

世界主要天文台现有长缝摄谱仪器评述

蒋世仰

(中国科学院北京天文台)

提 要

介绍并评估了ESO、AOO、IGN La Palma、CFHT、KPNO、Cerro Tololo、Palomar及Calar Alto等主要天文台的长缝摄谱仪。

一、引 言

长缝摄谱对河内及河外面源及成团性天体的能量分布和动力学研究是十分有效的。其能力指标表现为均匀像质视场的大小、光谱分辨本领、空间分辨本领和光效率(也可用探测极限亮度与探测速率之积来衡量)。随着光纤引光摄谱法的成熟与普及,长缝摄谱能力又转意出一次允许拍摄天体(点源或面源的各个局部)的数目这个评判指标。此外,为了追求大的视场,长缝摄谱仪逐渐向透镜缩焦摄谱仪演变,从而与多缝摄谱仪合流。实际上一切能加装多缝光栏板的摄谱仪均可进行常规意义上的长缝摄谱;但经典的长缝摄谱仪常并不能借更换缝板而进行多缝摄谱。下面我们从长缝摄谱的意义上来评介各主要天文台站的长缝摄谱能力。表1以列表方式加以汇总介绍。

二、ESO[欧南台]的长缝摄谱能力

在1991年12月的ESO Messenger No.66, p. 63 Zeilinger综合介绍了ESO各主要望远镜的长缝摄谱能力^[1]。文中表1列出了3.57m、NTT(新技术望远镜)3.5m、MPI(马克斯普朗克天文研究所)2.2m及1.52m镜所可配用的附属仪器的长缝摄谱能力。下面我们分别加以介绍。

表1第三列给出了摄谱仪的焦面比例尺和有效缝长在天空上的张角。其中缝长最长的为NTT加EMMI(欧南台多功能仪器装置),可达6'。该仪器设计能力为10'见方视场^[2]。在表1的配置条件下,红臂直接成像视场应为7'.5($1024 \times 0.019 \times 23''.15 = 7'.5$)见方。要想充分利用设计能力,必须更换成更大的CCD,如把蓝臂的TEKCCD用于红臂,可得9'.5见方;对蓝臂,只有改用FA2048CCD才能达到10'见方的视场。

表 1 世界主要天文台长缝摄谱仪性能一览表

国家	台站	望远镜	焦点	仪器	视场	角分辨率	$\lambda/\Delta\lambda$	总光效	光束直径	用途			
欧共	欧南台	3.57m	卡	EFOSCI	3'×3'	0".7	~2 000	0.07	40mm	CCD 成像、无缝、长缝、多缝光谱、单天体阶梯光谱			
				CASPEC	114"	2".1	~30 000	0.03	200mm	长缝单级摄谱			
				B&C	174"	1".6	~6 818	0.07	90mm	长缝摄谱			
				3.50m 耐卡	EMMI	10'×10'	0".8	~12 000	0.07	50mm	同 EFOSC 多同时红、蓝波段摄谱		
					2.20m 卡	EFOSC2	6'×6'	0".7	~5 882	0.07	40mm	同 EFOSCI	
				1.52m 卡	B&C	252"	2".0	~6 242	0.08	90mm	长缝摄谱		
英澳	AAO	3.89m	卡	RG0	252"	2".0	~2 446	0.05	150mm	长缝摄谱			
				FORS	100"	1".5	~700	0.10	100mm	长缝、无缝、多缝			
				LDSS	12'.3见方	1".7	~267	0.05	80mm	长缝、多缝、无缝			
							~900	0.02					
							~4 400	0.04	200mm	长缝摄谱			
				1.0m 折卡	UCLES	100"	1".0	~5 000	0.024	100mm	长缝摄谱		
英	La Palma	2.54m	卡	IDS	270"	1".0	~5 000	0.028	100mm	长缝摄谱			
				FOS-1	12.3'见方	1".7	255	0.054	100mm	长缝、无缝、多缝			
							505	0.036		摄谱			
				4.20m 卡	ISIS				0.092	100mm	长缝摄谱		
					FOS2	10'×10'			0.191	80mm	长缝、多缝、无缝		
					LDSS2	10'×10'			0.191	80mm	长缝、多缝、无缝		
	UCLES	100"		100 000	0.02	200mm	长缝摄谱						
加、法、美	CFHT	3.60m	折主	紫外摄谱仪	6'	1".3	1200	0.03	100mm	长缝摄谱			
				FOCAS	4'.5见方	1".9				同 EFOSC			
				FOCASII	9'.6见方	1".3	700		46mm	同上			
				ESSEFEM	15'	0".5	5 000	0.061	100mm	长缝摄谱			
				CASSHAWEC	7'				100mm	同上			
				Herzberg	125"		200—2 000			同上			
美	KPNO	4.01m	折主	折轴摄谱仪	2'		100 000						
				FOCAS	5'	2".5	400	0.01					
				R/C	5'.5	1"	500—1 000	0.05	152.4mm	长缝摄谱			
				2.13m 折	阶梯光栅	341"	0".5	50 000	0.036	125mm	长缝摄谱		
					阶梯光栅	341"	1".0	100 000	0.005	200mm	长缝摄谱		
				CTIO	3.96m	卡	紫外摄谱	300"	0".75	2 000	0.05	102.1mm	长缝摄谱
							R/C	5'.5	1"	500—1 000	0.05	152.4mm	长缝摄谱
				1.50m 折	阶梯光栅	341"	0".5	50 000	0.036	125mm	长缝摄谱		
					紫外摄谱	460"	1"	500—3 000	0.073	102.1mm	长缝摄谱		
				1.00m 卡	B&C	370"	4"	2 800	0.07	90mm	长缝摄谱		
帕洛马山	5.05m	主	PFUEI	5'.5见方	1".3	~50	0.19	35mm	长缝、多缝、无缝				
									摄谱和成像				
			四射手	8'×8'	0".6	1 000	0.1	50mm	同上				
德国	Calar-Alto	3.5m	卡	双臂摄谱仪	125"	1".0	2 000	0.05	150mm	长缝摄谱			
				卡焦摄谱仪	240"	1".0	800	0.1	150mm	长缝摄谱			
							5 000						

