ICS 31.260
CCS L 51

中华人民共和国国家标准

GB/T 7247.2—2024/IEC 60825-2:2021
代替 GB/T 7247.2—2018

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(OFCSs)**

(IEC 60825-2:2021,IDT)

2024-08-23 发布　　2025-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
引言 …… Ⅴ
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　基本要求 …… 4
4.2　OFCS 的防护罩 …… 4
4.3　光缆 …… 4
4.4　光缆连接器 …… 4
4.5　标记和标识 …… 5
4.6　对机构的要求 …… 9
4.7　危险等级的评估 …… 10
4.8　功率自动降低(APR) …… 13
4.9　位置类型的危险等级要求 …… 14
附录 A(资料性)　适用范围 …… 16
附录 B(资料性)　“危险等级”含义的说明 …… 17
B.1　概述 …… 17
B.2　类别 …… 17
B.3　危险等级 …… 17
B.4　对 4.7 的说明 …… 17
B.5　对 D.5 的说明 …… 18
附录 C(资料性)　危险/安全分析方法 …… 19
附录 D(资料性)　安全使用 OFCS 的应用指南 …… 20
D.1　概述 …… 20
D.2　应用区域 …… 20
D.3　OFCS 功率限值 …… 21
D.4　危险等级评估示例 …… 23
D.5　故障分析——说明和指导 …… 33
D.6　建议的工作惯例 …… 34
D.7　关断电源时的最大输出功率 …… 36
附录 E(资料性)　检修和维护指南 …… 38
E.1　测试和测量 …… 38

E.2 安全预防措施 …… 38
参考文献 …… 40

图 D.1 PON(无源光网络)系统 …… 32

表 1 非受限位置的标识 …… 6
表 2 受限位置的标识 …… 6
表 3 受控位置的标识 …… 7
表 4 用于(简化)评估的测量孔径直径和测量距离 …… 10
表 5 光纤通信系统(OFCS)中各位置的要求 …… 15
表 D.1 11 μm 模场直径(MFD)的单模(SM)光纤和 0.18 数值孔径多模(MM)光纤(芯径 50 μm) OFCS 的功率限值 …… 22
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) …… 31
表 D.3 通过 APR 使发射功率自动降低至低危险等级的 OFCS 系统的功率限值示例 …… 36

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件为GB/T 7247《激光产品的安全》的第2部分。GB/T 7247已经发布了以下部分:

——第1部分:设备分类和要求;

——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/T 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。

本文件代替GB/T 7247.2—2018《激光产品的安全　第2部分:光纤通信系统(OFCS)的安全》,与GB/T 7247.2—2018相比,除结构调整和编辑性改动外,主要技术变化如下:

a) 增加了本文件适用的范围(见第1章);

b) 更改了术语的定义:可达位置、功率自动降低、1级危险、1M级危险、2级危险、2M级危险、3R级危险、3B级危险、4级危险、制造商和光纤通信系统(见3.1、3.2、3.5、3.6、3.7、3.8、3.9、3.10、3.11、3.16和3.18,2018年版的3.1、3.2、3.5、3.6、3.7、3.8、3.9、3.10、3.11、3.16和3.18);

c) 更改了术语名称:可合理预见事件(见3.19,2018年版的3.19);

d) 增加了根据光缆类型评估危险等级的要求(见4.1);

e) 更改了受限位置和受控位置的要求(见4.4.3和4.4.4,2018年版的4.4.2和4.4.3);

f) 更改了标记和标识的内容(见4.5.1,2018年版的4.6.1);

g) 增加了断点的可达发射危险等级是1级危险或1M级危险时,允许在用户信息上注明的要求(见表3);

h) 更改了基于条件2的危险等级的确定(见4.7.1,2018年版的4.8.1);

i) 增加了OFCS的危险等级认定方法(见4.7.2);

j) 更改了使用APR时短暂可接触照射的要求(见4.7.4,2018年版的4.8.2)。

本文件等同采用IEC 60825-2:2021《激光产品的安全　第2部分:光纤通信系统(OFCS)的安全》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动:

——纳入了IEC 60825-2:2021/COR1:2021的修改内容,在所涉及的条款的外侧页边空白位置用垂直双线(‖)进行了标示。

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专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件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。

本文件起草单位:武汉光迅科技股份有限公司、中国计量科学研究院、中国电子科技集团公司第十一研究所、中国科学院空天信息创新研究院、北京京仪光电技术研究所有限公司、之江实验室、中国电信股份有限公司北京研究院、中国科学院半导体研究所、上海诺基亚贝尔股份有限公司、苏州苏驼通信科

技股份有限公司。

本文件主要起草人:江毅、宋梦洋、邓玉强、戚燕、吴爱平、陆耀东、王忠新、龚雅栋、谢亮、何瑾琳、许助勇、杨学博、白芳。

本文件于2018年首次发布,本次为第一次修订。

www.bzfxw.com

引　言

GB/T 7247 拟由以下部分组成。

——第 1 部分:设备分类和要求。由于激光束的波长、能量及脉冲特性所涉及的范围广,在使用时,潜在危害的程度差别很大,不能简单地用统一的安全限值将激光产品分类。本文件旨在对激光器和激光产品光辐射危害程度的分类体系进行评估,确定控制措施。

——第 2 部分:光纤通信系统(OFCS)的安全。基于在合理的可预见的故障条件[如光缆断裂、光纤连接器松脱(断开)等]下,以可接触光辐射的程度来划分等级。旨在以其延伸封闭的传输特性,来指定可达位置出现的相应危险级别,以确定同等的安全防护措施。

——第 3 部分:激光显示与表演指南。对在剧场投影和舞台表演等类似场所使用的 3B 和 4 类激光产品,在激光运行中任何可能发生的超过对人眼和皮肤产生生物效应和危害的最大允许照射量(MPE)给出了分析,旨在明确现场设计、安装、操作和表演人员的职责及风险管控和评估,以降低风险。

——第 4 部分:激光防护屏。旨在规定用来围封激光加工机工作区域的永久性和临时性(如检修维护期间)激光防护屏,以及专用激光防护屏的技术要求,以避免加工区域周围的人员受到激光辐射的危害。

——第 5 部分:生产者关于 GB/T 7247.1 的检查清单。旨在提供一个参考性的检查程序,用来确认产品是否符合 GB/T 7247.1 对设备的分类和要求,增强 GB/T 7247.1 使用中的可执行性和可操作性。

——第 8 部分:激光对人体安全的使用指南。旨在指导如何将激光安全使用纳入医疗激光实践,建立安全程序、预防措施和使用人员控制措施,加强对所有参与激光使用的人员建立系统安全框架体系和培训的必要性。

——第 9 部分:非相干光辐射最大允许照射量。旨在给出 180 nm～3 000 nm 的人造光源照射人眼和皮肤时,控制光辐射照射量的 MPE 限值。

——第 12 部分:用于信息传输的自由空间光通信系统(FSOCSs)的安全。旨在给出 180 nm～1 mm 波长范围内,点对点或点对多点自由空间光学数据传输的激光产品和系统的制造指南,以及安全使用要求,以保护人们免受 FSOCSs 产生的潜在危险的光辐射。

——第 13 部分:激光产品的分类测量。旨在依据 GB/T 7247.1 给出激光输出能量的发射水平的测量和分析方法,给出激光产品的分类指南。

——第 14 部分:用户指南。对用户使用超过 1 类和 2 类的激光产品提出了要求,旨在帮助激光产品用户及其制造商了解安全管理总则、识别可能产生的危害、评估潜在危险的危害性、建立和给予适当的控制措施。

——第 17 部分:高光功率光纤通信系统使用无源光学元件和光缆的安全。旨在对在光纤通信系统中运行的 3B 类以上的高光功率,给出对应热效应、光机效应和相关效应的安全防范措施规定,以防范给连接器等带来其他的安全问题。

——第 18 部分:传输系统指南。旨在规定导光系统的布置、安装和使用要求,包括自由空间激光传输和光纤传输,保护人员免受激光辐射危害而实施的防护措施,以及风险评估方法。

——第 19 部分:移动平台激光产品。旨在对搭载于移动平台的激光产品,依据平台运动情况给出与速度相关的最近可达位置(VCPHA)用于评估激光危害,以在确保安全性的基础上避免过于严格地评估激光危害,并给出了应用此条件的注意事项。

——第 20 部分:有意照射眼面部产品的激光辐射安全要求。旨在考虑直接照射面部或眼部区域的消费类 1 类激光产品(如面部或视网膜/虹膜识别、AR/VR/MR 眼镜/耳机等)可能出现的失效模式,采用以关注安全为重点的 FMEA 方法,提供了基于风险分析的要求,以减少在产品预期使用寿命期间随时可能发生故障情况下,对眼面部造成潜在伤害的风险。

——第 21 部分:自动发射控制(AEC)。旨在对解决制造商将自动发射控制(AEC)纳入其激光产品中,以便在无防护的条件下,减少光辐射危害的同时生产性能更好的产品。本部分为 AEC 的性能要求以及可用于确定危害分类,并验证其是否按预期运行的方法提供更好的指导。

www.bzfxw.com

激光产品的安全
第2部分:光纤通信系统(OFCS)的安全

1 范围

本文件规定了光纤通信系统(OFCS)安全运行与维护的要求和具体指南。在OFCS中,光可能到达发射设备范围之外和/或延伸至距离光源很远的位置。

本文件要求对OFCS中每个可达位置的危险等级进行评估,而不是按IEC 60825-1进行产品分类。本文件适用于已安装在OFCS中的工程化的端到端总成,用于发射、传输和接收来源于激光器、发光二极管(LED)或光放大器产生的光辐射,以光纤传输的方式达到通信或控制的目的。

注1:本文件提及的"激光器"包括发光二极管(LED)和光放大器。

本文件适用于拟安装在OFCS中的元器件和组件,属于独立的激光产品的元器件和组件遵从IEC 60825-1相关条款。

本文件不适用于以传输激光功率为目的的光纤系统,例如应用在材料加工或医疗等领域的设备。

OFCS除了造成激光辐射的危险,还可能引起如火灾等其他危险。

本文件不涉及OFCS在易爆环境中的爆炸或火灾等安全问题。

注2:光纤产生的光辐射危险取决于光的波长和功率以及光纤的光学特性,见附录A。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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。

IEC 60825-1:2014 激光产品的安全 第1部分:设备分类和要求(Safety of laser products—Part 1:Equipment classification and requirements)

IEC 60825-1 激光产品的安全 第1部分:设备分类和要求(Safety of laser products—Part 1:Equipment classification and requirements)

3 术语和定义

IEC 60825-1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

可达位置 accessible location

在可合理预见条件下,OFCS中不使用工具就可接触到激光辐射的部分或位置。

3.2

功率自动降低 automatic power reduction;APR

任何时候发生人员暴露于辐射中的事件时,OFCS将该处可接触到的光功率在规定的时间内降低到规定等级的特性。

注1:本文件中使用的术语"功率自动降低(APR)"包括以下用于国际电信组织(ITU-T)标准G.664中的术语:

——激光自动关闭(ALS:automatic laser shutdown);

——功率自动降低(APR);

——功率自动切断(APSD:automatic power shutdown)。

注2:术语激光自动关闭(ALSO: automatic laser shut off)在行业内也会被制造商所使用。

注3:光缆断裂是可能导致人员暴露于辐射的事件。

3.3

最终用户 end-user

按系统设计的方式使用OFCS的人员或机构。

注1:最终用户不需要控制系统中产生和发射的功率。

注2:人员或机构以非制造商设计的方式使用OFCS进行通信将承担本文件中规定的适用于制造商或安装方的责任。

3.4

危险等级 hazard level

在OFCS中任何可达位置潜在危险的级别。

注:危险等级是基于如光缆断裂之类的可合理预见事件中,可接触到的光辐射水平。与IEC 60825-1:2014中5.3规定的激光分类程序密切相关。危险等级的含义见附录B。

3.5

1级危险 hazard level 1

在可合理预见事件中,人员接触到的激光辐射(可达发射)根据4.7.2 a)和4.7.3定义的危险为1级的测量条件评估,在相应波长和发射持续时间内,满足4.7.2 a)定义的附加约束,同时不超过IEC 60825-1规定的1类可达发射极限。

注:"附加约束"是指4.7.2 a)中,对IEC 60825-1:2014规定的波长范围1 200 nm～1 400 nm内1类可达发射极限评估时附加的更严格条件。

3.6

1M级危险 hazard level 1M

在可合理预见事件中,人员接触到的激光辐射(可达发射)根据4.7.2 a)和4.7.3定义的危险为1M级的测量条件评估,在相应波长和发射持续时间内,满足4.7.2 a)定义的附加约束,同时不超过IEC 60825-1规定的1类可达发射极限。

注:"附加约束"是指4.7.2 a)中,对IEC 60825-1:2014规定的波长范围1 200 nm～1 400 nm内1类可达发射极限评估时附加的更严格条件。

