

# 管道行进器

## 摘要

众所周知，现在管道已经成为现代工程中不可缺少的环节，但是有很多管道口径太小以至于人们难以进入，本创意大赛设想出来的管道行进器目的正是基于此而设计的。该管道行进器通过 4x2 形式排布的八个滚轮与管道内部相接触而产生摩擦力，并由电动机带动其滚动整个装置行进，并且通过齿轮的不同啮合情况而使它们的速度不相同而产生转向功能。并有一个交互功能，能实现自动转弯功能。

关键词：机械 自动转弯 微型

## 引言

随着现代科学技术的发展，管道运输作为一种高效、安全、可靠的手段应用日益广泛，目前，我国有各种气管道、石油管道、下水道、自来水管等很多管道。城市中的地下排水系统、取暖系统、煤气系统、自来水系统等都应用了各种管道；另外，在现代工农业、石油、化学、核工业等领域也大量使用了管道。经过长期使用，由于年久失修，每年都要出现大量故障，它们会出现裂纹、腐蚀、堵塞等故障，为了防患于未然，必须对这些管道进行定期检测和维修。但是它们有的埋在地下，甚至埋在海底，有的口径很小，人无法进入。挖出管道进行检测、维修既不经济又不现实，由此可见，管道机器人有着广阔的市场。

现在有很多大学和研究所都在开展管道机器人的研究。如由浙江大学研制的无损伤医用微型机器人具有三大特点：一是此种微型机器人能以悬浮方式进入人体内腔（如肠道、食道等），这样可避免对人体内腔有机组织造成损伤，从而可大大减轻或消除患者的不适与痛苦；二是此种微型机器人的运行速度快，而且速度控制方便，这样可缩短手术时间；三是此种微型机器人的结构简单，加工制造方便。目前，此种微型机器人样机已接近实用化程度。上海交通大学研制出一种呈正方形体，由 12 个蠕动元件组成的管内蠕动机器人，外形尺寸为  $35 \times 35 \times 35 \text{ mm}^3$ ，体重 19.5 克（包括控制电路），步行速度为 15 mm/分，共有 12 个自由度，由 SMA（形状记忆合金）与偏置弹簧组成一个驱动源，共 12 个驱动源。能实现管内上、下，左、右，前、后的全方位运动，能通过直管、曲率半径较大的弯管，以及 L 型、T 型管。

但是这类产品的设计十分困难。当前大部分产品设计的都比较复杂，如各种工业机器人，应用了各种各样的电气设备，如探测器、感应器、红外遥控装置等等。这样，便使得设计出来的产品难以维修，并且由于其工作环境的特殊性，当出现问题时，零件不易更换。对工作环境的要求较高。所以有的产品为了适应这种情况，对作品作出了较大的改进，从而导致了产品的造价很高。不利于推广。

还有的产品虽然没有使用较为复杂的设备，有较低廉的造价，但是没有较满意的功能，在其中的大部分作品都没有对管道的形状的判断功能，所以，这些产品只能在直管道内工作。没有较好的实用性能。

本作品就设想设计一种具有能自动识别管道的方向并能转向，主要是通过齿轮之间的不同啮合情况从而产生不同的速度比来实现的。同时还具有一定的伸缩

性来满足一定范围的管道口径，使作品更具有经济性能。

# 1 核心设计

本项目最主要的核心创意就是如何实现管道行进器机械结构设计以及其自动转弯功能。本论文中展示了如下的原理设计：

## 1.1 工作原理

本作品的工作部分可以根据管道形状的不同可以分成状态：  
对零件的说明（图 1~图 2）

序号	说明
1	齿轮 $m=0.4,z=40$ ，两个
2	传动皮带，两个
3	齿轮 $m=0.4,z=30$ ，两个
4	矩形框（可以改变形状）
5	齿轮 $m=0.4,z=30$
6	齿轮 $m=0.4,z=15$ ，四个
7	齿轮 $m=0.4,z=25$ ，两个

