

非球面光学零件的应用

李池娟, 孙昌锋, 席 喆, 杨晓庆
(华北光电研究所, 北京 100015)

摘 要: 光学系统设计中采用非球面零件, 增加了光学系统设计自由度, 使复杂的光学系统设计变得容易实现, 并可有效减少光学系统零件的数量, 简化光学系统装调, 减小系统的尺寸, 提高光学系统成像质量和可靠性。文章介绍了非球面零件在现代光电仪器上的应用和优势。

关键词: 非球面; 应用; 像质

中图分类号: TB851 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2013.03.003

Application of optical aspheric element

LI Chi-juan, SUN Chang-feng, XI Zhe, YANG Xiao-qing
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The design with aspheric elements in optical system can make the design flexible. The aspheric elements used in optical system can reduce the number of the optical elements and improve optical system performance. The reducing of elements makes optical system assembling simple and reliable, moreover, also make the overall system become smaller and lighter. The application and advantage of aspheric elements in optical-electrical instruments are discussed and introduced here.

Key words: aspheric element; application; image quality

1 引言

现代光电子仪器不但要求获取更多的外部信息和成像质量高度清晰, 而且要求整机系统小型化、集成化和轻量化。采用传统球面光学零件设计出来的光学系统结构复杂, 体积大, 像质差, 满足不了现代光电子仪器的要求, 球面光学零件已像瓶颈一样制约着光电子仪器向小型化、集成化和轻量化发展的需求。

光学系统中采用非球面零件, 光学设计自由度变多, 能快速消除光学系统多种像差, 减少光学零件的数量, 优化光学系统, 减小系统的尺寸和质量。同时, 非球面零件的制造技术受到信息技术与计算机技术、精密机械制造科学、微电子技术、数学、物理、化学、自动化技术等综合技术成果的牵引^[1], 近十年来非球面等新型光学零件的制造技术得到飞速发展。在现代光电子仪器小型化、集成化和轻量化的过程中, 越来越多的光学系统采用了非球面零件等新型光学零件。特别是军用光电系统, 如军用激光、

微光、热成像等装置、导弹的导引头、飞行器的光学头罩等均采用了高精度的非球面零件或衍射光学零件。非球面光学零件在医疗和民用光电仪器中也得到广泛应用, 如眼球内置镜、人造骨关节、数码相机、光盘读写装置、高品质投影仪等民用产品中都成功地应用了非球面零件^[2]。

2 非球面零件的应用

2.1 非球面零件在星载高光谱成像仪上的应用

星载高光谱成像技术是 21 世纪遥感技术发展的前沿和当今世界遥感界关注的焦点之一。目前已有多颗星载高光谱成像卫星在轨飞行或正在研制, 为国防和国民经济等领域提供丰富的信息。在高光谱仪的研制过程中, 光学系统的选择和设计是高光谱成像仪研制成败的一个关键环节, 直接影响着仪

作者简介: 李池娟 (1964 -), 女, 硕士, 高级工程师, 长期从事非球面加工和光学测量工作。E-mail: lichijuan@tom.com

收稿日期: 2012-10-08

器的性能、体积和质量。高光谱成像仪的光学系统一般由望远成像系统和光谱成像系统两部分组成,望远成像系统将地物目标的一个条带成像在光谱成像系统的入射狭缝上,光谱成像系统对入射狭缝进行色散,然后按波长不同成像在探测器的不同位置^[3]。

目前小型化设计中常用的望远成像系统是非球面离轴三反望远成像系统(TMA),如图1所示^[4]。它是由三块离轴非球面反射镜组成的TMA望远成像系统,能将光路折叠压缩,大大缩短了的TMA系统长度;采用反射系统不产生色差,抗热性能好;非球面能有效校正像差,使系统结构简单,像质优良;离轴光学系统能消除共轴系统中心遮拦过大问题。TMA三反望远成像系统可满足对地观测光学遥感大视场、高分辨率、小体积和轻量化的要求,是新一代空间望远成像系统的发展方向。

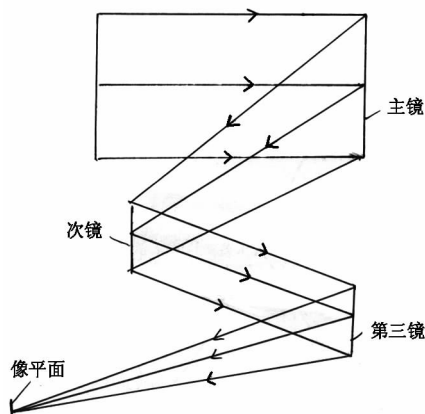


图1 离轴三反望远成像系统光学系统(TMA)

高光谱成像仪的分光方法是仪器的核心,直接影响仪器的性能、结构复杂程度、质量和体积等。典型的分光方法有棱镜、光栅色散分光、傅里叶变换光谱仪。分光系统的质量和体积与选择的分光方法密切相关,近几年发展起来的光栅光谱成像系统具有最小的体积和质量,而棱镜色散高光谱成像仪最重。中国南京天文台研制的LAMOST光谱仪采用全反射式离轴非球面光栅分光,LAMOST光谱仪光学系统除了体积小和质量轻外,还有以下优点:一是采用全反射式非球面光栅有效修正色差和获取更大的光谱范围;其次是使用反射式非球面光栅避免了采用折射式施密特板和透射式光栅产生的一系列伪像给光学系统带来干扰。图2是南京天文台研制的LAMOST光谱仪光学系统示意图。

