

Research on a New Buoyancy Driven System for Underwater Glider

Yu Zhang¹, Jianshen Zhi¹, Tong Jiang¹, Jiancheng Yu²

¹) School of Mechanical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023
(E-mail: zhangyu_nt@yahoo.com.cn)

²) Underwater Robot Laboratory, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Science, Shenyang 110016
(E-mail: yjc@sia.ac.cn)

Abstract—A new type of electro-hydraulic buoyancy regulation system was presented in this paper, used for driving the underwater glider. In order to verify performance of the system, according to its physical properties, the simulation model was established, and simulation experiment for the system was accomplished by means of EASY5 software. The simulation results show that the system has a good dynamic characteristic and stability, and meets the expected design requirements. The simulation experiment provides valuable basis for the development of the physical system.

Keywords—underwater glider, buoyancy driven, electro-hydraulic system, EASY5

新型水下滑翔机器人浮力驱动系统研究

张禹¹ 支建荣¹ 姜彤¹ 余建成²

¹) 沈阳工业大学机械工程学院 沈阳 110023

²) 中国科学院沈阳自动化研究所水下机器人研究室 沈阳 110016

摘要 本文提出了一种新型电液浮力调节系统,用于驱动水下滑翔机器人航行。为了验证电液浮力调节系统的性能,根据系统的物理特性,在EASY5仿真软件上建立了系统的仿真模型,对电液浮力调节系统进行了仿真实验。仿真结果表明系统具有良好的动态特性和稳定性,达到了预期的设计要求。仿真实验为实际系统的研制提供了有价值的参考依据。

关键词 水下滑翔机器人,浮力驱动,电液系统, EASY5

1. 引言

水下滑翔机器人概念最早是由美国海洋学者 Henry Stommel 提出的。美国从 1989 年开始研究与开发水下滑翔机器人。作为自主海洋采样网络 (AOSN) 的重要组成部分,1995 年,在美国海军研究局 (ONR) 资助下,由多家研究机构分别研制出以电池作为能源的水下滑翔机器人 Seaglider、Spray 和 SLOCUM (Battery) [1][2]。后来又研制出以海洋垂直剖面的温差作为动力源的 SLOCUM (Thermal) [3]。美国 Princeton 大学建造了一个试验平台 ROGUE,用于研究水下滑翔机器人建模和运动控制。

与当前用于海洋环境监测的浮标相比,水下滑翔机器人具有很高机动性和可控性。与海洋环境考察船以及其他水下机器人相比,水下滑翔机器人具有作业时间长、作业范围广、航行距离长、作业费用低、对母船依赖性小和投放与回收简便等优点。因采用内部浮力驱动方式,它还具有噪声小、隐蔽性强、能源利用率高等优点。

水下滑翔机器人可以在海洋环境立体监测系统中发挥重要的作用,即可以作为海洋环境立体监测网络的重要节点,也可以独立作为一个水下监测平台。在科研、民用和军事等领域它也有广阔的应用前景和需求。

水下滑翔机器人由自身携带的电源供电,而载体耐压舱空间狭小,只能携带有限的能源,这样使它的应用范围和领域受到一定限制。为了突破能源制约,它必须采用高

国家自然科学基金项目 (资助号: F030605)

辽宁省自然科学基金项目 (资助号: 20041025)

度集成化和高效率的浮力驱动系统为其提供动力。近年随着液压自身技术、计算机技术和电子技术的发展,使得电液系统在机器人系统中得以广泛应用。电液系统正好具有结构紧凑,响应速度快,易于高度集成化等优点,并且适用于控制精度要求不太高的场合。

针对上述情况,本文提出一种新型的实现浮力调节的电液系统,用于水下滑翔机器人实验载体上,为水下滑翔机器人提供航行动力。

2. 水下滑翔机器人的驱动及运动原理

水下滑翔机器人以自身浮力作为航行动力,没有外挂螺旋桨推进系统。它通过浮力调节系统动态地调节载体自身浮力,实现载体正浮力与负浮力之间状态转换,为载体提供上浮和下潜动力。水下滑翔机器人在载体浮力以及滑翔翼升力的作用下,产生向前的水平滑翔速度。

