

成像衍射光学元件衍射效率的测量方法

编制说明

(征求意见稿)

长春理工大学

2021 年 6 月

国家标准《成像衍射光学元件衍射效率的测量方法》

编制说明

1. 工作简况

1.1 任务来源

衍射光学元件由于其独特的成像性质已被广泛应用于现代成像光学系统,以简化光学系统结构、缩小体积、减轻重量和提高光学成像质量,实现传统光学技术无法实现的技术性能要求。衍射效率直接影响衍射光学元件及含有衍射光学元件的折衍射混合光学系统的成像质量,是评价衍射光学元件设计和加工的重要指标。因此,对成像衍射光学元件衍射效率的准确测量十分必要。然而,由于衍射效率测量方法及技术的复杂性,成像衍射光学元件出现三十多年来国内外尚未建立起衍射效率测量的规范化和标准化方法。

长春理工大学长期从事成像衍射光学元件的理论、技术及其在成像系统中应用方面的研究,1996年首次提出了成像衍射光学元件衍射效率测量的原理性方法,并首次搭建了成像衍射光学元件的衍射效率测量平台,完成了长焦距成像二元光学系统衍射效率的测量。近年来,成像衍射光学元件的应用日益广泛,为了给成像衍射光学元件的加工质量提供客观依据,长春理工大学制定成像衍射光学元件衍射效率的规范化、标准化测量方法。

2019年2月,长春理工大学向全国光电测量标准化技术委员会(TC487,以下简称“光电测量标委会”)提交申报编制国家标准《成像衍射光学元件衍射效率的测量方法》的任务,2019年4月,在2019年第一次NQI专项推荐性国家标准立项评估会上获批成功,于2020年12月国家标准化委员会下达了关于国家标准《成像衍射光学元件衍射效率的测量方法》立项的通知,计划编号为20204668-T-491,项目周期为2020年12月至2022年12月。

1.2 起草单位

主要起草单位:长春理工大学

本标准项目下达后,由长春理工大学组织成立了国家标准编制组,其人员组

成及分工见表 1。

表 1 编制组人员及分工

序号	姓名	职称	单位	任务分工
1	朴明旭	讲师	长春理工大学	标准和编制说明编制
2	薛常喜	教授	长春理工大学	标准和编制说明编制
3	崔庆丰	教授	长春理工大学	标准化工作
4	张博	助理研究员	长春理工大学	编制说明编制

1.3 主要工作过程

1.3.1 编制标准讨论稿

2018 年 7 月~2019 年 2 月, 标准编制组调研了与标准内容相关的国内外技术现状, 针对性地查阅了国内外标准; 认真制定了标准编制大纲, 研究了标准草案, 完善标准所描述的测量方法, 以及数据处理方法, 形成了《成像衍射光学元件衍射效率的测量方法》工作组讨论稿及编制说明。

2019 年 3 月 16 日, 全国光电测量标准化技术委员会秘书处在北京组织召开了“标准编制组和专家组会议”, 标准编制组汇报了《成像衍射光学元件衍射效率的测量方法》工作组讨论稿, 以及编制说明, 与会专家进行了认真细致地讨论, 提出了建议和修改意见。

2019 年 3 月 25 日, 全国光电测量标准化技术委员会审议了工作组讨论稿, 各位委员一致同意将工作组讨论稿修改后形成征求意见稿, 广泛征求意见。

1.3.2 编制标准讨论稿

2019 年 4 月~2021 年 5 月, 标准编制组根据建议和修改意见, 对《成像衍射光学元件衍射效率的测量方法》及编制说明进行了进一步修改和完善, 形成征求意见稿及编制说明提交到光电测量标委会。

2. 标准编制原则和主要内容

2.1 编制原则

本部分按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分: 标准化文件的结构和起草规则》, 以及 GB/T 20001.4-2015《标准编写规则 第 4 部分: 试验方法标准》的有关要求编写。

