

国 际 电 信 联 盟

ITU-T

国际电信联盟
电信标准化部门

G.655

(03/2006)

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

非零色散位移单模光纤和光缆的特性

ITU-T G.655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
在无线电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
无线电与线路电话的协调	G.450-G.499
传输媒质的特性	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
服务质量和性能——一般和与用户相关的概况	G.1000-G.1999
传输媒质的特性	G.6000-G.6999
经传送网的数据——一般概况	G.7000-G.7999
经传送网的以太网概况	G.8000- G.8999
接入网	G.9000- G.9999

如果需要进一步了解细目，请查阅ITU-T建议书清单。

ITU-T G.655建议书

非零色散位移单模光纤和光缆的特性

摘 要

本建议书描述单模光纤的几何、机械及传输性能，其色散系数绝对值在从1530 nm到1565 nm 的全部波长范围内大于某一非零色散数值。这个色散抑制了在密集波分复用系统中特别有害的非线性效应的增长。本修订版是1996年发布的一个建议书的最新版本。本修订版在表D和表E中新增了两类单模光纤。在1460 nm 至 1625 nm波长范围内，这两类光纤通过一对针对波长的限制性曲线来限制色散系数。尽管在波长小于1530 nm时色散可改变正负号，但加入这些更低波长的目的是提供信息，以便在高于1471 nm的信道支持不具备显著非线性损伤的粗波分复用应用。这些表格可用来区分由多家制造商支持的两大类G.655光纤。表A、B和C未作变更。本版建议书未包含表A和B，2003年版中则包含。

来源

ITU-T G.655建议书由ITU-T第15研究组(2005-2008年)按照ITU-T A.8建议书中的程序于2006年3月29日批准。

1996 第1版

10/2000 第2版。本版增加了系统支持的不同等级的表格。

03/2003 第3版。按照对光谱带达成的一致意见，把L带的上限从16xx变更为1625 nm。术语基本子类别和子类别已经分别改为基本类别和类别。为所有类别增加了PMD 要求以及两种类别降低了限值（相比0.5ps/√km而言）。对宏弯测试，心轴直径改为 30 mm半径。如上所述，本建议书历年来有了显著的发展，因此提醒读者，根据产品生产年代，考虑相应版本以确定在用产品的特性。事实上，产品在制造时符合当时有效的建议书，但可能不完全符合该建议书的后续版本。

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。

WTSA第1号决议拟定了批准ITU-T建议书的程序。

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。

本建议书为自愿遵守，但建议书可能包含某些特定的强制性条款（以确保互操作性或适用性），只有满足所有此类强制性条款时，才可实现对建议书的遵守。“应”或一些其他有义务含义的语言（如“必须”）及其否定形式被用于表达特定要求。使用此类词汇不表示要求各方均遵守本建议书。

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。

到本建议书通过之日为止，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，因此强烈敦促本建议书的实施者查询电信标准化局专利数据库。

©国际电联2006

版权所有。未经国际电联事先书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

目 录

	页
1 范围	1
2 参考文献	2
2.1 规范参考文献	2
2.2 资料性参考文献	2
3 术语和定义	2
4 缩写	3
5 光纤属性	3
5.1 模场直径	3
5.2 包层直径	3
5.3 模场同心度误差	3
5.4 不圆度	3
5.5 截止波长	4
5.6 宏弯损耗	4
5.7 光纤材料性能	4
5.8 折射率分布	5
5.9 色散的纵向均匀性	5
5.10 色散系数	5
6 光缆属性	6
6.1 衰减系数	6
6.2 偏振模色散 (PMD) 系数	6
7 建议值表	7
附录 I — 链路属性和系统设计信息	11
I.1 衰减	11
I.2 色散	11
I.3 微分群时延 (DGD)	12
I.4 非线性系数	12
I.5 普通典型值表	12
I.6 实现示例	13
I.7 表 D 和 E 的色散系数限值	13
附录 II — 参考资料	17

非零色散位移单模光纤和光缆的特性

1 范围

本建议书介绍其色散系数绝对值在大于1550 nm的全部波长范围内大于某一非零色散数值的单模光纤。这个色散抑制了在密集波分复用（DWDM）系统中特别有害的非线性效应的增长。

