

基于液压同步牵引的沉船打捞技术

李兴奎 吴志勇 戴义平 甘秋萍 严李荣

梁利文 吕振刚 李晓宇 杨 赓

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘 要:本文以2007年沉于距烟台港12海里的“畅通”轮艏段打捞为例,通过深入分析该工程实际情况,阐述了采用多台拉力千斤顶抬浮打捞技术方案制定、拉力千斤顶系统以及施工方法,该技术有效地解决了快速打捞大吨位沉船施工的瓶颈,此工艺既可用于海上沉船打捞,也可用于江河沉船打捞。

关键词:沉船 打捞 拉力千斤顶 液压泵站 控制系统

1 工程概况

2007年9月,在山东省烟台正北41海里处,巴拿马籍货轮“畅通”号(船长182米)与德国籍集装箱轮“HANJIN GOTHEN BURG”号(船长274米)发生碰撞。德国籍集装箱轮船船插入“畅通”轮左舷第四舱,导致该船第三、四、五舱破损进水。

“畅通”轮1977年由日本建造,船长182米,宽26.04米,型深15.70米,船舶总吨20700吨,净吨12583吨,载重吨35343吨,主机马力11550HP。

经烟台打捞局、海事局、救助局实施救助,在将遇难船舶拖至距烟台港大约12海里的航道外时,受台风“韦帕”影响,造成两艘外轮自行脱离,“畅通”号因失去支撑,拦腰断裂为两段沉没。2008年6月29日,经过烟台打捞局35天的努力,采用传统的浮筒打捞工艺将“畅通”轮艏段成功打捞出水。而艏段虽然长度只有76米,但重量却达6000吨以上,受空间的限制,传统工艺已无法施展,因此一直沉于航道上,对进出烟台港船舶造成极大的威胁,是渤海湾一颗重量级炸弹,急需采取措施打捞。

2 沉船打捞方案

传统打捞钢质沉船的方法主要有:

- 1) 封舱抽水打捞;
- 2) 封舱充气抽水打捞;
- 3) 压气排水打捞;

4) 浮筒抬浮打捞;

5) 浮吊打捞;

6) 解体打捞。

由于“畅通”轮艏段船舱已严重损坏,毫无可利用的完整密闭舱室,已完全丧失内浮力,成为名副其实的一坨“铁疙瘩”,封舱的工作量非常大,因此封舱抽水打捞、封舱充气抽水打捞、压气排水打捞三种打捞方法已很难实现。

浮筒抬浮打捞是目前采用最普遍的一种沉船打捞方法,目前浮筒最大起浮力为800吨,外形尺寸约为 $\phi 9 \times 21\text{m}$,采用此方法需要较大的空间来布置浮筒。对于单位长度重量轻的沉船可以采用浮筒打捞的方法,如“畅通”轮艏段,长约110米,总重约为6000吨,采用浮筒打捞工艺虽然在沉船两侧能布置得下浮筒,但浮筒起浮力难以控制,操作非常麻烦,采用此工艺,“畅通”轮艏段起浮就用时35天。而“畅通”轮艏段集中了驾驶室、机舱设备,长度短、重量大,并且集中在驾驶室附近,如果用传统的浮筒抬浮工艺来打捞沉船,在空间上浮筒无法布置,因此传统的浮筒打捞也无法实施。

由于沉船机舱内重油满仓,超过300吨,因此绝不能解体打捞,否则一旦泄油,将对整个渤海湾造成重大污染。

如采用浮吊打捞,吊点比较集中,这就要求沉船具有足够的刚度,并且海上作业受波浪的影响,大型浮吊挂钩、起吊都非常困难,也比较危

险,同时维护费用高;如此工程采用浮吊,最少需要两台才能满足起浮能力,即使成功起浮,但由于不能自浮,拖运也是相当困难的,总之采用浮吊打捞难度相当大,成功的概率很小。