2.1.1 实用性原则

标准编制组认为标准中提出的成像衍射光学元件的衍射效率测量方法利用光学原理和技术,建立光学测量的条件和基准,根据夫琅禾费圆孔衍射理论,选择针孔光阑直径,使主衍射级次的能量全部通过,拦截次衍射级次通过的能量,有效保证了测量精度。然后给出单一波长的衍射效率测量数据处理方法,以及多个波长的衍射效率测量数据处理方法,进而得到成像衍射光学元件主衍射级的实际带宽积分评价衍射效率。本方法原理清楚、目的明确、技术成熟、操作方面,可以在生产、检验和使用等各个方面普遍应用。

2.1.2 通用性原则

标准编制组对目前光电设备的分类和配置情况进行了调研和分析,认为当前以及相当一段时期内,绝大多数成像光学系统中将使用单层和多层衍射光学元件,工作波段为紫外波段、可见光、近红外、中波红外和长波红外等。因此,本标准提出的衍射效率测量方法,以及数据处理方法,可以满足不同类型的成像衍射光学元件,以及波段对应的衍射效率测量,实现当前及相当一段时期内的通用需求。

2.1.3 适用性原则

本标准主要适用于室内检验测试,并规定了室内测量环境的温度、湿度等一般性要求,在符合环境条件要求的外场,也可应用本标准开展衍射效率测量工作。本标准适用的测量对象在主衍射级次的成像质量要达到或接近衍射极限,在系统焦面上应该出现一个标准的艾里衍射光斑。

2.2 标准编制主要内容的说明

2.2.1 关于测量原理

本标准提出的成像衍射光学元件衍射效率的测量是先测出主衍射级次的能量 E_1 ,再测出全部出射能量 E_0 ,则 E_1 与 E_0 之比就是衍射效率。衍射效率测量过程中,主衍射级次能量的测量可以通过在一级衍射焦面处放置一个针孔光阑得到,而该光阑的大小能够在保证主衍射级次的能量全部通过的前提下,拦截各次级衍射光的能量。当成像衍射光学元件所承担的光焦度较大时,主衍射级次和各次级衍射的像面相距较远,上述方法可行。然而,当成像衍射光学元件在折衍射混合式光学系统中的作用只是用于校正光学系统的色差时,衍射光学元件所承担的光焦度就会很小。因此,主衍射级次的像面和各次级衍射的像面相距很近,很难将主衍射级像点的能量与各次级衍射像点的能量准确分开,所以把测量得到的能量

直接作为主衍射级的能量会给衍射效率的测量带来很大误差。在这种情况下，可以采取只测量主衍射级弥散斑的中央亮斑及其附近区域能量的方法，选用尺寸较小的针孔光阑，让主衍射级次的能量尽可能多的通过针孔光阑，并且尽量减少通过针孔光阑的次级衍射能量，这样可以减少测量中的误差因素对测量结果的影响。运用这种方法的前提是光学系统主衍射级次的成像质量接近或达到衍射极限，能够在光学系统的焦面上形成一个标准的艾里斑分布图形。

圆孔夫琅禾费衍射的强度分布表示如式(1)所示：

$$M = \left[\frac{2J_1(kra/f')}{kra/f'} \right]^2 M_0 \quad (1)$$

式中 $J_1(kra/f')$ 为一阶贝塞尔函数， k 为波数 $k = 2\pi/\lambda$ ， a 为针孔光阑半径， f' 为光学系统的焦距， M_0 为一个与针孔光阑面积、光波长和焦距有关的常量。将式(1)在半径为 r_1 的区域内积分，可以得到该区域内所包含的能量如式(2)所示：

$$P(r) = 1 - J_0^2\left(\frac{kra}{f'}\right) - J_1^2\left(\frac{kra}{f'}\right) \quad (2)$$

