

doi: 10.7690/bgzd.2016.07.013

海洋水下拖曳系统的安全设计与应急处置方法

唐宗勇

(中船重工第七一〇研究所 103 室, 湖北 宜昌 443003)

摘要: 为了满足海洋水下拖曳系统对海上作业的安全性需求, 介绍基于收放系统所进行的安全设计与应急处置方法。为保障收放过程中的安全, 给拖曳绞车配置扭矩传感器、接近开关等检测设备, 并为控制阀设计了闭环检测功能。在海上拖曳作业期间, 针对不同情况设计了相应应急处置程序以保证作业安全。湖、海试验表明: 该系统的安全设计与应急处置方法达到设计目的, 能够保障本系统安全运行。

关键词: 安全设计; 应急处置方法; 水下拖曳系统

中图分类号: TP276 **文献标志码:** A

Safety Design and Emergency Process Method of Underwater Towed System on Sea

Tang Zongyong

(No. 103 Department, No. 710 Research & Development Institute,
China Shipbuilding Industry Corporation, Yichang 443003, China)

Abstract: In order to meet the demand for safety of the underwater towed system in working, this paper introduced safety design and emergency disposal methods are based on the launch and retrieval system. To ensure the safety in launch and retrieval process, the towing winch is designed with torque sensor, proximity switch and other detection equipment, and to design closed-loop detection function for control valve. During the towing operation at sea, different emergency disposal methods are provided for different situation to ensure operation safety. The lake and sea test show that: to achieve the design purpose of the safety design of emergency disposal methods, and made the underwater towed system work well.

Keywords: safety design; emergency process method; underwater towed system

0 引言

海洋是人类生存和发展的长期物质基础, 基于科研、安全和经济目的的海洋开发伴随着社会经济发展持续进行。作为传感器载体组成拖曳系统或海洋探测平台, 拖曳式水下运载器(towed underwater vehicle, TUV)^[1]已广泛应用于资源勘探、地球物理学测量, 军事等诸多领域。拖曳系统研究已成为现代海洋开发的重要课题之一^[2]。

由于海洋环境的特殊性, 海风、海浪、海流和渔业网具是拖曳系统安全作业所需直面的障碍, 加之拖曳系统智能化、无人化在提高作业效率的同时也对安全性和应急处理提出了更高的要求; 因此, 有必要对可能危及拖曳系统安全的问题进行研究, 找到相应的解决方法。

1 系统介绍

笔者所述系统是可遥控无人作业的海洋水下拖曳系统。图 1 为收放系统采用电液方式驱动, 包含绞车、摆臂、捕捉架、拖缆和拖体, 液压元件主要为液压马达、比例阀、换向阀、背压阀和刹车阀。

根据工作性质把拖曳系统工作分为收放作业和拖曳作业 2 种。收放作业中既要保证收放过程顺利,

又要保证收放装置和拖体的安全, 不能损坏或丢失设备; 拖曳工作时, 则侧重于拖缆和拖体安全, 要分析可能遇到的危急情况, 用合理的处置策略把危急后果减到最小。

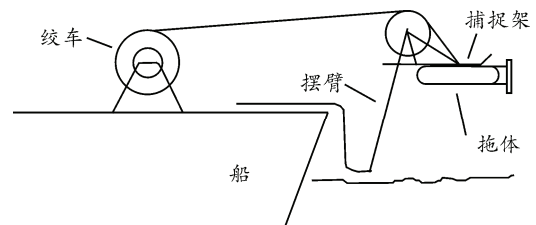


图 1 收放系统

2 控制安全设计

水中拖曳时普通缆索(圆截面, 未加流线型整流装置)所受的阻力相当大^[3]。为减小拖缆在水下的流体阻力, 在系统使用的拖缆外套装了流线片; 因此, 拖缆在绞车上单层卷排, 同时要避免堆叠挤压, 如图 2 所示。

绞车控制的主要参数为拖缆张力、缆长、缆速等。比例阀用来控制绞车速度, 输入控制信号为 4~20 mA 电流环, 6 mA 以下为控制“死区”, 即输入此范围内的信号无效, 这样可防止上一级控制设备输出 4 mA 时, 因偏差或干扰导致比例阀微开。4 mA

收稿日期: 2016-03-15; 修回日期: 2016-05-09

作者简介: 唐宗勇(1980—), 男, 河北人, 硕士, 工程师, 从事海洋工程领域控制方向研究。

信号存在或偏差，也用来判断上级控制输出是否正常。扭矩传感器测量绞车转轴的扭矩 $M(\text{N}\cdot\text{m})$ ，结合绞车卷筒直径 $D(\text{m})$ 和流线缆下部圆弧直径 $d(\text{m})$ ，可据公式 (1) 折算得到拖缆张力 $T(\text{kN})$ 。

