



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 7247.4—2016/IEC 60825-4: 2011  
代替 GB/T 18151—2008

---

## 激光产品的安全 第 4 部分：激光防护屏

Safety of laser products—Part 4: Laser guards

(IEC 60825-4:2011, IDT)

2016-08-29 发布

2017-03-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国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 激光加工机用防护屏 .....	3
4.1 设计要求 .....	3
4.2 性能要求 .....	3
4.3 认证要求 .....	4
4.4 用户须知 .....	4
5 专用激光防护屏 .....	4
5.1 设计要求 .....	4
5.2 性能要求 .....	4
5.3 规格要求 .....	4
5.4 检测要求 .....	5
5.5 标识要求 .....	5
5.6 用户须知 .....	5
附录 A (资料性附录) 关于激光防护屏设计和选择的一般导则 .....	7
附录 B (资料性附录) 可预计辐照限(FEL)的评估 .....	9
附录 C (资料性附录) 术语定义的详释 .....	15
附录 D (规范性附录) 专用激光防护屏试验 .....	17
附录 E (资料性附录) 激光防护屏放置和安装导则 .....	21
附录 F (资料性附录) 激光防护屏适用性评估指南 .....	29
附录 G (规范性附录) 光束传输系统 .....	53
参考文献 .....	59
图 B.1 漫反射的计算 .....	10
图 B.2 镜反射的计算 .....	10
图 B.3 可预见缺陷状态的几个例子 .....	11
图 B.4 在工作状态下出现激光束异常需要临时防护屏的 4 个例子 .....	12
图 B.5 机械重复运转过程中激光防护屏受辐照的图示说明 .....	13
图 B.6 估算的辐照持续时间的 2 个例子 .....	13
图 B.7 没有安全监控装置的机器的估算的辐照持续时间 .....	14

图 C.1	激光加工机防护屏的图示说明 .....	15
图 C.2	主动式激光防护屏参数的图示说明 .....	16
图 D.1	测试光路简图 .....	18
图 D.2	测试中的防护屏通风简图 .....	19
图 F.1	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后,1 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力 .....	42
图 F.2	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后,1 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力 .....	42
图 F.3	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后,2 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力 .....	43
图 F.4	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后,2 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力 .....	43
图 F.5	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后,3 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力 .....	44
图 F.6	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后,3 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力 .....	44
图 F.7	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后,2 mm 厚的铝板呈现的抗损伤能力 .....	45
图 F.8	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后,2 mm 厚的铝板呈现的抗损伤能力 .....	45
图 F.9	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后,1 mm 厚的不锈钢板呈现的抗损伤能力 .....	46
图 F.10	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后,1 mm 厚的不锈钢板呈现的抗损伤能力 .....	46
图 F.11	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后,6 mm 厚的聚碳酸酯板呈现的抗损伤能力 .....	47
图 F.12	用连续波 CO <sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后,6 mm 厚的聚碳酸酯板呈现的抗损伤能力 .....	47
图 F.13	用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 10 s 后,1 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力 .....	48
图 F.14	用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 100 s 后,1 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力 .....	48
图 F.15	用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 10 s 后,2 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力 .....	49
图 F.16	用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 100 s 后,2 mm 厚的镀锌钢板作损伤试验呈现的 抗损伤能力 .....	49
图 F.17	用连续波 Nd:YAG 激光散焦激光束辐照 10 s 后,3 mm 厚的镀锌钢板散焦呈现的 抗损伤能力 .....	50
图 F.18	用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 100 s 后,3 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力 .....	50
图 F.19	用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 10 s 后,2 mm 厚的铝板呈现的抗损伤能力 .....	51
图 F.20	用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 100 s 后,2 mm 厚的铝板呈现的抗损伤能力 .....	51
图 F.21	用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 10 s 后,1 mm 厚的不锈钢板呈现的抗损伤能力 .....	52
图 F.22	用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 100 s 后,1 mm 厚的不锈钢板呈现的抗损伤能力 .....	52
表 D.1	激光防护屏测试等级 .....	19
表 F.1	ALARP 的应用 .....	31
表 G.1	采用自由空间传输的光束传输系统 .....	56
表 G.2	采用光纤光缆的光束传输系统 .....	57

## 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3部分：激光显示与表演指南；
- 第4部分：激光防护屏；
- 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4部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 18151—2008《激光防护屏》，与 GB/T 18151—2008 相比，主要技术内容变化如下：

- 修改了前言部分；
- 修改了规范性引用文件的版本：“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)”；
- 增加了规范性引用文件：GB/T 16855.1—2008 机械安全 控制有关安全部件 第1部分：设计通则(ISO 13849-1:2006, IDT)；
- 增加了规范性引用文件：GB/T 15706—2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小(ISO 12100:2010, IDT)；
- 修改了前言中引用文件的写法(见前言, 2008年版的前言)；
- 增加附录 G 的提及(见第1章)；
- 增加附录 F 的提及(见第1章)；
- 修改了正文中引用文件的写法(见正文, 2008年版的正文)；
- 修改了术语和定义的名称：维护检查间隔时间、安全维护检查(见 3.9、3.16, 2008年版的 3.9、3.16)；
- 修改了英文单词的翻译：安全防护光闸、维护、检修(见 3.8、3.9、3.17, 2008年版的 3.8、3.9、3.17)；
- 增加附录 E 的提及(见 4.1)；
- 修改了英文单词的翻译：辐照度或辐照量(见 5.3, 2008年版的 5.3)；
- 修改了英文单词的翻译：标识要求(见 5.5, 2008年版的 5.5)；
- 修改了附录中引用文件的写法(见附录, 2008年版的附录)；
- 修改了英文单词的翻译：偏离、危害(见 A.1.2、A.1.3, 2008年版的 A.1.2、A.1.3)；
- 修改了英文单词的翻译：风险(见 B.1, 2008年版的 B.1)；
- 修改了图 B.6 和图 B.7(见附录 B, 2008年版的附录 B)；
- 修改了图 B.1、图 B.2、图 B.3、图 B.4、图 B.5、图 B.6 和图 B.7 的图题(见附录 B, 2008年版的附录 B)；
- 修改了图 C.2(见附录 C, 2008年版的附录 C)；
- 将资料性附录 D 改为规范性附录 D；
- 补充说明了专业防护屏试验条件(见 D.1, 2008年版的 D.1)；

## GB/T 7247.4—2016/IEC 60825-4:2011

- 增加了专业防护屏制造商提供的信息(见 D.4)；
- 增加了图 D.2(见附录 D)；
- 修改了英文单词的翻译:眼的标称危害距离、总则、机器人、聚焦头、光束传输、异常、指引、工艺(见 E.2.6、E.3.2、E.3.2.5、E.3.2.7、E.3.2.9、E.3.2.9、E.5、E.5.3,2008 年版的 E.2.6、E.3.2、E.3.2.5、E.3.2.7、E.3.2.9、E.3.2.9、E.5、E.5.3)；
- 修改了附录 F 的标题(见附录 F,2008 年版的附录 F)；
- 修改了 F.2.1 总则中部分英文单词的翻译(见 F.2.1,2008 年版的 F.2.1)；
- 修改了英文单词的翻译:最低合理可行、可移动的联锁防护屏、固态金属板、支撑、人机因素、媒介、故障(见 F.2.3、F.5.4、F.6.1.2、F.6.2、F.6.4、F.8.2、F.8.4,2008 年版的 F.2.3、F.5.4、F.6.1.2、F.6.2、F.6.4、F.8.2、F.8.4)；
- 修改了图 F.1、图 F.2、图 F.3、图 F.4、图 F.5、图 F.6、图 F.7、图 F.8、图 F.9、图 F.10、图 F.11、图 F.12、图 F.13、图 F.14、图 F.15、图 F.16、图 F.17、图 F.18、图 F.19、图 F.20、图 F.21 和图 F.22(见附录 F,2008 年版的附录 F)；
- 增加了规范性附录 G:光束传输系统；
- 删除了参考文献[4] GB/T 16855.100—2005 机械安全 控制系统有关安全部件 第 100 部分:GB/T 16855.1 的应用指南”；
- 增加了参考文献[5] GB/T 16856.2—2008 机械安全 风险评价 第 2 部分:实施指南和方法举例；
- 增加了参考文献[8] GB/T 18831—2002 机械安全 带防护装置的联锁装置 设计和选择原则；
- 增加了参考文献[11] ISO 11252:2004 激光器与激光相关装备 激光器件 文件的最低要求(Lasers and laser-related equipment—Laser device—Minimum requirements for documentation)。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60825-4:2011《激光产品安全 第 4 部分:激光防护屏》(英文版)。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

