

讲座

# 光学实测天文仪器中的新动向

蒋世仰

(中国科学院北京天文台)

## 提 要

以美国帕洛马山天文台Oke博士在北京师范大学的讲学内容为基础,补充以近期国内外期刊上的新内容,按作者自己的判断综述了大型光学望远镜和摄谱仪的设计思想以及高效率低噪声光子检测器件的最新情况。

## 一、引 言

二十世纪后半期,无疑是人类科技发展史中的一个黄金时代。天体物理学的发展尤为突出,从战争手段中解密出来的一系列新技术带来了一系列新的发现,从而大大地改变了人类对宇宙的认识。新宇宙观赋予人们更多的好奇心,促使人们发展并利用更新的技术,以求用最少的钱获取尽可能多的自然信息。1984年夏季,美国帕洛马山天文台Oke博士应北京师范大学邀请到我国访问讲学。他的一系列报告展示了天文学在光学波段正在取得和即将取得的一些重大技术发展,很值得国内的同行关注和学习。下面试以他的报告为基础,综述一下这方面的各种动向。

## 二、收集更多的光子——下一代望远镜

天体大多是十分暗弱的,尤其是类星体等遥远的河外天体。例如一颗20等的类星体,在3,000—9,000埃波段内,光子率仅0.03—0.1光子每秒每平方米每埃。对于更暗的天体,能收集到的光子数就更少了。

因此,回顾一下近代天体物理学的发展,可以看出,在1950年以前,它主要是与望远镜的口径加大而同步前进的:从里克天文台的36英寸,经威尔逊山的60英寸、100英寸到帕洛马山的五米,半个多世纪中聚光面积增加了将近31倍。到此,人们意识到加大口径的代价太昂贵了,而提高检测器的量子效率还有很大的潜力,花的钱或许要少些。的确,光电阴极的出现把检测量子效率从旧式底片的0.1%—0.5%提高到10%,25%,进而达30%,远超过上述的31倍。七十年代中期,由于固体器件的出现,又使检测量子效率提高到70%,这样剩下的

潜力就很有有限了。如果不想就此止步,就必须回过头来进一步加大望远镜的口径。然而传统的望远镜制造技术告诉我们:望远镜的造价 $M$ 与口径 $D$ 的2.5次方到3次方成正比。人们很难申请到足够的资金去建造一架口径10米的传统式望远镜,所以开始探寻降低造价的新工艺,以便研制出价格低廉的新型大口径望远镜。这就是下一代望远镜。

### 1. 多镜面望远镜(MMT)<sup>[1]</sup>

通向下一代望远镜的第一步是霍普金斯山上的多镜面望远镜,即MMT。它是用6个口径1.8米的独立镜筒,安装在同一架地平式基架上。每个镜筒均添加两面平面反射镜,以便把收集到的同一不大视场内全部天体的光能量会聚到同一焦面上。这样构成了一架有效口径为4.5米的望远镜,其镜面厚度只有口径1.8米的望远镜的镜面的厚度,镜筒长度也只是1.8米望远镜的长度。因而大大减轻了镜筒重量,观测室的尺寸也小得多。加上采用地平式基架,不仅大大减小了重力的影响,还使得观测室可由通常费工费钱的圆屋顶改成易造省钱的方屋顶。因此,MMT的造价仅为传统式4.5米望远镜造价的三分之一。唯一的缺点是视场较小。

### 2. 建造望远镜的新技术

在MMT之后,人们提出了新技术望远镜的概念。其主要内容是采用轻镜面、小焦比、地平式支架和方屋顶。

#### (1) 轻镜面技术

采用轻镜面和小焦比的主要目的在于减轻镜筒的重量和降低观测室的造价。

制造轻镜面的技术有以下几种:

(i) 美国Steward天文台的Angel等发展了一种块状料熔铸蜂窝成型轻镜面技术<sup>[2]</sup>。如图1所示,在外壳为钢板、内有绝热耐火砖底座并铺有碳化硅底板和四周充以绝热陶瓷纤维的炉体内,建造了许多高密度碎性水泥方形塔状高脚杯。杯中中心填充以锆砂。各高脚杯间留有2.5厘米的空隙。各高脚杯之上表面铸成近似于一个抛物面形。炉子造好后,把敲成了碎块的硼玻璃块堆放在高脚杯上,然后通过炉体内上、下及四周的电热丝加热至硼玻璃块熔化,玻璃液沿各高脚杯间之间隙流下填满一切空隙。然后使炉体按一定速度旋转并同时降温退火,这样,间隙处的玻璃凝固形成为竖直筋及带小孔的底部,上面板之上、下表面均呈抛物面形。在这个过程中,由

