

文章编号: 1003-501X(2011)04-0141-04

基于光学定心加工的道威棱镜装配方法

张学敏^{1, 2}, 魏儒义^{1, 2}, 侯晓华¹, 段嘉友¹, 李 华¹

(1. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 本论文针对如何实现道威棱镜光轴与旋转轴平行, 将道威棱镜转像理论与光学定心加工结合, 提出了基于光学定心加工的道威棱镜组件装配方法。该方法根据道威棱镜旋转轴偏转时其出射光束发生变化的特性确定道威棱镜光轴, 并通过车削的方式保证其镜筒外圆旋转轴与其光轴平行。本文具体提出两种道威棱镜组件定轴方案, 分别为平行光管定轴方案以及激光定轴方案, 此两种方案可有效保证道威棱镜反射面轴线(道威棱镜光轴)与旋转轴的平行度, 定轴精度优于 0.01 mm。

关键词: 道威棱镜光轴; 旋转轴; 光学定心加工; 定轴; 车削

中图分类号: O439

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1003-501X.2011.04.024

Method of Dove Lens Assembling and Adjustment Based on Optical Alignment Machining

ZHANG Xue-min^{1,2}, WEI Ru-yi^{1,2}, HOU Xiao-hua¹, DUAN Jia-you¹, LI Hua¹

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to ensure the parallelism between the optical axis of dove prism and its rotation axis, a method based on the reversing image theory of Dove prism and the optical alignment machining was described. This method takes advantage of the optical property that the direction of the output beam changes with the rotation axis diversion of Dove prism to determine the optical axis of Dove prism, and ensures the parallelism between the rotation axis of cylinder with the optical axis of Dove prism by using metal-turning. Two methods which are used to determine the optical axis of Dove prism was proposed. These two methods can ensure the parallelism between the reflecting surface axis of dove prism and its rotating axis, and the accuracy of axis determining is better than 0.01 mm.

Key words: optical axis of Dove prism; rotation axis; optical alignment machining; axis determination; metal-turning

0 引 言

道威棱镜以角速度 ω 旋转时其经由道威棱镜所成的像角速度为 2ω 的特性广泛应用于多通道光纤旋转连接器中, 图 1 为一种利用道威棱镜耦合光信号^[1]的双通道光纤旋转连接器^[2]。两束平行光入射到旋转连接器内, 道威棱镜以外部连接器速率一半同向转动, 输出光信号的位置不改变, 从而实现了信号输入通道和输出通道之间的连接^[3]。

本文定义道威棱镜旋转轴与反射面轴线的夹角为旋转轴偏角, 当旋转轴偏角不为零时, 当道威棱镜旋转时, 其出射光方向发生变化。图 2 为出射光线偏角最大值与旋转轴偏角的关系^[4]。

由图 2 可以得出, 在旋转轴偏角很小的近理想轴范围内, 出射光线偏角的最大值对旋转轴偏角的变化

收稿日期: 2010-11-16; 收到修改稿日期: 2010-12-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40805013)

作者简介: 张学敏(1986-), 女(汉族), 山西阳泉人。助理研究员, 硕士, 主要研究光学装调与检测。E-mail: zhangxuemin0325@gmail.com。

比较敏感，且有放大作用。道威棱镜的旋转轴偏转会带来出射光线与理想光线之间的偏差，从而对光纤准直器之间的耦合带来角度上的偏差，因此引起旋转连接器的耦合损耗的一个主要原因是棱镜旋转轴的偏向，本论文将实现道威棱镜反射面轴线与旋转轴的平行性定义为道威棱镜组件定轴。

