



国际电信联盟

ITU-T

国际电信联盟
电信标准化部门

G.652

(10/2000)

G系列：传输系统和媒质、数字系统和网络
传输媒质的特性 — 光导纤维缆

单模光导纤维缆的特性

ITU-T 建议书G.652

（前称“CCITT建议书”）

ITU-T G系列建议书
传输系统和媒质、数字系统和网络

国际电话连接和电路	G.100-G.199
所有模拟载波传输系统共有的一般特性	G.200-G.299
金属线路上国际载波电话系统的各项特性	G.300-G.399
在无线接力或卫星链路上传输并与金属线路互连的国际载波电话系统的一般特性	G.400-G.449
无线电话与线路电话的协调	G.450-G.499
测试设备	G.500-G.599
传输介质的特性	G.600-G.699
概述	G.600-G.609
对称电缆线对	G.610-G.619
陆上同轴电缆线对	G.620-G.629
海底电缆	G.630-G.649
光导纤维缆	G.650-G.659
光部件和子系统的特性	G.660-G.699
数字终端设备	G.700-G.799
数字网	G.800-G.899
数字段和数字线路系统	G.900-G.999

如果需要进一步了解细目，请查阅ITU-T建议书清单。

单模光导纤维缆的特性

摘 要

本建议书描述单模光纤和光缆的几何及传输性能，光纤的色散和截止波长没有从1310 nm波长区域位移。定义和试验方法包括在单独的ITU-T建议书G.650中。这里提供这种光纤类型不同子类的建议值表以允许易于参考支持的系统类型。表中描述的子类可能与技术方面或想要应用的方面不同。对光纤和光缆特性都建议了允许的范围。链路特性和系统设计的信息可在附录I中找到。

来 源

ITU-T建议书G.652由ITU-T第15研究组(1997-2000年)修订，并由世界电信标准化全会（2000年9月27日—10月6日，蒙特利尔）批准。

前 言

ITU(国际电信联盟)是联合国在电信领域内的专门机构。ITU-T(国际电信联盟电信标准化部门)是国际电信联盟(ITU)的常设机构。ITU-T负责研究技术的、操作的和资费的问题,并且为实现全世界电信标准化,就上述问题发布建议书。

每4年召开一次的世界电信标准化全会(WTSA)确定ITU-T各研究组的研究课题,然后由各研究组制定有关这些课题的建议书。

ITU-T的成员按照WTSA第1号决议拟定的程序批准建议书。

在ITU-T研究范围内的某些信息技术领域中使用的必要标准是与ISO和IEC共同编写的。

注

在本建议书中,“主管部门”一词是电信主管部门和经认可的运营机构的简称。

知识产权

ITU提请注意:本建议书的应用或实施可能需要使用已声明的知识产权。ITU对有关已声明的知识产权的证据、有效性或适用性不表示意见,无论其是由ITU成员还是由建议书制定过程之外的其他机构提出的。

到本建议书批准之日为止,ITU尚未收到实施本建议书时可能需要的受专利保护的知识产权方面的通知。但是,本建议书实施者要注意,这可能不代表最新信息,因此最好查询TSB专利数据库。

© 国际电联 2005

版权所有。未经ITU书面许可,不得以任何形式或手段,电子的或机械的,包括影印和缩微胶卷等对本出版物的任一部分加以复制或使用的。

目 录

	页
1 范围	1
2 参考文献	1
2.1 规范参考文献	1
2.2 资料性参考文献	2
3 术语和定义	2
4 缩写	2
5 光纤特性	2
5.1 模场直径	2
5.2 包层直径	3
5.3 模场同心度误差	3
5.4 不圆度	3
5.4.1 模场不圆度	3
5.4.2 包层不圆度	3
5.5 截止波长	3
5.6 弯曲损耗	3
5.7 光纤材料性能	4
5.7.1 光纤材料	4
5.7.2 保护材料	4
5.7.3 筛选应力水准	4
5.8 折射率分布	4
5.9 色散的纵向均匀性	4
5.10 色散系数	5
6 光缆特性	5
6.1 衰减系数	5
6.2 偏振模色散系数	5
7 建议值表	6
附录 I — 链路特性和系统设计的信息	9
I.1 衰减	9
I.2 色散	10
I.3 微分群时延 (DGD)	10
I.4 非线性系数	10
I.5 通用典型值表	11
附录 II — 衰减光谱建模	11

	页
附录 III — 矩阵模型的例子	12
附录 IV — 关于偏振模色散统计的信息	14
IV.1 引言	14
IV.2 数据收集	15
IV.3 PMD_Q 的计算(蒙特卡洛统计试验法)	15
IV.4 DGD_{max} 的计算(蒙特卡洛统计试验法)	16
附录 V — 参考资料	16

