊装由4000吨浮吊“华天龙号”来完成，根据计算，钢沉井起浮时的重量约为3119吨（计及黏着力），吊高至钢沉井顶部出水1.5米时重量为3406吨，满足吊装要求。上钢沉井的起吊使用16个吊点，“华天龙号”把钢沉井起吊至出水约1米后移船，把钢沉井安装到已经预先下潜的“重任1601号”半潜驳上，“重任1601号”设计的甲板潜深为8.5米。确认钢沉井按要求就位后，“重任1601号”排水起浮，“华天龙号”主钩保持一定的负荷上升，直到“重任1601号”起浮到设计吃水，接着进行钢沉井的加固工作，确认钢沉井和沉船安全后，“华天龙号”解除吊索，“重任1601号”运输“南海 I 号”古沉船前往闸坡临时码头准备下一步的拉移作业。

2) 现场主要施工船舶。

名称	单位	数量	备注
4000吨浮吊“华天龙号”	艘	1	
16000吨半潜驳“重任1601号”	艘	1	
潜水作业支持船“南天顺号”	艘	1	
2000吨驳船“重任202号”	艘	1	
11340千瓦拖轮（“德进号”）	艘	1	配合“华天龙号”
2500千瓦拖轮（“德华号”）	艘	1	抛锚及守护

续表

名称	单位	数量	备注
3280千瓦拖轮（“德鹏号”）	艘	1	拖“重任1601号”
1128千瓦拖轮（“穗救拖1号”）	艘	1	
1128千瓦拖轮（“穗救拖3号”）	艘	1	拖“南天顺号”

3) 现场主要施工人员。

职称	工程总指挥	打捞总监	工程师	潜水医生	捞工	工程副总指挥	技术负责人	潜水队长	潜水员	焊工 12人
人数	1	1	4	2	60	1	1	2	48	12
共计132人										

注：以上人员未包括现场船员。

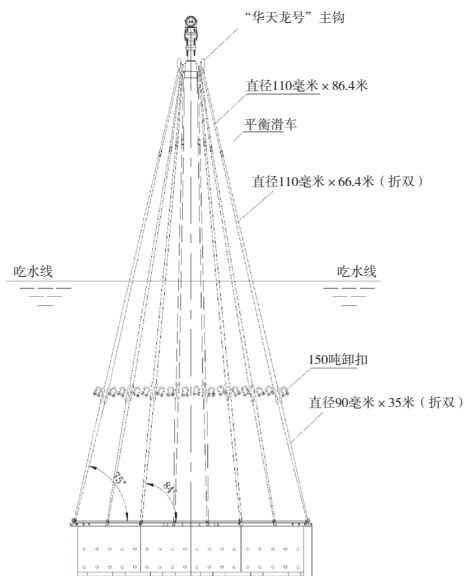
4) 钢丝绳定位架设计。

钢沉井顶部预先设计了16个300吨吊点，吊浮时使用布置在长边的16个吊点，为了尽可能使吊装时钢沉井各吊点受力均衡并保持水平起浮，16个吊点分成4组走道，即单侧4个吊点走通，每组钢丝绳的走通通过4个平衡滑轮来实现。钢丝绳的布置如下页图所示。

由于起吊钢丝绳需要由潜水员在水下进行卡接，而且钢丝绳数量较多，总共有16组吊索，如果不把各条钢丝绳分开，潜水员在水下将很难对各条钢丝绳进行区分和卡接，而且接错吊索的可能性很大，万一接错了吊索，将使得起浮失败。为了解决这个问题，专门设计了一个钢丝绳定位架以分开并定位各条钢丝绳。

根据钢沉井的尺寸，定位架的尺寸设计为35.9米×14米。为了顺利分开各条钢丝绳，在每个与钢沉井吊点对应的位置设计了一个800毫米×900毫米的钢丝绳穿过孔，钢丝绳穿过定位架后，将在定位架上把钢丝绳留住，这样，每条钢丝绳都与吊点对应并垂直分开，大大方便潜水员水下作业。

为了保证在钢丝绳卡接好吊点后定位架能够顺利下滑到钢沉井表面，并且不对钢丝绳造成妨碍，每个钢丝绳穿过孔都使用可活动的钢管进行封闭，如果



钢丝绳定位设计图

需要，潜水员可在水下把钢管打开，钢丝绳的活动范围将从原来的800毫米增加到2300毫米。

虽然在设计时采取了上面的措施来防止定位架不能自由滑落到钢沉井表面而妨碍钢丝绳，在定位架的强度设计时考虑到，如果万一定位架对钢丝绳造成妨碍，在钢丝绳的受力到一定程度时，定位架必须发生较大的变形或直接破坏。因此，定位架的强度和刚度不可太大。在设计中采用ANSYS程序对定位架进行了准确的计算。

实践证明，定位架的设计是成功的，它大大提高了作业效率，减少了工作时间。原计划需要48小时才能完成的16个吊点的卡接工作，实际上潜水员只使用了约12小时就完成了全部工作。

5) 底托盘设计与计算。

由于结构的需要，底托梁距离上钢沉井的底部还有500毫米的间隙，而且，“南海 I 号”沉船的拉移拟使用气囊，气囊拉移就要求重物的底部是平齐的，



钢沉井16个吊点完成卡接

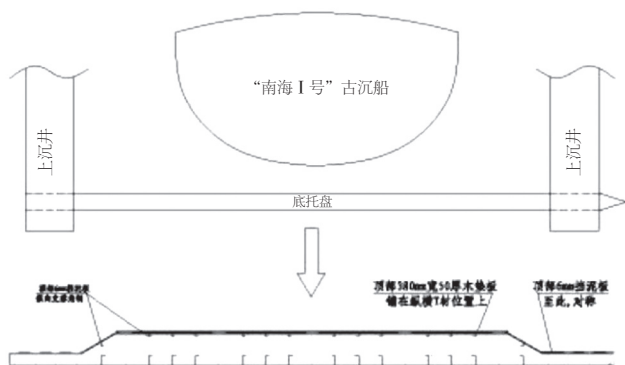
因此，必须设计一个拉移底托盘来满足拉移工作的需要。

根据钢沉井的结构形式，底托盘设计成“凸”形，高平面与底托梁进行接触，以避免起浮后钢沉井内的泥土和瓷器重量完全由底托梁承受，低平面与钢沉井壁底部相接触，这样，整个钢沉井的重量可以通过紧凑的接触直接传递到底托盘。

根据上钢沉井的尺寸，底托盘的主尺寸设计为36.1米×15.2米×0.827米，其中长边比钢沉井宽0.4米，短边比钢沉井宽0.8米。基于钢沉井的壁厚为1.2米，底托盘低平面的宽度设计为1.6米。

由于拉移的需要，底托盘的底部必须设计成平面，以便于气囊的滚动。而且，底部不能存在焊渣或其他尖锐的棱角，避免扎破气囊。

底托盘的工作原理如下图所示。



底托盘的工作原理介绍图

根据计算，底托盘在装载钢沉箱后最大的应力为217兆帕斯卡，采用Q345材料，钢材的屈服极限为345兆帕斯卡，满足强度的要求。

（2）“重任1601号”半潜驳的改装和布置。

“华天龙号”把钢沉井吊离海底后，由于钢沉井完全出水后的重量达到5386吨，而“华天龙号”的容许吊重只有4000吨，无法把钢沉井完全吊离水面，根据计算，钢沉井只能吊高出水约1.5米。因此，半潜驳“重任1601号”至少要下潜7.5米才能满足吊装要求。

底托盘需要在“重任1601号”下潜之前预先摆放好在甲板上，所有的木墩都必须提前铺设好，而且，为了防止“重任1601号”下潜后发生底托盘移位或木墩漂走的现象，底托盘和木墩都预先进行固定。

为了准确定位钢沉井，在底托盘的两边布置了6条限位桩。

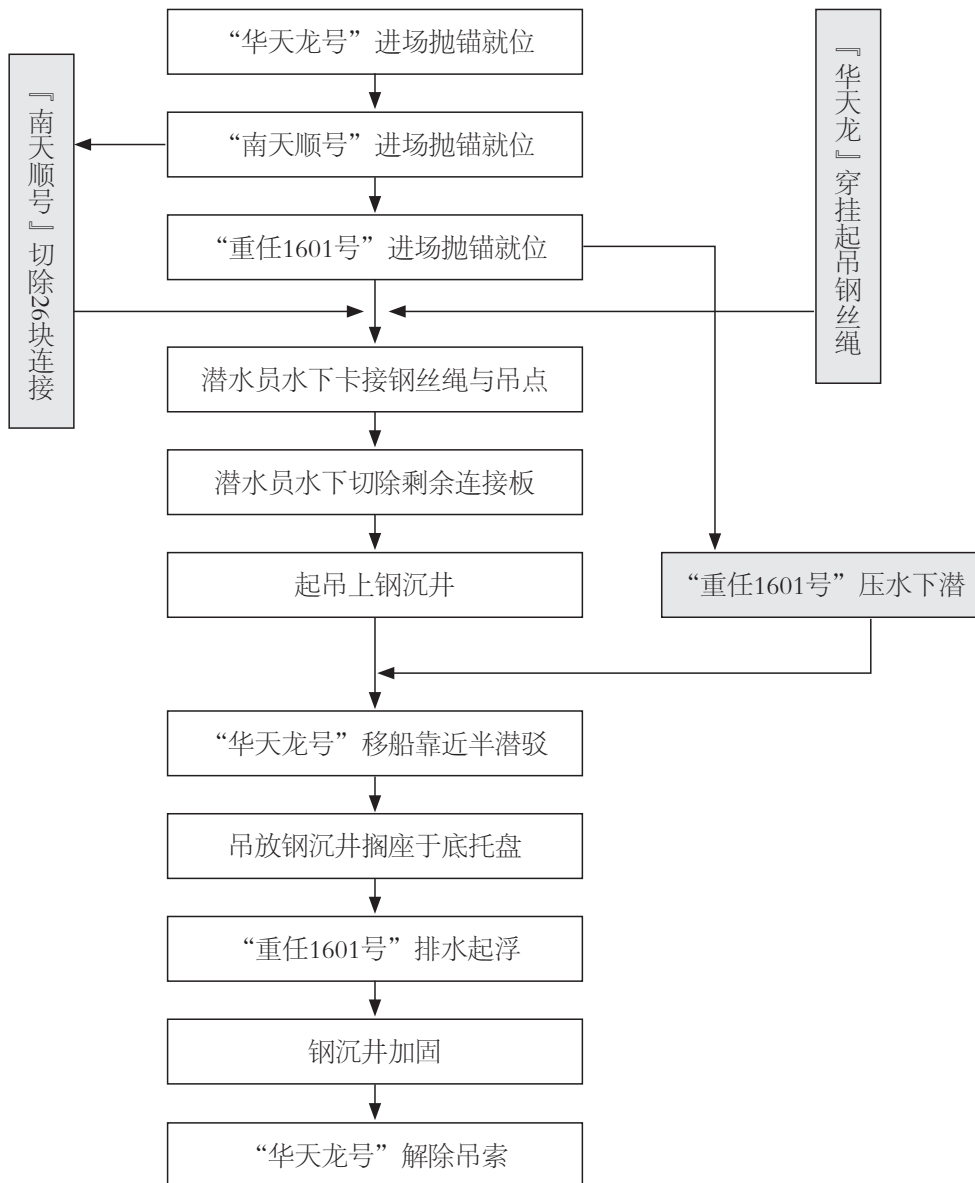
由于拉移工作的需要，在“重任1601号”船舶部甲板焊接了2个100吨眼板，并且，为了防止在钢沉井拉移时甲板有尖锐突出物扎破气囊，对半潜驳甲板拉移通道进行了刨平。

基于“重任1601号”现有状况难以满足下潜要求，必须对其进行改装。改装内容包括：

- ①4个浮箱的吊放、焊接。
- ②3个150吨水泥压块的布置。
- ③锚泊系统的布置。
- ④潜水泵的布置。
- ⑤发电机的布置及电缆的铺设。
- ⑥船舶舱室结构的修补。
- ⑦船艉部防撞垫的安装。

（3）“南海I号”起浮、出水工艺流程。

1) 施工流程图。



2) 起浮、出水施工工艺。

第一，现场施工船舶抛锚。“华天龙号”进场后先抛锚就位，船艏部正对钢沉井的中部，船舶向东南。方案设计船艏抛4个锚，船艉抛3个锚。为了争取时间，三用拖轮“德进号”“德鹏号”一起为“华天龙号”抛锚；待“华天龙号”就位后，潜水作业母船“南天顺号”就位，船艏抛两锚，船艉部带缆至“华天龙号”固定船位，抛锚拖轮使用“穗救拖3号”；三用拖轮“德鹏号”为“重任1601号”抛锚就位。“重任1601号”船舶向东北，船舶抛3个锚，船艏抛2个锚。



