



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجزاء الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلأً.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.



国际电信联盟

CCITT

国际电报电话咨询委员会

蓝皮书

卷 III.3

传输媒质 — 特性

建议 G.601-G.654



第九次全体会议

1988年11月14—25日 墨尔本

1989年 日内瓦



国际电信联盟

CCITT

国际电报电话咨询委员会

蓝皮书

卷 III.3

传输媒质 — 特性

建议 G.601-G.654



第九次全体会议

1988年11月14—25日 墨尔本

1989年 日内瓦

ISBN 92-61-03335-0



© ITU

中国印刷

CCITT 图书目录
第九次全体会议(1988年)

蓝 皮 书

卷 I

- 卷 I . 1 — 全会会议记录和报告
 研究组及研究课题一览表
- 卷 I . 2 — 意见和决议
 关于 CCITT 的组织和工作程序的建议(A 系列)
- 卷 I . 3 — 术语和定义 缩略语和首字母缩写词 关于措词含义的建议(B 系列)和综合电信统计的建议(C 系列)
- 卷 I . 4 — 蓝皮书索引

卷 II

- 卷 II . 1 — 一般资费原则 — 国际电信业务的资费和帐务 D 系列建议(第 III 研究组)
- 卷 II . 2 — 电话网和 ISDN — 运营、编号、选路和移动业务 建议 E. 100-E. 333(第 II 研究组)
- 卷 II . 3 — 电话网和 ISDN — 服务质量、网络管理和话务工程 建议 E. 401-E. 880(第 II 研究组)
- 卷 II . 4 — 电报业务和移动业务 — 运营和服务质量 建议 F. 1-F. 140(第 I 研究组)
- 卷 II . 5 — 远程信息处理业务、数据传输业务和会议电信业务 — 运营和服务质量 建议 F. 160-F. 353、F. 600、F. 601、F. 710-F. 730(第 I 研究组)
- 卷 II . 6 — 报文处理和查号业务 — 运营和服务的限定 建议 F. 400-F. 422、F. 500(第 I 研究组)

卷 III

- 卷 III . 1 — 国际电话接续和电路的一般特性 建议 G. 100-G. 181(第 XII 和 XV 研究组)

- 卷 III.2 — 国际模拟载波系统 建议 G. 211-G. 544(第 XV 研究组)
- 卷 III.3 — 传输媒质 — 特性 建议 G. 601-G. 654(第 XV 研究组)
- 卷 III.4 — 数字传输系统的概况;终端设备 建议 G. 700-G. 795(第 XV 和第 XVIII 研究组)
- 卷 III.5 — 数字网、数字段和数字线路系统 建议 G. 801-G. 961(第 XV 和第 XVIII 研究组)
- 卷 III.6 — 非话信号的线路传输 声音节目和电视信号的传输 H 和 J 系列建议(第 XV 研究组)
- 卷 III.7 — 综合业务数字网 (ISDN) — 一般结构和服务能力 建议 I. 110-I. 257(第 XVIII 研究组)
- 卷 III.8 — 综合业务数字网 (ISDN) — 全网概貌和功能、ISDN 用户-网络接口 建议 I. 310-I. 470(第 XVIII 研究组)
- 卷 III.9 — 综合业务数字网 (ISDN) — 网间接口和维护原则 建议 I. 500-I. 605(第 XVIII 研究组)

卷 IV

- 卷 IV.1 — 一般维护原则:国际传输系统和电话电路的维护 建议 M. 10-M. 782(第 IV 研究组)
- 卷 IV.2 — 国际电报、相片传真和租用电路的维护 国际公用电话网的维护 海事卫星和数据传输系统的维护 建议 M. 800-M. 1375(第 IV 研究组)
- 卷 IV.3 — 国际声音节目和电视传输电路的维护 N 系列建议(第 IV 研究组)
- 卷 IV.4 — 测量设备技术规程 O 系列建议(第 IV 研究组)
- 卷 V — 电话传输质量 P 系列建议(第 XII 研究组)

卷 VI

- 卷 VI.1 — 电话交换和信令的一般建议 ISDN 中服务的功能和信息流 增补 建议 Q. 1-Q. 118 (乙)(第 XI 研究组)
- 卷 VI.2 — 四号和五号信令系统技术规程 建议 Q. 120-Q. 180(第 XI 研究组)
- 卷 VI.3 — 六号信令系统技术规程 建议 Q. 251-Q. 300(第 XI 研究组)
- 卷 VI.4 — R1 和 R2 信令系统技术规程 建议 Q. 310-Q. 490(第 XI 研究组)
- 卷 VI.5 — 综合数字网和模拟—数字混合网中的数字本地、转接、组合交换机和国际交换机 增补 建议 Q. 500-Q. 554(第 XI 研究组)
- 卷 VI.6 — 各信令系统之间的配合 建议 Q. 601-Q. 699(第 XI 研究组)
- 卷 VI.7 — 七号信令系统技术规程 建议 Q. 700-Q. 716(第 XI 研究组)
- 卷 VI.8 — 七号信令系统技术规程 建议 Q. 721-Q. 766(第 XI 研究组)
- 卷 VI.9 — 七号信令系统技术规程 建议 Q. 771-Q. 795(第 XI 研究组)
- 卷 VI.10 — 一号数字用户信令系统(DSS 1) 数据链路层 建议 Q. 920-Q. 921(第 XI 研究组)
- 卷 VI.11 — 一号数字用户信令系统(DSS 1) 网络层、用户—网络管理 建议 Q. 930-Q. 940(第 XI 研究组)

- 卷 VI. 12 — 公用陆地移动网 与 ISDN 和 PSTN 的互通 建议 Q. 1000-Q. 1032(第 XI 研究组)
卷 VI. 13 — 公用陆地移动网 移动应用部分和接口 建议 Q. 1051-Q. 1063(第 XI 研究组)
卷 VI. 14 — 其它系统与卫星移动通信系统的互通 建议 Q. 1100-Q. 1152(第 XI 研究组)

卷 VII

- 卷 VII. 1 — 电报传输 R 系列建议 电报业务终端设备 S 系列建议 (第 IX 研究组)
卷 VII. 2 — 电报交换 U 系列建议(第 IX 研究组)
卷 VII. 3 — 远程信息处理业务的终端设备和协议 建议 T. 0-T. 63(第 VIII 研究组)
卷 VII. 4 — 智能用户电报各建议中的一致性测试规程 建议 T. 64(第 VIII 研究组)
卷 VII. 5 — 远程信息处理业务的终端设备和协议 建议 T. 65-T. 101, T. 150-T. 390(第 VIII 研究组)
卷 VII. 6 — 远程信息处理业务的终端设备和协议 建议 T. 400-T. 418(第 VIII 研究组)
卷 VII. 7 — 远程信息处理业务的终端设备和协议 建议 T. 431-T. 564(第 VIII 研究组)

卷 VIII

- 卷 VIII. 1 — 电话网上的数据通信 V 系列建议(第 X VII 研究组)
卷 VIII. 2 — 数据通信网:业务和设施,接口 建议 X. 1-X. 32(第 VII 研究组)
卷 VIII. 3 — 数据通信网:传输,信令和交换,网络概貌,维护和管理安排 建议 X. 40-X. 181(第 VII 研究组)
卷 VIII. 4 — 数据通信网:开放系统互连(OSI) — 模型和记法表示,服务限定 建议 X. 200-X. 219(第 VII 研究组)
卷 VIII. 5 — 数据通信网:开放系统互连(OSI) — 协议技术规程,一致性测试 建议 X. 220-X. 290(第 VII 研究组)
卷 VIII. 6 — 数据通信网:网间互通,移动数据传输系统,网际管理 建议 X. 300-X. 370(第 VII 研究组)
卷 VIII. 7 — 数据通信网:报文处理系统 建议 X. 400-X. 420(第 VII 研究组)
卷 VIII. 8 — 数据通信网:查号 建议 X. 500-X. 521(第 VII 研究组)

卷 IX — 干扰的防护 K 系列建议(第 V 研究组) 电缆及外线设备的其它部件的结构、安装和防护 L 系列建议(第 VI 研究组)

卷 X

- 卷 X. 1 — 功能规格和描述语言(SDL) 使用形式描述方法(FDT)的标准 建议 Z. 100和附件 A、B、C 和 E,建议 Z. 110(第 X 研究组)
卷 X. 2 — 建议 Z. 100的附件 D:SDL 用户指南(第 X 研究组)
卷 X. 3 — 建议 Z. 100的附件 F. 1:SDL 形式定义 介绍(第 X 研究组)

- 卷 X.4 — 建议 Z.100 的附件 F.2:SDL 形式定义 静态语义学(第 X 研究组)
- 卷 X.5 — 建议 Z.100 的附件 F.3:SDL 形式定义 动态语义学(第 X 研究组)
- 卷 X.6 — CCITT 高级语言(CHILL) 建议 Z.200(第 X 研究组)
- 卷 X.7 — 人机语言(MML) 建议 Z.301-Z.341(第 X 研究组)

蓝皮书卷 III.3 目录

第一部分 — 第六章 — 建议 G. 601~G. 654

传输媒介的特性

建议号	页
第六章 — 传输媒介的特性	
6.0 一般建议	
G. 601 电缆的术语.....	3
G. 602 模拟电缆传输系统及其相关设备的可靠性和可用性.....	8
6.1 对称电缆线对	
G. 611 模拟传输用对称电缆线对的特性	11
G. 612 设计用于传输 6~34 Mbit/s 比特率的系统的对称电缆线对的特性	15
G. 613 可全部用于传输 2 Mbit/s 以下比特率的数字系统的对称电缆线对的特性	19
G. 614 原为模拟传输系统设计的而现正用于传输 6~34 Mbit/s 比特率的数字系统的星绞四线组对称电缆线对的特性	24
6.2 陆上同轴电缆线对	
G. 621 0.7/2.9mm 同轴电缆线对的特性	29
G. 622 1.2/4.4mm 同轴电缆线对的特性	32
G. 623 2.6/9.5mm 同轴电缆线对的特性	39
6.3 海底电缆	
G. 631 线路频率约低于 45MHz 的系统所用海底电缆的各类型	46
6.4 波导	
G. 641 波导直径	47

6.5 光缆

G. 651	50/125 μ m 多模渐变折射率光纤光缆的特性	48
G. 652	单模光纤光缆的特性	78
G. 653	色散位移单模光纤光缆的特性	111
G. 654	1550nm 波长上损耗最小的单模光纤光缆的特性	115

第二部分 — G 系列建议的第六章中各建议的增补资料

增补 No. 11	各国海缆船和海缆机械的数据	121
增补 No. 14	测量规则性回波损耗的方法	129
增补 No. 18	深水海缆资料	129
增补 No. 19	数字串音测量（法国、荷兰及西班牙各主管部门采用的方法）	129
增补 No. 33	光纤设计导则的例子（在日本与联合王国采用的曲线图）	129

卷 首 说 明

本卷中的“主管部门”一词是电信主管部门和经认可的私营机构两者的简称。

第一部分

建议 G. 601~G. 654

传输媒介的特性 (G 系列建议的第六章)

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

第六章

传输媒介的特性

本章包括关于实体传输媒介的各项建议，这些传输媒介包括用于模拟方式的或用于数字方式的。它不涉及架空明线或无线接力。它涉及音频电缆时只作为数字方式的实体传输媒介来讨论。

6.0 一般建议

建议 G. 601

电缆的术语

(1980 年于日内瓦)

1 一般术语：中继器（增音机）、供电等

1001 中继器（增音机） repeater

F: répéteur

S: repetidor

一种设备主要包括一只或几只放大器和（或）再生器以及有关的装置，介入传输媒介的某一点上。

注 — 中继器（增音机）可工作于一个或两个传输方向。

1002 模拟增音机；模拟中继器 analogue repeater; analog repeater

F: répéteur analogique

S: repetidor analógico

一种放大模拟信号或数字信号并可能有其它功能的中继器（增音机），但不包括数字信号的再生。

1003 再生中继器 regenerative repeater

F: répéteur régénérateur

S: repetidor regenerativo

一种保证数字信号再生的中继器，并可能有其它功能。

注 — 这个定义不同于建议 G. 701 [1] 中所给出的定义。在草拟建议 G. 701 时，CCITT 还没有合适的中继器的定义可用。这里所给出的这组定义将再生中继器合乎需要地包括到这类传输系统中，而不是如建议 G. 701 中所作的那样仅作为一种装置来下定义。

1004 直接供电（中继、增音）站 directly powered (repeater) station

F: station (de répéteurs) à alimentation indépendante

S: estación (de repetidores) alimentada directamente

直接从本地电网或本站发电机取得电源的中继（增音）站

1005 供电（中继、增音）站 power feeding (repeater) station

F: station d'alimentation (de répéteurs)

S: estación (de repetidores) de telealimentación

向其它中继（增音）站供给电源的直接供电中继（增音）站。

1006 从属（中继、增音）站 dependent (repeater) station

F: station (de répéteurs) téléalimentée

S: estación (de repetidores) telealimentada

从供电中继（增音）站取得电源的中继（增音）站。

注 — 可以用实体传输媒介本身，或同一电缆护套内的导线，或外部的电缆，将电能传递到从属站。

1007 段终端 section termination

F: extrémité de section

S: extremo de sección

习惯上选择来作为实体传输媒介和相关设备，诸如中继器（增音机）之间的接口点。

注 — 组成段终端的点的精确选定应当考虑有关的附属设备，诸如接头、连接器或软连接电缆，以便根据情况将它们包括在终端的一侧或两侧。

1008 单元电缆段 elementary cable section

F: section élémentaire de câble

S: sección elemental de cable

包括在两个相继的段终端之间所有的实体传输媒介及附属设备，诸如接头，连接器或软连接电缆。

1009 单元增音段 elementary repeatered section

F: section élémentaire amplifiée

S: sección elemental con amplificación

在一给定的传输方向上，所有包括在两个段终端之间的一个单元电缆段以及紧随的模拟增音机。

1010 单元再生段 elementary regenerated section

F: section élémentaire régénérée

S: sección elemental con regeneración

在一给定的传输方向上，所有包括在两个段终端之间的一个单元电缆段以及紧随的再生中继器。

1011 绞缩系数 take-up factor

F: facteur de câblage

S: factor de cableado

在一根电缆上以长度单位量得的长度参数值与在那根电缆的一个线对上以长度单位量得的同一参数值之比。

成缆（各部件的总成，或许还有将导线绞成对然后再绞成四线组）的结果使电缆部件的长度大于电缆的轴线长。绞缩系数是这两个长度之比。

1012 使用 § 1 中某些术语的图解说明

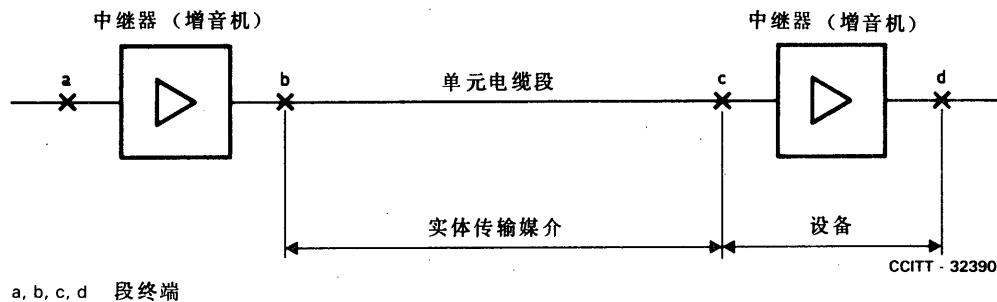


图 1/G. 601
用于中继器（增音机）及电缆段的一般参考术语

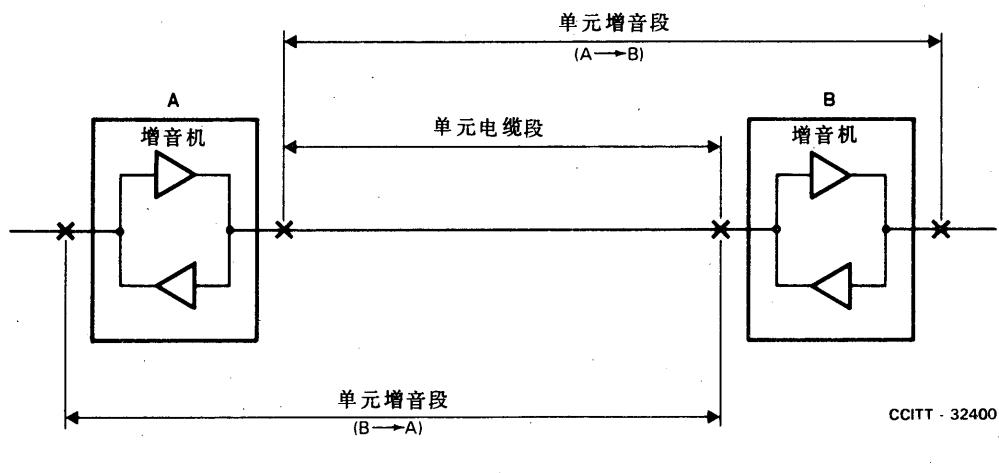


图 2/G. 601
用于单元增音段的术语

2 有关电缆测量的术语

2.1 回波这个字的使用，仅用于电缆试验中

2101 回波 echo

F: écho

S: eco

一个经反射或间接传播以后到达一个给定的点的电波、声波或电磁波，它在给定的点有足够的幅度与延迟使它能被觉察为与直接传播的波不相同的波。

2102 后向回波 backward echo

F: écho (vers l'amont)

S: eco hacia atrás

到达一个规定点的回波，它具有与直接信号相反的传输方向。

2103 前向回波 forward echo

F: écho vers l'aval; trainage

S: eco hacia adelante

到达一个规定点的回波，它具有与直接信号相同的传输方向。

2.2 脉冲测试

2201 回波测量 echometric measurement

F: mesure échométrique

S: medición ecométrica

用研究回波的方法来进行的测量，以便分析反射的全部原因，这个回波出现在一个称为“测量信号”的有限宽度信号发射之后。

2202 脉冲宽度 pulse duration

F: durée d'une impulsion

S: duración del impulso

在一个脉冲（或者当涉及一个载频脉冲时，则为它的包络线）的瞬时值第一次及最后一次到达峰值幅度的一个规定的百分数的两瞬时之间的一段时间。

2203 正弦平方脉冲 sine-squared

F: impulsion en sinus carré

S: impulso en seno cuadrado

一个单向脉冲，由下式来规定：

$$y = K \sin^2(\pi t / 2T); 0 \leq t \leq 2T$$

$$y = 0; t < 0 \text{ 及 } t > 2T$$

式中：

K 为幅度，

T 为半幅值处脉冲宽度，

t 为时间。

2204 脉冲回波仪 pulse echo meter

F: échomètre à impulsions

S: ecómetro de impulsos

设计成用脉冲进行回波测量的设备。

2205 单元回波 elementary echo

F: écho élémentaire

S: eco elemental

在一次回波测量中，在一段与测试信号的宽度可以相比拟的时间内、回波的状态。

2206 单元回波的峰值幅度 peak amplitude of an elementary echo

F: amplitude de crête d'un écho élémentaire

S: amplitud de cresta de un eco elemental

在一个单元回波的宽度中所达到的回波幅度的最大值。

2207 单元回波的相对幅度 relative amplitude of an elementary echo

F: *amplitude relative d'un écho élémentaire*

S: *amplitud relativa de un eco elemental*

一个单元回波的峰值幅度与发送点测量信号的最大幅度之间的比值。

2208 脉冲回波损耗；脉冲回波衰减 pulse echo return loss; pulse echo attenuation

F: *affaiblissement d'écho*

S: *pérdida de retorno para el eco; atenuación de eco*

以传输单位表示的单元回波的相对幅度。

2209 经幅度校正的回波 amplitude—corrected echo

F: *écho corrigé en amplitude*

S: *eco corregido en amplitud*

一个经过处理以便对传播影响至少部分地进行校正之后所观测到的回波。

2210 经幅度及相位校正的回波 amplitude—and phase—corrected echo

F: *écho corrigé en amplitude et phase*

S: *eco corregido en amplitud y en fase*

一个经过处理以便校正传播对回波幅度以及形状方面的影响之后所观察到的回波。

2211 回波曲线 echo curve

F: *courbe d'écho*

S: *curva de eco*

回波幅度的时间函数的一种曲线图或示波图。

注 —— 回波可以在幅度上校正或在幅度与相位上同时校正，因此，根据相应情况，曲线可称为“经幅度校正的回波曲线”或“经幅度及相位校正的回波曲线”。

2212 等效电阻误差 equivalent resistance error

F: *écart équivalent*

S: *error de resistencia equivalente*

一个假想阻抗偏差之值，如果这个偏差位于一段传输媒介的端点上，则它在回波测量中会在该端点上产生反射能量，此能量与由于这个段的全部不均匀性而产生的反射能量相同。

2213 经校正的等效电阻误差 corrected equivalent resistance error

F: *écart équivalent corrigé*

S: *error de resistencia equivalente corregido*

用包括有回波校正的回波测量所测得的等效电阻误差。校正可以在幅度上或在幅度与相位上，或根据其它准则（例如，能量）来进行。

注 —— 经校正的等效电阻误差可按一公里来计量，即用一个电缆段上测得的经校正的等效电阻误差 Δ_e 与这段长度 L（用 km 表示）的平方根之间的比值 Δ_k 来表示。

$$\Delta_k = \Delta_e / \sqrt{L} \Omega \cdot \text{km}^{-1/2}$$

2.3 用正弦波信号所进行的测量

2301 不均匀性反射系数 irregularity reflection coefficient

F: facteur de réflexion sur les irrégularités

S: coeficiente de reflexión de las irregularidades

在排除相关段内由固有的不均匀性以外的原因所引起的各种反射影响的条件下，在一段传播媒介的一端对于特定的传播状态所测得的反射系数。

2302 均匀性损耗 regularity loss

F: affaiblissement de l'onde réfléchie sur les irrégularités

S: pérdida de retorno por irregularidades

以传输单位表示的不均匀性反射系数 P_i 的模值。用 dB 表示时，其值等于：

$$A_i = -20 \log_{10} |P_i|$$

参 考 文 献

- [1] CCITT Recommendation *Vocabulary of pulse code modulation (PCM) and digital transmission terms*, Vol. III, Rec. G.701.

建 议 G. 602

模拟电缆传输系统及其相关设备 的可靠性和可用性

(1984 年于马拉加—扎雷莫里诺斯)

1 概述

传输系统，系指在各终端接口之间提供适当的工作传输通道（例如，4kHz 通路）所需的全部装置。它包括变换设备、线路终端设备、线路中间设备、电缆、供电、主用和备用电源，当备有自动保护倒换时还可包括倒换设备。

2 定义

a) 模拟电缆传输系统的可靠性

模拟电缆传输系统的单个单元或整个传输系统的可靠性，把它下定义为此装备在给定的时间间隔内能执行其所要求的功能的概率。定量表示此概率的一个参数为平均故障间隔时间 (MTBF)。当存在下述情况之一时，即认为系统发生了一次故障：

- 1) 信号完全丢失；
- 2) 导频电平比额定值下降 10dB；
- 3) 用 5ms 累计时间所测得或所计算出的总的未加权噪声功率，在 2500km 假设参考电路上超过 10^6 pW (见建议 G. 222)。

在所有情况下，此条件必须持续至少 10 秒^①。

① 此值应视为暂定值。

b) 模拟电缆传输系统的可用性

把模拟电缆传输系统的可用性下定义为：在给定的瞬时或在给定时间间隔内的任意瞬时，系统处于能满足要求地执行任务（运行）的状态的能力。本建议中，模拟传输系统的可用性是用系统的运行时间与所规定的总时间的比值来定量表示。

影响可用性的四种因素为：

- 设备的可用性；
- 自动保护转换；
- 维护规程；
- 电缆的路由情况和防护。

在分别考虑各种因素的重要性时，经济观念应起重要作用。

注 — 经验表明，在许多情况下，电缆故障比设备故障远为突出（约为不可用时间的 95%），而线路段的长度及路由的情况（沿繁忙交通流量的道路敷设等）对能达到的可用性数值具有决定性的影响。

3 指标

a) 可靠性

如同在可用性的定义中所指出那样，可靠性只不过是为了获得一可用性指标所包括的因素之一。因此，未对可靠性建议专门的指标。

b) 可用性

1) 假设参考电路 (2500km)

2500km 的假设参考电路在一个传输方向上的可用性指标，在一年时期内应大于 99.6%。此值考虑了变换设备和线路设备以及电缆和相关的供电设备的运行中断。为达到此指标可能要求适当的保护转换。

2) 变换设备

对于为各种传输系统所建议的 2500km 假设参考电路，附件及图 A-1/G. 602 中之变换设备在一个传输方向上，一年期间，其可用性的设计指标应大于 99.9%。

3) 线路段

280km 均匀段在一个传输方向的可用性设计指标，应根据对假设参考电路的总要求来导出。具体的数值取决于网路设计。

附 件 A

(附于建议 G. 602)

计 算 举 例

一线路段在一个方向上的可用性和可靠性的计算举例，计算中假定：

- 1) 线路增音机的 MTBF = 2×10^5 小时（一个方向）；
- 2) 段内有 100 个线路增音机；
- 3) 每一故障持续 4 小时；
- 4) 采用 12 管电缆，具有 1 : 5 的保护转换。

a) 可靠性 (MTBF)

— 100 个增音机将以 $(\frac{2 \times 10^5}{100}) = 2000$ 小时的间隔发生故障

b) 可用性 (A)

- 每年约有故障 $4 \frac{1}{2}$ 次 $\times 4$ 小时 = 每年运行中断 18 小时 (0.2%)
- 无保护转换时, $A_1 = 99.8\%$
不可用性 $X_0 = 2 \times 10^{-3}$
- 有自动保护转换时

$$A_2 = [1 - \frac{(N + M)!}{(M + 1)! N!} X_0^{M+1}] \times 100\%$$

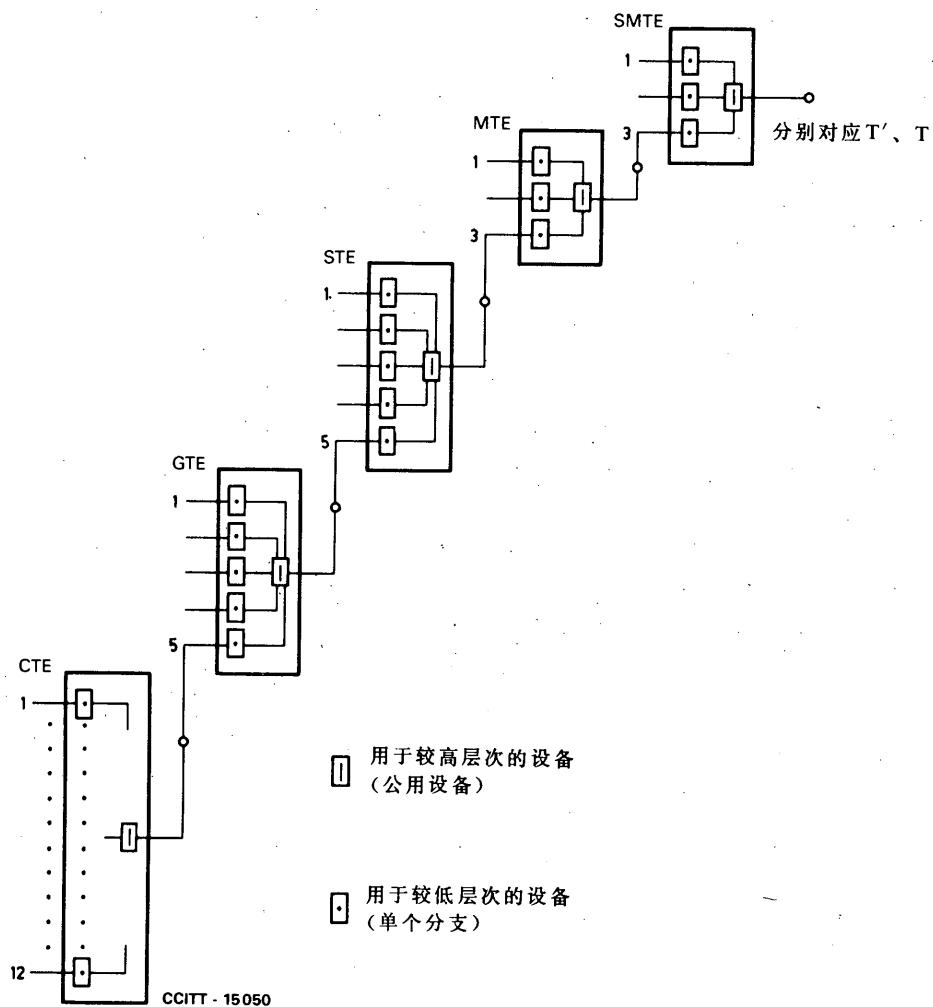
式中

$$N = 5 \text{ (工作系统数)}$$

$$M = 1 \text{ (保护系统数)}$$

$$A_2 = [1 - \frac{6!}{2!5!} (2 \times 10^{-3})^2] \times 100\% = [1 - (12 \times 10^{-6})] \times 100\% = 99.999\%$$

注 — 计算时仅考虑了电子器件方面的故障而未考虑电缆被切断的情况。



CTE = 通路变换设备
GTE = 基群变换设备
STE = 超群变换设备
MTE = 主群变换设备
SMTE = 超主群变换设备

图 A-1/G. 602
表示公用设备和单个分支的各调制级的方案
(将建议 G. 211 的方案 1 作为例子)

6.1 对称电缆线对

建议 G. 611

模拟传输用对称电缆线对的特性

(原建议 G. 321, 1974 年订于日内瓦; 1980 年修订于日内瓦)

1 电缆规格 — 设计来在每个四线组线对上提供 12、24、36、48、60 或 120 路载波话路的一种星绞四线组电缆电特性的一些例子。

1.1 电缆类型

决定装备其对称电缆网的主管部门应尽可能选用符合下面所规定的几种类型的电缆。

敷设于欧洲及北非国际电话网的新电缆包含不加感的对称线对，这些线对系设计用来在每个线对上开通 12、24、36、48、60 或 120 条话路。这些线对绞成星绞四线组，而同一电缆的全部不加感线对都为具有表 1/G. 611 中所示的标称特性的一种类型。

重要的是，跨越国界的增音段应该在其全长上应为同一类型。当一个边境段是在一个大国与一个小国之间时，大国的主管部门应当尽一切可能采用小国所采用的三种类型中的任何一种，以使小国的主管部门不必使用不同于其国内所用电缆的国际电缆段。

注 1 — 有些主管部门，由于特别注意串音的平衡以及采用了适当的增音机间隔，已能在符合本现行规格的纸绝缘电缆上开通 2 个符合建议 G. 322 的超群。

注 2 — 也可能在 I 甲型及 II 甲型线对上开通 2 个符合建议 G. 322 的超群。I 甲型线对是用聚乙烯绝缘的，而 II 甲型电缆则为聚苯乙烯绝缘的。

表 1/G. 611

	I 型	II 型	II 甲型	III 型	III 甲型
导线直径 (mm)	0.9	1.2	1.2	1.3	1.3
工作电容 (nF/km)	33	26.5	21	28	22
特性阻抗 (Ω)					
至 60 kHz	153	178	206	170	196
至 120 kHz	148	174	203	165	193
至 240 kHz	—	172	200	163	190
至 550 kHz	—	—	198	—	188
10°C 时每单位长度衰减 (dB/km)					
至 60 kHz	2.3	—	—	—	—
至 120 kHz	3.1	2.0	1.5	1.8	1.4
至 240 kHz	—	2.9	2.1	2.7	2.0
至 552 kHz	—	4.8	3.1	4.4	3.0

1.2 制造长度的均一性

均一性可以用下面的几种等效方法之一来表征，由相关主管部门选用。

1.2.1 工作电容

“工作电容”是在线对的二根导线之间测定的，测试时所有其他导线都与护套相连。

工作电容偏差

I型电缆 — 在任何制造长度内全部线对的工作电容的平均值不应偏离标称值±5%以上。

在任何制造长度内，工作电容的任何个别值与这个制造长度中取得的平均值之间的差别不应超过±7.5%；而这些差值的算术平均值不应超过2.5%。

II型、II甲型、III型及III甲型电缆 — 任何制造长度的平均工作电容与标称值之差不应超过±3%。

在任何长度内，任一线对的工作电容与这个电缆长度的平均电容之间的差不应超过±5%。

1.2.2 阻抗 (II型、II甲型、III型及III甲型电缆)

任何回路在120kHz的频率上所测得的特性阻抗的实部与该类电缆第一批产品全部线对的平均值的偏离应不超过±5%以上。此平均值在120kHz时不应偏离标称值±5%以上。

用一只电桥在制造长度上测定阻抗，此时回路终接一个阻抗，它等于由电桥测得的阻抗。

1.3 串音

从串音的观点来看，电缆的质量可以由下面两个等效方法之一来表征，由相关主管部门选用。

1.3.1 直接串音测量

对于230m长的制造长度，任何两个实线回路之间的串音应当满足下列条件：

- 远端串音防卫度应当大于68dB；
- 近端串音衰减应当大于56dB。

对用于5个基群或2个超群的电缆，这个数值应当保持到240kHz；而对用于2个基群的电缆，则应保持到120kHz。

在进行这些测试时，回路将终接有所考虑频率的标称阻抗的实部。

对于大于230m的制造长度，上述限制值应减去

$$20 \log_{10} \left(\frac{L}{230} \right) \text{ dB},$$

其中L为长度(m)。短于230m的制造长度应当满足与230m长度相同的条件。

1.3.2 电容不平衡及互感

所有的电容不平衡测试应当用800Hz的交流电进行。互阻抗的测试应当用5000Hz的交流电进行。所有的测试应在所处温度下进行，不予修正，但是当有争议时，以在10°C时所取得的结果为准。除了被测导线外，所有导线应与电缆护套相连。

对于 230m 的制造长度，电容不平衡不应超过表 2/G. 611 所给出之值，而互感不应超过表 3/G. 611 所给出之值。这两表在一栏中列出 I 型电缆的不同数值，而在另一栏中列出 II 型、II 甲型、III 型及 III 甲型的不同数值。

表 2/G. 611
电 容 不 平 衡

	全部读数(不计符号) 的平均值		最大的个别读数	
	I 型	II 型、II 甲型 III 型、III 甲型	I 型	II 型、II 甲型 III 型、III 甲型
电容不平衡，以 pF 表示：				
同一四线组线对间	33	17	125	60
同层相邻四线组线对间	10	5	60	25
同层不相邻四线组线对间	因为并不测试全部可能的组合， 故不规定平均值		20	10
相邻层四线组线对间	10	5	60	25
任何线对与地间	100	100	400	400

注一 表内平均值不适用于四个四线组或更小的电缆。

表 3/G. 611
互 感

	全部读数(不计符号) 的平均值		最大的个别读数	
	I 型	II 型、II 甲型 III 型、III 甲型	I 型	II 型、II 甲型 III 型、III 甲型
互感，以 nH 表示：				
同一四线组线对间	150	125	600	500
同层相邻四线组线对间	100	40	400	150
不相邻四线组线对间	50	20	350	150
相邻层四线组线对间	100	40	600	250

注一 表内平均值不适用于四个四线组或更小的电缆。

对于大于 230m 的制造长度，必须应用下列规则：

表 2/G. 611 及 3/G. 611 内所列出的各线对间的平均值应当乘以所考虑长度与 230m 之比值的平方根。

所有的最大值，以及线对与地之间的平均值，应当乘以所考虑长度与 230m 的比值。

短于 230m 的制造长度时应当满足与 230m 长度相同的条件。

1.4 介质强度

当有特别要求时,电缆的结构要使任何电缆长度的绝缘都能承受在每个特定情况下所规定的电位差,但不超过 2000 伏均方根值而不被击穿,电压施加于所有连在一起的导线与接地的护套之间至少 2 秒钟。试验可用 50Hz 的交流电进行。测试电压的数值不应超过具有同样均方根值的正弦电压峰值的 10%以上。

试验也可用直流电进行(见 [1]),在这种情况下,电压的限制值将为用交流电时均方根电压值的 1.4 倍^①。

1.5 绝缘电阻

在一段电缆内,在一根导线与所有其它连接在一起并与接地护套相连的导线之间测得的绝缘电阻,用至少 100V 而不大于 500V 的电位差测试时不应小于 $10000 \text{ M}\Omega\text{-km}$,读数应在至少 15°C 的温度下充电一分钟读取。

2 增音段规格

2.1 在一个增音段内的最大衰减

一个标称的增音段在最高线路传输频率时的最大衰减,对于具有 1、2 或 3 个基群的低增益系统应为 41dB,而对于具有 4 或 5 个基群或 2 个超群的低增益系统应为 36dB。