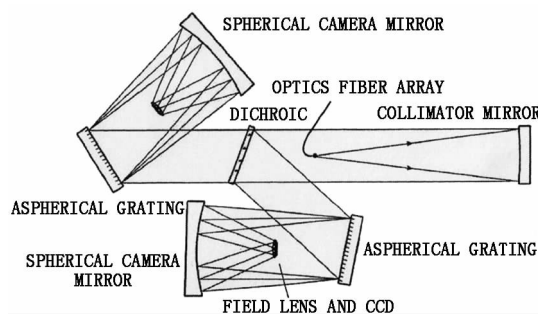


图2 中国南京天文台研制的LAMOST非球面反射光栅光谱成像光学系统^[5]

2.2 非球面零件在军用光电装置上的应用

由于非球面光学零件在光学系统中能有效修正像差,减少光学零件数量,缩小系统体积和减轻质量,提高系统性能,因此非球面零件被普遍应用到军用光电系统上。例如一具AN/AVS-6飞行员夜视眼镜就采用了9块非球面光学零件和2块球面光学零件;再如我国正在研制的光电侦察跟踪项目,它是仿美国F35战机上的光学侦察跟踪系统,由于设计要求十分苛刻,球面系统无法满足系统要求,仅以激光接收镜头为例,若采用球面系统需要21片光学镜片;而采用非球面系统,只需5片就足够了;从设计周期上看,采用球面系统设计这个镜头共花费2个月的时间;而采用非球面系统只需要10d。从体积质量上看,采用球面系统的镜头质量是2.5kg;而采用非球面系统只是1kg。从设计指标上看,采用球面系统的镜头最小焦距是口径的1.5倍,即 $F=0.67$;而采用非球面系统可以进一步贴近 $F=0.5$ 的理论极限。由此非球面零件的优势可见一斑。

2.3 非球面零件在空空导弹的导引头上的应用

由于球面光学系统零件片数较多,系统的光学效率低,对导引头的探测距离和灵敏度影响大,满足不了越来越高的战技指标要求;而非球面在不增大光学系统通光口径的前提下,零件数量减少,且光学系统的像质能得到提高,使系统光学效率和导引头的探测灵敏度和探测距离得到显著提高。

图3是采用球面零件导引头光学系统示意图,图4是采用非球面零件导引头光学系统示意图^[6]。

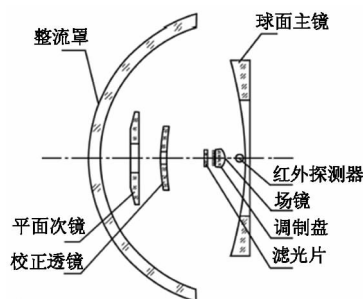


图3 采用球面零件导引头光学系统示意图

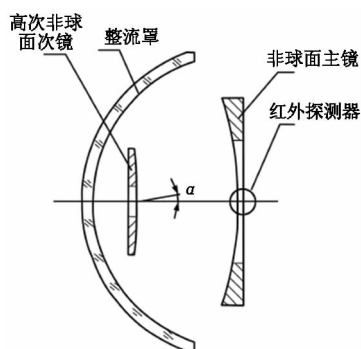


图4 采用非球面零件导引头光学系统示意图

比较图3和图4,显见采用非球面光学系统后,只保留了整流罩、主镜、次镜三个基本光学零件,系统相差也得到很好的校正。由于非球面光学系统结构简单,给系统的结构设计和产品装调带来很大方便,降低了装调难度,保证了装调产品的性能与设计的性能的一致性。

2.4 非球面光学零件在激光上的应用

从激光器中直接出来的光束通常为高斯光束,而实际应用中(如光学测量、激光医疗、激光加工等领域)要求光强空间分布为均匀的激光光束。这需要在高斯光束之后增加一个光束整形光学系统将高斯光束变换成光强均匀分布的平顶光束。目前光束空间整形方法主要有非球面透镜组、全息滤波器、衍射光学元件、振幅调制光栅、微透镜阵列、双折射透镜组、液晶空间光调制器、长焦深整形元件等方法。其中非球面透镜组光束整形法结构简单、相对容易实现,图5是非球面透镜组光束整形结构示意图。这种方法是由一片非球面凹面镜和一片非球面凸面镜组成,可将准直的高斯光束整形成平顶光束,且能将入瞳和出瞳处的衍射控制的很小^[7]。

