

程希望自选集

CHENG XIWANG AUTOSELECTIONS



科学出版社
龍門書局

程希望自选集

〔光学论文,旧体诗词〕

Optical papers, Poetries

科学出版社
龙门书局

1995

谨以此选集
献给
祖父、双亲和老伴

程希望自选集

第 24 卷第 T1 期 光 子 学 报 (特辑) Vol. 24, No. T1
1995 年 12 月 ACTA PHOTONICA SINICA (Special issue) December 1995

编 辑 中 国 光 学 学 会
《光子学报》编辑委员会
(西安 80 信箱, 西安 710068)

主 编 侯 洵

专 职 程 希 望
副主编

承 办 中 国 科 学 院
西安光学精密机械研究所

出 版 科 学 出 版 社
北 京 出 版 社

(北京东黄城根北街 16 号)

(邮政编码: 100717)

排 印 西 安 友 谊 印 刷 厂

发 行 西 安 报 刊 发 行 局

订 购 全 国 各 地 邮 电 局

开本 880×1230 1/32

印数 1000

THE CHINESE OPTICAL SOCIETY

Editorial Board of Acta Photonica
Sinica

(P. O. Box 80, Xi'an P. R. China)

Post code: 710068

Tel: 029-5261376

Cable: Xi'an 1080

Chief-in Editor: Hou Xun

Specific Duty Deputy Chief Editor:

Cheng Xiwang

Published by: Science Press

Printed by: Xi'an Youyi Printer

Shaanxi, China

印张 8

字数 230 千

ISSN 1004-4213

CODEN GUXUED

CN 61-1235/O4

邮发代号: 52-105

定 价: 6.00 元

作者自诉

程希望, 1942年7月9日生, 陕西省周至县豆村人, 西北大学毕业。

发近秃, 脸黄, 背驼; 准塌大, 唇黑, 须稀; 眼近视, 项粗, 身矮。

少时好墨, 近高考, 欲学文科, 因招生少, 改习物理, 遂以为生。

成旧体诗词三百首, 气盛时写为主, 疏于律, 自娱歪诗居多。末以诗名, 然诗使之耿迂。

忝列光学行中, 撰文三十篇多, 译英、日文书四册, 编《英汉光学与光子学词典》一部。虚名挂辞书; 充任《光子学报》专职副主编。

刊录简历



Opticist, Translator on Optics, Poet, **Cheng Xi Wang** was born on July 9, 1942, in The county of Zhouzhi, Shaanxi, China. He is a member of Chinese Physical Society, Chinese Optical Society, Chinese Editology Society of Science and Technology, the academic board of Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics; and is the standing vicechief editor of ACTA PHOTONICA SINICA.

1966 he graduated from department of physics at Northwest University, 1967~1977.3, telephoto of optical fiber had been developed at Changjiang Factory of Wire Electronic Set, Wuhan, China. From 1977.3 to now, he research GRIN optics, guided wave optics, nonlinear optics and quantum optics in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica. He published above 30 papers, 4 translative books, and edited An English-Chinese Terms Dictionary of Optics and Photonics, as well as wrote 300 Chinese poetries of classical form.

序

本选集分为上、中、下三编。上、中编为光学论文，系从 30 多篇中择其目前尚有局部资用效能或具些许历史价值者而用之。非第一作者的论文未计且未选。

下编为旧体诗词，乃于 300 多首歪诗内剔去学步模仿时期和本末易位时期的“造”品而录其可堪回首者 50 多首，已准刊行，现征得原出版社同意转载于此。

信函和为《光学学报》、《物理学报》所写审稿意见以及给《光子学报》所撰编者按，因不便比对，故未选；本已成册的译著（3 英 1 日）和词典亦未重印；科普作品因浅尝辄止则弃选；拟另刊行的研究生讲义未列选；纯技术性工作，诸如整理国外学者来华讲学记录等，未考虑入选。

感谢西安友谊印刷厂厂长孔祥耀先生的大力支持和帮助！

这部选集若获光学同仁和诗词方家教正，将不胜感激！

程希圣



1995-07-09

目 次

上 编 光学论文

(首次刊出)

