

文章编号: 1002-0446(2000)04-0247-04

## 履带式管道机器人及侧倾问题的研究\*

彭商贤 刘 斌 龚进峰 谢少荣

(天津大学智能机械研究所 300072)

摘 要: 本文探讨了几种典型管道机器人的行走机理, 介绍了我所研制的履带式管道机器人系统结构, 研究了管道机器人的侧倾问题.

关键词: 移动机器人; 管道机器人; 履带式机器人; 侧倾

中图分类号: TP24 文献标识码: B

### 1 引言

管道机器人是在管内极限环境中进行作业的机器人, 它可携带各种检测和作业装置, 在操作人员的远距离控制下完成管内各项作业. 管道机器人在管内的移动是靠移动载体的行走机构来实现的. 工程中常用的行走机构有轮式和履带式两类, 履带式管道机器人由于其具有牵引力大, 越障能力强等特点, 日益被工程界所重视. 我所在天津市科委支持下研制了 PR-1 型履带式管道机器人. 本文讨论了管道机器人行走机理, 介绍了履带式机器人的系统结构, 最后研究了管道机器人的侧倾问题.

### 2 常用管道机器人的行走机理

管道机器人实现在管内行走必须满足机器人移动载体对管壁的附着力  $F_f$  大于移动载体的牵引力  $F_q$ , 即

$$F_f \geq F_q \quad (1)$$

载体牵引力包括负载和载体行走阻力等, 而附着力

$$F_f = \Phi_\mu N \quad (2)$$

式中,  $\Phi_\mu$  为附着系数;  $N$  为行走机构与管壁接触的正压力.

轮式管道机器人的行走轮可按空间或平面配制, 一般取 4~6 轮, 其驱动方式有独轮或多轮驱动, 它的附着力  $F_f$  只与驱动轮和管壁间的接触正压力有关, 因此当  $i$  轮驱动时, 式(1)中  $N = N_i$ ,  $N_i$  为载体驱动轮  $i$  与管壁间的正压力; 当多轮驱动时,  $N = N_1 + N_2$ ,  $N_1, N_2$  为载体驱动轮 1、2 分别与管壁间的正压力.

对于履带式管道机器人基于履带的结构特点, 它在单对轮驱动的情况下, 正压力  $N$  等于载体与管壁产生的正压力, 因此有大的附着力.

由于管道机器人在管内行走移动时, 车轮是与管的侧壁接触(图 1), 这样在设计载体行走机构时, 可利用楔形增加原理, 从而有效地增大正压力  $N$ , 正压力  $N$  可按式(3)求取

$$N = R * G * [\arccos(\cos\alpha - L/R) - \alpha]/L \quad (3)$$

\* 基金项目: 天津市自然科学基金(983800511)资助项目.

收稿日期: 1999- 08- 09

式中  $G$  为机器人载体重, 其它符号见图 1.

由式(2)知, 提高附着系数是增大附着力的有效措施, 而实际附着系数与接触面表面形态有关, 将机器人轮面设计成具有凹凸形纹面, 使载体行走时, 轮与管接触相互嵌入, 以增大附着系数.

### 3 PR-1 履带式管道机器人系统结构

本机器人根据工程实际的要求, 其主要技术指标为:

(1) 适应管径:  $\Phi 203-380\text{mm}$ ; (2) 局部最大爬坡:  $-15^\circ \sim +15^\circ$ ; (3) 管内越障:  $3\text{mm}$ ; (4) 最大行程:  $200\text{m}$ ; (5) 移动速度:  $6\text{m}/\text{min}$ . 机器人系统主要包括: (1) 履带式可组装移动载体模块; (2) 收放线模块; (3) 主驱动单元模块; (4) 计算机控制模块.

