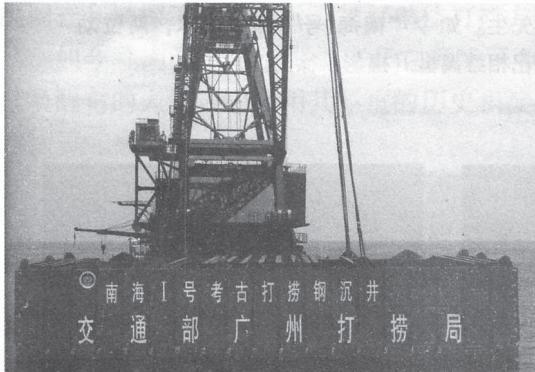


## “南海 I 号” 2007 整体打捞

魏 峻

十年磨一剑。中国的水下考古事业在“南海 I 号”发现之后的十余年里已经有了长足的发展，无论是水下考古设备还是水下考古人员专业都具备了进行近海海域大型考古发掘的能力。特别是进入 21 世纪之后，国家文物局更是积极推进“南海 I 号”水下考古项目，为大规模发掘而进行的水下考古物探和试掘工作陆续展开。明显加快的考古工作，不但逐渐揭开了这条沉睡了八百多年的古船的神秘面纱，同时也让考古人员开始认真思考他们正面临着的一个巨大难题——采用何种方式发掘这条沉船？



沉井入水（广东省文物考古研究所供图）

为保证万无一失，广州打捞局使用了具有 900 吨起吊能力的“南天龙”号工程船。沉井的安放工作于 2007 年 5 月 17 日进行



凝结物出水（广东省文物考古研究所供图）

国际水下考古领域流行的“布设水下探方，对沉船遗址进行逐区、逐层发掘，先发掘船内文物，再清理沉船本体”的思路无疑是非常有吸引力的：其一，方法上安全稳妥，有大量国内、国际的水下考古经验可资参考；其二，单次工作时间短，受海洋气候和环境因素影响较小；其三，使用的设备和技术相对简单，工作强度和难度相对较低。然而，就“南海 I 号”的具体情况而言，上述方法的实施会遇到一些巨大且难以有效克服的困难。首先是沉船所在海域的海水能见度极差（一般在 20 厘米以内），受海底的淤泥质沉积和海水中悬浮颗粒的影响，即使大量运用水下光源或者使用化学沉降剂也无法有效改善能见度状况，这无疑会影响考古发掘和资料采集的科学性；其次是因为沉船个体较大且埋藏于深达 1.5 米的海底淤泥之下，无法一次发掘完成（初步估计需要两到三个年度），而按照该海域超过 10 厘米/月的回淤速度，每次工作都要面临大量的重复工作。此时，一个全新的想法出现在考古人员的脑海中，是否可以像 20 世纪 30 年代考古学家发掘殷墟 YH127 甲骨坑一样，采用整体取出、异地清理的办法，把“南海 I 号”整个移到一个“新”环境中进行发掘呢？这样做不但可以避免海洋气候、能见度对水下考古造成的不利影响，而且可以为科学的、有计划的文物保护和考古发掘提供充足的时间和条件，以便最大限度地采集各种考古信息。不过这种新方法实施起来也不是没有困难，不仅该方法对设备和技术的要求极高、单次投入经费大，而且在世界水下考古和海洋打捞领域没有任何既往经验可供参考，如何制订安全、科学的方案，保证水下文物和打捞工程的安全，是方案制订者需要慎重思考的问题。



2005 年在北京召开发掘方案专家论证会（广东省文物考古研究所供图）



“南海 I 号”出水瓷器上附带大量凝结物（广东省文物考古研究所供图）



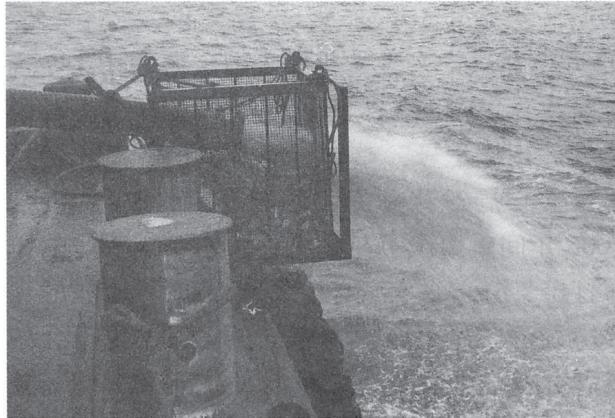
考古人员入水（广东省文物考古研究所供图） 整体打捞工作的第一步是对沉船外围的散落文物以及凝结物进行水下考古清理，为后面的沉井安放和整体起吊扫清“障碍”，保证沉船周边文物不至于遗失

