

绿色夹具——基于气动肌腱与机械增力机构的夹具系统

王明娣^{1,2}, 钟康民², 左敦稳¹, 王珉¹

(1. 南京航空航天大学机电学院, 南京, 210096;

2. 苏州大学机电学院, 苏州, 215021)

摘要: 目前人们对夹具技术绿色化的研究, 明显滞后于对绿色切削以及绿色机床等方面的研究。本文以流体传动夹具工作介质的绿色化为出发点, 结合采用新型的气动执行元件进行整合创新。提出将气动肌腱与机械增力机构进行组合, 以代替容易产生污染的液压传动夹具。并通过具体创新案例, 对基于气动肌腱和机械增力机构的绿色化夹具系统进行了分析。

关键词: 绿色制造; 绿色介质; 夹具; 气动肌腱; 增力机构

中图分类号: TH112 **文献标识码:** A

Green Fixture- Fixture System Based on Pneumatic Muscle and Force-Amplifier

WANG Ming-di^{1,2}, ZHONG Kang-min², ZUO Dun-wen¹, WANG Min¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering,

Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Soochow University, Suzhou 215021, China)

Abstract Compared with the research on the green cutting and the green machine tool, the research on the green fixture is obviously lagged behind. The new-style pneumatic element is studied on the green working medium of clamping devices to replace the traditional fluid. The pneumatic muscle and the force-amplifier are assembled to replace the hydraulic device, which inclines to pollute the environment. With innovated examples, the green fixture systems based on the pneumatic muscles and the force-amplifiers are analyzed.

Key words: green manufacturing; green medium; fixture; pneumatic muscle; force-amplifier

基于与自然和谐发展以及可持续发展的战略思想, 近几年来机械工程领域提出了绿色制造的理念。目前, 人们对绿色制造理论体系框架的研究较为深入, 对切削工艺、刀具及机床的绿色化也给予了较多关注^[1~6]。但是, 对于绿色制造理论体系的夹具技术对策问题, 却鲜有涉及。然而, 机床夹具作为制造系统中不可或缺的重要一环, 它的绿色化程度, 无疑对整个制造过程的绿色化水平有着极为重要的影响, 在不少场合甚至具有关键性的影响。因

此, 人类在实现制造技术绿色化的漫漫征途上, 机床夹具的绿色化是无法回避的。

机床夹具的夹紧力来源, 主要有手动、液压、气动、电磁、真空、离心力及切削力等。其中, 液压与气动传动夹具在自动化程度较高的机床上的应用最为广泛。特别是液压传动夹具, 由于活塞的单位面积输出力远远大于气动夹具, 因而在要求夹紧力较大的场合, 往往成为夹具设计人员的首选。但是, 液压传动夹具也是上述各类夹具中绿色化程度最低

收稿日期: 2005-08-15

作者简介: 王明娣, 女, 博士, 讲师, 1975年3月生, E-mail: wangmingdidi@126.com; 钟康民, 男, 教授, 1952年12月生; 左敦稳, 男, 教授, 博士生导师, 1962年6月生; 王珉, 男, 教授, 博士生导师, 1950年3月生。

的。因为它不仅由于油液泄漏及挥发产生环境污染,而且高速运转的液压泵也不可避免地要产生较大的噪声污染。显而易见,从介质清洁程度方面来看,气动夹具相对于液压夹具,无疑具有得天独厚的优势。然而,气压传动的致命缺点是系统压力不可能太高(一般 $p = 0.4 \sim 0.7 \text{ MPa}$),因而往往造成夹具的体积过于庞大。因此,如何既能利用压缩空气这一绿色工作介质,又能得到较大的夹紧力,是流体传动夹具绿色化面临的主要问题。

文[7,8]曾提出采用传统气缸与二次正交增力机构进行组合来代替液压传动夹具;文[9,10]对以新型的气动执行元件——气动肌腱为驱动的夹紧系统进行了初步探讨。本文将对气动肌腱与不同类型机械增力机构组合的夹具系统,进行较为全面、系统的分析与比较。目的是使其在指导具体工程设计实践方面,具有较为便利的可操作性。