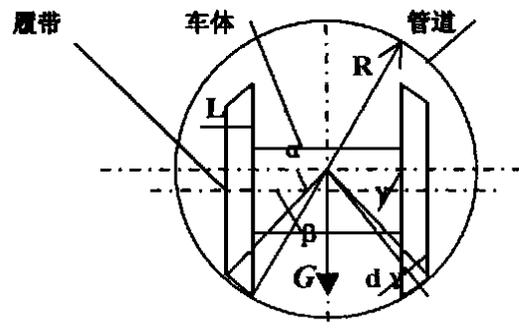


图 1 机器人车轮与管壁接触图

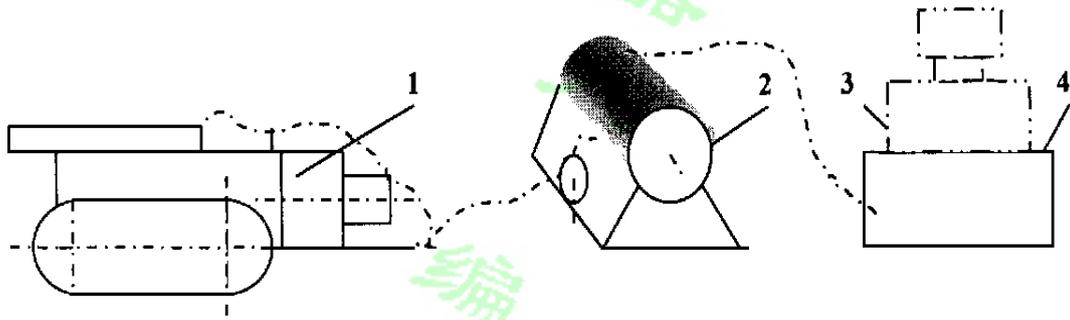


图 2 履带式机器人系统总体结构简图

#### 3.1 机器人移动载体模块

为适应移动载体能搭载多种操作功能和监测器具, 满足能通过窄小空间, 作深行程的行走, 以及跨越具有恶劣、泥泞和凹凸不平的管内环境, 本移动载体选用如图 2 所示 1 单元模块, 模块可采用可拼装式结构, 通过调整载体两侧的调整块, 改变适应管径要求的载体宽度. 行走结构采用拱形套筒滚子链的履带, 为增加小车对管壁的附着力. 在每一链节上置有楔形带凹凸胶面的链节块. 移动载体由直流伺服电机经小空间、大传动比的减速装置实现驱动, 系统具有一定的防水和防爆性能.

#### 3.2 收放线装置模块

本机器人为遥控方式下的有缆机器人, 因此需要有电缆收放装置, 本模块如图 2 中之 2 所示. 当机器人移动载体前进时, 电缆经导向轮从缠线轮上被放送, 当载体后移, 电缆靠被倒回主缠线轮上. 在收放装置缠线轮内装有多环路的精密导电滑环, 以实现驱动电流和相关讯号的传输. 移动载体在管道内的行程量是通过在电缆导向轮一侧的码盘计数来实现的.

#### 3.3 机器人主驱动单元模块

本模块(图中之 4)中主要包括直流伺服驱动单元和码盘计数电路等. 它用来实现移动载

体以不同速度的前进和后退, 并显示载体行进的深度. 模块可与计算机系统联机或脱机运行, 以保证一旦计算机出现故障时, 仍能保证手动控制载体在管道中运行.

### 3.4 计算机系统模块

本系统(图中之 3)与主驱动单元模块相联, 可实现信号处理, 小车调速、计程、图形显示和打印等功能.

## 4 管道机器人侧倾

一些管道机器人在管内行走时, 由于管内工况的变化, 电缆在放线时所产生的附加扭转力矩, 以及载体重量在小车两侧行走机构上配置的不对称等都会使轮式(或履带式)载放体在移动时出现偏离正常状态, 出现侧倾, 严重时会使移动载体出现倾覆, 使机器人不能进行工作.

### 4.1 移动载体的临界倾覆状态

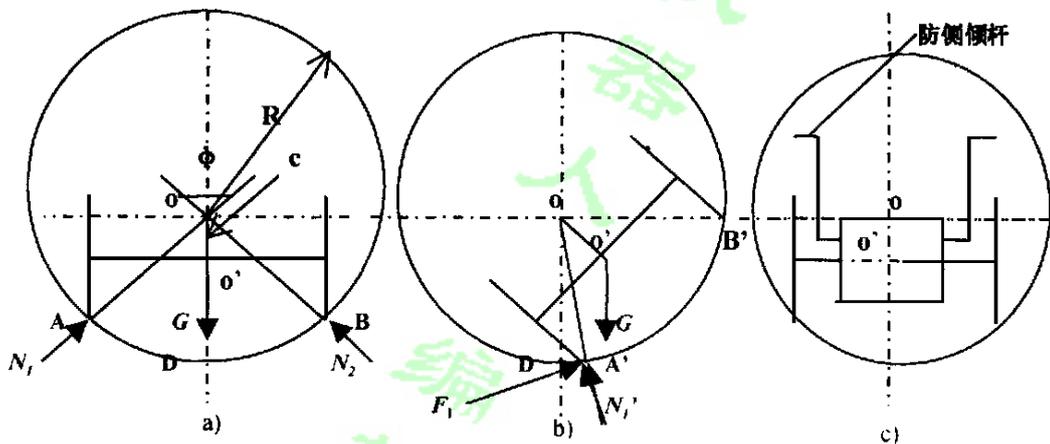


图 3 管道机器人受力及防侧倾图

图 3 a, b 分别为移动载体在管道内正常行走时的受力状态和移动载体在管内出现倾覆时的临界受力状态图.