式中 $J_0(kr_1a/f')$ 为零阶贝塞尔函数。当主衍射级次和各次级衍射的像面距离较近时，可以采用较小的针孔光阑，只允许中央亮斑和邻近的若干亮环的能量通过，则测量得到的能量仅包含了主衍射级次能量的一部分，此时需要对测量得到的衍射能量进行修正才能得到准确的一级衍射能量。由于针孔光阑的半径可以准确地知道，根据式(2)可以计算出通过针孔光阑的能量占一级衍射总能量的百分比，进而得到修正的成像衍射光学元件主衍射级能量的表达式见公式(3)

$$E_1 = \frac{E_{1P}}{P(r)} \quad (3)$$

式中 E_1 为修正的主衍射级能量， E_{1P} 为成像系统后焦面上主衍射级能量。根据公式(3)，以及衍射效率的定义，得到实际测量的成像衍射光学元件的衍射效率，其表达式见公式(5)：

$$\eta_a = \frac{E_{1P}}{P(r)E_0} \quad (4)$$

式中 η_a 为修正的衍射效率， E_0 为成像系统后焦面上总能量。

2. 2. 2 关于试验条件

本标准对成像衍射光学元件衍射效率测量的环境温度、相对湿度，以及光学表面的清洁进行规定。由于环境温度变化将引起成像衍射光学元件的衍射微结构高度发生改变，从而影响衍射效率的测量精度。因此，本标准规定测量环境温度

的变化范围不超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，且待测系统与衍射效率测量装置的工作温度一致。当湿度过大时，光学元件和衍射微结构表面易出现雾气，导致成像衍射光学元件衍射效率测量结果不准确。因此，本标准规定测量环境的相对湿度应不大于70%。

2.2.3 关于仪器设备

(1) 测量装置框图

本标准采用双光路测量方法搭建成像衍射光学元件的衍射效率测量装置，这是因为在前后两次的能量测量之间会存在一定的时间间隔，需要考虑激光器的功率波动性对测量结果产生的影响。双光路测量装置能够有效补偿激光器波动性对衍射效率测量结果准确度的影响，提高衍射效率的测量精度。

(2) 光源

在成像衍射光学元件衍射效率测量的过程中，需要在平行光管焦面处设置一个小的星点孔进行空间滤波，所以照射到待测光学系统上的光信号较弱。然而，成像衍射光学元件的衍射效率对光谱波段范围十分敏感，所以选用单色光光源测量衍射效率。如果采用一般的光源加上干涉滤光片，单色性不好，会有一定的波带宽度，而且接收到的光信号会很弱。所以，采用激光器作为光源，激光器具有方向性好、单色性强的优点。

(3) 空间滤波器

空间滤波器对扩束后的光束进行过滤，用于截取扩束后激光光束中心处相对平缓的光束只允许中间比较均匀的那部分光通过。显微物镜、空间滤波器以及平行光管物镜共同完成对激光光束的扩束与准直的作用。选择这样结构的优点是：空间滤波器的针孔光阑可以减少激光束高阶模式所产生的散斑的影响，同时针孔光阑可以截取激光束（高斯光束）中心处的相对平缓的光束区域，以便得到均匀性良好的平行光束。

(4) 光电探测器

光功率计通常以光电二极管或者光电池作为光敏元件。工作在光伏模式下的光电二极管或者光电池能够按照线性关系把光敏平面上所接收到的光强信号转换为光电流信号；然后光电流信号经过电流电压模式的前置放大后，能够在放大电路的输出端得到与所接受到的光强信号成正比的电压值。一般光敏元件的响应度会随波长的不同而变化，当光敏元件的光谱响应度以及电压放大倍数已知时，

就可以通过计算得到入射光功率的大小。与电荷耦合器件相比较，光电二极管或者光电池的 p-n 结面积更大，可以容纳更多的光生电子，所以，光电二极管或者光电池的饱和光强以及动态范围相对大些。高性能的光电二极管能够满足用于 10^{10} 的动态范围要求，并且其线性光电响应也很好。

