

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.01.022

低速轻载条件下塑料绳轮传动的打滑试验研究

李志鹏, 饶建华, 李昌平

[中国地质大学(武汉)机械与电子信息学院, 武汉 430074]

摘要: 以自制的实验装置系统探究了低速轻载条件下尼龙滑轮和尼龙绳、PVC 绳、镀锌导线芯三种绳的打滑特性及预紧力大小对打滑的影响。试验表明, 塑料绳轮传动的打滑率与绳的材料有关, 在同样的条件下 PVC 绳在所试验的三种材料中打滑率最低。通过采用摩擦系数大的材料、施加合适的预紧力可对打滑率实现很好地限制, 使用该实验装置测试低速、轻载条件下塑料绳轮传动的打滑率是简便可行的。

关键词: 塑料绳轮; 传动; 轻载; 打滑

中图分类号: TB 332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)01-0097-04

Study on Slipping of Plastic Rope Pulley under Conditions of Low Speed and Light Load

Li Zhipeng, Rao Jianhua, Li Changping

(Faculty of Mechanical & Electronic Information, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract : With the system of homemade experimental instrument, the slipping properties of nylon pulley and nylon rope, PVC rope, galvanized wire rope under conditions of low speed, light load were explored, and the impact of preload on slipping was explored. The test results show that there is a relationship between the slip rate of plastic rope pulley drive and the materials of rope, and that PVC rope in the three kinds of experimental materials has the minimum slip rate in the same conditions. The slip rate can be limited easily by applying materials with high friction coefficient, adjusting the preload suitably. By the experimental instrument, testing the slip rate of plastic rope pulley drive under conditions of low speed, light load is simple and feasible.

Keywords : plastic rope pulley ; drive ; light load ; slipping

工程塑料零件在生产中已经广泛使用^[1], 但是作为摩擦副使用时摩擦打滑问题没有引起足够的重视^[2-3]。其中塑料绳轮作为传动机构, 有质量轻、柔性好、减震好、可过载保护等优点, 笔者研究的问题源于科研中受工程环境条件和空间的限制, 需要变直线位移测量为转动角度测量, 为此探讨低速轻载条件下低打滑率的塑料绳轮传动机构设计理论和方法。但塑料绳轮传动存在线接触打滑的问题, 而目前对塑料绳轮打滑的打滑特性和打滑机理的研究尚不充分。打滑影响传动和测试精度的程度如何, 能否满足特定的工程需要仍需要进一步研究。

