

DOI: 10.3969/j.issn.1009-9492.2021.06.015

韩岩, 刘畅, 李建荣, 等. 水下目标抓取及打捞装置结构设计 [J]. 机电工程技术, 2021, 50 (06): 57-60.

水下目标抓取及打捞装置结构设计*

韩 岩, 刘 畅, 李建荣, 刘玉生, 马文家

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 设计了一种水下目标抓取及打捞装置, 主要实现对目标水下的抓取及水面打捞功能, 采用纯机械结构, 主要由主开关、机械手、位置锁定机构、浮球脱离机构组成。机械手设计为弧形, 方便对目标的抓取; 位置锁定机构可实现对机械手张开状态时的锁定; 在抓取目标后, 浮球脱离机构可实现对浮球的充气及浮球与装置本体的脱离动作, 浮球浮出水面即可实现水面打捞功能。所有执行机构驱动力均采用弹簧力, 结构简单。为实现浮球充气 and 脱离动作, 分析了机构受力情况并对弹簧结构参数进行设计。试制了产品样机, 试验结果表明装置各执行机构动作顺畅、连贯, 能够完成抓取及浮球的充气 and 脱离动作, 满足设计要求。

关键词: 机械手; 水下抓取; 打捞装置

中图分类号: TP24

文献标志码: A

文章编号: 1009-9492 (2021) 06-0057-04

Structure Design of Underwater Target Grabbing and Salvaging Device

Han Yan, Liu Chang, Li Jianrong, Liu Yusheng, Ma Wenjia

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China)

Abstract: A underwater target grab and salvage device was designed, which mainly realized the function of catching and fishing the target underwater. It adopted pure mechanical structure, which was mainly composed of main switch, manipulator, position locking mechanism and floating ball detachment mechanism. The manipulator was designed as arc, which was convenient to grasp the target. The position locking mechanism could lock the manipulator when it was open. After grasping the target, the floating ball separation mechanism could inflate the floating ball and separate the floating ball from the device body, and the floating ball could float out of the water to realize the surface fishing function. All actuators were driven by spring force, and the structure was simple. In order to realize the action of floating ball inflation and separation, the force condition of the mechanism was analyzed and the structural parameters of the spring were designed. The test results show that the actuator of the device works smoothly and coherently, and can complete the grasping, inflation and separation of the floating ball, which meets the design requirements.

Key words: manipulator; underwater grab; salvage device

0 引言

海洋的开发和利用是世界各国关注的重点, 水下机器人是海洋探索和开发的必备工具^[1-2], 机械手可大大增加水下机器人的工作能力。按功能来分, 机械手主要可分为单自由度夹持器和适应多种场景的多关节结构^[3], 单自由度夹持器结构简单, 操作方便, 承载力大, 灵活性差, 多关节结构适应能力强, 能适应多种不同任务需要, 但采用大量串联关节, 控制困难, 结构复杂。机械手的驱动力通常采用液压或电机驱动^[4-6], 同等体积下液压驱动输出的力比电机驱动大的多, 因此使得液压驱动机械手在商业机械手中占据重要地位^[7], 但同时为保证系统功能正常, 针对水下工作环境还需考虑机械结构密封, 为了进行深海探索, 现在的机械手已有一些能够到达 7 000 m 深度甚至更深海域^[8-9], 同样对密封要求也就越高。

本文所设计的机械手主要针对水下圆柱形目标进行打捞, 驱动结构采用纯机械方式, 具有承载力大、动作可靠、结构简单、无需密封等特点。

1 整体结构设计

本装置主要实现对水下圆柱形目标的抓取及水面打捞, 其主要由主开关、机械手、位置锁定机构、浮球脱离机构、固定板、棘轮、箱体等组成, 其驱动力来源为弹簧的弹性势能, 系统组成如图 1 所示。固定板构成机