——GB/T 18490—2001 激光加工机械 安全要求(eqv ISO 11553:1996)

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:中国计量科学研究院、北京光电技术研究所、中国电子科技集团公司第十一研究所、上海市计量测试技术研究院、武汉华工激光工程有限责任公司。

本部分主要起草人:邓玉强、马冲、孙青、吴爱平、戚燕、夏铭、卢飞星、张平雷、李京。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB 18151—2000、GB/T 18151—2008。

## 引 言

在低量值的辐照度或辐照量照射下,对防护屏的材料和厚度的选择,主要取决于屏蔽激光辐射所需的光学衰减量。然而,在高量值的辐照度或辐照量照射下,还要考虑激光辐射对消蚀防护屏材料的效果——典型的现象有熔融、氧化或烧蚀,此过程可导致激光辐射穿透不透光材料。

GB 7247.1—2012 给出了激光防护屏的一般导则,包括人员接触、联锁装置和标记,以及高功率激光防护罩和围封设计。

本部分仅涉及激光辐射的防护,不涉及材料加工中二次辐射可能引起的危害。

激光防护屏也可遵照激光防护镜的标准,但对于满足本部分的要求是不充分的。

术语“辐照度”含有“辐照度”或“辐照量”的意思,应根据情况适当选取。

# 激光产品的安全

## 第4部分:激光防护屏

### 1 范围

《激光产品的安全》的本部分说明了用来围封激光加工机工作区域的永久和临时(如检修)激光防护屏的要求,以及专用激光防护屏的技术要求。

本部分适用于包括目视透明屏及视窗、围挡、激光防护帘和防护墙在内的防护屏的所有组成部分(见附录G)。对激光产品的不围封加工区的防护罩中的光路元件、光束终止器以及其他部分的要求包含在GB 7247.1—2012中。

本部分还指出了:

- a) 如何评估和规范激光防护屏的防护性能(参见附录F);
- b) 如何选择激光防护屏。

### 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)

GB/T 15706—2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小(ISO 12100:2010,IDT)<sup>1)</sup>

GB/T 16855.1—2008 机械安全 控制有关安全部件 第1部分:设计通则(ISO 13849-1:2006, IDT)

ISO 11553-1:2005 机械安全 激光加工机械 安全性要求(Safety of machinery—Laser processing machines—Safety requirements)

### 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。

#### 3.1

**主动式防护屏的防护时间 active guard protection time**

主动式激光防护屏前表面在一给定激光照射下,主动式防护屏发出使其后表面的激光辐射不超过1类可达发射极限(AEL)激光辐射的终止信号的最短时间。

#### 3.2

**主动式防护屏终止信号 active guard termination signal**

主动式防护屏在前表面受到过量激光照射时所发出的旨在触发激光辐射自动终止的信号。

1) GB/T 15706—2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小(ISO 12100:2010, IDT)替代了转化标准原文引用的三个文件:GB/T 15706.1—2007 机械安全 基本概念与设计通则 第1部分:基本术语和方法(ISO 12100-1:2003, IDT)、GB/T 15706.2—2007 机械安全 基本概念与设计通则 第2部分:技术原则(ISO 12100-2:2003, IDT)、GB/T 16855.1—2008 机械安全 风险评价 第1部分:原则(ISO 14121-1:2007, IDT)。

GB/T 7247.4—2016/IEC 60825-4:2011

注：安全连锁装置变为开路的动作认为是一个信号，下同。

3.3

**主动式激光防护屏 active laser guard**

作为安全控制系统一部分的激光防护屏。当激光防护屏前表面受到激光辐射时，安全控制系统依据受辐射情况产生一个主动防护的终止信号来终止激光辐射。

3.4

**可预计照射限 foreseeable exposure limit; FEL**

在维护检查间隔期内，在正常且合理的可预料的故障条件下估算的激光防护屏前表面所能受到的最大激光照射量。

3.5

**前表面 front surface**

激光防护屏暴露于激光辐射的表面。

3.6

**激光防护屏 laser guard**

通过防止其后表面可能接触超过 1 类 AEL 的激光辐射来限制危险区范围的实物挡屏。

3.7

**激光加工机 laser processing machine**

在 ISO 11553-1 规定范围内，采用激光对材料进行加工的机械。

3.8

**激光终止时间 laser termination time**

主动式防护屏发出终止信号到激光停止发射所占用的最长时间。

注：激光终止时间与主动式激光防护屏的响应时间无关，而与激光加工机，特别是激光安全防护光闸的响应时间有关。

3.9

**维护检查间隔 maintenance inspection interval**

激光防护屏相邻两次安全维护检查间隔的时间。

3.10

**被动式激光防护屏 passive laser guard**

仅依靠其本身物理性质工作的激光防护屏。

3.11

**加工区 process zone**

激光束与被加工材料相互作用的区域。

3.12

**专用激光防护屏 proprietary laser guard**

制造商提供的具有特定防护照射限值的被动式或主动式激光防护屏。

3.13

**防护照射限 protective exposure limit; PEL**

在激光防护屏后表面可接触到的激光辐射不超过 1 类 AEL 的条件下，其前表面所允许的最大激光辐射量。

注 1：实际上，可能存在多于一次的激光最大辐射。

注 2：如果激光防护屏的不同部位明显可辨（例如，激光防护屏上的观察窗口），不同 PEL 可指定用于激光防护屏的不同部位。



## 3.14

**后表面 rear surface**

激光防护屏的背离相关激光辐射且通常允许使用人员接触的表面。

## 3.15

**可预料的事件(或条件) reasonably foreseeable**

可能发生且不能忽视其发生(或存在)的可能事件(或条件)。

## 3.16

**安全维护检查 safety maintenance inspection**

按制造商提供的说明书进行的记录在案的检查。

## 3.17

**临时激光防护屏 temporary laser guard**

在激光加工机的某些检修操作中,限制危险区范围的替代或补充的主动式或被动式激光防护屏。

## 4 激光加工机用防护屏

本章规定了激光加工机制造商提供的围封加工区的激光防护屏的要求。

### 4.1 设计要求

激光防护屏应满足 GB/T 15706 关于防护屏的一般要求及其定位和固定方法的更为具体的要求。此外,还应符合下列特定要求。

#### 4.1.1 一般要求

激光防护屏在其预定位置,暴露于 FEL 以下的激光辐射时,处于防护屏后表面及其以外区域,应当不致发生各种有关危害。

注 1: 有关危害的例子包括:高温、泄放有毒材料、着火、爆炸和静电。

注 2: 参见附录 B 中对 FEL 的估算。

#### 4.1.2 激光防护屏的消耗部分

为了替换激光防护屏易受激光辐射损害的部分,应当提供备件。

注: 例如更换损坏部件或更换整张屏。

### 4.2 性能要求

#### 4.2.1 通则

激光防护屏在维护检查间隔期内,当其前表面暴露于 FEL 激光辐射时,均应防止透过其后表面的激光辐射超过 1 类的 AEL。对于自动激光加工机来讲,维护检查间隔时间应不超过 8 h。

