

# 国内外医用纤维光学内窥镜概况

内部资料·注意保存

上海医疗器械研究所

一九七八年四月

# 说 明

在英明领袖华主席为首的党中央抓纲治国的英明决策指引下，为了进一步促进我国医用纤维光学内窥镜的生产和发展，我们以软性纤维光学内窥镜为主，编写了《国内外医用纤维光学内窥镜概况》一文，供有关领导部门、工厂、科研单位、医院了介国内外现况，並在这一领域内努力赶超国际先进水平作参考。在编写中曾得到上海医用光学仪器厂、上海注射器一厂、上海长宁区中心医院、长海医院等单位的大力支持，在此顺致感谢。由于水平所限、时间仓促、收集资料局限（国内纤镜主要以已有生产的产品为主），肯定存在许多错误和不妥之处。欢迎批评指正。

上海医疗器械研究所情报组

一九七八年四月

# 目 录

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 一、纤维光学内窥镜的发展过程.....   | ( 1 )  |
| 二、纤维光学系统的原理和制造方法..... | ( 6 )  |
| 三、纤镜的基本结构.....        | ( 13 ) |
| 四、各种纤镜简介.....         | ( 22 ) |
| 五、纤镜的光源及附属设备.....     | ( 61 ) |
| 六、纤镜检查方法的发展.....      | ( 82 ) |
| 七、纤镜的国外发展动向.....      | ( 86 ) |
| 八、对今后我国发展纤镜的几点看法..... | ( 88 ) |

# 国内外医用纤维光学内窥镜概况

## 一、纤维光学内窥镜的发展过程

光学内窥镜是医学上一种重要的诊察检查器械。人的眼睛通过它能直接观察到内脏器官的组织形态,从而达到正确诊断的目的。虽然利用X线技术、超声技术亦能在某种程度上间接地显示出人体的内部组织形态,但是真正能做到直观的器械就唯有内窥镜一种,因此它一向受到医学界的重视。

光学内窥镜的发展已有一百余年的历史了。在1795年Bozzine首先提出内窥镜的设想,他利用烛光做光源,通过窥镜看到了直肠和子宫的内腔。1805年他又创制了喉头镜,首次观察食道入口成功。1826年法国Segales制成了尿道膀胱镜。1843年Avery试制简易的喉头食道镜。1853年法国的Desormenx制成一种内窥镜,利用煤油灯照明的反射光源可观察尿道、膀胱、直肠、子宫等。1868年Kussmaul受到吞剑师表演的启发而制成了第一台食道胃镜(图1)。1880年爱迪生发明电灯后,就出现了用电灯或小电珠作

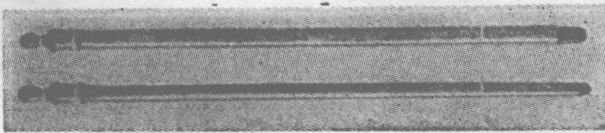


图1 Kussmaul的原始胃镜

窥镜的内外光源,进一步提高了观察效果。以后各种内窥镜相继发展。可是,过去的医用内窥镜都是利用透镜、棱镜、反光镜等传统的光学元件,以金属管为外壳

而制成的硬性直管型内窥镜(图2),用小电珠内光源或钨丝灯外部反射光源,照明亮度很低,影象不够清晰,观察盲点(即窥镜看不到的地方)又多,所以诊断效果比较差。要将这种硬直的窥镜插入到人体复杂的内腔中去是相当困难的,需要有一定的熟练技术,并且会给病人带来极大的痛苦和损伤。以后,也有很多人研制过能弯曲的内窥镜,但未获成功。直到1932年Schindler和Wolf合作研制成功了一种半可曲式胃镜(图3)以后,才使胃镜进入了比较实用的阶段。总之这类硬管型内窥镜自发明以来,很少有根本性的

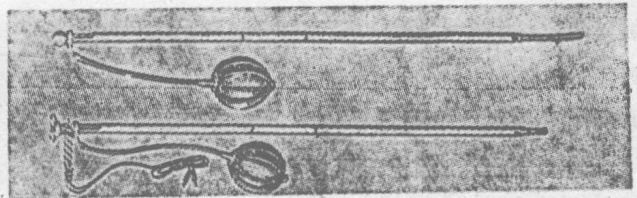


图2 硬性胃镜

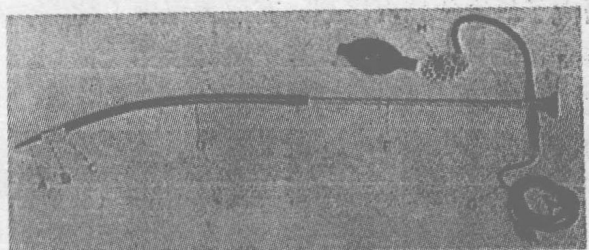


图3 Schindler和Wolf的半可曲式胃镜

技术突破，所以内窥镜检查法就远不如X线诊断那样发展迅速，使用普及。自从50年代初期出现纤维光学以后，这种新的科学技术首先就引用到医用内窥镜上来，57年在美国出现了第一台实用的纤维光学内窥镜（以下简称纤镜），这才使医用内窥镜发生了重大的革新和飞跃的发展，从此，医用内窥镜进入了一个新的纤镜时代。

所谓纤维光学，简单地说，就是利用柔软透明的纤维或纤维束可弯曲地向任何方向传导光和光学图象的一种科学技术。纤维光学的基本原理在1870年已由英国的 John Tyndall发现和提出，但直到1928年以后才有英国的J.L.Baird以及C.W.Hensell提出利用这种技术的专利。1930年德国的 H.Lamm 成功地用玻璃纤维束进行导光传象的实验（图4、图5），並首次提出了利用这种纤维束制作柔软性胃镜的设想。由于纤维之间