单模光导纤维缆的特性

1 范围

本建议书叙述单模光纤，其零色散波长在1310 nm附近并对于在1310 nm波长区域使用是最优化的，同时它也可用于1550 nm波长区域(在这个波长区域该光纤不是最优化的)。这种光纤能用于模拟传输和数字传输。

这种光纤的几何、光学、传输与机械参数按以下三类特性叙述于后：

- 即那些通过布缆和安装保留的特性；
- 光缆特性，即传送光缆所建议的；
- 拼接光缆特有的链路特性，描述基于测量、建模或其他考虑的系统接口参数的估计方法。链路特性和系统设计的信息，见附录I。

提供三种建议值表以使得易于参考。第一张表指示光纤和光缆的基本子类 — 适合于ITU-T G.957[5]应用的使用。第二张表包含为高比特率系统 — 例如在ITU-T G.691[3]和ITU-T G.692[4]中可以找到的 — 建议的值和特性。第三张表包含允许ITU-T G.957[5]传输扩展到超过1360 nm的波长区域的值。

注一 依据链路长度，对于一些ITU-T G.691[3]或ITU-T G.692[4]应用代码必须进行色散调节。

在本建议书中所用的各种术语的含义与验证各项特性的测试所要遵循的导则列于ITU-T G.650[1]中。这种光纤的特征(包括相关系数的定义、它们的测试方法和相关值)将在研究和实践过程中提供。

2 参考文献

下列ITU-T建议书和其他参考文献的条款，通过在本建议书中的引用而构成为本建议书的条款。在出版时，所指出的版本是有效的。所有的建议书和其他参考文献都会被修订，使用本建议书的各方应探讨使用下列建议书或其他参考文献最新版本的可能性。当前有效的ITU-T建议书清单定期出版。

2.1 规范参考文献

下列ITU-T建议书的条款，通过在本建议书中的引用而构成本建议书的条款。

- [1] ITU-T G.650 (2000), *Definition and test methods for the relevant parameters of single-mode fibres.*

2.2 资料性参考文献

下列ITU-T建议书的条款，通过在本建议书中的引用而构成其他相关资料。

- [2] ITU-T G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and sub-systems*.
- [3] ITU-T G.691 (2000), *Optical interfaces for single-channel STM-64, STM-256 and other SDH systems with optical amplifiers*.
- [4] ITU-T G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers*.
- [5] ITU-T G.957 (1999), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy*.

3 术语和定义

ITU-T G.650[1]中给出的各项定义都适用于本建议书。在评估适用性之前，其值应四舍五入为建议值表中给出的数字的数量级。

4 缩写

本建议书应用以下缩写：

A_{eff}	有效区域
DGD	微分群时延
DWDM	密集波分复用
GPa	吉帕
n_2/A_{eff}	非线性系数
PMD	偏振模色散
SDH	同步数字序列
TBD	待定的
WDM	波分复用

5 光纤特性

在本节只建议为光纤制造提供一个最低限度的主要设计框架的那些光纤特性。其值的范围或限值在第7节的表中给出。其中，光缆制造或安装可能会显著影响成缆光纤的截止波长和PMD。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。

5.1 模场直径

标称值和其容差都应指定在1310 nm上。规定的标称值应在第7节指定的范围内。规定的容差应不超过第7节中的值。标称值的偏差不应超过规定的容差。

5.2 包层直径

对包层直径所建议的标称值为125 μm 。对容差也做出规定，不应超过第7节中的值。标称值的包层偏差不应超过规定的容差。

5.3 模场同心度误差

模场同心度误差不应超过第7节中规定的值。

5.4 不圆度

5.4.1 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。

5.4.2 包层不圆度

包层不圆度不应超过第7节中规定的值。

5.5 截止波长

能区分出三种有用的截止波长：

- a) 光缆截止波长， λ_{cc} ；
- b) 光纤截止波长， λ_c ；
- c) 跳线光缆截止波长， λ_{cj} 。

注一 对于一些特殊的海底光缆应用，可能也需要其他的光缆截止波长。

λ_c 、 λ_{cc} 以及 λ_{cj} 的实测值的相互关系取决于具体的光纤与光缆设计以及测试条件。虽然通常是 $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$ ，但不容易建立一个通用的定量关系。保证在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。要做到这一点可以通过建议成缆单模光纤的光缆最大截止波长 λ_{cc} 为1260 nm、建议典型跳线器的跳线光缆最大截止波长为1250 nm，或针对最坏情况下的长度和弯曲，建议光纤最大截止波长 λ_c 为1250 nm。

