



常规起重船外海无掩护安装大型 沉箱施工组织与控制

黄建阳, 王俊杰

(中交第三航务工程局有限公司 厦门分公司, 福建 厦门 361006)

摘要: 在常规情况下, 大型沉箱外海无掩护安装须采用大型起重船组, 才能克服恶劣海况, 确保施工安全, 但是, 大型起重船组台班费高, 船源少, 进度与成本难于控制。以福建鸿山热电厂煤码头及引堤工程沉箱安装为实例, 总结常规起重船在外海无掩护条件下成功完成大型沉箱安装的施工组织与措施, 对类似外海工程沉箱安装具有一定的借鉴作用。

关键词: 外海; 无掩护; 沉箱安装

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)03-0208-05

Construction organization and control of installation of heavy caisson in un-shielded sea using normal floatable crane

HAUNG Jian-yang, WANG Jun-jie

(Xiamen Branch of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Xiamen 361006, China)

Abstract: In order to ensure safety, heavy cranes and ships are usually used for installation of heavy caissons in un-shielded sea. But the cost control of heavy cranes and ships is difficult because of high fees. Taking the caisson installation of coal wharf and breakwater of Fujian Hongsan Power Station as an example, this paper summarizes the cost control and construction organization of the installation of large caissons using the normal floatable crane under the condition of un-shielded sea, which may serve as reference for similar projects.

Key words: open sea; un-shielded; installation of caisson

1 工程概况

福建鸿山热电厂煤码头及引堤工程位于泉州湾口南侧海域, 码头长360 m, 通过850 m长的引堤和1 200 m长的新回填陆域护岸与大陆连接。码头外侧为抛石防波堤结构, 内侧为重力式沉箱结构(图1), 共25个2 300 t沉箱, 沉箱高17.3 m, 长17.5 m, 宽14.0 m, 内有12个格仓。

本工程沉箱安装任务艰巨, 难度极大: 1) 工程平面布设为突堤式, 面向台湾海峡, 无任何掩护(图2); 2) 海况复杂恶劣, 常年受到涌浪、东北季风、台风影响极大, 高水位SE~SSE向设计波高 $H_{1\%}=7.96$ m, 海上可作业天数只占全年历日的

30%; 3) 工期紧, 目标明确, 即工程2008年7月20日开工, 沉箱必须在2009年9月30日即东北季风来临前顺利安装完成, 才能确保2010年7月20日工程交工验收, 电厂如期发电; 4) 公司现有的起重船(型长35 m, 型宽20 m, 型深3.5 m, 空载吃水1.9 m)起吊力只有2 000 kN, 与之相配套的半潜驳(型长54 m, 型宽33.6 m, 型深4.5 m, 空载吃水1.9 m, 最大潜深19 m)举力只有50 000 kN, 常规情况下无法完成本工程沉箱安装任务, 而外租大型起重船和半潜驳受到台班费高、船源少的限制, 成本难于控制, 进度无法保证; 5) 港池及回旋水域暗礁多, 开挖量多, 半潜驳难以下潜。

收稿日期: 2012-09-01

作者简介: 黄建阳(1973—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事项目施工管理工作。

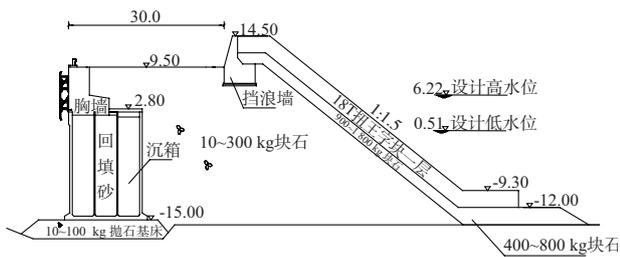


图1 码头断面(单位:m)

