

DOI: 10.3969/j. issn. 1001-3881. 2016. 07. 010

# 半液压卸荷复合导轨技术在大型数控滚齿机中的应用

孙艳萍<sup>1</sup>, 陈映<sup>2</sup>, 汪重道<sup>2</sup>

(1. 昆明学院自动控制与机械工程学院, 云南昆明 650214;  
2. 武汉重型机床集团有限公司, 湖北武汉 430205)

**摘要:** 针对大型数控滚齿机床在使用中出现的低速爬行问题, 提出了半液压卸荷复合导轨技术, 阐述了立柱液压卸荷结构的工作原理, 分析了数控滚齿机立柱 ( $X$  轴) 水平移动定位影响因素。结果表明: 该机构可减小机床立柱移动时动静摩擦因数的差异, 为解决大型机床的低速爬行问题提供了一种有效途径。

**关键词:** 半液压卸荷导轨; 复合导轨; 数控滚齿机床

**中图分类号:** TH137    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1001-3881 (2016) 07-040-3

## Application of Semi-hydraulic Unloading and Composite Guide Technology in Large CNC Hobbing Machine

SUN Yanping<sup>1</sup>, CHEN Yi<sup>2</sup>, WANG Zhongdao<sup>2</sup>

(1. School of Automatic Control & Mechanical Engineering, Kunming University, Kunming Yunnan 650214, China;  
2. Wuhan Heavy Duty Machine Tool Group Corporation, Wuhan Hubei 430205, China)

**Abstract:** Aimed at the problem that large CNC hobbing machine encounter creeping at low speed, a semi-hydraulic unloading and composite guide technology was put forward. The working principle of the column hydraulic unloading introduced, and the mobile location factors of CNC hobbing machine ( $X$  axis) was analyzed. The result shows that the mechanism can reduce the difference between static and dynamic friction when machine tool column moves, which provides an effective method to solve the problem of low velocity crawling in large machine tool.

**Keywords:** Semi-hydraulic unloading guide; Composite guide; CNC hobbing machine

### 0 前言

机床的爬行, 是指工作台或立柱在运动工作中时停时走的现象, 即速度的不均匀, 造成这种现象的主要原因是导轨动、静摩擦因数不同。机床出现爬行现象时, 将严重影响加工工件表面加工质量、表面粗糙度及定位精度<sup>[1]</sup>。

在大型齿轮的加工中, 为了保证加工精度, 常常需要控制进给速度。大型数控滚齿机立柱 ( $X$  轴) 在水平移动过程中, 由于立柱重量较重, 且水平导轨为滑动导轨, 故在立柱 ( $X$  轴) 作水平移动时滑动导轨摩擦阻尼较大, 易引起立柱移动时的爬行现象,

最终影响立柱移动、定位精度。为能加工出高质量的齿轮, 尽可能的避免低速爬行现象出现, 参考文献 [2] 和 [3] 提出了解决低速爬行现象的主要对策, 即减小动静摩擦因数之差和减小作用在导轨上的正压力。文中设计导轨面采用半液压油卸荷的复合技术, 解决了导轨摩擦阻力和减轻面压负荷等问题, 提高了各运动部件的追随性能, 实现平滑微小进给。

### 1 半液压卸荷原理及结构

液体润滑时摩擦产生的原因是流体之间的剪切作用, 其摩擦因数很低。据参考文献 [4], 机床常用导轨及其摩擦因数如表 1 所示。

表 1 机床常用导轨摩擦因数

滑动导轨		静压导轨		滚动导轨
金属对金属	金属对塑料	液体静压	气体静压	
铸铁对铸铁 动摩擦: 0.07~0.12 静摩擦: 0.18	铸铁对聚四氟乙烯 动摩擦: 0.02~0.03 静摩擦: 0.05~0.07	随速度线性变化, 但变化不大, 动静压系数基本相同, 一般可小至 0.000 5	比液体静压摩擦因数还小	摩擦因数低, 与速度成线性关系, 铸铁为 0.002 5

收稿日期: 2015-03-18

基金项目: 国家科技重大专项 (2012ZX04012-032)

