

# 飞船返回舱高海况打捞设备电液控制系统

湛志新<sup>1</sup>, 周彤<sup>2</sup>, 徐皓<sup>1</sup>, 江涛<sup>1</sup>

(1 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092; 2 农业部渔业船舶检验局, 北京 100026)

**摘要:**飞船返回舱高海况打捞设备是我国载人航天工程着陆场系统海上应急救生的重要设备,是解决恶劣海况条件下飞船返回舱的打捞方法和系统装备协调控制问题。通过系统研究与试验,完善了打捞方法与系统装备。系统采用现代液压传动与计算机 PLVC 编程控制,设计系统报警与故障诊断功能,通过集中监控系统,解决了复杂系统内各种设备的协调操作与自动控制问题;通过电气、液压与 CAN-Bus 通讯技术的集成,满足了恶劣海况条件下打捞返回舱的各系统设备安全运行和高可靠性的要求。系统设备经过了多次模拟返回舱打捞试验,验证了该项目打捞方法合理可行,系统设备安全可靠。

**关键词:**飞船返回舱;高海况;打捞设备;电液控制;打捞试验

飞船返回舱高海况打捞设备项目是我国载人航天工程着陆场系统的应急保障系统,承担着飞船上升段应急返回于 3 个预定海域的搜索、打捞和救援任务,对应急返回舱和航天员的安全发挥重要保障作用。项目之前,我国没有现成的高海况打捞返回舱的系统装备和打捞经验。1994 年“921 工程”着陆场系统决定由我国自行设计研制飞船返回舱高海况打捞设备,并采纳了中国水产科学院渔业机械研究所提出的方案:借鉴海洋捕捞技术,以专业救助船为母船,采用舷侧拖曳柔性网打捞,船艏起吊的打捞方案。

该研究是我国首次将海洋捕捞技术拓展应用于航天装备领域,飞船返回舱高海况打捞设备作为重要船用航天设备,其相关设备的设计条件已超出船用规范要求。项目需要解决多个方面的技术难点:高海况下打捞方法问题;打捞漂浮物网具支撑与结构设计问题;高海况下支撑网具的拦截臂受力复杂的安全性问题;返回舱在打捞船激烈摇摆下起吊动态防摇问题;返回舱起吊后入座扶正及开舱操作问题;电、液系统控制及集中监控问题;系统设备需要反复装拆问题。其中最重要的是如何通过优化电、液集成控制,提高如此复杂系统装备的协调操作性和运行可靠性问题。项目通过液压传动与电气控制系统的集成优化研究,使复杂的打捞设备系统在恶劣海况条件下能快速响

应设备运行的状态要求,以及达到系统快速稳定的效果。系统在提高自动化的同时,确保了打捞设备运行的协调性和安全性。在电、液控制系统集成后,通过 MATLAB 的计算机仿真软件 SIMULINK 进行了仿真试验,试验验证了设计控制参数的合理性。

## 1 打捞系统主要技术参数及设备组成

主要技术参数:

(1) 落点与预报正常情况下:总救援时间  $\leq 24$  h,搜索目标后打捞时间  $\leq 4$  h。

(2) 海况条件:4~6 级,浪高 3~6 m,风速 13.9~17.2 m/s,能见度 4~6 km。

(3) 船摇:横摇  $\leq \pm 30^\circ$ ;纵摇  $\leq \pm 7^\circ$ ,摇摆周期 8~11 s。

为了满足高海况条件下,快速捕获、安全起吊、扶正锁定与开舱救援航天员,项目研究设计了一套系统设备,通过技术装备来达到救援应急返回舱保障系统的安全性。系统设备包括:返回舱搜索电子系统、打捞网、回转拦截臂、龙门摇摆起重機、返回舱座架操作平台及升降装置、辅助绞车、防撞系统、电液集成控制系统等组成。共有 20 多台套设备组成,设备总重量达 80 t,系统所有设备采用液压传动与集中监控,系统比较复杂,同时在高海况条件下打捞船和返回舱都处于激烈摇摆状态,工作人员站立和打捞操作相当困难和危