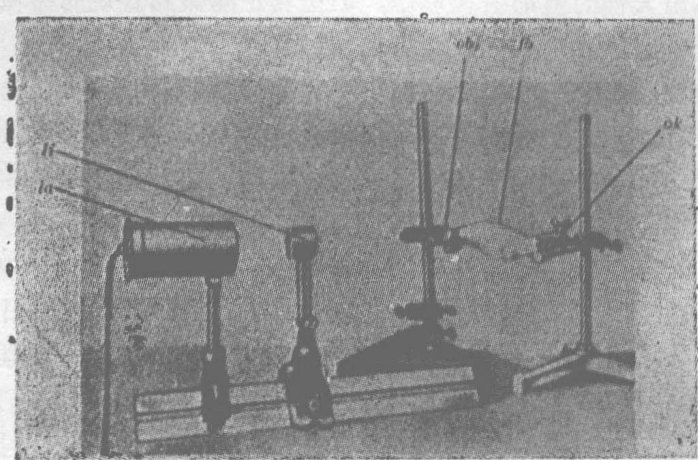


图4 Lamm 的实验装置

- la 照明灯
- li 透镜
- obi 物镜
- fb 纤维光束
- ok 目镜

的光绝缘问题没有解决，在一段时间中始终没有建立起实用的纤维光学系统。直到50年代初期，荷兰的 Van Heel 和美国的 O'—Brien在纤维上加一层被复层来解决纤维丝之间的光绝缘得到成功，与此同时，英国的 H.H.Hopkins 和 N.S. Kapany 研究了纤维的精密排列，有效地解决了纤维束的图象传递问题，这才使纤维光学奠定了科学的和实用的基础。目前，这种新的科学技术在医学、工业、军事、甚至电子通讯和宇宙开发方面都得到广泛的应用和发展。

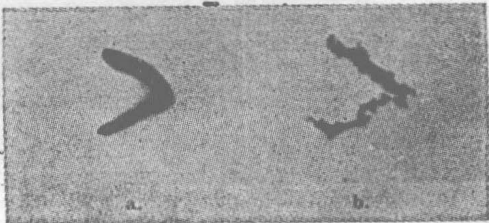


图5 Lamm 的实验结果

- a.照明灯丝原形
- b.纤维光束传出的灯丝图象

1957年美国Hirschowitz 在美国胃镜学会上提出了世界上第一篇纤维光学胃十二指肠镜的报告，並展出了实样（图6）。1958年又发表于美国胃肠学杂志上，引起世界范

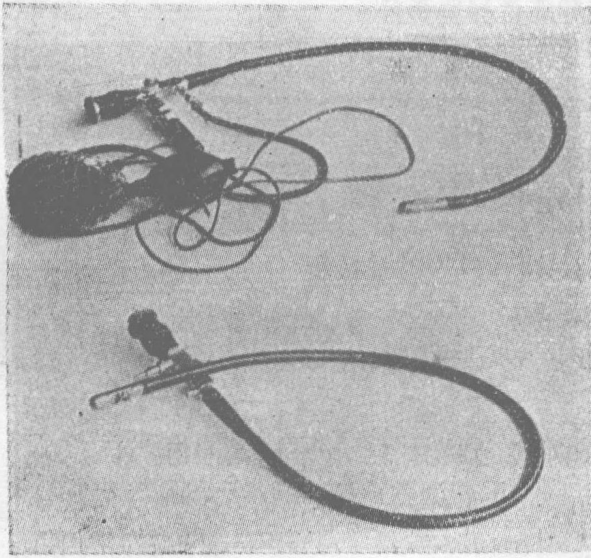


图6 Hirschowitz 的原始纤维  
光学胃十二指肠镜

国的重视。1958年美国光学公司开始供应纤维光学制品。1959年美国膀胱镜制造公司（ACMI）生产和供应胃纤镜产品。日本在60年代初才引进美国胃纤镜的样品，62年购买美国光学公司的纤维光束开始试制纤镜。63年町田制作所首先试制成功日本的第一台胃纤镜并投入生产。64年日本的欧林巴斯光学工业公司在胃照相机的基础上安装了纤维光束，制成了带胃照相机的纤镜，亦投入了生产。同年，日本町田首先在胃纤镜上加入了活检功能，从此纤镜能进行细胞及组织检查了。当时的纤镜虽然柔软可弯，插入容易，减少了病人的痛苦，但

是纤镜上还没有弯曲机构，照明还是老式的小电珠内部光源，所以观察盲点还是很多，光学质量亦比较差。1966年日本欧林巴斯公司首创了纤镜的头部弯曲机构，1967年町田厂首先采用了导光束外接强冷光源技术，通过了十年来的发展，特别是这二项重大改革，才使纤镜进入了成熟完备的阶段。

纤镜以玻璃纤维光束代替传统的透镜、棱镜等作为导光传象的元件，它细而柔软，加上了头部的弯曲机构后，头部可以左右、上下转动，插入人体迴转曲折的复杂内腔既方便又少痛苦，并且还能减少甚至消灭观察盲点。利用纤维光束导光，就能采用外部的强的冷光源，光量大为增加，並可以自由调节而获得清晰的图象。这种光源色泽接近自然光，更增强了图象的真实感，细小的病灶亦可能发现。因为光量强，所以能采色静片摄影对检查进行记录，甚至还可以采色电影摄影和电视显示作动态的观察和记录。纤镜的发展不但克服了原有内窥镜的缺点，还发挥出不少新的优点，大大提高了检查诊断的效果。因此，20年来发展迅速，国际上几乎原有的内窥镜如：食道、胃、直肠、乙状结肠、腹腔、膀胱、子宫、耳鼓膜、鼻、咽喉、支气管、纵隔、胸腔等内窥镜都改为纤镜了，至少其导光部份改用了纤维光束。新的纤镜也不断创造，如：十二指肠、小肠、结肠、胆道、关节、肾脏、血管心脏、声带等纤镜相继出现，如果没有纤维光学的应用，要制造出能直观这些深部复杂脏器的内窥镜来，几乎是不可能的，由此，在医学上扩大了直观检查的诊断领域。各种主要纤镜的发展起始年份列于表1，以供参考。近年来，随着纤镜的进步，纤镜的一些附属装置，如：光源、活检器械、手术器械、摄影机、电视系统等都相应地得到很大的发展，所以纤镜不但普及地用于常规检查，甚至不少纤镜还用于紧急检查和集体普检。新的纤镜检查方法和专用的特殊纤镜也有发展，纤镜的用途除了直观和活体检查以外，还向手术治疗、生理测试和功能检查的方向扩展。纤镜目前已