当波长较低时，色散系数可越过零值，但可对这些波长上的色散系数值做出规定，以便支持不会因非线性效应产生显著损伤的粗波分复用系统（CWDM）。

这些光纤原计划用于所规定的1530 nm和1565 nm之间区域中的波长。相关规定业已出台，以支持在高达1625 nm的较高波长和低至1460 nm的较低波长上进行传输。

在第7节中，表D和E对由多家制造商支持并实施的两大类G.655光纤进行了区分。表A、B和C可用来对其他实施情形加以定义。表A和B不在本出版物中，但可在本建议书的2003年版中找到。

以下三类属性对几何、光学、传输和机械参数做了描述：

- 光纤属性为在成缆过程和安装过程中一直保持的属性；
- 光缆属性为光缆交付使用时建议的属性；
- 链路属性为拼接光缆的特性，根据测量值、建模或其他考虑因素说明而评价系统接口参数的估算方法。链路属性和系统设计信息见附录I。

本建议书，以及第7节各表格中规定的不同性能类别，旨在支持下列相关系统建议书：

- ITU-T G.691建议书；
- ITU-T G.692建议书；
- ITU-T G.693建议书；
- ITU-T G.695建议书；
- ITU-T G.696.1建议书；
- ITU-T G.698.1建议书；
- ITU-T G.957建议书；
- ITU-T G.959.1建议书。

本建议书包括可以覆盖广泛应用的综合光纤设计。今后可能考虑重新规划。但是特性不同的各光纤的系统兼容性未被证实，将它们同时应用于一个系统中时通常可能有问题，应在用户和制造商之间预先达成共识。

本建议书所用术语的含义与验证各项特性的测试所要遵循的指导原则在ITU-T G.650.1和G.650.2建议书中给出。这种光纤的特性，包括相关参数的定义、其测试方法和相关值，将会随着研究的进展和经验的获得而得到细化。

2 参考文献

2.1 规范参考文献

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面临修订，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。本建议书中引用某个独立文件，并非确定该文件具备建议书的地位。

- ITU-T Recommendation G.650.1 (2004), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable*.
- ITU-T Recommendation G.650.2 (2005), *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable*.

2.2 资料性参考文献

- ITU-T Recommendation G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems*.
- ITU-T Recommendation G.691 (2006), *Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers*.
- ITU-T Recommendation G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers*.
- ITU-T Recommendation G.693 (2006), *Optical interfaces for intra-office systems*.
- ITU-T Recommendation G.694.1 (2002), *Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid*.
- ITU-T Recommendation G.695 (2005), *Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications*.
- ITU-T Recommendation G.696.1 (2005), *Longitudinally compatible intra-domain DWDM applications*.
- ITU-T Recommendation G.698.1 (2005), *Multichannel DWDM applications with single-channel optical interfaces*.
- ITU-T Recommendation G.957 (2006), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy*.
- ITU-T Recommendation G.959.1 (2006), *Optical transport network physical layer interfaces*.

3 术语和定义

就本建议书而言，ITU-T G.650.1和G.650.2建议书中给出的定义适用。在评估一致性之前，其值应舍入到建议值表中给出的位数。

4 缩写

本建议书采用下列缩写：

A_{eff}	有效区域
CWDM	粗波分复用
DGD	微分群时延
DWDM	密集波分复用
GPa	吉帕
PMD	偏振模色散
PMD _Q	PMD链路的统计参数
SDH	同步数字系列
TBD	待定
WDM	波分复用

5 光纤属性

本节只对为光纤制造提供最基本的设计框架的那些光纤特性提出建议。其值的范围和限值在第7节的表中给出。其中，截止波长和PMD可能会受到光缆制造或安装的显著影响。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

标称值及其容差均应在1 550 nm上规定。规定和标称值应在第7节指定的范围内。规定的容差应不超过第7节中的值。标称值的偏差应不超过规定的容差。

5.2 包层直径

对包层直径所建议的标称值为125 μm 。容差也做了规定，并应不超过第7节中的值。包层标称值的偏差应不超过规定的容差。

5.3 模场同心度误差

模场同心度误差应不超过第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

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 — 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} 和 λ_{cj} 的实测值的相互关系取决于具体的光纤和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。在最小工作波长上保证在接头之间最小的光缆长度中的单模传输是头等重要的。要做到这一点, 对于成缆单模光纤的光缆截止波长 λ_{cc} 建议取1 480 nm的最大值、或者对于典型跳线器的跳线光缆截止波长 λ_{cj} 建议取1 480 nm的最大值, 或者对于最坏情况下的长度和弯曲建议光纤截止波长 λ_c 取1 470 nm的最大值。