施工船舶锚位布置图



钢丝绳定位架挂络状态

第二，“华天龙号”穿挂起吊钢丝绳及钢丝绳定位架。

为了避免钢丝绳混乱和方便穿引钢丝绳，把每组4个平衡滑轮平叠焊接固定在甲板上，接着把直径110毫米×86.4米的钢丝绳根据设计方案依次穿过各个平衡滑轮。

4组（16个）滑轮都已穿好后，把直径110毫米×66.4米的钢丝绳与平衡滑轮的另一端连接好；把钢丝绳定位架吊放“华天龙号”甲板，底部垫高约1米，然后把直径90毫米×35米的钢丝绳按设计位置穿过定位架，底部钢丝绳长8米，并按照吊点的方向把钢丝绳用麻绳留在定位架上并编号；按照设计方案把钢丝绳挂上“华天龙号”主钩，使用150吨卸扣连接直径110毫米×66.4米钢丝绳与直径90毫米×35米钢丝绳；把钢丝绳与定位架吊高离开甲板后，旋转吊机到船

艇，根据钢沉井的定位浮标把钢丝绳松下水。



平衡滑轮状态图

第三，潜水员水下卡接起吊钢丝绳及切割上下钢沉井连接板。

为了尽量减少“华天龙号”在现场的作业时间，在“华天龙号”进场之前潜水员已经切除了上下钢沉井36块连接板中的26块，只余4角各2块及长边中间的2块。

“华天龙号”把钢丝绳及定位架吊放下水后，潜水员下水引导吊机定位架及钢丝绳下放到合适的深度和位置。

由于眼板插销重量达150千克，由单个潜水员难以进行钢丝绳的卡接工作，因此由2个潜水员同时下水，并在潜水作业母船上利用水下牵扯插销来完成钢丝绳的卡接。

16个吊点卡接完成后，切割钢丝绳与定位架的绑扎绳，把定位架放到钢沉井顶部。“华天龙号”主钩上升使钢丝绳受力，潜水员对所有的钢丝绳、卸扣

和眼板进行检查。

潜水员水下切割剩余的10块上下钢沉井连接板，然后重新检查所有的连接板切割情况，确保把上下钢沉井彻底分开。

第四，起浮、移船靠近半潜驳。

“华天龙号”主钩上升，潜水员水下监测上下钢沉井的分离情况；确认上钢沉井离开后，主钩继续上升至钢沉井顶部距水面约2米；“南天顺号”解缆、起锚离开；“华天龙号”移船靠近半潜驳，移船时注意控制船速小于5米/秒，以免钢沉井晃动过大。

第五，“重任1601号”下潜、起浮及钢沉井就位。

在所有起吊准备工作都已就绪后，“重任1601号”开始压载下潜，下潜到水下约6米时停止，待“华天龙号”靠近后再继续下潜到水下8米。



“重任1601号”下潜过程图

“华天龙号”到位后把钢沉井吊高出水1.5米，然后逐步把钢沉井吊移到底托盘的上方。

调整“华天龙号”船位，把钢沉井紧贴定位桩松放到底托盘上；“重任1601号”排水起浮，“华天龙号”控制主钩的吊重。



“华天龙号”起吊钢井过程图

“重任1601号”下潜、起浮的详细过程如下：

①下潜、起浮作业时压载或排水的舱数不超过4个，即同时压载或排水2个中舱+2个边舱；船艏甲板入水前，船舶吃水 d_f 控制在6.0~6.5米。

②船艏甲板入水后，保持船艏倾约0.5~1.0米，吊装前再调整船艏倾至0.5米。

③船体压载舱全部满舱后，才开始对浮箱进行压水。2个船艏浮箱先压水，当船艏浮箱吃水深度超过船舶浮箱1.5米时，关闭船艏浮箱进水阀后，打开2个船舶浮箱进水阀进行压水，当船舶浮箱吃水深度超过船艏浮箱0.5米时，关闭船舶浮箱进水阀。如此交叉对船舶、船艏浮箱进行压水。在此过程中，如出现横倾情况，可通过关闭一侧的进水阀进行控制。

④在“华天龙号”吊装钢沉井移到“重任1601号”甲板前，确认“重任1601号”甲板水深比钢沉井底部低约0.5米，否则，“华天龙号”吊高钢沉井，直至满足要求后，再移位到指定的位置。

⑤钢沉井紧靠“L”形定位桩搁放在底托盘后，“华天龙号”停止动作。

⑥“重任1601号”开始排水起浮，在钢沉井露出水面0~2米时，“华天龙号”的主钩负荷逐步调整减少1000吨。

⑦在钢沉井露出水面2~3米时，“华天龙号”的主钩负荷调整减少2000吨。

⑧在钢沉井露出水面3~8米时，“华天龙号”的主钩负荷保持约2000吨。

⑨起浮作业时，保持船艏倾斜约0.5米；在下潜、起浮过程中，操作人员应不间断地监控半潜驳的横倾状况，如发现横倾出现0.5度的情况，应马上采取措施进行纠偏。可通过调整左右舱水进行纠偏，具体操作是降低倾斜一侧压载泵（柴油机直接带动水泵）转速或暂时停止压水，直至半潜驳消除横倾为止，再恢复正常压载。

第六，钢沉井的加固。在“重任1601号”主甲板露出水面后，焊接、加固人员马上对钢沉井进行加固。钢沉井的加固包括如下三个方面：

①钢沉井本身结构的加固。顶部承重梁爆焊部分的重新补焊。在钢沉井的顶部有部分承重梁的焊缝受到破坏，需要进行补焊；部分底托梁的限位与钢沉井没有很好地接触，为了减少钢沉井的变形，采取了把底托梁与钢沉井焊接在一起的方法。在钢沉井两侧各选取了10条底托梁进行焊接。



钢井补焊加固图

②钢沉井与底拖盘的连接。为了防止在拖航过程中钢沉井与底拖盘发生脱离，在钢沉井四周使用工字钢把钢沉井与底托盘焊接在一起。

③钢沉井的拖航加固。检查底托盘的加固情况，若有需要则增加工字钢来加固钢沉井与底托盘。

(4) 起浮、出水作业实际工期。

项目内容	起始时间	完成时间	工期 (小时)	备注
“华天龙号”到施工现场	2007-12-17	2007-12-17	/	
“华天龙号”抛锚就位	2007-12-17 17:30	2007-12-17 23:30	6	
“华天龙号”甲板上穿挂吊索	2007-12-18 00:00	2007-12-19 21:00	45	
“华天龙号”水下穿挂吊索	2007-12-19 21:00	2007-12-20 09:00	12	
“南天顺号”抛锚就位	2007-12-17	2007-12-17	6	
切割上下钢沉井连接	2007-12-20 03:00	2007-12-20 09:00	6	
“重任1601号”抛锚就位	2007-12-18	2007-12-18	12	
“南海I号”起浮、装船	2007-12-21 09:00	2007-12-22 15:00	30	
“南海I号”起浮后的加固	2007-12-22 1500	2007-12-23 18:00	27	
拖航往临时码头	2007-12-23 18:00	2007-12-23 24:00	6	

(5) 经验总结。

1) 使用平衡滑轮走通钢丝绳。

钢沉井长达35.7米，16个吊点均布在钢沉井的长边，如果每个吊点单独使用钢丝绳，将会造成吊点和钢丝绳的受力相差过大，而且钢沉井内“南海I号”沉船不一定刚好位于钢沉井的中间位置，由于其密度的不同将导致钢沉井的偏心。

为了使钢丝绳的受力尽可能地均衡，根据实际情况，设计使用16个平衡滑轮来使单边每4个吊点走通。这样的设计有两个优点：其一，平衡滑轮的使用，比直接使用钢丝绳走通吊点操作上更简单，而且钢丝绳的走通更顺畅；其二，平衡滑轮的使用，使钢丝绳更加简单有效，避免了使用过大直径的钢

钢丝绳。

实践证明，不管是钢丝绳的配置还是平衡滑轮的使用都是成功的。但在实际使用中，还是存在着某些不足：

单钩齿挂4个平衡滑轮走通钢丝绳稍显拥挤，而且钢丝绳的直径达110毫米。在起吊过程中，4条钢丝绳的受力不是很理想，没有达到设计要求的效果。究其原因，是由于单个钩齿所挂钢丝绳过多，受力后钢丝绳相互挤压导致摩擦力过大而走通不理想。



“华天龙号”钢丝绳起吊图

2) 使用钢丝绳定位架来固定钢丝绳的位置。

由于此次打捞16个吊点的卡接钢丝绳都是由潜水员完成，而且吊点插销直径达200毫米，钢丝绳直径达110毫米，为了方便潜水员水下卡接钢丝绳，设计使用了钢丝绳定位架来分开及固定钢丝绳的位置。

定位架的使用有如下几方面的优点：

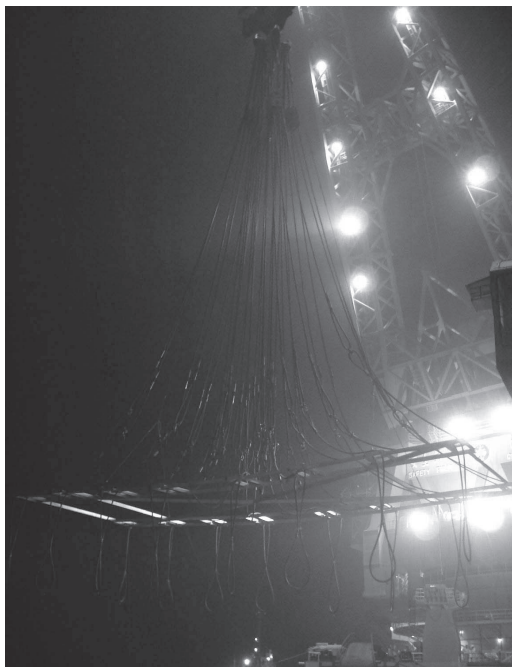
①把16条（打双）起吊钢丝绳分开并固定在定位架上，避免钢丝绳发生缠绕、造成混淆的现象。

②每个吊点的两条钢丝绳通过定位架后呈现分开状态，潜水员在水下操作更为简单，只需要把钢丝绳推入吊点即可。

③定位架与钢丝绳的固接使用麻绳，潜水员水下把麻绳割断后，定位架自然沿着钢丝绳坠落到钢沉井顶部表面，不会对起吊钢丝绳造成阻碍。

④通过定位架，每条钢丝绳的位置都靠近相应的吊点，减少了潜水员的作业难度。

钢丝绳定位架的使用，极大地方便了潜水员作业，缩短了作业时间。



“华天龙号”钢丝绳定位图

3) 使用半潜驳起浮钢沉井。

如何解决“华天龙号”吊力不足的问题是“南海I号”打捞工程的关键之一。经过技术人员的充分论证和计算，最终选用使用半潜驳来起浮钢沉井的方案。

使用半潜驳来解决浮吊吊力不足的问题在沉管隧道、海洋工程中应用比较广泛，广州打捞局也有过不少成功的先例，在这方面积累了较丰富的经验。但“重任1601号”以前下潜作业时都是在水深较浅的水域，船艏部搁座在海底。而“南海I号”现场水深达到23米，若采取以前的下潜方法是不现实的，所

以需要对“重任1601号”进行改装，以使其船艏能够平衡下潜、起浮。

根据对船舶的稳定性、结构、下潜和起浮受风、浪、流的作用力的计算，为了满足稳定性要求，在“重任1601号”的船艏各加装了两个浮箱，并在船艏压载了300吨水泥块；为了固定船位，船艏加装2套锚泊系统。



