

引用格式: WANG Yidong, WEI Ruyi, XIE Zhengmao, et al. Design and Optimization of Image Slicer in Coherent Dispersive Spectrometer[J]. Acta Photonica Sinica, 2022, 51(9):0922002

王艺东,魏儒义,谢正茂,等.相干色散光谱仪中像切分器的设计与优化[J].光子学报,2022,51(9):0922002

# 相干色散光谱仪中像切分器的设计与优化

王艺东<sup>1,2</sup>,魏儒义<sup>1,2,3,4</sup>,谢正茂<sup>1</sup>,张凯<sup>5</sup>,陈莎莎<sup>1</sup>

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所,西安 710119)

(2 中国科学院大学,北京 100049)

(3 武汉大学 电子信息学院,武汉 430064)

(4 湖北省光谱与成像仪器工程技术研究中心,武汉 430064)

(5 中国科学院南京天文光学技术研究所,南京 210042)

**摘要:**像切分器是天文高透过率光谱仪中的重要光学器件之一,可以有效提高仪器的分辨率和能量透过率,但对其成像缺陷问题的研究较少。本文重点研究了目前广泛应用的 Bowen-Walraven 型和简化型像切分器中存在的切分像离焦和物点重复两类成像缺陷,发现这两种缺陷造成了实际切分像宽大于理论像宽,降低了系统的能量透过率和分辨率。为了降低成像缺陷对系统的影响,本文针对用于系外行星探测的相干色散光谱仪系统,分析了反射腔厚度和入射角与离焦和物点重复两类问题的关系,推导了光学反射腔厚度的通用设计公式。同时针对项目需求,仿真模拟了不同焦比和切分数量下的离焦和物点重复情况,发现在  $F/24$  和  $45^\circ$  入射角条件下,切分像的离焦和物点重复现象较为均衡,是相对理想的选择。该结论为高分辨率光谱仪中像切分器的设计提供了通用设计思路,具有较重要的应用参考价值。

**关键词:**相干色散光谱仪;像切分器;Bowen-Walraven 型;离焦量;透过率

中图分类号:P111.33

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20225109.0922002

## 0 引言

影响天文光谱观测的三大要素是天体特征谱线、波长覆盖范围和光效率,可探知的特征谱线越多,蕴含的有效天体信息越丰富。在探测器只能覆盖有限光谱范围的现实下,通过提高分辨率来增加可分辨的特征谱线数量是唯一有效的方法。对于大口径天文光学望远镜而言,像切分器可以通过切分星像的方式实现中等通光口径获得高光谱分辨率,通过切分像重排的方式使所有星光均转化为有效光谱。世界上大部分 8~10 m 级望远镜的高分辨率光谱仪都配备了高分辨率像切分器以获得  $R \geq 100\,000$  的高光谱分辨率来满足科学研究需求,例如 KeckI[10 m]-HIRES<sup>[1]</sup>、VLT[8.2 m]-UVES<sup>[2]</sup>、Subaru[8.2 m]-HDS<sup>[3]</sup>、SALT[9 m]-HRS<sup>[4]</sup>等。总的来说,利用像切分器获得高分辨率观测能力,将有助于我国在系外行星探测、星系结构形成探索等方面的研究。

本文所基于的相干色散光谱仪<sup>[5]</sup>利用视向速度法来探测系外行星,其视向速度探测精度预计将达到亚 m/s,探测目标为 K/M 型矮星。其结构采用 Sagnac 共光路干涉仪和光栅相结合的方式,使得由光纤引入的信号光发生干涉。由于 Sagnac 干涉仪对于环境变化的不敏感<sup>[6]</sup>,因此信号光可以稳定、高效地进入后续光谱仪系统中,以获得较高的光谱分辨率,同时具有高光通率、高稳定性、大光程差等特点。像切分器是相干色散光谱仪中的关键元件之一,它可以将圆形像斑切分成几个条形像斑,并使这些条形像斑重新排列在一

基金项目:国家自然科学基金(No. 11727806)