光缆截止波长 λ_{cc} 应不超过第7节中规定的最大值。

5.6 宏弯损耗

宏弯损耗随波长、弯曲半径和在特定半径的心轴上的圈数的变化而变化。对于规定的波长、弯曲半径和圈数, 宏弯损耗应不超过第7节中给出的最大值。

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 — 圈数建议值相当于典型中继距离的全部接头套管中所采用的大致圈数。建议的半径值等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 — 如果出于实际考虑选择低于圈数建议值来进行试验, 则建议不要少于40圈, 并使用一个按比例减少的附加损耗。

注4 — 宏弯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5 — 假如需要例行试验, 为了1 550 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实验相关联。

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 — 熔接不同材料的光纤时需要小心。初步的结果表明, 当熔接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G.650.1建议书的第3.2.3与第5.6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 — 在特定的波长上，色散系数局部绝对值会与大长度上的测量值不同。在接近WDM系统某个工作波长的波长上，如果色散系数的值降至较低，则四波混频线圈可以感应到其他波长的功率传播，包括其他工作波长，但又不限于此。四波混频功率的幅度是色散系数的绝对值、色散斜率、工作波长、光功率和四波混频涉及的距离的函数。

5.10 色散系数

色散系数 D 总是在一定波长范围内加以规定。ITU-T G.650.1建议书提出了测量方法。规定限值时可采用两种方法，最初采取的方法是一种类似于框架的规范，而较新的一种方法则将色散系数值用一对曲线加以限定。

注1 — 色散均匀性应与系统运行一致。

注2 — WDM系统设计规定了色散要求，这些要求必须权衡一阶色散与各种非线性效应的关系，如四波混频、交叉相位调制、调制不稳定性、受激布里渊散射和孤子的形成（参见ITU-T G.663建议书）。色散的效果与光纤非线性交互作用，由非线性系数描述。

注3 — 一般情况下不必经常测量色散系数。

5.10.1 原始规范表

本规范表适用于第7节中的表C以及本建议书2003年版中的表A和B。

通过规定允许的色散系数绝对值的范围，规定在一定的波长范围内的色散系数 D 。色散系数在规定的波长范围内不得过0。已规定色散的正负号。规范的形式为：

$$D_{min} \leq |D(\lambda)| \leq D_{max} \quad \text{对于 } \lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_{max}$$

其中：

$$0.1 \text{ ps/nm} \cdot \text{km} \leq D_{min} \leq D_{max} \leq 10.0 \text{ ps/nm} \cdot \text{km};$$

$$1530 \text{ nm} \leq \lambda_{min} \leq \lambda_{max} \leq 1565 \text{ nm},$$

$$D_{max} \leq D_{min} + 5.0 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$$

D_{min} , D_{max} , λ_{min} , λ_{max} 值和正负号应在第7节给定的范围内。某些实现示例参见附录I。波长范围扩大到高于1 565 nm和低于1 530 nm的情况正在考虑中。

注1 — D_{min} 不一定在 λ_{min} 时出现， D_{max} 不一定在 λ_{max} 时出现。

注2 — 对于一个给定的光纤， D 的正负号在上述波长范围内不发生变化，但对于一个系统内不同的光纤，符号可能会变。

注3 — 依靠系统设计和传输类型的不同，可能有必要规定 D 的正负号。

5.10.2 基于一对限制曲线的规范

本规范表适用于第7节中的表D和E。

对每一波长 λ ，色散系数 $D(\lambda)$ 应仅限于和两条限制性曲线 $D_{min}(\lambda)$ 和 $D_{max}(\lambda)$ 相关的一系列值，这两条曲线针对的是按照 λ_{min} 和 λ_{max} 进行定义的一个或多个规定的波长范围。

一组示例曲线可象征性地表示为一对直线：

$$D_{min}(\lambda) = a_{min} + b_{min}(\lambda - 1460) \quad (\text{ps/nm}\cdot\text{km})$$

$$D_{max}(\lambda) = a_{max} + b_{max}(\lambda - 1460) \quad (\text{ps/nm}\cdot\text{km})$$

$$D_{min}(\lambda) \leq D(\lambda) \leq D_{max}(\lambda) \quad (\text{ps/nm}\cdot\text{km})$$

