

国际电信联盟

ITU-T

国际电信联盟
电信标准化部门

G.691

(03/2006)

G系列：传输和媒质、数字系统和网络
传输媒质的特性—光部件和子系统的特性

**具有光放大器的单路STM—64和
其它SDH系统的光接口**

ITU-T G.691 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自有特性	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
无线电电话与有线电话的协调	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
海缆	G.630–G.649
光缆	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 — 一般性和与用户相关的问题	G.1000–G.1999
传输媒质的特性	G.6000–G.6999
经传送网的数据 — 一般性问题	G.7000–G.7999
经传送网的以太网问题	G.8000–G.8999
接入网	G.9000–G.9999

欲了解更多详细信息，请查阅ITU-T建议书目录。

ITU-T G.691建议书

具有光放大器的单路STM-64和其它SDH系统的光接口

摘 要

本建议书提供利用光前置放大器和/或光提升放大器的单路长途 STM-4、STM-16 和 STM-64 系统的光接口的参数和数值。此外，本建议书亦提供无光放大器的单路 STM-64 的局内和短途系统的光接口参数。

来 源

按照 ITU-T A.8 建议书的程序，ITU-T 第 15 研究组（2005-2008 年）于 2006 年 3 月 29 日批准了 ITU-T G.691 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查询电信标准化局（TSB）的专利数据库。

© 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

	页码
1 范围.....	1
2 参考文献.....	2
3 术语和定义.....	2
3.1 定义.....	2
3.2 其它建议书定义的术语.....	2
4 缩写词.....	3
5 光接口分类.....	4
5.1 应用.....	4
5.2 参考和实际配置.....	6
6 参数的定义.....	7
6.1 系统工作波长范围.....	7
6.2 发送器.....	7
6.3 光通道.....	10
6.4 接收器.....	13
7 光参数的值.....	14
8 光工程方法.....	20
8.1 设计假设.....	20
8.2 非线性.....	21
8.3 色散调节.....	21
8.4 独立放大器.....	24
8.5 升级考虑.....	24
8.6 光安全性考虑.....	25
附件A – 消光比和眼图模框代价.....	25
A.1 测量参数.....	25
A.2 消光比代价.....	26
A.3 眼图模框代价.....	26
A.4 接收器灵敏度.....	27
附录 I – 偏振模色散.....	27
I.1 PMD的统计分布.....	27
I.2 PMD引起的通道代价.....	29
附录 II – SPM用作色散调节的说明.....	30
II.1 SPM 的基本要素.....	30
II.2 利用自相位调制作色散调节的技术.....	30
II.3 SPM 故障.....	31
II.4 应用的光参数值.....	31
II.5 光源类型.....	31
II.6 眼图模框.....	31

	页码
II.7 接收器.....	31
附录 III – 利用 DST 的色散调节.....	32
III.1 引言.....	32
III.2 DST 技术原理.....	32
III.3 色散光纤传输之后光接收眼图模框.....	33
III.4 参数定义.....	34
III.5 光参数值.....	37
附录 IV – 光发送信号的啁啾参数 α 的测量.....	38
IV.1 测量设置.....	38
IV.2 测量设备的技术要求.....	39
IV.3 校正.....	39
IV.4 测量步骤.....	40
IV.5 数据处理.....	40
IV.6 数据示例和解释.....	41
附录 V – 升级考虑.....	42

具有光放大器的单路 STM-64 和其它 SDH 系统的光接口

1 范围

本建议书的目的是提供光接口规范，从而实现使用光前置放大器和/或光提升放大器的局间单路 STM-4、STM-16 和 STM-64 的横向（多个供应商）兼容性。本建议书亦提供无光放大器的单路 STM-64 的局内和短途系统的规范。

线路放大器的使用不属于本建议书的范围。

本建议书的基础是每个方向使用一条光纤。

2 参考文献

下列 ITU-T 建议书和其它参考文献的条款，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。所有的建议书和其它参考文献均会得到修订，本建议书的使用者应查证是否有可能使用下列建议书或其它参考文献的最新版本。当前有效的 ITU-T 建议书清单定期出版。本建议书引用的文件自成一体时不具备建议书的地位。

- [1] ITU-T Recommendation G.652 (2005), *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.*
- [2] ITU-T Recommendation G.653 (2003), *Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*
- [3] ITU-T Recommendation G.655 (2006), *Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*
- [4] ITU-T Recommendation G.662 (2005), *Generic characteristics of optical amplifier devices and subsystems.*
- [5] ITU-T Recommendation G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- [6] ITU-T Recommendation G.664 (2006), *Optical safety procedures and requirements for optical transport systems.*
- [7] ITU-T Recommendation G.671 (2005), *Transmission characteristics of optical components and subsystems.*
- [8] ITU-T Recommendation G.693 (2005), *Optical interfaces for intra-office systems.*
- [9] ITU-T Recommendation G.707/Y.1322 (2003), *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).*

- [10] ITU-T Recommendation G.955 (1996), *Digital line systems based on the 1544 kbit/s and the 2048 kbit/s hierarchy on optical fibre cables.*
- [11] ITU-T Recommendation G.957 (2006), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.*
- [12] ITU-T Recommendation G.959.1 (2006), *Optical transport network physical layer interfaces.*

3 术语和定义

3.1 定义

本建议书定义了下列术语：

- 3.1.1 主要（光）通道（main (optical) path）**：在发送设备的 S 点和接收设备的 R 点之间敷设的光纤设施。主要通道不包含任何辅助通道。
- 3.1.2 主通道接口（main path interfaces）**：本建议书规范的到光纤设备的接口。
- 3.1.3 辅助（光）通道（auxiliary (optical) path）**：在无放大的发送器或接收器和（独立的）光前置或提升放大器件之间的光互连。在主要通道内不包含辅助通道。
- 3.1.4 （光）转发器（(optical) transponder）**：发送接收器的组合，脉冲整形和再定时功能可有可无，它利用在电领域的变换将光信号变换成另一个光信号。

3.2 其它建议书定义的术语

本建议书采用 ITU-T 其它建议书定义的下列术语：

Booster amplifier 提升放大器：	(ITU-T G.662 建议书)
Erbium doped fibre amplifier 掺饵光纤放大器：	(ITU-T G.661 建议书)
Joint engineering 联合工程：	(ITU-T G.597 建议书)
Longitudinal compatibility 纵向兼容性：	(ITU-T G.955 建议书)
Optical amplifier device 光放大器件：	(ITU-T G.662 建议书)
Optical amplifier subsystem 光放大子系统：	(ITU-T G.662 建议书)
Optical amplifier 光放大器：	(ITU-T G.662 建议书)
Optical fibre amplifier 光纤放大器：	(ITU-T G.662 建议书)
Optical return loss 光回损：	(ITU-T G.957 建议书)
Optically amplified receiver 光放大接收器：	(ITU-T G.662 建议书)
Optically amplified transmitter 光放大发送器：	(ITU-T G.662 建议书)
Pre-amplifier 前置放大器：	(ITU-T G.662 建议书)
S/R reference points S/R 参考点：	(ITU-T G.955 建议书)
Transverse compatibility 横向兼容性：	(ITU-T G.957 建议书)

4 缩写词

本建议书采用下列缩写：

APD	雪崩光电二极管
ASE	放大自发辐射
ASK	振幅键控
BER	比特差错率
DA	色散调节
DGD	微分群延迟
DST	色散支持传输
EX	消光比
FEC	前向纠错
ffs	尚待进一步研究
FM	频率调制
FSK	移频键控
FSR	自由光谱区
FWHM	半最大值处[室]带宽
I	局内
IM	强度调制
L	长途
MLM	多纵模
MPI	主要通道接口
MPN	模式分割噪声
NA	不应用
NRZ	不归零
ORL	光回损
PCH	预啁啾
PDC	无源色散补偿器
PIN	“p型” — 本征 — “n型”
PMD	偏振模色散
PRBS	伪随机二进制序列
PSP	偏振的主要状态
RMS	均方根（值）
S	短途
SDH	同步数字系列
SLM	单纵模
SMSR	边模抑制比

SNR	信（号）噪（声）比
SOP	偏振状态
SPM	自相位调制
STM-N	第 N 阶同步传送模块
U	超长
V	很长
WDM	波分复用

5 光接口分类

5.1 应用

本建议书规定从 STM-4 到 STM-64 陆上长途单路应用的局间线路系统的光接口。它是 ITU-T G.957 建议书的扩充，基于增加的光放大器和 STM-64 数据率。有线路放大器系统不在本建议书范围之内。

应用代码的定义比 ITU-T G.957 建议书有扩充，变为：

应用 — STM 等级，后缀数，

其中，“应用”相应于目标距离：I-（局内）、S-（短途）、L-（长途）、V-（很长距）和 U-（超长距）。

后缀数表示：

- 1 使用常规 1310 nm 光源，G.652（标准）光纤；
- 2 使用常规 1550 nm 光源，G.652 光纤；
- 3 使用常规 1550 nm 光源，G.653（色散偏移）光纤；
- 5 使用常规 1550 nm 光源，G.655（非零色散偏移）光纤。

对于某些 I-64 代码，在后缀数后附加上一个“r”表示减少了目标距离。这些应用代码属于色散受限局内族。利用其它有待进一步研究的技术方案，例如并列接口方式，可以获得同样的目标距离。

除了极短途和局内应用之外，目标距离大致基于 1550 nm 为 40 km 间距和 1310 nm 为 20 km 间距。目标距离只用于分类而不作为规范。采用下述假定估算出这些目标距离：对 1550 nm 系统假定安装好的光纤损耗为 0.275 dB/km，包括接头和光缆余度；对于 1310 nm 系统是 0.55 dB/km。从实际应用的观点看，除了极短途和局内应用外，规定衰减跨度在 1310 nm 为 11 dB/20 km 在 1550 nm 为 11 dB/40 km。在实践中，这些值可能不会用于所有的光缆，在这些情况下实现的距离可能更短一些。

主要的规范是系统的衰减范围和最大色散容限。目标距离的主要用于规定色散容限，它由最大光纤色散乘以目标距离得出。它能给出系统附加的容限并充分利用低衰减光纤设备。表 1a、1b 和 1c 归纳列出了本建议书描述的应用代码。

表 1a/G.691—按应用的光接口分类（应用代码为I的接口）

应 用						
光源标称波长 [nm]	1310	1310	1550	1550	1550	1550
光纤类型	G.652	G.652	G.652	G.652	G.653	G.655
目标距离 [km]	0.6	2	2	25	25	25
STM-64	I-64.1r	I-64.1	I-64.2r	I-64.2	I-64.3	I-64.5
给定参数的建议书	G.693	G.693	G.693	G.959.1	G.959.1	G.959.1
美标代码	VSR600-2R1	VSR2000-2R1	VSR2000-2L2	P1I1-2D2	P1I1-2D3	P1I1-2D5
注 1 — 目标距离是近似的，只用于分类，并非规范。						
注 2 — 有关 STM-1、-4 和-16 的 I、S 和 L 的代码定义见 ITU-T G.957 建议书。						

表 1b/G.691—按应用的光接口分类（应用代码为S和L的接口）

应 用						
光源标称波长 [nm]	1310	1550	1550	1550	1310	1550
光纤类型	G.652	G.652	G.653	G.655	G.652	G.652
目标距离 [km]	20	40	40	40	40	80
STM-64	S-64.1	S-64.2	S-64.3	S-64.5	L-64.1	L-64.2
给定参数的建议书	G.959.1	G.959.1	G.959.1	G.959.1	G.959.1	表 5c
美标代码	P1S1-2D1	P1S1-2D2	P1S1-2D3	P1S1-2D5	P1L1-2D1	表 5c
注 1 — 目标距离是近似的，只用于分类，并非规范。						
注 2 — 有关 STM-1、-4 和-16 的 I、S 和 L 的代码定义见 ITU-T G.957 建议书。						

表 1c/G.691—按应用的光接口分类（应用代码为V和U的接口）

应 用					
光源标称波长 [nm]	1310	1550	1550	1550	1550
光纤类型	G.652	G.652	G.653	G.652	G.653
目标距离 [km]	60	120	120	160	160
STM-1	—	—	—	—	—
STM-4	V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
给出参数的表格	表 3	表 3	表 3	表 3	表 3
目标距离[km]	60	120	120	160	160
STM-16	—	V-16.2	V-16.3	U-16.2	U-16.3
给出参数的表格		表 4	表 4	G.959.1	G.959.1
As 代码				P1U1-1A2	P1U1-1A3
目标距离 [km]	60	120	120		
STM-64	—	V-64.2	V-64.3	—	—
给出参数的表格		表 5d	表 5d		

