

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 7247.2—2018/IEC 60825-2:2010

---

## 激光产品的安全 第2部分：光纤通信系统(OFCs)的安全

Safety of laser products—  
Part 2: Safety of optical fibre communication systems(OFCs)

(IEC 60825-2:2010, IDT)

2018-03-15 发布

2018-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会



## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 要求 .....	4
4.1 概述 .....	4
4.2 OFCS 的防护罩 .....	4
4.3 光缆 .....	5
4.4 光缆连接器 .....	5
4.5 功率自动降低(APR)和重启脉冲 .....	5
4.6 标记和标识 .....	6
4.7 对机构的要求 .....	10
4.8 危险等级的评估 .....	11
4.9 位置类型的危险等级要求 .....	12
附录 A (资料性附录) 基本原理 .....	14
附录 B (资料性附录) 光纤通信系统(OFCs)中各位置的要求 .....	15
附录 C (资料性附录) 危险/安全分析的方法 .....	16
附录 D (资料性附录) 安全使用 OFCS 的应用指南 .....	17
附录 E (资料性附录) 检修和维护指导 .....	37
附录 F (资料性附录) “危险等级”含义的说明 .....	39
参考文献 .....	41
图 D.1 PON(无源光网络)系统 .....	25
图 D.2 简单的激光驱动电路 .....	26
图 D.3 来自 IEC 61508-5 中 D.5 的风险图例 .....	29
图 D.4 FIT 率和平均修复时间的关系图 .....	32
表 1 非受限位置的标识 .....	7
表 2 受限位置的标识 .....	8
表 3 受控位置的标识 .....	9
表 D.1 11 $\mu\text{m}$ 的单模(SM)光纤和 0.18 数值孔径多模(MM)光纤(芯径 $<150 \mu\text{m}$ )OFCS 的功率限值 .....	19
表 D.2 带状光纤中光纤芯数与最大允许功率的对应关系(举例) .....	24
表 D.3 确定元件和失效模式(举例) .....	27
表 D.4 Beta 值(举例) .....	27
表 D.5 确定失效率(举例) .....	28
表 D.6 来自 IEC 61508-5 中表 D.1 的后果分类 .....	30

表 D.7	来自 IEC 61508-5 中表 D.1 的频度分类 .....	30
表 D.8	来自 IEC 61508-5 中表 D.1 的避免危险分类的概率 .....	30
表 D.9	来自 IEC 61508-5 中表 D.1 的不期望事件发生的概率分类 .....	30
表 D.10	来自 IEC 61508-4 中的定义 3.5.12——操作模式 .....	31
表 D.11	来自 IEC 61508-1 中 7.6.2.9 的 SIL 值 .....	31
表 D.12	设备监测分类的确定 .....	33
表 D.13	上述案例确定的 FIT 率 .....	33
表 D.14	OFCS 系统的功率限值举例,该系统能够通过 APR 使发射功率自动降低至低危险等级 .....	36

## 前 言

《激光产品的安全》分为以下部分：

- 第 1 部分：设备分类、要求；
- 第 2 部分：光纤通信系统(OFCs)的安全；
- 第 3 部分：激光显示与表演指南；
- 第 4 部分：激光防护屏；
- 第 5 部分：生产者关于 GB 7247.1 的检查清单；
- 第 9 部分：非相干光辐射最大允许照射量；
- 第 13 部分：激光产品的分类测量；
- 第 14 部分：用户指南。

本部分为《激光产品的安全》的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60825-2:2010《激光产品的安全 第 2 部分：光纤通讯系统(OFCs)的安全》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国光辐射安全和激光设备标准化技术委员会(SAC/TC 284)归口。

本部分起草单位：北京光电技术研究所、中国科学院光电研究院、中国计量科学研究院、武汉光讯科技股份有限公司、中国科学院半导体研究所、中国电子科技集团公司第十一研究所。

本部分主要起草人：吴爱平、江毅、麻云凤、邓玉强、谢亮、孔群、廖利芬、孙殿中、程旺、卢永红、戚燕。



# 激光产品的安全

## 第 2 部分：光纤通信系统(OFC)的安全

### 1 范围

本部分给出了光纤通信系统(OFC)的安全运行、维护要求和具体指南。在 OFC 中,光功率可以达到发射设备限制以外或距光源很远的距离处。

本部分规定了 OFC 中的光可达位置的危险等级的评估,替代了依据 GB 7247.1 中激光产品的分类。本部分适用于完整安装的端到端 OFC,包括其能够产生或放大光辐射的部件和组件。那些仅面向 OEM 供应商销售的,用于集成到完整安装的端到端 OFC 中的独立部件和组件不必按照本部分进行评估,因为最终的 OFC 本身须按照本部分进行评估。

注 1: 上述内容不妨碍制造商按照合同或自身的要求使用本部分。

本部分不适用于以传输激光功率为主的光纤系统,例如在材料加工或医疗领域的应用等。

除了由激光辐射造成的危害外,OFC 也可能引起其他危害,如火灾。

本部分不涉及 OFC 在易爆环境中的爆炸或火灾等安全事项。

本部分中提及的“激光”包括发光二极管(LED)和光放大器。

注 2: 光纤输出的光辐射危害取决于光的波长和功率以及光纤的光学特性(参见附录 A)。

本部分的目的是:

- 保护人员免受由 OFC 引起的光辐射危害;
- 对制造商、安装方、检修方和运营商提出要求,需制定工作步骤和提供相关信息,以便采取正确的预防措施;
- 通过使用符号、标牌和指示,确保对人员提供充分的警示,以防止 OFC 潜在的危害。

更详细的必要性参见附录 A。

OFC 的安全依赖于组成系统的设备特性。因此可能需要在产品上标明安全的相关信息或将此类信息包括在使用说明书中。

根据潜在的危险等级的要求,OFC 的安全措施和运行责任由安装方或最终用户/运营商承担或双方共同承担。本部分将安装和检修操作期间遵守安全指示的责任赋予相应的安装方和检修方,而运行和维护的职责在最终用户或运营商。本部分的用户可能属于上述制造商、安装方、最终用户或运营商范围中的一方或多方。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 7247.1—2012 激光产品的安全 第 1 部分:设备分类、要求(IEC 60825-1:2007, IDT)

### 3 术语和定义

GB 7247.1—2012 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

## GB/T 7247.2—2018/IEC 60825-2:2010

## 3.1

**可达位置 accessible location**

光纤通信系统(OFCs)中的任何部分或位置,在合理的可预见的事件中,人员不使用工具就可接触到激光辐射。

## 3.2

**功率自动降低 automatic power reduction; APR**

当人员暴露于辐射中时,如光缆断裂,将该处可接触到的光功率,在给定的时间内降低到规定的等级是 OFCS 的特性。

注:本部分中使用的术语“功率自动降低(APR)”包括以下用于国际电信组织(ITU)的建议中的术语:

——激光器自动关闭(ALS);

——功率自动降低(APR);

——功率自动切断(APSD)。

## 3.3

**最终用户 end-user**

以系统规定的方式使用 OFCS 的人员或机构。

注1:最终用户无须控制系统中产生和发射的功率。

注2:如果人员或机构为了通信使用 OFCS,而使用方法不同于生产方规定的方法,那么,该人员或机构承担生产方或安装方的责任。

## 3.4

**危险等级 hazard level**

在 OFCS 中任何可达位置的潜在危险。在合理的可预见的事件中,如光缆断裂可接触到的光辐射水平,与 GB 7247.1 中的激光分类程序基本一致。

## 3.5

**1级危险 hazard level 1**

在合理的可预见的事件中,OFCS 内的任何可达位置,在相应波长和发射持续时间内,人员接触到的激光辐射不会出现超过 1 类可达发射极限。辐射水平符合 1 类激光产品的条件(见 GB 7247.1—2012),但要满足 4.8.1 中规定的条件 2。

## 3.6

**1M级危险 hazard level 1M**

在合理的可预见的事件中,OFCS 内的任何可达位置,在相应波长和发射持续时间内,人员接触到的激光辐射不会出现超过 1 类可达发射极限。辐射水平符合 1M 类激光产品的条件(见 GB 7247.1—2012),但要满足 4.8.1 中规定的条件 2。

注:如果危险等级 1M 的适用限值大于 2 类或 3R 类限值但小于 3B 类限值,则规定其危险等级为 1 M。

## 3.7

**2级危险 hazard level 2**

在合理可预见的事件中,OFCS 内的任何可达位置,在相应波长和发射持续时间内,人员接触到的激光辐射不会出现超过 2 类可达发射极限。辐射水平符合 2 类激光产品的条件(见 GB 7247.1—2012),但要满足 4.8.1 中规定的条件 2。

注:如果危险等级 1M 的适用限值大于 2 类限值但小于 3B 类限值,则规定其危险等级为 1 M。

## 3.8

**2M级危险 hazard level 2M**

在合理可预见的事件中,OFCS 内的任何可达位置,在相应波长和发射持续时间内,人员接触到的激光辐射不会出现超过 2 类可达发射极限。辐射水平符合 2M 类激光产品的条件(见 GB 7247.1—2012),但要满足 4.8.1 中规定的条件 2。

注:如果危险等级 2M 的适用限值大于 3R 类限值但小于 3B 类限值,则规定其危险等级为 2 M。



## 3.9

**3R 级危险 hazard level 3R**

在合理可预见的事件中,OFCS 内的任何可达位置,在相应波长和发射持续时间内,人员接触到的激光辐射不会出现超过 3R 类可达发射极限。辐射水平符合 3R 类激光产品的条件(见 GB 7247.1—2012),但要满足 4.8.1 中规定的条件 2。

注:如果危险等级 1 M 或 2 M 的适用限值大于 3R 类限值但小于 3B 类限值,则规定其危险等级为 1 M 或 2 M。

## 3.10

**3B 级危险 hazard level 3B**

在合理可预见的事件中,OFCS 内的任何可达位置,在相应波长和发射持续时间内,人员接触到的激光辐射不会出现超过 3B 类可达发射极限。辐射水平符合 3B 类激光产品的条件(见 GB 7247.1—2012),但要满足 4.8.1 中规定的条件 2。

## 3.11

**4 级危险 hazard level 4**

在合理可预见的事件中,OFCS 内的任何可达位置,在相应波长和发射持续时间内,人员接触到的激光辐射不会出现超过 3B 类可达发射极限。辐射水平符合 3B 类激光产品的条件(见 GB 7247.1—2012),但要满足 4.8.1 中规定的条件 2。

注:本部分适用于 OFCS 的运行和维护。为了使人员可能进入的光传送路径达到足够的安全等级,不允许出现 4 级危险。为达到要求的危险等级允许使用保护系统,如功率自动降低。在正常运行条件下(如光纤传送路径中没有故障),特殊位置的传输功率允许超过相应的功率等级。例如 OFCS 的可达路径是 1 级危险,在正常运行条件下,即使传送功率下降,光纤有可能是 4 类水平。

## 3.12

**安装方 installation organization**

负责安装 OFCS 的机构或人员。

## 3.13

**受控接触位置 location with controlled access****受控位置 controlled location**

具有工程控制或管理控制的位置。只有经过相应激光安全培训的授权人员才可接近的位置,其他人员不可接近。

注:参见 D.2.1 a) 中的示例。

## 3.14

**受限接触位置 location with restricted access****受限位置 restricted location**

借助管理措施或工程控制措施公众人员仍不可接近的位置;但对于可能没有经过激光安全培训但被授权的人员可接近的位置。

注:参见 D.2.1 b) 中的示例。

## 3.15

**非受限接触位置 location with unrestricted access****非受限位置 unrestricted location**

没有控制措施限制公众人员接近的可达位置。

注:参见 D.2.1 c) 中的示例。

## 3.16

**制造商 manufacturer**

为了构建或改进 OFCS 而集成光学设备和其他部件的机构或人员。

3.17

**运营商 operating organization**

对 OFCS 的运行负责的机构或人员。

3.18

**光纤通信系统 optical fibre communication system; OFCS**

用于通信和/或控制目的通过光纤方式传送,包括对激光器、LED 或光放大器输出产生的光辐射采用的发射和接收部件、工程设计、端到端组成的装配。

3.19

**合理的可预见的事件 reasonably foreseeable event**

在给定环境中预期会发生的事件。这类事件的发生具有一定的概率。

注:合理的可预见的事件可能包括:光缆断裂、光连接器断开、操作员出错或在工作中没注意安全的情况。合理的可预见的事件不包括:工作中粗心大意或完全不适宜的使用出现的情况。

3.20

**检修方 service organization**

对 OFCS 的服务负责的机构或人员。

3.21

**组件 subassembly**

包含光发射机或光放大器的 OFCS 的任一分立单元、子系统、网络单元(网元)或模块。

## 4 要求

### 4.1 概述

本章根据在合理的可预见的事件中导致的可接触的光辐射危害,规定对于运行中的 OFCS 及其工作区域的位置类型的限制。当对 OFCS 做一个或多个修改时,负责修改的机构应确定每个修改是否影响危险等级。如果危险等级发生变化,负责的机构应重新标记系统中的那些位置,以确保还能与本部分的要求一致。

在 OFCS 中应分别评估每个可达位置,来确定该位置的危险等级。当某一位置存在多个通信系统,该位置的危险等级应是这些系统中每个系统发射的最高危险等级。根据确定的危险等级,应采取适宜的措施以确保符合本部分的要求。采取的措施包括限制进入这一位置,或提供安全措施,或重新设计光通信系统以降低危险等级。

OFCS 的有源元件和组件的供应商仅须遵守第 4 章的适用部分。同时传输电功率的 OFCS 除了应满足本部分的要求外,还要满足相应的电子标准要求。

注:在确定危险等级时,有必要考虑以下两个特性:

- a) 最大允许照射量(MPE)是多少?在合理的可预见的情况中人员可能受到由 OFCS 导致的辐射,并确定这些位置的辐射水平。在确定 MPE 时考虑 APR(如果存在)起作用所需的时间。如果 OFCS 不具有 APR 功能时,既要满足本注 a)的条件,还要满足下面注 b)的需要,无需做进一步的研究或测试。具体条款在 4.8.2 中给出;
- b) 当合理的可预见的事件(如光纤断裂)导致产生的辐射是可接触到的,OFCS 工作的最大允许功率是多少?由于 APR 系统的作用,这个最大功率值可能低于光纤中正常的工作功率。具体条款在 4.8.1 中给出。

### 4.2 OFCS 的防护罩

每个 OFCS 都应有防护罩,当防护罩安装就位时,在正常的运行条件下能够防止人员受到超过 1 级危险限值的激光辐射功率。

### 4.3 光缆

如果在某个 OFCS 中任何可达位置的潜在危害为危险等级是 1M、2M、3R 或 3B 级, 此处的光缆应具有与其所处实际位置相适应的机械性能。各实际位置的光缆要求参见参考文献的 IEC 60794 系列标准。必要时, 对光缆易受损伤的部位, 可能需要诸如电缆沟、穿线管、线槽等附加的防护。

### 4.4 光缆连接器

可通过连接器的机械设计、连接器的安装或其他适宜的方法达到对光缆连接器的要求。无论选用哪种方法, 在特定位置类型的连接器都应防止人员接触到超过允许的光辐射限值(参见附录 B)。

注: 机械方法的一个例子是使用工具拆开连接器。

#### 4.4.1 非受限位置

在非受限位置, 如果可达辐射水平超过:

- 2 级危险等级, 在 400 nm~700 nm 波长范围内; 或
- 1 级危险等级, 所有其他情况。

应采取适宜的方法限制接触到连接器产生的光辐射。

注: 在非受限位置, 在 400 nm~700 nm 波长范围内, 允许的最高危险等级是 2M 级, 在所有其他情况下, 允许的最高危险等级是 1M 级(见 4.9.1)。

#### 4.4.2 受限位置

在受限位置, 如果可达辐射水平超过:

- 2 级危险等级, 在 400 nm~700 nm 波长范围内; 或
- 1 级危险等级, 所有其他情况。

应采取适宜的方法限制接触到连接器产生的光辐射。

注: 在受限位置, 允许的最高危险等级是 1M、2M、或 3R 级危险等级中最高的(见 4.9.2)。

#### 4.4.3 受控位置

在受控位置, 如果可达辐射水平超过:

- 2 级危险等级, 在 400 nm~700 nm 波长范围内; 或
- 1 级危险等级, 所有其他情况。

应采取适宜的方法限制接触到连接器产生的光辐射。

注: 在受控位置, 允许的最高危险等级是 3B 级危险等级(见 4.9.3)。

### 4.5 功率自动降低(APR)和重启脉冲

如果设备启动了功率自动降低(APR)系统, 是为了降低自身确定的危险等级, 应在下述三种情况下与限制同时重新启动。此外, APR 系统应具有足够的可靠性水平(见注 1)。

注 1: 在 D.5 中举例说明了 APR 系统的可靠性计算。

注 2: 在 GB 7247.1—2012 给出了以下情况描述的重启间隔与波长有关的条款。

#### 4.5.1 自动重启

在自动重启时, 应限制重启过程的时间和功率, 使系统中每个可达位置的光辐射不超过规定的危险等级(参见附录 B)。

#### 4.5.2 确保工作连续性的人工重启

在人工重启并使用管理控制措施或其他方法保障通信路径连通时, 重启过程的时间和功率不受限

制(见注)。制造商的操作手册应规定:管理控制措施(或其他方法)一定要考虑到在重启过程中,可达位置的辐射有可能超过规定危险等级。

注:因为在这种情况下,重启过程的时间和功率不受限制,管理或其他控制措施需要考虑可能增加的新危害(如火灾),这些另外的控制措施要给出相应的使用说明。

#### 4.5.3 不确保连续工作的人工重启

在人工重启并且不保障通信路经的连通时,应限制重启过程的时间和功率,使系统中每个可达位置的辐射不超过规定危险等级。

#### 4.5.4 APR 失效

如果人工重启系统不能立即激活 APR,那么,系统一定要说明在重启的持续时间内 APR 不工作,以便运营商能采用合适的预防措施。除非满足这些条件,否则,一定要规定在 APR 起作用之前使用发射功率的危险等级。

对于 3B 类和 4 类发射功率,只有满足以下所有条件,才允许 APR 功能失效:

- a) 仅在系统安装和检修中极少数情况下需要这种失效;
- b) 仅通过软件命令或人工锁定系统完成这种失效;
- c) 如果是通过软件命令完成失效,应在该软件中编入一个安全系统,防止误触发使 APR 功能失效;
- d) 这个软件应有对以下情况的警告指示:如果过程继续,APR 将失效;
- e) 应采取合适的工程措施防止在 APR 失效时 OFCS 继续运行;
- f) 在 OFCS 的技术文件中,应包括当 APR 失效时如何安全使用设备的专门说明;
- g) APR 不应永久失效-APR 应自动重启(见注 3);
- h) APR 应仅可能在发射设备内失效(即通常不允许远程 APR 失效),除非通过人为直接通信(可能在远程位置)可能被暴露在比 APR 失效前更高的辐射等级中;

注 1: 宜考虑到拉曼系统也可以从接收终端发射大功率。

- i) APR 失效期间,应持续显示清晰而明确的警示;
- j) 高功率系统的 APR 失效需配备手动启动或重启功能。

应认识到高光功率光纤系统(就它们的本性而言)要使用高功率光确保连通,否则在远端接收不到信号。因此,在使用高功率(4 类)的系统初始启动时,只有经过培训的人员在特定的条件下才能操作。

应尽一切努力,确保系统的连通(例如对于系统两端的 OTDR 连续性测试)和人员不会被暴露在 3B 类或 4 类光辐射下。也包括通过严格的管理控制来实现。

注 2: 如果系统可达位置是 4 级危险等级,本部分不允许端到端的 OFCS 操作,除非另有明确规定。如果发射器、放大器等的发射功率为 4 类,并且 APR 处于失效状态,那么会引起可达位置运行于 4 级危险等级。还要认识到,在某些条件下可能需要设置 APR 失效。但是,要控制好这些条件,并限制时间,以便将可能暴露在 4 类光辐射的条件降至很低。

注 3: 对于条件 e),“适宜的工程措施”的例子是一个控制系统,它在一段最合适时间间隔之后,自动重启 APR。这个时间间隔要足够长,使最初需要 APR 失效的任务能够完成。

注 4: 建议 1 h 作为 APR 重新启用的适宜时间间隔。

## 4.6 标记和标识

### 4.6.1 一般要求

如果在危险等级超过 1 级危险等级的位置,能够打开的光纤连接器、分线箱或其他部分应有相应的标记(例如采用一个标牌,护套,标签,标带等)(参见附录 B)。标记信息应包括表 1,表 2 或表 3 列出的内容。

可断开连接点的可接触辐射是 1 级危险等级或 1M 级危险等级时,允许为用户提供上述信息,而不用提供产品标记。

标识应为黄底黑色,黄色应为背景。文件由制造商或运营商提供,文件中复制的标记允许为白底黑色。

只要提供的标识清晰,可以减小标识的尺寸。对于含激光器或光放大器的组件,应由组件制造商负责提供这样的标记;运营商负责提供所有其他的标记。

除非每个光纤连接器,分线箱或其他部分允许接触激光辐射,当打开时,应有符合表 1,表 2 或表 3 的标记(例如采用一个标牌,护套,标签,标带等)。

除本部分要求的标记外,某些组件独立使用时可符合 GB 7247.1—2012 的要求,也需要标记。这种情况下,应由 OFCS 的制造商决定是补充 GB 7247.1—2012 所需的标记,还是采用本部分的标记。

表 1 非受限位置的标识

可达危险等级	需要的标识-非受限位置	
1	没有标识要求	
1M	没有标识要求 <sup>a</sup>	
2		
2M		
3R	不允许使用此等级	
3B	不允许使用此等级	
注: 见 4.6.5 不可见激光的相关危害。		
<sup>a</sup> 4.4.1 要求从连接器接触到的光辐射通过适宜的方式被限制在 1 级危险等级,光缆的机械设计要与 IEC 60794 一致(见 4.3)。1M 级危险等级无需标识。 <sup>b</sup> 危险符号警告标记符合 GB 7247.1—2012 中的图 1。 <sup>c</sup> 辐射源是发光二极管时,上述“激光”应被“LED”取代。 <sup>d</sup> 辐射在 400 nm~700 nm 范围内,可选用“光”代替“辐射”。 <sup>e</sup> 说明标记(轮廓)按照 GB 7247.1—2012 中图 2 的规定。允许说明标记也可包含按照 GB 7247.1—2012 规定的相关危害符号,图 1。		

表 2 受限位置的标识

可达危险等级	需要的标识-受限位置	
1	没有标识要求	
1M	<p>非受限位置的电缆接头不满足要求时(见 4.4.1),要求标识,也见表注 2:</p> 	
2		
2 M		
3R		
3B	不允许	
<p>注 1: 断点的可达辐射危险等级是 1 或 1M 级时,允许为用户提供上述信息,而不用在如产品,光纤或连接器上标识。</p> <p>注 2: 见 4.6.5 不可见激光束的相关危害。</p>		
<p><sup>a</sup> 危害符号警告标记符合 GB 7247.1—2012 的图 1。</p> <p><sup>b</sup> 辐射源是发光二极管时,上述“激光”应被“LED”取代。</p> <p><sup>c</sup> 辐射在 400 nm~700 nm 范围内,可选用“光”代替“辐射”。</p> <p><sup>d</sup> 说明标记(轮廓)按照 GB 7247.1—2012 的图 2 的规定。允许说明标记也可包含 GB 7247.1—2012 图 1 规定的相关危害符号。</p>		

表 3 受控位置的标识

可达危险等级	需要的标识-受控位置	
1	没有标识要求	
1M	没有标识要求 <sup>c</sup>	
2		
2M		
3R		
3B		
注: 见 4.6.5 不可见激光束的相关危害。		
<sup>a</sup> 危害符号警告标记符合 GB 7247.1—2012 的图 1。 <sup>b</sup> 辐射源是发光二极管时,上述“激光”应被“LED”取代。 <sup>c</sup> 辐射在 400 nm~700 nm 范围内,可选用“光”代替“辐射”。 <sup>d</sup> 说明标记(轮廓)按照 GB 7247.1—2012 图 2 的规定。允许说明标记也可包含 GB 7247.1—2012 图 1 规定的相 关危害符号。 <sup>e</sup> 建议但不是需要通过采用 GB 7247.1—2012 图 14 的警告标记来识别连接器的光学输出。		

#### 4.6.2 光发射和光放大的连接器的标识

对可能连接到一个光纤的每个光纤端口,或一组端口(见 4.6.3),光发射器和光放大器的制造商应按照 4.6.1 的规定生产。对于这些光发射器和光放大器的连接器,4.6.1 的要求修改如下。

如果按 4.6.1 要求提供标识,表 1,表 2 和表 3 的内容要增加波长范围的信息。推荐使用以下波长范围:

- 400 nm~700 nm;
- 700 nm~1 150 nm;
- 1 200 nm~1 400 nm;
- 1 400 nm~1 600 nm。

在 1 150 nm 和 1 200 nm 之间,应标识精确的波长。

注 1: 在 1 150 nm 和 1 200 nm 之间, $C_7$  的值(见 GB 7247.1—2012)变化显著。

注 2: (例如)喇曼放大器的输入端口也能产生达到危险等级的光辐射,因此宜贴上标记。

注 3: 上述是波长范围的例子。也允许标记实际的工作波长范围,例如 1 300 nm~1 600 nm。

#### 4.6.3 连接器组的标识

连接器组(如接线面板)可以以组标识,而不必对每个连接器独立标识,用单一清晰可见的标记标识危险等级。如果一组连接器封闭在一个防护罩内,可预见的光辐射危险等级高于 1M 时,在防护罩被打开前后,标识均应清晰可见。这可能需要使用不止一个标识。

上述表中不包含光学仪器类型(例如,“双筒望远镜或望远镜或放大镜”)的使用情况,使用光学仪器可能导致增加 1M 和 2M 级的危险程度(见 GB 7247.1—2012 中第 5 章)。

#### 4.6.4 安全标记的耐久性要求

本部分所要求的任何标记应是能持久的和醒目的。在考虑标记的耐久性时,应把正常使用时对标记的影响考虑进去。

通过检查和擦拭标记来检验其是否合格。擦拭标记时,应用一块蘸有水的棉布用手擦拭 15 s,然后再用一块蘸有汽油的棉布用手擦拭 15 s,在本条款试验后,标记仍应当清晰,标记铭牌应不可能轻易被揭掉,而且不得出现卷边。

用于试验的汽油是脂肪烃类己烷溶剂具有最大芳香烃含量的体积百分比为 0.1%,贝壳松脂丁醇(溶解溶液)值为 29,初始沸点约为 65 °C,干涸点约为 69 °C,单位体积的质量约为 0.7 kg/L。

注: 以上要求和测试与 IEC 60950-1:2005 中 1.7.11 相同。

#### 4.6.5 不可见辐射警告

如果激光输出超出 400 nm~700 nm 的波长范围,表 1,表 2 和表 3 中的标记“激光辐射”一词,应改为“不可见的激光辐射”,如果输出波长一部分在此波长范围内,另一部分在此波长范围外,则改为“可见与不可见激光辐射”。如果产品分类基于可见激光辐射水平,并且在不可见波长发射超过 1 类的 AEL 值,标记应以“可见和不可见激光辐射”替代“激光辐射”。

### 4.7 对机构的要求

#### 4.7.1 即将投入使用的 OFCS、端到端系统或组件的制造商

即将投入使用的 OFCS、端到端系统或组件的制造商,应:

- a) 确保设备满足本部分的使用要求;
- b) 提供以下信息:
  - 1) 产品在防止人员可能暴露于光辐射超过 MPE 水平时,相关的工程设计特点的详细说明;



- 2) 对正确组装、维修和安全使用的恰当指导,包括避免人员可能暴露于光辐射超过 MPE 水平照射的有关保护措施的确切警示;
- 3) 对安装方和检修方的恰当指导,以确保在产品安装和服务过程中,发生合理的可预见事件时,可达光辐射满足第 4 章的要求;
- 4) 在系统或组件中其可达位置的危险等级,以及这些危险等级依据的参数;
- 5) 对于有 APR 的系统:
  - APR 的响应时间和工作参数;
  - 在安装和检修中要求停用 APR 时,给出的信息应包括使运营商能在停用 APR 时,规定安全工作策略以及重启和测试系统的安全步骤;
  - 如果手工重启暂时停用了的 APR,那么应在使用说明书中清晰说明重启的时间间隔;
  - 在 APR 不工作的所有场合(即控制器或其他元件被移走或失效),需要采取相应的预防措施。
- 6) 有关使用 OFCS 的其他信息;
- 7) 根据制造商的说明书安装设备的声明,包括警示语:“注意:如果不按照规定控制、调整或操作,有可能受到光辐射的危害”。

#### 4.7.2 安装方和检修方

对 OFCS 安装和检修负责的机构应在设备安装时遵守制造商的使用说明书的要求,确保在合理的可预见的事件中可接触光辐射满足第 4 章的要求(参见附录 E)。

OFCS 检修之前,如果使用 APR,安装方或检修方根据条件,应确保 APR 处于 4.5 和 4.8 规定的相关工作状态。

当系统的可达位置的危险等级高于 1 级或 2 级时,安装方和\或检修方应:

- a) 向负责执行安装和服务工作的人员提供相应的激光安全培训;
- b) 确保适宜的接触控制措施,在受控位置和受限位置使用警告标记。

#### 4.7.3 运营商

运营商对于端到端系统的安全应负最终责任,特别是:

- a) 在整个 OFCS 的所有可达位置,都标出位置的安全类型;
- b) 确保在合理的可预见的事件中,不超过标记的危险等级;
- c) 确保有能力满足 4.2 至 4.9 的要求的机构承担安装和检修;
- d) 确保接触到的受限和受控位置是根据激光安全规定的;
- e) 确保系统的制造、运行、安装、检修和安全要求协调一致。

### 4.8 危险等级的评估

#### 4.8.1 危险等级的确定

在运行和维护期间,当发生合理的可预见的事件时(如光纤断裂),通过测量可接触的光辐射确定危险等级(参见附录 D)。确定光辐射限值的方法与 GB 7247.1—2012 中的分类方法一致(参见附录 F)。

波长大于 1 400 nm,应采用测量条件 2 来确定危险等级。应在距光纤末端为 28 mm 处,使用 7 mm 的孔径(模拟一个 18 倍放大镜)测量。

对于所有其他波长,应采用测量条件 2 来确定危险等级。应在距光纤末端为 70 mm 处,使用 7 mm 孔径(模拟 7 倍放大镜)测量。

除上述外,对于所有波长,由 3B 类危险等级系统的光纤发射的总辐射不应超过 3B 类 AEL 值。

测量应在接近真实的条件下进行,例如模拟光纤断裂,并且应以 GB 7247.1—2012 为基础。

具有或不具有 APR 系统的危险等级的评估(参见附录 F)应:

——对于非受限位置,在合理的可预见的事件发生后 1 s 内进行测量,如果是滞后该时间测量,其结果会使人员受到更大的照射量;

——对于受限和受控位置,在合理的可预见的事件发生后 3 s 内进行测量,如果是滞后该时间测量,其结果会使人员受到更大的照射量。

在有些状态下,难以直接测量,可以采用计算来评估危险等级。例如对激光器、功率放大器和光衰减器,可允许在任何特定位置评估危害。

对于具有功率自动降低(APR)功能的 OFCS,将在上述给出的时间间隔后(非受限位置为 1 s,受限位置或受控位置为 3 s)测量可达发射(脉冲或连续波)确定危险等级。此外,也应满足 4.8.2 规定的 MPE 要求。

#### 4.8.2 使用功率自动降低(APR)特性的影响

带有功率自动降低功能的 OFCS 是为了满足危险等级的限制。当此 OFCS 不具有功率自动降低特性,该危险等级限制低于不使用功率自动降低时指定的值。在最大时间间隔,辐照度或辐照量达到 4.8.1 中(非受限位置为 1 s,受限位置或受控位置为 3 s)规定的较低危险等级,不应超过辐照度或辐照量的照射限值(MPE)。仅对此条在受控位置,测量距离为 250 mm。

#### 4.8.3 测试和评估条件

测试和评估应在合理的可预见故障的条件下进行。某些复杂系统(例如,光输出依赖于其他部件的配套及电路设计和软件的性能)的危害/安全评估可能需要使用其他认可的方法(参见附录 C)。

然而,以下情况不需考虑引起辐射超过危险等级的故障:

——它们仅对于有限的持续时间;且

——在产品中止服务之前,发生了人员接触到的光辐射不是合理的可预见情况。

注:在 4.8 中涉及的在光束出口处,例如光纤末端断裂或未做连接器,采用相应的 MPE 要求时,要注意两个重要因素:

a) 人眼将会受到光束照射是否是合理的可预见;

b) 人的皮肤可能会被光辐射照射是否是合理的可预见。

在确定什么是合理的可预见的时候,同时考虑光束出射点的实际位置、出光点与眼睛或皮肤之间的距离、APR 需要的时间,通过 4.9 要求降低受照射水平。甚至裸眼或皮肤暴露不是合理的可预见的,火灾的可能性宜一并去考虑。

#### 4.9 位置类型的危险等级要求

应对 OFCS 中每个可达位置确定要求的危险等级。

注 1:包括接触可能断裂的光纤。

注 2:本部分适用于 OFCS 的运行和维护。为了使用者的安全,本部分始终不允许 4 级危险等级。对于特殊的位置类型,系统使用的正常发射功率超过可接受的危险等级,可以使用自动功率降低等保护系统来确定实际危险等级。

#### 4.9.1 非受限接触位置

在非受限可达位置,危险等级应为 1,1M 或 2M 级。

注: 如果危险等级 1M 的适用限值大于 2 类限值但小于 3B 类限值,则规定其危险等级为 1M。

#### 4.9.2 受限接触位置

在受限可达位置,危险等级应为 1,1M、2、2M 和 3R 级。

注 1: 如果危险等级 1M 或 2M 的适用限值大于 3R 类限值但小于 3B 类限值,则规定其危险等级分别为 1M 或 2M。

注 2: 如果危险等级 1M 的适用限值大于 2 类限值但小于 3B 类限值,则规定其危险等级为 1M。

#### 4.9.3 受控接触位置

在受控接触位置,危险等级应为 1,1M、2、2M、3R 或 3B 级。

附录 A  
(资料性附录)  
基本原理

激光产品的安全、设备分类、要求和用户指南均包括在 GB 7247.1—2012 和 GB 7247.14—2012 中。第 1 部分主要针对可有效实现内部控制的独立的产品。光纤通信系统(OFCs)在正常的运行条件下不会有危险,因为在预计的运行中,光辐射完全被封闭。然而,由于这些系统延伸的特性(在某些条件下,光功率可能传输到距光源数公里之外处),将危险等级降至最低的预防措施将不同于本地操作员控制的激光源情况。(应注意,很多 OFCS 包含 LED,而 LED 不包括在 GB 7247.1—2012 的范围之内。)

OFCs 的潜在危险取决于防护罩被破坏的可能性(例如光纤连接器的松脱或光缆的断裂)和后续可达光辐射的属性。本部分规定了使危险宜降至最低需采取的工程要求和用户预防措施。

在 OFCS 中的每个可达位置都由系统运营商或他的代理规定了一个危险等级,同时提供了如果该位置处的光辐射成为可接触的,其危险等级的有关潜在危害的预防措施。这些危险等级描述为 1~4 级危险等级,方法类似于 GB 7247.1—2012 中的分类程序。在光纤应用中,1M 和 2M 级危险等级的限值常常高于 3R 级危险等级限值,但小于 3B 级危险等级的限值。对于这些应用,规定为 3R 级危险等级是不适宜的(见术语 3.6、3.8 和 3.9 的注)。

当运营商分包光纤通信系统的安装、运营或维护时,与激光安全有关的责任宜由运营者明确规定。

GB 7247.1—2012 与本部分之间的主要不同概括如下:

- 一个完整的光纤通信系统不会用 GB 7247.1—2012 所要求的方式分类。这是因为对于所需的操作,光辐射是完全封闭的,并已表明,如果严格解释 GB 7247.1—2012 会使所有的系统都划分为 1 类,从而不可能正确地反映出其潜在的危害。然而,如果辐射源能单独操作,它将依据 GB 7247.1—2012 分类;
- 在延伸封闭的光发射系统中的每个可达位置,都会指定一个危险等级。指定的步骤类似于 GB 7247.1—2012 中规定的分类程序。但是这个等级不是基于可达辐射,而是基于在合理的可预见的事件(如光缆断裂,光纤连接器断开等等)下光辐射成为可接触的程度。
- 对于任何特殊的危险等级要求具有的安全预防措施取决于位置的类型,即当地的房屋、限制接近的工业区以及可能受控接近的交换中心。例如,有规定,在家用中拆开的光纤连接器应当只准许发射符合 1 类或 2 类的辐射,而在受控区域,可以发射较高类别的辐射。

## 附录 B

(资料性附录)

## 光纤通信系统(OFCs)中各位置的要求

危险等级	位置类型		
	非受限	受限	受控
1	没要求	没要求	没要求
1M	由终端用户能打开的连接器是 1 级危险等级 <sup>a</sup> 不要求有标记或标识 <sup>b</sup>	如果由终端用户能打开的连接器是 1 级危险等级,不要求有标记或标识。 如果输出端是 1M 级危险等级,要求有标记或标识 <sup>b</sup>	没有要求
2	要求有标记或标识 <sup>b</sup>	要求有标记或标识 <sup>b</sup>	要求有标记或标识 <sup>b</sup>
2M	连接器产生的光辐射是 2 级危险等级 <sup>b</sup> ,要求有标记或标识 <sup>b</sup>	要求有标记或标识 <sup>b</sup>	要求有标记或标识 <sup>b</sup>
3R	不允许 <sup>c,d</sup>	连接器产生的光辐射是 1M 或 2M 级危险等级 <sup>a</sup> ,要求有标记或标识 <sup>b</sup>	连接器产生的光辐射是 1M 或 2M 级危险等级 <sup>a</sup> ,要求有标记或标识 <sup>b</sup>
3B	不允许 <sup>c,d</sup>	不允许 <sup>c,d</sup>	连接器产生的光辐射是 1M 或 2M 级危险等级 <sup>a</sup> ,要求有标记或标识 <sup>b</sup>
4	不允许 <sup>c,d</sup>	不允许 <sup>c,d</sup>	不允许 <sup>c,d</sup>
注:本附录中的信息不同于第 4 章中的要求时,优先考虑第 4 章的要求。			
<sup>a</sup> 见 4.4。 <sup>b</sup> 见 4.6.1。 <sup>c</sup> 见 4.5 和 4.8.2,当系统通常使用的发射功率等级超过可为特殊位置类型所接受的危险等级时,可使用如功率自动降低等防护系统来限定实际的危险等级。 <sup>d</sup> 见 4.9。			

附 录 C  
(资料性附录)  
危险/安全分析的方法

危险/安全分析方法包括以下几种：

- a) 预先危险性分析(初步危害分析)(PHA)包括电路分析。可以独立使用该分析方法,但在其他危险/安全评估方法的应用中,这是必不可少的第一步；
- b) 后果分析——见 IEC 61508 系列标准[5]；
- c) 失效模式和影响分析(FMEA)；
- d) 失效模式、影响及危害性分析程序(FMECA)(见 IEC 60812[1])；
- e) 故障树分析(FTA)；
- f) 事件树分析；
- g) 危险和可操作性分析(HAZDPS)。

必要时可通过试验完善分析。分析方法和在分析性能中做的假设,应由制造商/运营商规定。

**附录 D**  
(资料性附录)  
**安全使用 OFCS 的应用指南**

## D.1 概述

本章给出了本部分在实际中应用的指导。它是帮助用户实现 GB 7247.1—2012 和本部分应用要求的资料性附录,不包含任何要求。

本部分应用于 OFCS。在 OFCS 中,光功率可以辐射到距光源很远的位置,需要采取措施以确保在断开的通信路径上光辐射的潜在危险降至最低。为了解 OFCS 中的潜在危险程度,需要对光辐射可达位置的危险等级进行分级;这类似于 GB 7247.1—2012 中对激光产品的分类,但取而代之。

可以将 OFCS 配置成一个闭合环路控制系统,当通信路径断裂时,发射出的信号光功率会在很短时间内被自动降低到安全值。于是会存在具有相同危险等级(即相同安全度)的两类系统,一类具有功率自动降低(APR)功能,而另一类系统没有 APR 功能;在正常运行条件下,具有 APR 功能的系统中,光信号功率等级可以远高于不具有 APR 功能的系统。正因为 APR 功能对于安全具有决定性作用,所以 APR 功能的可靠性应足够高,本附录也给出了相关建议。

激光产品的安全标准第 1 部分适用于分立的激光产品,而第 2 部分适用于完整的端到端系统。因为产生或放大光辐射的组件对 OFCS 安全起决定作用,而且这些组件宜满足相关部分的要求,所以本部分范围也包括了这些组件。端到端系统不包含的独立无源部件或无源组件,它们的制造商可以不用了解相关的危险等级,因为本部分内容不涉及这些产品。

本部分并不涉及在危险环境中部署 OFCS 的与爆炸或火灾相关的安全事项。

## D.2 应用区域

### D.2.1 典型的 OFCS 安装

不同位置的 OFCS 安装说明如下:

- a) 受控接触位置(见 3.13):
  - 光缆管道/沟/槽;
  - 街边的光纤交接/分纤箱;
  - 布线中心的专用和限定区域;
  - 光缆施工船的测试室。

注:光缆管道和街边光纤交接箱的检修,可能会让公众暴露在超过 1 类可达发射限值的光辐射中,提供适当的临时性防护(例如,临时操作房)。

- b) 受限接触位置(见 3.14):
  - 工业场所内,不对公众开放的保护区域;
  - 运营/商业场地内,不对公众开放的保护区域(例如电话交换机房,计算机系统机房等);
  - 交换中心的一般区域;
  - 在列车、船舶或其他运输工具上,不对公众开放的限定区域。

- c) 非受限接触位置(见 3.15):

- 家庭场所；
- 对一般公众开放的服务行业(例如商店和旅馆)；
- 列车、船舶或其他运输载体上的公共区域；
- 公园/街道等开放的公共区域；
- 在运营\工业\商业场地内的非保护性区域,这里允许公众进入,如某些办公环境。

OFCS可能穿过非受限公共区域(例如,在家里)、工业场所内的受限区域,以及光缆管道或街边光纤交接箱等受控区域。

光纤局域网可能完全铺设在受限的商业场所中。

光纤系统可能完全在非受限的家庭场所,如 hi-fi 互连。

对红外无线局域网或自由空间光系统的要求,参见 IEC 60825-12[16]的独立应用部分。

### D.2.2 典型系统组成

系统组成涵盖如下内容:

- a) 光缆:
  - 单纤/多纤/带状结构；
  - 单模光纤/多模光纤；
  - 全介质/混合结构；
  - 承载单波长/多波长；
  - 单向/双向传输光纤；
  - 通信/功率馈送。
- b) 光源:
  - LEDs(发光二极管)、VCSEL(垂直腔表面发射激光器)、法布里-珀罗(Fabry Perot)或DFB(分布反馈)激光器、泵浦激光器、光放大器；
  - 体\分布、连续\低\高频发射。
- c) 光纤连接器:单芯\双芯\多芯\混合。
- d) 光分路器、光波长复用器、光衰减器。
- e) 防护围封和防护罩。
- f) 光纤配线架。

### D.2.3 典型业务职能

业务职能的内容如下:

- a) 安装；
- b) 运行；
- c) 维护；
- d) 检修；
- e) 故障发现；
- f) 测量[包括光时域反射仪(OTDR)]。

## D.3 OFCS 功率限值

表 D.1 列出 OFCS 中常用的重要波长与光纤类型,以及对应各级危险的最大平均光功率值。对于



占空比在 10%~100%之间的大多数典型系统,允许峰值光功率随着占空比的减少而增大。然而,当占空比 $\leq 50\%$ 时,可以直接限制峰值光功率为平均功率限值的两倍,即使可以依照 GB 7247.1—2012,通过更复杂分析得到系统允许峰值功率的增大值。当“可见光源”波长在光化学危害区域时,这尤其有效。

注 1: 点光源的限值适用于大多数的普通单模和多模光纤。芯径在 150  $\mu\text{m}$  以上的光纤[如,塑料光纤(POF)和硬包层石英光纤(HCS)]被认为是扩展光源。然而,用于确定系数  $C_0$  的表观光源大小可能取决于模式填充的实际程度。

采用下列孔径和测量距离:

- 波长小于 1 400 nm 时,孔径 7 mm,测量距离 70 mm;
- 波长大于 1 400 nm 时,孔径 7 mm,测量距离 28 mm。

注 2: 波长大于 1 400 nm 时,绝大多数情况下是测量光纤输出的总辐射,这也解释了测量数据的偏大。

注 3: 波长大于 1 400 nm 时,可以简化为测量光纤的总辐射,并认可某些情况下这会导致对实际危害的高估。

注 4: 对于 3B 级危险等级的光纤通信系统,光纤输出的总辐射宜被限制在 3B 类的 AEL 限值之下。(因此当暴露时间超过 0.25 s 时,要有效限制光纤中的光功率不超过在 500 mW;对更短的暴露时间,例如系统重新启动脉冲,光功率宜限制在合理的功率水平下)。

表 D.1 11  $\mu\text{m}$  的单模(SM)光纤和 0.18 数值孔径多模(MM)光纤(芯径 $< 150 \mu\text{m}$ )OFCS 的功率限值