第一作者:王艺东(1997—),男,硕士研究生,主要研究方向为天文光谱技术。Email: wangyidong@opt.cn

导师(通讯作者):魏儒义(1982—),男,教授,博士,主要研究方向为光谱成像技术。Email: ruyiwei@whu.edu.cn

收稿日期:2022-03-21;录用日期:2022-04-25

<http://www.photon.ac.cn>

条直线上,所有像斑都能通过光谱仪狭缝,在不损失光通量和光谱信息的条件下可以极大地降低狭缝宽度,帮助仪器获得更高的光谱分辨率<sup>[7]</sup>和更加精细的干涉信号。

自从1938年BOWEN I S提出像切分器的概念以来,按照原理共产生了四种像切分器类型: Bowen型<sup>[8]</sup>、Bowen-Walraven型<sup>[9]</sup>、Richardson型<sup>[10]</sup>以及光纤型像切分器。浙江大学为大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜(Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopy Telescope, LAMOST)提出的光纤光谱仪设计方案<sup>[11]</sup>中就用到了光纤型像切分器来提高分辨率。但是, Richardson型和光纤型都存在能量透过率低<sup>[12]</sup>的问题。由于利用了全反射, Bowen-Walraven型具有四种设计方案中最高的能量透过率,已成为目前应用最为广泛的像切分器类型,例如日本的Subaru[8.2 m]-HDS<sup>[3]</sup>、欧洲南方天文台的光纤馈电扩展光谱仪(Fiber-fed Extended Range Optical Spectrograph, FEROS)<sup>[13]</sup>等。Bowen-Walraven型像切分器具有能量透过率高、结构简单、系统稳定等特点。但是,这种结构中有一片较薄的平行平板,加工难度较高,极大增加了加工成本。因此,2012年GERARDO A基于Bowen-Walraven型像切分器原理,提出了一种简化型像切分器<sup>[14]</sup>,该简化型设计采用平面反射镜来替代全反射光学平面,使结构当中不再需要平行平板,降低了加工难度。2016年TALA M<sup>[15]</sup>用简化型设计方案为光纤双阶梯光谱仪(Fibre Dual Echelle Optical Spectrograph, FIDEOS)设计了原型机。

本文主要依据Bowen-Walraven型和简化型像切分器的设计,分析了其主要的成像缺陷,指出了这两种设计方法中存在切分像离焦和物点重复的问题,并通过建模计算,得到了入射角、光学反射腔厚度等光学参数与这两类缺陷的关系式,推导了设计过程中光学反射腔的通用公式。最后,通过设置不同的相干色散光谱仪系统 $F$ 数,对比了两种方法的设计效果。仿真结果表明,在 $F/24$ 和 $45^\circ$ 入射角条件下,切分像的离焦和物点重复现象较为均衡,是相对理想的参数选择,所得结论可为常规像切分器设计提供参考依据。

## 1 相干色散光谱探测仪原理

相干色散光谱技术是将干涉仪与中低分辨率光谱仪相结合的技术,其测量的是恒星光谱谱线的干涉条纹经过多普勒频移前后的相位变化,并进而推算得出恒星的视向速度变化和行星的质量。由于相位差相对于波长偏移量具有一定的放大系数,因此当光谱分辨率相同时,相对于传统的阶梯光栅方法,相干色散技术的视向速度探测精度可以得到大幅提高。

本文基于的相干色散光谱仪系统原理如图1,按功能可将其分为准直镜L、Sagnac干涉仪、成像镜组CL1、像切分器IS、中继镜组CL2、狭缝S、色散光栅G和CCD等部分, S'为信号光。其中,系统的工作波段为660~900 nm,中心波长的系统透过率约为0.4,光谱分辨率为0.03 nm,视向速度探测精度将达到亚 m/s。为了满足能量利用率和光谱分辨率的要求,系统需要通过像切分器来实 CCD的靶面复用和数值孔径的合理匹