2.2 串音

在不加感对称线对载波系统增音段上测得的在同一方向上两回路间的远端串音防卫度应当不小于下列数值。这些值考虑了任何串音平衡网络的存在,测试时这些线对在两端终接等于其特性阻抗的阻抗。

- 1) 对于规范的平衡方法,增音段远端串音防卫度对于在 I 型及 II 型电缆(或类似的电缆)上多至 120 路的低增益晶体管式系统或者在 I 甲型或 II 甲型电缆上的 120 路低增益系统不应小于 69.5dB。
- 2) 当一个“平衡段”包括几个增音段时,可以从公式 $69.5 - 10\log_{10}(n)$ (dB) 来取得等效的结果,此处 n 为平衡段内的增音段数目。

2.3 阻抗均匀性

在组成不加感对称线对载波系统的一部分的一个增音段中,其任何回路的阻抗与标称值的偏离不应超过下列数值:

- 对组成 12 路系统的一部分的增音段: ±5% (在 60kHz 时测得);
- 对组成 24 路系统的一部分的增音段: ±8% (在 108kHz 时测得);
- 对组成 36 或 48 路系统的一部分的增音段: ±8% (在 120kHz 时测得);
- 对组成 60 路系统的一部分的增音段: ±8% (在 240kHz 时测得);
- 对组成 120 路系统的一部分的增音段: ±8% (在 552kHz 时测得)。

① 在参考文献 [2] 中,CCITT 对混合介质没有推荐一般适用的公式。然而,对电话电缆的试验,CCITT 推荐应用系数 1.4 作为目前商业上实用的代表。

2.4 介质强度

如果希望在安装后校核一个增音段的介质强度，应把一个电压等于在制造长度上进行测试时所规定的交流试验电压均方根值的直流电施加到电缆上（见上述 § 1.4）。

2.5 绝缘电阻

在电缆端上任何一根导线与连在一起并和接地护套相连的所有其他导线之间测得的绝缘电阻（不包括增音机内部布线）在至少 100 V 而不大于 500 V 的电位差测试时，不应小于 $10000 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$ ，读数应在充电一分钟后读取。

参考文献

- [1] *Dielectric strength tests, Blue Book, Vol. III, Part 4, Annex 19, ITU, Geneva, 1965.*
- [2] *Ibid., § 4.*

建议 G. 612

设计用于传输 6~34 Mbit/s 比特率的系统的对称 电缆线对的特性

（1976 年于日内瓦，1980 年修订于日内瓦）

1 前言

本建议涉及已开发用来传输 6~34 Mbit/s 的信号的对称电缆，但只要采用一个合适的再生段，它们并不排除用来传输更低或更高的比特率；在大多数情况下，它们也能用来作可视电话或电视信号的基带传输。按照是否拟用同一电缆作双向传输，这些电缆归纳成两类。

2 要测试的参数

对于数字传输系统，须要用一种特别的方法或者要在与建议 G. 611 中所规定的频率不同的频率上测试的参数为：特性阻抗、衰减系数和在同一传输方向上各线对间的远端串音。如果电缆是要在同一电缆内作双向传输，还必须测试不同传输方向的线对间的近端串音。

2.1 特性阻抗

特性阻抗可用下述方法测量：

- 用正弦方式，此时，被测线对应终接以一个恒等于由电桥所测得的那一阻抗，除非当长度长得足以使测试结果与终端阻抗无关。
- 或者用一只脉冲回波仪^①，此时被测线对的阻抗用一只刻有阻抗值的可变平衡网络来平衡。被测线对则终接一个相同的网络。

^① 这个方法与同轴线对所用的类似，但带有一个对称的测量头及网络，脉冲宽度等于 100 ns；回波不予校正。

2.2 衰减系数

线对的每公里衰减是从一单元电缆段上取得的数值算得的，并考虑在这些段的长度上的容差。

注 — 在环测的情况下，应当校核在被测电路两端之间的近端串音衰减是否足够。

2.3 串音

串音可以用正弦方式，在一个接近于有关系统的定时半频率的频率上规定，或者用数字方式规定^②。

2.3.1 远端串音测试

远端串音测试是用于同一传输方向的线对上，在高于约 100 kHz 的一个频率处测试；如果这个频率不是系统的定时半频率，要规定的数值应用系数 $20 \log_{10} f^{\circ}$ 来校正。

2.3.2 近端串音测试

如拟在同一根电缆内作双向传输，这些测试是在样品制造长度上在相反方向传输的线对间进行，可采用正弦方式或数字方式。

3 线对与电缆的说明

决定采用对称线对来传输 6~34 Mbit/s 数量级的数字信号的主管部门，应尽可能选用下述 § 3.1 及 § 3.2 中所介绍的一种电缆类型。

3.1 设计来用作单向传输的电缆

3.1.1 线对的基本特性列于表 1/G. 612 中。

3.1.2 用这些线对构成的电缆特性列于表 2/G. 612 中。

3.2 设计来用于在同一电缆内作双向传输的电缆

表 3/G. 612 或表 4/G. 612 分别指明了组成对绞及四线组电缆的线对的特性。

所有这些电缆包括由一层或几层钼或铝屏蔽保护的导线束，每一束内的线对用于一个传输方向。因此，近端串音值是仅对不同线束内的线对而言的。

注 1 — 为了使表 3/G. 612 及表 4/G. 612 的表示方法一致，特性阻抗之值 (Z_1 的实部) 都是在 1 MHz 时给出的。在 1 MHz 时的阻抗 $Z_1 = X_1 - jY_1$ 与在 f MHz 时的阻抗 $Z_f = X_f - jY_f$ 之关系为：

$$X_f = X_1 - Y_1 / \sqrt{f} \text{ 及 } Y_f = Y_1 / \sqrt{f}.$$

在 1 MHz 时阻抗的实部与在 4 MHz 时阻抗的实部的差值在 2 与 3 Ω 之间。在 1 MHz 时，阻抗的虚部在 4 与 6 Ω 之间；对于约 0.3 MHz 以上的频率，它与频率的平方根成反比。

注 2 — 基于与注 1 同样的理由，给出了 1 MHz 时的衰减值：在 f MHz ($f > 1$) 的频率上的衰减 α_f 与 1 MHz 时的衰减 α_1 成以下比例关系

$$\alpha_f = \alpha_1 \sqrt{f}.$$

注 3 — 如果被测电缆的长度 L 不是 1000 m，远端串音的数值用一个修正系数 $10 \log_{10} L$ 换算到 1000 m。所列的串音数值是系统规格所要求的最小限制值。在上述两个条件之一未能满足时，数值表示于括号内。

② 数字技术的例子在增补 NO. 19 中给出。

③ 对于星绞四线组电缆的对称线对，修正系数 $20 \log_{10} f$ 用于同一四线组的线对时仅适用于一定的特征频率以下，若在此频率以上，则必须使用 $40 \log_{10} f$ 的修正系数。

表 1/G. 612

线对特性	I型电缆
导线直径 (mm)	0.64
线对平均工作电容 (nF/km)	24.2
特性阻抗 (Ω) ^{a)}	178
在24°C时的衰减系数 (dB/km) ^{a)}	13.5

^{a)} 衰减与阻抗的测试频率为3150 kHz。

表 2/G. 612

	第一组 ^{a)}	第二组 ^{a)}
标称特性阻抗 Z_0 (Ω) (在3150 kHz 时所希望的平均值)	178	
衰减与串音 在3150 kHz 及至24°C时的衰减 (dB/km)		
线对最小值	11.8	11.8
线对最大值	14.35	14.6
300m(1000英尺)长电缆在3150 kHz 时的远端串音(FEXT)损耗 (dB)		
线对的最小功率总和	37.5	39.0
线对与线对间的最小值(0.1%)	40.5	40.5
24°C时的直流电阻 (Ω /km)		
导线最大值	56.8	
希望的平均值	54.5	
电缆平均工作电容 (nF/km)		
最大	25.4	
最小	23.0	
希望的平均值	24.2	
一根电缆内线对的均方根标准偏差 (σ) (%)	≤ 7	
对地电容不平衡 (pF/km)		
线对最大值	≤ 443	
电缆平均	≤ 164	
直流介质强度		
对ARPAP ^{b)} 护套的导线间	≥ 1500 V(施加1秒钟)	
缆芯与内部铝包对屏蔽	≥ 20000 V(施加3秒钟)	
缆芯对内部铝包与屏蔽	≥ 5000 V(施加3秒钟)	

^{a)} 给出了两套衰减与远端串音的数值。电缆可以符合任一套数值，这样使衰减较小的电缆可以符合低一些的串音要求。

^{b)} 铝—树脂—聚乙烯—铝—聚乙烯。

表 3/G. 612
对绞电缆

特 性	电 缆 类 型				
	I	II	III	IV	V
1MHz 时的标称特性阻抗 Z_0 (Ω)	160	160	140	120	145
远端串音 (换算到 1000m 的最低值) (dB)	1 MHz 4 MHz 17 MHz 43 a)	43 a)	40	56 44 31	64 52 40
1 到 17 MHz 的近端串音 (最小值, dB)	119	119	98	116	125
1MHz 时的标称衰减系数 ^{b)} (10°C 时 dB/km)	7.0	9.3	10.5	9.5	5.2
标称电容 (nF/km)	28.5	28.5	31.5	38	30
导线直径 (mm)	0.8	0.6	0.65	0.9	1.2

a) 在单元电缆段上对这种类型线对的远端串音测量只用数字方式进行 (见增补 No. 19)。规定的最大值为 30 mV。

b) 真正的数值应使之可能满足一个单元电缆段所要求的条件 (I 型: 在 4.2 MHz 及 10°C 时对于 4km 为 56 ± 2 dB; II 型: 在 4.2 MHz 及 10°C 时对于 3km 为 56 ± 2 dB; III 型: 在 3.15 MHz 时对于 2.8km 低于 55 dB)。

表 4/G. 612
四线组电缆

特 性	电 缆 类 型			
	I	II	III	
1MHz 时的标称特性阻抗 Z_0 (Ω)	165	120		
远端串音 (换算到 1000m 的最低值) (dB)	不同的四线组 1 MHz 4 MHz 13 MHz 17 MHz 46 34 31	同一个四线组 1 MHz 4 MHz 13 MHz 17 MHz (45) (25) (21) a)	56 44 31	46 34 c)
1 到 17 MHz 的近端串音 (最小值, dB)	125 b)	116		
1MHz 时的标称衰减系数 (10°C 时 dB/km)	8.8	9.5		
标称电容 (nF/km)	28	38		
导线直径 (mm)	0.65	0.9		

a) 在一个星绞四线组的每一线对上传输 34 Mbit/s 时, 在 2km 的单元电缆段上采用每 500m 系统交叉的平衡方法, 这种交叉把远端串音至少改善 15 dB。因而, 在这一栏中所给出的数值相当于 500m 的电缆。

b) 在 99% 的情况下, 这个数值必须高于 130 dB。

c) 在一个星绞组的每个线对上传输 34 Mbit/s 正在研究中。

可全部用于传输 2Mbit/s 以下比特率 的数字系统的对称电缆线对的特性

(1984 年于马拉加一托雷莫里诺斯)

1 前言

本建议涉及为传输标准数字系统 (G. 900 系列的各建议) 而设计的电缆, 虽然这些电缆也能用来传输更低比特率的数字信号与音频信号。所描述的电缆同时双向传送信号。本建议的各项规定适用于全部电缆电路进行数字工作而设计的电缆。然而, 有些规定可以用来估计现有的电缆进行 (部分或全部) 数字工作的可能性。

2 应测的参数

2.1 直流电阻

用下列公式将 $t^{\circ}\text{C}$ 时测得的直流电阻 R_t 值换算到 20°C :

$$R_{20} = R_t / [1 + 0.004(t - 20)]$$

2.2 每单位长度的电容

系在 800 或 1000Hz 时测量的。

2.3 衰减系数

衰减系数的数值或者直接测量衰减来求得, 或者根据线对的工作电容与直流电阻来计算。衰减系数只在一个接近定时半频率的频率 f_0 上测量。

系 统	建 议	f_0
1544kbit/s	G. 951	772kHz
2048kbit/s	G. 952	1MHz

对于聚烯烃绝缘电缆, 在频率 f (对于高数百 kHz 的 f 值) 时的衰减系数值可用下式由 α_0 换算:

$$\alpha_f = \alpha_0 \sqrt{\frac{f}{f_0}}$$

在 $t^{\circ}\text{C}$ 时测得的衰减系数值用下式换算到 20°C 。

$$\alpha_{20} = \alpha_t / [1 + 0.002(t - 20)]$$

2.4 特性阻抗

2.4.1 回波测量

当采用脉冲回波仪时，被测线对的阻抗必须用一只有刻度的平衡网络来补偿，这个网络能以大约 0.5Ω 的步级来调节。脉冲宽度应等于或小于500 ns。用这个方法，被测线对端阻抗之值可既快速又简单地直接在平衡网络的刻度上读出来。

2.4.2 正弦测量

在这种情况下，被测线对应终接在一个阻抗上，这个阻抗恒等于由电桥所测得的阻抗，除非被测线对足够长，使测量结果与终端的阻抗无关（例如在单元电缆段上）。

2.5 串音

串音能用正弦波或数字方式来测量。分配给传输方向的线对取决于电缆制造的结构与类型。

2.5.1 正弦测量

2.5.1.1 远端串音

测量是在分配于相同传输方向的线对间在频率 f_0 上进行的。如果进行测量的频率不是定时半频率的话，用 $20 \log_{10}f$ 的系数来进行换算。当测量是在不同于指定的参考长度 L_0 的长度 L 线对上进行时，如果数值以mV表示，则用 $\sqrt{L/L_0}$ 对测得的值进行换算；如果数值以dB表示，则用 $10 \log_{10}L/L_0$ 来换算。

2.5.1.2 近端串音

测量是在分配于相反传输方向的线对间在接近于系统的定时半频率的频率上进行的。

2.5.2 数字测量

用数字测量就可能评估一个单元电缆段的总噪声，近端串音与远端串音都考虑在内了。这种估计能在制造长度或单元段上根据分开的近端串音与远端串音测量来进行^①。这些测量可在工厂条件下或在已安装好的电缆上进行。

2.5.2.1 远端串音

这些测量是在分配给相同传输方向的线对间进行。当测量是在不同于指定的参考长度 L_0 的长度 L 的线对上进行时，如果数值以mV表示，则用 $\sqrt{L/L_0}$ 对测得的值进行换算；如果数值以dB表示，则用 $10 \log_{10}L/L_0$ 来换算。

^① 数字测量的一个优点是，如果有足够多的发生器的话，就能对一个单元段的总噪声进行直接的总测量。

2.5.2.2 近端串音

这些测量在分配给相反传输方向的线对间进行。

3 电路特性

这些特性列于表1/G. 613中。

4 连接的电缆段的特性

这些特性列于表2/G. 613中。

表1/G. 613
电 路 特 性

特 性	电 缆 类 型				
	I型	II型	II甲型	III型 ****	f)
工作比特率 (kbit/s)	2048	2048	2048	2048	
中继器增益 **	34 dB				
组成电缆的单元	星绞四线组	线对	线对	线对	
标称导线直径 (mm)	0.8	0.7	1	0.6	
在 f_0 MHz 时的标称阻抗 *** (Ω)	1 MHz	100	130	130	
	772 kHz				
在 f_0 及 20 °C 时的标称衰减系数 *** (dB/km)	1 MHz	16	11.5 b)	8.5 b)	15.5
	772 kHz				
数字工作时的串音	a)	c)	—	—	
总噪声电压 (最大值)	a)		—	—	
最小近端串音 (mV)	a)	—	60 d, g)	60 d, g)	
	a)				
最小远端串音 (mV)	a)	—	45 e, g)	45 e, g)	
	a)				
正弦信号串音	近端 (dB)	1 MHz			78 ± 3 h)
		772 kHz			
	远端 (dB)	1 MHz			64 ± 3 h)
		772 kHz			
20 °C 时标称直流电阻 (Ω / km)		68.6	94.1 b)	46.1 b)	63
标称工作电容 (nF/km)		50	39	39	44

表1/G.613的注

* 在现阶段，这些数值列出供作参考用。

** 该类电缆的数字数据参考值。

*** 在稍后阶段将给出标准偏差或裕度。

**** 有径向屏蔽的电缆，这个屏蔽把分配给两个传输方向的线对分开。

a) 尚待规定。

b) 最大值。

c) 为保证符合连接的电缆特性，要计算工厂控制用的规格值。

d) 不同单位的线对之间。

e) 属于同一单位的线对之间。

f) 由各主管部门提供的数据将列入其它各栏中。

g) 列出的数值单位为dB。

h) 此处所列的数值取决于电缆的容量。它是全部产品标准偏差的取整平均值，所以不是对每根出厂电缆长度的规格。

表2/G.613
连接的电缆段的特性*

特 性	电 缆 类 型				
	I型	II型	II甲型	III型	a)
工作比特率 (kbit/s)	2048	2048	2048		
在 f_0 MHz 时的标称阻抗 (Ω)	1 MHz	100	130	130	
	772 kHz				
在 f_0 及 20°C 时的标称衰减系数 (dB/km)	1 MHz	16	11.5	8.5	
	772 kHz				
数字工作时的串音 总噪声电压 (最大值)	b)	40 mV			
	b)				
最小近端串音 (mV)	b)				
	b)				
最小远端串音 (mV)	b)				
	b)				
正弦信号串音	近端 (dB)	1 MHz			
		772 kHz			
	远端 (dB)	1 MHz			
		772 kHz			

* 现阶段，列出这些数值作为资料。

a) 由各主管部门提供的数据将列入其它各栏。

b) 尚待规定。

原为模拟传输系统设计的而现
正用于传输6~34 Mbit/s 比特率的数字
系统的星绞四线组对称电缆线对的特性

(1988年于墨尔本)

1 引言

本建议要涉及以前曾设计来并应用在每个四线组线对提供60或120载波电话通路的模拟传输系统中的那些星绞四线组对称电缆线对。以后，在线路改造之后，这些电缆用于传输6~34 Mbit/s 比特率的数字系统。该类电缆没有屏蔽线对和四线组。

对于比特率为8 Mbit/s 的数字传输系统，单电缆制和双电缆制工作都可以用。对于比特率为34 Mbit/s 的系统，只用双电缆工作。

对于数字系统，有几个或全部电缆线对都可以使用。

2 要测量的参数

在建议 G. 612中所规定的所有参数，即特性阻抗，衰减系数，同一传输方向线对间的远端串音和不同传输方向用的两条不同电缆的线对之间的近端串音，都要测量。如果一根电缆要用于两个传输方向，还需要测量打算用于不同传输方向的线对间的近端串音。

2.1 特性阻抗

特性阻抗是按照建议 G. 612的 § 2.1来进行测量的。

2.2 衰减系数

衰减系数是按照建议 G. 612的 § 2.2来进行测量的。

2.3 串音

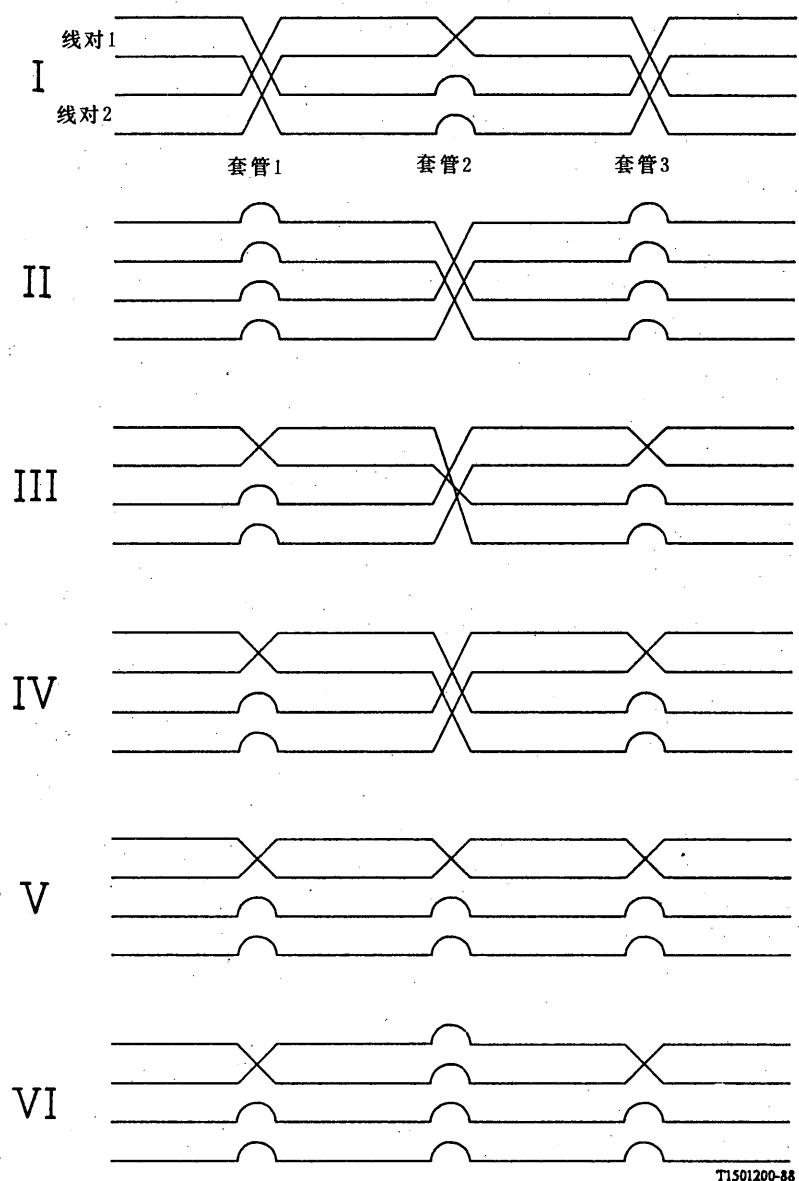
串音是以正弦方式在数字系统的定时半频率附近和/或在其它频率上规定的。也可以用数字方式测量。

2.3.1 不同四线组线对间远端串音的测量

远端串音的测量是在用于同一传输方向的线对上约在0.1 MHz 以上的一个频率上进行的，电缆的长度为 L 。如果测量频率与数字传输系统的定时半频率不同，实测值将用 $20 \log_{10} f$ 来修正。用 $10 \log_{10} L$ 把实测值修正到1000 m 的长度。

2.3.2 同一四线组线对间远端串音的测量

测量是在比特率为6~34Mbit/s 的数字传输系统的最大允许再生段长度的电缆长度上进行的，测量频率约在1.0MHz 以上（测量是对数字传输系统的每种速率分开进行的），同一四线组内串音的系统性分量已被补偿掉。系统性串音分量的补偿是用大致等效的几种交叉方式（见图1/G. 614）之一来进行的。当再生段较短时，这些把单元电缆段分成几部分和进行四线组内交叉的方法在线对间提供的远端串音的数值要比测量是在最大长度的再生段上进行时所得到的数值更大些。



注1—交叉方式 No. 1是由荷兰主管部门于1978年提出的（见 COM XV -135，1977-1980研究期）。

注2—交叉方式 No. 2是由德意志民主共和国主管部门提出的。

注3—交叉方式 No. 3, 4, 5及6是由苏联主管部门提出的。

图1/G. 614

2.3.3 拟供不同传输方向用的同一电缆或不同电缆的线对间近端串音的测量

这种测量是在同一电缆（当采用单电缆制工作时）的线对间或在拟供不同传输方向用的两根不同电缆（当采用双电缆制工作时）的线对间进行的。测量是在正弦方式和数字方式下进行的。

3 电缆规格

对于决定利用以前设计的并用于120路以下的模拟载波系统的电缆来进行比特率为6~34 Mbit/s 的数字传输的各个主管部门，建议选用具有表1/G. 614及2/G. 614中给出的特性的电缆。

3.1 用于以单电缆工作的比特率为6~8Mbit/s的数字传输系统的电缆

见表1/G. 614。

表1/G. 614

特 性	要 求		
	I (注1)	II (注1)	III (注1)
电缆类型			
工作比特率C, kbit/s	8448	8448	8448
线路码	HDB-3	HDB-3	HDB-3
调制率, kbaud	8448	8448	8448
当电缆线对最大利用而两个传输方向放在不同四线组内时, 在C/2 频率上再生段的容许衰减(最大允许值), dB	23	23	45 (注3)
铜导线直径, mm	1.2	1.2	1.3
以前电缆的工作范围	HF	HF	AF, HF
绝缘类型	PI	PI	PI, P
星绞四线组数目	4	7 (注2)	3, 4, 8
在1MHz 时的特性阻抗, Ω	165	165	170
标称电容, nF/km	24.5	24.5	21.0
10℃时的衰减系数, dB/km			
- 在1MHz 时	4.8	4.5	3.7
- 在C/2 的频率上	10.6	9.7	8.0
在C/2 频率上的近端串音, dB			
- 平均值	48	50	50
- 最低值	34	34	44
不同四线组线对间的远端串音 (换算到1000m的最低值), dB			
- 在1MHz 时	54	54	60
- 在C/2 的频率上	42	42	48
同一四线组线对间的远端串音 (在最长再生段上的最低值), dB			
- 在1MHz 时	60	60	60
- 在C/2 的频率上	43	43	48

注 1 - 这些特性是关于铝护套电缆的。

注 2 - 中心四线组不用于数字系统传输。

注 3 - 传输方向B-A 的再生器安装于相反传输方向A-B 再生段的中点。

HF 高频

AF 音频

PI 聚苯乙烯绳

P 纸

3.2 用于以双电缆制工作比特率为6至34.368 Mbit/s 的数字传输系统的电缆

见表2/G. 614。

表2/G. 614

特 性	要 求		
电缆类型	I (注1)	II (注1)	III (注1)
工作比特率C, kbit/s	8448	34 368	34 368
线路码	HDB-3	5B6B	5B6B
调制率, kbaud	8448	41 242	41 242
当电缆线对最大利用时, 在C/2 频率上再生段的容许衰减(最大允许值), dB	70	85	85
铜导线直径, mm	1.2	1.2	1.3
星绞四线组数目	4	4	3. 4. 8
在1MHz 时的特性阻抗, Ω	165	165	170
标称电容, nF/km	24.5	24.5	21.0
10℃时的衰减系数, dB/km			
- 在1MHz 时	4.8	4.8	3.7
- 在C/2 的频率上	10.6	24.0	17.0
不同四线组线对间的远端串音 (换算到1000m的最低值), dB			
- 在1MHz 时	54	51	60
- 在4MHz 时	42	42	48
- 在12MHz 时	-	32	30
- 在17MHz 时	-	30	26
同一四线组线对间的远端串音 (在最长再生段上的最低值), dB			
- 在1MHz 时	42	-	60 (注3)
- 在4MHz 时	30	33	48 (注2)
- 在12MHz 时	-	17	27 (注2)
- 在17MHz 时	-	13	17 (注2)

注 1 — 这些特性是关于铝护套电缆的。

注 2 — 这些数值是用交叉方式No.5 (见图1/G.614) 在四段电缆(0.825km) 上取得的。

注 3 — 这些数值是用交叉方式No.2 (见图1/G.614) 取得的。

6.2 陆上同轴电缆线对

本节下面各建议中所叙述的同轴电缆能用于不同种类的系统。下面的各表说明各种线对可能的用途。

表3/G. 614
模拟系统中的电缆

系统类型的名称 (MHz)	典型的频带 (MHz)	可能使用的同轴电缆类型 (mm)
1.3	0.06 至 1.3	1.2/4.4
4 或 6	0.06 至 6	1.2/4.4 2.6/9.5
12 或 18	0.3 至 12 或 18	1.2/4.4 2.6/9.5
60	4 至 60	2.6/9.5

表4/G. 614
数字系统中的电缆

拟用的系统类型名称	可能的带宽 (MHz)	系统的比特率典型例子 (Mbit/s)	可能使用的同轴电缆类型 (mm)
中比特率	8.5	8	0.7/2.9
	35	34	0.7/2.9 1.2/4.4
高比特率	100	140	1.2/4.4 ^{a)} 2.6/9.5
甚高比特率	700	565	2.6/9.5

^{a)} 对于高比特率的系统，可能采用一种混合系统，即在每只再生器之间有几只模拟型的中继器。在这种情况下，有效带宽能降低(例如在35 MHz以内)。

0.7/2.9 mm 同轴电缆线对的特性

(1976年于日内瓦, 1980年修订于日内瓦)

某些主管部门决定使用小于1.2/4.4 mm 的同轴线对作数字传输及某种特定类型的模拟传输, 他们应尽可能选用符合本建议中所给出规格的线对。这些线对的使用在 § 6.2 引言的表1和表2中作了规定。

1 线对特性

1.1 同轴线对的电特性

1.1.1 特性阻抗

1 MHz 时特性阻抗实部的标称值应当为 75Ω 。

在1 MHz 时一个同轴线对阻抗的平均实部不应偏离标称值 $\pm 2.5 \Omega$ 以上。

表1/G. 621列出阻抗随频率变化的一般趋势。

表1/G. 621
在各种不同频率测得的阻抗平均实部

频率 (MHz)	0.2	0.5	1	2	5	10	20	∞
阻抗 (Ω)	77.7	75.9	75	74.2	73.4	73	72.8	72.2

1.1.2 衰减系数

衰减系数的标称值在10°C 及1 MHz 时等于 8.9 dB/km 。

表2/G. 621列出在10 °C 时衰减系数作为频率函数的一般变化趋势。

表2/G. 621
在各种频率时衰减系数的平均值

频率 (MHz)	0.2	0.5	1	2	5	10	20
衰减系数 (dB/km)	4.5	6.5	8.9	12.6	19.8	28.0	39.6

1.2 同轴线对的机械结构

线对具有下列结构:

- a) 实心铜线内导体的标称直径: 0.7 mm;
- b) 外导体的标称内直径: 2.9 mm;

- c) 外导体包括厚度大约0.1mm的铜带，有重叠地纵包^①；
- d) 屏蔽包括厚度大约0.1mm的钢带，有重叠地纵包^①。

2 电缆规格（制造长度约500m）

2.1 特性阻抗

可以用脉冲测试来检查是否满足§1.1.1内所给出的数值。应把对被测同轴线对平衡得最好的网络在1MHz时的阻抗的电阻分量取平均来作为1MHz时阻抗的平均实部。

2.2 阻抗均匀性

从制造长度的一端或两端用脉冲回波仪进行阻抗均匀性的例行控制测试。回波曲线应经幅度校正，如果可能的话，经幅度和相位校正后描绘出来。

按照电缆拟被使用的用途，表3/G. 621列出要取得的各种数值。

表3/G. 621
制造长度的回波测试

系统类型			数字
比特率			中比特率 (6至34 Mbit/s)
最大脉冲宽度			100 ns
一般规定	最大峰值	100%	36 dB
		95%	39 dB
附加的任选规定 ^{a)}	A	三个最大峰值的平均值	39 dB
	B	等效电阻误差	

a) 检查条件A或B中的一个是否满足就足够了。

注 1 — 表中所列百分数是对同时提交检查或同时交货的一批电缆的所有线对而言的。

注 2 — 用目前的结构技术，系统性的故障在均匀性回波损耗的稳态测试中，在60MHz以下不产生峰。为此之故，并考虑到要用的比特率，均匀性回损稳态测试似乎并不需要。对将来可能采用其它的结构型式，监测均匀性回损可能是明智的。在这样情况下，4至60MHz频带中此数值应为20dB。

2.3 衰减系数

线对的衰减应当使它符合下面§3.3的规定^②。

① 也可用单层的铜—钢—铜双金属带作为外导体与屏蔽。

② 在这个制造阶段，衰减测试仅是样品测试。

2.4 近端串音衰减

用于不同传输方向的同轴线对之间的近端串音衰减，在制造长度上在0.5~20 MHz频带内，百分之百的测试必须大于135 dB。

2.5 介质强度

线对应当承受50 Hz有效值1000伏的交流电压（或直流电压1500伏），电压施加于内外导体之间至少一分钟。

如果在正常运行中，同轴线对的外导体不接地，必须进行外导体与接地金属护套之间的介质强度测试。对于这个测试，要施加50 Hz至少为有效值2000伏的交流电压或不小于3000 V的直流电压。

2.6 绝缘电阻

同轴线对内外导体之间的绝缘电阻，用100与500 V之间完全稳定的电压测试时，在温度不低于15 °C充电一分钟后不应小于10000 MΩ·km。绝缘电阻的测试应当在介质强度试验之后进行。这种测试应在每个制造长度上进行。

3 单元电缆段规格

这些测试要在所有电缆段上进行还是按一定百分数进行，或甚至仅仅进行定型试验就已足够是主管部门与供应者之间协商的问题，特别是有些试验在现场难于进行的情况下。

3.1 平均阻抗

在1 MHz时同轴线对阻抗平均实部不应偏离标称值（如在§ 1.1.1内所规定的）3 Ω以上。应按§ 2.1所述来进行测试。

3.2 阻抗均匀性

按上面§ 2.2所述进行测试。按照电缆拟被使用的用途，表4/G. 621列出要取得的各种数值。§ 2.2的注1仍然有效。

表4/G. 621
单元电缆段的回波测试

系统类型	数字		
比特率	中比特率 (6至34 Mbit/s)		
最大脉冲宽度	100 ns		
一般规定	最大峰值	100%	30 dB
		95%	33 dB
附加的任选规定 ^{a)}	A	三个最大峰值的平均值	33 dB
	B	等效电阻误差	

^{a)} 检查条件A或B中的一个是否满足就足够了。

3.3 衰减系数

在1 MHz 时，实际的衰减常数不应偏离 § 1.1.1 所规定的标称值±0.4 dB 以上。

在 t °C 平均温度下在电缆上测得的衰减用下式换算到 10 °C：

$$\alpha_{10} = \alpha_t \frac{1}{1 + k_a(t - 10)}$$

衰减随温度变化的系数 k_a 在 2 MHz 以上的频率大约为 $1.8 \times 10^{-3}/\text{°C}$ ，在 1 MHz 时大约为 $1.9 \times 10^{-3}/\text{°C}$ 。

3.4 串音

用于不同传输方向的同轴线对之间的近端串音衰减，在 0.5~20 MHz 的频带内在 2 及 4 km 段上必须大于 130 dB。

3.5 介质强度

同轴线对必须承受至少 1000 V 的直流电压，施加于内外导体之间至少 1 分钟。

此外，应当进行同轴线对与地之间介质强度的试验，如 § 2.5 中所述，用至少 2000 V 的直流电压施加一分钟。

3.6 绝缘电阻

同轴线对内外导体之间的绝缘电阻，用 100 与 500 V 之间的完全稳定的电压测试时，充电 1 分钟之后不应小于 $5000 \text{ M}\Omega\text{-km}$ 。绝缘电阻的测试应当在介质强度试验以后进行。这种测试应当在每个单元电缆段上进行。

建 议 G. 622

1.2/4.4mm 同轴电缆线对的特性

(原建议 G. 342，后经进一步修订)

下面的建议描述 CCITT 为国际业务所推荐的 1.2/4.4 mm 同轴线对。这种线对的使用在 § 6.2 引言的表 1 和表 2 中作了规定。当已设想了有电视或数字传输的可能时，则在每项规定中明确地提出。

1 线对的特性

1.1 同轴线对的电特性

1.1.1 特性阻抗

特性阻抗的标称实部在 1 MHz 时为 75Ω 。

对于电话，容差是 $\pm 1.5 \Omega$ ，而对于可能用于电视传输的线对是 $\pm 1 \Omega$ 。

作为资料，在用不同方法制造出来的同轴线对上在不同频率上获得了表1/G. 622中的阻抗数值。

表1/G. 622
在不同频率上测得的同轴线对阻抗实部的平均值

频 率 (MHz)	0.06	0.1	0.2	0.5	1	1.3	4.5	12	18
阻 抗 (Ω)	79.8	78.9	77.4	75.8	75	74.8	74	73.6	73.5

1.1.2 衰减系数

线对的衰减系数的标称值，在12 MHz和10°C时为 18.0 ± 0.4 dB/km。

对于所有符合本建议的线对，表2/G. 622表示了衰减系数作为频率函数的一般变化趋势。

表2/G. 622
在不同频率上衰减系数的标称值

频 率 (MHz)	0.06	0.1	0.3	0.5	1	1.3	4.5	12	18
衰减系数 (dB/km)	1.5	1.8	2.9	3.7	5.3	6.0	11	18	22