表 1

主要纤维镜的试制和生产起始年分

| 年 分     | 纤 镜 名 称         | 试 制 者 或 生 产 厂               |
|---------|-----------------|-----------------------------|
| 1 9 5 7 | 胃十二指肠纤维镜        | 美国, Hirschowitz等试制          |
| 1 9 5 9 | 胃十二指肠纤维镜        | 美国, ACMI公司生产                |
| 1 9 6 2 | 胃纤维镜            | 日本, 町田公司试制                  |
| 1 9 6 3 | 胃纤维镜            | 日本, 町田公司生产                  |
|         | 食道纤维镜           | 美国, Lo Presti试制, ACMI公司生产   |
| 1 9 6 4 | 带胃照相机的胃纤维镜      | 日本, 欧林巴斯公司试制生产              |
|         | 支气管纤维镜          | 日本, 町田公司试制                  |
|         | 结肠纤维镜           | 日本, 东京大学和町田公司合作试制           |
| 1 9 6 5 | 前侧视转换式胃纤维镜      | 日本, 町田公司试制生产                |
|         | 胆道纤维镜           | Shore等试制                    |
| 1 9 6 6 | 支气管纤维镜          | 日本, 町田公司和欧林巴斯公司生产           |
| 1 9 6 7 | 十二指肠纤维镜         | 美国, Rider等试制                |
| 1 9 6 8 | 结肠纤维镜           | 美国, ACMI公司; 日本, 町田、欧林巴斯公司生产 |
| 1 9 6 9 | 十二指肠纤维镜         | 日本, 町田公司生产                  |
|         | 血管心脏纤维镜         | 日本, 北海道大学和欧林巴斯公司合作试制        |
| 1 9 7 0 | 肾纤维镜            | 日本, 欧林巴斯公司试制和生产             |
|         | 小肠纤维镜           | 日本, 东京女子医大和町田公司合作试制         |
| 1 9 7 1 | 前视式上消化道全景纤维镜    | 美国, ACMI公司; 日本, 欧林巴斯公司试制生产  |
| 1 9 7 2 | 前侧视转换式上消化道全景纤维镜 | 日本, 町田公司试制生产                |
|         | 胆道纤维镜           | 日本, 欧林巴斯公司生产                |
|         | 针状纤维镜           | 日本, 欧林巴斯公司试制生产              |
|         | 双通道手术纤维镜        | 日本, 欧林巴斯公司试制                |

|      |             |                                          |
|------|-------------|------------------------------------------|
| 1973 | 前斜视上消化道全景纤镜 | 日本, 欧林巴斯公司试制生产                           |
| 1975 | 小肠纤镜        | 日本, 欧林巴斯公司生产                             |
| 1976 | 双道通手术纤镜     | 日本, 欧林巴斯公司, 美国, ACMI<br>公司, 德国Wolf公司相继生产 |

成为医学上必不可少的诊断工具了, 特别是对某些肿瘤的早期诊断是相当有效的。象日本自从普及使用胃纤维内窥镜以后, 胃癌的确诊率可达96%以上, 早期胃癌的发现率逐年增加, 这就使胃癌死亡率有所下降。

目前国际上纤镜的生产厂并不最多, 主要有以下几家:

日本, 欧林巴斯光学工业公司(Olympus Optical Co, Ltd)以下简称欧林巴斯或Olympus。

日本, 町田制作所(Mechida Endoscope Co, Ltd), 以下简称町田或Mechida。

日本, 富士写真光机公司(Fuji Photo Optical Co, Ltd), 以下简称富士或Fujinon。

美国, 美国膀胱镜制造公司(American Cystoscope Makers Inc.)以下简称ACMI。

美国, 美国光学公司(American Optic Co.), 以下简称A.O.

德国, 利查华尔夫公司(Richard Wolf, GmbH), 以下简称Wolf。

德国, 卡尔斯多士公司(Karl Storz K.G.), 以下简称Storz。

英国, 威伯勒内窥镜公司(Wappler Endoscopy Ltd.), 以下简称Wappler。

日本虽然从美国引进技术以后才开始试制和生产纤镜的, 但后来居上, 不论在品种规格上、技术质量上或生产数量上, 目前都居于世界首位。比较代表性的欧林巴斯公司年产各种纤镜达万台以上, 该厂自称供应国际上纤镜应用的80%。

我们国内60年代初期已开始研制玻璃光学纤维。上海医用光学仪器厂于1966年在北京玻璃研究所、西安光机所的协助下开始研制玻璃光学纤维, 目的是想制造各种纤镜。由于纤镜相当精密, 技术要求高, 而厂的基础薄弱, 在材料、设计和加工上都遇到不少困难, 一时无法克服。直到1973年在上海组织全市大协作大会战, 上海医光厂在几十个兄弟单位的大力协助下, 才试制成功了观察单用胃纤镜和观察、活检、照相三用胃纤镜。74年试产, 以后又转入小批生产, 至今已生产了约500套。与此同时, 还试制成纤维导膀胱镜亦已投入生产。76年试制成功食道纤镜亦已小批投产, 十二指肠纤镜正在试制中。天津医用光学仪器厂在66年左右亦试制过玻璃光学纤维, 74年以后又重新试制了胃纤镜。北京318厂、218厂和北京玻璃研究所、人民手术器械厂等单位协作; 南京鼓楼医院和南京玻璃纤维研究设计院、528厂、延安无线电厂、3304厂等单位协作; 西安中心医院和西安光机所等单位协作; 安徽医学院和合肥工学院等单位协作; 四川南充地区岳池县金光仪器厂和重庆玻璃纤维厂等单位协作都在试制胃纤镜, 有的单位已制成样机进入临床试用。青岛市光学仪器厂于1974年试制成功子宫纤镜, 已扩大临床试用。沈阳辽宁医疗器械研究所和大东光学仪器厂等单位协作亦试制成功了子宫纤镜, 上海医用光学仪器厂亦在试制子宫纤镜。此外, 北京218厂试制成功了纤镜专用的照相机。在77年上海

广播器材厂等单位还试制了纤镜电视系统。上海手术器械七厂已生产纤镜用活检器械（细胞刷和活体取样钳）今后还将试制更多的纤镜配套器械。虽然我国的纤镜制造起步较慢，目前还落后于国际水平，但从上述情况可以看到，纤镜受到全国各地重视，有不少地区和单位在致力于这方面的研究。在华主席和党中央的英明领导下，在抓纲治国和向四个现代化进军的大好形势鼓舞下，可以肯定，我国的纤镜制造和应用将会有飞跃的发展和美好的前景。

## 二、纤维光学系统的原理和制造方法

纤维光学系统的现象和原理早在19世纪就被发现和证实，但是透明的光学纤维是怎样进行导光导像的呢？这里来简单的介绍一下。

光在透明的均匀介质中是直线行进的，但是光从一个透明均质中传送到另一个透明均质中去时，在两种均质的界面上就会发生折射和反射。譬如光线从折射率（ $n_1$ ）高的水中以 $\theta_0$ 的角度入射到折射率（ $n_0$ ）低的空气中去时，在界面上有少量反射，大部分光