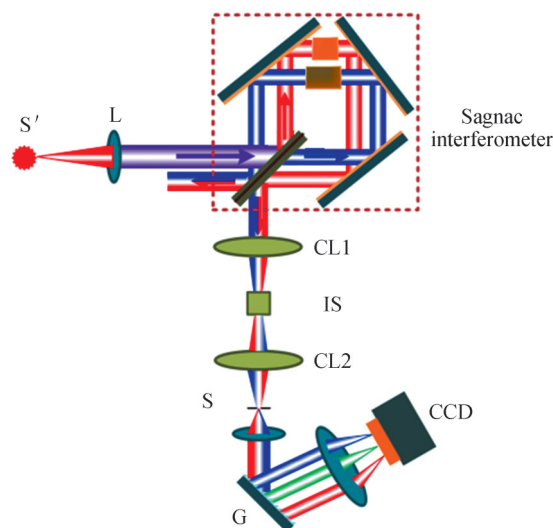


图1 相干色散光谱仪系统原理

Fig.1 A schematic of the coherent-dispersion spectrometer

配。因此,设计合理的切分像数量和成像镜组的 $F$ 数,达到良好的切分效果,对系统性能的提高具有重要意义。

像切分器的原理如图2。

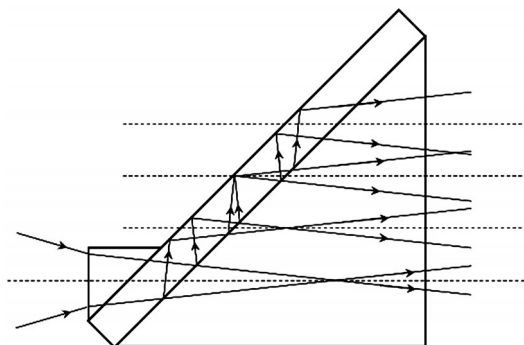


图2 Bowen-Walraven型像切分器原理  
Fig.2 Schematic of Bowen-Walraven image slicer

在本系统中,信号光经过准直后经由干涉仪到达成像镜组,信号光纤芯直径为 $105\ \mu\text{m}$ ,准直镜 $F$ 数为4.17,焦距 $f_1$ 为102.16 mm,经过匹配后即可确定像切分器前置光学系统的像斑直径大小和 $F$ 数。同时由于本系统透过率要求较高,因此将重点分析Bowen-Walraven型和简化型像切分器的成像效果。

## 2 Bowen-Walraven型和简化型像切分器成像缺陷分析

### 2.1 离焦分析

Bowen-Walraven型像切分器和简化型的基本设计思路都是光束以慢焦比入射像切分器,前置光学系统成像在光学切分刀口附近,分离出第一个切分像,其余未切分光束在两个光学面组成的反射腔内进行偶数次反射,再次到达光学切分刀口,分离出另一个切分像,如此反复完成成像切分工作。因为所有切分像都是在同一个光学切分刀口产生的,因此这些切分像必然沿光学切分刀口的棱边顺序排列。但是,由于切分像斑是圆形光斑反复入射到光学刀口上产生的,导致不同的像斑到达光学棱边时的光程不同,使得在光轴方向上,不同切分像的成像位置不同,因此出现了离焦现象,造成切分像斑模糊。离焦是Bowen-Walraven型像切分器和简化型像切分器最主要的缺陷,离焦程度会随着切分数量的增多而累积,这也是限制此类型像切分器切分数量增多,阻碍光谱分辨率进一步提高的主要原因。

对这两类像切分器设计原理进行建模,如图3。

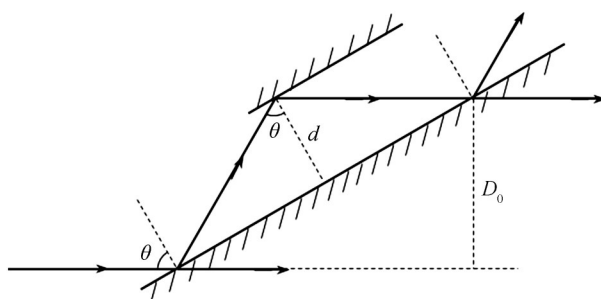


图3 Bowen-Walraven型和简化型像切分器光学模型  
Fig.3 Bowen-Walraven and simplified image slicer optical model

