



日趋成熟的

非球面加工技术

非球面的使用为光学设计者提供的一种以最少数量的透镜零件获得高性能光学系统的最佳设计方法。然而,采用传统加工方法加工高质量的非球面光学零件,其难度和费用相当高,因而其应用仅限于一些特殊的光学系统。最近几年,一种被称之为磁流变精加工的非球面加工技术正日趋成熟,该技术比传统加工技术更加优越。

非球面加工技术的优缺点

磁流变精加工技术是一种适于中等规模生产高精度非球面透镜的方法。由一个球面构成的平凸透镜能够会聚平行于光轴的入射光线(见图1)。但从图1可见:沿着光轴没有一处能找到这些光线的完美聚焦点。由球形透镜表面产生的这种聚焦误差被称之为球差;而相比之下,若把这个透镜设计成是一个由非球面构成的平凸透镜,从理论上讲,可使全部平行于光轴的入射光线会聚到一点。

在绝大多数球面透镜系统设计中,设计者

必须利用多表面校正球差,这不仅增加了光学系统中透镜的数量、光学系统校准的难度、安装的复杂性,而且增加了系统重量及成本;而非球面透镜系统则为光学设计者实现高性价比的光学系统的目标提供了一种可供选择的最佳方案。这一目标仅利用球面透镜系统的设计是难于实现的,甚至是不可能的。

然而,为什么在光学设计中非球面没有得到广泛的应用呢?其原因是光学零件的加工是采用传统加工方法。用传统方法加工球面光学

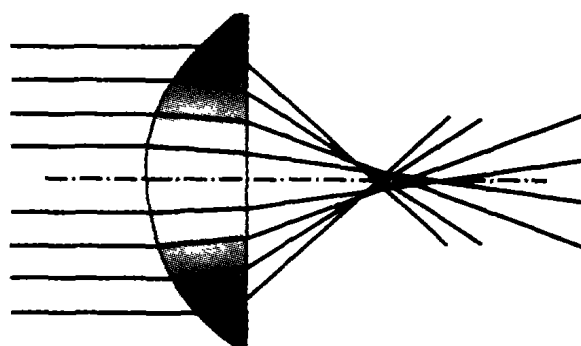


图1 球差阻止入射的准直光线会聚到一个共同点,影响了光学系统的性能。



零件时,在给定曲率半径的凸和凹工件间放研磨膏抛光透镜毛坯。

凸球面对着凹球面呈半随机方式运动产生一个球面研磨模式,即使透镜毛坯初始形状并不是完美的球面形状,但经过一段时间研磨抛光后可变成理想的球面形状。此外,通过适当的过程控制,这种方法能达到非常高的加工精度。例如,在 632.8nm 波长范围内,透镜的表面精度可达到 $\lambda/4$ 或者更高,即球面的面形精度可高达 $0.158\mu\text{m}$ 。

在加工非球面的过程中,必须控制研磨抛光工具的运动。对于非球面透镜而言,若非球面面形略偏离于球面,则按传统球面研磨抛光技术,用与非球面最适配的球面抛光工具进行加工,获得球面透镜半成品。然后,在一台经过改造的研磨抛光机上,用比光学件小很多的研磨抛光工具(子孔径工具)对其进行研磨抛光,最终获得所要求的非球面形状。对抛光工具在透镜半成品特定区域加工的时间进行适当的控制,可加工出所要求的非球面面形。

如果非球面面形显著偏离球面,则要用数控成形机床直接在透镜毛坯上加工出非球面形状,此外,也可用专门的研磨工具将最接近的球面最终加工成所要求的形状。在透镜毛坯非常接近于所要求的非球面面形之后,下一步的加工目标是在不大量去除毛坯材料的条件下对其进行抛光。这一步骤可用经过改进的传统抛光机和子孔径抛光盘完成。

然而遗憾的是,在这种类型的抛光中存在许多与环境 and 操作等有关的不确定因素,所以成功地完成这个过程还需要具有很高的操作技能。对于常用的抛光机而言,由于某些机械加工因素的限制,故加工出来的非球面很难达到 $\lambda/20$ 或理想的面形精度,而所需时间要以小时计算,甚至要用几天或者几周时间才能完成。