从 2002 年开始，广东省文化厅、国家博物馆、交通部广州打捞局联合华南理工大学、四航局设计院等科研单位进行了《“南海 I 号”整体打捞及保护方案》的技术攻关。国家文物局对这一方案的制订工作高度重视，仅 2005—2006 年间就组织了文物考古、水下工程、岩土力学、海洋打捞、海洋水文气象、环境保护等领域的专家对整体打捞方案进行了四次专家论证。根据论证会的意见，方案制订者对方案进行了反复的优化和完善，并补充进行了大量模拟试验和科学计算。2006 年 6 月，《“南海 I 号”整体打捞及保护方案》最终获得论证通过，专家们认为这一方案“设计指导思想正确、施工工艺先进、资料齐全、数据可靠、设计合理、结构完整，并以有关学科理论为依据，通过模拟试验进行实践，切实可行”。国家文物局认可了这一意见，并批准由广东省文化厅组织实施“南海 I 号”的整体打捞工作。那么，怎样实现“南海 I 号”整体打捞呢？简单地讲，整体打捞的基本思路就是把“南海 I 号”沉船、船载文物以及沉船周围的泥沙按照原状固定在特制的钢箱内，将分散、易碎的文物一体化、一次性吊浮起运，放置到可人为控制的新水体环境进行发掘和保护。

### （一）勘探·清理

2006 年底，随着国家文物局补助“南海 I 号”整体打捞的 3000 万元经费到位，广东省文化厅正式启动了“南海 I 号”考古打捞工作。根据既定计划，整体打捞工作的第一步是对沉船外围的散落文物以及凝结物进行水下考古清理，为后面的沉井安放和整体起吊扫清“障碍”，保证沉船周边文物不至于被遗失。为此，“南海 I 号”水下考古队于 2007 年 4 月初，开始着手对“南海 I 号”沉没海域进行高精度的水下声呐及浅地层剖面仪扫测，以便摸清沉船周边的散落文物和凝结物分布状态，为水下考古清理提供科学依据。为了获得更大范围内文物散落情况的信息，考古队决定将方案中原先设定的以“南海 I 号”沉船为中心  $100\text{ 米} \times 100\text{ 米}$  的扫测范围扩大到  $1000\text{ 米} \times 1000\text{ 米}$ 。扫测结果显示，“南海 I 号”周边散落文物的分布情况与 2001 年以来历次探摸情况相吻合：即距离沉船本体越远的区域，散落文物和凝结物的数量越少。在声呐扫测图像中，2007 年 2 月抽泥定位时形成的凹坑清晰可见，沉船周边约 1 米的范围内存在少量船体残块及散落的船货；稍远区域（船舷外侧  $1\sim 4$  米）基本不见“原生”状态的文物，主要是 1987 年发现“南海 I 号”时，倾倒回海中的陶瓷器或金属器碎片，以及由这些碎片形成的个体大小不一的凝结物；而沉船船舷外侧 5 米以外的区域，则基本不见散落文物和船体残块。浅地层剖面仪的扫测数据表明，沉船表面被平均厚度约 1 米的淤泥覆盖，从泥面至船底的深度不

及由这些碎片形成的个体大小不一的凝结物；而沉船船舷外侧 5 米以外的区域，则基本不见散落文物和船体残块。浅地层剖面仪的扫测数据表明，沉船表面被平均厚度约 1 米的淤泥覆盖，从泥面至船底的深度不



滤筐及抽泥头（广东省文物考古研究所供图） 清理外围文物时，探方内淤泥的抽取工作使用了气升式抽泥设备，这种设备主要通过在抽泥管口附近注入压缩空气，改变抽泥管内的压力差，从而将抽泥管口附近的淤泥、贝壳以及细碎文物提升到水面进行过滤。为了保证个体较小的文物不会遗失，考古队在抽泥管出口处悬挂上金属滤筐进行过滤