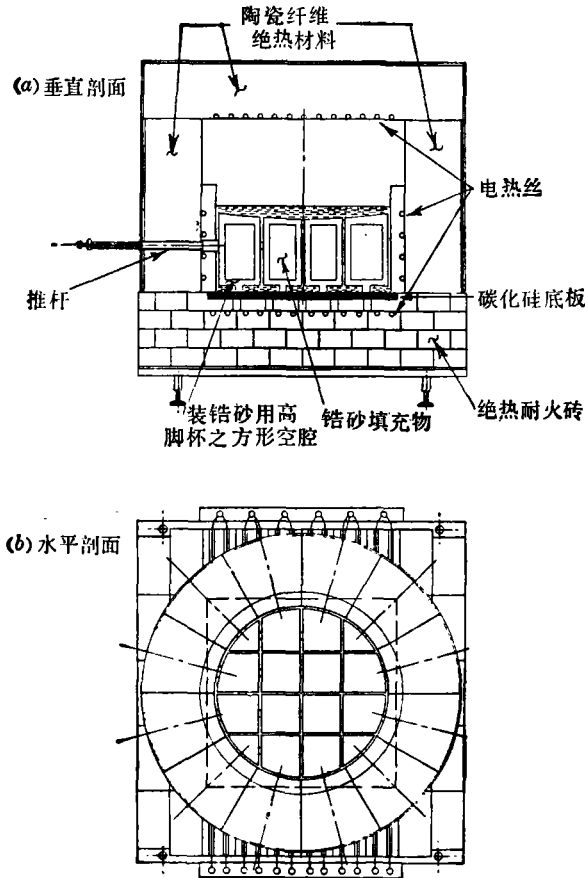


图1. 一次熔铸成型蜂窝结构镜面用炉的剖面图。

于高脚杯的膨胀系数大于玻璃和其内容物锆砂的, 因而收缩得太快而被锆砂挤得粉碎, 从而这些粉碎物可与锆砂一起自杯脚处掏出。他们先铸了一块直径60厘米的这种镜坯, 下一步是铸1.5米的, 再铸3.5米的, 最后要铸出直径7.5米的镜坯来。估计这块大镜面的重量将与帕洛马山的5米主镜相近, 但强度还要好些。

(ii) 另一种轻镜面是使用厚径比小于1/10的薄板型、弯月形及削边(tapered)形镜面, 这时的主要问题是设计合理的镜面支承系统。程景全讨论了这类镜面的支承问题<sup>[3]</sup>。只要加多支承点的环数及总点数, 即使厚径比小到得克萨斯计划中的7.6米镜拟采用的 $1/76$ <sup>[4]</sup>, 由重力形变引起的面形误差也可作到小于可见光波长的二十分之一。

(iii) 第三种减轻镜面重量的办法是使用由许多六边形小镜面拼成一个大镜面的方法。美国加州理工学院计划中的10米望远镜就是采用这种办法<sup>[5]</sup>。他们用36块外接圆直径1.8米、厚仅7.5厘米的六边形小镜面拼组成一个直径10米的大镜面。每一块小镜面要采用特殊的加压磨制法, 使之成为预期的离轴抛物面形。这种加压磨制法是在基特峰天文台发展起来的。镜坯被放在磨镜机上, 在按计算求出的应力分布下进行研磨, 并按常规面形(比如球面)作检验, 合格后卸去压力, 镜面就回复成预期的抛物面中预定位置处的离轴六边形部分应有的面形。当各六边形均研磨好后, 剩下的问题是拼组和调整。这是借助每一六边形背后的三个可调支承点和彼此间的一些接触点来完成的。触点上安有电容检测器去检测彼此间的拼接误差, 这些电容通过电路及接口输入电子计算机, 计算机按计算结果发出信号给三个可调支承点进行调节校正, 直到拼接误差消失为止。

(iv) 还可以使用“橡皮镜面”, 用主动光学的方法来进行调节改正, 以获得克服重力形变及大气湍流干扰的影响而获得衍射极限分辨率的光学系统。不过这种系统距实用化尚有相当的距离<sup>[6]</sup>。