3.7

2级危险 hazard level 2

在可合理预见事件中,人员接触到的激光辐射(可达发射)根据4.7.2 b)和4.7.3定义的危险为2级的测量条件评估,在相应波长和发射持续时间内,不超过IEC 60825-1规定的2类可达发射极限。

3.8

2M级危险 hazard level 2M

在可合理预见事件中,人员接触到的激光辐射(可达发射)根据4.7.2 b)和4.7.3定义的危险为2M级的测量条件评估,在相应波长和发射持续时间内,不超过IEC 60825-1规定的2类可达发射极限。

3.9

3R级危险 hazard level 3R

在可合理预见事件中,人员接触到的激光辐射(可达发射)根据4.7.2 c)和4.7.3定义的危险为3R级的测量条件评估,在相应波长和发射持续时间内,满足4.7.2 c)定义的附加约束,同时不超过IEC 60825-1:2014规定的3R类可达发射极限。

注:"附加约束"是指4.7.2 c)中,对IEC 60825-1:2014规定的波长范围1 200 nm～1 400 nm内3R类可达发射极限评估时附加的更严格条件。

3.10

3B级危险 hazard level 3B

在可合理预见事件中,人员接触到的激光辐射(可达发射)根据4.7.2 d)和4.7.3定义的危险为

3B 级的测量条件评估，在相应波长和发射持续时间内，不超过 IEC 60825-1:2014 规定的 3B 类可达发射极限。

3.11

4 级危险　hazard level 4

在可合理预见事件中，人员接触到的激光辐射(可达发射)根据 4.7.2 e)和 4.7.3 定义的危险为 4 级的测量条件评估，在相应波长和发射持续时间内，超过 IEC 60825-1 规定的 3B 类可达发射极限。

注：本文件适用于 OFCS 的运行和维护。为了保证可能接触传送光路的人员足够安全，本文件规定不出现 4 级危险。在正常运行条件下(如光纤无故障)，特定位置的传输功率超过准许值时，可以使用诸如 APR 保护系统以达到所需的危险等级。例如，虽然正常工作条件下光纤中传输的功率是 4 类水平，但是在 OFCS 中可接触位置的危险等级为 1 级。

3.12

安装方　installation organization

负责安装 OFCS 的机构或人员。

3.13

受控位置　controlled location

受控接触位置　location with controlled access

通过工程或管理控制措施，只有经过激光安全培训的授权人员可接近的区域。

注：参见 D.2.1 a)中的示例。

3.14

受限位置　restricted location

受限接触位置　location with restricted access

通过工程或管理控制措施使公众不可接近，即使没有经过激光安全培训但被授权的人员可接近的区域。

注：参见 D.2.1 b)中的示例。

3.15

非受限位置　unrestricted location

非受限接触位置　location with unrestricted access

公众不受限制进入的无障碍区域。

注：参见 D.2.1 c)中的示例。

3.16

制造商　manufacturer

通过组装或集成光学器件和其他元器件来构建或改进 OFCS 的机构或人员。

注：OFCS 中的典型元器件如 D.2.2 所示。

3.17

运营商　operating organization

负责 OFCS 运行的机构或人员。

3.18

光纤通信系统　optical fibre communication system;OFCS

工程化的端到端总成。用于发射、传输和接收来源于激光器、LED 或光放大器产生的光辐射，以光纤传输的方式达到通信或控制的目的。

3.19

可合理预见事件　reasonably foreseeable event

在给定环境条件下可以准确预测的，并有一定概率和频度发生的事件。

注 1：可合理预见事件可能包括：光缆断裂、光连接器断开、操作员失误或忽视安全工作惯例。

注 2：可合理预见事件不包括任何造成危险的故意行为。

3.20

检修方　service organization

负责检修 OFCS 的机构或人员。

3.21

组件　subassembly

包含光发射机或光放大器的 OFCS 中的分立单元、子系统、网络单元或模块。

注：组件的定义与 IEC TS 62538 中光学组件的定义不同。

4　要求

4.1　基本要求

根据在可合理预见事件中可接触的光辐射危险，如光连接器断开或光纤断裂 等，规定了 OFCS 及其运行过程中的位置类型限制。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初始认定的危险等级。如果初始认定的危险等级发生变化，负责的机构应在必要时重新标记系统中的那些位置，以确保能够与本文件的要求一致。

在 OFCS 中应分别评估每个可达位置，以确定该位置的危险等级。当某一位置存在多个通信系统，应根据光缆的类型 ，采用下列方法评估该位置的危险等级：

a）　对于没有带状光纤结构的传统松套管光缆，应对光缆中的每根光纤的辐射单独评估，并以其中最大光辐射作为危险等级评估的依据；

b）　对于带状光缆，扁平带状光纤的累积辐射应采用扩展光源或点光源进行评估。

值得注意的是，如果对带状光缆采用简化点光源分析的结果，达到了运营商可接受的危险级别，则不需要对扩展光源进行完整的评估。此外，为了进行扩展光源分析，需要了解来自带状光缆中每根光纤的辐射，如果无法得到该信息，那么可以采用 $C_6=1$ 的点光源进行分析。

根据确定的危险等级，应采取适宜的措施以确保符合本文件的要求。例如限制进入这一位置，或实施额外的安全措施，或重新设计光通信系统以降低危险等级。

在光纤可能进行光传输的情况下 ，应避免使用放大镜目视观察光纤端面。

IEC 60794-4 系列标准中规定，带有 OFCS 光缆的电力传输电缆，除了应满足本文件的要求外，还要满足相应的电气标准要求。

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

对于任何危险等级，光缆应具有与其应用场景相适应的机械性能。各应用场景的光缆要求见 IEC 60794-2 系列标准、IEC 60794-3 系列标准和 IEC 60794-4 系列标准。必要时，对光缆易受损伤的部位，可能需要增加如电缆沟、穿线管、线槽之类的防护。即使 OFCS 内任何可达位置的潜在危险是最低危险水平，也需要考虑光缆的机械性能，因为光缆中的光功率可能超过最大允许照射量。

4.4　光缆连接器

4.4.1　基本要求

可通过光缆连接器的机械设计、定位安装或其他适宜的方法达到对光缆连接器的以下要求。无论选用哪种方法，在特定位置类型的光缆连接器都应防止人员接触到超过准许的光辐射。

光缆连接器需要比光缆认定更严格的危险等级。例如在非受限位置中，光缆的可达辐射水平准许

达到1M级危险，而光缆连接器输出的可达辐射要限制在1级危险。

注：使用工具拆开连接是光缆连接器机械解决方案的一个示例。

4.4.2 非受限位置

在非受限位置：

——如果可达辐射水平在波长范围400 nm～700 nm内超过2级危险，则应采取适宜的方法限制从光缆连接器处接触到超过2级危险的光辐射；

——如果在所有其他情况下可达辐射水平超过1级危险，则应采取适宜的方法限制从光缆连接器处接触到超过1级危险的光辐射。

注：在非受限位置，波长范围在400 nm～700 nm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4.9.2。

4.4.3 受限位置

在受限位置：

——如果可达辐射水平在波长范围400 nm～700 nm内超过2M级危险，则应采取适宜的方法限制从光缆连接器处接触到超过2M级危险的光辐射；

——如果在所有其他情况下可达辐射水平超过1M级危险，则应采取适宜的方法限制从光缆连接器处接触到超过1M级危险的光辐射。

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等级，见4.9.3。

4.4.4 受控位置

在受控位置：

——如果可达辐射水平在波长范围400 nm～700 nm内超过2M级危险，则应采取适宜的方法限制从光缆连接器处接触到超过2M级危险的光辐射；

——如果在所有其他情况下可达辐射水平超过1M级危险，则应采取适宜的方法限制从光缆连接器处接触到超过1M级危险的光辐射。

注：在受控位置，准许的最高危险等级是3B级危险等级，见4.9.4。

4.5 标记和标识

4.5.1 基本要求

当光连接器、分纤箱或其他部件打开时，如果该处激光辐射的危险等级超过1级危险，该处应有相应的标识(使用标牌、套管、标签或标带等)，标识信息应包括表1、表2或表3中适用的信息。

当断点的可达辐射是1级危险或1M级危险时，准许用户信息中包含上述信息，而不用作产品标识。

对1M级危险标记是准许的，但不是强制性的，因为只有在受限位置或受控位置的光连接器才准许认定为1M级危险，并且这些位置只准许经过适当培训的技术人员进行操作。

标识应为黑色，背景应为黄色。由制造商或运营商提供的文件中的标记允许为白底黑色。

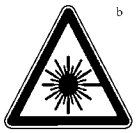
只要提供的标识清晰，可以减小标识的尺寸。包括激光器或光放大器组件的标记在内的所有危险等级的标记都由安装方或最终用户/运营商负责。这是因为危险等级是(端到端)OFCS的特性，可能依赖于系统内如APR等的性能。

除独立应用的组件外，每个光连接器、分纤箱或其他部分在打开时，准许接触激光辐射的部分应具有符合表1、表2或表3的标识(例如采用标牌、护套、标签、标带等)。

独立应用的组件应根据IEC 60825-1进行等级分类和标识。

应根据本文件对OFCS中进行安装的组件被分配的危险等级进行标识。

表 1　非受限位置的标识

可达危险等级	非受限位置的标识
1	无须标识
1M	无须标识[a]
2	 [b] 注意 2 级危险激光辐射 勿直视光束 [c,d,e]
3	 [b] 注意 2M 级危险激光辐射 勿直视或通过不带衰减的光学仪器 直接观看光束 [c,d,e]
3R	不准许使用此等级
3B	不准许使用此等级

注：见 4.5.5 不可见激光的相关危险。

[a] 4.4.2 要求通过适宜的方式限制从光连接器接触到的光辐射为 1 级危险，光缆的机械设计应符合 IEC 60794 的要求(见 4.3)。因此 1M 级危险无须标识。

[b] 危险符号警告标记应符合 IEC 60825-1:2014 中的图 3 的要求。

[c] 辐射源是发光二极管时，上述“激光”应替换为“LED”。

[d] 在波长范围 400 nm～700 nm 内的辐射，可用“光”代替“辐射”。

[e] 说明标记(轮廓)应符合 IEC 60825-1:2014 中图 4 的规定。允许说明标记包含 IEC 60825-1:2014 图 3 的危险符号。

表 2　受限位置的标识

可达危险等级	受限位置的标识
1	无须标识
1M	仅在非受限位置的光缆连接器不满足要求时需要标识(见 4.4.2)[e]
	 [a] 注意 1M 级危险激光辐射 勿使用不带衰减的光学仪器 直接观看 [b,c,d]
2	 [a] 注意 2级危险激光辐射 勿直视光束 [b,c,d]

表 2　受限位置的标识（续）

可达危险等级	受限位置的标识
2M	 [a] 注意 2M 级危险激光辐射 勿直视或通过不带衰减的光学仪器 直接观看光束 [b,c,d]
3R	 [a] 注意 3R 级危险激光辐射 避免光束直接照射 [b,c,d]
3B	不准许使用此等级
注：见 4.5.5 不可见激光的相关危险。	
[a] 危险符号警告标记应符合 IEC 60825-1:2014 的图 3 的要求。 [b] 辐射源是发光二极管时，上述“激光”应替换为“LED”。 [c] 在 400 nm～700 nm 范围内的辐射，可用“光”代替“辐射”。 [d] 说明标记（轮廓）应符合 IEC 60825-1:2014 的图 4 的规定。允许说明标记包含 IEC 60825-1:2014 图 3 的危险符号。 [e] 断点的可达辐射危险等级是 1 级危险或 1M 级危险时，允许在用户信息上注明，而不用标识在产品、光纤或光连接器上。	

表 3　受控位置的标识

可达危险等级	受控位置的标识
1	无须标识
1M	无须标识[e]
2	 [a] 注意 2 级危险激光辐射 勿直视光束 [b,c,d]
2M	 [a] 注意 2M 级危险激光辐射 勿直视或通过不带衰减的光学仪器 直接观看光束 [b,c,d]

表 3　受控位置的标识（续）

可达危险等级	受控位置的标识
3R	[a]  注意 3R 级危险激光辐射 避免光束直接照射 [b,c,d]
3B	[a]  注意 3B 级危险激光辐射 避免光束直接照射 [b,c,d]
注：见 4.5.5 不可见激光的相关危险。	
[a] 危险符号警告标记应符合 IEC 60825-1:2014 的图 3。 [b] 辐射源是发光二极管时，上述“激光”应替换为“LED”。 [c] 在 400 nm～700 nm 范围内的辐射，可用“光”代替“辐射”。 [d] 说明标记(轮廓)应符合 IEC 60825-1:2014 图 4 的规定。允许说明标记包含 IEC 60825-1:2014 图 3 的相关危险符号。 [e] 推荐但不要求采用 IEC 60825-1:2014 图 3 的警告标记来识别有光输出的光连接器。	