综上所述,几种传统的沉船打捞方法对“畅通”轮艉段打捞已不适宜,为此需开发一种新的沉船打捞工艺。

液压同步牵引(提升)技术在国内应用已有十多年了,具有设备体积小,牵引力大,能实现多台同步控制,操作灵活,实时监控全面等特点,已广泛应用于陆地上超重、超大型构件提升、平移、转体工程。通过分析,在液压同步牵引技术基础上,结合海洋施工的特点,开发两套全新的适合于海洋沉船打捞的450吨拉力千斤顶系统,每套拉力千斤顶系统包含14台450吨拉力千斤顶,7台液压泵站、1套控制系统。将两套拉

力千斤顶系统分别布置在沉船两侧的两艘大型驳船的甲板上,利用穿过沉船底的7道千斤洞,穿引14条起浮钢丝绳,并通过连接器分别与两艘驳船上共28台拉力千斤顶上钢绞线连接,每台拉力千斤顶可提供牵引力450吨,通过28组钢绞线、14对钢丝绳拉力的传递,即可提供12600吨抬浮力,远远超过起浮沉船的需要,并且每台千斤顶牵引力可以通过计算机灵活控制,即抬浮力可灵活控制;起浮到位后,28台千斤顶锚具锁紧28组钢绞线,即抬浮沉船的钢绞线、钢丝绳锁定,沉船垂直方向定位,再通过缆绳将沉船与两艘驳船连接,沉船水平定位,三者形成为一体,最后通过拖轮将沉船、驳船整体拖运至指定的浅滩,完成沉船打捞工作。打捞设备安装见图1。

综上,最终决定采用两套拉力千斤顶系统抬浮沉船的新技术。

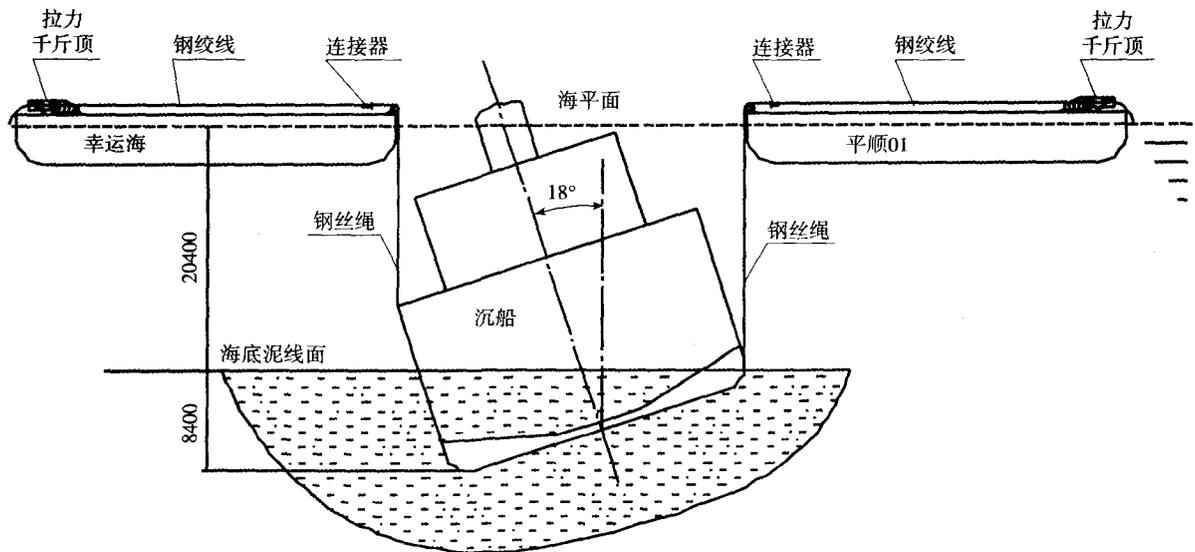


图1 打捞设备安装示意图

3 拉力千斤顶系统

拉力千斤顶系统由拉力千斤顶、液压泵站、控制系统,以及承力钢绞线、钢绞线固定装置组成。

3.1 拉力千斤顶

3.1.1 结构示意图(图2、图3)