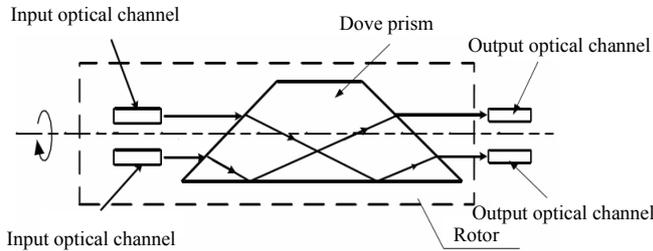


图1 基于道威棱镜的双通道光纤旋转连接器

Fig.1 The bi-channel fiber optics rotary joints based on Dove prism

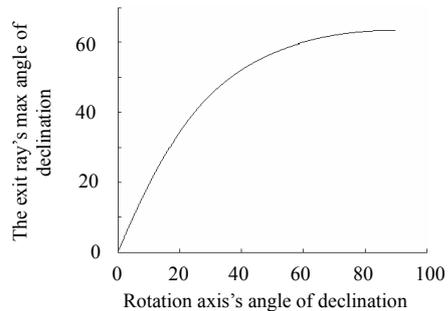


图2 出射光线偏角最大值与旋转轴偏角的关系

Fig.2 The relationship between the exit ray's max angle of declination and rotation axis's angle of declination

为了解决道威棱镜旋转轴的偏向，通常采用良好的机械加工和装配精度来保证道威棱镜的旋转轴尽量平行于其反射面轴线，并在机械结构上设置调整环节，使得道威棱镜旋转轴与反射面轴线夹角位置可调，从而降低棱镜出射光线的偏差，减小旋转连接器的耦合损耗。但是这种方法对加工精度要求很高且装配可操作性不强。本论文将棱镜成像理论与光学定心加工方法相结合，提出两种道威棱镜组件定轴方案，分别为平行光管定轴方案以及激光定轴方案，此两种方案可有效保证道威棱镜反射面轴线与旋转轴的平行度。

1 道威棱镜转像理论

道威棱镜是由直角棱镜去掉多余的直角部分而成的，其入射面和出射面与光轴不垂直，因此它通常工作在平行光路中。道威棱镜的重要特性之一就是，当其绕反射面轴线转动 α 角时，反射像同方向旋转 2α 角^[5-7]，如图3所示，即当道威棱镜以角速度 ω 旋转时，其经由道威棱镜所成的像角速度为 2ω 。利用此原理，当物体以角速度 ω 旋转，道威棱镜以角速度 $\omega/2$ 同向旋转，便可使得物体所成的像不会发生偏转，达到信号的准确旋转耦合。

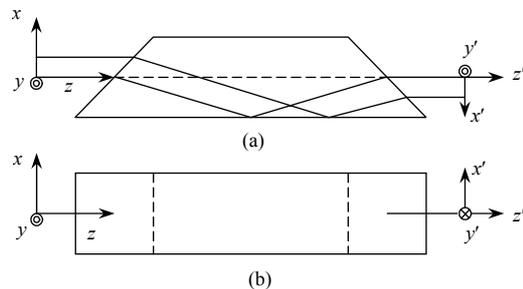


图3 道威棱镜的转像特性

Fig.3 Reversing image characteristic of Dove prism

2 光学定心加工

随着航空、航天高精度光学镜头产品的研制及生产，光学定心加工广泛应用于解决光学镜头的高同轴度要求^[8]。光学定心加工是一种基于光学成像原理，联系光学件光轴、配合机械件中心轴以及车床旋转轴三者，通过车削技术实现光学件光轴与配合机械件中心轴的高同轴度。从传统的球面透镜、球面反射镜，到近年来有广泛应用的非球面反射镜及离轴反射镜，采用光学定心加工均可保证光学镜头各个镜片的光轴一致^[9]，从而得到像质优秀的光学镜头。