险,必须提高系统设备的自动化程度和系统设备的协调性。

## 2 液压系统参数与工作原理

### 2.1 液压系统参数

(1) 系统额定工作压力:20.0 MPa。

(2) 控制系统压力:5.0 MPa。

(3) 系统最大流量:单泵 120 L/min, 并泵 240 L/min。

### 2.2 液压系统工作原理

系统设备是在恶劣海况条件下工作,采用液压传动与控制具有其它传动方式无法比拟的优点。它具有调速方便,安全保护能力好,对恶劣环境的适应能力强,与电气进行集成控制便于实现系统设备的自动化和协调操作,所有系统动力设备可以共享同一个动力液压站等优点。

高海况打捞设备液压系统由主油路和控制油路组成。

液压系统泵站原理见图 1,回转拦截臂液压系统原理见图 2,后甲板设备液压系统原理见图 3。其中, $P_1$ 、 $P_2$ 油口分别为 1#和 2#主泵的出油口;液压油经  $P_1$  至前甲板打捞设备,经  $P_2$  至后甲板打捞设备; $T$  为系统回油口, $C$  为系统控制油口, $O$  为系统泄漏油口, $L_s$  为比例阀负载敏感信号口。主油路由 1#、2#2 台电液比例控制变量泵 80DZCY14-1B,向系统动力设备供油。2 台主泵可以通过电磁阀 1DT 进行互换,达到互为备用的目的;通过电磁阀 2DT 实现单泵供油与并泵供油的切换。2 台主泵分别可以通过电磁阀的 4DT、5DT 和 6D、7DT 进行变量调节。

控制油路由 1 台恒压变量泵 25PGY14-1 供油,向 2 台主泵变量机构、回转拦截臂的制动控制以及其它需要外控油源的液压设备提供控制压力油源。所有液压执行机构的控制通过手动电液集成的多路比例操作阀控制。为了提高设备操作的灵活性每组设备旁可以进行手动控制,同时为了提高系统设备操作的协调性和自动化程度,所有设备都可以在集中控制室中进行电气控制。

设备液压传动控制由 4 组负载敏感比例方向阀控制。负载敏感阀具有无级变速、不受负载的影响、工作稳定等特点。1#比例多路阀控制前甲板的拦截臂前张紧绳绞车和打捞网左曳纲绞车;

2#比例多路阀分别控制回转拦截臂上的打捞网提上纲绞车、右曳纲绞车以及拦截臂的变幅绞车和回转装置;3#比例多路阀分别控制后甲板的打捞网抽缝合绳绞车、拦截臂后张紧绳绞车以及左操作平台;4#比例多路阀分别控制后甲板返回舱夹紧装置、返回舱起吊纵摇限摆绞车、右操作平台、升降机、龙门摇摆变幅油缸以及返回舱起吊绞车。

