

国际电信联盟

ITU-T

国际电信联盟
电信标准化部门

G.978

(12/2006)

G系列：传输系统和媒质、数字系统和网络
数字段和数字线路系统 — 海底光缆系统

海底光缆特性

ITU-T G.978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 |
| 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 |
| 概述 | G.900-G.909 |
| 光缆系统的参数 | G.910-G.919 |
| 基于2048 kbit/s比特率的分级比特率上的数字段 | G.920-G.929 |
| 非分级比特率电缆上的数字线路传输系统 | G.930-G.939 |
| FDM传输承载信道提供的数字线路系统 | G.940-G.949 |
| 数字线路系统 | G.950-G.959 |
| 用于用户接入ISDN的数字段和数字传输系统 | G.960-G.969 |
| 海底光缆系统 | G.970-G.979 |
| 本地和接入网的光线路系统 | G.980-G.989 |
| 接入网 | G.990-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 |

欲了解更详细信息，请查阅ITU-T建议书目录。

ITU-T G.978建议书

海底光缆特性

摘 要

本建议书研究 ITU-T G.973、G.974 和 G.977 建议书所涉及的海底光缆特性。本建议书内容涵盖了海底光缆和海底光缆光纤的传输特性，包括机械特性和环境阻力以及其他电特性。本建议书还涉及单纤和混合光纤单元光缆段传输特性。海底光缆特性相关具体信息可参见有关海底光系统各建议书。

来 源

ITU-T 第 15 研究组(2005-2008)按照 ITU-T A.8 建议书规定的程序，于 2006 年 12 月 14 日批准了 ITU-T G.978 建议书。

前 言

国际电信联盟（ITU）是从事电信领域工作的联合国专门机构。ITU-T（国际电信联盟电信标准化部门）是国际电信联盟的常设机构，负责研究技术、操作和资费问题，并且为在世界范围内实现电信标准化，发表有关上述研究项目的建议书。

每四年一届的世界电信标准化全会（WTSA）确定 ITU-T 各研究组的研究课题，再由各研究组制定有关这些课题的建议书。

WTSA 第 1 号决议规定了批准建议书须遵循的程序。

属 ITU-T 研究范围的某些信息技术领域的必要标准，是与国际标准化组织（ISO）和国际电工技术委员会（IEC）合作制定的。

注

本建议书为简明扼要起见而使用的“主管部门”一词，既指电信主管部门，又指经认可的运营机构。

遵守本建议书的规定是以自愿为基础的，但建议书可能包含某些强制性条款（以确保例如互操作性或适用性等），只有满足所有强制性条款的规定，才能达到遵守建议书的目的。“应该”或“必须”等其它一些强制性用语及其否定形式被用于表达特定要求。使用此类用语不表示要求任何一方遵守本建议书。

知识产权

国际电联提请注意：本建议书的应用或实施可能涉及使用已申报的知识产权。国际电联对无论是其成员还是建议书制定程序之外的其它机构提出的有关已申报的知识产权的证据、有效性或适用性不表示意见。

至本建议书批准之日止，国际电联尚未收到实施本建议书可能需要的受专利保护的知识产权的通知。但需要提醒实施者注意的是，这可能并非最新信息，因此特大力提倡他们通过下列网址查询电信标准化局（TSB）的专利数据库：<http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>。

© 国际电联 2007

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

页码

| | | |
|-----|-------------------------|----|
| 1 | 范围 | 1 |
| 2 | 参考文献 | 1 |
| 3 | 术语和定义 | 2 |
| 3.1 | 本建议书规定的术语 | 2 |
| 3.2 | 其他建议书规定的术语 | 3 |
| 4 | 缩写 | 4 |
| 5 | 海底光缆特性 | 5 |
| 5.1 | 概述 | 5 |
| 5.2 | 光缆的传输特性 | 5 |
| 5.3 | 机械特性和对环境的抗性 | 5 |
| 6 | 冗余海底光缆特性 | 8 |
| 6.1 | 概述 | 8 |
| 6.2 | 海底应用系统类型 | 8 |
| 6.3 | 冗余海底光缆防护 | 8 |
| 6.4 | 传输特性 | 9 |
| 7 | 电特性 | 9 |
| 8 | 海缆光纤特性 | 9 |
| 8.1 | 概述 | 9 |
| 8.2 | 光纤 | 10 |
| 8.3 | 光纤传输特性 | 11 |
| 8.4 | 建议的规程参数 | 12 |
| 9 | 单元光缆段传输特性 | 13 |
| 9.1 | 概述 | 13 |
| 9.2 | 单一类型光纤单元光缆段传输特性 | 13 |
| 9.3 | 混合类型光纤单元光缆段传输特性 | 14 |
| 9.4 | 建议的规程参数 | 14 |
| | 附录一 — 海底光缆结构和相关信息 | 14 |