水下滑翔机器人重心调节系统是通过调整载体内部的质量分布,从而改变载体重心与浮心的相对位置,使产生横滚和俯仰力矩,实现载体回转和俯仰运动。

在航行过程中,水下滑翔机器人通过重心调节系统对其运动姿态和运动轨迹进行控制,实现其在三维空间的螺旋运动和在垂直剖面内的锯齿形运动,如图1所示。

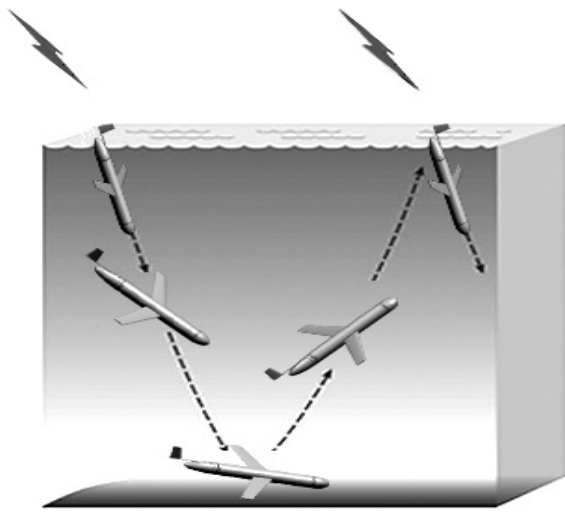


图1 水下滑翔机器人的运动原理

3. 电液浮力调节系统建模

电液浮力调节系统有两种基本形式^[4]。一种是电机控制型。该类型通过控制伺服电机,改变电机转速,从而达到控制流量的目的。采用伺服电机,成本比较高。更为重要的是因为系统需要有长时间的保压能力,为了满足保压要求,伺服电机必须连续工作,这样会浪费大量能源。

另一种是阀控制型。它采用普通直流电机,电机转速恒定,采用电磁换向阀控制油的流向,从而控制油囊中油的体积,再通过电磁换向阀中位机能截止油路,使系统实现长时间保压。它具有控制简单、准确、稳定和节能等优点,正好满足水下滑翔机器人浮力调节系统要求。本文提出的新型电液浮力调节系统属于这种类型。

3.1 电液浮力调节系统组成及原理

电液浮力调节系统是通过改变载体耐压舱内、外两个油囊中油的体积来改变载体浮力。内油囊被密封在耐压舱内部,外油囊被裸露在外部海水中。将外油囊的油输送到内油囊,则外油囊体积变小,从而载体体积变小,浮力减小。载体在重量不变情况下,载体受到负浮力,载体将下潜。反之,将内油囊的油输送到外油囊,则载体将上浮。

该系统是一个封闭式的电液系统,它由直流电机、单向定量齿轮泵、截止式电磁换向阀、溢流阀、内油囊、外油囊和流量计等组成。它与传统的液压系统最大的区别就是没有传统意义上的负载,而只是在内、外两个油囊中传输液压油,以便改变外油囊体积来控制载体浮力。

在系统中溢流阀起到限制系统压力和卸荷的作用。因为系统需要长时间保压,所以采用具有无泄漏功能的截止式电磁换向阀,由其中位机能截止油路,从而达到长时间保压的目的。当切换中位后,切断电机的电源,以便节省能源。电液浮力调节系统原理及组成,如图2所示。

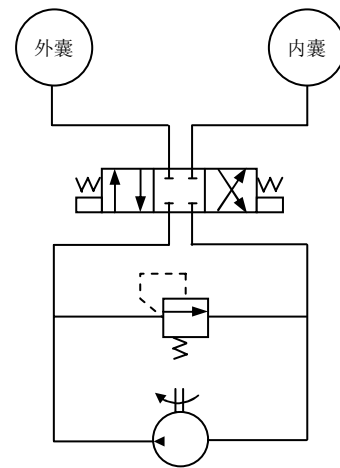


图2 电液浮力调节系统的原理及组成

3.2 直流电机仿真模型

在电液浮力调节系统中,采用普通直流电机驱动齿轮泵,等效的直流电机模型可以由下列方程给出^[5]:

$$u = L \frac{di}{dt} + Ri + e = L \frac{di}{dt} + Ri + K_E \omega_M \quad (1)$$

$$(J_L + J_M) \frac{d\omega_M}{dt} + D\omega_M = T_M - T_L = K_T i - T_L \quad (2)$$