(v) 欧州南方台及日本均在研究金属镜面的可行性。采用金属镜面不仅可降低造价和减轻重量, 还由于金属的高导热率, 可用循环水冷却镜面, 从而改善观测室内的视影。如果实验证明它具有优良的抗老化特性, 那么它就会成为主动光学系统中的理想材料。

### (2) 小焦比

减轻望远镜重量的另一个要点是采用小主焦比以缩短镜筒。选择小焦比的另一原因是为了视影圆面能更好地与检测器像素尺度匹配。计划中的大望远镜几乎都采用小于2.5的主焦比。Meinel甚至提出选用焦比为1.5<sup>[7]</sup>。小焦比带来的主要问题是镜面的磨制与检验较为困难; 其次是难于设计大视场改正镜系统。Ball-Becker系统可以获得较好的像质, 但中心挡光损失太大了<sup>[8]</sup>。

### (3) 地平式机架<sup>[9]</sup>

为了补偿地球自转引起的天体周日视运动, 地平式机架与传统的赤道仪相比, 必须同时绕两根轴作非匀速运动。在电子计算机十分普及并变得十分可靠的今天, 这种功能是不难实现的。唯一的缺点是天顶附近有一不大的盲区。带来的好处是避免了重力影响的非对称性, 从而可大大减轻望远镜的总重量, 并可用造价低廉的方屋顶代替圆顶。由于附属仪器与方屋顶同时转动, 第二卡焦相对于方屋顶固定不动, 故可省掉观测梯而把观测平台设置在方屋顶上。因此下一代望远镜拟采用地平式机架和方屋顶。

### 3. 化整为零——各种望远镜阵列<sup>[10]</sup>

为了增加聚光能力而加大望远镜口径,从5米级加大到25米级,为了能保持住相同的焦比和视场,像面尺度和星像的线直径均将增大为5倍。因此,同样大小的检测器能覆盖的视场面积被减小成二十五分之一。为了获得同样的光谱纯度而又保持住同样的入缝角宽度,摄谱仪的线尺度必须增大五倍,因而带来了巨大的困难。一般来说,望远镜-仪器系统的总效率反倒会降低。因此,人们讨论了比MMT更化整为零的办法:用多架完全独立的中口径望远镜合成为一架等效聚光面积很大的大口径望远镜,这就是望远镜阵列。

最简单的望远镜阵列是非相干阵。只要把各望远镜焦面上对应点的信号强度叠加为一个总信号,在检测器噪音可以忽略的波段,只要有适当的电子计算机,是不难实现这种信号综合的。这个方案的主要优点是一次性投资较小,可通过重复性批量生产来降低成本,并适合于多方合作;既可单独使用,又可集中使用,因而方便灵活;视场与摄谱仪匹配性均很好。

要想获得高的角分辨率,必须从非相干阵过渡到相干阵。这需要解决相位保持的问题,有一些技术问题还没有解决好。从原理上讲,与射电天文中的干涉仪及综合孔径法并无两样,因而是可以实现的。Hambry Brown及 Labeyrie等正在进行的工作就是朝着这个方向前进的。

### 4. 减小天空背景噪声的影响和减小星像视影直径——选择优良的台址<sup>[11]</sup>

对宽波段工作,望远镜所能观测到的极限星等不仅与望远镜口径有关,还与星像视影直径有关:视影直径减半等效于望远镜口径加倍,反之亦然。对窄波段或光谱工作,视影直径的作用也同样重要;因此选择视影条件良好的台址是十分重要的。目前世界上已知的最好台址是夏威夷的Mauna Kea和La Palma,平均视影直径小于 $1''$ ,有相当多夜晚能达到 $0''.25-0''.5$ <sup>[12], [13]</sup>。因此,就像素和摄谱仪狭缝匹配而言,10米望远镜与帕洛马的5米望远镜一样,所以不成问题。

影响视影的另一个因素是观测室内的热源,设计观测室时一定要考虑尽量减小这种影响。观测室应尽量简单,只供保护仪器并安放必要的附属设备,不要贪大求全;一切热源应置于下风口。因此与传统的高、大、全的小开口强制冷设计相反,出现了两个新趋向:(i)大开口开启式;(ii)分离热源的独立观测室。