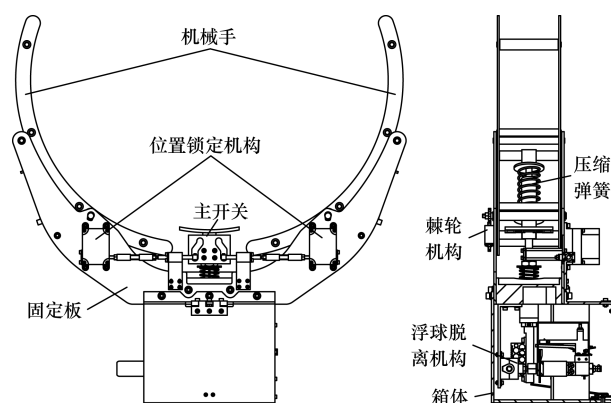


图1 整体结构

Fig1 The whole structure

基金项目: 吉林省科技厅重点研发项目 (编号: 20200403067SF, 20190302086GX)

收稿日期: 2021-03-31

械手的支撑平台,固定板两侧各设置一个机械手实现对目标的抓取,机械手对称设计能够有效减轻对本体的扰动力^[10],机械手与固定板之间安装压缩弹簧,且机械手与固定板配合方式为铰接,压缩弹簧安装在伸缩杆上,伸缩杆一端与机械手铰接另一端与固定板铰接,在固定板两侧各设置一个位置锁定机构,使机械手在弹簧力作用下仍保持张开状态,浮球脱离机构与主开关之间为齿轮齿条配合,主开关与固定板之间装有压缩弹簧,保证弹簧触碰目标压缩后可复位。

当主开关触碰到目标被压缩后,位置锁定机构失效,机械手闭合实现对目标的抓取,同时箱体盖被打开。通过齿轮齿条配合,浮球脱离机构首先对浮球充气,当浮球内气体压强达到一定值后浮球与装置本体分开浮出水面,浮球与装置本体通过绳索连接,即可实现对水下目标的打捞。

2 执行机构设计

2.1 机械手结构

本装置主要针对圆柱形目标进行设计,为减小整个装置在水下的运动阻力和装置的重量,并实现对目标的抓取,机械手采用弧形板材和连杆固连的装配方式,如图2所示。

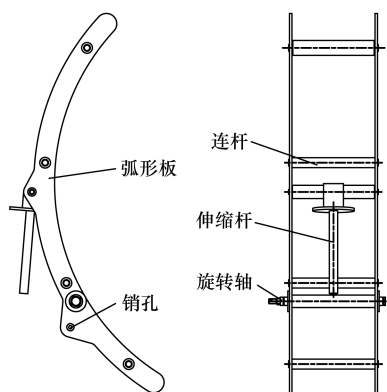


图2 机械手结构

Fig2 Structure of manipulator

机械手的锁定是通过位置锁定机构的锁定销与机械手上的销孔配合实现的,当主开关触碰目标被压缩后,位置锁定机构的锁定销从销孔中退出,锁定功能失效,机械手在弹簧力作用下实现抓取动作。为保证锁定销退出动作的可靠性,机械手上的销孔为球形,锁定销一端为滚珠,当机械手在张开状态时,由于压缩弹簧的作用,锁定销始终受到退出销孔方向的力。

在机械手与固定板旋转轴下部安装棘轮机构(图1)。棘轮、旋转轴、机械手之间采用花键方式配合,在固定板上安装棘爪,通过棘轮棘爪配合可实现对机械手抓取目标时张开方向单向锁定,同时在机械手的抓取部位上增设防滑纹以增大摩擦力^[11],从而使打捞过程中目标不会脱落。

2.2 位置锁定机构

位置锁定机构的生效与失效是通过与固定在主开关上异形槽板配合实现的(图1)。由于机械手在张开状态时锁定销受到退出销孔的力,为使此时异形板不受力,位置锁定机构主要采用锁定销、杠杆销、楔块、弹簧来实现,杠杆销与弹簧配合安装,锁定销与销孔配合的球端采用滚珠设计,减小与机械手表面的摩擦。具体结构如图3所示。