光缆截止波长 λ_{cc} 应小于第7节中规定的最大值。

5.6 弯曲损耗

弯曲损耗随波长、弯曲半径和具有特定半径的轴的圈数的变化而变化。弯曲损耗不应超过第7节中给出的波长、弯曲半径和圈数的最大值。

如果光纤将用于超过1550 nm的波长，最长预测波长上的最大损耗可利用该特定的光纤设计的损耗光谱模型或统计数据库从1550 nm上的损耗测量中估算出来。另外，可在较长的波长上进行一个质量认定试验。

注1 质量认定试验可能足以保证这项要求是得到满足的。

注2 — 圈数建议值符合典型中继器间隔的全部接头套管中所采用的大致圈数。建议半径值是等效于在实际系统安装中为了避免由于光纤长期使用而引起的静态疲劳故障所广泛接受的最小弯曲半径。

注3 — 如果为了实用理由，选择低于圈数建议值来进行试验，则建议不要小于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建议的弯曲半径(例如 $R = 30 \text{ mm}$)，则建议同样的最大损耗值应适用于使用这种较小半径的具有同样圈数值的光纤。

注5 — 弯曲损耗建议值与实际单模光纤的配置有关。在成缆光纤的损耗规范中包括了成缆单模光纤与扭合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，为了精确度和测量容易，可采用一圈或几圈小直径环圈代替建议的圈数试验。在这种情况下，应该选择环圈的直径、圈数以及多圈试验时的最大允许弯曲损耗，以便与建议试验和允许损耗相关联。

5.7 光纤材料性能

5.7.1 光纤材料

应当说明制作光纤所用的材料。

注 — 熔接不同材料的熔接光纤时需要小心。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。

5.7.2 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。

5.7.3 筛选应力水准

规定的筛选应力 σ_p 应当不小于第7节规定的最小值。

注 — 各机械参数的定义包含在建议书G.650[1]的第1.2节与第2.6节。

5.8 折射率分布

光纤的折射率分布通常不需要知道。

5.9 色散的纵向均匀性

在研究中。

注 — 在特定波长上的色散系数本地绝对值与在长波上的测量值不同。如果其值减小到接近于WDM系统中工作波长的波长上的较小值，四波混频线圈可以感应到其他波长(包括但不限于其他工作波长)的功率传播。四波混频功率的量值是色散系数的绝对值、色散斜率、工作波长、光功率和四波混频发生涉及的距离的一个函数。

对1550 nm区域DWDM 的运作，ITU-T G.652光纤的色散足够大，可以避免四波混频。因此，色散均匀性不是一个函数问题。

5.10 色散系数

色散系数D由限制一条色散曲线(它是在1310 nm区域内的波长函数)的参数来定义。对任何波长λ的色散系数限值由最小零色散波长λ_{0min}、最大零色散波长λ_{0max}和最大零色散斜率S_{0max}按下式计算:

$$\frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right]$$

λ_{0min}、λ_{0max}和S_{0max}的值应在第7节规定的范围内。当使用上述值时,上式可用于确定1550 nm区域内色散系数的上限。

注 — 不需要在例行的基础上测量单模光纤的色散系数。

6 光缆特性

因为第5节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,本节将给出主要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。

6.1 衰减系数

在1310 nm和1550 nm波长区域内的一个或多个波长上都规定了衰减系数的最大值。光导纤维缆衰减系数值不应超过第7节中规定的值。

注 — 衰减系数可以根据在少数几个(3至4个)预测波长上的测量值而在一个波长上进行计算。在附录II中描述了这种步骤,并在附录III中给出了一个例子。

6.2 偏振模色散系数

不是所有的表都包括关于PMD的要求。需要时,成缆光纤偏振模色散应依据统计基础而非单个光纤规定。要求仅与从光缆信息中计算出来的链接方向有关。统计规范的度量可在以下找到。计算的方法可在IEC 61282-3[B.1]中找到,并在附录IV中归纳。

制造商应采用PMD链接设计值PMD_Q,它是作为M光缆段的规定的可能链接内的拼接光导纤维缆的PMD系数的统计上限值。该上限值根据小的可能性级别Q定义,Q指的是拼接PMD系数值超过PMD_Q的可能性。对于在第7节中给出的M和Q值,PMD_Q值不应超过第7节规定的最大PMD系数。

在设计 and 处理稳定、未成缆和成缆光纤的PMD系数之间的关系已知的情况下,未成缆光纤的测量结果用于生成成缆光纤的统计值。如果已经表明了这样一种关系,那么布缆者可以有选择地规定未成缆光纤的最大PMD值。

PMD系数值的分布限值可以解释为等效于对随着时间和波长随机变化的微分群时延(DGD)的统计变量的限值。如果光导纤维缆已规定了PMD系数分布，那么也可以确定DGD变量的等效限值。DGD分布限值的度量和值可在附录I中找到。