光学纤维及其在传真上的应用	(1)
激光器与自聚焦微透镜、光学纤维耦合实验小结	(29)
双异质 GaAs 激光器-中介光学元件-光纤耦合效率估算	(34)
光通信中的耦合连接	(50)
提高双异质 GaAs 激光器与光纤直接耦合效率的途径	(55)
ZF ₂ -Ge 光纤光谱损耗测量仪的研制	(69)
1981 年到 1982 年光纤损耗测量记录和讨论	(72)
光纤传感器(With English abstract)	(86)
自聚焦材料光学参数测量的建议(With English abstract)	(107)

中 编 光学论文

(修订再版, There is the English abstracts)

关于光纤发展动向的估计	(112)
渐变介质光学简史及有关问题	(127)
自聚焦材料测量中的内虚焦、截距	(137)
自聚焦透镜的色差表示及其测量	(142)
以干涉截距法测量自聚焦样品的光学参数	(149)
光学渐变介质制法简介	(154)
自聚焦材料周期长度的分子散射法测量	(162)
Spatial period measurements in self-focusing media using the	

molecular scattering method	(167)
以物象等大法同时测量自聚焦透镜的轴心折射率 n_0 和聚焦常数 g	(174)
测量自聚焦样品光学参数的截长补短法	(181)
自聚焦透镜成象矩阵公式的近似性	(186)
自聚焦棒中连续波稳态半自陷的定性理论	(191)
梯度介质光学常数的反射起偏法测量	(193)
抑制细光束发散或衍射的途径	(198)
径向梯度介质中远轴细光束保径传播的理论证明	(204)
Approximate Nature for the Imaging Matric Formula of Selfoc Lens	(209)
The optical parameters of Selfoc sample are measured by the method of cutting the long or adding to the short	(215)

下 编 旧体诗词

代序	(221)	空城计	(228)	遇雨忆 1956 年
春游	(222)	春月	(228)	受灾
世事	(222)	及时雨	(228)	答妒者
伤寒病后	(223)	梦日月	(229)	梦中
谢医	(223)	校友将大学		答客人
忆病魔恶缠		毕业有赠		蝶恋花
.....	(224)		(229)	浪淘沙
秋过田峪河		春早	(230)	凑韵赠嘉麟
.....	(226)	失约后一天赴		调凯里
介子推	(226)	西农探友		
笛音	(226)		(230)	书贵调回清远
读古诗	(227)	六五四三二一		有赠
布谷	(227)	歌	(231)	玉蝴蝶

无题	(236)	劝书全	(240)	山民	(245)
中秋节前寄伙德	(236)	碧莲峰	(241)	我家榕榕	(246)
调陝登程之日与	(237)	无题	(241)	沙迷眼	(246)
柏春言别	(237)	痴痴	(242)	嘱广泰	(247)
.....	(237)	冷雨	(242)	贺翰墨友退休	(247)
.....	(237)	秋深	(243)		(247)
赠菊香四首	(237)	屯羊执教奕年	(243)	老伴游黄山、庐山	(248)
.....	(237)		(243)		(248)
赠菊香	(238)	人生又一程	(244)	雨中	(248)
梦回“长江”，醒后赋	(239)		(244)	公仆	(249)
赠柏春	(239)	有题抹后之无题	(244)	自选集跋	(249)
.....	(239)		(244)	下编附录	(250)
横祸	(239)	寄李编辑树岭	(245)		
			(245)		

光学纤维及其在传真上的应用

程希望

(国营长江有线电厂研制室光纤组)

1973年7月3日

目 次

- 1 简介
- 2 原理
- 3 光学玻璃纤维传真平面扫描器有关计算
- 4 关于改善光学玻璃纤维传真平面扫描器性能的几点设想
- 5 光学纤维元件对玻璃的要求
- 6 玻璃性质的计算
- 7 工艺上的几个问题
- 8 光学纤维的种类
- 9 国外光学纤维技术发展简介

附 录

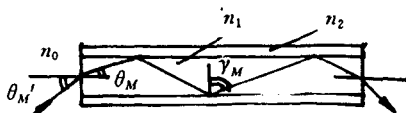
光学玻璃纤维传真平面扫描器和光学玻璃扫描盘

1 简介

光纤大致可分为阶跃光纤、梯度光纤和非线性光纤,按我们的需要,这里仅介绍阶跃光纤.远在18世纪就有人发现弯曲水流可以传播光,同时全反射原理也提出较早并在光学仪器里得到应用,而阶跃光纤传播光正是遵循全反射原理的.但此后很长时间由于发展水平的限制,一直未受到人们的重视,直到20世纪受到玻璃纤维增强塑料(俗称玻璃钢或玻璃布胶板)的启发,纤维光学的应用才得到很大发展,现已广泛地使用于各个工业部门,诸如:光学仪器、计算机、航空、航海、医疗器械、仪器制造、程序控制、激光、通讯、导航、制导、雷达、电视以及公安机关.