下面的公式给出2 MHz以上的衰减系数近似值，其中 α 以dB/km表示， f 以MHz表示：

$$\alpha = 0.07 + 5.15 \sqrt{f} + 0.005f$$

注—作为资料，附件A示出在不同国家中测得的或规定的数值，并带有相应的偏差或容差。在任何情况下，放大器必须根据在将要实际使用的那种类型的电缆上所测得的数值来设计。

1.1.3 衰减畸变

所要求的衰减畸变，特别是对于数字传输，是通过计算在两个频率 f_1 与 f_2 上测得的衰减值 α_{f1} 与 α_{f2} 的比值 α_{f1}/α_{f2} 来检查的。

应当遵守以下三种限制之一^①：

$$\frac{\alpha_{16 \text{ MHz}}}{\alpha_{4 \text{ MHz}}} \leq 2.005$$

$$\frac{\alpha_{24 \text{ MHz}}}{\alpha_{6 \text{ MHz}}} \leq 2.009$$

$$\frac{\alpha_{48 \text{ MHz}}}{\alpha_{12 \text{ MHz}}} \leq 2.016$$

衰减畸变是在工厂内一个小比例的制造长度上进行检查的。

① 这三种条件是等效的。因此，只需用其中之一来检查衰减畸变。

1.2 同轴线对的机械结构

标称尺寸如下：

- 实心铜内导体的直径：1.2mm；
- 外导体的内直径：4.4mm。

使用一条0.15或0.18mm厚的铜带来获得圆柱形的外导体。

2 电缆规格

2.1 特性阻抗

为了检查上面§1.1.1中给出的数值是否满足，可以进行脉冲测试。在1MHz时的阻抗的实部是指对被测同轴线对有最好平衡的网络在1MHz时的阻抗的电阻分量。

2.2 阻抗均匀性

用脉冲回波仪从制造长度的一端或两端进行阻抗均匀性的例行测试。回波曲线应经幅度校正，如果可能的话，经幅度和相位校正后描绘出来。如果测得电阻等效误差，则此误差须经校正。然而，对于例行测试，如果试验长度是如此之短，以致校正值很小，则可以免除校正。

按照电缆拟供使用的用途，表3/G.622列出了要取得的各种数值。

表3/G.622
制造长度的回波测试

系统类型			模拟		数字	
频率范围或比特率			0.06-6 MHz	0.3-20 MHz	中比特率 (6-34 Mbit/s)	高比特率 (140 Mbit/s)
最大脉冲宽度			100 ns	50 ns	50 ns	10 ns
一般规定	最大峰值	100%	45 dB	48 dB	48 dB	48 dB
		95%	50 dB	50 dB	50 dB	49 dB
附加的任选规定 ^{a)}	A	三个最大峰值的平均值	48 dB	51 dB	51 dB	47 dB
	B	等效电阻误差	1.2 Ω	1.6 Ω	1.6 Ω	2.5 Ω

^{a)} 检查条件A或B中的一个是否满足就足够了。

注 1 — 对于0.06-1.3MHz的模拟系统，各项规定与0.06-6MHz模拟系统相同。

注 2 — 为了检测系统性不均匀性，应当在一小部分的制造长度上进行回波损耗测量。所要遵守的极限值列于表4/G.622中。

注 3 — 表中所列百分数是对同时提交检查或同时交货的一批电缆的所有线对而言的。

表4/G. 622
在各个不均匀点上的回波损耗

系统类型		数字	
频率范围或比特率		中比特率 (6-34 Mbit/s)	高比特率 (140 Mbit/s)
抽查长度的百分数		约 5%	约 5%
所探测的频带		1-40 MHz	20-100 MHz
最低实测值	100%	20 dB	20 dB
	95%	23 dB	23 dB

2.3 衰减系数

线对的衰减应使其符合下面 § 3.3 的规定^②。

如果把沿电缆护套测得的长度作为基准,那么衰减系数就应当乘以绞缩系数。包含不同线对数的电缆的绞缩系数说明于表5/G. 622中。

表5/G. 622
绞缩系数的值

电缆内的 线对数目	绞缩系数, 最外层	加权绞缩系数, 整根电缆
4或6		1.002
8		1.003
12—18	1.004	1.003
24	1.005	1.004
48	1.008	1.006

2.4 串音

线对间的串音衰减应使其符合下面 § 3.4 的规定²⁾。

② 在这个制造阶段,衰减和串音测试仅是样品测试。

2.5 介质强度

线对应当承受一个1000V 均方根值的50Hz 的交流电压(或者是1500V 的直流电压), 电压加于内外导体之间至少一分钟。

如果在正常的使用中同轴线对的外导体不接地, 则在外导体和接地金属护套之间要进行一次介质强度试验。根据辅助的四线组或线对所用的系统的种类, 要把辅助四线组或线对的导线连接到同轴线对的外导体或者是护套上。在这些情况下, 将把一个2000 V 均方根值或更大些的50Hz 交流电压(或者是一个3000 V 或更高的直流电压) 加上至少一分钟。

注一 所推荐的试验电压考虑了各国所采用的正常的安全裕度。然而, 聚乙烯绝缘有理由经受高得多的试验电压。总之, 可以设想将来还会使用一些其它的介质。

2.6 绝缘电阻

用100到500 V 之间完全稳定的电压测试同轴线对的内外导体之间的绝缘电阻, 当温度不低于15 °C, 在充电一分钟之后不应小于5000 MΩ·km。绝缘电阻的测试应当在介质强度试验之后进行。这种测试应当在每个制造长度上进行。

3 单元电缆段规格

3.1 端阻抗

在上面 § 1.1.1 和 § 2.1 中叙述的一些条件是适用的。

3.2 阻抗均匀性

阻抗均匀性测试要从单元电缆段的每端来进行。根据电缆拟供使用的用途应当参考表6/G. 622中几栏中的某一栏。

3.3 衰减系数

在1MHz 时, 实际的衰减系数必须不偏离标称值±0.2dB 以上。

在t°C 平均温度下, 在电缆上测得的衰减由下式换算到10°C。

$$\alpha_{10} = \alpha_t \frac{1}{1 + k_a(t - 10)}$$

衰减随温度的变化系数k_a 在500 kHz 或更高的频率上大约是每度 2×10^{-3} 。在较低的频率上稍有增加(在60 kHz 时每度大约 2.8×10^{-3})。

3.4 串音

在实际传输的频带中的任何频率上, 在电缆内同方向传输的两个同轴线对之间的远端串音防卫度必须不小于表7/G. 622中给出的值。

表6/G. 622
单元电缆段的回波测试^{a)}

系统类型			模拟		数字	
频率范围或比特率			0.06-6 MHz	0.3-20 MHz	中比特率 (6-34 Mbit/s)	高比特率 (140 Mbit/s)
最大脉冲宽度			200 ns	100 ns	100 ns	50 ns
一般规定	最大峰值	100%	42 dB	42 dB	42 dB	40 dB
		95%	46 dB	46 dB	46 dB	44 dB
附加的任选规定 ^{a)}	A	三个最大峰值的平均值	45 dB	45 dB	45 dB	43 dB
		未校正的最大值	48 dB	48 dB	48 dB	46 dB
	B	校正后的能量 ($\Omega \cdot \text{km}^{-2}$)	2	2.5	2.5	3.5
	C	未校正的 (Ω)	1.8	2.0	2.0	2.5

^{a)} 检查三个条件 A、B 或 C 中的一个是否满足就足够了。

注 1 — 表3/G.622的注 1 及注 2 仍然有效。然而，对于 0.06-1.3MHz 模拟系统，0.06-6MHz 一栏中的规定适用。但对于长于 4km 的单元电缆段，脉冲宽度可达 400ns。

注 2 — 在单元电缆段上使用正弦波信号测试是不必要的，除非有重要的根据来相信电缆在敷设或安装时已经引入了系统的不规则性。在这样的情况下，测试结果不应小于 20dB。

表7/G. 622
在两个 1.2/4.4mm 同轴线对间的最小远端串音防卫度

段的长度 (km)	远端串音防卫度 (dB)	
	没有相位倒置	在增音机上有相位倒置
8	87	—
6	89	80
4	93	—
3	95	83
2	99	—

当对远端串音防卫度选择了前一种限值时，就没有必要规定近端串音防卫度了。

当使用相位倒置时，在相反方向传输的各线对的近端串音防卫度对于约6 km 长的电缆段至少应当是84 dB，而对于约3 km 长的电缆段至少应当是87 dB。

注一 这些限制值可使最坏的280 km 均匀段上所得到的远端串音防卫度为65 dB，假设对于所涉及的频率只要考虑电缆引起的远端串音^③。假定最小远端串音防卫度随距离的变化，在低于极限距离 L_1 时，大致遵循每10倍距离20 dB 的规律，而在大于距离 L_1 时，则大致遵循每10倍距离10 dB 的规律。 L_1 的值取决于许多因素，主要是所采用的系统，电缆的类型及所考虑的频率。虽然实际上已观察到 L_1 的值在几公里到30公里范围内变化，但在大多数的情况下，30 km 的值看来是适合的，这就保证了表7/G. 622中的限制值与280 km 段上65 dB 限制值的一致。

3.5 介质强度

线对必须承受至少1000 V 的直流电压，施加于内外导体之间至少一分钟。

此外，在同轴线对和地之间的介质强度的试验应按照 § 2.5 所述去做，使用一个至少2000 V 的直流电压加电一分钟。

注一 所推荐的试验电压考虑了各国所采用的正常安全裕度。然而，聚乙烯绝缘可以有理由承受高得多的试验电压。总之，可以设想将来还会使用一些其它的介质。

3.6 绝缘电阻

用100至500V 间完全稳定的电压测得的同轴线对内导体和外导体之间的绝缘电阻在充电一分钟之后不应小于5000 MΩ·km。绝缘电阻的测试应当在介质强度试验之后进行。这种测试应当在每个单元电缆段上进行。

附 件 A

(附于建议 G. 622)

在一些国家中测得的或规定的衰减系数的例子

(给出的数值作为一种说明)

表 A-1/G. 622
在外导体厚为0.15mm 的线对类型上测得的数值

频率 (MHz)	0.060	0.1	0.3	0.5	1	4	12	18	52
衰减 (dB/km)	1.54	1.85	2.89	3.67	5.21	10.4	18.0	22.0	37.5
容差 (dB/km)	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1	±0.2	±0.2	±0.5
温度系数	0.0028	0.0026	0.0024	0.00225	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020

③ 在实践中，可能不必顾及线路设备对可懂串音的影响，但是这仅对频带的低频（小于300 kHz）部分才是正确的。

表 A—2/G. 622
某些国家对于外导体厚度为0.18mm的线对类型所规定的值

频率 (MHz)	60	100	200	300	500	700	1000	1300	4500
规定的衰减 (dB/km)	1.49	1.80	2.42	2.91	3.73	4.43	5.30	6.05	11.2
容差 (dB/km)	±0.1	±0.1	a)	a)	a)	a)	±0.2	±0.2	±0.2

a) 未规定。

建 议 G. 623

2. 6/9.5mm 同轴电缆线对的特性

(原建议 G. 331; 已作进一步修订)

1 线对特性

为了使传输系统能在满足本建议规格的任何电缆上运行，必须在整个国际网路中拥有具有同样电特性的各类同轴线对。这些线对的使用在 § 6.2 引言的表1/G. 623和表2/G. 623中作了规定。

1.1 同轴线对电特性

1.1.1 特性阻抗

同轴线对的特性阻抗遵循下式给出的规律随频率而变化：

$$Z = 74.4 \left[1 + \frac{0.0123}{\sqrt{f}} (1 - j) \right] \Omega$$

式中 f 是被测频率，以 MHz 为单位^①。因此不必规定在所有频率上的数值。

74.4 Ω 的数字（无限高频率上的阻抗）可以有 ±1 Ω 的容差。

1.1.2 衰减系数

在 60 MHz 频率处和 10°C 的温度时同轴线对的标称衰减系数应该在 18.00 ± 0.3 dB/km^② 的限值内。

对于在 60 MHz 处 18.00 dB/km 的标称值，衰减随频率变化的速率表示在表 1/G. 623 中。

①

① 这个公式与 $Z = 74.4 + (0.92/\sqrt{f}) (1-j) \Omega$ 相当。如果用后一个公式，则应对正文中所指出的容差加一个修正系数。

② 有些主管部门由于内部的原因认为使用衰减较小的较大尺寸的线对是有利的，从而可能使用较长的增音段 (2km)。如果由这种电缆建成的增音段的电特性符合本建议，而且它所使用的线路设备与本建议中所述的电缆所用的线路设备完全相同的话，那么用这些线对建成的电缆可以认为是符合本建议对 60MHz 系统的要求的。在文献 [1] 中所述的法国主管部门的 3.7/13.5mm 线对就是属于这一类。

表 1/G. 623
在各种频率处的标称衰减系数

频率 (MHz)	0.06	0.3	1	4	12	20	40	60	150	300
衰减 (dB/km)	0.59	1.27	2.32	4.62	8.01	10.35	14.67	18.00	28.6	40.7

下面的公式给出 1 MHz 以上的衰减系数的近似值，其中 α 以 dB/km 表示， f 以 MHz 表示：

$$\alpha = 0.01 + 2.3 \sqrt{f} + 0.003f$$

注 — 在设计放大器时，必须以电缆上的实测值为依据。

1.1.3 衰减系数容差 — 衰减畸变

为了保证同轴线对和传输设备的正确配合，除了在频率 60 MHz 上规定为 ± 0.3 dB/km 的容差以外，还需要确定各个频率上衰减畸变的限制值。

表 2/G. 623 给出在各个频率 (f 以 MHz 表示) 上 δ_f 量 (以 $\text{dB} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{MHz}^{-1/2}$ 表示)

$$\delta_f = \frac{\alpha_{60}}{\sqrt{60}} - \frac{\alpha_f}{\sqrt{f}}$$

的标称值和容差。

表 2/G. 623
在各个频率上表征衰减畸变的 δ_f 量的标称值与容差

频率 (MHz)	4	12	20	40	60
标称值	1.1	1	0.8	0.4	0
容差	± 1.5	± 1.1	± 0.8	± 0.4	± 0

为了检查对数字传输特别重要的 60 MHz 以上的衰减畸变，需要计算在 240 MHz 与 60 MHz 频率上测得的衰减值的比 (在消除任何峰值以后)。要遵守的限制为：

$$\frac{\alpha_{240 \text{ MHz}}}{\alpha_{60 \text{ MHz}}} \leqslant 2.045.$$

衰减畸变是在工厂内一个小百分数制造长度上检查的。

1.2 同轴线对的机械结构

- a) 内导体是直径为 2.6 mm 的实心铜线；
- b) 绝缘是气体和低损耗固体电介质材料的组合，其介电常数要低得足以满足本规格的各项要求；

- c) 外导体是由一个用 0.25 mm 厚的铜带制成内径为 9.5 mm 包在绝缘层外面的圆筒所组成;
 - d) 由于串音的原因, 外导体应该用软钢带包起来。
- 有些主管部门使用另一种结构, 这种结构具有相同的电特性, 但是采用 2.8 mm 直径的铜内导体和 10.2 mm 内径的铝外导体。这种类型的结构在附件 A 中详细说明。

2 电缆规格

2.1 特性阻抗

为了检查在 § 1.1.1 中给出的值是否被满足, 可以进行正弦波信号测试或脉冲测试。

对于正弦波信号测试, 常用匀滑的阻抗频率曲线来检查。

对于脉冲测试, 应使用一个具有小于 100 ns 半幅宽度的正弦平方脉冲。或者用电桥对一只可变的参考阻抗进行阻抗平衡或相对于固定的参考标准测试反射系数。

2.2 阻抗均匀性

用脉冲回波测试仪从制造长度的一端或两端进行阻抗均匀性的例行控制测试。回波曲线应经幅度校正, 如果可能的话, 经幅度和相位校正后描绘下来。如果测试等效误差, 则此误差须经校正。然而, 对于例行测试, 如果试验长度是如此之短, 以致校正值很小, 则可以免除校正。

按照电缆拟供使用的用途, 表 3/G. 623 中列出了要取得的各种数值。

注 1 — 对于 0.06~6 MHz 模拟系统, 各项规定与 0.3~20 MHz 模拟系统相同。

注 2 — 为检测系统性的不规则性, 应该在小部分制造长度上进行回波衰减测试。要遵守的极限值在表 4/G. 623 中给出。

注 3 — 表中所列百分数字是对同时提交监控或同时交货的一批电缆的全部线对而言。

表 3/G. 623
制造长度的回波测试

系统类型			模拟		数字	
频率范围或比特率			0.3-20 MHz	4-70 MHz	高比特率 (140 Mbit/s)	甚高比特率 (565 Mbit/s)
最大脉冲宽度			50 ns	10 ns	10 ns	10 ns ^{a)}
一般规定	最大峰值		100%	50 dB	48 dB	48 dB
			95%	56 dB	54 dB ^{b)}	54 dB ^{b)}
附加的任选规定 ^{a)}	A	三个最大峰值的平均值		53 dB	51 dB	51 dB
	B	等效电 阻误差	$L < 300 \text{ m}$ $300 \leq L \leq 500 \text{ m}$ $L > 500 \text{ m}$	0.6 Ω 0.8 Ω 0.8 Ω	1 Ω 1.2 Ω 1.6 Ω	1 Ω 1.2 Ω 1.6 Ω

表 4/G. 623
使用正弦波信号对制造长度的测试

系统类型	模拟		数字	
频率范围或比特率	0.3-20 MHz	4-70 MHz	高 ^{d)} 比特率	甚高比特率
不规则性的回波衰减				
抽检长度的百分数	无	约5%	约5%	约5%
所探测的频带		4-62 MHz	20-100 MHz	62-500 MHz
最低实测值	100%	X	35 dB	30 dB
	95%	X	38 dB	
在 10 MHz 频带内的平均回波功率 (在 60 MHz 系统中传输电视信号)				
有关的频带	无	52-62 MHz		
平均功率回波系数	$L \approx 250 \text{ m}$	X	41 dB	35 dB
	$L > 500 \text{ m}$	X	40 dB	28 dB

表 3/G. 623 与表 4/G. 623 的注

a) 如果调查研究或分辨力研究表明需要用更窄的脉冲宽度来测试，则将采用 2 ns 宽度。

b) 假定一个单元电缆段的同一同轴线对没有遇到一个以上的 在 48-54 dB 之间的值。

c) 检查条件 A 或 B 中的一个是否满足就足够了。

d) 对于 4-70 MHz 模拟系统的规定肯定是合适的。然而也已提出低得多的数值。对于要规定的数值以及要探测的频带 (4-100 MHz 或 62-500 MHz) 应取得一致意见。

2.3 衰减系数

线对的衰减应该使其符合下面 § 3.3 的规定^③。

如果把沿着电缆护套所测得的长度作为基准，那么衰减系数就应该乘以绞缩系数，其值如表 5/G. 623 中所示。

表 5/G. 623

绞缩系数的值

电缆中的线对数	绞缩系数， 最外层	加权绞缩系数， 整根电缆
4 或 6		1.003
8		1.005
12	1.009	1.007
18 或 20	1.012	1.010

2.4 串音

线对之间的串音应使其能符合下面 § 3.4 的规定^③。

2.5 介质强度

线对应能承受一个 50 Hz, 2000 V 均方根值的交流电压（或 3000 V 直流）1 分钟，电压加于内导体与接到护套的外导体之间。此介质强度测试应在每个制造长度上进行。

2.6 绝缘电阻

同轴线对内外导体之间的绝缘电阻，用一个 100 到 500 V 之间完全稳定的电压来测试时，在不低于 15 °C 的温度下充电一分钟，不应小于 5000 MΩ·km。绝缘电阻的测试应当在介质强度试验之后进行。这种测试应在每个制造长度上进行。

3 单元电缆段规格

主管部门和供应者必须协商是否要在所有电缆段上或者在一定百分数上进行试验，甚至仅进行定型试验就已足够了，特别是在现场条件很难进行测试的情况下。

3.1 端阻抗

在上面 § 1.1.1 和 § 2.1 中所述的条件是适用的。

③ 在这个制造阶段，衰减和串音测试仅是样品测试。

3.2 阻抗均匀性

从单元电缆段的每一端进行阻抗均匀性的测试。按照电缆拟供使用的用途应当参考表 6/G. 623 中几栏中的某一栏。

注 1 — 与表 3/G. 623 有关的 § 2.2 的注 1 和注 3 仍是有效的。然而，对于 0.06~6 MHz 的模拟系统，0.3~20 MHz 栏的规定适用，但是对于长于 5 km 的单元电缆段，脉冲的宽度可达 200 ns。

注 2 — 在单元电缆段上使用正弦波测试是不必要的，除非有重要的根据相信在电缆的敷设或安装时可能已经引入了系统性的不规则性。在这些情况下，对于 4~62 MHz 频带测试结果不应小于 33 dB。

3.3 衰减系数

对于具有在上面 § 1.1.2 中所给出极限值的标称衰减系数的任何电缆产品，在 60 MHz 时，在所有 1.5 km 单元电缆段的同轴线对上所测得的最大和最小衰减系数值之间的差必须低于 0.4 dB/km（换算到 10 °C）。

在 t°C 的平均温度时电缆上所测得的衰减由下式换算到 10°C：

$$\alpha_{10} = \alpha_t \frac{1}{1 + k_a(t - 10)}$$

表 6/G. 623
单元电缆段的回波测试

系统类型			模拟		数字	
频率范围或比特率			0.3-20 MHz	4-70 MHz	高比特率(140 Mbit/s)	甚高比特率(565 Mbit/s)
最大脉冲宽度			50 ns	10 ns	10 ns ^{c)}	10 ns ^{a)}
一般规定	最大峰值	100%	50 dB	46 dB	46 dB	46 dB
		95%		50 dB	50 dB	50 dB
附加的任选规定	等效电阻误差	A	三个最大峰值的平均值	51 dB	49 dB	49 dB
			未校正的最大值	54 dB	52 dB	52 dB
		B	校正后的能量($\Omega \cdot \text{km}^{-\frac{1}{2}}$)	0.8	2	2
		C	未校正的 (Ω)	1	1.5	1.5

^{a)} 如果调查研究或分辨力研究表明需要用更窄的脉冲宽度来测试，则将采用 2 ns 宽度。

^{b)} 检查三个条件 A、B 或 C 中的一个是否满足就足够了。

^{c)} 只要没有能测试半个增音段的 10 ns 脉冲回波测试仪，则可用 50 ns 脉冲来进行测试。

3.4 串音

在所传输频带中的任何频率上电缆的两个同轴线对之间的远端串音防卫度至少等于表 7/G. 623 中所列数值。

表 7/G. 623
同轴线对间远端串音防卫度

长度 (km)	频带 (MHz)	远端串音防卫度 (dB)
9	0.06—4.3	85
4.5	0.3—12.5	94 ^{a)}
1.5	4—62	130

^{a)} 如果电缆既在 0.3—12 MHz 频带中运行又在增音段较长的较低的频带中运行，为了考虑在电缆的有些点上电平有差值，在 300 kHz 以上的频率上远端串音的数值应当增加几个 dB。100 dB 的限制值就足够了。

对于在 60 MHz 运行的电缆，在相反的方向上传输的线对之间的近端串音衰减至少应该是 140 dB。对其他的系统没有定出极限，以前的研究已证明在运行状态下的近端串音防卫度大于远端串音防卫度。这些数值包括如软线及同轴连接器之类的与单元电缆段有关的附件的影响。

注 1 — 对于工作在 60 MHz 的电缆所给出的数值是从建议 J. 18[2] 中所给出的声音节目电路之间的串音的一般考虑得来的。这些数值是容易得到的，虽然在目前的工艺状态下，用普通的测试设备来测试这些值是困难的。

注 2 — 对于在 12 MHz 上或 12 MHz 以下运行的电缆所给出的数值可满足电话传输。对于声音节目电路传输，这个值必须增加到 105 dB，在所有类型的电缆上，在 300 kHz 以上的频率，这个值是容易得到的。

注 3 — 这些限值使得在最坏的 280 km 均匀段上能得到 65 dB 的远端串音防卫度，假设对于所研究的频率只要考虑电缆引起的远端串音^④，当没有相位倒置时，假定最小远端串音防卫度随距离的变化，在低于极限距离 L_1 时，大致遵循每 10 倍距离 20 dB 规律，而在大于距离 L_1 时，则大致遵循每 10 倍距离 10 dB 规律。 L_1 的值取决于许多因素，主要是所采用的系统，电缆的类型及所考虑的频率。实际上虽然已观察到 L_1 的值在几千米与 30 千米之间变化，但在大多数的情况下，30 km 的值看来是适合的，这就保证表 7/G. 623 中的限制值与 280 km 段上的 65 dB 限制值的一致。

3.5 介质强度

线对应当承受一个 2000 V 的直流电压一分钟，电压加在内导体及接到护套的外导体之间。这个介质强度试验应当在敷设完毕后的每个单元电缆段上进行。

3.6 绝缘电阻

同轴线对内外导体之间的绝缘电阻，用一个 100 到 500 V 之间完全稳定的电压来测试时，在充电一分钟之后，不应小于 $5000 \text{ M}\Omega\cdot\text{km}$ ；绝缘电阻的测试应当在介质强度试验之后进行。这种测试应在每个段上进行。

^④ 实际上，可不顾及线路设备对可懂串音的影响。但是，这只是对频带的低频（低于 300 kHz）部分才是正确的。

附 件 A

(附于建议 G. 623)

具有与 2.6/9.5 mm 铜同轴线对相同的电特性的铜—铝同轴线对的描述

这种铜—铝同轴线对的组成如下：

- 内导体是直径为 2.8 mm 的实心铜线；
- 绝缘是气体和低损耗固体电介质材料的组合，其介电常数低得足以满足本建议的各项要求；
- 外导体由一层 0.7 mm 厚的铝带，在绝缘体外面形成内径为 10.2 mm 的圆柱体并纵向焊接来组成。

这些同轴线对能简易可靠地互相连接或者与 2.6/9.5 mm 全铜线对相连接。它们满足本建议所有电特性的要求。特别是在以同一方向传输的线对间可获得正文 § 3.4 的远端串音数值。

参 考 文 献

- [1] Annex 2 to CCITT Question 17/XV, Green Book, Vol. III.3, ITU, Geneva, 1973.
- [2] CCITT Recommendation *Crosstalk in sound-programme circuits set up on carrier systems*, Vol. III, Rec. J.18.

6.3 海底电缆

本节的建议涉及海底电缆的规格。关于系统的几个建议则列在 § 3.7 中。

增补 No. 11 包括有各个国家中使用的电缆船的文件。

增补 No. 18 包括有深水用的海底电缆的资料。

建 议 G. 631

线路频率约低于 45MHz 的系统所 用海底电缆的各类型

(1976 年于日内瓦)

CCITT

认识到

在敷设于深水（即在不必采用铠装电缆的深处）中的海底电缆的情况下，电缆修理方面的特殊复杂性值得采取措施来减少修理船必须处置的电缆类型的数目；

意识到

与此同时，系统设计者在选用电缆方面需要灵活性，以使各个系统的每单位长度总成本最低；

认识到

在确定任何两根电缆是否能连接起来时最重要的电缆特性为：

- 外导体的内径，
- 电缆的特性阻抗；

建议

对于开通线路频率达 45 MHz 的海缆系统，在这些系统的深水段内所用的电缆应当符合表 1/G. 631 中所列的各限制值。

表 1/G. 631

外导体的内径 特性阻抗	25.0—25.5 mm 43—46 Ω	37.0—38.5 mm a) 53—54 Ω b) 60—62 Ω	43.2 mm a) 49—50 Ω b) 53—54 Ω c) 60—62 Ω
----------------	-------------------------	--	---

6.4 波导

建议 G. 641

波 导 直 径

(1976 年于日内瓦)

CCITT

鉴于

- (a) 大尺寸的波导具有基本衰减低和在比较直的路由上容许较长的增音段距离的优点，但其生产成本较高，敷设要求也较严格；
- (b) 小直径的波导比较便宜，较能容忍弯曲，对敷设的要求也较宽，这在都市地区或地面高低不平的地区颇具优点，但要求较短的增音段距离；
- (c) 在特定情况下的波导直径的最佳选择是一件复杂的事情，它涉及到所包含的详细路由、各种可能类型和直径的波导的有关生产和敷设费用、所要求的增音机的类型和不同数量所涉及的费用以及总的可靠性指标等各方面的详细分析；
- (d) 通过规定少量波导直径标准的方法使耗费的增长减至最小是适宜的。

建议

波导的内径应从 30、40、50、51、60 和 70mm 系列中恰当地选择。

6.5 光缆

建议 G.651

50/125 μm 多模渐变折射率光纤光缆的特性

(1984 年于马拉加一扎雷莫里诺斯；1988 年修订于墨尔本)

CCITT

鉴于

- (a) 渐变折射率的多模纤维光缆将广泛应用于未来的电信网路中；
- (b) 预见的未来应用可能需要各种多模光纤，区别在于：
 - 材料的性质，
 - 几何特性，
 - 工作波长区域，
 - 传输与光学特性，
 - 机械与环境性能；
- (c) 当实用的研究已有足够的进展时，就能对不同的多模光纤提出建议。

建议

一种渐变折射率的多模光纤，它可以在 850 nm 区域内或者在 1300 nm 区域内使用，也可以同时在两个波长区域内使用。

这种光纤能用作模拟传输与数字传输。

其几何、光学与传输特性叙述于后。

本建议中所用术语的意义列于附件 A 中，在验证各种特性的测量中要遵循的导则在附件 B 中进行了说明。

当协商确定了其他的多模光纤建议时，附件 A 和 B 可成为单独的建议。

1 光纤特性

在 § 1 中所述的光纤特性是那些保证光纤能以可接受的低损耗互相连接的特性。

在 § 1 中只建议了光纤的本征特性（与光缆的制造无关）。它们对于单根光纤，装入光缆内并绕于盘上的光纤，以及已安装好的光缆中的光纤都是同样适用的。

1.1 光纤的几何特性

1.1.1 纤芯直径

建议的纤芯直径的标称值为 50 μm 。

纤芯直径偏差不应超过 $\pm 6\%$ ($\pm 3 \mu\text{m}$) 的限度。

1.1.2 包层直径

建议的包层直径的标称值为 125 μm 。

包层直径的偏差不应超过 $\pm 2.4\%$ ($\pm 3 \mu\text{m}$) 的限度。

1.1.3 同心度误差

建议的同心度误差应小于 6%。

1.1.4 不圆度

1.1.4.1 纤芯的不圆度

建议纤芯的不圆度应小于 6%。

1.1.4.2 包层的不圆度

建议的包层的不圆度应小于 2%。

1.2 光纤的光学特性

1.2.1 折射率分布

对于本建议中所涉及的光纤，折射率分布预计近似于抛物线。

1.2.2 数值孔径

数值孔径(NA)的最佳值将取决于光纤拟供应用的具体场合，特别是取决于所要求的光源耦合效率，能容许的由微弯所引起的附加衰减，以及所要求的总的基带响应。

在实践中常用的数值在 0.18~0.24 的范围内。

无论所采用的实际数值为何，它与所选定的标称值之间的差别不应大于 0.02。

1.3 光纤的材料特性

1.3.1 光纤材料

应当说明制做光纤的物质。

注 — 在熔接不同物质的光纤时需小心。初步的结果说明当熔接不同的高二氧化硅纤维时能取得合适的接头损耗与强度。

1.3.2 保护材料

应当说明用来制作光纤一次涂层材料的物理与化学性能，以及除去这个涂层（如果需要的话）的最好方法。在单根加套的光纤情况下，也应作类似的说明。

2 制造长度规格

因为光纤的几何及光学特性很少受到成缆过程的影响，§ 2 将给出主要与光缆制造长度的传输特性有关的各项建议。

传输特性在很大程度上取决于用来传输信息的波长。

环境与试验条件是至关重要的，并将在试验方法的导则中叙述。

光纤的传输特性将具有一个统计概率分布，这种分布与设计和制造过程有关。所以，对传输特性所规定的限制值必须考虑这种分布。例如对于某些应用场合，特定的限制值可能不包含 100% 的产品，而实际上可能只代表总产量中的很小一部分。在确定对某种用途的规格限制值时，经济方面的考虑将起很大作用。

2.1 衰减系数

本建议所包括的光纤一般在 850 nm 区域具有低于 4 dB/km 的衰减系数，而在 1300 nm 区域具有低于 2 dB/km 的衰减系数。

注 1 — 衰减系数的最低值取决于制造过程、光纤的成分以及光纤与光缆的设计；在 850 nm 区域已经取得在 2~2.5 dB/km 范围内的数值，而在 1300 nm 区域已经取得在 0.5~0.8 dB/km 范围内的数值。

注 2 — 在某些情况下，光纤能用于两个波长区。

2.2 基带响应

基带响应既包括模式畸变，又包括色散效应。对于某些应用，色散效应是可以忽略的，可不计入。

基带响应是在频域中表达的，希望采用时域表达的各主管部门仍然能够借助于数学运算来进行。为此目的，应当使用幅度响应与相位响应。

按照惯例，基带响应要线性地换算到 1km 的长度。

2.2.1 模式畸变带宽的幅度响应

模式带宽幅度响应是以经过色散修正后的总的幅度/频率曲线上 -3 dB 光的 (-6 dB 电的) 带宽的形式来规定的。还应给出总带宽的幅度响应的更完整的曲线。

本建议所包括的纤维光缆一般在 850 nm 区域和在 1300 nm 区域具有大于 200 MHz · km 的归一化模式畸变带宽，但不一定在两区域同时都达到这指标。

注 1 — 归一化模式畸变带宽的较高数值取决于制造过程、光纤的组分以及光纤与光缆的设计；在 850 nm 区域已经取得大于 1000 MHz · km 的数值，而在 1300 nm 区域已经取得大于 2000 MHz · km 的数值。

注 2 — 在某些情况下，光纤能用于两个波长区。

2.2.2 模式畸变带宽的相位响应

因为相位响应的资料只是在特殊情况下才需要，故未给出建议的数值。

2.2.3 色散

当需要时，光纤制造厂应当说明该类光纤在工作波长区域内的色散系数值。试验方法列于建议 G. 652 第 V 节附件 B 中。

注 1 — 对于多模光纤，其主要色散是材料色散。

注 2 — 对于高级二氧化硅光纤色散系数的典型数值如下：

波 长 (nm)	色 散 系 数 [ps/ (nm · km)]
850	≤120
1300	≤6

3 单元光缆段

如同在建议 G. 601 中（术语 1008）所下定义那样，单元光缆段一般包括许多连接好的制造长度。对制造长度的各项要求列于本建议 § 2 中。单元光缆段的传输参数不仅需要考虑各个光缆长度的性能，而且还要考虑许多其他因素。例如接头、连接器（如果应用的话）以及模耦合效应等，这些都能影响带宽与衰减。

此外，制造长度的光纤以及象接头与连接器等的传输特性都会有一定的概率分布，如果要取得最经济的设计，时常需要考虑这种概率分布。阅读本节中下面的几个小节的内容时应记住各项参数的统计性质。

3.1 衰减

一个单元光缆段的衰减 A 由下式给出：

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + \alpha_s \cdot x + \alpha_c \cdot y$$

式中

α_n =在单元光缆段中第 n 根光纤的衰减系数，

L_n =第 n 根光纤的长度，

m =在单元光缆段中串接的光纤总数，

α_s =平均接头损耗，

x =在单元光缆段中接头的数目，

α_c =线路连接器的平均损耗，

y =在单元光缆段中线路连接器（如果装有的话）的数目。

注1—接头损耗 α_s 及线路连接器的损耗 α_c 一般是在平衡模分布条件下规定的，在运行条件下，可能有可观的差别。

注2—上式并未包括设备连接器的损耗在内。

注3—在一个系统的总设计中，必须对将来光缆配置变化（附加接头、额外的光缆长度、老化效应、温度变化等）考虑留有合适的裕度。

注4—接头损耗与连接器损耗要用平均损耗值。在设计一个真实系统时所作的衰减分配中，应该考虑这些参数的统计变化。

3.2 基带响应（总的-3dB 光带宽）

基带响应是在频域中给出的，它既包括模式畸变，也包括色散，可用下式表达：

$$B_T = [B_{modal}^{-2} + B_{chromatic}^{-2}]^{-\frac{1}{2}}$$

式中

B_T =总带宽（包括模式畸变与色散）

B_{modal} =模式畸变带宽

$B_{chromatic}$ =色散带宽（见注3）。

注1—光纤的模式畸变基带响应与光源光谱都必须假定为高斯型的。

注2—对于某些应用，色散的作用是可以忽略的，在这种情况下，可不计及色散。

注3—色散带宽 $B_{chromatic}$ 与段长成反比，如果光源光谱假定是高斯型的话，它可表达为：

$$B_{chromatic}(MHz) = [4\lambda \cdot D(\lambda) \cdot 10^{-6} \cdot L / 0.44]^{-1}$$