图4为光学定心加工工艺布局图^[10]，1为精密车床回转轴，2为多维调节台，3为带配车物镜，4为内调焦型定中心仪。用内调焦定中心仪4作为中心偏测量和监控仪器，

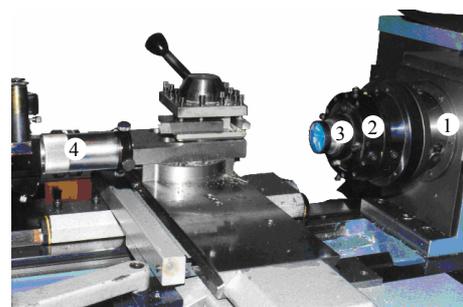


图4 光学定心加工工艺布局图

Fig.4 The process layout of optical alignment machining

利用超高精度液压轴承精密车床 1 提供精密回转轴系和车削工具, 待配车物镜 3 置于与精密车床回转轴相连的多维调节台 2 上。

3 道威棱镜组件定轴方案

3.1 平行光管定轴方案

图 5 为基于传统光学定心加工提出的平行光管定轴方案示意图, 图中 1 为车床主轴, 2 为多维调节台, 3 为道威棱镜组件, 4 为车削工具, 5 为内调焦定心仪 1, 6 为内调焦定心仪 2。道威棱镜连接在车床的多维调节台上, 车床车头及车尾各放置一内调焦型定心仪, 由于道威棱镜工作于平行光路中, 因此两个内调焦型定心仪调焦为无穷远, 即工作在平行光管状态, 故将此方案定义为平行光管定轴方案。

精密旋转轴系、精密多维调整台、车削工具统称为机械组件。精密旋转轴系可减小由于车床主轴旋转运动误差造成车削过程所加工的机械框外圆尺寸误差^[8]; 精密多维调整台可实现道威棱镜反射面轴线的旋转方向(倾斜)调整; 车削工具可对机械框端面及外圆进行加工, 可保证机械框旋转轴与车床旋转轴有很好的同轴性。道威棱镜组件通过螺钉连接在多维调节台上, 由车床主轴带动其进行高精度旋转。

由棱镜成像理论可知, 若道威棱镜反射面轴线与车床旋转轴成一角度, 当车床旋转时, 定心仪 1 发出的无穷远目标在定心仪 2 中所成的像是划圆变化的。通过调节多维调节台使划圆量最小, 采用车削工具加工道威棱镜镜筒的外圆, 有效实现了道威棱镜反射面轴线与旋转轴的平行度要求。

表 1 为内调焦型定心仪在不同焦距平行光管时对应测微鼓 1 个格值时的被测角值, 可得出平行光管定轴方案进行道威棱镜组件的光学定轴精度为 0.01 mm。

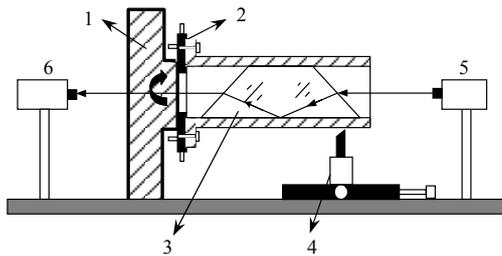


图 5 平行光管定轴方案示意图

Fig.5 Diagram of axis determining by using collimator

表 1 各种不同平行光管时的鼓轮示值精度

Table 1 Indicating precision of different collimators

Magnification ratio	Focal length	Indicating precision
10x	$f=2\ 062.65\ \text{mm}$	1"
5x	$f=1\ 031.325\ \text{mm}$	2"
3x	$f=412.53\ \text{mm}$	3"

平行光管定轴方案基于传统光学定心加工方法, 其具有很强的可行性, 但由于内调焦定心仪用作平行光管时的精度有限, 大大限制了整个方案的定轴精度。本论文基于传统光学定心加工方法, 结合道威棱镜成像理论, 提出了激光定轴方案, 此方案可将定轴精度提高至微米级。

3.2 激光定轴方案

图 6 为本论文提出的激光定轴方案, 其中 1 为车床主轴, 2 为多维调节台, 3 为道威棱镜组件, 4 为车削工具, 5 为激光光源, 6 为放大镜头, 7 为探测器, 其中机械组件与平行光管定轴方案相同, 激光光源与探测器统称为光学定轴组件。激光光源为系统提供入射光线, 探测器用来接收出射光线。激光具有直线性好、准直性好、能量集中等优点。定轴精度与探测器的分辨率成正比, 并在前端加一放大镜头, 用于提高系统精度。探测器选用 Thorlab 公司推出的 SPOT-on 探测器, 可以实现光束位置的精确定位, 定轴精度可达微米级。