限制性曲线可能会因波长范围的不同而有所差异。

6 光缆属性

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，本节将给出与光缆制造长度的传输特性主要有关的各项建议。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

1 550 nm波长范围内的一个或多个波长上都规定了衰减系数的最大值。光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定的波长范围内进行计算。在5.4.4/G.650.1中描述了这种步骤，并在附录III/G.650.1中给出了一个例子。

6.2 偏振模色散（PMD）系数

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。这种要求仅与从光缆信息中计算出来的链路性能有关。统计规范的度量见下文。计算的方法可在IEC/TR 61282-3中找到，并在附录IV/G.650.2中归纳。

制造商应采用PMD链接设计值 PMD_Q ，在一条有 M 个光缆段的可能存在的链路内，该值作为拼接光导纤维缆的PDM系数的统计上限。该上限根据小概率级别 Q 定义， Q 为拼接PMD系数值超过 PMD_Q 的概率。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。

对未成缆光纤的测量和规范是必要的，但不足以确保成缆光纤符合规范。对未成缆光纤规定的最大链路设计值应小于或等于对成缆光纤规定的值。未成缆光纤与成缆光纤的PMD值比率取决于光缆构造和加工过程中的具体情况，以及未成缆光纤的模式耦合情形。ITU-T G.650.2建议书建议了一种较低的模式耦合实现方式，此方式要求在大直径线轴上采用低压缠绕来测量未成缆光纤的PMD。

PMD系数值的分布的限制可被认为等于随时间和波长随机变化和微分群时延（DGD）的统计变差的限值。如果已经规定了光导纤维缆PMD系数分布，就可以确定DGD变差的等效限值。链路DGD分布限值的尺度和值见附录I。

注1 — 只有当光缆用于具有最大DGD规范的系统时才需要PMD_Q规范，例如，PMD_Q规范将不会适用于ITU-T G.957建议书所建议的系统。

注2 — 对各种类型的光缆，PMD_Q应通过计算得出，通常采用PMD抽样值计算。抽样值可从类似结构的光缆中取得。

注3 — PMD_Q规范不适用于短光缆，如跳线光缆、室内光缆和分接光缆。

7 建议值表

下列表概括了满足本建议书指标的若干类别光纤的建议值。这些类别主要根据PMD要求和色散特性进行区分。关于传输距离和与PMD要求有关的比特率的信息见附录I。

表1 “G.655.A属性”和表2 “G.655.B属性”见本建议书的2003年版。

包括建议的支持G.691、G.692、G.693和G.959.1应用的属性和值。关于G.692应用，根据特定光纤通路波长和色散特性的不同，总发射功率的最大值可能会受到限制，且典型的最小值通路间隔可能会限制为200 GHz。

表3 “G.655.C属性”保留了最初针对色散系数采用的“框架类”规范，此类规范允许涉及可能适合作为部分色散管理链路的负色散光纤，如那些可用于海底系统的光纤。此外，它还支持光接口建议书，如ITU-T G.691、G.959.1和G.693建议书。对DWDM系统而言，ITU-T G.694.1建议书中所定义的通路间隔得以支持，不过这要取决于所选最小色散如何。PMD要求允许STM-64系统的工作长度达到2000 km，但这也取决于其他系统要素。

表4 “G.655.D属性”将1460 nm至1625 nm波长范围内的色散系数要求定义为针对波长的一对限制性曲线。对大于1530 nm的波长而言，色散为正且幅度足以抑制多数非线性损伤。对这些波长而言，表3所述的应用将得以支持。对小于1530 nm的波长而言，色散值过零，但光纤在高于1471 nm的信道可用于支持CWDM应用。

表5 “G.655.E属性”采用与表4相同的方式定义色散要求，但其取值更高，这对一些系统（如那些通路间隔最小的系统）而言可能较为重要。表3所述应用可以得到支持。在1460 nm以上的波长，符合这些要求的光纤为正且非零。

注 — 很多海底应用可以利用这些光纤。对某些海底应用而言，完全优化会导致选择不同于本文的限值。一个例子是允许光缆截止波长值高达1 500 nm。

附录I说明了不同的实现示例，根据色散值、色散倾斜以及不同的非线性系数链路值进行区别。这些选项表示在功率、通路间隔、链路长度、放大器间隔和比特率间不同折衷的各种可能性。