4.5.2　光发射机和光放大器的光连接器标识

当光发射机和光放大器的连接器中任何一个光纤端口(光连接器)都可以连接光纤时，4.5.1 中规定的要求修改如下。这也适用于 4.5.3 中规定的一组光纤端口(光连接器组)。

如果按 4.5.1 的要求提供标识，表 1、表 2 和表 3 的内容应增加波长范围。优先选用以下波长范围：

——400 nm～＜700 nm；

——700 nm～＜1 150 nm；

——1 200 nm～＜1 250 nm；

——1 400 nm～＜1 600 nm。

在波长范围 1 150 nm～＜1 200 nm 和 1 250 nm～＜1 400 nm 内，应标识明确的波长。

注 1：波长范围 1 150 nm～＜1 200 nm 和 1 250 nm～＜1 400 nm 内，C_7 的取值(以及相应的可达发射极限)随波长显著增加(见 IEC 60825-1:2014)。

注 2：上述是波长范围的示例。标识中包括实际的工作波长范围，如 1 300 nm～1 600 nm。

在输入端口(如拉曼放大器)贴上标记，以警示这些端口也能发射具有危险等级的光辐射。

4.5.3　光连接器组的标识

如接线面板之类的光连接器组可只用一个清晰可见的危险等级标识，而不必单独标识每个光连接器。如果一个光连接器组封闭在一个防护罩内，并可预见接触防护罩中的光连接器可能会暴露在高于 1M 级危险的光辐射中，防护罩打开前后都应具有清晰可见的标识。

4.5.4 安全标识的耐久性和清晰度要求

本文件所要求的任何标识应耐用且清晰。在考虑标识的耐久性时，应关注正常使用对标识的影响。

注：耐久性要求和测试方法见 IEC 60950-1:2005 的 1.7.11 和 IEC 62368-1。

4.5.5 不可见辐射警告

如果激光输出波长超出 400 nm～700 nm 时，表 1、表 2 和表 3 中的标记“激光辐射”应改为“不可见激光辐射”，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 类的可达发射极限，标记应以“可见和不可见激光辐射”替代“激光辐射”。

4.6 对机构的要求

4.6.1 即将投入使用的 OFCS 或交钥匙系统的制造商

OFCS 或交钥匙端到端系统的制造商，应遵守下列要求。

a) 确保设备满足本文件的适用要求。

b) 提供以下信息。

1) 为防止人员可能暴露于超过 MPE 水平的光辐射的产品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超过 MPE 水平的光辐射照射的保护措施的明确警示。

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，发生可合理预见事件时，可达光辐射满足要求。

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优先控制 APR，在重启和测试系统时，运营商应提供具备优先控制 APR 和安全程序的相关安全工作方式信息；

——如果手动触发重启暂时使 APR 失能，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（例如控制器或其他元件被拆除或失效），需要采取相应的预防措施。

6) 有关使用 OFCS 的其他信息。

7) 建议用户依据制造商说明书中安装设备的声明，包括警示语如：“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”。

4.6.2 安装方和检修方

负责 OFCS 安装和检修的机构应在设备安装时遵守制造商说明书的要求，确保在可合理预见事件中可接触光辐射满足第 4 章的要求。

OFCS 开机使用之前，如果使用 APR，安装方或检修方应根据条件，确保 APR 处于 4.7.3、4.7.4、4.7.5 和 4.8 规定的适用工作状态。

当系统可达位置的危险等级高于 1 级危险或 2 级危险时，安装方和/或检修方应：

a) 向负责执行安装和检修工作的人员提供充分的激光安全培训；

b) 确保在受控位置和受限位置使用适当的出入控制和警告标记。

4.6.3 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类型；

b) 确保在可合理预见事件中，不超过各位置标记的危险等级；

c) 确保只有能力满足 4.2～4.9 要求的机构承担安装和检修；

d) 确保接触的受限位置和受控位置符合激光安全的规定；

e) 确保系统制造、运行、安装、检修和安全要求协调一致并持续有效。

注：检修和维护指南见附录 E。

4.7 危险等级的评估

4.7.1 危险等级的确定和条件 2 的应用

在运行和维护期间，当发生可合理预见事件时（如光纤断裂），通过测量可接触的光辐射确定危险等级。基于条件 1 和条件 3 的光辐射限值与 IEC 60825-1 中的分类方法一致，基于条件 2 的光辐射限值应按照表 4 和 4.7.2 的规定来确定。

按照表 4 的规定确定各波长的危险等级。

表 4 用于（简化）评估的测量孔径直径和测量距离

波长 nm	条件 1		条件 2[a]		条件 3	
	用于准直光束，如望远镜或双筒望远镜会增加危险		用于发散光束，如眼用放大镜或高倍放大镜会增加危险		用于确定与裸眼观察和低倍放大镜观察的光束	
	孔径光阑 mm	距离 mm	孔径光阑 mm	距离 mm	孔径光阑/通光孔径 mm	距离 mm
＜302.5	—	—	—	—	见 IEC 60825-1	见 IEC 60825-1
302.5～＜400	见 IEC 60825-1	见 IEC 60825-1	3.5	35	见 IEC 60825-1	见 IEC 60825-1
400～＜1 400	见 IEC 60825-1	见 IEC 60825-1	3.5	35	见 IEC 60825-1	见 IEC 60825-1
1 400～＜4 000	见 IEC 60825-1	见 IEC 60825-1	3.5	14	见 IEC 60825-1	见 IEC 60825-1
4 000～＜10^5	—	—	—	—	见 IEC 60825-1	见 IEC 60825-1
10^5～10^6	—	—	—	—	见 IEC 60825-1	见 IEC 60825-1

分类方法的限制条件在 IEC 60825-1:2014 的 C.3 中进行了讨论，说明增加风险分析和警告是适宜的。

注：上面的“条件”标题下仅仅描述的是典型示例，并不是没有例外。

[a] 本表中条件 2 对 302.5 nm～＜1 400 nm 和 1 400 nm～＜4 000 nm 波长范围内的规定，是分别以倍率为 7 倍和 18 倍的放大光学系统模拟得到的。是通过距光纤末端 35 mm 或 14 mm 处的 3.5 mm 孔径光阑来实现的。因为放大光学系统只在足够光强的条件下使用，瞳孔才会收缩，所以使用的孔径光阑直径为 3.5 mm 而不是 7 mm。还应注意，当大芯径的多模光纤用于 OFCS 时，应关注大对向角对光强弱化的影响。

4.7.2 OFCS 的危险等级认定

OFCS 的危险等级认定如下。

a) 1 级和 1M 级危险：

1) 波长小于 302.5 nm 或大于 4 000 nm 时：

——在条件3下，如果可达发射小于或等于1类AEL，则OFCS被认定为1级危险。

2) 波长在302.5 nm～4 000 nm范围内：

——在条件1、条件2和条件3下，如果可达发射小于或等于1类AEL，则OFCS被认定为1级危险；

否则，如果可达发射

——在条件1或条件2下，如果可达发射大于1类AEL，并且

——在条件1和条件2下，如果可达发射小于3B类AEL，并且

——在条件3下，如果可达发射小于或等于1类AEL，

则OFCS被认定为1M级危险。

注1：AEL的定义见IEC 60825-1:2014，3.3。

注2：通常在条件1或条件2下，1M级危险的可达发射分别大于1类AEL。同时都超过条件1和条件2的1类AEL，仍归为1M级危险。

注3：验证3B类AEL是为了限制通过光学仪器的最大功率。

3) 当波长在1 200 nm～1 400 nm范围内，1类AEL应限制为用直径为3.5 mm的孔径评估皮肤MPE时，所对应的等效辐射功率，见D.4.1。

注4：上述对皮肤MPE的检查是对IEC 60825-1:2014的表3中的脚注d)和表4中的脚注f)中规定的3B类AEL测试的补充，并且比它们更严格。

注5：皮肤MPE限值的基本原理依据是基于IEC 60825-1:2014中表A.1～表A.4的脚注："当波长在1 250 nm～1 400 nm范围内，表中给出的保护视网膜的限值，可能无法充分保护眼睛的前部(角膜、虹膜)，需要谨慎对待。如果照射量不超过皮肤的MPE值，则不需要担心眼球前端的生物组织。"皮肤的MPE的值见IEC 60825-1:2014中表A.5。

4) 对于所有波长，在1级和1M级危险中，用放置在光纤末端的3.5 mm直径的孔径测定的可达发射不应超过3B类AEL。

注6：具有高度发散光束的1M类激光产品，在光源(如光纤末端)附近或接触光源时可能会产生高强度的辐射，从而可能造成皮肤损伤。

b) 2级和2M级危险：

1) 2级危险和2M级危险适用的波长范围为400 nm～700 nm。如果可达发射超过1类和1M类AEL，并且

——在条件1、条件2和条件3下，可达发射小于或等于2类AEL，则OFCS被认定为2级危险。

如果可达发射超过1类和1M类AEL，并且

——在条件1或条件2下，如果可达发射大于2类AEL，并且

——在条件1和条件2下，如果可达发射小于3B类AEL，并且

——在条件3下，如果可达发射小于或等于2类AEL，

则OFCS被认定为2M级危险。

注7：通常在条件1或条件2下，2M级危险的可达发射是大于2类AEL，同时都超过了条件1和条件2的2类AEL，仍归为2M级危险。

注8：确认3B类AEL的原因是为了限制通过光学仪器的最大功率，同时避免在接近或接触发射光源时因接触高强度的辐射而损伤皮肤。

2) 对于所有波长，在2级和2M级危险中，用放置在光纤末端的3.5 mm直径的孔径测定的可达发射不应超过3B类AEL。

注9：光束高度发散的2M类激光产品，在接近或接触光源(如光纤末端)时可能会产生高强度的辐射，从而可能造成皮肤损伤。

c) 3R级危险：

1) 当波长小于302.5 nm和大于或等于4 000 nm时，如果在条件3下的可达发射：

——小于或等于 3R 类 AEL,并且

——大于 1 类 AEL,

则 OFCS 被认定为 3R 级危险。

2) 当波长大于或等于 302.5 nm 和小于 4 000 nm 时,如果可达发射

——在条件 1、条件 2 和条件 3 下,小于或等于 3R 类 AEL,并且

——在条件 3 下,大于 1 类和 2 类 AEL,

则 OFCS 被认定为 3R 级危险。

3) 当波长在 1 200 nm～1 400 nm 范围时,3R 类 AEL 应限制在使用直径为 3.5 mm 的孔径评估皮肤 MPE 时,所对应的等效辐射功率的 5 倍之内。

注 10:上述对皮肤 MPE 的检查是对 IEC 60825-1:2014 的表 6 中的脚注 d)和表 7 中的脚注 f)中规定的 3B 类 AEL 测试的补充,并且比它们更严格。

注 11:见 D.4.1。

4) 对于所有波长,在 3R 级危险中,用放置在光纤末端的 3.5 mm 直径的孔径测定的可达发射不应超过 3B 类 AEL。

d) 3B 级危险:

1) 当波长小于 302.5 nm 和大于或等于 4 000 nm 时,在条件 3 下,如果可达发射

——小于或等于 3B 类 AEL,并且

——大于 3R 类 AEL,

则 OFCS 被认定为 3B 级危险。

2) 当波长大于或等于 302.5 nm 和小于 4 000 nm 时,如果可达发射满足

——在条件 1、条件 2 和条件 3 下,小于或等于 3B 类 AEL,并且

——在条件 1 或条件 2 或条件 3 下,大于 3R 类 AEL,并且

——在条件 3 下,大于 1 类和 2 类 AEL,

则 OFCS 被认定为 3B 级危险。

3) 对于所有波长,在 3B 级危险中,用放置在光纤末端的 3.5 mm 直径的孔径测定的可达发射不应超过 3B 类 AEL。

e) 4 级危险:

如果光纤末端的总可达发射(或在光纤末端以直径为 3.5 mm 孔径测量)超过 3B 类 AEL,则 OFCS 被认定为 4 级危险。

4.7.3 适用于所有危险级别的附加要求

应对具有或不具有 APR 系统的危险等级进行评估:

——对于非受限位置,应在可合理预见事件(如:光纤断裂)发生后 1 s 进行测量,除非是滞后该时间会有更大的照射量;

——对于受限和受控位置,应在可合理预见事件发生后 3 s 进行测量,除非是滞后该时间会有更大的照射量;

在难以直接测量的情况下,可以接受通过计算评估的危险等级。例如对激光器、光功率放大器和光衰减器,准许评估在任何特定位置的危险。

对于具有 APR 功能的 OFCS,将在上述给出的时间间隔(非受限位置为 1 s,受限位置或受控位置为 3 s)后测量可达发射(脉冲或连续波),确定危险等级。此外,也应满足 4.7.4 规定的 MPE 要求。