1 气动肌腱的技术特点简介

气动肌腱是一种功率-重量比高,能提供双向拉力的柔性执行元件。与常规气缸相比,它不仅重量轻、惯性小,而且能够产生相当于同缸径气缸约10倍的初始拉伸力,耗气量却仅约为普通气缸的40%。此外,由于不存在相对运动部件及易损件,因而抗粉尘污染能力强,自身不会产生泄漏现象,也不会像气缸活塞运动那样因摩擦运动产生较大能量损失^[11]。

由于上述优越的技术性能,气动肌腱在近年来受到了较多关注。但是,目前人们对气动肌腱的研究,主要集中于其内部力作用机制的建模与计算方面^[12,13]。而对于这种新型气动执行元件在夹具技术领域的应用创新,则几乎未有涉及。本文的研究工作正是在这一空白领域展开的。

2 气动肌腱与不同机械增力机构的组合

虽然气动肌腱能够提供比普通气缸大得多的力,但是在要求输出力较大的场合,可能仍不能满足要求。因此将气动肌腱与适当的增力机构组合,可以大大简化系统结构,在需要较大输出力且结构尺寸受限制的场合下,有很大的应用空间。

2.1 气动肌腱与杠杆式压板组成的夹紧装置

图1为气动肌腱与杠杆式压板组成的夹紧装置。工作原理:当气动肌腱内部充入压缩空气后,会产生径向膨胀、轴向收缩。其所产生的轴向收缩力 F_i ,通过滑轮作用于杠杆式压板,从而使该压板的

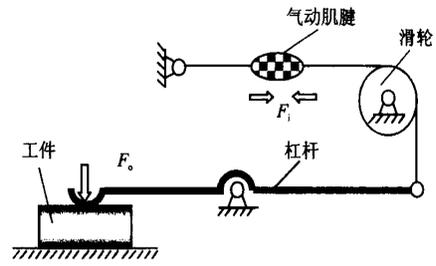


图1 杠杆增力夹紧装置

另一端输出力 F_o 压紧工件。

为便于与下面的夹紧装置进行比较,在此引入增力系数的概念。增力系数是增力机构输出力 F_o 与输入力 F_i 的比值。不考虑摩擦损失的增力系数为理论增力系数,用 i_t 表示;考虑摩擦损失后的增力系数为实际增力系数,用 i_p 表示。

图1所示系统的实际增力系数 i_p 的计算公式为

$$i_p = \frac{E_{op}}{F_{ip}} = \eta_k \eta_l \frac{l_1}{l_2} \quad (1)$$

式中: η_k, η_l 为滑轮、杠杆的力传递效率; l_1 为杠杆主动臂长度; l_2 为杠杆被动臂长度。

需要指出的是,杠杆机构的增力作用一般极为有限,因为过大的杠杆比将造成夹具结构极不紧凑。因此,在需要较大夹紧力的场合,应选择结构较为紧凑且具有更大增力系数的机械增力机构。

2.2 气动肌腱与铰杆——杠杆增力机构组成的夹紧装置

2.2.1 单点夹紧装置

图2为气动肌腱与铰杆-杠杆增力机构组成的单点夹紧装置。工作原理:气动肌腱产生的轴向收缩力 F_i ,通过铰杆的角度效应进行一次力放大后,再通过杠杆机构将力进行二次放大,从而使杠杆的另一端输出力 F_o 压紧工件。

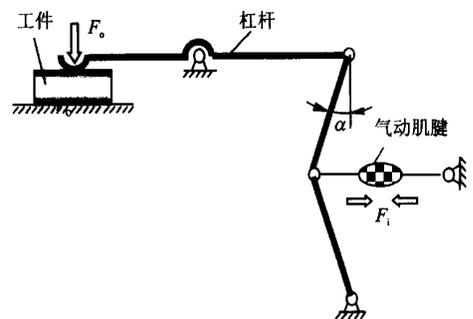


图2 铰杆-杠杆增力单点压紧装置

图2所示系统的理论增力系数 i_t 和实际增力系数 i_p 的计算公式分别是

$$i_t = \frac{E_{ot}}{F_{it}} = \frac{l_1}{2l_2 \tan \alpha} \quad (2)$$

$$i_p = \frac{E_{op}}{F_{ip}} = \eta \frac{l_1}{2l_2 \tan(\alpha + \varphi)} \quad (3)$$