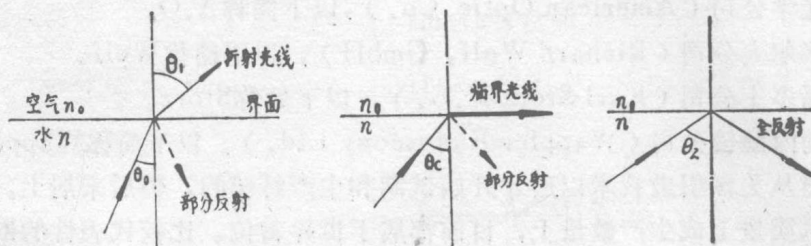


图7 光线从高折射率介质入射到低折射率介质时的情况

线以角度 $\theta_1$ 折射到空气中去，而 $\theta_1 > \theta_0$ 。当 $\theta_0$ 增大到 $\theta_c$ 时，部分光线反射，另一部分光线延界面行进，而没有光线折射入空气中去，这时 $\theta_c$ 就叫作入射临界角（ $\theta_c = \arcsin \frac{n_0}{n_1}$ ）。当入射角大于 $\theta_c$ 时（ $\theta_2 > \theta_c$ ），则所有的光线在界面上都被反射回来，这就叫作全反射（图7）。光学纤维的导光导像就是以这个基本原理为基础，並利用了这种全反射现象。

如以玻璃纤维为例，当玻璃被拉制成几十微米以下的纤维丝时，它变得非常柔软而且可以任意弯曲。玻璃的折射率 $n_1 > 1.4$ ，外界空气的折射率 $n_0 \approx 1$ 。这时，入射到玻璃纤维丝端面上的部分光线就从玻璃丝侧壁经过多次全反射而传到另一个端面上射出（图8上）。事实上，单用一根纤维制成的光学元件是少有的，一般都是成百上千甚至几万根纤维扎成一束来使用的，这时一根纤维丝中的光就会在另近纤维丝的相互接触点上发生泄漏（图8中），因为在接触点上界面的两侧都是同一介质，这就不符合于上述折射原理，结果就打乱了全反射过程，如果用这样的纤维束导光就会泄漏，导象就产生干扰，不符合实用要求，这就是所谓光绝缘问题。那么怎样才能介决光绝缘问题呢？一般都是

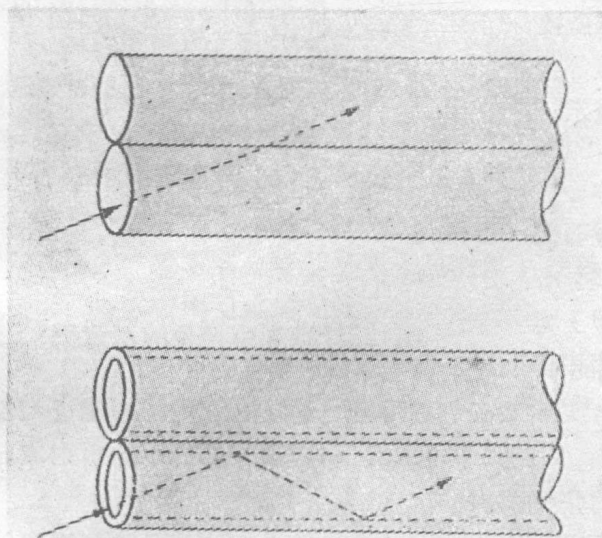
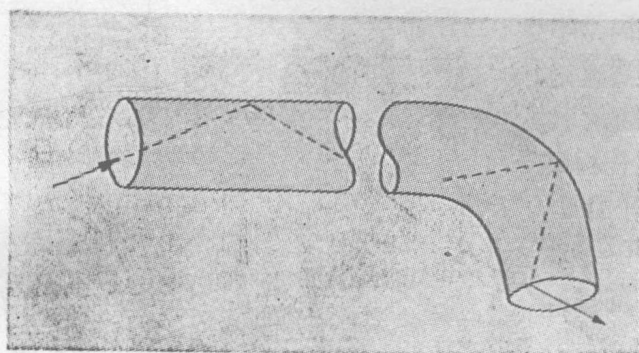


图8 光在纤维丝中的传导

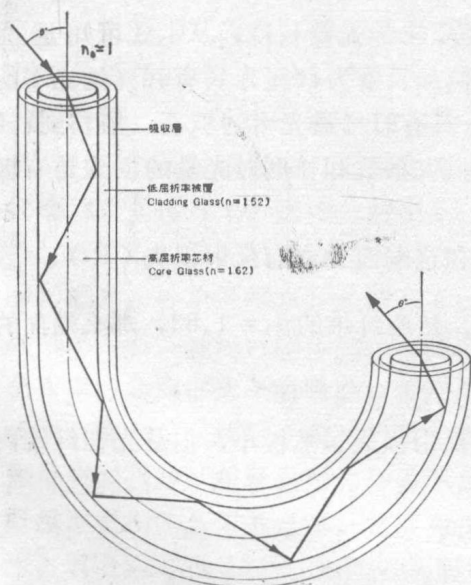


图9 带有被复层和吸收层的纤维丝

在纤维丝（称之为核心纤维）的外侧包复上一层折射率低的物质（称之为被复层），有时在被复层外再加上一层吸收层（图9）。这样的纤维做成纤维束就解决了光绝缘的问题，再也不会发生光的泄漏和干扰了（图8下）。由此，才使纤维光学进入了可以实用的阶段而得到飞速的发展。

光亦是一种电磁波。从电磁波理论上讲，光在发生全反射时，还会渗入被复层一定深度，渗入的深度与入射光线的波长、入射角及偏振面等有关系，一般认为将渗入  $\frac{\lambda}{2}$ （图10），所以被复层的厚度必需高于此值，一般都在一微米以上。

将纤维丝多根扎成一束，两端用环氧树脂粘合起来或加热熔

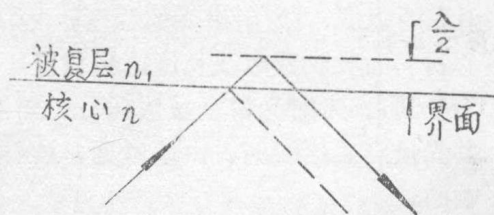


图10 光线在被复层中的渗入

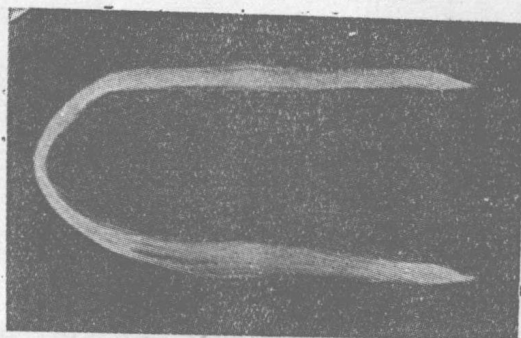


图11 纤维光束

压起来，端面进行抛光，这就成为两端固定中间松散可弯的纤维光束了（图11）。光线是通过核心纤维传导的，图象的传送同样如此，传出的图象实际上是由核心大小的光点组合构成，只有在两端纤维丝按相同的次序排列时，光学图象才能从一端不失真地传导到另一端（图12），所以导象束比导光束有更高的排列要求。