海底光缆特性

1 范围

本建议书研究 ITU-T [G.973]、[G.974] 和[G.977]建议书所涉及的海底光缆特性。

海底光缆可应用于：

- 有中继器的海底光系统；
- 无中继器的海底光系统。

本建议书规定了用于深海和浅海的海缆特性。

本建议书包括：

- 海缆光纤传输特性，包括机械特性和环境阻力；
- 海底光缆特性，包括机械特性和环境阻力及其他电特性；
- 单纤和混合光纤单元光缆段传输特性。

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和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。

- [G.650.1] ITU-T Recommendation G.650.1 (2004), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*
- [G.650.2] ITU-T Recommendation G.650.2 (2005), *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.*
- [G.652] ITU-T Recommendation G.652 (2005), *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.*
- [G.653] ITU-T Recommendation G.653 (2006), *Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*
- [G.654] ITU-T Recommendation G.654 (2006), *Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable.*
- [G.655] ITU-T Recommendation G.655 (2006), *Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*
- [G.656] ITU-T Recommendation G.656 (2006), *Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport.*
- [G.667] ITU-T Recommendation G.667 (2006), *Characteristics of adaptive chromatic dispersion compensators.*

- [G.671] ITU-T Recommendation G.671 (2005), *Transmission characteristics of optical components and subsystems.*
- [G.972] ITU-T Recommendation G.972 (2004), *Definition of terms relevant to optical fibre submarine cable systems.*
- [G.973] ITU-T Recommendation G.973 (2003), *Characteristics of repeaterless optical fibre submarine cable systems.*
- [G.974] ITU-T Recommendation G.974 (2004), *Characteristics of regenerative optical fibre submarine cable systems.*
- [G.977] ITU-T Recommendation G.977 (2006), *Characteristics of optically amplified optical fibre submarine cable systems.*
- [G-Sup.39] ITU-T G-series Recommendations – Supplement 39 (2006), *Optical system design and engineering considerations.*
- [G-Sup.40] ITU-T G-series Recommendations – Supplement 40 (2006), *Optical fibre and cable Recommendations and standards guideline.*
- [IEC 62285] IEC/TR 62285 (2005), *Application guide for non-linear coefficient measuring methods.*
- [IEC 62324] IEC/TR 62324 (2007), *Single-mode optical fibres – Raman gain efficiency measurement using continuous wave method – Guidance.*

3 术语和定义

3.1 本建议书规定的术语

本建议书规定下列术语：

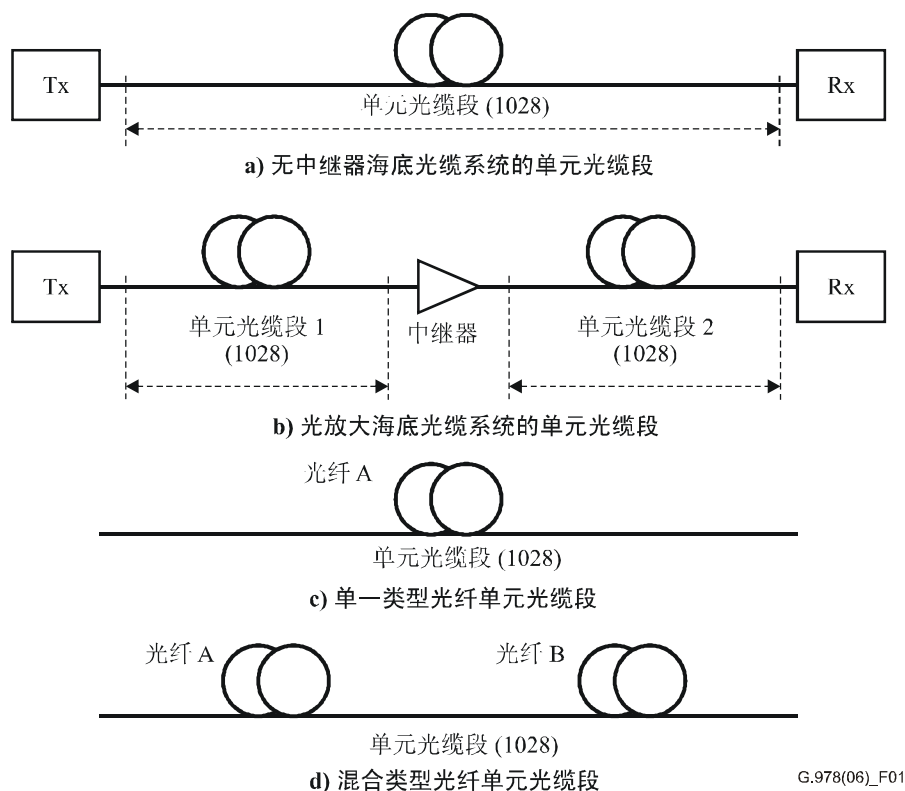
3.1.1 optical fibre submarine cable 海底光缆：利用光纤作为传输线的海缆([G.972]之 1019)。