表3/G.655—G.655.C属性

光 纤 属 性		
属 性	详 情	值
模场直径	波长	1 550 nm
	标称值范围	8-11 μm
	容差	$\pm 0.7 \mu\text{m}$
包层直径	标称值	125 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	1 450 nm
宏弯损耗	半径	30 mm
	圈数	100
	在 1 625 nm 区域的最大值	0.50 dB
筛选应力	最小值	0.69 GPa
色散系数 波长范围：1 530-1 565 nm	$\lambda_{\min}$ 和 $\lambda_{\max}$	1 530 nm 和 1 565 nm
	$D_{\min}$ 最小值	1.0 ps/nm·km
	$D_{\max}$ 最大值	10.0 ps/nm·km
	正负号	正或负
	$D_{\max} - D_{\min}$	≤ 5.0 ps/nm·km
色散系数 波长范围：1 565-1 625 nm	$\lambda_{\min}$ 和 $\lambda_{\max}$	待定
	$D_{\min}$ 最小值	待定
	$D_{\max}$ 最大值	待定
	正负号	正或负
未成缆光纤 PMD 系数	最大值	(见注 1)
光 缆 属 性		
属 性	详 情	值
衰减系数	在 1 550 nm 区域的最大值	0.35 dB/km
	在 1 625 nm 区域的最大值	0.4 dB/km
PMD 系数	M	20 根光缆
	Q	0.01%
	PMD _Q 最大值	0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
注1 — 根据6.2, 规定了未成缆光纤的PMD _Q 最大值, 以支持对光缆PMD _Q 的根本要求。		
注2 — 制造商和用户可就特定应用商定更大的PMD _Q 值 (如 ≤ 0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$)。		

表4/G.655—G.655.D属性

光 纤 属 性		
属 性	详 情	值
模场直径	波长	1 550 nm
	标称值范围	8-11 μm
	容差	±0.6 μm
包层直径	标称值	125 μm
	容差	±1 μm
模场同心度误差	最大值	0.6 μm
包层不圆度	最大值	1.0%
光缆截止波长	最大值	1450 nm
宏弯损耗	半径	30 mm
	圈数	100
	在 1 625 nm 区域的最大值	0.1 dB
筛选应力	最小值	0.69 GPa
色散系数 (ps/nm·km)	Dmin(λ): 1460-1550 nm	$\frac{7.00}{90}(\lambda-1460)-4.20$
	Dmin(λ): 1550-1625 nm	$\frac{2.97}{75}(\lambda-1550)+2.80$
	Dmax(λ): 1460-1550 nm	$\frac{2.91}{90}(\lambda-1460)+3.29$
	Dmax(λ): 1550-1625 nm	$\frac{5.06}{75}(\lambda-1550)+6.20$
光 缆 属 性		
属 性	详 情	值
衰减系数	在 1 550 nm 区域的最大值	0.35 dB/km
	在 1 625 nm 区域的最大值	0.4 dB/km
PMD 系数	M	20 根光缆
	Q	0.01%
	PMD _Q 最大值	0.20 ps/√ km
注1 — 根据6.2, 规定了未成缆光纤的PMD _Q 最大值, 以支持对光缆PMD _Q 的根本要求。		
注2 — 制造商和用户可就特定应用商定更大的PMD _Q 值 (如≤ 0.5 ps/√ km)。		

表5/G.655—G.655.E属性

光纤属性		
属性	详情	值
模场直径	波长	1 550 nm
	标称值范围	8-11 μm
	容差	±0.6 μm
包层直径	标称值	125 μm
	容差	±1 μm
模场同心度误差	最大值	0.6 μm
包层不圆度	最大值	1.0%
光缆截止波长	最大值	1 450 nm
宏弯损耗	半径	30 mm
	圈数	100
	在 1 625 nm 区域的最大值	0.1 dB
筛选应力	最小值	0.69 GPa
色散系数 (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{5.42}{90}(\lambda-1460)+0.64$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3.30}{75}(\lambda-1550)+6.06$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{4.65}{90}(\lambda-1460)+4.66$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{4.12}{75}(\lambda-1550)+9.31$
光缆属性		
属性	详情	值
衰减系数	在 1 550 nm 区域的最大值	0.35 dB/km
	在 1 625 nm 区域的最大值	0.4 dB/km
PMD 系数	M	20 根光缆
	Q	0.01%
	PMD _Q 最大值	0.20ps/√km
注1 — 根据6.2, 规定了未成缆光纤的PMD_Q最大值, 以支持对光缆PMD_Q的根本要求。 注2 — 制造商和用户可就特定应用商定更大的PMD_Q值 (如≤ 0.5 ps/√km)。		