图中 O, O' 分别为管心和载体重心, R 为管道半径, C 为两心间距, A, B 为车轮的支撑点,  $\Phi$  为两支撑点相对管心的夹角, G 为车重,  $N_1, N_2$  为两支撑点的支撑力. 图 3, a 表示管道机器人在正常状态下的截面受力图. 图 3, b 表示管道机器人在临界倾覆状态下的截面受力图, 此时 A' 受支撑力  $N_1'$  和摩擦力  $F_1$ , 而 B' 点不受任何力的作用, 因此经力学分析求出机器人临界倾覆角  $\Omega$  为

$$\Omega = \Phi/2 + \arcsin \frac{C \cdot \sin \Phi/2}{R + \sqrt{C^2 - 2RC \cos \Phi/2}} \quad (4)$$

$\Omega$  角越大, 表明机器越不易倾覆. 分析式(4)知, 增大  $\Phi, C$  都可使  $\Omega$  加大, 即增大轮间跨度, 降低载体重心都可提高机器人防倾覆的能力.

### 4.2 防管道机器人侧倾措施

防管道机器人侧倾可采用机械式防侧倾装置, 如图 3, c 所示, 在移动载体两侧装有杆式防侧倾装置. 一旦当载体偏离正常位置时, 一侧防侧倾杆与管壁接触, 利用接触反力使移动载体得到纠正. 此外, 也可在一些管内机器人上装二维倾斜计, 用它来控制机器人恢复正常状态.

## 5 结论

通过对一般轮式和履带式管内移动机器人行走机理分析, 得出履带式机器人具有大的附着力和越障能力. 论文介绍了一台用于中、大管径、深行程的 PR-1 履带式管道机器人, 该机器人系统采用模块式结构, 它包括移动载体模块、收放线装置模块、主驱动模块和计算机模块, 这些模块能根据工程实际需要进行组合. 论文最后研究了管内机器人侧倾问题, 导出了临界倾覆角, 得出了增大轮间跨度和降低载体重心, 可提高机器人防倾覆的能力.

## 参 考 文 献

- 1 Harry T R, Bruce A P. Pipe Crawling Inspection Robot: An Overview. IEEE Transaction on Energy Conversion, 1993, 8(3)
- 2 Screenivasan S V, Wilcox B H. Stability and Traction Control of an Actively Actuated Micro-robot. Journal of Robotics System, 1994, 11(6)
- 3 邓崇志等. 小口径管内作业补口机器人的研究. 机器人, 1997(4)
- 4 张永顺. 管内砂浆喷涂补口作业机器人技术及理论的研究. 博士学位论文, 哈尔滨工业大学, 1999, 4
- 5 彭商贤等. 管内移动机器人行走机理的研究. 机械工业自动化, 1998, 20

## A STUDY OF INTERNAL PIPELINE TRACKED ROBOT AND ITS SIDELURCH

PENG Shang-xian LIU Bin GONG Jin-feng XIE Shao-rong

(Intelligent Machine Institute of Tianjin University 300072)

**Abstract:** This paper discussed the moving principles of several typical classes of the internal pipeline tracked robots and introduced the system mechanism of the internal pipeline tracked robots developed by IMI. Finally, the sidelurch issue pertinent to the internal pipeline tracked robots has been researched on.

**Keywords:** Mobile robot, internal pipeline tracked robot, crawler, sidelurch

作者简介:

彭商贤 (1933-), 男, 教授, 博士生导师, 研究领域: 智能机器人及机电自动化.

(上接第 246 页)

poor robustness in automatic visual guided process, a man-machine interaction stereo vision method is developed. This method can improve the reliability of image feature extraction and match in robot teleoperation. It can be shown by experiment that our method can execute this kind of part mating task when a 0.6mm gap or more exists between the active part and passive part.

**Keywords:** Robot, part mate, vision guidance, stereo vision.

作者简介:

郝颖明 (1966-), 女, 副研究员. 研究领域: 机器人视觉, 图像处理, 三维测量.

董再励 (1952-), 男, 副研究员. 研究领域: 机器人视觉, 三维测量, 虚拟现实.

王建刚 (1963-), 男, 副研究员. 研究领域: 计算机视觉, 图像处理, 虚拟现实.