3.1.2 elementary cable section 单元光缆段：两个设备（中继器、支路单元或终端传输设备）之间的整个光缆（[G.972]之 1028）。本建议书描述两类单元光缆段：

- 单一类型光纤单元光缆段；
- 混合类型光纤单元光缆段。

3.1.2.1 single-fibre type elementary cable section 单一类型光纤单元光缆段：单元光缆段由单一类型光纤组成。

3.1.2.2 hybrid-fibre type elementary cable section 混合类型光纤单元光缆段：单元光缆段由一种类型以上的光纤组成。



注 – (1028) 指的是ITU-T G.972建议书使用的分类数字。

图 1/G.978—单元光缆段定义

3.2 其他建议书规定的术语

本建议书采用了其他建议书规定的下列术语：

- Submarine portion 海底部分：见 [G.972] (1005)。
- Optical submarine repeater 光海底中继器：见 [G.972] (1020)。
- Cable Breaking Load 光缆裂断负荷：见 [G.972] (5007)。
- Double Armoured Cable 双层钢丝铠装电缆：见[G.972] (5004)。
- Fibre-Breaking Cable Load 光纤裂断光缆负载：见[G.972] (5008)。
- Minimum Cable Bending Radius 最小光缆弯曲半径：见[G.972] (5032)。
- Nominal Operating Tensile Strength 标称工作屈服强度：见[G.972] (5010)。
- Nominal Permanent Tensile Strength 标称永久屈服强度：见[G.972] (5009)。
- Nominal Transient Tensile Strength 标称瞬态屈服强度：见 [G.972] (5011)。
- Rock Armoured Cable 高强度铠装光缆：见 [G.972] (5005)。
- Single Armoured Cable 单层铠装光缆：见 [G.972] (5003)。
- Relative Dispersion to Slope 相对色散斜率：见[G-Sup.40] (2006)。
- Terminal Transmission Equipment 终端传输设备：见 [G.972] (1010)。

4 缩写

本建议书采用下列缩写：

| | |
|---------------|------------|
| A_{eff} | 有效面积 |
| CBL | 光缆断裂负荷 |
| CSF | 截止波长位移单模光纤 |
| DA cable | 双层铠装光缆 |
| DCF | 色散补偿单模光纤 |
| DSF | 色散位移单模光纤 |
| g_R | 拉曼增益系数 |
| DWDM | 密集波分复用 |
| DWDMS | 密集波分复用系统 |
| LEF | 大有效面积单模光纤 |
| LW cable | 轻光缆 |
| LWP cable | 防护轻光缆 |
| n_2/A_{eff} | 非线性系数 |
| NDF | 负色散单模光纤 |
| NOTS | 标称工作屈服强度 |
| NPTS | 标称永久屈服强度 |
| NTTS | 标称瞬时屈服强度 |
| NZDSF | 非零色散位移单模光纤 |
| OFA | 光纤放大器 |
| PDF | 正色散单模光纤 |
| PMD | 偏振模色散 |
| RA cable | 高强度铠装光缆 |
| RDS | 相对色散斜率 |
| SA cable | 单层铠装光缆 |
| SMF | 非色散位移单模光纤 |
| SWS | 单波长系统 |
| TTE | 终端传输设备 |
| WDM | 波分复用 |
| WDMS | 波分复用系统 |
| WNZDF | 宽带非零色散单模光纤 |

5 海底光缆特性

5.1 概述

海底光缆设计目标旨在保护光纤在其设计寿命全程内不受水压、纵向水波导、化学腐蚀以及氢污染效应的影响。

海底光缆设计目标还包括保证光缆在标准海底操作的敷设、掩埋、复原和正常工作情况下，不会出现光纤性能下降。

根据应用的不同，海底光缆可分为：

- 有中继器的海底光缆；
- 无中继器的海底光缆。

根据光缆防护形式的不同，海底光缆可分为：

- 轻光缆（LW 光缆）；
- 防护轻光缆（LWP 光缆）；
- 单层铠装光缆（SA 光缆）；
- 双层铠装光缆（DA 光缆）；
- 高强度铠装光缆（RA 光缆）。