2 原理

纤维光学就是研究光在传光纤里的传播的学说,它是技术光学的新分支,其原理使用现有的光学原理、光学定律即可解释清楚,但由于它开拓了光学仪器的使用范围,从某种意义上讲,引起技术光学的革命而得到人们的普遍重视.



柱状玻璃光滑细丝借助内壁全反射可以传光,这就是纤维光学原理简单的说法.现在我国工业生产的光学玻璃纤维系统的结构如图1所示.

由两种玻璃组成,外层为一般硬质玻璃,折射率为1.52,内芯为光学玻璃,折射率为1.61左右或更大,按照物理光学的要求,外层厚度应大于需要传播的光波长的二倍.

2.1 全反射原理

由折射定理知道,当光从折射率小的光稀媒质进入折射率大的光密媒质的时候,光线靠近法线(过入射点垂直于折射面的直线);反之,

当光从光密媒质进入光稀媒质的时候,折射光线离开法线。显然,在后一种情况下,存在一个小于 $\pi/2$ 的入射角 $\gamma_{M\text{临界}}$,使得折射角等于 $\pi/2$,即折射光线沿界面传播,简单的实验即可证明,当入射角 $\gamma_M \geq \gamma_{M\text{临界}}$ 时,折射光线就不复存在,入射光全被反射,这种现象叫做全反射。

在使用光学玻璃纤维做光传播体的情况下,光先由空气中进入内芯,入射角为 θ'_M ,然后再照射到两种玻璃的界面上,只要我们选择 θ'_M 适当,即可使光线在纤维内全反射而传播到另一端。 θ'_M 的选择并不难,在一般的情况下,只要

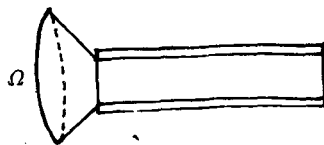


图2 满足全反射条件的接收角

光源对准入射面即可。当然光源的光能能否全部传播到另一端,仅在使全反射条件得到满足的立体角内的光能传播到另一端。关于光的损失将在 2.3 部分叙述。

2.2 名义数值孔径 NA

名义数值孔径类似于光学仪器里的数值孔径,它决定了纤维集光能力的大小,名义数值孔径越大,内芯与外层的差值愈大,说明纤维的集光能力越大,但是事物总是一分为二的,由物理光学得知,折射率愈大,则光吸收也就愈厉害。由此可知,对光学纤维来说,并不是名义数值孔径愈大愈好,而是要求辩证地统一,即选择一定折射率配组,使得既有一定的集光能力,又使光吸收减少,透过率加大,对远距离传播,减少光吸收尤为重要。

名义数值孔径定义为 $n_0 \sin \theta'_M = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$, 其中 $n_0 = 1$ 为空气的折射率; $n_1 = 1.6$, 为内芯的折射率; $n_2 = 1.5$ 为外层的折射率 (n_0, n_1, n_2 均就我们使用的材料而言)。

名义数值孔径可以利用折射定律、反射定律、全反射原理直接推导出来,在图 1 中由折射定律知

$$n_0 \sin \theta'_M = n_1 \sin \theta_M \quad (1)$$

但 $\theta_M = 90^\circ - \gamma_M$ (2)

由三角函数的关系知

$$\sin \theta_M = \sqrt{1 - \cos^2 \theta_M} \quad (3)$$

因为 $\cos \theta_M = \cos(90^\circ - \gamma_M)$

$$= \sin \gamma_M \quad (4)$$

故有

$$\sin \theta_M = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma_M} \quad (5)$$

在全反射的条件下,由折射定律知

$$n_1 \sin \gamma_M = n_2 \sin 90^\circ = n_2$$

即

$$\sin \gamma_M = n_2 / n_1 \quad (6)$$

最后由

$$n_0 \sin \theta'_M = n_1 \sin \theta_M = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \gamma_M} = n_1 \sqrt{1 - (n_2 / n_1)^2} \quad (7)$$

得出

$$NA = n_0 \sin \theta'_M = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (8)$$

必须说明,此推导只适用于子午光线,按理想状态导出,实际数值要小一些.较烦琐的表示式也可使用经典光学理论导出,但无论是理想状态下简单的表示式还是一般状态下烦琐的表示式都是拉制材料的折射率 n 的函数.