作者简介: 孙艳萍 (1981—), 女, 硕士研究生, 讲师, 主要从事机电一体化技术及 CAD/CAM 技术应用方面的研究。  
E-mail: 287203801@qq.com。

据表 1 可知，采用液体静压导轨，摩擦因数很小，并且动静压摩擦因数相差不大。然而，采用静压导轨之后，立柱与床身之间有一层油膜，造成立柱的刚度下降，不利于保证加工质量。考虑到如何利用静压导轨的优点，而不至于使刚度减小过大，导轨面采用半液压油卸荷导轨，能够减轻面压负荷的 70%~80%。

半液压卸荷导轨原理如图 1 所示，在移动部件（导轨 1）与机床床身 5 的结合面间设置有液压卸荷腔 2，液压卸荷腔 2 中设置有与油泵相连接的供油通道 3，在液压卸荷腔 2 两端设有防止液压油泄漏的密封装置 4，压力油作用于油腔面，抵消了床身承受的部分载荷，起到了摩擦载荷的卸荷作用。

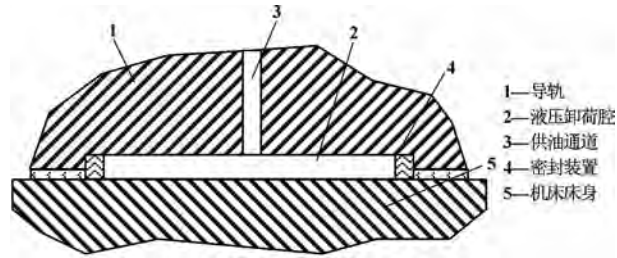


图 1 半液压卸荷导轨原理示意图

## 2 大型滚齿机立柱液压卸荷结构

图 2 为大型滚齿机立柱液压卸荷结构示意图。主要由立柱 1、水平软带导轨 2、液压卸荷油腔 3、供油装置、密封装置等组成。软带导轨 2 设置在立柱 1 水平导轨与机床床身的结合面上，一个或一个以上的液压卸荷腔 3 安置在立柱 1 的水平导轨上及软带导轨 2 之中，水平导轨上的液压卸荷腔 3 设置有与油泵相连接的供油通道 4，并采用单独油泵站供油。此结构可以卸去大部分立柱重量产生的摩擦载荷，以减小启

动、运行时的摩擦阻力。

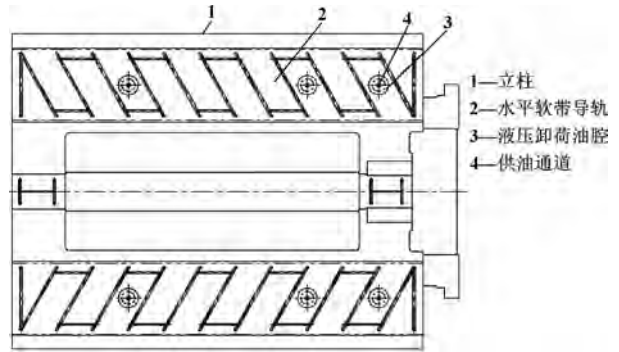


图 2 立柱液压卸荷结构示意图

## 3 立柱导轨摩擦因数的测试

根据参考文献 [5]，假设数控滚齿机 YK31320 的输入功率等于输出功率，有：

$$\frac{1}{1\ 000 \times 60} Gfv = T\omega \frac{2\pi}{60} \xi \eta \quad (1)$$

式中： $G$  为立柱部分及刀架的重力，N； $\xi$  为伺服电机负载率，直接读出稳定状态时的值，百分比； $T$  为伺服电机额定扭矩，由电机名牌得知，N·m； $\omega$  为伺服电机转动速度，直接读出实际转速，r/min； $v$  为立柱滑动速度，根据测试要求设置，mm/min； $\eta$  为机构传动效率，蜗轮蜗杆 0.85，轴承 0.98，丝杠 0.92，联轴器 0.98，即： $\eta = 0.85 \times 0.98^2 \times 0.92 \times 0.98 = 0.736$ ； $f$  为摩擦因数。