“华天龙号”起吊过程图

经改造后的“重任1601号”在实际作业中效果非常理想，最大潜深达8米，完全达到了设计改装的要求。

8. “南海I号”的拖航

(1) 拖航方案及其情况概述。

1) 起拖地点：21° 30.0' N/112° 22.0' E（“南海I号”工地）。

2) 起拖时间：2007年12月23日。

3) 拖轮资料：

三用船：“德鹏号”。

船长：65.30米 船宽：13.20米 型深：6.20米。

最大吃水：5.0米。

总重：1401吨 净重：420吨。

主机功率：1640千瓦×2 系柱拖力：60吨。

该轮主机、副机、拖航、通信、导航等设备均处于正常状态，满足此次拖航的要求。拖航设备及索具等状况良好，均有有效的检验证书。

4) 被拖船舶资料：

驳船“重任1601号”。

船级：CCS 属无人驳船。

总长：121.64米 型长：115.35米。

船宽：31.6米 型深：7.70米。

总重：7396吨。

净重：2218吨。

5) 联系办法。

船位报告：具体通报方式、时间和内容由双方另行商定。

拖轮、辅助拖轮、被拖物、护航船舶之间的日常通信频道VHF17号，应急频道VHF16号。

具体的联系方法、内容由项目组和拖轮船长确定。

6) 拖航总里程。

起始地点：21 30.0N/112 22.0E 到沿江海陵岛临时码头。

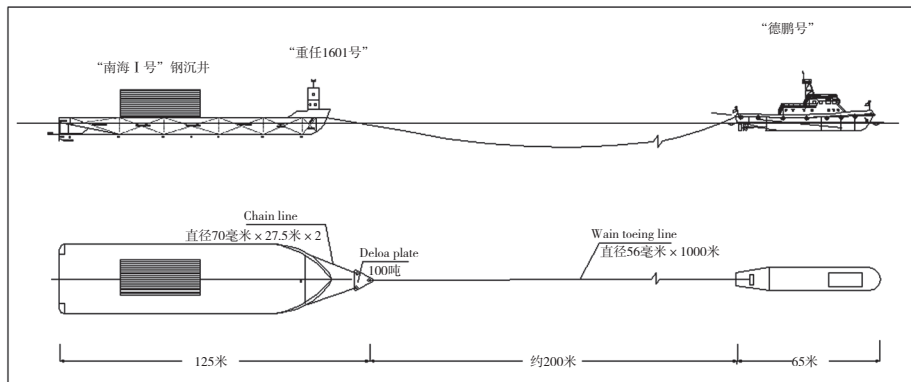
全程拖航总里程约33海里。

7) 拖航时间。

以平均航速5.0节计算，需要6.6小时。

(2) 拖航布置。

拖航布置如下图所示：



拖航示意图

(3) 接拖、解拖。

1) 接拖，根据“南海I号”现场的进度和现场的天气情况，“德鹏号”在现场24小时待命，在接到项目组的指令后，“德鹏号”应与“重任1601号”船长

沟通,按照双方预定的接拖方法,做好接拖的一切准备工作;“德鹏号”准备主拖缆送往“重任1601号”,由“重任1601号”在前甲板做好接拖的工作。

2)起拖,接好拖后,“德鹏号”控制好船位,驳船“重任1601号”起锚,并保持与“德鹏号”联系、配合,在“德鹏号”船长的指挥下,起航拖往临时码头。

3)解拖,“德鹏号”拖“重任1601号”(装载“南海 I 号”)抵达海陵岛临时码头附近时,由于码头的水深不够,将解拖交给“德华号”拖轮靠泊码头,“德华号”须在接替“德鹏号”前做好一切准备工作(包括人员、机器设备和缆绳等拖具情况)。

9. “南海 I 号”拉移上岸和进入“水晶宫”就位

(1) 临时码头的建设。

临时码头是“南海 I 号”打捞出水后拉移进“水晶宫”的必经之路,是半潜驳“重任1601号”靠泊的码头。临时码头工程是整个“南海 I 号”考古打捞工程的关键配套项目之一,主要作用是为“南海 I 号”整体打捞出水后拉移进“水晶宫”博物馆时提供临时靠泊设施和拉移作业通道,它需要满足运载“南海 I 号”的16000吨半潜驳靠泊以及总重达5500吨“南海 I 号”拉移作业时的载荷要求。临时码头是广州打捞局自行设计、自行施工的一个项目,是“南海 I 号”考古打捞中一个重要的分项。该码头是一个提供给半潜驳靠泊的专业码头,码头设计荷载大,达到了10吨/平方米。

临时码头工程具有政治意义重大、施工工期紧迫、海况条件恶劣等特点,设计和施工任务十分艰巨。广州打捞局勘测设计所接到临时码头设计任务后,立即组织工程设计人员深入工程现场开展地形测量、地质勘探、水文气象资料收集等各项前期工作,并在15天之内完成了临时码头的施工图设计工作。2007年4月28日,广州打捞局组建专门的临时码头工程施工项目部,奔赴现场组织力量开始施工,由于受到施工海域极其恶劣海况的严重影响,使得码头施工困难重重,但在广州打捞局领导的正确领导、广州打捞局项目组的统一指挥、局内兄弟单位的大力支持下,经过项目部全体施工人员百折不挠的努力,于2007

年12月14日，临时码头工程全面完工，保证了“南海I号”整体打捞工程的胜利完成。

码头采用了重力式的结构形式，前沿由11个300吨的钢筋混凝土沉箱组成。该码头施工过程中克服了现场施工环境恶劣的困难，特别是在现场风浪极大，按正常水工施工无法作业的情况下，广州打捞局调遣了“重任1602号”16000吨半潜驳在码头前沿挡浪，为码头的胸墙施工提供了条件，为“南海I号”的“回家”保证了工期。

临时码头工程施工总工期为231个日历天，建设总投资约2200万元。

由于广东省海上丝绸之路博物馆已制定总体规划并在建设之中，因此临时码头工程位置具有不可选择性，即位于阳江市闸坡镇东面3公里处的“东方银滩”海域，广东省海上丝绸之路博物馆对出的海滩上。

根据“南海I号”整体打捞总体施工方案，为满足“南海I号”拉移作业的使用要求，码头的平面布置形式采用窄突堤式，即沿着博物馆纵轴线一直往外海方向延伸。

根据工程现场的地形、地貌、地质条件和码头的使用功能与载荷要求，综合考虑安全、技术、工期、经济等因素，通过充分分析论证，主体码头的结构形式采用重力式沉箱结构，后方拉移通道水中段采用斜坡式抛石堤结构，潮汐段采用砂包围堰结构，陆上段采用直接开挖基础。

主要工程内容包括主体码头、拉移通道及航道三大部分。主体码头前沿线长25.5米，纵深17.0米，顶面高程+3.5米（黄海基准面，下同），港池底高程-5.0米；码头岸墙由11件每件重量300吨的预制沉箱安装形成，沉箱内回填块石，沉箱底部设置2米厚抛石基床，沉箱顶部浇筑高2.5米的上部结构混凝土。码头后方拉移通道全长398.4米，水中段长109.6米，采用斜坡式抛石堤结构，两侧边坡均采用3吨扭王字块护面；潮汐段长65.0米，采用砂包围堰结构，两侧铺垫50厘米厚块石垫层后，再采用3吨扭王字块护面；陆上段长172.0米，采用直接开挖基础，铺设50厘米厚6%水泥稳定层后，面层浇筑厚度30厘米的混凝土路面；博物馆内承台长51.8米，直接浇筑混凝土。航道长90米、宽80米，底部水深-5.0米，采用水上开挖方式浚深。

(2) 主要施工工艺、方法及措施。

1) 陆上拉移通道。

陆上拉移通道全长223.75米(其中“水晶宫”内承台51.75米),采用挖掘机对原有地基开挖至设计标高冲水压实后,铺筑水泥石粉稳定层,经压实后,浇筑钢筋混凝土路面。

该项目除“水晶宫”内51.75米长承台和50米长与“水晶宫”口连接段,受“水晶宫”施工影响不能先行施工外,其余120米段自2007年5月初开始组织施工,5月30日便完成。

2) 海上拉移通道。

海上拉移通道全长174.6米,其中水中段长109.6米,采用斜坡式抛石堤结构;潮汐段长65米,采用袋装砂围堰结构。

主要施工项目及施工顺序:袋装砂围堰、围堰内回填砂、块石抛填、理坡、护面块体预制与安装、铺筑路面垫层、浇筑路面。

袋装砂围堰及回填砂采用400立方米/小时抽砂泵辅以人力施工,块石采用40吨自卸汽车直接分层抛填,挖掘机理坡,25吨汽车吊进行护面块体安装。

在海上拉移通道施工过程中,由于受潮汐、海流、风浪、泥沙运动等多种因素的综合影响,袋装砂围堰部分下沉、变形、损坏情况比较严重,为此对袋装砂围堰段采取了在其变形相对稳定后,补填沙袋,两侧抛填碎石反滤层、二片石及块石垫层,安装扭王字块护面,将已被损坏的水泥石粉稳定层置换成碎石垫层等一系列技术处理措施,效果显著。

3) 主体码头。

主要施工项目及施工顺序:基槽开挖、基床抛石、基床夯实、基床整平、空心方块预制与安装、护脚栅栏板预制与安装、方块内回填、钢筋混凝土上部结构(卸荷板、胸墙、面层)现浇、附属设施安装。

由于主体码头建设规模和工程量较小,施工海域水深较浅,所以根据经济合理、灵活机动原则,选择中小型施工船机设备按照常规方法施工。基槽采用抓斗式挖泥船开挖;基床采用挖泥船定位,挖掘机上料,小型自航式开底驳抛石,5吨重锤夯实;空心方块和栅栏板采用500吨起重船安装;现场搅拌混凝

土，装载机运输浇筑上部结构。

临时码头所处海域地理环境特殊，海况恶劣，整个码头施工一直面临着风浪的巨大考验，困难重重。2007年4月底工程开工后，正是南海海域西南风季节，受西南涌浪影响，主体码头水上项目的施工作业一直无法正常开展，至6月13日共计45天时间内，项目部共调用了3艘挖泥船组分别进场施工，码头基槽与航道开挖才得以完成，但随后仍受西南涌浪影响，无法连续进行后续项目的施工，已开挖完成的基槽与航道全部回淤，码头施工陷入困境并暂时停工。7月25日复工后，项目部调用第4艘挖泥船组进场，并自行购置开底抛石船，采取所有人员设备驻场全天候待命、分3班24作业，陆上与水上实行见缝插针、交叉作业等多项有力措施，尽最大努力把海况影响降到最低程度，终于在8月24日至9月12日共计20天时间内完成了基槽开挖、抛石基床施工和空心方块安装，取得了临时码头施工关键性胜利。

进入上部结构施工阶段之后，台风威胁和东北季风影响随之交替而来。9月24日至10月6日半个月时间内，“0714号”台风“范斯高”和“0715号”台风“利奇马”相继在南海西北部沿海地区登陆，临时码头施工现场阵风达8~9级，浪高达4~5米，工地被迫停工，已绑扎的上部结构钢筋被全部冲毁。10月之后，南海进入东北风季节，工程现场长期持续东北风5~6级，浪高1.5米以上，使得码头上部结构模板无法支立，钢筋无法绑扎，混凝土无法浇筑。为此，局项目组分别于11月13~16日和11月24日至12月12日调派“南洋号”500吨起重船组和“重任1602号”16000吨半潜驳到码头施工位置驻位挡浪协助施工，尤其是“重任1602号”半潜驳的到场对上部结构施工起到了较大作用，12月1~14日，项目部抢抓住当中几天难得的稍好天气和潮水，全面完成了码头上部结构所有混凝土的浇筑工作。

4) 航道

码头所处海域海床平缓，水深较浅，需要在码头前方80米×90米范围内开挖航道，以满足装载“南海I号”的16000吨半潜驳靠泊要求，航道开挖底标高-5米。

在第三艘挖泥船组进行第一次基槽开挖时已同时完成了航道开挖工作，但

因受风浪、潮流和泥沙运动的影响，到码头进行第二阶段施工时已全部回淤。针对这一实际情况，项目部决定在第二次进行码头基槽开挖时不再同时开挖航道，而是安排在主体工程完工后，“南海I号”靠泊前进行开挖，以此避免严重回淤对“南海I号”拉移作业时可能产生的巨大影响。12月16日，项目部第5次调用挖泥船进场施工，23日完成航道开挖。

（2）沉船拉移上岸和进入“水晶宫”就位。

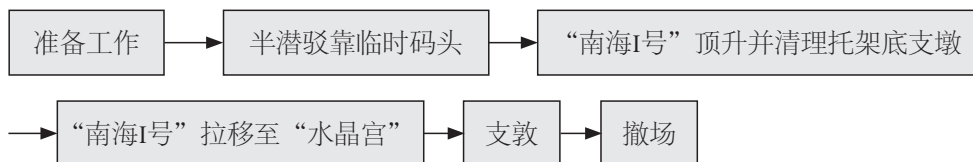
“南海I号”打捞出水被运输到临时码头前沿后，就准备将其拉移上岸、进“水晶宫”就位。拉移工序是整个“南海I号”考古打捞施工中的最后一道工序。

装载“南海I号”的钢沉井以及底托盘的重量总和达到了5500吨。我们通过多种方案的比选后最终决定采用气囊的拉移方案。在气囊拉移过程中，5500吨的重量开创了我国气囊拉移单件重物的新纪录，同时，拉移的直线距离达到了450米，这也是本项目的难点和创新点。

1) 气囊拉移总体方案。

在码头后方的拉移滑道上预先布设拉移地锚、电动绞车和滑轮组等，装载着“南海I号”沉船的“重任1601号”驳在临时码头前沿布锚并“丁字形”靠泊码头，然后穿挂拉移滑轮组，分三次将“南海I号”钢沉井拉移到“水晶宫”安放地。