超过5.1米（4月27日，天津水运工程科学技术研究所对沉船进行的浅地层扫测结果再次确认了这一数据）。

4月10日，12名水下考古人员乘坐广州打捞局的南天柱号工作船到达“南海I号”所在海域，沉船外围区域的考古清理工作正式开始。按照预定清理计划，并参考水下扫测影像分析结果，考古队决定将考古清理的范围确定为船舷外侧1~5米区域（船舷外侧1米以内区域的淤泥及文物将被固定在沉箱内，吊浮起运到广东海上丝绸之路博物馆的水晶宫中进行后续发掘）。水下考古清理方法以探方法进行，探方的长、宽尺寸根据清理区域的散落文物、凝结物的数量和分布范围的具体情况而有所不同。探方发掘遵循考古地层学的由上至下，由晚及早逐层清理的原则。探方内淤泥的抽取工作使用了气升式抽泥设备，这种设备主要通过在抽泥管口附近注入压缩空气，改变抽泥管内的压力差，从而将抽泥管口附近的淤泥、贝壳以及细碎文物提升到水面进行过滤。为了保证个体较小的文物不会遗失，考古队在抽泥管出口处

2007年整体打捞前，在沉船外围清理出水近500件文物，有大宗瓷器，成摞成捆的铁锅和铁钉，以及少量金镯、金器、锡器等（广东省文物考古研究所供图）



铁锅



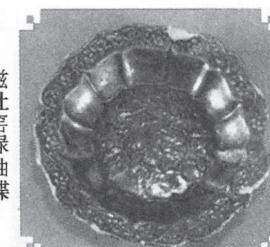
金镯



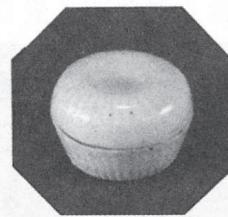
箭片



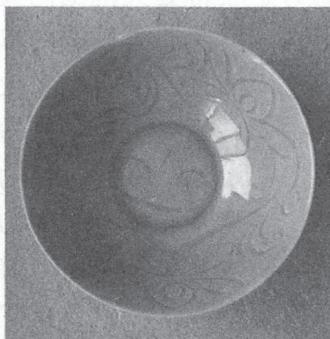
锡器盖



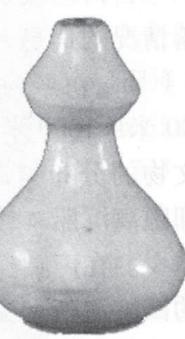
磁灶窑绿釉碟



德化窑青白瓷粉盒



龙泉窑系青瓷碗



德化窑葫芦瓶

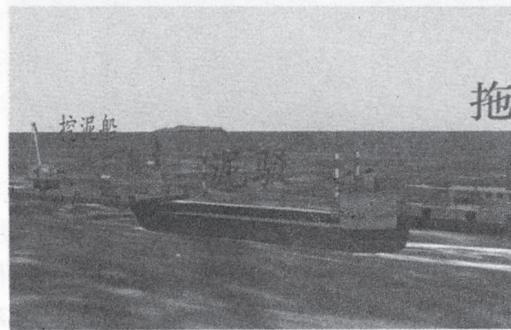
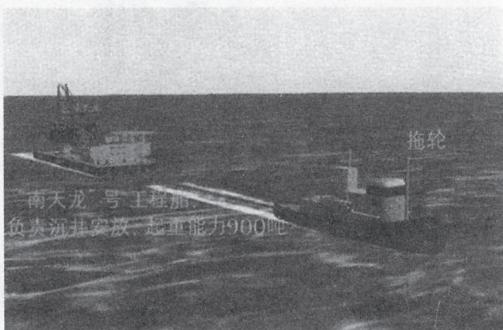