(5) 光电探测器前的针孔光阑

根据星点检验的原理，如果待检测光学系统的成像质量良好，那么在光学系统后焦面上将形成一个比较标准的艾里斑衍射分布图形，星点像的艾里斑半径如式(5)所示

$$r_0 = f' \frac{1.22\lambda}{D} \quad (5)$$

式中 r_0 为艾里斑半径尺寸， λ 为照明光源的波长， D 为待测光学系统的入瞳直径， f' 为待测光学系统的焦距。将待测光学系统的参数带入式(5)，可以得到艾里斑直径的大小为 $d = 2r_0$ 。根据夫琅禾费的圆孔衍射理论可知，在艾里斑的中央亮斑范围内的能量占整个星点像能量的 83.78%。如果包括艾里斑中心亮斑和一级衍射亮环，占到整个星点像光能量的 91%。

光电探测器前的针孔光阑口径通常很小，但仍会有很少的次级衍射能量进入针孔光阑，从而影响测量精度。若得到 2 级和 0 级衍射在主衍射级焦面上的弥散斑尺寸分别为 h_2 和 h_0 ，再根据针孔光阑的尺寸 a ，就可以算出 2 级和 0 级衍射能量进入到一级衍射焦面上的比例分别为 $\frac{\pi(a/2)^2}{\pi h_2^2}$ 和 $\frac{\pi(a/2)^2}{\pi h_0^2}$ 。由此可以得到通过针孔光阑的次级衍射光所占的比例大小，进而对测量结果进行校正等处理。

2.2.4 关于样品

本标准提出的成像衍射光学元件衍射效率测量光路与光学测量中星点检验的光路类似，而星点像能量分布具有典型的衍射光斑的特征，因此要求衍射光学元件和整个成像光学系统的设计和加工质量达到较高的水平，在系统焦面上应该出现一个标准的艾里衍射光斑。

2.2.5 关于试验步骤

本标准提出在暗室中调整成像衍射光学元件的衍射效率测量装置，对一级衍射光能量、参考光能量，以及总能量进行测量，并给出单一波长，以及多个波长的衍射效率测量步骤。本标准的测量装置包括多个部件，而各部件的光轴一致性将影响衍射效率的测量精度。

(1) 调节激光器光束与平行光管光轴的一致性

首先粗调，即调节激光器位置，使得激光束大致经过平行光管前方入口中心和平行光管物镜的中心。

然后细调，调节激光器位置，使得激光器入射光束处于平行光管物镜反射回光斑的中心处。实际操作上，如果激光束正入射到平行光管物镜中心，平行光管物镜的几个表面所反射回来的光束会产生规则的圆环干涉条纹，这种调节方法叫做自准直法调节光轴一致性。

(2) 调节空间滤波器与平行光管光轴的一致性

首先在激光器前面的一定距离处放一光屏，把激光打在屏上的点做一个记号，并且固定光屏；再放入显微物镜，调整显微物镜的高度，使显微物镜的光轴与激光光束的光轴重合，这时就会在光屏上出现一个亮度均匀的圆光斑，并且光斑的中心与先前在光屏上做的记号重合；然后把针孔光阑放到显微物镜上，不断微小地调整水平和垂直方向的调节手轮，使光斑的亮度逐渐增加，直至在光屏上观察到同心的亮暗衍射环；最后再沿三个方向进行微调，使中央亮斑的半径尺寸逐渐增大，亮度不断增强，直至呈现出最亮最均匀的弥散斑为止，如图 1 所示。

