

水下石油管道巡查机器人控制系统设计研究

黄锴恒

(中海油信息科技有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524000)

摘要 在石油工业发展过程中, 石油管道的安全检测、巡查工作十分重要。做好水下石油管道巡查机器人的控制系统设计, 能够很好地实现安全检测和巡查的目标, 其也是当前研究的热点。本文基于水下石油管道检测、巡查等目的, 借助舵机、通信模块和实时操作系统等设计了一种全新的水下机器人——“鱼雷型仿生式水下机器人”, 经过系统设计和调试, 发现这一机器人可以远程控制并无线传输图像信息, 可以很好地完成水下巡查工作。

关键词 水下石油管道; 巡查检测; 机器人控制系统

中图分类号: TP242

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)03-0007-03

我国地域辽阔、资源丰富, 除了陆地上的各种资源外, 海底也存在很多宝贵的资源, 为了获取海底资源, 我国采用了水下管道运输方法。但因水下环境相对复杂且时刻在变化, 所以建设的石油气管道很容易受到破坏并出现漏油等情况, 其不仅会浪费大量的资源, 还易造成环境污染。为了解决这些问题, 需要定期检测水下输油管道的质量及性能。通常, 水下输油管道是通过法兰装置, 利用无缝钢管焊接构建远距离管道, 再设置好阀门便可酌情调节管道内部流量, 也能控制其开关。由于水下管道检测工作更为复杂, 且难度远高于陆地管道检测, 加之检测人员无法自由停留在水下, 很难到达一些水深较大的区域, 这就需要水下机器人来检测、巡查石油管道。

1 系统设计需求

由于水下环境较为复杂且存在很多不确定因素, 所以对于水下机器人的设计, 要保证其形体结构满足使用需求, 以便能高效、有序地进行水下管道巡查。本次设计所用的是水下机器人本体结构, 设计工作中还要注意很多问题。

首先, 为了保证水下机器人顺利航行与作业, 需要确保其下水阶段具有足够的阻力。同时作业过程中机器人还会承受较大的压强, 在设计机器人时要保证其自身的强度, 以免在水下压强作用下出现形体、结构等破坏。

其次, 在选择工艺方面, 还要保证机器人的硬件性能, 尽可能增强其灵活度, 以便顺利、高效地开展水下作业。

再者, 水下巡查机器人控制系统的设计对于运动控制也有一定的要求, 机器人要有稳定且灵活的运动

控制能力, 以便更好地适应多变的水下环境并完成巡航、作业等工作。在具体设计中, 机器人要有前进、后退、上浮等基本运动控制能力, 还要能按照导航及定位信息来规划路线, 并自动调整巡航速度、方向。

此外, 水下石油管道巡查机器人还要具备较强的感知和识别能力, 可以完成管道的检测与识别任务。其设计需求包括: 为机器人控制系统配备清晰度极高的摄像头与高精度的传感器设备, 可以获取石油管道的外观、损伤等信息; 巡查机器人还要具备图像识别与处理能力, 自动化识别管道的规格、型号以及材质等, 并做好分类、标记; 巡查机器人还要设置声呐设备, 能够完成水下物体的三维成像、识别工作, 以便更好地掌握管道周边的环境与情况。

最后, 还要提高水下巡查机器人的电源管理能力, 使其能够长时间稳定地运行, 这便需要机器人具备电源管理系统、备用电源系统, 能够实时监测电源系统的用电情况, 也能在出现紧急情况时确保机器人正常运作。

2 系统器件选择

2.1 控制芯片

控制系统是水下巡查机器人工作的核心, 主要扮演着“大脑”的角色。同时, 控制芯片在控制系统中发挥着重要作用, 控制芯片的好坏影响着巡查机器人的工作质量和效果。在选择控制芯片型号时, 需要结合开发周期、性能等方面综合考虑, 因为机器人控制系统在无线通信、数据读取与融合等方面有着较大的工作量, 其对处理器的速度、处理能力均有较高的要求。所以设计过程中主要使用了 STM32F103C8T6 这一控制芯片, 其不仅工作频率高、性能强, 还有很多通信接口,

涉及的外设资源也比较丰富,加之芯片的抗干扰性良好,能够进一步管控电机操作,还能确保其运行的安全性、稳定性。

2.2 传感器

水下巡查机器人的作业、控制十分复杂,且涉及很多方面。就目前而言,机器人的控制与惯性导航以及深度测量相关。其中还涉及惯性测量单元,这一单元直接影响着控制系统惯性导航的运行,有加速度计、多轴螺旋仪等构件,为进一步提高惯性导航姿态解算的合理性、精准性,往往还会加设多轴磁力计。具体设计中,姿态传感器是机器人系统的重要一环,这一部分主要运用9轴组合传感器芯片进行工作,可以测量获取整个系统的姿态数据。同时,这一传感器芯片的成本低、功耗也相对较小,其中涉及陀螺仪、加速度等传感器,还有数字运动处理器,可以很好地推动水下巡查机器人的运作。