纤维光束的性质基本上是由单根纤维所决定的。纤维光学系统的集光能力也和透镜等传统的光学系统一样，用数值孔径N.A.来表示。

$$N.A. = n_0 \sin \theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

一般医用纤维的光学纤维，核心用燧石玻璃其折射率  $n_1 = 1.62$ ，被复层用冕玻璃  $n_2 = 1.52$ ，所以  $N.A. = 0.56$ ，受光角（ $2\theta$ ）为  $68^\circ$ ，在端面上这个角度范围内的光线都能传导到另一端去。但这是通过中心区的数值，实际上在中心四周一定角度的光线亦能进入端面，所以实际的N.A.还要增加20%左右。从上式中可以看出，提高核心纤维的折射率，减小被复层的折射率，能提高纤维光束的集光能力。

光在纤维中传送，末端射出的光量肯定要比前端射入的光量小，这就是衰减现象。衰减现象首先和核心纤维的透光率（T）有很大关系， $T = \frac{I}{I_0} = e^{-\alpha L}$

$I_0$ 为入射光的强度，I为射出光的强度， $\alpha$ 为吸收系数，L为光路长度，从上式可知透光率和核心材料的吸收系数及长度成指数反比关系，例如长度为10厘米具有99%透光率的玻璃，增长到7.5米时光量衰减达53%；如果10厘米具有97%透光率的玻璃，增长到7.5米时，其光量衰减达90%，由此可见，核心纤维的吸收系数和长度对光量的损失是有极大的影响的。

其次，光从外界进入纤维，先要与端面接触，在这端面上亦有反射损失（R）。

$$R = \frac{(n_1 - n_0)^2}{(n_1 + n_0)^2} \quad \text{假定空气的折射率 } n_0 \approx 1, \text{ 核心纤维的 } n_1 = 1.62, \text{ 那么端面的}$$

反射损失将达11%，这个数值亦是不能忽视的。

第三是核心和被复层的反射损失，二者界面的反射损失虽然极小，但是光在纤维内成千上万次反复反射，其累积值就不能忽视了。

$$R = R_0 \frac{L \tan \theta}{d}$$

$R_0$ 为全反射率（玻璃为0.9993），d是核心纤维直径， $\theta$ 为界面上的入射角。 $\frac{L \tan \theta}{d}$ 为



图12 纤维光束导象的示意图

反射次数。从上式中可看出纤维愈细，入射角度越大，光的损失越大。

以上是单纤维丝的情况，如果拿纤维束来说导光效率与有效截面积比 $P.F$  (Packing Fraction) (亦可以理介为排丝密度) 有很大的关系， $P.F = \frac{\text{核心总截面积}}{\text{纤维束总截面积}}$

纤维丝排得密，核心总面积就大， $P.F$ 就大，导光效率就高。光学图象是由核心光点组成的，丝排得密，光点多，不但光量大，并且图象亦更清晰了，分辨力就可以提高。纤维束总截面积是核心、被复层、吸收层、间隙等的总和，因此尽量减少被复层、吸收层的厚度，特别注意减少纤维之间的间隙，这就是提高纤维束质量的一个关键，这就要采用好的排丝工艺来解决。

对纤镜来说，纤维丝的弯曲强度比抗拉强度更重要。因为随着纤镜的发展，纤镜头部的弯曲要求更高，有的甚至四方向弯曲 $180^\circ$ 以上，如果纤维的弯曲强度差，那势必会造成经常断丝，这样将影响到导光导象的特性。以一根纤维来说，一般能承受最小的弯曲半径约为纤维直径的40倍，但是纤维扎成一束，因为有摩擦等因素，允许的弯曲半径就要大得多。

总之，优良的光学纤维束要具备以下的条件：

1. 为了要使更多的光线透过，数值孔径 $N.A.$ 要大，也就是说核心纤维的折射率要高，被复层的折射率要低。

2. 要采用吸收率小，透光率高的玻璃来作为纤维原料，减少光在纤维内的衰减。

3. 核心纤维和被复层的界面要平滑以减少内面的反射损失。

4. 能透过光线的波长范围要宽， $400m\mu \sim 1400m\mu$  的光线都能有效地透过。

5. 机械强度要高，特别是要柔软而不易折断。纤维内不能有气泡、结石等缺陷。

6. 单丝直径要稳定，对导象束来说排丝要紧密规则，提高分辨率。

纤镜用的导光纤维直径一般为 $15 \sim 30$ 微米，导象纤维直径一般在 $5 \sim 20$ 微米左右。导象纤维细些，能提高分辨率，弯曲亦更不容易断，但对透光则有影响，一般以 $5$ 微米为限。据国外资料报导，单丝直径为 $10$ 微米，纤维束截面为 $5 \times 5$ 毫米，长度为 $1$ 米，其分辨率为 $40$ 线/毫米。英国资料报导， $1$ 米纤维光束的透光率为

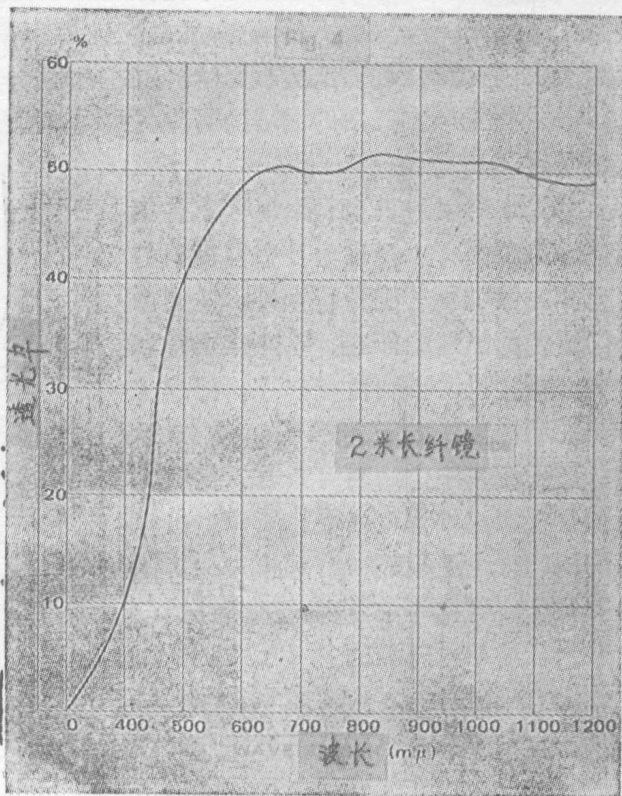


图13 欧林巴斯公司纤镜的透光率曲线

45~50%，分辨率为 40~50 线/毫米。日本加农公司的60微米直径光学纤维 1 米长单丝的透光率为50%。据日本富士公司来华技术坐谈介绍，富士公司14微米纤维，1 米的导象束的透光率为 20~30%，导光束为20~40%，並说和日本欧林巴斯及町田公司的纤维光束性质相仿。但据欧林巴斯厂介绍，其导象束的透光率为 40~45 %，並还在不断提高。欧林巴斯纤维样本中所公布的数据如图13所示。