其中, u - 电枢电压, i - 电枢电流, R - 电枢电阻, L - 绕组电感, e - 反电枢势, K_E - 反电势常数, ω_M - 机械角速度, J_L - 负载转动惯量, J_M - 电机转动惯量, T_M - 电机转矩, T_L - 负载转矩, D - 摩擦力矩系数, K_E - 转矩常数。

3.3 电液浮力调节系统仿真模型

为了给载体下潜或上浮提供足够动力,同时考虑载体运动的可控性。要求电液浮力调节系统在 30s 内,能在内和外油囊之间单向传输 500ml 液压油。

电机额定功率 220W, 额定转速 3000rpm, 输出扭矩 0.7N·m。齿轮泵排量 0.37ml/rev。内、外油囊由 EASY5 中的单作用执行器来模拟。内执行器活塞面积 100cm²、行程 12cm, 外执行器活塞面积 60 cm², 行程 20cm。

为了验证电液浮力调节系统的有效性,以及该系统的工作特性,利用 EASY5 软件中的专用液压仿真模块对其进行建模仿真。系统的 EASY5 仿真模型,如图 3 所示。

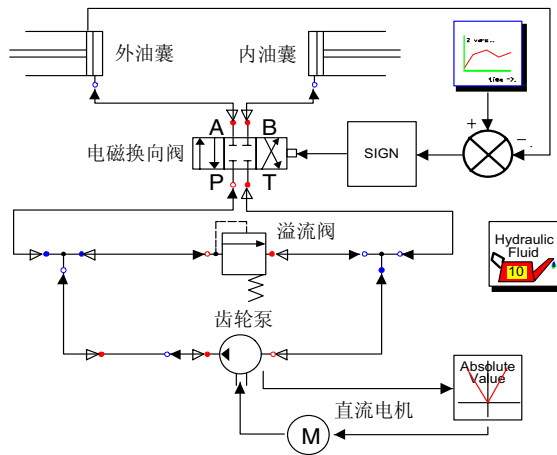


图 3 系统的 EASY5 仿真模型

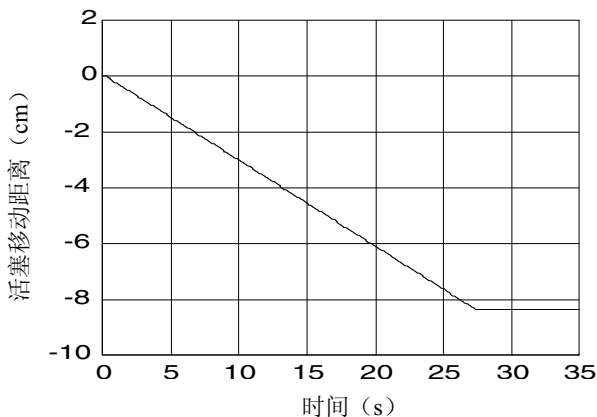


图 4 下潜过程外执行器活塞移动距离

4. 仿真实验结果及分析

系统仿真实验分为下潜和上浮两个过程。在开始下潜时,载体停留在水面,系统将外油囊中的油输送到内油囊中,此时内油囊压力 20bar, 外油囊压力 1bar。当系统输送油量达到 500ml 后,电磁换向阀切换到中位截止,开始保压,为水下滑翔机器人提供下潜动力。

具体如图 4、5、6 和 7 所示。在下潜过程中,系统输送油用时 27s, 齿轮泵功率 121.5W, 齿轮泵扭矩-0.35N·m, 外油囊的稳定压力 1bar。