磁灶窑绿釉葫芦瓶

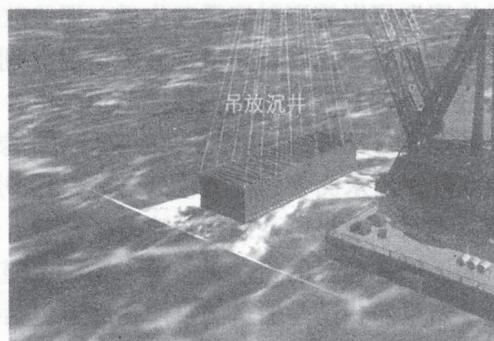
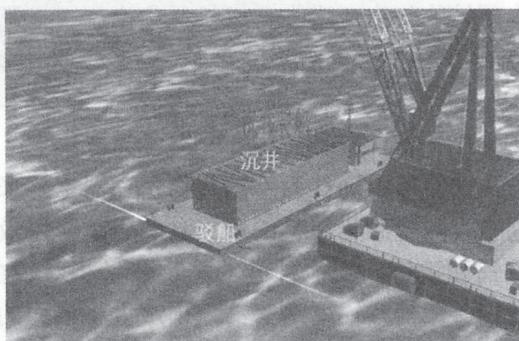


德化窑四系罐

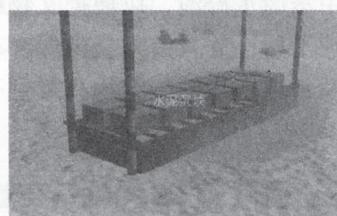
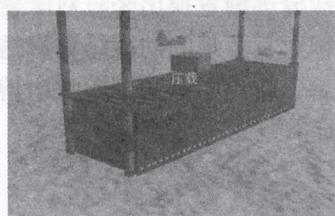
悬挂金属滤筐进行过滤，滤筐孔径小于1平方厘米。由于本次工作期间，海水能见度在大多数时间都能保持在10~20厘米，这样的水质状况为水下考古人员顺利完成考古清理工作提供了较好的作业环境。随着探方内的淤泥被逐渐抽出，个体较大的文物和凝结物慢慢展现在考古人员的眼前。在对这些遗物完成编



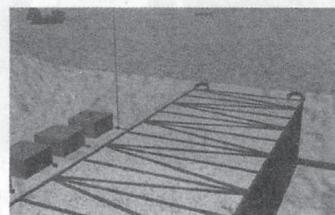
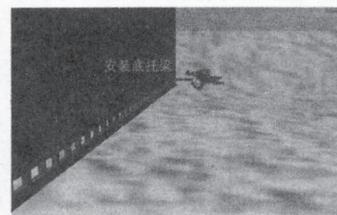
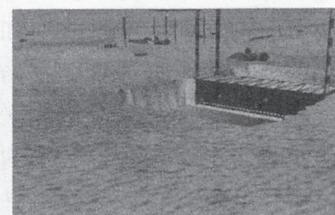
整体打捞的基本思路就是把“南海 I 号”沉船、船载文物以及沉船周围的泥沙按照原状固定在特制的钢箱内，将分散、易碎的文物一体化、一次性吊浮起运，放置到可人为控制的新水体环境进行发掘和保护（广东省文物考古研究所供图）



**沉井** 沉井是装载“南海 I 号”的“容器”，平面呈回字形结构，由上、下两部分组合而成。为了保证下压和起重作业的安全，设计者巧妙地构思了沉井的结构和附件。工程船以吊臂的主钩吊起沉井，并以两组副钩控制沉井平衡。同时，用钢缆固定沉井四角与水下锚点，这样沉井在下沉过程中就不会发生偏移



**压载** 沉井下沉到预定深度的任务需要通过静压完成，也就是把预制好的水泥沉块依次平稳放置到沉井上部，通过加大沉井重量促使其逐渐下沉。因为采用了静压的方式，沉井在下压过程不会产生震动而且下沉速度相对均匀，可以最大限度地保护已罩在沉井内的“南海 I 号”的安全



**沉箱** 沉井下压到位后，就要开始给沉井“封底”了，也就是要变“沉井”为“沉箱”。首先，工程师们需要在沉井两侧都挖出长 30、宽 40、深 8 米，底部平整的工作平面。然后给沉井安装 36 根底托梁，底托梁每根 5 吨重，设计成中空结构，一端为方形，另一端为倒 Y 形。这样的设计更能满足密封性和稳定性的要求。待 36 根底托梁全部穿引成功，上沉井也“摇身一变”，成为底部封闭的沉箱。然后，潜水员将先打开箱体外壁的泄沙孔，让沉箱内壁的泥沙排出“体外”，减轻沉箱重量；再使用水下液压切割工具，将沉箱的上、下两层分离，切割下来的下沉箱将永留海底