注 — 目标距离是近似的，只用于分类，并非规范。

5.2 参考和实际配置

本建议书的重点是规范主要通道接口（MPI）。MPI 是连接长距离光纤设备的接口。主要通道的特性决定了终端设备的要求。原则上终端设备能够以不同的方式组织，使之符合 MPI 要求的规范。这将涉及到集成度、色散调节方法或独立光放大器的使用等方面。

由于在具有光放大器的单路和多路系统建议书中的光通道内有源和无源设备（放大器、复用器等）的多样性，S 和 R 参考点必须按一般的意义解释，并对每个系统详细说明。为了区分 MPI-S 和-R 点与其他参考点（例如 ITU-T G.957 建议书的 S 点），在按一般的意义使用时分别规定 MPI-S 和 MPI-R 是主要通道的发送和接收端点。

终端设备内任何光器件之间的光互连通道（连接缆）被称为“辅助通道”。在本建议书中，光纤线路系统接口可以如图 1 所示。

在图 1 中，发送侧用发送器说明，它通过辅助通道与独立的光放大装置连接，而在接收侧光放大接收机直接与主要通道相接。

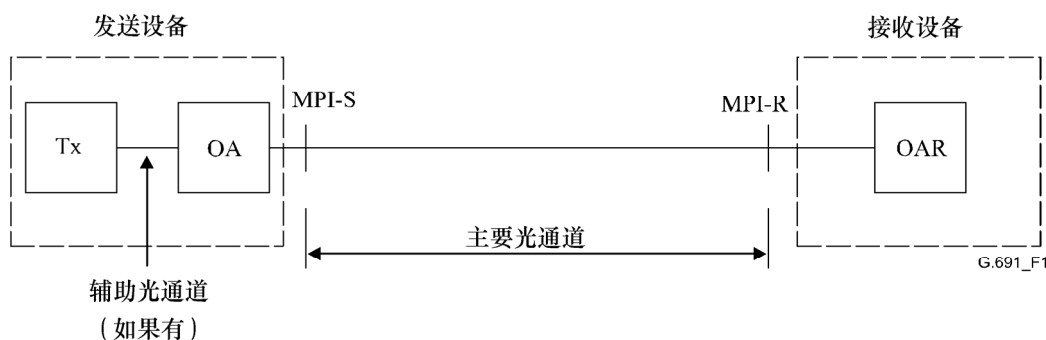


图 1/G.691—说明本建议书规定的接口点的光链路示例

6 参数的定义

所有参数的值都是最坏情况值，假设最坏情况是标准工作条件范围（即，温度和湿度范围）内会遇到的情况，还要包括寿命的影响。针对每个规定的系统在表中给定的范围内在参数的任意组合下光缆段的比特差错率（BER）设计目标不劣于 10^{-12} ，规范各个参数。

STM-64 及其以下的系统接口所用的光线路编码是符合 ITU-T G.707/Y.1322 建议书的扰码二进不归零（NRZ）码。

6.1 系统工作波长范围

系统工作波长范围是光源波长的最大允许范围。在这个范围内，光源波长可以按不同的放大器实现情况和不同的与光纤有关的损伤来选择。接收器必须具有相应光源波长最大允许范围的最小工作波长范围。

光纤传输系统的工作波长范围基本上取决于各种光纤和光源类型的衰减和色散特性。在 ITU-T G.957 建议书可以找到关于这些问题的详细讨论。在本建议书研究的有光放大器的长途系统中，光放大器它们自己进一步限制了工作波长范围。

注 — 当在接收器前面采用消除放大自发辐射（ASE）的波长固定或可调谐滤波器时，工作波长段可能会受到限制，且不能保证横向兼容性。

6.2 发送器

6.2.1 光谱特性

不要指望单独的光谱测量能保证横向兼容性，这些参数是应当查看的，但对那些目标只是这样做是不够的。目前，给出了光谱参数的少数值。在使用这些值之前，这些系统的横向兼容性还不能保证。

6.2.1.1 SLM 光源的最大谱宽

对于单纵模（SLM）光源，谱宽规定为在最大幅度峰值之下 20 dB 处最大谱峰的整个宽度。

最大时间平均谱宽主要用于防护直接调制激光器中过大的啁啾。这种光源主要企图用于低色散应用（例如，STM-4 并用 G.653 光纤的系统），但在某些高色散系统中也可使用。

高色散系统（主要指 G.652 光纤上的 STM-16 或-64 系统）通常使用调制光源。实际上，G.652 光纤上的 STM-64 系统工作于接近或处在典型的色散限制区。因而，它们的光源功率谱宽必须在实际上是完美的。最大谱宽的定义尽管仍然有效但变得不太有用了，调制光源最重要的参数已被啾啾参数取代。

6.2.1.2 MLM 光源的最大谱宽

多纵模（MLM）激光器光谱分布的最大均方根（RMS）宽度或标准偏离 σ （nm）考虑激光器所有不比峰值模低 20 dB 的模。本规范只要求在 1310 nm 使用 MLM 激光器的系统。

6.2.1.3 啾啾参数

光源频率啾啾参数（亦称为 α 参数）的定义是：

$$\alpha = \frac{\frac{d\phi}{dt}}{\frac{1}{2P} \frac{dP}{dt}}$$

式中， ϕ 是光信号的相位， P 是功率。应当指出，使用这个定义在一个脉冲期间啾啾参数不是一个常数。因而，一个脉冲可以有零平均啾啾参数值，但仍然不是没有啾啾。

正的啾啾参数相当于在脉冲上升沿的正频偏（蓝色偏移）和在脉冲下降沿的负频偏（红色偏移）。典型的调制器具有 -1 到 +1 rad 的啾啾参数，反之，标准激光器的“开启”过渡可以有 10-100 rad 的啾啾参数。

因为本建议书内几个系统都工作在典型的色散极限或靠近之处，它们的光源频必须靠近理想值。为了控制并描述信号的相位特性需要频率啾啾规范，用其他参数规定的功率谱难于看见信号的相位特性。

信号相位特性能被用于系统“峰值”性能，例如应用啾啾感生的脉冲压缩。它也能用于修正功率感生的非线性特性。这种相互作用是复杂的，因而允许这个参数的范围随应用代码和其他系统参数变化。

附录 IV 讨论光源啾啾的测试方法。

6.2.1.4 边模抑制比

边模抑制比（SMSR）的定义是光源总光谱的最大峰值与第二个最大峰值之比。测量光谱的方法应当比上面规定的峰值最大谱宽的方法更好（即，光滤波器通带宽度应更小）。第二个最大峰值可能靠近主峰也可能远离它。

注释一在这一定义中，通过时钟频率从最大峰值隔中分离出来的光谱峰值不应被当作边模。

SMSR 规范旨在用于最小化模式分割噪声（MPN）引起的 BER 劣化。因为 MPN 是低概率的瞬变效应，用 PRBS 或连续信号测量 SMSR 可能会低估 MPN。SMSR 规范只与 SLM 激光源有关系。

6.2.1.5 最大谱功率密度

最大（光）谱功率密度的定义是在被调制信号谱的任何地方每 10 MHz 间隔的最高时间平均功率电平。因而，测量必须用比 10 MHz FWHM 更好（即，光滤波器通带宽度更小）的方法来实现。

这个参数用来避免潜在具有窄的本征线宽的高功率光源，例如激光器-调制器-放大器组合进入 Brillouin 散射区。自然，该指标适用于所有光源类型。

6.2.2 平均馈入功率

在 MPI-S 点的平均馈入功率是发送器耦合进光纤的伪随机数据序列的平均功率。它给出性价比优化的容许范围和在工作条件，发送器连接器劣化，测量容差和寿命影响情况下的容限。这些值允许计算在参考点 MPI-R 接收器的灵敏度值和过载点。

在发送设备故障情况，为了光纤/激光器的安全考虑，应当限制馈入的功率和对人员的最大可能辐照时间。

6.2.3 消光比

消光比（EX）的最低允许值的定义是：

$$EX = 10 \times \log_{10}(A/B)$$

其中 A 是在逻辑"1"中央的平均光功率电平， B 是在逻辑"0"中央的平均光功率电平。对光逻辑电平采用的惯例是：

- 逻辑"1"发射光；
- 逻辑"0"无发射。

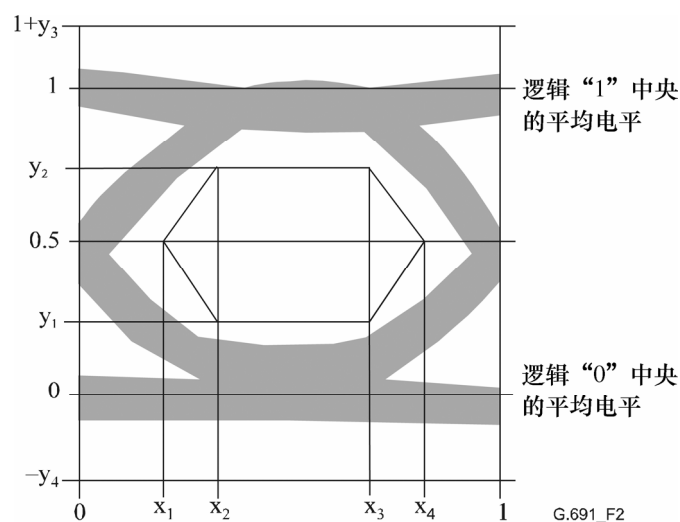
6.2.4 眼图模框

本建议书中，一般的脉冲形状特征包括上升时间、下降时间、脉冲上冲、脉冲下冲和振荡，所有这些都应控制，以便防止接收器灵敏度过分劣化，用在 MPI-S 点的发送器眼图模框的形式规范其特征。为评估发送信号，不但要考察眼的开度也要注意上冲和下冲的限度，这是重要的。图 2 所示为规范发送器眼图模框的参数。附件 A 研究眼图模框定义的更进一步的概念。

对于采用信号预补偿的色散调节技术的系统，上述意义上的眼图模框只能在信号未补偿的点定义它。然而，这些点与主通道接口不重合，因而甚至有可能不能接入。这个定义有待研究。

对于应用非线性效应作色散调节的系统（目前的 L-64.2b 和 V-64.2b），眼图模框不同于线性系统所用的眼图模框。

另外，对属于自相位调制（SPM）的系统，由于功率输出很高，为了避免 SMP 故障，需要规范最小上升时间。发送功率电平为+12 到+15 dBm 的系统，最小上升时间（信号脉冲 10%到 90%的值）需要 30 ps。对于较低功率电平例如+10 到+13 dB，这个值取多少和与信号啁啾的相互作用还有待进一步研究。



	STM-4	STM-16	STM-64 (a, c) (注 2, 3)	STM-64 (b) (注 2, 4)
x_1/x_4	0.25/0.75	—	ffs	—
x_2/x_3	0.40/0.60	—	ffs	—
x_3-x_2	—	0.2	ffs	0.2
y_1/y_2	0.20/0.80	0.25/0.75	ffs	$\Delta+0.25/\Delta+0.75$ 随 Δ 变化 $-0.25 < \Delta < +0.25$
y_3/y_4	0.20/0.20	0.25/0.25	ffs	0.25/0.25

注 1 — 在 STM-16 和 STM-64 情况下，直角眼图模框的 x_2 和 x_3 相对于在 0 UI 和 1 UI 垂直轴的距离不必相等。这个偏离的扩展有待研究。从 STM-16 和 STM-64 系统涉及的频率和构成这个滤波器的相应难度（参见附件 A）来看，STM-16 和 STM-64 的参数值需要按经验稍作变化。

注 2 — a、b 和 c 指的是表 5c 和 5d 中的应用所使用的色散调节技术。

注 3 — 包括 L-64.2a、L-64.2c 和 V-64.2a。

注 4 — 包括 L-64.2b、L-64.3、V-64.2b 和 V-64.3。

图 2/G.691—光发送信号眼图模框

6.3 光通道

为确保表 1 所述各应用的系统性能，需要规范 MPI-S 和 MPI-R 点之间光通道的衰减和色散特性。

6.3.1 衰减

本建议书中，对每种应用的衰减按照范围和表 1 所示广泛应用距离的特性加以规范。衰减指标假定是最坏情况之值，包括由于接头、连接器、光衰减器（如有）或其它无源光器件引起的损耗，以及为了包含下列情况需要的容限留出的任何附加光缆余量：

- 1) 今后对光缆布局的修改（添加接头，增加的光缆长度等）；
- 2) 环境因素引起的光缆性能的变化；
- 3) MPI-S 点和 MPI-R 点之间可能使用的任何连接器、光衰减器或其它无源光器件的劣化。

6.3.2 色散

6.3.2.1 最大颜色色散

本建议书考虑的所有系统均为色散敏感系统。某些系统甚至工作在颜色色散“经典”极限之外，要利用某些称为色散调节技术（参见第 8.3 节）的补偿方法。这个参数规定系统能容忍的主要通道颜色色散最大非补偿值。

