# 基于自锁 - 急回机构的水陆两用移动平台机械结构

卜晟哲[1], 吕 彬[2], 大金一二[1]

(1. 新泻工科大学, 日本 新泻 9451195;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢冷轧板材厂, 内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 传统水面环境检测机器人受限于船只部署困难、易受天气条件影响等问题造成运营成本高。文章提出一种解决方案, 将水面环境检测机器人在陆地部署后自主进入水中, 执行水下作业任务。该方案无需船只支持, 能够快速响应在湖泊、水库与浅水区的作业需求, 适用于在船只部署困难时替代普通水面环境检测机器人进行水中作业, 为水下任务作业提供轻量化与高机动性的解决方案。

**关键词:** 机器人结构; 自锁 - 急回机构; 水陆两用机器人
**中图分类号:** TP242 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2026)01 - 0079 - 04

# Mechanical Structure of Amphibious Mobile Platform Based on Self - locking - Quick Return Mechanism

*Bu Shengzhe*[1], *Lv Bin*[2], *Ogane Katsuji*[1]

(1. *Niigata Institute of Technology*, *Niigata* 9451195, *Japan*;
2. *Cold Rolled Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd.*, *Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region*, *China*)

**Abstract:** The traditional detection robot of water surface environment is limited by such problems as difficult deployment of vessel and susceptibility to effects of weather conditions so that the operation costs are high. In the paper, a solution is proposed. The detection robot of water surface environment autonomously enters water to perform underwater operation tasks after deploying it on land. The solution does not need vessels to support, allows rapid response to operational requirements in lakes, reservoirs and shallow areas, which is suitable for replacing conventional detection robot of water surface environment to perform underwater operations when it is difficult to deploy vessel as well as it could provide the solution with light weight and high maneuverability for underwater task operations.

**Key words:** structure of robot; self - locking - quick return mechanism; amphibious robot

水陆两用机器人在生态监测与水域巡检等领域具有广泛的需求[1-2]。传统的水陆两用机器人大多采用独立的水中与路面驱动系统, 但独立的水中与路面驱动系统会导致机械结构复杂, 从而引起系统重量增加以及模式切换效率低下等问题[3-4]。现有水陆两用机器人大多数依赖多个电机或其他执行机构来实现运动模式转换, 不仅增加了控制系统的复杂程度, 也降低了整体系统的可靠性。

本文提出了一种基于单一电机驱动自锁 - 急回机构的水陆两用移动平台的机械结构。通过四轮联

**收稿日期:** 2025 - 12 - 01
**作者简介:** 卜晟哲(2000 - ), 男, 内蒙古包头市人, 硕士, 现从事机械电子工程研究工作。

动进行结构转换,实现水中与路面两种运动模式的切换。通过将单一电机与线控机构相结合,同步控制四个运动平台的电机进行空间姿态转换,将传统水陆两用机构的多执行器系统简化为单一动力源进行驱动,大幅降低了机械复杂性和控制难度。

此结构基于单一电机驱动的水陆两用运动机构,主要面向水体维护与水中环境监测领域应用。该运动平台无需依赖维护作业船,可由补给平台或陆地自主移动至浅水区,随后切换至水域模式航行至工作目标区域,对水体进行检测、清洁与简单维护作业,有助于降低运维成本和提高作业效率,并克服危险天气下无法派出船舶等难题,为水中环境监测与水体维护的常态化、低成本维护提供一种新的解决方案。

## 1 整体结构

### 1.1 工作原理

当前机器人的功能定位为可由路面平台直接部署后前往水中环境执行监测与水体维护作业任务的机器人运动平台,其主要适用于两种使用环境:硬化路面/沙地环境(以下简称陆上环境)和水域环境(以下简称水中环境)。

陆上环境作业由 4 台电机分别独立驱动四个特殊形状车轮,进行运动控制。转向采用左右轮差速方式。

水中环境作业由 4 台电机分别独立驱动四个特殊形状螺旋桨,进行运动控制。航向控制采用四轮差动法。

由此实现机器人从路面出发,搭载负载到达目标水域,完成任务后自主返回的目的。图 1 为机器人整体结构示意图。

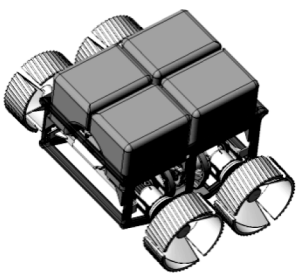
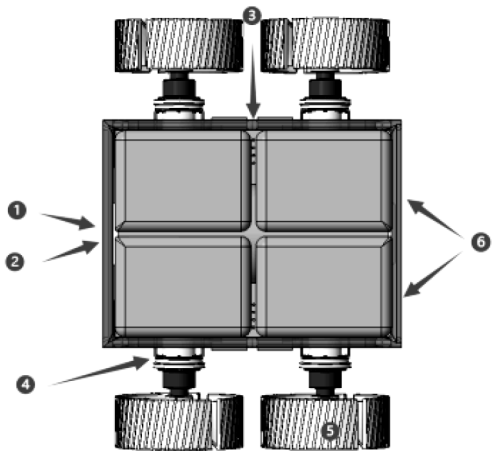