7 建议值表

下列表概括了满足本建议书目标的大量光纤类别的建议值。

表1 包括支持例如在ITU-T G.957[5]和ITU-T G.691[3]直至STM-16中建议的应用所需的建议属性和值。

表2包括支持高比特率应用直至STM-64 (例如一些在ITU-T G.691[3]和ITU-T G.692中的应用所需的建议属性和值。

表3 允许 ITU-T G.957[5]在1310 nm 到1550 nm的扩展区域内的部分传输。

表1/G.652—G.652.A

单模光导纤维缆的基本子类 - 适用于ITU-T G.957[5]和ITU-T G.691[3]直至STM-16中的传输系统。		
光纤特性		
特 性	详 情	值
模场直径	波长	1310 nm
	标称值范围	8.6-9.5 μm
	容差	$\pm 0.7 \mu\text{m}$
包层直径	标称值	125.0 μm
	容差	$\pm 1 \mu\text{m}$
模场同心度误差	最大值	0.8 μm
包层不圆度	最大值	2.0%
光缆截止波长	最大值	1260
弯曲损耗	半径	37.5 mm
	圈数	100
	在 1550 nm 区域的最大值	0.50 dB
筛选应力	最小值	0.69 GPa
色散系数	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.093 ps/nm ² · km
光缆特性		
特 性	详 情	值
衰减系数	波长	
	在 1310 nm 区域的最大值	0.5 dB/km
	在 1550 nm 区域的最大值	0.4 dB/km

表2/G.652—G.652.B

单模光导纤维缆的子类适用于ITU-T G.957[5]、ITU-T G.691[3]和ITU-T G.692[4]直至STM-64中的传输系统。通常需要为在1550 nm波长区域内的高比特率传输调节色散。		
光纤特性		
特性	详情	值
模场直径	波长	1310 nm
	标称值范围	8.6-9.5 μm
	容差	$\pm 0.7 \mu\text{m}$
包层直径	标称值	125.0 μm
	容差	$\pm 1 \mu\text{m}$
模场同心度误差	最大值	0.8 μm
包层不圆度	最大值	2.0%
光缆截止波长	最大值	1260 nm
弯曲损耗	半径	37.5 mm
	圈数	100
	在 1550 nm 区域的最大值	0.50 dB
	在 16XX nm 区域的最大值(注 1)	0.50 dB
筛选应力	最小值	0.69 GPa
色散系数	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.093 ps/(nm ² km)
未成缆光纤 PMD 系数	最大值	ps/ $\sqrt{\text{km}}$ (注 2)
光缆特性		
衰减系数	在 1310 nm 区域的最大值	0.4 dB/km
	在 1550 nm 区域的最大值	0.35 dB/km
	在 16XX nm 区域的最大值(注 1)	0.4 dB/km
PMD 系数	M	20 根光缆
	Q	0.01%
	PMD _Q 的最大值 (注 2)	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
注1 — 该波段的上限波长还没有完全确定。然而, XX小于或等于25 nm。		
注2 — 如果对于特定的光缆结构已经指定了光缆PMD _Q , 那么可以由布缆者指定一个未成缆光纤的选择的最大PMD系数, 以支持光缆PMD _Q 的主要要求。		

表3/G.652—G.652.C

<p>单模光导纤维缆的子类适用于ITU-T G.957[5]、ITU-T G.691[3]和ITU-T G.692[4]直至STM-64中的传输系统。通常需要为在1550 nm波长区域内的高比特率传输调节色散。该子类也允许ITU-T G.957[5]在高于1360 nm 和低于1530 nm波长的波段的部分传输。在这个扩展区域的色散可能会对最大链路长度或调节性需要强加要求。</p>		
光纤特性		
特性	详情	值
模场直径	波长	1310 nm
	标称值范围	8.6-9.5 μm
	容差	$\pm 0.7 \mu\text{m}$
包层直径	标称值	125.0 μm
	容差	$\pm 1 \mu\text{m}$
模场同心度误差	最大值	0.8 μm
包层不圆度	最大值	2.0%
光缆截止波长	最大值	1260 nm
弯曲损耗	半径	37.5 mm
	圈数	100
	在 1550 nm 区域的最大值	0.50 dB
	在 16XX nm 区域的最大值(注 1)	0.50 dB
筛选应力	最小值	0.69 GPa
色散系数	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.093 ps/(nm ² km)
未成缆光纤 PMD 系数	最大值	ps/ $\sqrt{\text{km}}$ (注 2)
光缆特性		
衰减系数	在 1310 nm 区域的最大值	0.4 dB/km
	在 yyyy nm 区域的最大值(注 3)	(注 4)
	在 1500 nm 区域的最大值	0.35 dB/km
	在 16XX nm 区域的最大值(注 1)	0.4 dB/km
PMD 系数	M	20 根光缆
	Q	0.01%
	PMD _Q 的最大值	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

