

邮电部技术规定

YDN 003—1996

(内部标准)

光纤放大器技术要求

1996-03-13 发布

1996-03-13 实施

中华人民共和国邮电部 发布

前 言

光纤放大器是光纤传输系统的关键部件之一,它的出现和应用对光纤通信系统产生了巨大的影响,引起了光纤通信领域中一场新的重大变革。掺铒光纤放大器的研究在国外已进入实用化阶段,国际标准化组织 IEC 和 ITU-T 相继制订了光纤放大器特性和试验方法方面的标准或建议。我国在“八五”期间也进行了光纤放大器的研究工作,取得了可喜的成果,现正致力实用化光纤放大器的研究,很快就会形成系列产品,应用于我国光纤通信网,因此,我们参照国际标准制订出光纤放大器技术要求的标准,以适应我国光纤放大器研究、产业及应用的需要。

本标准的第 4 章和第 5 章主要参照了 ITU-T G. 661(1995)、IEC 1291-1(TC86/84/CDV 1995)中相关的内容,第 6 章和第 7 章主要参照了 ITU-T G. 662(1995)中相关的内容,第 8 章主要参照了 ITU-T G. 0A3 附录 1 和国外主要生产厂家的技术指标及国内研制的状况,因此,本标准是在综合了几个国际标准和生产厂家技术指标的基础上制订的。

本标准规定了掺铒光纤放大器作为功率放大器、线路放大器和预放大器的主要技术指标,为光纤放大器器件的研制、生产和应用提供了统一的技术依据。

本标准由邮电部科学技术司提出并归口。

本标准起草单位:邮电部武汉邮电科学研究院。

本标准起草人:邹林森 陈永诗

目 次

前 言

1 范围	1
2 引用标准	1
3 缩写词	1
4 术语和定义	2
5 光纤放大器的分类及代号	5
6 OFA 器件和 OFA 子系统的插入方案	6
7 技术特性	8
8 EDFA 的主要参数指标	10
9 试验方法	10
10 环境条件	11

光纤放大器技术要求

1 范围

本标准规定了光纤放大器(OFA)的分类、型号、特性参数的定义和 OFA 器件、带光放大器的发送机(OAT)、带光放大器的接收机(OAR)在数字传输光通道中的插入方案,确定了对 OFA 器件和 OFA 子系统的技术标准要求和掺铒光纤放大器(EDFA)的主要参数指标及其试验方法。

本标准适用于 1550nm 波段的掺铒光纤放大器(EDFA),也适用于使用稀土元素掺杂的有源光纤 OFA 器件和 OFA 子系统。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

ITU-T G. 661(1995) 有关光纤放大器一般参数的定义和试验方法

ITU-T G. 662(1995) 光纤放大器器件和子系统的一般特性

IEC 1290 光纤放大器试验方法基本规范

IEC 1291-1 光纤放大器总规范

ITU-T G. 955(1993) 基于 1544Kbit/s 和 2048Kbit/s 系列在光纤上传输的数字线路系统

ITU-T G. 957(1995) 与同步数字系列有关的设备和系统的光接口

3 缩写词

本标准中使用下列缩写词:

ASE 放大的自发光辐射

BA 功率放大器

EDFA 掺铒光纤放大器

LA 线路放大器

NF 噪声系数

OAR 带光放大器的接收机

OAT	带光放大器的发送机
OFA	光纤放大器
ORL	光回波损耗
PA	预放大器
PDG	偏振相关增益
PDH	准同步数字系列
PMD	偏振模色散
RX	(光)接收机
SDH	同步数字系列
TX	(光)发送机