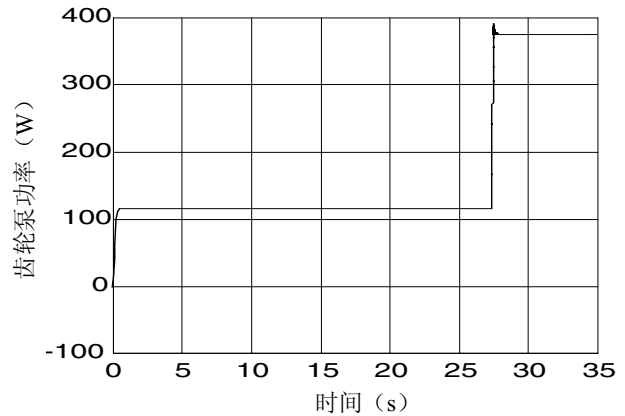


图 5 下潜过程齿轮泵功率

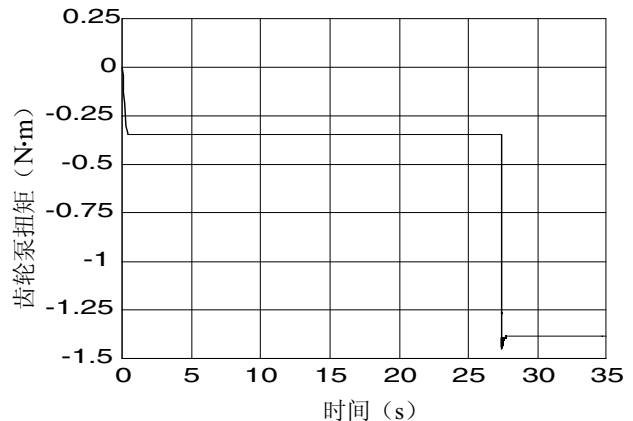


图 6 下潜过程齿轮泵扭矩

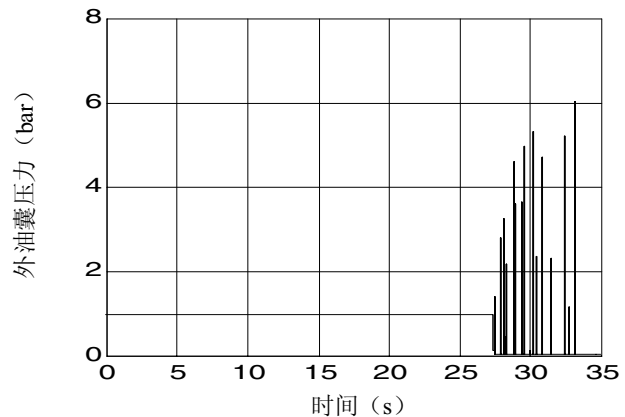


图 7 下潜过程外油囊压力

在开始上浮时，载体停留在水下 800m 深处，系统将内油囊中的油输送到外油囊中，此时内油囊压力 20bar，外油囊压力 80bar。当输送油量达到 500ml 后，电磁换向阀切换到中位截止，开始保压，为载体提供上浮动力。

在上浮过程中，系统输送油用时 28.5s，齿轮泵的功率 189.1W，齿轮泵的扭矩-0.58N·m，外油囊的稳定压力 80bar，如图 5、6、7 和 8 所示。