EFOSC 为欧南台暗天体摄谱仪的英文缩写，是一种常规的缩焦型多缝及长缝摄谱仪。准直光束直径 40mm，视场取决于场镜的大小、望远镜焦面比例尺和 CCD 的光敏面大小。配在 3.57m 上的实际视场仅 3'。主要的优点是易于更换工作方式：直接成像、无缝光谱、多

缝光谱、长缝光谱、阶梯光谱及面源偏振等。EFOSC 2 为另一台为 2.2m 设计的同类仪器, 并改进了蓝端光透过率。由于望远镜口径变小了, 视场加大到 6'。EMMI 与它们的区别主要是添加了双色片以便同时高效地拍取红、蓝两个波段的光谱。由于这种仪器中的场镜是专为某一望远镜设计(把主镜的像成在色散元件上)的, 互相借用常达不到理想效果。

CASPEC 是欧南台卡焦阶梯光栅摄谱仪的英文缩写。它在使用短焦相机(F/1.6)时, 加用级次分离滤光片分出某一级次时方可使用长缝。由于没有场镜, 可用缝长受限于准直镜的像差及光栅的刻线高度。在此仅 16mm, 约合天上 114''。

B&C 是美国 Boller 和 Chivens 公司生产的一种通用光栅摄谱仪的英文简称。它使用普通平面衍射光栅, 没有场镜。缝长受限于准直镜的像差及光栅刻线高度。实际可用缝长仅 25mm, 对 3.6m 卡焦仅 174'', 2.2m 仅 294'', 1.52m 仅 252''。准直光束直径为 100mm。

综上所述, ESO 的长缝摄谱视场能力最大仅 10' 见方。今后为 VLT 设计的 FORS 也仅 6'.8 见方^[3]。

在效率方面, 蓝区以 EMMI 为最好^[4], 不计望远镜和接收器, 峰值达到 0.9。3 600—4 800 Å 间优于 0.8。但在 4 000 Å 至 6 000 Å 间, EFOSC2 也优于 0.8。同时, 在 5 000 至 10 000 Å 间, EFOSC2 均优于 0.75, 比 EMMI 为好。另一方面, EMMI 还可工作于双色滤光片分色状态而同时使用红蓝两臂。这时中等色散(不计色散元件)的光效率也绝大部分波段优于 0.6。最低在 4 600 Å 也有 0.35。光效低于 0.5 的不足 500(4 300—4 750) Å。对 $R = 17.5$ 的类星体 0000-26, 用 601/mm, 定向角 28°.7 的阶梯光栅加 3601/mm 横向色散光栅, 入缝开宽到 1'', 相应光谱纯度为 $39\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$, 工作于 4 200—8 000 Å, 缝长 20'', 积分 2 小时, 可获得 $S/N \approx 20-30$ 。由此算得峰值总光效(包括大气、望远镜、EMMI 及 CCD)为 0.07^[5]。对 $R = 19$ 的星系, 光谱纯度 10 Å, 两个 1 小时积分后相加, 在 5 500 Å 的信噪比约 15。由此算得的对星系分光的总光效也仅 0.07 左右^[2]。

EFOSC 加 3.57m 望远镜, 对 $V = 20$ 的天体, 倒线色散 $230 \text{Å} \cdot \text{mm}^{-1}$, 积分 30 分钟, 在 5 000 Å (光谱纯度 14 Å) 的信噪比约 30^[6]。由此可算出它的总光效约 0.07(按仪器的透过率计算应可达 0.15)。

