

海底六足步行机器人

唐 杰 原培章 修道喜 李小凡 归 彤

(中科院沈阳自动化所)

摘要: 本文简要介绍了海蟹号海底六足步行机器人的主要技术指标及其系统的设计。

一、前 言

人类自从发明了“轮”造了车,确实得到了莫大的好处。从远古的推车一直发展到现在的形形色色的汽车、挖掘机、推土机和起重机等等,逐渐形成了以轮子为移动方式的各种产业。

可是今天人类要扩大活动空间,要开发宇宙,要开发海洋,要在原始的没有人工道路的自然环境中通行,要在错综复杂的海底行走,再用轮子就有很多困难,甚至于不可能。所以就要脱离传统的机械概念、模仿生物去研究、设计和发明对自然环境具有高度适应能力的步行高技术。八十年代初,日本首先研制成自重为25吨的八足海底步行调查机器人。日本五洋建设公司1982年研制成修建堤坝的步行机器人,自重72吨。1987年研制成浚砂步行机器人,同年,美国也研制成大如恐龙的陆地六足步行机器人。

中国科学院也开展了这个领域的研究工作,这就是我们沈阳自动化所与长春光机所共同研制的海蟹号六足步行机器人1988年完成陆地步行试验,1989年3月18日在沈阳机器人示范中心水池里,海蟹号迈出了成功的第一步。

二、主要功能和技术指标

本机主要由三部分组成,具有操作、观察和移动功能。主要技术指标为:

潜深: 300m

步距: 700mm

步高: 700mm

转弯: 就地连续旋转360°

航速: 0.25节

自重: 1.5吨

控制精度: $\pm 0.1\text{mm}$ /一个脉冲

抓重: 5kg

三、步行系统的设计

要充分发挥步行机构功能，在设计中要做这几方面的考虑。

1. 腿的数目的选定

腿的数目的合理选择，对步行机构设计是很重要的。对于实用型步行机的研制，选择静态稳定步行方式作为设计依据还是比较稳妥的。而实现这种步行方式最少腿数是四条。到目前为止国外已经研制出四足、六足和八足，而在水下实用的还是八足。近几年日本也在研究六足。多数学者认为六足步行机构是最有发展前途的。大多数的研究也都是围绕六足进行的。根据国外经验和技术研究的体会，选择了六足。主要理由是

(1) 三足立地稳定余度大。

(2) 步行速度大。若腿相对躯体摆动平均速度为 v_m 、而躯体步行速度为 v_b 、腿数为 k ，则有如下关系：

$$k = 4 \quad v_b = v_m/3$$

$$k = 5 \quad v_b = 2v_m/3$$

$$k = 6 \quad v_b = v_m$$

2. 步行机构选型

步行机构选型时步行系统设计十分重要。倘若步行机构一旦确定，那步行机本体结构、伺服驱动方式计算机控制算法，也就基本限定在一定范围，对步行机成败起很大作用。

本机任务对我们要求是设计一台模型机，而我们考虑尽量能实用，最低限度能在自然环境下试验，因此我们步行机选型的原则是考虑到有利于工程应用而设计的。我们参照并分析了国外几种机型。日本庆塾大学是采用水平伸缩、上下摆动机构；日本小松采用水平伸缩、上下伸缩八足机构；日本机械研究所采用缩放四足机构。同时还设计曲柄滑块四足步行机构和8字型曲柄连杆四足机构；苏联采用开式连杆六足步行机构；意大利采用摆动和伸缩平面六足步行机构；美国也采用缩放式六足步行机构。我们对国外这些机构做了综合分析，自行设计了极座标具有25个自由度的六足步行机构。

3. 步态的设计

步行机步态是步行机几何设计重要内容。要进行六足步行控制，首先要解决步态选择问题。根据有关学者研究报告，步态的组合数目是很大的。例如四足步态总数就可达63136种。我们为了获得较强的抗流性能选定横向行走的三角形为最佳稳定步态。

4. 腿的构造形式

从整体上看，腿的构造形式可分为昆虫类和哺乳类两种形式的区别：

昆虫类生物其腿的数目较多，一般多于四足以上；其腿分布于身体的两侧，身体重心低，稳定性好，且运动灵活，适应范围广；而哺乳类行走动物腿的数目多为两足或四足，且其腿多分布于身体下方，重心高，便于快速奔跑，但其运动的灵活性不如昆虫类，譬如，昆虫类的原地转向的灵活性要优于哺乳类。为取得到重心低，稳定性好，以及对不平地面适应能力强，我们选用昆虫类构造形式来设计。

四、驱动系统的设计

步行机驱动系统总的可分为两种：一种是电伺服；另一种是电液伺服。目前日本和美国设计能实用的都采用电液伺服系统。

本机的态体驱动靠的是分布各腿上的液压缸，采用电液驱动系统是由于其中的液压系统具有将电系统所产生的动力放大的作用，用此系统可以获得所需的较大的动力。

每条腿的驱动又分别依靠于相应的立腿缸和水平缸的运动来实现。立腿缸的运动实现腿的拉起和落下，而水平缸则用来驱动腿的前后摆动。

由于在行走过程当中，地面是高低不平的，而本机却须保持水平，故每一支撑腿的伸长量就不尽相同。为保持态体运动的协调一致，相应的水平缸就需要以不同的运动来加以配合，故而我们采用于能够实现较为精确的运动控制的数字伺服驱动系统，用以达到多腿的协调运动。

因此，本机选用电液驱动系统，其水平运动设计是数学伺服系统，采用脉冲缸，见图 1。



图 1 脉冲缸方块图

五、步行机结构设计

为了使步行机承载能力大、自重轻，我们设计高刚度结构，应用高强度材料，采用方箱结构，较好地满足了设计要求。为提高适应能力，脚腕设计 2 自由度。每个脚底安装磁性传感器。

单板机、电子器件及电源安装在密封的钢制圆筒里。

六、计算机控制系统

本机采用计算机两级控制，即执行级和协调级。水下采用单板机，水上选用微机作为中央控制。配一套在不同高低地面能自动或半自动前进、后退、转弯连动控制的软件系统。

七、结束语

随着步行机高技术深入研究，海底步行机应用工程已得到日益发展，不到几年时间已经出现三种类型、不同用途的实用步行机器人。

我国除了海洋之外，江河堤坝开发也提出迫切任务。所以，我们开展步行机器人应用工程研究很有必要。

A Six-legged Undersea Locomotive Robot

Tang Jie Yuan Peizhang,
Xiu Daoxi, Li Xiaofan Gui Tong

Abstract

This paper presents the main target and designs of the system of the Seacrab---a six-legged undersea locomotive robot.