5.2 光缆的传输特性

一般而言，光缆在成缆（将光纤装入缆线）之前传输特性应类似或相同于[G.652]、[G.653]、[G.654]、[G.655]和[G.656]规定的特性。可以通过选择光纤的类型以优化系统总体成本和性能。

安装在单元光缆段内的光纤的传输特性与光纤成缆之前相比，其差值应限制在一个特定范围内；特别的，应精心设计光缆、光缆接头以及光纤，以保证光纤的弯曲和微弯曲不会明显增加衰减效应。这个因素应在确定光缆和设备（光缆接头、终接、中继器等）内光纤最小弯曲半径时加以考虑。

在系统设计寿命内，光纤衰减、色散和 PMD 应在一个特定限值内保持稳定；特别的，应保证即使在高强度使用导致光缆断裂情况下，光缆设计目标也应使来自外部的氢浸润和来自光缆内部的氢生成最小化；光纤对伽马辐射的敏感效应也应考虑在内。

5.3 机械特性和对环境的抗性

5.3.1 光缆结构对光纤的防护

光纤的机械耐久度由玻璃结构内部的瑕疵生长特性决定。这取决于光纤成缆之前的初始机械性能，而后者又取决于光纤的物理结构（涂覆类型，内部压力）、光纤生产过程中的环境条件以及在光纤拉制后采用的验证测试级别。它还取决于光缆内部光纤环境以及在寿命期内施加在光纤上的压力累积效应。

光缆及光纤的结构强度决定了光缆整体机械性能。应对机械性能精心设计，包括考虑光缆在敷设、复原和维修过程中施加在光缆上的负载累计效应以及施加在已安装光缆上的永久负载或残余伸度等因素，以保证系统在其设计寿命内正常工作。

为实现对光纤的防护，光缆通常采用两类通用结构：

- 紧光缆结构，其中光纤被强力包裹在光缆内，这使得光纤与光缆的延伸度完全相同；
- 松光缆结构，其中光纤在光缆中可以自由移动，使得光纤的延伸度可以小于光缆的延伸度，甚至当光缆的延伸度达到一定值后，光纤延伸度可趋近于零。

同时，光缆应保护光纤不受水、潮气和外压的影响，并当光缆在一定使用强度下断裂后，仍能限制纵向水浸润效应。

5.3.2 光纤机械特性

光纤机械性能在很大程度上取决于对整条光纤的验证测试。光纤验证测试主要表现为施加在光纤或光纤延长线上的负载及负载施加作用的时间。验证测试强度应根据光缆结构参数来决定。光纤拉丝应同样进行验证测试。验证测试时间建议越短越好。

在确定光缆和设备（中继器、支路单元、光缆分线箱或光缆终接器）内光纤最小弯曲半径时，应考虑光纤和拉丝的机械强度。

5.3.3 光缆机械性能

在安装和维修期间，应通过光缆敷放船安全处置光缆（含光缆分线盒）、光缆耦合器以及光缆转换器；敷放船的船头应能承载多名乘客。

光缆应具有可维修性，且应保证在良好工作条件下，在船上进行光缆焊接维修的时间应相对较短。

如果海缆被探锚、锚定或捕鱼工具等所缠绕，则其断裂负载通常只有直线状态下的若干分之一（这取决于海缆的类型和探锚的性质）；由于施加在光纤上的压力或者海水浸润等因素，断裂点附近的光纤和海缆的寿命有可能降低；海缆损毁部分应予以更换；其长度应维持在特定数值内。

[G.972]定义了若干参数以表征海缆的机械特性、海缆安装、恢复和维修能力以及海缆处理操作指南：

- 在合格测试时测得的海缆断裂负载（CBL）；
- 标称瞬态张力强度（NTTS），该参数有可能在偶然情况下特别是在恢复操作时遇到；
- 标称工作张力强度（NOTS），该参数可能在维修时遇到；
- 标称永久张力强度（NPTS），该参数表征海缆安装后的状态；
- 标称海缆弯曲半径，该参数可作为海缆的处理操作指南。

表 5-1 和表 5-2 给出了海底光缆机械特性的建议值。

表 5-1/G.978—无中继器的海底光缆系统光缆机械特性建议值

| 参 数 | 详 情 | 建议值 (KN) | | | |
|-----------------|-----|-----------|-------|-------|-------|
| | | LW/LWP 海缆 | SA 海缆 | DA 海缆 | RA 海缆 |
| CBL | 最小 | 待定 | 待定 | 待定 | 待定 |
| NTTS | 最小 | 待定 | 待定 | 待定 | 待定 |
| NOTS | 最小 | 待定 | 待定 | 待定 | 待定 |
| NPTS | 最小 | 待定 | 待定 | 待定 | 待定 |
| 注 — 建议值有待进一步研究。 | | | | | |