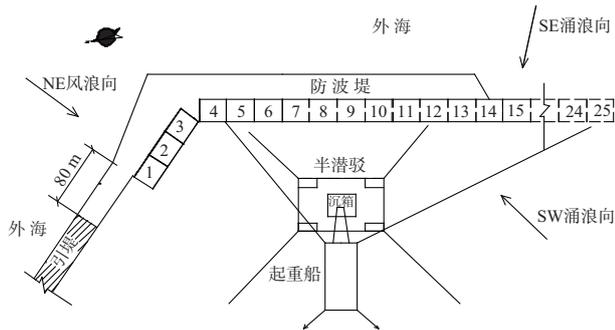


图2 沉箱安装顺序与半潜驳就位示意图

2 施工组织策划

根据现有的施工环境,只能因地制宜,采用公司现有的常规起重船进行沉箱安装,而公司现有的起重船组最大起吊力只有2 000 kN,只能在风力 ≤ 7 级的气候条件下才能沉箱安装。据以往气象资料统计全年只有54 d具有这样的气候条件,因此须从工程一开工就认真进行系统的安装策划,有计划地创造施工条件,把握好有限的机会,避开恶劣气候,实现节点目标:1)沉箱现场预制,沉箱预制、搬运、上半潜驳等分项工程进度应具备1个潮水安装1个沉箱的能力;2)制定沉箱预制、基床整平、沉箱安装、沉箱填芯、防波堤抛填等各关键分项工程施工进度计划,在4—9月海上可施工期间等待比较好的气候安装沉箱,相应的后续工序及时跟进,确保沉箱安全稳定;3)从细节上采取相应的控制措施均要与现有的起吊力2 000 kN起重船及施工环境相匹配,避开恶劣天气,择机迅速安装;4)由于防波堤码头顶宽只有30 m,只能先安沉箱后抛填防波堤,由岸边往外海按顺序,分阶段安装(图2),每阶段安装最多个数不超过6个,以便能按现场最大抛石进度能力,在台风登陆袭击前及时回填沉箱仓内填砂与抛填沉箱后防波堤堤芯石,形成整体,确保沉箱安全防台;5)半潜驳下潜坑选择在码头前沿停泊水域范

围(图2),在基槽开挖过程中应把86 m宽的停泊水域开挖至设计-15.0 m要求,以满足沉箱安装过程中半潜驳下潜深度要求;6)引堤抛填至距第一个沉箱80 m时暂停抛填,确保引堤石不滚落基床内,第一个沉箱安装完后应及时将引堤抛填至沉箱边,形成陆上通道,保证后续沉箱安装后能及时抛填防波堤,形成整体。

3 控制措施

3.1 安装工艺

施工准备→安装平台→安装闸阀→沉箱搬上半潜驳→半潜驳拖航至下潜坑→半潜驳下潜至甲板距水下5 m→起重船就位挂钩→沉箱吊移出半潜驳→沉箱灌水→沉箱就位装。

3.2 细节改进

考虑到风浪、涌浪影响对安装的影响,从细节上进行适当的技术改进。

3.2.1 沉箱进水

在沉箱前后墙距底板1.0 m高的位置各预埋2个内径20 cm法兰盘进水孔,进水孔内侧安装闸阀,操作人员通过转杆在沉箱安装平台上开关闸阀门,控制沉箱的进水,从而克服了风浪、涌浪大,导致潜水泵碰撞沉箱严重,无法灌水的困难,确保进水得到有效控制。

3.2.2 安装吊点

在沉箱顶部前后壁与各隔墙交叉处各预埋2个直径42 mm圆钢吊环作为吊点,吊环并排组成,内径及外露长度均为150 mm,以满足50 t卸扣工作尺寸的要求。吊点抗拉力 $F_2=1\ 160\ \text{kN}$,沉箱安装控制起吊力1 800 kN,8点吊同时受力起吊,按6点吊计算,每吊点平均受力 $F_1=300\ \text{kN}$,吊环安全储备系数 $K=3.87$ ($K=F_2/F_1$),比常规安装提高1.5倍安全系数。

3.2.3 安装平台

由于风浪、涌浪大,半潜驳摇摆幅度比较大,操作工人在沉箱顶上应有足够的工作范围,才能克服起重船大钩的碰撞,因此,安装平台应宽敞、安全。每套平台由7片长方形钢平板组成,框架为[10槽钢,面板为 $\delta 4\ \text{mm}$ 花纹钢板,平板底部四端设有25 cm长的牛腿,卡在沉箱竖墙上,以