在激光防护屏所指定的工作条件下和预期工作期限内均应满足上述要求。

注 1: 上述要求包括减少激光辐射的透射和降低激光引发的损伤两个方面。

注 2: 由于老化、紫外辐射照射、某些气体、温度、湿度和其他环境条件,某些材料可能丧失其防护性能。此外,在高强度激光照射下,即使该处没有可见性损伤(比如可逆的漂白效应),某些材料也会透射激光辐射。

#### 4.2.2 主动式激光防护屏

a) 在可预计照射限下,主动式防护屏的防护时间应超过激光辐射的终止时间。

## GB/T 7247.4—2016/IEC 60825-4:2011

- b) 主动式防护屏发出的终止信号应为看得见或听得到的警告信号。在激光发射重新开始以前需要进行手动复位。

注：参见 C.2 对术语的详释。

### 4.3 认证要求

当激光加工机的制造商选择制造激光防护屏时，制造商应证实该防护屏遵守 4.1 的设计要求，并满足 4.2 给出的性能要求。

注：关于激光防护屏设计和选择的导则参见附录 A。

#### 4.3.1 性能认证

4.3.1.1 应在每个确认的 FEL 下对整个激光防护屏或其结构材料的合适样品进行检测。

注 1：综合各种激光和防护屏材料的 FEL 分类表以及适用的检测步骤，将作为本部分以后修订文件中的资料以附录形式发布。绝大多数情况下，这可以给直接检测提供简单的备选。

注 2：关于 FEL 的估算参见附录 B。

4.3.1.2 对于检测目的来说，FEL 照射可按下列条件之一获得：

- a) 通过计算或测量照射量，进而复现指定的辐照条件；或者
- b) 如果没有量化的 FEL，可营造加工机工作时需要的条件，并在此条件下产生 FEL。

激光防护屏或样品的条件应与防护屏的在常规检查指示和检修寿命范围内前表面的物理条件相一致，使激光防护屏的激光辐射防护属性降到最低（例如破损和表面污染）（见 4.4.2）。

### 4.4 用户须知

4.4.1 制造商应给用户提供的文件，详述防护屏的检验和测试方法，清洁、更换或修理损伤部件，以及使用限制，并说明维护检查间隔时间。

4.4.2 制造商应给用户提供的文件，指出当主动式防护屏的安全控制系统产生任何一个动作后，在重新复位安全控制系统前，应调查引发安全控制系统动作的原因，检查损伤，及采取必要的纠正措施。

## 5 专用激光防护屏

本章列出了对专用激光防护屏的制造商所应满足的要求。

### 5.1 设计要求

专用激光防护屏按用户须知（见 5.6）的规定使用，当其暴露于 FEL 以下的激光辐射时，在防护屏后表面不产生各种伴随危害。

### 5.2 性能要求

当激光防护屏前表面承受规定的 PEL 照射时，其后表面可接触到的激光辐射应不超过 1 类 AEL。对于主动式激光防护屏，此要求应适用于其整个工作期间接触到的激光辐射，主动式防护屏防护时间应从终止信号发出之时计算。

在正常的工作条件下，防护屏应满足此要求直至到达其预期工作寿命。

### 5.3 规格要求

PEL 的全部规格应包括以下内容：

- a) 在规定照射面积的上限条件下,激光防护屏前表面上的辐照度或辐照量(分别以  $\text{W}/\text{m}^2$  或  $\text{J}/\text{m}^2$  为单位)的大小及其随时间的变化;
- b) 在上述条件下,总辐照的持续时间;
- c) 该 PEL 所适用的波长;
- d) 激光辐射的入射角和偏振态(如果相关的话);
- e) 辐照面积的最小尺寸(例如,可适用于当主动式激光防护屏用分离传感元件时,则直径小的激光束可能通过防护屏而未被发现);
- f) 主动式激光防护屏的防护时间。

注 1: 术语详释参见 B.1。

注 2: 一般规定一个范围或一组值,而不是单一值。

注 3: 合适的图形表示(例如,其他参数不变条件下的辐照度与持续时间的关系)。

## 5.4 检测要求

### 5.4.1 概述

应对整个激光防护屏或其合适样品进行检测。但不管用哪一种方式检测,激光防护屏或样品都应复现或超过前表面所允许的最坏的物理条件,包括表面反射率降低和出现日常维护说明书范围内所允许的损伤(见 5.6)。

前表面检测时的辐照应按规定使用 PEL,对用样品检测的情况下,应按 5.4.2 的规定。

当前表面处于 PEL 照射条件时,在激光防护屏后表面测得可接触到的激光辐射应不超过 1 类 AEL(检测应按 GB 7247.1—2012 中第 8 章的规定)。这一要求适用于 PEL 规定的辐照持续时间或规定的主动式防护屏的防护时间,主动式防护屏防护时间应从终止信号发出之时计算。

注: 在所用材料对激光波长呈现不透明(例如金属)的情况下,透过后表面的辐射将仅是 1 类 AEL。在这种情况下,从零到迅速超过 1 类 AEL 的透射时间将因此加快,而且不需要灵敏的辐射探测器。

### 5.4.2 样品检测

应按照附录 D 规定的步骤和方法对防护屏样品材料的前表面耐辐照性能进行检测。

## 5.5 标识要求

5.5.1 所有标识都应放在防护屏的后表面。

5.5.2 若防护屏对摆放的方位敏感时,则防护屏后表面应做清晰可辨的标记。

5.5.3 如果防护屏仅是部分前表面为激光防护屏,则这部分面积应使用醒目的彩色轮廓和文字,以便于识别激光防护屏的有效外沿。

5.5.4 标记上应说明全部 PEL 规格。

5.5.5 根据 ISO 11553-1,制造商应按照本部分的要求提供生产厂家、制造时间和地点的信息,而且应出具符合本部分的声明。

## 5.6 用户须知

除 5.3 所列规格外,专用激光防护屏的制造商应提供给用户以下资料:

- a) 激光防护屏使用限制的描述;
- b) 激光防护屏装配和连接的方式;
- c) 激光防护屏的安装资料——对于主动式激光防护屏,应包括防护屏的接口和电源要求;

- d) 维护要求,包括检查细节和检测步骤,清洁、更换或维修损坏的部件;
- e) 主动式防护屏安全控制系统发出任何一个动作后,在重新复位控制系统前必须查明引发安全控制系统启动的原因,检查损伤,并采取必要的纠正措施;
- f) 5.5 的标记及其位置,如果仅是防护屏的部分前表面是激光防护屏,则这一面积应当标识清楚以便区别;
- g) 遵守本部分列出的使用和检测要求的声明。

## 附录 A (资料性附录)

### 关于激光防护屏设计和选择的一般导则

#### A.1 激光防护屏的设计

##### A.1.1 被动式激光防护屏

被动式激光防护屏示例如下：

- a) 基于热传导原理的金属嵌板,若要增强其性能可通过强制风冷或水冷,以便在可预料的故障发生时,使表面温度保持在其熔点以下。
- b) 在激光波长下不透射的透明片,它在激光加工机正常工作情况下可承受弱激光照射而不受影响。

##### A.1.2 主动式激光防护屏

主动式激光防护屏示例如下：

- a) 嵌有多个分立的热传感器以探测过热的防护屏。

注：热传感器的间隔应当根据激光束偏离的最小尺寸而定。

- b) 两块密封嵌板间装有增压的液体或气体介质和压力传感器件的激光防护屏,该压力传感器件能探测防护屏前表面出现孔缝后的压力下降。

##### A.1.3 危害指示(被动式防护屏)

应在可行处给出激光防护屏暴露于激光辐射危险的可见指示(例如在激光防护屏正反两面均涂一层合适的漆)。

##### A.1.4 电源(主动式防护屏)

如果主动式防护屏需要电源以实现自身功能,则该电源应与激光器联锁,使激光器在无此电源时无法工作。

#### A.2 激光防护屏的选择

简便的选择过程如下：

- a) 为激光防护屏确定所选位置并估计该位置处的 FEL。附录 B 给出了对 FEL 值的估算导则。
- b) 当故障发生时,应把 FEL 降到最低,比较好的办法是通过具有自动监视功能的激光加工机来探测出故障发生并限制曝光时间。

