

# 宽距离光轴平行性检测方法研究

张磊 张露 胡源

(长春理工大学光电工程学院光电工程系, 吉林 长春 130022)

**摘要** 引入扩径准直思路, 将集中平行测试的光谱轴线收入一口径恰好的自准直平行光管内, 宽距离的离散光轴或结构由特殊设计的扩径导引臂引入准直系统中测试, 扩径导引臂部分可绕自准直平行光管转动和径向移动, 便于取不同位置的目标, 其导出光轴与平行光管本身光轴的平行精度直接影响系统的测试精度。给出了扩径导引臂的多种导出方案, 以及高精度的自校正方案, 从而使问题大为简化, 且不失精度。实践分析, 导引臂精度优于 0.01 mrad。

**关键词** 平行性检测; 扩径导引臂; 平行光管; 宽距离准直

**中图分类号** TP806 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200929s1.0153

## Research on Testing Method of Wide Distance Optical Axis Parallelism

Zhang Lei Zhang Lu Hu Yuan

(Department of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China)

**Abstract** This paper introduces the extend caliber and collimate method, which receive the centralized axis to a appropriate caliber in collimator on many spectra. The discrete axes which are far from the center are guided to the collimator by the special design arm, extend arm can rotate and slide along the auto-collimator so that different position targets could be required. The parallel precisions between the extended axis and the original axis of collimator affect the testing precision of the which system. The extended arm programs and high precision auto-correcting are given, which not only make the problem easy, but also ensure the precision. In practice the accuracy is better than 0.01 mrad.

**Key words** parallelism testing; extend arm; collimator; large distance parallelism

### 1 引 言

火控系统多光谱宽距离的光学平行性与结构平行一致性测试中, 有时需要集中平行与宽距离的离散平行测试<sup>[1,2]</sup>。光轴平行性的检测大多使用平行光管<sup>[3,4]</sup>, 使平行光管的有效口径覆盖整个被测的光学系统, 因此导致平行光管的口径随着离散光轴横向距离的加宽而增大, 而大口径平行光管加工和装调困难、周期长、价格昂贵、使用不方便, 而且有时并不能解决问题。本文引入扩径准直思路, 对集中平行测试的诸多光谱轴线收入一口径恰好的平行光管内, 宽距离的离散光轴由特殊设计的扩径导引臂引入准直系统测试, 使问题大为简化, 且不失精度。

### 2 扩径准直系统方案

图 1 是光学准直扩径方法的原理示意图。自准

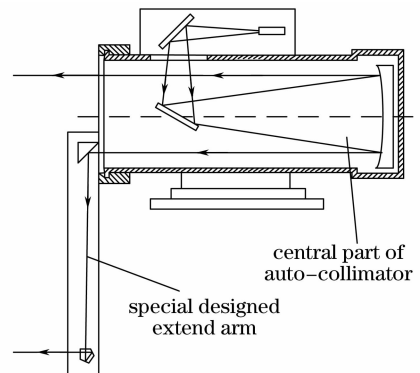


图 1 光学准直扩径方法原理示意图

Fig. 1 Sketch of optical collimating and extending method  
直平行光管的集中孔径部分测试集中平行的诸多光学系统光轴<sup>[5]</sup>(如火控系统 中的电视、激光测距机、红外摄像机等)的平行性, 结果靠被测光学系统或自准直平行光管焦面上形成的光斑位置输出。扩径准

**基金项目:** 国家 863 计划(20040301)资助课题。

**作者简介:** 张磊(1981), 男, 硕士, 讲师, 主要从事结构设计方面的研究。E-mail: zhangl@cusr.edu.cn

**导师简介:** 郑建平(1959), 男, 硕士, 教授, 主要从事结构设计方面的研究。E-mail: zjp@cust.edu.cn(通信联系人)。

直导引臂部分负责测试离散光学或结构与集中平行光轴的平行性(如坦克的火控系统与坦克的炮口零位轴线的平行性),导引臂能够把平行光管的光轴横向引出一段距离,距离由导引臂的长度决定。导引臂整体可绕自准直平行光管轴线转动,远端的折转镜可沿径向移动,用于获取不同位置的目标,其导出光轴与平行光管本身光轴的平行精度直接影响系统的测试精度。