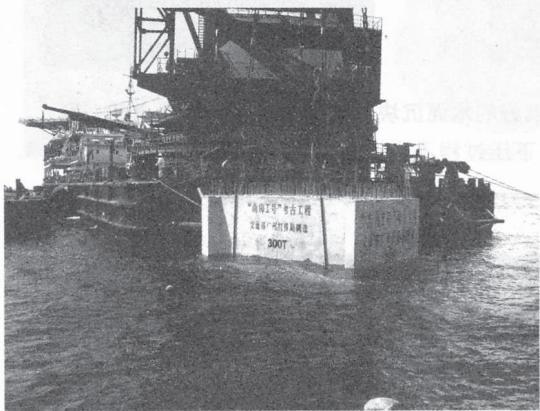


吊浮 通过亚洲地区起重能力最大的“华天龙”起重船和“全潜驳”配合作业。全潜驳拥有可以下沉到海底任意指定深度，然后再浮出海面的能力。用华天龙的巨臂将沉箱稳稳吊起，然后慢慢放到潜入水中的驳船上，再操纵驳船平稳上升到海面

号、绘图和摄影等资料记录工作后，那些散落文物和个体较小凝结物将由考古人员直接采集出水；而那些个体较大的凝结物则首先根据实际情况分别以网兜或者钢缆绑缚牢固，然后在确认不会影响到“南海 I 号”安全的前提下吊出水面。

截至 5 月 4 日，“南海 I 号”外围散落文物及凝结物的清理工作全部结束，共清理出各类文物 137 组近 500 件。出水文物的种类较为丰富，其中批量出水的瓷器以及铁器可以确认为外销货物：瓷器主要来自景德镇窑系、龙泉窑系以及福建若干窑口，包括影青瓷、青瓷、青白瓷和铅绿釉的碗、盘、碟、壶以及大小不一、形态各异的粉盒、瓶等；铁器主要为成摞、成捆的铁锅和铁钉。其他种类的文物数量相对较少，不能确定是船货还是船员的自用物品，包括鎏金龙纹饰物、金镯、漆器和锡器等。清理出水大小不同的凝结物共 129 块，最大的一块长、宽都接近 2 米。值得关注的是，因为被淤泥覆盖，不仅沉船的木质船体保存较好，本次考古清理中还发现了不少尚未炭化的有机质遗存，如植物种子和用来包扎货物的篾片等。

为了防止文物在出水后因脱水过快所造成的损坏，考古队针对不同文物的材质特点，采取了不同的初级保护措施。陶瓷器和漆木器一般直接用蒸馏水浸泡，以便把文物中所含的盐分逐渐置换出来；对于受海水腐蚀程度较小的金器、铜质文物则在晾干后，放入密封袋内保存；那些体积大、不规则的凝结物以透气遮阳布覆盖，一天数次喷淋海水保持湿润，当出水的凝结物积累到一定数量后，就集中运送到阳江市博物馆专门修建的玻璃钢水池中浸泡保护。