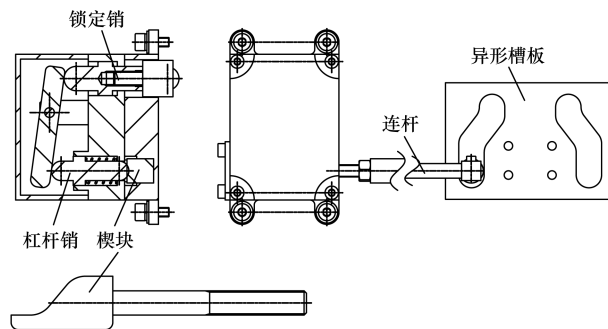


图3 位置锁定机构

Fig3 Position locking mechanism

在机械手张开时,锁定销通过杠杆机构使杠杆销受到挤压楔块的力,此时杠杆销与楔块上的平面接触,楔块沿连杆轴向不受力。当主开关被压缩时带动异形槽板运动,楔块沿连杆轴向运动,杠杆销与楔块斜面接触,锁定销从机械手销孔中退出,机械手实现闭合抓取动作,由于弹簧力的作用,锁定销始终保持与机械手弧形板表面接触,同时由于异形槽板与连杆配合,主开关被压缩后不会复位。当机械手张开复位时,主开关在弹簧力作用下弹出,锁定销自动落入机械手销孔内,即可实现对机械手的再次锁定,实现重复使用。

2.3 浮球脱离机构

为实现抓取目标后的水面打捞,设计充气浮球浮出水面,即需要完成对浮球的充气及与装置本体脱离动作,脱离机构由CO₂气瓶、充气开关、齿轮齿条、气动接头、拨叉、滑块、拨叉杆、调压弹簧、调压螺杆、扭簧等组成,如图4所示。

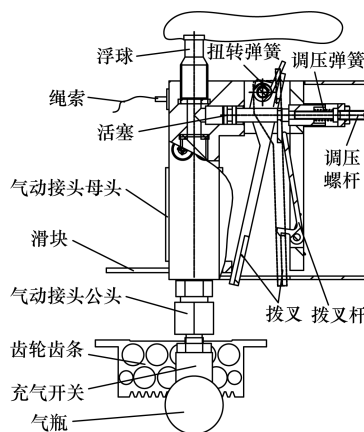


图4 浮球脱离机构

Fig4 Floating ball separation mechanism

在抓取目标前浮球叠放在箱体内部, 气瓶与充气开关采用螺纹连接, 且可更换, 齿轮与充气开关固连, 齿条与主开关固连, 气动接头的公头与充气开关连接, 母头与浮球连接, 公头母头可脱离。当主开关被压缩后, 箱体盖被打开, 齿轮齿条配合使充气开关打开通过气动接头向浮球充气, 当浮球内压力达到一定值后, 活塞受力大于调压弹簧力, 活塞运动, 带动拨叉杆与拨叉脱离, 拨叉在扭转弹簧力作用下推动滑块运动使气动接头公头与母头脱离, 浮球连同母头一起浮出水面, 浮球进气口处带有单向截止阀, 不会漏气。

调节调压螺杆可调节浮球内气压大小。浮球与装置本体采用绳索连接, 可实现对水下目标的打捞。当主开关复位后, 齿轮齿条配合使充气开关关闭, 使用专用工具排空浮球内气体并叠装在箱体内, 更换气瓶, 整个装置即可重复使用。

3 弹簧设计

本装置为纯机械结构, 采用弹簧力进行驱动, 因此弹簧力计算的准确性直接决定了装置运行的可靠性与稳定性, 主要选择脱离机构和主开关弹簧进行计算。

3.1 拨叉弹簧

拨叉起到脱离气动接头的作用, 其作用的扭簧扭力大小直接决定了脱离机构是否能够顺利脱离使浮球浮出水面。

根据图 4 所示结构及运动关系对拨叉进行受力分析, 不考虑零件质量, 受力分析如图 5 所示。

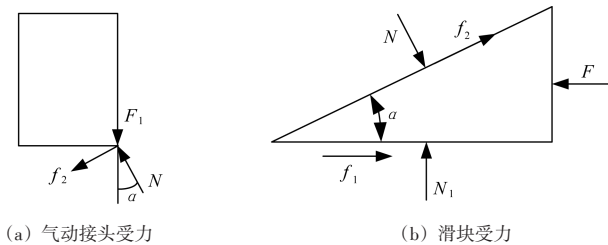


图 5 气动接头、滑块受力分析

Fig5 Force analysis of pneumatic joints and sliders

气动接头竖直方向受力平衡关系式:

$$f_2 = N\mu_2 \quad (1)$$

$$F_1 = N \cos \alpha - f_2 \sin \alpha \quad (2)$$

式中: f_2 为气动接头与滑块斜面摩擦力; μ_2 为接头与滑块间摩擦系数; F_1 为气动接头脱离所需力; α 为滑块斜面角度。

滑块水平方向受力平衡关系式:

$$N_1 = F_1 \quad (3)$$

$$f_1 = N_1\mu_1 \quad (4)$$

$$F = N \sin \alpha + f_2 \cos \alpha + f_1 \quad (5)$$

式中: N_1 为导槽对滑块的支撑力; f_1 为滑块在导槽内滑动的摩擦力; μ_1 为滑块与导槽间摩擦因数; F 为拨叉对

滑块作用力。

对上述公式进行整理得:

$$F = \frac{F_1(\sin \alpha + \mu_2 \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu_2 \sin \alpha} + \mu_1 F_1 \quad (6)$$

其中, F_1 可通过气动接头脱离实验测得, α 为已知设计值。

脱离时弹簧扭矩为最小工作扭矩, 对此时拨叉进行受力分析, 如图 6 所示。

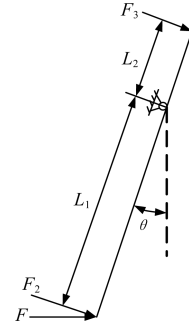


图 6 拨叉受力分析

Fig6 Force analysis of the fork

根据受力简图可列拨叉力矩平衡关系式:

$$F_2 = F \cos \theta \quad (7)$$

$$F_2 L_1 = F_3 L_2 \quad (8)$$

式中: F_2 为滑块对垂直拨叉方向的反作用力; F_3 为弹簧扭力; L_1 、 L_2 分别为 F_2 、 F_3 的力臂; θ 为拨叉与竖直方向角度, 即扭簧工作扭转角。

扭簧最小工作扭矩:

$$T = F_3 L_2 \quad (9)$$

式中: T 为扭簧最小工作扭矩。

其中, θ 、 L_1 、 L_2 为已知设计值, 根据 T 、 θ 值为限定条件进行扭簧设计。

由于本装置为水下作业, 为保证装置长期稳定可靠, 弹簧材料选用不锈钢丝, 可有效耐腐蚀, 扭簧设计计算过程参照文献[12], 经设计计算最终得到扭簧钢丝直径 1.6 mm, 中径 6.4 mm, 工作圈数为 6 圈。

3.2 调压弹簧

由于浮球在箱体内部为折叠状态, 且箱体内空间紧凑, 虽然活塞密封圈于缸体存在一定摩擦力, 但其值很小可忽略不计。拨叉杆扭转弹簧力只需克服自身绕旋转轴的摩擦力, 使其可保持与活塞一端接触即可, 当拨叉与拨叉杆脱离时最大扭矩设计值为 T_1 , 在无其他外力情况下, 试验结果显示浮球未充气即与装置本体脱离。因此浮球需要满足最小压强条件才可将浮球内充满空气, 否则在充气量极小或者未充进气体时浮球即会脱离, 这样浮球无法浮出水面, 也就无法进行水面打捞。同时由于浮球折叠状态不同、放置方式不同, 最小压强值很难确定, 因此调压弹簧设计显得非常必要, 调压弹簧调压

最大值设置为浮球所能承受的最大压强,这样可通过调节弹簧力大小使浮球内充满气体浮出水面。活塞受力分析如图7所示。

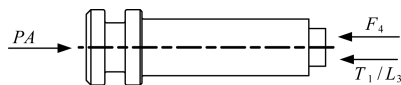


图7 活塞受力分析
Fig7 Force analysis of piston

活塞运行距离 h 时拨叉杆与拨叉脱离,拨叉执行脱离动作,以极限情况脱离时浮球内压强达到最大值进行计算,此时弹簧的极限载荷可表示为:

$$F_4 = PA - \frac{T_1}{L_3} \quad (10)$$

式中: F_4 为调压弹簧在极限载荷; P 为浮球承受最大压强; A 为活塞与气体接触面积; T_1 为拨叉杆扭簧最大工作扭矩; L_3 为拨叉杆对活塞作用力的力臂。