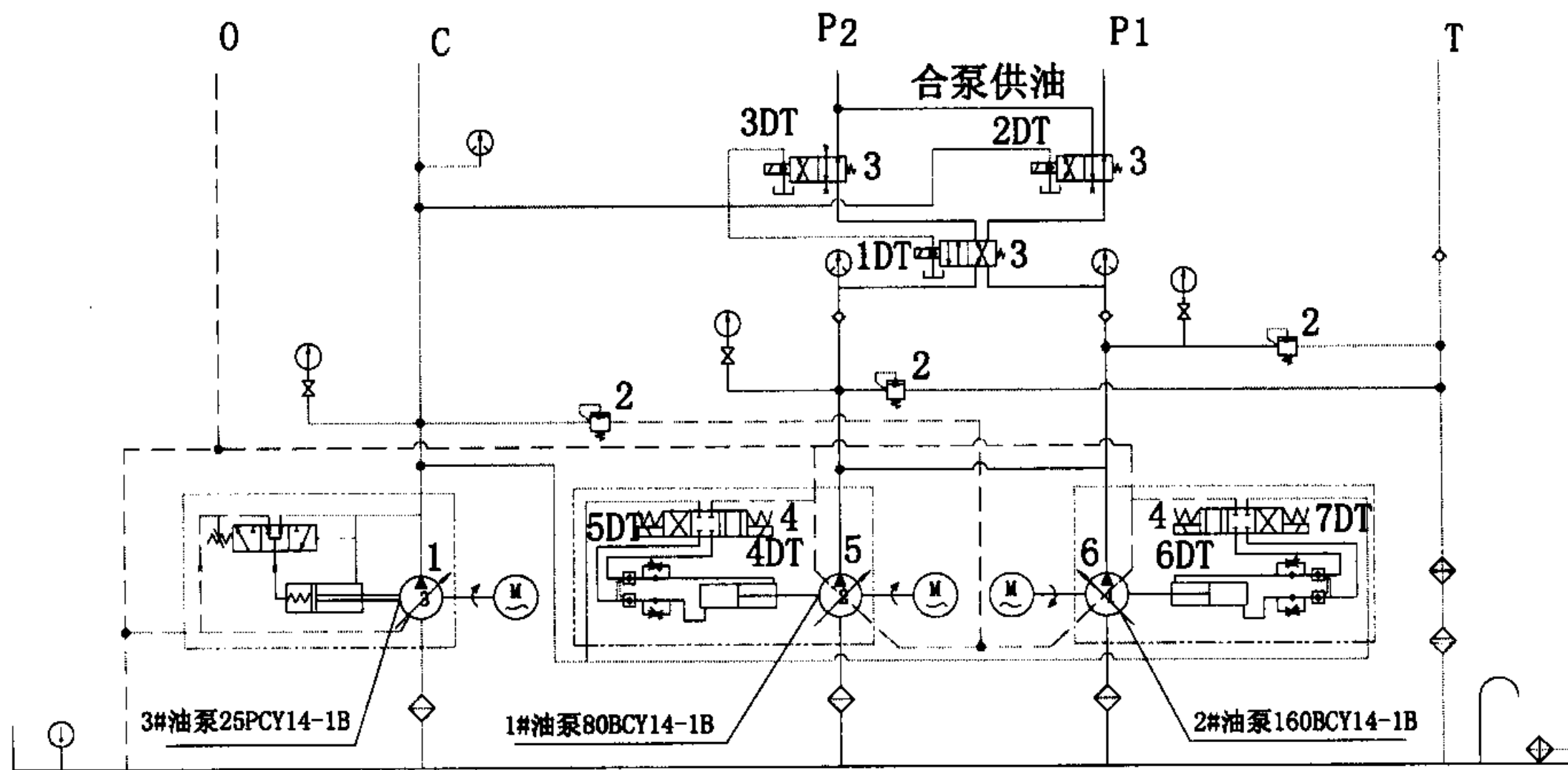
龙门摇摆起重机变幅油缸、返回舱起吊绞车和升降机等液压传动系统设置平衡阀,控制设备负重下降的稳定性,同时油缸设置防爆阀,防止高压软管破裂,影响返回舱起吊的安全性。返回舱座架夹紧机构在返回舱入座后进行固定,并通过系统液压锁加于锁定返回舱,防止返回舱在风浪中滚动。

回转拦截臂打捞作业时,通过液压系统控制,打开回转装置制动器,利用液压马达自由回转功能使拦截臂处于自由浮动状态,拦截臂与回转台之间形成“十”字铰链作用,大大地改善拦截臂在恶劣海况下的受力状况。