CASPEC 在同样的波段用同样的检测器, 总光效仅为 B&C 的 40%。后者加 RCACCD 的总效率甚至优于 EMMI 加汤姆逊 CCD。如 EMMI+NNT+THX31156CCD 积分 1 小时可达面探测极限亮度 21mag/□'', 而 B&C+1.52m+RCACCD 用 2 小时可达到同样的面探测极限亮度, 只是前者的光谱纯度为 $20\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$, 后者为 $45\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。计及口径差别, 折算到同样条件, 两者间的积分时间差应为 1:2.36, 现仅 1:2。这是因为小准直光束直径带来的窄入射狭缝限制了总进光量。还要注意的是把这类仪器的设计移植到视宁度不好的天文台时, 不仅要降低探测极限, 还要影响光谱纯度。因为若望远镜的口径为 D 、视宁度圆面直径 ρ , 用理论光谱分辨本领为 R_T 的色散系统可获得的实际光谱分辨本领

$$R_P \leq \lambda R_T / D \rho$$

由于 ESO 的 ρ 常小于 1'', 使用较小的 R_T 就可获得足够大的 R_P 。移植者如果使用相同的 R_T , 必不能获得所需之 R_P 。

说到光谱分辨本领, CASPEC 无疑最好。即使入缝开宽到 2''.1, 也可获得 $7\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$

的光谱纯度。其次是 EMMI 用阶梯光栅时, 可达 $20\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$, 但缝宽仅 $0''.7$ 。如不同时追求空间分辨率, B&C 将优于 EFOSC 及 EMMI 的非阶梯光栅状态。因为 B&C + 3.57m , 当入缝宽由 $1''.6$ 减小到 $0''.8$ 时, 用普通光栅就可获得 $22\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 的光谱纯度。在 2.2m 上, B&C 与 EFOSC2 相比, 允许有更宽的入射狭缝。

总之, 常用的通用型光栅摄谱仪能很好地满足多数长缝工作, 且除个别特殊要求外, 总光效常优于缩焦型暗天体摄谱仪。其原因主要在于后者的平行光束直径一般小于 50mm 。这对于低色散工作已足够了, 且这类仪器原本也是为低色散工作设计的。然而 ESO 的好视宁度鼓励他们的仪器专家将之推向较高色散, 以求更换工作方式方便迅速。其他台站的天文学家如果不加深思, 刻板移植, 就会得到花钱买低效的后果。常见通用光栅摄谱仪有三大不足: 一为无场镜而限制了可用视场, 二为相机中心有挡光损失, 三为无直接成像功能不便于暗天体对准。此三点不足均可克服。以例为证, 对焦比 $F/8$ 的 2.2m 卡焦, 用离轴抛物面作准直镜, 单点准直光束直径 100mm , 焦距 800mm 。该反射镜是一块 $F/2$ 的抛物面镜之外边 152mm 的带区, 其内边缘离光轴仍有 48mm 。因此, 若取视场 $\pm 26\text{mm}$, 当决不会出现挡光现象。 $\pm 26\text{mm}$, 对 2.2m 卡焦, 折算到天上为 $\pm 5'.1$, 对抛物面本身为 $\pm 111'.7$ 。这对于 $F/2$ 的抛物面来说, 彗差将很大。好在其实际有效焦比仅 $F/8$, 且为倒转使用。准直出来的光束的不平行度, 计及准直镜本身的场镜作用将望远镜物镜的像成在光栅之上, 且像径 100mm , 决不会大于 $F/16$ 光束的不平行度。因而当所需光谱分辨本领不大于 $16^3/3 = 1365$ 时, 即使在视场边缘也不会有问题。实际情况要比这为好。当用作成像镜时, $F/8$ 的 $112'$ 处的彗差弥散斑径为 $17''.5$ 。即使色散后摄谱仪相机的焦距为 360mm , 像斑大小也仅 30μ 。当使用像元尺寸为 27μ 的 CCD 作检测器时, 小于两个像元, 因此不会造成光谱纯度降低。另一方面, 光栅离准直镜约 50mm , 刚好在望远镜焦面缝板之后数厘米, 该处全视场之平行光之偏移量为 $\left[\frac{112}{3437.75} \times 50 \right] \text{mm} = 1.63\text{mm}$, 小于 $(48 - 26) = 22\text{mm}$ 。因此并不会挡视场, 但机械设计上要十分小心, 以减少失光。

当选用的偏心光栏板的直径为 300mm 时, 可允许有 10 种不同的光栏。光栅全为反射光栅, 刻面尺寸 $130 \times 100\text{mm}^2$, 毛坯加机械边框为 150mm , 取直径 300mm 的转盘可允许放七块光栅。每块光栅均有一块活动盖板, 盖板外表面镀铝作反射镜用, 可方便地获得直接成像, 以校核对星精度。七块光栅已允许足够多的色散及波段选择, 级次分离滤光片转盘可放在光栏转盘之后, 与光栅转盘在相反的方向, 因而不会互相干扰。相机选用焦距 $300\text{—}360\text{mm}$ 、焦比 $F/1$ 的施米特。用 1024 元见方、 $24\text{—}27\mu$ 见方元的 CCD, 工作于离轴方式, 完全无中心挡光损失。改正板用 UBK7 且镀宽波段增透膜。反射面镀带保护膜银层。不计光栅时系统光效在长波区不低于 $0.96^2 \times 0.99^4 = 0.88$, 在紫区不低于 0.7 , 优于 EFOSC 及 EMMI。