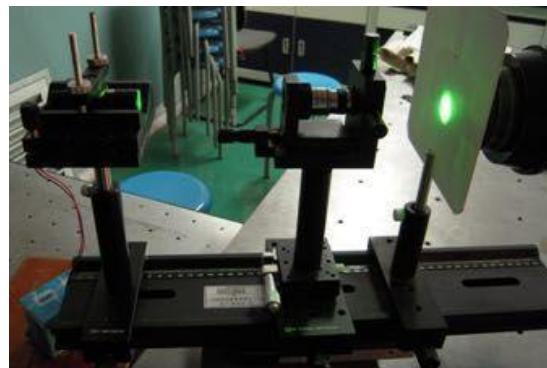


图 1 调节空间滤波器与平行光管光轴的一致性

(3) 平行光管光束准直度调整

移动空间滤波器的位置，使针孔光阑位于平行光管物镜焦面上，此时经过平行光管的出射光束应是平行光。在平行光管后放置一个挡板用于接收光束，沿光轴不断前后移动挡板的位置，观察挡板上圆形光斑的大小是否发生变化，如果发生变化，说明从平行光管出射的光不是平行光，针孔光阑并没有位于平行光管物镜的前焦面上。此时，需要再次调节针孔光阑的位置，然后再前后移动挡板，观察圆形光斑的大小，如果变化，重复以上的调整，直到光斑大小不发生变化为止。

也可以通过比较外的出射光斑大小与平行光管物镜口径处的光斑大小来衡量出射光束的平行性，两者相等则认为经过平行光管后出射的光束是平行光。

(4) 放入待测的光学系统进行测量

为保证平行光正入射到衍射光学元件上，可以通过观察平行光束经过待测光学系统的出射光斑的对称性进行调节；同时保证待测的光学系统与平行光管的光轴重合，这是为了消除激光高斯光束不均匀性可能造成的影响。调节好后的光路如图 2 所示。然后在待测的光学系统的后面放置一个探测器，平行光经过待测的光学系统后被会聚，通过前后移动接收屏的位置，可以看到光斑的大小发生变化。在探测器的前面加一个针孔光阑，滤掉次级衍射光，只允许一级衍射光通过，通过前后、上下、左右微调旋钮来调整最佳焦面位置，读出一级衍射光能量，同时记录此时参考光路的能量大小。然后去掉探测器前面的针孔光阑，得到经过待测光学系统后的焦平面上的总能量，并记录此时的参考光能量。



图 2 调节待测光学系统与平行光管的同轴性

2.2.6 关于试验数据处理

本标准规定了成像衍射光学元件在单一波长，以及整个成像波段对应衍射效率测量结果的数据处理方法和公式，按此公式处理的测量结果可信且能够衡量成像衍射光学元件的加工误差。通过成像衍射光学元件衍射效率测量装置，可以测量待测光学系统不同视场角度的一级衍射光能量和参考光能量，以及待测光学系统后焦面上的总能量和参考光能量，进而得到成像衍射光学元件的衍射效率测量值 η_{ave} 。基于此测量值，可以得到成像衍射光学元件衍射效率的测量误差 $\Delta\eta$ 如式 (6) 所示。

$$\Delta\eta = \eta_m - \eta_{ave} \quad (6)$$

式中 η_m 为理论计算的衍射效率。测量结果相对误差为测量误差与理论计算的衍射效率比值如式(7)所示

$$\varepsilon = \frac{\Delta\eta}{\eta_m} = \frac{\eta_m - \eta_{ave}}{\eta_m} \quad (7)$$

2. 2. 7 关于试验报告

测试报告首先设置了委托单位和联系人信息, 然后设置了待测样品名称及参数。设置试样名称是针对不同的试样测试结果不同需要记录准确的试样名称, 方便区别测试不同的样品。样品参数包括焦距、波段, F数等, 用于确定测量装置中所使用的空间滤波器、光电探测器前的针孔光阑, 以及光源。设置采用标准是明确成像衍射光学元件衍射效率的测量方法和测量装置。设置测试波长、测量次数、衍射效率是为了得到在不同光源下的衍射效率平均值, 进而拟合整个波段的衍射效率变化曲线, 最终计算带宽积分平均衍射效率。设置测试日期是为了记录测试时间。设置测试单位和公章是为了证明测试结果的有效性。设置测试、复合、审定人员签字是明确了对测试结果负责的人员。