笔者围绕使用广泛的尼龙轮绳的打滑特性开展试验研究, 探究了低速轻载条件下尼龙滑轮和尼龙绳、PVC 绳、镀锌导线芯三种绳的打滑特性及预紧力大小对打滑的影响。

1 实验部分

1.1 试验仪器及材料

试验仪器使用的是自行研制的测试绳轮打滑率的实验装置系统, 机械简图如图 1 所示。该实验装置系统主要由检测模块和驱动模块组成, 测控系

统结构如图 2 所示。

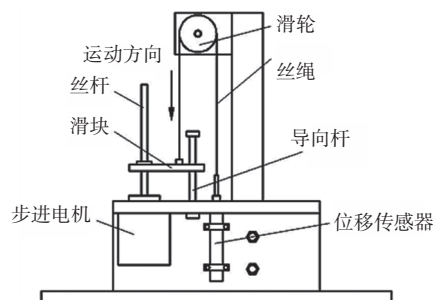


图 1 试验仪器机械结构

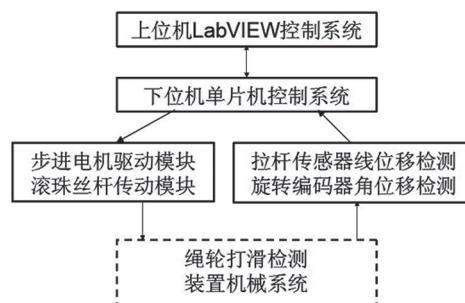


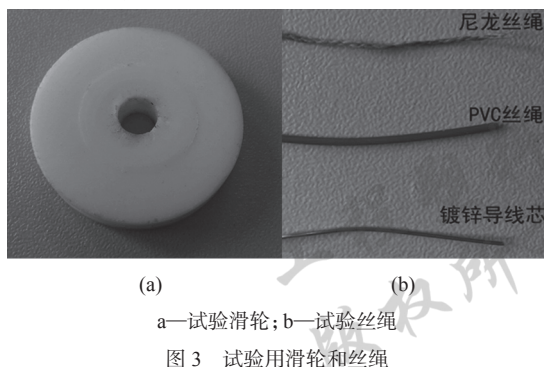
图 2 试验仪器测控系统

联系人: 李志鹏, 硕士, 主要从事机械设计与理论研究

收稿日期: 2014-11-03

驱动模块的作用是产生缓慢的直线匀速运动,带动传感器工作。它由单片机控制,通过驱动器驱动步进电机转动,步进电机上丝杆的转动通过导向杆导向后转化为滑块的直线移动进而带动丝绳运动。位移传感器受丝绳的作用而产生检测信号,固定于滑轮后支座上的编码器受滑轮的转动而产生检测信号。检测模块的作用是将单片机采集的直线位移和转换角度两路传感器信号进行调理,通过串口通信将数据发送给上位机系统。基于LabVIEW的上位机控制系统将对数据进行显示和文件保存。

本试验中滑轮的材料为尼龙 1010(PA1010),如图 3a 所示,可在轻载荷、温度不高、湿度变化较大、无润滑或少润滑的条件下工作,其自润滑性和耐磨性极好、耐油性好、力学强度较高,可广泛用于机械零件和化工、电气零件^[4]。丝绳的材料为尼龙 6、聚氯乙烯(PVC)和镀锌导线芯,如图 3b 所示。



1.2 试验方法

塑料绳轮传动打滑涉及很多影响因素,本试验选择控制变量法,在低速轻载条件下仅选择与工程应用紧密相关的丝绳材料、预紧力两个影响因素分别作为各自试验的独立变量,以打滑率作为因变量,同时第二个试验探究了丝绳运动速度这一影响因素。

根据实际工程应用对塑料绳轮传动低速、轻载、低打滑率的设计目的和使用要求,首先进行丝绳材料对塑料绳轮传动打滑影响的试验,选取打滑率低的丝绳材料再进行丝绳预紧力对塑料绳轮打滑影响的试验。

打滑率计算公式为:

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S_1} \times 100\% = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100\% \quad (1)$$

其中: ΔS 为绳轮滑动距离, S_1 为丝绳实际运动距离, S_2 为滑轮转动线性距离。

打滑率 ε 衡量了绳轮传动整体上滑动打滑的情

况。

2 结果与讨论

2.1 丝绳材料对绳轮打滑的影响

试验设置相同的初始条件: 滑轮材料为 PA1010, 轮槽直径 29 mm, 丝绳选取尼龙 6、PVC 和镀锌导线芯三种材料, 直径为 1 mm, 长度为 850 mm, 为方便计算丝绳预紧力设定为 0.98 N, 丝绳运动速度为 0.3 mm/s, 丝绳的运动距离为 50 mm。每种丝绳的试验分为 6 个实验组, 每组进行 4 次试验, 以平均值作为该组的试验结果^[5-6]。

在上述试验条件下, 采用尼龙 6 丝绳、PVC 丝绳和镀锌导线芯时得到的打滑率 ε 的试验结果如表 1 所示。

表 1 采用不同丝绳时的打滑率 ε 试验数据

实验组	尼龙丝绳	PVC 丝绳	镀锌导线芯
1	0.018	0.007	0.022
2	0.020	0.004	0.018
3	0.012	0.004	0.021
4	0.020	0.007	0.018
5	0.016	0.006	0.023
6	0.012	0.009	0.020
平均 ε	0.016	0.006	0.020
方差 σ	1.35E-05	3.77E-06	4.27E-06

通过对比分析试验数据可得出以下结论: 在干摩擦、低速、轻载且滑轮所受切向力和正压力稳定的条件下, 尼龙 1010 滑轮与几种材料丝绳的打滑率总体上稳定, 但是与尼龙丝绳的打滑率波动范围相对比较大。