制造光学纤维的基本材料是玻璃或塑料。有时为了传导紫外线或激光亦有用石英纤维的。一般来说，玻璃在光谱特性、透明度、均匀性、抗化学腐蚀、耐磨、抗温度变化等方面都比塑料优越，而塑料在抗辐射、强韧性、成本低等方面比玻璃优越。目前塑料纤维要拉得很细有困难，被复层不易解决，国际上除了美国杜邦公司制造塑料光学纤维外，很少有工厂生产。纤维用的纤维光束都采用玻璃光学纤维。

对光学纤维的玻璃料来说要求是很高的，除了要考虑到核心及被复层料的折射率、吸收率、光学特性外，还要考虑到两者的热性能匹配，热膨胀系数和软化点要接近，否则拉丝困难，纤维亦容易断裂。玻料要无色透明、质地均匀，要不含气泡、结石等杂质。此外，当然还要考虑到强度问题。要制造出好的纤维，纤维光束的材料是第一关。国外有些公司对此非常重视，虽然纤维已发展到目前相当成熟的阶段，它们还在化大力气进行这方面的研究。例如，1976~1977年欧林巴斯公司新发展的 3 型的各种纤维比老的 2 型各种纤维的主要改进在于纤维光束、透光率和分辨率

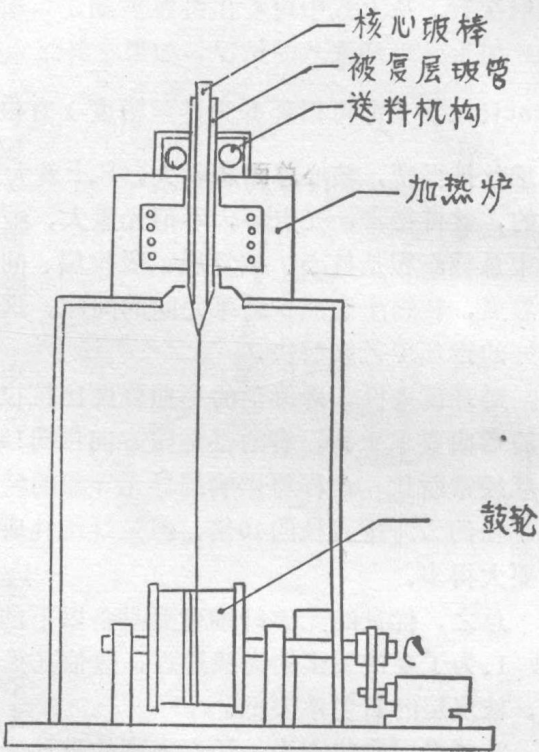


图14 棒管拉丝法示意图

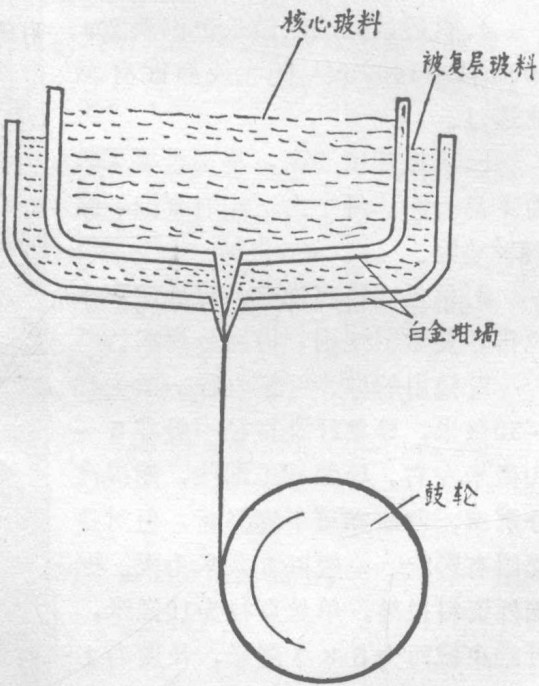


图15 双坩埚拉丝法示意图

都提高，观察起来更为明亮清晰。国内对该公司的产品进行比较，情况的确如此，由此可见，该公司在1976年左右在光学纤维的玻璃料和加工方面又有了新的提高。

光学纤维的拉制通常有两种方法：一种是棒管法；一种是双坩埚法(或三坩埚法)。棒管法就是先将配制的原料熔炼成光学玻璃，将核心玻料拉制成玻璃棒，被复层玻料拉制成玻璃管。玻璃棒插入玻璃管内，两者的接触面都经过研磨抛光而具有良好的界面，并保持极小的间隙。然后如图14所示将棒管放进送料机构伸入加热炉加热，待玻璃处于熔融软化状态时进行拉丝，并将纤维丝绕在鼓轮上。纤维丝的粗细与电炉温度、送料速度和鼓轮转速有关，通常用调节送料速度和变更鼓轮转速来控制纤维的粗细。对于导象纤维来说，为了要精密规则排列，必需正确控制丝径，一般都用单根棒管拉丝方式。至于排列要求不高的导光纤维国外亦有采用多根棒管拉丝方式，一次几百根丝一起拉制并成一束，这样可以提高生产率和降低成本。双坩埚法如图15所示，将预先熔炼好的光学玻料经过精选放入白金坩埚中，核心玻料放在内层坩埚中，被复层玻料放于外层坩埚，如有吸收层，则吸收层料放于最外层坩埚中成三坩埚法。白金坩埚进行通电加热，玻料进行二次熔融，然后在吐丝口将纤维丝引出缠绕在鼓轮上。纤维丝的粗细与坩埚通电加热温度、玻璃液面高低和鼓轮转速有关。拉丝时，周围环境的温湿度对单丝质量亦有影响，须要严格控制。不管那种拉丝工艺都要有严格的工艺参数，如控制不良，有时还会出现核心纤维外未包上被覆层而形成裸丝的质量事故，纤维光束中夹有裸丝肯定要影响光学质量。

