

船舶车床刚度测量装置设计

徐海峰¹, 张晓荣², 马春梅³

(1. 上海海丰船舶管理有限公司, 上海 201200; 2. 青岛远洋船员职业学院, 山东 青岛 266404;
3. 青岛职业技术学院, 山东 青岛 266500)

摘要: 针对船舶车床加工精度普遍偏低的问题, 设计了船舶车床刚度测量系统; 依据系统工作原理, 设计出船舶车床刚度测量装置, 给出了装置的螺旋机构、弓形体和圆柱销等核心设备的设计计算, 并对装置核心设备进行了剪切强度、弯曲强度和挤压强度的计算校核, 其结果在许用范围内。

关键词: 船舶车床; 计算校核; 系统设计

中图分类号: U664

文献标识码: A

在船舶实际营运中, 直接由零部件引起的故障时有发生。多数船舶设备的机械零部件是没有备件的, 需要工作人员利用船舶车床进行机械加工, 但是现有船舶车床的精度普遍太低, 不能进行较高精度的加工, 不仅浪费了大量零件, 增加船舶营运成本, 还会引起船舶的停航或低速航行, 从而耽误船期, 造成重大的经济损失。在相同载荷作用下, 刚度越大, 变形量越小, 而控制车床系统变形量会提高车床加工精度^[1]。为此寻求船舶车床刚度测量方法成为迫切需求。国内外针对车床刚度的研究目前主要集中于车床本身的刚度提升和结构优化, 而没有涉及刚度测量, 而针对船舶车床的研究还处于空白状态。

基于此, 开发设计船舶车床刚度测量装置, 可节约大量的船舶备件或者船舶的应急费用(备件订购费、运输费等), 产生巨大的直接经济效益, 同时可以降低船舶维修保养的营运成本。

1 装置设计原理

在船舶车床机械加工过程中, 会受到夹紧力、拨动力、离心力、切削力、重力和测量力等影响, 使加工系统受力变形, 从而影响机械加工精度^[2]。目前, 控制机械加工系统受力变形的的主要方法有降低切削用量、补偿部件的受力变形、采用恒力装置和提高系统刚度。其中, 降低切削用量的方法比较消极, 补偿受力变形的加工调整较复杂,

采用恒力装置受限制较大, 因此, 提高加工系统刚度相对比较彻底且容易实现^[3]。

船舶车床的加工过程中, 不仅法向分力可以直接引起刀具相对工件的变形位移, 而且其他方向的分力也将间接引起刀具相对工件的变形位移。在实际加工过程中, 在切削力的作用下, 车床的床头、尾座和工件要产生变形, 刀架也会产生变形。为了估算车床系统受力变形所造成的工件加工误差大小, 就需要确定系统的刚度值, 并根据刚度值与变形量的关系来估算可能产生的加工误差值^[4]。在测量车床刚度时, 根据变形量可以得到所加的载荷 F , 且测量完需要进行力的换算, 即载荷 F 换算成 F_x 、 F_y 、 F_z 。测量原理见图 1。

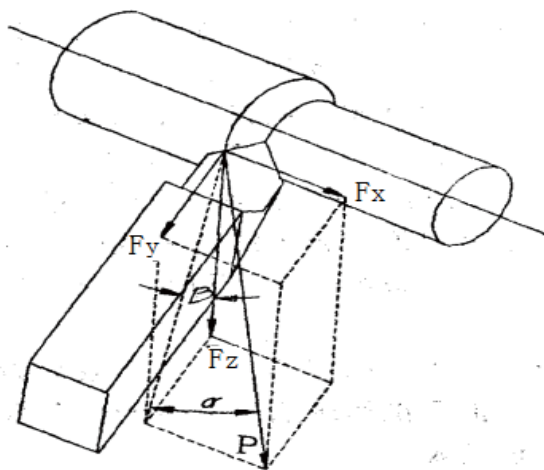


图 1 测量原理

收稿日期: 2021—09—07

第一作者简介: 徐海峰(1976—), 男, 轮机长, 工程师。

基金项目: 青岛远洋船员职业学院 2019 年度科研计划项目(2019-R-012)