4 术语和定义

4.1 概述

4.1.1 光纤放大器(OFA)被想像为一个“黑盒子”,如图1所示,它至少具有两个光端口和供电的电连接口(图中未给出)。

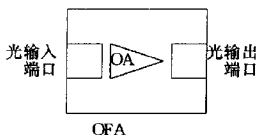


图1 光纤放大器

光端口一般分为输入端口和输出端口,可由无端接光纤或光连接器组成。连接的典型损耗和相应的不确定度将包括在 OFA 增益、噪声系数和其它参数值之内。

4.1.2 在一个参数值是对某一特殊器件给定的任一情形下,必须规定某些合适的工作条件,例如:温度、偏流、泵浦功率等。两种不同的工作条件通常指:标称工作条件和极限工作条件。

标称工作条件是由制造者对 OFA 的正常运行而建议的条件。

极限工作条件是由用户按照制造者规定的绝对最大额定值将所有可调参数(例如:温度、增益、泵浦激光器注入电流等)调到最大时的运行条件。

4.1.3 OFA 放大了在标称工作波长区域的信号。工作波长带外的其它信号在某些应用中也能通过该器件。这些带外信号的作用和它们的波长或波长区域可在详细规范中规定。对于铒掺杂 OFA,工作波长在 1550nm 区域。

所有增益的测量都是作为尾纤输出信号光功率与输入信号光功率之比,以 dB 表示。如果使用连接器,信号是在连接到 OFA 光端口的连接器的尾纤中测量。测得的输入和输出光功率电平仅是指信号光功率,而不包括泵浦光和自发辐射光。

4.2 一般定义

本标准涉及的有关 OFA 器件和 OFA 子系统一般参数的定义,在 ITU-T G. 661 和 IEC 1291-1 中已经给出,有关 OAT 和 OAR 大多数有关参数的定义与常规发送机和接收机共享,

在 ITU-T G. 957 中给出。这里将一些最常用参数的定义归纳如下。

4.2.1 光纤放大器器件 OFA devices

4.2.1.1 增益 gain

从 OFA 输出端输出的信号光功率与输入端输入的信号光功率的比值,以 dB 表示。

注:

- 1 增益包括输入光纤跳线和 OFA 输入端之间的连接损耗。
- 2 假定跳线与用作 OFA 输入端口和输出端口的的光纤是同样类型。
- 3 要注意从信号光功率中排除 ASE 噪声功率。

4.2.1.2 小信号增益 small-signal gain

放大器工作在线性范围区时的增益。这时,在给定的信号波长和泵浦光功率电平下,它基本上与输入信号光功率无关。

注:这种性能可在离散波长上或作为波长的函数加以描述。

4.2.1.3 反向小信号增益 reverse small-signal gain

用 OFA 的输入端作为输出端和输出端作为输入端时测得的小信号增益。

4.2.1.4 最大小信号增益 maximum small-signal gain

OFA 在标称的工作条件下,能够达到的最高的小信号增益。

4.2.1.5 最大小信号增益波长 maximum small-signal gain wavelength

产生最大小信号增益的波长。

4.2.1.6 最大小信号增益随温度的变化 maximum small-signal gain variation with temperature

温度在规定的范围内变化时引起的最大小信号增益的变化。

4.2.1.7 小信号增益波长带宽 small-signal gain wavelength band

小信号增益比最大小信号增益低 3dB 时的波长范围。

4.2.1.8 功率波长带宽(仅对 BA) power wavelength band

当 OFA 的输入信号功率在规定的输入功率范围时,OFA 的输出信号功率保持在规定的输出功率范围的波长范围。

4.2.1.9 可用信号波长带宽(仅对带有滤光器的 PA) available signal wavelength band

包括滤光器的影响在内的最终的 OFA 波长范围。

4.2.1.10 可调谐波长范围(仅对带可调谐滤光器的 PA 和 OAR) tuneable wavelength range

OFA 内部的可调滤光器可被调谐的波长范围。

4.2.1.11 小信号增益波长变化 small-signal gain wavelength variation

在给定的波长范围内,小信号增益峰—峰值的变化。

4.2.1.12 小信号增益稳定性 small-signal gain stability

在标称工作条件下,对于某个规定的试验周期,用最大和最小的信号增益之差(以 dB 为单位)表示的小信号增益波动的程度。

4.2.1.13 大信号输出稳定性 large-signal output stability

用标称的工作条件和规定的大输入信号光功率情况下,对于某个规定的试验周期,用最大和最小的输出信号光功率之比(以 dB 为单位)表示的输出光功率波动的程度。

4.2.1.14 偏振相关增益变化 polarization-dependent gain variation(PDG)