## 三、提高望远镜-仪器系统的光效率

为观测暗弱天体,加大望远镜口径固然重要,改进望远镜本身及提高附加分析仪器的光效率也很重要。旧有仪器系统的光效率常低于30%,甚至低于10%,改变这种状况的途径有:

### 1. 减少光学元件的数目

使用主焦点是最省的办法。可惜当焦比较小时除直接成像工作外,很难设置别的附加仪器。第一卡氏焦点是较普遍的选择,在适当的焦比下( $\geq 7$ ),可使用不带准直镜的弱源摄谱仪以获得中等纯度的光谱<sup>[14]</sup>。

### 2. 广泛采用增反膜和减反膜

带保护层的铝膜的反射率介于90—94%,带保护层的银膜在波长 $\lambda \geq 3,900$ 埃时反射率高达99%;与传统的铝膜相比,每一反射面可减少5—14%的光损失。这对于复杂的望远镜-仪

器系统来说,是十分重要的。

对仪器中很难避开的透射元件,除设计时尽量减少空气界面数外,还应加镀增透膜。不过,增透膜的有效波宽较窄,应当慎重选择。

如果把光学波段分割为3,000—5,500埃及5,500—11,000埃两个波段<sup>[15]</sup>,或甚至分割为3,000—4,000、4,000—6,000、6,000—11,000埃三个波段,再对不同波段选镀不同的膜层,效果还要好些。为此,应选用适当的双色滤光片把全波段分割开来。这种双色滤光片的光效率除交界处的几百埃波区外,均可高达85—90%甚至更高<sup>[16]</sup>。这种作法还为我们提供一种同时利用更宽波段的可能性。这种双色滤光片宜加在焦面之前,以限制大气色散的影响<sup>[17]</sup>。

### 3. 尽量减小光路中的挡光体的截面积

对望远镜应尽量使用小副镜,在摄谱仪相机设计中应尽可能选用中心无挡光体的系统,使用超宽光栅在某些情况下是可取的,缺点是会减小可利用的入射狭缝高度<sup>[18]</sup>。

### 4. 大光栅和阶梯光栅是必然的趋势

因为有公式

$$R_p = \frac{\lambda}{D\rho} R_t = \frac{\lambda \cdot mnw}{D\rho} \quad (1)$$

$$F_{cam} = \frac{S}{D\rho} \quad (2)$$

式中 $R_p$ 为实际需要的光谱分辨本领, $R_t$ 为光栅的理论分辨本领, $m$ 为衍射级次, $n$ 为光栅刻线密度, $w$ 为光栅刻面宽度, $F_{cam}$ 为照相机的焦比, $S$ 为等效检测器像素尺度。显然, $D$ 变大时所需选用的光栅的 $R_t = mnw$ 就必须很大。由于 $mn\lambda = \sin \alpha + \sin \beta$ 及 $w = d \sec \alpha$ ,所以必须选用尽可能大的入射角 $\alpha$ ,因而 $w$ 变得很大。若同时选用大的衍射角 $\beta$ ,就意味着使用大定向角的阶梯光栅(当 $n$ 不大时)或激光全息光栅( $n$ 很大)。光栅刻面高度 $d$ 取决于多种因素。由(2)式可知,对大望远镜,摄谱仪照相机的焦比 $F_{cam}$ 必须很小,而 $F_{cam} = \frac{f_{cam}}{d} \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$ 。因此为了获得足够大的优质像场, $d$ 必须尽可能小而 $\beta$ 应尽可能大。另一方面,还要求 $S = \frac{D\rho}{d} f_{cam} \times \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$ ,又要 $d$ 大 $\beta$ 小才好。因此,有两种情况:一种是单个点源高色散宽波段,可使用较小 $d$ 的阶梯光栅;另一种是面源或多天体,中、低色散中波宽工作,应选用 $d$ 较大的机刻或全息平面光栅。

由于实际需要的 $R_p$ 常小于 $R_t$ ,因而可用将小光栅拼组成大光栅的办法来获得大面积光栅<sup>[19]</sup>。当使用超宽光栅时,拼接不仅变成了一维的,还可使用双刻刀或三刻刀法刻制宽光栅<sup>[20]</sup>,也可使用更简单的小块母光栅在一个完整的长条毛坯上复制出宽光栅来。当然各种拼光栅的方法均会引入一些空白损光区,但复制法的损失将易于控制到最小。