式中: α 为铰杆的理论压力角(图2); φ 为铰杆两铰接处的当量摩擦角, $\varphi = \arcsin \frac{2rf}{l}$ (l 为铰杆两铰支点的中心距; r 为铰链轴的半径; f 为铰链副的摩擦因数)^[14]。

由式(1, 3)对比可见, 该装置与压板式装置相比, 其增力系数有了较大增加。但该装置结构不是很紧凑, 相对比较松散。

2.2.2 双向对中及自动定心夹紧装置

图3为气动肌腱与铰杆-杠杆增力机构组成的双向对中或自动定心夹紧装置。其工作原理: 气动肌腱内部充入压缩空气后产生的双向收缩力 F_i , 作用于导向杆并使其向下运动, 导致铰杆的上端向下运动, 下端同时向外侧运动, 理论压力角 α 随之减小。同样, F_i 经铰杆机构的角度效应一次放大及杠杆机构的二次放大后, 使杠杆的另一端输出力压紧工件。

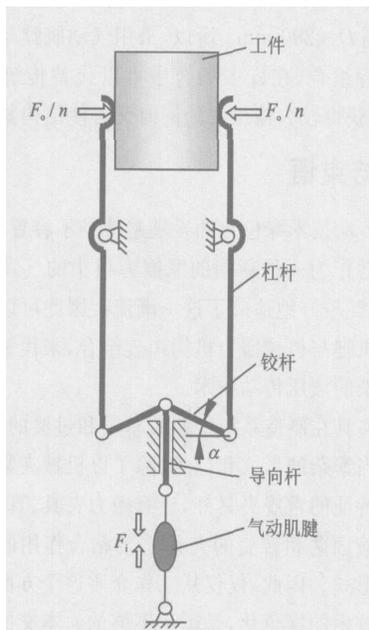


图3 双向对中及自动定心夹紧装置

该装置总的输出力仍为 F_o 。每一只杠杆作用于工件表面的力为 F_o/n (图3), n 为装置中铰杆-杠杆机构的副数。对双向对中夹紧装置, $n = 2$; 对双向自动定心夹紧装置, $n = 2$ 或 $n = 3$ 。

图3所示系统的理论增力系数 i_t 和实际增力系数 i_p 的计算公式分别是

$$i_t = \frac{E_{ot}}{F_{it}} = \frac{l_1}{l_2 \tan \alpha} \quad (4)$$

$$i_p = \frac{E_{op}}{F_{ip}} = \eta \frac{l_1}{l_2 \tan(\alpha + \varphi)} \quad (5)$$

如前所述, 基于长度效应的杠杆力放大机构, 增力效果一般并不显著, 且容易造成夹具结构不紧凑。而基于角度效应的铰杆增力机构, 增力效果与结构紧凑性相对于杠杆机构要优越得多。因此, 在装置的结构空间受到较苛刻制约的场合, 以及需要很大输出力的场合, 可以采用下面介绍的基于对称铰杆增力机构的夹紧装置。

2.3 气动肌腱与对称铰杆增力机构组成的夹紧装置

2.3.1 一次正交对称型铰杆增力机构

图4为气动肌腱与双边单作用一次正交对称型铰杆增力机构的组合夹紧装置。该装置巧妙地利用了气动肌腱能提供双向张力的功能, 且该系统中的力输出件在径向上所受的力是对称平衡的, 所以力输出件与其导向孔之间理论上不存在摩擦损失。