系统要求的最大色散容限被设定为等于目标距离乘 $20 \text{ ps/km} \times \text{nm}$ （G.652 光纤）和目标距离乘 $3.3 \text{ ps/nm} \times \text{km}$ （G.653 光纤在 1550 nm 区，以及 G.652 光纤在 1310 nm 区）。这被认为是相关光纤类型的最坏情况色散值。在这个参数用最坏情况方法是企图获得敏感参数的某些余量和使它有可能延伸低损耗光纤设施的传输距离。

光通道允许的补偿考虑色散引起的所有决定性效应和平均偏振模色散（PMD）带来的代价。然而第 1 和第 2 阶 PMD 的统计变量不包括在这个通道补偿中，请参见第 6.4.3 节和附录 I。

6.3.2.2 最小色散

使用任何形式，从无源到有源的色散补偿系统可能需要通道内存在某个最小的色散。

最小颜色色散值是系统工作需要的最低色散值。这并不排除系统能工作在更低或为零的色散状态。因为不知道系统的精确工作波长，确定该值是在系统工作波长区上 G.652 光纤的最小值。

6.3.2.3 最小微分群延迟

微分群延迟（DGD）是按光信号两个基本偏振状态传输的脉冲部分之间的时间差。对于几千米以上的距离，并假定随机（强）偏振模耦合，光纤中 DGD 可按统计建模为 Maxwellian 分布。

在本建议书中，最大微分群延迟规定为系统允许最大敏感度劣化 1 dB 的 DGD 值。

由于 PMD 的统计性质，最大 DGD 与平均 DGD 之间的关系只能以概率来规定。瞬时 DGD 超过任何给定值的概率能够从它的 Maxwellian 统计推论出来。因而，如果我们知道系统能允许的最大 DGD，我们就能从相应的最大和平均可接受概率之比导出等效平均 DGD。表 2 给出了一些示例的比值。

表 2/G.691—DGD手段和概率

最大与平均值之比	超过最大值的概率
3.0	4.2×10^{-5}
3.5	7.7×10^{-7}
4.0	7.4×10^{-9}

6.3.3 色散补偿

对于工作在 G.652 光纤的 STM-64 系统的典型色散极限在使用理想的（变换受限）光源谱时大约是 60 km。本建议书几个系统在利用某些称为色散调节（DA）技术之后，就工作在那个极限之外。DA 技术是除了可能使用理想强度调制信号之外用以在某些类型光纤上扩展距离的任何方法。这些方法只在 STM-64 系统使用。DA 技术的更详细叙述包含在 8.3 节和指导性附录 III 到 V 中。

6.3.4 反射

反射由沿着光纤的折射率不连续引起。如不加以控制，由于它们对光源或放大器的干扰效应或由于多重反射导致接收器产生干涉噪声，它们能劣化系统性能。本建议书中，从光通道来的反射用下列指标予以控制：

- MPI-S 点上光缆设施，包括任何连接器的最小光回损（ORL）；
- MPI-S 点和 MPI-R 点之间最大离散反射。

反射表示从任何单个离散反射点来的反射，反之，回损却是从输入光纤包括离散的反射和分布的反向散射，例如 Rayleigh 散射返回来的总的功率。

附录 I/G.957 说明反射的测量方法。为了测量反射和回损，假定 MPI-S 点和 MPI-R 点与每个连接器插头的端面重合。要认识到这并不包括在工作系统中各个连接器的实际反射性能。假定这些反射对于所用规定类型的连接器具有标称值。

可能包含在光通道（例如，分配架或 WDM 部件）中的光连接器或其他分离的反射点的数量必须容许达到规定的总的光回损。如果使用在表 3 到 5 引用的符合最大离散反射的连接器不能做到这一点，则必须使用具有更好反射性能的连接器的数目。另一方面，必须减少连接器数目。也可能需要限制连接器数目或使用具有更好反射性能的连接器的数目，以便避免由于多重反射引起不可能接受的损伤。

在表 3 到 5 中在 MPI-S 点和 MPI-R 点之间最大离散反射取 -27 dB 的值是企图最小化多重反射效应（例如，干涉噪声）。所选择的最大接收反射值能保证会有多个连接器等的所有类似系统配置的多重引入的代价可以接受。采用少量连接器或高性能连接器的系统产生更少的多重反射，相应地能够容许接收器有较大的反射。

6.4 接收器

6.4.1 灵敏度

接收器灵敏度的定义是在 MPI-R 点获得 1×10^{-12} BER 的平均接收功率最低值。这必须通过具有最坏值的发送器眼图模框、消光比、MPI-S 点光回损、接收器连接器劣化和测量容限的发送器来满足。在最坏情况下接收灵敏度的定义在附录 A 更深入讨论。

在出现色散或有来自光通道的反射时，不需满足接收器灵敏度的要求。这些效应分别规定在最大光通道代价的配额之内。

注一当发射器的抖动超出了相应的抖动生成限制（例如，用于 SDH 光支路信号的 G.783）时，不需满足接收器灵敏度的要求。

寿命效应不作个别规定，因为典型地在网络提供者和设备制造者之间是不计的。

在寿命开始时，标称温度接收器与寿命终止时最坏温度情况之间典型的余量希望有 2 到 4dB。在表 3 到 5 规定的接收器灵敏度是最坏情况，寿命终止时之值。

6.4.2 过载

接收器过载是在 MPI-R 点，BER 为 1×10^{-12} 时接收的平均功率的最大可接受值。

6.4.3 通道代价

通道代价是信号波形在通道传输期间由于它的失真引起的接收器灵敏度的显著下降。它表现为系统的 BER 曲线朝着更高的输入功率电平偏移。这相当于正的通道代价。在某些情况下会存在负的通道代价，但可能性小。（负的通道代价表示实际上通道相关的失真改善了比完美眼图要差的发送器眼图。）理想上，BER 曲线只会被移动，但形状的变化也不罕见，并会表示 BER 基底的上升。因为通道代价随接收器灵敏度改变，它应在 BER 为 10^{-12} 情况测定。

对于低色散系统，最大通道代价允许 1 dB，对于高色散系统，最大通道代价允许 2 dB。为了避免工作系统具有高的代价，不实行比例于目标距离的通道代价。

对于采取使信号在发送器预失真的色散调节技术的系统，上述意义上的通道代价只能在信号未失真的点之间规定。然而，这些点与主通道接口不重合，因而甚至不能触及。这种情况的通道代价定义尚待研究。

PMD 引起的随机色散代价的平均值包括在允许通道代价之中。在这方面，发送器/接收器组合需要容忍 0.3 比特周期的实际 DGD 和 1 dB 的最大灵敏度劣化（在每个偏振主要状态内有 50% 的光功率）。对于设计良好的接收器，这个相当于对 0.1 比特周期的 DGD 有 0.1-0.2 dB 代价。在运行中可以遇到的真实 DGD 是随光纤/光缆特性随机变化，本建议书不规范，在附录 I 讨论。

注意由于光放大引起的 SNR 降低不认为是通道代价。

6.4.4 反射

从接收器返回到光缆设施的反射用在参考点 MPI-R 测量的接收器最大允许反射规范。

7 光参数的值

表 1 所列应用的光参数值给定在表 3 到 5。在第 6 节给出它的定义。在附件和附录中讨论某些测量方法。这些表不排除符合比某个应用代码要求更高的系统使用。

原则上能够以不同的方式组织成终端设备，使之符合主要通道的要求。还有提高基本应用代码灵活性的各种选项，用注释说明它们。

为了满足特殊要求，例如升级性、适应更高的损耗或者补偿光的非线性，可能会使用更高或更低的功率电平范围。当前，本建议书不规范这些功率电平。

本建议书目前得出的光参数值为未采用 ITU-T G.707/Y.1322 建议书规定的带内 FEC 的值。

表 3/G.691—为STM-4光接口规范的参数

应用代码 (表 1)	单 位	V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
		(注 1)	(注 2)	(注 2)	(注 3)	(注 3)
在参考点 MPI-S 的发送器						
工作波长范围	nm	1290-1330	1530-1565	1530-1565	1530-1565	1530-1565
平均馈入功率						
— 最大	dBm	4	4	4	15	15
— 最小	dBm	0	0	0	12	12
光谱特性						
— 最大-20 dB 带宽	nm	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
— 啁啾参数 α	rad	NA	NA	NA	NA	NA
— 最大光谱功率密度	mW/10 MHz	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
— 最小 SMSR	dB	ffs	ffs	ffs	ffs	ffs
最小 EX	dB	10	10	10	10	10
主要光通道, MPI-S 到 MPI-R						
衰减范围						
— 最大	dB	33	33	33	44	44
— 最小	dB	22	22	22	33	33
色散						
— 最大	ps/nm	200	2400	400	3200	530
— 最小	ps/nm	NA	NA	NA	NA	NA
最大 DGD	ps	480	480	480	480	480
在 MPI-S 点光缆设施的最小 ORL, 包括任何的连接器	dB	24	24	24	24	24
MPI-S 和 MPI-R 之间最大离散反射	dB	-27	-27	-27	-27	-27
在参考点 MPI-R 的接收器						
最小灵敏度 (BER 为 1×10^{-12})	dBm	-34	-34	-34	-34	-33
最小过载	dBm	-18	-18	-18	-18	-18
最大光通道代价	dB	1	1	1	2	1
在 MPI-R 测量的接收器最大反射	dB	-27	-27	-27	-27	-27
注 1 — 目标距离只是在所安装的光纤衰减, 包括接头和光缆余量小于等于 0.55 dB/km 的情况下获得。						
注 2 — 按第 8.4 节给出的假定, G.957 发送器和接收器与提升放大器一起给出类似的系统性能。						
注 3 — 可以使用例如为 U-16.x 或 V-64.x 系统规范的光前置放大器来代替光提升放大器。那个系统可以获得稍微更低的衰减范围。						

表 4/G.691—为 STM-16 光接口规范的参数

应用代码 (表 1)	单 位	V-16.2	V-16.3	U-16.2	U-16.3
在参考点 MPI-S 的发送器		(注 1, 2)	(注 1, 2)		
工作波长范围	nm	1530-1565	1530-1565		
平均馈入功率					
— 最大	dBm	13	13		
— 最小	dBm	10	10		
光谱特性					
— 最大-20 dB 带宽	nm	ffs	ffs		
— 啁啾参数 α	rad	ffs	ffs		
— 最大光谱功率密度	mW/10 MHz	ffs	ffs		
— 最小 SMSR	dB	ffs	ffs		
最小 EX	dB	8.2	8.2		
主要光通道, MPI-S 到 MPI-R					
衰减范围					
— 最大	dB	33	33		
— 最小	dB	22	22		
色散					
— 最大	ps/nm	2400	400		
— 最小	ps/nm	NA	NA		
最大 DGD	ps	120	120		
在 MPI-S 点光缆设施的最小 ORL, 包括任何 的连接	dB	24	24		
MPI-S 和 MPI-R 之间最大离散反射	dB	-27	-27		
在参考点 MPI-R 的接收器					
最小灵敏度 (BER 为 1×10^{-12})	dBm	-25	-24		
最小过载	dBm	-9	-9		
最大光通道代价	dB	2	1		
在 MPI-R 测量的接收器最大反射	dB	-27	-27		
注 1 — 可以使用例如为 U-16.x 或 V-64.x 系统规范的光前置放大器来代替光提升放大器。那个系统可以获得稍微更低的衰减范围。					
注 2 — 按第 8.4 节给出的假定, G.957 发送器和接收器与提升放大器一起给出类似的系统性能。					

G.959.1 中给出的参数与代码 P1U1-1A2 相同

G.959.1 中给出的参数与代码 P1U1-1A3 相同

表 5a/G.691—为 STM-64 光接口规范的参数

应用代码 (表 1)	单 位	I-64.1r	I-64.1	I-64.2r	I-64.2	I-64.3	I-64.5
在参考点 MPI-S 的发送器							
光源类型							
工作波长范围	nm						
平均馈入功率							
— 最大	dBm						
— 最小	dBm						
光谱特性							
— 最大 RMS 带宽 (σ)	nm						
— 最大-20 dB 带宽	nm						
— 啁啾参数 α	rad						
— 最大光谱功率密度	mW/10 MHz						
— 最小 SMSR	dB						
最小 EX	dB						
主要光通道, MPI-S 到 MPI-R							
衰减范围							
— 最大	dB						
— 最小	dB						
色散							
— 最大	ps/nm						
— 最小	ps/nm						
无源色散补偿							
— 最大	ps/nm						
— 最小	ps/nm						
最大 DGD	ps						
在 MPI-S 点光缆设施的最小 ORL, 包括任 何的连接器	dB						
MPI-S 和 MPI-R 之间最大离散反射	dB						
在参考点 MPI-R 的接收器							
最小灵敏度 (BER 为 1×10^{-12})	dBm						
最小过载	dBm						
最大光通道代价	dB						
在 MPI-R 测量的接收器最大反射	dB						
注 — 在本建议书中所有的应用都使用单纵模 (SLM) 激光器作为光源, 除了 I-64.1r 以外, 该应用使用多纵模 (MLM) 激光器。							