当选用定向角 25° , 入射角 40° , 衍射角 10° , 刻线密度 $6501/\text{mm}$ 的光栅时, 三级定向波长为 4216.7\AA 。若相机焦距为 360mm , 倒线色散为 $14\text{\AA} \cdot \text{mm}^{-1}$, 2 元光谱纯度 $54\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$, 入缝宽 $1''.81$ 。总光效将明显地优于 EFOSC2。图 1 为这一方案的比例示意图。这个例子足以说明我们不必照抄 EFOSC。

三、AAO的长缝摄谱能力^[7]

AAO 是英澳天文台的英文缩写。该台有两架望远镜, 只有 3.89m AAT(英澳望远镜) 具有常规长缝摄谱能力, 配有 RGO(格林尼治天文台)摄谱仪、UCLES(伦敦帝国大学阶梯光栅摄谱仪)、FORS(红区暗天体摄谱仪)和 LDSS(低色散巡视摄谱仪)等四架摄谱仪。

RGO 摄谱仪为平面光栅通用摄谱仪。准直光束直径 150mm, 缝长 38mm, 相当于天空上 $4'.2$ 。倒线色散介于 $2-156 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。当用蓝敏汤姆逊 CCD 作检测器, 倒线色散 $142 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ 时, 对 $AB_{6600} = 17.0 \text{ mag}$, 计数率约 $1e/s \cdot \text{ \AA}$ 。由此可算得望远镜加大气加摄谱仪及 CCD 的总光效约 0.089, 考虑到实际观测条件, 若视宁度圆面直径为 $2''$, 入缝开宽也为 $2''$ (这意味着仅约 66% 的星光进入狭缝), 天顶距 30° 左右(大气透过率在 6600 \AA 约 0.91), 光谱纯度 8.4 \AA , 在 6600 \AA 的计数率对 17.0 mag 星约 $5e/s$; 当光谱纯度改进为 1.42 \AA 时, 计数率降为 $0.32e/s$ 。由此计算出的上述对应总光效分别为 0.053 及 0.04。减小的原因是狭缝太窄不允许通过望远镜收集到的全部光能量。这种现象在大望远镜与摄谱仪的配合中是很常见的, 也是造成中、高色散分光仪器总光效低的重要原因之一, 设计者必须尽力设法克服它。

UCLES 只有工作于单级次时才能作长缝工作, 可用缝长约 $100''$ 。用 CCD 作检测器, 视宁度圆面直径 $2''$, 入缝宽 $1''$, 天顶距 30° , $AB_{6600} = 16.2$, 光谱纯度 0.15 \AA , 积分 $1000s$, 有 $50e$ 。由此算得总光效仅 0.014。此乃定向峰值效率。在每级的两个边缘, 效率仅约 0.01。

FORS 为无准直镜型, 可用视场不大, 总光效约 0.12。对 $R = 21.3$ 等, 在 7000 \AA , 积分 8 个 $1800s$ 相加, 每 10 \AA 的信噪比约 10。当时的视宁度为 $2''$, 狭缝开宽为 $1''.5$ 。由此算得总光效约 0.098。与 ESO3.57m + EFOSC 相比, 为后者的 1.4 倍。原因是较少的光学元件和较宽的狭缝。

LDSS 是仿 EFOSC 而制作的。改进处为准直光束直径由 $\phi 40 \text{ mm}$ 加大到 $\phi 70 \text{ mm}$, 可用视场加大到 $12'.3^{[8]}$ 。工作波段改为 $3700-7500 \text{ \AA}$ 。倒线色散仅两种: $165 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ 及 $870 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。入缝宽度可允许 $1''.7$, 相应的光谱纯度分别为 10 \AA 及 45 \AA 。用汤姆逊 CCD, $AB_{6600} = 17.7$, 计数率约 $1e/s \cdot \text{ \AA}$, 总光效约 0.123。当视宁度为 $2''$ 时, 缝宽 $1''.7$, $R = 21.9$, 8 个 $1800s$ 积分相加, 在 6000 \AA , 每 22.5 \AA 的信噪比约 10。由此算得实际总光效约 0.052。在高色散时, 对 4500 \AA , 每 5 \AA 具有相同信噪比的 B 星等为 20.9, 由此算得的总光效约 0.02, 因此低于 ESO 的 3.57m + EFOSC。

四、ING La Palma的长缝摄谱能力^[9,10]

La Palma 位于卡纳里群岛, 是一个新的国际性天文台。主要的研究群体有三个。与非太阳光学天文研究有关的大中型望远镜有五架。其中与 ING(英、荷、西合作)有关的为三架。它们是口径 1m 的 JKT(詹姆士·克拉尔克望远镜)、2.54m 的 INT(艾萨克·牛顿望

远镜)和 4.2m 的 WHT(威廉·赫歇尔望远镜)。它们的长缝摄谱能力介绍如下。

配在 JKT 上的摄谱仪为 Richardson Brealey 摄谱仪, 缝长约 $4'.5$ 。用蓝敏 GEC 厚片 CCD, 在 $5\ 100\ \text{\AA}$, $AB=13.2$ 的光电子计数率约 $1e/s \cdot \text{\AA}$ 。由此算得总光效为 0.024。