因此,用传统方法加工高质量的非球面的费用是相当昂贵的。

克服各种限制

磁流变研磨精加工技术是由美国纽约罗彻斯特大学光加工中心最早提出,并由罗彻斯特 QED Technologies 公司率先实现商品化。该技术克服了传统光学抛光技术的许多限制,亦是一种可控的、确定性的方法,能够加工出高精度非球面,且适于中等批量生产。与传统方法相比,这一技术不但对操作者的操作技巧和知识要求不高,而且还能显著地缩短加工时间。用该技术生产的高质量非球面光学零件的面形精度达到 $\lambda/40$ 。

在磁流变研磨抛光装置中,一个抽液泵不断地从储液容器中抽出少量磁流变液体,并挤压输送到一个旋转轮中,旋转轮使液体进入到一条薄条带中,待加工的光学零件的一部分浸没在这条含磁流变液体的移动的长条带中。紧靠旋转轮的下面有一块特殊设计的磁铁,能产生强局部磁场。当磁流变液体流到这个磁场区时,在几毫秒内就会很明显地变粘稠;而当液体离开这个磁场时,又恢复到原来状态。变稠的液体区域就是抛光工具。磁流变液体通过光学零件后,用另一个泵吸收并送回到储液器中。

抛光之前要执行一项试验程序。该程序可在研磨抛光时表征非球面的精确形状和磁流变液体抛光模的切削性质。在对给定的非球面透镜进行抛光时,需向系统软件提供该透镜的初始表面误差(透镜的目前形状和最后要求形状之间的差值)。软件利用这一信息生成一套指令,控制计算机数控机床移动透镜。

在抛光过程中,抛光机旋转透镜到主轴上,使得光学零件的不同区域浸没在磁流变液体中。在该加工过程中,抛光机保持工件浸没到液体



中的深度为常数值。计算机程序控制这些运动的速度,以产生所需要的材料切削量。换言之,系统将花费较多的时间对抛光透镜表面的较高部位进行研磨。

加工过程起决定性作用,因为抛光设备性能是已知的,是不随时间改变的,因此控制研磨区加工时间是一个重要的因素。为了从透镜的特定区域获得所规定的材料切除量,所需要控制的时间是唯一可变的参数,这是磁流变抛光技术的核心。

由于液体的性质,抛光机的工作状态保持不变。液体抛光盘始终与被抛光零件的形状吻合,这与传统光学研磨抛光情况正相反。传统光学研磨抛光工具的磨损使工具和工件的接触是断续的,且无法预料。抛光机始终监视和控制液体的性质,如温度、粘度和蒸发率等,以使其在加工过程中保持不变。

这种研磨抛光机对工件施加的力也与传统抛光机不同。在抛光零件与抛光液接触时,零件挤压含有磁流变液体的条带,使最初的 2mm 厚变为大约 1mm 厚。当光学件对着变稠的、挤压含有液体的条带旋转时,剪切应力产生研磨抛光作用,而传统抛光机所施加的力垂直于被加工的工件。

这种方法提高了研磨抛光的切削速率。事实上,用这种方法能在几分钟之内加工出具备 $\lambda/20$ 精度等级的非球面。磁流变抛光加工与传统加工方法相比产生的工件下表面破坏层深度更小。

非球面光束整形器

美国 Newport 公司用其自己生产的非球面透镜制作出一种折射式光束整形器。这种光学系统能把入射的高斯分布的光束转换成激光器输出的光束。这种光束整形器在数据存储、材

料加工、生物医学和电子—光学等领域有着广泛的应用。这种设计最初是由美国 Research 公司的 John Hoffnagle 和 Michal Jefferson 提出的,并由 Newport 公司采用磁流变抛光方法实现。

有许多人尝试去设计一种能将高斯强度分布光束转换成均匀强度分布光束的高效率(低光能损耗)光学系统。并希望该系统具有高性能、可加工性、易操作和易使用等优点。

该系统仅由两块平面—非球面透镜构成(见图 2)。修正第 1 块透镜的形状可使靠近透镜光轴的入射光线产生较大的放大率,这样会在第 2 块透镜的表面上产生所要求的强度分布变化。然后,经过第 2 块透镜使其变成准直光线。

这两块透镜均是用熔石英材料制成。熔石英材料的低色散率(折射率随波长改变)和在设计中采用的小角度入射使光程相对独立于波长。这意味着,该光束整形器能在很宽波长范围内完成这种强度变换,所有这些只须调整 2 块透镜之间的距离就可以适应输入波长的变化。