在标称工作条件下,由于输入信号光偏振状态变化引起的 OFA 小信号增益的最大变化。

4.2.1.15 饱和输出功率 saturation output power(gain compression power)

在信号波长上,其增益相对于小信号增益减小 3dB 时输出信号光功率。

注:应该说明规定该参数的波长。

4.2.1.16 标称输出信号功率 nominal output signal power

在标称工作条件下,对一个规定的输入信号光功率所对应的最小输出光功率。

注:应该说明规定该参数的波长。

4.2.1.17 最大输入信号功率 maximum input signal power

使 OFA 或它的任一部件受到损害和妨碍正常工作时输入信号的光功率电平。

4.2.1.18 最大输出信号功率 maximum output signal power

在标称工作条件下,从 OFA 能够得到的最大输出信号光功率。

4.2.1.19 输入功率范围 input power range

当 OFA 输出信号光功率在规定的输出功率范围内,并使其性能能够保障时,OFA 输入信号功率所在的光功率范围。

4.2.1.20 输出功率范围 output power range

当 OFA 输入信号光功率在规定的输入功率范围内,并使其性能得以保障时,OFA 输出信号光功率所在的光功率范围。

4.2.1.21 噪声系数 noise figure(NF)

受限于散弹噪声信号通过 OFA 传输引起的具有特定量子效率光检测器输出端信噪比(SNR)的降低,即输入端 SNR 与输出端 SNR 之比,以 dB 表示。

注:

1 应指出规定噪声系数的工作条件。

2 该特性可在离散波长下或作为波长的函数加以描述。

3 OFA 的噪声来自不同的方面,例如:信号-ASE 差拍噪声、ASE-ASE 差拍噪声、内部反射噪声、信号散弹噪声和 ASE 散弹噪声,每一种来源的大小都与不同的条件有关,为了正确估算噪声系数,必须规定这些条件。

4.2.1.22 噪声因子 noise factor(F)

用线性形式表示的噪声系数。

4.2.1.23 前向 ASE 功率电平 forward ASE power level

在标称工作条件下,从输出端输出的在与 ASE 有关的规定波长带宽内的 ASE 噪声光功率。

注:

1 该参数对于 PA 或 LA 特别重要,它主要取决于所用的光滤波器。

2 应该说明规定 ASE 电平的工作条件(例如增益和输入信号光功率)。

4.2.1.24 反向 ASE 功率电平 reverse ASE power level

在标称工作条件下,从输入端输出的与 ASE 有关的规定波长带宽内的 ASE 噪声光功率。

4.2.1.25 输入光回波损耗 input ORL

在标称工作条件和工作波长上,从输入端口被 OFA 反射的入射光功率与总入射光功率之比,以 dB 表示。

4.2.1.26 输出光回波损耗 output ORL

在标称工作条件和工作波长上,从输出端口被 OFA 反射的入射光功率与总入射光功率之比,以 dB 表示。

4.2.1.27 输入端最大 ORL 容限 maximum ORL tolerable at input

在器件仍然满足其规范时,从 OFA 的输入端口看到的最大反射。

4.2.1.28 输出端最大 ORL 容限 maximum ORL tolerable at output

在器件仍然满足其规范时,从 OFA 的输出端口看到的最大反射。

4.2.1.29 泄漏到输出端泵浦功率 pump leakage to output

从 OFA 输出端口泄漏的泵浦光功率。

4.2.1.30 泄漏到输入端泵浦功率 pump leakage to input

从 OFA 输入端口泄漏的泵浦光功率。

4.2.1.31 带外插入损耗 out-of-band insertion loss

在标称工作条件和规定的带外波长上,信号光的 OFA 插入损耗。

4.2.1.32 带外反向插入损耗 out-of-band reverse insertion loss

在标称工作条件和规定的带外波长上,将规定的 OFA 的输入光端口和输出光端口对换,所测得的信号光的 OFA 插入损耗。

4.2.1.33 偏振模色散 PMD

通过 OFA 传输的任一偏振态之间的最大群时延差。

4.2.1.34 最大功耗 maximum power consumption

OFA 工作在绝对最大额定值时需要的电功率。

4.2.1.35 最大总输出功率 maximum total output power

OFA 工作在绝对最大额定值时,在输出光端口的最高光功率电平。

4.2.1.36 环境条件 environmental conditions

在 OFA 仍然能够满足所规定参数值的情况下,OFA 允许贮存、工作或运输的环境要求,包括温度范围、湿度和振动水平。

4.2.1.37 工作温度 operating temperature

OFA 能够运行且仍满足其所有规定参数值的温度范围。

4.2.1.38 光连接 optical connections

用作 OFA 输入和输出端口的连接器类型和/或光纤类型。

4.2.2 带光放大器的发送机(OAT)子系统和带光放大器的接收机(OAR)子系统

OAT 和 OAR 的相关定义参考 IEC 1291-1《光纤放大器总规范》和 ITU-T G. 957。

5 光纤放大器的分类及代号

5.1 分类原则

按照光纤放大器(OFA)有源光纤的组分和 OFA 本身应用的情况来分类。

5.2 类型及代号

本标准规定 OFA 类型代号由三部分组成:一大写英文字母、一位数字和一小写英文字母,即:

大写英文字母	数字	小写英文字母
--------	----	--------

5.2.1 大写英文字母表示不同有源光纤的 OFA。

A——用铟离子掺杂的二氧化硅系光纤作为有源光纤的 OFA。

5.2.2 数字 1、2、3、4、5 分别表示功率放大器、预放大器、线路放大器、带光放大的发送机、带光放大的接收机。

1——功率放大器(BA):是直接用在光发送端机后,以提高其功率电平的高饱和功率的 OFA 器件。

2——预放大器(PA):是直接用在光接收端机之前,以改善其灵敏度的具有很低噪声的 OFA 器件。

3——线路放大器(LA):是用在无源光纤段之间,以增加中继长度或在光接入网相应的点到多点连接中以补偿分支损耗的低噪声 OFA 器件。

4——带光放大器的发送机(OAT):是一个由 BA 和光发送机集成在一起的子系统,结果成为高功率光发送机。

5——带光放大器的接收机(OAR):是一个由 PA 和光接收机集成在一起的子系统,结果成为高灵敏的光接收机。

5.2.3 小写英文字母表示用于不同类型传输系统中的 OFA。

a——模拟传输应用的 OFA。

b——数字传输应用的 OFA。

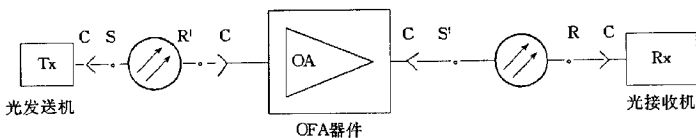
5.2.4 类型代号示例

A2b:表示使用铟离子掺杂二氧化硅系光纤作有源光纤的数字传输应用的预放大器。

6 OFA 器件和 OFA 子系统的插入方案

6.1 OFA 器件插入方案

根据与现有准同步数字系列(PDH)和同步数字系列(SDH)的 G. 955 和 G. 957 建议相一致的方式提供 OFA 器件特性的准则,沿一条光通道插入的 OFA 器件(BA、PA 或 LA),应认为是置于 G. 955 和 G. 957 建议中线路终端和再生中继器所定义的 S 和 R 参考点之间的分立单元,如图 2 方框图所示。参考此图, OFA 器件的输入和输出特性应分别用 OFA 器件前后的 R' 和 S' 参考点来规定。因为 OFA 器件不是一个再生器或终端设备,可以将 R' 和 S' 理解为虚构的 R 和 S 点。