波长(光纤类型)	危险等级					
	1	1M	2	2M	3R	3B
633 nm (MM)	1.95 mW (+3 dBm)	3.9 mW (+5.9 dBm)	4.99mW (+7 dBm)	10 mW (+10 dBm)	24.9 mW (+14 dBm)	500 mW
780 nm (MM)	2.81 mW (+4.5 dBm)	5.6 mW (+7.5 dBm)	—	—	14.4 mW (+11.6 dBm)	500 mW
850 nm (MM)	3.88 mW (+5.9 dBm)	7.8 mW (+8.9 dBm)	—	—	19.9 mW (+13 dBm)	500 mW
980 nm (MM)	7.06 mW (+8.5 dBm)	14.1 mW (+11.5 dBm)	—	—	36.2 mW (+15.6 dBm)	500 mW
980 nm (SM)	1.8 mW (2.6 dBm)	2.66 mW (+4.2 dBm)	—	—	9.21 mW (+9.6 dBm)	500 mW
1 310 nm (MM)	77.8 mW (+18.9 dBm)	156 mW (+21.9 dBm)	—	—	399 mW (+26 dBm)	500 mW
1 310 nm (SM)	25.8 mW (+14.1 dBm)	42.8 mW (+16.3 dBm)	—	—	129 mW (+21.1 dBm)	500 mW
1 400 nm ... 1 600 nm (MM)	13.3 mW (+11.2 dBm)	384 mW (+25.8 dBm)	—	—	见 3.9	500 mW
1 420 nm (SM)	10.1 mW (+10 dBm)	115 mW (+20.6 dBm)	—	—	见 3.9	500 mW

表 D.1 (续)

波长(光纤类型)	危险等级					
	1	1M	2	2M	3R	3B
1 550 nm (SM)	10.2 mW (+10.1 dBm)	136 mW (+21.3 dBm)	—	—	见 3.9	500 mW

注 1: 1M 和 2M 级危险等级:表中所示 11 μm 单模光纤的最大功率值受光功率密度限制。精确的光纤功率限值取决于最小预期光束发散角,而发散角又由单模光纤的模场直径(MFD)确定。当 MFD 的取值不同时,发散角发生变化,各级对应的光功率限值也会发生显著变化。某些大功率光纤连接器采用扩大的模场直径(MFD),远场发散角更小。这些光纤连接器能导致更高的危险等级,当被应用时,强烈建议测定其危险等级。

注 2: 1 310 nm 功率限值是按照 1 270 nm 计算的,1 270 nm 是“1 310 nm”通信窗口的最短波长。

注 3: 使用的光纤参数是按最保守的情况:单模光纤数据是以模场直径 11 μm 的光纤计算,多模光纤数据是以 0.18 数值孔径的光纤计算。很多在 980 nm 和 1 550 nm 波长工作的系统,使用更小 MFD 的光纤。例如,当 1 550 nm 波长沿 MFD 值为 9.1 μm 的色散位移光纤光缆中传输时,1M 级危害的功率限值为 197 mW。

注 4: 波长小于 1 310 nm 的 1M 级危险等级限值:对信号波长 900 nm 以及低于 900 nm 的单模光纤,1 M 级危险等级限值不在此陈述,因为这些波长在传输后的发散非常不稳定。这是因为在标准 1 310 nm 单模光纤中,这些波长实际是多模的。精确的发散取决于模式混合的不可预知度。当在多模光纤中尝试评估这些波长时,模式混合的变化也是潜在的问题。如果在某些情况下宜测算功率限值,那么假定光纤承载所有功率都在基模上并使用单模光纤方程,就可以得出保守的估值。

注 5: 芯径大于 150 μm 的多模光纤:这种光纤被看做是中等扩展光源(例如,芯径 200 μm 的硬包层石英光纤(HCS)或芯径 1 000 μm 的塑料光纤)。适当的光源尺寸将取决于模式填充的程度,并宜在计算功率限值之前详细确定。

注 6: 2 级危险等级限值:可以证明,(光纤通信技术中大部分情况下)表观光源尺寸小于 33 mrad,2 级危险等级的功率限值总是低于相应的 1 M 级危险等级功率限值:对无防护的眼睛是安全的,但使用光学仪器时就可能不安全。

注 7: 光纤束和带状光缆:表中所列的功率限值仅针对单芯光纤。如须评估光纤束或由单芯光纤紧密排列而成的带状光纤,那么对每个独立光纤和每个可能的组合都有必要评估。

注 8: 1 420 nm 功率限值是按照喇曼泵浦波长 1420 nm 到 1500 nm 的范围计算。

注 9: 纤芯直径在 52.5 μm 和 150 μm 之间的多模光纤:光纤可以(选择性地)采用 GB 7247.1—2012 中 9.3.3 规定的测量依据进行评估,这可导致更高的允许功率限值。

D.4 危险等级评估举例

D.4.1 多波长传输

D.4.1.1 多波长同光纤传输

当一个以上的波长在同一光纤中传输时,如波分复用(WDM)系统,危险等级不仅取决于光功率水平,还取决于波长是否存在叠加效应。对于皮肤暴露于 OFCS 中常用的波长,危险总是叠加的。对于大多数的光纤系统,1 400 nm 是叠加关系的变化点:

- a) 如果两个波长都低于 1 400 nm,则它们是可叠加的,也就是,合并危险更高;
- b) 如果两个波长都高于 1 400 nm,则它们是可叠加的,也就是,合并危险更高;
- c) 如果一个波长高于 1 400 nm,而另一个低于 1 400 nm,则危险不叠加,即合并危险不会增大。需要对皮肤和视网膜的危害分别计算。

计算多波长系统的危险等级,需要计算每一个波长的系统光功率和与此波长对应类别的 AEL 限值的比值(例如 25%、60%、…到 100%),然后将各波长的比值相加。如果总的比值超过 1(100%),即危险等级超过了对应类别的 AEL 限值。在使用 MPE 表代替 AEL 表确定 APR 时间时,也宜采用上述步骤。

#### D.4.1.2 多波长举例

一采用芯径 50  $\mu\text{m}$  和数值孔径为  $0.2 \pm 0.02$  多模光纤的光传输系统承载 6 路光信号:波长分别为 840 nm、870 nm、1 290 nm、1 300 nm、1 310 nm 和 1 320 nm。每路信号的最大平均光功率为 -8 dbm (0.16 mW)。确定在发射机端的危险等级。

在缺乏断开连接器时与发射机辐射相关的其他信息的情况下,可假定没有激光器关闭系统工作,然后依据发射机连接器处的功率值来确定危险等级(断开连接器是一个合理的可预见的事件)。

假定无意观察[见 GB 7247.1—2012 的 8.3 e)]的发射持续时间  $t=100\text{s}$ 。

GB 7247.1—2012 的表 2 指出,6 种波长影响都是叠加的。于是,评估宜是基于每个波长的可达发射功率与此对应类别的 AEL 限值的比值[见 GB 7247.1—2012 的 8.3 b)]。

注意,波长从 1200 nm~1 400 nm 之间的 AEL 限值是恒定的;所以可以认为,1 300 nm 附近的 4 个波长信号可等效为 1 个波长,它的功率等于这 4 个波长信号的功率之和。

首先,用发射功率与 1 类 AEL 限值比较:

因为是芯径 50  $\mu\text{m}$  的光源,所以光源的对向角  $\alpha$  是 0.5 mrad,小于  $\alpha_{\min}$ 。  $T_2=10\text{s}$ (见 GB 7247.1—2012,表 1~表 4 的注),  $T_2 < t$ (100 s,如上所述)。

$$P_{\text{AEL}} = 3.9 \times 10^{-4} C_4 C_7 W$$

式中:

$C_4$ —— $10^{0.002(\lambda-700)}$ ,当波长为 840 nm 和 870 nm 时;

$C_4$ ——5,当波长  $>1\,050\text{ nm}$  时;

并且

$C_7$ ——1,当波长为 840 nm 和 870 nm 时,

$C_7$ ——8,当波长  $>1\,050\text{ nm}$  时。

于是  $\text{AEL}_{840\text{ nm}} = 0.74\text{ mW}$ ,

$\text{AEL}_{870\text{ nm}} = 0.85\text{ mW}$ ,

$\text{AEL}_{1300\text{ nm}} = 15.6\text{ mW}$ 。

GB 7247.1—2012 中 9.3 给出测量规定,要求使用 GB 7247.1—2012 中表 11 的最严条件。对于光纤输出的发散光束,最严条件是 2。根据 GB 7247.1—2012 中表 11,以及本部分 4.8.1 的相应修改,热限值对应的孔径是 7 mm,测量距离是 70 mm。

根据光纤发射光束的直径公式,最小 NA 光纤(最坏情况)的 63%(1/e)点处直径是:

$$d_{63} = \frac{2rNA}{1.7} = \frac{2 \times 70\text{ mm} \times 0.18}{1.7} = 15.0\text{ mm}$$

因此,在这种情况下,光纤的所有光功率都可以被 7 mm 孔径所收集,不需要修正。

每个波长的光功率与相应 AEL 限值的比值相加,得到:

$$\sum \frac{\text{功率}}{\text{AEL}} = \frac{0.16}{0.74} + \frac{0.16}{0.85} + \frac{4 \times 0.16}{15.6} = 0.45$$

这个比值小于 1,所以,可达辐射是在 1 类限值中,1 级危险等级适用于这个位置。

#### D.4.2 双向(全双工)传输

每个独立传输方向间没有叠加效应,如果光纤断裂,每个断光纤的端面表现独立的危害。危险等级

由具有更高功率的传输方向所确定。

#### D.4.3 功率自动降低

通过使用功率自动降低,端到端的 OFCS 就有可能被划分为比原来更低的危险等级。重要的是,系统内部光发射机/光放大器的危险等级,为系统可能部署的位置设定了限制。参见附录 B。

功率自动降低不宜代替良好的工作习惯和正常的检修和维护。而且当评估危险等级时,APR 功能的可靠性宜在考虑之内。

危险等级评估宜在合理的可预见的人员接触辐射时(例如光纤断裂后)予以考虑,除非未在同时测量,在其之后的测量会导致人员受到更大的照射(见 4.8.1 和 4.8.2)。

不能将功率自动降低视为一种万能保护措施,因为,在光纤断裂之后,通常会使用光学测试仪器(通常指光时域反射仪,OTDR)来确定光纤断裂位置。这种仪器发射激光功率到待测光纤中,因此,即使通信系统的光发射机已关闭或移除,仪器仍能将激光功率注入到光纤中。

OTDR 一般工作于 1 类,不存在潜在危害。然而,更高功率通信系统有更长的传输距离,可能需要 1M 类、3R 类或 3B 类 OTDR 来探测断点。而且,如果 OTDR 信号通过含有光放大器的系统时,OTDR 信号可能被放大到更高的类别。

除了为非受限位置设计的交钥匙系统外,激光安全员或 OFCS 操作员对每个位置(或对网络的整个分布)确定许可的危险等级,是非常重要的。许可危险等级应与工作人员或其他可能接触网络人员所接收的激光安全培训级别相一致。通常进行 1M 级或 3R 级危险安全培训,因为工作人员被要求不使用提高危险风险的准直光学(准直)仪器,和不要在非常近的距离检查光纤。3B 级危险等级在正确标记和光连接器使用的受控位置是可以接受的。

以下条款用于下述几种环境的 APR 检查:

- 在具有光放大器的系统中;
- 在熔纤盘中容易接触到的光纤;
- 在光纤连接器位置;
- 在水下/掩埋光缆中的不易接触的光纤;
- 在受限和非受限位置;
- 在使用带状光缆的情况。

典型波长对应的功率上限值见 D.3 和表 D.1。

##### D.4.3.1 光放大器

光放大器能产生较大的光功率,500 mW 及以上的功率并不少见。如果不采用激光防护措施就可能潜在危险。因此修理或维护光放大器时,要采用适当的方法限制其功率。可以考虑使用但并不限于 APR 机制以减小危险等级,以及采用输出带盖板(挡光板)的光连接器。

##### D.4.3.2 分布式光放大系统的 APR

对于分布式光放大系统(例如,拉曼放大器)的 APR,不仅对信号光功率实现 APR,还要求泵浦激光器控制实现 APR。拉曼放大器与其他(较低光功率的)系统相比,响应时间周期更短,而且由实际喇曼泵浦光功率决定。

##### D.4.3.3 熔纤盘中的光纤

随着 OFCS 中光功率的增大,对内部光功率可能达到 3B 级危险等级的光纤进行熔接操作时,宜要考虑操作者的安全。此时,要求熔接操作应使用全封闭的熔接设备。如果熔接操作不能在保护装置中进行,为了减少危险等级从而减少照射,OFCS 可以选用功率自动降低。

#### D.4.3.4 带连接器的系统

另一接触光纤光功率的合理的可预见场合,是在加载光信号的光纤系统中,某一芯光纤或几芯光纤在连接器位置断开。

当光纤从光连接器断开时,有很多种方法能实现比较安全的危险等级。比如,可以考虑使用输出带盖板(挡光板)的光连接器。只要连接器符合 D.5 中列出的可靠性特征,就可以限制没有正常连接的光连接器处的泄漏光功率。在非受限位置,连接器盖板(挡光板)应在 1 s 内工作;在受限和受控位置,应在 3 s 内工作[应注意,对于限值超过 1M,2M 或 3R 级危险等级的光功率,盖板(挡光板)方法可能不可用或效果不佳,应采用 APR 方法]。

#### D.4.3.5 海缆系统中的海底光缆(深海光缆)或掩埋光缆(浅海光缆)

某些海缆系统会承载相当大的光功率。通常,海缆遭到破坏的位置在海缆的水下(浸入海水中)部分,不是岸基掩埋的部分。因为海缆在水下,所以需要海缆施工船先找到并打捞出故障海缆后,再进行修理。这项工作会需要几个小时或几天的时间才能完成。由于功率自动降低机制可能对海缆系统不合适或不可操作,海缆系统就可能需要更严格的管理控制,包括手动激光关断程序。如在本部分中规定的以确保维持在 4 级危险等级以下的合理操作条件。

因为海缆中的光中继器需要供电,所以在修理/维护/检修时,由于存在触电危险而手动关闭系统,这对于很多操作人员来说已成为工作习惯。在未来,对于不含光中继器的海缆系统,电力传输可能不再是海缆的部分功能。但是,因为有光辐射危险,所以在将海缆拉出水面之前,关闭(降低)光缆中光功率的操作习惯应予继续与保持。

#### D.4.3.6 受限位置和非受限位置的 APR

OFCS 设计人员应知晓 4.9 规定的受限位置和非受限位置的危险等级要求。对这些区域,设计人员应在任一可能导致工作人员暴露于 3B 类或更高光功率下的系统设计中考虑采用 APR。并应在设计 APR 时,采用合适的断点检测方法和可靠性预防措施。

#### D.4.3.7 带状光缆的 APR

使用带状光缆,可能会将 OFCS 置于更高的危险等级。应按照 D.4.5 所描述的步骤,进行更谨慎的危险等级评定。针对可能提升的危险等级与 OFCS 的位置,对适宜的 APR、挡光板和光纤熔接方面建议考虑进行评估和补充。

#### D.4.4 光纤束

破损光缆中,断裂(即,非切割)光纤束产生的危险,不超过光缆中危险等级最高的光纤。这一点已被大量的断裂光纤端面测试所证明,在测试中也包括光纤端面的反射和散射情况,以及光纤端面的随机指向和移动。

这些测试和条件已证明适用于带状光纤,但不适用于带状光纤被整体切割的情况(见 D.4.5)。

#### D.4.5 带状光缆

带状光纤被整体切割时,端面会出现比单一光纤更高的危险等级。比如,带状光缆中有 8 芯光纤,每芯光纤承载的功率在 1M 级危害之内。单独看,每芯光纤都是相对安全的 1M 级危害,但是作为不可分的整体被切割后,危险等级可能达到 3B 级,真正地给人眼带来风险。这是因为典型带状光纤内光纤芯到芯间距很小,为  $150\ \mu\text{m}\sim 250\ \mu\text{m}$ ,等间距排列的多个光纤的低角间距导致叠加效应。对于连续发射,在 100 mm 处距离测量单模光纤的  $\alpha$  小于  $\alpha_{\min}$  [ $\alpha_{\min}=1.5\ \text{mrad}$ ,见 GB 7247.1—2012 中 8.3 c)]。

带状光纤在它平面的对向角由光纤芯数和光纤间距所决定(例如,8芯带状光纤,光纤间距为200 μm,100 mm距离测试的对向角为14 mrad)。对向角超过  $\alpha_{\min}$ ,带状光纤就被看做是一个中等扩展光源,点光源的 AEL 限值按系数  $C_6$  增大。任一大于  $\alpha_{\max}$  ( $\alpha_{\max}=100$  mrad)或小于  $\alpha_{\min}$  (1.5 mrad)的角距在确定平均值之前都应被分别限制到  $\alpha_{\max}$  或  $\alpha_{\min}$ 。

带状光纤允许的总功率由单独光纤的任意组合的最坏情况所决定(详见 GB 7247.1—2012 对非圆形和多光源的分类规则)。

**D.4.5.1 带状光纤计算举例**

带状光纤由等间距(200 μm)排列的8芯单模光纤组成。对于波长 a)1 310 nm 和 b)1 550 nm,每芯光纤对应1类连续输出时的最大允许光功率是多少?