图中, $\theta$ 为光束入射到反射面上的入射角, $D_0$ 为像切分器的通光口径, $d$ 为两光学面之间的距离。对于Bowen-Walraven型, $d$ 为平行平板的厚度, $d$ 越小,加工难度越大,因此需要谨慎选择 $d$ 的大小;对于简易型像切分器, $d$ 即是两反射镜之间的距离。根据上述模型,可以推导出相邻两切分像之间的离焦量表达式为

$$\Delta l = 2d \cos \theta \quad (1)$$

式中, $\Delta l$ 是相邻两切分像之间的离焦量,容易看出离焦量随着入射角的增大而降低,随着光学反射腔厚度的

增大而增大。因此为减少离焦量,可以适当增大入射角,同时要尽可能选择较小的反射腔厚度。但是,入射角的增大会使更多的物点被切分到不同切分像中,使物点重复更为严重,具体分析见2.2节。

## 2.2 物点重复现象分析

理想情况下,像切分器对像斑的切分应当是切分像面,但是由于像斑是经过一个光学刀口多次切分后产生的,因此无法在前置光学系统焦面上一次性完成所有切分。使得在部分切分过程中,各个物点所成的像依然是弥散斑,对此弥散斑进行切分,会使同一物点的部分像被切分到不同的部分,从而出现物点重复现象,其现象示意如图4。图中是Bowen-Walraven型像切分器的仿真示意,框中部分即为重复的物点。

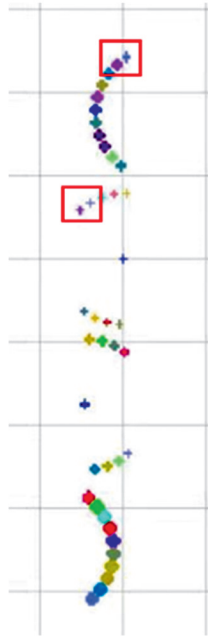


图4 物点重复现象示意

Fig.4 Schematic of the phenomenon of object point repetition

这种物点重复现象会造成切分像斑的宽度加宽,使实际像宽远大于理论像斑宽度,造成较高的能量损失。弥散斑大小与到达光学刀口时的光程大小有着直接关系,因此列光程公式为

$$l = D_0 \times \frac{1}{\sin \theta \cos \theta} \quad (2)$$

式中, $l$ 是产生一个切分像在像切分器内部所走过的光程, $D_0$ 是通光口径, $\theta$ 是入射角。其关系如图5所示。由图可知,当入射角为 $45^\circ$ 时,单位像斑直径对应的光程最小,此时像斑弥散程度最小,因此若在保证系统透过率,则应使系统入射角在 $45^\circ$ 左右。

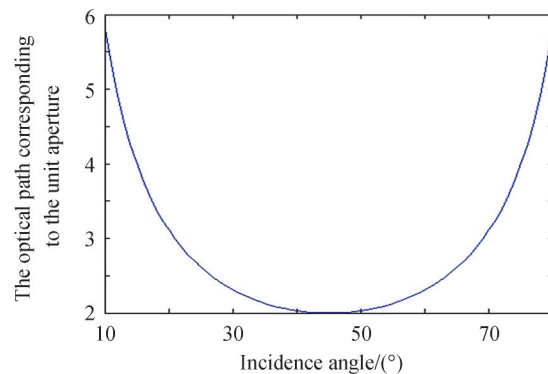


图5 单位通光口径对应的光程大小

Fig.5 The optical path corresponding to unit clear aperture



综上,系统的离焦量和物点重复问题都会对切分效果产生较大的影响,其中离焦主要会使切分像斑模糊,若要降低离焦,则需尽量增大系统入射角。而物点重复则会造成较大的能量损失,若要保证能量透过率,则应使入射角控制在 $45^\circ$ 附近。此外,由于Bowen-Walraven型采用全反射,因此还需使入射角满足全反射条件。