2 装置结构设计

2.1 系统设计

为了监测船舶车床精度,依据刚度测量原理,设计了船舶车床刚度测量装置,见图 2。该装置以弓形体 2 为主体,车床主轴的头架顶尖 1 和尾座顶尖 6 将弓形体固定在车床上,由加力螺杆 3 通过弓形体 2 上夹角间隔 15° 的不同螺纹孔,向加力螺杆 3 与模拟车刀 7 夹紧的测力环 4 加载或卸载;同时通过力传感器 5 将力载荷传给数据采集装置;在测量装置的主轴、尾座和刀架上分别安装一个位移传感器,同时将力变形的位移量传给数据采集装置。

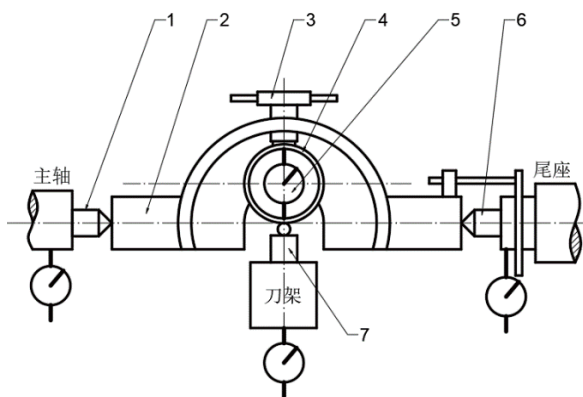


图 2 船舶车床刚度测量装置

2.2 螺旋机构设计

在测量船舶车床刚度时,加力螺杆是用来模拟车刀削力,虽然工作时间短,间歇性工作,运行速度不大,但是轴向载荷较大,需要加载后自锁,因此,螺旋传动属于传力螺旋^[5]。经过比选,滑动螺旋机构选择梯形螺纹,螺杆材料选用 45 号钢调质。

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{QP}{\pi h \phi [P]}} \quad (1)$$

$$\psi \leq \varphi_v = \arctg \frac{f}{\cos \beta} = \arctg f_v \quad (2)$$

式(1)和(2)中, Q 表示螺杆的轴向力, d_2 表示螺纹中径, P 表示螺纹螺距, ψ 表示螺纹升角, f_v 表示螺旋副的当量摩擦系数, f 表示摩擦系数, φ_v 表示当量摩擦角。

螺杆的许用应力 45 钢屈服极限取 355MPa, 许用应力取 100 MPa, 许用弯曲应力 110 MPa, 许用切应力取 60 MPa, 取轴向力 3000N, 许用

压力取 10 MPa, 由式(1)计算得出, 螺杆螺纹公称直径 d_2 为 18mm, 弓形体上螺纹高度为 20.5mm, 螺母高度为 0.5mm, 旋合圈数为 4, 螺纹工作高度为 2mm, 螺纹孔在弓形体的半圆周上每隔 15° 均匀设置一个, 共 9 个。由式(2)得出, ψ 为 4.046° , φ_v 为 8.247° , 满足自锁条件。

$$\sigma_a = \frac{1}{A} \sqrt{Q^2 + 3 \left(\frac{4T}{d_1} \right)^2} \leq [\sigma] \quad (3)$$

$$\tau = \frac{F}{\pi D b u} \leq [\tau] \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{6Fl}{\pi D b^2 u} \leq [\sigma_b] \quad (5)$$

式(3)(4)(5)中, A 表示螺杆螺纹段的危险截面面积, d_1 表示螺纹小径, T 表示螺杆所受扭矩, $[\sigma]$ 表示螺杆材料的许用应力, b 表示螺纹牙根部厚度, $[\tau]$ 表示螺母材料的许用切应力, F 表示螺母受到的压力, l 表示弯曲力矩, $[\sigma_b]$ 表示螺母材料的许用弯曲应力。若载荷稳定, 许用应力最大时, 螺母受到的压力为 3000N, 由式(3)得出, σ_{ca} 为 21.1MPa, 符合螺杆的强度要求。由(4)(5)式计算得出, τ 为 54 MPa, σ 为 100 MPa, 符合螺母螺纹牙剪切强度和弯曲强度的要求。