（1）当管道不出现拐弯时，对应的两个 1 号轮转速相同。如图 1 所示。

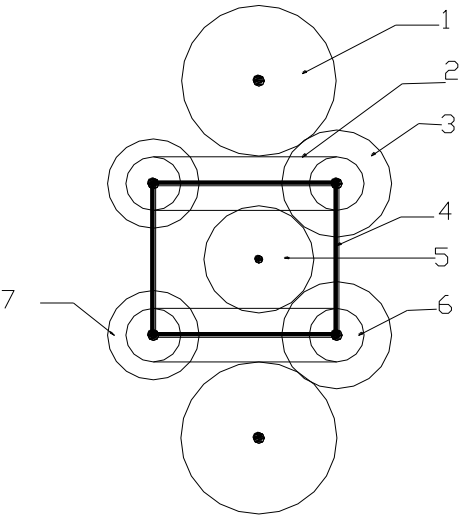


图 1

(2) 当管道出现转弯时，对应两个一号轮的转速就不相同。如图 2 所示。

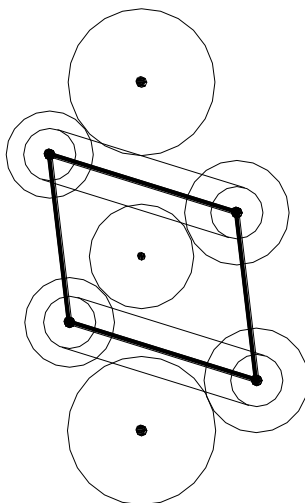


图 2

在图一所示状态时，齿轮 1 和齿轮 3 啮合，齿轮 3 再和齿轮 1 啮合，由于两个齿轮 3 的  $m, z$  是相同的，两个齿轮 1 的  $m, z$  也是相同的。所以在这种状态下，两个齿轮 1 的速度也就相同。从而由它们带动的两个滚轮的速度就相同，这样管道行进器就不会发生转弯。

在图二所示状态时，是通过矩形框的改变得来的。齿轮 5 和一个齿轮 3 以及一个齿轮 7 啮合，齿轮 3 和齿轮 7 上各有一个齿轮 6 与它们固连，它们之间通过皮带轮相连，这样就使它们的转速相同，另一个齿轮 3 和齿轮 7 就和两个齿轮 1 相啮合，但是由于上下两部分的齿轮之间的啮合情况不一样，所以两个齿轮 1 的转速就不相同。这样就使管道行进器发生转弯。下面我们基于这种状态来讨论两个齿轮 1 的转速。

## 2 可行性分析

### 2.1 齿轮转速分析

假设分别用  $v_1, v_3, v_5, v_7$  来表示齿轮 1、齿轮 3、齿轮 5、齿轮 7 的转速。我们先看上半部分：

齿轮 5 和齿轮 3 啮合有

$$\frac{v_3}{v_5} = \frac{z_5}{z_3} = \frac{30}{30} = 1 \quad (1-1)$$

所以有

$$v_3 = v_5 \quad (1-2)$$

齿轮 7 通过皮带轮 2 和齿轮 3 传动有

$$v_7 = v_3 \quad (1-3)$$

所以

$$\frac{v_1}{v_7} = \frac{z_7}{z_1} = \frac{25}{40} = \frac{5}{8} \quad (1-4)$$

由上面四式我们可解的

$$v_1 = \frac{5}{8} v_5 \quad (1-5)$$

再看下半部分：

齿轮 5 和齿轮 7 啮合有

$$\frac{v_7}{v_5} = \frac{z_5}{z_7} = \frac{30}{25} = \frac{6}{5} \quad (1-6)$$

齿轮 7 通过皮带轮 2 和齿轮 3 传动有

$$v_7 = v_3 \quad (1-7)$$

齿轮 3 和齿轮 1 啮合，有

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{z_1}{z_3} = \frac{40}{30} = \frac{4}{3} \quad (1-8)$$