表3/G.652—G.652.C(续)

注1 — 该波段的上限波长还没有完全确定。然而，XX小于或等于25 nm。

注2 — 如果对于特定的光缆结构已经指定了光缆PMD_Q,那么可以由布缆者指定一个未成缆光纤的选择的最大PMD系数,以支持光缆PMD_Q的主要要求。

注3 — 建议波长yyyy满足1383 nm ≤ yyyy ≤ 1480 nm,这一点买卖双方都达成了协议。如果规定了水的峰值波长(1383 nm),那么更短和更长的波长可能用于扩展区域。如果规定的值大于水的峰值波长,那么就只有比yyyy长的波长才可能用于扩展波长。

注4 — 依据与B1.3光纤类别的IEC 60793-2(也见附录V[B.2]),在yyyy nm波长处的采样衰减平均值应小于或等于氢老化后在1310 nm处的规定值。

附录 I

链路特性和系统设计的信息

一个拼接链路通常包括一定数量的光导纤维的接头制造长度。制造长度的各项要求在本建议书第5节和第6节给出。拼接链路的传输参数必须不仅考虑单根光纤长度的性能,而且还要考虑拼接统计量。

制造长度内光导纤维的传输特性会有一些的概率分布,如果要取得最经济的设计,时常需要考虑这种概率分布。阅读本附录中下面几个小节的内容时都要想到各项参数的统计性质。

链路特性受一些因素的影响,而不像光缆光纤受例如接头、连接器和安装等的影响。这些因素未在本建议书中规定。为了估计链路特性值,在以表格中提供了光导纤维的典型值。链路设计所需要的光纤参数的估计方法基于测量、建模或其他考虑提供。

I.1 衰减

链路的衰减A由下式给出:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

式中:

α = 在链路中光导纤维的典型衰减系数;

α_s = 平均接头损耗;

x = 在链路中接头的数目;

α_c = 线路连接器的平均损耗;

y = 在链路中线路连接器(如果装有的话)的数目;

L = 链路长度;

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。第I.5节中可以找到光导纤维衰减系数的典型值。在设计实际系统时所采用的衰减预算中,应该考虑这些参数的统计变化。

I.2 色散

以ps/nm表示的色散能从制造长度的色散系数计算出来，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(见第5.10节)。

当这些光纤用于在1550 nm波长区域传输时，通常采用某些形式的色散补偿。在这种情况下，设计时要用到平均链路色散。在1550 nm视窗内测得的色散可以在1550 nm视窗内用与波长的线性关系来描绘。这个关系用典型的色散系数和1550 nm波长上的色散斜率系数描述。

在1550 nm波长区域内的色散系数 D_{1550} 和色散斜率系数 S_{1550} 的典型值在第I.1节中找到。这些值和链路长度 L_{Link} 可用于在光纤链路设计中计算典型色散。

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \quad (\text{ps/nm})$$

I.3 微分群时延(DGD)

微分群时延是两种极化模式的到达时间对一个特定波长和时间的微分。对于具有PMD系数的链路，链路的DGD随着时间和波长的变化随机变化，例如麦克斯韦分布就包含一个单独的参数，该参数是链路的PMD系数的结果，也是链路长度的平方根。PMD在特定时间和波长产生的系统损伤取决于在该时间和波长的DGD。因此，由于DGD分布与光导纤维PMD分布系数有关，建立关于DGD分布有用的限制和其限值的方法已在IEC 61282-3[B.1]中详细阐述和记载，并在附录IV中归纳。DGD分布限值的度量表示如下：

注一 元素而非光导纤维的分布的确定超出了本建议书的范围，在IEC 61282-3[B.1]中讨论。

参考链路长度 L_{Ref} ：最大DGD和概率将适用的最大链路长度。对于更长的链路长度，用最大DGD乘以实际长度与参考长度的比率的平方根。

典型最大光缆长度 L_{Cab} ：当拼接的典型单根光缆或在确定PMD系数分布时测量的光缆长度小于这个值时，最大值可以确保。

DGD最大值 DGD_{max} ：在考虑光纤系统设计时可能使用的DGD值。

最大概率PF：实际DGD值超过 DGD_{max} 的概率。

第I.5节包含适用于遵循表2和表3中建议的统计PMD限值的光导纤维的这些度量值。

I.4 非线性系数

关于由非线性光纤效应(见ITU-T G.663[2])引起的系统损伤，色散效应和非线性系数 n_2/A_{eff} 是交互的(见ITU-T G.663[2])。典型值与实际得到的值不同。非线性系数的测试方法有待进一步研究。