防止平板左右滑动；平板顶面外边设有30 cm高的扶手栏杆，沉箱倾斜时操作人员可安全应急；平板面设置多排排气孔，减少水气浮托力，确保平板的稳定。

3.3 技术控制

3.3.1 把握安装气候

安排专人每天认真收听天气预报，在确保3 d内均是风力 ≤ 7 级的情况下，才进行沉箱上驳与安装，从而避开恶劣气候。

3.3.2 半潜驳就位下潜

沉箱通过高压气囊搬运上半潜驳，半潜驳拖航至指定位置抛锚就位，随后起重船就位，并将起重船左右两根抽芯缆系在半潜驳甲板系缆桩上（图2），调整就位后，半潜驳开始下潜，下潜过程中，注意调节各平衡塔压载水，使半潜驳一直处于平衡状态，以保证沉箱稳定。

3.3.3 起重船就位挂钩

半潜驳下潜过程即可开始灌沉箱2.0 m高压仓水，同时，先把安装吊索扣锁在沉箱吊点上，并确保每根吊索间不互相缠绕，半潜驳下潜至沉箱吃水5 m时暂停下潜，起重船通过抽芯缆和前锚绞缆就位挂钩。由于风浪、涌浪大，起重船组摇摆幅度大，因此，挂钩过程中应耐心等待至摇摆幅度小于1.0 m后才能挂钩，挂钩过程应精力集中，动作敏捷，配合密切。

3.3.4 沉箱出半潜驳

挂完钩后，逐渐增加吊力，随沉箱下潜不断松钩，吊力始终控制在500 kN内，下潜过程中应带好沉箱与起重船间的围缆，以确保沉箱稳定性，下潜至沉箱吃水达到起浮离驳的临界水深10.8 m时，解开起重船与半潜驳的连接缆，吊力增加至1 000 kN，通过绞锚后退，缓慢把沉箱从半潜驳上吊移开，离驳过程中，半潜驳必须继续下潜，直至沉箱全部吊出为止。

3.3.5 沉箱安装

沉箱吊出半潜驳后立即灌水，降低重心，增加稳定性。起重船通过绞锚把沉箱吊移到现场安装位置就位，就位下沉过程中起吊力稳定在1 000 kN内，当沉箱下沉至距基床顶面0.3 m时，沉箱停止灌水，对沉箱进行精确测量定位。采用GPS-RTK

进行沉箱安装测量定位，从而克服了夜间、雨天、雾天等特殊时段的影响，确保沉箱只要有潮水有气候24 h均可测量安装。

3.4 组织控制

3.4.1 主动沟通，创造良好施工环境

沉箱安装船组属于大型施工船机设备，受到地方海事部门监管；同时沉箱上半潜驳出运码头海域是渔船避风区，现场施工海域是捕捞作业场，渔船的停泊、作业对沉箱安装存在极大的潜影响。因此，安装前应作好各项沟通工作，创造良好施工环境，尽最大潜能作到不浪费任何一个难得的可安装沉箱的潮水，从而确保进度与安全：1) 到当地海事部门办理《水上水下施工许可证》，并发布航行通告；2) 通过当地航道站在码头最端部设置海上警式航标灯，所有施工船舶应设置锚标灯，确保沉箱安装期间海上作业安全；3) 通过当地边防、村委会等部门让工程周边渔船都清楚沉箱安装作业时间与沉箱位置；4) 事先聘请合适村民与交通船参与工程施工管理，起到项目部与村民沟通的桥梁作用，加大协调渔船的力度。5) 主动与业主、监理、设计、主管部门、各级领导沟通汇报，取得他们的理解与支持，从而争取更多资源，特别是安装船组能长驻现场，待气候安装。

3.4.2 注重细节，充分挖掘人员潜力

共有120名各岗位人员直接参与沉箱安装，应注重细节，充分挖掘人员潜力：1) 对每个班组、每艘船船员进行详细的技术安全交底，确保每个岗位都很清楚沉箱安装各项目标及各安装过程中应注意的事项；2) 指定专人负责雨衣、救生衣、照明、备用电、各类辅材等材料齐全备用与保管，负责上下交通船、通讯沟通、加班送餐等后勤工作，做到轮班休息得到保证，从而达到保效率，保精力，保进度，保安全的目的；3) 主动关心各岗位人员的工作生活，与他们建立友情，经常性组织讨论沟通，及时集中各岗位人员的意见，及时总结改进，确保良好的心情投入工作中，从而细心操作，动作及思维反应敏捷，把安全隐患消除在萌芽中；4) 安装过程中受气候影响严重，等待可安装气候时间长，因此，各岗位人