式中

$\Delta\lambda$ = FWHM (半高全宽) 光源谱线宽度 (nm),
 $D(\lambda)$ = 色散系数 (ps/nm·km),
 L = 段长 (km)。

3.2.1 模式畸变带宽

对于在一个单元光缆段中各根光缆长度的模式畸变带宽的数值是从相关的光纤规范得到的。然而,由于模耦合和在接头处以及有时沿光纤长度上的其它效应,单元光缆段的总的模式畸变带宽可能不是各单个响应的线性叠加。

所以,一个单元光缆段的模式畸变带宽由下式给出:

$$B_{modal_{total}} = \left[\sum_1^x B_{modal_n}^{-\frac{1}{\gamma}} \right]^{-\gamma}$$

式中

$B_{modal_{total}}$ = 单元光缆段内总的模式畸变带宽,
 B_{modal_n} = 单元光缆段中第 n 根光纤的模式畸变带宽,
 x = 单元光缆段中串接的光纤的总数,
 γ = 模式畸变带宽串接因数。

注 — 模式畸变带宽串接因数 γ ,一般在0.5~1.0的范围内,取决于在接头处的模耦合效应、折射率分布中 α 值的补偿、最大带宽的波长等。在某些情况下,也能得到低于这个范围的数值。对于一根给定的光纤,所应采用的合适的 γ 值能从经验得到,一般能从光纤/光缆制造厂得到。

附 件 A

(附于建议 G. 651)

建议中所用术语的意义

A.1 代用试验法 (ATM)

代用试验法是这样一种试验方法,即一类具体的光纤或光缆的某种给定的特性是根据这个特性的定义来测量的,而这种试验法给出的结果可以重复,并能与基准试验法和实际应用相联系。

A.2 衰减系数

在一根光纤中,衰减系数是每单位长度的衰减。

注 — 衰减是指平均光功率随着光纤长度增加而减小的递减率,由下式来确定:

$$P(z) = P(0)10^{-(\alpha z/10)}$$

式中

$P(z)$ = 光纤长度为 z 处的功率,
 $P(0)$ = 在 $z=0$ 处的功率,
 α = 如果 z 以 km 表示,则以 dB/km 表示衰减系数。

从此式得到衰减系数为

$$\alpha = \frac{-10 \log_{10}[P(z)/P(0)]}{z}$$

上式设想 α 与 z 无关。

A. 3 (光纤的) 带宽

带宽在数值上等于一根光纤的基带转移函数的幅值降低到零频率值时的规定的分数（一般光特性时为 -3 dB 而电特性时为 -6 dB）时的最低频率。

注 — 带宽受到几种因数的限制：在多模光纤中主要是模式畸变与色散。

A. 4 色散

在一根光纤中由光源光谱组成中不同波长的不同群速度所引起的光脉冲的展宽。

注 — 色散可能是由于以下一种或多种原因引起的：材料色散、波导色散、折射率分布色散。偏振色散不会在圆形对称光纤中产生明显的影响。

A. 5 色散系数

光源单位谱宽与光纤单位长度上的色散。色散系数通常用 ps / (nm·km) 来表示。

A. 6 包层

在光纤上包围着纤芯的电介质材料。

A. 7 包层模消除器

一种促使包层模转变为辐射模的器件。

A. 8 纤芯

传输大部分光功率的光纤的中心区域。

A. 9 芯区

芯区是光纤的截面中的一个区域，在这个区域内任何地方（不包括一些折射率下陷处）的折射率都比最里面的均匀包层的折射率大一个规定数值。这个数值为纤芯的最大折射率与最里面的均匀包层的折射率之差的一个给定的分数。

注 — 芯区是一根光纤的最小横截面区域，这个区域包含在折射率为 n_3 的各点的轨迹以内（一些折射率下陷除外）， n_3 由下式给出：

$$n_3 = n_2 + k (n_1 - n_2) \quad (\text{见图 A-1/G. 651})$$

式中

n_1 = 纤芯的最大折射率，

n_2 = 最里面的均匀包层的折射率，

k = 常数。

注 — 除非另有规定， k 的数值假定为 0.05。

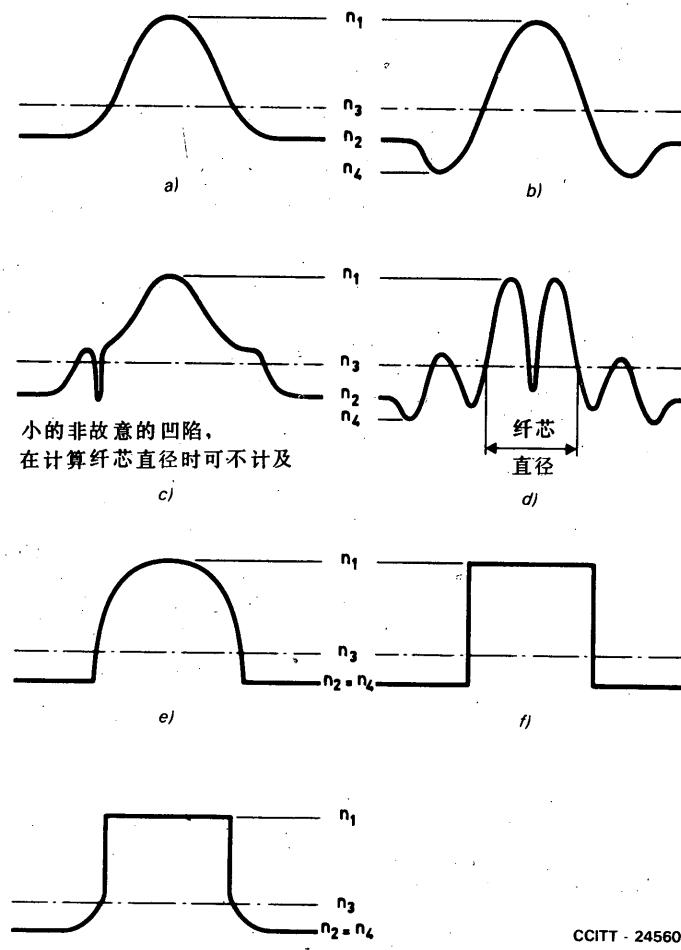


图 A-1/G. 651

一些折射率分布

A.10 纤芯（包层）中心

对于一根光纤的横截面来说，纤芯中心是与芯区（包层）的外面边界最佳配合的圆的中心。

注1—这些中心可能不相同。

注2—最佳配合的方法必须加以规定。

A.11 纤芯（包层）直径

确定纤芯（包层）中心的圆的直径。

A.12 纤芯（包层）直径偏差

纤芯（包层）直径的真实值与标称值之间的差别。

A.13 纤芯/包层同心度误差

纤芯中心与包层中心之间的距离除以纤芯直径。

A. 14 纤芯（包层）容差区

对于一根光纤的截面来说，这个容差区是外接于纤芯（包层）区的圆和与纤芯（包层）区适应并与前一个圆同心的最大圆之间的区域。这两个圆都应当与纤芯（包层）有相同的圆心。

A. 15 四同心圆近场样板

这是一块样板，它包括适用于从一根光纤发出的近场辐射的四个同心圆。

注 — 这块样板一般用来以简单的过程对光纤的各种几何参数的可接受性作总的检查。

A. 16 四同心圆折射率样板

这是一块样板，它包括适用于光纤完整折射率分布图的四个同心圆。

注 — 这块样板一般用来以简单的过程对光纤的各种几何参数的可接受性作全面的检查。

A. 17 最大理论数值孔径

最大理论数值孔径是数值孔径的一个理论值，这个理论值是用纤芯与包层的折射率通过下式计算后给出：

$$NA_{t \max} = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

式中

n_1 =纤芯的最大折射率，

n_2 =最里面的均匀包层的折射率。

注 — NA（见 A. 21）与 $NA_{t \max}$ 之间的关系在附件 B 第 I 节 § B. 2. 2 中给出。

A. 18 滤模器

设计用来接受或排斥某一个或几个模的器件。

A. 19 搅模器；混模器

用来诱使一根光纤中的各种模之间的功率转移并有效地搅乱各种模的器件。

注 — 常用来提供一种与光源特性无关的模分布。

A. 20 纤芯（包层）的不圆度

由纤芯（包层）容差区所确定的两个圆的直径之差除以纤芯（包层）直径。

A. 21 数值孔径

数值孔径 NA 是能进入或离开光纤纤芯的最大光线圆锥的半顶角的正弦，乘以圆锥顶角所在处媒质的折射率。

A.22 参考表面

一根光纤的圆柱形表面，在接续时，以此表面为参考。

注—典型的参考表面为包层或一次涂层表面。在个别情况下，它可能是纤芯的表面。

A.23 基准试验法 (RTM)

基准试验法是这样一种试验方法，即一类具体的光纤或光缆的一种给定的特性是严格按照该特性的定义来测量的，而且这种试验法给出精确的、可重复的并能与实际应用相联系的结果。

A.24 折射率分布 (图)

折射率沿光纤直径的分布。

附 件 B

(附于建议 G. 651)

测 试 方 法

在本附件中一般给出每个参数用的基准试验法 (RTM) 和代用试验法 (ATM)，而意图是使 RTM 与 ATM 都可适用于正常产品的验收用。然而，当使用 ATM 时，如果发生任何差别，建议采用 RTM 作为提供肯定的测量结果的方法。

第 I 节 — 几何与光学参数测量用 的基准试验法与代用试验法

B.1 引言

B.1.1 概述

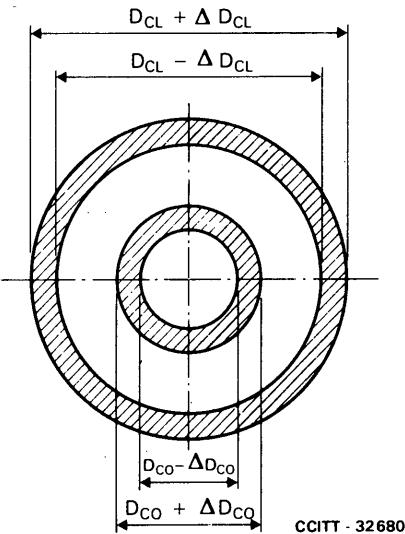
设想本建议中所讨论的几何与光学参数都只是在工厂中或者为了系统设计或其他目的希望验证这些参数而在某主管部门的试验室中测量的。所以预计这些测量将在光纤的样品上进行，或者在从光缆制造长度中抽出的一些样品上进行。

纤芯直径与不圆度都是用折射率分布为基础来规定的。其余的参数能从折射率分布中推导出来。所以，本建议中所讨论的所有的几何与光学参数以及适合于它们的容差都能用单一的基本试验来取得。

B.1.1.1 四圆容差区

验证光纤几何参数的一种简单方法就是“四圆容差区”法，这并不是对光纤的几何特性的附加要求，而是这些特性的代用的全面检查。如果在这个方法与单个特性检查之间出现任何不一致的地方，后者将是基准性的。

“四圆容差区”法是以图 B-1/G. 651 中所示的样板为基础的，在该图中，有关纤芯（其直径为 D_{co} ）的两个同心圆的直径分别为 $D_{\text{co}} - 4\mu\text{m}$ 与 $D_{\text{co}} + 4\mu\text{m}$ ，而有关包层（其直径为 D_{cl} ）的两个同心圆的直径分别为 $D_{\text{cl}} - 5\mu\text{m}$ 与 $D_{\text{cl}} + 5\mu\text{m}$ 。这个方法可适用于由基准试验法所得到的数据（四同心圆折射率样板）或者适用于由代用试验法所得到的数据（四同心圆近场样板）。



CCITT - 32680

D_{CO} 标称纤芯直径
 ΔD_{CO} 有关纤芯圆的容差 = $4 \mu\text{m}$
 D_{CL} 标称包层直径
 ΔD_{CL} 有关包层圆的容差 = $5 \mu\text{m}$

图 B-1/G. 651

B. 1. 1. 2 固有质量因数

最大理论数值孔径 NA、纤芯直径、同心度误差、与纤芯不圆度以各种方式同时产生偏差从而使它们能叠加起来或互相补偿。为了确当地考虑这些影响，能够用现有试验方法所测得的几何与光学参数之值来计算一个理论的接头损耗。可以假定功率在角度上或者是高斯分布或者是稳态分布。当试验光纤被连接到一根标称光纤而其参考表面无错位时，可计算出两个方向上的理论接头损耗的平均值来作为固有质量因数 (IQF)。0.27dB 的 IQF 值是与建议 G. 651 第 1 节内所建议的单个容差相当的。如果在 IQF 法与单个特性的检查之间出现任何不一致性，后者将是基准性的。

B. 1. 2 几何特性

被测光纤的纤芯直径与包层直径以及纤芯和包层的中心能分别从适当分布于纤芯/包层界面上与包层边界上的适当数目的点子来确定。

如果采用光栅扫描，应选用更多的点子，以保证有足够的规则的分布。

圆心度误差可从纤芯中心与包层中心之间的距离来计算。

纤芯与包层的不圆度可从容差区确定出来。

B. 2 几何参数的基准试验法和数值孔径的代用试验法：折射近场方法

B. 2. 1 概述

折射近场测量是简捷、精确的并直接给出横跨整根光纤（纤芯与包层）的折射率分布。测量有良好的分辨率，并能进行刻度以给出折射率的绝对值。

测量方法的简图示于图 B-2a/G. 651 中。这种方法包括把一个已聚焦的光点横过光纤末端进行扫描。要让注入光器件使注入光溢出光纤的 NA。光纤的末端浸于折射率比包层略高的液体中。让一部分光沿光纤导引出去，而其余的光则在光纤外面成为一个空心圆锥体。在纤芯轴上放置一只圆盘，以保证只有折射的光到达检测器。把检测器的输出放大并在一个 X-Y 记录器上作 Y 轴分量显示出来；X 轴的驱动是从监测光纤末端上的聚焦光点的位置得来的。多模渐变折射率光纤的典型折射率分布示于图 B-2b/G. 651 中。

光学分辨率，因而也就是对折射率分布中细节的分辨能力，取决于聚焦光点的尺寸。这既取决于聚焦透镜的数值孔径，又取决于圆盘的尺寸。然而，突变部分的位置能分辨得比这精确得多，取决于步进电动机系统步级大小，或模拟驱动器的位置监测精度。

B. 2. 2 数值孔径与折射率差

最大理论数值孔径的定义为：

$$NA_{t \max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

折射率差的定义为：

$$\Delta n = n_1 - n_2$$

相对折射率差的定义为：

$$\Delta = (n_1 - n_2) / n_1$$

式中

n_1 =纤芯的最大折射率，

n_2 =最里面包层的折射率。

n_1 与 n_2 之值能用折射近场法取得，由此而取得 $NA_{t \max}$ ， Δn 与 Δ 。

这样所确定的最大理论数值孔径 $NA_{t \max}$ 可比用 RTM 所确定的数值孔径 NA 要高（典型地约大 5%~7%）。

B. 2. 3 试验设备

试验设备的简图示于图 B-3/G. 651 中。

B. 2. 3. 1 光源

需要一只在 TEM_{00} 模中给出几毫瓦稳定功率的激光器。

可以使用一只波长为 633nm 的氦氖激光器，但是必须将结果用一个修正系数来修正以便外推到不同的波长。应当注意的是 633nm 上的测量可能不会给出较长波长上的完整资料，特别是不均匀的光纤掺杂会影响修正。

引用一块 1/4 波长板将光束从线性偏振改变到圆形偏振，因为在一个空气—玻璃界面上光的反射与角度及偏振是密切相关的。

放在透镜 1 的焦点处的针孔起着空间滤光器的作用。

B. 2. 3. 2 注入条件

安排成可溢出光纤的数值孔径的注入光器件将一束光聚焦于光纤的平坦端面上。光束的光轴应当在光纤轴的 1° 之内。设备的分辨力决定于聚焦光点的尺寸。为使分辨力最大，这个光点应尽可能小，例如小于 1.5 μm。设备能使聚焦光点扫过光纤的直径。

B. 2. 3. 3 液体槽

在液体槽中的液体的折射率应稍大于光纤包层的折射率。

B. 2. 3. 4 检测

只要全部折射光都被收集起来，就以任何方便的办法把折射光收集起来并送到检测器上。通过计算能决定所要求的圆盘的尺寸以及圆盘沿中心轴上的位置。

B. 2. 4 被测光纤的准备

需要一根大约1米长的光纤。

应当从浸于液体槽中那段光纤上除去一次涂层。

光纤的端面应当清洁、光滑并与光纤轴相垂直。

B. 2. 5 步骤

参阅试验设备的简图（图B-3/G. 651）。

B. 2. 5. 1 光纤的折射率分布图

把被测光纤的注入端浸于一只液体槽中，液体的折射率比纤维包层的折射率稍大。用一只钨灯从光纤的另一端照明。透镜2与3产生出光纤的聚焦像。

调节透镜3的位置使光纤的像处于中心并聚焦，同时使激光束也处于中心并聚焦到光纤上。

把圆盘放在输出圆锥体的中心。对于多模光纤，圆盘在光轴上的位置恰恰阻住漏模。通过圆盘的折射模被收集起来并聚焦到一只光电二极管上。

把聚焦的激光光点横过光纤的端面，就直接得到一幅光纤折射率变化的图。

B. 2. 5. 2 设备定标

把光纤从液体槽中取出以进行设备的定标。在测量时，光的锥体角按照在光纤进入点所看到的折射率而改变（并因而改变通过圆盘的功率）。如果取出光纤而液体的折射率和槽的厚度都为已知的话，可以通过把圆盘沿光轴移动的方法来模拟这种角度的变化。把圆盘移到许多预定的点，我们就能按比例地以相对折射率表示出折射率分布图。只有精确地知道在测量波长上和测量温度时的包层折射率或液体折射率，才能找出折射率的绝对值，也就是 n_1 和 n_2 。

B. 2. 6 结果的表达

应当提供下列各项细节：

- a) 试验设备的安排、修正波长的过程和所用的扫描方法的说明；
- b) 光纤的识别标志；
- c) 按照规范的要求，提供下列各项：
 - i) 对工作波长标定出的通过纤芯包层中心的折射率分布，
 - ii) 对工作波长标定出的沿纤芯的长轴与短轴的折射率分布，
 - iii) 对工作波长标定出的沿包层长轴与短轴的折射率分布，
 - iv) 如果采用光栅扫描，则提供整个光纤端面上的光栅扫描图，
 - v) 纤芯直径^①，

① 见附录 I

- vi) 包层直径,^①,
- vii) 纤芯/包层同心度误差,
- viii) 纤芯的不圆度,
- ix) 包层的不圆度,
- x) 最大理论数值孔径: $NA_{t \max}$,
- xi) 折射率差: Δn ,
- xii) 相对折射率差: Δ 。
- d) 精确度与可重复性的说明;
- e) 试验温度与环境条件(如果需要的话)。

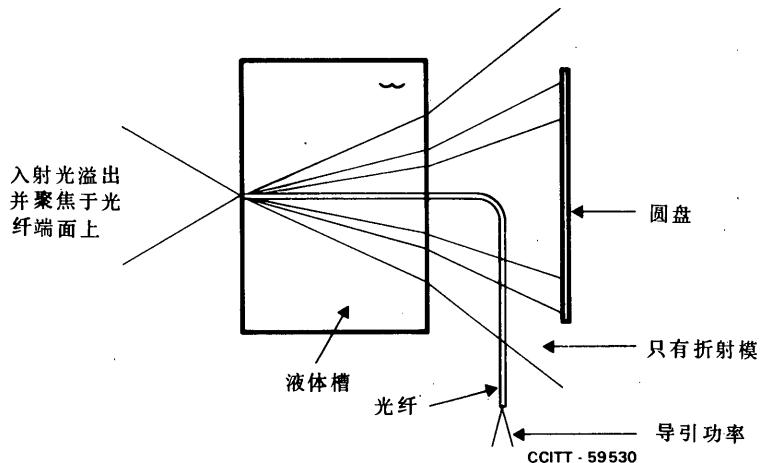


图 B-2a/G. 651
折射近场法—简图

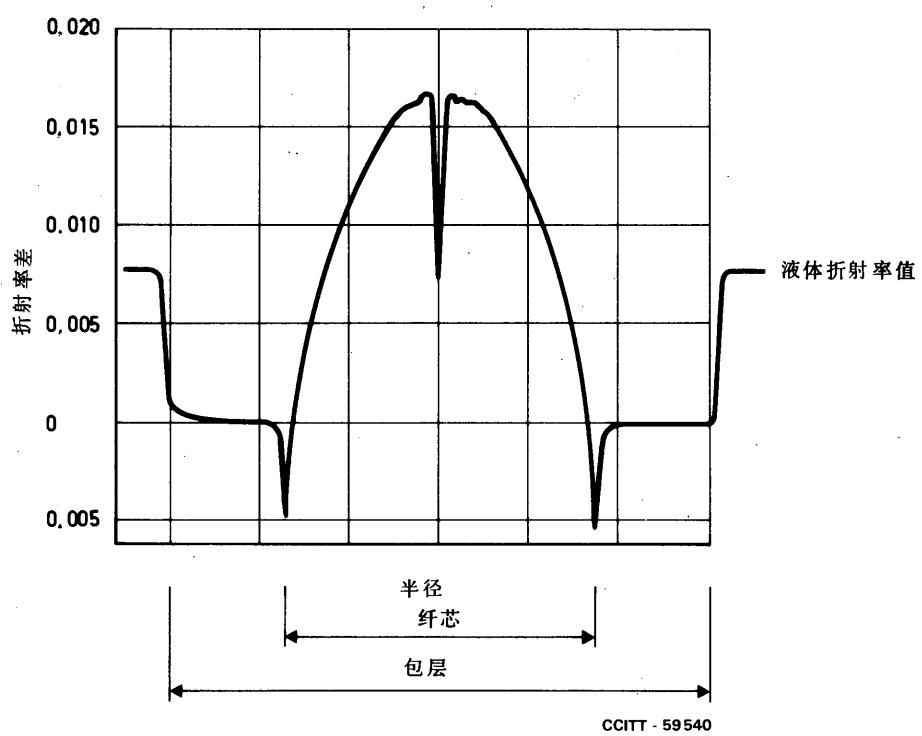


图 B-2b/G. 651
用折射近场法得到的一根渐变折射率光纤的典型折射率分布

^① 见附录 I

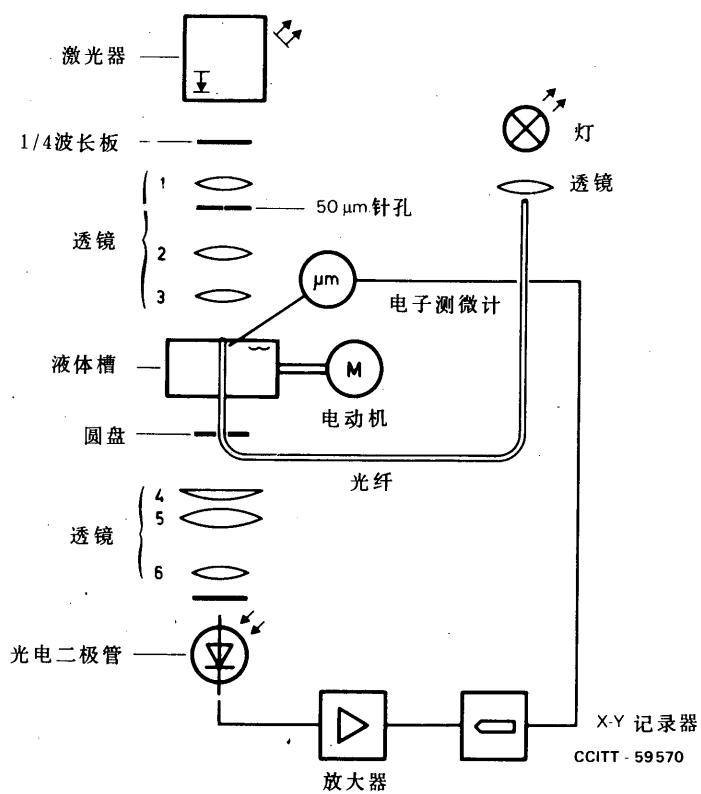


图 B—3/G. 651

折射近场试验设备的典型安排

B. 3 几何参数的代用试验法：近场法

B. 3. 1 概述

近场方法能用于多模光纤的几何特性以及折射率分布的测量。这种测量以与定义相一致的方式来进行，而其结果是能重复的，并能与基准试验法和实际应用相联系。

测量是以扫描输出经放大的像和被测光纤经放大的像为基础的，扫描是在放有检测器的一个截面上进行的。

当测量光纤的几何特性时，可把四同心圆近场样板应用到所检测光纤经放大的像上，这个像是用适于取得高精确度与可重复性的客观评价方法检测出来的。特别是，纤芯直径应当考虑用与基准试验法所用的同一 k 值来测量。

B. 3. 2 试验设备

试验设备的简图示于图 B—4/G. 651 中。

B. 3. 2. 1 光源

光源应当是非相干的，强度可调，并且在足以完成测量过程的一段时间内，在位置、强度、与波长方面都是稳定的。应当记录光谱线宽的半高全宽 (FWHM)，必要时，可用第二个光源来照明包层。

B. 3. 2. 2 注入条件

安排成可溢出光纤的一套注入光学器件把一束光聚到光纤平坦端面上的一个焦点上。

对于 $50/125\mu\text{m}$ 渐变折射率光纤，溢出注入条件是用一个光锥体来得到的，此光锥体由近场测得的 FWHM 强度大于 $70\mu\text{m}$ ，而由远场测得的数值孔径 (NA) 的 FWHM 大于 0.3 的数值孔径 (NA)。

B. 3. 2. 3 包层模消除器

应当用一只合适的包层模消除器，以除去在包层内传播的光功率，并保证全部漏模都从光纤中除去。当只测量包层的几何特性时，则不应有包层模消除器存在。

B. 3. 2. 4 试样

试样应当是一小段被测光纤。应当把放入模消除器中的一段光纤上的一次涂层除去。光纤的端面应当清洁、光滑，并与光纤轴相垂直。

注一 这种测量可在很短的一段光纤上进行（例如几厘米）。在这种情况下，注入条件应当调节得在包层内得到一个均匀的光强，这光强低于纤芯中最大光强的 15%。

B. 3. 2. 5 光放大器件

光放大器件应当包括一个光学系统（例如一块显微镜物镜），这个系统把试样的输出近场放大，把它聚焦到扫描检测器的平面上。光学器件的数值孔径从而也就是其分辨力应当与所要求的测量精度相适应，且不低于 0.3。放大倍数应当选择得与所希望的空间分辨力相适应，并应记录下来。

B. 3. 2. 6 检测器

应当用一只合适的检测器，它提供经放大的近场图形上各点的强度。举例来说，能用下列几种方法中的任何一种：

- a) 带有针孔光圈的扫描光电检测器；
- b) 带有固定针孔光圈及光电检测器的扫描镜；
- c) 扫描电视摄像机，电荷耦合器件或其他图形/亮度识别器件。

检测器应当在所遇到的强度范围内是线性的（或能使之线性化的）。检测器的灵敏区域与光纤输出端经放大的像相比应当是小的，并应当记下这个区域的面积。

B. 3. 2. 7 放大器

为了增加信号电平，应当用一只放大器。放大器的带宽应当按照所用的扫描的类型来选择。当用机械或光学系统来扫描光纤的输出端时，通常要对光源进行调制。如果采取这种方法，放大器应当与光源的调制频率有联系。检测系统应当在灵敏度方面实际上是线性的。

B. 3. 2. 8 数据存储

测得的近场光强分布能被记录下来并按照扫描方法与规范的要求用一种合适的方式表示出来。

B. 3. 3 步骤

B. 3. 3. 1 设备定标

通过事先对以合适的精确度得知其尺寸的一段试样进行扫描的方法来测量光学系统的放大倍数。将这一放大倍数记录下来。

B. 3.3.2 测量

光纤的注入端应当与注入光束对准,而光纤的输出端则应当与光放大器件的光轴对准。光纤输出端经聚焦的像应当按照规范要求用检测器来扫描。聚焦应当以最大的精确度来进行,以减少由于扫描聚焦不良所致像的尺寸误差。

B. 3.4 结果的表达

应当提出下列各项细节:

- a) 试验设备的安排,说明所用的扫描方法;
- b) 注入特性(注入光锥体的尺寸与NA);
- c) 光源的波长与FWHM光谱线宽;
- d) 光纤的识别标志与长度;
- e) 包层模消除器的类型(如果适用的话);
- f) 设备的放大倍数;
- g) 扫描检测器的类型与尺寸;
- h) 试样的温度与环境条件(如果有必要的话);
- i) 精确度与可重复性的说明;
- j) 按照规范要求,提供下列各项:
 - i) 通过纤芯与包层中心的折射率分布;
 - ii) 沿纤芯的长轴与短轴的折射率分布;
 - iii) 沿包层的长轴与短轴的折射率分布;
 - iv) 如果用光栅扫描,则提供整个光纤端面上的光栅扫描图;
 - v) 得出来的尺寸参数,如:纤芯与包层直径^②,纤芯与包层的不圆度,纤芯/包层同心度误差等。

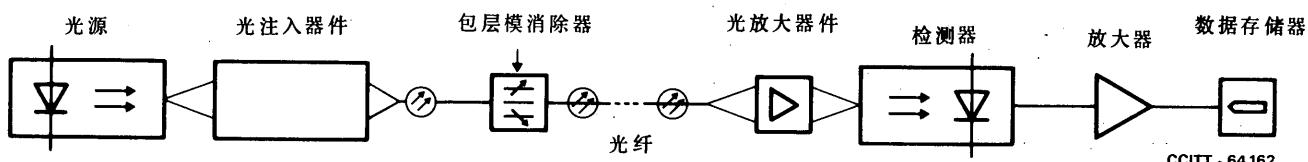


图 B—4/G. 651
近场试验装置的典型安排

B. 4 数值孔径的基准试验法: 远场分布

B. 4.1 目的

这种测量方法用于渐变折射率光纤,以便通过测量远场光分布来确定数值孔径。

B. 4.2 试样的准备

从被测光纤的一端取一段大约2米长的试样。试样应足够直,以避免弯曲损耗。试样的两个端面应当很清洁、平坦,并与光纤轴相垂直。

^② 见附录 I。

B. 4.3 设备

B. 4.3.1 光源

光源应当是非相干的、强度可调并且在足以完成测量过程的一段时间内，在位置、强度与波长方面都是稳定的。

B. 4.3.2 检测器

在所需要的测量范围内，检测器必须具有线性的特性。（检测器的输出电流必须与所接收到的光功率呈线性关系。）

B. 4.3.3 注入条件

见 § B. 3.2.2。

B. 4.3.4 包层模消除器

见 § B. 3.2.3。

B. 4.3.5 显示

例如，XY 记录器，显示屏。

B. 4.4 步骤

B. 4.4.1 测量原理（图 B-5/G. 651）

确定出辐射强度（每单位立体角的光功率）与光纤轴的一个平面上的极角之间的函数关系（辐射图形）。试样的末端与检测器之间的距离 d 与光纤纤芯直径相比必须是大的。

可能的解决办法有：

- 试样固定，大面积检测器固定；
- 试样固定，小面积检测器可以沿直线移动；
- 试样可沿直线移动，小面积检测器固定；
- 试样固定，小面积检测器可以改变角度；
- 试样可以旋转，小面积检测器固定。

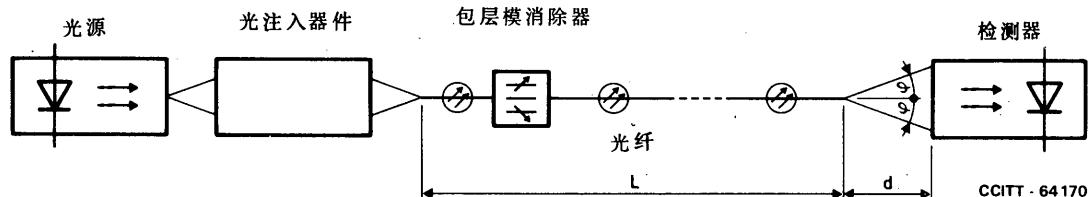


图 B-5/G. 651
远场光分布的测量原理

B. 4.4.2 准备

把试样固定在试样座子中，并按 § B. 4.3.3 把光注入。

B. 4.4.3 测量

测定辐射强度作为在光纤轴的一个平面内的极角的函数。

B. 4.5 结果

本建议所包括的光纤具有近似于抛物线的折射率分布。所以，对于在 § B. 4.3.3 内所推荐的注入条件（均匀模分布），远场辐射强度曲线在最大强度的10%以上的区域内能用下列抛物线来近似表示。

$$P(\varphi) = P(0)[1 - (\sin \varphi / NA)^2]$$

然后由这条抛物线与横座标的交点来确定一个角 φ 一般说来，由完整的辐射强度曲线中最大辐射强度的5%的值就足以确定角度 φ 。

数值孔径为：

$$NA = \sin \varphi$$

B. 4.6 结果的表达

应当提供下列各项细节：

- a) 试验设备的安排，说明所用扫描方法；
- b) 注入特性（注入光锥体的尺寸与 NA）；
- c) 光源的波长与 FWHM 光谱宽度；
- d) 包层模消除器的类型（如果使用的话）；
- e) 扫描条件；
- f) 光纤识别标志与长度；
- g) 试样的温度与环境条件（如果有必要的话）；
- h) 精确度与可重复性的说明；
- i) 得出的数值孔径。

附录 I

(附于第 I 节)

本附录中给出得到纤芯与包层中心的位置及其直径的可能方法。

1.1 纤芯中心与纤芯直径

纤芯中心与纤芯直径是根据横过光纤截面上适当数目的扫描以合适的 k 值来确定的。每次扫描在纤芯/包层接合面上取得两点。扫描必须进行得使这些点子均匀地分布在纤芯的周边上，至少应当是大致均匀的。

令

x_i, y_i 为接合面上第 i 点的直角座标，

a_c, b_c 为纤芯中心的直角座标，

R_c 为纤芯半径，

z, m_i 为中间变量 $z = a_c^2 + b_c^2 - R_c^2$ ，而 $m_i = x_i^2 + y_i^2$ 。

通过找出在最小二乘方的意义上能最好地代表试验中所得到的纤芯与包层间的接合面的圆，从而得出未知参数 a_c, b_c 和 R_c 。计算方法包括变化 a_c, b_c 与 z 使下式中 M 值最小；

$$\begin{aligned} M &= \sum_i [(x_i - a_c)^2 + (y_i - b_c)^2 - R_c^2]^2 \\ &= \sum_i (x_i^2 + y_i^2 - 2a_c x_i - 2b_c y_i + z)^2 \end{aligned}$$

消去 M 对 a_c , b_c 及 Z 的三个偏微分, 就给出一个由三个线性方程组成的方程组, 其矩阵形式如下:

$$\begin{bmatrix} 2 \sum_i x_i^2 & 2 \sum_i x_i y_i & -\sum_i x_i \\ 2 \sum_i x_i y_i & 2 \sum_i y_i^2 & -\sum_i y_i \\ 2 \sum_i x_i & 2 \sum_i y_i & -N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_c \\ b_c \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i m_i x_i \\ \sum_i m_i y_i \\ \sum_i m_i \end{bmatrix}$$

从 $i=1$ 到 $i=N$ 进行求和。

N 为测得的点子总数。

上述方程组的数字反演给出 a_c , b_c 及 z 之值, 从而算出 R_c 之值。

纤芯中心是坐标为 a_c 及 b_c 的一点, 而其直径为 $D_c=2R_c$ 。

1.2 包层中心及直径

采用与纤芯同样的计算过程与定义来找出下列数值:

- 包层中心的坐标 a_g 及 b_g ;
- 包层半径 R_g 。

包层中心是坐标为 a_g 和 b_g 的一点, 而其直径为 $D_g=2R_g$ 。

第Ⅱ节 — 衰减测量用的基准试验法与代用试验法

B.1 引言

B.1.1 目的

衰减试验是为了提供一种方法, 采用这种方法可以对一段光纤定出一个衰减值, 这样才可以把各个衰减值加起来确定出串接的几个长度的总衰减。

B.1.2 定义

在一根光纤上相距 L 的两个截面1和2之间在波长 λ 上的衰减 $A(\lambda)$ 下定义为:

$$A(\lambda) = 10 \log_{10} \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \quad (\text{dB})$$

式中 $P_1(\lambda)$ 为在波长 λ 时通过截面1的光功率, $P_2(\lambda)$ 为在波长 λ 时通过截面2的光功率。对于一根均匀的平衡模光纤, 有可能计算出单位长度的衰减或衰减系数