表 5-2/G.978—有中继器的海底光缆系统光缆机械特性建议值

| 参 数 | 详 情 | 建议值 (KN) | | | |
|-----------------|-----|-----------|------|-------|-------|
| | | LW/LWP 海缆 | SA海缆 | DA 海缆 | RA 海缆 |
| CBL | 最小 | 待定 | 待定 | 待定 | 待定 |
| NTTS | 最小 | 待定 | 待定 | 待定 | 待定 |
| NOTS | 最小 | 待定 | 待定 | 待定 | 待定 |
| NPTS | 最小 | 待定 | 待定 | 待定 | 待定 |
| 注 — 建议值有待进一步研究。 | | | | | |

5.3.4 海缆防护

应为海底光缆提供防护措施，以保护其在使用过程中不受环境影响：包括保护不受海底生物、鱼噬和磨损的影响，并提供铠装以防止腐蚀和轮船创伤。[G.972]定义了各种不同类型的防护海缆，其中特别包括以下几类：

- 轻海缆（LW 海缆）；
- 防护轻海缆（LWP 海缆）；
- 单层铠装海缆（SA 海缆）；
- 双层铠装海缆（DA 海缆）；
- 高强度铠装海缆（RA 海缆）。

轻海缆适合于不需特别保护的敷设、复原和操作。

防护轻海缆适合于需特别保护的敷设、复原和操作。

单层铠装海缆适合于敷设、掩埋、复原和操作，能在浅海特定地区提供适当保护。

双层铠装海缆适合于敷设、掩埋、复原和操作，能在浅海特定地区提供适当保护。

高强度铠装海缆适合于敷设、掩埋、复原和操作，能在浅海特定地区提供适当保护。

表 5-3 给出了每类海缆的典型应用深度。

表 5-3/G.978—海底光缆的典型应用深度

| | LW/LWP 海缆 | SA 海缆 | DA海缆 | RA 海缆 |
|--------|-----------|-------------|--------|--------|
| 深度 (m) | > 1000 | > 20 – 1500 | 0 – 20 | 0 – 20 |

陆地光缆应保护系统和人员不受放电、工业干扰和雷电的影响。通常使用两类受陆地防护光缆：

- 铠装陆地光缆，具有一层地电位铠装，适用于直接掩埋。
- 管道防护光缆，具有圆周表面安全防护（可能是防鱼噬护层），适用于管道内。

注 — 建议在光缆结构内提供一个用于水下设备定位该光缆所用的电极电流通道。电极电流由一个具有能定位该光缆所必须电流强度的终端站提供，频率为 4 至 40 Hz。

6 冗余海底光缆特性

6.1 概述

用于替代海底光缆损毁部分的冗余光缆应是海底光缆。因此，它应符合海底光缆的相关规程（见第 5 节）。

尽管如此，在考虑海底光缆维修策略时，还应考虑一些重要信息，包括海底应用类型、海缆防护等级、维修过程中增加的海缆长度以及海缆传输特性等。

6.2 海底应用系统类型

冗余海底光缆与原海底光缆应具有相同的应用类型。这意味着冗余海底光缆应满足：

- 如果维修的是一个有中继器的海底光缆，则应是有中继器的海底光缆；
- 如果维修的是无中继器的海底光缆，则应是无中继器的海底光缆。

6.3 冗余海底光缆防护

冗余海底光缆应与待替换的光缆段具有同等程度的机械防护级别。如果所需防护级别光缆不可获得，则也可使用其他防护级别的冗余光缆。但在该特殊情况下，冗余光缆机械防护级别应高于原始敷设光缆的防护级别，且在两个光缆段之间应增加一段转换光缆。表 6-1 给出了相对于原始防护类型光缆而言所使用的冗余光缆的防护级别。

表 6-1/G.978—由原光缆防护类型决定的冗余光缆允许防护级别

| | | 冗余海底光缆防护类型 | | | | |
|-----------------|--------|------------|--------|-------|-------|-------|
| | | LW 海缆 | LWP 海缆 | SA 海缆 | DA 海缆 | RA 海缆 |
| 原海底光缆防护类型 | LW 海缆 | A | A | A | A | A |
| | LWP 海缆 | | A | A | A | A |
| | SA 海缆 | | | A | A | A |
| | DA 海缆 | | | | A | A |
| | RA 海缆 | | | | | A |
| 注 — “A” 表示可以使用。 | | | | | | |