其中, P 、 A 、 h 、 T_1 、 L_3 均为已知设计值,根据 F_4 、 h 为限定条件进行调压弹簧的设计。

弹簧材料选用不锈钢丝,经设计计算得到扭簧钢丝直径0.6 mm,中径4.5 mm,有效圈数为11圈,总圈数13圈,自由高度20 mm。

4 产品样机与试验

根据上述的结构和计算,进行了产品样机的试制和试验工作,机械手的材料主要为铝和不锈钢,既保证了结构强度又提高了抗腐蚀性,如图8所示。



(a) 机械手张开状态 (b) 机械手抓取动作

图8 产品样机

Fig8 Product prototype

试验结果表明,机械手顺利实现抓取动作,浮球充气量可达到满容量的80%~90%,脱离机构顺利工作,浮球与装置本体脱离,装置各个机构之间动作衔接连贯,无卡滞,此装置可实现对水下圆柱形目标的抓取及水面打捞功能。

5 结束语

针对水下大质量目标打捞困难,水下作业对机械手密封要求高等问题,本文设计了一款纯机械结构的机械手,可实现在水下对目标抓取,在水面进行打捞的功能,其主要通过主开关、机械手、位置锁定机构、浮球脱离机构之间的紧密配合来实现完整的功能,无任何电子及液压器件,所有执行机构均采用弹簧力作为驱动

力,结构简单、质量小,无需考虑密封、作业深度等问题,且采用铝和不锈钢材料,有效保证了强度,提高了抗腐蚀性。

产品样机试验结果表明,开发的样机各机构运动顺畅、安全可靠,可实现抓取及浮球脱离等各项设计功能。此装置可人工携带,也可安装在各类型潜水器上,携带方便、适应性强。

参考文献:

- [1] 任忠涛,王业山,李增辉,等.小型水下机器人的研究发展及其应用现状[J]. 新型工业化, 2019(10):40-44.
- [2] 常宗瑜,张杨,郑方圆,等.水下机器人-机械手系统研究进展:结构、建模与控制[J]. 机械工程学报, 2020, 56(19):66-82.
- [3] 韩泽光,周莉,郝瑞琴.灵巧节能的单自由度仿真机械手驱动机构设计[J]. 机械传动, 2014, 38(6):48-52.
- [4] 谭定忠,王启明,杨军,等.一种具有柔顺抓取功能的水下作业机械手[J]. 船舶工程, 2008(2):45-47.
- [5] 秦慧斌,郑智贞,刘玉龙,等.基于齿轮传动的结构仿生螃蟹机器人设计[J]. 机械传动, 2015(7):79-82.
- [6] 郭斌,王彦明,陆艺,等.冲床上下料机械手臂及驱动系统设计[J]. 机械传动, 2016(2):150-153.
- [7] SIV EV S, COLEMAN J, OMERDI E, et al. Underwater manipulators: A review[J]. Ocean Engineering, 2018(163): 431-450.
- [8] ZHANG Q, CHEN J, HUO L, et al. 7000m pressure experiment of a deep-sea hydraulic manipulator system[C]// Proceedings of OCEANS'14 MTS/IEEE St John's, St. John's, Canada: IEEE, 2014: 1-5.
- [9] BOWEN A D, YOERGER D R, TAYLOR C, et al. The Nereus hybrid underwater robotic vehicle for global ocean science operations to 11000m depth[C]// Proceedings of OCEANS 2008, Quebec City: IEEE, 2008: 1-10.
- [10] TANG C, WANG Y, WANG S, et al. Floating autonomous manipulation of the underwater biomimetic vehicle-manipulator system: Methodology and verification[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018, 65(6): 4861-4870.
- [11] 施昕昕,朱晨阳,卢鹏程.面向海参捕捞的水下机器人系统设计[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2020, 18(4): 43-48.
- [12] 成大先. 机械设计手册第3卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.

第一作者简介: 韩 岩 (1991-), 男, 硕士, 研究实习员, 研究领域为光学精密仪器设计。

(编辑: 王智圣)