3. 主要试验 (或验证) 情况分析

主要试验分析以兵器集团某厂的航空夜视头盔光学系统为具体实施例, 进行分析和综述。

随着光电装备技术的迅速发展, 对光学系统体积、重量和性能的要求越来越高, 传统技术已无法满足这种要求。兵器集团某厂原有的航空夜视头盔显示系统采用的是传统折射透镜技术, 虽然采用了高次非球面技术, 但该产品的技术性能指标进一步提高的空间已十分有限。与折射透镜相比, 成像衍射光学元件的工作原理完全不同, 具有独特的成像性质。将成像衍射光学元件应用于航空夜视头盔光学系统中, 成功地解决了原产品的重量、长度和性能的问题。所设计的折衍射混合式航空夜视头光学系统完全达到了原产品的技术指标要求, 而且透镜数量减少了 50%, 光学系统的重量只有原系统的五分之一, 长度也缩短了 20%。对设计好的光学系统做机械结构设计, 完成光学系统的装配, 得到了折衍射混合式航空夜视头盔光学系统, 如图 3 所示。

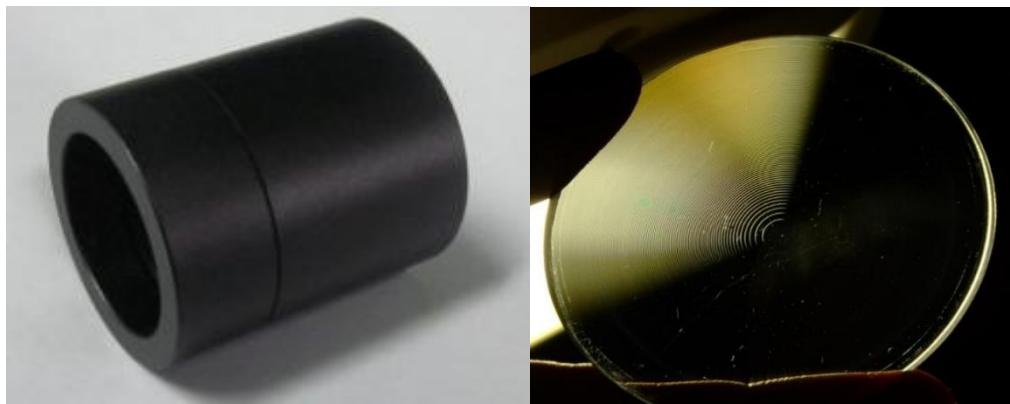


图 3 折衍射混合式航空夜视头盔光学系统, 以及成像衍射光学元件

对该系统采用本标准提出的衍射效率测量方法进行可见光波段的实际测量。根据标准中提出的双光路测量原理图, 搭建了成像衍射光学元件衍射效率的测量装置, 如图 4 所示, 从左到右沿光轴依次放置激光器、分光镜、显微物镜、空间滤波器、平行光管、挡板、待测光学系统、探测器。因为待测光学系统的口径一般都小于平行光管的口径, 所以, 用挡板来滤除待测光学系统口径之外的光线, 减小背景光对测量结果的影响。分光镜的另一侧接光功率计的另一个探头, 用于监测由于电压起伏和激光功率波动而引起的激光输出功率的波动。

