

光纤技术及其天文应用现状

王顺德

(中国科学院北京天文台)

提 要

本文介绍了近几年来光导纤维的发展及其应用于天文研究的有关特性,以及几种天文光纤系统的原理、研制与天文应用的结果。

一、引 言

光线沿着玻璃或塑料构成的微小通道(弯曲的或直的),以多次全内反射的方式传播的现象。早在古希腊和威尼斯时代,就已被吹制玻璃装饰品的工艺师们所注意到了。1854年英国人J. Tyndall 在伦敦英国皇家科学院用水通过一根弯曲的管子演示了这个现象。大约100年后,荷兰的Van Heel 和英国的Hopkins 与N. S. Kapany,几乎同时发表了各自用细玻璃纤维束传递图象的实验结果,使光导纤维开始进入实用阶段。1967年N. S. Kapany 首先进一步把光纤的原理、制造工艺、检验、测试及应用等问题理论系统化,成为现代应用光学领域中的一个重要分支——纤维光学。

1968年日本Nippon 玻璃公司研制出梯级折射指数熔石英纤维,为生产光通信低耗光纤奠定了基础;继此,1970年美国Corning玻璃公司的Kapron 等人发表了用外气相氧化法,研制出了光衰减为20dB/km的低耗石英纤维,从此推动了人们研究实用光通信纤维的积极性;1972年Corning公司又用化学气相沉积法(CVD法)把石英纤维的损耗降到了7dB/km;1973年美国贝尔电话实验室用改进的化学气相沉积法(MCVD法)研制出了衰减为2.5dB/km的石英纤维,此即成为目前国内外基本定型的生产工艺。1974—1975年,美、日有关机构报道了衰减为1.5—2.0dB/km的成就;1977年日本Ibaraki电子通信实验室等单位又报道了在 $1.2\mu\text{m}$ 处达到0.4dB/km的最低损耗,随着生产工艺的不断改进,熔石英光纤的光损耗还在继续下降中。

光通信纤维工业的飞速发展,给许多科学领域带来了新的前景,天体物理仪器及研究方法也为此产生了重大的变化,并且正在进一步扩大中。本世纪五十年代当光纤刚开始进入实用阶段的时候,人们就企图利用它的传光传象的奇妙特性来改善天文光谱仪的效率,但苦于当时光纤维的传光损耗过大(1969年时还为数分贝/米)未能如愿;但到了七十年代末期,情况发生了根本性的变化,传光损耗降为1dB/km的熔石英光通信纤维已比较容易得到,这便大大激发了天文学家们利用它来改善现有仪器和建造新仪器以及探求新观测方法的积极性,在若

干天文台和大学已被受到重视。目前, 美国亚利桑那大学的 Steward 天文台、英澳天文台(AAO)、欧洲南天天文台(ESO)、美国帕洛玛天文台、英国 Durham 大学和我国北京天文台正在积极开展光导纤维的天文应用研究; 法国麦冬天文台、美国宾夕法尼亚州立大学等单位也开展了此类研究工作。可以估计, 今后还将进一步受到越来越多的天文机构的重视和发展。看来, 在此介绍国内外近几年来在这方面的现状和有关技术将是有益的。

二、天文仪器中所应用到的光纤特性

光导纤维应用于各种科学技术领域, 由于各有其不同的特点, 因而所要求的纤维特性也各有差异, 其侧重点也不同。对天文仪器来说, 主要可以归结为如下几点:

1. 希望纤维在从紫外到近红外的光谱波段内有尽可能高的透过率。这直接关系到仪器系统的效率高低, 是自光纤问世以来, 科学家们为之研究的主要技术指标之一。为满足这一要求, Pinnow 等人讨论了在 $1\mu\text{m}$ 以下的波段内, 纤维光学波导材料的基本光学衰减极限问题。认为在所研究过的各种透光材料中, 纯熔石英的光损耗最低。在 $0.3\text{--}1\mu\text{m}$ 的范围内, 瑞利散射($\propto\lambda^{-4}$)和本征吸收引起的损耗大致相等。甚至在接近大气截止阈的 $3,200\text{\AA}$ 处, 10 米长的纯熔石英纤维还有 58% 的透过率^[1]。如果用纯熔石英棒料拉制成长的纤维, 应当重视的是由于在拉丝过程中石英纤维的迅速冷却, 可能会引起晶性的强烈减少, 导致其晶格的某种重新排列, 结果会猛烈地增加 $4,200\text{\AA}$ 以下的紫外散射, 并在 $6,300\text{\AA}$ 处产生所谓的“拉吸收峰”($\sim 40\text{dB/km}$)。为了解决这个困难, 希望在紫外区有良好的透过性能, 其作法是控制进入石英中的 OH 基含量。具体说, OH 浓度等于 200ppm , 则将全部消除 $6,300\text{\AA}$ 处的拉吸收峰, 并使紫外透过特性达到瑞利极限(特别是对芯径较大的纤维)。对于这种“湿”纤维, 低于 $5,000\text{\AA}$ 以下的光衰减可以用修改形式的瑞利定律

$$L = A \cdot \lambda^{-4}$$

来表示。式中 L 为光衰减, 用 dB/km 表示, A 为系数。对不同芯径的纤维, A 值不同。例如对芯径为 $\phi 200\mu\text{m}$ 的石英纤维, $A \approx 4.0$; 对芯径为 $\phi 400\mu\text{m}$ 的纤维, 则 $A \approx 1.2$; 而对石英棒料而言, $A \approx 0.8$ 。