丝绳材料对塑料绳轮打滑的影响是很明显的, 材料的滑动摩擦系数影响打滑率的大小且呈负相关性, 但不是线性关系。由表 1 知, 设定试验条件下尼龙轮与尼龙丝绳的平均打滑率为 1.6%, 与 PVC 丝绳的平均打滑率为 0.6%, 与镀锌导线芯的平均打滑率为 2%。

2.2 丝绳预紧力对绳轮打滑的影响

通过经验和类比相关摩擦理论^[7], 可以预判丝绳预紧力大小对绳轮线接触打滑的影响很大^[8], 同时为使设计的机构小巧轻便, 绳轮机构平稳运动时预紧力应尽量小, 因此设计该试验, 并尝试找出合适的丝绳预紧力值应用于工程中的塑料绳轮机构中。

用多次的重复性试验尽可能保证自变量是丝绳预紧力的大小, 因变量是绳轮线接触打滑的打滑率。试验所用滑轮为轮槽直径 29 mm 的 PA1010 滑轮, 丝绳为直径 1 mm、长度 850 mm 的 PVC 丝绳。丝绳预紧力 F 为 0 时为对照组, 其他的试验则

为实验组,每种预紧力下4次试验。并且为了探究丝绳运动速度对打滑率的影响,选择 $v=0.3\text{ mm/s}$ 、 $v=0.6\text{ mm/s}$ 和 $v=1.3\text{ mm/s}$ 三种丝绳运动速度分别进行滑轮线接触打滑特性的试验。

试验中采用多次测量求平均值的方法进行数理统计与处理计算。在大量重复性的试验完成后得到了预紧力与打滑率的关系数据。表2~表4分别为 $v=0.3\text{ mm/s}$ 、 0.6 mm/s 和 1.3 mm/s 时,不同预紧力 F 时的打滑率 ε 数据。

表2 $v=0.3\text{ mm/s}$ 时打滑率 ε 试验数据

预紧力 F/N	打滑率 ε	$\varepsilon_{\max}$	$\varepsilon_{\min}$
0	1	1	1
0.049	1	1	1
0.098	1	1	1
0.147	0.9	0.933	0.855
0.196	0.88	0.917	0.829
0.245	0.8	0.927	0.641
0.294	0.44	0.886	0.012
0.343	0.22	0.836	0.013
0.392	0.015	0.020	0.011
0.490	0.015	0.020	0.009
0.588	0.012	0.016	0.004
0.686	0.013	0.015	0.011
0.882	0.009	0.011	0.006
0.980	0.011	0.014	0.009
1.960	0.006	0.007	0.002

从表2可以看出,当 $v=0.3\text{ mm/s}$ 时,尼龙轮与PVC丝绳的打滑率与预紧力大小的关系可以分为比较明显的三段,总体趋势是预紧力 F 越大,打滑率 ε 越小。

第一阶段,当预紧力在 $0\sim 0.2\text{ N}$ 时塑料绳轮完全打滑,这是由于预紧力 F 太小,导致压力 N 所提供的摩擦力 f 产生的扭矩 M_f 不足,因而不能够克服编码器的起动转矩 M_0 所致。

第二阶段,当预紧力在 $0.2\sim 0.4\text{ N}$ 时塑料绳轮的打滑率急剧下降,处于一个临界状态,此时丝绳预紧力 F 使尼龙轮受到压力 N ,其所提供的摩擦力 f 产生的扭矩 M_f 与编码器的起动转矩 M_0 大小接近,通过试验过程发现该阶段塑料绳轮的打滑过程不是均匀的,而是非平稳、断续的打滑,两者间断续打滑,跃动现象很明显。

第三阶段,当预紧力大于 0.4 N 时塑料绳轮的打滑率稳定在 0.015 以下,并逐渐逼近 0 ,此时丝绳预紧力 F 足够大,压力 N 所提供的静摩擦力 f 产生的扭矩 M_f 完全能够克服编码器的起动转矩 M_0 ,丝绳预紧力 F 已经不再是影响塑料绳轮打滑率的主要因素,通过试验过程发现该阶段塑料绳轮的打滑