注 1:辐射水平是人员在可合理预见的情况下可能暴露在 OFCS 辐射的位置确定的。如果 OFCS 包含 APR 系统,则辐射水平保持在不超过 MPE 值。在这种情况下,MPE 值是通过考虑 4.7.4 中规定的完成 APR 系统的整个周期来确定的。

注 2：许多国家法律规定了适用于工作场所员工和普通民众眼睛和皮肤的 MPE 值。这些具有法律约束力的国家照射限值可能不同于或优先于 IEC 60825-1:2014 的资料性附录 A 中规定的 MPE 值。

4.7.4 使用 APR 时短暂可接触照射的要求

OFCS 使用 APR 功能是为了满足危险等级的限制要求，使其危险等级低于不使用 APR 功能时的危险等级。在达到 4.7.1 中规定的较低危险等级最大时间范围内(非受限位置为 1 s，受限位置或受控位置为 3 s)，不应超过眼睛或皮肤的辐照 度或辐照量限值 (相当于眼睛和皮肤的 MPE)。对于非受限/受限和受控位置的测量距离分别为 100 mm 和 250 mm，以上仅对 4.7.4 成立。

注 1：如果非受限位置的 APR 的关闭时间大于 1 s，或受限/受控位置的关闭时间大于 3 s，则按照无限制位置的暴露时间 1 s 或受限/受控位置的 3 s 的对上述 MPE 进行评估。

注 2：见 D.7。

4.7.5 测试和评估条件

测试和评估应在可合理预见的故障条件下进行。

对某些复杂系统(例如，光输出依赖于其他元器件的完整性及电路设计和软件的性能)，危险/安全评估可能需要使用其他认可的方法，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：

——仅在有限时间内发生辐射超过危险等级的故障；且

——在产品中止服务之前，人员接触到的光辐射不是可合理预见的情况。

注：在光束出口处，例如光纤末端断裂或未对接的光连接器，采用 4.7 中相应的 MPE 要求时，要注意两个重要因素：

a) 人眼可能暴露在光束照射下是否是可合理预见的？

b) 人的皮肤可能受到光辐射照射是否是可合理预见的？

在确定什么是可合理预见的时候，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、将光辐射减少到 4.9 要求的照射水平时 APR 需要的时间。

即使裸眼或皮肤暴露不是可合理预见的，也应该考虑火灾的可能。

4.8 功率自动降低(APR)

4.8.1 基本要求

如果 OFCS 使用 APR 功能来满足危险等级的要求，则重启功能应根据 4.8.2、4.8.3 或 4.8.4 中相应的限制条件运行。此外，APR 的设计应足够可靠。

注 1：在 D.5 中举例说明了 APR 系统的可靠性计算。

注 2：以下场景中的重启间隔与波长有关。

注 3：有关 APR 的更多信息见 ITU-T G.664。

4.8.2 自动重启

在自动重启时，应限定重启过程的时序和光功率，使系统中每个可达位置的光辐射不超过规定的危险等级。

4.8.3 确保信道连续性的人工重启

在人工重启，并用管理控制或其他措施保障通信信道的连续性时，重启过程的时序和光功率不受限定。

注：在这种情况下，由于重启过程的时序和光功率不受限定，管理控制或其他措施需要考虑增加新的危险(如火灾)的风险。重要的是，这些增加的控制措施由相应的操作说明书给出。

制造商的说明书应说明：管理控制或其他措施应考虑在重启过程中任何可达位置的光辐射有可能

超过规定的危险等级。

4.8.4 不确保信道连续性的人工重启

在人工重启且不保障通信信道的连续性时，应限定重启过程的时序和光功率，使系统中每个可达位置的光辐射不超过规定的危险等级。

4.8.5 APR 失能

如果系统在人工重启时暂时使 APR 失能，系统应指示在重启过程期间 APR 不能工作，以便运营商能采用合适的预防措施。如果不满足这些条件，应根据 APR 不起作用时的发射功率认定危险等级。

对于 3B 类和 4 类发射功率，只有在满足以下所有条件时方可使 APR 失能。

a) 仅在系统安装和检修等极少数情况下需要使 APR 失能；

b) 仅能通过可靠的软件命令或人工锁定系统使 APR 失能；

注 1：软件可靠性问题见 IEC 61508 系列标准。

c) 如通过软件命令使 APR 失能，软件中应嵌入安全系统防止误触发导致的 APR 失能；

d) 软件应有相应的警告指示，如："如果继续，APR 将失能"；

e) 应采取适当的工程措施预防 APR 失能时承载业务的 OFCS 仍继续运行；

注 2：条件 e)中的"适当的工程措施"是指完成开始使 APR 失能的所要完成的任务，能尽快自动重启 APR 的控制系统。

f) 文件中应包括 APR 失能时安全使用设备的指南；

g) APR 不应永久失能，即 APR 应重新自动使能，见 4.8.5e) 注 2；

h) 只能在发射设备本地端采取使 APR 失能的操作(一般不准许远程操作)，除非直接通信中的人员(处于发射设备远端)可能暴露在比 APR 失能前更高的辐射等级中；

注 3：拉曼系统通常从接收终端发射高功率。

i) APR 失能期间，应持续显示清晰而明确的警示；

j) 高功率系统的 APR 失能只能通过人工的方式启动或重启。

应认识到长距传输系统(就其性质而言)通常使用高功率确保通信的连续性。因此，在系统初始启动时，准许使用高功率(4 类)，但只能由经过培训的人员在规定条件下进行操作。

管理机构应确保系统通信的连续性[例如，用光时域反射仪(OTDR)测试通信的连续性]，并确保人员不会暴露在 3B 类或 4 类光辐射中。这也可以通过严格的管理控制来实现。

除非另有明确规定，如果系统可达位置是 4 级危险，本文件不准许端到端 OFCS 的运行。

注 4：如果发射器、放大器等的发射功率为 4 类，并且 APR 已失能，那么会引起可达位置存在 4 级危险。然而普遍认识到在某些特定条件下才需要使 APR 失能，但是通过对这些条件的良好控制和时间限制，使受到 4 类光辐射照射的可能性极小。

注 5：无论手工重启或自动重启 APR，都应该在 APR 失能 1 h 后进行。

4.9 位置类型的危险等级要求

4.9.1 基本要求

应对 OFCS 中每个可达位置确定要求的危险等级。

注 1：包括接触断裂的光纤。

注 2：本文件适用于 OFCS 的运行和维护。对于特定的位置类型，系统使用的正常发射功率超过可接受的危险等级，能够使用自动功率降低等保护系统来确定实际危险等级。

OFCS 中各类位置类型的要求汇总应符合表 5 的要求。

www.bzfxw.com

4.9.2 非受限接触位置

在非受限可达位置，危险等级应为 1、1M、2 或 2M 级。

注：如果 1M 级危险限值大于 2 级危险的限值，且小于 3B 级危险的限值，则规定其为 1M 级危险[见 4.7.2 a)中 1M 级危险的定义]。

4.9.3 受限接触位置

在受限可达位置，危险等级应为 1、1M、2、2M 或 3R 级。

注 1：如果 1M 级危险或 2M 级危险相应的限值大于 3R 级危险限值，且小于 3B 级危险限值，则分别规定其为 1M 级危险或 2M 级危险[1M 级危险和 2M 级危险的定义分别见 4.7.2 a)和 4.7.2 b)]。

注 2：如果 1M 级危险相应的限值大于 2 级危险限值且小于 3B 级危险限值，则规定其为 1M 级危险[见 4.7.2 a)中 1M 级危险的定义]。

4.9.4 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。

表 5 光纤通信系统(OFCS)中各位置的要求

危险等级	位置类型		
	非受限位置	受限位置	受控位置
1	没要求	没要求	没要求
1M	由终端用户能打开的光连接器的输出功率是 1 级危险等级[a]。不要求有标记或标识[b]	如果由终端用户能打开的光连接器的输出功率是 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[b]	没要求
2	要求有标记或标识[b]	要求有标记或标识[b]	要求有标记或标识[b]
2M	光连接器产生的光辐射是 2 级危险等级[a]，要求有标记或标识[b]	要求有标记或标识[b]	要求有标记或标识[b]
3R	不准许[c]	光连接器产生的光辐射是 1M 或 2M 级危险等级[a]，要求有标记或标识[b]	光连接器产生的光辐射是 1M 或 2M 级危险等级[a]，要求有标记或标识[b]
3B	不准许[c]	不准许[c]	光连接器产生的光辐射是 1M 或 2M 级危险等级[a]，要求有标记或标识[b]
4	不准许[c]	不准许[c]	不准许[c]

[a] 见 4.4。

[b] 见 4.5。

[c] 见 4.7.2 和 4.8，当系统通常使用的发射功率水平超过特定位置类型所接受的危险等级时，可使用功率自动降低等防护系统来确定实际的危险等级。

附 录 A
（资料性）
适用范围

IEC 60825-1 和 IEC TR 60825-14 涵盖了激光产品的安全、设备分类、要求和用户指南。IEC 60825-1 主要针对可有效实现本地控制的独立产品。OFCS 在正常的运行条件下是安全的，因为光辐射在预计的运行中是完全被封闭的。然而，由于这些系统的传输特性（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 IEC 60825-1 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。本文件规定了使危险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其代理分配了一个危险等级，提供光辐射成为可接触时的潜在危险的预防指导。这些危险等级描述为 1 级～4 级危险，方法类似于 IEC 60825-1 中的分类程序。在光纤应用中，1M 级危险和 2M 级危险的限值通常高于 3R 级危险的限值，但小于 3B 级危险的限值。光纤应用中 3R 级危险等级是不适宜的。

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。

IEC 60825-1 与本文件规定的适用对象之间的主要不同如下。

——OFCS 不能按 IEC 60825-1 进行分类。这是因为在预计的运行中光辐射是完全被封闭，可以认为，如果严格解释 IEC 60825-1 会使所有的系统都被划分为 1 类，从而不可能准确地反映出系统的潜在危险。但是，如果辐射源能单独工作，宜按 IEC 60825-1 分类。

——通过遵循与 IEC 60825-1 的分类程序类似的程序，在延伸封闭的光传输系统中的每个可达位置指定一个危险等级。但是这个等级不是基于可达辐射，而是基于在可合理预见情况下（如光缆断裂，光纤连接器断开等）可能接触到的光辐射。

——对于任何特定的危险等级所需的安全预防措施取决于位置的类型，如住宅、出入受限的工业区和受控进入的交换机机房。例如，规定在住宅中断开的光纤连接器应只准许发射 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。

——在本文件中，在条件 2 下使用光学放大仪器来测量用以确定危险等级，条件 1 和条件 3 也是这样。

www.bzfxw.com

附 录 B
（资料性）
“危险等级”含义的说明

B.1 概述

本附录进一步说明了 IEC 60825-1 中定义的“激光分类”和本文件中定义的“危险等级”之间的不同。

B.2 类别

“类别”一词指的是以发射水平为基础的一种分类方法，用于对某种产品或某种产品内部的发射器的安全来进行分类。这些类别的划分在 IEC 60825-1 中以可达发射极限表来描述。分类体系的范围从 1 类至 4 类，1 类指在可合理预见条件下是安全的，4 类指具有潜在的最危险情况。在 IEC 60825-1 中，产品的分类是以可合理预见的工作条件为基础，包括单一故障条件。

B.3 危险等级

本文件中所用的术语“危险等级”指在端对端光纤通信系统中，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连接或其他光纤断裂情况的位置，由激光辐射引起的潜在危险。危险等级的评估采用 IEC 60825-1 中定义的用来确定各产品分类的可达发射极限表。危险等级的评估方法见 4.7。评估可以依据实际测量结果的或基于发射功率和已知时间常数的计算结果进行。

附录 A 给出了以下补充说明：“OFCS 不能按 IEC 60825-1 进行分类。这是因为在预计的运行中光辐射是完全被封闭，可以认为，如果严格解释 IEC 60825-1 会使所有的系统都被划分为 1 类，从而不可能准确地反映出系统的潜在危险。”基于这一表述，一个完整的光纤通信系统（OFCS）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漏。只有在光纤断裂或光连接器松脱的情况下，人员才有可能暴露在光辐射中而发生危险（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 IEC 60825-1:2014 对不同波长范围规定的不同限值和 IEC 60825-1:2014 的表 1 表示的眼睛的光谱叠加原则。另外，本部分允许采用 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。

B.4 对 4.7 的说明

4.7.1 的指导思想是以 IEC 60825-1 和本文件已有内容为基础依据的。但是 OFCS 中的大部分位置往往归类为“在可合理预见的条件下是不可接触的”。

单光纤断裂或光连接器断开时，如果人员暴露在从端口或断裂处发出的辐射中，4.7.4 要求不能超过 MPE。功率一直保持为最大值。

如果任何人受到由光纤端口或破裂泄漏出的光辐射照射时，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 4.7.4 条款中要求的 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。