另一些例子如下：

- 确认激光防护屏距离聚焦光学系统产生的焦点足够远；
- 把激光防护屏易损部分(如视窗)安装在远离可能暴露于高辐射区；
- 将激光防护屏远离激光加工区；
- 对临时性激光防护屏,还需在必要的检修文件上增加：

- 一人或多人参与监督激光防护屏前表面状态,以减少被动式防护屏的估算的辐照持续时间；

- 操作人员使用保持运行的控制器来监督激光防护屏的前表面状态,以减少被动式防护屏的估算的辐照持续时间;
  - 采用局部的临时性防护屏、光阱和光阑,以便吸收各种较强的异常激光束;
  - 危险区用异常激光警告器,防护屏放在危险区外,以减少估算的辐照持续时间;
- 使用临时性激光防护屏时,应在机器设计中添加光束控制功能装置,以便机器工作时改善激光束的控制,例如:
- 检修时需要用于附加光束调整的可精密定位的夹持器(比如转镜);
  - 限制光束控制范围的托架。

三种选择如下:其顺序与优先选择无关。

#### A.2.1 选择 1:被动式激光防护屏

这是最简便的选择。

注:在吸收激光波长由少数的添加剂占主导地位时,如塑料中的染料,防护屏的设计和质量控制应特别重点考虑。此情况下,材料制造商如未指明激光吸收体的浓度或该材料的光衰减波长,同一批材料样品应首先按 4.3.1 所述进行测试。

#### A.2.2 选择 2:主动式激光防护屏

如用普通被动式激光防护屏不能将 FEL 降低到可防护水平,则应采用主动式激光防护屏。

#### A.2.3 选择 3:专用激光防护屏

如果估算的 FEL 值低于激光防护屏制造商标称的 PEL 值,可使用专用激光防护屏。

## 附录 B (资料性附录)

### 可预计辐照限(FEL)的评估

#### B.1 概述

FEL 值可通过测量或计算加以评估(见下文)。

GB/T 16856 提供了风险评估的一般方法。风险评估时应考虑机器正常运行时受到的累计辐照量。

应从评估中辨识最需要的辐照度、辐照面积和辐照持续时间的组合情况。有时必须识别几种 FEL。例如,一种情况是在较低的辐照度下使辐照时间尽可能长,而另一种情况是在较短的辐照时间下使辐照度尽可能高。

全部 FEL 特性包含下列信息:

a) 激光防护屏前表面上的最大辐照度(或辐照量)。

注 1: 辐照度表示为总功率或总能量除以防护屏前表面面积或特定面积,视情况而定。

b) 辐照度所允许的强度量级下的辐照面积的上限。

注 2: 对于防护散射激光,不合适设定面积限制。而对激光的直接照射而言,更合适设定受辐照面积的上限。

c) 辐照瞬时特性,指是连续激光还是脉冲激光。若是脉冲激光,必须明确脉冲激光的单脉冲持续时间和脉冲重复频率。

d) 辐照的总持续时间。

注 3: 该术语的详细描述见 B.4。

e) 辐射波长。

f) 入射角和辐射偏振(如果与偏振相关)。

注 4: 对利用干涉涂层反射激光辐射的激光防护屏来说,规定入射角特别重要。

注 5: 注意在入射角为布儒斯特角时,“p”偏振的辐射可能会强烈地耦合进防护屏表面。

g) 最小辐照面积的确定(例如用带有分立传感元件的主动式激光防护屏,可能发生束径较小的激光束透过而未被探测到的情况)。

h) 主动式激光防护屏的防护时间。

#### B.2 激光辐射的反射

##### B.2.1 漫反射

假定一个具有 100% 反射率的朗伯反射体[见式(B.1)]:

$$E_A = \frac{P_O}{\pi} \cdot \frac{\cos\theta}{R^2} \cdot \cos\varphi \quad \dots\dots\dots(B.1)$$

式(B.1)中各参数的物理意义见图 B.1。

##### B.2.2 镜反射

概括镜反射的情况很困难。

对于具有高斯分布、功率为  $P_O$ 、聚焦透镜处直径为  $d_{63}$ 、焦距为  $f$  的圆形对称激光束,距焦点垂直距离为  $R$  的平面上的最大辐照度(在高斯分布中心)[见式(B.2)]:

$$E_{AA'} = \frac{4P_0\rho}{\pi d_{63}^2} \left(\frac{f}{R}\right)^2 \dots\dots\dots (B.2)$$

式中  $\rho$  为工件表面的反射率。其他参数的物理意义见图 B.2。  
 注意：某些曲面可能增大反射的危害。

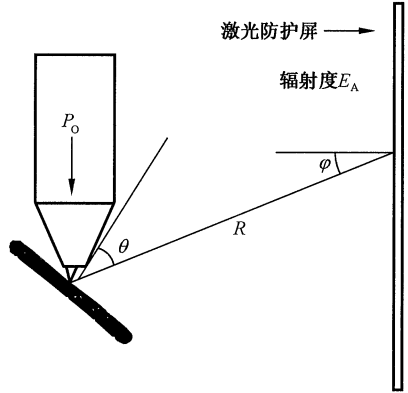


图 B.1 漫反射的计算

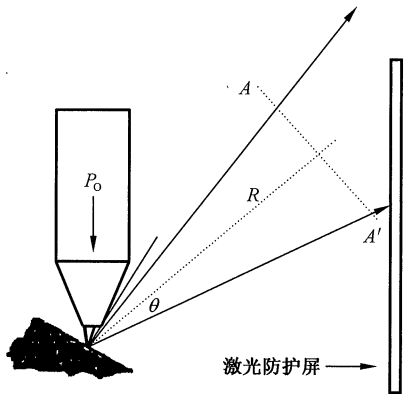
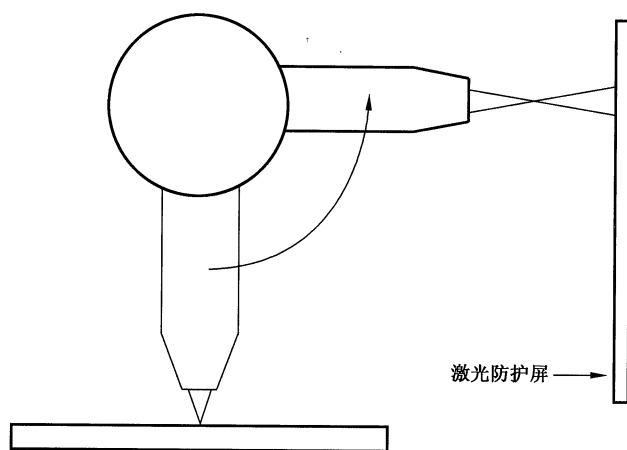


图 B.2 镜反射的计算

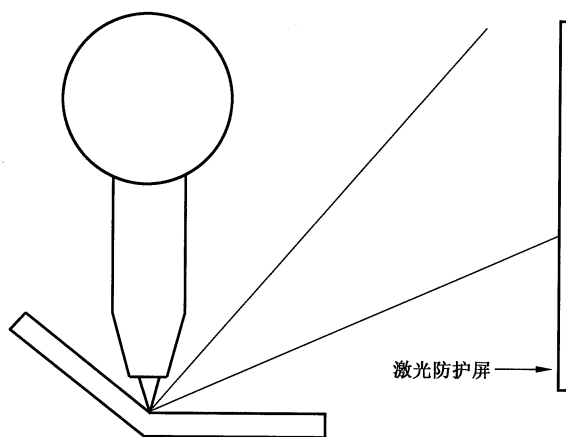
**B.3 评估条件的例子**

对正常工作期间容易发生的各种 FEL 应借助有效的激光参数、工件材料、几何结构和工艺方法所形成的可预见的危害最严重的组合(见图 B.3、图 B.4)进行估算(GB/T 7247.14 提供了用户的指导)。