S——紧靠光发送机的光连接器(C)后光纤上的参考点

R——紧靠光接收机的光连接器(C)前光纤上的参考点

S'——紧靠 OFA 的光连接器(C)后光纤上的参考点

R'——紧靠 OFA 器件的光连接器(C)前光纤上的参考点

图 2 OFA 器件的插入方案

例如:PA 可以包含一个光滤波器,以使 OFA 器件的噪声对在光接收机输出端总噪声的贡献减至最小或在某些多波长应用中将信号分开。这种滤波器应能手动或自动调至信号波长,以及在具有多个信号的系统中,在不同波长上,可能需要围绕每个波长滤波。

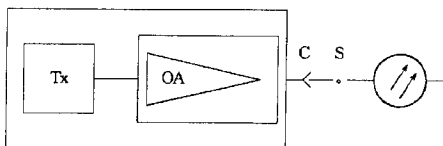
根据 BA、PA 和 LA 的定义及图 2,OFA 器件应用的可能结构可有以下几种方案(其中,LA 可表示单个线路放大器或两个或多个级联的线路放大器):

- (a) $T_x + BA + R_x$
- (b) $T_x + PA + R_x$
- (c) $T_x + LA + R_x$
- (d) $T_x + BA + PA + R_x$
- (e) $T_x + BA + LA + R_x$
- (f) $T_x + LA + PA + R_x$
- (g) $T_x + BA + LA + PA + R_x$

6.2 OFA 子系统的插入方案

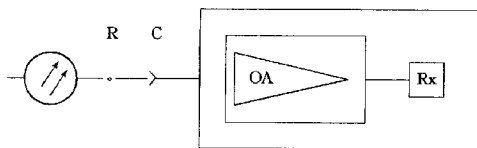
OAT 子系统和 OAR 子系统的集成意味着发送机或接收机与 OFA 间的连接是专有的,无需规定,因此,对 OFA 后 OAT 输出特性规范来说,只能定义 S 为参考点,如图 3 所示。对 OFA 前 OAR 输入特性规范来说,只能定义 R 为参考点,如图 4 所示。

像 PA 一样,OAR 也可以包含一光滤波器。该滤波器能够手动或自动对信号波长调谐。



S——紧靠 OAT 的光连接器(C)后光纤上的参考点

图 3 OAT 的插入方案



R——紧靠 OAR 的光连接器(C)前光纤上的参考点

图 4 OAR 的插入方案

7 技术特性

7.1 功率放大器 BA 的特性

对于用作 BA 的 OFA 器件至少应提供以下参数：

- (a) 输入功率范围
- (b) 输出功率范围
- (c) 功率波长带宽
- (d) NF
- (e) PDG 变化
- (f) 反向 ASE 功率电平
- (g) 输入 ORL
- (h) 泄漏到输入端泵浦功率
- (i) 泄漏到输出端泵浦功率
- (j) 输入端最大 ORL 容限
- (k) 输出端最大 ORL 容限
- (l) 最大总输出功率
- (m) 小信号增益

7.2 预放大器 PA 的特性

对于用作 PA 的 OFA 器件至少应提供以下参数：

- (a) 输入功率范围
- (b) 输出功率范围
- (c) 波长带宽
- (d) 可用信号波长带宽
- (e) 可调谐波长范围
- (f) NF
- (g) PDG 变化
- (h) 前向 ASE 功率电平
- (i) 输入 ORL
- (j) 泄漏到输入端泵浦功率
- (k) 泄漏到输出端泵浦功率
- (l) 输入端最大 ORL 容限
- (m) 输出端最大 ORL 容限
- (n) 小信号增益
- (o) 反向 ASE 功率电平(在研究之中)