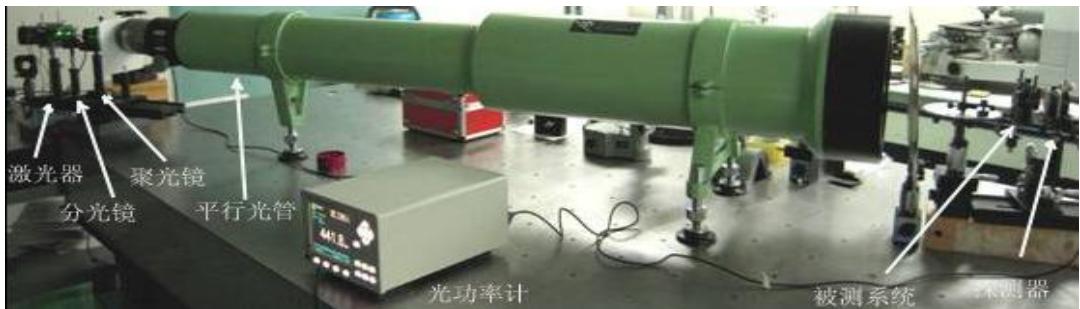


图 4 成像衍射光学元件衍射效率的测量装置

对于待测的折衍射混合式航空夜视头盔光学系统, 在中心波长 $0.5461\mu\text{m}$ 处, 一级衍射光与邻近的 2 级和 0 级衍射光的轴向距离分别为 $d_2=1.5045\text{mm}$, $d_0=1.6980\text{mm}$ 。在一级衍射光的焦平面上, 2 级和 0 级衍射光的高度分别为 $h_2=0.8158\text{mm}$, $h_0=0.8158\text{mm}$ 。当探测器前面的针孔光阑直径大小选 0.1mm 时, 利用圆孔夫琅禾费衍射强度分布计算可以得到在 0.05mm 的半径范围内所包含的能量为 99.9999% , 所以, 本标准的公式 (3) 中 $P(r_1)=1$, 可以认为一级衍射光全部通过针孔光阑。通过针孔光阑透过的 2 级和 0 级衍射光所占的比例均为 $(0.05/0.8158)^2=0.3756\%$, 说明次级衍射光所占的比例很小。

为了全面准确地评价衍射光学元件的加工质量，分别选择三个激光波长，对折衍射混合式航空夜视头盔光学系统进行衍射效率的实验测量。

(1) 波长 532nm 处衍射效率的测量结果

当使用 532nm 的固体激光器作为测试光源，采用双光路测量装置测量成像衍射光学元件的衍射效率，记录待测光学系统的一级衍射光能量 E_{1P} 和参考光路的能量 E'_1 ；待测光学系统后焦面的总能量 E_0 和参考光路的能量 E'_0 。将数据代入本标准的公式 (3) 计算得到成像衍射光学元件的衍射效率如表 2 所示。通过本标准的公式 (8) 可知，成像衍射光学元件在 532nm 波长处的衍射效率平均值为 $\eta_{ave}=95.02\%$ ，与理论值 99.74% 相比，测试结果有 4.72% 的偏差。

表 2 532nm 波长处衍射效率的测量结果

No.	E_{1P} (μW)	E'_1 (μW)	E_0 (μW)	E'_0 (μW)	η_{bi} (%)
1	2.739	6.045	2.896	6.072	95.00
2	2.736	6.124	2.881	6.135	95.14
3	2.747	6.207	2.893	6.205	94.93

(2) 波长 632.8m 处衍射效率的测量结果

当使用波长为 632.8nm 的氦氖激光器作为测试光源时，待测系统的衍射效率测量结果如表 3 所示，由表可知，待测系统在 632.8nm 波长处实验测量得到的衍射效率的平均值为 $\eta_{ave}=89.69\%$ ，与理论值 93.38% 相比，测试结果有 3.69%。

表 3 632.8nm 波长处衍射效率的测量结果

No.	E_{1P} (μW)	E'_1 (μW)	E_0 (μW)	E'_0 (μW)	η_{bi} (%)
1	0.4153	1.502	0.4660	1.504	89.24
2	0.4285	1.513	0.4739	1.511	90.34
3	0.4193	1.521	0.4691	1.523	89.50

(3) 波长 473nm 处衍射效率的测量结果

当使用波长为 473nm 的固体激光器作为测试光源时，待测系统的衍射效率测量结果如表 4 所示。在 473nm 波长处，通过实验测量得到的待测系统衍射效率的平均值为 $\eta_{ave}=88.98\%$ ，与理论计算得到的衍射效率 91.18% 相比较，测量结果有 2.20% 的偏差。

表 4 473nm 波长处衍射效率的测量结果

No.	E_{1P} (μW)	E'_1 (μW)	E_0 (μW)	E'_0 (μW)	η_{bi} (%)
1	3.070	10.35	3.452	10.32	88.68
2	3.066	10.36	3.443	10.37	89.13
3	3.059	10.41	3.442	10.44	89.12