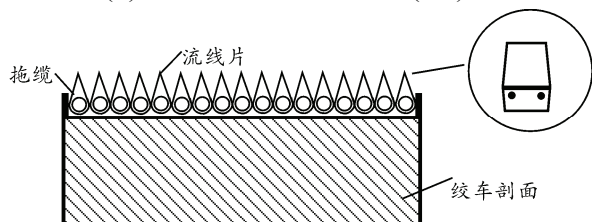


图2 拖缆外形及排缆剖面

$$T = 2M / (D + d) \quad (1)$$

复合双编码器与排缆器同轴安装，内部包含的增量式光电编码器和多圈绝对式编码器彼此独立，增量式用来测缆速，绝对式用来计算缆长。排缆器由单向丝杠驱动，排缆轴与绞车轴之间使用链轮传动。绞车收放缆由换向阀控制，为避免收放缆时排缆器向一侧过度移动而损坏，在排缆器两侧边界设置了接近开关和行程开关，构成“双保险”，如图3所示。若排缆器向一侧移动到达边界，会先触发接近开关，控制系统将停止绞车，假若排缆器继续移动就会压触行程开关，这个方向换向阀的电源会被强制切断而使绞车停车，同时控制系统能检测到行程开关的被压触状态，这样就可以区分是控制停车还是强制停车。

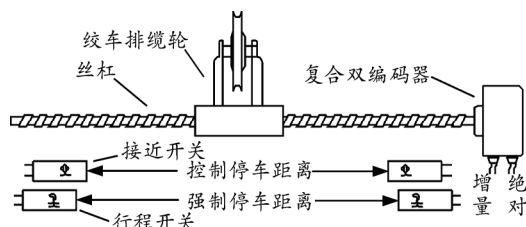


图3 绞车控制

背压阀用来设置驱动绞车的最大扭矩，决定可承受拖缆张力的最大值。刹车阀用于停止液压马达后锁止绞车，防止回收后的拖体因重力下溜，导致拖体摆动撞击。

3 安全与应急设计

通过分析收放和拖曳作业流程，可能的重要作业危险和紧急情况分列如下。

3.1 阀件控制故障，导致拖缆张力过大

若要求收放过程中恒张力，可以对电液控制应用同步控制策略，补偿收放引起的拖缆张力波动^[4]。本系统收放则是由收放装置将拖缆从绞车上拉出，

依靠背压实现最大张力限制。拖体收放过程中，摆臂和捕捉架是主动机构，例如拖体布放时绞车背压，摆臂布放，捕捉架上旋以保持拖体水平，与拖体连接的拖缆连续拖转绞车而使绞车被动放缆，直至布放作业完成。收放过程中电磁阀控制故障导致的运动机构之间不协调是首要考虑的安全问题。

对电磁阀进行高低边控制，增强系统控制能力，通过对电磁阀的全面诊断，及系统故障时硬件设计为强制电磁阀进入 FailSafe 模式，确保系统工作安全性^[5]。为控制绞车、摆臂和捕捉架的换向阀、背压阀，刹车阀设计了控制环路检测，把阀控电磁线圈的工作电压、电流作为被检测量，综合判断阀件是否处于正常受控状态，同时需要监测拖缆张力是否超过收放门限值，超过最大允许值表明拖缆承受张力过大，此时要中断收放作业，避免收放系统结构损坏或拖缆断损。

3.2 通信不畅或控制设备损坏

通信不畅或控制设备故障，将会使收放系统与上级系统之间不能顺利完成数据交换。当出现这种情况，拖曳系统要中断当前计划任务，收放系统进入自主应急处置程序。

在上级系统与收放系统之间，收放系统与下级控制之间设计握手通信机制。通信应急有调试模式和工作模式2种，在调试模式下不会进入通信应急处置程序，可以便利调试维护。由下级以固定周期向上级发起握手通信的询问过程，上级收到握手询问后立即以握手应答回复。握手通信中下级对连续握手通信失败进行累加计次，若设定时间窗内恢复通信连接，立即清除计数，转入重新监测握手通信状态。当在设定时间窗内握手通信都不成功，拖曳作业就会被停止而转入通信应急处置程序。通信应急处置程序根据先期配置的安全缆长范围与拖缆入水长度相比较，若高于范围上限，绞车收缆，将拖体收至安全深度，待进一步处理；若低于范围下限，则绞车放缆，直至拖体到安全深度，这样可防止拖体在海浪扰动下与收放装置碰撞。

3.3 拖挂渔业网具或海底障碍物

拖挂渔业网具和海底障碍物对拖曳作业来说并不鲜见。当拖体或拖缆被拖挂，会导致拖缆张力持续增大，甚至短时间内急剧增大，但船艇不可能如陆地上的汽车一样短距刹停。这种情况下从拖缆控制入手是一种现实方法，主动应急放缆^[1]作为一种智能控制技术是应急处置的合适方法。