6.4 传输特性

6.4.1 光纤管理

对于维修所用的海底光缆，应最起码要求其所含光纤数量与原敷设海缆相同。如该海缆拥有更多数量的光纤，则也可被用作冗余海缆。在此情况下，只需将系统所需光纤连接即可，其他光纤可不使用。

6.4.2 传输特性

对于冗余海缆，要求其光纤特性应与待替换海底光缆段所含光纤特性相同。但如果厂家交付系统时提供的维修手册对此有明确维修建议，也可不遵守这一规则。特别指出的是，这类手册应就海缆维修色散管理策略（深海和浅海）给出详细解释。

7 电特性

电特性有待进一步研究。

8 海缆光纤特性

8.1 概述

海底系统设计人员可能面临多种类型光纤的选择。这其中包括：

- 在 ITU-T G.65x 系列建议书中规定的单模光纤；
- 正色散单模光纤（PDF）；
- 负色散单模光纤（NDF）；
- 大有效面积单模光纤（LEF）；
- 色散补偿单模光纤（DCF）。

根据系统不同规程要求（数据比特率和编码、波长数量、放大器跨距、放大器输出功率、链路长度等），可通过使用这些光纤的不同组合来确保系统所需性能。

表征以上光纤特性的主要参数为：

- 在 SWS 所有工作信号波长和 WDMS 所有波长上的衰减系数，单位为 dB/km；
- 在 SWS 所有工作泵浦波长和 WDMS 所有波长上的衰减系数，单位为 dB/km；
- 在所有工作信号波长上的色散系数，单位为 ps/nm · km；
- 零色散波长 λ_0 ，单位为 nm；
- 在工作信号波长附近的散射斜率，单位为 ps/nm² · km；
- 相对色散斜率（RDS），单位为 nm；
- 非线性折射指数 n_2 ，单位为 m²/W；
- 有效面积 A_{eff} ，单位为 μm^2 ；
- 非线性系数 n_2/A_{eff} ，单位为 W⁻¹；
- 拉曼增益系数 g_R ，单位为 m/W；
- 系统平均偏振模式色散（PMD），单位为 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ 。

8.2 光纤

8.2.1 G.65x 系列光纤

ITU-T 建议书包括五类单模光纤，它们是：

- 非色散转移单模光纤（SMF），在 [G.652]中规定；
- 色散转移单模光纤（DSF），在 [G.653]中规定；
- 截止波长单模光纤（CSF），在 [G.654]中规定；
- 非零色散转移单模光纤（NZDSF），在 [G.655]中规定；
- 宽带非零色散单模光纤（WNZDF），在 [G.656]中规定。

[G.652]所描述的 SMF 最初被优化使用于 1310 nm 波长范围，其标称零色散波长接近 1310 nm。SMF 也可用于 1550 nm 区域。

[G.653]所描述的 DSF 最初被优化使用于 1550 nm 范围，其标称零色散波长接近 1550 nm。

[G.654]所描述的 CSF 是具有最小损耗且截止波长转移的单模光纤，被优化使用于 1530 至 1625 nm 区域。

[G.655]所描述的 NZDSF 最初优化使用于 1530 至 1565 nm 波长范围内，且在 1550 nm 附近具有一些非零色散值。该色散降低了可能在 DWDMS 中特别有害的非线性效应的增长。

[G.656]所描述的 WNZDF 最初被优化使用于 1460 至 1625 nm 波长范围内，在该波长区域具有一个非零色散值。该色散降低了可能在 DWDMS 中特别有害的非线性效应的增长。