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \quad [\frac{\text{dB}}{\text{单位长度}}]$$

它与所选择的光纤长度无关。

注 — 对制造长度所规定的衰减值应当在室温下测量 (即, 在 $+10^\circ\text{C} \sim +35^\circ\text{C}$ 范围内的一个值)。

B. 1.3 说明

已经提出三种测量衰减的方法。

B. 1.3.1 剪回方法是定义的直接应用。在这种方法中，在不改变输入条件下，测量光纤两点上的功率 P_1 及 P_2 。 P_2 是从光波导的末端发出来的功率而 P_1 是在接近输入的一点剪断光纤后发出来的功率。

B. 1.3.2 介入损耗方法在原理上与剪回方法相似，但 P_1 是从注入系统的输出端发出来的功率。测得的衰减是介入的一段光纤的衰减与由注入系统和被测光纤之间的连接所产生的衰减之和，因此须对接续损耗修正结果。

B. 1.3.3 后向散射方法是由测定通过光纤的两个截面的后向散射功率来测定衰减的一种间接方法。

B. 1.4 应用场合

一般认为剪回方法给出精确的结果。在许多情况下，它的破坏性就是一个缺点。

介入损耗方法避免切去一段光纤，却以牺牲精确度为代价。

后向散射方法是一种单终端、非破坏性的方法，但是量程有限，且有时不准确。

考虑到三种方法的优缺点，已经选定剪回方法作为基准试验法。

B. 2 基准试验法：剪回法

B. 2.1 注入条件

B. 2.1.1 注入条件的定义

为了达到上述目的，注入条件是很重要的。注入条件应当达到近似于平衡模分布 (EMD)。当在光纤输出端的场图的功率分布与光纤长度基本无关时，就认为存在着平衡模分布。

B. 2.1.2 注入方法

取得平衡模分布注入的一般设备示于图 B—6/G. 651 中。

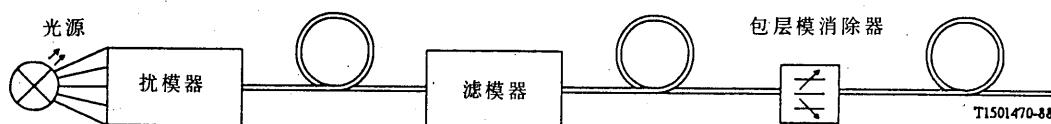


图 B—6/G. 651

一般注入条件

B. 2. 1. 2. 1 包层模消除器

包层模消除器促使包层模转变到辐射模，因而使包层模从光纤中消除。

B. 2. 1. 2. 2 滤模器

滤模器是一种用来选择、排斥、或衰减某些模的器件，并应当保证建立一种近似于平衡模的模分布。

B. 2. 1. 2. 3 搅模器

搅模器是一种用来促使光纤中各种模之间的功率转移的器件，并应提供与光源特性无关的模分布。

注一 能用适当的光学设备直接在被测光纤的输入端产生近似于平衡模的分布。在这种情况下，需要一种完成图 B-6/G. 651三种功能的统一器件。

B. 2. 1. 3 实例

对于一根数值孔径 NA 为 0.2 工作于 850 nm 波长上的 50/125 μm 的低损耗均匀渐变折射率光纤，当观察到下列特性时，就能在被测光纤的剪回长度后面取得近似平衡模分布：

- a) 从近场测得光点的半高光强全宽值为 26 μm ；
- b) 从远场测得的数值孔径的半高全宽值为 0.11 μm 。

近场与远场图形都假定是近似高斯的。

为了得到这种平衡模分布，可采用示于图 B-6/G. 651中的设备安排。

注入光束以光点的形式投射到光纤的注入端，这个光点处于光纤纤芯的中心，其近场光强 FWHM 不小于 70 μm ，而在光锥体中央的 70 μm 部分的远场 FWHM 数值孔径不小于 0.3（对于 $\text{NA} < 0.25$ 的光纤）。

注入光束的轴与光纤轴相重合。

搅模器应当包括一个合适的光纤布置（例如一种突变—渐变—突变序列或者一串弯曲）。

滤模器取心轴的形式，被测光纤以小的张力绕于心轴的 20 mm 长度范围内。

心轴的直径随光纤而变化，常用的心轴直径在 18~22 mm 范围内，光纤绕 5 圈。

心轴的确切尺寸由光纤/光缆制造厂确定，要使从滤模器与包层模消除器后面 2m 的光纤上的近场与远场图形与从光纤或连接起来的光纤的稳定模分布长度上得到的图形相同（典型的长度在 5km 以上）。

包层模消除器通常由一种材料组成，其折射率等于或大于光纤包层的折射率。

B. 2 设备与步骤

B. 2. 2. 1 测量的类型

测量可以在一个或几个单波长上进行，或者可能要求在一个波长范围内的光谱响应。合适的试验设备的简图作为例子示于图 B-7/G. 651及图 B-8/G. 651中。

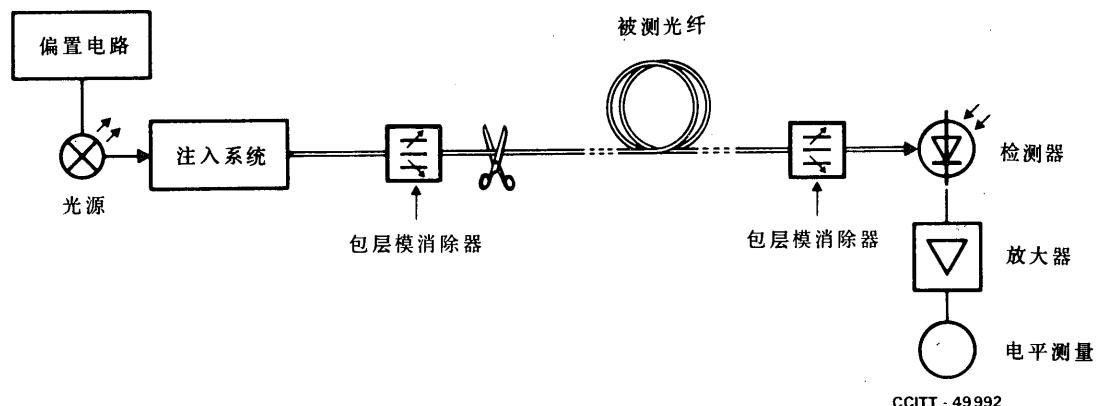
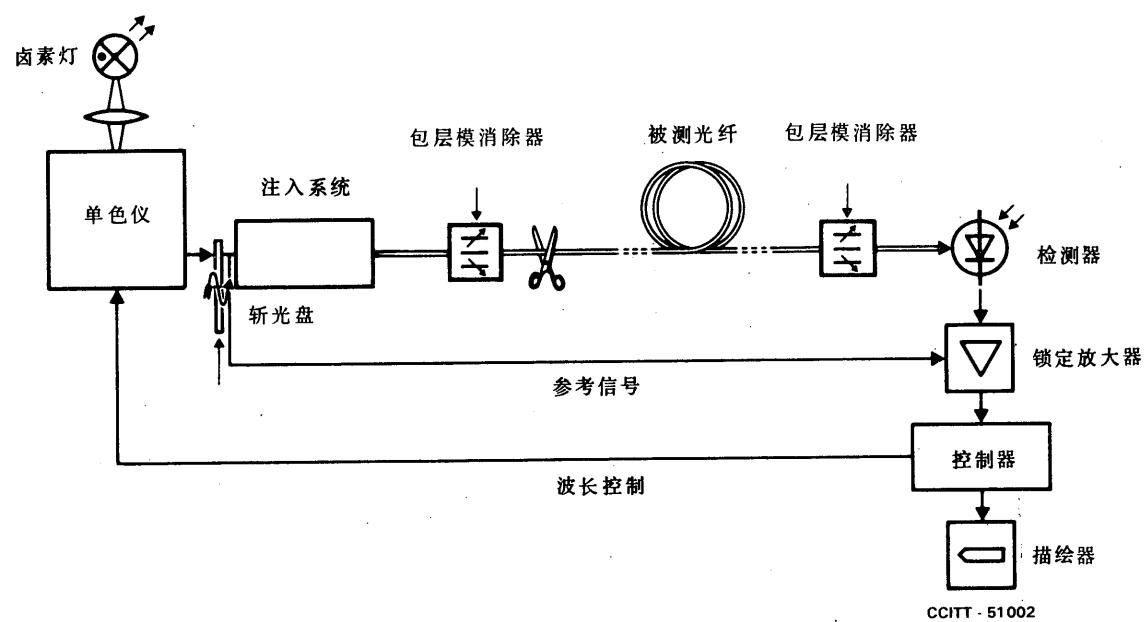


图 B-7/G. 651
进行单个波长损耗测量的试验设备的布置



取得损耗光谱特性的试验设备的安排

图 B-8/G. 651
剪回法

B. 2. 2. 2 光源

应当用一个合适的光辐射源，诸如一只灯、激光器、或发光二极管（LED）。光源的选用取决于测量的类型。光源必须在足以完成测量过程的一段时间内在位置、强度与波长方面都是稳定的。应当把光谱谱线宽度 FWHM 予以规定，使它与光纤的衰减光谱特性上的任何细节相比是窄的。

光纤应当与注入锥体对准，或者与注入光纤同心地相连。

B. 2. 2. 3 光检测器

应当用一只大面积检测器使得输出锥体中的全部辐射都被接收。检测器的光谱响应应当与光源的光谱特性相适应。检测必须是均匀的且具有线性特性。

通常对光源要进行调制以改善接收器信噪比。如果采用这种方法，检测器必须与同步于光源调制频率的信号处理系统相连。检测系统应当在灵敏度方面实际上是线性的。

B. 2. 2. 4 注入设备

见 § B. 2. 1。

B. 2. 2. 5 步骤

- 1) 把被测光纤放入测量设备中，记录输出功率 P_2 。
- 2) 保持注入条件固定不变，把光纤剪到剪回长度（例如从注入点算起长2m）。
记录从光纤剪回长度出来的输出功率 P_1 。
- 3) 在已测定 P_1 与 P_2 的两点之间光纤的衰减，能根据用 P_1 与 P_2 所下的定义计算出来。

B. 2. 3 结果的表达

应当提出下列各项细节：

- a) 测量类型与特点；
- b) 注入方法；
- c) 试验设备与布置；
- d) 试样的温度与环境条件（如果有必要的话）；
- e) 光纤识别标志；
- f) 试样的长度与剪回长度；
- g) 在所选定的波长上测得的（试样的）衰减；
- h) 以 dB 表示的衰减。在有些情况下可以把它换算成以 dB/km 表示的衰减系数；
- i) 对于光谱损耗测量，应把结果以衰减/波长曲线表示出来。

B. 3 第一种代用试验法：介入损耗方法

B. 3. 1 注入条件

所要求的注入条件与在 § B. 2. 1 中所述的相似。

B. 3. 2 设备与步骤

B. 3. 2. 1 测量类型

测量可以在一个或几个单波长上进行,或者可能要求在一个波长范围内的光谱响应。合适的试验设备的简图作为一个例子示于图 B-9/G. 651 中 (a — 校正, b — 测量)。

B. 3. 2. 2 光源

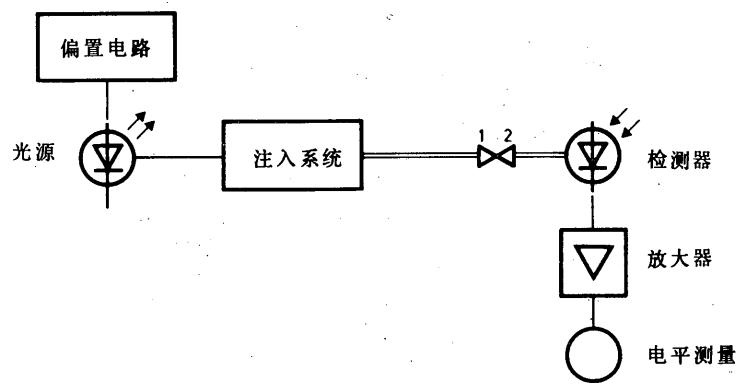
见 § B. 2. 2. 2。

B. 3. 2. 3 光检测器

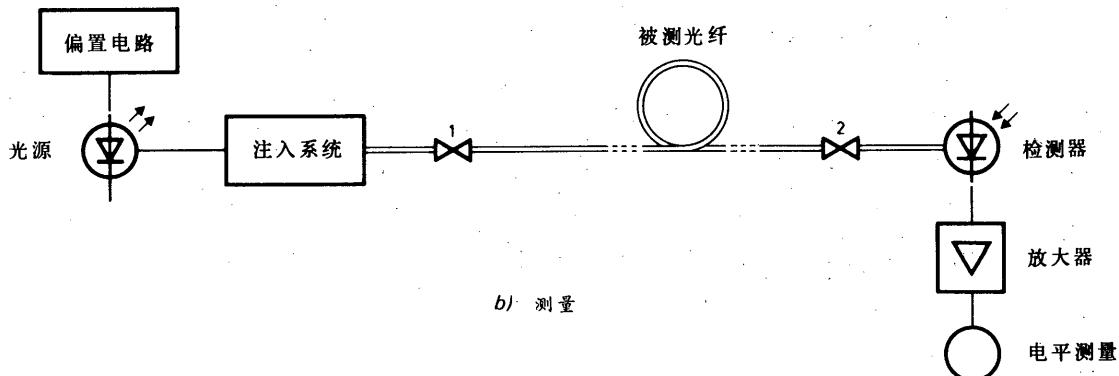
见 § B. 2. 2. 3。

B. 3. 2. 4 注入设备

见 § B. 2. 1。



a) 设备校准



CCITT - 59 590

图 B-9/G. 651

介入损耗法

B. 3. 2. 5 耦合器件

介入损耗法要求用非常精密的光纤对光纤的耦合器件，使耦合损耗减至最小，并保证可靠的结果。这种耦合器件可以是一种用目力检查的机械调节器，或者是一只有纤芯对纤芯定位的连接装置。

B. 3. 2. 6 步骤

- 1) 首先校准测试设备以得到输入参考电平 P_1 。
- 2) 把被测光纤放入测量设备中，并调节耦合使得在光检测器上的电平最大，记录输出功率 P_2 。
- 3) 按照 § 1. 2 计算衰减。这个衰减是所插入的那段光纤的衰减和耦合器件与被测光纤之间的连接所产生的衰减之和。

B. 3. 3 结果的表达

应当提出下列各项细节：

- a) 测量类型与特性；
- b) 注入方法；
- c) 试验设备的布置；
- d) 试样的温度与环境条件（如果有必要的话）；
- e) 光纤的识别标志；
- f) 试样的长度；
- g) 在所选定的波长上测得的（试样的）衰减；
- h) 连接器损耗及容差；
- i) 以 dB 表示的衰减。在有些情况下可以把它换算成以 dB/km 表示的衰减系数；
- j) 对于光谱损耗测量，结果应当以衰减/波长曲线表示出来。

B. 4 第二种代用试验法：后向散射法

注 —— 这种试验方法叙述一种测量光缆均匀试样衰减的方法。这种方法可以用来检查光缆的光学连续性、物理缺陷、接头、后向散射光与光纤的长度。

B. 4. 1 注入条件

对于衰减测量，可应用 § 2. 1 所述的方法。对于其他各种检查，注入条件可能取决于要试验的特性。

在所有情况下，为了减少光纤输入端的菲涅耳 (Fresnel) 反射，可用各种器件，诸如偏振器或折射率匹配材料。应使介入损耗减至最小。

B. 4. 2 设备与步骤

B. 4. 2. 1 一般考虑

后向散射的光信号强度一般是小的，并接近噪声电平。所以，为了改善信噪比与动态测量范围，常用大功率的光源，并对检测到的信号进行信号处理。此外，精确的空间分辨力可能需要调节脉冲宽度，从而在分辨率与脉冲功率之间取得折衷。应当特别注意使菲涅耳减至反射最小。设备的例子示于图 B-10/G. 651 中。

B. 4. 2. 2 光源

应当用一个稳定的适当波长的大功率光源，例如一只半导体激光器。应当记下光源的波长。脉冲的宽度与重复频率应当与所希望的分辨力及光纤长度相适应。在光纤的被测部分应当消除光学上的非线性效应。

B. 4. 2. 3 光检测器

应当用一只检测器使它接收到尽可能多的后向散射功率。检测器的响应应当与被测信号的大小与波长相适应。对于衰减测量，检测器的响应实际上应当是线性。

要求进行信号处理以改善信噪比，在检测系统中最好有对数响应。

在光检测器后面应当接一只合适的放大器，使信号电平适合于信号处理的放大器的带宽应当在分辨力与降低噪声之间折衷选取。

B. 4. 2. 4 注入设备

见 § B. 2. 1 和 § B. 4. 1。

B. 4. 2. 5 步骤

- 1) 把被测光纤与耦合器件对准；
- 2) 用一只信号处理器来分析后向散射功率并用对数标度记录下来。图 B-10b/G. 651给出一条这种典型的曲线；
- 3) 如果记录下来的曲线有一个近似恒定的斜率（图 B-10b/G. 651中的 b 区），曲线上相当于光纤的两个截面的 A 和 B 两点之间的衰减为：

$$A(\lambda) = \frac{1}{2}(V_A - V_B) \text{ dB}$$

式中 V_A 及 V_B 为用对数标度给出的相应的功率电平。

- 4) 如有必要，可进行双方向测量，并进行数字计算以改进结果的质量，也许还可能分离出后向散射的因素所引起的衰减。

B. 4. 3 结果的表达

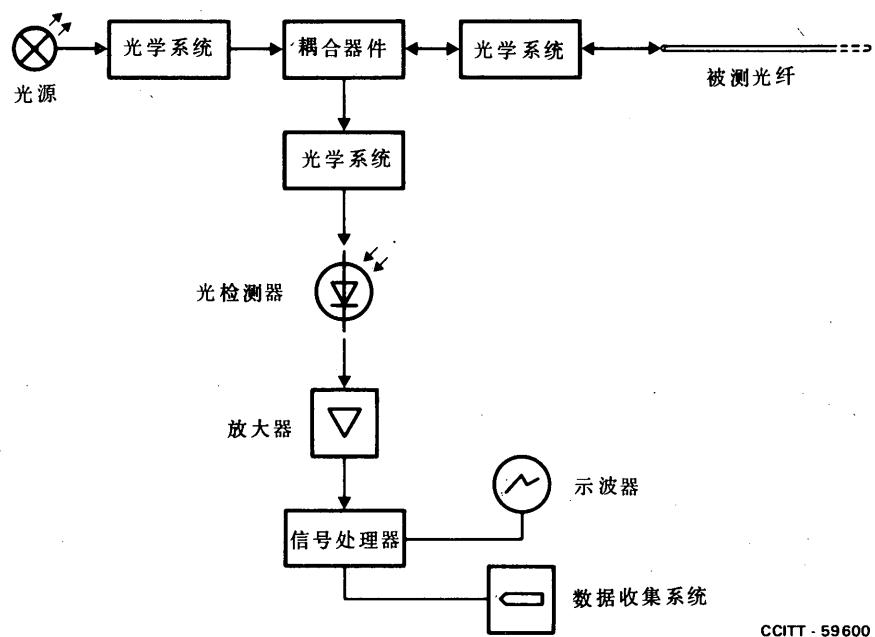
应当提出下列细节：

- a) 测量的类型与特性；
- b) 注入方法；
- c) 试验设备的布置；
- d) 试样的温度与环境条件（如果有必要的话）；
- e) 光纤识别标志；
- f) 试样长度；
- g) 脉冲上升时间、宽度与重复频率；
- h) 所用的信号处理的类型；
- i) 用对数标度记录下来试样衰减的曲线，而在某些条件下，还要以 dB/km 表示出衰减系数的曲线。

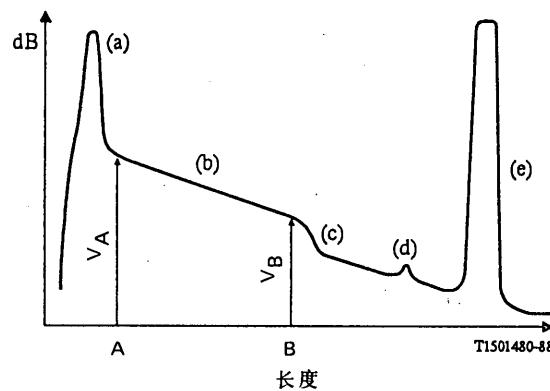
对记录下来的曲线 B-10/G. 651的完整分析表明，除了衰减测量而外，应用后向散射法能监测出许多现象：

- a). 在光纤输入端由耦合器件产生的反射；

- b) 恒定斜率的区域；
- c) 由局部缺陷、接头或耦合所引起的不连续性；
- d) 由电介质缺陷所引起的反射；
- e) 在光纤末端的反射。



a) 设备简图



b) 后向散射功率曲线的例子

图 B-10/G. 651

后向散射法

第Ⅲ节—基带响应测量的基准试验法

B. 1 目的

光纤的基带响应可以在时域内用光纤的脉冲响应 $g(t)$ 来描述，或者在频域内用它的频率响应 $G(f)$ 来描述。可以把 $g(t)$ 描述为这样一个函数，当这个函数与输入到光纤的脉冲光功率相卷积时，就给出从光纤输出的脉冲光功率。 $G(f)$ 是在任何频率上输入到光纤的光功率的正弦调制与从光纤输出的光功率的正弦调制之间的比值。

在一个线性系统内，频域与时域的基带响应由下式联系在一起：

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \exp(-j2\pi ft) dt$$

基带响应是在频域内表达的。

希望在时域内表达时，仍然能够用数学运算来取得。为此，既需要幅度响应，又需要相位响应。

幅度响应是以幅度/频率曲线上 -3dB 光 (-6dB 电) 带宽的形式来规定的。还应当给出一条更完整的曲线。

为了使因基带响应的不规则形状所引入的测量变化减至最小，可使高斯函数适合于基带响应 $G(f)$ 。

对于相位响应尚未规定建议值，因为只有在特殊情况下才需要相位响应。

B. 2 基准试验法

B. 2. 1 试验设备

试验设备的布置简图示于图 B-11/G. 651 中。

B. 2. 1. 1 光源

应当用一只激光光源，它必须在位置、强度与波长方面是稳定的。中心波长 (λ) 应当在从表 B-1/G. 651 中所列的范围内选定的标称值的 $\pm 20 \text{ nm}$ 以内。此外，FWHM 谱线宽度 ($\Delta\lambda$) 不应超过表 B-1/G. 651 中所列的相应数值。

表 B-1/G. 651

光源的谱线宽度

λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)
800—900	5
1200—1350	10

调制激光的方法（脉冲或正弦）应当能工作于被测光纤的响应下降到 -3dB 光强度的频率以外。

最大的发射应当大大超过自发射，而调制的深度应当在消光比允许的条件下尽可能地大些，以取得最大的信噪比。应注意使光源的波长不要漂摆。

如果所选用的调制波形是正弦波的话，则每个频率的输出调制逐一地除以输入调制。如果所选用的调制波形是多分量的脉冲，则作为第一步须对接收到的信号进行富里叶变换，这种变换可以用模拟的滤波或数字的处理来完成。

B. 2. 1. 2 注入条件

合适的测量条件能用两种方法取得：

- a) 均匀的模功率分布（溢出注入），其均匀空间分布大于光纤纤芯，而在被测光纤的数值孔径以内为郎伯（Lambertian）角分布；
- b) 非常近似于真实稳态条件的稳态注入。

对 b) 点的注 — 应当小心不要使注入条件把模激励限制到稳态之下，特别是对于短于2km 的长度。

B. 2. 1. 3 检测器

应当使用一只高速光电二极管来接收光纤输出的全部模容量。

光电二极管以及后面的电子设备的带宽应当足以保持所要求的信噪比，一直到要报告结果的最高频率。对于测量范围内的输入功率而言，检测器系统应当是线性的。如果检测器的线性范围不适当，可能需要一只中性密度滤光器来衰减过大的信号，使检测器总是在其灵敏度的线性范围以内。这只滤光器预先在工作波长上进行校准。

B. 2. 1. 4 输出表达系统

输出表达系统应当能够记录或显示输出调制幅度相对于校正的功率或对数功率与频率的关系，在脉冲调制的情况下，可能要有中间的一步，用校正的时间坐标记录一个脉冲波形。

B. 2. 2 步骤

B. 2. 2. 1 试验光纤的准备

应当把要放入包层消除器中的那部分光纤上的一次涂层除去。

光纤的两端部应当很清洁、平滑并与光纤轴相垂直。在未成缆的光纤上测量时，应当在松绕于盘上的光纤上进行，以避免外部感生模耦合。

B. 2. 2. 2 测量

首先用一短段光学测试引线把发送器与接收器连接起来，并调节发送器的功率以给出处在接收器线性范围内的信号。为了用来作为现场的基准试验法，应在此阶段把仪器的具体响应记录下来，以备以后使用。所记录的响应可以是冲激形式，也可以是频率响应的形式，视情况而定。

然后把被测光纤插入发送器与接收器之间再测定与记录其输出。作为对单根光纤的基准试验法，这时把光纤剪回到方便的一点，这点离发送器及包层模消除器（如果用的话）或离滤模器有一个方便的距离。当心不要破坏注入条件，测量并记录来自剪回长度的输出。接收器光电管的工作区域在所有阶段都应当尽可能一样。

然后，把与被测光纤的输出信号相对应的频域幅度数据组逐个频率地除以（如果以对数刻度表示时则减去）与仪器（包括剪回长度）的具体响应相对应的数据组就得出光纤的频率响应。这些数据组可以是直接取得的，也可以是从时域变换而来的。

B.2.3 结果的表达

应当提出下列各项细节：

- a) 测量类型与特点；
- b) 注入方法；
- c) 试验设备的布置，包括光源的波长与 FWHM 谱线宽度；
- d) 试样的温度与环境条件（如果有必要的话）；
- e) 光纤识别标志；
- f) 试样的长度；
- g) 由幅—频特性上 -3dB 光点所规定的带宽（包括色散效应），必要时，还要有完整的幅频特性和/或相位特性；
- h) 对于制造长度，必要时，要把所得值换算到 1km 的带宽值（必须给出所用的换算公式）；
- i) 如在 g) 中所述，测得的带宽既包括模（式）散效应又包括色散效应。需要时，如果假定光纤的模式基带响应与光源的光谱都是高斯型的，则可以用下面的公式来得到模式带宽 B_{modal} (MHz)。

$$B_{\text{modal}} = [(1/B_T)^2 - (D(\lambda)\Delta\lambda \cdot L \cdot 10^{-6}/0.44)^2]^{-1/2}$$

式中

B_T = 光纤实测带宽，

$D(\lambda)$ = 色散系数 (ps/(nm·km))，

$\Delta\lambda$ = 光源的 FWHM 谱线宽度 (nm)，

L = 光纤长度 (km)。

注 — 上述设备与步骤仅仅包括了基准试验法的最重要的基本特点。假定仪表配置的细节将备有所有必要的措施以保证稳定性、噪声消除等要求，并假定在包括取样、加权函数、截尾等任何数据处理过程中将注意在所选用的各项方法的优缺点之间保证一个满意的平衡。

这些步骤的细节以及定量的资料都应包括在结果之中。

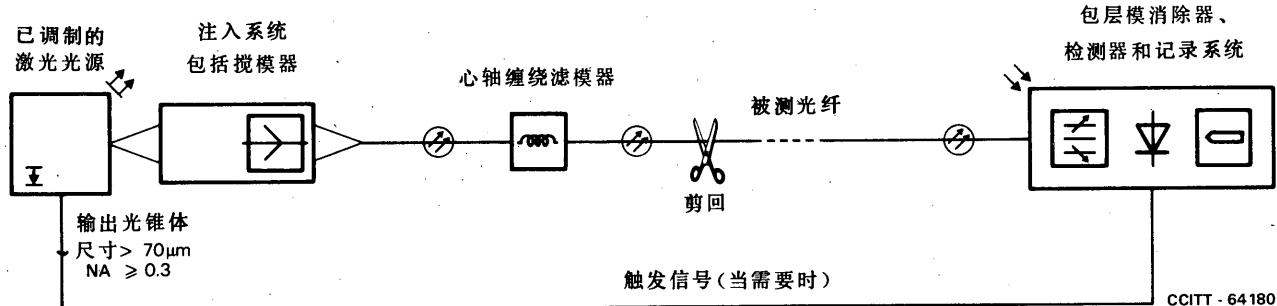


图 B-11/G. 651
试验设备的典型布置

单模光纤光缆的特性

(1984年于马拉加—托雷莫里诺斯；1988年修订于墨尔本)

CCITT,

鉴于

- (a) 单模光纤光缆广泛地应用于电信网路中；
- (b) 预见到的未来的应用可能需要几种不同的单模光纤，它们的区别在于：
 - 几何特性；
 - 工作波长；
 - 衰减、色散、截止波长及其他光学特性；
 - 机械与环境性能；
- (c) 当实用研究已有足够的进展时，可对不同的单模光纤提出建议，

建议

一种在1300 nm附近具有零色散波长并为应用于1300 nm波长区域中而最优化的单模光纤，同时它也可用于1550 nm波长区域中（在这个波长上光纤不是最优化的）。

这种光纤能用于模拟传输与数字传输。

这种光纤的几何、光学与传输特性以及适用的试验方法叙述于后。

在本建议中所用的各种术语的含义列于附件A，而为验证各项特性的测试中所要遵循的导则列于附件B。当协商确定了其他的单模光纤建议时，附件A和B可成为单独的建议。

1 光纤特性

在§1中只建议为光纤制造提供一个最低限度的重要设计轮廓的那些光纤特性。其中，通过光缆制造或安装可能会显著影响成缆光纤的截止波长。除此之外，对于单根光纤、装入光缆内并绕于盘上的光纤以及已安装好的光缆中的光纤所建议的特性都同样适用。

本建议适用于具有标称圆形模场的光纤。

1.1 模场直径

在1300 nm上模场直径的标称值应在9~10 μm范围内。模场直径的偏差不应超过标称值的±10%的限度。

注1 — 对于匹配包层设计，通常使用10 μm之值；对于有下陷的包层的设计，通常使用9 μm之值。然而，在上述范围内选用什么具体数值，并不一定与具体的光纤设计联系在一起。

注2 — 应当注意的是，对于任何已指定的用途所需要的光纤性能与光纤和系统的主要参数有关，亦即与模场直径、截止波长、总色散、系统的工作波长、工作比特率/频率有关，而主要不在于光纤的设计。

注3 — 事实上，模场直径的平均值可以与上述标称值不同，只要所有的光纤都在所规定的标称值的±10%以内。

1.2 包层直径

对包层直径所建议的标称值为 $125 \mu\text{m}$ ，包层的偏差不应超过 $\pm 2.4\%$ 的限度。

对于某些特定的接续方法与接头损耗要求，其他的容差可能是合适的。

1.3 模场同心度误差

所建议的在 1300 nm 波长上的模场同心度误差不应超过 $1\mu\text{m}$ 。

注1 — 对于某些特定的接续方法与接头损耗要求，到 $3 \mu\text{m}$ 的容差可能是合适的。

注2 — 模场同心度误差与通过应用非 1300 nm 波长的（包括白光）透射照明所代表的纤芯同心度误差是等效的。一般说来，折射率分布的中心与包层轴线的偏差也代表模场同心度误差，但是，如果按照 RTM（基准试验法）所测量的模场同心度误差与纤芯同心度误差之间出现不一致时，将以前者为准。

1.4 不圆度

1.4.1 模场不圆度

在实践中，对于名义上具有圆形模场的光纤，发现其模场不圆度很低，不致影响传播与接续。所以并不认为有必要对模场不圆度建议一个具体的数值。一般不需要为了验收而测量模场不圆度。

1.4.2 包层不圆度

包层不圆度应小于 2% 。对于某些特定的接续方法与接头损耗要求，其他的容差可能是合适的。

1.5 截止波长

能区分出两种有用的截止波长类型：

- a) 按照相关的光纤基准试验法 (RTM) 得出的一根一次涂敷光纤的截止波长 λ_c ；
- b) 按照相关的光缆基准试验法 (RTM) 得出的一根成缆光纤在展开条件下的截止波长 λ_{cc} 。

λ_c 与 λ_{cc} 的实测值的相互关系取决于具体的光纤与光缆设计以及试验条件。虽然通常是 $\lambda_{cc} < \lambda_c$ ，但不容易建立一个定量关系。保证在两个接头之间的最小光缆长度中在系统的最低工作波长上的单模传输是头等重要的。有两种可选用的方法来达到：

- 1) 建议 λ_c 小于 1280 nm ；当宜有一个下限时， λ_c 应该大于 1100 nm 。
- 2) 建议 λ_{cc} 小于 1270 nm 。

注 — 在 1270 nm 允许的系统最低工作波长 λ_s 与允许的光缆最高截止波长 λ_{cc} 之间应该确保一个足够的波长裕度。几个主管部门赞成 1260 nm 为最大截止波长 λ_{cc} ，以照顾到光纤取样变化以及由于容差、温度及老化效应所引起的光源波长变化。

这两个规定不需要都执行；用户可以按照他们的具体需要与所设想的特定应用来选择规定 λ_c 或 λ_{cc} 在后一情况下，应该理解 λ_c 可以超过 1280 nm 。

在用户选择如在1) 中来规定 λ_c 的情况下，那么就不需要测量 λ_{cc} 。

在用户选择规定 λ_{cc} 的情况下，可以允许 λ_c 高于系统的最低工作波长，这时，依靠光缆制造与安装的效果，使得对于两个接头之间的最短光缆长度得出低于系统的最低工作波长的 λ_{cc} 之值。

在用户选择规定 λ_{cc} 的情况下，一个合格试验可能足以保证 λ_{cc} 的要求是已满足的。

1.6 1550 nm 损耗性能

为了保证展开的1300 nm 最优化光纤在1550 nm 波长区域内的低损耗工作，以37.5 mm 半径松绕的100 圈光纤在1550 nm 上测得的附加损耗应小于1.0 dB。

注1 — 一个合格试验可能足以保证这个要求是已满足的。

注2 — 上述100圈的数值相当于在一个典型中继器间隔的全部接头套管内所做的大致圈数。37.5mm 半径等效于在实际系统安装中为了避免静态疲劳失效对于光纤长期展开所广泛接受的最小弯曲半径。

注3 — 如果为了实用理由，选择低于100圈来进行这种试验，则建议不小于40圈并采用一个按比例减少的附加损耗。

注4 — 如果计划在接头套管内或系统中的别的地方采用小于37.5 mm 的弯曲半径（例如，30 mm），则建议同样的1.0 dB 损耗值应适用于用这种较小半径展开的100圈光纤。

注5 — 1550 nm 弯曲损耗建议值与在实际单模光纤安装中光纤的展开有关。在成缆光纤的损耗规范中包括了成缆单模光纤与扭绞有关的弯曲半径对损耗性能的影响。

注6 — 假如需要例行试验，为了1550 nm 弯曲敏感性的精确度和容易测量，可采用一圈或几圈的小直径的环圈来代替100圈试验。在这种情况下，应该选择环圈的直径、圈数及多圈试验时的最大允许弯曲损耗，以便与37.5 mm 半径的100圈光纤功能试验的1.0 dB 损耗建议值相关联。

1.7 光纤材料性能

1.7.1 光纤材料

应当说明制作光纤所用的材料。

注 — 熔接不同材料的光纤时需要小心。初步的结果表明当接续不同的高二氧化硅光纤时，能取得适当的接头损耗与强度。

1.7.2 保护材料

应当说明用于光纤一次涂层的材料的物理与化学性能，以及除去这个涂层（如果需要除去的话）的最好方法。在单根加套光纤的情况下，也应作类似的说明。

1.8 折射率分布

光纤的折射率分布通常不需要知道；如果想要测量它，可采用建议 G. 651 中的基准试验方法。

1.9 光纤设计导则的例子

增补 NO. 33 给出由两个机构对匹配包层光纤所采用的光纤设计导则的一个例子。

2 制造长度规范

因为 § 1 中所给出的光纤的几何和光学特性几乎不受成缆过程的影响，§ 2 将主要给出与光缆制造长度的传输特性有关的各项建议。

环境与试验条件是至关重要的，将在试验方法的导则中叙述。

2.1 衰减系数

包括在本建议中的各种纤维光缆在 1300 nm 波长区域中的衰减常数一般都小于 1.0 dB/km，而在 1550 nm 波长区域中小于 0.5 dB/km。

注一 最低值取决于制造过程、纤维的组分与设计、以及光缆的设计。在 1300 nm 波长区域中已达到 0.3—0.4 dB/km 范围内的值，在 1550 nm 波长区域中已达到 0.15—0.25 dB/km 的值。