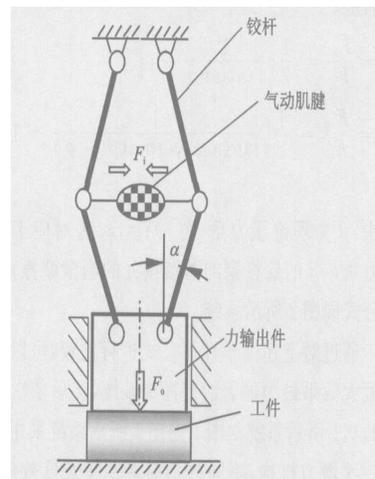


图4 一次正交对称铰杆增力机构

图4系统的理论增力系数 i_t 和实际增力系数 i_p 的计算公式是

$$i_t = \frac{E_{ot}}{F_{it}} = \frac{1}{\tan \alpha} \quad (6)$$

$$i_p = \frac{E_{op}}{F_{ip}} = \frac{1}{\tan(\alpha + \varphi)} \quad (7)$$

该装置的主要优点是结构紧凑, 力传递效率高。但因仅利用了一次角度效应进行力放大, 所以增力效果不甚显著。为了获得更大的增力系数, 可以采用利用二次角度效应的增力机构与气动肌腱进行组合。

2.3.2 二次正交对称型铰杆增力机构

图5为气动肌腱与双边单作用二次正交对称型铰杆增力机构的组合装置。它以串联的方式,两次运用了铰杆的角度效应,进行力放大与传递。

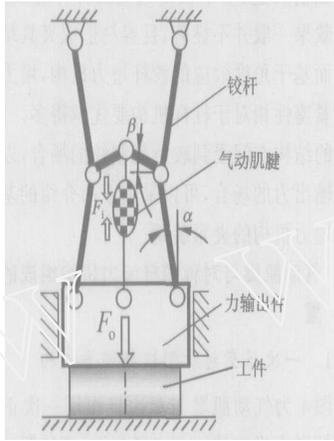


图5 二次正交对称铰杆增力机构

图5系统的理论增力系数 i_t 和实际增力系数 i_p 分别是

$$i_t = \frac{F_{ot}}{F_{it}} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\tan\alpha \tan\beta} + 1 \right] \quad (8)$$

$$i_p = \frac{F_{op}}{F_{ip}} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\tan(\alpha + \varphi) \tan(\beta + \varphi)} + 1 \right] \quad (9)$$

式中: β 为理论压力角(图5); φ, φ 为对应于理论压力角 α, β 的铰杆副的两铰接处的当量摩擦角, 计算公式同图2所示系统。

通过对上述力学计算公式进行比较, 可以看出力放大效果最为显著的是图5系统, 然后依次是图3, 2, 4, 1所示系统。图1与图4所示系统采用的都是一次增力机构, 不同的是前者基于长度效应, 后者基于角度效应; 而后的增力效果要显著高于前者。

3 计算举例

如在上述各图所示系统中, 取 $\eta = 0.95$, $\eta = 0.97$; 杠杆机构的主被动臂长度分别为 $l_1 = 120$ mm, $l_2 = 60$ mm; 铰杆长度 $l = 60$ mm, 铰链轴半径 $r = 5$ mm, 摩擦因数 $f = 0.1$ (计算得 $\varphi = 0.955^\circ$), 设铰杆机构的理论压力角为自变量, 可以得到实际增力系数对应于不同理论压力角的变化情况, 如图6所示。

由图6可见, 上述系统增力系数理论上越小越好, 但是实际角度不可能很小, 一般情况下, 取 $5^\circ \sim 8^\circ$; 这样能获得比较大的增力系数。假设 $\alpha = 6^\circ$; 则