不同位置类型的进一步解释如下。

a） 非受限位置：

4.7.3 中的 1 s 关断时间是基于以下假设，即有意切断光纤，在 1 s 内不大可能有人进入

100 mm 距离内，并放置光学放大仪器，从而暴露在经过光学放大仪器的光辐射中。光信号沿着光纤传输衰减，因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得多。

b) 受限位置：

4.7.3 中的 3 s 关断时间要求是基于以下假设，在受限区域内系统的故障偶然发生，“在可合理预见事件发生后”3 s 关断时间和功率减低是可接受的。同样，这种情况也是偶然发生的：在这个时间段，有人进入 100 mm 距离内，并放置光学准直仪器，从而暴露在经过光学准直仪器的光辐射中。考虑到当光信号沿着光纤传输衰减，为此在受限位置发生故障时，光输出比发射器或放大器的输出低得多。

c) 受控位置：

在受控接触位置工作的人员，应接受激光安全方面相应的培训。培训内容应包括，除非系统完全不工作，才能观察破裂的光纤。

B.5 对 D.5 的说明

附录 D 是资料性附录。使用术语“推荐”不宜被理解为不准许使用其他分析方法。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。

www.bzfxw.com

附 录 C
（资料性）
危险/安全分析方法

危险/安全分析方法包括以下几种：

a） 预先危险性分析（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；

c） 失效模式和影响分析（FMEA）；

d） 失效模式、影响及危害性分析（FMECA）（见 IEC 60812）；

e） 故障树分析（FTA）；

f） 事件树分析；

g） 危险和可操作性分析（HAZOPS）。

必要时可通过试验完善分析。制造商/运营商规定分析方法和在分析过程中做的假设。

附 录 D
（资料性）
安全使用 OFCS 的应用指南

D.1 概述

本附录给出了本文件在实际中应用的指导。它是帮助用户将 IEC 60825-1 和本文件应用于实际的资料性附录，不包含任何要求。

本文件适用于 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 IEC 60825-1 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 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。

IEC 60825-1 适用于分立的激光产品，而本文件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，而且这些组件需要满足相关部分的要求，所以本文件范围也包括了这些组件。端到端系统不包含的独立无源器件或无源组件，它们的制造商可以不用了解相关的危险等级，因为本文件内容不涉及这些产品。

本文件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；
   ——配线中心的专用和限定区域；
   ——光缆施工船的测试室。
   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，宜提供适当的临时性防护（例如，临时操作间）。
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）；
   ——交换机机房的一般区域；
   ——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，如高保真度传输系统（hi-fi）互连。

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

D.2.2 典型系统元器件

系统组成涵盖如下内容。

a) 光缆：
   1) 单纤/多纤/带状结构；
   2) 单模光纤/多模光纤；
   3) 全介质/混合结构；
   4) 承载单波长/多波长；
   5) 单向/双向传输光纤；
   6) 通信/功率馈送。
b) 光源：
   1) LED、垂直腔表面发射激光器（VCSEL）、法布里-珀罗（Fabry Perot）或分布反馈（DFB）激光器、泵浦激光器；
   2) 光放大器；
   3) 体光源/分布式光源；
   4) 连续/高频发射光源。
c) 光连接器：
   1) 单芯/双芯/多芯；
   2) 混合。
d) 光无源器件：
   1) 耦合器/分路器；
   2) 波分复用/解复用器；
   3) 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）。

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，以及对应各级危险在光纤中的最大平均光功率

www.bzfxw.com

值。这些都是 APR 未运行时的值。对于占空比在 10%～100%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≤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 IEC 60825-1，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”波长在光化学危险区域时，这尤其有效。

点光源的限值适用于大多数的普通单模光纤和纤芯为 62.5 μm(GI 62.5) 渐变折射率多模光纤，这种多模光纤，需要考虑波长在 400 nm 和 1 400 nm 之间的与 C_6 相关的对向角的影响。扩展光源的限值适用于多模光纤，见表 D.1 中注 5。

条件 2 的测量应采用下列孔径和测量距离：

——波长大于或等于 302.5 nm 和小于 1 400 nm 时，孔径 3.5 mm，测量距离 35 mm；

——波长大于或等于 1 400 nm 和小于 4 000 nm 时，孔径 3.5 mm，测量距离 14 mm。

注 1：波长大于或等于 1 400 nm 的单模光纤，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 2：波长大于或等于 1 400 nm 的单模光纤，能够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 3：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 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 μm 模场直径(MFD)的单模(SM)光纤和 0.18 数值孔径多模(MM)光纤(芯径 50 μm)OFCS 的功率限值

波长和光纤类型	危险等级					
	1	1M	2	2M	3R	3B
633 nm(MM)	1.95 mW (+2.9 dBm)	3.77 mW (+5.8 dBm)	5.00 mW (+7.0 dBm)	9.66 mW (+9.9 dBm)	25.0 mW (+14.0 dBm)	500 mW (+27.0 dBm)
780 nm(MM)	2.82 mW (+4.5 dBm)	5.45 mW (+7.4 dBm)	—	—	14.5 mW (+11.6 dBm)	500 mW (+27.0 dBm)
850 nm(MM)	3.89 mW (+5.9 dBm)	7.52 mW (+8.8 dBm)	—	—	20.0 mW (+13.0 dBm)	500 mW (+27.0 dBm)
980 nm(MM)	7.08 mW (+8.5 dBm)	13.7 mW (+11.4 dBm)	—	—	36.2 mW (+15.6 dBm)	500 mW (+27.0 dBm)
980 nm(SM)	1.8 mW (+2.5 dBm)	2.66 mW (+4.2 dBm)	—	—	9.21 mW (+9.6 dBm)	500 mW (+27.0 dBm)
1 270 nm(MM)	140 mW (+21.4 dBm)	270 mW (+24.3 dBm)	—	—	500 mW (+27.0 dBm)	500 mW (+27.0 dBm)
1 270 nm(SM)	46.2 mW (+16.6 dBm)	76.5 mW (+18.8 dBm)	—	—	237 mW (+23.7 dBm)	500 mW (+27.0 dBm)
1 310 nm(MM)	481 mW (+26.8 dBm)	500 mW (+27.0 dBm)	—	—	500 mW (+27.0 dBm)	500 mW (+27.0 dBm)
1 310 nm(SM)	166 mW (+22.2 dBm)	277 mW (+24.4 dBm)	—	—	500 mW (+27.0 dBm)	500 mW (+27.0 dBm)
1 400 nm ～ 1 600 nm(MM)	13.3 mW (+11.2 dBm)	371 mW (+25.7 dBm)	—	—	见 4.9.3 注 1	500 mW (+27.0 dBm)
1 420 nm(SM)	10.1 mW (+10 dBm)	115 mW (+20.6 dBm)	—	—	见 4.9.3 注 1	500 mW (+27.0 dBm)

表 D.1　11 μm 模场直径(MFD)的单模(SM)光纤和 0.18 数值孔径多模(MM)光纤(芯径 50 μm)OFCS 的功率限值(续)

波长和光纤类型	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 4.9.3 注 1	500 mW (+27.0 dBm)

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 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。某些光连接器采用扩大的 MFD，远场发散角更小。这些光连接器能导致更高的危险等级，应用这种光连接器时，需要认定更高的危险等级。

注 2：1 270 nm 功率限值

1 270 nm 是数据通信应用中的最短波长，例如 LAN-WDM 8。

注 3：光纤参数

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 980n m 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 级危险的功率限值为 197 mW。

注 4：波长小于 1 310 nm 的 1M 级危险等级限值

对信号波长不大于 900 nm 的单模光纤，1M 级危险限值不在此陈述，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：单芯多模光纤

当波长范围在 400 nm～1 400 nm 时，即使对于低倍放大光学系统，对于 1 类 AEL 值也要考虑芯径的对向角(见 D.4.1.2)。当对向角超过 1.5 mrad 时，这些光纤被认为是扩展光源。在条件 3 下，从 100 mm 的距离开始测量，所测量的芯径大于 150 μm 的光纤是一个扩展光源。例如，芯径 200 μm 的硬包层二氧化硅(HCS)光纤或芯径 1 000 μm 的塑料光纤是(中间)扩展光源。适用的光源的大小取决于模式填充的程度，并在计算极限值之前详细确定。即使在条件 2 下，即从 35 mm 的距离开始测量，芯径大于 52.5 μm 的光纤被认为是一个扩展光源。在条件 2 情况下，参考本表所示，GI 50 光纤被视为点光源，GI 62.5 光纤作为扩展光源。

注 6：光纤束和带状光缆

表中所列的功率限值仅针对单芯光纤。如需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光纤组合都有必要评估(见 D.4.6)。

注 7：1 420 nm 功率限值

1 420 nm 功率限值是按照拉曼泵浦波长范围 1 420 nm～1 500 nm 计算。

D.4　危险等级评估示例

D.4.1　单波长同光纤传输

D.4.1.1　基本原理

对于发散光束，光束直径 d_{63} 是指在距离表观点光源(如光纤端口)r 处，符合计算 AEL 和 MPE 时采用的孔径光阑或限制孔径，通过光束总功率或能量 63%时的光束束宽，为了计算数值孔径 NA 会明确给出光束发散角。点光源的数值孔径 NA 定义为光束发散角 φ 一半的正弦函数，测量位置为输出峰

值辐照度的5%处，计算见公式(D.1)：

$$\frac{\varphi}{2}=\arcsin(\mathrm{NA}) \qquad \cdots\cdots(\mathrm{D.1})$$

对于高斯光束，光束直径 d_{63} 的计算见公式(D.2)：

$$d_{63}=\frac{2r}{1.7}\tan[\arcsin(\mathrm{NA})]\approx\frac{2r\cdot\mathrm{NA}}{1.7} \qquad \cdots\cdots(\mathrm{D.2})$$

式中，分母中1.7是对应于峰值辐照度5%处的光束直径 d_{95} 与 d_{63} 的比率，即 $d_{95}/d_{63}=1.7$。

对于作为点光源特例的单模光纤，距离 r 处的光束直径 d_{63} 的近似计算见公式(D.3)：

$$d_{63}=\frac{2\sqrt{2}\,r\lambda}{\pi\omega_0} \qquad \cdots\cdots(\mathrm{D.3})$$

式中：

λ ——波长；

ω_0——$1/e^2$ 功率密度下的光纤 MFD。

根据4.7.1中给出的测量规范，定义了1级危险的最大输出功率 $P_{1,\max}$，以便确定1类 AEL 的 P_{AEL}。P_{AEL} 等于通过在条件2中规定的 r 距离处直径 $d_{a,1}=3.5$ mm 圆孔的总功率。当 r 距离处的对向角 α 小于 $\alpha_{\min}=1.5$ mrad 时，可根据 IEC 60825-1:2014 的表3估算 P_{AEL}，而当 α 大于 $\alpha_{\min}$ 时，采用束内观察(光束内视)或 IEC 60825-1:2014 的表4(见 D.4.1.2)。

1级危险的最大输出功率 $P_{1,\max}$ 计算见公式(D.4)：

$$P_{1,\max}=P_{\mathrm{AEL}}/\eta_1 \qquad \cdots\cdots(\mathrm{D.4})$$

式中：

η_1——高斯光束通过孔径光阑的收集效率，计算见公式(D.5)：

$$\eta_1=1-\exp\left[-\left(\frac{d_{a,1}}{d_{63}}\right)^2\right] \qquad \cdots\cdots(\mathrm{D.5})$$

当 $d_{63}\ll d_{a,1}$ 时：$P_{1,\max}=P_{\mathrm{AEL}}$，因为点光源的总功率全部通过了圆形孔径。

由 IEC 60825-1:2014 表 A.5 所示，当 700 nm$<\lambda<$1 400 nm 时，皮肤的 MPE 是：

$$2\,000\times C_4\ \mathrm{W\cdot m^{-2}}=2\,000\times 5\ \mathrm{W\cdot m^{-2}}=10\ \mathrm{mW\cdot mm^{-2}}$$

根据 IEC 60825-1:2014 表 A.6 中皮肤的限制孔径直径为 3.5 mm，孔径面积为 $\pi\times(3.5/2)^2=9.62\ \mathrm{mm^2}$。因此，$P_{\mathrm{AEL}}$ 的上限为：

$$10\ \mathrm{mW\cdot mm^{-2}}\times 9.62\ \mathrm{mm^{-2}}=96.2\ \mathrm{mW}$$

$P_{1\mathrm{M},\max}$ 是点光源发射的1M级危险的最大输出功率，则 P_{AEL} 等于通过直径为 $d_{a,1\mathrm{M}}$ 的圆形孔径的总功率。如条件3所规定，圆形孔径位于距离 $r=100$ mm 的位置，当波长范围在 400 nm～1 400 nm 内时，$d_{a,1\mathrm{M}}=7$ mm；当波长范围在 1 400 nm～4 000 nm 内时，$d_{a,1\mathrm{M}}=3.5$ mm。因此，$P_{1\mathrm{M},\max}$ 计算见公式(D.6)：

$$P_{1\mathrm{M},\max}=P_{\mathrm{AEL}}/\eta_{1\mathrm{M}} \qquad \cdots\cdots(\mathrm{D.6})$$