然而用增加石英中的 OH 基含量来改善其紫外透过性能的作法所付出的代价是, OH 基在 $2.73\mu\text{m}$ 有强烈的本振吸收, 在 $1.37\mu\text{m}$, $0.94\mu\text{m}$ 和 $0.75\mu\text{m}$ 有三个谐振吸收带, 对 200ppm 的 OH 基浓度而言, 它们分别相应于 $12,300\text{dB/km}$, 250dB/km 和 1dB/km 的吸收衰减。希望在 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.5\mu\text{m}$ 激光二极管波长透过良好的现代光通信纤维, 通常有 1ppm 的 OH 基浓度。可见, 根据使用目的不同, 可以选择特定 OH 含量的光纤维。对天文用途而言, 在利用现成可得到的纤维条件下, 尽量兼顾“拉吸收”和 OH 谐振吸收为最小的原则来选取自己合用的纤维为宜。若对于观测 $0.35\mu\text{m}$ 以下的紫外及蓝光波段有较高的要求, 当然以选取含 200ppm OH 基浓度的“湿”石英纤维较好, 看来由于它与“干”石英纤维相比, 有优良的蓝紫透过性能, 更加适合于天文应用。图 1^[2] 表示了 ESO 测得的 3 根梯级折射率光纤的百分透过率与波长的关系曲线, 纤维长度 40 米。由图可见, Spectran 纤维没有拉吸收峰, 有轻微的 OH $0.75\mu\text{m}$ 吸收峰和 $0.94\mu\text{m}$ 吸收峰, 看起来是属于“湿”纤维类型的; 而 Q. & S. 纤维却既有拉吸收峰又有 OH

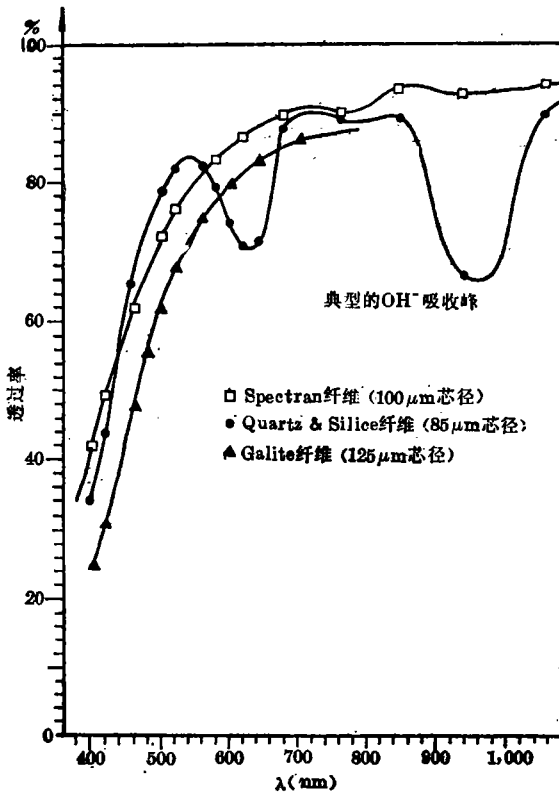


图 1. 三根不同纤维的透过特性。

在将光纤应用于天文仪器设计中具有特殊而重要的实际意义。

在理想情况下, 与纤维轴成 θ 角入射到纤维上的光线, 将按与轴成 θ 角的光锥呈现出来。因此, 如果以来自望远镜之给定焦比的光线照射纤维时, 那末自纤维出射的光束将具有相同的焦比。但是许多过程起着扩大出射光束角的作用, 因而在给定接收面积的探测器上能够得到的最大表面亮度将被大大减少。这些引起焦比衰减的过程归结起来如下:

- 1) 衍射: 光线通过纤维时, 与通过和它直径相同的小孔一样, 将会受到扩展, 其展宽度与通过小孔的展宽度相同;
- 2) 由于纤维的弯曲而引起的几何效应;

表 1 QSF-ASW型纤维

波长(Å)	光衰减(dB/km)	%透过率 (光纤长3米)
5000	26	98.2
6000	10	99.3
7000	7	99.5
8000	5	99.6
9000	15	98.9

表 2 波长 $\lambda=5,000\text{Å}$

纤维型号	芯径 (微米)	N. A.	透过率 (纤维长10米)
GALITE 4000LC	204	≥ 0.4	0.92
	125	≥ 0.4	0.92
GALITE 5020	125	≥ 0.3	0.93
MAXLIGHT UV	200	0.3	0.91
VALTEC PC10	150	0.3	0.91
	250	0.3	0.94
VALTEC PC05	125	0.3	0.94

吸收峰, 看起来是属于中等湿度的纤维, 估计其 OH 浓度大约为 30ppm。

表 1^[3] 和表 2^[4] 给出国外几种光导纤维在给定波长的衰减或透过率。

除透紫外最佳的那些石英纤维外, Rich 等人 1972 年还专门研究了熔石英泡体样品在 0.94 和 1.37 μm 处由于 OH 在 2.73 μm 处的本振吸收所引起的谐振吸收, 他们发现天然熔石英矿和 Suprasil WI 材料有低于 40dB/km 的吸收带。这就启示我们, 熔石英纤维对 2 μm , 并可能对 2.2 μm 附近的整个 K 带天文窗口给出极好的透过率。这对于用纤维连接的超大型光学望远镜阵有效地用于 J 带和 K 带目的而言, 将是有意义的^[1]。