将式（1）整理后可得：

$$f = \frac{2 \times 1\ 000 \pi T \xi \omega \eta}{Gv} \quad (2)$$

据式（2）可知，在实验时，只需测出数控滚齿机 YK31320 立柱不同滑动速度  $v$  下的伺服电机负载率  $\xi$ ，即可计算出相应的滑动摩擦因数  $f$ 。

表 2 不同速度与油压下的摩擦因数

立柱移动速度 (mm·min <sup>-1</sup> )	油压 3.1 MPa	油压 2.2 MPa	油压 1.0 MPa	无油压
1	0.273 013 55	0.144 071 5	0.189 203 3	0.246 251
2	0.154 889 58	0.150 518 1	0.184 521	0.263 695
3	0.162 388 67	0.145 017 7	0.176 211	0.157 36
4	0.156 378 52	0.143 125 2	0.169 451 2	0.165 794
5	0.150 474 8	0.141 912 4	0.162 537 9	0.165 453
6	0.139 734 9	0.143 575 4	0.155 818 2	0.164 111
8	0.135 769 1	0.141 058 7	0.156 704	0.162 063
10	0.132 060 47	0.130 853	0.145 507 5	0.157 491
20	0.125 813 95	0.121 965 4	0.135 408 9	0.149 164
30	0.115 908 65	0.118 702 1	0.130 728 1	0.137 943
40	0.119 087 13	0.118 295 2	0.126 428 1	0.128 964
50	0.114 096 09	0.111 117 8	0.123 716 4	0.128 523
卸荷量	81%	57%	29%	

测试机床以不同速度沿 X 轴方向进给（立柱沿导轨运动），其他运动轴不工作时，立柱在不同的滑动速度下的摩擦因数，选取 16 个不同的滑动速度进行测试。根据数控滚齿机 YK31320 本身的西门子系统，读出运动过程中的参数，系统每 4 ms 反馈一次数据，拍摄在不同速度下的相关数据，进行记录，代入公式（2）计算对应的摩擦因数。为了减少误差，测得数据由 4 个人分别读取平均值，再将 4 人的数据平均，算得平均摩擦因数。测试时，立柱油压分别为 3.1、2.2、1.0 MPa 和无油压情况，对应的卸荷量分别为 81%、57%、29%，整理成表 2。

通过以上数据处理，可以得到不同油压下的摩擦特性曲线，用 MATLAB 绘制相关曲线如图 3 所示。

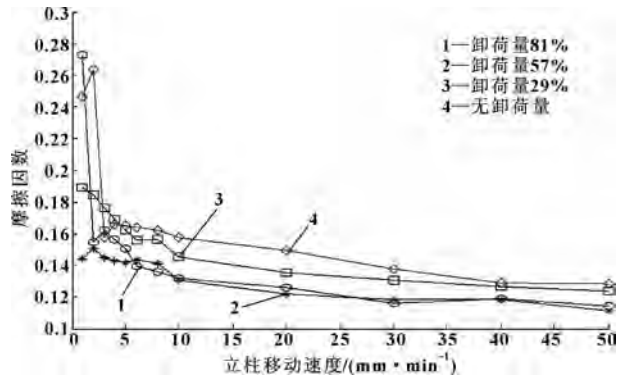


图 3 不同卸荷量下立柱摩擦因数图

通过以上数据分析可得：

(1) 在低速范围内，随着立柱速度的增大，摩擦因数迅速减小。之后摩擦因数随速度增大缓慢减小。

(2) 半液压卸荷形成油膜，而油膜的存在改变了摩擦表面接触部分的性质，使得摩擦因数较直接接触时小很多。

(3) 当卸荷量增加时，摩擦因数变化越来越小，卸荷量在 60% 左右时，摩擦因数曲线随速度的变化基本不明显，即动静摩擦因数基本相同，解决了机床低速时的爬行问题。

#### 4 结论

采用半液压油卸荷的复合技术，实现导向的低摩擦化，极大程度的提高了各运动部件的追随性能，可实现平滑的微小进给，能够加工高品质的齿轮齿形。同时，该技术具有结构合理，制造成本低，调整安装方便等特点，尤其是立柱液压卸荷装置设计结构简单，制造方便，可以较好解决大型数控滚齿机立柱水平移动时产生的爬行问题，也可以用于解决其他大型机床立柱水平移动时产生的爬行问题。