式中：

$\eta_{1\mathrm{M}}$——高斯光束通过孔径光阑的收集效率，计算见公式(D.7)：

$$\eta_{1\mathrm{M}}=1-\exp\left[-\left(\frac{d_{a,1\mathrm{M}}}{d_{63}}\right)^2\right] \qquad \cdots\cdots(\mathrm{D.7})$$

当 $d_{63}\ll d_{a,1\mathrm{M}}$ 时：由于点光源功率全部通过孔径光阑，因此 $P_{1,\max}=P_{\mathrm{AEL}}$。

D.4.1.2 多模光纤

对于波长范围在 400 nm～1 400 nm 的多模光纤，下列情况被认为是单芯多模光纤：

a) 纤芯直径大于 52.5 μm 的扩展光源，对应于距离 35 mm 处的对向角 $\alpha_{\min}=1.5$ mrad，或

b) 点光源。

因此,需要计算1类AEL的P_{AEL}时需要考虑芯径的对向角。

下面计算芯径为50 μm或62.5 μm、数值孔径为0.18、发射波长为850 nm的连续波光输出标准多模光纤的最大危险等级。1类体系使用的时基为100 s。

对于点光源,距离$r=35$ mm处的对向角α小于$\alpha_{min}=1.5$ mrad,P_{AEL}根据IEC 60825-1:2014的表3中公式计算:

$$P_{AEL}=3.9\times10^{-4}C_4C_7\ \text{W}$$

式中:

C_4——$10^{0.002(\lambda-700)}$,IEC 60825-1:2014表9中规定的波长修正系数;

C_7——IEC 60825-1:2014表9中规定的波长修正系数。

在对向角$\alpha=1.43$ mrad($<\alpha_{min}$)、芯径50 μm的示例中,$C_4=10^{0.002(\lambda-700)}=2$,$C_7=1$。此时$P_{AEL}$计算结果为0.78 mW。

对于扩展光源,α大于α_{min}(且小于α_{min}100 mrad),P_{AEL}根据IEC 60825-1:2014的表4中公式计算:

$$P_{AEL}=7\times10^{-4}C_4C_6C_7T_2^{-0.25}\ \text{W}$$

式中:

C_6——α/α_{min},IEC 60825-1:2014表9中规定的波长修正系数;

T_2——$10\times10^{(\alpha-\alpha_{min})/98.5}$, IEC 60825-1:2014表9中规定的波长修正系数。

在对向角$\alpha=1.79$ mrad(介于α_{min}和α_{max}之间)、芯径62.5 μm的示例中,$C_4=10^{0.002(\lambda-700)}=2$,$C_6=\alpha/\alpha_{min}=1.19$,$C_7=1$,$T_2=10\times10^{(\alpha-\alpha_{min})/98.5}=10.1$ s。此时P_{AEL}计算结果为0.934 mW。因此,在上述示例中,P_{AEL}不超过的皮肤MPE确定的上限96.2 mW[见4.7.2 a)]。

根据表4,在$r=35$ mm处进行测量。此时,由公式(D.2)计算得出d_{63}为:

$$d_{63}\approx\frac{2r\text{NA}}{1.7}=\frac{2\times35\ \text{mm}\times0.18}{1.7}=7.41\ \text{mm}$$

因此,1级危险的最大输出功率$P_{1,max}$由公式(D.4)和公式(D.5)计算得出:

$$P_{1,max}=\frac{P_{AEL}}{\eta_1}=\frac{P_{AEL}}{1-\exp\left[-\left(\frac{3.5\ \text{mm}}{7.41\ \text{mm}}\right)^2\right]}=\frac{P_{AEL}}{0.2}\ \text{W}$$

对于芯径50 μm(点光源)和芯径62.5 μm(扩展光源),$P_{1,max}$计算结果分别为3.89 mW和4.67 mW。

当根据表4确定的辐射水平大于条件1和条件2的1类AEL且小于500 mW(3B类AEL)时,OFCS被认定为1M级危险;但是,在距离点光源100 mm处,使用直径为7 mm的孔径光阑测量的辐射等级小于或等于1类AEL。因此,当纤芯直径大于150 μm、距离100 mm处的对向角$\alpha_{min}=1.5$ mrad时,单芯多模光纤被视为扩展光源,否则作为点光源。

在距离100 mm处,对50 μm芯径和62.5 μm芯径的对向角α进行计算,分别为0.5 mrad和0.625 mrad,均小于α_{min},因此P_{AEL}根据IEC 60825-1:2014的表3中公式计算:

$$P_{AEL}=3.9\times10^{-4}C_4C_7\text{W}=0.78\ \text{mW}$$

在测量距离100 mm处的光束直径为:

$$d_{63}=\frac{2r\text{NA}}{1.7}=\frac{2\times100\ \text{mm}\times0.18}{1.7}=21.2\ \text{mm}$$

1M级危险最大输出功率$P_{1M,max}$由通过测量孔径的总发射功率与采集效率的比值计算得到:

$$P_{1M,max}=P_{AEL}/\eta_{1M}=0.78\ mW/\left\{1-\exp\left[-\left(\frac{7\ mm}{21.2\ mm}\right)^2\right]\right\}=7.52\ mW$$

该值小于3B类的AEL。因此,在本例中,$P_{1M,max}$为7.52 mW。

在发射波长为1 270 nm的连续光输出情况下,1级危险的最大输出功率为$P_{1M,max}$随着C_7增加而变化如下。

示例1:50 μm芯径和62.5 μm芯径的对向角α分别为1.43 mrad($<\alpha_{min}$)和1.79 mrad(介于α_{min}和α_{max}之间);因此,分别适用于点光源P_{AEL}和扩展光源P_{AEL}。当使用IEC 60825-1:2014中表3和表4的波长和100 s时基时,点光源P_{AEL}和扩展光源P_{AEL}计算结果为:

$$点光源:P_{AEL}=3.9\times10^{-4}C_4C_7\ W=27.9\ mW$$

和

$$扩展光源:P_{AEL}=3.5\times10^{-3}C_6C_7T_2^{-0.25}\ W=33.4\ mW$$

其中,$C_4=5$,$C_6=\alpha/\alpha_{min}=1.19$,$C_7=8+10^{0.04(\lambda-1\,250)}=14.3$,$T_2=10\times10^{(\alpha-\alpha_{min})/98.5}=10.1$ s。因此,在本例中,P_{AEL}不超过D.4.1.1中计算的96.2 mW的上限。

该波长下,d_{63}为7.41 mm。因此,芯径50 μm(点光源)和芯径62.5 μm(扩展光源)的1级危险级最大输出功率$P_{1,max}$,根据公式(D.4)和公式(D.5)计算分别为140 mW和167 mW。

$$P_{1,max}=\frac{P_{AEL}}{\eta_1}=\frac{P_{AEL}}{1-\exp\left[-\left(\frac{3.5\ mm}{7.41\ mm}\right)^2\right]}=\frac{P_{AEL}}{0.2}\ W$$

以下计算1M级危险最大输出功率$P_{1M,max}$。

示例2:在距离100 mm处,50 μm芯径和62.5 μm芯径的对向角α计算为0.5 mrad和0.625 mrad,均小于α_{min}。

因此,根据IEC 60825-1:2014中的表3,P_{AEL}计算结果是:

$$P_{AEL}=3.9\times10^{-4}C_4C_7\ W=27.9\ mW$$

计算100 mm处的光束直径为:

$$d_{63}\approx\frac{2rNA}{1.7}=\frac{2\times100\ mm\times0.18}{1.7}=21.2\ mm$$

1M级危险最大输出功率$P_{1M,max}$由通过测量孔径的总发射功率与采集效率的比值计算得到:

$$P_{1M,max}=P_{AEL}/\eta_{1M}=27.9\ mW/\left\{1-\exp\left[-\left(\frac{7\ mm}{21.2\ mm}\right)^2\right]\right\}=270\ mW$$

该值小于3B类的AEL。因此,在本例中,$P_{1M,max}$为270 mW。

D.4.1.3 单模光纤

在发射连续波光输出波长为1 270 nm的情况下,计算为11 μm MFD的单模光纤的最大危险等级。

根据IEC 60825-1:2014表3中基于1类体系的波长和时基计算:

$$P_{AEL}=3.9\times10^{-4}C_4C_7\ W$$

式中:

C_4——5,见IEC 60825-1:2014中表9;

C_7——$8+10^{0.04(\lambda-1\,250)}=14.3$,见IEC 60825-1:2014中表9。

因此,$P_{AEL}=27.9$ mW,不超过96.2 mW的上限。

此示例是在$r=35$ mm处进行测量,d_{63}为:

$$d_{63}=\frac{2\sqrt{2}r\lambda}{\pi\omega_0}=\frac{2\sqrt{2}\times35\ mm\times1\ 270\ nm}{\pi\times11\ \mu m}=3.64\ mm$$

因此，获得 1 级危险的最大输出功率 $P_{1,\max}$ 是：

$$P_{1,\max}=\frac{P_{\mathrm{AEL}}}{\eta_1}=\frac{27.9\ \mathrm{mW}}{1-\exp\left[-\left(\frac{3.5\ \mathrm{mm}}{3.64\ \mathrm{mm}}\right)^2\right]}=46.2\ \mathrm{mW}$$

计算 1M 级危险的最大输出功率 $P_{1\mathrm{M},\max}$。

此示例在测量距离 100 mm 处的光束直径为：

$$d_{63}=\frac{2\sqrt{2}r\lambda}{\pi\omega_0}=\frac{2\sqrt{2}\times 100\ \mathrm{mm}\times 1\ 270\ \mathrm{nm}}{\pi\times 11\ \mu\mathrm{m}}=10.4\ \mathrm{mm}$$

1M 级危险的最大输出功率 $P_{1\mathrm{M},\max}$，通过直径 7 mm 的测量孔径的总发射功率与收集效率的比值得到：

$$P_{1\mathrm{M},\max}=P_{\mathrm{AEL}}/\eta_{1\mathrm{M}}=27.9\ \mathrm{mW}/\left\{1-\exp\left[-\left(\frac{7\ \mathrm{mm}}{10.4\ \mathrm{mm}}\right)^2\right]\right\}=76.5\ \mathrm{mW}$$

该值小于 3B 类 AEL。因此，在本例中，$P_{1\mathrm{M},\max}$ 最大值为 76.5 mW。

在发射连续波光输出波长为 1 310 nm 的情况下，由于 C_7 的波长依赖性，1 级危险的最大输出功率 $P_{1,\max}$ 随之增加，具体如下。

当采用 IEC 60825-1:2014 中表 3 中波长和 100 s 时基时：

$$P_{\mathrm{AEL}}=3.9\times 10^{-4}C_4C_7\ \mathrm{W}$$

式中：

C_4——5；

C_7——$8+10^{0.04(\lambda-1\ 250)}=259.19$。

因此，$P_{\mathrm{AEL}}=505.4$ mW，该 P_{AEL} 值超过了 $P_{\mathrm{AEL}}=96.2$ mW 的上限。

根据表 4 所示的条件 2，在 $r=35$ mm 处测量的 d_{63} 为：

$$d_{63}=\frac{2\sqrt{2}r\lambda}{\pi\omega_0}=\frac{2\sqrt{2}\times 35\ \mathrm{mm}\times 1\ 310\ \mathrm{nm}}{\pi\times 11\ \mu\mathrm{m}}=3.75\ \mathrm{mm}$$

因此，此时的 1 级危险的最大输出功率 $P_{1,\max}$ 为：

$$P_{1,\max}=\frac{P_{\mathrm{AEL}}}{\eta_1}=\frac{96.2\ \mathrm{mW}}{1-\exp\left[-\left(\frac{3.5\ \mathrm{mm}}{3.75\ \mathrm{mm}}\right)^2\right]}=165\ \mathrm{mW}$$

以下是计算 1M 级危险的最大输出功率 $P_{1\mathrm{M},\max}$。

该波长在测量距离 100 mm 处的光束直径为：

$$d_{63}=\frac{2\sqrt{2}r\lambda}{\pi\omega_0}=\frac{2\sqrt{2}\times 100\ \mathrm{mm}\times 1\ 310\ \mathrm{nm}}{\pi\times 11\ \mu\mathrm{m}}=10.7\ \mathrm{mm}$$

1M 级危险的最大输出功率 $P_{1\mathrm{M},\max}$，通过测量孔径的总发射功率与采集效率的比值计算得到：

$$P_{1\mathrm{M},\max}=P_{\mathrm{AEL}}/\eta_{1\mathrm{M}}=96.2\ \mathrm{mW}/\left\{1-\exp\left[-\left(\frac{7\ \mathrm{mm}}{10.7\ \mathrm{mm}}\right)^2\right]\right\}=277\ \mathrm{mW}$$