配在 INT 上的有 IDS(中色散摄谱仪)和 FOS-1(暗天体摄谱仪)。前者配 EEV/GEC CCD, 在 $5\ 500\ \text{\AA}$, 对 15.4mag 的计数率为 $1e/s \cdot \text{\AA}$ 。由此算得总光效为 0.028。后者与 AAT 上的 FORR 设计相同, 但同时工作于一、二级。一级光谱纯度 $21.4\ \text{\AA}$, 二级为 $10.8\ \text{\AA}$ 。一级在 $5\ 500\ \text{\AA}$ 和二级在 $5\ 400\ \text{\AA}$ 的光电子计数率为 $1e/s \cdot \text{\AA}$ 时的 AB 星等分别为 16.1 及 15.7。由此算得总光效分别为 0.054 及 0.036。

配在 WHT 上的摄谱仪有四台。一为 ISIS 双臂中色散摄谱仪, 配用 EEVCCD。红臂在 $5\ 500\ \text{\AA}$ 处的 $1e/s \cdot \text{\AA}$ 计数率星等为 17.2, $7\ 000\ \text{\AA}$ 为 17.5mag; 蓝臂 $5\ 000\ \text{\AA}$ 处为 16.9mag。由此算得总光效依次为 0.054、0.092 及 0.05。另一台为 FOS2, 它的一级光谱纯度为 $17.4\ \text{\AA}$ 。在 $5\ 250$ 、 $6\ 000$ 、 $6\ 500$ 及 $7\ 000\ \text{\AA}$ 的 $1e/s \cdot \text{\AA}$ 星等依次为 17.0、17.8、18.1 及 18.0。相应的总光效为 0.043、0.116、0.182 及 0.191。可见它在红区的光效率是很高的, 但这并非实测效果。LDSS2 是与 AAT 上的 LDSS 同样的仪器。缝长为 $10'$, 光效率也较高。由于刚投入使用, 尚未有关于极限星等及灵敏度的报导。另一台为与 UCLES 相同的阶梯光栅摄谱仪, 只有单级工作时才有长缝能力。光效率也不太好。

五、CFHT 的长缝摄谱能力

CFHT 为加、法、夏威夷 3.6m 望远镜的英文缩写。该望远镜安装在夏威夷 4 200m 的顶峰上, 视宁度与 ESO 相近或更好。因此他们在设计仪器时也很重视空间分辨率, 许多方面基本上沿 ESO 的方向前进。由于望远镜有主焦点, 故配有工作于 $3\ 000$ — $5\ 200\ \text{\AA}$, 倒线色散 $58\ \text{\AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ 的紫外摄谱仪^[11]。入射狭缝可长达 $6'$, 但在 $2'$ 以外已显出彗差。配用 RCA CCD, 在 $4\ 200\ \text{\AA}$, 光谱纯度 $3.5\ \text{\AA}$, 对 $m_B=20$ 的点源, 2 小时积分, 信噪比约 10。由此算得总光效约 0.03。主焦点原已有无缝透棱栅摄谱仪^[12], 视场 $40'$, 作极低色散工作。为克服天光影响, 又配有主焦缩焦摄谱仪, 即 FOCAS^[13], 缝长 20mm, $4'.5$ 。缩后焦距 $F/2$, 与 PUMA 1 自动打孔机配用, 类似于 EFOSC 与 PUMA 2 系统。透过率仅 50%, 且不能用于 $\lambda < 4\ 500\ \text{\AA}$ 波区。该仪器也可用在卡焦 $F/8$, 无晕视场为 35mm, $4'.2$ 。为改进光效率和加大视场, 正在加紧研制第二代卡焦缩焦器型暗天体照相/摄谱仪器^[14]。准直光束直径 46mm, 配 $F/2.8$ 及 $F/10$ 相机各一台, 前者视场 $9'.6$, 作多目标工作; 后者视场 $3'.6$, 作亚秒级角分辨率工作。配不同棱栅后的倒线色散介于 120 — $520\ \text{\AA} \cdot \text{mm}^{-1}$, 拟于 1992 年下半年投入使用。

除上述摄谱仪外, 还研制了 ESSEFEM 多缝摄谱仪, 工作于卡焦 $F/8$ ^[15]。视场 $15'$, 倒线色散 $48\ \text{\AA} \cdot \text{mm}^{-1}$, 光谱纯度 1 — $1.5\ \text{\AA}$ 。在 $3\ 200$ — $5\ 600\ \text{\AA}$, 对 $V=20$ 的点源, 积分 5 小时, 信噪比约 10。故总光效约 0.06。

CASSHAWEC 摄谱仪也工作于卡焦 $F/8$ ^[16]。为红蓝双通道同时工作。蓝通道为 $3\ 300$ — $5\ 000\ \text{\AA}$, 红通道为 $4\ 800$ — $10\ 000\ \text{\AA}$ 。视场为 $40 \times 15\ \text{mm}^2$, 缝长最大 60mm, 相当于天上