过程是均匀平稳的,这里仍然可以用金属材料中黏着摩擦理论的黏着效应和犁沟效应解释塑料均匀平稳的滑动摩擦打滑现象^[9]。

表3 $v=0.6\text{ mm/s}$ 时打滑率 ε 试验数据

预紧力 F/N	打滑率 ε	$\varepsilon_{\max}$	$\varepsilon_{\min}$
0	1	1	1
0.049	0.987	1	0.96
0.098	0.954	0.99	0.926
0.147	0.895	0.99	0.820
0.196	0.562	0.95	0.022
0.245	0.205	0.89	0.017
0.294	0.015	0.024	0.011
0.343	0.014	0.018	0.007
0.392	0.013	0.020	0.007
0.490	0.012	0.013	0.009
0.588	0.008	0.011	0.004
0.686	0.009	0.011	0.007
0.882	0.007	0.010	0.005
0.980	0.007	0.012	0.004
1.960	0.008	0.014	0

表4 $v=1.3\text{ mm/s}$ 时打滑率 ε 试验数据

预紧力 F/N	打滑率 ε	$\varepsilon_{\max}$	$\varepsilon_{\min}$
0	1	1	1
0.049	0.962	1	0.85
0.098	0.868	0.94	0.737
0.147	0.763	0.89	0.546
0.196	0.017	0.025	0.015
0.245	0.013	0.015	0.011
0.294	0.010	0.011	0.009
0.392	0.007	0.011	0.004
0.490	0.008	0.011	0.005
0.588	0.007	0.011	0.004
0.686	0.005	0.009	0.002
0.882	0.004	0.007	0.002
0.980	0.008	0.014	0.002
1.960	0.007	0.010	0.005

从表3和表4的数据可以得出类似的结论,同时证明了低速条件下塑料绳轮线接触打滑率 ε 与丝绳预紧力 F 关系曲线走势的正确性。

通过以上试验数据分析,可以得出一个具有一般性的结论,即初始条件一致、速度不同的情况下,当预紧力 F 为 0 时打滑率 ε 为 1 ;随着预紧力 F 的增大,打滑率 ε 缓慢变小;当预紧力 F 达到一定临界值时打滑率 ε 迅速下降至 $1\%\sim 2\%$;当预紧力持续增大,打滑率缓慢减小并趋向于稳定值并在该值上下波动。

另外,通过对比三种速度下预紧力与打滑率的关系可知,丝绳运动速度在预紧力小于临界值时对打滑特性影响较大,丝绳运动速度越快,则打滑率越小^[10]。但是当预紧力超过临界值时丝绳运动速度对打滑率的影响很微弱,可忽略掉运动速度对打滑

特性的影响。

3 结论

(1) 试验表明塑料绳轮传动的打滑率与丝绳的材料有关,在同样的条件下 PVC 丝绳在所试验的三种材料中打滑率最低。

(2) 塑料绳轮传动的打滑率与丝绳预紧力的大小密切相关。丝绳的预紧力越大,塑料绳轮传动的打滑率越小,是非线性关系;存在一个打滑率迅速减小的临界预紧力值;随着预紧力继续增大,打滑率将趋近于一个稳定值,并上下波动。所以,在低速、轻载条件下设计结构轻便、低打滑率的塑料绳轮机构作为传动装置时,上述打滑规律、试验数据和分析可为其提供设计依据。

(3) 使用实验装置系统测试低速、轻载条件下塑料绳轮传动的打滑率是简便可行的。试验数据证明了塑料绳轮机构应用于一般精度的直线与角度转化的检测设备的可行性,通过寻找摩擦系数大的材料、施加合适的预紧力可对打滑率实现很好地限制,例如在低速轻载条件下使用 PVC 丝绳并对其施加 1 N 的预紧力(以 0.3 N 为临界预紧力,安全系数取 3~4)便可将塑料绳轮传动整体的打滑率控制在 1% 以下,满足一般工程设计需要。