### 3 不同 $F$ 数条件下两种设计方法效果比较

#### 3.1 光学参数确定

像切分器中涉及到的主要光学参数有入射角、光学刀口的角度、光学反射腔的厚度等。

##### 1) 入射角的确定

由2.2节和2.3节分析,考虑到相干色散光谱仪对透过率要求较高,因此入射角选用 $45^\circ$ 。

##### 2) 光学刀口的角度

参考文献[14]中提到,像切分器中光学刀口的角度计算公式为

$$\varphi = \arccos\left(\frac{1}{n}\right) \quad (3)$$

式中, $\varphi$ 是光学刀口角度, $n$ 是切分像的数量。按式(3)计算,则可得到不同切分数量下的光学刀口的角度。当切分数量分别为2、3、4、5时,理论光学刀口角度依次为 $60^\circ$ 、 $70.49^\circ$ 、 $75.52^\circ$ 、 $78.46^\circ$ 。

##### 3) 光学反射腔厚度

根据式(1)和式(2),在入射角确定的情况下,离焦和像斑弥散的大小分别与反射腔厚度 $d$ 和通光口径 $D_0$ 成正比,因此如何确定最小的 $d$ 和 $D_0$ 就尤为重要。将前置光学系统焦面放置在像切分器光路中间位置时,根据焦比公式,得到弥散斑直径大小为

$$\Delta D = \frac{d(n-1)}{F \cos \theta} \quad (4)$$

式中, $\Delta D$ 为像切分器入口处弥散斑直径, $F$ 为系统 $F$ 数,再根据图3可以推导出

$$D_0 = 2d \sin \theta \quad (5)$$

系统的最小通光口径为

$$D_0 = \Delta D + D \quad (6)$$

结合式(4)~(6)可得

$$d = \frac{DF \cos \theta}{F \sin 2\theta - (n-1)} \quad (7)$$

式中, $d$ 为两光学面之间的距离, $D$ 为前置光学系统的像斑直径, $\theta$ 为光束入射到反射面上的入射角。根据式(5)和式(7),可以直接计算出任意系统条件下,离焦和物点重复问题均为最小时的光学反射腔厚度和最小通光口径。

#### 3.2 设计效果

在上述计算公式中,还需要确定系统的 $F$ 数和切分数量 $n$ 。结合相干色散光谱仪的系统情况,考虑到Bowen-Walraven型和简化型均为慢焦比系统,本文在入射角为 $45^\circ$ 的条件下分别选择了像切分器前置成像镜组 $F$ 数为12、18、24、30四种情况进行仿真。此时像斑的直径分别为315、473、630、788  $\mu\text{m}$ ,对应的切分像数量依次为2个、3个、4个、5个,切分像斑的宽度均为158  $\mu\text{m}$ 左右,经过后续光学系统后能够满足光谱仪0.03 nm的光谱分辨率要求。切分数量超过5个时,离焦现象会急剧增大,无法成清晰像,因此未做考虑。每种情况使用两种设计方法分别设计,通过仿真实验来对比选择合适的成像镜组 $F$ 数。

仿真通过33个物点来模拟星像,其中1个为中心物点,32个为边缘物点,并设置理想的准直和成像镜组来验证像切分器效果。经过理论计算和仿真模拟,结果如图6和图7,仿真数据记录如表1和表2所示。

其中,两种设计的光学材料均采用H-K9L。离焦量是指相邻两切分像之间的离焦量大小,弥散斑直径是指前置光学系统的焦面位于像切分器的中心位置时,焦面前后相邻两切分像的弥散斑直径。

对上述仿真结果进行分析,可以得出:

1)随着 $F$ 数的增大和切分数量的增加,离焦量显著增加,离焦现象变得更为明显。

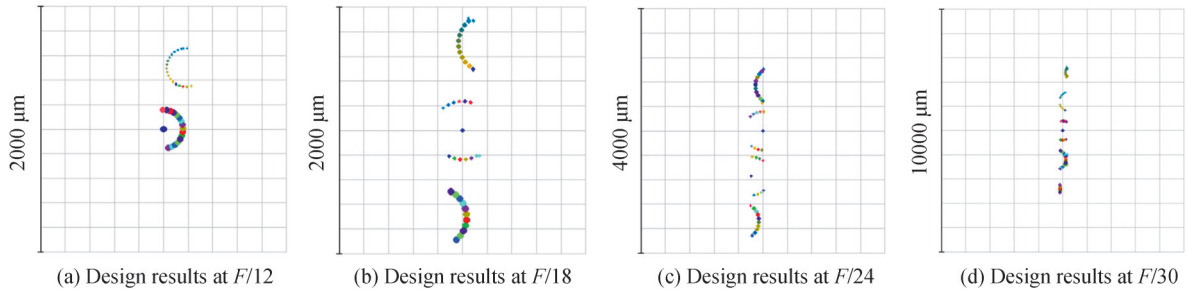


图6 不同 $F$ 数条件下Bowen-Walraven型像切分器切分效果图  
Fig.6 The segmentation effect of Bowen-Walraven image slicer under different  $F$  numbers

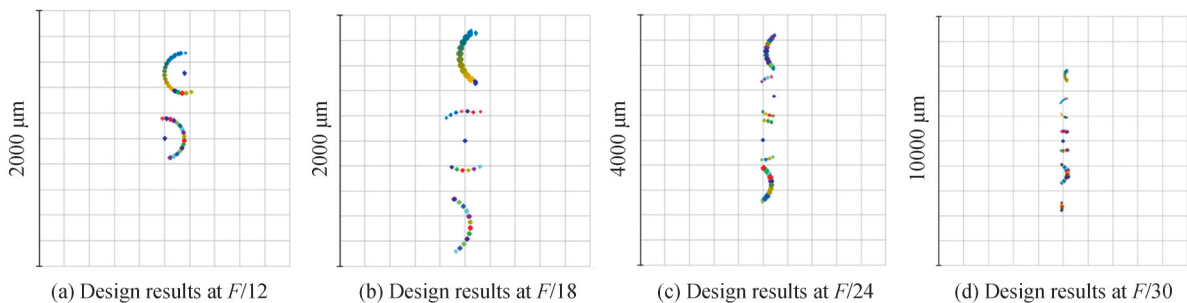


图7 不同 $F$ 数条件下简化型像切分器切分效果图  
Fig.7 The segmentation effect of simplified image slicer under different  $F$  numbers

表1 Bowen-Walraven型仿真数据  
Table 1 Bowen-Walraven type simulation data

	$F/12$	$F/18$	$F/24$	$F/30$
Defocus amount/mm	0.52	0.81	1.08	1.37
The ratio of diffuse spot diameter to image spot diameter	0.09	0.123	0.047	0.075

表2 简化型仿真数据  
Table 2 Simplified type simulation data

	$F/12$	$F/18$	$F/24$	$F/30$
Defocus amount/mm	0.34	0.53	0.71	0.9
The ratio of diffuse spot diameter to image spot diameter	0.09	0.123	0.047	0.075

2)在所有仿真结果中均出现了物点重复现象,这是由设计原理决定的,难以避免。

3)两种设计方案的设计结果相差较小,且由于Bowen-Walraven型设计中光路是通过玻璃介质传播,因此离焦量要大于简化型;但是光路在玻璃中传播时的焦比更慢,因此两种方法的弥散斑直径与像斑直径之比相同。

根据上述数据,同时考虑到相干色散光谱仪系统的情况与需求,认为在 $F/24$ 条件下对星像进行4切分时各项成像缺陷较为均衡,能量损失较少,是相对合适的方案。此外,由于简化型的离焦量更小,同时仅需加工平面反射镜,成本更低,因此可以采用简化型设计方案。

## 4 结论

本文根据相干色散光谱仪系统的要求,基于Bowen-Walraven型和简化型像切分器原理,分析了该设计思路的两种主要缺陷——离焦和物点重复现象的成因和影响,并分析了反射腔厚度、入射角和通光口径与离焦和物点重复的关系,推导了直接计算光学反射腔厚度和最小通光口径的公式。此外,还采用了两种设计方法,在不同输入条件下进行效果判断,发现在大像斑直径、切分数量多的情况下结果会出现较为明显的离焦和物点重复现象,验证了理论分析结果。综合分析切分质量,得出采用 $F/24$ 作为像切分器前置光学系