表 5b/G.691—为 STM-64 光接口规范的参数

应用代码 (表 1)	单 位	S-64.1	S-64.2a	S-64.2b	S-64.3a	S-64.3b	S-64.5a	S-64.5b
在参考点 MPI-S 的发送器								
工作波长范围	nm							
平均馈入功率								
— 最大	dBm							
— 最小	dBm							
光谱特性								
— 最大-20 dB 带宽	nm							
— 啁啾参数 α	rad							
— 最大光谱功率密度	mW/10 MHz							
— 最小 SMSR	dB							
最小 EX	dB							
主要光通道, MPI-S 到 MPI-R								
衰减范围								
— 最大	dB							
— 最小	dB							
色散								
— 最大	ps/nm							
— 最小	ps/nm							
无源色散补偿								
— 最大	ps/nm							
— 最小	ps/nm							
最大 DGD	ps							
在 MPI-S 点光缆设施的最小 ORL, 包括任何的连接器	dB							
MPI-S 和 MPI-R 之间最大离散反射	dB							
在参考点 MPI-R 的接收器								
最小灵敏度 (BER 为 1×10^{-12})	dBm							
最小过载	dBm							
最大光通道代价	dB							
在 MPI-R 测量的接收器最大反射	dB							
		在 G.959.1 中给出的代码为 P1S1-2D1 的参数	在 G.959.1 中给出的代码为 P1S1-2D2a 的参数	在 G.959.1 中给出的代码为 P1S1-2D2b 的参数	在 G.959.1 中给出的代码为 P1S1-2D3a 的参数	在 G.959.1 中给出的代码为 P1S1-2D3b 的参数	在 G.959.1 中给出的代码为 P1S1-2D5a 的参数	在 G.959.1 中给出的代码为 P1S1-2D5b 的参数
注 — S-64.2a、3a 和 5a 的发送器功率电平适用于 APD 接收器; S-64.2b、3b 和 5b 的发送器功率电平适用于 PIN 接收器。								

表 5c/G.691—为 STM-64 光接口规范的参数

应用代码 (表 1)	单 位	L-64.1	L-64.2a	L-64.2b	L-64.2c	L-64.3
		(注 1, 2)	(注 1)	(注 1)		
在参考点 MPI-S 的发送器		在 G.959.1 中给出的代码为 P1L1-2D1 的参数				
工作波长范围	nm		1530-1565	1530-1565	1530-1565	1530-1565
平均馈入功率						
— 最大	dBm		+2	13	+2	13
— 最小	dBm		-2	10	-2	10
光谱特性						
— 最大-20 dB 带宽	nm		ffs	ffs	ffs	ffs
— 啁啾参数 α	rad		ffs	ffs	ffs	ffs
— 最大光谱功率密度	mW/10 MHz		ffs	ffs	ffs	ffs
— 最小 SMSR	dB		ffs	ffs	ffs	ffs
最小 EX	dB		10	8.2	10	8.2
主要光通道, MPI-S 到 MPI-R						
衰减范围						
— 最大	dB		22	22	22	22
— 最小	dB		11	16	11	16
色散						
— 最大	ps/nm		1600	1600	1600	260
— 最小	ps/nm		ffs	ffs	ffs	NA
无源色散补偿						
— 最大	ps/nm		ffs	NA	NA	NA
— 最小	ps/nm		ffs	NA	NA	NA
最大 DGD	ps	30	30	30	30	
在 MPI-S 点光缆设施的最小 ORL, 包括任何的连接器	dB	24	24	24	24	
MPI-S 和 MPI-R 之间最大离散反射	dB	-27	-27	-27	-27	
在参考点 MPI-R 的接收器						
最小灵敏度 (BER 为 1×10^{-12})	dBm	-26	-14	-26	-13	
最小过载	dBm	-9	-3	-9	-3	
最大光通道代价	dB	2	2	2	1	
在 MPI-R 测量的接收器最大反射	dB	-27	-27	-27	-27	
注 1 — L-64.2 ^a 使用 PDC 作 DA, L-64.2b 使用 SPM 作 DA, L-64.2c 使用预啁啾作 DA。						
注 2 — PDC 的值和位置参见第 8.3.2 节。						

表 5d/G.691—为STM-64光接口规范的参数

应用代码 (表 1)	单 位	V-64.2a	V-64.2b	V-64.3
在参考点 MPI-S 的发送器		(注 1, 2)	(注 2)	
工作波长范围	nm	1530-1565	1530-1565	1530-1565
平均馈入功率				
— 最大	dBm	13	15	13
— 最小	dBm	10	12	10
光谱特性				
— 最大-20 dB 带宽	nm	ffs	ffs	ffs
— 啁啾参数 α	rad	ffs	ffs	ffs
— 最大光谱功率密度	mW/10 MHz	ffs	ffs	ffs
— 最小 SMSR	dB	ffs	ffs	ffs
最小 EX	dB	10	8.2	8.2
主要光通道, MPI-S 到 MPI-R				
衰减范围				
— 最大	dB	33	33	33
— 最小	dB	22	22	22
色散				
— 最大	ps/nm	2400	2400	400
— 最小	ps/nm	ffs	ffs	NA
无源色散补偿				
— 最大	ps/nm	ffs	ffs	NA
— 最小	ps/nm	ffs	ffs	NA
最大 DGD	ps	30	30	30
在 MPI-S 点光缆设施的最小 ORL, 包括任何的连接器	dB	24	24	24
MPI-S 和 MPI-R 之间最大离散反射	dB	-27	-27	-27
在参考点 MPI-R 的接收器				
最小灵敏度 (BER 为 1×10^{-12})	dBm	-25	-23	-24
最小过载	dBm	-9	-7	-9
最大光通道代价	dBm	2	2	1
在 MPI-R 测量的接收器最大反射	dB	-27	-27	-27
注 1 — PDC 的值和位置参见第 8.3.2 节。				
注 2 — V-64.2a 使用 PDC 作 DA, V-64.2b 使用 SPM 和 PDC 的组合作 DA。				

8 光工程方法

8.1 设计假设

本节讨论本建议书中由于, 例如, 光放大器和色散调节而引发的设计问题。关于最坏情况和统计设计方法的一般的讨论可以在 ITU-T G.957 建议书找到。

8.2 非线性

由于光放大器的引入，会使用足够大的光功率，可能会发现光非线性会带来足够大的影响。在 ITU-T G.663 建议书可以找到对这些非线性的详细讨论。

8.3 色散调节

工作在 G.652 光纤的 STM-64 系统在使用理想（变换受限的）光源谱时典型的色散极限大约是 60 km。本建议书中几种系统，在利用某些称为色散调节（DA）技术使之工作在极限之外。DA 技术是除了可能使用理想强度调制信号之外用以在某些类型光纤上扩展距离的任何方法。这些方法仅用在 STM-64 系统。

现在，本建议书包含无源色散补偿（PDC）、自相位调制（SPM）、预啁啾（PCH）和支持色散的传输（DST）等 DA 技术。方法的最佳选择尚待研究。

8.3.1 设计原则

色散调节要求大约是 G.652 光纤在 STM-64 数据率为 50-60 km。S-64.2 系统在这个极限下，不应用任何的 DA。对于 L-64.2 系统，应用某些形式的 DA 补偿在 40-80 km 范围遭受的附加色散。这种 DA 可以有各种形式。

对于 L-64.2 系统有源和无源 DA 方法都应用。无源法使用 PDC 补偿光纤的固有色散。有源法（SPM, PCH 和 DST）不是修改接口参数而是用这样一种方法来平衡色散。对于 V-64.2 系统，增设附加的无源 DA 补偿超过 40 km 的光纤。

实际上，当前推荐的所有 DA 方法是在比从零到整个链路长度更受限制的范围补偿色散。这些系统可能关系到链路内呈现的某些最小色散。因此，引入参数“最小颜色色散”。在背对背测试 DA 系统时，可能对某些系统需要在测试装置内引入最小色散。为了在背对背测试期间不使接收器过载使用衰减器来模拟它。

所有方法都要求在它们的应用代码内有横向兼容性。然而，不规定好谱特性和测试方法，横向兼容性就不能得到保证。不同 DA 方法之间的横向兼容性尚待研究。

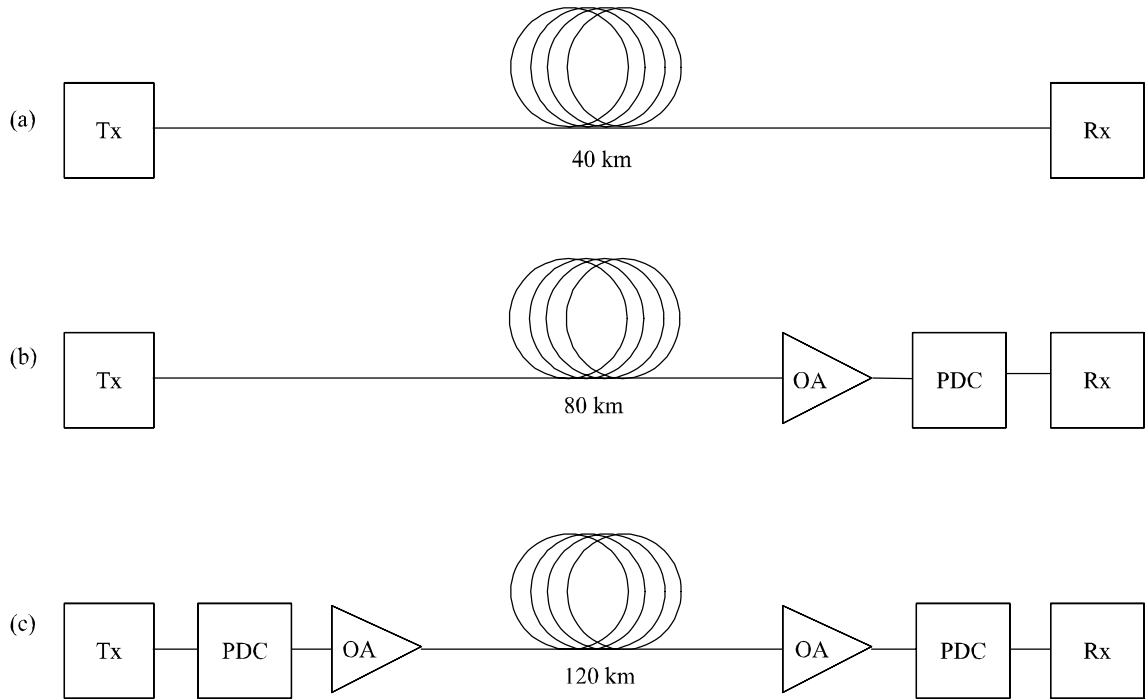
8.3.2 无源色散补偿

克服色散极限的一个方法是在接收器、发射器或两者之上添加无源色散补偿器（PDC）。本建议书打算包含所有类型的无源色散补偿器。

假定 PDC 不介入主要通道，因为器件的介入损耗（现在是几个 dB）会减小系统衰减范围。换句话说，通常 PDC 加在光功率放大器之前或光前置放大器之后。用来补偿 PDC 的介入损耗的放大器增益不会降低系统功率预算。

这个说明不影响发送器和接收器具体的集成水平，即它们可以用独立的器件或集成的光放大的发送器或接收器来实现。

在 STM-64 系统使用 PDC 的指导原则是 40 km 的 S 系统设计不用 DA。对于每种更长的应用代码，即 L-64.2 和 V-64.2，PDC 给每种增加 40 km，见图 3。于是每种 PDC 的标称色散值变成 -680 ps/nm （1550 nm）。精确值和 PDC 在何种情况会产生超过或不足的补偿尚待研究。理论上，L-64.2 系统的 PDC 只需要补偿目标距离和典限距离极限之间的差。然而，它将会导致小的工作裕量，提出的方法也便于使用在所有系统上都用的同样的设备构件。ITU-T G.671 建议书规范 PDC。



G.691_F3

NOTE – PDC的值和位置有待进一步研究。

图 3/G.691—对无线路放大器系统的无源色散补偿图

如 PDC 用在发送侧，在信号发送到光通道之前 PDC 产生信号预失真。在 6.2.4 节规定的发送器眼图在 MPI-S 点就得不到。如果可以获得不失真的信号，在那个点的眼图规范就能被证实。预失真系统的眼图规范尚待研究。

因为在发送侧使用 PDC 意味着要用光提升放大器来补偿 PDC 的损耗，功率电平会高得足以产生 SPM 和其他信号内非线性效应的可能性。然而，PDC 是线性色散补偿器，发射信号的非线性失真有可能会劣化在发送器采用的线性色散补偿。