### 5. 像切分器的应用带来的好处是允许选用较小的光栅

允许的切条数 $N$ 取决于检测器像素在垂直于色散方向上的尺度 $s$ (对光电器件)或必须的谱线展宽度(对照相底片),因为切分后的缝像高度变成了切分前的 $N$ 倍<sup>[21]</sup>。

### 6. 光导纤维多天体摄谱仪

通常有缝摄谱仪一次只能观测一个天体,只有在观测面光源时才能充分利用整个缝高。

利用星板式多纤维系统<sup>[22]</sup>或活动式多纤维系统<sup>[23]</sup>,把望远镜主焦面内一定视场中的许多天体的光能同时引入地面的一架或多架摄谱仪,可以大大地提高望远镜的利用率。10米长纯石英光导纤维在 $\lambda \geq 4,300$ 埃时,光导率优于84%,显然优于普通卡焦及折轴系统。问题是光导纤维会使出射光束的焦比变小,等效于使星像视影直径变大。对焦比2—3的主焦点,这种变化不会大于10%,因此是可以接受的。

### 7. 星板缩焦器多缝摄谱仪<sup>[24]</sup>

大望远镜的焦面尺寸即使在主焦点也是很大的。为了充分利用光敏面,通常仅有10—20毫米直径(或见方)的高量子效率检测器,最好用缩焦器把等值焦距缩得尽可能短。这时可在望远镜原焦面上放置一块多缝光栏板(星板),只让选定天体的光线通过以减少天空背景的影响。星板后加缩焦器,在缩焦器中的平行光束(或大焦比光束)处插入棱镜光栅(Grism)<sup>[25]</sup>或干涉滤光片,检测器就可记录下星板上诸天体的光谱或单色像。

美国帕洛马山五米望远镜的主焦点河外星系普用仪(prime focus universal extra-galaxy instrument,缩写为PFUEI)正是这样的系统。它使用日本光学工业株式会社生产的焦距135毫米透镜作缩焦器的准直镜,用同一公司生产的焦距50毫米透镜作成像镜,可以把原焦比 $F/3.3$ 缩成 $F/1.2$ 。若透镜的通光口径为66毫米,则可获得 $5'30''$ 直径的无渐晕视场;可用一块10毫米的CCD作检测器。困难在于成像镜的焦比要小到0.75。日本光学工业株式会社的产品的像质约 $1''$ ,只是红外波段的透过率和像质较差。

为了获得较大的视场,可用该五米望远镜卡焦上的四靴(4-shooter)系统。其结构是在卡焦焦面星板之后加一个锥面形四面反射体,把视场分向互相垂直的两条直线上的四个方向,每个方向加一个有限距离施米特卡塞格林照相机-CCD系统,缩焦比等于9,可把卡焦的焦比 $F/15.4$ 缩成 $F/1.7$ ;像质优于 $0''.5$ 。系统中的反射面均镀带保护膜银层的透射元件全加镀减反膜。用TI公司的 $800 \times 800$ 像素CCD作检测器,每个像素相当于 $0''.3$ 。由于相机前焦比大到 $F/15.4$ ,故可直接加入窄波段干涉滤光片及棱镜光栅,光谱纯度可达到 $\Delta\lambda = \frac{3}{16F^2}\lambda = \frac{\lambda}{1,265} \approx 4-8$ 埃。

每一靴的视场约 $240''$ ,若照相机改正板离望远镜卡焦焦面1米,通光口径应为155毫米,而相机的焦距仅约124毫米,故焦比仅0.8左右。

## 四、高检测量子效率低噪声检测器

检测器的主要特性有:检测量子效率、读出噪声、线性及其稳定度、动态范围和几何尺寸及稳定性等。

本世纪初叶,主要使用照相底片。它的缺点是低量子效率(0.1%)、高背景噪声、非线性响应、小动态范围(约两个量级);优点是具有非常大的检测面积和多达 $10^8$ 个可用像素。第二次世界大战后出现了光电倍增管:蓝敏的RCA1P21在波长3,000到6,000埃间的量子效率高到10%,可惜只有一个像素。到了六十年代,出现了各种低噪声的像增强器,阴极面尺寸一般约25—40毫米,磁聚焦管有大到100毫米的,量子效率约10%—25%,敏感波段可延伸到9,000