附录 I

链路属性和系统设计信息

一条拼接链路通常由若干制造长度的光导纤维缆接续而成。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不仅必须考虑单根制造长度光缆的性能，还必须考虑拼接统计值。

制造长度的光缆的传输特性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。阅读本节中下面几个小节的内容时都要想到各项参数的统计性质。

链路属性受一些因素的影响，而不像光缆受例如接头、连接器和安装等的影响。这些因素未在本建议书中规定。为了估计链路属性值，在I.5中提供了光纤链路的典型值。第I.6节包括实施的例子，各示例具有不同的典型色散值。系统设计所需要的光纤参数的估计方法基于测量、建模或其他考虑因素。

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 链路中光缆的典型衰减系数

α_s 平均接头损耗

x 链路中接头的数目

α_c 链路连接器的平均损耗

Y 链路中链路连接器（如果装有的话）的数目

L 链路长度

应分配适当的裕度，以适应今后光缆配置的变化（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。在I.5中可以找到光导纤维缆衰减系数的典型值。设计实际系统采用的衰减预算应纳入这些参数的统计变差。

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1 550 nm波长范围传输时，有时采用色散调节。在这种情况下，设计时要用到平均链路色散。这个关系用1 550 nm波长上的典型的色散系数和色散斜率系数描述。

在1 550 nm波长范围内的色散系数 D_{1550} 和色散斜率系数 S_{1550} 的典型值随具体实现而变化。这些值在I.6中以例子的形式给出。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。

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

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分布与光缆PMD分布系数有关，建立关于DGD分布有用的限制及其限值的方法已在IEC/TR 61282-3中详细阐述和记载。DGD分布限值的度量表示如下：

- 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，最大DGD要乘以实际长度与参考长度之比的平方根。
- 典型最大光缆长度 L_{Cab} ：如果典型的个别拼接光缆或在确定PMD系数分布时测量的光缆长度都小于一个值，这个最大值就确定了。
- DGD最大值， DGD_{max} ：在考虑光纤系统设计时可以使用的DGD值。
- 最大概率 P_F ：实际DGD值超过 DGD_{max} 的概率。

注一 确定光导纤维缆之外其他组成部分的影响超出了本建议书的范围，但在IEC/TR 61282-3中做了讨论。

I.4 非线性系数

色散效应和由非线性系数 n_2/A_{eff} 表示的光纤非线性存在相互作用，该系数涉及到由非线性光学效应引起的系统损伤（见ITU-T建议书G.663和G.650.2）。典型值依实现的不同而不同。非线性系数的测试方法有待进一步研究。

I.5 普通典型值表

表I.1和I.2为典型的拼接光纤链路的值，分别符合I.1和I.3的规定。表I.2中所表示的光纤引起的最大DGD值对可能出现在链路中的其他的光元件的要求有指导意义。

表I.1/G.655—链路衰减值

衰减系数	波长范围	典型链路值
(注)	1 530 – 1 565 nm	0.275 dB/km
	1 565 – 1 625 nm	0.35 dB/km
注一 典型的链路值相当于ITU-T G.957和G.692建议书中采用的链路衰减系数。		

表I.2/G.655—微分群时延

最大值PMD _Q (ps/√km)	链路长度 (km)	所示的光纤引出的最大DGD (ps)	信道比特率
未规定			最高 2.5 Gbit/s
0.5	400	25.0	10 Gbit/s
	40	19.0 (注 1)	10 Gbit/s
	2	7.5	40 Gbit/s
0.20	3000	19.0	10 Gbit/s
	80	7.0	40 Gbit/s
0.10	>4000	12.0	10 Gbit/s
	400	5.0	40 Gbit/s

注1 — 本值也适用于10 G以太网系统。

注2 — 光缆部分长度为10 km；但对于0.10 ps/√km >4000 km的链路，长度设定为25 km，差错概率等级为 6.5×10^{-8} 。

I.6 实现示例

下面给出的是实施的例子，用于优化功率、通路间隔、放大器间隔、链路长度和比特率间各种折衷。所有这些例子主要的差别在于允许的色散、色散倾斜和非线性系数。这些例子是说明性的，不妨碍出现其他可能的实施。示例的标记是随意的并不反映任何的优先权。