对于 L-64.2 系统，因此 PDC 的规定位置是在接收器。这就会导致采用光前置放大器和无放大的发送器，使系统不工作在非线性区域。

对于 V-64.2 系统，需要使用提升放大器，进一步的工作可能是确定非线性效应不要过分劣化在发送侧安放的线性补偿。这一点尚待进一步研究。

如 PDC 位于光纤设施中，就认为它属于通道，如发送功率电平低于+10 dBm 左右，光通道的性能是线性的，则它就能将 G.652 通道“变换”为类似的 G.653 通道。系统本身被当作 X-xx.3 系统。系统要求按 X-xx.3 应用代码给定的通道衰减和色散考虑。通道的局部补偿由联合工程考虑，在本建议书中不予处理。

8.3.3 自相位调制

自相位调制 (SPM) 利用 G.652 光纤中的非线性 Kerr 效应，获得脉冲压缩从而增加传输距离。在附录 II 给出其技术的指导性说明。

因为这个技术要求信号功率电平达到光纤的非线性区域，只要信号功率在非线性门限之上发送功率就会引起 SPM 色散补偿效应并出现在靠近发送器的传输光纤内。当信号传播了 15-40 km 量级 (具有在 L-和 V-64.2 系统使用的功率电平)，它被衰减以至不再处于非线性区域。从而，剩下的传播就是线性的。这就产生了将发送侧的 SPM 与接收侧的 PDC 组合在一起的可能性。

脉冲的频率啁啾也会影响脉冲的传播，它也可以采用脉冲补偿。因而，需要规范啁啾参数。为了不过度补偿色散，在使用 SPM 时，啁啾参数应接近于零。

非线性相位调制也和脉冲形状有关。对于采用 SPM 的系统与线性系统相比这会产生不同的眼图模框。这些均有待研究。

8.3.4 预啁啾

另一种方法是在发送侧采用预啁啾来获得脉冲压缩效应从而增加传输距离。然而，在这种情况下使用高功率发射器就会预啁啾和 SPM 同时上升。这种组合导致对 L-64 应用代码系统的过补偿。

因此，预啁啾方法使用在低功率发送器和光前置放大器。从而这会要求发送功率电平为-1 dBm，目前对所有类型的发射器不容易获得这样的电平。这种应用代码的发送器和接收器接口参数尚待研究。

8.3.5 技术的组合

现在只规定 DA 技术的组合是在 V-64.2 系统中与 PDC 一起使用 SPM。SPM 用来调节第一个 80 km 的色散，就象在基本的 L-64.2b 基于 SPM 的系统一样，PDC 补偿增加的 40 km。后一种补偿出现在线性区域，因而不受链路初始部分采用的非线性技术的影响。

类似地，为 80 km 目标距离设计的 DST 系统 (DST L-64.2) 能够在 V-64.2 系统内与 PDC 相结合，附加的 40 km 完全由 PDC 补偿。

8.3.6 支持色散的传输

更进一步的方法，支持色散的传输（DST），采用强度和频率调制组合取代强度调制来对抗色散。DST方法的指导性说明和规范，例如应用于 L-64.2 和 V-64.2 系统的方法，在附录 III 给出。

8.4 独立放大器

对于新安装或升级的通道可以利用独立放大器（光放大器件）。在通道的一侧独立提升或前置放大器与本建议书规范的主要通道接口，而另一侧是无放大（选用 G.957, S-64.x 等）系统。因为独立放大器的目的是增加传输距离，系统集成者必须确认与之接口的无放大系统确实能运行在扩展的距离上。这可能要求波长范围和光谱特性如 6.1/G.957 和 6.2.2/G.957 所建议，附加的参数值符合本建议书。

如果原始的系统不具备超长距离工作所必需的特性，独立放大器功能上能使之扩展，使这些参数改变到与本建议书兼容。例如，它可以实行某些如第 8.3 节所述的色散调节技术或使用转发器进行频谱变换。

利用到 SDH 设备的电接口或直接接入到管理系统，可以实现独立提升和/或前置放大器的监测。

8.5 升级考虑

本建议书包含的系统传输容量要求希望在最近的将来会增加。为了应付这种演进，升级的可能性是关键。

“升级”这一术语是指任何旨在不增加新光纤或进行新建设的情况下，便可提高性能的设备变更。大部分的升级要求替换设备，在这种情况下按规定升级要停开业务。然而，在系统特定部分退出业务后保护倒换可能被用来保护系统运行。通常不会为了升级牺牲系统性能。

前向纠错（FEC）可以获得 BER 的改善和附加的系统余量。本建议书讨论的 SDH 系统，遵从 ITU-T G.707/Y.1322 建议书只在带内应用 FEC。然而，在 FEC 被禁时，可应用为应用代码规范的光参数值。在 FEC 使能时光参数值可能的修改待研究。

第 8.5.1 节对各类升级做出分类，之后第 8.5.2 节给出升级导则。

8.5.1 升级的类型

8.5.1.1 升级到更长距离

通常，升级到更长距离就等于“设备再利用或替换”，因为更长的距离要求更大的衰减段落和更紧的容限，例如对光谱特性。

8.5.1.2 升级到更高的比特率

改变为更高的比特率来扩展容量也意味着设备替换，如不采取附加措施（例如，保护倒换）将导致业务中断。在一个波段内局内系统的目标距离是在每个波长段以等步距变化的（对 1550 nm 是 40 km，对 1310 nm 是 20 km）。

附录 V 提供升级到更高比特率的附加信息。

8.5.1.3 从单路系统升级到多路系统

从单路系统到多路系统的升级是停业务，重新利用设备的升级类型。如果要求不停业务扩展容量，从一开始就要采用多路系统。

8.5.1.4 利用独立光放大器升级

在为了升级利用独立光放大器时，适用如第 8.4 节一样的考虑。

8.5.2 升级导则

保留单路系统没有线路放大器的和多路系统的升级性可能并不有利，因为，为了比特率升级光放大发送器和光放大接收器要作重大修改甚至是更新，只有光纤可以再利用。

保留从单路系统到多路系统的升级性可能并不有利。这是因为二者的设计理念，包括光纤放大器设计和控制、功率预算等许多观点和对色散、光纤非线性及信噪比的考虑等许多方面是完全不一样的。

8.6 光安全性考虑

参见 ITU-T G.664 建议书有关光安全性的考虑。

附 件 A

消光比和眼图模框代价

A.1 测量参数

眼图模框测量规范有两组：一个用于 STM-4 和 STM-16 接口，一个用于 STM-64 接口。

- i) 对于 STM-4/STM-16，眼图模框测量过程和参考接收器，例如附件 B/G.957 所述，是假定对所考查的比特率具有合适截止频率的四阶 Bessel-Thomson 滤波器。表 1 给出这个参考接收器的容限值。
- ii) 对于 STM-64，眼图模框测量过程和参考接收器，例如附件 B/G.957 所述，也是假定对 STM-64 具有合适截止频率的四阶 Bessel-Thomson 滤波器。然而对于这个速率，光参考接收器的函数规定为光检测器、低通滤波器和示波器功能单元的任意组合和那些单元的任何互连加在一起的总频率响应。这个传递函数的容限值在表 A.1 的最后一列（STM-16）给出。

表 A.1/G.691—光参考接收器的光衰减容限值

f/fr	Δa [dB]		
	STM-4	STM-16	STM-64
0.001 到 1	± 0.3	± 0.5	± 0.85
1 到 2 (注)	± 0.3 到 ± 2.0	± 0.5 到 ± 3.0	± 0.85 到 ± 4.0

注 — Δa 的中间值应在对数频率标尺上线性插值。

图 A.1 表明由于眼图模框和消光比 (EX) 不完善可能遭到的代价。在该图中, EX 是 a/b 比, 相对眼开度是 d/c 比。理想上, EX 为无穷, 且眼睛完全打开并对称。则输入光功率对调制有用, EX 和眼图模框代价为 0 dB。

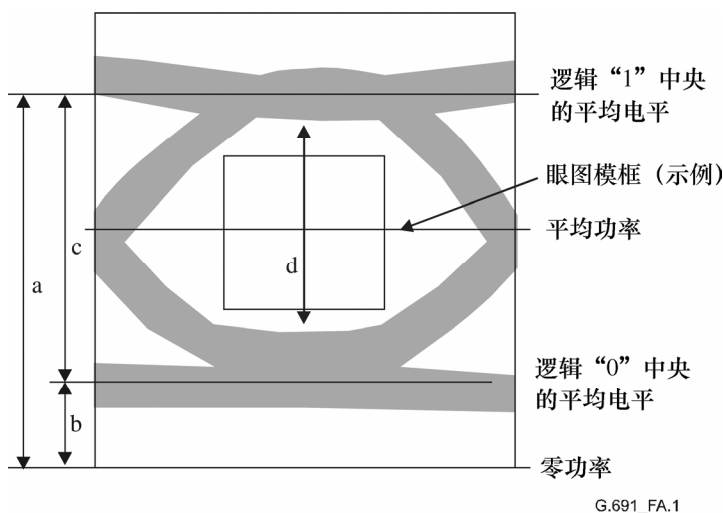


图 A.1/G.691—眼图模框和消光比代价

A.2 消光比代价

消光比使某部分的光功率对调制无用, 它相当于接收器灵敏度代价。精确的代价取决于应用和所选定的接收器实现方法。

A.3 眼图模框代价

除了有限的 EX, 由于瞬态信号不完善, 例如上升和下降时间、过冲等, 眼睛可能从它的平均“0”和“1”电平闭合。如果相对眼睛开度 d/c 小于一, 将遭受代价。眼图模框代价 P_{EM} 可表示为:

$$P_{EM} = 10 \log_{10} \left(\frac{d}{c} \right) \text{ [dB]}$$

它相当于与具有完全张开眼睛的信号相比的接收器灵敏度损失。

因为 BER 是信号的极度陡峭的函数, 单个的不完善能够决定输入 BER。因而, 它是决定 BER 的眼睛 (张开的) 内最里层的线。即便是这些线很稀少在眼图模框测量时不易观察 (因为测量时间有限), 它对 BER 的影响还是深远的。

现在的眼图模框允许眼睛闭合到张开的 50%。与这样闭合的眼睛相关的实际系统代价取决于系统的实现方式。在给定的情况, 眼图模框的代价能合理地估算为在接收器判决点眼睛相对的 (垂直) 开度。

为了评估眼图模框代价，眼图模框测量滤波器和测量程序应与所用接收器的特性相应。因为对此没有详细规范，眼图模框代价不是准确的接收器代价。然而，因为大部分接收器设计合理地类似于眼图模框测量程序中使用的滤波器，所以通常二者很相似。

A.4 接收器灵敏度

消光比代价和眼图模框代价是按 dB 相加的。例如，EX 代价为 1.3 dB 而眼图模框代价为 3 dB，最坏情况的信号会表现出比使用理想发送器时灵敏度低 4.3 dB。

按照接收器灵敏度的定义，应当在最坏情况下测量它。如果不这样做，要对在太良好条件下测量的接收器灵敏度加以校正，可以根据 EX 和测试发送器的相对眼睛开度来估算校正值。这种估算可能比用严格的最坏情况信号（可能很难产生）进行测试更可取。

附录 I

偏振模色散

I.1 PMD的统计分布

如第 6.3.2.3 所述，在保持不偏振的光纤中偏振状态之间的微分群延迟（DGD）是随机变化的。经常假定它是具有下列概率密度函数的 Maxwellian 分布：

$$f(\Delta\tau) = 32 \frac{\Delta\tau^2}{\pi^2 \langle \Delta\tau \rangle^3} \exp\left(-\frac{4\Delta\tau^2}{\pi \langle \Delta\tau \rangle^2}\right)$$

式中， $\Delta\tau$ 是 DGD， $\langle \Delta\tau \rangle$ 是平均 DGD。图 I.1 示出概率密度函数 $f(\Delta\tau)$ 。然而，在给定时刻，系统会经历一个特定的 DGD、 τ ，它是 DGD 随机分布的现实值，其平均由链路的 PMD 给定。因此一个脉冲链可能会因延迟差（小于或大于链路的平均 PMD）而受损。