8.2.2 正色散单模光纤

PDF 具有一个在工作信号波长区域内的正色散值 D_{min} 。该色散降低了可能在 DWDMS 中特别有害的非线性效应的增长。

大多数 ITU-T G.65x 系列建议书中的单模光纤被视为工作信号波长在 1550 nm 附近的 PDF。

8.2.3 负色散单模光纤

NDF 在工作信号波长范围内具有一个负值色散值 D_{max} 。该色散降低了可能在 DWDM 中特别有害的非线性效应的增长。

[G.655]所描述的具有负色散的 NZDSF 可被视为工作波长约 1550 nm 的 NDF。

PDF 和 NDF 组合可被用以组成一个混合类型光纤单元光缆段。

8.2.4 大有效面积单模光纤

LEF 在工作信号波长附近具有一个扩增 A_{eff} 。该扩增 A_{eff} 降低了可能在 DWDM 中特别有害的非线性效应的增长。

8.2.5 色散补偿单模光纤

DCF 色散值的正负号取决于系统的色散管理。典型地，DCF 在工作信号波长处具有一个较大色散值。DCF 被用以补偿 PDF 或 NDF 的累积色散。

8.3 光纤传输特性

8.3.1 光损耗

光纤损耗用以 dB/km（对数值）或 km^{-1} （线性值）为单位的衰减系数表征。

G.65x 光纤最大衰减系数在相应的 ITU-T G.65x 系列建议书中规定。

单模光纤光损耗测量方法见[G.650.1]。

8.3.2 色散系数

色散系数处理的是与波长有关的群速度问题，亦即光信号的所有频谱分量以不同的速度传播问题。脉冲扩展是其中问题之一，该效应可能使损耗增加。特别是在 WDM 和 / 或高比特率传输系统中，与波长有关的色散斜率也将对传输性能产生影响。单位长度光纤色散系数以 $\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ 表示。工作波长色散斜率以 $\text{ps/nm}^2\cdot\text{km}$ 表示。以 nm 表示的相对色散斜率也被用以研究工作信号波长范围内（特别是 WDM 系统）的色散损耗。

G.65x 光纤色散特性在 ITU-T G.65x 系列建议书中规定。

有关色散损耗更多信息参见[G-Sup.39]。

单模光纤色散测量方法在[G.650.1]中描述。

8.3.3 偏振模式色散(PMD)

光纤圆柱核心体存在的轻微不完全对称都将导致双折射，该双折射是由于基本模式正交极化分量不同模式折射指数所引起的。PMD 引起的脉冲扩展应限制在一个最大值范围内。单模光纤和/或光纤链路 PMD 以 $\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 表示。单模光纤和/或光纤链路 PMD 以统计方式给出。特别的， PMD_Q 作为 PMD 链路设计值，被用作 M 段串联光缆 PMD 系数上限值。上限值定义为小概率 Q，该概率是串联 PMD 系数值超过 PMD_Q 的概率值。

G.65x 光缆 PMD_Q 值在相应 ITU-T G.65x 系列建议书中规定。

有关 PMD 损耗更多信息可参见[G-Sup.39]。

单模光纤和光缆 PMD 测量方法和统计方式在[G.650.2]中描述。

8.3.4 光纤非线性

在设计一个具有高输出功率 OFA 的长途光链路时，应考虑非线性效应因素。这些效应在光纤链路沿线具有累积性，并可能大幅度降低传输性能。在 SWS 中，主要非线性效应通常是信号的自相位调制，该调制正比于非线性系数 (n_2/A_{eff} 比值) 与其标准化幅度平方之积。该非线性在色散存在的情况下，可产生时域脉冲扩展，并因此对系统性能造成负面影响。但是，在 WDMs 或 DWDMs 中，主要的效应主要是由于相邻波长导致的四波混频和 / 或交叉相位调制。该非线性导致性能的下降。

在某些使用分布式拉曼放大器的海底系统中，有时也会考虑单模光纤拉曼增益系数 g_R 。拉曼增益正比于 g_R 和泵浦功率。纯的石英玻璃在 1 500 nm 处的 g_R 值大约为 2.8×10^{-14} m/W，取决于在光纤中所使用的原料。

有关光纤非线性的更多信息可参见[G-Sup.39]。

单模光纤有效面积 A_{eff} 的测量方法在[G.650.2]中描述。

单模光纤非线性系数 n_2/A_{eff} 和拉曼增益系数的测量方法分别在[IEC 62285] 和[IEC 62324]中描述。

8.4 建议的规程参数

对于海底传输系统中使用的光纤和光缆，建议采用以下参数。在工作信号和/或泵浦波长区域上规定这些参数。

光纤参数：

- 最大衰减系数 (dB/km)；
- 最大和最小色散系数 D_{max} 和 D_{min} , (ps/nm · km)；
- 最大色散斜率 (ps/nm² · km)；
- 最小有效面积, A_{eff} , (μm^2)。

海缆参数：

- 最大衰减系数(dB/km)；
- 最大 PMD_Q 系数(ps/ $\sqrt{\text{km}}$)。

注 1 — 除有效面积外，G.65x 系列光纤的其他参数都在相应的 ITU-T G.65x 系列建议书中规定。

注 2 — 在 ITU-T G.65x 系列建议书中，G.65x 系列光缆在 1550 nm 波长上的最大衰减系数范围规定为 0.22 至 0.4 dB/km。应注意的是，典型海底传输系统要求更小的衰减系数值。在已安装的海底链路中典型衰减系数有待进一步研究。