2. 光线在光导纤维中传播的光衰减问题, 是各种纤维应用系统中应该考虑的一个普遍问题。与此同时, 还存在所谓“输出光束轮廓的扩展”或“输出光束焦比的衰减”问题。如何在一根透过率下降的长纤维中保持光束焦比不变, 这

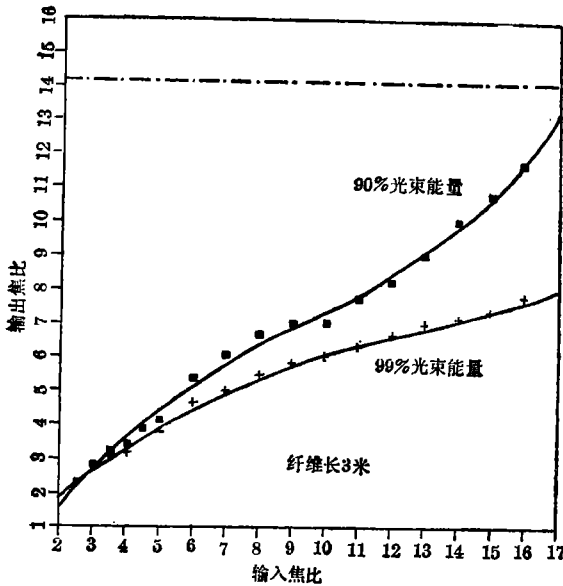


图2. GALITE 4,000 系列纤维的焦比衰减。

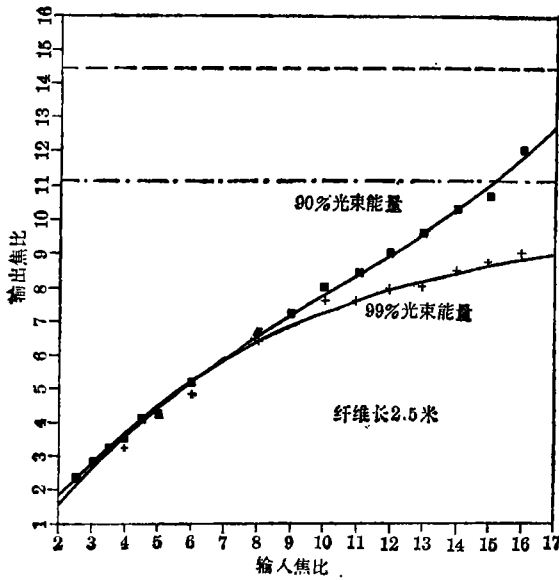


图3. MAXLIGHT 150 系列纤维的焦比衰减。

3) 由于纤维粗细(横断面)的变化引起的几何效应;

4) 纤维芯/皮界面, 或纤维本身的微小缺陷(微弯)会引起光的散射;

5) 纤维受挤压, 端面不平, 折射率不均等都会改变纤维的传光性能。

所有上述效应, 都会不同程度地使进入纤维的光束受到扩展。

J. R. P. Angel 等人^[1]测量了VAITEC公司的熔石英纤维的焦比衰减性能。用 $f/3.88$ 的光束照射纤维, 得到仅66%的光线包含在 $f/3.88$ 的出射光束内, 84%的光线包含在 $f/3$ 的扩展光束内。

美国宾夕法尼亚大学的S. C. Barden 等人^[4]用准直莱塞光从各种入射角照射光纤, 模拟输入焦比从 f/∞ 到 $f/2.5$ 的变化, 测量了多种光纤的焦比衰减特性。对每一输入光束角, 测量两个光束直径的估计值: 一个包含99%的光束能量, 另一个包含 $\geq 90\%$ 的光束能量。图2和图3列举了对两种光纤测量后给出的曲线, 他们的结论是选用 GALITE 4,000系列和 MAXLIGHT 150系列较为适合于望远镜-摄谱仪之间的耦合。从图可以看到, 入射光束焦比较快, 通过纤维后, 焦比衰减比较小。当纤维被用作光导将望远镜和摄谱仪耦合时, 由于焦比衰减会引起严重的失光, 从而降低系统的效率。较为妥当的解决办法是在光束进入纤维之前, 加一缩焦器, 将光束变宽, 使焦比衰减量减到最小, 然后在纤维出射光束一端再加一变焦器将光束变回去匹配

摄谱仪的弱焦比, 或者将摄谱仪准直镜更换成 $F/2.5$ 左右的强焦比。这对于将摄谱仪置于一固定位置, 例如折轴摄谱仪或卡焦摄谱仪放于观测室地板上, 进行单天体光谱观测是适用的。但对于多天体摄谱的情况, 则不适用。对于这种情况, 则采用一种自聚焦微型透镜 (Selfoc Micro Lens)^[5], 分别安装在每根纤维对星器的输入端置于望远镜的卡焦面上, 将卡焦光束焦比变为 $f/4.5$ 左右进入纤维, 这样可以得到较好的光学匹配。由此可见, 对纤维应用而言, 直接利用主焦光束是最为有利的, 可以减少上述光学匹配上的麻烦。当然, 也各有利