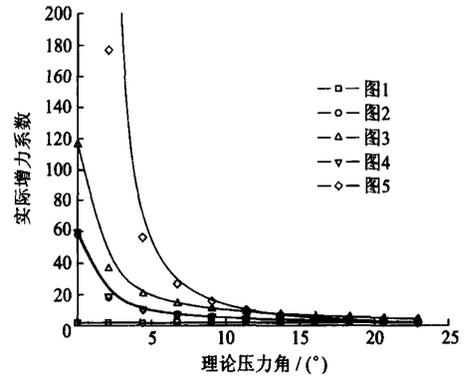


图6 实际增力系数与压力角的关系

各系统实际增力系数分别为 1.84, 7.97, 15.94, 8.20 和 33.10。

如选取FESTO 系列产品中型号为MAS-20的气动肌腱为驱动元件, 它在自由状态下正常直径仅为20mm。当气压为0.5MPa, 若取 $F_{i1} = 1000$ N, 则图5所示装置的实际输出力 $F_{op} = 33100$ N。而如选用传统的刚气缸由活塞杆直接输出作用力, 在相同气压下, 要获得33100N的输出力, 经计算气缸直径需 $D = 290$ mm。所以, 采用气动肌腱与增力机构进行组合, 在许多场合中可以代替传统刚性气缸, 在获得较大输出力的同时又可使结构紧凑。

4 结束语

传动技术绿色化的发展趋势是不容置疑的。气动肌腱作为一种新型的摩擦力很小的气动执行机构, 无疑较好地适应了这一潮流。因此可以用柔性气动肌腱与机械增力机构串连组合, 来代替容易产生污染的液压传动技术。

夹具在制造系统中起着桥梁和过渡的作用, 具有相当繁杂的形式和门类。除了以机械夹紧机构为典型特征的常规夹具外, 还有磁力夹具、真空夹具、基于液固两相转变的夹具^[15]及粘合作用的夹具等多种形式。因此, 仅仅从工作介质这个方面来探讨夹具技术的绿色化, 是远远不够的。本文的发表希望能够引起业内人士的关注和研究兴趣, 从而使对夹具技术绿色化的研究, 在深度和广度上都有一个较快的发展。

参考文献

- [1] 刘飞, 张华, 陈晓慧. 绿色制造的决策框架模型及其应用[J]. 机械工程学报, 1999, 35(5): 11~15
- [2] 刘飞, 曹华军. 绿色制造的理论体系框架[J]. 中国机械工程, 2000, 11(9): 961~964

- [3] 刘志峰, 林巨广, 朱华炳, 等. 绿色制造的理论基础——工业生态方法研究[J]. 中国机械工程, 2002, 13(17): 1476~ 1479.
- [4] 王西彬. 绿色切削加工技术的研究[J]. 机械工程学报, 2000, 36(8): 6~ 9, 14.
- [5] 曹杰, 易红. 绿色产品制造工艺方案的研究[J]. 机械工程学报, 2002, 38(7): 126~ 130.
- [6] 曹华军, 刘飞. 面向绿色制造的机床设备选择模型及其应用[J]. 机械工程学报, 2004, 40(3): 26~ 30.
- [7] 钟康民, 苏东宁, 王明娣. 流体传动夹具中介质绿色化的途径与方法探讨[J]. 机床与液压, 2004, (11): 44~ 48.
- [8] Zhong K M, Guo P Q, Chi Q. Two approaches for greenization of fixture design and corresponding technology innovation[A]. Materials Science Forum [C]. 2004, 471~ 472: 477~ 480.
- [9] 陆雯, 王兵, 钟康民. 气动肌腱与铰杆增力机构的三种组合系统及其比较[J]. 机械设计, 2005, 22(2): 52~ 54.
- [10] 司广璐, 钟康民. 气动肌腱驱动的双边铰杆增力夹具及其力学计算[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2005, (1): 30~ 31.
- [11] 王雄耀. 介绍一种气动新产品——仿生气动肌肉腱[J]. 液压气动与密封, 2002, (1): 31~ 35.
- [12] 李宝红, 刘军, 杨钢. 气动人工肌肉系统建模与仿真[J]. 机械工程学报, 2003, 39, (7): 23~ 28.
- [13] 隋立明, 包钢, 王祖温. 气动人工肌肉驱动关节特性研究[J]. 液压与气动, 2002, (3): 3~ 5.
- [14] 林文焕, 陈本通. 机床夹具设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1987. 51~ 52.
- [15] 钟康民, 郭培全, 王红岩. 基于液固两相转变的夹具技术[J]. 制造技术与机床, 1998, (8): 5~ 6.