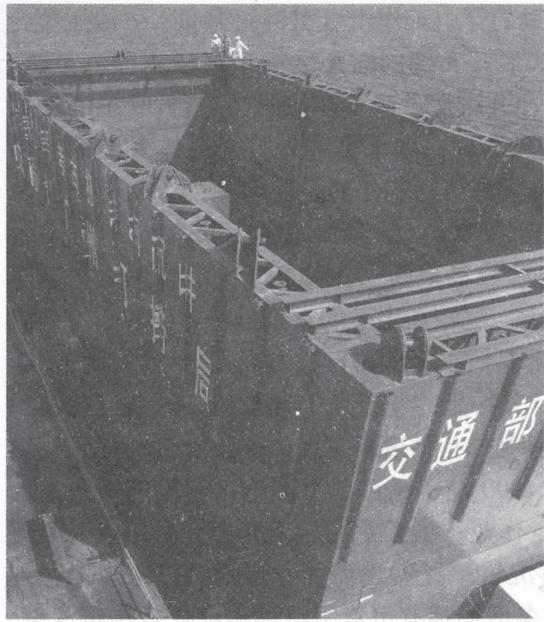


水泥沉块入水（广东省文物考古研究所供图）  
沉井过程中，把预制好的水泥沉块依次平稳放置到沉井上部，通过加大沉井重量促使其逐渐下沉到预定位置

防止沉井壁在海水压力下发生变形，另一方面可以利用中空的“壁”进行灌沙，加大沉井自重，加快沉井下沉到位。设计者还在上沉井外壁预留了两排椭圆形的泄沙孔，当沉井压载到位准备起吊前，就打开泄沙孔排出沉井壁中的泥沙，减轻沉井重量。再次是沉井外壁装配了数十根“高压旋喷定位管”，其作用是在沉井压到位后，将特制的速凝水泥浆注入下沉井外侧的淤泥中，使下沉井外侧淤泥凝固变硬，这样可以

## （二）沉井·压载

要了解整体打捞，就不能不先介绍一下沉井。沉井是装载“南海 I 号”的“容器”，平面呈回字形结构，全长 35.7、宽 14.4 米，自重 550 吨。沉井由上、下两部分组合而成，其中上沉井高 7.2 米，下沉井高 5 米。为了保证下压和起吊作业的安全，设计者巧妙地构思了沉井的结构和附件。首先是沉井的上、下层结构，之所以这样设计，是防止沉井两侧淤泥开挖后，沉井外侧压力减小而导致的箱底淤泥受压向外隆起的危险。同时，下沉井壁的下端被设计成内切的楔形，这样不仅更加方便沉井下压，而且可以防止沉井内部淤泥的受压变形。其次是沉井的四壁采用了中空的“双壳体结构”设计，即总厚度为 1.2 米的沉井壁面由两层有“之”字形钢结构支撑的壁组成。这种结构一方面可以有效



钢沉井（广东省文物考古研究所供图）

并以两组副钩控制沉井平衡。同时，用钢缆固定沉井四角与水下锚点，这样沉井在下沉过程中就不会发生偏移。一切准备就绪之后，沉井的安放工作于 5 月 17 日上午正式开始，六个多小时后沉井下沉到预定位置。经潜水员下水测量、探摸，沉井定位准确、姿态平衡，并且由于自身重量的原因，沉井的下端已经沉到淤泥面以下约 1.5 米深处。

沉井下沉到预定深度的任务需要通过静压完成，也就是把预制好的水泥沉块依次平稳放置到沉井上部，通过加大沉井重量促使其逐渐下沉。因为采用了静压的方式，沉井在下压过程不会产生震动而且下沉速度相对均匀，可以最大限度保护已罩在沉井内的“南海 I 号”的安全。此时，仍然可以通过沉井四角的信标监控其三维的状态，一旦发现不均匀沉降现象产生，将通过及时调整水泥沉块位置的方法使沉井恢复水平状态。



“华天龙”号起重船（广东省文物考古研究所供图）

看了这些底托梁，它们也是经过精心设计的。底托梁共 36 根，每根长 14.48、宽 0.8 米，每根重量约为 5 吨，设计成中空结构，一端为方形，另一端为倒 Y 形。这样的设计使得底托梁在穿越上沉井下部后，能

起到防止沉井继续下沉和为穿底托梁提供较硬的“工作平台”的作用。最后是沉井顶端半圆形吊点全部设计成向心结构，即这些吊点的方向均朝沉井顶部的中心点汇聚，可使连接吊点和吊钩的每条钢缆均衡受力，起到保持沉井平稳起吊的作用。

沉井运抵打捞现场前，交通部天津水运工程科学研究所的超短基线定位系统已经调试完毕。这种代表国际最先进水下定位技术的设备由水面基站和水下信标组成，通过换算固定的水下 DGPS 信标、安装在沉井四角的信标以及水面基站之间声波的传播时间，可以动态监控沉井与预定下压位置的距离、沉井水平状态和沉井在海水中深度的变化数据，而且系统测量误差小于 20 厘米。

在沉井下沉过程中的动态监控和精确定位有了安全保证之后，工程技术人员抓住 5 月中旬前后海况条件绝佳的有利时机，决定采用备用的沉井安放方案，即不先打定位桩而直接沉放沉井。为保证万无一失，广州打捞局使用了具有 900 吨吊力的“南天龙”号工程船，以吊臂的主钩吊起沉井，