埃。由于仍需用照相底片记录,故仍是非线性的,且动态范围也不大。虽不能提高极限星等,但可以缩短露光时间,因而对暗星的中、高分辨率光谱工作起了相当大的推进作用。

电子照相机具有光电阴极的量子效率和强电磁场加速增强作用,还克服了普通照相术和像增强器照相术中的非线性及小动态范围等弱点,并可望获得 $10^8$ 个像素。可惜成本高昂,体积庞大,使用不便,发展和普及大受限制。

早在六十年代就有人试图把各种电视系统引到天文仪器中来,但直到七十年代中期,才有少数系统变得较成熟。其中最著名的是 Boksenberg 的 IPCS 系统<sup>[26]</sup>。它由三级像增强器经光学系统与一只电视摄像管耦合,阴极的峰值量子效率约 20%。该系统具有计数单个光电子事件的能力,并在软件中设置了专门求感光点重心的子程序,使分辨率远优于一般硅靶增强系统的 50 线对/毫米(总线数 2,000 条以上)。这个系统至今仍是世界上少有的几套高效率弱信号检测器之一,它为类星体吸收线光谱的研究和星系光谱的研究作出了巨大的贡献。

硅二极管阵(Reticon)具有高达 0.7 的量子效率和极宽的响应波段(3,000—10,000 埃),可惜读出噪声太大(550—1,000),使得它只适宜于观测较亮的源。目前像素最多的为 RL4096,有 4,096 个独立像素。像素高 508 微米,宽 15 微米,适合于较亮天体的高色散光谱工作<sup>[27]</sup>。

增强式硅二极管阵又名数字像管(Digicon)克服了读出噪声问题,量子效率也相应降低到普通光电阴极水平,阴极尺寸和总像素数也很难作大<sup>[28]</sup>。

后起的微通道板(MCP)器件的量子效率和敏感波段取决于光电阴极。目前流行的硅阻片阳极器件是一种随机光子计数装置,计数率受器件电子渡越时间的限制,因而只能测弱源,且阴极尺寸受积分天空背景亮度的限制。另一个缺点是分辨率较低,难超过 20—30 线对/毫米。采用楔条型阳极(wedge and strip anode)可改进这些缺点<sup>[29]</sup>,因而在波长短于 5,000 埃的区域,它将是一种很有竞争实力的新器件。

近年来采用最广泛的光电器件是 CCD。它具有高达 70% 的峰值量子效率,敏感波段一般为 4,000 到 11,000 埃,在紫外闪光处理后,紫区的量子效率也很高<sup>[30]</sup>;读出噪声一般在 40 到 80 间,好产品可低到 10 或以下;像素尺寸介于 15—30 微米,总像素数已作到  $800 \times 800$ ,不久可望到  $1,500 \times 1,500$ 。它最大的优点是体积小,采用冷指致冷法可装在施米特相机焦平面而不引入明显的挡光损失。许多大望远镜的主焦点设有 CCD 照相机,用以探测低照度面光源的精细结构<sup>[32]</sup>。空间望远镜的大视场/行星照相机用四块  $800 \times 800$  像素的 CCD 作检测器<sup>[33]</sup>。云南天文台引进的 CCD 系统装在 1 米卡焦上,容易达到 22—23 星等。CCD 的线性优良,对亮源可获得  $\pm 0.001$  星等的测光精度<sup>[34]</sup>;动态范围约  $10^5$  量级(位井饱和电子数约每像素  $10^5$  电子),适宜于探测弱源。CCD 系统最大的缺点是不能实时显示,这与底片的特性类似。增强式 CCD 可克服这个缺点,但失去了量子效率高的优点。CCD 还有一个缺点是来自于对宇宙射线的响应,这限制了它的极限曝光时间。

另一种固体器件是 CID(电荷注入器件),其规模尚处在试验阶段<sup>[35]</sup>。

总之,目前天文界普遍倾向采用 CCD。迄今最先进的天文仪器均用 CCD 作检测器。Oke 博士的双联中高色散摄谱仪中使用了两块 CCD,能高效率地同时记下 3,000—11,000 埃区的光谱,峰值效率达 15%,比著名的(AAT + RGOSP + IPCS)系统的 2% 高出两个多星等,实在是惊人的成绩<sup>[16]</sup>。