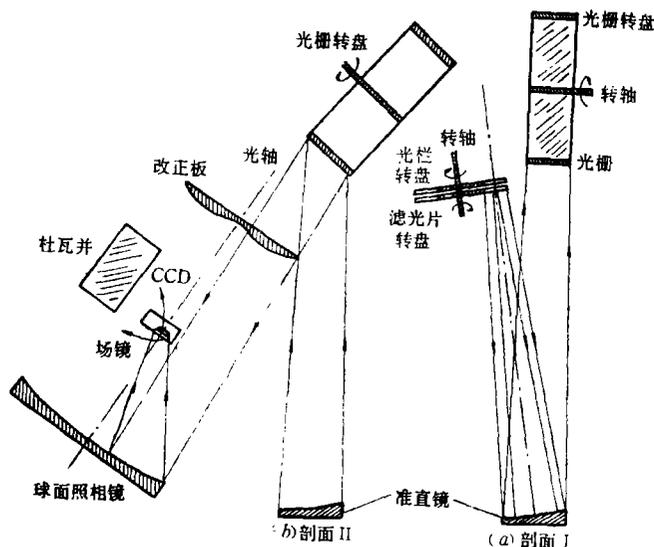


图1 为2.2m 镜设计的一台通用多功能平面反射光栅大视场长缝摄谱缩焦仪的光路方案图，1:10，视场 $10'$ 见方，完全无中心挡光

$7'$ 。蓝通道倒线色散为 $21-25 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ ，红通道为 $35-48 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。仪器对波长 3500 、 4000 、 4500 、 5000 、 7000 及 8000 \AA 的光效依次为 0.25 、 0.30 、 0.19 、 0.21 、 0.38 及 0.35 。

Herzberg 摄谱仪缝长 $125''^{[17]}$ ，倒线色散 $41-330 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。有三个分别使用于蓝、红和白光的不同镀层相机。系统对波长 3500 、 4000 、 4500 、 5000 及 5500 \AA 的光效率依次为 0.20 、 0.31 、 0.30 、 0.26 及 0.20 。

还配有折轴平面光栅摄谱仪 $^{[13]}$ ，缝长约 $2'$ 。

六、KPNO 和 CTIO 的长缝摄谱能力

KPNO 是美国国立光学天文台，位于亚利桑那州的基特峰。主要望远镜为 4.01m 的迈耶望远镜和 2.13m 望远镜。

4.01m 主焦配有有缝缩焦分光仪，用 CCD 接收。工作波段 $4800-7800 \text{ \AA}$ ，缝宽 $2''.5-3''.2$ ，光谱纯度 15 \AA ，对 $J=21.0$ 的天体积分 4000s ，连续谱计数率在 $100-300$ 间 $^{[18]}$ 。由此算得总光效约 0.01 。

4.01m 卡焦配有一台 R/C 摄谱仪。狭缝长 50mm ，约 $5'.5$ 。相机焦距 229mm ，为 F/1 折轴施米特，并配有折轴阶梯光栅摄谱仪，缝长约 $3'$ 。

2.13m 配有一台平面与阶梯光栅换用的摄谱仪 $^{[19]}$ ，当使用 $31.61/\text{mm}$ 定向角 $63^\circ.5$ 的阶梯光栅时，在 $\lambda=6707 \text{ \AA}$ 那一级的倒线色散为 $1.92 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ ， $2''$ 入缝的实际光谱分辨本领为 105000 。这时使用口径 90cm 的折轴附属望远镜引光，用 $\text{TI}800 \times 800\text{CCD}$ ，积分 1 小时，信噪比为 45 的 $V=8.0$ ，总光效为 0.005 。

2.13m 望远镜还配有一台透紫外的卡焦光栅摄谱仪,性能与下面要讲到的 CTIO1.5m 卡焦摄谱仪相同。

CTIO 为 Cerro Tololo 泛美天文台的英文缩写,有一架 4.01m 及 1.50m 望远镜,配有五台摄谱仪^[20]。

4.01m 的 R-C 摄谱仪配在卡焦上使用,与 KPNO4.01m 的 R-C 摄谱仪完全一样。缝长 50mm(5.′5),准直光束直径 152.4mm,相机焦距 229mm,配 TICCD,2 元(30 μ)相当的入缝宽度为 1″。在 5 000—7 500 Å 间的总光效可达 0.18—0.19,在蓝区降为 0.11—0.16。由于视宁度常大于 0″.5—1″,实际总光效要低些。

4.01m 的阶梯光栅摄谱仪缝长 52mm(341″),当单级次使用时有长缝功能。有 31.6l/mm 及 79l/mm 两块光栅轮换使用,用平面光栅作横色元件。配 GEC CCD 时的总光效峰值为 0.036。

1.50m 望远镜配有一台卡焦摄谱仪,为透紫外的光栅摄谱仪。缝长 25.4mm(460″),准直镜焦距 766.1mm,点源准直光束直径 101.6mm。相机焦距 160mm,光谱纯度 2.1—16.8 Å,视所用光栅而定,加配 GEC CCD 的总光效峰值(在 6 500 Å)约为 0.073。