由（1-6）~（1-8）式我们可解的

$$v_1 = \frac{9}{10} v_5 \quad (1-9)$$

所以我们可知道上下两个齿轮 1 的速度之比为 1.44。就导致由齿轮 1 带动的两个滚轮之间的速度之比也是为 1.44。

## 2.2 不同管道口径、转弯半径、转弯角度时的工作原理

设  $r$  为管道内弯道的半径， $R$  为管道外弯道的半径， $\theta$  为转弯的角度。

设一个滚轮的速度为  $s$ ，则另一个滚轮的速度为  $1.44s$ 。

内道的距离

$$l_1 = r \times \theta \quad (1-10)$$

外道的距离

$$l_2 = R \times \theta \quad (1-11)$$

则它们的差

$$\Delta l = (R - r) \times \theta \quad (1-12)$$

则我们可以求得转弯的时间  $t$

$$t = \frac{\Delta l}{1.44s - s} = \frac{(R-r) \times \theta}{0.44s} \quad (1-13)$$

由（1-13）我们可知。时间  $t$  与  $R-r$ 、 $\theta$  成正比、与  $s$  成反比。如图 3 所示。

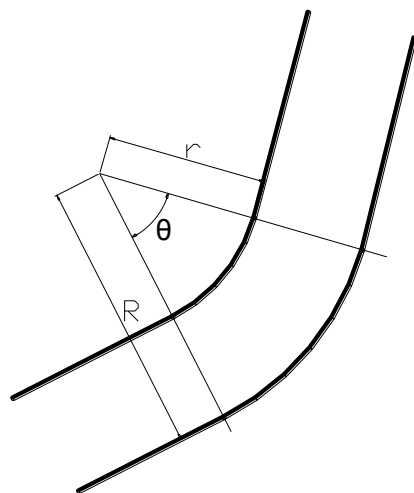


图 3

## 2.3 弹性机制的实现

下面我们再来讨论为了适应不同口径的管道所设计的弹性机制是如何实现的。原理图如图 4 所示。

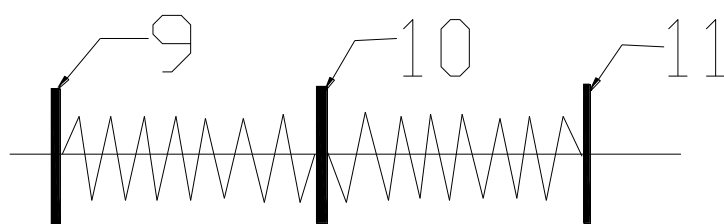


图 4

如图 4 所示，9 和 11 是和机架固连在一起的，10 是滚轮的支架，是一个活动体。就是通过调节 10 的位置来调节滚轮的位置的，来达到适应不同管道口径的。三者之间是两个弹簧。我们由弹性力学可知 10 由于位置的偏移量  $s$  而受力的大小  $F$  之间的关系。如图 5 所示

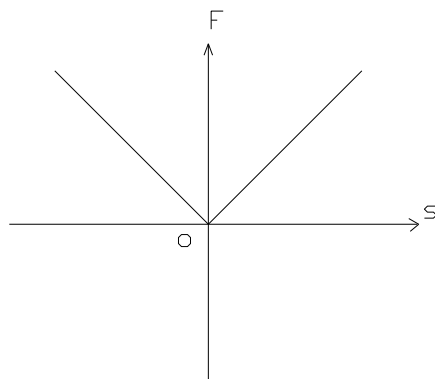


图 5

当  $s$  变大时，则 10 受到拉力，使它回到原位，使滚轮所在的支架不至于脱落。当  $s$  变小时，则 10 受到推力，使滚轮与管道内壁产生运动必需的摩擦力来提供运行前进的动力。