统的输出  $F$  数,并采用简化型设计方案较为合理的结论。本文工作为高分辨率光谱仪中像切分器的设计提供了通用设计思路,对于优化像切分器设计流程具有启发意义,同时也可为其他天文高透过率像切分器的设计提供参考和借鉴。

### 参考文献

- [1] VOGT S, ALLEN S, BIGELOW B, et al. HIRES: the high-resolution echelle spectrometer on the Keck 10-m Telescope [C]. SPIE Instrumentation in Astronomy VIII, 1994.
- [2] HANS D, SANDRO D, ANDREAS K, et al. Design, construction, and performance of UVES, the echelle spectrograph for the UT2 Kueyen telescope at the ESO paranal observatory[C]. SPIE, 2000.
- [3] NOGUCHI K, ANDO H, IZUMIURA H, et al. High dispersion spectrograph (HDS) for the Subaru telescope [C]. Astronomical Telescopes & Instrumentation. International Society for Optics and Photonics, 1998.
- [4] DAVID B, DARRAGH O, NICHOLAS S, et al. Instrumentation options for the Southern African Large Telescope (SALT)[C]. SPIE, 2000.
- [5] WEI R, CHEN S, HU B, et al. Design and experimental test of a common-path coherent-dispersion spectrometer for exoplanet searches[J]. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 2020, 132:015003.
- [6] ZHAO Baochang, YANG Jianfeng, XUE Bin, et al. Design of solid sagnac interferometer[J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(3):474-478.  
赵葆常, 杨建峰, 薛彬, 等. 实体 Sagnac 干涉仪的设计[J]. 光子学报, 2009, 38(3):474-478.
- [7] WANG Xingquan, FENG Kecheng, ZHU Guoxian, et al. Calculating equations for resolution and wavelength range of grating spectrograph[J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(5):1167-1170.  
王兴权, 冯克成, 朱国贤, 等. 光栅光谱仪分辨率及波长范围计算公式的研究[J]. 光子学报, 2009, 38(5):1167-1170.
- [8] BOWEN I S. The image-slicer, a device for reducing loss of light at slit of stellar spectrograph[J]. Astrophys, 1938, 88: 113-124.
- [9] WALRAVEN T, WALRAVEW J H. Some features of the leiden radial velocity instrument[C]. Auxiliary Instrumentation for large Telescopes, 1972.
- [10] RICHARDSON E. An image slicer for spectrographs[J]. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 1966, 78: 436.
- [11] YIN Hao, XU Xiangdong, WU Hong. High resolution spectrometer design for the lamost telescope[J]. Acta Photonica Sinica, 1999, 28(4):326-330.  
殷浩, 徐向东, 吴红. 一种用于大天区面积多目标天文望远镜的高分辨率光纤光谱仪设计方案[J]. 光子学报, 1999, 28(4):326-330.
- [12] LI Libing, ZHU Yongtian, HU Zhongwen. Analysis of the characteristics of optical-fiber image slicers[J]. Astronomical Research & Technology, 2009, 6(3):220-227.  
李利兵, 朱永田, 胡中文. 光纤像切分器特性分析[J]. 天文研究与技术, 2009, 6(3):220-227.
- [13] ANDREAS K, LUCA P. FEROS: The new fiber-linked echelle spectrograph for the ESO 1.52m telescope [C]. SPIE, 1998.
- [14] GERARDO A, CARLOS G, THOMAS B. High efficiency inexpensive 2-slices image slicers[C]. SPIE, 2012.
- [15] TALA M, VANZI L, GERARDO A, et al. Two simple image slicers for high resolution spectroscopy[J]. Experimental Astronomy, 2017, 43(2):167-176.