#### 参考文献：

- [1] 于英华,徐平,刘大木.机床低速爬行研究现状及分析[J].辽宁工程技术大学学报,2004,2(23):243-245.
- [2] 朱伟,赵中敏.数控机床低速爬行分析及对策研究[J].制造业自动化,2009,2(3):105-107.
- [3] 陆书法.数控机床出现低速爬行的原因及其设计对策[J].机械研究与应用,2010(1):188-189.
- [4] 隋秀凛,高安邦.实用机床设计手册[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [5] 现代实用机床设计手册编委会.现代实用机床设计手册(上、下)[M].北京:机械工业出版社,2006.

## 库卡机器人（上海）有限公司与哈工大机器人集团（HRG） 签署战略合作协议

2016年3月28日下午，库卡机器人（上海）有限公司与哈工大机器人集团（HRG）就工业机器人在智能制造和工业 4.0 中的应用、YouBot 机器人开发和培训项目签订合作协议。未来，双方将在包括职业培训、高等技术开发以及一些有针对性的应用项目开发等方面进行深度合作。

KUKA 中国区 CEO 孔兵、KUKA 中国区销售总监华臻、KUKA 中国区渠道管理经理龚轶平、KUKA 中国区市场部经理邵蔚霞、KUKA 中国区教育行业经理孙晶、KUKA 东北区域经理宁先明，哈尔滨工业大学副校长、中国科学院院士韩杰才、哈尔滨市经开区党工委书记、平房区区委书记于得志，哈尔滨市经开区财政局局长贾玉国，哈尔滨市经开区机器人产业推进办主任徐树峰，哈工大机器人集团（HRG）总裁王飞等领导共同出席本次签约仪式。

此次库卡机器人（上海）有限公司与哈工大机器人集团（HRG）的合作是以 KUKA youBot 机器人的开发为切入点，未来逐步进行包括工业机器人、医疗机器人以及娱乐机器人在内的更多领域深度开发。KUKA youBot 移动机器人是 KUKA 专门为教育和科研开发的一款移动机器人平台。今后，双方还将共同开发适用于智慧工厂和智慧物流领域的移动机器人等产品。同时双方还将共建 KUKA 校企合作项目，在高等院校引进德国先进的二元制教学体系，共建机器人新专业课程和认证体系，在职业教育领域进行推广。

“通过 KUKA 与哈工大机器人集团的合作，我们希望能强强联合，将 KUKA 机器人产品推广到更多的领域。” KUKA 中国区 CEO 孔兵说道，“校企合作是个很不错的项目，通过这个平台我们很愿意在职业教育领域共建带有德国教学体系特色的机器人专业课程和认证体系。”

“库卡机器人是世界顶级的机器人制造商，哈工大机器人集团（HRG）依托的是国内顶级机器人研究学府哈尔滨工业大学，这次双方合作是强强联合。库卡机器人的精度和控制技术是很好的，哈工大机器人集团（HRG）的优势在于二次平台开发，尤其是在高级参数应用上，通过我们的开发可以把机器人产品应用的更好。可以说与库卡的合作，对于哈工大机器人集团在机器人市场的拓展方面，将起到推波助澜的作用。”哈工大机器人集团副总裁王阳说。

库卡机器人（上海）有限公司是德国库卡公司设在中国的全资子公司，成立于 2000 年，是世界顶级工业机器人制造商之一。KUKA 可以提供负载量从 3~1 300 kg 的标准工业 6 轴机器人以及一些特殊应用机器人，机械臂工作半径从 635~3 900 mm。KUKA 机器人广泛应用于仪器仪表、汽车、航天、消费产品、物流、食品、制药、医学、铸造、塑料等工业。主要应用于材料处理、机床装料、装配、包装、堆垛、焊接、表面修整等领域。

（内容来源：互联网）