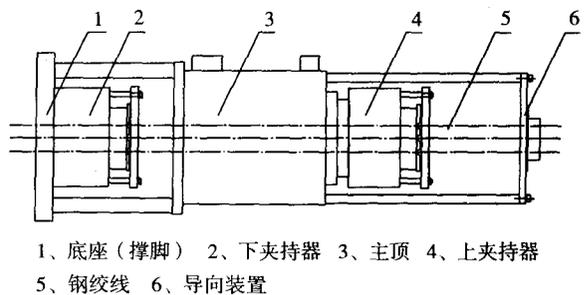
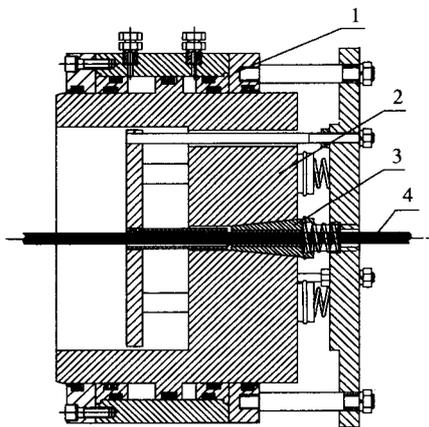


图2 拉力千斤顶示意图



1、夹持油缸 2、锚板 3、锚具 4、钢绞线

图3 上(下)夹持器示意图

3.1.2、主要技术参数(表1)

表1 拉力千斤顶主要技术参数

| | | 额定牵引力 | kN | 4500 |
|-----|-------|----------------|--------------------------|------|
| 主顶 | 额定油压 | MPa | 25 | |
| | 活塞面积 | m ² | 0.1826 | |
| | 工作行程 | mm | 400 | |
| | 额定顶压力 | kN | 211 | |
| 夹持器 | 额定油压 | MPa | 8 | |
| | 活塞面积 | m ² | 0.0264 | |
| | 工作行程 | mm | 36 | |
| | 钢绞线直径 | mm | $\phi 17.8 \sim \phi 18$ | |
| 整机 | 钢绞线数量 | 根 | 31 | |
| | 外形尺寸 | mm | $\phi 820 \times 2860$ | |
| | 重量 | kg | 3980 | |

3.1.3 工作原理

拉力千斤顶的上夹持器与千斤顶的活塞相连,下夹持器与主顶下部的撑脚相连,每台液压千斤顶共2个夹持器。每个夹持器主要包含了夹持油缸、夹持锚具,通过夹持油缸运动带动锚具夹紧(放松)钢绞线;在上夹持器夹紧钢绞线,下夹持器放松钢绞线状态时,拉力千斤顶主顶伸缸、缩缸,带动钢绞线上、下运动,钢绞线又带动重物上、下运动;在下夹持器夹紧钢绞线,上夹持器松开钢绞线状态下,主顶缩缸,重物保持静止,活塞回程为下一行程提升(牵引)做准备,当回到最低位时,上夹持器紧锚,伸缸,又带着重物向上移动。如此依次循环直至提升到要求的高度。

拉力千斤顶及泵站的液压回路上设置了液控单向阀和平衡阀,在遇到突然停电等突发事件可对油路进行闭锁,使沉船安全地悬挂在已定高度。需要长时间悬浮,可通过控制系统操作锁紧下夹持器锚具,即机械自锁,在沉船抬浮后,拖拉到指定海域过程中,既使受海浪、海风的影响,难船也能安全地悬挂于驳船上,由于千斤顶上装有平衡阀,下放时非常平稳。