导出方案有多种,考虑的因素有以下几点:1)光谱特性,当需要导引的光谱特性不同时,对应方案中的折转镜有所不同,需要考虑折转镜对这种光谱是否有效,光谱特性最好当然是平面反射镜,但其调整困难;2)光学折转镜与结构精度的匹配,可以利用五角棱镜在主截面内转动不影响光轴折转方向的特性,这样导引臂在主截面内的变形影响可以忽略,其他方向的变形靠导引臂的结构刚度保证;3)运动中的光学动态特性,导引臂处于不同的姿态时,受力不平衡所导致的变形;4)系统的自校正特性,如此高精度的光轴导出方案,单靠机械导轨的精度难以保证,所以系统必须有简易、可行的校正方案。

具体的导出方案有光电自校准式、光学内校准式和光学外校准式等三种。

1)光电自校准式原理如图2所示。用以校正导引臂在运动和调整后姿态变化引入的各项误差。该方式使用调试方便,但结构复杂成本高。在实验室装调时,利用光学外校准式的方法校正光轴  $a$  和  $b$ , 标定出准直校正系统的零位基准。分光校正棱镜后面粘接直角屋脊棱镜,当分光校正棱镜绕  $x$  轴转动时,直角屋脊棱镜能够产生2倍转角的像旋,在准直校正系统中读出绕  $x$  轴的相对零位基准的转动量  $\Delta\alpha p_x$ 。I面镀分光膜,使一部分光返回到准直校正系统中,当分光校正棱镜绕  $y$  和  $z$  轴转动  $\Delta\alpha p_y$  和  $\Delta\alpha p_z$  时,会造成准直校正系统像的平移,从而读出分光校正棱镜的转动量  $\Delta\alpha p_y$  和  $\Delta\alpha p_z$ 。由  $\Delta\alpha p_x$ 、 $\Delta\alpha p_y$ 、 $\Delta\alpha p_z$  可分析出光轴  $a$  与  $b$  的平行状态,读出的转动量反馈到位移调整座中,用以调整分光校正棱镜的姿态,从而形成闭环。对于图中所使用的分

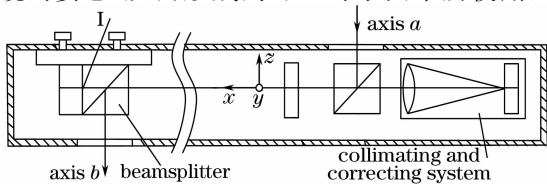


图2 光电自校准式原理图1

Fig. 2 First principle of opto-electronic auto-erecting

束镜,可以用平面反射镜分光,有利于导引臂的光谱特性,但结构设计难度加大。

光电自校准式的另一方案,结构如图3所示。

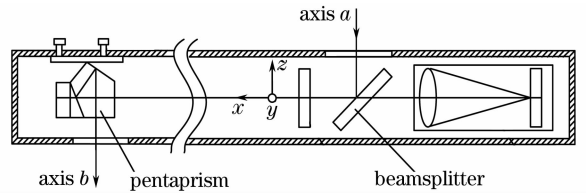


图3 光电自校准式原理图2

Fig. 3 Second principle of opto-electronic auto-erecting

图中使用一块复合五角棱镜,粘结一块楔板和一块直角屋脊棱镜,校正方法与上方案相同。此种结构利用五角棱镜对一个方向转动不敏感的特性<sup>[1]</sup>,使得机械管臂绕  $\Delta\alpha p_y$  的变形量可以自校正,从而减少光学调整量,大大简化结构上的调整环节。分光镜也使用同样的复合五角棱镜,可剔除安装及机械管臂绕  $\Delta\alpha p_y$  转动引起的光轴转动,同时消除了镜像。