2.3 水下推进器选型

系统内部的水下推进器主要发挥辅助作用,可以辅助机器人完成作业任务。设计环节,为保证机器人系统的稳定性、可靠性,主要设有4个推进器设备,这一设备使用的推进电机如图1。

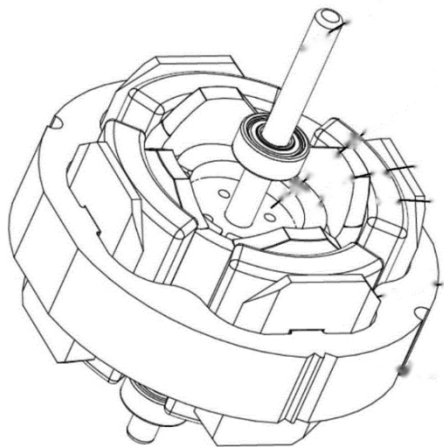


图1 直流无刷电机

2.4 无线通信模块

为顺利实现和遥控端的通信,设计环节加入了新的模块——全双工点对传输无线串口模块。经研究和实践发现,新加入的模块具备调频扩频和前向纠错等诸多功能,基于常规串口协议便可发挥MCU的作用。同时机器人控制系统还需使用计算机等设备,其可实现模块的优化配置,即由TTL替代USB进行工作。相关规格如下:35*22*12(单位:毫米);工作电压在2伏~5伏间;可通信距离接近1000米。因巡查机器人

的运动参数还要借助上位机进行配置,在应用时还需利用无线遥控器来操控机器人运动,所以设计中使用了多通道无线遥控器。

2.5 摄像头和云台

摄像头也是巡查机器人的重要组成部分,是拍摄石油管道外观及损伤情况的主要工具。因水下巡查机器人配有摄像头,可以拍摄水下环境及管道的运行情况,并将获取的图像信息第一时间传递出去。为了便于机器人的拍摄,可以考虑在云台装置上方设置摄像头,以实现不同角度和方向的观察^[1]。在选择摄像头的过程中,清晰度、重量、视频信号输出等均是考虑的重点因素,因摄像头装设在云台上,其尺寸规格不可过大,所选摄像头的分辨率是500万像素,可以单声道音频输出。同时,水下环境十分复杂,巡查机器人航巡过程中也易受到水流的冲击,所以难免出现机体抖动或者摇摆的情况。受此影响,机器人上的摄像头也会晃动并出现图像不清晰的问题。对此,设计环节还要加装具有增稳效果的无刷云台。

3 系统设计分析

巡查机器人作业过程中需要检测石油管道的表面有无油泡,其可判断管道有无漏油情况。基于巡查机器人系统的功能,主要包括移动控制、人机交互系统等。针对巡查机器人的移动控制功能,需要明确机器人系统的驱动模式,其中包括主动式驱动、被动式驱动。对于主动式机器人而言,其可自主移动;而被动式机器人需要借助液体、风等的流动力来驱使其移动。因本次设计的巡查机器人需要水下作业并完成管道的巡查、检测等工作,所以选择了主动式机器人。为了及时、有效地了解机器人在水下的运动情况,并方便工作人员下达新的指令,机器人在作业环节也要时刻和工作人员进行交流,以免发生意外。所以,设计巡查机器人控制系统时还要加入人机交互系统。这一系统包括很多部分,如传感器、上位机等。工作原理主要是利用传感器获取水下管道与周边环境的相关信息,并将信息传输到核心控制器,由此控制器进一步传输信息至上位机,通过上位机的编码处理,使其成为人们可以看得明白的信息,如声音、图像等。同时,工作人员也可利用上位机来为机器人下达指令,由上位机将指令传递到核心控制器,再将指令转化成能够驱动系统硬件的数字信号,便可辅助巡查机器人顺利开展水下作业。