参考文献

- [1] 王承鹤. 塑料摩擦学 [M]. 北京:机械工业出版社,1994.
Wang Chenghe. Tribology of plastic materials[M]. Beijing:China Machine Press, 1994.
- [2] 钟跃兰,顾大强. 塑料材料的摩擦学性能研究综述 [J]. 工程塑料应用,2010,38(11):93-97.
Zhong Yuelan, Gu Daqiang. An review on friction behavior of plastic materials[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(11):93-97.
- [3] 温涛铸,黄平. 摩擦学原理(第 4 版)[M]. 北京:清华大学出版社,2012.
Wen Shizhu, Huang Ping. Principles of tribology(fourth edition)[M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2012.
- [4] 张玉龙,张文东,严晓峰. 实用工程塑料手册 [M]. 北京:机械工业出版社,2012.
Zhang Yuloung, Zhang Wendong, Yan Xiaofeng. Practical handbook of engineering plastics [M]. Beijing:China Machine Press, 2012.
- [5] George E P B, Hunter J S, William G H. Statistics for experimenters—Design, innovation, and discovery(second edition)[M]. Wiley Interscience, 2009.
- [6] 陈卫东,刘旭华,孙逸. 同一试验多组数据处理方法研究 [J]. 兵工学报,2007,28(1):42-45.
Chen Weidong, Liu Xuhua, Sun Yi. A research on data processing method for multiple sets of data from the same test[J]. Acta Armamentaria II, 2007, 28(1):42-45.
- [7] 王建利,李真,张国雄. 滚动摩擦副打滑理论的研究 [J]. 机械工程学报,1997(6):21-26.
Wang Jianli, Li Zhen, Zhang Guoxiong. Study of the creep theory on roll friction pair[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1997(6):21-26.
- [8] 吴子红. 橡胶线接触摩擦机理探究 [J]. 中国科技信息,2009,19(10):152-153.
Wu Zihong. Study of friction mechanism of rubber by a line contact[J]. China Science And Technology Information, 2009, 19(10):152-153.
- [9] 雷帆,温彤,于建明,等. 基于粘着摩擦理论的塑料微观摩擦特性研究 [J]. 塑料工业,2012,40(8):85-88.
Lei Fan, Wen Tong, Yu Jianming, et al. Research on micro-tribological properties of plastic materials based on adhesive friction theory[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(8):85-88.
- [10] 王国强,马若丁,刘巨元. 金属摩擦材料间摩擦系数与滑动速度关系的研究 [J]. 农业工程学报,1997(3):35-38.
Wang Guoqiang, Ma Ruoding, Liu Juyuan, et al. Study on the coefficient of dynamic friction between frictional metal material[J]. Transactions of the CSAE, 1997(3):35-38.

欧盟就轮船碳排放和减少塑料袋的使用达成协议

近日,欧盟各国环境部长达成协议,将制定欧盟范围内监测轮船二氧化碳排放以及减少使用轻便塑料包装袋的新规。

目前,国际海事运输没有被包括在欧盟承诺减少绿色气体排放的框架内。因此,监测轮船的碳排放是海事运输行业减排的第一步。新规将涉及监测、报告、检验轮船的碳排放等,这一机制有助于欧盟《2030 年气候与能源政策框架》的执行。

会上也就起草减少使用轻便塑料包装袋的指令草案达成一致。新规意在限制塑料袋对环境的负面影响。在欧盟

的法律体系下,各国政府将在 2018 年前对一次性塑料袋实行收费政策或采取措施减少其使用量。(工程塑料网)

高分子建筑模板获专利授权

近日,河北欧塑型材有限公司自主研发的高分子建筑模板获得国家专利授权。

该模板由废旧塑料等废弃物生产而成,废旧塑料打成粉末混合其它原材料后,经过高温挤压、冷却定型、裁切等工序,一块块模板即可呈现在眼前。可用于楼房、桥梁等建筑工程,代替钢模板和木模板。产品用完之后还可以回收再加工,实现了资源的循环利用。该项目每年可回收利用废旧塑料 1.2 万 t,节约木材 1 万 m³。(中国聚合物网)