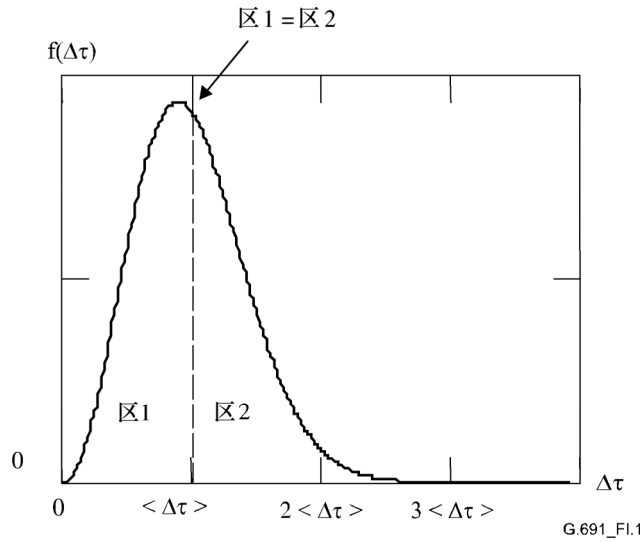


图 I.1/G.691—Maxwellian分布函数（示例）—
概率密度函数 $f(\Delta\tau)$ 对微分群延迟 $\Delta\tau$

从 $\Delta\tau_1$ 到 $+\infty$ 积分这个概率密度函数得出概率 $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$:

$$P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1) = \int_{\Delta\tau_1}^{\infty} f(\Delta\tau) d(\Delta\tau)$$

图 I.2 描述这一概率 $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$ 。

例如，如 DGD 大于 3 倍的 DGD 平均值， $\Delta\tau_1 = 3 \langle \Delta\tau \rangle$ ，则能从图 I.2 得到 $P(\Delta\tau \geq 3 \langle \Delta\tau \rangle) \approx 4 \times 10^{-5}$ 。

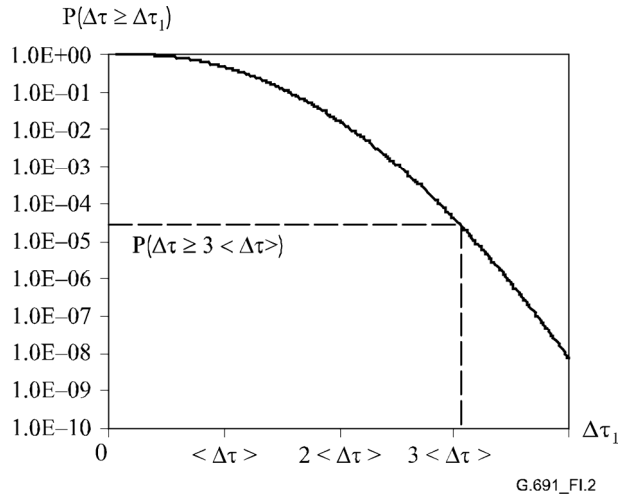


图 I.2/G.691—概率 $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$

DGD 的变化与光纤内激励的偏振状态、光纤各个部分的应变、温度变化等有关，因而变化相当缓慢。假定 DGD 大约一天才有明显的变化，PMD 上升到三倍它的平均值的时刻之间的上述概率相当于约 70 年。

然而，光纤的环境强烈地影响 PMD 变化的特征时间，例如架空光缆可能具有较短的变化时间，如特征时间假定为一分钟，大约每 17 天 PMD 就会上升到三倍它的平均值。

在通道代价由于 PMD 而变高的期间，即“中断时间”，也具有特征时间的量级，即在上述两例中分别为一天或一分钟。

I.2 PMD引起的通道代价

因为 PMD 是光纤的特征，在本建议书不能规范它。换言之，链路中总的 PMD 量相当于对最坏情况通道代价要考虑有 1 dB。最坏情况的基础是 DGD 为 0.3 比特周期以及假定两个偏振（PSP）的主要状态载送一样的光功率。

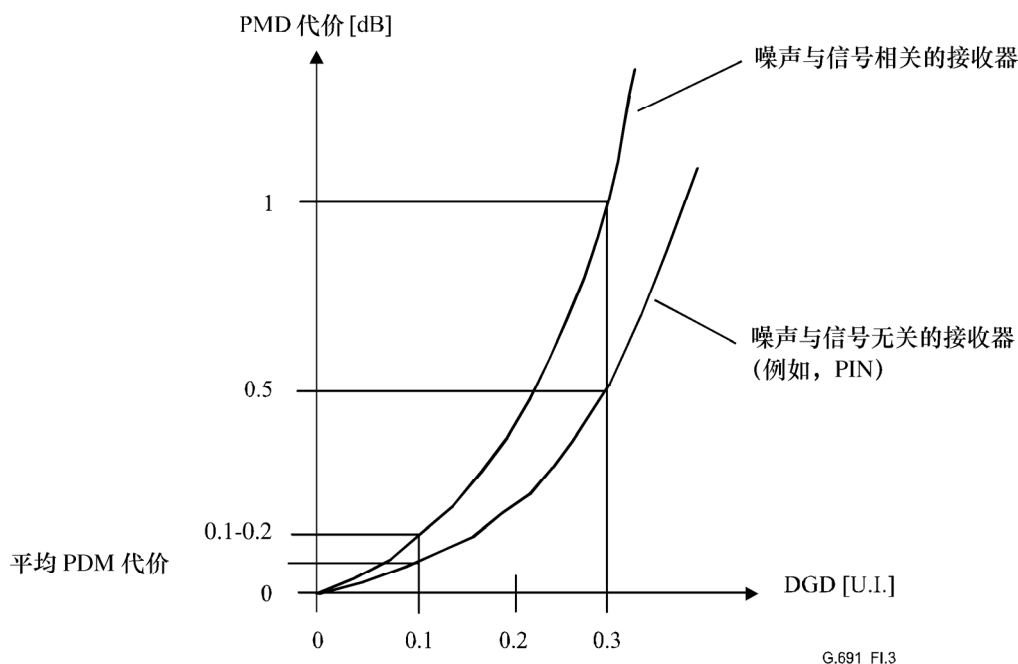


图 I.3/G.691—接收器代价与实际DGD的关系（示例）

对于 DGD 假定按 Maxwellian 分布（见图 I.1）。DGD（如果假定在两个 PSP 内光功率相同，DGD 就和 PMD 引起的信号脉宽度变宽直接吻合）和相应的通道代价之间的关系是接收器的特性并示例于图 I.3。具有实际的假定和很好设计的接收器，它能降低 0.3 比特周期的实际 DGD（和 50% 的在两个 PSP 内的光功率），对噪声与信号无关的接收器（PIN 接收器）会得到大约 0.5 dB 的代价，对噪声与信号相关的接收器（APD 或前置放大器）代价达到 1 dB。

光纤的相应允许最大 PMD 取决于以下几项：

- DGD 的统计分布；
- 代价会超过 0.5 dB（PIN）或 1 dB（例如，APD）的容许概率；
- PSP 的空间起伏和 DGD 的起伏之间的校正；
- 由激光发送器发射的光束相对于 PSP 方位的输入偏振状态（SOP）的方位。

允许的最大 PMD 和最大信号脉冲宽度展宽之间的实际校正有待研究。首次估算能由下列例子推论出来：0.1 比特周期的最大 PMD 指示超过 1 dB 的通道代价的概率为 4×10^{-5} （见图 I.2 和 I.3）。然而，基于下述理由，希望在这个例子中 >1 dB 通道代价的概率小于 4×10^{-5} ：在 DGD 改变时（例如，应力或温度变化），通常，PSP 的空间方位也改变。从而，激光器发送器的光束的输入 SOP 方位相对于 PSP 的方位要改变。因此，空间起伏的 PSP 通常不会承载同样的光功率，在接收器产生较小的代价（因为 4×10^{-5} 的概率只对两个 PSP 上功率相等的假定有效）。反之，很有可能对 >1 dB 通道代价允许的 4×10^{-5} 的概率会容许最大 PMD 大于 0.1 比特周期。

附 录 II

SPM用作色散调节的说明

II.1 SPM的基本要素

在使用高功率发送器时，例如在尚无中继器的长途传输系统中，非线性效应，如自相位调制（SPM），对传输质量起着重要的作用。在强度调制系统中，高发送器功率电平会引起光纤折射率的调制，使得比特为“1”的折射率与为“0”的相比不一样。由功率电平变化引起的折射率调制称为 Kerr 效应。

给定脉冲的光强度变化调制了光纤的折射率，它又转而引起光波的相位调制。这个过程称为 SPM。相位的时间偏离是频率，光信号将经受一个相对于其中点不对称的频率偏离，于是在脉冲的上升沿的频谱分量遭受向下的频率偏移，红偏移，而脉冲的下降沿的频谱分量遭受向上的频率偏移，蓝偏移。

G.652 光纤在 1550 nm，相互比较红偏移分量移动较慢而蓝偏移分量移动更快。频谱分量的传播速度与脉冲相反，因而，比在前面的那个频谱分量更快。这就会使净颜色色散效应或脉冲压缩降低，延缓颜色色散引发传输间距限制的发作。

SPM 引发的最大相位偏移与发射器馈入的光功率成正比，与传输光纤的衰减系数和有效纤芯面积成反比。

II.2 利用自相位调制作色散调节的技术

用 SPM 得到的脉冲压缩抵消了光纤色散引起的脉冲扩展。因而 SPM 能用作色散调节（DA）技术。作为色散调节技术使用的 SPM 与下列参数有关：发送器输出功率、光纤衰减系数、纤芯面积、光纤非线性指数、发送器波长、发送器预啁啾和光纤颜色色散。

在目标距离为 80 km 和采用非色散偏移光纤的 10 Gbit/s 系统，SPM 能用作色散调节技术且发送功率可达 +17 dBm，用色散偏移光纤达 +13 dBm 代价小于 1.5 dB。

II.3 SPM故障

发送器输出功率有一个上限，由 SPM 破坏给定这个极限。SPM 破坏功率电平规定为脉冲前沿和后沿重合时发送器的功率。如发送器功率增高到 SPM 破坏电平为止，就会使代价剧烈增大。

确定 SPM 破坏功率电平的支配性参数是上升和下降时间以及消光比。两个参数都用来控制光功率的时间导数，从而控制 SPM。其他参数（例如，光纤衰减系数、有效纤芯面积等）与这些参数相比对 SPM 破坏功率电平的影响较小。

II.4 应用的光参数值

按照 STM-64 系统的 SPM 原理，原则上需要有比发送光信号单纯的频谱宽度值更为准确的频谱特性的描述。最重要的附加参数是光源啁啾，多半使用在直接调制光源情况下的 α 参数来描述它。要注意，如果要规范这个值，就不仅针对小信号工作进行规范，对在光纤非线性光区域内大信号工作也要进行规范。

这个参数也有测量方法。然而，最简单的办法是测量与相关光通道结合在一起的传输特性。原则上其含义是规范这个参数实在是不需要的，但是要规范一个表，其中接收器和发送器的值是和通道结合在一起考虑的。这就意味着，发送器频谱特性直接和接收器灵敏度以及通道特性（在这种情况下就是色散和衰减）结合起来考察。

II.5 光源类型

对于 10 Gbit/s L- 和 V-型，强度调制的光源类型，通常信号被非直接的调制，采用 Mach-Zehnder 或电吸收调制器来实现。通常采用与光发送器集成在一起的提升放大器来获得必要的发送器功率电平。然而，实现方法并不属于标准化范畴，要标准化的只是表 4 和表 5 规定的那些相关值。除了这些值，为了获得横向兼容性，规定眼图模框也是必须的。

II.6 眼图模框

一般发送器的脉冲波形特性，包括上升和下降时间和脉冲的上冲和下冲，应当受到控制以防止劣化，因此就用眼图模框的形式规范脉冲形状。这个眼图模框在参考点 MPI-S 有效。

II.7 接收器

对于强度调制系统，可以采用直接检出接收器实现。然而，实现方法不属于标准化范畴。在表 4 和表 5 给出要求的灵敏度和反射值。

附录 III

利用DST的色散调节

III.1 引言

支持色散的传输（DST）是有源色散调节（DA）技术。发送器产生含有合适的光频率调制的光信号。传输光纤的色散被用来将光频率调制转换成在接收器那里的强度调制。利用这种效应，是有可能超越典型色散限制（对受到光源光谱限制的具有理想变换的常规 ASK 调制而言）。本附录考虑 DST 技术的指导性描述和 DST 系统的参数及值。

III.2 DST技术原理

在新的传输方式中，光发送器产生光的 FSK/ASK（或单纯的光 FSK）输出信号。利用色散光纤，将发送侧的 FSK 信号部分转换成接收侧的 ASK 信号部分。然后用光接收器检出全部 ASK 信号。

用输入的二进信号使光频率 ν 在两个值之间转换，两个值的频偏为 $\Delta\nu$ ，相当波长偏移： $\Delta\lambda = \Delta\nu\lambda^2/c$ 。由于光纤的色散，波长不同的各信号分量在不同的时间到达长度为 L 的光纤的输出。时间 $\Delta\tau$ 表示为 $\Delta\tau = \Delta\lambda D L$ 。在接收器侧产生一个 4-（或 3-）电平信号。可以用：