员, 特别各班组负责人、总指挥应具有良好的心理素质, 有耐心、细心、毅力, 并注重维持安装团队的稳定性, 注重安装设备的日常保养, 以确保不浪费每个可安装潮水。

3.4.3 长远计划, 确保工序衔接紧密

与沉箱安装相关工序有沉箱预制、沉箱上驳、引堤抛填、基床整平、沉箱后防波堤抛填、沉箱仓内填砂等6道工序: 1) 围绕安装完沉箱节点目标, 精心策划其他工序进度计划, 并预留有1个月相互衔接期, 同时加大设备、人员的投入, 以加快各项工序进度及应急备用; 2) 组织所有参与安装人员进行实现节点目标的风险预测, 尽可能考虑各项不确定因素, 并制定出相应的预案, 特别是防台防汛预案、石料抛填预案, 自行备用开采料场与运输车队, 确保石料运输不受外界影响, 只要沉箱一安装完就应及时回填棱体, 在台风预报期内即7 d内完成棱体的回填。

3.5 质量控制

按照《水运工程质量检验评定标准》及设计要求, 沉箱安装质量控制主要有4个指标, 即临水面与施工准线偏差控制在50 mm以内、临水面错台控制在50 mm以内、接缝超宽度控制在30 mm以内、相邻沉箱高差控制在50 mm以内。影响到沉箱安装质量的主要因素是基床整平质量、现场安装时间段控制、海况、起重船与安装班组配合情况、安装班组熟练程度等。由于沉箱安装策划时已充分考虑到这些因素, 因此选择了责任心强、专业水平高、施工经验丰富的整平潜水班组、沉箱安装班组、测量班组, 这三个班组与起重船合作过多个工地的沉箱安装, 相互之间合作非常默契, 为沉箱安装质量控制奠定了良好基础。同时现场采取5个控制措施: 1) 沉箱安装前通过测深仪结合潜水员水下导杆测量控制, 确保基床整平范围到位, 不漏整, 平整度偏差控制在50 mm以内; 2) 沉箱出半潜驳后, 通过起重船两侧抽芯缆与沉箱两侧面吊点连接, 把由于水流作用导致沉箱左右旋转幅度降低到最小, 确保沉箱定位可控, 节省定位时间; 3) 把沉箱安装定位时间段控制在低平潮短暂0.5 h内, 这时间段内水流平缓, 涌浪小, 对沉箱安装的影响最小, 安装过程中沉

箱上下起伏对基床的损坏也最小; 4) 沉箱预制过程中控制好各侧墙垂直度符合设计要求, 安装过程中采用厚度为沉箱设计缝宽的料木板作为缝宽控制木板, 也减少沉箱棱角的挤靠和碰靠损伤; 5) 安装过程中确保安装人员精力集中, 作业有条不紊, 当机立断, 确保安装质量可控。但是, 由于安装过程中受风浪、涌浪影响极大, 海水不涌入沉箱内的时间极短, 不可太过于强求安装质量控制4个指标均达到要求, 只要沉箱临水面与施工准线偏差控制指标基本满足要求, 个别指标达不到的可通过下道工序技术进行处理, 以免造成沉箱需重新安装, 而现场无条件具备抽水起浮重新安装, 将会错过下个沉箱的安装时机, 造成更大的浪费。

3.6 安装成果

通过精心的策划, 用心控制, 并充分利用起重船组是公司自有的优势, 停驻现场, 耐心等待可安装气候, 努力做到不浪费一个潮水, 沉箱安装进度得到有效控制, 实现了预定目标。

3.6.1 进度

沉箱安装各工序总时间控制在12 h内(表1), 使现场具备1个潮水可安装1个沉箱的能力; 最后一批4个沉箱是在2个冷空气之间的短暂好气候时间段内安装完成, 实现了1个潮水安装1个沉箱的预计目标, 赢得了宝贵时间, 最终于2009年11月8日成功安装完最后一个沉箱, 实现了节点目标。