对 a)的解答

计算应考虑每一芯光纤以及各种光纤组合情况,并假设,光源不超过与每个局部区域的可能对向角  $\alpha$  相对应的 AEL 限值,其中  $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$ 。下面的表 D.2 列出每种光纤组合的 AEL 限值以及组合中每一芯光纤的最大允许功率。两芯光纤组合的情况最差,每芯光纤的最大功率限值为 9.3 mW。

**表 D.2 带状光纤中光纤芯数与最大允许功率的对应关系(举例)**

组合(光纤芯数)	1	2	3	4	5	6	7	8
$C_6$	1	1.2	1.9	2.5	3.2	3.9	4.5	5.2
$T_2$	10	10.07	10.31	10.55	10.8	11.06	11.32	11.59
AEL/mW	15.6	18.7	28.9	39	49	58.8	68.6	78.2
每光纤限值/mW	15.6	9.3	9.6	9.75	9.8	9.8	9.8	9.8

对 b)的解答

波长 1 550 nm,主要是危害眼角膜区域。因此,可以不考虑修正系数  $C_6$ 。每芯光纤的最大功率限值,可以简单地用光源对应的 AEL 限值除以光纤芯数得到,也就是  $10 \text{ mW}/8=1.25 \text{ mW}$ 。

**D.4.5.2 带状光纤问题**

带状光纤输出的光辐射危险是叠加性的,这意味着某一区域的危险等级是由其选用的光缆类型决定。例如,对一个设计用于在线维护的基本光纤系统,并且位置产生的危险等级与位置类型不符合,关闭这个系统就不可操作。如果在这类光纤网络中使用带状光纤,那就需要有降低危险的解决方案。

解决方案可能并不太难。当断裂的带状光纤没出现激光安全问题时,只需考虑光纤的切割和熔接操作。切割分离开的带状光纤和常规光纤没有不同,也不会出现激光安全问题。

如果能保证不接触切断但没有分离的光纤端面,那么因为危险等级与 AEL 限值有关,危险等级的提高是可以规避的。任何方法都应防止在合理的可预见的事件发生时接触激光辐射(即,不只是说明书上一句“别看!”)。一种可行的方案是,采用一种切割工具,它可以始终附着在切割开的光纤端面,直到光纤端面插入带状光纤熔接机中。同样地,熔接机在整个操作过程中要防止激光功率的泄露。

一旦带状光纤用于网络中,就很难控制加载在带状光纤中的业务。

**D.4.6 光分路器和光纤损耗引起的功率降低**

光分路器和光纤引起的功率降低,例如在分布式光纤网络的客户侧,也需要被考虑。经过一定长度的光纤传输后,危险等级可能低于光纤分配点位置。

图 D.1 给出了一个典型的无源光网络(PON)的网络架构。

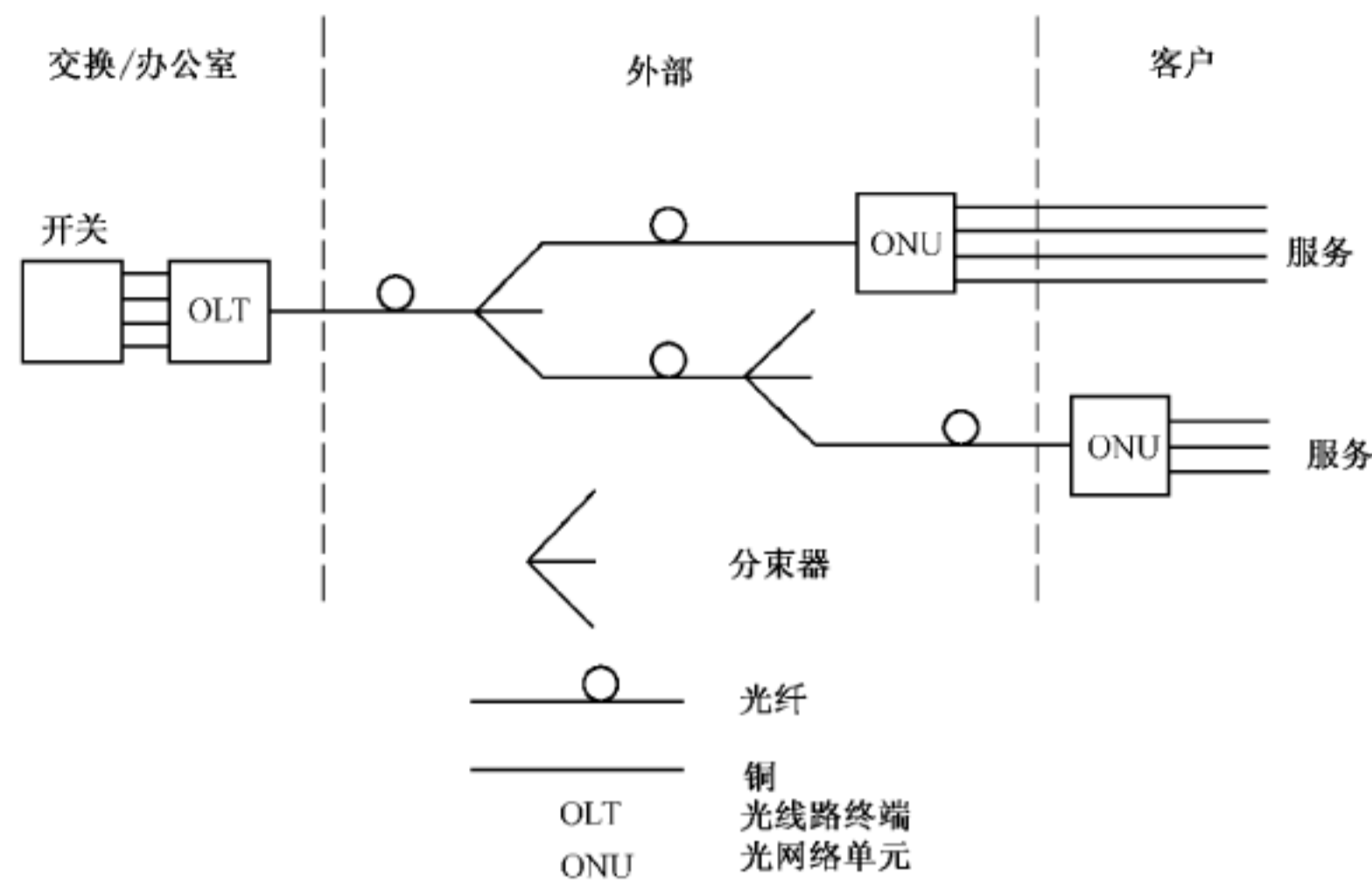


图 D.1 PON(无源光网络)系统

#### D.4.7 总体考虑和举例

在危险等级评估、系统检修和部件、系统参数改变等情况下,需要从以下几方面综合考虑其危险等级的级别:

- 在危险等级评估时,宜始终考虑由硬件随机失效和系统失效(即软件控制 APR 功能的失效)所引起的合理的可预见的故障条件(见 4.8.3)。因此,可能需要包括多个故障条件;由相应机构指导确定各种故障条件发生的概率。

注: 尽管 GB 7247.1—2012 提到单一故障条件,但一个以上的故障联合引起危险情况也是合理可预见的。

- 检修会导致更高的危险等级(见 4.5.4)。相应机构和个人宜考虑这种情况。例如,将高功率或光时域反射仪经光放大的脉冲注入正在运行的光纤网络;APR 出现失效或过载(见 4.7.1e)。
- 改变部件、系统参数或网络结构可能会改变危险等级。例如,用带状光纤代替传统的光纤束(这可能超出网络管理员的直接监管)、改变调制方案、改变发射电路组件的功率或波长、增加/改变光放大器等。

#### D.5 故障分析——说明和指导

当系统输出光功率依赖于其他部件的完整性与电路设计的性能时,建议制造商和操作人员进行分析。

##### D.5.1 定义

以下定义适用于本章。

FITs

可靠性指标,定义为每  $10^9$  h 中发生失效的数量。

##### D.5.2 故障分析

危险等级是在合理的可预见的故障条件下进行评估的。故障分析的目的在于识别光功率控制电路中的失效,这些故障可能会有严重后果,从而影响到危险等级的分级。举例,假如提供适当的 APR 功能,在正常工作条件下,此处可允许 1M 级危险等级的激光器发射光功率大小超过 1M 级危险等级上

限。当光缆断裂时,可达光功率被衰减,使它仍在 1M 级危险等级的限值内。然而,如果激光驱动电路或 APR 中的某一元件发生故障,引起光功率超过 1M 级危险等级的限值,就可按更高的危险等级划分。

APR 功能包括硬件和软件部分:在确定 APR 性能的可靠性时,宜考虑这两个部分。

### D.5.3 故障概率水平

因为失效发生的概率通常不为 0,所以没有任何系统是 100%无故障的。为了量化暴露于危险光辐射下的风险,宜采用公认技术对 OFCS 进行故障分析。

### D.5.4 通用的故障分析技术

通用的故障分析技术有:

- 模拟在合理的可预见的条件下可能发生的故障;
- 失效模式、影响和危险性分析程序(FMECA,参见 IEC 60812[1]);
- 后果分析,参见 IEC 61508[5]。

### D.5.5 失效模式、影响和危险性分析

#### D.5.5.1 一般要求

如果选用的故障分析方法是失效模式、影响和危险性分析方法,那么超过目标危险等级的可达发射限值(在合理的可预见的条件下)的概率宜不超过 500FITs。建议制造商或运营商进行故障分析。

注:基于 500FITs 要求以及工程技术人员在从业期间维修光纤的估算时间,人眼损伤的事件发生概率一般低于 5HITs[HITs 是每  $10^9$  h 危险事件的数量。例如在英国(UK),认为意外事故概率低于 5.43 HITs 的职业风险是微乎其微的]。

#### D.5.5.2 简单激光器驱动电路的 FMECA 分析举例

FMECA 分析的目的是定量测定光功率超过 1M 类 AEL 限值的概率。下面的示例演示了一种建议方法。

参照图 D.2 所示的简单电路。

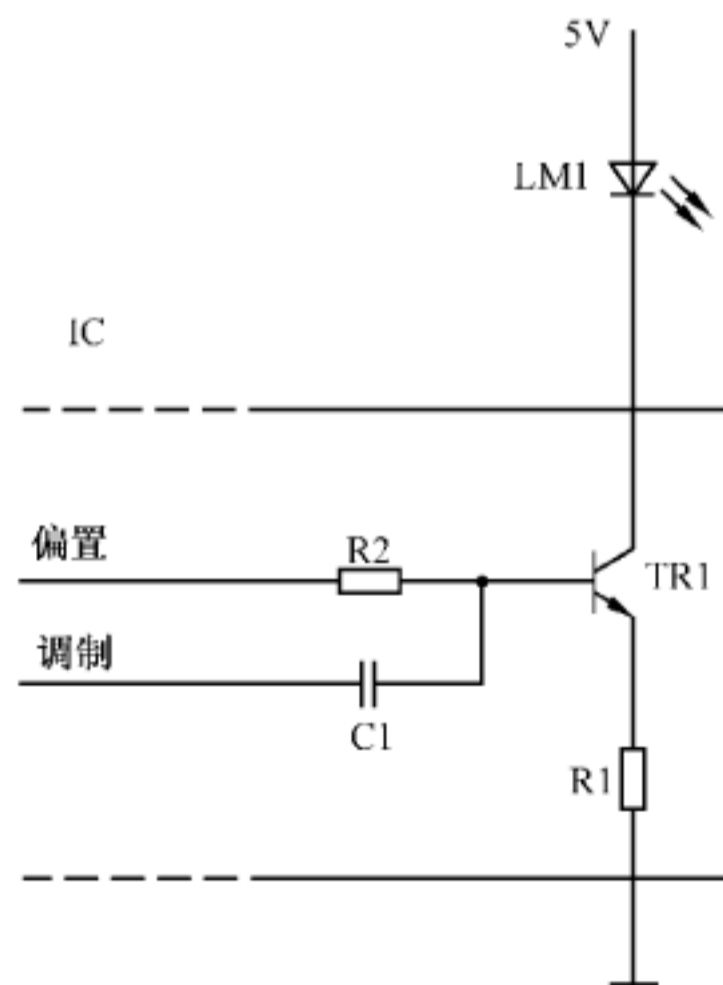


图 D.2 简单的激光驱动电路

##### D.5.5.2.1 步骤 1:识别关键部件

从电路图和部件表中,确定所有可能影响激光器工作的部件。通常,包括平均光功率控制电路、数



据调制电路和阈值偏置电流电路。如果以 APR 功能实现指定的等级,或者 APR 出现失效引起可达光功率的显著增加,那么,在分析中也要包括功率自动降低(APR)电路模块。

#### D.5.5.2.2 步骤 2:识别部件失效模式

如表 D.3 所示,创建部件物料表,列出各部件名称、对应电路 ID 以及最可能的失效模式。

表 D.3 确定元件和失效模式(举例)

电路 ID	部件	失效模式	Beta	注释
LM1	无致冷激光器	输出增加 输出减少 无输出		
TR1	BFR 96 Mullard <500 mW NPN	短路、开路		
R1	47R 2% 0.25 W	短路、开路 参数漂移		
R2	3K9 2% 0.25 W	短路、开路 参数漂移		
C1	0.47 $\mu$ F 10% 50V	短路、开路 参数漂移		