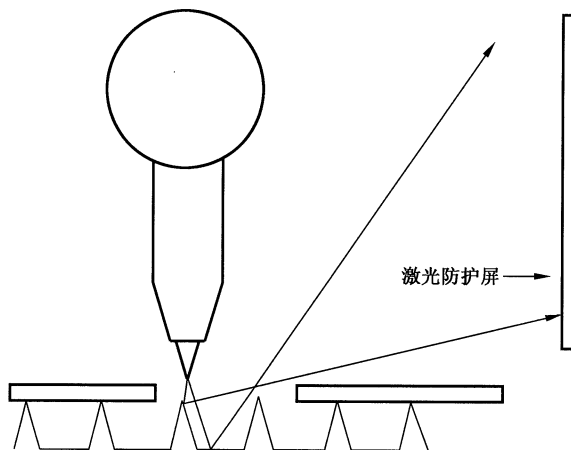




a) 软件故障



b) 工件弯曲或紧固不适



c) 无工件

图 B.3 可预见缺陷状态的几个例子

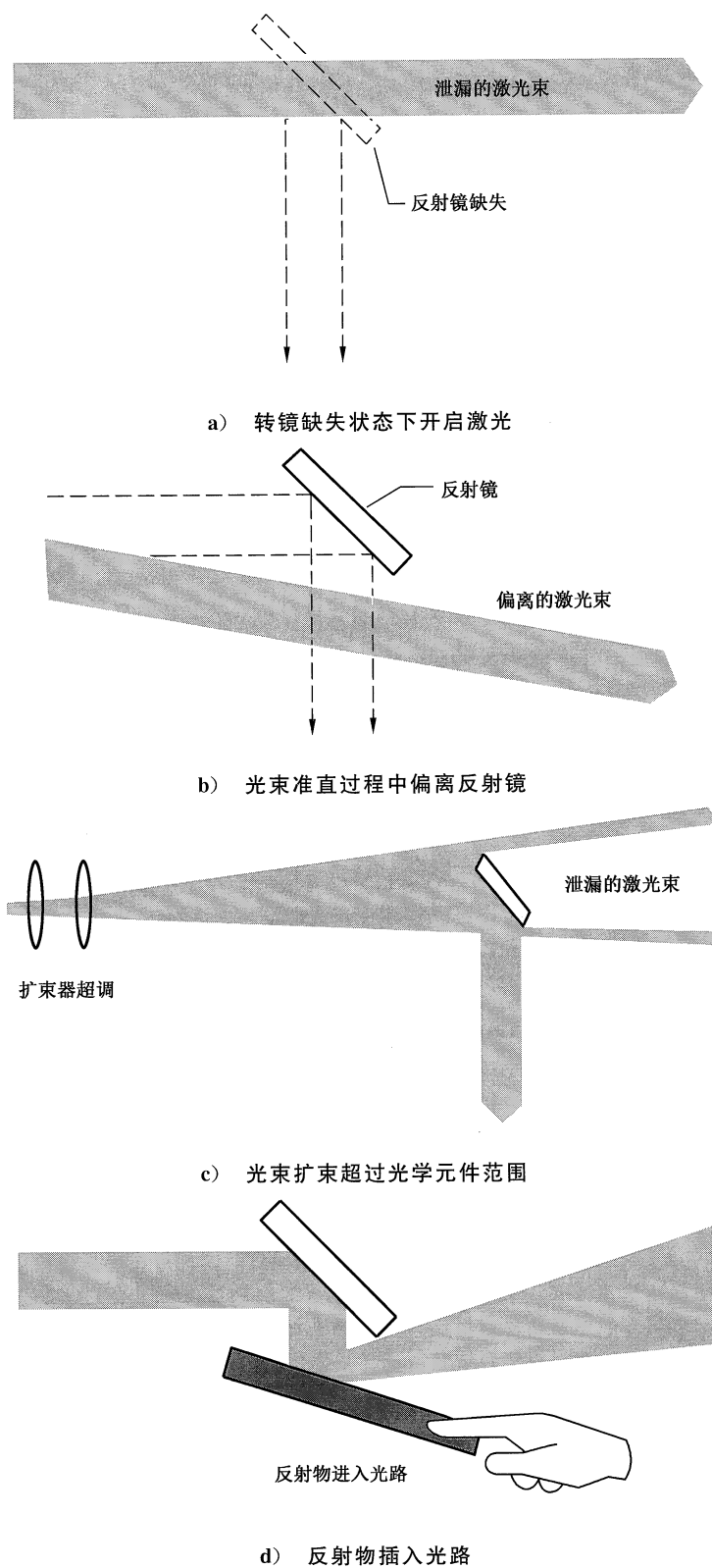


图 B.4 在工作状态下出现激光束异常需要临时防护屏的 4 个例子

B.4 辐照持续时间

B.4.1 正常工作

激光防护屏在无故障工作时受到的照射可能包含每一个机器工作周期内重复的低量级反射、散射和透射的辐射。在这种情况下,按无故障工作估算的 FEL 将包括机器工作期间防护屏上辐照度的变化和在一个安全维护检查时间间隔机器重复运行的最多次数(见图 B.5)。