2) 拉移作业工序流程。

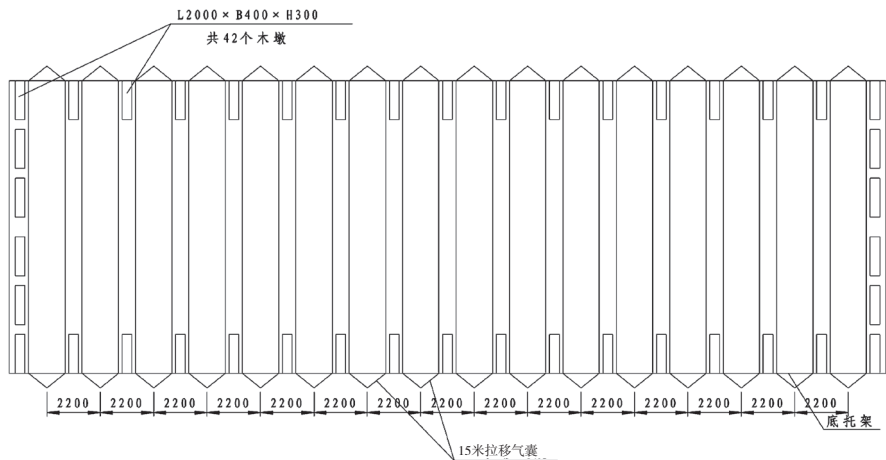


3) 施工工序。

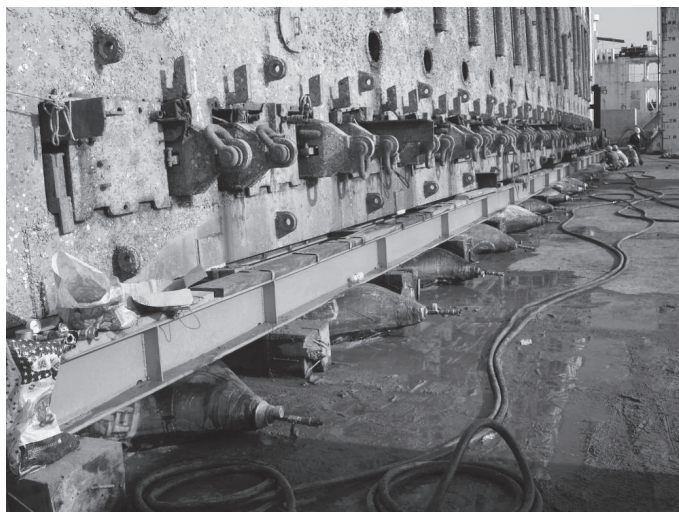
做好拉移前的准备工作。

①布置拉移气囊。

“南海I号”被吊装上“重任1601号”拖到临时码头布锚就位后，布置拉移气囊，沿纵轴线方向均匀布置16条长15米、直径1米的超高压气囊，气囊布置如下页图所示。



注：顶升拉移时布置16条超高压气囊，气囊直径1米，有效长度15米，工作允许用压力0.4兆帕斯卡。



气囊布置图

②调整“重任1601号”船位。

将“重任1601号”丁字形靠好码头，船艏正对着码头，抛好锚带好缆后，利用船上布置的2台50千牛拉力机和32吨滑轮组精确调整“重任1601号”的船位，使拉移轴线与“南海1号”的轴线重合。半潜驳靠泊码头如下页图所示。



半潜驳靠泊码头

③ 穿好拉移和留尾滑车组。

船位调整好后，穿引好2组拉移和2组留尾滑车组。

④ 铺过渡钢板。

调整好“重任1601号”的浮态，使得纵横倾基本为零，并且保证“重任1601号”的甲板面与码头面高差在20厘米内。接着铺过渡钢板，在轴线两边并排各布置12块钢板。

⑤ 顶升“南海I号”，抽出支墩。

上述①~④项准备工作完成后，将2组拉移和2组留尾滑车组收紧，分两步给拉移气囊充气，第一步先将每个气囊的充气至压力为0.1兆帕斯卡，第二次再将“南海I号”缓慢顶起后，将托架顶离支墩，完成以上顶升工序后将托架底的支墩拉出吊离。

4) 将“南海I号”拉移至“水晶宫”。

拉移工序分3步完成，拉移动力分3组（1、2号为1组，3、4号为1组，5、6号为1组）：

第一步通过1、2号150千牛卷扬机（直径24厘米钢丝绳的容绳量约为2000米）将其拉移至离码头边约160米时停止。拉移上码头时，为了安全起见，选

择在白天的低平潮。利用码头面布置的2台150千牛卷扬机将2组五轮滑车同时收紧，“重任1601号”上的2组留尾二轮滑车组也同步放松，使“南海I号”缓慢拉移上码头。“南海I号”拉移上码头面时，“重任1601号”通过抽水、压水来调载，使得“重任1601号”的甲板面与码头面基本在同一平面内，这样缓慢地前移，直到“南海I号”全部被拉离半潜驳。在拉移的过程中，“南天顺号”靠在“重任1601号”的右舷，利用船上的吊机将后面的拉移气囊吊到前面接应。

第二步：第二组3、4号120千牛卷扬机（直径24毫米钢丝绳的容绳量约为1000米）预先松出钢丝绳将2个五轮滑车组拉到第一组拉力点位置，当第一组拉力点将“南海I号”拉移到位后，将第二组滑车组卡挂在“南海I号”的拉力点上，2组滑轮同时收紧后将其拉移前行80米，停止拉移。

第三步：第三组5、6号120千牛卷扬机（直径24毫米钢丝绳的容绳量约为1000米）预先松出钢丝绳将2个五轮滑车组与2条直径78毫米×56米钢丝绳用120吨弓形卸扣驳接，2条钢丝绳卡挂在“南海I号”的拉力点上，2组滑轮同时收紧后将其拉移前行50米，停止拉移。

第二、第三步拉移不使用留尾装置，拉移速度靠控制卷扬机速度及拉移高度来完成，拉移过程中控制气囊压力，使“南海I号”托架首尾高度一致或首部稍高于尾部10厘米。

第四步：将2条直径78毫米×56米钢丝绳拆卸下来，利用第一组拉力点作为留尾，拉移滑车组与留尾滑车组分别卡挂在“南海I号”钢沉井前后拉力点上，并将其往前拉移约90米到“水晶宫”博物馆内的指定位置。

5) 支墩。

拉移到位后，布墩，再将拉移气囊放气，使“南海I号”的托架底搁在已经预先布置好的支墩上，将拉移气囊抽出，则完成“南海I号”拉移到“水晶宫”的工作。

6) 撤场。

将所有的工作完成后，收拾工具撤场。

10. 整体打捞意义

“南海 I 号”沉船整体打捞成功，创造了打捞新技术、新工艺，开拓了水下考古新途径、新方法，是中华民族水下考古史的重大创新，是中国打捞技术的重大创新，对于推动广东乃至国家的文化建设具有十分重要的意义。

(1) 世界首创的沉箱法整体打捞古沉船。

国内外沉船的打捞方法一般为现场发掘，就是先打捞沉船内古文物，再逐步打捞沉船的各部分，然后在岸上进行拼凑的方法进行打捞。这样打捞的优点在于：打捞难度较低。缺点在于：沉船破损严重，历史信息丢失严重，不利于考古学家的进一步考古；工期长，考古作业的风险大。显而易见的在“南海 I 号”沉船打捞中如果用这种方法的话，其施工的难度将大大降低，但是考古打捞的工期将非常长，沉船将会严重受损，而且长时间的外海考古将使得考古作业的风险很大，在考古过程中受到的天气和海况的影响相当大。

针对现场发掘方案存在的问题，为了最大限度地保护好古沉船里面的文物和八百多年的木质船体，广州打捞局通过系统的研究、科学的计算和分析，结合多年救助打捞和海洋工程施工的经验，创造性地提出了集装箱法整体打捞“南海 I 号”沉船的方案。整体打捞方案，是将沉船、文物及周围泥沙按照原状固定在一个沉箱内，然后整体打捞出水，这一方案开创了考古界与打捞界的先河，属世界首例。该方案并非一提出来就被所有的人接受，这毕竟是世界上从来没有见过的施工方法。为此，在该方案的论证阶段，总共是召开了五次专家论证会：其中广东省主持了三次论证会，国家文物局主持了两次专家论证会，到会的专家涉及各个专业领域并且有工程院院士参加了论证会。

在论证会上，广州打捞局工程技术人员系统地讲解了整个技术方案。整个打捞工作主要工序包括：钢沉井等结构的设计和制作、清理凝结物、钢沉井沉放准备、钢沉井沉放到位、穿底托梁、钢沉井起吊装载于半潜驳、钢沉井拉移进“水晶宫”。每一个过程、每一道工序我们均以系统的理论分析为基础，在本工程的两个主要工序：钢沉井的沉放和底托梁的穿引上我们除了有充分的理论依据外，还和华南理工大学合作进行了模型试验，应该说在设计阶段我们就

已经充分意识到这两个阶段就是本工程中最大的难点，通过理论分析和模型试验的结果表明，我们提出的方案是完全可行的。最后，在系统的理论依据和丰富的施工经验为基础下，参加论证会的专家一致认为该方案是可行的，该项目得以通过并进入到施工的实施阶段。

在施工的实施阶段，广州打捞局领导班子高度重视，把该项目作为2007年局的重点工程进行对待，调遣了局里相关专业领域最具实力的工程技术人员参与了该项目的施工设计和管理，并成立了实力很强的项目组，在多次会议上均强调了局里所有的项目均要为该项目让步、均要服务于该项目；在船舶设备的调遣上也要首先为该项目倾斜，只要该项目用到的船舶设备，其他工程项目均要无条件让路。局里的高度重视和在该项目上人、财、物的大量投入是该项目得以顺利完成的基础。

“南海 I 号”的整体打捞史无前例，没有任何的工程经验可以借鉴，在该项目的设计上我们就充分意识到打捞的难度和艰巨性。广州打捞局为此专门制



“南海 I 号”整体起吊图

作了一个长35.7米、宽14.4米、高12.2米、自重达550吨的超大型钢沉井，将沉船及周围的泥沙全部罩住并整体打捞出水。这样不仅完好地保护了沉船上的文物，还将具有极大考古价值的沉船本身保存了下来，最大限度地保存了历史文化信息。

“南海 I 号”的整体打捞为救捞系统乃至国家的技术创新提供了难得的机遇，推动了救捞基础技术、前沿技术和工程实用技术的研究。就连“世界水下考古之父”的乔治巴斯都赞不绝口，称“只有中国人才能想出这么精美的方案”。

钢沉井将沉船及周围的泥沙水按原状固定在沉箱中起吊出水。

(2) 集多种功能和复杂工艺于一体的巨型钢沉井世界首创。

在传统的水工工程、桥梁工程和海洋工程中，大型钢沉井结构较少使用，在目前的工程实例中看到的大型钢沉井结构一般是应用于水工工程中的围堰或者是桥梁工程中的桥墩施工等领域。传统钢沉井结构的设计主要是为下一步围堰所用，结构比较简单，功能区较少，且设计的钢沉井一般不具备整体闭合（底部不需要闭合）的要求，钢沉井的下沉一般通过内开挖方式进行下沉。

“南海 I 号”整体打捞工程中所有的钢沉井与传统工程中所有的钢沉井是截然不同的，它是整个打捞工程中最重要结构，是所有后续工作的母体，在打捞施工中的所有工序均围绕着钢沉井进行施工。该钢沉井在设计上有如下特点：

1) 钢沉井尺寸的选取必须罩住整艘“南海 I 号”沉船，根据沉船精确探摸出来的尺寸，钢沉井结构平面尺寸为33.3米×12米。

2) 在钢沉井下沉方式的选取上只可考虑采用静压法，因为采用振动的方法有可能对沉船和文物产生不利影响，因此钢沉井上方必须设计静压堆载区。

3) 由于施工工艺的特殊性决定了钢沉井下沉后的开挖方式为外开挖，而非传统施工中的内开挖，所以给钢沉井的下沉带来了很大的难度。

4) 钢沉井外侧开挖时其内侧已经罩住“南海 I 号”沉船了，所以必须确保在开挖过程中钢沉井里面的泥土是稳定的，不会通过钢沉井的底部向外侧流失，这样才能确保沉船和文物的安全，也就是说在施工过程中，在外侧土开挖

工程中，钢沉井内部的泥土必须满足稳定性的要求，这一点我们通过两种方式来确保：第一，通过科学和系统的分析来确定钢沉井尺寸，主要是钢沉井的高度；第二，通过模型试验来校对理论分析。

5) 根据该项目的特点，钢沉井在设计上分成上钢沉井和下钢沉井，下钢沉井的作用主要有两个：第一，保证在钢沉井外围挖土时，钢沉井内的土不会通过钢沉井的底部流失，避免钢沉井外侧土出现隆起的现象；第二，上钢沉井外侧土开挖后，下钢沉井起着支撑和固定整个上钢沉井的作用。上钢沉井的作用是将沉船罩住。