参考文献 [2]给出了最有可能的常见失效模式。上表有一注释列,并要求标注从工程技术人员咨询得到的失效而导致的最可能结果(见 D.5.5.2.3 步骤 3)。

#### D.5.5.2.3 步骤 3:确定 Beta 值

电路设计或维修工程师是完成此步骤的最佳咨询对象,因为他们了解电路中每个部件是如何工作的。

Beta 值由失效模式的危害性决定。简化方法是只需考虑三种类型,并将相应的概率值赋予 Beta,如表 D.4 所示。

表 D.4 Beta 值(举例)

失效模式是否引起激光器功率超过 1M 类 AEL?	Beta 值
是	1
否	0
可能	0.5

被咨询的工程技术人员可以给出更好的 Beta 估值。

条件允许下,模拟故障条件是很好的做法。

#### D.5.5.2.4 步骤 4:确定失效率

本步骤确定每个部件的基本失效率,以及失效模式对应失效率的分配比例。数据可从下列渠道获取:

- 通过分析在线失效获得的数据；
- BT 可靠性手册,HRD5[3](提供通用部件类型在上限 60%置信度的失效率)；
- RAC 出版物[2](列出故障模式对应失效率的分配比例)；
- Mil- HDBK 217[17]；
- RAC 出版物 NPRD[14]。

例如,HRD5 给出小信号双极性硅晶体管的基本失效率( $\lambda_{base}$ )为 8FITs,RAC 出版文献列出导致失效模式( $\alpha$ )的分配比例为:短路 73%,开路 27%。这些数据已在表 D.5 相应的列中体现。

将每行的各列数据相乘,然后将得到的值按列相加,就得到了从而确定系统的总失效率。总失效率表示系统超过预定(激光产品)类别的概率。具体演示见表 D.5。

表 D.5 确定失效率(举例)

电路 ID	部件	失效模式	Beta	$\lambda_{base}$	$\alpha$	乘积	注释
LM1	无致冷激光器	输出增加	1	500	0.05	25.0	可能由耦合光纤移动引起 芯片故障
		输出减少	0	500	0.65	0	
		无输出	0	500	0.30	0	
TR1	BFR 96 Mullard <500 mW NPN	短路	1	8	0.73	5.84	$I_{laser}$ 受 R1 限制(可 能安全,见后续说明)
		开路	0	8	0.27	0	
R1	47R 2% 0.25 W	短路	1	0.2	0.05		
		开路	0	0.2	0.84		
		参数漂移	0.5	0.2	0.11		
R2	3K9 2% 0.25 W	短路	1	0.2	0.05		
		开路	0	0.2	0.84		
		参数漂移	0.5	0.2	0.11		
C1	0.47 $\mu$ F 10% 50 V	短路	1	0.3	0.49	0.15	
		开路	0	0.3	0.29	0	
		参数漂移	0.5	0.3	0.22	0.03	
						总失效率=	31.06 FITs

本例中(假设采用 5 V 供电),最大激光器驱动电流会被 R1 限制在约 35 mA,以保证 1.5  $\mu$ m 激光器的输出不超过 1M 类限值。以上条件并不具有通用性,具体情况需参考各类激光器对应的说明书和各部件的参数值。

在类似的案例中,如果某一部件的失效只可能出现在其他部件同时发生不相关失效的时候,那么简单地将这些部件的 FITs 相加计算总失效率是不合适的。当一个组件发生失效时,同时伴随有几个其他独立的部件同时发生失效,则认为该部件失效非常严重,单一部件的失效率才是有意义的,因此,如果简单地将这些部件的 FITs 相加可能并不合适。

### D.5.6 后果分析

#### D.5.6.1 概述

IEC 61508 系列标准,电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全(见参考文献 [5])是一个基

于标准测试方法的案例,可以用来对功率自动降低(APR)安全系统的可靠性进行量化评估。在 IEC 61508-1 规定的体系中,对安全相关控制系统的要求,被归类为 4 种安全完整性等级(SIL)中的一种。不同的 SIL 等级对应有不同的条件要求,根据 IEC 61508-1,硬件随机失效和系统失效也都有必要计入其中:

- 硬件随机失效可以使用可靠性数据进行计算;
- 系统失效包括可能的设计失效、由于环境应力或影响而发生的失效以及操作失效。

注 1: 以下是 IEC 61508-1 对 SIL 的定义:一种离散的等级(4 种可能等级之一),用于规定分配给电气/电子/可编程电子安全相关系统的安全功能的安全完整性要求。在这里,安全完整性等级 4 是最高的,安全完整性等级 1 是最低的。

注 2: 当使用可编程电子设备控制危险等级时,建议使用 IEC 61508 系列标准。如果系统纯粹是硬件,可以使用 FMECA 之类相似的技术进行分析。

本部分示例说明了该类“应用领域”,如 OFCS,是通过建议的安全完整性等级的几种示例的方法,确定某一产品的危险程度。以下假设是一个保守确定 SIL 方法的案例。该案例基于 IEC 61508-5 中附件 D 的“危险图”方法。

D.5.6.2 后果分析案例

风险(没有安装适当的相关安全系统)被认为是危险事件频率和事件结果的函数。对于本例,使用风险图方法确定 SIL 值。图 D.3 是取自 IEC 61508-5 的风险图。

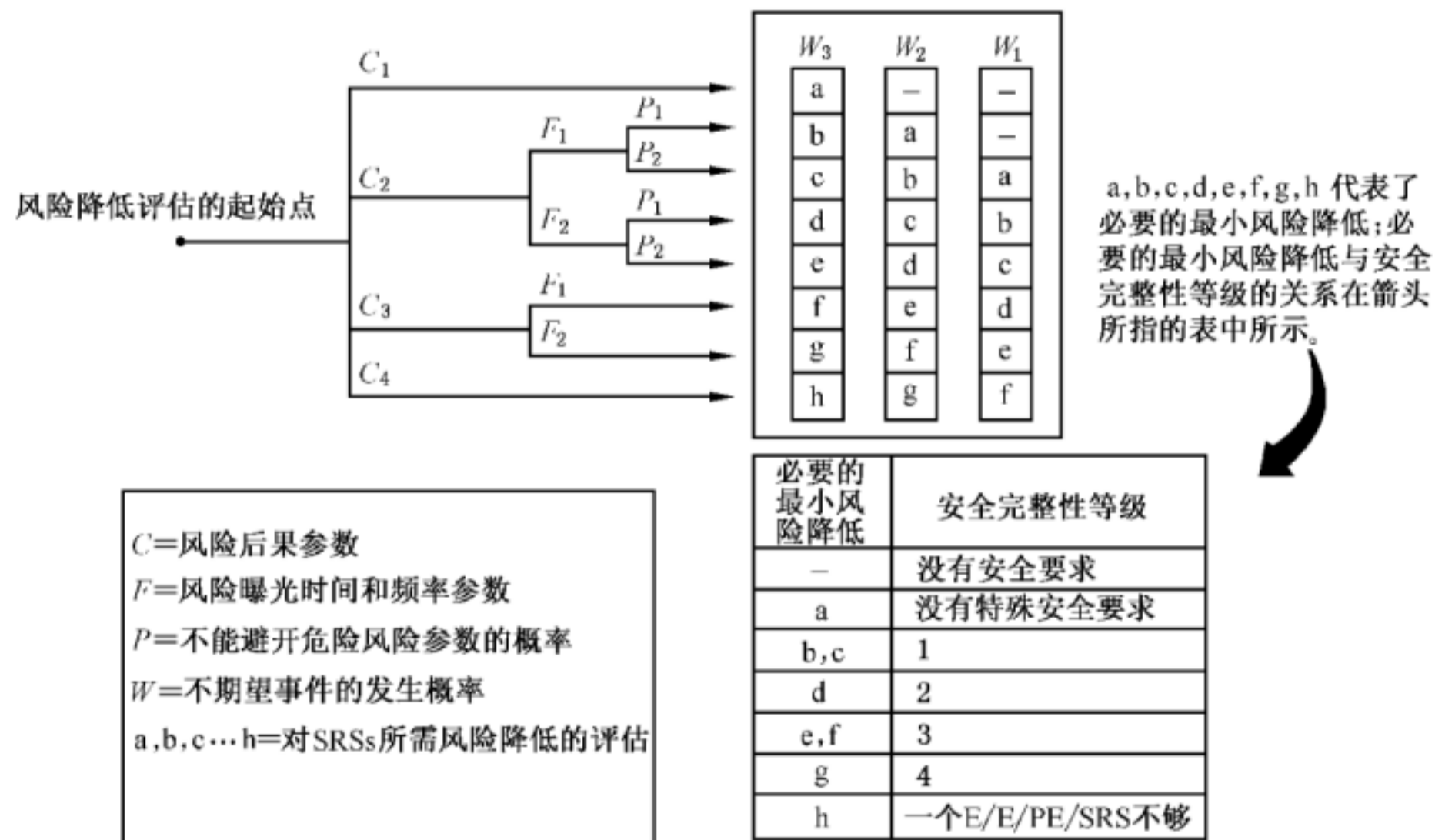


图 D.3 来自 IEC 61508-5 中 D.5 的风险图例

D.5.6.2.1 步骤 1——后果评估

在 IEC 61508 中,将 4 种后果等级分类为下面表 D.6 所示。对 OFCS 而言,对皮肤或眼睛造成损伤的后果风险等级可能会很保守地被划归为  $C_2$  等级。

表 D.6 来自 IEC 61508-5 中表 D.1 的后果分类

后果风险等级	分类
$C_1$	轻微损伤
$C_2$	对 1 人或多人造成严重的永久性危害;造成 1 人死亡
$C_3$	造成多人死亡
$C_4$	造成很多人死亡

D.5.6.2.2 步骤 2——频度评估

在 IEC 61508 系列标准中,需要评估在危险区域中的频度和暴露时间,并且可以被指定为下面表 D.7 中规定的两个值之一。对本案例中的 OFCS 而言,很保守的危险级别估值是  $F_2$  级。

表 D.7 来自 IEC 61508-5 中表 D.1 的频度分类

在危险区域中的频度和暴露时间—风险等级	分类
$F_1$	很少至较多经常暴露在危险区域
$F_2$	经常至长期暴露在危险区域

D.5.6.2.3 步骤 3——避免危险概率的评估

在标准中,避免危险事件的概率可以用下面表 D.8 中规定的两个值之一赋值。在本例中,取危险等级为  $P_1$  的值。

表 D.8 来自 IEC 61508-5 中表 D.1 的避免危险分类的概率

避免危险事件的概率—风险等级	分类
$P_1$	在一定条件下的可能
$P_2$	几乎不可能

D.5.6.2.4 步骤 4——评估在没有任何安全相关系统的条件下发生危险事件的概率

最后的任务是在没有任何安全相关系统情况下,危险事件发生的概率,即,不期望发生的事件的概率(见表 D.9)。

对于本例,风险等级为  $W_1 \sim W_3$  范围内。

表 D.9 来自 IEC 61508-5 中表 D.1 的不期望事件发生的概率分类

不期望事件的风险等级概率	分类
$W_1$	出现不期望事件的发生概率极低,并且只有很少不期望事件有可能发生
$W_2$	出现不期望事件的发生概率很低,并且只有少量不期望事件可能发生
$W_3$	出现不期望事件的发生概率相对高,并且不期望事件有可能频繁发生

**D.5.6.2.5 步骤 5——绘制曲线图**

将这些参数绘制在风险曲线图中(图 D.3),在最保守的条件下,对皮肤或眼睛的危害可归为 SIL 1 级(在同样的条件下,IEC 61508 系列标准中说明的其他方法,得到的结果也为 SIL 1)。

**D.5.6.2.6 步骤 6——确定 APR 系统的可靠性**

在以下步骤中,仅考虑 SIL 1,对于 SIL 1 以外的 SIL 级别,参见 IEC 61508 系列标准。对于 SIL 等级的硬件随机失效,根据 IEC 61508-2,将考虑硬件故障容限和安全失效比率。

SIL 以两个数字范围集表示。一个集合用于表示安全设备的高要求模式,一个集合用于表示安全设备的低要求模式。安装之后,光纤系统很少会被以非故意的方式断开。于是,对于功率自动降低 (APR)系统,很少需要断开或衰减光功率。在 IEC 61508 系列标准的用词中,APR 应是在“低要求模式”运行(见表 D.10 中的定义)。

注:例如,光缆的平均失效间隔时间已被确定为在 2 年至大于 160 年间。详见参考文献[18]的表 1 和表 2。

**表 D.10 来自 IEC 61508-4 中的定义 3.5.12——操作模式**

模式	定义
操作模式	安全相关系统使用的方式,根据其要求产生的频率而言,可为下列两种之一:
低要求模式	对于一个安全相关系统提出操作要求的频率为每年不超过一次,并且不大于两倍的检验测试频率,或
高要求或连续模式	对于一个安全相关系统提出操作要求的频率大于每年一次,或大于两倍的检验测试频率
注:高要求或连续模式包含了那些对保持功能安全实现连续控制的安全相关系统(例如一个压力调节器值)。	

对于 SIL 等级 1 系统,危险情况的目标失效率是在  $10^{-1}$  和  $10^{-2}$  之间。通过几个解决方案可以达到这个目标失效率。案例包括 APR,机械方案和降低外部风险。

在本例中,选用 APR,APR 发生故障不能降低功率的概率宜小于 0.1(见表 D.11)。

**表 D.11 来自 IEC 61508-1 中 7.6.2.9 的 SIL 值**

安全整体性等级	低要求操作模式(在要求时就执行其设计功能要求的平均失效概率)
4	$\geq 10^{-5}$ 且 $< 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4}$ 且 $< 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3}$ 且 $< 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ 且 $< 10^{-1}$

考虑到随机硬件失效,SIL 等级或功率自动降低系统的失效概率具体而言可以用 APR 失效性表示。如果 APR 单元受到连续在线监测并产生 APR 故障告警或对 APR 进行定期测试,这种失效性则由 APR 设备的可靠性和操作者在 APR 失效事件中的修理时间(平均修理时间或 MTTR)两者决定。设备可靠性一般用 FIT 率(一个  $10^9$  h 内的失效)表示。详见式(D.1):

$$SIL_{等级} = APR_{失效} = \frac{FIT_{频率} \times MTTR}{10^9} \dots\dots\dots (D.1)$$