2.2 色散系数

最大色散系数应该用下面两项来规定：

- 在 $\lambda_{0\min} = 1295 \text{ nm}$ 与 $\lambda_{0\max} = 1322 \text{ nm}$ 之间零色散波长的允许范围；
- 零色散斜率的最大值 $S_{0\max} = 0.095 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ 。

对于在 1270—1340 nm 范围内的任何波长 λ ，色散系数限值应按以下计算：

$$D_1(\lambda) = \frac{S_{0\max}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_{0\min}^4}{\lambda^3} \right]$$

$$D_2(\lambda) = \frac{S_{0\max}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_{0\max}^4}{\lambda^3} \right]$$

注 1 — 从 $\lambda_{0\min}$ 、 $\lambda_{0\max}$ 与 $S_{0\max}$ 的值所得出的色散系数的幅值 $|D_1|$ 与 $|D_2|$ ，等于或小于下表中的最大色散系数：

波 长 (nm)	最 大 色 散 系 数 [ps/(nm·km)]
1285-1330	3.5
1270-1340	6
1550	20

(一个例外发生在 1285 nm 处，该处 $|D_2|$ 的值是 3.67 ps/(nm·km)。可通过减少 $S_{0\max}$ 或 $\lambda_{0\max}$ 来得到一个较小的值；这一项需要进一步研究。)

注 2 — 在 1550 nm 区域中应用这些公式应该要慎重。

注 3 — 对于大容量（例如， $4 \times 140 \text{ Mb/s}$ 或更高）或大长度系统，可能需要规定一个更窄的 $\lambda_{0\min}$ 、 $\lambda_{0\max}$ 范围，或者如有可能的话，可选择一个更小的 $S_{0\max}$ 值。

注 4 — 不需要在一个例行的基础上测量单模光纤的色散。

3 单元光缆段

一个单元光缆段一般包含许多连接好的制造长度。对制造长度的各项要求列于本建议的 § 2 中。单元光缆段的传输参数不仅应考虑每个光缆制造长度的性能，而且还要考虑像接头损耗与连接器损耗（如果有的话）等其他因素。

3.1 衰减

单元光缆段的衰减 A 由下式给出：

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y$$

式中

α_n = 在单元光缆段中第 n 根光纤的衰减系数，

L_n = 第 n 根光纤的长度，

m = 在单元光缆段中串接的光纤总数，

a_s = 平均接头损耗，

x = 在单元光缆段中接头的数目，

a_c = 线路连接器的平均损耗，

y = 在单元光缆段中线路连接器（如果装有的话）的数目。

应当分配适当的光缆衰减裕度给将来光缆配置的变化（附加接头、额外的光缆长度、老化效应、温度变化等）。

以上的表达式不包括设备连接器的损耗。

接头损耗与连接器损耗要用平均损耗值。在设计一个实际系统时所采用的衰减分配中，应考虑到这些参数的统计变化。

3.2 色散

以 ps 表示的色散能从制造长度的色散系数中计算出来。计算时假定它与长度呈线性关系，并适当考虑这些系数的符号与系统光源的特性（见 § 2.2）。

附 件 A

(附于建议 G. 652)

建议中所用术语的含义

本附件中所列术语是单模光纤所专用的。本建议中所用的其他术语的含义与建议 G. 651附件 A 中的相同。

A.1 模场直径

模场直径 $2w$ 是由应用下列各定义之一来得到的。积分极限为 0 到 ∞ ，但要理解到这种写法意味着在宗数增大的极限以内积分是被截尾的。虽然宗数 q 的最大物理值是 $1/\lambda$ ，在达到这个值之前被积函数很快地趋近于零。

i) **远场域**: 在本领域内有三种不同的测量方法:

a) **远场扫描**: 把远场光强分布 $F^2(q)$ 作为远场角度 θ 的函数来测量, 此时, 在波长 λ 上的模场直径 (MFD) 为

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[2 \frac{\int_0^\infty q^3 F^2(q) dq}{\int_0^\infty q F^2(q) dq} \right]^{-1/2}, \quad (1)$$

式中 $q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta$ 。

b) **刀口扫描**: 把刀口功率传输函数 $K'(x)$ 作为刀口横向错位 x 的函数来测量, 刀口的平面与光纤之间的距离为 D , 此时, 模场直径 (MFD) 为

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[4 \frac{\int_0^\infty K'(x) q^2 dq}{\int_0^\infty K'(x) dq} \right]^{-1/2}, \quad (2)$$

式中 $x = D \tan \theta$, $K'(x) = \frac{dK(x)}{dx}$ 及 $q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta$ 。

c) **可变孔径方法**: 把孔功率传输余函数 $\alpha(x)$ 作为孔半径 x 的函数来测量, 孔的平面与光纤之间的距离为 D , 此时, 模场直径 (MFD) 为

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[4 \int_0^\infty \alpha(x) q dq \right]^{-1/2} \quad (3)$$

式中 $x = D \tan \theta$ 及 $q = \frac{1}{\lambda} \sin \theta$ 。

ii) **错位接头域**: 把功率传输系数 $T(\delta)$ 作为横向错位 δ 的函数来测量, 此时, 模场直径 (MFD) 为

$$2w = 2 \left[-2 \frac{T(0)}{\left[\frac{d^2 T}{d \delta^2} \right]_{\delta=0}} \right]^{1/2} \quad (4)$$

iii) **近场域**: 把近场光强分布 $f^2(r)$ 作为径向座标 r 的函数来测量, 此时, 模场直径 (MFD) 为

$$2w = 2 \left[2 \frac{\int_0^\infty r f^2(r) dr}{\int_0^\infty r \left[\frac{df(r)}{dr} \right]^2 dr} \right]^{1/2} \quad (5)$$

注 — 这些定义的数学等效性是由用不同方法所得到的测量结果之间的变换关系得出的。这些变换关系汇总在图 A-1/G. 652 中。

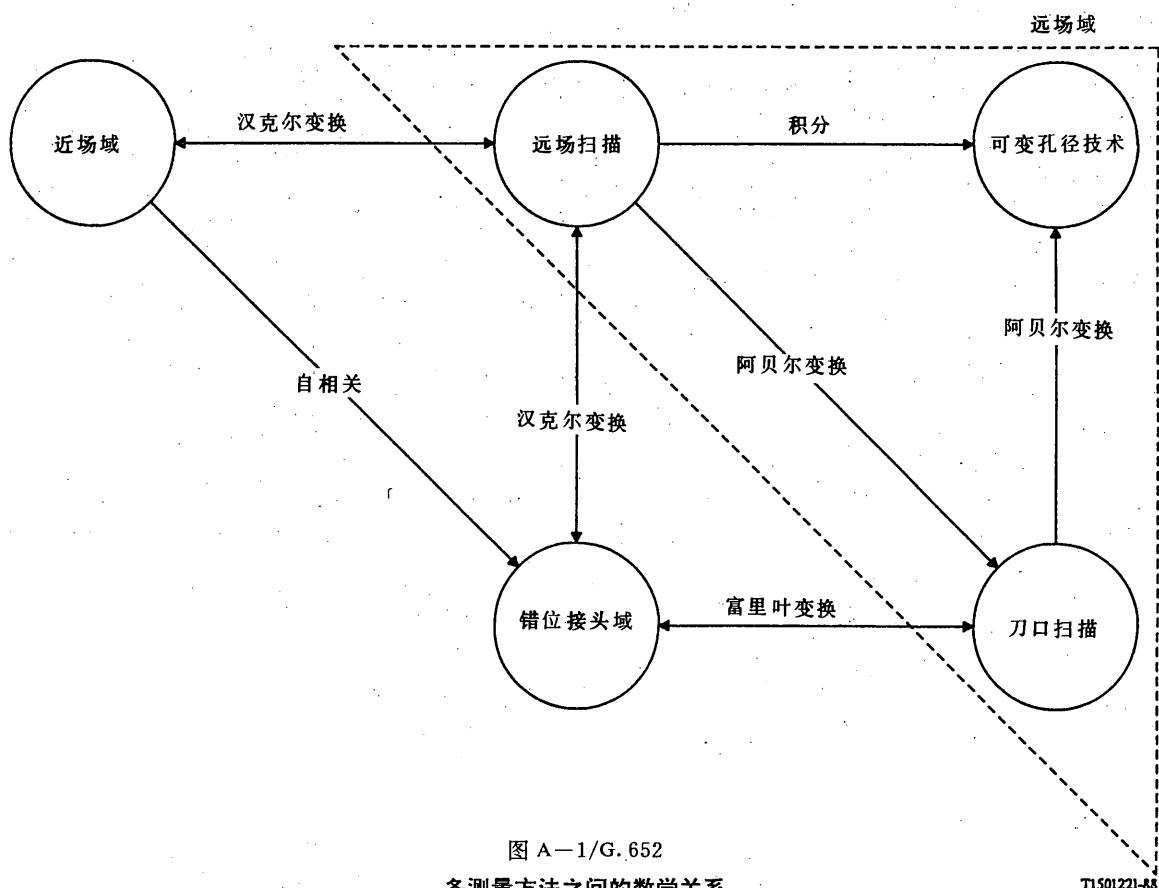


图 A-1/G. 652
各测量方法之间的数学关系

T1501221-85

A. 2 包层表面

组成光纤的玻璃外表面。

A. 3 包层表面中心

对于一根光纤的横截面，包层表面中心是在给定横截面上与包层表面周线配合得最好的圆的中心位置。

注一 必须规定最佳配合方法，而目前尚在研究中。

A. 4 包层表面直径

确定包层中心的那个圆的直径。

注一 对于一根标称圆形光纤，在横截面的任何方向上的包层表面直径是横跨包层的最大距离。

A. 5 包层表面的不圆度

在最大包层表面直径 D_{max} 与最小包层表面直径 D_{min} (对共同的包层表面中心而言) 之间的差除以标称包层直径 D ，即

$$\text{不圆度} = (D_{max} - D_{min}) / D$$

注一 最大和最小包层表面直径分别为通过包层中心的一条直线与包层表面的两个交点之间的最大和最小的距离。

A.6 模场

模场是在光纤中产生空间光强分布的单模场分布。

A.7 模场中心

模场中心是在光纤中空间光强分布的心迹线的位置。

注1—心迹线位于 \bar{r}_c 处，它是位置矢量 r 的归一化光强加权积分。

$$\bar{r}_c = \iint_{\text{面积}} \vec{r} I(\vec{r}) dA / \iint_{\text{面积}} I(\vec{r}) dA$$

注2—对本建议中所考虑的光纤，在所下定义的心迹线的位置与空间光强分布的最大值位置之间的对应性需要进一步研究。

A.8 模场同心度误差

模场中心与包层表面中心之间的距离。

A.9 模场不圆度

因为一般不需要为验收目的而测量模场不圆度（如§1.4.1中所叙述的），在这里不需要模场不圆度的定义。

A.10 截止波长

截止波长是这样的一个波长，大于这个波长时，包括所注入的高阶模在内的总功率与基模功率之间的比已下降到小于一个规定值，各种模实际上是均匀地激励的。

注1—根据定义，对于一根包含有半径为140 mm的单环圈相当直的2米长的光纤，规定值选择为0.1 dB。

注2—本建议中所下定义的截止波长通常不同于由光纤折射率分布计算得到的理论截止波长。理论截止波长对于确定电信网中光纤性能是用处较少的参数。

注3—在§1.5中叙述了两种类型的截止波长：

- i) 在一根短段未成缆的一次涂敷光纤中测得的截止波长 λ_c ；
- ii) 展开条件下在一根成缆光纤中测得的截止波长 λ_{cc} 。

为了避免模式噪声和色散的代价，最短光缆长度（包括出现的修理长度）的截止波长 λ_{cc} 应当小于预料的系统的最低波长 λ_s ：

$$\lambda_{cc} < \lambda_s \quad (1)$$

这保证每一个单独的光缆段是充分单模的。任何不完善的接头都会产生某些高阶(LP_{11})模功率，而各单模光纤通常把这种模保持一个短距离（约为几米，取决于展开状况）。因此，为了让光纤有足够的距离使 LP_{11} 模在它到达下一个接头之前衰减掉，必须规定接头之间的最小距离。如果在最短的光缆段上满足不等式(1)，那么在所有较长的光缆段中更会满足了，并且不管单元段的长度如何，都会有单模系统工作的。

对最短光缆长度（包括在接头套管内的光纤环圈）规定 $\lambda_{cc} < \lambda_s$ ，就使单模工作得到保证。然而，通常更方便的是测量 λ_c ，这仅需要一根2米长未成缆的光纤。 λ_c 取决于光纤的类型、长度与弯曲半径，此外 λ_{cc} 还取决于特定光缆的结构。因此， λ_c 与 λ_{cc} 之间的关系既取决于光纤的设计又取决于光缆的设计。一般说来， λ_c 比 λ_{cc} 大几十个 nm； λ_c 甚至能大于系统的波长，而不致违背不等式（1）。较高的 λ_c 值对 LP_01 模产生更严格的约束，因而有助于减少在1550 nm 波长区域可能的弯曲损耗。

短长度光纤（<20 m）常常被连在光源和检测器上，同时也用作相互连接的跳线。这些光纤在展开后的截止波长也应该小于 λ_s 。在这种情况下避免模式噪声的措施有：

- a) 仅选择足够低的 λ_c 的光纤来作这些用途；
- b) 这些光纤的展开带有小半径弯曲。

A. 11 色散

光源光谱组成中的不同波长的不同群速度在一根光纤中所引起的光源每单位谱宽的光脉冲的展宽。

注 — 色散可能是由于以下原因引起的：材料色散，波导色散，折射率分布色散。偏振色散在圆形对称光纤中不会产生明显的影响。

A. 12 色散系数

光源每单位谱宽和光纤每单位长度上的色散。色散系数通常用 ps/ (nm·km) 来表示。

A. 13 零色散斜率

在零色散波长上色散系数与波长关系曲线的斜率。

A. 14 零色散波长

色散消失的那个波长。

附 件 B

(附于建议 G. 652)

单模光纤试验方法

在本附件中，对每个参数一般均给出基准试验法 (RTM) 与代用试验法 (ATM)，其意图是 RTM 及 (各种) ATM 都可以适用于正常的产品验收。然而，当采用 ATM 时，如果产生任何差别，则建议采用 RTM 作为提供肯定的测量结果的方法。

B. 1 — 第 I 节 — 单模光纤的模场直径的试验方法

B. 1. 1 单模光纤模场直径的基准试验法

B. 1. 1. 1 目的

按照建议G. 652附件A § A. 1中所表示的各种等效定义，模场直径可以在远场域内从远场光强分布 $F^2(q)$ 、从刀口传输函数 $K(x)$ ，或从孔功率传输余函数 $\alpha(x)$ 来确定；在错位接头域内从自相关函数 $T(\delta)$ 的平方来确定；在近场域内从近场光强分布 $f^2(r)$ 来确定。

B. 1. 1. 2 试验设备

B. 1. 1. 2. 1 概述

对于近场测量，需要放大光学器件使得在检测器的平面上建立一个光纤输出端的像。对于错位接头测量，需要把一段光纤的端面横向越过另外一段光纤端面的一种方法。对于三种远场测量，都需要合适的扫描装置。

B. 1. 1. 2. 2 光源

光源应该在足以完成测量过程的一段时间内在位置、强度与波长方面都是稳定的。应该选择光源的光谱特性以排除多模工作。

B. 1. 1. 2. 3 调制

通常要对光源进行调制以改善接收器信噪比。如果采用调制，检测器应当和一个同步于光源调制频率的信号处理系统相连。检测系统应该具有实际上线性的灵敏度特性。

B. 1. 1. 2. 4 注入条件

所用的注入条件必须足以激励基本模 (LP_{01})。举例来说，合适的注入方法可能是：

- a) 与一根光纤相连接，
- b) 用一套合适的光学系统注入。

应当注意不要传播高阶模。为此，可能需要引入具有合适半径的一个环圈或另一种滤模器以除去高阶模。

B. 1. 1. 2. 5 包层模消除器

应当采取措施以避免包层模的传播与检测。

B. 1. 1. 2. 6 试样

试样应当是一短段被测光纤。如应用模消除器时，则放入模消除器内的一段光纤应当除去光纤的一次涂层。光纤的各端面应当清洁、光滑、并与光纤轴相垂直。建议各端面是平的，并与光纤轴垂直相差在 1° 以内。对于错位接头方法，要把光纤切割成两段大约相等的长度。

B. 1. 1. 2. 7 错位或扫描设备

与 G. 652 光纤相比由于 G. 653 光纤在特性上有比较窄的近场光强分布及比较宽的远场光强分布，因此必须格外小心注意以下的细节。

应当采用下列设备之一：

I 远场域

- a) 远场扫描系统

应该采用一个扫描远场光强分布的机械装置(例如，一个带有针孔的扫描光电检测器或一个带有尾纤的扫描光电检测器)。扫描可以是角度扫描或直线扫描。检测器应该至少离开光纤端面 20 mm，且检测器的有效面不应在远场中张太大的角。可以把检测器放在离光纤端面大于 $20 \text{ } wb/\lambda$ 处来保证这

一点，这里 $2w$ 是期望的被测光纤的模场直径， b 是检测器的有效面的直径。扫描半角应为 25° 或更大一点。另一种方法，扫描应扩大到至少零角光强的 -50 dB 。

b) 刀口组件

需要一种机械装置在与光纤轴和刀片边缘垂直的方向上线性地扫描一个刀口。收集由刀口透射的光并聚焦在检测器上。收集光学器体应具有 0.4 或更大的NA。

c) 孔径组体

应当采用至少含有在从 0.02 到 0.4 数值孔径的半角范围的 12 个孔径的一种机械装置。收集由孔径透射的光并聚焦在检测器上。

II 错位接头域

横向移动的接头

应当构成这样的接头，使得能够调节光纤轴的相对错位。建议用一种测量错位到 $0.1\mu\text{m}$ 以内的方法。用一只检测器来测量通过横向移动接头的光功率。对于错位设备的精密度与准确度应当特别小心。

III 近场域

近场成像光学器件

应当使用放大光学器件（例如，一个显微镜的物镜）把光纤近场的一个图像放大，并把它聚焦到一个扫描检测器（例如，一个带有针孔的扫描光电检测器或一个带有尾纤的扫描光电检测器）的平面上。应当选择数值孔径和放大倍数使得与要求的空间分辨力相适应。为了设备的定标，应当以足够的精度扫描一段已知尺寸的试样来测量光学器件的放大倍数。

注 — 在 I b) 与 I c) 中用来收集光的光学器件的NA必须足够大，使它不致影响测量结果。

B. 1. 1. 2. 8 检测器

应当用一只合适的检测器。检测器必须具有线性的灵敏度特性。

B. 1. 1. 2. 9 放大器

为了增加信号电平应当使用一只放大器。

B. 1. 1. 2. 10 数据收集处理

应当按照采用的方法记录与处理所测得的信号电平。

B. 1. 1. 2. 11 测量步骤

光纤的注入端应当与注入光束对准，而光纤的输出端应当与合适的输出装置对准。

应当遵循下面步骤之一。

I 远场域

- a) 以固定的步级扫描检测器来测量远场光强分布 $F^2(q)$ ，并由附件 A § A. 1中式 (1) 来计算模场直径。
- b) 测量通过刀口透射的功率作为刀口位置的函数。把这个函数 $K(x)$ 微分并由附件 A § A. 1中式 (2) 求得模场直径。
- c) 测量通过每个孔径透射的功率 $P(x)$ ，并求得孔径传输余函数 $a(x)$ ，如下：

$$a(x) = 1 - \frac{P(x)}{P_{max}},$$

式中 P_{max} 是由最大孔径透射的功率， x 是孔的半径。模场直径由附件 A § A. 1中式 (3) 来进行计算。

II 错位接头域

用不连续的步级通过横向接头错位来测量功率传输系数 $T(\delta)$ ，并由附件 A § A. 1 中式 (4) 来计算模场直径。

III 近场域

用放大光学器件把光纤近场放大，并把它聚焦在检测器平面上。聚焦应该以最大的精度来进行，以减少由于扫描聚焦不良的像所引起的尺寸误差。扫描近场光强分布 $f^2(r)$ ，并由附件 A § A. 1 中式 (5) 计算模场直径。另一种方法是，用汉克尔变换把近场光强分布 $f^2(r)$ 变换成远场域，并且可以用变换出来的远场 $F^2(q)$ 由附件 A § A. 1 中的式 (1) 来计算模场直径。

B. 1. 1. 2. 12 结果的表达

应当提出下列各项细节：

- a) 所采用的测试方法，包括试验设备的安排，测试系统的动态范围，数据处理方法以及所用的成像，错位或扫描装置的说明。
- b) 如果采用错位接头方法，应当说明所用的拟合方法（包括扫描角或 NA，如果用的话）。
- c) 注入条件。
- d) 光源的波长与光谱谱线宽度 FWHM。
- e) 光纤的识别标志与长度。
- f) 包层模消除器与滤模器的类型（如果用的话）。
- g) 设备的放大倍数（如果用的话）。
- h) 检测器的类型与尺寸。
- i) 试样的温度与环境条件（当有必要时）。
- j) 精度与可重复性的说明。
- k) 模场直径。

注 — 与其他试验方法一样，以上给出的设备和步骤仅包括基准试验法的必不可少的基本特点。设想所采用试验设备的细节将包括必要的措施以保证稳定性，噪声的消除，信噪比等等。

B. 2 — 第 II 节 — 除模场直径以外的各种几何特性的试验方法

B. 2. 1 基准试验法：传输近场法

B. 2. 1. 1 概述

应当采用传输近场法来测量各种单模光纤的几何特性。这些测量都是以与相关的定义相一致的方式来^{进行的。}

测量是以扫描被测光纤输出端的放大像为基础的，扫描是在放置检测器的截面上进行的。

B. 2. 1. 2 试验设备

试验设备的简图示于图 B—1/G. 652 中。

B. 2. 1. 2. 1 光源

应当采用一个供照明纤芯用的标称波长为 1300 nm 的光源。光源应当在强度方面能调节并且在足以完成测量过程的一段时间内在位置、强度与波长方面都是稳定的。应当选择光源的光谱特性以排除多模工作。如果有必要，可用具有类似特性的第二个光源来照明包层。第二个光源的光谱特性必须不会使像的聚焦变坏。

B. 2. 1. 2. 2 注入条件

安排得溢出光纤的注入光学器件使光束聚焦在光纤的平坦输入端面上。

B. 2. 1. 2. 3 滤模器

在测量中，必须保证在测量波长上的单模工作。在这些情况下，可能需要引入一个弯曲以除去 LP_{11} 模。

B. 2. 1. 2. 4 包层模消除器

应当用一只合适的包层模消除器以除去在包层中传播的光功率。当仅测量包层的几何特性时，则不应有包层模消除器。

B. 2. 1. 2. 5 试样

试样应当是一短段被测光纤。光纤的端面应该清洁、光滑并与光纤轴相垂直。

B. 2. 1. 2. 6 光放大器件

光放大器件应当由一套光学系统（例如，一个显微镜的物镜）组成，这套光学系统把试样的输出近场放大，并把它聚焦到扫描检测器的平面上。光学器件的数值孔径因而其分辨力应当与所要求的测量精度相适应，并不低于0.3。放大倍数应选择得与所希望的空间分辨力相适应，并应当进行记录。

为了方便精确的测量，在放大光学器件中可应用像剪切技术。

注—像剪切技术的有效性在研究中，并需要证实。

B. 2. 1. 2. 7 检测器

应当使用一只合适的检测器，它逐点地测出传输近场图的光强。例如，能应用下列各种方法中的任何一种：

- a) 带有针孔的扫描光电检测器；
- b) 带有固定针孔的扫描镜与光电检测器。
- c) 扫描电视摄影机，电荷耦合器件或其他图形或光强识别器件。

检测器应当在所遇到的光强范围内是线性的（或者应当使它呈线性）。

B. 2. 1. 2. 8 放大器

为了增加信号电平，可使用一只放大器。放大器的带宽应当按照所用的扫描类型来选择。当用机械或光学系统来扫描光纤的输出端时，一般都要对光源进行调制。如果采用这种方法，放大器应当与光源的调制频率相连。

B. 2. 1. 2. 9 数据收集处理

测得的光强分布可按照扫描方法及规范要求进行记录、处理，并以合适的形式表达出来。

B. 2. 1. 3 步骤

B. 2. 1. 3. 1 设备的定标

为了对设备进行定标，应当以合适的精度扫描一段已知尺寸试样的像以测得放大光学器件的放大倍数。应当记录这个放大倍数。

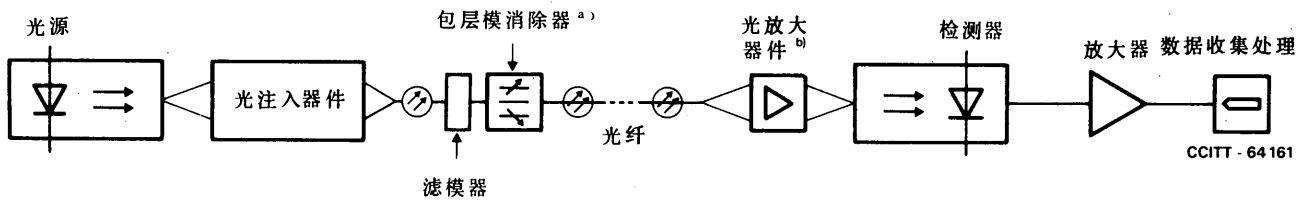
B. 2. 1. 3. 2 测量

光纤的注入端应当与注入光束对准，而光纤的输出端应当与放大光学器件的光轴对准。对于传输近场测量，应当按照规范要求用检测器来扫描光纤输出端的聚焦像。聚焦应当以最大的精度来进行，以减少由于扫描聚焦不良的像所引起的尺寸误差。然后按照定义计算出所希望的各种几何参数。

B. 2. 1. 4 结果的表达

应当提出下列各项细节：

- a) 试验设备的安排，说明所用的扫描方法；
- b) 注入条件；
- c) 光源的光谱特性；
- d) 光纤的识别标志与长度；
- e) 滤模器的类型（如果用的话）；
- f) 放大光学器件的放大倍数；
- g) 扫描检测器的类型与尺寸；
- h) 试样的温度与环境条件（当有必要时）；
- i) 精度与可重复性的说明；
- j) 得出来的尺寸参数，如包层直径、包层不圆度、模场同心度误差等。



a) 当需要时。

b) 当需要时，包括像剪切光学器件。

图 B—1/G. 652
传输近场测量设备的典型安排

B. 2. 2 代用试验法：折射近场法

在建议 G. 651 中叙述了这种方法。在各种折射率界面上的判决水平规定为：

纤芯/包层 50%

包层/折射率匹配液 50%

可通过输入光点的光栅扫描来得到与建议 G. 652 附件 A 中的各个术语相一致的几何分析。

B. 2. 3 代用试验法：侧视法

侧视法对于建议 G. 653 光纤的有效性需要证实。

B. 2. 3. 1 目的

侧视法用于单模光纤，通过测量光纤内部折射的光的强度分布来确定各种几何参数（模场同心度误差（MFCE），包层直径以及包层不圆度）。

B. 2. 3. 2 试验设备

试验设备的简图示于图 B-2/G. 652 中。

B. 2. 3. 2. 1 光源

发射的光应当是准直的、光强可调的，并在足以完成测量过程的一段时间内在位置、强度与波长方面都是稳定的。可以采用一个稳定的与高强度的光源，例如发光二极管（LED）。

B. 2. 3. 2. 2 试样

被测试样应当是一短段单模光纤。应当从被观察的光纤段上除去光纤的一次涂层。当测量时，光纤的表面应当保持清洁。

B. 2. 3. 2. 3 光放大器件

光放大器件应当由一套光学系统（例如，一个显微镜的物镜）组成，这个光学系统把光纤内折射光的强度分布放大后投射到扫描检测器的平面上。观察平面应该放在光纤轴前面的一个固定距离上。放大倍数应当选择得与所希望的空间分辨力相适应，并应当进行记录。

B. 2. 3. 2. 4 检测器

应当使用一只合适的检测器沿着与光纤轴相垂直的直线来确定观察平面内放大后的光强分布。可采用一只视频摄像管或电荷耦合器。检测器必须在所要求的测量范围内具有线性特性。检测器的分辨力应当与所希望的空间分辨力相适应。

B. 2. 3. 2. 5 数据处理

应当应用一台具有合适软件的计算机来分析光强分布。

B. 2. 3. 3 步骤

B. 2. 3. 3. 1 设备的定标

为了对设备进行定标，应当以合适的精度扫描一段已知尺寸的试样以测得放大光学器件的放大倍数，应当记录这个放大倍数。

B. 2. 3. 3. 2 测量

把被测光纤固定在试样夹上，并放入测试系统。调整光纤使得它的轴与测试系统的光轴相垂直。

把光纤环绕它的轴旋转，并保持光纤轴与观察平面之间的距离不变，对于各种不同的观察方向，在沿与光纤轴（在图 B-2/G. 652 内 A 中的①—②）相垂直的直线上记录观察平面内的光强分布（如图 B 中所示）。通过分析衍射图形（如⑤所示）的对称性来确定光纤的包层直径与中心位置。通过分析聚合光的光强分布（如⑦所示）来确定纤芯的中心位置。光纤中心位置与纤芯中心位置之间的距离相当于 MFCE 的标称观察值。

如图 B-3/G. 652 中所示，当把正弦函数拟合到 MFCE 实测值与旋转角的函数关系曲线上时，以正弦函

数的最大幅度与放大倍数的乘积来计算实际的 MFCE，这个放大倍数是考虑到由于光纤的圆柱结构所引起的透镜效应。按照定义来确定包层不圆度之值，得到最大与最小直径的数值，于是从每个旋转角上测得光纤直径的平均值，就求出包层直径。

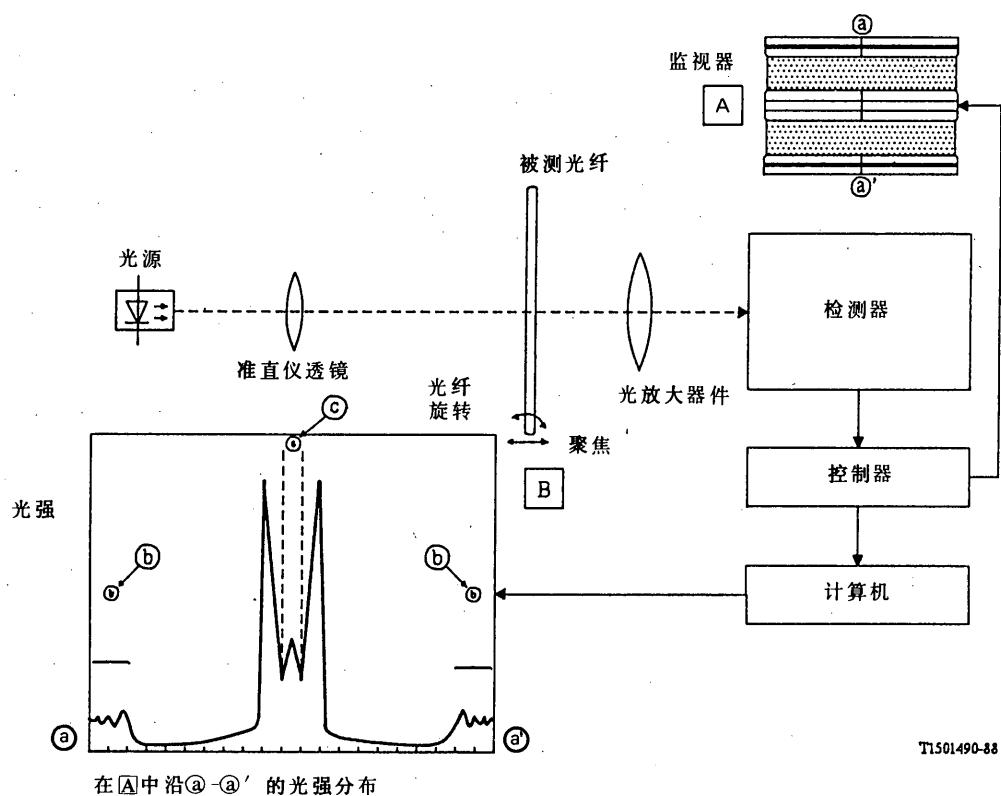


图 B-2/G. 652
测试系统的简图

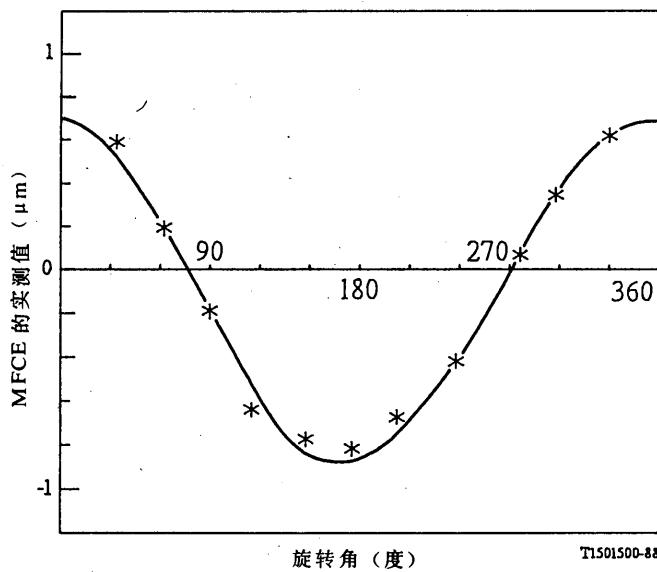


图 B-3/G. 652
测得的 MFCE 值与旋转角的函数关系

B. 2. 3. 3. 3 结果的表达

应当提出下列各项细节：

- a) 试验安排；
- b) 光纤的识别标志；
- c) 光源的光谱特性；
- d) 精度与可重复性的说明；
- e) 标称 MFCE 与旋转角关系的曲线；
- f) MFCE、包层直径与包层不圆度；
- g) 试样的温度与环境条件（当有必要时）。

B. 2. 4 代用试验法：传输近场像法

B. 2. 4. 1 概述

应当采用传输近场像法来测量单模光纤的几何特性。这些测量都是以与相关的定义相一致的方式来进行的。

测量是以分析被测光纤输出端的放大像为基础的。

B. 2. 4. 2 试验设备

试验设备的简图示于图 B-4/G. 652 中。

B. 2. 4. 2. 1 光源

照明纤芯用的光源应当是强度能调节的并且在足以完成测量过程的一段时间内在位置和强度方面都是稳定的。如果有必要，可用类似特性的第二个光源来照明包层。第二个光源的光谱特性必须不致使像的聚焦变坏。

B. 2. 4. 2. 2 注入条件

安排得溢出光纤的注入光学器件要使光束聚焦在光纤平的输入端面上。

B. 2. 4. 2. 3 包层模消除器

应当用一只合适的包层模消除器以除去在包层中传播的光功率。当仅测量包层的几何特性时，则不应有包层模消除器。

B. 2. 4. 2. 4 试样

试样应当是一短段被测光纤。光纤的端面应当清洁、光滑并与光纤轴相垂直。

B. 2. 4. 2. 5 光放大器件

光放大器件应当由一套光学系统（例如，一个显微镜的物镜）组成，这套光学系统把试样的输出近场

放大。光学器件的数值孔径因而其分辨力应当与所要求的测量精度相适应，并不低于0.3。放大倍数应选择得与所希望的空间分辨力相适应，并应当进行记录。

为了有利于精确的测量，在放大光学器件中可应用像剪切技术。

B. 2. 4. 2. 6 检测

应当检查和/或分析光纤的像。例如，可采用以下两种技术之一：

- a) 像剪切^①；
- b) 一个用电子记录的像的灰度分析。

B. 2. 4. 2. 7 数据收集处理

数据可按照技术及规范要求进行记录、处理，并以合适的形式表达出来。

B. 2. 4. 3 步骤

B. 2. 4. 3. 1 设备的定标

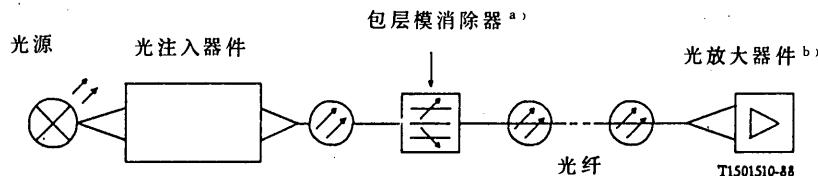
为了对设备进行定标，应当以合适的精度扫描一段已知尺寸的试样以测得放大光学器件的放大倍数。应当记录这个放大倍数。