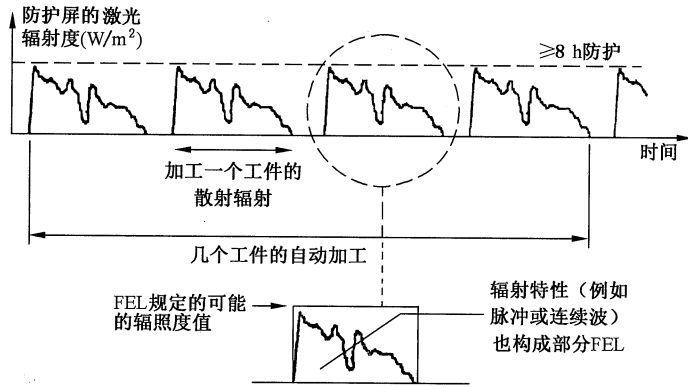


图 B.5 机械重复运转过程中激光防护屏受辐照的图示说明

B.4.2 故障情况

涉及某种机器监视装置的安全控制系统可减少防护屏在机器故障状态下所能安全承受激光辐射照射的时间。图 B.6 和图 B.7 给出了两个例子。

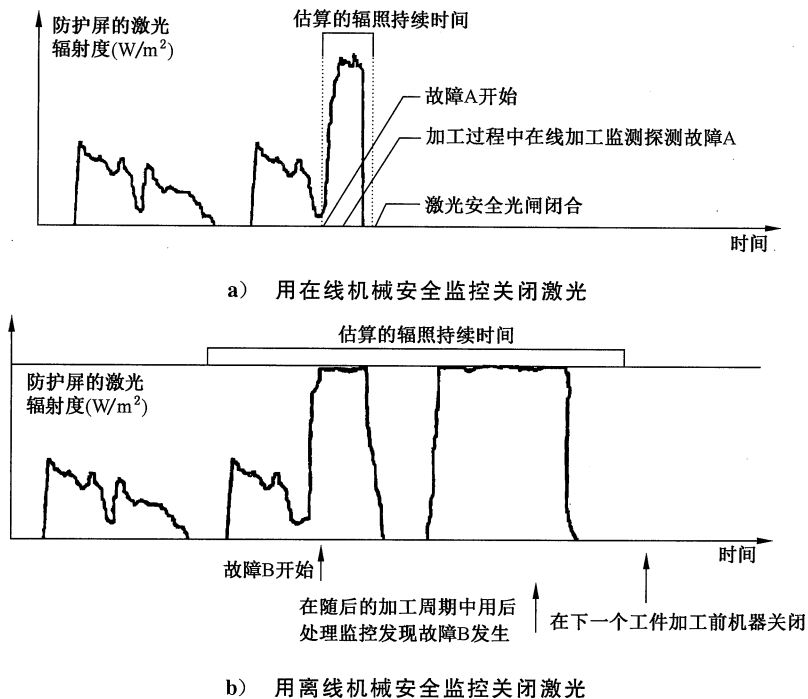


图 B.6 估算的辐照持续时间的 2 个例子

对未被安全控制系统探测到的故障,估算的辐照持续时间就是整个安全维护检查间隔期。

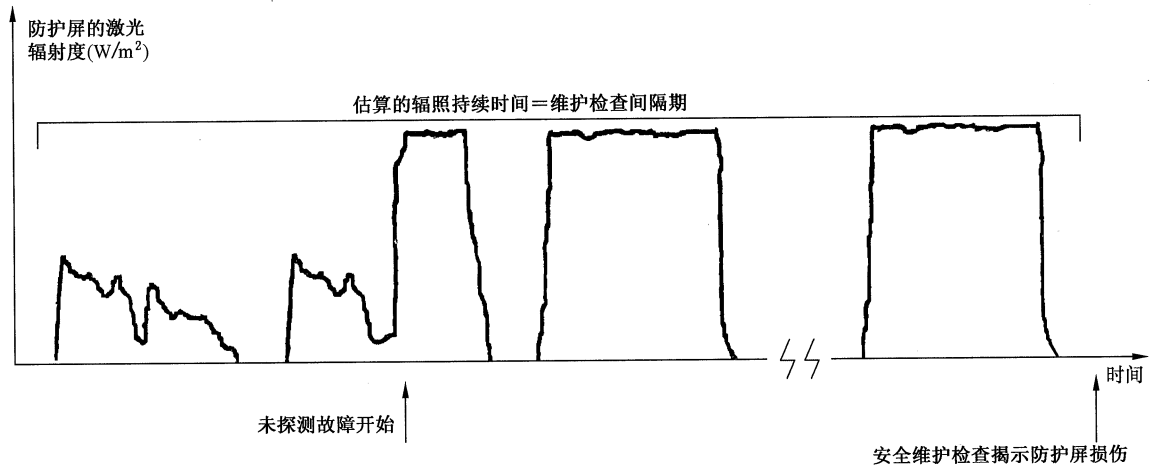


图 B.7 没有安全监控装置的机器的估算的辐照持续时间

#### B.4.3 检修作业

在检修作业期间,一个临时防护屏从受辐照开始到终止时直接影响激光终止测量时间的各种因素包括:

- 是否使用预置激光定时开关;
- 故障状态下的控制程度;
- 是否由人监管防护屏状态(对被动式防护屏);
- 提供保持防护屏正常工作的控制器;
- 防护屏在受到超量激光照射时的预估受损程度(对被动式防护屏);
- 防护屏前表面的局部遮挡程度(对被动式防护屏);
- 防护屏需要监管的总面积(对被动式防护屏);
- 检修人员的培训程度。

为识别危害形态和估算可预料的辐照量级,应进行风险评估。当需要人员介入时,则必须限制临时防护屏的辐照持续时间,时间应不少于 10 s。应提供各种合理可行的工程和行政控制手段,以减少对临时防护屏的依赖。

#### B.5 参考文献

GB/T 16856.2—2008 机械安全 风险评价 第 2 部分:实施指南和方法举例

附 录 C  
(资料性附录)  
术语定义的详释

### C.1 FEL 和 PEL 的区别

图 C.1 形象地说明了 FEL 和 PEL 的区别。

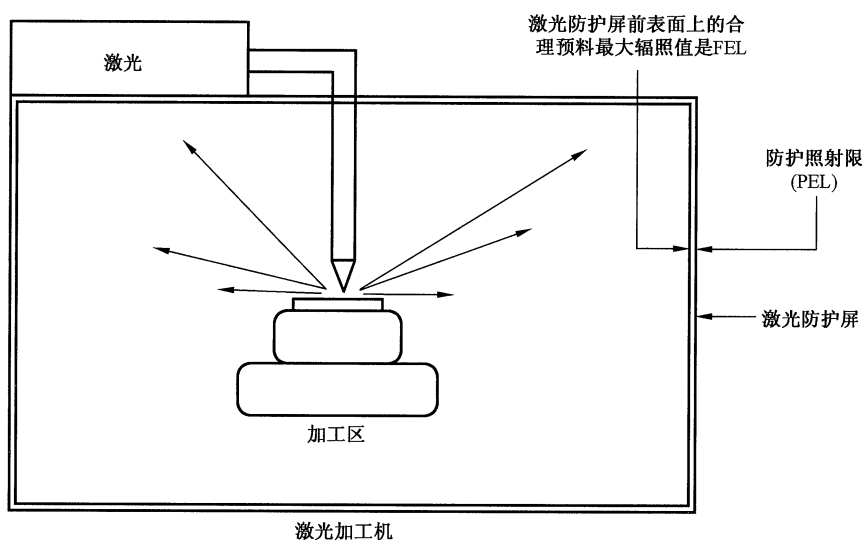


图 C.1 激光加工机防护屏的图示说明

激光防护屏在特定位置上的预计辐照限(FEL)是激光加工机制造商在正常和合理的可预料故障的情况下估算的最大辐照量。FEL 值定义了激光防护屏可用在该位置的防护照射限(PEL)的最小值。

PEL 则指激光防护屏防御入射激光辐射的能力。激光加工机制造商应通过试验来证实激光防护屏的适用性。可通过直接试验或测定防护屏的 PEL 或购置指定 PEL 等级的专用防护屏实现。

### C.2 主动式防护屏的参数

主动式防护屏有两个重要部件：

- a) 一块对于给定激光波长高度衰减的实物隔板,对低量级的激光辐射(如漫散射辐射)起着被动式激光防护屏的作用;而对危险量级的激光辐射,只能在短时间内起到防护作用;
- b) 一个装有传感器的安全控制系统,该器件直接或间接地(例如通过测量温度或探测激光辐射在激光防护屏某部分引起的某一效应)探测入射激光辐射的危害等级,然后发出终止激光发射的信号(例如通过断开安全连锁链以此关闭激光电源或关闭安全防护光闸)。

激光防护屏在激光加工机正常运行期间,将频繁地承受低值激光的辐照。因这种辐射不致损伤防护屏,所以传感器不产生反应。反之,仅当高量值的激光辐照达到威胁激光防护屏的完整性的阈值时,传感器才有响应。在入射激光辐射的照射超过阈值和主动式激光防护屏发出终止信号之间有一个时间延迟。与此类似,在主动式防护屏发出终止信号和激光终止辐射之间也有一个时间延迟,这个时间延迟