I.5 通用典型值表

根据第I.1、I.2、I.3节，下表中的值代表拼接光导纤维缆。

衰减系数	波长区域	典型链路值
	1260 nm-1360 nm	0.5 dB/km
	1530 nm-1565 nm	0.28 dB/km
	1565 nm-16XX nm(注 1)	0.35 dB/km
色散系数	D ₁₅₅₀	17 ps/nm km
	S ₁₅₅₀	0.056 ps/nm ² · km
微分群时延(注 2)	参考链路长度	400 km
	典型最大光缆段长度	10 km
	DGD 最大值	25 ps
	最大概率	6.5 · 10 ⁻⁸
注1 — 该波段的最大波长还没有完全确定。然而，XX小于或等于25 nm。		
注2 — 只有当规定了表2和表3中的成缆PMDQ值，这些值才适用。		

附录 II

衰减光谱建模

在一个波段内的光纤衰减系数可以用特性矩阵M与矢量v来计算。矢量v包含在少数几个(3至5个)预测波长(例如1300 nm、1330 nm、1370 nm、1380 nm和/或1550 nm)上测得的衰减系数。矩阵M乘上矢量v得到另一个矢量w，而矢量w可预测许多波长上(诸如从1 240 nm到1 600 nm每隔10 nm的各个波长)的衰减系数。

给出矩阵 M 如下：

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mn} \end{pmatrix}$$

此处m是需要估算衰减系数的波长数量，n 是预测波长的数量。然后矩阵M乘以矢量v(n元)，而矢量v包含具体光纤的各实测衰减系数：乘积是一个新矢量w(m元)，它在给定的范围内给出衰减系数的估计值，即：

在这个通用矩阵中的各个数值在研究之中。实际的和预测的各衰减系数之间差值的标准偏差在第二窗口优于0.xx dB/km，在第三窗口优于0.yy dB/km。xx与yy的数值在研究之中。

另外，光纤供应厂商还可以提供一个比通用矩阵更精确地描述该厂生产的光纤的特定矩阵，应当标出实际的和预测的各值之间差值的标准偏差。一个说明特定矩阵的例子列于附录II中。

由于光纤衰减光谱依赖于制造过程，通用矩阵仅能粗略地估算衰减系数。有时加上另一个由各光纤供应厂商给出的合适的修正矢量 e 就能得到一个更好的近似值。因而估算的衰减系数是 w 矢量的各元：

$$w = M \cdot v + e$$

如果利用供应厂商特定的或光纤类型特定的矩阵 M 来得出估算，则不需要修正矢量 e 。

M 和 e 的各元都是在统计基础上得到的，因此应当把 w 矢量各元理解为统计性的。为了指示所预测的衰减系数的精度，光纤供应厂商在给出 M 和/或 e 的矢量的同时再给出一个矢量，它包含在两个窗口中实际的和预测的衰减系数之间的差值的标准差。

注1 — 为了方便地使用这种矩阵，应当在预测波长上例行地测试光纤，则预测波长数应当为3至5个，而且如果可以达到足够的精确度，较少的个数更为可取。具体的波长（例如1300 nm、1330 nm、1370 nm、1380 nm和/或1550 nm）是一个要进一步研究的项目。

注2 — 这种模型仅考虑未成缆光纤的衰减。为了考虑光纤成缆影响与环境影响必须把一个附加矢量加到 w 上。

附录 III

矩阵模型的例子

以下是一个 $m \times n = 38 \times 3$ 矩阵的例子。请注意这是仅为说明目的而给出的例子。如果要使用1310 nm、1380 nm和1550 nm作为预测波长在1240 nm到1600 nm波长范围内(每隔10 nm)来估算光纤衰减光谱，下例是已被证实适用¹于某些ITU-T G.652光纤的矩阵各元：

¹ HANSON(T.A.):Spectral Attenuation Modelling with Matrix Models,*Conference Digest NPL Optical Fibre Measurement Conference(OFMC'91)*,pp.8-11,York,United Kingdom,1991。