该值小于 3B 类的 AEL。因此，在本例中，1M 级危险的最大输出功率为 277 mW。

D.4.2 多波长同光纤传输

D.4.2.1 概述

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，即叠加危险更高；

b) 如果两个波长都高于 1 400 nm,则它们是可叠加的,即叠加危险更高;

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,即不叠加危险不会增大。

对皮肤和视网膜的危险需要分别计算。

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%…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,也采用上述步骤。

D.4.2.2 多波长举例

一种采用模场直径(MFD)11 μm 单模光纤的光传输系统承载 6 路光信号:波长分别为 1 270 nm、1 280 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 10 dBm (10 mW),判断发射机端的危险等级。

在缺乏光连接器断开时发射机辐射相关的其他信息的情况下,假定没有关闭系统工作状态,然后依据发射机光连接器处的功率值来确定危险等级(断开光连接器是一个可合理预见事件)。

假定以外观察[见 IEC 60825-1:2014 的 4.3 e)]的发射持续时间 $t=100$ s。

IEC 60825-1:2014 的表 1 指出,6 种波长影响都是叠加的。于是,评估宜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 IEC 60825-1:2014 的 4.3 b)]。

用发射功率与 1 类 AEL 限值比较:

因为是 11 μm MFD 的光源,所以光源的对向角 α 小于 α_{min},因此 $C_6=1$,由 IEC 60825-1:2014 的表 3 公式计算:

$$P_{AEL}=3.9\times10^{-4}C_4C_7\ \text{W}$$

式中:

C_4——5,当波长>1 050 nm 时;

C_7——$8+10^{0.04(\lambda-1\,250)}$,当波长≥1 200 nm 时。

因此,对于波长 1 270 nm、1 280 nm、1 290 nm、1 300 nm、1 310 nm 和 1 320 nm,AEL 分别为 27.9 mW、46.5 mW、93.2 mW、96.2 mW、96.2 mW 和 96.2 mW,其中大于 1 290.4 nm 的波长的 AEL 被限制在 96.2 mW,该限值根据皮肤 MPE 测算得到。

IEC 60825-1:2014 中 5.4 给出测量规定,要求使用 IEC 60825-1:2014 表 4 的最严格条件。对于光纤输出的发散光束,最严格的限制是条件 2。根据 IEC 60825-1:2014 表 4,热限值下对应的孔径直径是 3.5 mm,测量距离为 35 mm。

根据光纤距离 r 处光纤发射光束直径计算公式,单模光纤的 63%(1/e)点处的直径,即在 $1/e^2$ 功率密度下定义的 MFD(ω_0)为:

$$d_{63}=\frac{2\sqrt{2}r\lambda}{\pi\omega_0}=\frac{2\sqrt{2}\times35\ \text{mm}\times1\,310\ \text{nm}}{\pi\times11\ \mu\text{m}}=3.75\ \text{mm}$$

因此,通过 3.5 mm 孔径的收集效率 η_1 为:

$$\eta_1=1-\exp\left[-\left(\frac{3.5\ \text{mm}}{3.75\ \text{mm}}\right)^2\right]=0.582$$

因此,在这种情况下,距离单模光纤末端 35 mm 处的 3.5 mm 孔径将收集 58.2%的光纤输出功率。虽然收集效率 η_1 取决于波长,但在 1 270 nm 波长下最保守的收集效率 η_1 为 60%。

每个波长的光功率与相应 AEL 限值 $P_{AEL,k}$ 的比值相加可得到:

$$\sum_k\left[\frac{P}{P_{AEL,k}}\right]=\frac{10\ \text{mW}\times0.6}{27.9\ \text{mW}}+\frac{10\ \text{mW}\times0.6}{46.5\ \text{mW}}+\frac{10\ \text{mW}\times0.6}{93.2\ \text{mW}}+3\times\frac{10\ \text{mW}\times0.6}{96.2\ \text{mW}}=0.594$$

该比值小于1,因此可达辐射是在1类AEL限值范围内,属于1级危险。

D.4.3 双向(全双工)传输

每个单独传输方向的光不发生叠加效应,如果光纤断裂,每个断开光纤端面代表单独的危险,危险等级由更高功率光的传输方向确定。

D.4.4 功率自动降低

D.4.4.1 概述

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。因为系统内部光发射机/光放大器的危险等级,会为系统可能部署的位置设定了限制。见表5。

功率自动降低不能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功能的可靠性在考虑之内。

危险等级评估在可合理预见的人员接触辐射时(例如光纤断裂后)予以考虑,除非在其之后的测量会导致人员受到更大的照射(见4.7.1和4.7.2)。

不应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,不存在潜在危险。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受的激光安全培训级别一致。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.4.4.2 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会导致潜在危险。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,以及采用输出带光闸的光连接器。

D.4.4.3 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,这是由实际拉

曼泵浦光功率决定。

D.4.4.4 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,OFCS 可以选用功率自动降低从而减少照射。

D.4.4.5 带连接器的系统

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

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光闸的光连接器。只要光连接器符合 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,光连接器光闸应在 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,光闸方法可能不可用或效果不佳,APR 方法可能是唯一解决方案)。

D.4.4.6 海缆系统中的海底光缆(深海光缆)或掩埋光缆(浅海光缆)

某些海缆系统可能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。如在本文件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,关闭光缆中光功率的操作习惯应予继续与保持。

D.4.4.7 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.4.4.8 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.4.6 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、光闸和光纤熔接方面建议考虑进行评估和补充。

D.4.5 光纤束

破损光缆中破损(即非断开)光纤束处的危险等级,不超过光缆中光纤最严重破损情况下的危险等级。这一点已通过大量的断裂光纤端面出现反射、散射、随机排列和移动等情况下的测试结果验证。

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.4.6)。

D.4.6 带状光缆

D.4.6.1 概述

带状光缆被整体切割时，端面会出现比单一光纤更高的危险。比如，带状光缆中有 8 芯光纤，每芯光纤承载的功率在 1M 级危险之内。单独看，每芯光纤都是相对安全的 1M 级危险，然而作为不可分的整体被切割后，危险可能达到 3B 级，从而给人眼带来风险。这是因为典型带状光纤内光纤芯到芯间距很小，为 150 μm 到 250 μm，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 35 mm处距离测量单模光纤的 α 小于 α_{min}[α_{min}=1.5 mrad，见 IEC 60825-1:2014 中 4.3 c)]。

带状光纤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，35 mm 距离测试的对向角为 21 mrad）。对向角超过 α_{min}，带状光纤就被看作是一个扩展光源，并且点光源的 AEL 的随修正因子 C_6 也增大。在确定平均值之前，任一大于 α_{max}（α_{max}=100 mrad）或小于 α_{min}（1.5 mrad）的对向角分别取 α_{max} 或 α_{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。详细信息见 IEC 60825-1:2014 中 4.3 d)对非均匀、非圆形或多光源的分类规则。

D.4.6.2 带状光纤计算举例

带状光纤由等间距（200 μm）排列的 8 芯 MFD 为 11 μm 的单模光纤组成。对于波长 1 310 nm 和 1 550 nm，每芯光纤对应 1 级危险等级连续输出时的最大允许光功率是多少？

a) 1 310 nm 的评估。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 α 相对应的 AEL 限值，其中 $\alpha_{min}<\alpha\leqslant\alpha_{max}$。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。此处，考虑到 MFD 为 11 μm 的单模光纤 0.582 的收集效率，将 MFD 为 11 μm 的单模光纤的 1 级危险的输出功率从 1 类 AEL 的 96.2 mW 修改为 165 mW。请注意，由于与光纤数量相比，C_6 值较大，任何光纤组合均不代表最坏情况。因此，与单根光纤的情况相对应，带状光纤中单个光纤的最大功率为 165 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	1.0	—	4.41	6.32	8.22	10.1	12.0	13.9
T_2	10.0	10.5	11.3	12.1	12.9	13.8	14.7	15.7
AEL mW	165	409	706	995	1 273	1 538	1 797	2 048
每光纤限值 mW	165	205	235	249	255	256	257	256

b) 1 550 nm 的评估。波长为 1 550 nm 时的主要危险处是眼角膜区域。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 10.2 mW/8=1.28 mW。

D.4.6.3 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。

推荐的解决方案并不太难。由于断裂的带状光纤没出现激光安全问题,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可合理预见事件中发生接触激光辐射(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漏。

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.4.7 光分路器和光纤损耗引起的功率降低

光分路器和光纤损耗引起的功率降低,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。

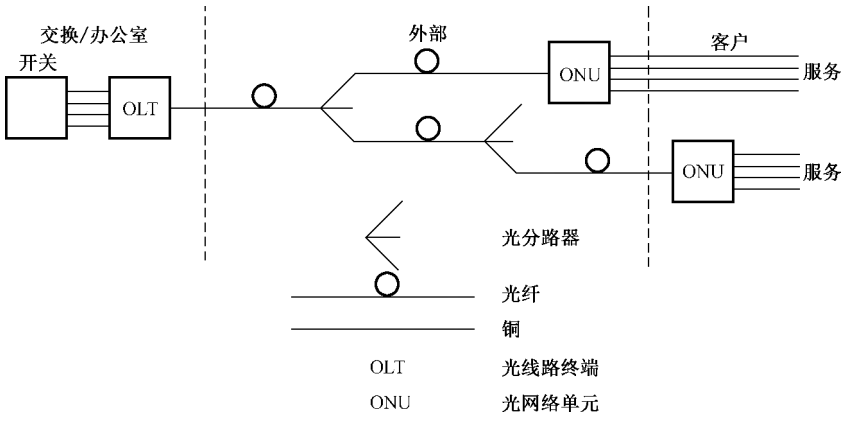


图 D.1 PON(无源光网络)系统

D.4.8 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。

a) 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)所引起的可合理预见的故障条件(见 4.7.3)。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 IEC 60825-1 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可合理预见的。

b) 检修会导致更高的危险等级(见 4.8.5)。相应机构和个人应考虑这种情况,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 4.6.1b)中 5)]。

c) 改变元器件、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,等等。

D.5 故障分析——说明和指导

D.5.1 概述

当系统输出光功率依赖于其他元器件的完整性与电路设计的性能时，制造商和操作人员进行故障分析。

危险等级是在可合理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控制电路中的失效，这些失效可能会显著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，可达辐射降低到 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，考虑这两个部分。

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

D.5.2 通用的故障分析技术

通用的故障分析技术有：

——模拟在可合理预见的条件下可能发生的故障；

——失效模式、影响和危害性分析(FMECA，见 IEC 60812)；

——后果分析(见 IEC 61508 系列标准)。

D.5.3 失效模式、影响和危害性分析

如果选用的故障分析方法是失效模式、影响和危害性分析方法，那么超过目标危险等级的可达发射限值(在可合理预见的条件下)的概率宜不超过 500 FIT。制造商或运营商应进行故障分析。

注：基于 500 FIT 要求以及工程技术人员面对在线业务光纤的从业时间估算，人眼损伤的事件发生概率一般低于 5HIT(HIT 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 HIT 的职业风险是微乎其微的)。

以下步骤是失效模式、影响和危害性分析(FMECA)的典型程序：

——步骤 1：识别关键元器件；

——步骤 2：识别部件失效模式；

——步骤 3：确定 beta 值 (beta 值取决于失效模式的危害性)；

——步骤 4：确定失效率。

D.5.4 后果分析

IEC 61508 系列标准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。

典型的程序如下：

——步骤 1：后果评估；

——步骤 2：频率评估；

——步骤 3：评估避免危险事件的概率；

——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；

——步骤 5：绘制曲线图；

——步骤 6：确定系统的可靠性；

——步骤 7：系统失效后果评估降低的风险；

——步骤 8:确定 FIT 率。

考虑到随机硬件失效,安全完整性(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 故障率表示。如果对 APR 单元进行连续在线监测以警告 APR 故障或进行定期测试,这种故障率则由 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。设备可靠性一般用失效率(一个 10^9 h 内的失效)表示。

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。对于失效率较低的 APR 系统,如果产品整机的寿命短于其 APR 系统的寿命,则没有对 APR 进行维护的必要。对其他所有系统,APR 故障率和合适的失效率取决于 APR 故障可以被检出和操作员在合理时间内进行修复的可能性,以及操作员对指示 APR 系统故障告警的响应能力。

由于设备的制造商没有对 APR 系统进行实时维护,因此指定合适的失效率比给出 SIL 级别与平均维修事件和组合关系更加有用。生产厂家提供 APR 系统一般有两种形式:1)连续或频率性地进行诊断/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,例如光纤通信系统的失效将会在 24 h 内被修复,因此 MTTR 是 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,但是这些系统没几年也可能进行升级、修理、测试或更换。因此其平均维修事件被认为是一年,或 MTTR 为 10^4 h。