- a) 低通滤波器和单阈值检测电路；或
- b) 阈值为 P_1 和 P_0 的双阈值检测电路和存储器恢复原始信号。

在图 III.1 示出“支持色散的传输”的原理，给出了发送信号 a) 和接收信号 b)，其中 I 表示发送器驱动信号， ν 是光频率， P_{opt} 是输出光功率， V_{LP} 是低通滤波器（LP）输出电压，而 V_{dec} 是检测电路输出电压。

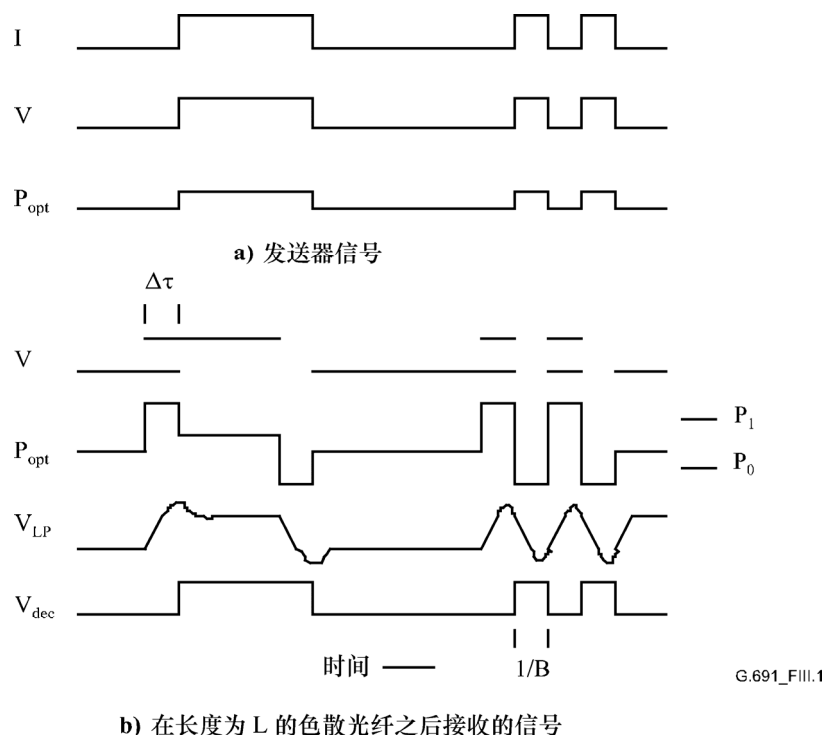


图 III.1/G.691—支持色散传输的原理，光FSK/ASK传输

DST 的原理也可以用频域内小信号分析来描述：发送光信号的绝热啁啾（光频率调制）与光纤色散效应的结合导致了对低频的类似高通的传递特性。这个响应能在电域利用例如接收器的低通滤波器（“DST-滤波器”）均衡。

III.3 色散光纤传输之后光接收器眼图模框

与单纯光 ASK 信号的二电平接收器眼图不同，在色散光纤传输之后，单纯光 FSK 信号表现为三电平接收器眼图，而联合的 FSK/ASK 信号表现为四电平接收器眼图，图 III.2 a) 和 b) 分别示出的那样。

图 III.2/G.691—色散光纤之后的接收器眼图

III.4 参数定义

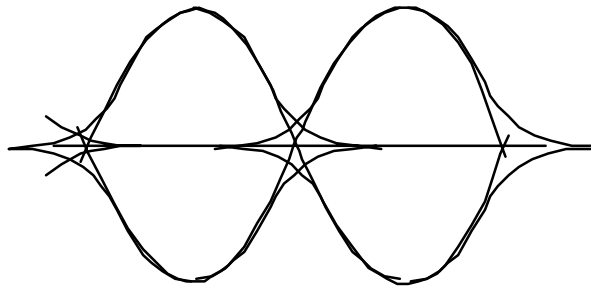
本节只规定唯一用于 DST 或另外需要注解的参数的定义。其他的参数在第 6 节定义，如果没有在本节给出别样的定义，它们也完全适用于 DST 方法。

III.4.1 在参考点 MPI-S 的发送器

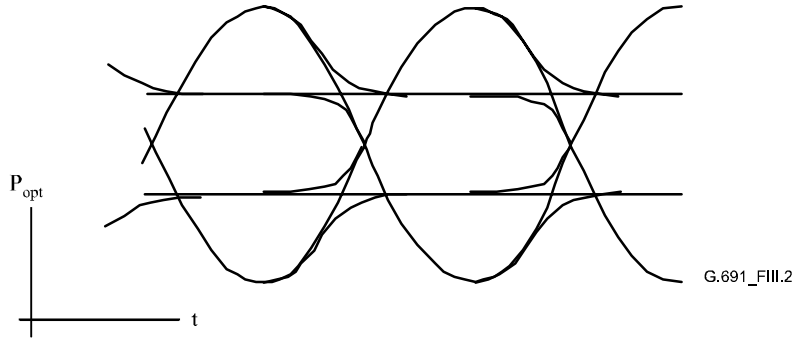
III.4.1.1 频率偏离

频率偏离用来保证发送信号在所讨论的传输范围具有适量的光频调制。

在参考点 MPI-S 发送光信号的频率偏离 $\Delta\nu$ 定义为 $\Delta\nu = \nu_1 - \nu_0$ ，其中 ν_1 为在发送信号代表逻辑符号“1”的期间（也相当于高的功率电平）的光频率 ν ， ν_0 是发送信号代表逻辑符号“0”的期间（也相当于低的功率电平）的光频率。



a) 发送器的单纯光FSK信号



b) 发送器的联合光 FSK/ASK 信号

III.4.1.1.1 测量方法

能够使用的测量装置在附录 IV 说明。在附录 IV 也说明了变量 $V^+(t)$ 和 $V^-(t)$ 的估算。时间分析的频率啁啾 $v_c(t) = v(t) - v_r$ 用下式给定：

$$v_c(t) = (2\pi)^{-1} \text{FSR} \arcsin\left(\frac{V^-(t)}{V^+(t)}\right)$$

$v_c(t)$ 是计算值，在图 IV.4 与 $P(t)$ 描绘在一起以便比较。

$v_1 - v_r$ 是从 A1 字节(11110110)的第 3 比特的中部的 $v_c(t)$ 估算。

$v_{\bar{0}} - v_r$ 是从 A2 字节(00101000)的最末比特的中部的 $v_c(t)$ 估算。

从 $\Delta v = v_1 - v_{\bar{0}} = (v_1 - v_r) - (v_{\bar{0}} - v_r)$ 估算频率偏离。

(另一种使用图 II.1/G.957 示出的测试脉型估算频率偏离的方法尚待研究。)

III.4.1.2 发送器眼图模框

对于单纯 IM 系统，使用发送器眼图模框来规范发送器脉冲形状特征和劣化。因为 DST 技术采用强度调制和频率调制载送信号，采用两个眼图模框测量技术规范在参考点 MPI-S 的光发送信号。

III.4.1.2.1 IM眼图模框

IM 眼图模框规范了信号的强度调制部分。它与 6.2.4 节定义和使用的 IM 眼图模框定义是同样的。IM 眼图模框的值如 6.2.4 节图 2 的规定，如下表 III.1 示：

表 III.1/G.691—DST系统的IM 眼图模框之值

STM-64 IM 眼图模框(DST)	
x_1/x_4	—
x_2/x_3	—
$x_3 - x_2$	0.2
y_1/y_2	0.3/0.6

III.4.1.2.2 FM/IM眼图模框

FM/IM 眼图模框具有与频率调制用于补偿链路色散函数相应的函数。为了设想信号的 FM 部分，FM/IM 模框测试包含有特定的 FM 到 IM 变换和在眼图模框测量装置中参考接收器特定的频率响应。下面叙述 FM/IM 眼图模框测量装置。

测量装置类似与图 B.1/G.957 描述的装置。另外，新的测量装置包含有：

- i) 色散单元，它的颜色色散等于规定长度的 G.652 光纤的色散；和
- ii) 光前置放大器，用于补偿色散单元的衰减。

增加的设备 i) 和 ii) 位于被测试的发送器和参考接收器的光输入口之间。光参考接收器的传递函数 $H(p)$ 规定如下（参见图 B.2/G.957）：

$$H(p) = \frac{U_0}{2U_2}$$

对于 FM/IM 眼图模框测量，使用如下的参考接收器传递函数：

$$H = H_B \cdot H_D$$

其中， H_B 代表符合附件 B/G.957 四阶 Bessel-Thomson 响应， H_D 为截止频率为 f_g 的一阶低通滤波器，由下式给定：

$$H_D = \left(1 + j \frac{f}{f_g}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{f_r}{f_g} p\right)^{-1} = \left(1 + 0.75 \frac{f_0}{f_g} p\right)^{-1} = \left(1 + \frac{0.75}{2.114} \frac{f_0}{f_g} y\right)^{-1}$$

其中

$$p = j \frac{\omega}{\omega_r}, y = 2.114 p, \omega_r = 1.5\pi f_0, f_0 = \text{比特率}, f_r = 0.75 f_0$$

滤波器可以用硬件实现。另一种方案是提议滤波器用软件，例如 PC 或眼图分析器，来实现，尚待研究。

在下面的表 III.2 给出在测量装置中使用的色散等于规定长度 G.652 光纤的色散单元和接收滤波器的截止频率 f_g 的特征值。

表 III.2/G.691— DST 滤波器值

	单 位	DST L-64.2/1	DST L-64.2/2	DST V-64.2
滤波器截止频率	MHz	2500	2500	1400
等效光纤长度 (ITU-T G.652 建议书)	km	80	80	120

在这个信号变换进色散单元和包括了眼图模框测量用参考接收器修正的频率响应之后，其定义和过程与第 6.2.4 节使用的 IM 眼图模框的定义是一样的。

FM/IM 眼图模框的值由表 III.3 给出：

表 III.3/G.691— DST 系统 FM/IM 眼图模框之值

STM-64 FM/IM 眼图模框(DST)	
x_1/x_4	—
x_2/x_3	—
$x_3 - x_2$	0.2
y_1/y_2	0.3/0.6

III.4.2 在参考点 MPI-R 的接收器

III.4.2.1 最小灵敏度

接收器灵敏度定义为在 MPI-R 点为获得 1×10^{-12} 的 BER 平均接收功率可接受的最小值。在 DST 系统，接收器灵敏度的定义包括 MPI-S 和 MPI-R 之间的色散单元。这个色散单元的颜色色散等于为所认定

的目标距离规定的最小颜色色散，其值如表 III.4 给出的值。在第 6.4.1 节所述对接收器灵敏度的所有其他要求也适用于 DST 接收器。

本建议书的正文中，没有给出接收器的实现的细节，例如，特定的滤波器传递函数的规格。只是在附件 B/G.957 中对发送器眼图模框的测量装置中滤波器传递函数作了标准化。这并不意味着，传输系统的光接收器要有同样的滤波器传递函数。

适于 DST 系统相同的策略，只标准化发送器眼图模框测量用参考接收器的滤波器传递函数。传输系统中光接收器的滤波器传递函数不属于标准化的范畴。然而，在接收器中采用的低通滤波器，也可能会采用由能够检出多电平眼图的特定判决电路构成的各种方法。

III.4.2.2 最大光通道代价

通道代价的定义在第 6.4.3 节给定。考虑到上述 DST 系统接收器灵敏度的定义，这个定义也适用于 DST 系统。

III.5 光参数值

表 III.4 给出光参数值。

表 III.4/G.691—使用DST的STM-64光接口的参数值

应用代码	单 位	DST L-64.2/1	DST L-64.2/2	DST V-64.2
在参考点 MPI-S 的发送器				
工作波长范围	nm	1530-1565	1530-1565	1530-1565
平均馈入功率				
— 最大	dBm	3	13	17
— 最小	dBm	0	10	14
光谱特性				
— 最大啁啾参数 α	rad	3.5	3.5	3.5
— 最大频率偏离	GHz	8	8	6
— 最小频率偏离	GHz	7	7	5
— 最大谱功率密度	mW/MHz	0.02	0.02	0.02
— 最小 SMSR	dB	35	35	35
最小 EX	dB	3	3	2
主要光通道，MPI-S 到 MPI-R				
衰减范围				
— 最大	dB	22	22	33
— 最小	dB	11	16	22
色散失真				
— 最大	ps/nm	1600	1600	2400
— 最小	ps/nm	800	800	1600
无源色散补偿				
— 最大	ps/nm	NA	NA	NA
— 最小	ps/nm	NA	NA	NA
最大 DGD	ps	30	30	30
在 MPI-S 点光缆设施的最小 ORL，包括任何的连接器	dB	24	24	24