输出波长 (μm)	预测波长		
	1310 nm	1380 nm	1550 nm
1.23	1.46027	-0.04235	-0.20771
1.24	1.35288	-0.01493	-0.13289
1.25	1.31704	-0.00412	-0.14768
1.26	1.26613	-0.00997	-0.13715
1.27	1.20167	-0.00843	-0.10635
1.28	1.14970	-0.01281	-0.06363
1.29	1.11290	-0.01059	-0.06245
1.30	1.03600	-0.00711	0.00711
1.31	0.96276	0.00342	0.05412
1.32	0.90437	0.01435	0.08572
1.33	0.86168	0.02098	0.11776
1.34	0.83194	0.05500	0.05849
1.35	0.73415	0.08336	0.14196
1.36	0.83266	0.11032	-0.10694
1.37	0.69137	0.22596	-0.05961
1.38	0.01006	0.99798	-0.01126
1.39	-0.25502	0.94764	0.48887
1.40	0.00227	0.58463	0.51813
1.41	0.25780	0.33834	0.40811
1.42	0.29085	0.20419	0.49620
1.43	0.29329	0.13569	0.54995
1.44	0.33133	0.09266	0.51936
1.45	0.31608	0.06343	0.55905
1.46	0.24183	0.04483	0.68361
1.47	0.29207	0.03019	0.59222
1.48	0.19214	0.02196	0.75669
1.49	0.18650	0.01132	0.76122
1.50	0.21242	0.00541	0.70722
1.51	0.16884	0.00648	0.75347
1.52	0.11484	-0.00091	0.84972
1.53	0.09334	0.00419	0.85304
1.54	0.07231	-0.00021	0.88512
1.55	0.03111	-0.00115	0.94957
1.56	0.07054	-0.00321	0.87414
1.57	-0.03723	-0.01127	1.08140
1.58	-0.02543	0.00556	1.01041
1.59	-0.01370	0.00457	0.99389
1.60	-0.06916	-0.00107	1.11623

附录 IV

关于偏振模色散统计的信息

提供本附录用于为PMD概括一些统计性计算。IEC 61282-3[B.1]更完整地记载了这些计算和理论。这将在下列节中给出：

IV.1 引言

IV.2 数据收集

IV.3 PMD_Q的计算(蒙特卡洛统计试验法)

IV.4 DGD_{max}的计算(蒙特卡洛统计试验法)

注一 IEC 61282-3[B.1]也允许并定义了其他的计算方法。这里给出蒙特卡洛统计试验法是因为它最容易描述。

IV.1 引言

偏振模色散(PMD)是一个统计特性，对于给定的光纤，它定义为穿过一定范围波长的测得的微分群时延(DGD)的平均值。由于DGD值是随时间和波长随机变化的，对报道的PMD值可获得的能再现的理论上的更低限制大约在±15%。这个性质暗指它不适合于选择单根光纤或光缆来制订比过程性能更严格的规范。这样的选择通常适合于决定论的属性例如衰减而不适合于PMD。这意味着关于整个过程的分布是最合理的。

关于PMD的功能，考虑的第二点是在给定时间和波长内的系统损伤是由DGD值控制的，该DGD值则随着PMD值的变化统计地变化。如果给定了特定成缆光纤的PMD值，那么就可以计算DGD超出给定值的概率。然而很清楚的是，这些公式对于规定的最大值的应用将产生实际系统性能的非常模糊的观念。但是，PMD的统计规范会生成对于整个人口的DGD值的统计范围。这个范围用概率定义，生成一个在系统设计中使用的值，该值比无统计性规范中得到的值小，这里所指的系统设计在DGD值上大约低20%和在概率上低两个数量级。

首要的考虑是希望为在光导纤维缆中测得的PMD值的分布定义一个简单的统计度量。因此度量必须包括进程方法和进程可变性两个方面。一些概率等级的置信上限也是这样一种度量。

已经知道可以通过计算单根光缆的PMD系数的正交平均来估计一套拼接光缆的PMD系数。从应用的观点来看，为了给置信上限度量更多的含义，计算20根光缆的拼接链路上限。这个光缆数目小于多数链路中使用的数目，但从表示拼接链路的DGD分布来看，它已足够大，有重要的意义了。0.01%的概率值也是标准化的——一部分是基于与DGD超过一个限值(这个值必须非常低)的概率相等。置信上限被称为PMD_Q或链路设计值，该规范类型称为方法1。

根据不同系统的考虑，包括可能在链路中的其他PMD生成元素的存在，DGD的概率限制在 $6.5 \cdot 10^{-8}$ 。IEC 61282-3描述了一种确定最大值(用概率定义)的方法，以使得如果分布超过了方法1的要求，那么跨越仅由光导纤维缆组成的链路的DGD将超过DGD最大值的概率小于 $6.5 \cdot 10^{-8}$ 。要为一系列范围的分布形状确定一个DGD_{max}值。已知规定光导纤维缆的PMD分布的这种DGD_{max}方法为方法2。在IEC 61282-3中给出综合方法2参数和其他光纤元素的参数的方法。

方法1是一种基于测量什么的衡量标准，因此作为规范要求，在贸易和商业中极其明确地使用。方法2是推断系统设计含义的一种手段，因此作为系统设计的信息包括在内。

IV.2 数据收集

用代表给定光缆结构和制造时期的 PMD 值来计算。一般至少需要100个值。采样通常要把不同结构的光缆和不同的光纤位置考虑在内。

只要对于给定的结构，未成缆光纤和光缆值之间的关系稳定，那么未成缆光纤的测量值就可能使光缆分布扩大。这种扩大的方法之一是从每个未成缆光纤值中生成几个可能的光缆值。应当随机地选择这些值来代表通常的关系和可变性(例如随着测量可再现性变化的可变性)。因为变量的范围包括可再现性错误，因此这种估计光缆PMD值分布的方法可能导致高估PMD_Q。