### (三) 沉箱·吊浮

沉井下压到位后，就要开始给沉井“封底”了，也就是要变“沉井”为“沉箱”。首先，工程师们需要为这种“变形”创造一个适合的工作平面，也就是挖除上沉井外侧的淤泥层。挖泥工作从沉井外侧 30 米处开始，逐渐向沉井靠近。为了保证沉井两层淤泥的均匀泄压和沉降，在沉井一侧挖走 2 米厚的淤泥层后，把挖泥船移至沉井另一侧，同样从外侧 30 米处由远及近，挖掉厚约 4 米的淤泥。然后再换回先前那一侧，继续挖出厚约 4 米的一层淤泥。如此循环，直至沉井两侧都挖出长 30、宽 40、深 8 米，底部平整的工作平面。为防止挖泥抓斗碰撞沉井造成损坏，抓斗上设有信标，可以对每次挖泥作业进行精确定位。靠近沉井壁的淤泥不用抓斗清除，而改用气升式抽泥法，用抽泥管将淤泥移开。

接下来的工作是给沉井安装底托梁，这是整个“南海 I 号”打捞过程中技术难度最大的一个环节。可别小

够与沉井壁紧密契合，更能满足密封性和稳定性的要求。底托梁的穿引工作由牵引钢丝绳和水下液压拉合千斤顶配合完成，可以提供约 150 吨的牵引力。底托梁的倒 Y 形开叉部同时还装配了高压水喷淋系统，一旦在底托梁穿引过程中遇到的淤泥阻力过大，将启用高压水冲开淤泥，减少摩擦阻力。待 36 根底托梁全部穿引成功，下沉井也“摇身一变”，成为底部封闭的沉箱。然后，潜水员将先打开箱体外壁的泄沙孔，让沉箱内壁的泥沙排出“体外”，减轻沉箱重量，再使用水下液压切割工具，将沉箱的上、下两层分离，而切割下来的下沉箱就将作为承载着中国水下考古历史的独特“印记”永留海底。

把“南海 I 号”及其周围泥沙稳妥固定起来的沉箱现在已经稳稳地矗立在海底了，但是怎么把这个巨大的沉箱安全吊起，仍是一个不小的难题。即使有海水的浮力，沉箱在水下的重量也将达到 3000 多吨，而一旦吊出海面，沉箱的重量将会大大超过 4000 吨，普通起重船根本无法吊起这样的“庞然大物”。为了完成这一艰巨的任务，广州打捞局精心准备了两件“利器”。其一是“华天龙”起重船，这条巨轮总长度 175、宽 48 米，船底到主甲板的高度将近 17 米，今年 4 月刚刚在上海建造完成。这条投资 6 亿元巨款打造的“起重航母”，可以进行 360°全回转起吊，起重能力达 4000 吨，是目前亚洲地区起重能力最大的新型船舶。可以在七级大风、2.5 米浪高的海洋环境中维持正常作业。华天龙的起重能力完全可以满足沉箱在不出海面状态下的起吊要求；其二是全潜驳，它承担着将沉箱“托”出海面并运送到广东海上丝绸之路博物馆“水晶宫”中的任务。所谓的全潜驳，顾名思义这条驳船拥有可以下沉到海底任意指定深度，然后再浮出海面的能力。用“华天龙”的巨臂将沉箱稳稳吊起，然后慢慢放到潜入水中的驳船上，再操纵驳船平稳上升到海面。全潜驳中部有特制的钢结构板架，板架形状与沉箱底部结构吻合。同时，板架表面还覆盖着一层橡胶，当沉箱被放置到板架上时，将会把橡胶紧紧压在板架上，可以满足对沉箱底部进行密封的设计要求，防止沉箱内发生海水、淤泥的泄漏，以及由此造成的对“南海 I 号”船体的挤压损坏。有了这些技术和设备，完全可以解决将巨型沉箱安全“托举”到海面所面临的各项技术难题。



“南天柱”号，2007 年整体打捞一直使用的工作船（广东省文物考古研究所供图）

在拖轮的牵引护航下，装载着沉箱和“南海 I 号”的全潜驳被缓缓拉向阳江海陵岛的十里银滩。在那片洁白的沙滩上，新建成的广东海上丝绸之路博物馆就像一个美丽的“洞房”，正在静静地等候着“新娘”的到来。

（原载《中国文化遗产》2007 年第 4 期）