称为激光终止时间。

图 C.2 图示说明了主动激光防护屏的参数要求。

为了满足本部分要求，下面的关系是非常重要的：

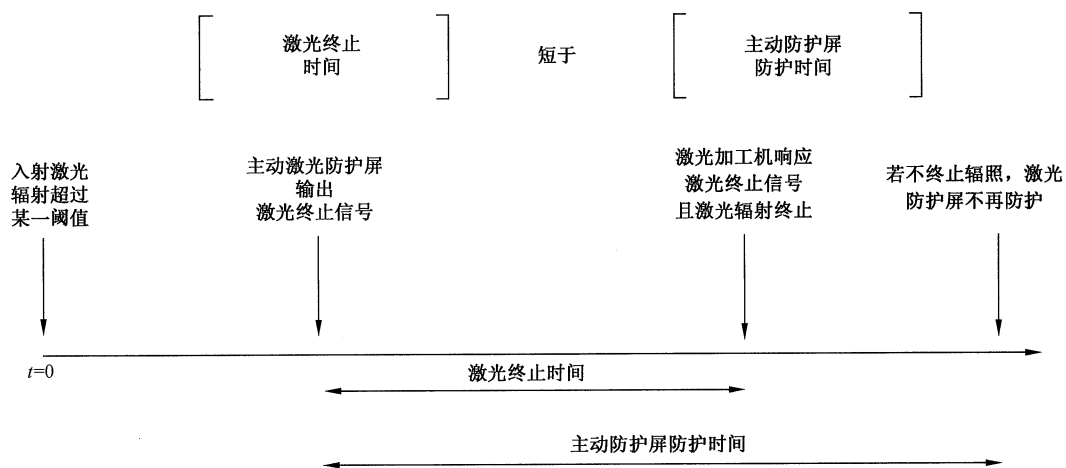


图 C.2 主动式激光防护屏参数的图示说明

**附 录 D**  
(规范性附录)  
**专用激光防护屏试验**

**D.1 总则**

本附录包含专用激光防护屏的测试条件和制造商提供的文件档案的详细内容。

应注意到,因为光束质量和其他光束参数可能存在差异或产生不可预期的特性,通过改变辐照度或通过调节防护屏至焦点的距离来使用高功率激光器模拟低功率激光参数或使用低功率激光器模拟高功率激光参数并不恰当。不允许用某一功率水平的激光去评估不同功率水平(更高功率或更低功率)激光的特性。

此处介绍的试验证明仅适用于所使用的激光参数,所以这些试验结果仅适用于激光防护屏之间的比较。

防护照射限(PEL,  $W/m^2$ )应仅适用于在试验中使用的防护屏上的光束尺寸。防护照射限将随着光斑尺寸的增大而减小,因此在防护屏上的光斑尺寸应由激光防护屏制造商特别指明。如果激光辐照值超过了防护照射限,防护屏将会被损伤并且最终烧穿或破裂。本附录的防护时间为从最初辐照到防护屏前表面的时间开始至激光辐射越过防护屏的后表面达到 GB 7247.1 定义的 1 类可达发射极限(AEL)为止的时间间隔。

**D.2 试验条件**

用不同材料和不同激光器作防护照射限试验会产生不同的结果。如果处理不当,可能导致对防护照射限结果的错误解释或对防护屏预期使用寿命的过高估计。因此,为保证防护结果的完整准确,防护时必需确保与测试一致或者相当的试验条件。

作为确认结果完整性的一部分,应尽量消除或减小系统误差和可能引起防护照射限产生错误结果或使用寿命过高估计的其他误差。这些误差可能来自于:

- a) 材料:由于反射表面氧化或污染,引起反射率变化;
- b) 激光器:用高功率激光器(例如,千瓦级),特别是光束质量好的激光器(如光纤激光器和碟片激光器)有相当大的影响,在激光防护屏表面的实际照射位置可以观察到明显影响。

在测试过程中,在光束出口与防护材料照射点之间不应产生对光学特性不利影响的机械或物理效应(例如下面描述的)是非常重要的。必须指出,应严格重复测试条件,否则产生的防护照射限结果或防护时间难以可靠复现。

影响测试结果效果的例子包括但不限于:

- 产生细微的金属烟雾,激光辐射在金属烟雾中被吸收(例如热晕)或者散射(例如米氏散射效应);
- 焦点的变化(热致焦点位移),在激光防护屏表面会引起功率密度变化。这些效应会降低在测试样品上的激光功率;
- 平衡态的建立(即热平衡或入射和反射或再发辐射之间的平衡)导致一次试验中实际无限的防护辐射限或防护时间,而在假设平衡条件下的重复测试得到有限的防护辐射限或防护时间。

试验的辐照限(对连续激光为  $W/m^2$ ,或对脉冲激光为  $J/m^2$ )应由辐照每一个样品表面的试验确定,试验至少要辐照 6 个样品。每一个样品的厚度和成分应具代表性,测试的前表面应吸收激光辐射最

强。样品直径应不小于光束直径的 3 倍(因此保证考虑了辐射热流的影响),光束直径为在照射位置处强度分布下降到峰值的  $1/e^2$  点处的测量值。只有当激光防护屏的一些连接结构部件是防护屏整体必不可少的一部分,才在测试中也应包括这些结构连接元件。在非圆形光束的情况下,应对用于试验的光束几何形状作出说明。非圆形光束是指光束截面的长轴和短轴的尺寸之差大于 10% 的光束。因为脉冲辐射可能会产生与连续波不同的结果,因此如果可能,应在脉冲和连续波运转模式下都进行测试。

注 1: 测试中使用的脉冲辐射参数应具有代表性,能代表任何特定应用的参数。

注 2: 应说明用于试验的光束的几何形状,因为它将影响到样品中的热分布。

注 3: 当测试用铝、铜、不锈钢和镀锌表面的材料作测试防护屏材料时,应特别注意样品的制备。试验观测表明,这些材料或其他相似材料上,防护照射限和防护时间高度依赖于样品制备和影响防护照射限和防护时间重复性的试验装置。

注 4: 最强的吸收情况应考虑防护屏材料的反射和防护屏材料在可预见防护期内激光防护材料表面的变化。除了在可预见工作期内加速防护屏材料反射率的自然变化和加速激光防护屏材料表面的自然变化外,测试片不应预先处理,否则可能在可预见工作期内人为地改变吸收条件。

试验中若有必要使用样品夹具,则夹具覆盖样品边缘的尺寸从样品边缘算起不应超过 3 mm;样品在试验中因为受激光束照射产生温升,则夹具和样品的接触处应采用热绝缘(例如:用陶瓷等)。

样品表面应垂直于激光束方向(或者为避免往复反射倾斜 $\pm 3^\circ$ 以内),激光束光轴位于样品中心,距离为如图 D.1 所示的  $F_1$  处。焦点后的距离  $F_1$  应不大于会聚透镜焦距( $F$ )的 3 倍。对于某个特定的应用,防护屏位于距焦点处小于 3 倍焦距( $F$ ),焦点与防护屏之间的最小距离为距离  $F_1$ 。

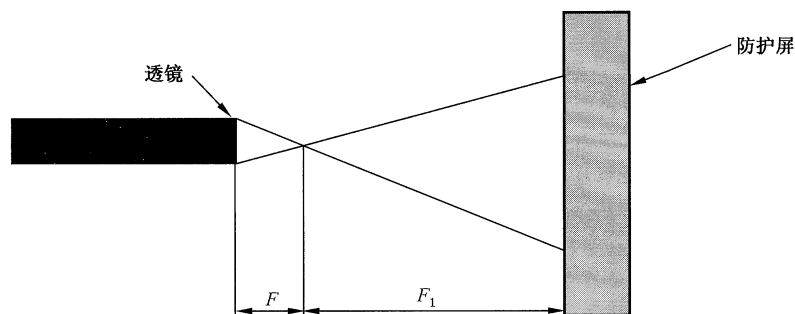


图 D.1 测试光路简图

注 5: 测试应使用如图 D.1 所示的水平指向的光束。如使用其他指向的光束,在测试报告中应指明光束指向的设置。

测试的样品表面应充分通风(例如使用交叉喷嘴),以确保测试表面和在测试样品和光束整形光学部件之间测试空间保持清洁,在测试周期内没有碎片、烟雾等。通风也应具有与预期应用空气循环一样的效果。