其中：

$$FIT_{\text{频率}} = \frac{SIL_{\text{等级}}}{MTTR} \times 10^9$$

式中：

SIL<sub>等级</sub> ——失效/要求；

MTTR ——以每小时的平均修复时间为单位；

10<sup>9</sup> ——由失效率(以每小时失效次数为单位)和 FITs(以每 10<sup>9</sup> h 失效次数为单位)换算出。

图 D.4 表示 FIT 率和修复一个失效的安全系统的平均时间之间的关系，SIL 等级 1 安全系统的范围被突出标示。

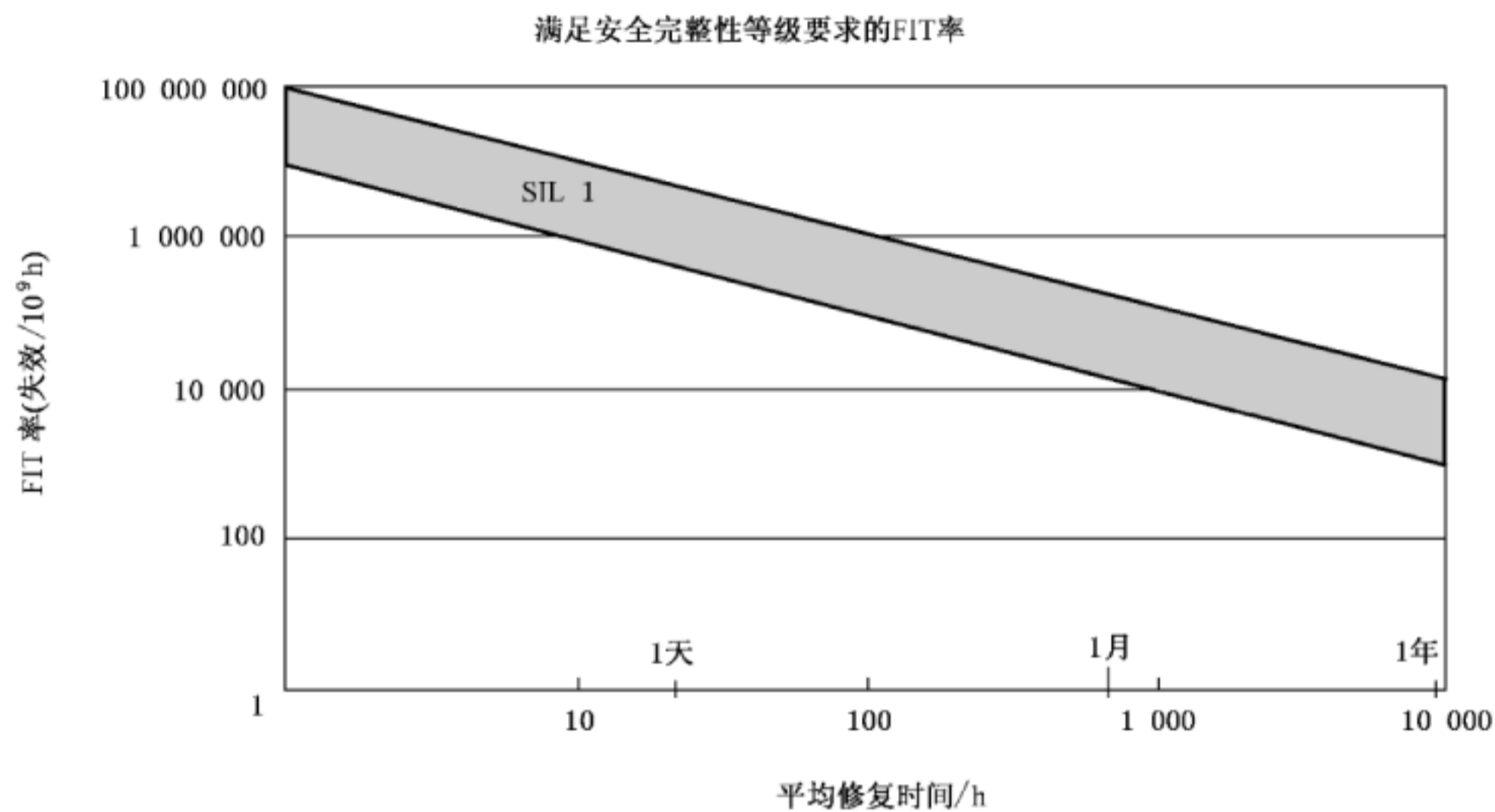


图 D.4 FIT 率和平均修复时间的关系图

#### D.5.6.2.7 步骤 7—从系统性失效降低风险

对于 SIL 1, IEC 61508-2 和 IEC 61508-3 强烈建议至少用以下方法降低系统性失效：

- a) 设置程序监控,即,看门狗,程序序列的逻辑监测,临时的在线检测；
- b) 使用结构化方法进行软件设计,即,JSD,MASCOT,SADT,Yourden；
- c) 对电压进行测量,避免电压击穿、电压不稳、过压、欠压等现象；
- d) 将电力线路与信息线路分隔开；
- e) 增加抗干扰能力；
- f) 测量环境适应性,包括温度、湿度、水、震动、灰尘、腐蚀性物质对系统的影响；
- g) 测量不利进行升温测量,考察温度传感器,风扇控制,热保险丝,温度告警,制冷系统和状态指示等功能；
- h) 将承载复用信号的多条线在空间上隔离；
- i) 改进性保护,自动启动时信号检测和探测。

若要进一步详细了解以上提出的方法,请参见 IEC 61508 的第 2 部分、第 3 部分。

#### D.5.6.2.8 FIT 率的确定

APR 系统的可靠性依赖于这个系统有效运行和维护的连续性。对于具有非常低 FIT 率的 APR 系统,如果产品整机的寿命短于其 APR 系统的寿命,则没有进行 APR 系统维护的必要。对于所有其他系统,APR 故障率和合适的 FIT 率取决于 APR 故障能否被检出和操作员在合理的时间内进行修复

的可能性,以及操作员对于象征 APR 系统故障的告警的响应能力。

由于设备厂商没有对 APR 系统进行实时维护,因此指定合适的 FIT 率比给出 SILs 级别与平均维修时间的组合关系更实用(见图 D.4)。生产厂家提供 APR 系统一般有两种形式:1)连续或频率性的进行诊断/验证测试;2)完全不进行监控或诊断/验证测试。当系统进行连续性的诊断测试,监视和告警时,例如光纤通信系统中的失效将会在 24 h 内被修复,因此 MTTR=24 h。不进行系统相关安全测试的系统一般处于长期无监控的工作状态,但是这些系统每几年也可能进行升级、修理、测试或更换。因此其平均维修时间被认为是一年( $10^4$  h),或 MTTR= $10^4$  h。

表 D.12 设备监测分类的确定

安全相关系统的诊断测试和监测	分类	平均修理时间
M <sub>1</sub>	对安全相关系统执行经常或连续的诊断测试和监测	1 天(24 h)
M <sub>2</sub>	没有监测,但经常的诊断测试	1 年( $10^4$ h)
M <sub>3</sub>	在 APR 寿命规定终止之前,没有监测,没有测试,系统没有检修	20 年( $2 \times 10^5$ h)

有了这个信息,现在可以确定 FIT 率(见表 D.13)。假设有一个工作波长在 1 550 nm 的通信系统,在正常工作中(没检测出故障)它的光功率超过 1M 类低于 3B 类的上限。假设我们希望 OFCS 能在非受限位置工作,为此必要在合理的预见故障的条件下,将可达辐射限制在 1 级危险等级,并且,考虑激光发射器的类别,需要使用 APR 系统。最大许可 FIT 率应赋值为 SIL 1 级系统的上限。根据上面的等式 D.1 和图 D.4,可以看出对于平均修理时间(MTTR)为 24 h 的连续诊断系统,最低要求(即最大可接受的 FIT 率)是  $4 \times 10^6$  FITs;对于具有 MTTR 为一年的系统,是  $10^4$  FIT;对于没有连续诊断的系统,FITs 为 500。

对其他危险等级的 FIT 率指标可以类似地被确定(参见 IEC 61508 系列标准)。

表 D.13 上述案例确定的 FIT 率

FIT 率				
安全完整性等级	后果	M <sub>1</sub> (连续诊断)	M <sub>2</sub> (经常测试)	M <sub>3</sub> (没有监测)
SIL 1	对 1 人或多人造成严重的永久性损伤;造成 1 人死亡-即视网膜伤害,小火灾(C <sub>2</sub> )	$<4 \times 10^6$	$<10^4$	$<500$

## D.6 建议的良好工作习惯

以下工作习惯被认为是良好工作习惯的案例,建议在对 OFCS 进行操作时使用。不同的良好工作习惯可能适用不同的环境。

### D.6.1 通常的良好工作习惯

以下工作习惯可以是操作 OFCS 时的良好习惯:

检视光纤:没有眼保护时不要凝视光纤,不要用未批准的准直设备在光纤端头凝视光纤,或连接器端点,或将光纤指向其他人员。

检视工具:只使用认可(认证)的过滤或减弱的观察工具。

光纤端子(单个或多个):任何没接终端的单个或多个光纤(例如匹配、交接)在没有使用时,均宜分别或集中用相应保护材料端接,保护材料宜与波长和功率相适应,所有光纤接头端子宜用端接保护,尖锐的端头不宜暴露。

覆盖的合适方法包括使用绞接防护器或胶带。务必将端头帽端接在不使用的接头端子上。

带状光缆:未经批准,不要分开带状光纤或使用带状绞接器。

测试线:在使用光纤测试芯时,光源宜是最后一个被接入的,也是第一个被断开的。

光纤碎段:把所有光纤碎段都收集起来放入一个容器中,容器本身宜按规定处理。

维护:需要按照说明书规定对使用的系统进行操作与维护。

清洁:按照规定的方法清洁和准备光纤以及光连接组件。

改动:在未授权的情况下,严禁对 OFCS 或相关设备进行任何的修改改动。

扩展板:不宜在光发射卡使用扩展板,当扩展板在发射器架外面时,严禁给光源加电。

标牌损坏:向线路管理人员及时报告损坏或丢失的光安全标牌。

钥匙控制:对于有钥匙控制的设备,钥匙宜在管理人员指定的人员控制之下,管理人员宜确保钥匙的安全使用、储藏、以及全面受控。备份钥匙宜在严格控制手续下由指定的线路管理人保存。

测试设备:使用任务需要的最低级别的和最实用测试设备,不要使用比位置危害级别更高级别的测试设备。

标识:对于超过危险等级 1M 的位置要求有区域警告标识。区域标识可以标示在较低类别的位置。

告警:系统告警,这类告警特别包含指明 APR 或任何其他安全系统失效的工作告警,宜能与其相对应响应系统告警,以便在规定的时间内能进行及时修理。

#### D.6.2 对于危险等级为 1, 1M, 2, 2M 和 3R 级的现场良好工作习惯

当操作在线系统(即当光信号被沿着 OFCS 光纤发射),建议使用的良好工作习惯在 D.6.1 给出。

#### D.6.3 对于危险等级为 3B 级的良好工作习惯

不建议在 3B 级危险等级的位置对加电系统(有时加电系统也称为“活系统”)工作。

管理人员宜建立并定期开展足够的 OFCS 安全和培训课程。从事 OFCS 安装和服务的人员宜检查所有相关规则,并向管理人员报告可能的不安全状况或潜在的异常光辐射暴露点。

如果不允许在危险等级为 3B 级的位置对上电系统进行操作(如上所述),那么宜使用以下的一些操作惯例:

- D.6.1 中定义的所有一般惯例;
- 产生光辐射的设备应断电,从而使 OFCS 断电(详见 D.6.4);
- 使用经校准的光功率计确认光纤中已无光功率传输,该功率计宜能承受系统的最大发射功率而不损坏;
- 端接保护所有未经处理且暴露在外的光纤端头,经常确保没有对接的连接器的连接器已通过使用内置的连接器开关机制或端帽衰减到合适的光功率;
- 只使用非直接的观察工具(比如电视拍摄或阴影成像拼接仪器),未经批准禁止使用显微镜或头戴式放大镜观测;
- 当使用光纤进行测试时,光功率源宜最后接入系统,并首先被断开。

#### D.6.4 3B 级危险等级的正规断电和加电步骤

当给 OFCS 断电时(如果不允许继续加电)宜采用以下步骤:

- a) 指定操作光源的人员宜:
  - 接受过相关培训,此类培训级别能满足操作该设备类型所要求的等级水平;



- 熟悉与上文描述中相关的基本指令和安全要求,同时还需要掌握了解额外的本地指令和环境;
- 安全为首,责任在心。
- b) 特殊岗位应由线路管理人员指定操作员,并明确告知他们的岗位职责;
- c) 每个设备及装置的指定操作人员名单宜留档记录并突出显示;
- d) 在开始工作之前,被授权执行操作的人员(任务发起人)宜:
  - 要求操作光源的指定人员关闭对应光纤的光源;
  - 在双工系统,宜要求指定的光源操作员核实两端的光源是否都被关闭;
  - 当得到通知,电源都已断开,需要填写完成相应的记录表,记录表宜由任务发起人保存。如果任务发起人和指定操作员是同一人,则表格不需要完全填写;
  - 确保(用加电/有源光纤鉴别器或光功率计)电源已断开;
  - 完成以上操作后,通知相应光源的指定操作人员。
- e) 按照任务发起人关于断开光功率源的要求,指定操作员宜:
  - 记录每次操作的时间和日期,以及任务发起人的详细信息,表格宜保存在光源所在地的档案中;
  - 断开相应的光源(如果条件允许,用钥匙控制);
  - 填写警告标牌并将它粘贴在设备断开连接点的相应位置上。比如设备框架、配电架,宜为每个任务发起人系一个标牌;
  - 任务发起人为每一个任务发起人提供作业号码和光源断开的时间;
  - 得到任务作业已完成的通知后,记录适当的细节,在给光源加电之前,将警告标牌从设备上取下。当一个以上任务发起人要求断开同样的光源时,在现有的所有任务作业完成之前,光源宜不加电。

#### D.7 在断开电源时的最大输出功率

表 D.14 列出在断开时间最大的输出功率(mW),对单模 OFCS,在非受限场合需要在 1 s 内降低到较低危险等级,而在受限或受控的场合,需要在 3 s 内降低到较低危险等级(见 4.8.2)。同时,宜酌情根据附录 B 叙述的工程要求确定较低危险等级。

用于导出表 D.14 的公式为:

$$\text{NOHD} = \frac{\omega_0 \pi d}{2\sqrt{2}\lambda} \times \frac{1}{\sqrt{\ln\left(\frac{P}{P - \frac{\pi d^2 \text{MPE}}{4t}}\right)}}$$

这个公式的另一种形式是:

$$P = \frac{\pi d^2 \text{MPE}}{4t} \times \frac{1}{1 - \exp\left[-0.125\left(\frac{\pi \omega_0 d}{\lambda \text{NOHD}}\right)^2\right]}$$

式中:

- $\omega_0$  ——模场直径( $1/e^2$  功率密度),单位为米(m);
- $P$  ——光纤的总功率,单位为瓦(W);
- $d$  ——受限孔径,单位为米(m);
- MPE ——最大允许照射量,单位为焦耳每平方米( $\text{Jm}^{-2}$ );

NOHD —— 标称眼危害距离,单位为米(m);

$t$  —— 关断时间,单位为秒(s);

$\lambda$  —— 波长,单位为纳米(nm)。

表 D.14 OFCS 系统的功率限值举例,该系统能够通过 APR 使发射功率自动降低至低危险等级

波长 nm	光纤模场 直径 $\mu\text{m}$	最大功率 输出 mW	最大受限 功率输出 mW	最大受控位置 功率输出 mW	关断时间 s	测量距离 m
980	7	9.4	9.4	—	1	0.1
980	7	N/A	7.2	—	3	0.1
980	7	N/A	—	39	3	0.25
1 310	11	78	78	—	1	0.1
1 310	11	N/A	59	—	3	0.1
1 310	11	N/A	—	314	3	0.25
1 400~1 500	11	1 598	1 598	—	0.3	0.1
1 400~1 500	11	650	650	—	1	0.1
1 400~1 500	11	N/A	389	—	2	0.1
1 400~1 500	11	N/A	288	—	3	0.1
1 400~1 500	11	N/A	—	2 403	2	0.25
1 400~1 500	11	N/A	—	1 774	3	0.25
1 550	11	2 539	2 539	—	0.5	0.1
1 550	11	1 273	1 273	—	1	0.1
1 550	11	N/A	639	—	2	0.1
1 550	11	N/A	428	—	3	0.1
1 550	11	N/A	—	2 640	3	0.25