图 1 机器人整体结构示意图

### 1.2 组成模块

根据结构和功能,当前机器人划分为 6 个模块,分别为控制器 – 电源仓、自锁模块驱动仓、自锁模块执行仓、运动模块驱动仓、异型车轮、载荷安装平台,如图 2 所示。

控制器 – 电源仓内部集成了主控微机、单片机、通信模块以及电池组,为整个系统提供驱动、算力与动力源。自锁模块驱动仓与自锁模块执行仓共同构成了模式切换的执行系统,驱动仓内的舵机通过钢丝线将动力传递至两个位于执行仓的自锁机构,实现同步联动。运动模块驱动仓内封装了运动电机与驱动电路,负责驱动四个异型车轮。异型车轮是动力输出的载体,其三层结构设计使其能够进行陆地与水中不同环境的作业任务。载荷安装平台设置通用接口,以实现功能快速扩展的目的。




1 – 控制器 – 电源仓(中层);2 – 自锁模块驱动仓(下层);3 – 自锁模块执行仓;4 – 运动模块驱动仓;5 – 异型车轮;6 – 载荷安装平台(中层)

图 2 模块安装位置

### 1.3 防水设计

防水设计主要分为动密封与静密封两种。其中动密封根据运动速度不同,细分为高速动密封与低速动密封。针对高速动密封,结构采用了机械密封作为核心结构,搭配油封轴承进行二次密封。对于低速动密封,则采用两层骨架油封叠加并在隔离舱内灌注加压隔离液的设计。这套密封结构确保了设备在额定工况下能够长期、稳定地进行工作。

对于高速动密封,采用机械密封的结构,如图 3 所示,大体分为三个层级,第一层为输出轴与油封轴承进行配合,起到位置固定的作用,第二层由内向外为机械密封弹簧座(简称弹簧座),机械密封弹簧(简称弹簧)与机械密封摩擦端,第三层是机械密封的静密封端。其工作原理为弹簧挤压弹簧座与机械密封摩擦端,弹簧座被第一层的输出轴限位,从而给

机械密封摩擦端一个向外的力，使得其对机械密封静密封端产生挤压，在旋转运动过程中会对静密封端进行接触紧密的旋转摩擦，从而达到密封的效果。

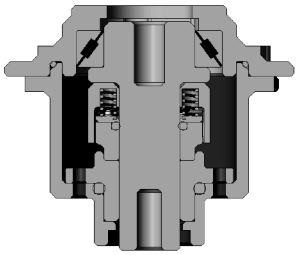


图 3　高速动密封

对于低速动密封，采用两层骨架油封进行叠加，并且在隔离舱内进行隔离液的灌注加压，如图 4 所示。骨架油封选用聚四氟乙烯 +304 不锈钢，原因是驱动轴为 5052 铝合金，与该唇形密封圈相容性好，且 PTFE 化学稳定性优异，耐酸、碱、油、高温等环境，与不锈钢支撑配合具有自润滑性好、机械强度高等优点，能适应水域高腐蚀环境，且不发生变性现象。

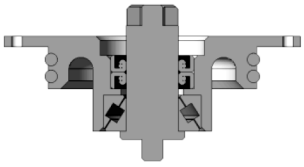


图 4　低速动密封

对于静密封则采用较为成熟的挤压 O 形圈方案，在端盖与螺栓的预紧力作用下达到密封的效果，如图 5 所示。

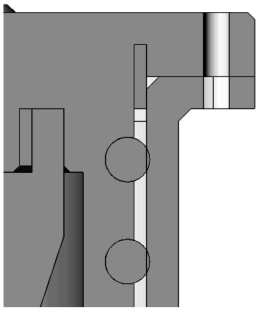


图 5　静密封

### 1.4　异型车轮

异形车轮作为路面模式与水中模式共用的输出载体，其依靠路面模式的柔性外圈支撑（车轮）与水中模式的桨叶（轮毂）提供升力，由内中外三层组成，如图 6 所示。

最内层为联轴器结构，作用是与电机侧的驱动轴连接传递扭矩。其外层设计有特殊的螺旋纹路，在陆上行驶时，若沙土或淤泥进入轮毂内部，这些纹路能在车轮旋转时起到类似螺杆泵的作用，将异物向外排出，防止卡死。

中层为三片大倾角桨叶。在水中模式时，它们作为推进器的输出端，通过旋转引动水流产生推力。在陆上模式时，这三片桨叶则构成了轮毂的主体，其类梯形结构能保证异形车轮的结构强度，并减少在复杂地形中运动时的阻力。同时，桨叶间的空隙也起到了排沙的作用。

外层为粗糙弹性外圈，该外圈被分为三段，每段之间留有空隙。这些空隙的作用一是在沙地或泥泞路段行驶时，能够有效排出附着物，防止打滑与积塞，二是在越障时提供了额外的形变空间和抓地力，提升了机器人的地形通过性。