3.1 硬件设计

本设计中,机器人的运动控制系统并非单一的运

作模式,而是将舵机和单片机有机结合到一起,机器人的图像采集系统也是基于单片机,再利用摄像头进行工作。人机交互系统主要发挥上位机、单片机的作用,并由 WiFi 模块辅助作业。其中,主控芯片如器件选择中所述,其包含的定时器可以产生 PWM 信号来驱动舵机运动^[2]。摄像头可以帮助机器人拍摄管道焊接部位有无油泡出现,能够很好地完成水下作业及任务。通信模块是机器人和上位机程序交流信息的主要媒介,其通信方式包括 NFC、蓝牙以及无线网等,不同的通信方式有着不同的优点和不足,因水下巡查机器人的传输距离相对较远,对于数据传输的速度也有极高的要求,所以主要采用 WiFi 通信方法。至于机器人的尾舵,其是机器人系统的执行机构,随着传动机构的运作,产生的舵机转矩可以传递到尾舵部位并为系统内部装置提供动力功能,帮助机器人系统进行转向运动。

3.2 软件设计

基于硬件设计,水下石油管道巡查机器人的软件系统可以分为三个层次来阐述。其中,运用层的作用、等级最高,通过系统的逐层递进,其与底层硬件之间的联系较少,运用层的开发运用软件也极少关注底层状态,尤其是硬件的情况。而硬件驱动不同于开发运用软件,与底层硬件频繁“交流”,而底层程序主要负责提供函数接口,以便运用层正常运行和决策。由于系统软件在运用层、底层之间,其不仅能管理计算机系统的各种资源,还能促进运用层、底层的联系、通信^[3]。在此系统中,需要做好底层驱动程序的设计,如摄像头、WiFi 模块以及舵机等驱动。

对于其中的初始化系统,包含了很多部分,如系统时钟,并且为保证系统稳定地运行,还配有诸多模块,能够利用摄像头进行周期性拍摄,也可发挥模块作用将图片传递至上位机,在经过处理后,观察图像信息能够判断石油管道有无油泡情况,如果有油泡出现,则表明拍摄的这一管道位置有漏油问题^[4]。观察机器人传回的图片时,还要进一步判断机器人的走向,看其是否顺沿管道直线航行,若未直线移动,便需要借助上位机下达新的指令。

3.3 系统调试

水下巡查机器人需要借助软件完成控制器的编程工作,并将程序下载至控制器。本系统采用了 KEIL5 软件来编程,其还涉及链接器、C 编译器等仿真功能。通过驱动系统的各模块,可以让其有机协作并完成巡查、检测等工作。所以在实时操作系统上还要配置多个任务,明确其优先级,以便水下巡查机器人可以稳

定、有序地工作。本设计中涉及通信、串口摄像头、舵机三大模块,所以要配置三个对应任务。再基于实时操作系统的信号量机制确保各任务有机通信,可以更顺利地完成任务^[5]。同时,该系统还创建了多个信号量,可以标志不同系统的任务完成度,比如 SemOfCamera 这一信号量代表着串口相机已完成数据采集任务,在 WiFi 通信模块接收信号量后,会将相关信息和图像发送到上位机程序,在经过上位机处理后,可发送要进行的控制指令,如“左转”“右转”,其可驱动机器人舵机在特定区域内来回摆动并模拟左转或右转,从而完成指令任务。

至于串口摄像头,因其传递的图片格式和人员接收的不同,所以调试这一设备时要检查系统能否获取全部信息。而通信模块的运行过程复杂,需要利用特定软件单步调试。调试时可创建 IP 地址,启动服务器并设置好端口,打印调试信息^[6]。在完成各个模块的调试工作后,在确保其工作状态正常的情况下还要进行整个系统的调试,可以让各个模块相互配合一同完成水下巡查和检测等工作。

4 结论

为进一步开展水下石油管道的巡查和检测工作,本文设计了一种全新的水下巡查机器人运动控制系统。在各模块及系统的作用下,水下巡查机器人不仅能完成指令动作并进行各种作业,还能拍摄出精准、分辨率高的石油管道图像,也能明确管道的泄漏点。

参考文献:

- [1] 李雪,杨大勇,刘家毅,等.水下石油管道巡查机器人控制系统的设计[J].测控技术,2019,38(08):15-20.
- [2] 王鹏程,徐世许,耿延龙,等.基于激光雷达的巡查机器人控制与定位[J].传感器与微系统,2022,41(01):110-113.
- [3] 睦翔,徐林森,周瑞吉,等.仿尺蠖多模式爬壁机器人设计与控制方法研究[J].计算机测量与控制,2022,30(10):155-161.
- [4] 贺晓峰,廖志伟,肖华明,等.智能巡查机器人传感与控制系统研究与设计[J].中国煤炭,2022,48(z1):1-5.
- [5] 周密林.煤矿井下巡查机器人自主控制系统的研究[J].机械管理开发,2020,35(07):206-207.
- [6] 赵进.煤矿井下悬挂式巡线机器人自动控制系统的分析[J].机械管理开发,2019,34(11):204-205.