2.3 弓形体校核

利用 SolidWorks 软件内的 SimulationXpress 分析向导功能对弓形体进行应力分析。模拟夹具分别添加在头架和尾座的左右轴 60° 顶尖孔处, 可以模拟前顶尖和后顶尖共同支撑弓形体, 见图 3(a); 再在弓形体半圆周上的螺纹孔添加力, 方向竖直向上, 大小为 3000N, 这样可以模拟加力螺杆对刀具产生的载荷, 见图 3(b); 弓形体的材料选择 35 号钢, 材料屈服极限取 315 MPa, 螺母材料的许用弯曲应力极限取 530 MPa, 得到的位移结果见图 3(c); 自动运行模拟弓形体受力情况后, 见图 3(d), 进行分析得出, 加载 3000N 的力在弓形体上半圆周的中间内螺纹孔上时, 其附近位移变形最大, 最大值约为 0.019mm。

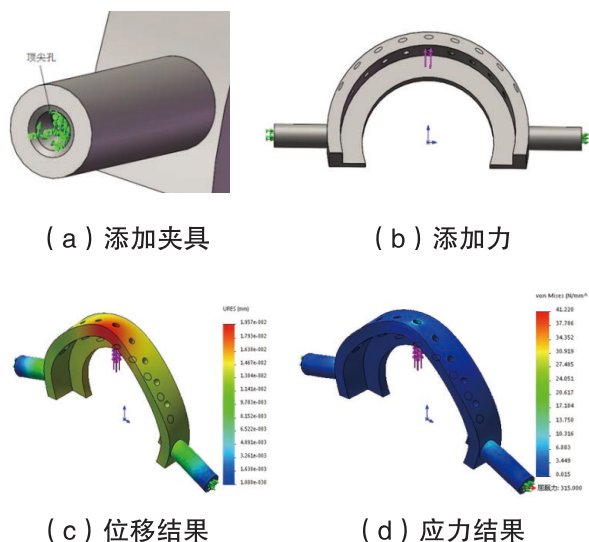


图 3 弓形体应力分析

2.4 圆柱销的设计校核

圆柱销是一种定位销，靠过盈固定在孔中，用于限定零件之间的相对位置。一般情况下，制作圆柱销的材料多选用 45 钢，本装置设计中选择公称直径为 12mm 的 B 形圆柱销，见图 4。

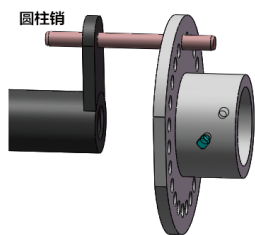


图 4 圆柱销

$$mgl_1 = Fl_2 \quad (6)$$

$$\tau = \frac{F}{A[\tau]} \quad (7)$$

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p[\sigma_p]} \quad (8)$$

式(6)(7)和(8)中， m 表示弓形体及左、右轴总质量； F 表示圆柱销受到的剪力； τ 表示剪切应力； A 表示剪切面面积； $[\tau]$ 表示许用剪切应力； σ_p 表示挤压应力； $[\sigma_p]$ 表示许用挤压应力； A_p 表示挤压面面积。

已知 m 为 22.9kg，由式(6)得出， F 为 302.6N。圆柱销的材质是 45 钢，因此圆柱销的 $[\tau]$ 和 σ_p 分别为 80 MPa 和 120 MPa，由式(7)

和(8)计算校核得出，设计的圆柱销符合剪切强度条件和挤压强度条件的要求。

3 结论

本文设计的船舶车床刚度测量装置的螺旋机构螺母高度为 0.5mm，旋合圈数为 4，螺纹工作高度为 2mm，当许用应力最大时，螺母受到的压力为 3000N，螺母螺纹牙剪切强度和弯曲强度分别为 54 MPa 和 100 MPa，符合强度要求。当加载 3000N 的力在弓形体上半圆周的中间内螺纹孔上时，其附近位移变形最大，最大值约为 0.019mm，对弓形体受力分析和校核，进一步验证了弓形体设计的正确性，符合强度的要求。