6) 穿引底托梁在上钢沉井进行施工，在施工过程中穿引底托梁所需的工装件全部要固定在上钢沉井，并且要让上钢沉井承受穿引过程中的支座反力（受力点）。

7) 底托梁倒退的工艺也要通过钢沉井上的结构来实现，在底托梁穿引过程中，如果遇到硬物或者轴线不对称，必须要进行倒退梁施工时，要通过上钢沉井上的结构来实现该功能。

8) 底托梁穿引完毕后的保泥和保水的措施也围绕着钢沉井进行施工。

9) 实现整体打捞方案的最关键工序是起浮，就是将上下钢沉井分离，吊走上沉井，把下钢沉井留在海里。在钢沉井顶部设计了16个300吨的吊点，供起浮阶段使用。

10) 在钢沉井起浮后为其设计了一个底座，既保证了钢沉井起浮后的结构安全，也可以满足采用气囊将其拉移进“水晶宫”的要求。

由此可见，钢沉井设计得合理与否直接关系到整个考古打捞项目的成败。

针对本项目工期紧张、技术难度高的特点，广州打捞局集中了技术、工艺、施工等各方面的人才自行设计和制造了该钢沉井。该钢沉井的主要技术难点在于：

第一，它是一个特殊的施工结构，在施工过程中的工况相当复杂，而且整个钢沉井下沉时必须罩住“南海I号”沉船，其内部必须是中空的，这使钢沉井的设计难度非常大。

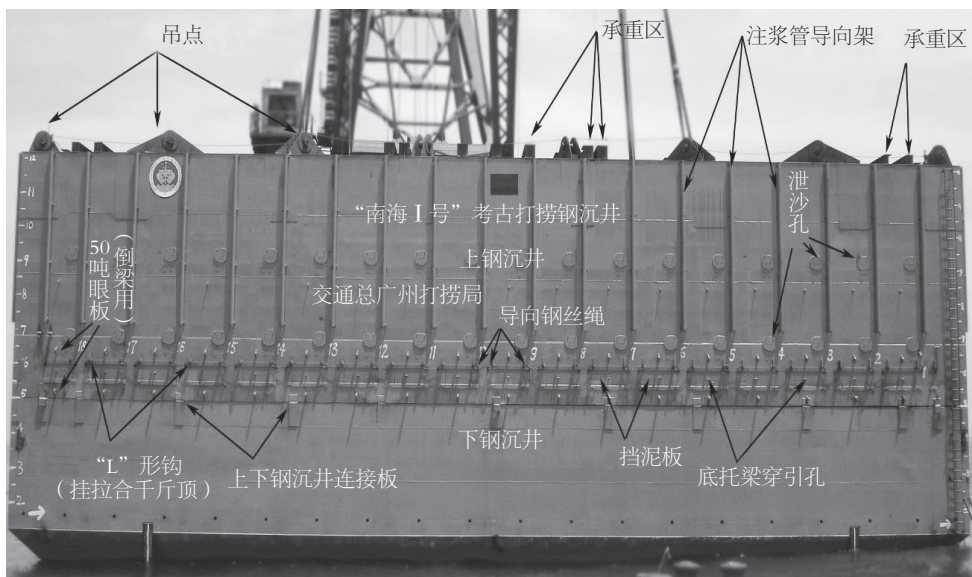
第二，为了最大限度地保护“南海I号”沉船以及文物，在设计中除了要

保证钢沉井的结构强度满足要求外，还要严格控制整个钢沉井在施工过程中的变形。

第三，钢沉井下沉到位后要在钢沉井的横向安装36条底托梁，并使这些梁与钢沉井形成一个整体进行受力，这在施工史上是一次大胆的创新。

该钢沉井采用双壳板架结构，根据钢沉井在施工过程中的不同用途将其分成上钢沉井和下钢沉井。下钢沉井5米高，它的作用是使整个钢沉井在施工过程中的稳定并确保钢沉井外侧开挖后沉船不会继续下沉；上钢沉井7.2米高，其作用是罩住整艘古沉船，在水下安装的36条底托梁也将支撑在该段，最后上钢沉井将连同文物一起打捞出水而下钢沉井将被留在海里。

该钢沉井设置了非常多的功能区，其主要功能区详见下图所示。



钢沉井功能示意图

钢沉井的主要功能区简要介绍如下：

- ①3个静压承重区，分别位于钢沉井的中部和两侧。
- ②双壳夹层的厚度为1.2米，其夹层在施工过程中将进行灌砂压重。
- ③16个300吨吊点，亚洲第一吊“华天龙号”将利用这16个吊点将上钢沉井

以及沉船一起吊至全潜驳。

④2个200吨吊点，用于起浮阶段必要时进行调整钢沉井的状态。

⑤注浆管导向架，用于对下钢沉井进行水下灌浆，固定整个钢沉井（由于土质比勘探报告的要硬得多，后来没有对下钢沉井进行灌浆处理）。

⑥卸砂孔。上下两排卸砂孔，总工96个，当钢沉井下沉到设计标高后，要对钢沉井进行减载以确保钢沉井的稳定，这时通过卸砂孔将上钢沉井的砂排除钢沉井夹层以达到减载的效果。

⑦“L”形钩，穿引底托梁的千斤顶将挂在该钩上面，每条底托梁对应两个“L”形钩，总共有72个钩，均匀分布在钢沉井的2个长边。

⑧50吨眼板，用于倒退底托梁用，每条梁对应应有上下各1条，总共72个50吨眼板。

⑨导向钢丝绳，穿引底托梁时用于对引络进行导向。

⑩底托梁穿引孔，底托梁穿引的时候从该孔进入，然后从另一侧的孔出来，在制作时用挡泥板将该孔封住，避免在钢沉井外侧开挖时钢沉井内部的泥沙外漏，在穿引该孔的底托梁前将其打开。

⑪上下钢沉井连接板，共36件，该结构在施工的前期阶段用于将钢沉井连接成一个整体，在起浮前将36件板水下切割，把上下钢沉井分离后起浮上钢沉井。

该钢沉井的制造历时仅为1个月，在工期紧张的情况下发挥出了我们打捞人的精神，克服了天气（雨天施工）、场地等客观条件的影响，顺利地制造出了该沉井，为“南海1号”的成功打捞迈出了第一步。

目前该钢沉井已经申请了专利并拿到了专利的批文。

（3）钢沉井的精确定位和下沉到位。

该项目钢沉井的定位和下沉同以往水工工程中的钢沉井有明显的区别：

第一，由于施工工艺的特殊性决定了钢沉井下沉后的开挖方式为外开挖，而非传统施工中的内开挖，外开挖不利于钢沉井的下沉稳定，这给钢沉井的下沉带来了很大的难度。

第二，在钢沉井下沉方式的选取上只可考虑采用静压法，因为采用振动的

方法有可能破坏古沉船和文物，这与传统的施工不同。

第三，本工程中整个巨型钢沉井均要在水面以下进行定位和下沉，这与传统的钢沉井施工截然不同。

第四，“南海 I 号”整体打捞的位置在外海，离岸超过20海里，其施工海况较为恶劣，现场的施工受风浪流的影响很大。

针对本工程的施工特点，在钢沉井定位和下沉的到位主要通过如下工艺实现：

- 1) 对沉船进行准确定位。
- 2) 使用先进的GAPS和高精度短基线定位设备实现水下定位。
- 3) 潜水员事先布置好定位标记，在钢沉井接近泥面时，潜水员水下检查钢沉井与定位标记之间的位置，保证到位后下放钢沉井。
- 4) 利用大吨位起重船“南天龙号”下沉钢沉井，船舶吃水深，平稳度较好，可以保证钢沉井在安装过程中不会摇摆。
- 5) 实用具有三维监测功能的姿态仪，可以实时监测钢沉井下放的平衡度、水下姿态和深度，以保证钢沉井平稳下降，并精确安装到预定位置。
- 6) 采用全静压块静压的方式进行沉放，可以保证钢沉井内的提取物不受损坏。

(4) 底托梁的穿引是一项全新的技术。

钢沉井下沉到位后要在钢沉井的横向安装36条底托梁并使这些梁与钢沉井形成一个整体进行受力，在起浮时这些底托梁要承受钢沉井内泥沙和沉船的重量，这在施工史上是一次大胆的创新。底托梁的穿引是整个工程中最关键的工序，也是施工的难点所在。

在能见度几乎为零的33米水深处进行海底穿梁，史无前例，难度相当大。可是我们的精兵强将则发挥了不畏艰难、敢于拼搏的精神，不断地创新工艺，优化工序，克服海底含沙泥层阻力大和作业现场浪涌大等种种困难，用了2016班次水，顺利、安全地穿过36根底托梁。底托梁的穿引有如下特点：

1) 在33米水深处进行穿引底托梁的施工，整个操作都是在能见度基本为零的环境下完成的。正如有很多工程界的同行所说的，这么复杂的工艺，在水面

上操作的难度都非常大，更何况是在能见度几乎为零的水下，什么东西都看不见，潜水员在水下只能靠摸施工。

2) 由于底托梁穿引过钢沉井底部后要 and 钢沉井形成一个整体（形成钢沉箱）进行受力，而且每条底托梁设计的荷载为137吨，其跨距达到12米，在此工况下底托梁的设计截面为825毫米×425毫米，如此大的截面要通过14.4米长的密实泥土所需的牵引力很大。

针对这个情况，我们通过计算配置了140吨的底托梁牵引力，并且设计了100吨的梁尾顶推力作为底托梁穿引的储备力。在实际的施工过程中，140吨的牵引力是能满足穿梁的要求的。

3) 施工现场的海况一直都不好，风浪都很大，作业船舶摇摆幅度比较大，导致了底托梁穿引施工过程中船上的吊机不能直接用于底托梁以及工装件的安装，需要考虑其他的辅助设备对工装件的安装以及底托梁的对位。

在施工过程中通过助浮气囊以及其他的一些专用设备进行底托梁及其工装件的安装，可以提高穿引底托梁的效率。

4) 底托梁从钢沉井一侧的梁孔进去后，要从另一侧的梁孔穿出来，设计上允许高度方向和水平方向的偏差值仅仅为10厘米，这个精度要求非常高，无异于海底穿针，因此在底托梁穿引过程中其轴线的控制是最关键的。

5) 底托梁穿引过钢沉井后，潜水员要对底托梁的梁头结构进行处理，使底托梁和钢沉井成为一个整体，在起浮阶段一起承受钢沉井内沉船和泥沙的重量。特别要指出的是底托梁穿引完成在梁头结构处理后，底托梁要对整个钢沉井的侧向位移提供约束以达到控制钢沉井整体变形量的要求。

6) 底托梁在设计上采用水密的密闭结构，这样可以降低潜水员水下安装底托梁的难度，同时可以减少起浮过程中所需的吊力，但是带来的问题是底托梁的结构要求更高了，它需要增加31米水深下的均布水压力。

在刚开始穿梁的时候我们的确遇到了很大的困难，由于没有任何经验可循，第一根底托梁的穿引整整花费了12天的时间。这是由于海底淤泥层的硬度超出了预测，加上附近水域水下能见度几乎为零，潜水员在水下作业很艰难，所以第一根底托梁的穿引一直没有成功。长14.8米、重5吨多的底托梁在海底淤

泥的强大阻力下，几度发生偏移。

但是我们并没有给困难吓倒，因为我们觉得从整个技术方案来说肯定是可行的，无论从设计的牵引力还是放底托梁的工艺方面都完全没有问题，其实最主要的问题就是如何在坚硬的泥层里控制底托梁的轴线。针对这个问题我们进行了分析，并且从工艺上进行了优化，从而提炼出了穿底托梁的四大“绝招”。

“绝招”一：助力浮袋抬底梁。

当底托梁放入海底时，依靠3个助力浮袋抬浮底托梁来进行安装。其施工工艺是在底托梁首部绑1个1000千克浮力的浮袋，梁中和梁尾分别绑1个500千克浮力的浮袋，接着向浮袋里充气，将整个底托梁调到半浮状态，潜水员可在水下轻轻推动，进行安装定位。通过此方法可有效减小底托梁直接用吊机就位受浪涌的影响，大大提高了工作效率。

“绝招”二：龙门铁架护掌环。

底托梁就是在拉合掌环（钢丝绳制）的牵引下逐步向前推进的，因此，为了避免掌环在穿引过程中与梁孔壁摩擦而导致断裂，项目部在梁孔处安装1个自创的“龙门”铁架，使掌环在“龙门”架子里面出来，这样既可保护掌环又可限制掌环在拉移过程中上下左右的偏移范围，对于底托梁中轴线的控制起到一定的作用。

“绝招”三：三方水炮控走向。

高压水炮是穿底托梁的得力“助手”。底托梁的梁首共安装了3组高压水炮，1组向上、1组向下和1组向侧边（向着前1根梁的那边），上下2组水炮主要是控制梁上下的轴线，而另一组向侧边的是控制梁左右的轴线，通过这3组水炮来控制 and 调整梁的走向。每当千斤顶拉合1段1.3米后，在钢沉井两边的潜水员分别用三角尺量出梁与梁孔、掌环与梁孔的数据，而技术人员马上就可根据这组数据来确定梁的走向是否有偏移中轴线，如果梁是向上偏的就打开向下的那组高压水炮，如果梁是向下偏的就打开向上的那组高压水炮，如果左右偏的就打开向边的水炮，从而将梁的中轴线调正。