目前光学纤维的拉制采用棒管法的相当多，双坩埚法虽然设备费用贵，控制也比较复杂一些，但玻料可以精选经过二次熔融更加净化，此外，不需拉成棒管，减少了一些工序，并可以长时间地连续拉丝，所以双坩埚法亦具有很多优点，受到各方面的重视和发展。像日本富士公司来华技术座谈时，明确介绍该厂采用双坩埚法，拉丝技术是从大阪工业研究所引进的。日本的欧林巴斯公司也是在大阪工业研究所的指导下建立起纤维制

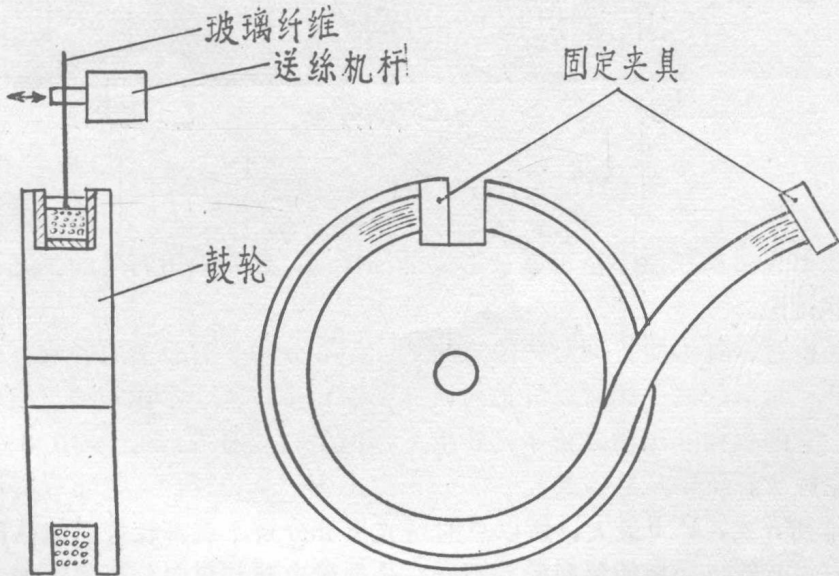


图16 导象束的连续缠绕法示意图

造技术，所以亦可能是采用双坩埚法的。国内普遍用棒管法，最近亦有单位在研究双坩埚法了。

在制作导象束时，一般采用铺层法，先将单根纤维精确地排列在精密的鼓轮表面形成单层薄片，然后将此环形薄片丝带放在模子内层层重叠胶粘起来，达到一定厚度后脱模，在胶粘处切断，端面经过研磨抛光涂上保护膜就成为纤维导象束。另一个方法是连续缠绕法。

将单根纤维通过一个精密规则移动的送丝机构而卷绕在一个回转鼓轮的凹槽内，如图16所示，在鼓轮的一边有一个固定夹具，在绕制到一定圈数后，在夹具处将纤维胶粘起来或者是加热融粘起来，切断后，将纤维束从槽内取出，两个端面再经过研磨抛光。导光束由于没有严格的排列要求，所以采用一般的连续缠绕法进行制作。

导象束的纤维排列有三种形式：一种是混乱排列（图17a）；一种是正方形排列（图17b）；另一种是六角形蜂窝状排列（图17c）。用铺层法排丝往往就成为正方形排列，

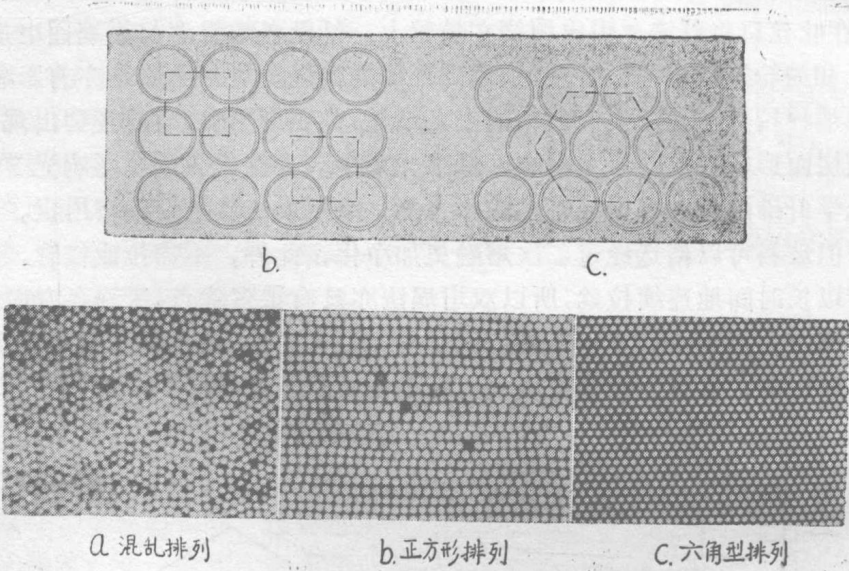


图17 光学纤维束的排列形式

用连续缠绕法如果排丝控制不精确就会形成混乱排列，如果采用特殊的工艺亦可以制成六角形蜂窝状排列。

前面已经说过，纤维的排列对导象束的透光率和分辨率有很大的影响，也可以说是纤镜最根本的质量问题之一。所以纤镜的研究和制作单位都非常重视这个问题。拿正方形排列来说，它的横向和纵向分辨率都比较好，但是它的有效截面积比 P.F.（排丝密度）小，空隙大，所以从总的透光率和分辨上来看，就比较低。六角蜂窝状排列是最紧密的一种排列方式，P.F最大，所以总的透光率和分辨率就都较好。但从图18可以看到这种排列方式其输出图象的纵向参差不齐，从理论上讲其纵向分辨率不如正方形排列。其实，用铺层法作正方形排丝其纵向亦並不一定能排得很整齐，这可以从图17b上看