注 1: 采用的光纤参数是最保守的情况。对于  $\lambda = 1\ 310\ \text{nm} \sim 1\ 550\ \text{nm}$ , 所列数值是用于  $11\ \mu\text{m}$  模场直径(MFD)计算的, 而  $\lambda = 980\ \text{nm}$ , 是用于  $7\ \mu\text{m}$  模场直径(MFD)计算的。

很多被  $1\ 480\ \text{nm}$  或  $980\ \text{nm}$  激光器泵浦, 在  $1\ 550\ \text{nm}$  工作的掺铒光纤放大器(EDFA)系统, 使用较小 MFDs 的传输光纤。例如,  $1\ 550\ \text{nm}$  色散位移光缆的 MFD 上限值为  $9.1\ \mu\text{m}$ 。在这种情况下, 对于非受限和受限位置, 在  $1\ 480\ \text{nm}$  and  $1\ 550\ \text{nm}$ , 最大功率输出为表 D.14 值的 1.44 倍。而对于受控位置, 在  $1\ 480\ \text{nm}$  and  $1\ 550\ \text{nm}$ , 最大功率输出为表 D.14 值的 1.46 倍。

注 2: 表中所给的时间仅用于举例说明; 比最大关闭时间更短的时间是允许的, 允许使用更高的功率(非受限位置最大时间是  $1\ \text{s}$ , 受限位置是  $3\ \text{s}$ )。

**附 录 E**  
(资料性附录)  
**检修和维护指导**

**E.1 测试和测量**

**E.1.1** 在光缆管道和交换中心的测试、测量和操作应被视为检修和维护操作。只要可能,诊断测试宜以这样的方法进行,即不增加任何位置的危险等级。可能需要有管理控制,在某些情况下,管理控制可能包括系统操作许可。在连接测试设备时,在评估危险时宜适当留意建立引入系统实际功率等级。

**E.1.2** 运营商宜建立并保持明确定义的条件,在该条件下,功率自动降低特性可以被超过。

当功率自动降低特性被超过时,运营商宜重新评估危险等级。宜采取 4.5 及其子条款中描述的与新评估的危险等级相适应的安全防护措施。

**E.1.3** 在选择光纤检查和光纤插接时所使用的观察光学系统时,宜确保其能将照射量降低到最大允许照射量(MPE)以下,且宜在运营商批准后使用。

注:可接受的方案是运营商对批准使用的观察光学系统做标记。

**E.1.4** 在合理可行的情况下,任何检修、维护和修理均宜在光纤中无能量传输的情况下进行;当不具备这种合理可行的条件时,系统宜运行于在维持其功能所需的最低功率水平。

**E.1.5** 运营商宜建立工作惯例,防止人员暴露于超过相应 MPE 值的辐射中。

**E.2 安全预防措施****E.2.1 一般要求**

**E.2.1.1** 在某些位置上,在检修或维护过程中,可能遇到超过 MPE 水平的光或激光辐射的位置(例如,在切换时,在受控位置),宜提供相应的眼防护措施。

**E.2.1.2** 在开展光纤光缆或系统工作之前,终端用户应检查可达位置的危险等级。对于已安装并运行的系统,可达位置的危险等级宜由警告标牌明确标识。对于已知的或可能要运行的系统,宜采用与危险等级相适应的预防措施。在安装过程中,可能还没有提供危险等级标记,在这种情况下,宜采用与发射器的等级或连接到光纤的包含光源的测试设备的等级相适应的预防措施。

**E.2.1.3** 在安装或测试光纤光缆或网络过程中,推荐以下做法:仅使用输出危险等级标记为 1、1M、2 或 2M 级(依据本部分)或 1、1M 或 2M 类(依据 GB 7247.1—2012)的测试设备。

对于在受限位置或受控位置中的光纤通信系统,有可能使用具有较高光输出功率的测试设备,前提是在所有位置的可达光纤端头和连接器都是安全的,并且在测试之前已贴有标记标注相应的危险等级。

**E.2.1.4** 3B 级危险的受控区域的入口处宜有:

——一个标识,包括与 GB 7247.1—2012 中图 1 一致的警告标记和与 GB 7247.1—2012 图 2 一致并标注有“3B 级危险”的说明标记;

——一个标识,注明仅允许被授权人员接近,并说明存在潜在的危险。

**E.2.1.5** 每个从事操作、安装或检修光纤通信系统(OFC)的人员宜:

——遵守为了 OFCS 安全运行而建立的所有规则,常规和工作惯例;

——对于可能造成人员损伤或财产损失的状况或操作,立即通知管理者;

——对于任何已知的或怀疑的异常光辐射照射,立刻向管理者报告。

## E.2.2 在具有 1M、2M、3R 和 3B 危险等级位置的预防措施

E.2.2.1 在对暴露的光纤、连接器等进行任何工作之前,只要可能,光发射或测试设备宜关闭、置于低功率状态或断开连接。在这种情况下,宜防止遥控开关或其他适当的方法导致的无意的启动。线路状态(加电或没加电)宜明确标示。

E.2.2.2 宜指示接触负载光纤端头或连接器端头的人不要直接观看这些端头。在任何情况下,宜使用具有合适衰减的观察工具。

E.2.2.3 只有参加过光纤安全培训课程的人员才能被允许在具有 3B 级危险的位置操作 OFCS。

E.2.2.4 在具有 3B 级危险的位置上安装、运行或维护 OFCS 和相应的测试设备的人员,宜确保未受培训的人员得到充分的保护。

E.2.2.5 当极高功率级别(几百 mW 到几 W)注入光纤时,在系统中的高损耗点有可能承受高温。

注:这种系统的一个举例是使用分布拉曼放大技术。

高温可能在设备中或房屋中导致危险情况。因此,对于正常传输极高功率的系统推荐以下做法:宜非常仔细地清洁连接器,以尽可能减小由连接器、分路器或弯曲点引起的损耗。

## E.2.3 培训程序

安装或维护 OFCS 的员工雇主应建立并保持一套完整充分的程序以控制光纤危害。宜为具有 3B 级危险的光纤通信系统的工作人员建立安全培训程序。这种程序应由在激光和 OFCS 安全领域中称职的人员进行指导。程序宜至少提供以下内容:

- OFCS 的背景信息;
- 与激光分类系统和危险等级相关的安全信息。

**附 录 F**  
(资料性附录)  
“危险等级”含义的说明

本附录进一步说明了 GB 7247.1—2012 中定义的“激光分类”和本部分中定义的“危险等级”之间的不同。

### F.1 类别

“类别”一词指的是以发射等级为基础的一种分类方法,用于对某种产品或某种内发射器的安全来进行分类。这些类别的划分在 GB 7247.1—2012 中以可达发射极限表来描述。分类体系的范围从 1 类~4 类,1 类指在合理的可预见条件下是安全的,4 类指具有潜在的最危险情况。在 GB 7247.1—2012 中,产品的分类是以合理的可预见的工作条件为基础,包括单一故障条件在内。

### F.2 危险等级

本部分中所用的术语“危险等级”指在端对端光纤通信系统中,在使用或维护时可以接触到的任何位置,或在出现失效或光纤断开情况的位置,由激光发射引起的潜在危险。评估危险等级采用 GB 7247.1—2012 中描述的各分类可达发射极限表。危险等级的评估在 4.8.1 中也作了描述。评估可以是实际测量的或基于发射功率和已知时间常数计算得出。

本部分的附录 A 给出了以下补充说明:“一个完整的光纤通信系统(OFC)不会以 GB 7247.1—2012 所要求的方法分类。这是因为在预期的运行中,光辐射是完全封闭的。并且已经表明,如果严格解释 GB 7247.1—2012 的话,会将整个系统都划分为 1 类,这就不能准确地反映系统存在的潜在危险。”基于这一表述,一个完整的光纤通信系统(OFC)可以被认为是一个 1 类激光产品。因为在正常条件下,发射是完全封闭的(像激光打印机),保护罩之外不宜有光辐射泄露。只有在光纤断裂或光连接器松脱的情况下,人员才有可能受到光辐射而发生危险(如果内发射器或放大器输出具有足够高的功率)。

因此,务必对每一个光输出端口评估其危险等级。危险等级限值取决于“主要”波长范围,同时要考虑到 GB 7247.1—2012 对不同波长范围规定的不同限值。详细情况见 GB 7247.1—2012。另外,本部分允许采用功率自动降低(APR)技术,以便根据光纤中的正常功率和功率自动降低的速度获得较低的(危险性较小)危险等级。

### F.3 对定义 3.1,3.4~3.11 和第 4 章的说明

光纤通信系统(OFC)的大部分往往归为“在合理的可预见条件下不可接触的”一类。

### F.4 对条款 4.8.1 和 4.8.2 的说明

4.8.1 和 4.8.2 的指导思想是以 GB 7247(IEC 60825)的第 1 部分和本部分已有内容为基础依据的。

如果任何人受到由光纤端口或破裂泄露出的光辐射照射时,或暴露在光纤断裂和断开连接引起的瞬间光辐射中,光辐射限值都不能超过这些条款要求的 MPE 值。直到超过断电过程时间,功率是在它的最大值上保持恒定。

不同位置条件下的进一步解释如下：

a) 非受限位置：

对于非受限区域,1 s 的断电过程时间与 4.8.1 相一致,描述为：“危险等级的评估应在合理的可预见的事件发生后 1 s 内进行…”100 mm 距离是与 GB 7247.1—2012 中表 11 中的数值一致。即使有意切断光纤,在 1 s 内有人进入 100 mm 距离内,并站在与光路成直线位置的高度是不可能的。也就是,考虑到当向下移动光纤时,光信号被衰减,为此在非受限区域发生故障时,光输出比发射器或放大器的输出低的多。

b) 受限位置：

对于受限区域,3 s 的断电过程时间与 4.8.1 相一致。如果假设在受限区域内系统的故障很少发生,断电过程为 3 s 的限制将是“在合理的可预见事件发生后”的可接受的时间。同样,这种情况也是极少发生的:在这个时间段,有人进入 100 mm 距离内,位于与光纤成直线的位置,遭遇来自对面的辐射。考虑到当将光纤向下移动时,光信号被衰减,为此在受控区域发生故障时,光输出比发射器或放大器的输出低的多。

c) 受控位置：

在受控接触位置工作的人员,一定要接受激光安全方面相应的培训。除非系统已完全不供电,否则培训应包括要知道不能观察一个破裂的光纤。

## F.5 对条款 D.5 的说明

附录 D 是资料性附录仅供参考。使用术语“推荐”可能被错误地理解为禁止使用其他分类方法。实际上故障分析方法和采用适当的安全等级是用户的权利。

## 参 考 文 献

- [1] IEC 60812 Analysis techniques for system reliability—Procedures for failure mode and effects analysis (FMEA) (GB/T 7826—2012, IEC 60812:2006, IDT)
- [2] Failure Mode/Mechanism Distributions 1991, FMD-91. Reliability Analysis Center, US Dept of Defense, 1991. [Prepared by: Reliability Analysis Center, PO Box 4700, Rome NY] [美国国防部可靠性分析中心(RAC)]
- [3] BT Handbook of Reliability Data for Components Used in Telecommunications Systems, 1995, Issue 5 [Copies available from: ILI Index House, Ascot, Berkshire SL5 7EU]
- [4] UKAS Document NIS 20: Uncertainties of Measurement for Electrical Product Testing Draft 2, Jan 1992
- [5] IEC 61508 (all parts) Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic-safety-related systems [GB/T 20438 (所有部分), IEC 61508 (所有部分), IDT]
- [6] IEC 60794-1-1 Optical fibre cables—Part 1-1: Generic specification—General (GB/T 7424.1—2003, IEC 60794-1-1:2001, MOD)
- [7] IEC 60794-1-2 Optical fibre cables—Part 1-2: Generic specification—Basic optical cable test procedures (GB/T 7424.2—2008, IEC 60794-1-2:2003, MOD)
- [8] IEC 60794-2 Optical fibre cables—Part 2: Indoor cables—Sectional specification
- [9] IEC 60794-3 Optical fibre cables—Part 3: Sectional specification—Outdoor cables (GB/T 7424.3—2003, IEC 60794-3:2001, MOD)
- [10] IEC 60794-4-1 Optical fibre cables—Part 4-1: Aerial optical cables for high-voltage power lines
- [11] IEC 60794-3-10 Optical fibre cables—Part 3-10: Outdoor cables—Family specification for duct and directly buried optical telecommunication cables
- [12] IEC 60794-3-20 Optical fibre cables—Part 3-20: Outdoor cables—Family specification for optical self-supporting aerial telecommunication cables
- [13] IEC 60950-1:2001 Information technology equipment—Safety—Part 1: General requirements (GB 4943.1—2011, IEC 60950-1:2005, MOD)
- [14] Nonelectronic parts reliability data 1995, NPRD-95. Reliability Analysis Center, US Dept of Defense, 1995. [Prepared by Reliability Analysis Center, PO Box 4700, Rome NY]
- [15] ITU-T Recommendation G.664, Optical safety procedures and requirements for optical transport systems
- [16] IEC 60825-12 Safety of laser products—Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information
- [17] MIL-HDBK-217F, Reliability Prediction Of Electronic Equipment
- [18] COCHRANE, P. and HEATLEY, DJT. Reliability Aspects of Optical Fibre Systems & Networks. BTTJ Special Issue on Future Telecommunication Systems & Networks, No. 2, April 1994, Vol 12, pp. 77-92, [also found at: <http://innovate.bt.com/people/heatledj/papers/reliability/reliability>]
- [19] IEC/TR 60825-14, Safety of laser products—Part 14: A user's guide (GB/T 7247.14—2012, IEC/TR 60825-14:2004, IDT)
-

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
激 光 产 品 的 安 全  
第 2 部 分 : 光 纤 通 信 系 统 (OFCS) 的 安 全  
GB/T 7247.2—2018/IEC 60825-2:2010

\*

中 国 标 准 出 版 社 出 版 发 行  
北 京 市 朝 阳 区 和 平 里 西 街 甲 2 号 (100029)  
北 京 市 西 城 区 三 里 河 北 街 16 号 (100045)

网 址 : [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

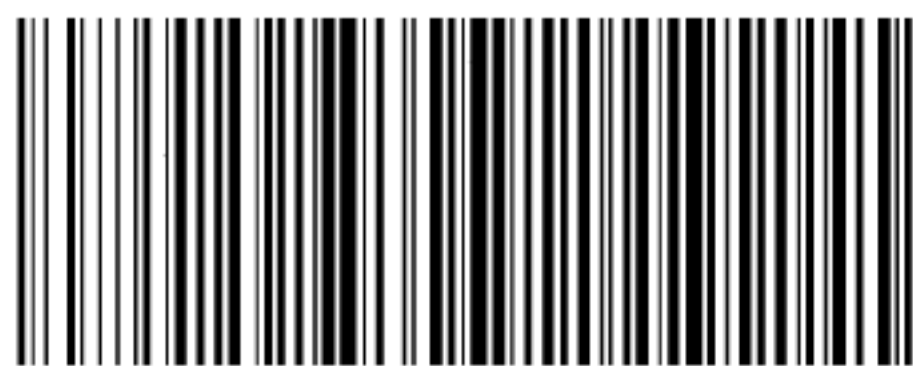
服 务 热 线 : 400-168-0010

2018 年 3 月 第 一 版

\*

书 号 : 155066 · 1-59596

版 权 专 有 侵 权 必 究



GB/T 7247.2-2018