这种光束整形功能还可用全球面系统完成,但需用几个光学零件。该系统的缺点是校

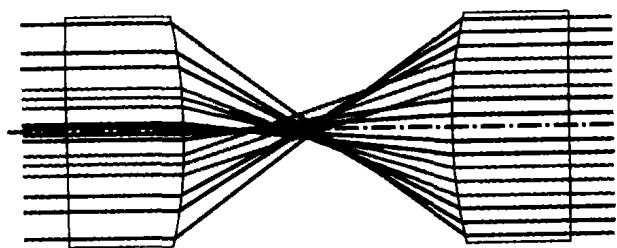


图 2 光束整形系统的输入(第 1 块)透镜的放大率随孔径改变,因而高斯光束中心具有高光强(较密光线)分布的光束比边缘处具有较低光强分布的光束有较大地扩散;第 2 块透镜再准直光束。



准困难,公差要求也比较严格。此外,该系统还可以用伽利略系统,即第1块透镜为负非球面透镜,但负透镜的形状显然比全都是单一的凸曲面透镜更复杂,更难于制造。

为了使该光束整形器的性能达到最佳,要求输入高斯光束(在 $1/e^2$ 点处)的直径为4.7mm;于是得到的输出光束的直径为8.1mm、均方根值在10%范围以内。整个系统的光学效率为97%。

虽然该系统要求的输入光束的口径比大多数激光器输出光束的尺寸略大一些。但是,设计一种较小输入光束口径的光束整形器会使整个系统成比例地缩小,因而使透镜尺寸特别小。这使得非球面透镜的制造,特别是使用磁流变研磨抛光技术加工非球面透镜成为不可能。此外,该系统输入光束的口径是可调的,输入光束通过一个扩束器产生所要求的输入光束尺寸

的光束。为了给出光滑的、高斯分布的输入光束,必须在扩束器中进行空间滤波。另外一种取代扩束器的方法是用光纤产生这种强度分布和光束直径的输入光束。

为使光束整形器能很好地运转,要求用输入光束对其进行校准,这个工作可用标准光学——机械硬件实现。为了得到较好的准直光束,必须精确调整两非球面透镜之间的距离。这可用标准工具,如剪切板或者 Shack-Hartmann 传感器来检测。

非球面的功能

非球面的使用能够使光学设计者创造性地设计出具有较高性能的复杂光学系统,同时使用最少数量的光学零件。OEMs 和系统制造厂商现可利用磁流变研磨抛光技术实现中等批量的高精度非球面光学零件的生产。(No.5)

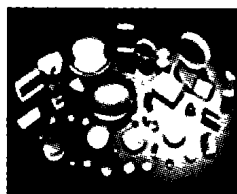


北京欧普特科技有限公司

光学元件库—欧普特科技

电话: www.goldway.com.cn

北京欧普特公司参照国际通常规格及技术指标,备有完整系列的精密光学零部件(备有产品样本供参考)供国内各大专院校,科研机械,实验室随时选用,我公司同时可为您的应用提供技术咨询。



- ★光学透镜: 平凸、双凸、平凹、双凹消色差胶合透镜等。直径 $\Phi 1\sim 150\text{mm}$; 焦距 $1\sim 1000\text{mm}$; 材料包括光学玻璃、紫外石英玻璃、有色光学玻璃、红外材料。
- ★光学棱镜: 直径 $\Phi 1\sim 50\text{mm}$ 各种规格直角棱镜及其他常用棱镜。
- ★光学反射镜: 各种尺寸规格的镀铝、镀银、镀金及介质反射镜。直径 $\Phi 5\sim 200\text{mm}$ 。
- ★光学窗口: 各种尺寸规格、材料的光学平面窗口, 平晶。直径 $\Phi 5\sim 200\text{mm}$ 。
- ★各种有色玻璃滤光片: 规格为直径 $\Phi 5\sim 200\text{mm}$ 。(紫外、可见、红外)
- ★紫外石英光纤: 进口紫外石英光纤, SMA接口光纤探头, 紫外石英聚焦探头。

地址: 北京市海淀区知春路49号希格玛大厦B座#306室

邮编: 100080

电话: 010-88096218/88096217

传真: 010-88096216

网址: www.goldway.com.cn

联系人: 栗曼珊女士, 石冀阳小姐 E-mail: optics@goldway.com.cn/sms@goldway.com.cn