弊, 这样作要克服由于主焦位置安装纤维系统所带来的机械上的极端不便和注意主镜的安全问题, 这是在实际工作中千万不能疏忽的事情。据 AAO 报道, 一种具有焦比保守、特性极好的新型光纤已被研制出来, 这自然缓和了上面提及的矛盾。

在天文应用中, 除必须考虑上述两个重要纤维特性之外, 还要注意纤维端面的处理问题, 如果纤维端面不垂直于纤维轴以及端面在切割时造成的碎裂等缺陷, 也将会形成难以估计的失光, 因此在纤维端面的加工方面, 应尽可能采用妥当的措施, 比如采用专用工具切割纤维和用干涉显微镜检验端面的平整度等^[1]。

三、天文光纤系统

直到1977年, 人们才成功地把光纤系统用于天文研究。Angel 等人的工作^[1]开创了光纤进入天文研究的历史。以后, 他们把一根长20米, 芯径为 $125\mu\text{m}$ 的熔石英光纤装在 Steward 天文台36英寸(91cm)的望远镜上, 将主焦星光传到观测室地板下的实验室摄谱仪上, 拍摄了 NGC4151 核心的光谱^[6]。

ESO 自1982至1984年^{[2], [7], [8]}先后使用长40米、芯径分别为80、100、 $125\mu\text{m}$ 的熔石英纤维, 将智利3.6米望远镜和 CES 摄谱仪作了耦合实验证明: 3.6米望远镜加光纤耦合器和 CES, 比1.4米折轴辅助望远镜加狭缝和 CES 提高1.5等的灵敏度增益, 使原来暗于 9 等观测不到的天体, 推进到11等, 并能以 8×10^5 的高分辨进行观测, 同时也证明了光纤耦合器取代折轴反射镜系统的有效性(如图 4 所示)。