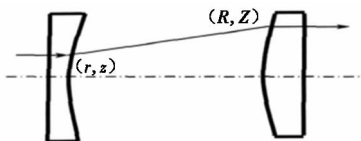


图5 非球面透镜组光束整形法示意图

2.5 非球面光学零件在医疗上的应用

随着非球面技术的发展,现代医学越来越多地用到了非球面技术,如非球面人工晶状体、人工髋关节以及以非球面技术为核心的医疗仪器。

研究表明白内障患者植入球面人工晶状体(球面 IOL)后,部分患者存在客观视力好,却主诉视物模糊,尤其夜间视力差、眩光、光晕、重影等问题,根据波前像差技术,设计出在光学上与人眼自然晶状体更接近的非球面人工晶状体用以提高术后视功

能。非球面人工晶状体眼与球面人工晶状体眼相比,非球面人工晶状体眼高阶像差尤其是球差降低,更接近于年轻人的自然晶状体眼。此外非球面人工晶状体眼对比敏感度好于球面人工晶状体眼,尤其是在大瞳孔、高空间频率和眩光状态下差异更明显,从而改善夜间眩光状态下视力^[8]。

目前一种非球面髋臼人工髋关节在研究中表明:人体行走过程中,两个假体发生微偏离时或手术中髋臼放置位置不当时,可以避免边缘接触,有限元计算得到非球面髋臼人工髋关节与原有球面关节相比,接触应力最大降低幅度可达 78.45%,进而减少外上缘磨损,延长假体寿命,具有使用寿命长的优点。

2.6 非球面光学零件在民用产品上的应用

非球面在日常生活中无处不在,例如:非球面车前灯是国际上最流行的车灯,有很好的配光效果;非球面投影大屏幕显示光学系统,使厚度缩小一倍;非球面太阳能聚光镜;非球面光学零件在数码相机、激光打印机、扫描仪、打标机、光盘读写装置以及手机上的照相机镜头都采用了非球面。

最近市场上推出的明基 BenQ MX712UST 超短焦投影机,采用世界领先的超短距离投影技术拉近空间距离。它凭借精确计算、能在狭窄空间内投射大画面的特殊非球面镜头,实现了在距离墙面 15 cm 距离内投射出 80 in 的巨大画面。这一机种将普遍用于教育行业以及对空间要求极为苛刻的超小型会议室等环境下,由于投影机高强度的光束可能对人眼造成潜在危害,因此让投影机靠近屏幕或白板,会让环境更加安全。避免投影机光束直射双眼,同时也避免使用传统非短焦投影机时,站在投影机和白板间容易形成脸部阴影。BenQ MX712 UST 超短焦投影机采用非球面短距离镜头投影技术,带来更明亮、更清晰、更稳定的画质。

3 结 论

光学系统中合理采用非球面,可有效减少光学零件的数量,简化光学设计和优化光学系统,提高成像质量,可使整机实现小型化、轻量化、多功能化。随着非球面制造技术的不断成熟,非球面越来越多的被应用到空间探索、国防装备和民用产品领域,非球面光学零件已成为光电仪器中的关键部件,在空间探索、国防、医疗以及民用等多个领域有着不可替代的地位。

参考文献:

- [1] Yang Li. Advanced optical manufacture technology[M]. Beijing: Science Press, 2001, 9. (in Chinese)
杨力. 先进光学制造技术[M]. 北京: 科学出版社, 2001, 9.
- [2] Xi Qiming. Current optical manufacture technology[M]. Beijing: National Defence Industrial Press, 2005, 1. (in Chinese)
辛企明. 光学塑料非球面制造技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005, 1.
- [3] Zheng Yuquan, et al. Selection and design of optical systems for spaceborne hyperspectral imagers[J]. Optics and Precision Engineering, 2009, 17(11): 2629 - 2637. (in Chinese)
郑玉权, 等. 星载高光谱成像光学系统的选择与设计[J]. 光学精密工程, 2009, 17(11): 2629 - 2637.
- [4] Chang Jun. Design of wide angle space optical system of long focal length[J]. Acta Armamentarii, 2003, 24(1): 42 - 44. (in Chinese)
常军, 等. 大视场, 长焦距空间光学系统的设计[J]. 兵工学报, 2003, 24(1): 42 - 44.
- [5] G R Lemaitre. Astronomical optics and elasticity theory[M]. New York: Springer, 2009.
- [6] Duan Meng. Application of aspherical optical system in air to air missile[J]. Aero Weaponry, 2007, 4: 19 - 21. (in Chinese)
段萌. 非球面光学系统在空空导弹上的应用研究[J]. 航空兵器, 2007, 4: 19 - 21.
- [7] Cheng Kai, et al. Design and analysis of surface parameters of aspheric lenses system converting gaussian beam to flat-top beam[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2011, 48(3): 032202 - 1 ~ 032202 - 4. (in Chinese)
陈凯, 等. 高斯光束整形为平顶光束的非球面镜系统设计和面形参数分析[J]. 激光与光电子学进展, 2011, 48(3): 032202 - 1 ~ 032202 - 4.
- [8] Sun Xiaoyin, et al. Comparison of aspheric intraocular lens with spheric intraocular lens[J]. International Eye Science. IES, 2009, 4: 752 - 756. (in Chinese)
孙小银, 等. 非球面人工晶状体与球面人工晶状体的比较[J]. 国际眼科杂志, 2009, 4: 752 - 756.