3.2 液压泵站

液压泵站是拉力千斤顶系统的动力源,通过泵站输出的液压动力去驱动拉力千斤顶,实现拉力千斤顶的主顶伸缸、缩缸,夹持器紧锚、松锚动作。这些动作通过控制系统协调,精确调节拉力千斤顶的动作快慢,再通过钢绞线、钢丝绳力的传递实现沉船的平稳向上移动。

每套拉力千斤顶系统包括7台液压泵站,每台泵站可同时驱动两台拉力千斤顶。液压动力站与拉力千斤顶之间采用带有自封式快速接头的高压胶管相连。设备现场安装方便、快捷、可靠。

每台液压泵站包括电机、负载敏感变量柱塞泵、齿轮泵、控制阀部分、油箱、风机冷却和加热系统等。其液压原理如图4,该泵站包含有主顶回路和夹持回路,主顶回路主要驱动拉力千斤顶中主顶伸、缩缸,是系统的主要动力,此回路额定压力高,流量大;夹持回路主要驱动拉力千斤顶上、下夹持油缸紧锚、松锚,实现上、下夹持器负载转换。液压泵站的主要参数见表2。

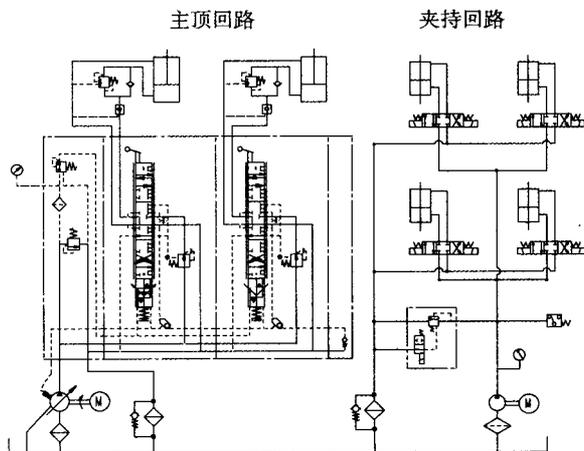


图4 液压原理图

表2 液压泵站主要参数

| | | | |
|------|------|-------|--------------------|
| 主顶回路 | 额定油压 | MPa | 31.5 |
| | 额定流量 | L/min | 100 |
| 夹持回路 | 额定油压 | MPa | 8 |
| | 额定流量 | L/min | 14 |
| 整机 | 外形尺寸 | mm | 1600 × 1600 × 2000 |
| | 重量 | kg | 1900 |
| | 液压油 | | HM-32 |
| | 油箱容积 | L | 900 |

3.3 控制系统

控制系统为网络式远程计算机控制系统。它由7个现场控制器、7个泵站起动箱以及相应的传感器组成，每个现场控制器控制2台拉力千斤顶及1台泵站。各现场控制器之间采用通信单元通信，所有检测及控制信号经过通信单元传送到监控计算机以利于操作者掌握全局，其电气系统如图5所示。

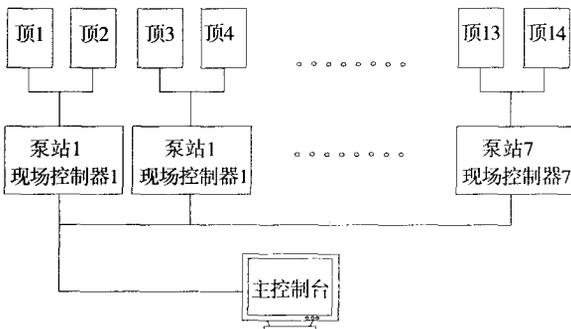


图5 电气系统框图

现场控制器采用PLC技术，在就地控制状态下，能对1台泵站以及它驱动的1~2台千斤顶进行自动、手动、调整操作；在远程控制状态下，现场控制器能进行急停操作。

系统的主控制台采用工控机+PLC+组态软件的方式，在联网状态下，当系统在远程控制状态时，系统的各种状态均在屏幕上显示，以方便操作者即时了解整个系统的工作状况，所有的操作均可在主控制台完成。