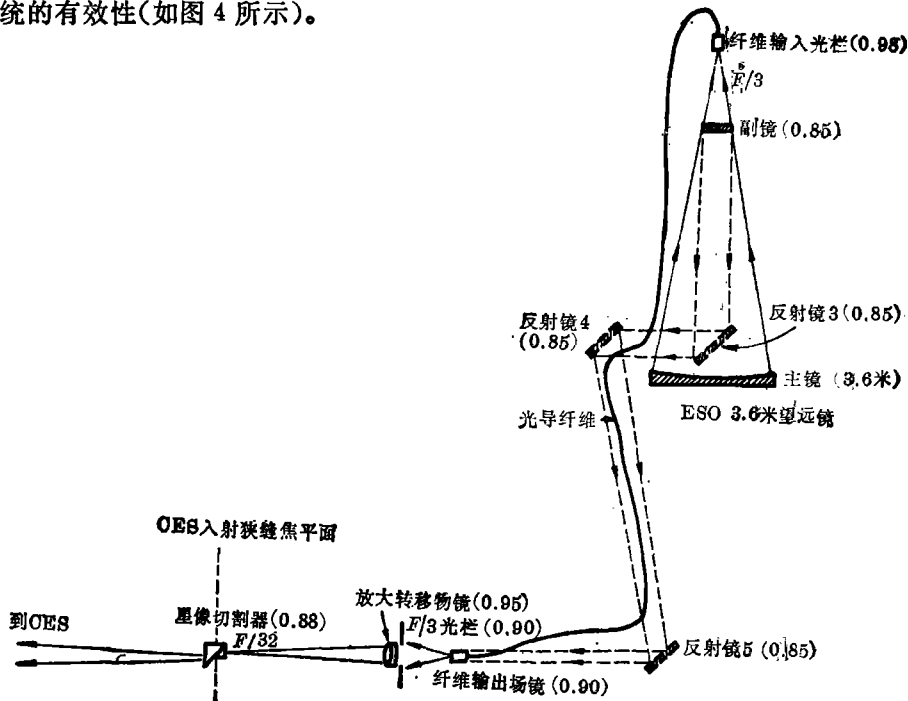


图 4. ESO 用光纤耦合器取代 1.4 米经典折轴反射镜系统, 将高分辨 CES 摄谱仪配上 3.6 米望远镜的方案图。

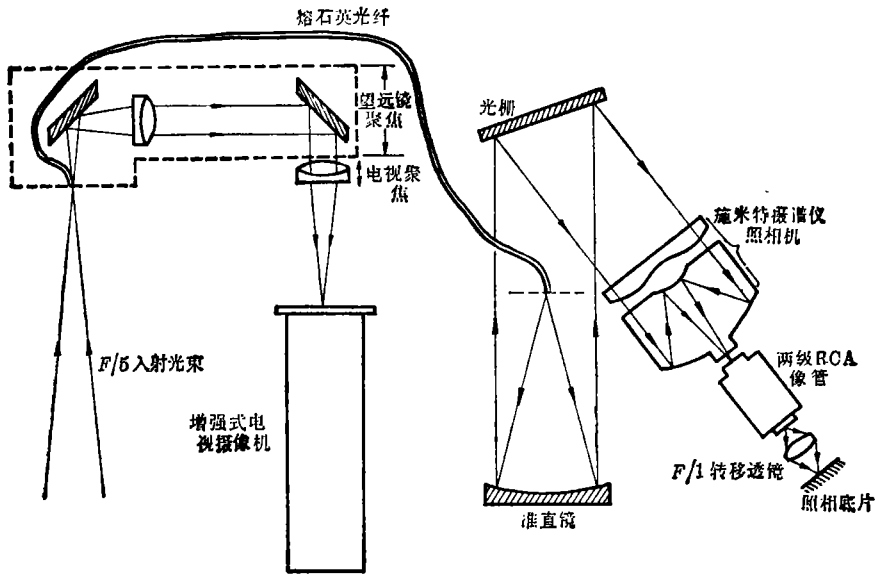


图 5. Steward 天文台单光纤摄谱仪系统。

在这个耦合系统中，除纤维本身的吸光损失以及由于 Fresnel 反射和 $F/3$ 之外的部分光束发散损失外，效率还可达 71%。而折轴反射镜系统按 4 个反射面，每个反射面按 85% 的效率计，则效率增益（由于主镜公用，不计入其损光）

$$\eta = \frac{0.71}{0.85^4} \approx 1.36 \text{ 倍。}$$

显然，这对于简化望远镜设计，避免摄谱仪与望远镜的刚性连接引起的弯程效应，从而可以得到稳定性很好的摄谱仪，以及对那些要求做视向速度测量工作的课题等都是极为重要的。

上述纤维对星耦合系统中，难度最大的问题是如何将星象对入芯径为 $2''.5$ 量级的纤维中。Steward 天文台和 ESO 的系统虽然各有不同，但都是采

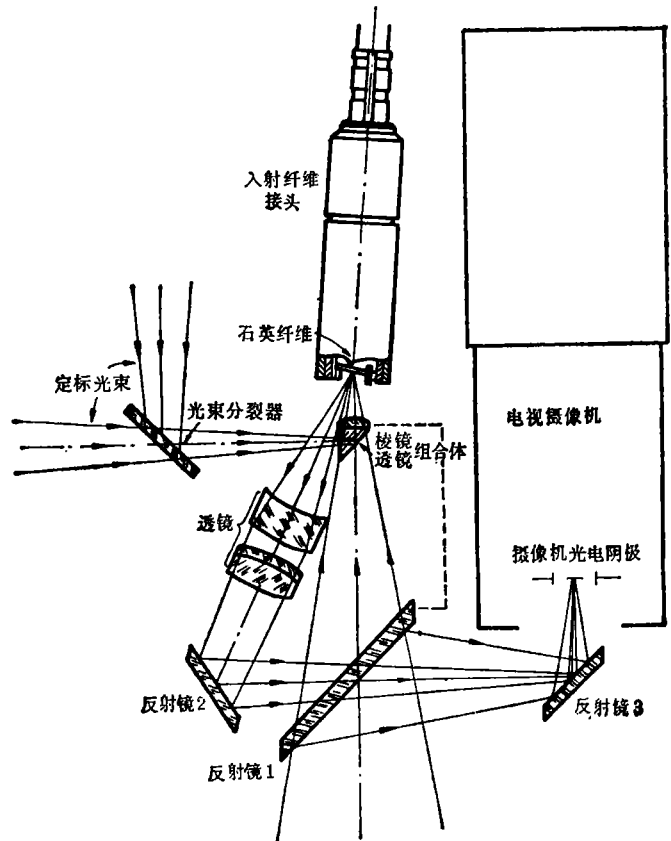


图 6 ESO 单光纤摄谱仪系统。

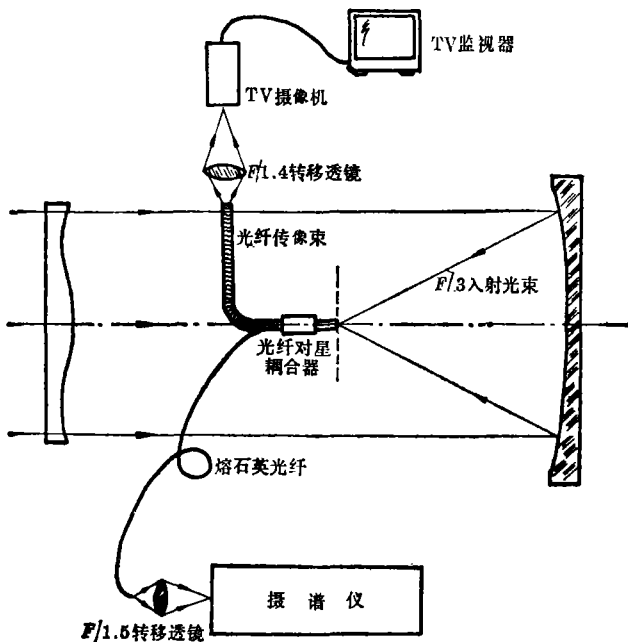


图 7. 北京天文台单天体摄谱系统。

用反射镜-透镜系统,在纤维的周围形成一个视场,并将这视场投向微光摄像机,在TV监视器屏上监视目标星进入纤维,实现寻星、对星和导星,如图5和6所示。

1985年8月,北京天文台实现了一种新型的对星耦合器^[9],如图7所示。它由将近60,000根 $\phi 18\mu\text{m}$ 、长1.2米的细玻璃纤维(今后将用熔石英纤维代替)排成 $5 \times 4 \text{ mm}$ (相应于北京天文台施米特望远镜 $10' \times 8'$ 的视场)的方阵纤维束,并在其中央夹排一根芯径为 $25\mu\text{m}$ ($\approx 3''$)、长20米的熔石英光纤。这种器件的头部置于施米特望远镜的焦面,束的尾部导向微光摄像机,而长纤维的尾部则导向置于地板上的摄谱仪。