## 参 考 文 献

- [1] Weymann, R. T., *Sky and Telescope*, 44 (1972), 159.
- [2] Angel, J. R. P. et al., in *Instrumentation for Astronomy with Large Optical Telescopes*, 33, ed. by C. M. Humphries, (1982).
- [3] Cheng Jingquan et al., *Vistas in Astronomy*, 26 (1982), 15.
- [4] Tull, R. G., et al., in *Instrumentation for Astronomy with Large Optical Telescopes*, 37, ed. by C. M. Humphries, (1982).
- [5] Nelson, J., in *Optical and Infrared Telescopes for the 1990's*, 11, ed. by A. Hewitt, (1980).
- [6] Hardy, J. W., in *ESO Conference Optical Telescopes of the Future*, 455, ed. by F. Pacini et al., (1977).
- [7] Meinel, A. et al., in *Optical and Infrared Telescopes for the 1990's*, 61, ed. by A. Hewitt, (1980).
- [8] Paul, M., *Rev. Opt. Theor. Instrum.*, 14 (1935), 169; Baker, J. G., *Proc. IEEE*, AES-5 (1969), 261.
- [9] Jacques, M. B. et al., in *Instrumentation for Astronomy with Large Optical Telescopes*, 11, ed. by C. M. Humphries, (1982).
- [10] Disney, M. J., in *ESO Conference Optical Telescopes of the Future*, 145, ed. by F. Pacini et al., (1977).
- [11] President Report of IAU Commission 50, Grenoble, France; *Contr. Lick Obs.*, No.409, (1976).
- [12] Dyck, H. M. et al., *PASP*, 95 (1983), 786; Walker, M. F., *PASP*, 95 (1983), 903.
- [13] JOSO Annual Reports 1975.
- [14] Wynne, C. G., *Optica Acta*, 29 (1982), 1557.
- [15] Oke, J. B., *PASP*, 85 (1973), 268.
- [16] Oke, J. B., *PASP*, 94 (1982), 586.
- [17] Filippenko, A. V., *PASP*, 94 (1982), 715.
- [18] 蒋世仰, 路声东, *天文学报*, 25 (1984), 300.
- [19] Bowen, I. S., in *Astronomical Technique*, 34, ed. by Hiltler, (1961).
- [20] Certified precision diffraction gratings, Bausch and Lomb, analytical systems division, (1977), **Table V: Double diamond plane reflectance gratings.**
- [21] 蒋世仰, *北京天文台台刊*, (1979), No.2, 74.
- [22] *AAO Newsletter*, (1984), No.31.
- [23] Hill, J. M. et al., *Prepr. Steward Obs.*, No.445, (1983).
- [24] Geyer, E. H. et al., *A. Ap.*, 80 (1979), 248.
- [25] Geyer, E. H., in *IAU Colloquium 47*, p.271, (1978).
- [26] Boksenberg, A., in *ESO/CERN Conf. Auxiliary Instr. for Large Telescopes*, 295, ed. by S. R. Lansten, (1972).
- [27] Tull, R. G. et al., *Applied Optics*, 17 (1978), 574.
- [28] Tull, R. G. et al., *Applied Optics*, 14 (1975), 1182.
- [29] Alington, S. et al., *QJRAS*, 25 (1984), 267.
- [30] Timothy, J. G., *PASP*, 95 (1983), 810.
- [31] Breare, J. M. et al., in *Application Reports to SERC*, (1982).
- [32] Morton, D. C., *AAO Newsletter*, (1983), No. 25, 1.
- [33] Westphal, J. A. et al., in *The Space Telescope Observatory*, 28, ed. by D. Z. B. Hall, (1982).
- [34] Walker, A. R., *MNRAS*, 209 (1984), 83.
- [35] Jorden, A. R. et al., *SPIE solid state imagers for astronomy*, 290 (1981), 113.

(责任编辑 刘金铭)



## **New Tendency in the Instrumentation for Optical Astrophysics**

**Jiang Shiyang**

*(Beijing Astronomical Observatory, Academia Sinica)*

### **Abstract**

In this paper, basing on the lectures of Dr. J. B. Oke given in Beijing last year and adding some new information taken from latest publications, the author presents a general review about the new tendency and new technology for building and using large telescope, high efficiency spectrograph, and two dimensional photon detector in high efficiency and low noise.