## 3 电气系统

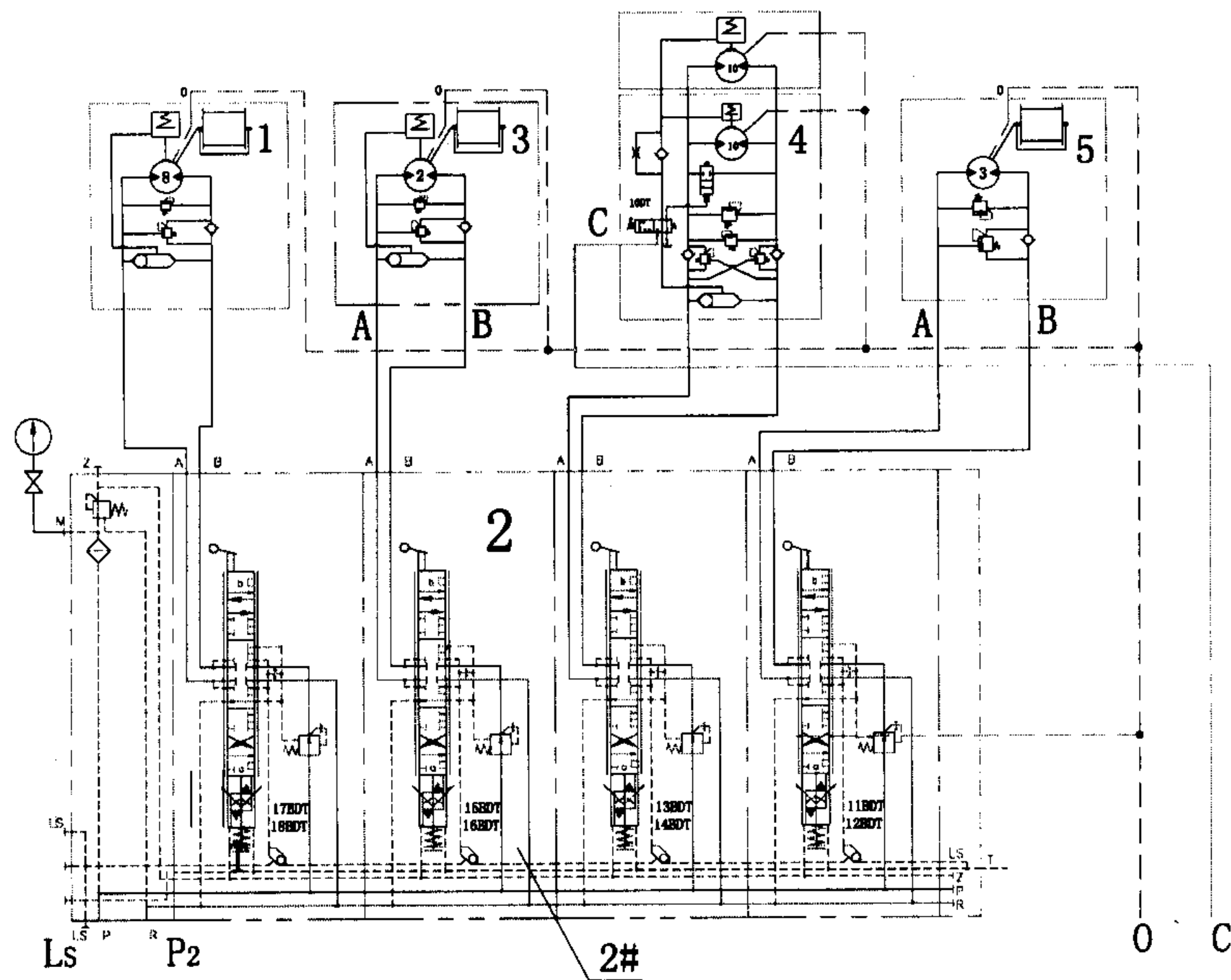
高海况打捞设备系统采用 HAWE 公司的 PLVC 作为控制器。PLVC (Programmable Logic Valve Control) 可编程总线控制器是与前述的比例多路阀匹配的产品。PLVC 是一种综合的 PLC 型(可编程控制)微电子控制器。系统需要 148 点控制量,采用主从站控制模式,每个站由一个 PLVC4 作基块,每个基块内嵌模块,每个基块分别带两个扩展模块(PWM + I-PWM)。主站与从站通过 CAN 总线通讯,主站与 PC 和 PT(触摸屏)通过 RS232 通讯。系统控制与系统运行参数状态显示以及故障诊断通过 PT 软硬件完成。

返回舱起吊采用了防摇措施,利用 PID 控制进行动态防摇控制。在设计时建立控制模型,PID 控制器模型为二阶传递函数,并采用 MATLAB 的计算机仿真软件 SIMULINK 进行了仿真试验。试验运用试凑法确定比较理想的 PID 控制器参数,使系统控制超调量大大减小,系统的各项频域和时域性能指标之间达到了比较平衡和优化的状态。通过稳定边界法与试凑法,得到系统的 PID 的控制传递函数为:



1. 3#油泵 2. 溢流阀 3. 二位电磁阀 4. 三位电磁阀 5. 1#油泵 6. 2#油泵

图1 液压系统泵站原理示意图



1. 变幅绞车 2. 四路比例多路阀 3. 右曳纲绞车 4. 回转装置 5. 提上纲绞车

图2 回转拦截臂液压系统原理示意图

$$G_c(s) = \frac{2s^2 + 250s + 1500}{s}$$

其中:PID 控制的  $P = 250, I = 1500, D = 2$ , 对应的比例系数  $K_p$ 、积分系数  $K_i$ 、微分系数  $K_d$  可由 PID 三个常量计算得到。