表1 沉箱安装各工序控制时间

工 序	时间/h
沉箱上半潜驳	1.5
上驳后收尾工作	1.0
半潜驳拖航到现场就位	1.5
半潜驳下潜到起重船挂钩	1.0
挂钩至半潜驳下潜到位	1.0
沉箱出半潜驳到现场就位	1.0
就位后继续灌水到开始安装	1.0
沉箱安装	1.0
沉箱安装收尾工作	0.5
半潜驳拖航到出运码头再就位	1.5

注: 完成沉箱安装所有工序累计11 h, 满足每个潮时安装1个沉箱的要求。

3.6.2 经济效益

虽然起重船班3次进场, 第1次是2009年5月10

日—7月19日，停留70 d；第2次是2009年8月15日—10月9日，停留50 d；第3次是2009年11月4—8日，停留5 d，共停留125 d，施工天数只有22 d，作业率只有17.6%，但是取得经济效益是明显的：本次安装起重船班台班费用为10万元，相比大型起重船班台班减少10万，共节省台班费1 250万元，同时，充分利用公司自有船机，盘活了企业固有资产，有利于企业可持续发展。

4 结语

由于所采取的施工技术均围绕如何克服风

浪、涌浪对安装沉箱的影响，经过周密的施工组织，充分考虑到施工中存在的各项不确定因素，并制定相应的预案，控制措施有效，在1年内（实际为22 d）完成了25个沉箱的安装任务，沉箱基本按原制定的计划完成安装任务，为工程实现交工节点工期目标创造了良好基础，同时为类似工程建设累积经验，增强信心，提供了借鉴和参考，对当地港口建设、甚至台湾海峡西岸港口岸线的利用有着重要的意义。

（本文编辑 郭雪珍）

~~~~~  
（上接第207页）

值在0.94~1.01，且具有较好的相似性和连续性，它们的平均断面间距为6 m，断面密度满足计算要求；断面13~16的相似性较差，它们的断面间距均小于5 m，断面密度也满足计算要求。

实际上，计算类似 $NM_1$ 结构体方量的基本方法有3种：1）方格网法。需将不规则底面生成三角网DTM，规则设计顶面转换为三维坐标文件，计算过程由软件完成，计算速度较快，总用时可控制在0.5 h以内。2）断面常规方法。即把每条断面按平台和斜坡分成若干区域，分别独立计量，计算过程可知，但常常由于分区过多，导致计算繁琐，速度很慢，总用时达5 h左右。3）断面形心法。既无需生成可读性较差的DTM，又不必将断面分区处理，操作简单，计算过程可见，计算速度也较快，总用时可控制在1 h之内。

上述3种方法的特点见表2。从表2可以看出，相对于其他方法，断面形心法能够更好地解决旋转体结构的土石方计量问题。

表2 旋转体计量方法比较

| 方法  | 方格网法 | 断面法 |      |
|-----|------|-----|------|
|     |      | 形心法 | 常规方法 |
| 简洁性 | 优    | 优   | 差    |
| 直观性 | 差    | 优   | 优    |
| 效率  | 优    | 优   | 差    |

另外，为了验证上述形心法方量计算结果的正确性，采用方格网法进行了复核，结果为：

$V_{\text{格网}}=48\ 323.0\ \text{m}^3$ ， $(V_{\text{形心}}-V_{\text{格网}})/V_{\text{形心}}=1.94\%$ ，完全满足相关技术要求。

在本项目中，对于所有的旋转体结构，笔者均采用形心法进行工程计量，很好地解决了堤头段及非直线堤身段的土石方计算问题，大大提高了工作效率，并得到了监理单位Royal Haskoning公司（英国）和Techo-Consult International公司，以及业主单位KPT（卡拉奇港务局）的认可和肯定。

#### 5 结语

利用形心的数学定义，能够证明断面形心法计算任意旋转体体积的正确性。在防波堤项目中，旋转体结构是非常普遍的<sup>[3]</sup>，断面形心法可以很好地解决这类结构的土石方计算问题，它较其他方法更加直观、简洁和高效。如果借助计算机的自动化程序，使这种方法在工程计量领域得到应用和推广，就可以提高工作效率，节省审批时间，为项目创造更好的效益。

#### 参考文献：

[1] JTS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范[S].  
 [2] 陈治, 刘志刚, 陈祖刚. 大学物理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.  
 [3] Hibbeler R C. 工程力学: 静力学[M]. 台北: 台湾培生教育出版集团, 2009.

（本文编辑 武亚庆）