七、帕洛马山的长缝摄谱能力

帕洛马天文台 5m 望远镜配有主焦点河外星系专用仪 PFUEI^[21]。它使用日本光学工业株式会社生产的焦距 135mm 透镜作缩焦器的准直镜,用同一公司生产的焦距 50mm 透镜作成像镜,可以把原焦比 F/3.3 缩成 F/1.2。用 TI800×800CCD,每元 12.5 μ 相当于 0″.415,总视场为 5′.5,或 30 平方分。这时透镜的通光口径要 66mm。但准直光束直径仅 35mm,工作波段 4 800—9 000 Å,再往红区像质较差。通常用 75l/mm、定向波长 6 500 Å 的棱栅,用滤光片把工作波段限制在 7 100 Å 以下。这时每元相当于 34.4 Å。但视宁度限制光谱纯度到 100—170 Å。积分 4 个 300s 相加,无缝时,对 $\gamma = 22.45$ 的类星体,信噪比约 7.4。由此算得总光效为 0.19。该仪器也可用 400l/mm 的棱栅,工作于 4 450—8 500 Å 间。光谱纯度在入缝为 1″.5 时等于 25 Å。对 $\gamma = 18.5—21.0$ mag 的类星体,积分 1 000—6 000s 可以获得相当好的光谱。

为了获得较大的视场,可用该望远镜卡焦上的四射手系统^[22]。它是在焦面星板之后加一个锥面形四面反射体,把视场分为四份,每一份之后加一个有限距离施米特卡塞格林相机—CCD 系统,把卡焦焦比 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银层,透射元件全加镀减反膜。用 TI800×800CCD 作检测器,每元相当于 0″.3,故总视场为 4 个 4′ 见方视场或一个 8′ 见方视场。由于相机前焦比大到 F/15.4,故可直接插入棱栅以获得 4—8 Å 或更差的光谱纯度。

此外,在卡焦还加有一台双臂摄谱仪^[23]。它是第一台用双色滤光片把整个光学波段分成两个波段,然后对不同波段选用不同的高光效光学系统的摄谱仪。该仪器的入缝缝长可达 50mm,相当于 125″,系统的总光效峰值约 0.13。计及入缝光损失后,会更低些。

八、讨 论

根据上面的介绍，可以看出，尽管各主要天文台站都在努力追求获取暗弱天体的中、低色散光谱的高光效大视场方法，迄今所获得的成功是有限的。总合光效率最高的是 WHT + FOS2 的 0.21 左右，这个数值比常规物端棱镜后配 CCD 接收器所可能达到的

$$\eta = 0.85 \times 0.96^4 \times 0.8 \times 0.75 = 0.43$$

↑
主镜反

↑
改正板
及物端
棱镜

↑
CCD

↑
大气

差了许多。由于 WHT + FOSZ 的 0.19 未计入狭缝上的光损失，帕洛马 5m + PFUEI + TICCD 的 0.19 是无缝工作下获得的。因此迄至今日，有缝摄谱的实际总光效没有大于 0.1。

在视场方面，最大为 AAT + LDSS 的 12'.3。

在多功能快速变换方面最好的为 EMMI，其次 EFOSC 也不坏。

新近看到的关于 VLT 的 FORS (Focal Reducer/Low Dispersion Spectrograph) 的设计类似于 EFOSC^[23]，但准直光束直径加大为 90mm，缩后焦比为 F/3.1 及 F/6.2 两种，前者配 TK2048E 之视场为 6'.8 见方，每元 0''.2，入缝允宽仅 0''.4。准直系统之第一镜直径 360mm，总透光率(不计光栅等)对 $\lambda \geq 3500 \text{ \AA}$ ，优于 0.5；对峰值波长 $4500 \text{ \AA} \sim 0.78$ 。该仪器外形尺寸约 $\phi 1.7 \times 2.5 \text{ m}^2$ ，重约 2 吨。由此估计其造价应相当昂贵，而综合光效率不会大于 0.1—0.20。

造成上述现象的原因有：

1. 望远镜光学系统的光损失还相当严重。一般这类仪器加装在卡焦或耐卡焦点，要经受 2—3 个镀铝面及中心副镜装置挡光造成的光损失。这样，卡焦的总合光效率约 0.61，耐卡焦点的总合光效仅 0.52。

2. 色散元件的光效率既不均匀也并不太高。比如 ESO 所用之 Grism 的峰值光效率没有大于 0.8 的，一般情况下，仅可得 0.7。

3. 大气吸收对短波段 ($\lambda < 4000 \text{ \AA}$) 还相当严重，一般仅 0.5—0.6。

4. 入射狭缝带来的光损失还相当严重。因为即使视宁度圆面直径为 1'' 的较好台址和天气，用 1'' 宽的入射狭缝，计及星像抖动及导星误差，实际可利用到的星光很难超过 0.6。

5. 相当多的台站所使用的检测器的量子效率峰值仅 0.4—0.5；有的虽高达 0.7—0.8，但读出噪声大到 26—50e/pixel，从而使得综合光效率变低。

上五项合计的综合效率峰值约 0.15—0.19，再计及仪器自身光学元件的透光率最好为 0.8，实际综合光效率只能在 0.12—0.15 间。若不计狭缝光损失，可提高到 0.2—0.25，这就是当今的最好水平。

克服上述损光的一些办法是：

1. 改用主焦点

主焦虽然只有一面主镜，但必须加改正镜才能有较大的视场。如果只能有 13' 以下的工

作视场,改正镜可以是一个薄透镜或最多两片(用两片的常可获得 30' 以下的视场)。不难把它的光损失控制在 5% 以内,于是望远镜的总光效率可保持在 0.8 以上。