坚持采用这种通过测量中轴线，接着采用高压水炮来控制 and 调整梁走向的方法和程序是我们控制底托梁中轴线最有效的措施，也是提高穿底托梁速度的

关键。

“绝招”四：毫厘不差穿沉箱。

穿底托梁另一个关键步骤就是准确地穿过对面的梁孔了。试想将十五六米的钢梁穿过沉箱，在岸上要做到毫厘不差准确地穿过对面的梁孔难度都相当大，更别说是漆黑的、水下31米处了，因此这需要讲究巧妙的方法。我们从最初穿引的几根梁中摸索和总结出了规律，及时对穿引工序进行进一步的优化。在穿梁过程中，每当梁首离对面梁孔1.4米左右时，指挥人员就要特别注意油压表的压力，如果压力在20兆帕斯卡（约70吨拉力）以下就可继续拉梁；倘若压力超过20兆帕斯卡（约70吨拉力），为避免掌环断裂，则需暂停拉梁，先安排潜水员钻进梁孔将梁首的硬泥沙抽掉，并检查梁走向的中轴线是否正中，同时还对卡梁首的掌环是否有断裂等情况进行检查。如果是中轴线有点偏移，就采用高压水炮来调整；假如梁首掌环有断裂问题就及时更换，确保检查无误后，方可继续开始拉梁，经过之前这些底托梁穿引的论证，此方法的判定非常准确，从而提高了穿引速度，解决了对梁孔难的大难题。

（5）“华天龙号”整体起浮“南海Ⅰ号”扬我国威。

起浮阶段是本项目最激动人心、最壮观的场面，也是检验钢沉井结构和水下穿引底托梁完毕后整个结构强度的阶段。

在起浮阶段，施工的主要船舶是亚洲最大的起重能力的“华天龙号”4000吨起重船，我们提前进行了技术方案的设计，使得整个起浮过程相当的顺利，“华天龙号”到现场后马上进行“南海Ⅰ号”起浮的准备工作。

2007年12月22日，历史将永远记住这一天。在这一天，“华天龙号”完成了“南海Ⅰ号”的起浮工作；在这一天，我们把一个举世瞩目的壮举展现于世人眼前；在这一天，我们刷新了中国海上起重的新纪录3860吨；在这一天，世人看到了中国工程技术的发展和工业水平的进步——“华天龙号”4000吨起重船，这是属于中国人自己的起重船。

“华天龙号”是我国自行设计制造的全回转大型海上浮吊设备，由广州打捞局自筹资金在上海振华港口机械公司建造，耗资6个多亿。它是迄今为止由中国自行设计和建造的最大起重工程船，最大吊力达4000吨。

“华天龙号”能稳稳地吊起重物进行360度回转，可在7级大风中照常作业；109米长的臂架，可以同时容纳300人在上面工作，自持力60天，是目前亚洲最大的现代化起重打捞和海洋工程船。它的核心部分是全回转吊机，在世界上首次采用了将两种回转吊机结构相结合的模式，保证了“华天龙”号能稳稳当当地吊起重物进行360度回转，也正是这一个核心技术，使得“华天龙”号能够保证装载“南海I号”的沉箱在起吊过程中保持稳定，避免摇晃，最大限度地避免船里文物出现损伤。

“华天龙号”是目前亚洲最大的集打捞、起重、海洋工程于一身的现代化起重打捞和海洋工程船，有着“亚洲第一吊”之美誉，拥有十余项中国和亚洲之最，被誉为展示自主创新能力的经典范例，她向世人展示了中国的工业水平完全可以制造出世界先进的大型起重船，打破了以前仅有欧美和日本能制造大型起重船的局面。

(6) 采用气囊拉移重达5500吨的重物在国内外尚属首创。

起浮后装载“南海I号”的钢沉井放在底托盘上面，其总重量达到了5500吨。我们通过多方面的技术论证和计算后，决定采用气囊拉移的方法将其移上码头并最终进“水晶宫”就位。

此次拉移作业有如下特点：

1) 单件物体重量达到了5500吨，创造了国内外气囊拉移重量之最。在此之前采用气囊拉移重物的最高纪录是5000吨，是广州打捞局在2005年深圳东部电厂施工中创下的纪录。

2) 拉移的直线距离达到了450米，创造了国内外气囊拉移距离之最。采用气囊进行长距离的拉移，重物的轴线控制是非常关键的，也是很有难度的。

3) 物体的尺寸和重量决定了拉移过程中我们采用的气囊必须具有很高的技术要求和性能，为此我们专门设计和定做了超高压耐磨的拉移气囊。在拉移过程中确保16条气囊同时处于工作工况，每条气囊的荷载到达了344吨。

4) 在拉移过程中，钢沉井上会有少量的水流出，使气囊处在湿的环境下气囊会产生打滑现象，给拉移施工带来很大的难度。

针对重量5500吨的“巨无霸”钢沉井拉移的特点，广州打捞局进行了精心



钢沉井移入“水晶宫”

的设计，选用了高性能的气囊，在拉移施工的前期做了充分的准备工作，确保“南海I号”安全地进入“水晶宫”。

(7) 钢沉井的保泥、保水措施有效地保护了文物。

由于穿引底托梁工艺的特殊性，相邻2条底托梁之间是有一定间隙的，最大的间隙达到16厘米，如果不进行处理，在起浮阶段钢沉井内部的泥沙和水都有可能通过这些空隙流走，从而对古沉船及其内部的文物造成破坏。

为了最大限度地保护钢沉井内部的文物，我们在底托梁穿引完成后进行了保泥和保水措施的施工。首先是在相邻底托梁之间穿引一块保泥板，将底托梁之间的间隙封住；然后进行保水措施的施工，保水措施是在底托梁和保泥板穿引完成后将梁头和梁尾直接用封堵材料进行处理，从而达到不漏泥沙和基本水密的效果。

保泥板和保水措施的施工均是在钢沉井起浮前进行施工的，其施工环境和底托梁的穿引环境相似——都是在能见度基本为零的33米水深下施工的，其施工难度相当大。

经过保泥和保水措施的施工后，基本上达到了保护文物的要求，上图是“南海I号”起浮出水后钢沉井内部的情况，从照片上看保泥和保水措施是做得相当成功的：钢沉井内部的泥沙基本不会流失，而起浮几天后钢沉井内部还

有大部分的水没有流走。

(8) “南海I号”保护环境的构建与维持。

长期浸泡在海水中的文物内部水分和盐分均为饱和状态，采集出水后暴露在空气中容易形成内部的水分蒸发和盐分结晶，从而致使发生变形、霉变、锈蚀，甚至损毁。即使采取了保护措施，由于保存环境的巨大改变而给文物带来的不利影响也是无法完全避免的，特别是木质船体保护过程中的抗氧化、抗腐蚀技术未能完全实现。因此，我们提出通过人工调控“南海I号”及其所载文物在博物馆中保存的水体环境的方式来实现对水下文物的保护。与传统的在空气环境中对水下文物进行保护的方法相比，具有如下优点：

1) 在经过指标优化的海水环境中保存“南海I号”及其文物，可以最大限度地延缓各类文物的劣化速度，为研究更加安全、有效的空气环境中的各类出水文物的保护技术争取了时间。

2) 由于一系列过程实现博物馆内沉船保存水体的封闭循环，使水体的各类指标因素更加稳定；然后通过调节温度、光照并采取相关的灭菌措施，就可以实现对水下文物的有效保护，可以大幅降低文物的保护费用。

3) 在博物馆沉船保存环境的构建过程中，通过臭氧杀菌、沉淀过滤、充氮排氧等手段来优化水体生物指标，通过调控温度、光线强度来优化水体的理化指标，技术上容易实现且费用较低，这是一种非常环保的保护方法，不会对博物馆及其周边环境带来任何不利影响。

4) 构建适宜沉船保存的人工水体环境，也为今后大规模的考古发掘和对外公开展示提供了良好的平台和基础。

(9) 沉船的室内发掘。

针对“南海I号”及其所载文物的考古发掘工作今后可以在博物馆内进行，避免了海上发掘能见度差，受海流、风浪影响大的不利因素，发掘条件更好，因此，可以更加完整地保存和采集沉船及文物所包含的各种历史信息。在室内环境中进行沉船考古工作，可以不必一次性发掘完毕，随着研究和保护工作的不断深入，有针对性地采取更加合理、及时的措施进行文物保护、科学发掘及信息采集技术，这样就可以更好地掌握了水下考古工作的主动性。同时，

在博物馆内进行水下考古发掘，可以最大限度地实现文物保护和博物馆展示的双重功能，普通观众可以近距离亲自观摩水下考古工作，目前在整个世界范围内是绝无仅有的。在沉船及其文物的室内发掘工作中，课题组准备采用如下新方法和新技术：

1) 采用陆地考古和水下考古发掘技术相结合的方式进行“南海I号”沉船的考古工作。结合沉船埋藏状况和周围淤积物、文物的特征，采用在沉船表层淤积物清理时使用水下考古发掘方法。而当清理工作面接近沉船船体时，降低“水晶宫”内的水位采用陆地考古技术进行逐层发掘。

2) 在发掘定位阶段，利用“水晶宫”周边的潜水平台、沉箱四角和探方框架构建测量网，利用全站机和浮标相结合的方式实现精确定位和测量。

3) 运用徕卡HDS6000三维激光扫描仪进行高精度点云数据采集（采集速度为每秒50万点，精度 ≤ 1 毫米），并利用点云数据实现发掘单元、沉船和文物的三维数字化复原。

（10）是多学科、多专业会战的结晶。

“南海I号”整体考古打捞工程涉及相当多的学科，包括：考古学、钢结构、水下液压技术、土力学、结构力学、水动力学、工程力学、材料力学、流体力学、弹性力学、航海学、海洋气象学、海洋生物学、海洋工程测量、水下测量监控技术、海洋环境学等学科。

同时，该工程涉及多方面的工程领域，包括：考古工程、船舶工程、焊接工程、测量工程、地质勘探工程、潜水工程、海洋工程、水工工程、救助打捞工程、特大重物拉移等领域。

在海上打捞过程中，我们第一次把这么多的学科和专业技术综合运用到一起，达到了技术上的大集成，大大提升了打捞技术、丰富了打捞方法，为以后同类工程提供了非常好的借鉴意义。

（11）创新和影响。

“南海I号”整体考古打捞史无前例，没有任何经验可以借鉴、参考。这项工程涉及多学科和多专业领域，其难度之高、技术之精、工艺之尖均前所未有。我局工程技术人员为了最大限度地保护水下古沉船及其文物的完整，精心设计、

大胆创新，采用了世界首创的沉箱法整体打捞新工艺。在实际施工过程中，遇到的困难大大超出了论证阶段的分析和评估，加上受到海底地质和多个台风等许多不确定因素的影响，使工程复杂程度和难度远远超出了我们的预料。

面对种种困难我们始终坚持“时间服从质量和安全”的原则，稳中求进，以极端负责任的精神对待每一个分项、每一道工序的施工，我们攻克了一个又一个技术难关，先后完成了钢沉井的设计和制造、沉船的精确定位、钢沉井的下沉、36条底托梁的穿引、临时码头的建造、“南海I号”的起浮、5500吨钢沉井拉移进“水晶宫”等主要工序。经过264天的艰苦施工，在2007年12月28日，随着钢沉井顺利进入“水晶宫”就位，“南海I号”整体考古打捞工程终于胜利完成。

“南海I号”整体打捞的成功，创造了气囊拉移单件重物5500吨的世界新纪录。“华天龙号”4000吨起重船成功起浮“南海I号”，让世人看到了中国人自己设计和制造的巨型起重船。“华天龙号”被誉为展示自主创新能力的经典范例，它向世人展示了中国的工业水平完全可以制造出世界先进的巨型起重船，打破了以前仅有欧美和日本等发达国家能制造的局面。

香港《文汇报》曾在1月29日发表文章说，“南海I号”的打捞不但为中国经济史、文化史、社会生活史研究提供了重要线索，更是中国水下考古事业发展的一个重要的里程碑。应该说“南海I号”整体打捞成功的意义不仅仅在于这些，更重要的在于它让世人看到了我国工程技术的发展和工业水平的进步，为中华民族争了光！

根据打捞出水遗物判断“南海I号”是一艘南宋沉船。船舱内保存了6~8万件文物，初步判定其性质为远洋贸易商船。这艘商船从发现到打捞出水，带给中国乃至世界巨大的震撼。

首先，“南海I号”沉没于海底800多年，船体却保存得相当完好，整艘船没有翻、没有侧，而是端正沉在海底，船体的木质相对比较坚硬，这样的例子在世界水下考古史上也是极为罕见的。关于造船的原料，有学者认为是马尾松。根据广东民间说法：水泡千年松，风吹万年杉。这种树木多见于南中国地区，如福建、广东、广西等地，是中国制造船只的重要木料。这样完整的宋代船只标本是首次在中国海域发现，为全面了解中国古代造船技术发展提供了重

要的参考依据。

其次，船上运载的货物和生活舱出现的各类文物，对于研究中国宋代海外贸易提供了重要线索。这类满载中国陶瓷的沉船在世界其他海域也曾有发现，例如：著名的印度尼西亚苏门答腊彭加山岛附近海域打捞出“黑石号”沉船以及韩国出水的新安海底沉船，都曾经出过数以万计的中国瓷器。这次打捞的“南海I号”，从年代上看，排在“黑石号”和新安沉船之间，从出水海域看，接近中国海上丝绸之路的起点，因此很好地弥补了研究资料上的缺环。