有了这个信息,现在可以确定失效率。假设有一个工作于 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,为此需要在可合理预见的故障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。通过详细计算,可以看出对于 MTTR 为 24 h 的连续诊断系统,最低要求(即最大可接受的失效率)是 4×10^6FIT;对于具有 MTTR 为一年的系统,是 10^4FIT;对于没有连续诊断的系统,失效率为 500。

对其他危险等级可以采用类似的方法确定失效率指标(IEC 61508 系列标准)。

D.6 建议的工作惯例

D.6.1 一般工作惯例

不同的工作惯例可能适用不同的环境。操作 OFCS 时使用的良好工作惯例的案例如下。

a) 目检光纤:不要在没有眼保护时或用未认证的准直光学设备在光纤端头凝视光纤端头,或光连接器端面,或将光纤指向其他人员。
b) 目检工具:只可使用经过认可的具有过滤或减弱功能的目检工具。
c) 光纤端子(单个或多个):任何没端接的单个或多个光纤(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,所有连接端子宜用端接保护,尖锐的端头不宜暴露。
d) 合适的遮盖方法包括使用交接防护器或胶带。始终将端帽盖在未连接的光连接器端子上。
e) 带状光缆:未经批准,不要分开带状光纤或使用带状光纤熔接机。
f) 测试线:在使用光纤测试芯时,光源宜最后一个被接入和第一个被断开。
g) 碎光纤: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。
h) 维护:需要按照说明书规定对使用的系统进行操作与维护。
i) 清洁:按照规定的方法清洁和处理光纤以及光连接器。
j) 修改:不应对 OFCS 或相关设备进行任何未授权的修改。
k) 扩展板:不宜在光发射板卡使用扩展板,当扩展板在发射器机架外面时,不应给光源加电。
l) 标牌损坏:向现场管理人员及时报告损坏或丢失的光安全标牌。
m) 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的控制之下,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现场管理人保存。

n) 测试设备：使用任务需要的最低级别的和实用测试设备，不要使用比位置危险级别更高的测试设备。

o) 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。

p) 告警：系统告警，尤其是指示 APR 或任何其他安全系统失效的系统告警，宜及时响应，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 级的现场工作惯例

当操作在线/加电系统（如光信号沿着 OFCS 光纤传输），宜使用 D.6.1 所列的工作惯例。

D.6.3 对于危险等级为 3B 级的工作惯例

不宜在 3B 级危险等级的位置对加电系统（有时也称为“在线系统”）操作。

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遵守所有相关规则，并向管理人员报告可潜在的不安全状况或异常光辐射暴露。

如果不应在危险等级为 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；

——产生光辐射的设备宜关闭，从而使 OFCS 无光能（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，确保没有对接的光连接器已通过使用内置的光连接器光闸或端帽衰减到合适的光功率；

——只使用非直接观察设备（比如电视或阴影成像拼接仪器），未经批准不应使用显微镜或头戴式放大镜观测；

——当使用光纤测试芯时，光源宜最后一个被接入和第一个被断开。

D.6.4 3B 级危险的正规断电和加电步骤

当关闭 OFCS 时（如果不准许继续加电）宜采用以下步骤。

a) 指定操作光源的人员宜：

——接受培训达到操作开关类设备所要求的水平；

——熟悉与上文描述中相关的基本指令和安全要求，以及额外的本地指令和环境；

——安全为首，责任在心。

b) 应由现场管理人员指定操作员，并明确通知对他们任命。

c) 每个设备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；

——对双工系统，要求两端操作光源的指定人员关闭对应光纤的光源；

——当得到电源都已断开通知，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，则表格不需要填写；

——（用加电/有源光纤鉴别器或光功率计）验证电源已断开；

——完成以上操作后，通知相应光源的指定操作人员。

e) 接收到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（如装有钥匙，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贴上一个标牌；

——为每一个任务发起人提供作业号码和光源断开的时间；

——接收到任务已完成的通知后，记录相应的细节，在给光源加电之前，将警告标牌从设备上取下；当多个任务发起人要求断开同样的光源时，在现有的所有任务完成之后，光源才能加电。

D.7 关断电源时的最大输出功率

当单模 OFCS 关断时，对非受限场合，关断时间内的最大的输出功率（mW）需要在 1 s 内降低到较低危险等级；对受限或受控的场合，需要在 3 s 内降低到较低危险等级（见 4.7.2）。具体内容见表 D.3。同时，宜酌情根据表 5 叙述的工程要求达到较低危险等级。

表 D.3 的计算公式见式（D.8）：

$$\mathrm{NOHD}=\frac{\omega_0\pi d}{2\sqrt{2}\lambda}\times\frac{1}{\sqrt{\ln\left(\dfrac{P}{P-\dfrac{\pi d^2\mathrm{MPE}}{4t}}\right)}} \quad \cdots\cdots(\mathrm{D.8})$$

另一种计算公式见式（D.9）：

$$P=\frac{\pi d^2\mathrm{MPE}}{4t}\times\frac{1}{1-\exp\left[-0.125\left(\dfrac{\pi\omega_0 d}{\lambda\mathrm{NOHD}}\right)^2\right]} \quad \cdots\cdots(\mathrm{D.9})$$

式中：

ω_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 ——限制孔径，单位为米（m）；

MPE ——最大允许照射量，单位为焦耳每平方米（$\mathrm{J/m^2}$）；

NOHD ——标称眼危险距离，单位为米（m）；

t ——关断时间，单位为秒（s）；

λ ——波长，单位为纳米（nm）。

表 D.3 通过 APR 使发射功率自动降低至低危险等级的 OFCS 系统的功率限值示例

波长 nm	光纤模场直径 μm	非受限位置的最大输出功率 mW	受限位置的最大输出功率 mW	受控位置的最大输出功率 mW	关断时间 s	测量距离 m
980	7	9.4	9.4	—	1	0.1
980	7	—	7.2	—	3	0.1
980	7	—	—	39	3	0.25
1 310	11	2 587	2 587	—	1	0.1

表 D.3　通过 APR 使发射功率自动降低至低危险等级的 OFCS 系统的功率限值示例（续）

波长 nm	光纤模场直径 μm	非受限位置的最大输出功率 mW	受限位置的最大输出功率 mW	受控位置的最大输出功率 mW	关断时间 s	测量距离 m
1 310	11	—	1 966	—	3	0.1
1 310	11	—	—	10 347	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	—	389	—	2	0.1
1 400～1 500	11	—	288	—	3	0.1
1 400～1 500	11	—	—	2 403	2	0.25
1 400～1 500	11	—	—	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	—	639	—	2	0.1
1 550	11	—	428	—	3	0.1
1 550	11	—	—	2 640	3	0.25

注 1：采用的光纤参数是最保守的情况。对于 λ＝1 310 nm～1 550 nm，所列数值是用于 11 μm 模场直径（MFD）计算的，而 λ＝980 nm，是用于 7 μm 模场直径（MFD）计算的。很多被 1 480 nm 或 980 nm 激光器泵浦，在 1 550nm 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 nm 色散位移光缆的 MFD 上限值为 9.1 μm。在这种情况下，对于非受限和受限位置，在 1 480 nm and 1 550 nm，最大功率输出为表 D.3 值的 1.44 倍。而对于受控位置，在 1 480 nm and 1 550 nm，最大功率输出为表 D.3 值的 1.46 倍。

注 2：表中所给的时间仅用于举例说明；比最大关断时间更短的时间是准许的，更短的关断时间能够使用更高的功率（非受限位置最大时间是 1 s，受限位置是 3 s）。

注 3：光缆中的高功率密度可能引起光纤熔融，导致光缆出现高温（参见 IEC TR 60825-17:2015 和 IEC TR 61292-4 中的 4.5.1）。

附 录 E
（资料性）
检修和维护指南

E.1 测试和测量

测试和测量的注意事项如下。

a) 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。

b) 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覆盖。
当功率自动降低特性被覆盖时，运营商宜重新评估危险等级。宜采取 4.8 重新评估与危险等级相适应的安全防护措施。

c) 在选择光纤检查和连接时所使用的观察光学仪器时，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 1：运营商对批准使用的观察光学仪器做标识通常是一种可接受的方案。
注 2：采用非直接观看的视频显示器是一个有效的选择。

d) 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功率传送的情况下进行；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) 运营商宜制定工作规程，防止人员暴露于超过相应时基的人眼/皮肤 MPE 值的辐射中。

E.2 安全预防措施

E.2.1 概述

安全预防措施的内容如下。

a) 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。宜指示在 OFCS 允许状态下，接触系统中任何光纤端或光连接器端的人员不要直视这些点。在任何情况下，宜使用那些提供适当衰减水平的观察辅助设备。

b) 在开展光缆或系统工作之前，终端用户宜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。对于已知正在运行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，可能还没有提供本文件规定的危险等级标记，在这种情况下，宜采用与发射器或连接到光纤的包含光源的测试设备的分类（按照 IEC 60825-1）相适应的预防措施。

c) 在安装或测试光纤光缆或网络过程中，宜使用输出危险等级标记为 1、1M、2 或 2M 级（依据本文件）或 1、1M 或 2M 类（依据 IEC 60825-1:2014）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，允许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光连接器都是安全的，并且在测试之前已贴有标记标注相应的危险等级。

d) 3B 级危险的受控区域的入口处宜有 2 类标志：
——包括与 IEC 60825-1:2014 中图 3 一致的警告标记和与 IEC 60825-1:2014 图 4 一致的并

标注有“3B 级危险”的说明标记；

——注明仅允许被授权人员接近，并说明存在潜在的危险。

e) 每个从事操作、安装或检修光纤通信系统(OFCS)的人员宜：

——遵守为了 OFCS 安全运行而建立的所有规则、工作程序和工作惯例；

——立即通知监管者可能造成人员损伤或财产损失的状况或操作；

——立刻向监管者报告任何已知的或怀疑的异常光辐射照射。

E.2.2 在具有 1M、2M、3R 和 3B 危险位置的预防措施

在具有 1M、2M、3R 和 3B 危险位置的预防措施如下。

a) 在对暴露的光纤、光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，宜通过遥控开关或其他合适的方法防止意外开启。线路状态(加电或没加电)宜明确标示。

b) 建议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。

c) 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。

d) 当向光纤注入极高的功率水平(几百毫瓦到几瓦)时，在系统中的高损耗点有可能产生高温。

注：使用分布拉曼放大技术的系统是这种系统的一个例子。

高温可能在设备中或房屋中引起危险。因此，对于正常传输极高功率的系统中，宜非常仔细地清洁光连接器，以尽可能减小由光连接器、交接点或弯曲点引起的损耗。见 IEC TR 60825-17。

E.2.3 培训课程

安装或维护 OFCS 的员工的雇主宜应建立并保持一套完整充分的课程以控制光纤危险。宜为在 3B 级危险的光纤通信系统的工作人员建立安全培训课程。这种课程宜由在激光和 OFCS 安全领域的主管人员进行指导。课程宜至少提供以下内容：

——OFCS 的背景信息；

——按照 IEC 60825-1 的激光产品分类方法和按照本文件认定危险等级的相关安全信息。

www.bzfxw.com

参 考 文 献

[1] IEC 60794-2(all parts) Optical fibre cables—Part 2:Indoor cables

[2] IEC 60794-3(all parts) Optical fibre cables—Part 3:Outdoor cables

[3] IEC 60794-4(all parts) Optical fibre cables—Part 4:Aerial optical cables along electrical power lines

[4] IEC 60812 Failure modes and effects analysis(FMEA and FMECA)

[5] IEC 60825-12 Safety of laser products—Part 12:Safety of free space optical communication systems used for transmission of information

[6] IEC TR 60825-14 Safety of laser products—Part 14:A user's guide

[7] IEC TR 60825-17 Safety of laser products—Part 17:Safety aspects for use of passive optical components and optical cables in high power optical fibre communication systems

[8] IEC 60950-1:2005 Information technology equipment—Safety—Part 1:General requirements

[9] IEC TR 61292-4 Optical amplifier—Part 4:Maximum permissible optical power for the damage-free and safe use of optical amplifiers,including Raman amplifiers

[10] IEC 61508(all parts) Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems

[11] IEC 62368-1 Audio/video,information and communication technology equipment—Part 1:Safety requirements

[12] IEC TS 62538 Categorization of optical devices

[13] ITU-T Recommendation G.664 Optical safety procedures and requirements for optical transport systems

[14] SEO,K,NISHIMURA,N,SHIINO,M,YUGUCHI,R,and SASAKI, H.Evaluation of high power endurance in optical fibre links:Furukawa Review,2003, no.24,pp.17-22

[15] ROCHA,A.M.,DOMINGUES,F,FACAO,M,and ANDRE,P.S.Threshold power of fiber fuse effect for different types of optical fiber:Proc.ICTON 2011.Tu.P.13

www.bzfxw.com