表 III.4/G.691—使用 DST的STM-64 光接口的参数值

应用代码	单 位	DST L-64.2/1	DST L-64.2/2	DST V-64.2
MPI-S 和 MPI-R 之间最大离散反射 在参考点 MPI-R 的接收器	dB	-27	-27	-27
最小灵敏度	dBm	-24	-14	-21
最小过载	dBm	-8	-3	-5
最大光通道代价	dB	2	2	2
在 MPI-R 测量的接收器最大反射	dB	-27	-27	-27

附 录 IV

光发送信号的啁啾参数 α 的测量

这个测量啁啾参数 α 的方法的基础是光发送信号的功率和频率偏离的直接时间域测量。

IV.1 测量设置

推荐的测量啁啾参数的设置基础是双光束干涉仪（例如，Michelson 干涉仪或 Mach-Zehnder 干涉仪），宽带光变换器和宽带示波器，见图 IV.1。

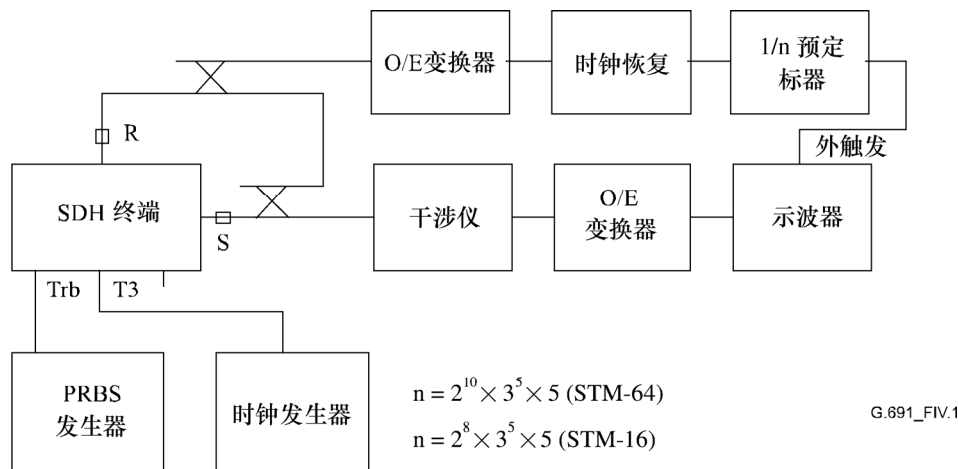


图 IV.1/G.691—测量设置

待测发送器的光输出在参考点 S 连接到双光束干涉仪。干涉仪的输出连到光变换器，变换器的电输出由宽带数字示波器记录。预定标的从光接收器信号恢复的时钟产生帧同步信号，用以触发示波器。

为了在测量期间保持发送器打开，送到干涉仪的部分光束耦合到传输设备的光接收器端口。 $2^{23}-1$ PRBS 数据发生器连到支路端口，它们按环回模式配置。

IV.2 测量设备的技术要求

双光束干涉仪

自由光谱区 (FSR)：至少四倍大于发送器的啁啾。

发送器

遍移波长：可调节。该范围必须等于或大于干涉仪的自由光谱区。

双光束干涉仪必须具有控制电路，使干涉仪能锁定输入信号。控制电路应能使干涉仪在正交点 A 和正交点 B 锁定输入信号，见图 IV.2。

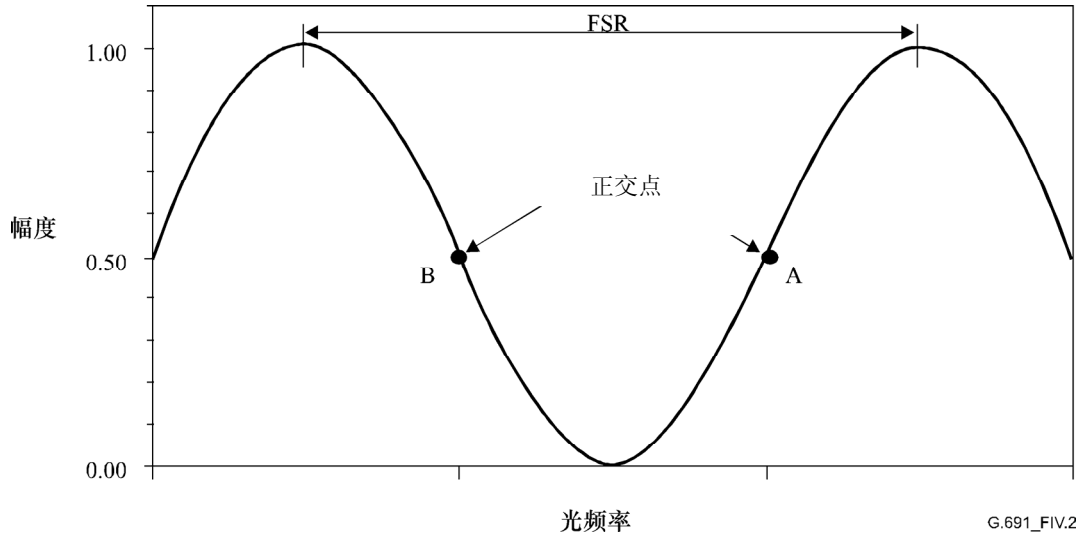


图 IV.2/G.691—双光束干涉仪的传递函数图，
说明正交点 A 和 B 以及定义自由光谱区

光变换器和示波器的组合频响

低 -3 dB 截止频率 <100 kHz

高 -3 dB 截止频率 >20 GHz

示波器应具有很强的功能，至少有四线，能够实现对踪迹的数字功能或具有将测量的数据踪迹传递到计算机的能力以便作进一步的处理。

IV.3 校正

干涉仪的自由光谱区由与干涉仪内部两个光通道相关的延迟 t_d 来确定：

$$FSR = \frac{1}{t_d}$$

t_d 能够用示波器直接测量从每个光束来的数据到达时间差得出或利用标尺和计算延迟间接测出。使用光波分量分析器测量干涉仪的传递函数也能得出 FSR。传递函数的头一个零出现在等于 FSR/2 的频率。

精细的调节 FSR，调整干涉仪的正交点使之与发送器波长匹配。利用监测通过干涉仪的 SDH 发送器信号的平均功率识别正确的位置，干涉仪起到细调 FSR 的作用。正交点的位置是通过干涉仪的平均功率为线性标尺上最大和最小功率之间一半的地方。在这个位置干涉仪应锁定发送器信号。

IV.4 测量步骤

- 1) 如图 IV.1 所示安排设备。将足够大的衰减加到送给接收器的信号，以避免过载。
- 2) 将发送器的支路输入配置为环回模式，并将 PRBS 发生器连到第一条支路输入。
- 3) 为集合信号配置定时信号如 T3（外时钟输入），使发送器同步于恢复的时钟。
- 4) 按 IV.3 校正双光束干涉仪。将干涉仪锁定于正交点 A。
- 5) 调节数字示波器延迟直到在示波器上显示出 SDH 开销的定帧字节 A1 和 A2。记录从 A1 到 A2 字节（11110110 到 00101000）过渡的踪迹并存储这个踪迹为 $V_A(t)$ 。
- 6) 将干涉仪锁定于正交点 B。
- 7) 存储示波器上数据踪迹为 $V_B(t)$ 。

IV.5 数据处理

由 $V_A(t)$ 和 $V_B(t)$ 之间的和及差来确定啁啾参数。因而，变数 $V^+(t)$ 和 $V^-(t)$ 规定为：

$$V^+(t) = \frac{V_A(t) + V_B(t)}{2}$$

$$V^-(t) = \frac{V_A(t) - V_B(t)}{2}$$

发送器的时间强度 $P(t)$ 正比于 $V^+(t)$ 。啁啾参数计算如下：

$$\alpha(t) = 2 \times FSR \times \frac{V^+(t) \times \arcsin \frac{V^-(t)}{V^+(t)}}{\frac{\partial V^+(t)}{\partial t}}$$

计算出 $P(t)$ 和 $\alpha(t)$ 并绘在同一图上。发送器的啁啾参数定义为在强度 $P(t)$ 是代表数据 "0" 和 "1" 符号的电平之间一半的那个时刻计算出的 $\alpha(t)$ 值。

IV.6 数据示例和解释

图 IV.3 是测量结果的一个例子，两条踪迹 $V_A(t)$ 和 $V_B(t)$ 表示以比特率 10 Gbit/s PRBS 信号测得的结果。

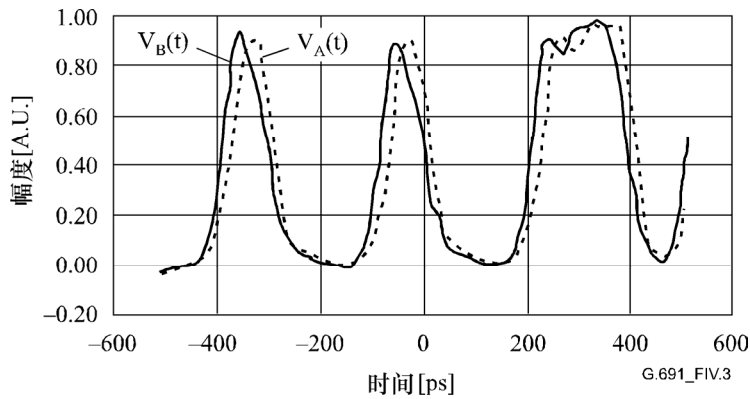


图 IV.3/G.691—使用分别调节到正交点A和B
测量10 Gbit/s PRBS信号的数据轨迹

图 IV.4 表示按 IV.5 节所述计算的 $P(t)$ 和 $\alpha(t)$ 的曲线。

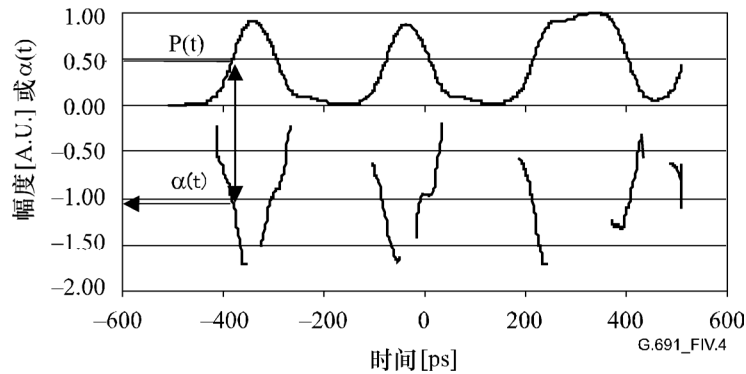


图 IV.4/G.691— $P(t)$ 和 $\alpha(t)$ 的计算值的曲线，
箭头表示如何找到啁啾参数

在数据脉冲的前沿和后沿可以计算啁啾参数。在图 IV.4 中，示出对踪迹脉冲的头一个前沿确定的啁啾参数。啁啾参数随踪迹脉冲的位置稍有变化。在图上最小和最大啁啾参数应在对系统规定的极限之内。

啁啾参数怎样影响系统性能尚待研究。是否在前沿或后沿计算啁啾参数、按平均或按最坏情况也待研究。

附录 V

升级考虑

升级到更高比特率的一个例子是从 STM-16 线路放大单路系统升级到 STM-64。例如，640 km 长的 STM-16 再生段有七个线路放大器，采用在中点用再生器来替换放大器而其余的线路放大器和它们的间距保持不变的办法能升级到 STM-64。图 V.1 示出这种升级。

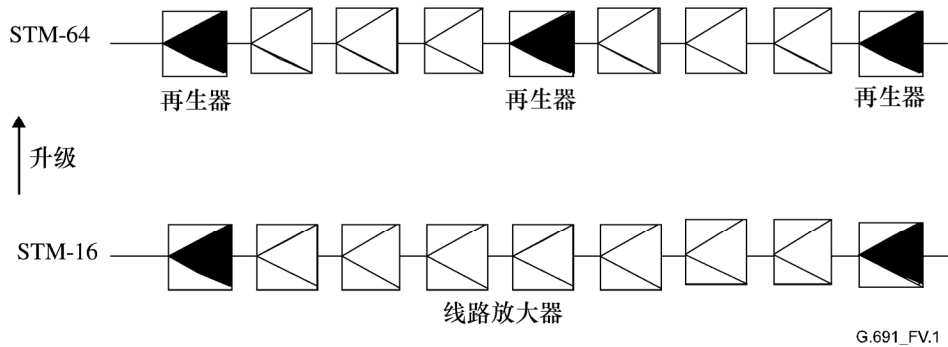


图 V.1/G.691—从 STM-16 升级到 STM-64 的示例

从 STM-4 升级到 STM-16 没有实际价值，因为 STM-4 系统使用线路放大器没有性价比优势，除非线路放大器的价格大大下降。

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、声音节目及其它多媒体信号的传输
K系列	干扰的防护
L系列	电缆和外部设备其它组件的结构、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	测量设备的技术规范
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