## 2.4 控制功能

如图 6 所示，图示的圆是我们的滚轮，他与管道的内壁相接触，由弹簧提供一定的摩擦力，它在管道内壁滚动来带动整个装置前进。

图中所示的 8 号零件是装置的控制感应杆。它的上部分的水平位置 and 滚轮的顶端有一个很小的位差。使装置在直管内行进时不和管道内壁相接触。但是当装置在弯管内行进时，它与管道内壁相接触，从而产生一个位移，然后通过一个换向装置来改变图一所示的矩形框，使齿轮的啮合关系发生变化，这样，两个对应的滚轮的速度就不一样，使装置转弯。

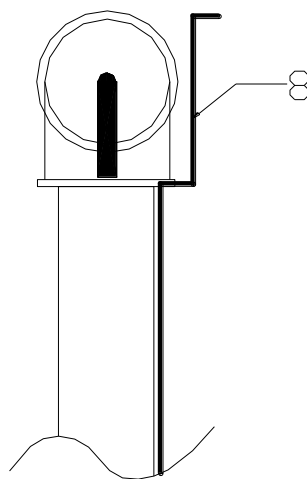


图 6

通过下面的图 7，我们可以看出在不同的状态时，矩形框的几何中心在不同的位置。所以就设计了如图 8 所示的装置。使它能有两个状态位。但是由于矩形框的不稳定以及有两个状态位。所以就用弹簧来固定，使矩形框处于一个稳定的

状态,当要发生变化时,由控制杆产生一定的力使它发生变化来实现状态的改变。

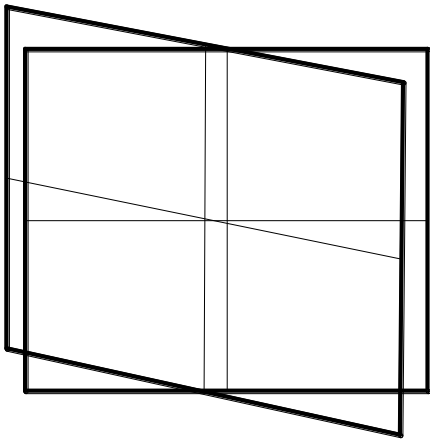


图 7

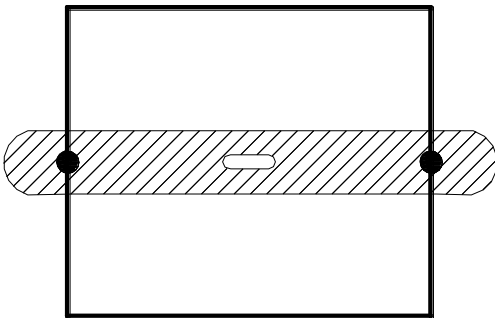


图 8

在我所提供的模型中,由于整个装置太复杂,以及一些轴的精度不够高,以致于装配的不好。不能实现真正的运动。仅仅是提供一个静态的模型用于说明。

### 3 应用前景

管道行进器也即是管道机器人在各种管道运输中都有极大的应用前景。特别适用于管道的维修、清理和保养。以石油管道为例油气管道机器人技术是油气管道技术的研究热点。管道机器人系统是一种融合了多种先进技术的机电一体化装置,随着现代制造技术、通信技术、控制技术、传感技术、智能技术等技术领域的发展,必将推动机器人技术在油气管道技术领域中的广泛应用与发展。本项目设想的管道行进器只是一个模型式的机械结构,如果能够融合各种先进的科学技术,必将大有作为。

[参考文献]

- [1]甘小明, 徐滨士, 董世运等 1 管道机器人的发展现状 1 机器人技术与应用, 2003, (6) : 5~10
- [2] 梁志民, 强建国, 马晓, 张瑾 .机械设计基础教程 [M]. 兰州.兰州大学出版社.2005
- [3] 濮良贵, 纪明刚 .机械设计（第七版）[M].北京.高等教育出版社.2005.11
- [4] 蔡自兴 .机器人学 [M].北京.清华大学出版社.2000.09
- [5] 邓忠全, 毕德学 .管道机器人 [N].哈尔滨.哈尔滨工业大学.1996.08