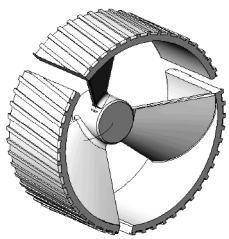


图 6　异型车轮

## 2　自锁模块

自锁紧模块通过一组凸轮、旋转限位和扭簧组合实现位置控制，分为四个位置：初始位置、限位转换位置、自锁紧位置、限位复位位置。具体由 5 层结构组成，分别为外层限位圈、内层凸轮、旋转限位块、限位块支撑与联动块。

### 2.1　组成结构

外层限位圈与内层凸轮之间放置一个深沟球轴承，两个限位块支撑通过两个微型法兰轴承对旋转限位块进行限位，两个内层凸轮之间再通过联动块进行位置联动，联动块上排布着三个轴心距不同的突起，轴心距最大的突起上连接一根钢丝线，钢丝线的另外一端连接至自锁模块以进行线控驱动，凸轮内部内置扭簧，使其具有一个朝向车轮正下方的力，从而达到自锁模块通过线驱解锁后产生急回的目的，如图 7 所示。

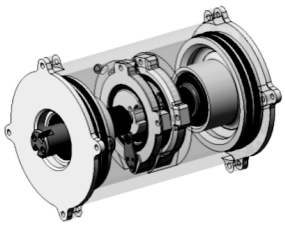


图7 自锁模块

### 2.2 驱动方式与工作原理

自锁模块的运动流程如下。

自锁模块驱动仓中的电机通过钢丝线带动自锁模块执行仓中的凸轮进行逆时针旋转,使其外壁接触旋转限位块并产生旋转(图8至图9)。旋转限位块旋转后,驱动电机进行主动失能。由于解除了电机给予的拉力,凸轮在扭簧作用下顺时针旋转,旋转限位块的凸起部与凸轮的台阶部接触与扭簧配合形成自锁,机器人进入水中模式(图9至图10)。解除自锁模式的方法为电机再次驱动钢丝线,钢丝线再次驱动凸轮,使其克服扭簧阻力继续逆时针运动,凸轮外壁再次接触旋转限位块并产生旋转(图10至图11),驱动电机再次进行主动失能,凸轮在扭簧作用下重新顺时针旋转,使自锁模块整体恢复至初始位置(图11返回图8)。

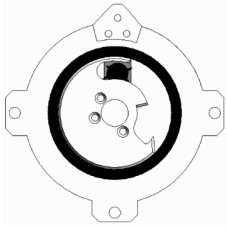


图8 自锁模块初始状态(陆上模式)

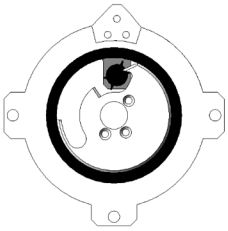


图9 陆上模式切换至水中模式过程

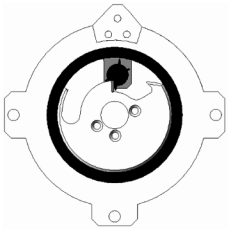


图10 自锁模块自锁状态(水中模式)

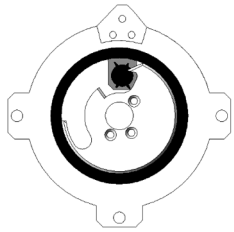


图11 水中模式切换至陆上模式

## 3 结束语

该结构核心创新点在于提出了基于单一电机驱动的四轮联动转换机构。通过线控-自锁紧结构的设计,实现了用一个执行器同步控制四个运动单元的形态切换,将传统水陆模式切换时所依赖的多动力源系统,简化为集成度较高的单一动力源系统。该设计不仅降低了机构的复杂性和控制难度,而且在保证模式切换的快速性与运动的连续性的同时,为水陆两用移动装备的轻量化、集成化提供了新的解决方案。本机构的设计为发展水-陆-空三栖移动平台奠定了结构基础。当前的改进方向主要为螺旋桨的更新设计。通过CFD优化,将现有的水中推进螺旋桨改造为旋翼叶片形态,使其在保留水陆模式切换功能的同时,通过优化后的旋翼叶片提供升力,实现水-陆-空三栖移动,将极大扩展其在复杂环境下的应用范围。

## 参 考 文 献

[1] Tzafestas S G. Mobile robot control and navigation: A global overview[J]. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2018,91(1):35-58.

[2] 刘强,周涛,肖梦,等.新型两栖仿生机器人的结构设计和运动学仿真[J].舰船科学技术,2024,46(10):92-97.

[3] 张建,周俊杰,苑士华,等.水陆两栖仿生机器人构形、运动机理及建模控制综述[J].机器人,2023,45(3):367-384.

[4] WANG Xuebing, WU Qingxiang, WANG Yixuan, et al. Structure design, kinematic modeling, and motion planning of novel ray-inspired amphibious robots[J]. Chinese Journal of Engineering,2024,46(9):1594-1603.