这样,用纤维束取代了复杂的反射镜-透镜光学系统及其所形成的视场。整个器件体积小,安装于主焦上很方便,可作为永久性的固定装置安装于主焦上,没有挡光问题。实验证明,整套系统寻星、对星及导星均十分便利。这为用光纤取代折轴系统和用光纤连接的光学望远镜阵的实施,提供了一个实用的方案。

截至1979年,有缝光谱观测每次仅限于一个天体,这对于充分利用望远镜的视场是不利的。若干宇宙学的课题,例如星系团动力学问题,星系的红移问题、演化问题等,所遇到的巨大困难在于难于获得足够多的深样品光谱资料。这个困难的主要原因在于天文学家获得使用大型望远镜的时间有限,而在所获得的有限的使用时间内,其使用效率又很低。望远镜的使用效率体现在探测器的灵敏度,对准目标的快慢,以及每次观测能够获得观测对象信息的多少等方面。而在前两者对所有课题均相同的条件下,后者则起决定的作用。寻求一种在同一次观测时间内,能观测到多个目标的有缝光谱观测方法,就将导致传统的单天体有缝光谱观测方法的重大变革。无疑,其重要性是明显的。如果一次观测可能获得上百个天体的有缝光谱资料,那么在一般天文学家每年所能申请到的几个观测夜内,就将可能容易地获得100—1,000个对象的样品光谱,这就使得研究宇宙学有了一种实用的威力强大的手段,它将对宇宙学的研究工作产生深远的影响。另外,观测资料的同时性,对于研究天体的相关性也是很有意义的。从仪器角度看,光纤系统的效率可平均估计为50%,若一次露光可同时观测100个对象的光谱资料,则相当于望远镜的使用效率提高50倍,这是很诱人的。多天体摄谱仪系统在原则上和实践上都证明了可以满足上述要求。Hill等人^[10]的工作最先改变了传统的单天体观测方法。鉴于光纤维具有分立而又能随意组合排列的特性,因此使得有可能用多根纤

维, 其一端单独对准同一视场中的若干天体, 而另一端则全部排列成线阵, 构成所谓“纤维狭缝”, 沿摄谱仪狭缝方向放置, 这样在二维探测器上则可以得到所观测星场中若干天体的光谱, 如图 8 所示。

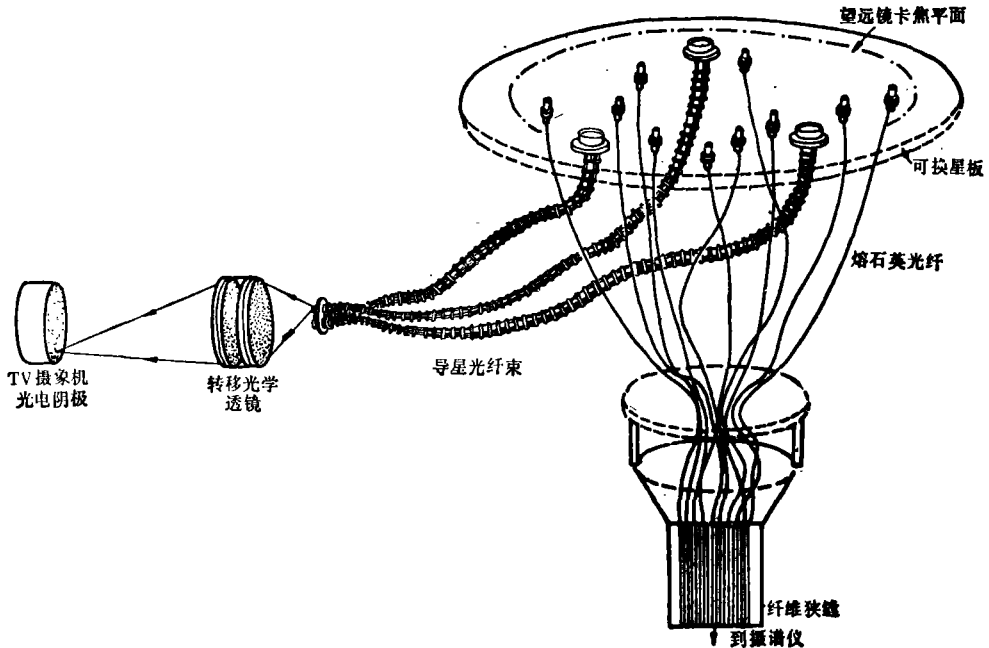


图 8. 多天体摄谱系统原理图。

实现多纤维系统要解决的关键技术问题是：

1. 纤维对星；
2. 导星。

无论是单纤维系统还是多纤维系统, 实现纤维对星, 是整个技术的最重要环节。但是两者的对星方法是完全不同的。在单纤维情况下, 由于观测对象只有一个, 因此能够将星及其周围的一小部分视场一起呈现于 TV 监视器屏上, 从而能在屏上实现寻星、对星和导星。而在多纤维的情况下, 则由于视场变大, 不可能如单纤维系统那样, 而是根据纤维对星器在望远镜焦面上的工作方式, 采用所谓“固定式”(或“星板”式)系统和活动式系统。