### 3.1 电气控制系统模块介绍

#### (1) 模块化系统

基块可带扩展模块和可选模块,文本显示,用

于诊断和初始化设置,RS232 和 CAN 总线的通讯接口。

#### (2) 基块 PLVC 4 输入输出参数

4 路模拟量输入(用于操纵杆、电位计和模拟信号压力传感器等);

3 路数字量输入(用于行程开关、按钮开关、按键等);

- 3 组频率信号输入(用于轴编码器、转速计等);
- 应急停止信号;
- 4 路输出,用于比例阀或开关阀(电流控制);
- 1 路模拟量输出 0 ~ 10 V DC ;
- 1 路可编程辅助电压输出, 5 V, DC, 最大 150 mA (提供操纵杆、电位计等的电源);
- 3 个过电保护输出信号;
- 电源 10 ~ 30 V DC,最大 5 A。

(3) PWM 扩展模块输入输出参数

8 路模拟量输入(用于操纵杆、电位计和模拟信号压力传感器等);

8 路数字量输入(用于行程开关、按钮开关、按键等);

8 路 PWM 输出用于比例或开关阀;

电源 10 ~ 30 V DC,最大 5 A。

(4) I-PWM 扩展模块输入输出参数

8 路模拟量输入(用于操纵杆、电位计和模拟

信号压力传感器等);

8 路数字量输入(用于行程开关、按钮开关、按键等);

8 路过电保护输出信号,最大 15 A;

8 路用于发光二极管的输出信号,最大 100 mA;

电源 10 ~ 30 V DC,最大 5 A;

在基本模块上最多可同时加 3 个扩展模块(最多 2 个相同的)。

(5) OPEN PCS 软件特点

通过 IL、FBD 或 LD 语言对 PLVC 编程控制;

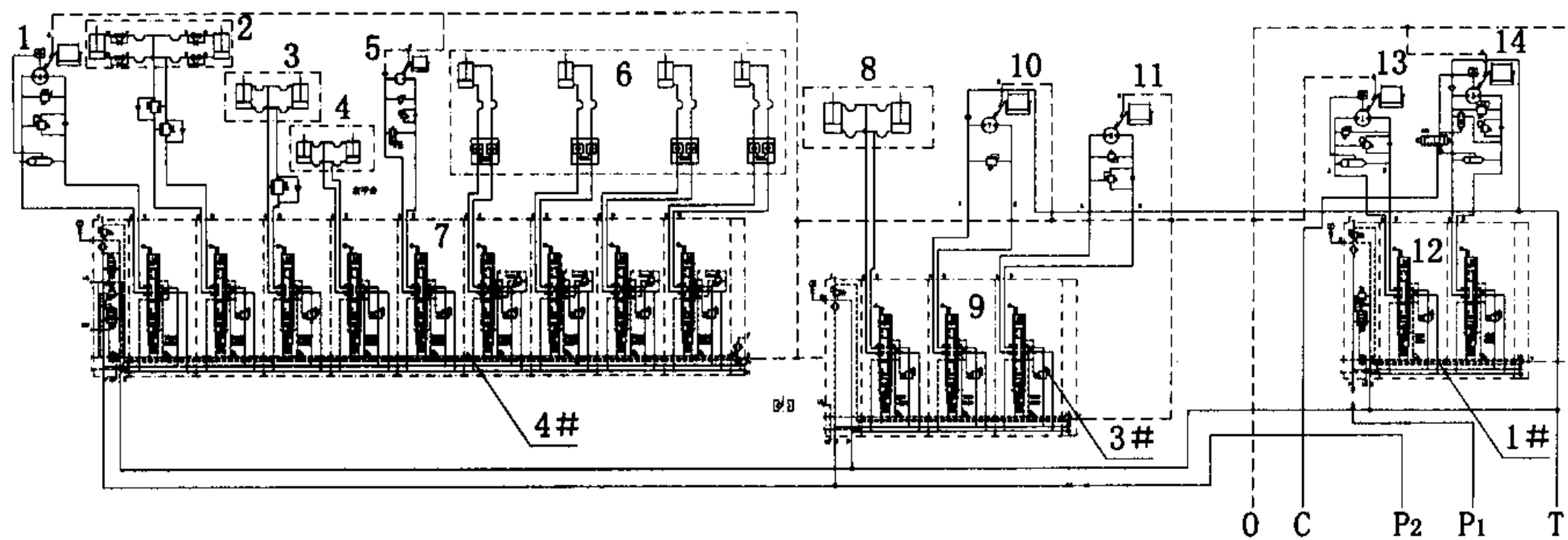
工作时初始化设定;