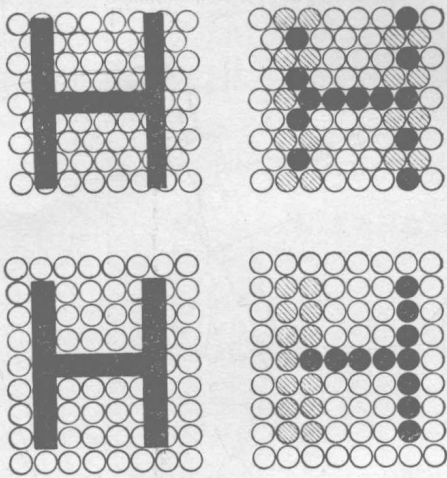


图18 六角蜂窝状排列（图上）和正方形排列（图下）的横向纵向分辨率比较示意图。（左面为输入端面上的图象，右面为输出端面上的图象）

出。混乱排列则其P.F是无法控制的，其纵向分辨率肯定是最差的，这种排列方式，对导光束来说，问题还不大，对导象束来说就不行了。根据资料报导，日本町田及欧林巴斯公司在72年以后导象束才开始采用六角蜂窝状排列，其P.F（排丝密度）比原来的正方形排列提高20%，大大提高了导象束透光率和分辨率，最终提高了纤镜的质量，使观察图象更为明亮清晰。国内目前还采用铺层法排丝，正方形排列，其实际情况和图17b一样，今后纤镜要提质量，赶超国际，排丝工艺一定要改进，要向六角蜂窝状排列发展。

### 三、纤镜基本结构

一套完整的纤镜设备有三个部分组成：（一）纤镜，（二）光源，（三）附属装置（包括活检及手术器械、摄影及电视装置）如图19、图20所示。

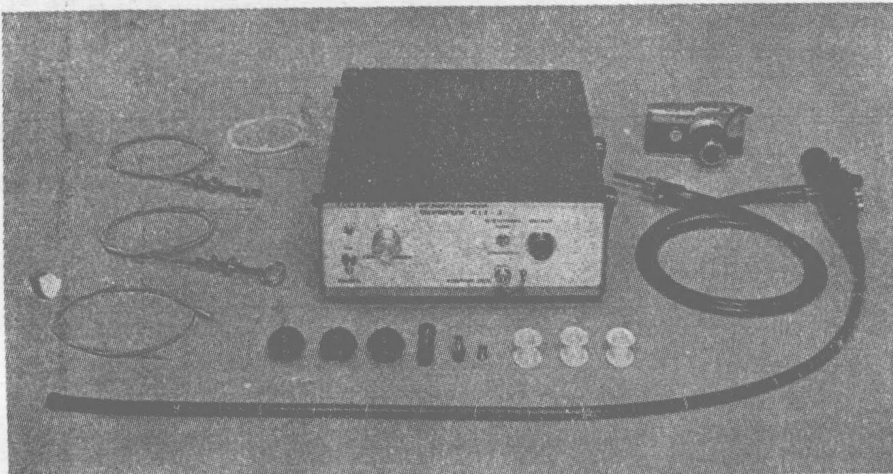


图19.一套基本完整的纤镜设备

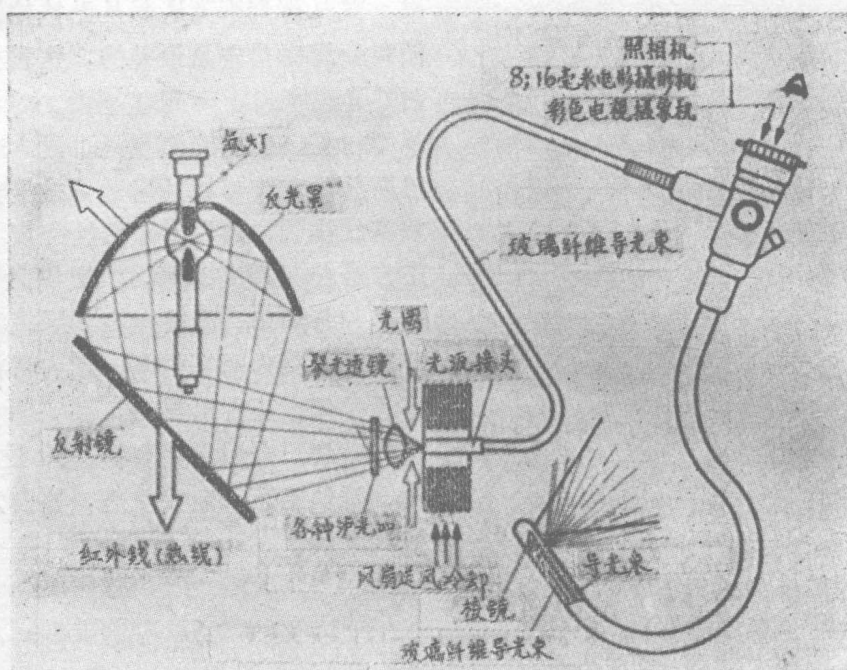


图20.纤镜和光源的结构示意图

本节简单介绍一下纤镜的基本结构，光源和附属装置留待后文说明。近年来，纤镜

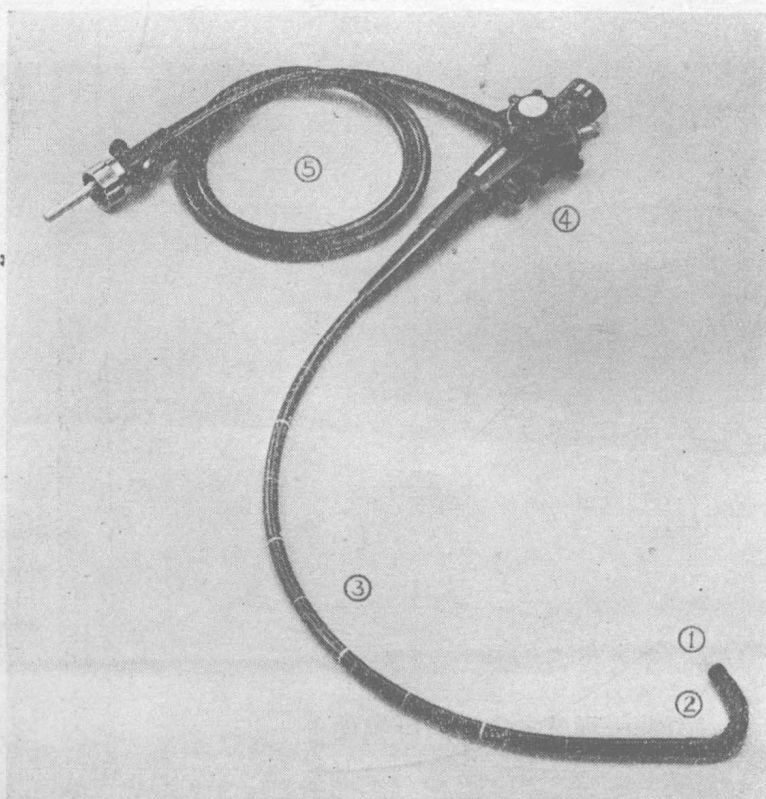


图21 纤镜的基本结构示意图

(1)头部、(2)弯曲部、(3)软管部、(4)控制部、(5)导光缆。