2)光学内校准式结构如图4所示。在长时间不使用或调整光轴  $a$  和  $b$  的间隔时,需要重新校正一次,不能实现光电自校准式方案的实时校正导引臂在运动和调整后姿态变化引入的各项误差,只能靠机械结构的刚度来保证导引臂的精度,但其结构相对简单,成本小,容易实现,且仪器的整体性较光学外校准式强。

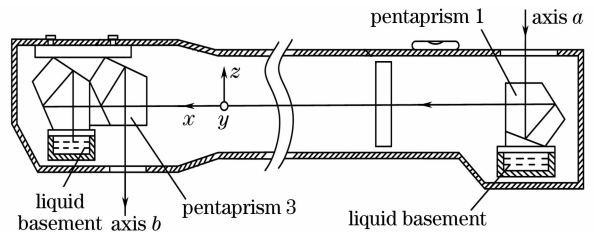


图4 内校准式结构

Fig. 4 Structure of inner erecting

方案使用了一块复合五角棱镜1和一块复合棱镜3,两块复合棱镜在相应的反射面上度分光膜,并在各自的下方分别放置一个水银基准器,水银基准器为导引臂提供一个统一的水平基准,便于系统自校正。系统自校正时,将导引臂水平安放,水泡居中,精度8'即可,然后前置准直平行光管于光轴  $a$  的前端,观察来自两个水银盒的双自准像之间的差值,即为导引臂的静态精度,如果不满足要求,调整光楔和五角棱镜的  $\Delta\alpha p_y$  或  $\Delta\alpha p_z$  姿态即可满足要求。

3)光学外校准式结构如图5所示,这种结构可去除光学内校准式中的水银基准器和两块复合五角

棱镜, 仅用两块标准的五角棱镜, 结构简单, 但在长时间不使用或调整光轴  $a$  和  $b$  的间隔时, 需要另外做调试支架测试系统, 校正的方法与光学内校准式的校正方式相同, 调试校正后再安装于主系统中。

