

# 六足步行机的稳定性监控系统

甘 建 国

**摘要:** 本文综合了各种地形条件下的六足步行机的静态稳定性方法,详细讨论了能量稳定法,并用这种方法分析了六足步行机的越野能力,研究了六足机转向时的步态选择及其稳定性,给出了六足机总体结构尺寸的一种CAD方法,设计了一个适于各种地形条件的六足步行机的稳定性监控系统。

## 一、引 言

在步行机的任何控制算法的研究和开发中,一个值得重要考虑的问题是步行机保持稳定性的能力。若步行机运动在某一点是不稳定的,除非它能通过动力补偿保持动态平衡,否则,它将存在倾翻的可能性。六足步行机是以静态稳定的方式运动的,因而,综合考虑六足机在各种地形条件下的各种不同支撑形式的稳定性情形,并给出一个相应的、准确可靠的稳定性标准及计算公式,从而建立一个随时可向主控制系统报告其静态稳定性情况的稳定性监控系统,是对主控制系统的一个必不可少的补充。

## 二、稳定性方法综合

McGhee 和 Frank<sup>[1]</sup> 在假定步行机在平面上作等速直线运动条件下提出了步行机的稳定性标准及公式,并将这些准则推广应用到步行机在不平坦地面运动的情形中。作者称这种方法为几何法。在此基础上,中科院长春光机所的董太金<sup>[2]</sup>、钱晋武<sup>[3]</sup>、长春光机学院的武秀东<sup>[4]</sup>对六足步行机的稳定性作了深入的研究。然而几何法的适用范围受到地形条件的限制,为此, Dominic A. Messuri<sup>[5]</sup> 等人提出了能量稳定法的概念。

## 三、能量稳定法

能量稳定法是指通过计算步行机的能量稳定裕量(即ESM值)来评价其静态稳定性的方法,它给出了步行机不倾翻所能承受的冲击能量的定量分析方法,这种方法非常类似于 Frank<sup>[6]</sup> 讨论的有关两足步行机中的干扰能力的概念,因为两者均是基于势能来考虑的。本章引入并证明了计算ESM值的一般公式:  $h = |R|(1 - \cos\theta)\cos\varphi$ , 并藉此分析了六足步行机在几种不同支撑情况下的能量稳定性,同时对几何法与能量法作了比较<sup>[7]</sup>。

注: 本文作者的导师为于东英

## 四、六足步行机的越野能力分析

步行机的越野能力是指它对不平坦地面的适应能力,包括爬坡能力、越沟能力、跨越障碍能力等。按照能量法的一般计算公式,以能量稳定性为标准,本章给出了六足机爬越的最大正坡角 $\theta_m$ 、最大侧坡角 $\varphi_m$ 。步行机机体高度 $H$ 直接影响到其跨越障碍的能力,即 $H$ 越大,跨障碍能力越强;但是,ESM值是随着 $H$ 值的增大而减小的。基于这两个因素的考虑,本章提出了步行机最佳机体高度 $H_0$ 的概念。

## 五、步行机总体结构CAD

本节是能量法用于六足步行机总体结构设计的具体实例,其内容是仅考虑步行机静态性能的一个初步设计。按照第四节给出的 $H_0$ 、 $\theta_m$ 、 $\varphi_m$ 及最小的ESM值,最小工作面积 $A_m$ ,越沟能力 $l_m$ 等,建立优化设计的数学模型,选用无约束极小化技术进行优化计算,编制了FORTRAN程序,并给出了计算机计算实例。

## 六、六足机的转向步态选择及其稳定性

步行机在运动过程中,转向问题是常常要遇到的一个很困难的问题。转向时各腿的运动常常由一个复杂的计算机程序或由一个相当精确的凸轮系统来控制。本章给出了步行机转向时应当满足的几个基本要求,分析、比较了断续转向、连续转向<sup>[9]</sup>、全向运动<sup>[9]</sup>等三种转向方式,着重讨论了连续转向时的步态选择及其相应的稳定性情形。

## 七、六足机的稳定性监控系统设计

根据上述的理论研究,本章分别编制了适于一般平坦地面的几何法全方位六足步行机运动步态静态稳定性计算的通用程序、转弯时的静态稳定性计算通用程序、不平坦地面的全方位六足步行机运动步态静态能量稳定性计算的通用程序,并将这些程序有机地结合在一起,首次设计了一个适用的、可随时准确地向主控制系统报告各种地形条件下的六足步行机静态稳定性情形的监控系统,使得六足步行机能够更好地适应运动中遇到的情况,更加安全、可靠地到达目的地。

## 八、结 论

本文在详细讨论能量稳定法的基础上,首次将这种方法运用于六足步行机的越野能力分析、转向稳定性研究及总体结构尺寸的CAD上,第一次设计了适于各种地形条件的六足步行机的静态稳定性监控系统,从而完善了六足步行机的静态稳定性研究,对于研制适用的六足步行机的总体结构设计和控制算法设计具有理论指导意义。

参 考 文 献

- [ 1 ] R.B.McGhee and A.A.Frank, *Mathematical Bioscience*, 3, No. 3, pp.331~351, Oct., 1968
- [ 2 ] 董太金, 硕士论文, 长春光机所, 1988年7月
- [ 3 ] 钱晋武, 硕士论文, 长春光机所, 1988年7月
- [ 4 ] 武秀东, 硕士论文, 长春光机学院, 1988年7月
- [ 5 ] Dominic A.Messuri and Charles A.Klein, *IEEE, Journal of Robotics and Automation*, Vol, RA-1, No3, Sept., 1985
- [ 6 ] A.A.Frank, *J. Terramechanics*, 8, No.1, pp.41~50, 1971
- [ 7 ] 甘建国, 干东英, 全国第六届机构学学术讨论会宣读论文, 1988
- [ 8 ] Bessonov, A.P. et al; In *Proc of 3rd Ro—Man—Sy Elsevier*, 1980. pp.87—97
- [ 9 ] Bartholet, T.G; *Romote Handling in Hostile Enviroments*, 1984. pp.261~266

## A System for Monitoring Stability of Six-legged Walking Robot

Gan Jianguo

### Abstract

This paper synthesizes methods for monitoring the static stability of six-legged walking robot on all sorts of terrain and discusses the energy stability method in detail. The author mentions the use of this method to analyse the cross-country ability of the walking vehicle, the selection and stability of gait when it makes a turn, and a CAD of overall structure sizes of the walking robot. In the last, the author discusses the design of a monitoring system of stability for six-legged walking robot on all sorts of terrain.