再次，从船货的种类来看，船上的商品主要是中国瓷器，产地有江西景德镇、浙江以及福建等多个瓷器窑口。这些瓷器应该是从中国某港口，可能是泉州或明州(今宁波)港，销往海外进行远洋贸易的。据史书记载，在中国瓷器没有传入东南亚的时候，流眉国(今马来半岛)“饮食以葵叶为碗，不施匙筋，掬而食之。”中国瓷器的输入改变了当地人的生活习惯，大大提高了他们的生活质量。这样大规模的瓷器船货出水，充分印证了史书上关于中国陶瓷外销规模的记载。

最后，除了船货之外，“南海I号”的生活舱还出水了精美的金器、铁器以及船上生活所用的陶罐等，有人就此推测“南海I号”船上的人应有富有的商人。大小不等的陶罐应为船上的生活用具，用来盛放水和酒的，宋代文献中就曾记载，远洋途中船员们饮酒消遣，可以驱寒和缓解疲劳。这些文物的出现，为复原当时远洋航行中的生活情景提供了可靠的依据。

“南海I号”的打捞不但为中国经济史、文化史、社会生活史研究提供了重要线索，更是中国水下考古事业发展的一个重要的里程碑。海底古沉船的打捞对大多数中国人来说，还是一个比较陌生的名词。在西方世界，却是冒险家和航海者非常热衷的活动。这些人执着地徘徊于历史重要航线上，不断地探寻淹没于海底的宝藏。由于相关法律界定得比较模糊，因此海上探宝造就了不少一夜暴富的传奇。如1985年，英国人哈彻在南中国海打捞出大批明末清初瓷器，在荷兰拍得2000万美元的高价；1999年，他食髓知味，又在南中国海打捞出清代晚期“泰兴号”沉船，打捞出数万件白瓷以及紫砂壶等精美陶瓷制品。这些瓷器重见天日固然是件好事，但以商业利益为前提的打捞活动，对于这些宝贵的历史遗迹遗物无疑是一种无可挽回的破坏，令人扼腕。

中国考古界很早就开始关注中国海域的沉船遗迹，但中国的海岸线漫长，据不完全统计，沉船超过2000艘，而中国在这方面的探索起步很晚。以“南海I号”为例，早在1987年，广州救捞局与英国海洋探测公司在阳江海域寻找东印度公司沉船的时候，就已发现这艘巨大的宋代商船，打捞起200多件瓷器文物标本。但在之后的10多年中，由于人力物力资源的限制，一直没有进行大规模的考察和打捞工作，直至2000年，中国历史博物馆水下考古研究中心才联合广东省文物考古研究所组成专业考察队伍，经过多次实地勘查，充分借鉴了国外的经验，最后确定了整体打捞、兴建“水晶宫”的全套方案，为沉船的后续研究、保护以及对外展览工作提供了空间，无论在经济效益、社会效益还是推动学术研究方面都可以一一兼顾。这一工程是中国考古史上的创举，见证了中国水下考古队伍的发展，标志着中国专业古沉船打捞团队的成熟，希望在不久的将来，越来越多的海底宝藏可以重见天日，中国的水下考古事业可以进入一个全新的时代。(文汇报摘录)

四、“南海I号”保护环境的构建与维护

“南海I号”沉船的整体打捞和 underwater 保护发掘是广东省建设文化大省的一件大事，也是我国水下文物发掘和保护研究中的一件大事。这样一个在世界考古史上都有重要意义的大型文物的保护，已受到各级政府、业务主管部门和社会的广泛重视和关注。

由于水下大型木质文物的整体保存是一个前所未有的新鲜事物，其保护过程已不再只是考古学一个学科能够独立解决的问题。海水环境又是一个极为复杂的环境类型，因此，有关“南海I号”的保护问题就成为一个涉及化学、物理学、生物学、材料学以及相关工程学的多学科课题。

经过与文物保护部门有关专家以及“南海I号”工程方人员的认真沟通，根据海洋水环境的特点，制定了相关方案并在实验室进行了模拟试验。根据近1年的试验运行，取得了预期的研究结果，并根据研究获得的数据，提出了未来在广东省海上丝绸之路博物馆“水晶宫”保存“南海I号”的水环境条件以及维持该环境的技术要求和设备。2007年12月28日，“南海I号”进入“水晶宫”后就按

此方案实施，目前沉船的保护环境已经构建起来。

1. 保护环境研究的设计思路

为了能够有效地提出和建立具有可操作性的古沉船保护方案，对沉船地点的原环境状况的分析是本课题的第一步。在获取沉船现场的实际资料后，经过综合分析，通过一个人工控制水环境的模拟实验，为“南海I号”保存环境的构建提供参考数据，实现既能有效地保护沉船，同时又具有较强可操作性的目的。在研究过程中严密监测并控制人工水环境的温度、含氧量；分析在人工控制条件下水体相关化学因子和微生物群落的变化情况，以此寻找一个最适合保存沉船的水体环境。

本研究主要包括三个方面的内容：第一，对水体（包括阳江沉船点水样和研究过程中人工模拟箱中的水样）及沉船处沉积物的理化指标分析，确定理化指标维持在一个相对稳定的范围；第二，生物指标的测定，包括沉积物中底栖动物、船体微生物、沉船处水样中微生物、采回水样微生物和人工模拟箱中水体微生物的鉴别及总量测定、人工控制环境中小型真核生物的监测；根据微生物总量的变动情况适当调整人工模拟箱中水环境的相应条件，使模拟水环境中微生物总量低于沉船上微生物总量水平；第三，人工控制水环境中水体温度、溶氧及室内大气温度的全程测定，对水环境的变化人为进行调整，使之维持一个较为稳定的环境。

在选择环境控制手段和技术上，还考虑到未来的沉船保护工程不给阳江沿岸带来环境影响，因此，本方案中选用的主要技术环节中没有污染物的排放，避免了可能对周围环境产生影响的化学防腐手段。

该研究从2007年1月19日的沉船点样品采集到2007年11月30日测定的最后一个人工控制环境水样止。

2. “南海I号”沉船地点与保护场所周围的水环境分析

(1) 沉船地点和博物馆取水口的水化学环境。

现场水样共采集了2次。第一次采集于2007年1月19日的沉船处和博物馆取

水口，为150升。采集后的海水带回实验室，除留作生物分析外，一部分注入已清洗干净的水族箱，立即充臭氧进行消毒处理；另一部分经消毒处理后，装桶密封，以备后用。第二次是采集于2007年4月30日的阳江沿岸，也为150升，次日带回实验室后，经相同处理后，备用。

同时，采集了用于水化学分析水样5升，带回实验室后立即进行水化学分析。水化学指标包括：水样的pH值、氯化物、悬浮物、无机磷、亚硝酸盐N、硝酸盐N含量、化学需氧量以及铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）、铜（Cu）、镍（Ni）、铬（Cr）、钼（Mo）和锰（Mn）等金属元素的含量。氯化物、pH值、悬浮物、COD和无机磷、N等当天做完，对于较浑浊的水样则要经由过滤后才能测定。

不同的化学指标采用不同的方法进行。

pH值的测定：每次采集的未过滤海水，当场直接用pH计测定，记录结果。

悬浮物的测定：每次采集的海水样品过滤后，所得滤膜在45摄氏度下烘干至恒重。

$$\text{悬浮物 (mg/L)} = \frac{w_1 - w_2}{V} \times 1000$$

其中， w_1 为所用滤膜及悬浮物质量； w_2 为滤膜质量； V 为相应滤膜过滤的海水体积。

化学需氧量采用碱性高锰酸钾法测定，氯化物用银量滴定法测定，无机磷采用磷钼蓝萃取分光光度法测定，硝酸盐用锌镉还原法测定，亚硝酸盐采用萘乙二胺分光光度法测定，锌和铅采用阳极溶出伏安法测定，铜、镉、镍、铬、锰、钼元素测定用石磨炉原子吸收分光光度法测定。

古沉船地点与博物馆取水口水样的水化学基本特征见下表。

沉船地点与博物馆取水口水样的水化学基本特征表

水样来源	水化学指标						
	pH值	氯化物 (g/L)	悬浮物 (mg/L)	化学需氧 量 (mg/L)	亚硝酸 盐N (μ g/L)	硝酸盐 N (mg/L)	无机磷P (μ g/L)
古沉船点	8.21	18.3	17.8	1.35	—	0.18	3.92
博物馆取水口	8	17.4	55.4	2.31	—	0.048	15.2

注：“—”为未测到。

从上页表中可以看出，两地的海水pH值分别为8.21和8.00，为碱性环境。沉船点和博物馆取水口水体氯化物含量分别为18.3克/升和17.4克/升。海水中的悬浮物和主要营养物（COD、P）含量，博物馆取水口较沉船点的高。这与沉船点相对距海岸线较远有关；沉船点以及博物馆取水口水样中未测到亚硝酸盐，这些数据说明水样应该处于溶解氧相对较高的有氧状态。

沉船地点与博物馆取水口海水中的金属物质含量见下表。

沉船地点与博物馆取水口海水中的金属物质含量表

水样来源	金属含量 ($\mu\text{g/L}$)							
	锌	铜	锰	钼	铅	镉	铬	镍
古沉船点	30.6	15.4	6.43	11.3	6.8	0.77	7.84	2.21
博物馆取水口	35.6	46.3	17.5	4.43	11.8	0.93	2.02	6.28

上表显示出博物馆取水口海水所容纳的金属物含量较沉船点的多。海水中的金属元素的含量在不同采样点之间，除Mo之外，也有相同的变化趋势，即博物馆取水口海水中的金属元素含量高于沉船点海水的含量，且两个采样点的金属元素均以Cu、Zn为最多，其次为Mn和Pb，而Cd的含量最低，分别为0.93 微克/升 和0.77微克/升。近岸海域海水中有较多的金属物是普遍规律。



用于水化学成分分析的紫外分光光度计

(2) 沉船上沉积物样品的采集。

沉船上的沉积物样品40千克左右，于2007年1月19日在沉船处采集。采集后的沉积物立即以无菌塑料袋密闭保存至次日送至实验室，一部分用于理化指标的分析，一部分用于底栖生物指标的测定。

(3) 沉积物中理化指标的测定。

重金属含量的测定：采集的沉积物经烘干，称取1.5克（± 0.001克）于100毫升烧杯中，加2毫升水湿润，加15毫升硝酸（1+99），在电热炉上盖上表面皿加热微沸半小时，再补加10毫升硝酸（1+99），待反应缓和后取下稍冷，移去表面皿，加入2毫升高氯酸，继续加热并蒸发至干，用水仔细地淋洗杯壁并蒸至白烟冒尽（残渣呈灰白色）。取下稍冷，加10毫升（1+99）硝酸溶液，加热微沸片刻，取下，趁热用滤纸滤入100毫升量瓶中，用热水洗涤烧杯和残渣数次，将滤液冷却至室温，加水至标线，混匀。贮于100毫升干燥的聚乙烯瓶中。测定了底泥的铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）、铜（Cu）、镍（Ni）、铬（Cr）、钼（Mo）和锰（Mn）元素含量。分析采用石墨炉原子吸收分光光度法。

沉船上沉积物中的金属物质指标表

金属含量 (μg/L)							
锌	铜	锰	钼	铅	镉	铬	镍
3.7	>6.7	>6.7	0.34	0.67	0.41	0.41	0.13

由上表可见，沉船点沉积物中金属的含量以铜与锰最高，都超过了6.7微克/升，其次为锌（3.7微克/升），之后是铅（0.67微克/升）、镉（0.41微克/升）和铬（0.41微克/升），而以镍的含量（0.13微克/升）在该沉积物中为最低。

3. 海水及沉船上沉积物中生物环境分析

(1) 海水中的浮游生物组成。

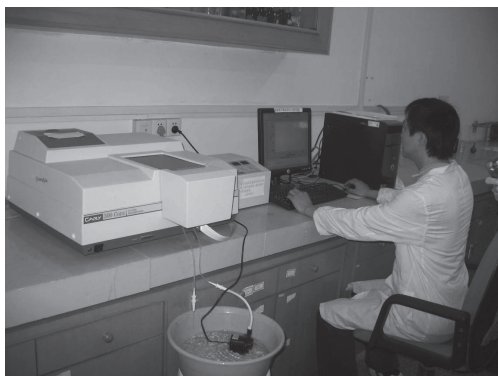
通过浮游生物网在沉船点和博物馆取水口的海水中采集定性和定量样品，带回实验室，按常规浮游生物观察法对水样的浮游生物进行显微镜观察。结果