由于该系统是在海上使用，使用环境比较恶劣，要具有一定的抗腐蚀能力，因此现场控制箱及泵站起动箱均为封闭式，有效避免了水汽进入箱体；插座采用防水航空接头，防护等级达到IP67；各控制箱安装有加热装置，确保系统在低温也能正常运行。控制系统主要参数见表3。

表3 控制系统主要性能参数

| 说明 | 性能 | 参数 |
|--------|---|--|
| 主控台 | <ul style="list-style-type: none"> ● 可实现1至14台顶的控制 ● 具有千斤顶压力值、位移、活塞位置显示及报警功能 | <ul style="list-style-type: none"> ● 环境温度：0℃~55℃ ● 电源要求：AC220V，50Hz |
| 现场控制箱 | <ul style="list-style-type: none"> ● 基于PLC的控制单元 ● 可实现1-2台顶的就地控制 ● 无论远程状态或就地状态均可对系统进行急停操作 | <ul style="list-style-type: none"> ● 环境温度：0℃~55℃ ● 电源要求：AC220V，50Hz 功率：400W |
| 泵站起动箱 | <ul style="list-style-type: none"> ● 安装在泵站上，完成泵站电机的起动、停止操作 | <ul style="list-style-type: none"> ● 环境温度：0℃~55℃ ● 电源要求：AC380V，50Hz 功率：58kW |
| 传感器组件 | <ul style="list-style-type: none"> ● 检测千斤顶活塞位移 ● 检测千斤顶油压 | <ul style="list-style-type: none"> ● 位移变送器：0~750mm，输出：4~20mA ● 压力变送器：0~40MPa 输出：4~20mA |
| 接近开关组件 | <ul style="list-style-type: none"> ● 检测千斤顶活塞位置 ● 检测上、下夹持器的松紧状态 | <ul style="list-style-type: none"> ● 检出距离：0~5mm |
| 遥控按钮盒 | <ul style="list-style-type: none"> ● 可对与之相连现场控制器上的2台顶进行手动、调整操作 | <ul style="list-style-type: none"> ● 电缆长度：25m |

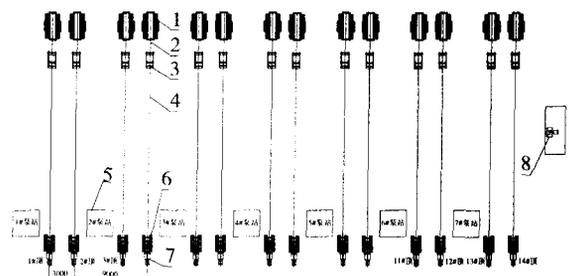
4 打捞工法

(1) 首先了解沉船结构、座沉方位，重量分布，从而决定攻打千斤洞的位置及大小。

(2) 利用路基非开挖设备，攻打7道千斤洞，用于穿引抬浮沉船的钢丝绳；

(3) 每道千斤洞穿引两条抬浮钢丝绳，共14条，钢丝绳为13寸双股长75米钢丝绳，通过吊车牵引绳头，穿过之后临时固定于沉船上。

(4) 在两艘用于打捞的驳船上分别布置1套拉力千斤顶系统，每套有14台拉力千斤顶，穿好匹配的钢绞线并锁紧，其布置如图6。



1、定滑轮 2、钢丝绳 3、连接器 4、钢绞线
 5、液压泵站 6、反力架 7、拉力千斤顶 8、主控台

图6 驳船上拉力千斤顶平面布置图

(5) 驳船定位：安装好拉力千斤顶系统之后，用拖轮将驳船拖到沉船两侧，确定准确位置后抛锚定位。

(6) 钢丝绳连接：将穿过沉船的钢丝绳子两端分别与两艘驳船上拉力千斤顶系统中连接器连接，如图7所示。



图7 钢丝绳与钢绞线连接

(7) 每台拉力千斤顶拉索由30根 $\phi 17.8$ 钢绞线组成，调整每根钢绞线拉力，以提高每根钢绞线受力的均匀性；

(8) 启动拉力千斤顶系统，调平沉船。

“畅通”轮艉段剩余4部分：上层建筑、机舱、第1货仓和第4货仓。其断口处在第4货仓，沉没海域水深达20米，呈尾向 227° 坐沉，艉楼小部分出水，横向左倾 18° ，淤埋深度达8.5米左右，如图1所示。