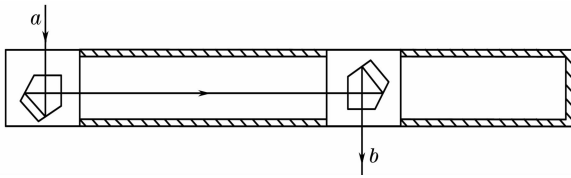


图 5 外校准式结构

Fig. 5 Structure of outer erecting

### 3 误差分析

扩径导引臂静态误差是指在固定温度(20 ℃), 系统固定于某一初始状态, 通常称为零位时, 导引臂的输入轴和输出轴平行误差。初始状态定义如图 6 所示。

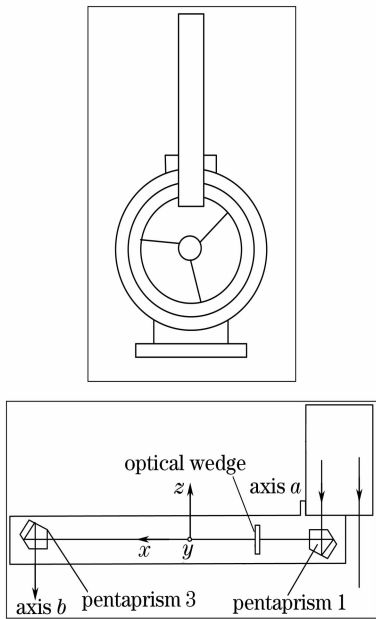


图 6 导引臂的初始状态

Fig. 6 Initial status of the extend arm

在该状态下, 光轴  $a$  与  $b$  的平行性误差, 主要由如下几方面: 1) 在五角棱镜光轴截面内引起的光轴  $a$  与  $b$  不平行度, 由加工误差产生, 与其安装精度(绕  $y$  轴的角位置)无关, 故只需要用转动光楔即可得到补偿。设光学调整误差为  $\delta\alpha_y$  (相对绕  $y$  轴的偏差); 2) 不同的使用要求时, 五角棱镜 3 要移动, 重新固定位置, 其置位精度对光轴  $a$  与  $b$  造成绕  $x$  轴的转角误差; 存在棱镜 3 绕  $x$  轴的偏轴误差时, 光轴  $a$  会同步偏转  $\Delta\alpha p_x$ ; 置位存在绕  $z$  轴的偏转误差

时, 光轴  $a$  会同步偏转  $(-1)^n \Delta\alpha p_z$  [2], 置位调整过程中, 通过调整系统将  $\Delta\alpha p_x$  与  $\Delta\alpha p_z$  的影响调整到较小值, 再用光楔调到最小, 则余下的最后误差为系统的残余误差。

扩径导引臂的动态误差包括温度和姿态变化引起的误差。温度会造成导引臂的变形, 进而造成光学系统光轴漂移。由静态分析得知, 对应(图 4) 光路能够引起光轴转动的因素主要是棱镜 3 绕  $z$  轴和绕  $x$  轴的转动。由于管臂设计成  $x$  轴对称结构, 使  $\Delta\alpha p_x$  温度漂移消除, 系统整体对  $xoy$  面对称,  $\Delta\alpha p_z$  的温度漂移被消除, 而绕  $y$  轴的  $\Delta\alpha p_y$  对偶次反射不造成精度影响, 故可不考虑温度的影响。姿态的影响, 应用时  $z$  轴始终处于水平状态, 故只须考虑导引臂绕  $z$  轴的绕度角位移, 引起的光轴变化, 显然  $xoz$  水平应用时, 影响最大, 为变形的极限。该误差不能靠光学调整剔除, 只能靠结构设计及选材予以减少。

### 4 结 论

提出了扩径准直系统的方案, 并对几种方案进行了对比, 阐述了其优缺点, 从理论上分析造成误差的各种原因。实验证明, 光学内校准式导引臂方案精度优于 0.01 mrad。扩径准直系统已经在一些光学平行性检测领域中得到应用, 很好地满足了坦克的火控系统与坦克的炮口零位轴线平行性测试的精度要求。

### 参 考 文 献

- 1 He Hehao, Ye Lu, Zhou Xingyi *et al.*. Theory and precision analysis of testing apparatus of parallel depth[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, **34**(5): 52~56
- 2 贺和好, 叶 露, 周兴义 等. 平行度测试仪原理及其测量精度分析[J]. *光电工程*, 2007, **34**(5): 52~56
- 3 连铜淑. 反射棱镜共轭理论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1988
- 4 Jun Chang. Testing apparatus of parallelism of multi-waveband optic axis[J]. *Cloud Light Technology*, 2003, **35**(2): 1~6
- 5 钧 昶. 多波段光轴平行度检校仪[J]. *云光技术*, 2003, **35**(2): 1~6
- 6 Zeng Gaoqiu. Design for the instrument of collating parallel of multi axis optical system with video output [J]. *Optical Technique*, 2003, **29**(3): 288~289
- 7 曾高秋. 具有视频输出的多光轴光学系统平行校正仪设计[J]. *光学技术*, 2003, **29**(3): 288~289
- 8 Zeng Chang'e, Zhang Junsheng, Sha Dingguo *et al.*. Novel method in alignment of the pulse laser range finder's aim axis and receiving axis[J]. *Optical Technique*, 2005, **31**: 111~114
- 9 曾嫦娥, 张俊生, 沙定国 等. 脉冲激光测距机接收轴和瞄准轴平行性测试方法研究[J]. *光学技术*, 2005, **31**: 111~114