## Design and Optimization of Image Slicer in Coherent Dispersive Spectrometer

WANG Yidong<sup>1,2</sup>, WEI Ruyi<sup>1,2,3,4</sup>, XIE Zhengmao<sup>1</sup>, ZHANG Kai<sup>5</sup>, CHEN Shasha<sup>1</sup>

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

(2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

(3 *School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430064, China*)

(4 *Spectroscopy and Imaging Instrument Engineering Technology Research Center of Hubei Province, Wuhan 430064, China*)

(5 *Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology of Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China*)

**Abstract:** Image slicer is an important optical device in astronomical observation spectrometer. It can effectively improve the resolution and energy transmittance of the instrument. The image slicer can divide the circular image spot into strips and arrange the strips in a straight line, so that all the image spots can

pass through the spectrometer slit. Image slicers are commonly used in astronomical observation spectrometers to help instruments achieve high spectral resolution with medium apertures. Image slicers can be divided into 4 categories according to their working principles. Among them, Bowen-Walraven type is the most widely used image slicer type. Coherent dispersive spectroscopy is a technique that combines an interferometer and an intermediate resolution spectrometer. It measures the phase change of the interference fringes of the stellar spectral lines after the Doppler frequency shift, and calculates the radial velocity change of the star and the mass of the planet. Since the phase difference has a certain amplification factor relative to the wavelength offset, when the spectral resolution is the same, the radial velocity detection accuracy of the coherent dispersion technique can be greatly improved compared with the traditional echelle grating method. This paper is based on the coherent dispersive spectrometer used to detect exoplanets by the radial velocity method. The radial velocity detection accuracy is expected to be less than 1 m/s, and the detection target is K/M dwarf stars. The structure of the coherent dispersion spectrometer consists of collimating mirror, Sagnac interferometer, imaging mirror group, image slicer, relay mirror group, slit, dispersion grating and CCD. The working spectral range of the spectrometer is 660~900 nm, the system transmittance at the center wavelength is about 0.4, and the spectral resolution is 0.03 nm. In order to meet the requirements of energy utilization and spectral resolution, the system needs to use the image slicer to realize the target surface multiplexing of the CCD and the reasonable matching of the numerical aperture. Therefore, setting a reasonable number of segmented images and the  $F$  number of the imaging lens group to achieve a good segmentation effect is of great significance to the improvement of system performance. In order to reduce the influence of imaging defects on the system, two design schemes of the image slicer are modeled and calculated in this paper. This paper also studies the relationship between the thickness of the reflective cavity and the incident angle and the defocusing and object point repetition, and deduces the general design formula of the thickness of the optical reflective cavity, which provides an important reference for the design of the image slicer. In addition, for the coherent dispersive spectrometer system used for exoplanet detection, this paper simulates the defocus and object point repetition under different  $F$  numbers and segmentation numbers. By analyzing the simulation results, the following conclusions are obtained: 1) With the increase of the  $F$  number and the number of divisions, the defocus amount increases significantly, and the defocus phenomenon becomes more obvious. 2) The phenomenon of object point repetition appears in all simulation results, which is determined by the design principle and cannot be avoided. 3) The design results of the two design schemes are relatively similar. Since the optical path in the Bowen-Walraven type design is propagated through the glass medium, the defocus amount is larger than that of the simplified type. The ratio of the diffuse spot diameter to the image spot diameter is the same for both methods. Based on the comprehensive simulation effect, and considering the requirements of the coherent dispersion spectrometer system, it can be considered that the imaging defects are relatively balanced and the energy loss is less when the star image is divided into 4 under the condition of  $F/24$ , which is a relatively suitable solution. In addition, since the defocus amount of the simplified type is smaller, and only the flat mirror needs to be processed, the cost is lower, so the simplified design scheme can be adopted. The work of this paper plays an important role in achieving the expected performance of the instrument, and provides a reference and application reference for other high-resolution spectrometers to determine system parameters. At the same time, the work of this paper provides a general design idea for Bowen-Walraven and simplified image slicer design, which is instructive for optimizing the design process of image slicer.

**Key words:** Coherent dispersion spectrometer; Image slicer; Bowen-Walraven image slicer; Defocus amount; Transmittance

**OCIS Codes:** 220.2740; 220.4298; 300.6190; 300.6320