2.3 透射光能的计算

光能在光学纤维中的传播有着较复杂的机理,下面分别予以叙述.

由于我们使用的是自然光源,当光从辐射着的原子出发经过光纤纤维时,可能受到能够引起某种偏振的影响,而这种偏振即使我们使用仪器通常也是不能觉察的,所以在计算光能时,不考虑偏振的影响.

至于光的干涉,根据相干性原理,当入射光为自然光时,有产生干涉的可能,但是在纤维内部,相干光在最初一次反射时即被其它光波所“淹没”,因此可以说,光在纤维内传播不产生干涉现象;同时因为光传

播过程中由于和外层媒质的相互作用,使其振动相差更加零乱,所以出射光亦无干涉现象产生. 如果放一屏使之和光出射面距离较大,则可看到出射光中心是暗的,但这并非干涉现象,而是由全反射引起的趋肤效应所造成. 至于激光,则另当别论.

漏光问题. 因为拉制纤维的两种材料相接触区域(内界面)粘合较好且折射率有较大的梯度变化,同时外层外面即为折射率等于1的空气,由名义数值孔径的定义可知,光要漏出是相当困难的. 又因为光线在纤维中相邻两次反射间的距离相对弯曲纤维的弯曲半径来说是一极小值,故可认为光在弯曲纤维中的传播与直纤维无异. 鉴于这两个原因,漏光问题不予考虑.

光能的损失从下述三个方面考虑,其一为端面反射损失 W_1 ,又称菲涅耳反射损失;其二为内(界面)反射损失 W_2 ;其三为纤维本身的吸收损失 W_3 . 这三种损失是独立存在的,彼此没有宏观意义上的联系.

2.3.1 端面反射损失 W_1

由于一般光源均发出毫无偏振迹象的自然光,可以认为,它的一半能量属于同入射面平行的振动,另一半属于同入射面垂直的振动(就电矢量而言,非指磁矢量,因在光波中磁矢量的作用通常不表现出来).

假定照射到光学纤维的光能为 W ,经端面反射损失后进入纤维的光能(折射光能)为 $(W - W_1)$,据菲涅耳公式有

$$\begin{aligned} W - W_1 &= W \left(1 - \frac{W_1}{W}\right) \\ &= W \left\{1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta'_M - \theta_M)}{\sin^2(\theta'_M + \theta_M)} + \frac{\tan^2(\theta'_M - \theta_M)}{\tan^2(\theta'_M + \theta_M)} \right] \right\} \quad (9) \end{aligned}$$

$$\text{将 } \sin \theta_M = \frac{n_0}{n_1} \sin \theta'_M, \cos \theta_M = \sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta'_M}$$

代入上式,经化简整理得

$$\begin{aligned} W - W_1 &= W \left\{1 - \left[\frac{n_0^2 + (n_1^2 - 2n_0^2) \sin^2 \theta'_M - (n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M)^{1/2}}{n_0^2 + (n_1^2 - 2n_0^2) \sin^2 \theta'_M + (n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M)^{1/2}} \right. \right. \\ &\quad \cdot \left. \left[(n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M) - (n_1^2 - 2n_0^2 \sin^2 \theta'_M) \sin^2 \theta'_M \right] / \left[(n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - (n_1^2 - 2n_0^2 \sin^2 \theta'_M) \sin^2 \theta'_M + 2n_0 \sin^2 \theta'_M [(1 - \sin^2 \theta'_M)(n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M)]^{1/2} \right] \right\} \quad (10) \end{aligned}$$

2.3.2 内(界面)反射损失 W_2

由于光在两种媒质接触区域反射伴随有能量损失,所以纤维内界面的反射系数 $\alpha < 1$,若光线在纤维内反射 η 次,最后只有 $W - W_1 - W_2 = (W - W_1)\alpha^\eta$ 的能量传播到出射面,光线在纤维内反射的次数