内置 CAN 总线操作系统;

系统自动控制通过该软件编程实现。

3.2 打捞设备电气控制系统结构

打捞设备电气控制系统结构如图 4 所示。



1. 起吊绞车 2. 龙门架变幅油缸 3. 升降机 4. 右操作平台 5. 纵摇限摆绞车  
6. 夹紧装置 7. 九路比例多路阀 8. 左操作平台 9. 三路比例多路阀 10. 抽缝合绳绞车  
11. 后张紧绳绞车 12. 二路多路阀 13. 左曳纲绞车 14. 前张紧绳绞车

图 3 后甲板打捞设备液压系统原理示意图

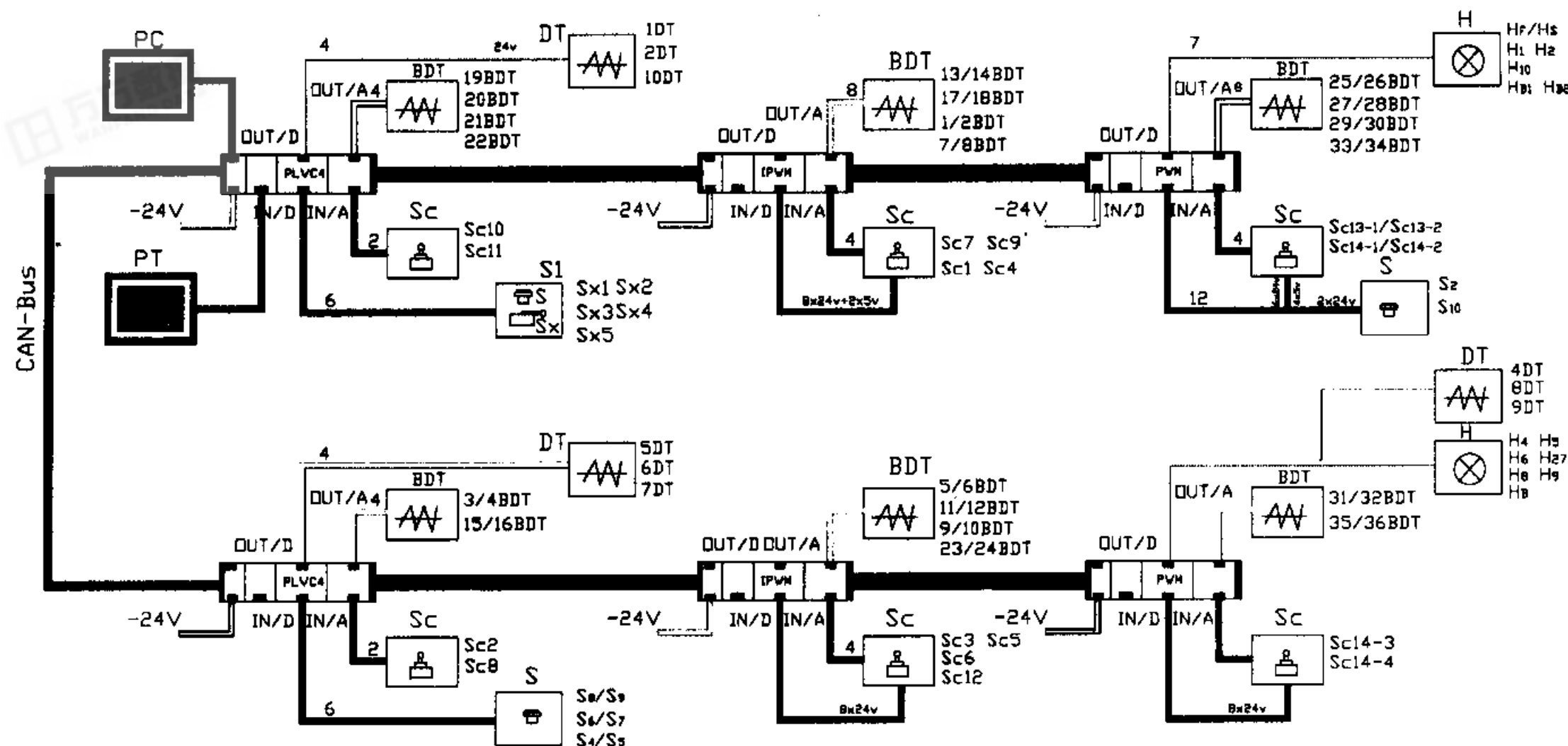


图 4 电气控制系统结构示意图

#### 4 打捞试验与演练

高海况打捞设备从2001年首套设备研制成功至今,已完成了3套高海况打捞设备的应用,并顺利完成“神四”、“神五”、“神六”发射的海上应急保障任务。设备在每次执行载人航天发射任务前,必须进行打捞试验与演练,打捞试验按白天、夜晚、低海况、高海况等几种环境条件进行,打捞试验从“神五”开始的演练成功率100%。试验验证了打捞方法的合理可行性,系统各运行参数与设计值基本一致,各系统设备运行安全可靠。

#### 5 结束语

##### (1) 对海洋捕捞装备技术的促进作用

该项目是海洋捕捞技术的拓展与延伸,是结合现代船舶工程、先进液压传动和计算机总线控制技术的系统集成应用研究的成果。该项目重大复杂船舶系统设备的集成经验,大大提高了我国海洋捕捞装备的集成创新能力,对推动我国海洋捕捞装备技术的研究将发挥重要作用。

##### (2) 技术应用前景

该项目技术可以应用于恶劣海况下打捞影响海洋环境的漂浮物,如结合拦油围栏进行海面原油的打捞清除,对保护海洋生态环境也将发挥积极的作用。同时,对我国救助打捞的专业水平也起到促进作用。□

#### 参考文献

- [1] 陈玉森,周福祥. 船用起重机及液压系统[J]. 机电设备, 2004, 21(3): 25-27.
- [2] 高钦和. 大型装置起竖过程的电液比例控制研究[J]. 机械工程学报, 2004, 40(2): 190-191.
- [3] 欧勇军. 钢卷小车电液比例系统位置控制的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2002: 10-22.
- [4] 俞浙青,吴根茂. 多路阀的控制形式与控制性能[J]. 工程机械, 1995(8): 18-21.
- [5] 黄锡昌,虞聪达,苗振清. 中国远洋捕捞手册[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2003: 374-400.
- [6] 陈立胜,刘元香. 基于 Simulink 的液压控制系统的仿真[J]. 机械制造与自动化, 2006, 35(2): 137-138.

【作者简介】湛志新(1969—),男,研究员,硕士,研究方向:海洋渔业装备。

(2007-11-05 收稿; 2007-12-06 修回)

## Electric hydraulic integration controlling system for salvage equipment of aircraft returning cabin in terrible ocean environments

CHEN Zhi-xin<sup>1</sup>, ZHOU Tong<sup>2</sup>, XU Hao<sup>1</sup>, JIANG Tao<sup>1</sup>

(1 Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China; 2 Register of Fishing Vessel of the People's Republic of China, Beijing 100026, China)