B. 2. 4. 3. 2 测量

光纤的注入端应当与注入光束对准，而光纤的输出端应当与光放大器件的光轴对准。对于传输近场测量，应当按照规范要求来检查光纤输出端的聚焦像。为了减少在测量中的尺寸误差，应当使聚焦不良的误差降到最低。然后计算出所希望的各种几何参数。

B. 2. 4. 4 结果的表达

- a) 试验设备的安排，说明所用的方法；
- b) 注入条件；
- c) 光源的光谱特性；
- d) 光纤的识别标志与长度；



- a) 当需要时使用。
- b) 当需要时，包括像剪切光学器件。

图 B-4/G. 652

① 像剪切技术的有效性在研究中，并需要证实。

- e) 放大光学器件的放大倍数；
- f) 试样的温度与环境条件（当有必要时）；
- g) 精度与可重复性的说明；
- h) 得出的尺寸参数，如包层直径，包层不圆度，模场同心度误差等。

B. 3 — 第Ⅲ节 — 截止波长的试验方法

B. 3. 1 一次涂敷光纤的截止波长 (λ_c) 的基准试验法：传输功率法

B. 3. 1. 1 目的

单模光纤截止波长的测量是为了保证在一个规定的波长以上有效的单模工作。

B. 3. 1. 2 传输功率法

这个方法利用一短段被测光纤在规定条件下所传输功率随波长的变化与一个参考传输功率相比较。有两种可能的方法来取得这个参考功率：

- a) 带有一个小半径环圈的被测光纤，或
- b) 一短段（1-2m）多模纤维。

B. 3. 1. 2. 1 试验设备

B. 3. 1. 2. 1. 1 光源

应当使用一个谱线宽度不超过10 nm (FWHM)，在足以完成测量过程的一段时间内在位置、强度与波长方面都是稳定的，并能在一个足够大的波长范围内工作的光源。

B. 3. 1. 2. 1. 2 调制

通常要对光源进行调制以改善接收信噪比。如果采用这样的方法，检测器应该与一个同步于光源调制频率的信号处理系统相连。检测系统应当实际上是线性的。

B. 3. 1. 2. 1. 3 注入条件

所采用的注入条件必须足以均匀激励出 LP_{01} 与 LP_{11} 模。例如，合适的注入方法可能是：

- a) 与一根多模光纤相连接，或
- b) 用一合适的大光点一大 NA 的光学器件来注入。

B. 3. 1. 2. 1. 4 包层模消除器

包层模消除器是一种器件，它促使包层模转变成辐射模；从而使包层模从光纤中去除。应当注意避免影响 LP_{11} 模的传播。

B. 3. 1. 2. 1. 5 光检测器

应当使用一只合适的检测器，使从光纤输出的全部辐射都被接收。其光谱响应应当与光源的光谱特性相适应。检测器必须是均匀的，并具有线性的灵敏度。

B. 3. 1. 2. 2 步骤

B. 3. 1. 2. 2. 1 标准试验样品

应当在一段2 m 长的光纤上进行测量。把光纤放入试验设备内，并且弯成一个松弛的环。环圈应当完成140 mm 半径圆形的一整圈。光纤的其他部分应当基本上没有外部应力。虽然某些比较大的半径的偶然弯曲

是许可的，但它们必须不得在测量结果中引入显著的变化。应当在预期的截止波长附近的一个足够宽的范围内，记录输出功率 $P_1(\lambda)$ 与 λ 的函数关系。

注一 光纤上有一次涂层一般不会影响截止波长。然而，有二次涂层可能导致比一次涂敷光纤的截止波长短得多的截止波长。

B. 3. 1. 2. 2. 2 经由参考样品的传输

可以使用方法 a) 或 b)。

- a) 应用试验样品，并保持注入条件固定，在样品上至少有一个半径足够小的环圈以滤去 LP_{11} 模，在同样的波长范围内测量输出功率 $P_2(\lambda)$ 。这个环圈半径的典型值是 30 mm。
- b) 用一短段（1-2 m）的多模光纤，在同样的波长范围内测量输出功率 $P_3(\lambda)$ 。

注一 漏模的存在可能引起参考多模光纤传输光谱的脉动而影响结果。为了减少这种影响，可以把光的注入条件限制在仅充满多模光纤纤芯直径及 NA 的 70% 或可采用一个合适的滤模器。

B. 3. 1. 2. 2. 3 计算

传输功率 $P_1(\lambda)$ 与 $P_i(\lambda)$ 之间的对数比计算如下：

$$R(\lambda) = 10 \log[P_1(\lambda)/P_i(\lambda)]$$

式中

$i = 2$ 或 3 ，分别用于方法 a) 或 b)。

注一 在方法 a) 中，对于低于截止波长 λ_c 几十 nm 以上的波长，小的滤模光纤环消除了除基模以外的全部模。对于高于 λ_c 几百 nm 以上的波长，即使是基模也可能会被这个光纤环强烈地衰减掉。 $R(\lambda)$ 等于从试样输出的包括 LP_{11} 模功率在内的总功率与基模功率之间的对数比。当按照 B. 1. 2. 1. 3 均匀地激励出各种模时， $R(\lambda)$ 也给出试样中 LP_{11} 模的衰减 $A(\lambda)$ （单位为 dB）如下：

$$A(\lambda) = 10 \log[(P_1(\lambda)/P_2(\lambda) - 1)/2]$$

B. 3. 1. 2. 2. 4 截止波长的确定

如果应用方法 a)，把 λ_c 确定为 $R(\lambda)$ 等于 0.1 dB 处的最大波长（见图 B-5/G. 652）。

如果应用方法 b)， λ_c 由一条 $R(\lambda)$ 曲线与一根和拟合于 $R(\lambda)$ 长波长区的直线（1）相平行并移动 0.1 dB 的直线（2）的交点来确定（见图 B-6/G. 652）。

注一 按照定义，在试验样品中 LP_{11} 模的衰减在截止波长上为 19.3 dB。

B. 3. 1. 2. 2. 5 结果的表达

- a) 试验设备的安排；
- b) 注入条件；
- c) 参考样品的类型；
- d) 试样的温度与环境条件（当有必要时）；
- e) 光纤的识别标志；
- f) 测量的波长范围；
- g) 截止波长；
- h) $R(\lambda)$ 曲线（如果要求的话）。

B. 3. 2 λ_c 的代用试验法：对剖心轴法

B. 3. 2. 1 直到 B. 3. 2. 1. 5 光检测器（与 B. 3. 1. 1 中直到 B. 3. 1. 1. 5 相同）

B. 3. 2. 2. 2 步骤

B. 3. 2. 2. 2. 1 标准试验样品

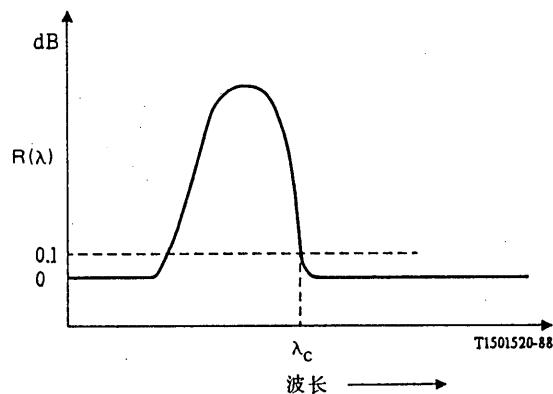


图 B-5/G. 652
用单模光纤作参考得到的典型截止波长曲线

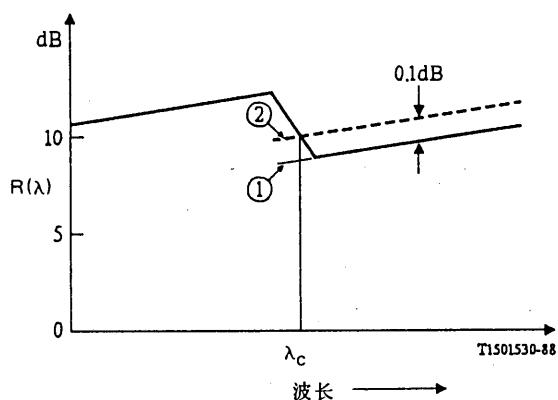


图 B-6/G. 652
用多模光纤作参考得到的典型截止波长曲线

应当在一根2 m长的光纤上进行测量。把光纤插入试验设备内，并弯成一个松弛的环圈，环圈应当包含一个整圈（360度）。这整圈由两个半径为140 mm的弧（各为180度）由切线相连而组成。光纤的其他部分应该基本上没有外部应力。虽然某些较大半径的偶然弯曲是许可的，但它们必须不得在测量结果中引入显著的变化。应当在预期的截止波长附近的一个足够宽的范围内，记录输出功率 $P_1(\lambda)$ 与 λ 的函数关系。

如图 B-7/G. 652中所示，移动下面的半圆形心轴来从光纤环上除去任何松弛，而不必移动注入或接收光学器件或把光纤试样置于任何大的张力之下。

B. 3. 2. 2. 2 到 B. 3. 2. 2. 5 （与 B. 3. 1. 2. 2 到 B. 3. 1. 2. 5 相同）

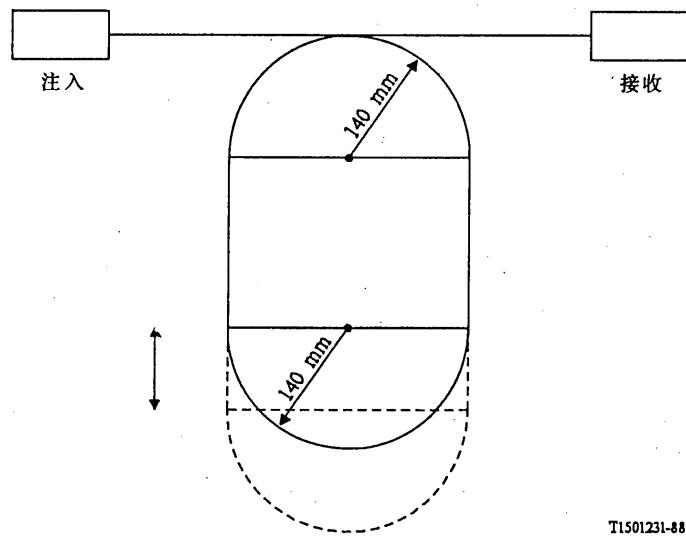


图 B-7/G. 652
光纤的部署：用对剖心轴法测量截止波长

B. 3. 3 成缆光纤的截止波长 (λ_{cc}) 的基准试验法：传输功率法

B. 3. 3. 1 目的

在模拟外线设备最小光缆长度展开条件下的成缆单模光纤上所进行的截止波长测量是为了保证在一个规定的波长以上有效的单模工作。

B. 3. 3. 2 传输功率法

这个方法使用一根被测成缆光纤在规定条件下传输功率随波长的变化与一个参考传输功率相比较。有两种可能的方法来取得这个参考功率：

- a) 带有一个小半径的环圈的被测成缆光纤；
- b) 一短段（1-2米）多模光纤。

B. 3. 3. 2. 1 试验设备

B. 3. 3. 2. 1. 1 光源（同 B. 3. 1. 2. 1. 1）

B. 3. 3. 2. 1. 2 调制（同 B. 3. 1. 2. 1. 2）

B. 3. 3. 2. 1. 3 注入条件（同 B. 3. 1. 2. 1. 3）

B. 3. 3. 2. 1. 4 包层模消除器（同 B. 3. 1. 2. 1. 4）

B. 3. 3. 2. 1. 5 光检测器（同 B. 3. 1. 2. 1. 5）

B. 3. 3. 2. 2 步骤

B. 3. 3. 2. 2. 1 标准试验样品

应当在一段光缆内的单模光纤上进行测量。应当准备一段22 m长的光缆在每端露出1 m长的未成缆的光纤，并且应当把剩下的20 m成缆部分放得没有会影响测量数值的任何小的弯曲。为了模拟一个接头盒的影响，在每段未成缆的光纤上应该各加上一个半径为XX mm的环圈（见图B-8/G. 652）。虽然在光纤或光缆中某些较大半径的偶然弯曲是允许的，但它们必须不致在测量中引入显著的变化。应当在预期的截止波长附近的一个足够宽的范围内，记录输出功率 $P_1(\lambda)$ 与 λ 的函数关系。

注—XX的值在研究中。有几个主管部门指出45 mm的值是合适的。这些环圈是为了模拟展开条件，并应该按照各个主管部门的实际做法来选择。如果主管部门的实际做法是没有环圈的话，也可考虑除去这些环圈。

B. 3. 3. 2. 2. 2 经由参考样品的传输（同B. 3. 1. 2. 2. 2）

B. 3. 3. 2. 2. 3 计算

传输功率 $P_1(\lambda)$ 与 $P_i(\lambda)$ 之间的对数比计算如下：

$$R(\lambda) = 10 \log[P_1(\lambda)/P_i(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

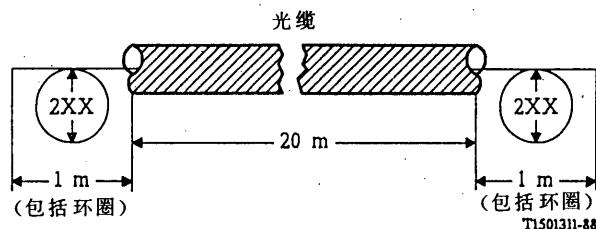
式中 $i=2$ 或 3 分别用于方法a)或b)。

B. 3. 3. 2. 2. 4 成缆光纤截止波长的确定

如果采用方法a)，就把 λ_{cc} 确定为 $R(\lambda)$ 等于0.1 dB处的最大波长（见图B-5）。如果采用方法b），则 λ_{cc} 由一根 $R(\lambda)$ 曲线与一根和拟合于 $R(\lambda)$ 的长波长区的直线（1）相平行并移动了0.1 dB的直线（2）的交点来确定（见图B-6）。

B. 3. 3. 2. 2. 5 结果的表达

- a) 试验设备的安排（包括环圈的半径XX）；
- b) 注入条件；
- c) 参考样品的类型；
- d) 试样的温度与环境的条件（当有必要时）；
- e) 光纤与光缆的识别标志；
- f) 测量的波长范围；
- g) 成缆光纤的截止波长；
- h) $R(\lambda)$ 曲线（如果要求的话）。



图B-8/G. 652
测量成缆光纤截止波长的部署情况

B. 4—第IV节 — 测量衰减的试验方法

B. 4. 1 引言

B. 4. 1. 1 目的

衰减试验是为了提供一种方法，用这种方法可以对一段光纤定出一个衰减值，从而可以把各个衰减值加起来确定出串接的几个长度的总衰减。

B. 4. 1. 2 定义

在一根光纤上相距 L 的两个截面之间在波长 λ 上的衰减 $A(\lambda)$ 下定义为：

$$A(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_2(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

式中 $P_1(\lambda)$ 为通过截面1的光功率，而 $P_2(\lambda)$ 为通过截面2的光功率。

对于一根均匀的光纤，可能规定出单位长度的衰减或与光纤长度无关的衰减系数：

$$\alpha(\lambda) = A(\lambda)/L \quad (\text{dB/ 单位长度}) \quad (2)$$

注 — 应该在室温（即，在10到35 °C 范围内的一个单一值）条件下测量对制造长度所规定的衰减值。

B. 4. 2 基准试验法：剪回法

剪回法是定义的直接应用，在这个定义中，在光纤的两点测出功率 P_1 及 P_2 而不改变输入条件。 P_2 是从光纤的对端出来的功率， P_1 是在剪断后接近输入处的一点出来的功率。

B. 4. 2. 1 试验设备

可以在一个或一个以上的单波长上进行测量，或者可以要求在一个波长范围内的光谱响应。合适的试验设备的简图示于图 B-9/G. 652中。

B. 4. 2. 1. 1 光源

应当使用一个合适的辐射源，例如一只灯、激光器或发光二极管。光源的选择取决于测量的类型。光源必须在足以完成测量过程的一段时间内位置、强度与波长方面都是稳定的。应当把谱线宽度 (FWHM) 规定得使它与光纤的衰减光谱特性上的任何特征相比是窄的。

B. 4. 2. 1. 2 调制

通常要对光源进行调制以改善接收信噪比。如果采用了这种方法，检测器应当与一个同步于光源调制频率的信号处理系统相连。检测系统应当实际上是线性的。

B. 4. 2. 1. 3 注入条件

所用的注入条件必须足以激励出基本模。举例来说，下面是几种合适的注入条件：

- a) 与一根光纤相连；
- b) 用一套合适的光学器件来注入。

B. 4. 2. 1. 4 滤模器

必须注意不要让高阶模通过剪回长度传播。为此，可能需要引入一个弯曲以除去高阶模。



B. 4. 2. 1. 5 包层模消除器

包层模消除器促使包层模转变成辐射模，从而把包层模从光纤中除去。

B. 4. 2. 1. 6 光检测器

应当使用一只合适的检测器，使从光纤输出的全部辐射都被接收到。其光谱响应应当与光源的光谱特性相适应。检测器必须是均匀的，并具有线性特性。

B. 4. 2. 2 测量步骤

B. 4. 2. 2. 1 被测光纤的准备

光纤的端面应当很清洁、光滑、并与光纤轴相垂直。在未成缆的光纤上测量时，应当在松绕于盘上的光纤上进行，也就是说不应由盘的表面引入微弯作用。

B. 4. 2. 2. 2 步骤

- 1) 把被测光纤放在测量设备中，记录输出功率 P_2 。
- 2) 保持注入条件固定不变，把光纤剪成剪回长度（例如，从注入点算起2 m长）。需要时，重新装上包层模消除器，并记录从剪回长度出来的输出功率 P_1 。
- 3) 在已测定 P_1 与 P_2 的两点之间的衰减可根据定义用 P_1 与 P_2 计算出来。

B. 4. 2. 2. 3 结果的表达

应当提出下列细节：

- a) 试验设备的安排，包括光源类型、光源波长与谱线宽度（FWHM）；
- b) 光纤的识别标志；
- c) 试样的长度；
- d) 以 dB 表示的试样衰减；
- e) 以 dB/km 表示的衰减系数；
- f) 精确度与可重复性的说明；
- g) 试样的温度与环境条件（当有必要时）。

B. 4. 3 第一种代用试验法：后向散射法

注 — 这种试验方法描述测量一段均匀的单模光纤光缆衰减的步骤。这种方法能用来检查光的连续性、物理缺陷、接头、光纤光缆的后向散射光以及光纤的长度。

B. 4. 3. 1 注入条件

注入光束应当同轴地入射到光纤的注入端；能用各种方法减少菲涅耳（Fresnel）反射，例如用折射率匹配材料。应当使耦合损耗最小。

B. 4. 3. 2 设备与步骤

B. 4. 3. 2. 1 一般考虑

后向散射的光信号的信号电平一般是小的，并接近噪声电平。所以为了改善信噪比与动态测量范围，常用大功率的光源，并对检测到的信号进行信号处理。此外，精确的空间分辨率可能要求调节脉冲宽度，从而在分辨率与脉冲功率之间取得折衷。应当特别注意使菲涅耳反射最小。

必须注意使高阶模不传播。

设备的例子示于图 B-10a/G. 652 中。

B. 4. 3. 2. 2 光源

应使用一只适当波长的稳定的大功率光源。应记录光源的波长。脉冲宽度与重复频率应与所要求的分辨力以及光纤的长度相适应。在光纤的被测部分不应当有光学上的非线性效应。

B. 4. 3. 2. 3 耦合器件

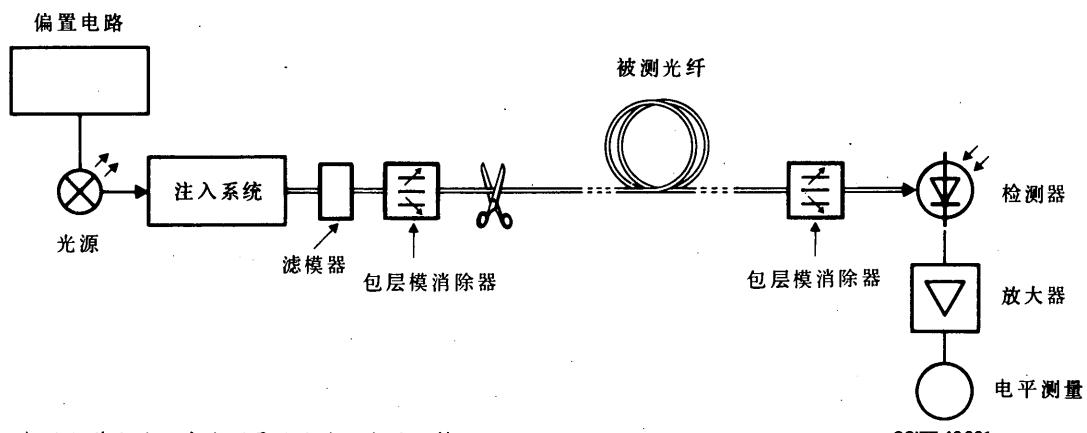
需用耦合器件把光源辐射耦合到光纤，并把后向散射耦合到检测器，从而避免光源—检测器的直接耦合。能用的器件有好几种，但是应当避免使用根据偏振效应来工作的器件。

B. 4. 3. 2. 4 光检测

应使用一只检测器使能接收到尽可能大的后向散射功率。检测器的响应应当与被测信号的电平与波长相适应。对于衰减测量，检测器的响应实际上应当是线性的。

需要用信号处理来改善信噪比，并希望在检测系统中具有对数响应。

在光检测器后面应当有一只合适的放大器，使信号电平变得适合于信号处理。放大器的带宽应在时间分辨率与减小噪声之间折衷考虑。



a) 进行单个波长衰减测量的试验设备的安排

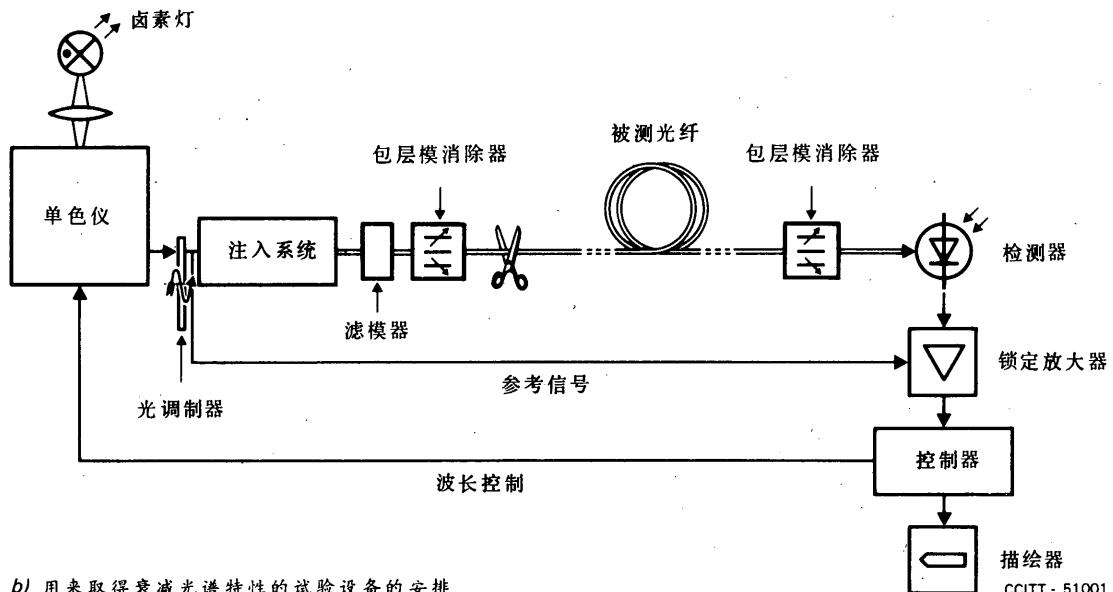


图 B-9/G. 652

剪回法

B. 4. 3. 2. 5 包层模消除器

见 § B. 4. 2. 1. 5。

B. 4. 3. 2. 6 步骤

- 1) 把被测光纤与耦合器对准。
- 2) 后向散射功率由一只信号处理器来分析，并用对数标度记录下来。图 B-10b/G. 652 表示了这种典型的曲线。
- 3) 曲线上相当于光纤的二个截面的 A 及 B 两点之间的衰减为

$$A(\lambda) = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \quad (\text{dB})$$

式中 V_A 及 V_B 是以对数标度给出的相应的功率电平。

注 — 当用这种方法计算衰减时，必须注意在 A 点及 B 点的散射条件。

- 4) 如果需要，能进行双向测量，同时进行数值计算以改进结果的质量，也许还可能从后向散射因素中把衰减分离出来。

B. 4. 3. 2. 7 结果

应当提出下列各项细节：

- a) 测量的类型与特性；
- b) 注入技术；
- c) 试验设备的安排；
- d) 试样的相对湿度与温度（当有必要时）；
- e) 光纤的识别标志；
- f) 试样长度；
- g) 脉冲的上升时间，宽度与重复频率；
- h) 所用的信号处理的类型；
- i) 用对数标度记录下来的曲线，注上试样的衰减，在某些条件下，还要注上以 dB/km 表示的衰减系数。

注 — 对记录下来的曲线（图 B-10b/G. 652）的完整分析表明，除了衰减测量而外，应用后向散射技术能监测出许多现象：

- a) 由光纤输入端的耦合器件产生的反射；
- b) 恒定斜率的区域；
- c) 由局部缺陷、接头或耦合所引起的不连续性；
- d) 由电介质缺陷引起的反射；
- e) 在光纤末端的反射。

B. 4. 4 第二种代用试验法：介入损耗法

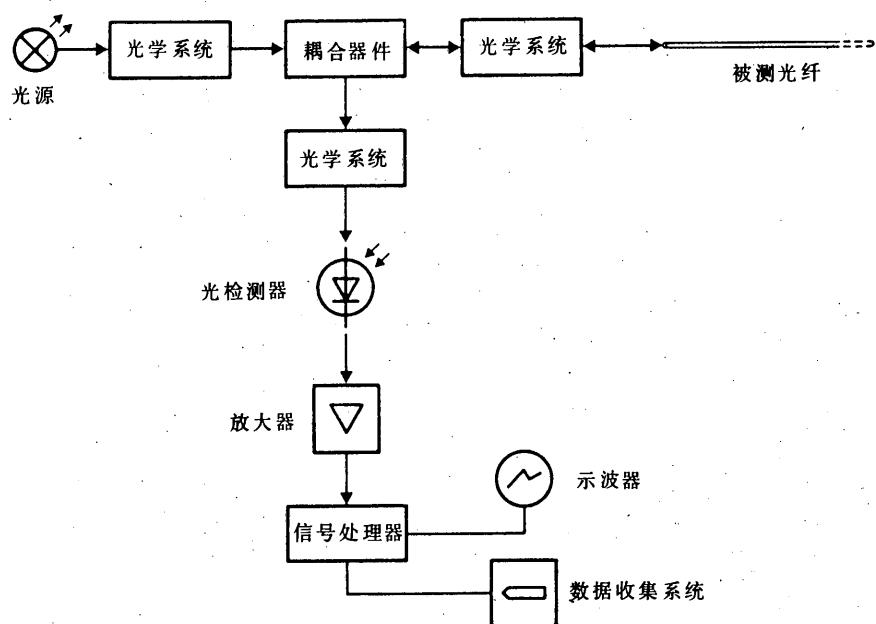
在研究中。

B. 5 — 第 V 节 — 色散系数测量用的试验方法

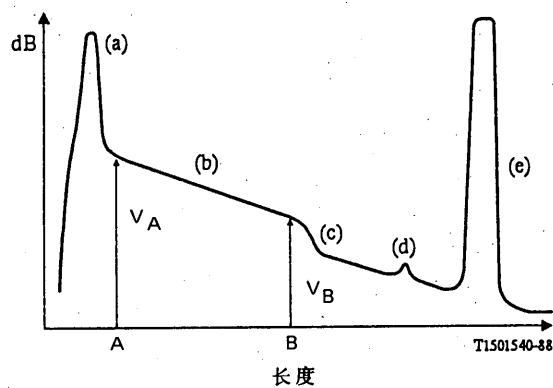
B. 5. 1 色散系数测量用的基准试验法

B. 5. 1. 1 目的

光纤的色散系数是从测量各种波长经由已知长度的一段光纤传输时所受到的相对群时延而得到的。



a) 设备简图



b) 后向散射功率曲线的例子

图 B-10/G. 652

后向散射法

群时延可在时域或频域中测量，依照光源的调制类型而定。

在时域的情况下，要测出脉冲在各种波长时所受到的延迟；而在频域中则记下一个正弦调制信号的相移，并将它进行处理以求得时延。

色散可以在一个固定的波长上测量或者在一个波长范围内测量。

B. 5. 1. 2 试验设备

试验设备的简图示于图 B-11/G. 652 中。

B. 5. 1. 2. 1 光源

光源应当在足以完成测量过程的一段时间内在位置、强度与波长方面都是稳定的。可以使用激光二极管、发光二极管或宽带光源（例如一只带有拉曼（Raman）光纤的 Nd: YAG 激光器），视测量的波长范围而定。

在任何情况下，调制信号应当在群时延测量中保证足够的时间分辨力。

B. 5. 1. 2. 2 波长选择

应用一只波长选择器来选择测量群时延的波长。可以采用光开关，单色仪，散光器件，滤光器，光耦合器及连接器等，视光源与测量设备的类型而定。可以通过换接不同波长的光源用的电激励信号来实现波长选择。波长选择器可以用在被测光纤的输入端或输出端。

B. 5. 1. 2. 3 检测器

把从被测光纤、参考光纤或分光器出来的光耦合到一只光电检测器上，这只光电检测器的信噪比与时间分辨力都要适合于测量。如果需要的话，在检测器后面接一只低噪声放大器。

B. 5. 1. 2. 4 参考通道

参考通道可由电信号线或光信号线组成。在这个通道内可放入一只合适的延迟发生器。在某些情况下，被测光纤本身可用来作参考通道线。

B. 5. 1. 2. 5 延迟检测器

延迟检测器应测量参考信号与通道信号之间的时延或相移。在正弦调制情况下，可用一只矢量电压表。在脉冲调制情况下，则用一只高速示波器或一只取样示波器。

B. 5. 1. 2. 6 信号处理器

可加用一只信号处理器以减少在测得的波形中的噪声和/或抖动。如果需要的话，可用一台数字计算机来作设备控制、数据收集以及数据的数值计算。

B. 5. 1. 3 步骤

通过波长选择器或分光器等把被测光纤与光源及检测器适当地耦合起来。如果有需要的话，可以对光源的颜色延迟进行定标。必须在波长分辨率与信号电平之间取得恰当的折衷。除非被测光纤也用作参考通道线，否则在测量时，光纤的温度必须是足够稳定的。

在工作波长上参考信号与通道信号之间的时延或相移要由延迟检测器来测量。使用适合于调制类型的数据处理以得出在工作波长上的色散系数。需要时，可进行群时延对波长关系的光谱扫描；从所测得的数值能做出一条拟合曲线。

测出的光纤每单位长度上的群时延对波长的关系应由二次方程式来拟合：

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2$$

式中 τ_0 是在零色散波长 λ_0 上的最小相对时延。可从经微分的二次方程式来确定色散系数 $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ ：

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0) S_0$$

式中 S_0 是（均匀的）零色散斜率，也就是色散斜率 $S(\lambda) = dD/d\lambda$ 在 λ_0 上的值。

注1 — $\tau(\lambda)$ 与 $D(\lambda)$ 的公式在 $1500 \sim 1600 \text{ nm}$ 区域内是足够精确的，但它们并不意味着要用于 1300 nm 区域。

注2 — 另外一种方法可直接测出色散系数，例如用微分相移法。在这种情况下，应当把一根直线直接拟合到色散系数上来确定 λ_0 和 S_0 。

B. 5. 1. 4 结果的表达

应当提出下列各项细节：

- a) 试验设备的安排；
- b) 所用调制的类型；
- c) 光源特性；
- d) 光纤的识别标志与长度；
- e) 波长选择器（如果有的话）的特性；
- f) 光电检测器的类型；
- g) 延迟检测器的特性；
- h) 零色散波长与零色散斜率的值；

如果采用频域技术，群时延 τ 将由相应的相移 φ 通过 $\tau = \varphi / (2\pi f)$ 关系来得出，此处 f 是调制频率。

- i) 相对时延数据与所用的拟合波长范围的拟合步骤；
- j) 试样的温度与环境条件（当有必要时）。

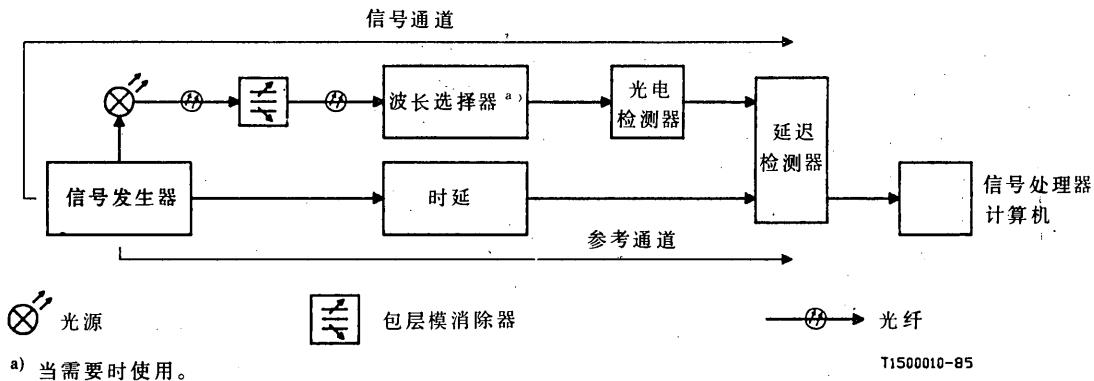


图 B-11/G. 652
试验设备的典型安排

B. 5. 2 色散系数测量用的代用试验法：干涉试验法

B. 5. 2. 1 目的

干涉试验法能用一短段光纤（几米）来测量色散。这种方法提供测量光纤纵向色散均匀性的可能性。而且它有可能检查总影响或局部影响的作用，诸如温度变化与大弯曲损耗对色散的作用。

按照干涉测量的原理，由一台 Mach-Zehnder 干涉仪测量试样与参考通道之间与波长有关的时延。参考通道可能是一个空气通道或一根具有已知光谱群时延的单模光纤。

应当注意的是，从一根几米长的光纤上用干涉试验法取得的色散值外推到长光纤段是假定光纤有纵向均匀性。这种假定可能不适用于每种情况。

B. 5. 2. 2 试验设备

使用一根参考光纤和一个参考空气通道的试验设备的简图分别示于图 B-12/G. 652 和 B-13/G. 652 中。

B. 5. 2. 2. 1 光源

光源应当在足以完成测量过程的一段时间内位置、强度与波长方面都是稳定的。光源必须是合适的，例如一只带有拉曼 (Raman) 光纤的 YAG 激光器或一只灯及发光二极管光源等。为了应用锁定放大技术，一只具有低频调制 (50 到 500 Hz) 的光源是足够的。

B. 5. 2. 2. 2 波长选择器

用一只波长选择器来选择要测量群时延的波长。可以采用单色仪，光干涉滤光器，或其他波长选择器，视光源与测量系统的类型而定。波长选择器可以用在被测光纤的输入端或输出端。

光源的光谱宽度要受色散测试精度的限制，宽度大约为 2 到 10 nm。

B. 5. 2. 2. 3 光检测器

光检测器必须在要确定色散的波长范围内有足够的灵敏度。如果需要的话，能够例如用一个阻抗变换电路来增强接收到的信号。

B. 5. 2. 2. 4 试验设备

为了记录干涉图形可以应用一只锁定放大器。在参考通道内用一只线性定位器来平衡干涉仪的两个通道的光学长度。关于这种定位器必须注意它的线性移动的精度、均匀性与稳定性。长度的变化应当在 20 到 100 mm 的范围内，其精度大约为 2 μm。

B. 5. 2. 2. 5 试样

试验用的试样可以是未成缆的和已成缆的单模光纤。试样的长度应该是在 1 m 到 10 m 范围内。长度的精度应该是 ±1 mm 左右。应该相当小心地进行光纤端面的制备。