该研究不仅对船舶车床刚度测量的相关研究具有指导意义，而且为开展船舶车床刚度测量装置的实船应用提供智力支持。

本文对船舶车床刚度测量装置的核心部件进行了详细设计，对于刚度测量过程中数据采集、车削角度变化等测量过程还有待进一步完善和研究，以提高装置的工作效率。

参考文献：

- [1] 牟石勇, 胡任祥. 数控车床加工精度的影响因素分析及对策 [J]. 内燃机与配件, 2021, (16): 100-101.
- [2] 黄应勇. CK6136 车床主轴刚度研究 [J]. 制造业自动化, 2011, (1): 144-146.
- [3] 黄志伟, 王德洋, 靳岚, 等. 卧式数控车床床身结构的静动态特性对比分析 [J]. 机械制造, 2014, (11): 54-57.
- [4] 张波. 数控车床丝杠进给系统刚度对定位精度的影响研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2018, (8): 126.
- [5] 王云. 基于分形接触的车床静态特性分析 [D]. 辽宁: 大连理工大学硕士论文, 2014: 32-34. (下转 16 页)

- [7] 魏海. 渤海湾客滚船大风浪中航行策略研究[J]. 中国水运(下半月), 2018, 18(09): 3-4.
- [8] 交通运输部. 公路水路行业安全生产风险辨识评估管控基本规范(试行)[EB/OL].
- [9] 王强. 烟台大连客滚船运输综合安全评估研究[J]. 船舶物资与市场, 2019,(06): 85-86.
- [10] 王慧峰. 渤海湾客滚船海事安全管理研究[D]. 大连海事大学, 2020.
- [11] 吴平生. 新公共服务理论下琼州海峡客滚运输安全管理对策研究[D]. 大连海事大学, 2014.
- [12] 朱丽红. 渤海湾客滚船的特点和发展趋势[J]. 珠江水运, 2020,(12): 115-116.

Safety Management Evaluation of Ro-Ro Passenger Ship Vehicles Based on Risk Hierarchical Control

WANG Shi—peng¹, YU Hao—chen²

(1.School of Shipping, Shandong Jiaotong University, Weihai 264200, China;

2.Beihai Rescue Bureau, Ministry of Transport, Yantai 264000, China)

Abstract: Due to the dual functions of passenger transportation and vehicle cargo transportation, Ro-ro passenger ships have developed rapidly in recent years. Its safety management, especially the safety management of vehicles, has attracted more and more attention in the industry. Based on the existing articles of association and operation process of some ports and Ro-ro transportation enterprises in Bohai Bay, this paper carries out the evaluation and analysis of risk classification management and control of Ro-ro vehicles. The purpose of this paper is to explore the potential safety hazards in the process of vehicle Ro-ro transportation, and to put forward the methods of vehicle safety management risk assessment. Based on the LEC evaluation method, the potential safety hazards in Ro-ro transportation are identified, analyzed, evaluated and controlled at different levels. Combined with the operation status of the enterprise, the construction ideas and relevant supporting suggestions of vehicle safety management risk hierarchical management and control system are designed and put forward, so as to control potential safety hazards through risk hierarchical management and control, so as to improve the transportation safety of Ro-ro vehicles.

Keywords: Ro-ro passenger ship; safety management; hierarchical risk control; Ro-ro transportation; risk classification management and control system

(上接 8 页)

Design of Stiffness Measuring Device for Marine Lathe

XU Hai—feng¹, ZHANG Xiao—rong², MA Chun—mei³

(1. Shanghai Haifeng Ship Management Co., LTD, Shanghai 201200, China;

2. Qingdao Ocean Shipping Mariners College, Qingdao 266404, China; 3. Qingdao Vocational Technical College, Qingdao 266500, China)

Abstract: Aiming at the problem of ship lathe machining accuracy is generally low, ships and the lathe stiffness measurement system design, according to the working principle of the system, design of ship machine stiffness measuring device, device of screw mechanism are given, toxoplasma gondii and cylindrical pin core equipment such as the design and calculation, and probes into the core equipment of shear strength, bending strength and extruding strength calculation and checking. The results are within the allowable range.

Keywords: marine lathe; calculation check; the system design