表I.3/G.655— $\lambda_{min} = 1\,530\text{ nm}$ 和 $\lambda_{max} = 1\,565\text{ nm}$ 时的例子

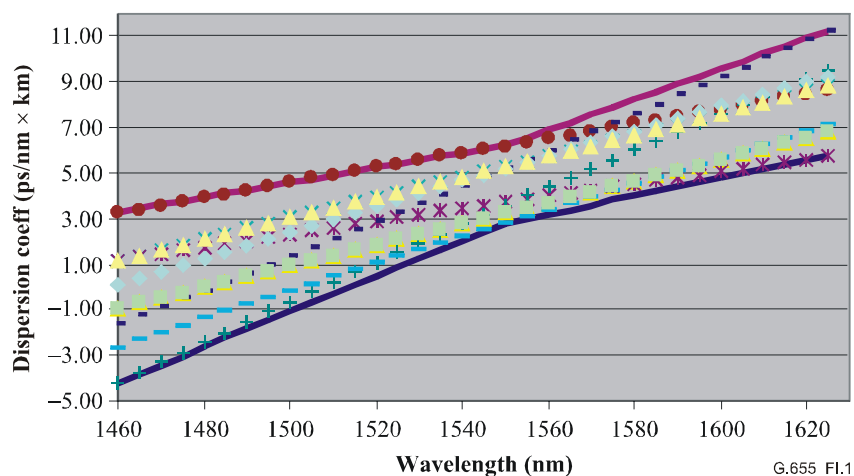
示例标记	D_{min} (ps/nm·km)	D_{max} (ps/nm·km)	正负号	在1 550 nm区域时的 典型色散系数 (ps/nm·km)	在1 550 nm区域时的 典型色散倾斜 (ps/nm ² ·km)
A	1.3	5.8	+	3.7	0.070
B	2.0	6.0	+	4.2	0.085
C	2.6	6.0	+	4.4	0.045
D	5.0	10.0	+	8.0	0.058
E	1.0	6.0	—	-2.3	0.065

注 — 在 1 600 nm 波长范围时相应的色散值正在考虑中。

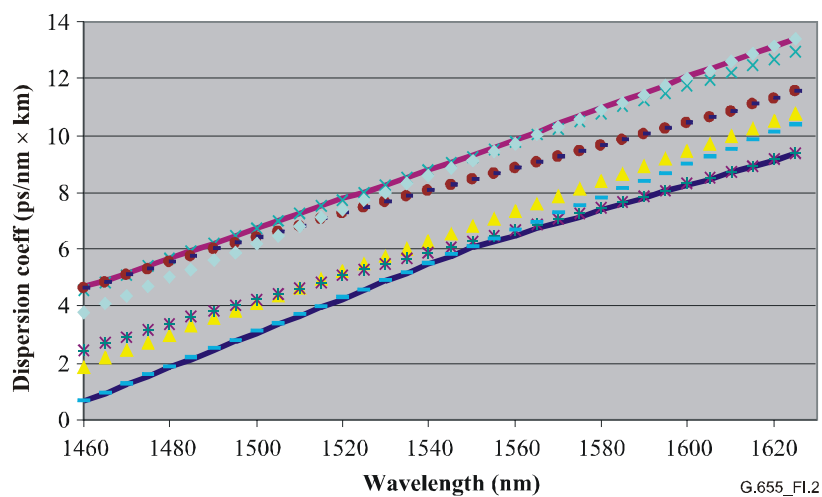
I.7 表D和E的色散系数限值

限制色散系数和波长关系的公式基于两项调查，一个是表D所示光纤，另一个是表E所示光纤。这两类光纤分别有五个和四个制造商。在1460-1625 nm波长范围内，各制造商均以5 nm为增量提供了作为波长函数的平均标准偏差。对波长和制造商算出平均加/减三标准偏差，然后算出所有制造商的最小值和最大值。这些结果串连成一条齿状直线，为使差异绝对值之和减至最小，在1550 nm处使用了断点，并遵守了将所有数据纳入包络线之中的原则。