在固定式系统中, 纤维对星器是安装在相应于望远镜焦面的一块金属板上, 其上钻有相应于待观测的若干目标星的“星孔”, 这些星孔坐标是根据望远镜的直接成像底片或帕洛玛天图在高精度的天体测量仪器上测定的, 其位置测定精度希望准确到 $0''.3$ ^[11]。显然每观测一个星场要更换一块星板。目前, AAO 每个观测夜最多可换 4 块星板, 制作一块星板耗资 180 澳元。若以每块星板可装 50 个对星器的话, 则每个观测夜最多可观测 200 个天体的光谱, 这已很可观了。在活动式系统中^{[5], [12]}, 是将纤维对星器装在一根由步进马达带动的驱动器内, 这种驱动器在计算机的控制下, 可以在望远镜焦面上做二维运动, 以便把纤维对星器按预定坐标对准目标星。为了使星场内的多个驱动器不至于互相碰撞起见, 将星场分成若干个小区域, 将驱动器分组安置, 限其位于每个子区域中, 这样驱动器在执行任务时就不会越位引起互相

碰撞了。这两种系统中,对星器的另一端,即光纤的出射端,都用同样的办法排列成线阵,将星光送入摄谱仪。比较起来,固定式系统的技术难度相对较小些,投资也少些,因而见效周期较快,而且已有成功的经验可寻。但使用起来显然不如活动系统那样方便,而且从长远观点看,活动系统一次投资成功,不会再有经常性的耗费,因此它比固定式系统要节省。

为了在观测过程中实现导星,在固定式系统中,是采用两根(或三根)纤维束同时固定在星板上选取的两个(或三个)相应的“导星孔”内,截取视场中的两个(或三个)小区域送到电视摄像机,这样只要在 TV 监视屏上监视引导星的位置来修正望远镜的跟踪,则可实现观测过程中的导星^{[5], [13]}。而在活动系统中,则是用四根纤维捆扎紧密做成一根所谓四象限导星纤维束对准引导星,根据星象在四根象限纤维中的光信号对称性,给出控制望远镜的导星信号来实现观测过程中的导星^[12]。

多纤维系统的效率可作如下估计^[11]:

$$SYS = IPA \times IAA \times FBT \times SA \times FRD \times OAA$$

式中 IPA ——输入位置对准效率,估计为0.90

IAA ——输入角对准效率,估计为0.95

$FBT \times SA$ ——纤维束光谱透过率,估计为 $0.88 \times SA$

FRD ——纤维的焦比保守效率(与输入焦比有关),通常估计为0.84

OAA ——输出角对准效率,估计为0.98

所以系统效率

$$SYS = 0.90 \times 0.95 \times 0.84 \times 0.98 \times 0.88 \times SA = 0.62SA$$

将3米长的光纤所测得的光谱透过率 SA 值代入可得下表数值:

波长 (nm)	系统效率	
	湿纤维	干纤维
340	~0.06	~0.02
360	0.19	0.17
380	0.30	0.35
400	0.40	0.47
420	0.48	0.53
440	0.51	0.56
460	0.55	0.59
480	0.56	0.60
500	0.57	0.61
550	0.61	0.62
600	0.62	0.62
700	0.62	0.62
800	0.62	0.62
900	0.62	0.62
950	0.52	0.62

目前,固定式系统已在 Steward 天文台、AAO、ESO投入了使用,而活动式系统还仅处于实验室样机阶段。

自1979年以来,上述三个天文台利用自己研制的固定式样机系统,取得了很多具有实用价值的天文结果。

1981—1982年,Steward天文台利用多天体摄谱仪系统(“Medusa”,取名叫“水母”装置)在2.3米(90英寸)望远镜上观测了 $m_v \leq 18$ 的四个 Abell 星团中的101个星系,获得了600条光谱和红移值,视向速度误差为 90km/s,比传统的单天体摄谱系统获得的资料精度还略微好些。1983年4月,AAO利用自己的系统在AAT(3.9米)上,三个夜晚获得了400个天体的光谱,望远镜的使用效率提高25倍;1984年10月,AAO做到了一次露光可将100个天体的星光

分别送入两个摄谱仪,用15,000秒的露光,分别获得了 $B=20^m-21.5^m$ 的80—90个星系的可

用光谱资料, 1985年1月, 这个天文台用9,000秒的露光, 取得了 $B=20.5^m$ 的天体光谱, 发现了52个类星体。目前这套系统的工作占整个 AAT 使用时间的18%, 占配用 RGO 摄谱仪使用时间的28%, 这是占 AAT 时间最多的项目, 这种使用趋势还在继续增长中。ESO 的多天体摄谱系统("Optopus", 取名叫"章鱼"系统)于1985年10月1日正式在智利3.6米望远镜上投入使用, 预计1986年4月将再投入一套转盘式固定多光纤系统供天文学家使用, 这样更换现场将会快些。

多天体摄谱系统的历史不过仅仅5年左右, 但已经在天文学家面前展示了它的强大威力, 在天体物理研究中显现出了它的作用和生命力, 受到了天文学家的高度重视和喜爱。在第19届IAU大会期间, 仪器与技术委员会已把多天体摄谱学列为五个专题之一来讨论。