B. 5. 2. 2. 6 数据处理

为了分析干涉图形，应当使用一台有合适软件的计算机。

B. 5. 2. 3 试验步骤

- 1) 把被测光纤放在测量设备内(图B-12/G. 652, B-13/G. 652)。用三维微定位器件进行端面定位，使由检测器接收的光功率最大。由包层模产生的误差是不可能的。
- 2) 群时延的确定是由一个在参考通道中的线性定位器件对不同的波长平衡两个干涉仪通道的光学长度来进行的。波长 λ_i 的干涉图形的最大位置 x_i 与位置 x_0 之间(图B-14/G. 652)的差确定出参考通道与试验通道之间的群时延差 $\Delta t_g(\lambda_i)$ ，如下所示：

$$\Delta t_g(\lambda_i) = \frac{x_0 - x_i}{C_0}$$

式中 C_0 是光在真空中的速度。试样的群时延是由 $\Delta t_g(\lambda_i)$ 值与参考通道的光谱群时延相加来计算的。把这个总和除以被测光纤长度就得出被测光纤单位长度的实测群时延 $\tau(\lambda)$ 。

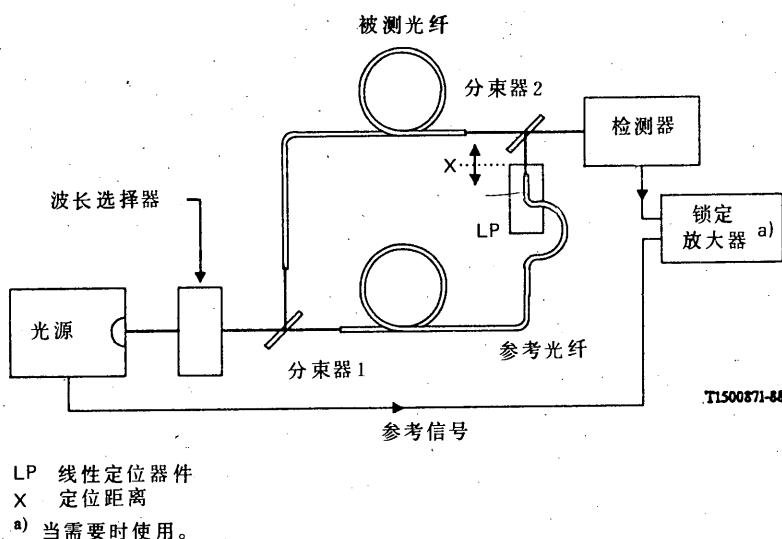
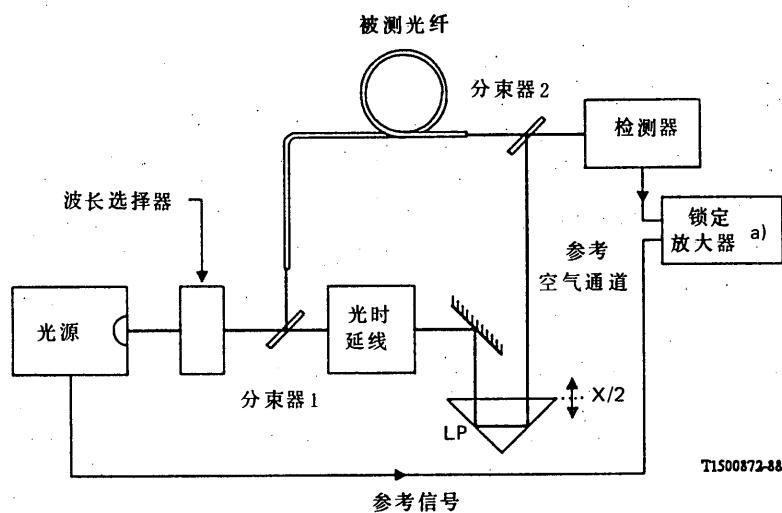


图 B-12/G. 652
带有参考光纤的测量设备简图



LP 线性定位器件

X 定位距离

a) 当需要时使用。

图 B-13/G. 652
带有参考空气通道的测量设备简图

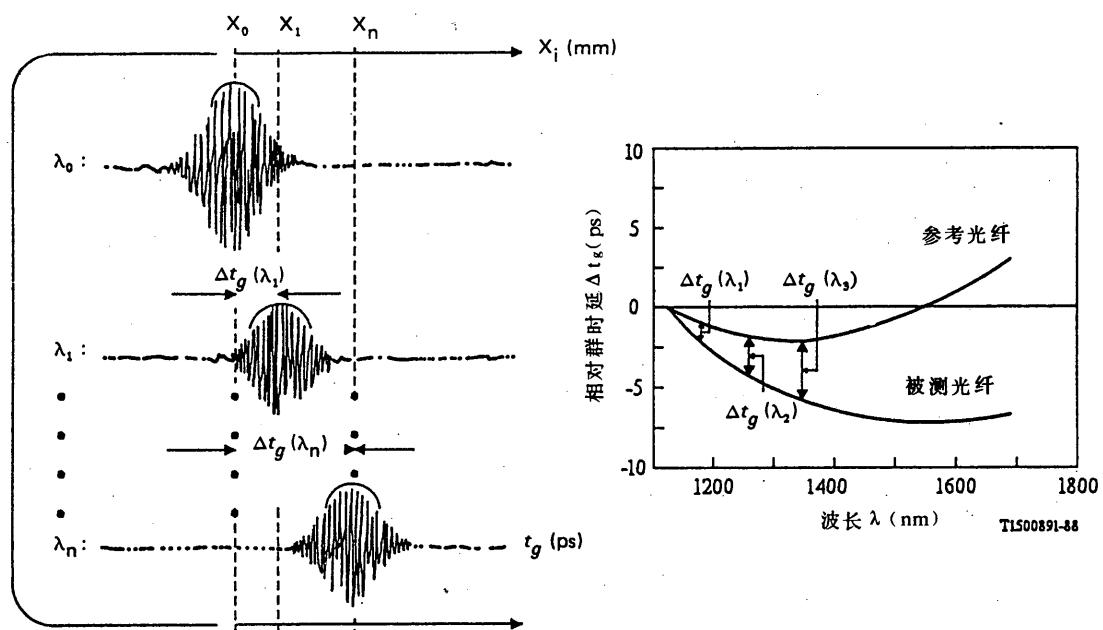


图 B-14/G. 652
光谱群时延的确定

测出的光纤单位长度群时延与波长的关系应当用二次方程式来拟合：

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2}(\lambda - \lambda_0)^2$$

式中 τ_0 是在零色散波长 λ_0 上的最小相对时延。可从经微分的二次方程式来确定色散系数 $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ ：

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0$$

式中 S_0 是（均匀的）零色散斜率，也就是色散斜率 $S(\lambda) = dD/d\lambda$ 在 λ_0 上的值。

注 — $\tau(\lambda)$ 与 $D(\lambda)$ 的公式在 1500~1600 nm 区域内是足够精确的，但它们并不意味着要用于 1300 nm 区域。

B. 5. 2. 4 结果的表达

应当提出下列各项细节：

- a) 试验设备的安排；
- b) 光源的特性；
- c) 光纤的识别标志与长度；
- d) 波长选择器的特性（如果有的话）；
- e) 光电检测器的类型；
- f) 零色散波长与零色散斜率的值；
- g) 相对时延数据与所用的拟合波长范围的拟合步骤；
- h) 试样的温度与环境条件（当有必要时）。

建 议 G. 653

色散位移单模光纤缆的特性

(墨尔本, 1988 年)

CCITT,

鉴于

- (a) 色散位移单模光纤光缆将广泛地应用于电信网路中；
- (b) 预见到的未来的应用可能需要几种不同的单模光纤，它们的区别在于工作波长、几何与光学特性以及衰减、色散等传输特性，

建议

一种在 1550 nm 波长区域中具有零色散波长并为应用于 1550 nm 附近波长上而优选的色散位移单模光纤。这种光纤也可用于 1300 nm 附近，但要受到本建议中所概述的各项要求的约束。

这种光纤的几何、光学与传输特性叙述于后。

在本建议中所用的各种术语的含义列于建议 G. 652 的附件 A 中，而为验证各项特性在测试中所要遵循的导则列于建议 G. 652 的附件 B 中。当研究和经验有进展时，将改进这种光纤的各项特性与相应的数值。

1 光纤特性

在 § 1 中只建议为光纤制造提供一个最低限度的重要设计轮廓的那些光纤特性。其中，通过光缆制造或安装可能会显著影响成缆光纤的截止波长。除此以外，对于单根光纤，装入光缆内并绕于盘上的光纤以及已安装好的光缆中的光纤所建议的特性都同样适用。

本建议适用于具有标称圆形模场的光纤。

1.1 模场直径

在 1550 nm 上模场直径的标称值应处在 7.0 到 8.3 μm 范围内。模场直径的偏差不应超过标称值土 10% 的限度。

注 1 — 在上述的范围内选用什么样的具体数值，不一定与具体的光纤设计联系在一起。

注 2 — 应当指出，对于任何已指定的用途所需要的光纤性能与光纤和系统的主要参数有关，亦即与模场直径、截止波长、色散、系统的工作波长、工作比特率/频率有关，而主要不在于光纤的设计。

注 3 — 以上所述的一切都需要进一步研究。

1.2 包层直径

对包层直径所建议的标称值为 125 μm 。包层偏差不应超过土 2.4%（土 3 μm ）的限度。

对于某些特定的接续技术与接头损耗的要求，其他的容差可能是合适的。

1.3 模场同心度误差

所建议的在 1550 nm 上的模场同心度误差不应超过 1 μm 。

注 — 对于某些特定的接续技术与接头损耗的要求，大到 3 μm 的容差可能是合适的。

1.4 不圆度

1.4.1 模场不圆度

在实践中，对于标称模场为圆形的光纤，已发现其模场不圆度很低，不致影响传输与接续。所以并不认为有必要对模场不圆度建议一个具体的数值。一般不需要为了验收而测量模场不圆度。

1.4.2 包层不圆度

包层不圆度应小于 2%。对于某些特定的接续技术与接头损耗要求，其他的容差可能是合适的。

1.5 截止波长

在研究中。

1.6 1550 nm 波长上的弯曲性能

以半径 37.5 mm 松绕的 100 圈光纤，在 1550 nm 上测得的附加损耗应小于 0.5 dB。

注 1 — 一个合格试验可能足以保证这个要求是得到满足的。

注 2 — 上述 100 圈数值相应于在一个典型中继间隔的全部接头套管中所做的大致圈数。37.5 mm 半径是等效于在实际系统安装中为了避免由于光纤长期展开所引起的静态疲劳效应而广泛接受的最小弯曲半径。

注 3 — 如果为了实用理由,选择低于 100 圈来进行这种试验,则建议不小于 40 圈并使用一个按比例减少的附加损耗。

注 4 — 如果计划在接头套管中或系统中的别的地方采用小于 37.5 mm 的弯曲半径(例如, $R=30\text{mm}$), 则建议同样的 0.5dB 损耗值应适用于使用这种较小半径展开的 100 圈光纤。

注 5 — 1550 nm 弯曲损耗建议值与在实际单模光纤安装中光纤的展开有关。在成缆光纤的损耗规范中包括了成缆单模光纤与扭绞有关的弯曲半径对损耗性能的影响。

注 6 — 假如需要例行试验,为了 1550 nm 弯曲敏感性的精确度和测量容易,可采用一圈或几圈小直径环圈来代替 100 圈试验。在这种情况下,应该选择环圈的直径、圈数以及几圈试验时的最大允许弯曲损耗。以便与 37.5 mm 半径 100 圈光纤功能试验的 0.5 dB 损耗建议值相关联。

1.7 光纤的材料性能

1.7.1 光纤材料

应当说明制作光纤所用的材料。

注 — 熔接不同材料的光纤时需要小心。初步的结果表明当接续不同的高二氧化硅光纤时,能取得适当的接头损耗与强度。

1.7.2 保护材料

应当说明用来制作光纤一次涂层材料的物理与化学性能,以及除去这个涂层(如果需要的话)的最好方法。在单根加套光纤的情况下,也应作类似的说明。

1.8 折射率分布

光纤的折射率分布通常不需要知道;如果想要测量它,可采用建议 G.651 中的基准试验方法。

2 制造长度规范

因为 § 1 中所给出的光纤几何和光学特性几乎不受成缆过程的影响,§ 2 将主要给出关于光缆制造长度在传输方面的各项特性。

环境与试验条件是至关重要的,并将在试验方法的导则中叙述。

2.1 衰减系数

包括在本建议中的各种光纤光缆在 1550 nm 波长区域内的衰减系数一般都小于 0.5 dB/km。当打算把它们用在 1300 nm 区域时,它们在该区域中的衰减系数一般小于 1 dB/km。

注 — 最低值取决于制造过程、光纤的组分与设计,以及光缆的设计。在 1550 nm 区域中已达到 0.19—0.25 dB/km 范围内的数值。

2.2 色散系数

在研究中。

注 1 — 包括在本建议中的单模光纤的最大色散系数应当是：

波长 (nm)	最大色散系数 [ps/ (nm, km)]
1525 — 1575 1300nm 区域	3.5 在研究中

注 2 — 3.5ps/(nm · km) 的数值是考虑到当应用合适的多纵模激光器与合适的线路码时，在 560 Mbit/s 上受衰减限制的段长。

注 3 — 对于更大容量（大于 560 Mbit/s）或更大长度的系统，需要更接近于零色散波长工作（除非应用单纵模激光二极管）。这时可能必须规定附加的光纤参数（例如零色散波长，色散斜率等）。需要进一步研究来确认这些参数。

注 4 — 不需要在一个例行基础上测量色散系数。

3 单元光缆段

一个单元光缆段一般包含许多连接好的制造长度，制造长度的各项要求列于本建议的 § 2 中。单元光缆段的传输参数不仅应考虑每个光缆制造长度的性能，而且还要考虑如接头损耗与连接器损耗（如果有的话）等其他因素。

3.1 衰减

单元光缆段的衰减 A 由下式给出：

$$A = \sum_{n=1}^m a_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y$$

式中

- a_n = 在单元光缆段中第 n 根光纤的衰减系数，
- L_n = 第 n 根光纤的长度，
- m = 在单元光缆段中串接的光纤总数，
- a_s = 平均接头损耗，
- x = 在单元光缆段中接头的数目，
- a_c = 线路连接器的平均损耗，
- y = 在单元光缆段中线路连接器（如果装有的话）的数目。

应当分配适当的光缆裕度给将来光缆配置的变化（附加接头、额外的光缆长度、老化效应、温度变化等）。上式不包括设备连接器的损耗。

接头损耗与连接器损耗要用平均损耗值。在设计一个实际系统时所采用的衰减分配中，应该考虑这些参数的统计变化。

3.2 色散

以 ps 表示的色散能从制造长度的色散系数中计算出来，计算时假定它与长度呈线性关系，并适当考虑这些系数的符号与系统光源的特性（见 § 2.2）。

附 件 A

(附于建议 G. 653)

建议中所用术语的含义

建议 G. 652 的附件 A 中所包含的大部分定义原则上也适用于色散位移光纤。由于对这种类型光纤有限的经验，所以有些定义的合适性需要进一步研究。

附 件 B

(附于建议 G. 653)

色散位移单模光纤的试验方法

色散位移单模光纤的现有经验是相当有限的；因此，对这种类型光纤的某些基准试验法和代用试验法需要进一步研究。然而建议 G. 652 的附件 B 中的所叙述的部份试验方法原则上也适用于色散位移光纤。所以对于本附件，要参考建议 G. 652 中附件 B 的相应试验方法；各种试验步骤的细节需要进一步研究。应当注意的是建议 G. 653 光纤的工作波长是在 1550 nm 区域。

建 议 G. 654

1550nm 波长上损耗最小的单模光纤光缆特性

(墨尔本, 1988 年)

CCITT,

鉴 于

- (a) 在一些电信网路应用中需要损耗很低的光纤；
- (b) 预见到未来的应用可能需要几种不同的单模光纤，它们的区别在于：
 - 几何特性；
 - 工作波长；
 - 衰减、色散与其他光学特性；
- (c) 当实用研究已有足够进展时，可对不同的单模光纤提出建议。

建 议

一种在 1300nm 波长区域具有零色散波长的单模光纤，它在 1550nm 附近波长上损耗最小并是为在这个波长区域中使用而设计的。

这种光纤的几何、光学与传输特性叙述于后。

在本建议中所用的各种术语的含义列于附件 A 中，而为验证各项特性所要遵循的导则列于附件 B 中。

注 — 当研究和经验有进展时，将改进这种光纤的各项特性与相应的数值。

1 光纤特性

1.1 模场直径

在1550 nm 上模场直径的标称值应落在 xx μm 范围内。模场直径的偏差不应超过标称值的±10%的限度。

注 — 必须规定 xx 的值。一种可能性是 xx 的值为 10.5。

1.2 包层直径

对包层直径所建议的标称值为 125 μm 。包层的偏差不应超过±2.4%^①（±3 μm ）的限度。

1.3 模场同心度误差

所建议的在1550 nm 上的模场同心度误差不应超过 1 μm ^①。

1.4 不圆度

1.4.1 模场不圆度

在实践中，对于标称模场为圆形的光纤，已发现其模场不圆度很低，不致影响传输与接续。所以并不认为有必要对模场不圆度建议一个具体的数值。一般不需要为了验收而测量模场不圆度。

1.4.2 包层不圆度

包层不圆度应小于 2%。对于某些特定的接续方法与接头损耗要求，其他的容差可能是合适的。

1.5 截止波长

截止波长 λ_c 的数值应在 xxxx nm 与 yyyy nm 之间，而 λ_{cc} 的数值应小于 zzzz nm。

注 — 必须规定 xxxx、yyyy 与 zzzz 的数值；一种可能性是 xxxx 的值为 1350，yyyy 为 1600，而 zzzz 为 1530。

1.6 1550 nm 弯曲性能

在研究中。

注 — 这种光纤的性能不应比为满足建议 G. 653 而设计的光纤差。

1.7 光纤的材料性能

同建议 G. 652 的 § 1.7 中所规定的。

① 在研究中。

1.8 光纤设计导则的例子

增补 No. 33 给出了由一个机构对匹配包层光纤所采用的光纤设计导则的一个例子。

2 制造长度规范

2.1 衰减系数

包括在本建议中的各种光纤光缆应该具有在 1550 nm 区域的衰减系数^②。

注 — 最低值取决于制造过程、光纤的组分与设计、以及光缆的设计。在 1550 nm 区域中已达到 0.15 — 0.20 dB/km 的数值。

2.2 色散系数

包括在本建议中的单模光纤在 1550 nm 波长区域的最大色散系数应当是 20ps/(nm · km)。

3 单元光缆段

同建议 G. 652 的 § 3 中所规定的。

附 件 A

(附于建议 G. 654)

建议中所用术语的含义

建议 G. 652 附件 A 中所包含的大部份定义原则上也适用于损耗最小的光纤。由于对这种类型光纤有限的经验，所以有些定义的合适性需要进一步研究。

附 件 B

(附于建议 G. 654)

损耗最小的单模光纤的试验方法

损耗最小的单模光纤的现有经验是相当有限的；因此，对这种类型的光纤的某些基准试验法和代用试验法需要进一步研究。然而建议 G. 652 的附件 B 中所叙述的大部份试验方法原则上也适用于损耗最小的光纤。所以对于本附件，就要参考建议 G. 652 中附件 B 的相应试验方法；各种试验步骤的细节需要进一步研究。应当注意的是 G. 654 光纤的工作波长是在 1550 nm 区域。

② 在研究中。

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

第二部分

G 系列建议的第六章中
各建议的增补资料

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

增 补 No. 11

各国海缆船和海缆机械的数据

(1968 年于马德普拉塔; 1972、1976、1980 和 1988 年修订于日内瓦; 与 G 系列建议的 6.3 节中的内容有关)

船名	建造年分	排水量 (吨)	总长 (m)	吃水 (m)	正常航速 (节)	航程范围 (自给) (海里)	海缆舱数	海缆容量		海缆牵引装置		最大作业深度 (m)	能 力		
								海缆		中继器	不能绕线的滑轮				
								立方米 (m ³)	重量 (吨)		船首滑轮 (直径) (m)	船尾滑轮 (直径) (m)			
John Cabot 号	1985	6400	95	7	13/16	6500	3	614	800	24	1×3.0 (30 t) + 直线式 敷缆机 (18对 轮子)	3.0	—	不限 修理船, 有挖沟能力。	
Peter Faber 号	1982	空载 750 满载 1830	78.4	空载 3.8 满载 5.0	14.0	7000	1 缆舱 1 货舱	310 230	600 400	约10部	3.0	3.0	4000 具有可在冰冻水域工作的加强结构。 在船尾甲板上: 一台液压升举 A 形构架, 其最大负荷为 35 吨。一台液压拖拽通用绞车。两台液压双卷筒绞车。		

第1节 — 海缆船(续)

船名	建造年分	排水量 (吨)	总长 (m)	吃水 (m)	正常航速 (节)	航程范围 (自给) (海里)	海缆舱数	海缆容量		海缆牵引装置		最大作业深度 (m)	能力		
								海缆		中继器	船首布 缆鼓轮 (直径) (m)	不能绕线的滑轮			
								立方米 (m ³)	重量 (吨)			船首滑轮 (直径) (m)	船尾滑轮 (直径) (m)		
<i>Vercors</i> 号	1974	10 670	133	7.3	16.5	13 000	3	2535	6000*	140	2×3.0 (30t)	3.0	4.0 + 直线式 敷缆机 (18对 轮子)	不限	敷设和修理各种类型的电话海缆 (同轴电缆与光缆) 及电力海缆。 容量: 3500 km 深海光缆; 1300海里 1 英寸海缆; 650 海里1.5 英寸海缆; 500 海里1.7 英寸海缆。
<i>Léon Thévenin</i> 号	1983	6200	107	6.25	15.0	10 000	2	1060	1000	30	2×3.4 (40t)	3.0	4.0 + 直线式 敷缆机 (18对 轮子)	不限	* 对于电力电缆则重量有异。 海缆修理船, 铠装海底同轴电缆与 光缆。
<i>Raymond Croze</i> 号	1983	6200	107	6.25	15.0	10 000	2	1400	1300	70	2×3.4 (40t)	3.0	4.0 + 直线式 敷缆机 (8 对 轮子)	不限	敷设 / 修理一装载容量约为 <i>Vercors</i> 号的一半。 注 — <i>Léon Thévenin</i> 号与 <i>Raymond Croze</i> 号除缆舱位置 不同外其余完全相同。

第1节 — 海缆船 (续)

船名	建造年分	排水量(吨)	总长(m)	吃水(m)	正常航速(节)	航程范围(自给)(海里)	海缆舱数	海缆容量		海缆牵引装置		最大作业深度(m)	能 力							
								海缆		中继器	不能绕线的滑轮									
								立方米(m ³)	重量(吨)		船首滑轮(直径)(m)	船尾滑轮(直径)(m)								
意大利																				
属于 Pirelli/欧洲海运公司 (Pirelli/Euroshipping) 的船只																				
Arabella号	1975	2620	76.66	5.18	11	2000	2	1100	2000	—	—	3	不限	敷设 / 修理						
G. Verne号	1983	13 000	127.5	5.37	10	5000	3	5000	12 000	—	—	6	不限	仅有船尾滑轮。						
日本																				
I. 属于 KDD 的船只																				
KDD 丸	1967	6026	113.83	6.3	16	7000	3	1012	2700	70	3.6	3.0	滑槽 4.0	不限	敷设与修理各种类型电话海缆。					
2. 属于 NTT 的船只																				
NTT Tsugaru 丸	1969	1961	84.6	4.60	13.5	4000	1	320	650	50	3.3	2.5	1.8	5000	敷设与修理各种类型电话海缆。					
NTT Kuroshio 丸	1974	3345	119.3	5.60	16.5	6883	3	887	1200	95	3.8	3.0	2.0	不限	用直线式敷缆机敷设。 敷设与修理各种类型电话海缆。					
NTT Setouchi 丸	1979	819	64.8	3.50	12.0	3690	2	139	250	20	2.5	—	1.5	5000	敷设与修理各种类型电话海缆。					
NTT Koyo 丸	1983	1295	74.0	43.50	13.5	4500	2	169	250	20	3.0	2.5	2.0	不限	用直线式敷缆机敷设。 敷设与修理各种类型电话海缆。 (尤其适用于海底光缆)。					

第 1 节 — 海缆船 (续)

船名	建造年分	排水量 (吨)	总长 (m)	吃水 (m)	正常航速 (节)	航程范围 (自给) (海里)	海缆舱数	海缆容量		海缆牵引装置		最大作业深度 (m)	能力							
								海缆		中继器	不能绕线的滑轮									
								立方米 (m ³)	重量 (吨)		船首布 缆鼓轮 (直径) (m)	船尾滑轮 (直径) (m)								
联合王国																				
1. 属于英国 (海上) 电信公司 (<i>British Telecom (Marine) Limited</i>) 的船只																				
<i>Alert</i> 号	1961	9477	130	7.1	14	10 000	3	1509	3100	48	2.98	2.98	不限	用直线式敷缆机敷设与用犁作海底埋设。 敷设 / 修理各种类型的海底同轴电缆与光缆。						
<i>Monarch</i> 号	1975	4639	97	5.5	14	7000	4	417	850	12	3.00	3.00	不限	敷设 / 修理铠装海底同轴电缆与光缆。 修理轻型海底同轴电缆与光缆。 用海底水枪从沟中取缆 / 重埋。						
<i>Iris</i> 号	1976	4639	97	5.5	14	7000	4	417	850	12	3.00	3.00	不限	敷设 / 修理铠装海底同轴电缆与光缆。 修理轻型海底同轴电缆与光缆。						
2. 属于电缆与无线 (海上) 公司 (<i>Cable & Wireless (Marine) Limited</i>) 的船只																				
<i>Retriever</i> 号	1961	5650	112	5.82	13	8000	3	629	1568	11	3.0	3.0	滑槽 3.05	不限 敷设 / 修理铠装海缆。 修理轻装海缆。						
<i>Northern</i> 号	1962	3363	83.5	5.3	10	7200	3	480	1000	3	3.0	3.0	无 3500	仅有船首滑轮, 修理船。						

注 — 仅敷设较短长度的海缆，并仅海岸登陆作业。

第1节 — 海缆船 (续完)

船名	建造年分	排水量 (吨)	总长 (m)	吃水 (m)	正常航速 (节)	航程范围 (自给) (海里)	海缆舱数	海缆容量		海缆牵引装置		最大作业深度 (m)	能力		
								海缆		中继器	不能绕线的滑轮				
								立方米 (m ³)	重量 (吨)		船首滑轮 (直径) (m)	船尾滑轮 (直径) (m)			
Cable Venture号	1962	16 983	153	8.97	12.5	10 000	4+1 (spare)	5086	9000	400	2.80	3.00	3.39	不限	用直线式敷缆机敷设。 敷设与修理铠装与轻装海底同轴电缆。
Mercury号	1962	11 683	144	7.5	14.5	8000	3	2970	3500	144	3.05	3.50	滑槽 3.05	不限	同上
Cable Enterprise号	1964	5759	113	5.84	13	8000	3	887	2150	30	2.8	3.00	滑槽 3.05	不限	敷设/修理铠装海缆。 修理轻装海缆。 (见注)
Cable Protector号	1976	4608	86	4.7	10.0	7200	2	1272	1060	无	无	无	3.00	1000	2.6m 船尾布缆鼓轮与较小的直线式敷缆机 (LCE)。
Pacific Guardian号	1984	7526	116	6.32	14.0	8000	3	1416	3470	96	3.5	3.00	3.00	不限	用直线式敷缆机敷设。 敷设与修理铠装与轻装海底同轴电缆。
美国															
属于 AT & T 的船只															
Charlie Brown号	1952	2881	99.9	5.8	15	7000	3	660	2122	—	3.66	3.66	无数据	不限	修理各种类型电话海缆。 敷设短长度与近岸海缆系统。
Long Lines号	1963	11 326	156	7.9	15	10 000	3	4420	7000	125	3.66	3.05	3.66	不限	敷设/修理各种类型电话海缆。

第2节 — 海缆机械

126

卷Ⅲ. 3-增补 NO. 11

海缆机械类型	排水量 (吨)	总长 (m)	宽度 (m)	高度 (m)	开沟系统	开沟方式	驱动方式	最大作业深度 (m)	能 力
					法国				
海底犁系统	23	9.06	3	2.90	犁铧	用犁开沟，立即埋入海缆 (0.7m深以内)	用拖轮牵引	950	敷设与埋设海缆与小管子。
自推进埋设系统	11.3	5.50	2.45	3.50	开沟轮或链条	将现有海缆埋到 2m深	履带车	150	埋设海缆与管子。
日本									
1. 属于 KDD 的海缆机械									
KS-2 海缆犁	9.3	11.2	2.56	2.0	-	用犁开沟，立即埋入海缆	用拖轮牵引	200	在一个工序中敷设与埋设海缆。
MARCAS 腹带牵引装置	4.7	4.0	3.0	2.15	流体喷嘴	流体喷嘴	履带传动装置	200	把现有海缆放入沟内。
MARCAS-2500	3.6	2.65	1.8	1.9	流体喷嘴	流体喷嘴	2台垂直与4台水平推冲器	2500	敷后埋设海缆、 维护海缆及探测海底。
2. 属于 NTT 的海缆机械									
Mark IV 型犁 海缆埋设系统	16.8	8.4	4.0	4.0	-	开1.5m深以内的沟 用犁开沟，立即埋入海缆	用拖轮牵引	500	同时或敷后埋设海缆。
自推进埋设系统	3.5	3.4	2.3	1.8	流体化与开挖喷嘴、 及挖泥泵	开1.5m深以内的沟 用开挖与流体化 喷嘴	用水喷嘴自行推进	40	把现有海缆放入沟内。

第2节 — 海缆机械 (续)

海缆机械类型	排水量 (吨)	总长 (m)	宽度 (m)	高度 (m)	开沟系统	开沟方式	驱动方式	最大作业深度 (m)	能 力
联合王国									
1. 属于英国电信 (海上) 公司的海缆机械									
海底开沟机	17.0	6.6	4	3.4	流体化与开挖喷嘴、 及挖泥泵	开1m深以内的沟 用开挖与流体化 喷嘴	3台垂直与4台水 平推冲器、履带传 动装置 差速转向	274	将现有的海缆与管子埋入 沟中。
海底犁系统	9.75	6.1	2.6	2.6	轮盘在犁铧之前	用犁开沟，立即埋 入海缆	用拖轮牵引	900	在一个工序中敷设与埋设 海缆、牵引绳与管子、 提供完全的海缆保护。
标准组件的犁系统	40	14	6	4.5	轮盘在犁铧之前	用犁开沟，立即埋 入海缆	用拖轮牵引	350	同时或敷后埋设海缆与 牵引绳、敷后埋设管线。
2. 属于电缆与无线 (海上) 公司的海缆机械									
遥控 海缆机械, <i>Cirrus</i>	3.2	3.5	2.1	2.3	水喷嘴	开沟能力 0.3m	推冲器(7))	1000	可视检查海缆位置 / 检查 / 重埋。操纵。
CWM 海底犁	12.0	7.2	4.0	2.5	受驱动的犁刀片	开沟能力 0.9m	牵引	1000	可控制的回填土能力、 部分增音机埋设。

增 补 No. 14

测量规则性回波损耗的方法

(与建议 G. 623 中的内容有关;
本增补参看桔皮书卷 III.3 第 669 页,
1977 年, 日内瓦)

增 补 No. 18

深水海缆资料

(与 6.3 节中的内容有关; 本增
补参看红皮书卷 III.2 第 313 页, 1985
年, 日内瓦)

增 补 No. 19

数字串音测量 (法国、荷兰及西班牙各主管部门采用的方法)

(与建议 G. 612 中的内容有关;
本增补参看红皮书卷 III.2 第 326 页,
1985 年, 日内瓦)

增 补 No. 33

光纤设计导则的例子

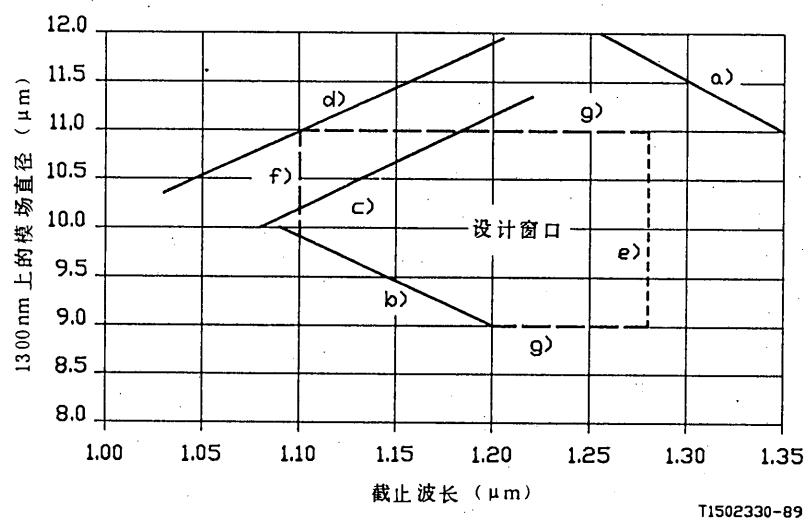
(在日本与联合王国采用的曲线图)

(与建议 G. 652 及 G. 654 中的内容有关)

以下两张曲线图提供两种特定类型光纤特性的概貌。这些曲线图的目的是为未来的光纤使用者在编制光纤规范时给予指导。

在日本与联合王国采用的图 1 中, 对符合建议 G. 652 的匹配包层单模光纤给出了由经验确定的模场直径与截止波长之间的关系, 以 1550 nm 的弯曲损耗性能及在 1285 nm 与 1330 nm 的色散系数作为参变量。叙述了两种 1550 nm 弯曲损耗性能试验, 即建议 G. 652 中的试验 (37.5 mm 半径心轴/100 圈, 最大损耗 1.0 dB) 与联合王国最通常规定的试验 (30 mm 半径心轴/10 圈, 最大损耗 0.2 dB)。

由日本 KDD 采用的图 2 中, 给出了模场直径与截止波长之间的关系, 以 1550 nm 的理论弯曲损耗性能及各种色散系数作为参变量。该资料是为符合建议 G. 654 的匹配包层单模光纤用的。



T1502330-89

- a) 在 1330 nm 上的色散系数 +3.5 ps/nm·km。
- b) 在 1285 nm 上的色散系数 -3.5 ps/nm·km。
- c) 在 30 mm 半径心轴 / 10 圈上，1550 nm 上的弯曲损耗 0.2 dB。
- d) 在 37.5 mm 半径心轴 / 100 圈上，1550 nm 上的弯曲损耗 1.0 dB。
- e) 截止波长 λ_c 的上限 (1280 nm)。
- f) 截止波长 λ_c 的下限 (1100 nm)。
- g) 模场直径的 G.652 极限值 (10 ± 1 μm)。

图 1
匹配包层单模光纤（建议 G.652）用的设计导则

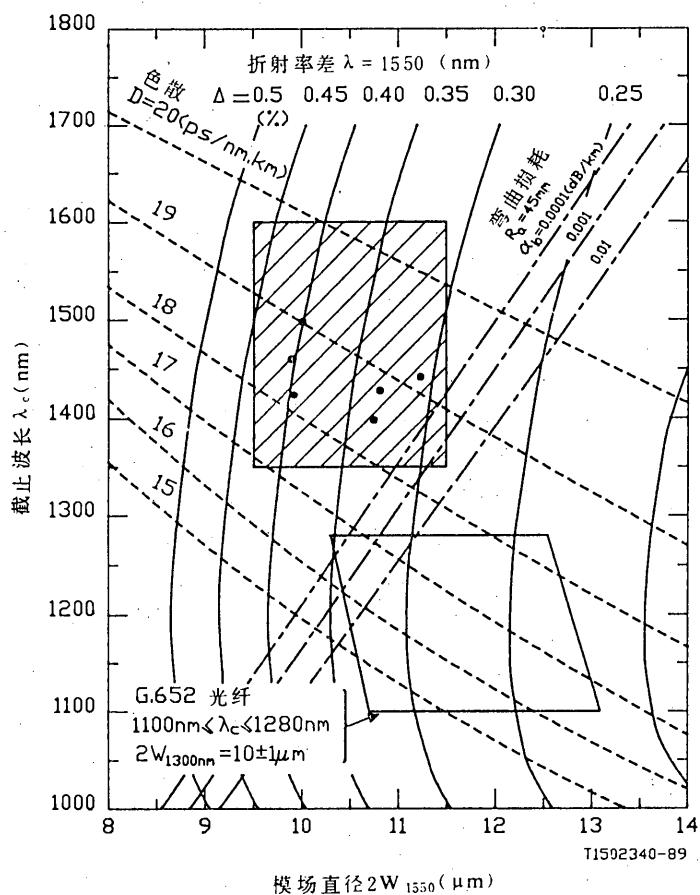


图 2
1550nm 损耗最小的单模光纤 (建议 G. 654) 用的设计导则

中国印刷 ISBN 92-61-03335-0