2. 对于低色散工作不妨改用棱镜作色散元件,用 UBK7 材料,顶角 45°,用焦距 150 mm 相机,可获得 $800 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1} (H_{\beta})$ 左右的倒线色散。若准直光束直径 50 mm,平均厚度仅 25 mm,光损失不大,总光效可保持在 95% 左右。即使是直视棱镜,也不难作到 $1000 \text{ \AA} \cdot \text{mm}^{-1}$ 左右。对较高色散,应改用特殊高反膜光栅,定向效率可望达到 0.9 以上。另一种可能是光栅刻在全反射界面上,定向光效率或许会有较大的提高。

3. 选择高山台址,尽量减少大气吸收,对一些现有台址应有意识地放弃 $\lambda \leq 4000 \text{ \AA}$ 的波段,至少是 $\lambda \leq 3700 \text{ \AA}$ 。

4. 应尽可能地加大准直光束直径,以便允许开宽入射狭缝,但若追求对暗于 22 mag 天体的观测,开宽入射狭缝并无好处,唯一的办法是选择视宁度较好地台址或用子口径主动光学法去减小星像直径。

5. 一定要选用量子效率尽可能高的检测器,目前一定应选用 TK1024E 或 TK2048E 蓝敏 CCD,把峰值量子效率提高到 0.8,相当宽波段内为 0.7 以上,同时要读出噪音尽可能小,且只要有好处,就要舍得花钱买 TK2048E 蓝 CCD。

按上 5 个方面改进后,综合光效率可望提高到

$$\eta \geq 0.8 \times 0.9 \times 0.8 \times 0.95 \times 0.8 = 0.438$$

这约是现有最好水平的 3 倍,使有缝光谱的光效率赶上物端棱镜无缝光谱的光效率。

参 考 文 献

- [1] Zeilinger, W.W., *The Messenger*, No.66, (1991), 63.
- [2] Dekker, H., et al., *The Messenger*, No.63, (1991), 73.
- [3] Appenzeller, I. and Rupprecht, G., *The Messenger*, No.67.(1992), 18.
- [4] D'Odorico, S., *The Messenger*, No.65, (1991), 59.
- [5] D'Odorico, S., *The Messenger*, No.61, (1990), 51.
- [6] ESO, *The ESO Users Manual*, (1990), 79.
- [7] AAO, *AAO Observer's Guide*, Fourth Edition(1991).
- [8] Wynne, C.G. and Worswick, S.P., *The Observatory*, 108 (1988), 161.
- [9] Sanchez, F. and Wall, J.V., *Astrophysical Letters & Communications*, 28 (1991), 47.
- [10] Clogy, R. et al., *Gemini*, No.35, (1992), 16.
- [11] Lemaitre, G., *CFH Information Bulletin*, No.13, (1985), 4.
- [12] Fouere, J.C. and Lelieve, G. et al., in *IAU Colloquium No. 67*, p.143, (1982).
- [13] Christion, C., Vigroux, L. and Walker, G., *CFH Information Bulletin No. 14*, (1986), 4.
- [14] Monnet, G., *CFH Information Bulletin No. 20*, (1989), 17.
- Le Fevre, O., *CFH Information Bulletin No. 26*, (1992), 4.
- [15] Boulesteix, J., *CFH Information Bulletin No. 17*, (1987), 6.
- [16] Boulesteix, J., *CFH Information Bulletin No. 11*, (1987), 3.
- [17] Davidge, T., Boulads, O. and Beland, S., *CFH Information Bulletin No. 20*, (1989), 6.
- [18] Koo, D.C. and Kron, R.G., *Ap. J.*, 325 (1988), 92.
- [19] KPNO NEWSLETTER, No. 19, (1989), 16.
- [20] Colbeok, L.A., *Facilities Manual of the CTIO*.
- [21] Gunn, J.E. and Westphal, J.A., in *Proc. Soc. Photo-Opt. Instr. Eng.*, 290 (1981), 16.
- [22] Jiang Shiyang, *Progress in Astronomy*, 3 (1985), 287.
- [23] Oke, J.B. and Gunn, J.E., *P.A.S.P.*, 94 (1982), 586.

(责任编辑 刘金铭)

ON the Long Slit Spectroscopy Capability of Several Main Observatories in the World

Jiang Shiyang

(*Beijing Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences*)

Abstract

In this paper we give a general review and some comments about the facility for long slit spectroscopy in several main observatories such as ESO, AAO, ING La Palma, CFHT, KPNO, CTIO and Mount Palomar. We point out and ask people to pay attention on the very low light efficiency situation now we can get. Except slitless, no system has an all over light efficiency higher than 0.1 and for most systems it is even lower than 0.05. The field of view also is rather small, usually only 4 to 7 arcminutes. Indeed we need very large aperture telescope to collect more photons from the deep sky faint objects, for our developing countries the most important thing is to save any photon inside the small aperture of our expensive telescopes. To improve not only the light efficiency but also the multi-objects efficiency so that we could win in some way by using rather smaller telescope.