注3— 在 ITU-T G.65x 系列建议书中，G.65x 成缆光纤的最大 PMD_Q 系数值规定范围为 0.20 至 0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ 。应注意的是，典型海底传输系统要求更小的 PMD_Q 系数值。

9 单元光缆段传输特性

9.1 概述

单元光缆段是两个设备（中继器、支路单元或终端传输设备）之间的整长光缆。单元光缆段包括：

- 单纤类型单元光缆段；
- 混合类型光纤单元光缆段。

根据系统设计特别是波长数量（WDMS）的不同，可使用各种不同类型光纤以确保系统性能的实现。特别是可以通过组合各种不同类型光纤以降低信号波长上的累积色散。在此情况下，称该系统为色散被管系统。通常而言，通过这类管理措施，可以生成一幅色散地图，该地图将显示出如何在整长度海底光缆链路上对色散进行管理控制。

色散地图是描述系统色散特性的基本工具。累积色散定义为终端发射机输出端和光通道任意其他点之间测量到的色散值。色散地图是在给定工作波长上累积本地色散的图示，是光发射机和光接收机之间距离的函数。色散地图主要取决于系统类型（SWS、WDMS 或 DWDMS）。

关于“色散映射”和“色散管理实施”的进一步描述可参见[G.973]和[G.977]。

本节给出了设计海底光缆系统所需的单元缆段传输特性。单纤和混合光纤单元缆段的传输特性分别见第 9.2 节和 9.3 节中描述，第 9.4 节给出了规程所需的建议参数。

9.2 单一类型光纤单元光缆段传输特性

单纤光缆段包括一个单一类型光纤，该光纤被用作信号传输主要线路。在几个单元光缆段之间，采用与主传输线相反色散特性的光纤用以补偿信号波长上的色散效应。这些色散补偿光纤也将作为信号传输其他单元光缆段的组成部分。此类单元光缆段通常要求在 TTE 内具有单独色散补偿设备，而该设备被视作与单元光缆段相独立。色散补偿设备特性可参见[G.671]和[G.667]。

9.3 混合类型光纤单元光缆段传输特性

混合类型光纤单元光缆段由一种类型以上的光纤组成。

典型的光纤组合包括以下两类：

- 一类是 A_{eff} 不同但色散斜率正负号相同的光纤组合；
比如，具有较大 A_{eff} 和色散斜率的光纤与具有较小 A_{eff} 和色散斜率的光纤组合在一起将降低单元光缆段的色散斜率，并从而提高光纤的输入功率允许值。但是，总色散斜率不可能降至接近零，这是因为光纤的色散斜率具有相同的正负号。此类单元光缆段通常要求在 TTE 内具有单独色散补偿设备，而该设备被视作与单元缆段相独立。
- 另外一类是具有相反色散和色散斜率的光纤组合，通过调整相对色散斜率 (RDS) 和组合光纤长度，可以降低单元光缆段总色散和色散斜率，直至接近为零。
举例来说，在此情况下可将正色散及正色散斜率且 A_{eff} 较大的光纤与具有负色散及负色散斜率且 A_{eff} 较小的光纤相互组合。

总而言之，相比较单一类型单元光缆段而言，混合类型单元光缆段可实现较大的传输容量和传输距离最大值。

9.4 建议的规程参数

建议为单一和混合类型单元光缆段规定以下参数：

- 在 1550 nm 或其他规定波长上的最大和最小总衰减(dB) (注 1)；
- 最大和最小色散系数 ($\text{ps}/\text{nm} \cdot \text{km}$)；
- 最大色散斜率 ($\text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$)；
- 在指定波长范围内最大累积色散 (ps/nm)；
- 最小非线性系数 n_2/A_{eff} , ($1/\text{W}$)；
- 最大 PMD_Q 系数 ($\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$)；
- 在 1550 nm 或其他指定波长上的最大总 DGD (ps)。

注 1 — 传输线衰减系数和长度也可作为替代信息。

注 2 — 就混合类型单元光缆段而言，不论是其内部单一的光纤还是总体单元光缆段，都应给出建议参数。

附 录 一

海底光缆结构和相关信息

光缆结构和相关信息有待进一步研究。

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 | 视听及多媒体系统 |
| I系列 | 综合业务数字网 |
| J系列 | 有线网络和电视、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 | 线缆和外部设备其他组件的结构、安装和保护 |
| M系列 | 电信管理，包括TMN和网络维护 |
| 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、电话设施及本地线路网络 |
| 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、开放系统通信和安全性 |
| Y系列 | 全球信息基础设施、互联网协议问题和下一代网络 |
| Z系列 | 用于电信系统的语言和一般软件问题 |