在两个过程中，输送油用时均小于 30s，能够满足水下滑翔机器人浮力调节的时间要求。齿轮泵的功率和扭矩均

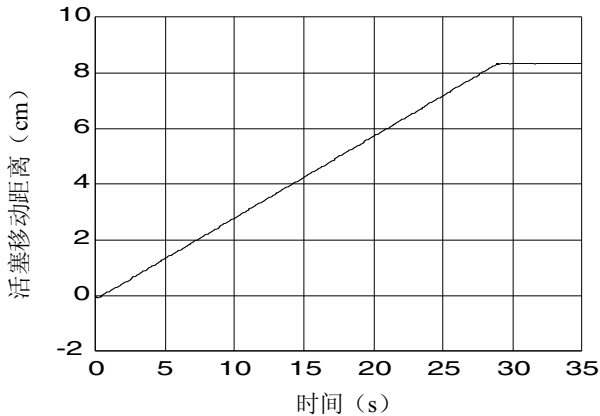


图 8 上浮过程外执行器活塞移动距离

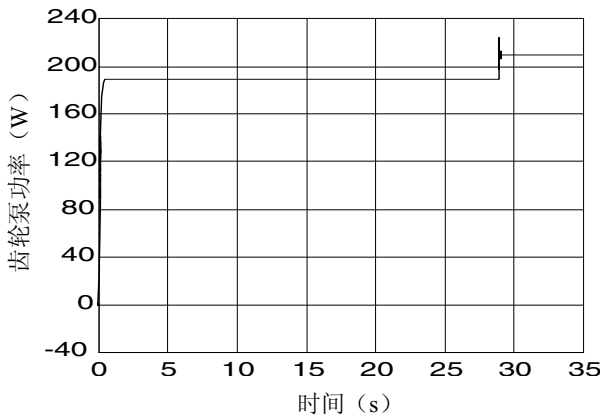


图 9 上浮过程齿轮泵功率

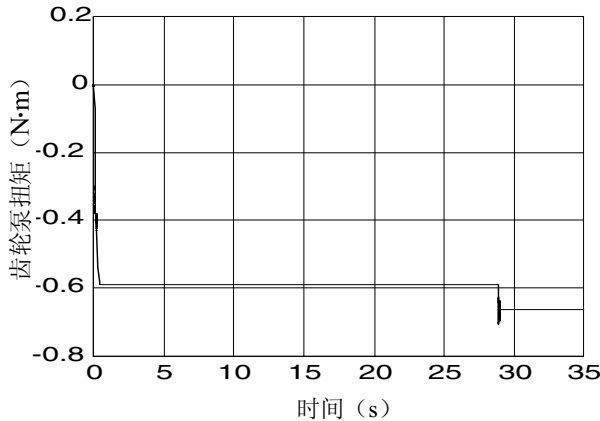


图 10 上浮过程齿轮泵扭矩

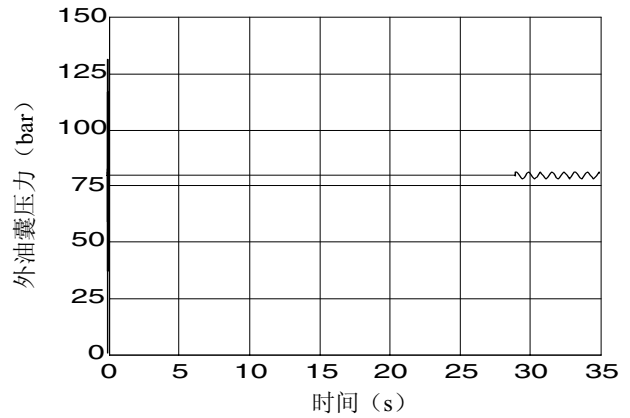


图 11 上浮过程外油囊压力

小于选用电机的额定功率和额定扭矩（中位截止之前）。

当电磁换向阀处于中位截止时，齿轮泵功率和扭矩以及外油囊压力出现波动。在实际系统中电机与中位截止同时工作的时间很短，所出现的波动在设计允许范围。

针对系统工作初期，外油囊压力出现短时间波动的问题，可以在设计时适当提高系统的耐压指标。

综上所述，电液浮力调节系统符合设计指标，能够满足水下机器人进行浮力调节的实际需要。

5. 结论

本文提出用于水下滑翔机器人的新型电液浮力调节系统，具有结构紧凑，易于控制，高效节能，保压时间长等特点。在 EASY5 仿真软件上的建模和仿真实验表明系统是有效的，可以满足水下滑翔机器人的实际应用需要。这样不仅为实际系统研制提供了重要参考，而且还为电液系统在水下机器人中的应用提供了新的思路。

参考文献

- [1] C. C. Eriksen, T. J. Osse, R. D. Light, "Seaglider: A long-range autonomous underwater vehicle for oceanographic research," *IEEE Journal Oceanic Engineer*, vol. 26, no. 4, pp. 424-436, 2001.
- [2] J. Sherman, R. E. Davis, W. B. Owens, "The autonomous underwater glider Spray," *IEEE Journal Oceanic Engineer*, vol. 26, no. 4, pp. 437-446, 2001.
- [3] D. C. Webb, P. J. Simonetti, C. P. Jones, "SIOCUM: An underwater glider propelled by environmental energy," *IEEE Journal Oceanic Engineer*, vol. 26, no. 4, pp. 447-452, 2001.
- [4] 许福玲, 陈晓明. 液压与气动传动. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [5] 杨渝钦. 控制电机. 北京: 机械工业出版社, 1998.