$\eta = \text{纤维总长度 } L / \text{光反射一次走过的直线距离 } h$

但是 $h = d / \operatorname{tg} \theta_M$ (d 为纤维内芯直径)

则 $\eta = L \operatorname{tg} \theta_M / d$

将 $\sin \theta_M = (n_0/n_1) \sin \theta'_M$ 和 $\cos \theta_M = \sqrt{1 - (n_0/n_1)^2 \sin^2 \theta'_M}$ 代入上式得

$$\eta = \frac{Ln_0 \sin \theta'_M}{d \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M}} \quad (11)$$

所以 $W - W_1 - W_2 = (W - W_1)\alpha^\eta$

$$= (W - W_1)\alpha^{\left(\frac{Ln_0 \sin \theta'_M}{d \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M}}\right)} \quad (12)$$

2.3.3 纤维本身的吸收 W_3

光能的被吸收是由于光波通过纤维时引起电子强迫振动的结果,计算光的吸收的公式为 $u = u_0 \exp(-\beta/L_\eta)$, 其中 u_0 为输入光能, u 为吸收损失后剩余的光能, $e = 2.71828$, β 为吸收系数, L_η 为光线“走过”的总路径。

对于长度为 L 的光学纤维,

$$L_\eta = \frac{L}{\cos \theta_M} = \frac{n_1 L}{\sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M}} \quad (13)$$

在我们的叙述中,

$$u_0 = W - W_1 - W_2$$

所以最后到出射面的光能为

$$\begin{aligned} W - W_1 - W_2 - W_3 &= (W - W_1 - W_2) \exp(-\beta/L_\eta) \\ &= (W - W_1 - W_2) \exp\left(-\beta / \frac{n_1 L}{\sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M}}\right) \quad (14) \end{aligned}$$

将前面得出的端面反射损失、内界面反射损失、纤维本身吸收损失代入上式,同时考虑到出射面的端面反射损失,则得出最后的透射光能.

上面的讨论是就一根纤维入射端面上的一条光线而言,对到这根纤维入射端面的所有光线来说,则需用积分式来表示,即

$$W_{\text{透}} = \frac{W}{4} \pi d^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ 1 - \left[\frac{n_0^2 + (n_1^2 - 2n_0^2) \sin^2 \theta'_M - (n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M)^{1/2}}{n_0^2 + (n_1^2 - 2n_0^2) \sin^2 \theta'_M} + (n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M)^{1/2} \right. \right. \\ \cdot \left. \left[(n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M) - (n_1^2 - 2n_0^2 \sin^2 \theta'_M) \sin^2 \theta'_M \right] / \left\{ (n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M) \right. \right. \\ \left. \left. - (n_1^2 - 2n_0^2 \sin^2 \theta'_M) \sin^2 \theta'_M + 2n_0 \sin^2 \theta'_M [(1 - \sin^2 \theta'_M)(n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M)]^{1/2} \right\} \right]^2 \right\} \\ \times \alpha \left(\frac{\text{Ln}_0 \sin \theta'_M}{d \sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M}} \right) \times \exp \left(- \beta / \frac{n_1 L}{\sqrt{n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta'_M}} \right) \times \cos \theta'_M d\theta'_M \quad (15)$$

此式可用电子计算机积分. 若将 $n_0=1$ 代入, 则其还可简化.

2.3.4 关于透射光能计算的几点说明

①一般来说透过率是波长的函数, 而我们的积分式没有用波长表示, 但各种光学玻璃对不同的波长有不同的折射率, 也就是说, 折射率又是波长的函数, 对透过率而言, 这个积分式是用中介函数 n 来表示的 (从光能计算的角度来说, 虽然光学玻璃对不同波长的光有不同的折射率, 可以认为其差值无考虑价值).

②我们假定反射系数 α 为常数, 从详细光传播机理上说, α 并不是常数, 这是由边界条件的微小差异引起, 只是因为它的变化幅度很小, 所以, 在技术光学中我们可认为 α 为一常数.

③这个积分式个别地方同有的资料不同, 这些资料考虑到斜光线, 但在对确定面的所有角度 (包括未满足全反射条件的角度) 进行积分的情况下, 提出斜光线已失去意义.