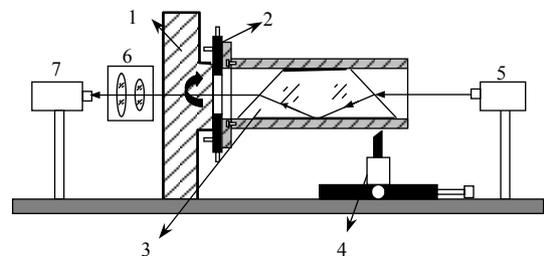


图 6 激光定轴方案示意图

Fig.6 Diagram of axis determining by using laser

调整探测器与激光光源等高, 将道威棱镜组件连接在旋转转台上, 通过调节旋转转盘上的旋转方向(倾斜), 使得主轴旋转过程中激光光束经道威棱镜后的出射光线在探测器上接收位置的变化量尽可能小, 则认

为道威棱镜反射面光轴与旋转轴近似重合,从而保证了道威棱镜光轴与机械框旋转轴的平行度。

4 总 结

本论文将棱镜成像理论与光学定心加工方法相结合,提出了基于光学定心加工的道威棱镜组件装配方法。通过平行光管定轴方案及激光定轴方案实现道威棱镜光轴与车床主轴平行,定轴精度优于 0.01 mm;并通过车削的方式保证道威棱镜筒旋转轴与车床主轴重合,从而实现道威棱镜反射面轴线与旋转轴的平行。此种装配方法解决了光纤旋转连接器中因道威棱镜反射面轴线与旋转轴不平时引起的信号耦合强度减弱以及信号交叉混乱,将道威棱镜组件从高精度的加工要求中解放出来,降低了生产成本并提高了装配效率,此外还丰富了传统光学定心加工的应用内容。

参考文献:

- [1] Noboru Ito. Optical two-way communication system using a rotary coupler [J]. **Applied Optics**(S1559-128X), 1985, **24**(14): 2221-2224.
- [2] 贾大功, 张红霞. 无源对称光学结构双通道光纤旋转连接器[J]. 光电工程, 2004, **31**(6): 17-23.
JIA Da-gong, ZHANG Hong-xia. Passive dual-channel fibre-optic rotary connector for symmetric optical system [J]. **Opto-electronic Engineering**, 2004, **34**(6): 17-23.
- [3] 贾大功. 多路空间互连光旋转连接器的研制[D]. 天津: 天津大学, 2004.
JIA Da-gong. Development of Multi-channel Spatial Interconnection Optical Rotary Joint [D]. Tianjin: Tianjin University, 2004.
- [4] 王光辉. 光纤旋转连接器的实验研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
WANG Guang-hui. Research and Experiment of Fiber Optic Rotary Joint [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [5] 张以谟. 应用光学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982: 60-72.
ZHANG Yi-mo. **Applied Optics** [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1982: 60-72.
- [6] EUNG Gi Paek, CHOE J Y, OH T K. Nonmechanical image rotation with an acousto-optic dove prism [J]. **Optical Letters** (S1539-4794), 1997, **22**(15): 1195-1197.
- [7] Sullival Donald L. Alignment of Rotational Prisms [J]. **Applied Optics**(S1559-128X), 1972, **11**(9): 2028-2032.
- [8] 周凤利, 许照东. 透镜定心技术的研究及应用[J]. 红外与激光工程, 2006, **35**(增 2): 135-138.
ZHOU Feng-li, XU Zhao-dong. Research and application of lens centering technology [J]. **Infrared and Laser Engineering**, 2006, **35**(s2): 135-138.
- [9] 杨李成, 凌宁. 利用平面止推轴系研制高精度定心仪[J]. 光电工程, 2005, **32**(6): 39-42.
YANG Li-cheng, LING ning. Development of a high precision eccentricity error measurement instrument with a thrust-shaft system [J]. **Opto-electronic Engineering**, 2005, **32**(6): 39-42.
- [10] 段学霆. 共轴光学系统计算机辅助光轴一致性装调研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
DUAN Xue-ting. Research on consistency assembling and adjustment of coaxial optical system by the aid of computer [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2006.