7.3 线路放大器 LA 的特性

对于用作 LA 的 OFA 器件至少应提供以下参数：

- (a) 输入功率范围
- (b) 输出功率范围
- (c) 饱和输出功率
- (d) 波长带宽

- (e) NF
- (f) PDG 变化
- (g) 前向 ASE 功率电平
- (h) 反向 ASE 功率电平
- (i) 输入 ORL
- (j) 输出 ORL
- (k) 泄漏到输入端泵浦功率
- (l) 泄漏到输出端泵浦功率
- (m) 输入端最大 ORL 容限
- (n) 输出端最大 ORL 容限
- (o) 最大总输出功率
- (p) 小信号增益
- (q) PMD

7.4 带光放大器的发送机 OAT 的特性

对于用作 OAT 的子系统至少应提供以下参数:

- (a) 比特率
- (b) 应用代码
- (c) 工作信号波长范围
- (d) 最大(信号)输出功率
- (e) 最小(信号)输出功率
- (f) 信号谱宽
- (g) 边模抑制比
- (h) 消光比
- (i) 输出信噪比
- (j) 输出 ORL
- (k) 泄漏到输出端泵浦功率
- (l) 输出端最大 ORL 容限
- (m) 最大总输出功率

7.5 带光放大器的接收机 OAR 的特性

对于用作 OAR 的子系统至少应提供以下参数:

- (a) 比特率
- (b) 应用代码
- (c) 工作信号波长范围
- (d) 灵敏度
- (e) 过载功率
- (f) 光通道色散代价
- (g) 可调谐波长范围
- (h) 输入 ORL
- (i) 泄漏到输入端泵浦功率
- (j) 输入端最大 ORL 容限

(k) 反向 ASE 功率电平(在研究之中)

8 EDFA 的主要参数指标

本章规定了用于 BA、PA 和 LA 的 EDFA 的主要参数指标。

8.1 功率放大器 BA

信号波长范围:	1530~1565nm
输入功率范围:	-6~+3dBm
输出功率范围:	+10~+13dBm, +13~+17dBm
噪声系数:	≤8dB(1480nm 泵源) ≤7dB(980nm 泵源)
功率波长带宽:	≥35nm
偏振相关增益变化:	<0.5dB
光回波损耗:	≥40dB

8.2 预放大器 PA

信号波长范围:	1530~1565nm
输出功率范围:	-16~-9dBm
小信号增益:	≥20dB
噪声系数:	≤6dB(1480nm 泵源) ≤4.5dB(980nm 泵源)
小信号增益波长带宽:	≥20nm
偏振相关增益变化:	<0.5dB
光回波损耗:	≥40dB

8.3 线路放大器 LA

信号波长范围:	1530~1565nm
最大输出信号功率:	≤+17dBm
小信号增益:	≥30dB
噪声系数:	≤7dB(1480nm 泵源) ≤5.5dB(980nm 泵源)
小信号增益波长带宽:	≥20nm
偏振相关增益变化:	<0.5dB
光回波损耗:	≥40dB

9 试验方法

- 9.1 有关 OFA 器件增益参数的测量按 IEC 1290-1 中规定的方法进行。
- 9.2 有关 OFA 器件光功率参数的测量按 IEC 1290-2 中规定的方法进行。
- 9.3 有关 OFA 器件噪声参数的测量按 IEC 1290-3 中规定的方法进行。
- 9.4 有关 OFA 器件泵浦功率泄漏参数的测量按 IEC 1290-6 中规定的方法进行。
- 9.5 有关 OFA 器件带外插入损耗的测量按 IEC 1290-7 中规定的方法进行。
- 9.6 OFA 器件其它参数和 OFA 子系统参数的测量,IEC 正在研究之中。

10 环境条件

- 10.1 标称工作温度范围 $+5\sim+40^{\circ}\text{C}$ 。
 - 10.2 最大工作温度范围 $-5\sim+45^{\circ}\text{C}$ 。
 - 10.3 贮存温度范围 $-20\sim+60^{\circ}\text{C}$ 。
 - 10.4 最大相对湿度 90%。
-