**Abstract:** The salvage equipment for aircraft returning cabin in terrible ocean environment is quite important for the life safeguard system as a part of the flight strip system in the manned spaceflight project, which is also the extension of ocean fishing technology. With the help of the equipment and scaling model tests in towing tank and natural water area, the coordinated control between salvage methods and equipments for aircraft returning cabin is both solved and improved. The equipment is mainly composed of gyration heading off arms, salvage nets, gantry swing cranes, seat-frame and operating platform for ship-carrying return cabin, an assistant winch traction system, collision & swing resistant system, hydraulic drive and control, and a centralized monitoring system. The PID controlling technology is used to solve the problem of dynamic swing of the return cabin when it is lifted. In addition, the centralized monitor system settles the problem of coordinated operation and auto control in the complicated system with the application of fluid drive, computer PLVC programming control and system alarming & fault diagnosis. Electric, hydraulic and CAN-Bus communication technology are integrated to meet the demands of safety operation and high reliability of the system. The system equipment has been tested time after time for simulating the salvage of the aircraft returning cabin, which validates that the salvage methods in the paper is reasonable and feasible along with the system equipment on the safe side.

**Key words:** aircraft returning cabin; terrible ocean environment; salvage equipment; ; Electric hydraulic integration control; PID dynamic swing resistibility