测得的采样长度看起来和方法2的推论有关。这一点已经着手研究，得出下列结论。方法2含义对任何小于400 km的链路都有效，只要：

- 安装的光缆小于10 km，或
- 测得的长度小于10 km。

IV.3 PMD_Q的计算(蒙特卡洛统计试验法)

IEC 61282-3中给出其他的计算方法。这里描述蒙特卡洛统计试验法是因为其最容易描述，而且使用的假设最少。

测得的PMD系数值由x_i表示，i从 1 到N，N为测量数。这些值用于生成100 000个拼接链路PMD系数值，其中每个值用随机从大量采样中选择的20个单根光缆值的正交平均计算。

注一 当N= 100时，有5.3 • 10²⁰个可能的链路值。

为计算每个链路值，选择从1到N的20个随机数。选择这些值，用索引号k标注。链路PMD系数y用下式计算：

$$y = \left(\frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} x_k^2 \right)^{1/2} \quad (\text{IV-1})$$

在计算这些值时，收集100 00个值放入一个高密度的矩阵图。当计算结束时，从矩阵图中计算累积概率函数，并确定相关于99.99%的PMD值。报告这个值，作为PMD_Q。如果算得的PMD_Q小于规定值(0.5 ps/sqrt(km))，那么分布超出方法1。

IV.4 DGD_{max}的计算(蒙特卡洛统计试验法)

该种计算建立于PMD_Q的计算上。在计算中，预定了DGD_{max}的值(为25 ps)，并计算超过该值的概率P_F。如果计算出的概率小于规定值(6.5 · 10⁻⁸)，那么分布超过方法2。

在开始进行蒙特卡洛统计试验法之前，用下式计算PMD系数限值P_{max}：

$$P_{\max} = \frac{DGD_{\max}}{\sqrt{L_{\text{ref}}}} = \frac{25}{20} = 1.25$$

对于20光缆链路拼接值y_{2j-1}和y_{2j}，40光缆拼接值z_j由下式生成：

$$z_j = \left(\frac{y_{2j-1}^2 + y_{2j}^2}{2} \right)^{1/2} \quad (\text{IV-2})$$

注一 这样生成了50 000个z_j值，数目足够多。

用下式计算超过在40链路中的第j个拼接点上的DGD_{max}的概率p_j：

$$p_j = 1 - \int_0^{P_{\max}/z_j} 2 \left(\frac{4}{\pi} \right)^{3/2} \frac{t^2}{\Gamma(3/2)} \exp \left[-\frac{4}{\pi} t^2 \right] dt \quad (\text{IV-3})$$

Excell™定义了可以用于计算p_j的函数，GAMMADIST(X,ALPHA,BETA,Cumulative)。

对该函数的要求应该是：

$$PJ = 1 - \text{GAMMADIST}(4 * PMAX * PMAX / (\pi() * ZI * ZI), 1.5, 1, \text{TRUE}) \quad (\text{IV-4})$$

超过DGD_{max}的概率P_F由下式给出：

$$P_F = \frac{1}{50000} \sum_j p_j \quad (\text{IV-5})$$

如果概率P_F小于规定值，分布超过方法2。

附录 V

参考资料

- [B.1] IEC 61282-3: work in progress, *Guidelines for the Calculation of PMD in Fibre Optic Systems*.
- [B.2] IEC 60793-2(86/A/563/CDV): work in progress, *Optical fibres – Part 2: Product specifications*.

ITU-T 建议书系列

A系列	ITU-T工作的组织
B系列	表述方式：定义、符号和分类
C系列	综合电信统计
D系列	一般资费原则
E系列	综合网络运行、电话业务、业务运行和人为因素
F系列	非话电信业务
G系列	传输系统和媒质、数字系统和网络
H系列	视听及多媒体系统
I系列	综合业务数字网
J系列	电视、声音节目和其他多媒体信号的传输
K系列	干扰的防护
L系列	电缆和外部设备其他组件的结构、安装和保护
M系列	TMN和网络维护：国际传输系统、电话电路、电报、传真和租用电路
N系列	维护：国际声音节目和电视传输电路
O系列	测量设备技术规程
P系列	电话传输质量、电话安装及本地线路网络
Q系列	交换和信令
R系列	电报传输
S系列	电报业务终端设备
T系列	远程信息处理业务的终端设备
U系列	电报交换
V系列	电话网上的数据通信
X系列	数据网和开放系统通信
Y系列	全球信息基础设施和互联网的协议问题
Z系列	用于电信系统的语言和一般软件问题