由于沉船沉于海底，横向左倾 18° 左右，因此需要先调平沉船。首先幸运海驳船上14台拉力千斤顶同时牵引，然后平顺01号驳船上的14台拉力千斤顶适当牵引，通过调节两艘驳船上的钢绞线（钢丝绳）长度和松紧力量来控制沉船倾斜角度，把它一点点扶正。

在起浮过程中，由于沉船第五货舱和第四货舱的隔舱壁严重破损，还剩10m左右的隔舱壁，左舷舱内泥面与海底面齐平，右舷舱内泥面比海底面高出1m左右，里面有泥约1400t。由于靠船艏侧已插入淤泥中8.4米，泥沙吸附力很大，在实际起浮过程中，布置在船艏侧的11#、12#、13#、14#拉力千斤顶抬浮力相当大，又由于“畅通”轮是1艘具有30年历史的老船，钢丝绳拉力过大，极易导致起浮钢丝绳勒入沉船体内，造成工程功亏一篑。经过计算每根钢丝绳抬浮力不能大

于390吨，因此在拉力千斤顶系统操作界面上设定每台拉力千斤顶拉力最大值为390吨，如某一台顶拉力达到390吨，该台顶就自动停止牵引，从而确保了沉船不被损坏，如有3~4台顶的拉力都达到了390吨，则整个系统停止牵引，静止一段时间，将沉船下放一个行程（约400mm），再提升，反复多次，目的是在提升、下放过程中，让海水冲刷沉船船底，以减少海底泥沙对难船底的吸附力。操作过程中通过中央控制台界面实时观测，当钢丝绳抬浮力减少后，就可以通过操作又一次抬浮沉船，这样经过多次提升、下放的操作，既保证了每根钢丝绳拉力不超过设定值，又实现沉船慢慢脱离淤泥。

当沉船全部脱离淤泥，处于漂浮状态时，通过分散调控拉力千斤顶的受力，实现沉船纵向水平调整，待沉船纵、横调平后，两艘驳船上共28台拉力千斤顶同步牵引。将沉船抬浮到要求高度。

(9) 将28台拉力千斤顶上、下夹持器紧锚，即钢绞线全部机械锁定。然后将沉船与两艘起浮用驳船用拖缆连接固定，与14道起浮钢丝绳形成一张安全的大网将“畅通”轮艉段稳稳“包裹”好。在这种情况下，即使在海浪、海风的作用下，沉船仍然安全、可靠地与两艘驳船紧紧连在一起。然后用拖轮将驳船、沉船整体拖到指定的码头进行抢滩，最后拆卸拉力千斤顶、钢丝绳，从而完成了“畅通”轮艉段打捞。

5 结束语

利用拉力千斤顶对沉船进行打捞技术的成功应用不仅大大减少了沉船打捞的作业量、提高了打捞效率，缩短了工期，而且安全、可靠、易操作。此方法改变了浮筒和浮吊打捞的传统工艺，更易于完成大型和复杂的沉船沉物打捞任务，是我国沉船打捞史上的一次创新。这将对我国传统打捞工艺、打捞装备和船舶船型产生巨大影响和推动。

参考文献

- [1] 孙树民, 李悦. 钢质沉船打捞方法综述[J]. 广东造船. 2006(1): 22-27
- [2] 蔺耀辉, 宋会营. 求解“畅通”轮打捞难题[J]. 中国船检. 2009(10) 62-64