通过实验测量得到单层衍射光学元件在 473nm, 532nm 和 632.8nm 三个波长处的衍射效率。利用插值算法, 可以得到衍射效率测量结果的拟合曲线, 如图 5 所示。图 5 中的实线代表理论计算得到的单层衍射光学元件的衍射效率, 点画线代表衍射效率实验测量结果的拟合曲线, 拟合曲线上的三个圆点代表实际测量的三个波长处的衍射效率值。从该图可以得到在 473nm-632.8nm 波段范围内任意一个波长处对应的衍射效率测量值。通过将衍射效率测量结果的拟合曲线与理论曲线的对比可知, 在任意波长处单层衍射光学元件衍射效率的测量结果偏差均小于 5.0%。

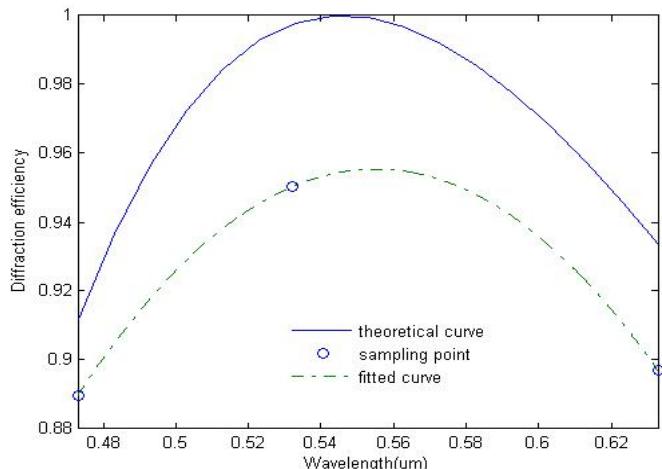


图 5 衍射效率的理论曲线和测量结果拟合曲线的对比

利用本标准的公式 (9) 可算出衍射光学元件在 473nm-632.8nm 波段范围内的带宽积分平均衍射效率 $\bar{\eta}_{ave}$ 为 93.47%。按照理论计算得到带宽积分平均衍射效率 $\bar{\eta}$ 为 97.43%。再根据本标准的公式 (10) 可以计算出带宽积分平均衍射效率偏差 $\Delta\bar{\eta}$ 为 3.96%, 该值反映了成像衍射光学元件的加工误差。

4. 知识产权情况说明

本标准不涉及专利。

5. 产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况

成像衍射光学是光学工程领域的前沿技术。衍射光学元件由于其独特的成像

性质已被广泛应用于国防和商用成像光学系统,以简化光学系统结构、缩小体积、减轻重量和提高光学系统成像质量,实现传统光学技术无法实现的技术性能要求。在解决空间光学系统,军用航空光学系统,微光夜视系统,头盔显示器系统,导弹导引头系统等多种军用光学系统存在的问题方面起着不可替代的作用,还在民用消费电子产品领域,例如安防系统,手机镜头模组,虚拟现实或增强现实系统,数码相机等也有广阔的应用前景。

本标准针对成像衍射光学元件的设计和加工质量,建立了衍射效率的测量方法,填补了国内外相关测量标准的缺失。该标准的实施将为成像衍射光学元件的加工质量提供客观的评价依据,提高我国核心光学元件的加工质量,促进现有光电仪器的性能升级,也会带动光电产业的发展,具有明显的经济效益和社会效益。

6. 采用国际标准和国外先进标准情况

目前国际上关于成像衍射光学元件衍射效率测量方法,未查到公开发表的国际标准,因此本标准提出的内容具有完全自主知识产权。

7. 与相关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准编制基于编制组多年项目研制的实践总结和对光电设备发展状况的调研分析,与有关的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

8. 重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧意见。

9. 标准性质的建议

建议将本标准作为国家推荐性标准实施。

10. 贯彻标准的要求和措施建议

本标准发布后,可通过对相关用户单位、研制单位进行宣贯和培训,使本标准规定的测量方法得以广泛、有效实施。

11. 废止现行相关标准的建议

无。

12. 其它应予说明的事项

无。