研究人员正在进行化学滴定分析



用于样品化学元素分析的等离子光谱仪



研究人员正在应用原子吸收光度计分析
样品化学特性



用于电化学和水质金属含量分析的
旋转圆盘电极

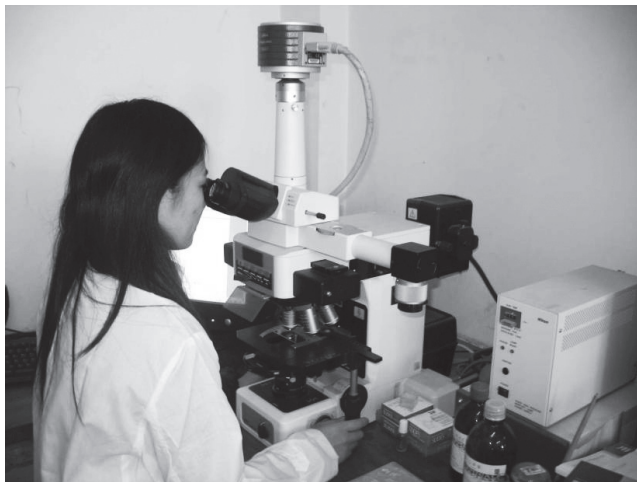
显示：两地水样中的浮游生物主要均是由硅藻构成的浮游植物群落和桡足类为主的浮游动物群落所组成。博物馆取水口水样中的浮游生物密度较古沉船点的高2个数量级。

另外，水样中未发现大型动物的存在。

（2）沉积物中底栖动物的鉴定。

大型底栖动物的分析：取古沉船点沉积物20千克左右，经80目（0.2毫米）国家标准检验筛筛选，挑出沉积物中的底栖动物，置于70%的酒精水溶液中保存，以备后续底栖动物个体的种类鉴定与统计。

小型底栖动物的培养与鉴定：取带回的沉积物1.5千克，置于直径15厘米的培养皿中，以阳江沉船点海水进行培养，在显微镜下（Nikon E-800）观察其中的小型底栖动物（如原生动物、线虫等），进行种类的鉴定与个体计数。



研究人员正在进行样品中生物组成的显微镜观察

（3）沉积物中的底栖生物调查结果。

洗泥后共挑出已死亡的4片贝类的壳片，且壳片表面均有一定程度的磨损。经鉴定，其中有2壳片同为卵蛤（Pitar），其余2壳片分别属于镜蛤（Dositia）和格特蛤（Marcia）。它们都是软体动物门双壳纲中的小型贝类。

应用各种方法对沉积物进行的原生动物培养也未发现有其存在的迹象；另外，在沉积物中也未见有藻类的存在。这些现象说明由于大量的沉积物的覆盖，使沉船表面长期处于一个厌氧的环境下。因此，木质的沉船能够在水下保存较长的时间。

（4）微生物学检测。

1) 海水细菌培养实验。

用1毫升移液枪吸取试管中样品1毫升，加至一个盛有9毫升无菌海水的试

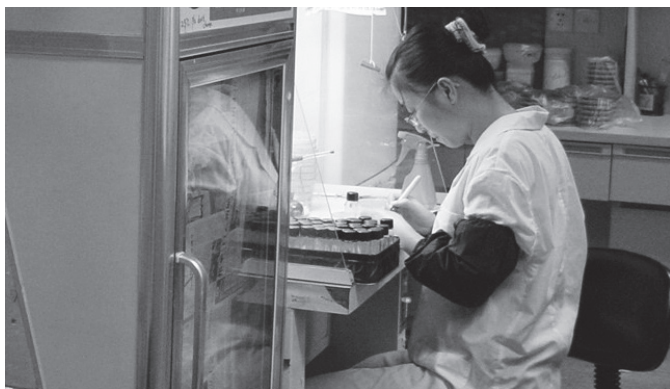
管内，制成稀释1倍的样品稀释液，同法按每次稀释10倍的顺序得到稀释10倍、100倍、1000倍和10000倍的样品稀释液。每种样品稀释液分别涂板（2216培养基）2个，使用玻璃珠涂布法。将平板置于25摄氏度的恒温箱中培养，48小时后观察并计数。



样品中微生物培养实验

2) 沉船附着微生物分离。

用无菌棉签在酒精灯旁分别从船体木头以及对照木头表面轻轻刮下一层生物薄膜，然后将其浸入海水中制成悬浮液。按照四分区画线法进行画线分离实验，经培养之后观察菌落颜色，并分别取不同颜色菌落做分子生物学鉴定实验，以确定菌落的具体种类。



研究人员在进行样品的微生物学分析

3) 微生物种类的分子鉴定。

A. DNA提取实验。

方法一：试剂盒提法。

方法二：手动提法（从细菌中制备基因组DNA）。

B. PCR扩增反应。



研究人员在进行微生物DNA提取实验

(5) 用于人工控制水体对沉船保护试验的碎片采集。

在相关部门和单位的协助下，沉船上的建筑木质材料（8.7厘米×6.2厘米×3.6厘米）于2007年1月22日采集到，为避免与空气过多接触，木块出水后立即埋于一并采集上来的沉积物中，与沉积物一同带回实验室，用于后面的试验。

4. “南海I号”沉船保护的人工控制水环境的设计

根据对“南海I号”沉船地点各种样品的分析结果，结合文物考古专家和水下工作人员提供的有关信息，我们认为：“南海I号”之所以能够在海底800多年没有腐烂，原因是多方面的。其中一个重要的原因就是由于沉船点处海水流动性很差，使得海水中的许多非常细小的颗粒性物质能够沉积下来，并覆盖在沉船的表面。由于这些细小颗粒间的空隙很少，故由这些细小颗粒构成的沉积物层就将沉船表面与周围水环境中的有氧环境隔离开来，在局部区域形成了一

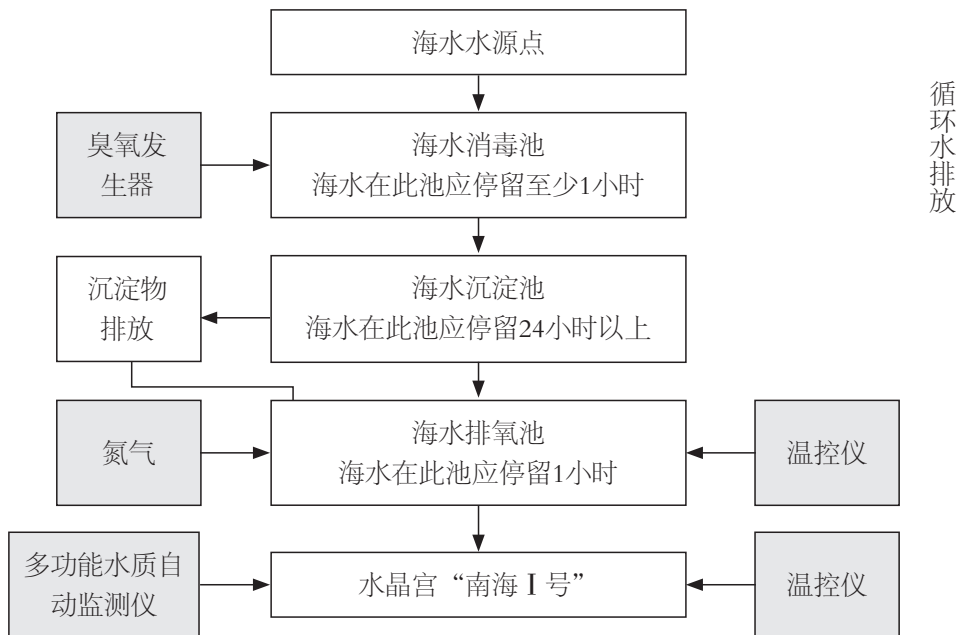
个低氧环境。厌氧环境不仅降低了海水中氧化还原反应的速度，同时也抑制了海水中各类生物的生存。厌氧环境客观上起到了保护沉船的作用。因此，建立一个厌氧或低氧水环境是“南海I号”保护中一个重要的前提条件。

同时，沉积物的覆盖导致了沉船表面的温度能够长期保持在一个较为稳定的范围内，变化幅度小。大量的研究表明：较低的环境温度可以使生物的各种活动减少。

许多水下或地下文物发掘过程的经验和教训也提示我们要注意的另外一个重要的环境因子——光。大量的证据显示紫外光对出土文物的伤害往往是不可逆的，古沉船表面的沉积物层也同时起着阻挡光线照射到古沉船表面上。

通过与国家文物保护单位的交流和沟通，考虑到未来的古沉船文物发掘工作和向公众展示的需要，我们认为提供一个水温稳定、水中溶解氧含量低、光照强度弱、基本上没有多细胞生物生存可能的水环境是长期保护古沉船的关键。

5. “南海I号”保护环境技术流程示意图



说明:

1. 海水水源点处应建设沙井, 海水的抽取要先通过沙井过滤。
2. 臭氧发生器应接出多个气头, 并将其放置在池底部。
3. 海水沉淀池的出水口应开在池的腰部, 底部应有排放沉淀物的开口。
4. 应在海水排氧池底部多设氮气的气头。
5. 在“水晶宫”的充氮应设置在水面附近, 避免搅动底部的沉积物。
6. “水晶宫”进水口应在其上半部; 循环水排放口应位于“水晶宫”的底部。
7. “水晶宫”的多功能水质监测仪应具有根据事先设定的参数而自动启动温控仪、充氮或更换部分海水的功能。
8. 根据“水晶宫”大致体积测算, 完全放满水的总水量应是 $(60 \times 40 \times 12)$ 立方米 = 28800 立方米。根据试验的结果, 建议总体积的水能够在 1 个月内完全更换 1 次, 故每天应能更换 960 立方米。考虑到首次用水量在一段时间内会较大, 故海水消毒池的容积应在 1000 立方米, 沉淀池的体积 3000 ~ 5000 立方米。

6. 文物保护方案以及实施情况

根据上述“南海 I 号”保护技术流程, 并结合广东海上丝绸之路博物馆的建设进展情况, 博物馆筹建办在保护方案实施方面进行了大量的工作, 以确保“南海 I 号”沉船及其所载文物的安全。

1) 在博物馆内建成独立的海水系统。

该系统由海岸取水泵站、过滤沙井和室内水循环系统构成。海岸泵站抽取广东海上丝绸之路博物馆附近的海水后, 首先经过泵站附近的过滤沙井进行不少于 24 小时的沉淀、过滤, 去除海水中的大部分杂质和海洋生物残体后, 再将其抽取到“水晶宫”内用于古沉船保护。

2) 控制“水晶宫”内的光线强度。

光是一种能量, 波长越短, 能量越高, 光对物质形成的一般损伤也越大, 在同等量的条件下是紫外光 > 紫光 > 蓝光 > 黄光。因此, 对“水晶宫”中使用的光源安装有必要进行限制, 特别是避免短波长的光源直接对水体和文物进行照射。在博物馆环境中, 依据《博物馆建筑设计规范》中规定的展品照度推荐值, 结合人眼在室内对光照度值的适应范围和参观的需要, 将“水晶宫”内部的光照强度控制在 < 150 勒克斯范围内, 有特别需要局部区域也尽量 < 250 勒克



海上丝绸之路
研究书系

篇 星 座

海上敦煌

南海一号及其他海上文物

广东省人民政府参事室（文史研究馆）编

崔勇 张永强 肖达顺 著

SPW 南方出版传媒
广东人民出版社

作者简介



崔勇：男，1962年出生，广东省文物考古研究所水下考古研究中心主任、研究员。

1985年开始从事田野考古工作，1988年开始从事水下考古工作，主持过多项田野考古项目。田野考古方面：主持发掘的高明古椰史前贝丘遗址项目入选“2006年度中国十大考古新发现”，同时获2006—2007年度国家文物局“田野考古奖”二等奖（一等奖空缺）。水下考古方面：全程参与“南海1号”调查及整体打捞工作；主持“南澳1号”水下考古发掘工作，该项目入选“2010年度中国十大考古新发现”及中国社科院“2010年度考古论坛六大发现”。全程参与的“南海1号”整体打捞项目先后获“国家文物局文物保护奖”一等奖、文化部“创新奖”、中国航海学会“科技进步奖”一等奖。发表报告、论文等30余篇。



张永强：男，1975年出生，华南理工大学博士生，高级工程师，全国交通运输系统青年科技英才，交通运输部广州打捞局业务处处长，“南海1号”古沉船整体打捞项目技术负责人，国内最大沉船“夏长”轮整体打捞项目经理（项目负责人），主要从事沉船打捞及海洋工程技术的研究，是“海洋石油699”以及“圣永”轮等打捞项目的项目经理。



肖达顺：男，1981年生，广东省文物考古研究所水下考古中心考古队员，馆员。2005年毕业于中山大学考古学专业，并于当年就职于沈阳市文物考古研究所，至2011年脱产考上中山大学文物与博物馆专业硕士，2013毕业并考入广东省文物考古研究所至今。期间发表论文及考古发掘报告数篇，出版田野考古专刊一本。



出品人：姚丹林
出版策划：周 晶
责任编辑：周 俊
责任技编：许伟斌
封面设计：友间文化 / 黄新乐

ISBN 978-7-5454-3834-5



9 787545 438345 >

定价：38.00元