表D和E的结果分别见图I.1和I.2。实线为第7节中的限值，其余数据为调查结果。



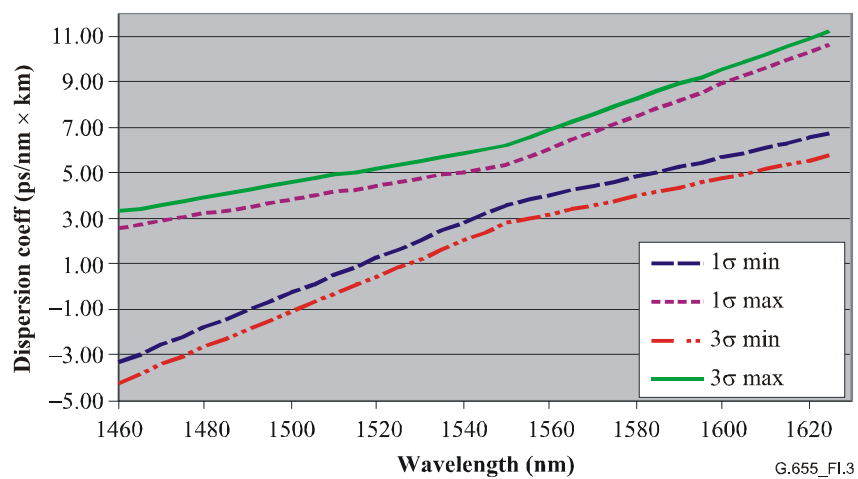
图I.1/G.655 – 表D的光纤色散边界



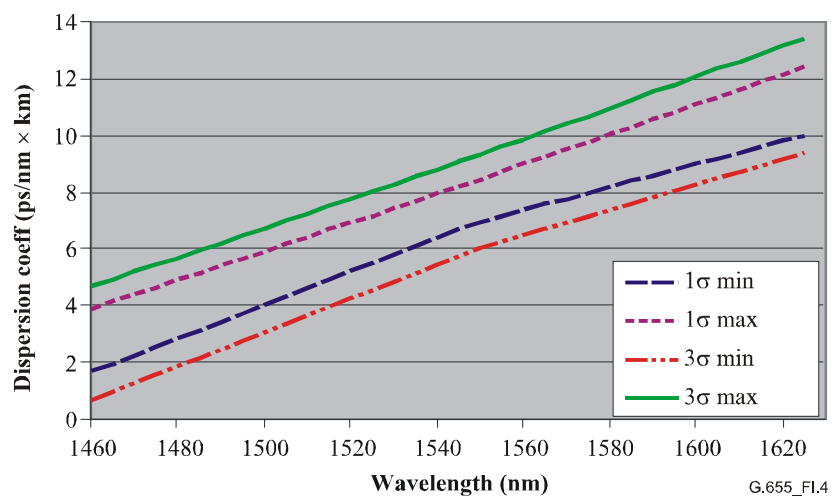
图I.2/G.655 – 表E的光纤色散边界

第7节中的限值针对的是个别光纤。对由个别光纤拼接而成的链路而言，其相关值的范围可能会小一些。对G.652光纤而言，不同制造商的值的差异性并非很显著，其平均加一标准偏差（见ITU-T G系列建议书的增补39）可用于对系统限值的考虑。

上述方法已用于确定包括所有平均加/减一标准偏差结果的限制性曲线。有关结果见图I.3和I.4。为便于比较，加/减三标准偏差数据亦列于其中。限制加/减一标准偏差调查结果的公式见表I.4和I.5。



图I.3/G.655 – 表D光纤色散边界的比较



表I.4/G.655 – 表E光纤色散边界的比较

表I.4/G.655 – 表D光纤±1标准偏差限值

色散系数 (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{6.94}{90}(\lambda-1460)-3.34$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3.13}{75}(\lambda-1550)+3.60$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{2.78}{90}(\lambda-1460)+2.60$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{5.28}{75}(\lambda-1550)+5.38$

表I.5/G.655 – 表E光纤±1标准偏差限值

色散系数 (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{5.28}{90}(\lambda-1460)+1.68$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3.05}{75}(\lambda-1550)+6.96$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{4.56}{90}(\lambda-1460)+3.89$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3.96}{75}(\lambda-1550)+8.45$

参 考 资 料

- IEC/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*

ITU-T 系列建议书

A系列	ITU-T工作的组织
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	视听和多媒体系统
I系列	综合业务数字网
J系列	有线网和电视、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	线缆的构成、安装和保护及外部设备的其他组件
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、电话装置和本地线路网络
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