光导纤维除上述两项重要应用之外, 还有一种潜在的可能应用——光纤连接的多镜面阵望远镜(FLOAT), 它具有诱人的潜力^[1]。设

星象的视影圆面为 $2''.5$,

相应于该视影圆面的光纤芯径为 d ,

f 为单镜面焦距,

D 为单镜面口径,

则有

$$d = \frac{2''.5 \times f}{206265}$$

得到

$$f/D = 8.25 \times 10^4 \frac{d}{D}$$

若选用 $d=125\mu\text{m}$ 的熔石英光通信纤维和 $f/D=4/1$, 则可得到 $D=2.5$ 米。如果希望得到聚光面积为 500米^2 的超巨型望远镜, 则可估计 $D=2.5$ 米的镜面数 $N=101.8$, 近似取整为 $N=100$ 。所以可得到等值口径为25米的FLOAT系统的基本参数为 $N=100, D=2.5\text{米}, d=125\mu\text{m}$ 。这就是说, 用长为20—40米、芯径为125微米单根长熔石英光纤, 将100面口径为2.5米的子望远镜焦面的光能收集起来进行叠加, 送入摄谱仪分光, 则相当一架等值口径为25米的超巨型望远镜的集光能力!

FLOAT系统的效率可估计如下: 设

单镜面使用一年后的效率为80%,

纤维的焦比保守效率为85%,

纤维在 $4,000\text{\AA}$ 的透过率为80%,

没涂抗反射膜的纤维端面效率为96%,

则总效率 $= 0.80 \times 0.85 \times 0.80 \times 0.96 = 0.52 \approx 50\%$ 。

在可见区和红区, 这个值将增加到55%; 在 $3,500\text{\AA}$ 将下降到 $\sim 43\%$, 在 $3,200\text{\AA}$ 降到37%。这与一架无纤维的普通摄谱仪(具有两块反射镜和一个非常有效的星像切割器, 其效率为80%)的效率差不多。可见纤维的引入并没有降低效率, 相反却带来了使用纤维的一切好处: 可以得到与同样口径相比, 价格低廉得多的超大型望远镜, 而由于小型镜面及其机架均系重复性生产, 工艺技术均已成熟, 更可以加快实现这种超大型望远镜。值得指出的是, 北京天文

台研制出的新型对星耦合器为 FLOAT 系统探讨了一种实用的对星耦合方案。

另外, 光纤星像切割器^[14]和光纤析像器^[15]以及光纤星像变换器^[16]等在天体物理研究中都有一定的用途。它们对于改善摄谱仪的效率和同时获得一个面天体各点的光谱资料, 都是很有意义的器件。进一步提高工艺和进行巧妙的设计, 会有更多更好的光纤系统用于天文研究。

由上所述, 光导纤维进入天文研究领域的条件业已成熟, 它不仅可以用于天文观测方法的改进, 而且也可以用于光学望远镜本体设计的改革, 它在天文研究中的应用前景是广阔的, 可以预计, 随着光纤科学的进步, 光纤进入天文学研究的新时期, 一定会更加丰富多采, 我们正积极去争取这个前景的到来。

参 考 文 献

- [1] Angel, J. R. P., Adams, M. T., Boroson, T. A. and Moore, R. L., *Ap. J.*, **218** (1977), 776.
- [2] Enard, D. and Lund, G., *The Messenger*, (1983), No.31,1.
- [3] Gray, P., *Notes on fibres and fibre systems*, (1982), 7.
- [4] Barden, S. C., Ramsey, L. W. and Truax, R. J., *P.A.S.P.*, **93** (1981), 154.
- [5] Hill, J. M., Angel, J. R. P., Scott, J. S., Lindley, D. and Hintzen, P., *Proc. SPIE*, **331** (1982), 279.
- [6] Hubbard, E. N., Angel, J. R. P. and Gresham, M. S., *Ap. J.*, **229** (1979), 1074.
- [7] Enard, D., Lund, G. and Buzzoni, B., *Fiber optics coupling of the 3.6m telescope with the CES*, ESO Internal Report (1982), 1.
- [8] Lund, G. and Ferlet, R., *The Messenger*, (1984), No. 36, 2.
- [9] Wang Shunde, Jiang Shiyang and Men Li, A new type optical fiber T. V. adaptor-link between telescope and spectrograph, *Ap. Space Sci.* **121** (1986), 345.
- [10] Hill, J. M., Angel, J. R. P., Scott, J. S. and Lindley, D., *Ap. J.*, **242** (1980), L69.
- [11] Gray, P., *Fibre coupled aperture plate (FOCAP) system transmission*, (1985), 2.
- [12] Cohen, J. G., Goss, W. C. and Tubbs, E. F., *A movable multi-object fiber optic spectrograph feed*, (1981), 1.
- [13] Enard, D., Lund, G. and Tarenghi, M., *The Messenger*, (1983), No. 33, 33.
- [14] Kapanay, N. S., *Proc. Symp. Astron. Opt.*, (1956), 283.
- [15] Vanderriest, C., *P.A.S.P.*, **92** (1980), 858.
- [16] Gray, P., *AAO Newsletter*, (1981), No. 19, 3.

(责任编辑 谢应纯)

Optical Fibres Technique and Their Present Application Status in Astronomy

Wang Shunde

(Beijing Observatory, Academia Sinica)

Abstract

Recent developments and some important applications of optical fibres in astronomy are described.