④积分式大的中括号外有幂指数 2, 此幂指数为端面指数 S , 对内闪烁纤维 $S=1$, 对一般纤维 $S=2$. 考虑到 S 是因为纤维有光的入射面和出射面两个面, 也就是说纤维端面对光的反射损失有两个面参予. 应当指出, 这两个面对光的反射损失是不同的, 按照光学理论和实际情况而言, 入射面是光由光稀媒质进入光密媒质的界面, 反射损失的是入

射光线,出射面是光由光密煤质进入光稀煤质的界面,反射损失的是经各种损失后的剩余光能(但不是最后的透射光能),从相对的意义讲,入射面损失要大一些,所以 $S=2$ 是不精确的,近似的. 这是从光能损失的意义上来看的.

⑤入射角大于 34° 的光线(下面还要讲 34° 的缘由)反射损失较多,进入纤维后有部分逸出,随角度加大而增多.

⑥此积分式是对直纤维来说的,对于弯曲纤维,如前所述,因为弯曲半径远大于相邻两次反射间的距离,因而上式也适用于弯曲纤维.

⑦这个积分式是近似的,目的在于说明光透过纤维的机理. 实际应用中常采用积分光度计,测量同样粗细、但长短不一的纤维的光电流,进行比较.

2.4 光学纤维的鉴别率(或称分辨能力)

纤维的鉴别率有静态和动态之分. 静态鉴别率为纤维在静态下所能分辨的线数. 此时允许调节纤维端面与被观察图案线条的距离,动态鉴别率又称扫描鉴别率. 纤维的动态鉴别率略高于静态鉴别率,使用信息论的取样理论可以解释清楚这个问题.

下面我们来推导静态鉴别率的表示式.

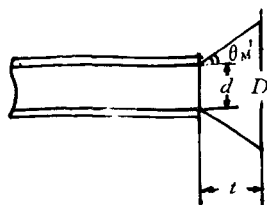


图 3 静态鉴别率示意图

θ'_M , 使光在纤维内能全反射的入射角; d , 纤维芯直径;

D , 能分辨的线条的宽度(最小单元); l , 能被分辨的图案线条与纤维端面的距离

从上图中可明显得出

$$D = d + 2l \operatorname{tg} \theta'_M \quad (16)$$

这个式子是 n_0, n_1, n_2 的隐函数, 虽然很简单, 但在传真机的计算中经常应用到(指用光学纤维的传真机), 因为传真机最重要的技术指标就是鉴别率. 这里没有讨论光能接收器区别亮度的能力和照明光的物理性质以及被观察图案线条的衬度.

3 光学玻璃纤维传真平面扫描器有关计算

我厂 ZP-2 型半导体文字传真机发片机的光学部件—光学玻璃纤维传真平面扫描器使用的材料, 内芯折射率为 1.6 (n_1), 直径 0.056mm, 外层折射率为 1.5 (n_2), 厚 0.007mm. 纤维的名义数值孔径

$$NA = n_0 \sin \theta'_M = \sqrt{(n_1)^2 - (n_2)^2} \quad (17)$$

将 $n_1 = 1.6, n_2 = 1.5$ 代入, 考虑到空气折射率 $n_0 = 1$, 则

$$NA = \sqrt{(1.6)^2 - (1.5)^2} = 0.5568$$

因为 $\sin \theta'_M = 0.5568$, 则

$$\theta'_M = 33^\circ 50' \approx 34^\circ \quad (18)$$

$\theta'_M = 34^\circ$ 即为纤维所能捕集的使光在纤维内全反射的最大光锥半角.

3.1 计算照明纤维到原稿报纸面的距离 $t_{\min}$

两排照明纤维的出射光既不重叠, 同时应照明区域也无暗区, 此时原稿与纤维端面的距离为最佳照明距离. 由图 4 知

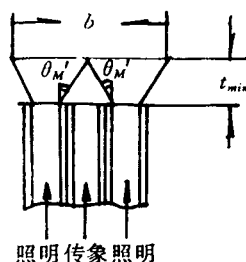


图 4 $t_{\min}$ 的确定

$$t_{\min} = \frac{1}{2} (0.007 + 0.07 + 0.007) \operatorname{ctg} 33^\circ 50' = 0.063 (\text{mm}) \quad (19)$$