而且,如果防护屏样品具有多层结构,全部内表面和内部空间都应充分通风(例如使用交叉喷嘴)确保全部表面保持清洁,在测试周期内没有碎片、烟雾等。



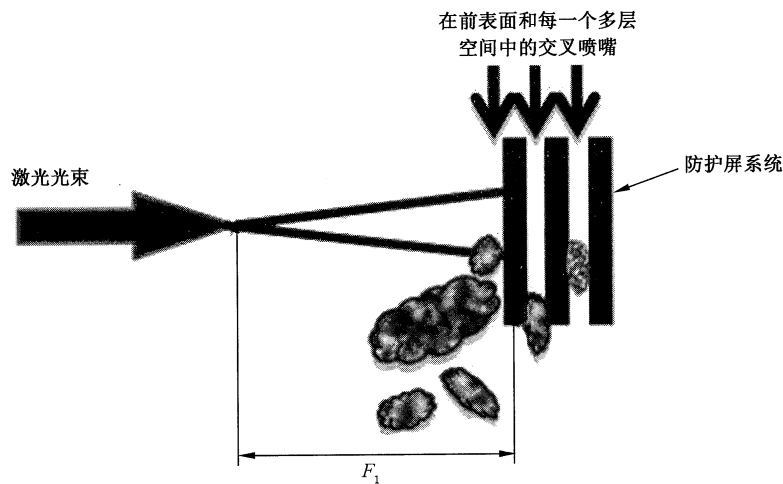


图 D.2 测试中的防护屏通风简图

对被动式防护屏,在试验的辐照期间到达样品后表面的激光辐射不应超过 1 类 AEL。辐照持续时间由专用防护屏的制造商设定。防护屏防护时间必须超过表 D.1 中规定的维护检查间隔。

专用激光防护屏的维护检查间隔时间应由其制造商使用表 D.1 中定义的测试等级  $T_1$ 、 $T_2$  或  $T_3$  进行详细说明。维护检查间隔表示防护屏被全面检测和核实没有损伤和破坏之后的时间间隔。在下次维护前,确保防护屏保持可承受激光辐射的状态。

表 D.1 激光防护屏测试等级

试验等级	维护检查间隔时间/s	建议的激光防护屏使用方法
$T_1$	30 000	对自动化机械
$T_2$	100	对短周期的运行和间断性的检查
$T_3$	10	通过观察进行连续的检查

对于主动式防护屏应满足下列要求:

- 如果主动式防护屏是安全相关控制系统的一部分,应采用安全相关控制系统相关的、适合的标准。
- 当超过规定辐照量(等级和持续时间)的激光照射到激光防护屏前表面时,主动式激光防护屏应输出激光终止信号(该信号使激光辐射自动终止)。当主动式激光防护屏系统内存在一个合理可预见的故障时,不应导致其安全功能失效。若防护屏部件出现合理可预见故障,对下一个过量激光辐射到来时或到来前应探测到该故障。
- 对任何的激光辐照到被动式以及主动式激光防护屏样品的前表面,且其辐照持续时间大于规定的主动式防护屏的防护时间(按照 3.1 的定义)时,到达样品后表面的激光辐射不应超过 1 类 AEL。
- 如果在激光发射时在主动式防护屏系统中执行自动功能检查,临时中断主动式防护屏系统的操作,执行全部检查的累积时间应考虑重复激光脉冲的影响,不应超出主动式防护屏防护时间或引起任何主动式防护屏整体性能的下降。
- 主动式防护屏的操作依赖于触发主动式防护屏终止信号物理参数的变化。在可能出现激光照射时期,主动式防护屏应处于持续被监控状态。在其他时期,主动式防护屏不应受环境参数变化(例如烟尘、湿度、振动或冲击、温度变化)和任何其他环境变化的影响,以防止主动式防护屏

意外失效。

- f) 对主动式防护屏的任何损伤应在下一个超量激光辐射到来时或到来前探测到,在故障排除前不应进行任何操作。

### D.3 防护照射限(PEL)

防护照射限(PEL)(见 3.13 的定义)或者防护时间应由测量得到的结果决定。当由采样数据计算防护时间时,应采用中心极限定理假定为正态分布。置信概率要求为 99%,用 $\pm 3\sigma$  确认,这里 $\sigma$  是正态分布的标准差,由式(D.1)给出:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \dots\dots\dots (D.1)$$

式中, $p(x)$ 为 $x$  的概率, $x$  为样品的个体量值, $\mu$  为样品的均值。

提供的防护照射限(PEL)应等于 $0.7 \times$ 测试的辐照限。

防护时间应等于 $0.7 \times (\mu - 3\sigma)$ 。

注:防护照射限或防护时间等式中,因子 0.7 为附加安全因子。

### D.4 制造商提供的信息

制造商应随测试样品数据至少提供以下信息:

- a) 测试单位名称和地址;
- b) 标准代码;
- c) 用于制作样品的材料和其说明书或用于评估的国际认可的标准。说明书中应包括任何热处理、加工硬化、表面处理或其他加工的详细说明;
- d) 测试样品数;
- e) 使用的激光参数的详细信息,至少包括:
  - i) 激光波长;
  - ii) 功率或能量(指出峰值或平均值);
  - iii) 脉冲持续时间和重复频率(对于用脉冲激光器测试);
  - iv) 聚焦透镜的入射光束直径;
  - v) 合适的光束质量表达方法,例如光束参数乘积或 $M^2$ ;
  - vi) 防护屏表面处的光束辐照量或辐照度;
- f) 聚焦透镜焦距;
- g) 距离 $F_1$ ;
- h) 适宜的激光防护屏的维护检查间隔时间;
- i) PEL 值和(或)防护时间,以及所用的计算和统计分析方法。

**附录 E**  
(资料性附录)  
**激光防护屏放置和安装导则**

**E.1 概述**

本附录提供了防护屏放置和安装的导则,以保护激光加工机加工区域周围的人员免遭激光辐射危害。本附录的对象是制造商和用户。导则内容包括对单独的激光加工机的防护(见 ISO 11553-1)和对安全组装的激光加工机附加性(经常用户安装)防护的要求。有关激光加工危害相关的防护问题(包括机械、电路、烟雾和二次辐射危害)本附录不作详细说明。

**E.2 总则****E.2.1 引言**

激光防护除要求隔离激光导致的危害外,还要求隔离激光加工的相关危害。某些防护屏能够成为激光加工机的部件。附加防护能够用于促进工件安全地装载和卸载及用于检修。

**E.2.2 防护屏的放置**

在加工区域周围,对防护屏的放置和安装评估的关键事项包括:

- a) 工件加工所要求的可接近程度(尤其是手工操作的可接近程度);
- b) 固定工件的方法(例如夹具和支架等紧固装置);
- c) 在加工后,卸掉工件和附着物(例如碎片)的方法。

**E.2.3 防护屏的定位**

决定激光防护屏定位准确的经验包括:

- 激光防护屏的安放位置至少离开会聚透镜 3 倍焦距的距离;
- 具有较低防护照射限(PELs)的激光防护屏,例如观察窗,不应安放在直接光束或镜反射光束可到达的地方。

**E.2.4 完整的围屏**

一个完整的围屏指遵照 GB 7247.1—2012 中的 4.2.1 所指定的满足一个保护罩的全部要求,及包围嵌入的激光和整个加工区域,这样在围屏区域内人员不能接近危险的辐射。

**E.2.5 不完整围屏**

不完整围屏不能提供一个完整的保护罩封闭激光和整个加工区域,以致于人员可能接近危险的辐射。

如果辐照的量大到超出规定,(对于那些可能位于机器顶部打开的防护屏上方的走道或平台的操作人员)则需要附加控制器件和增加控制措施。

**E.2.6 激光危害区域控制的等级**

保持人员不进入危险区域,推荐下列措施等级:

- a) 安装一个固定的防护屏；
- b) 安装一个可移动的防护屏；
- c) 安装一个连接到机器的安全连锁链的电动保护装置，围绕在危险区域周边（例如在防护屏周围设置光束传感器）或上方（在防护屏上方设置压力垫）；
- d) 提供一个实物的围屏，并附上相关资料、使用指南、人员培训及检查方法；
- e) 提供操作人员离加工区域某个距离操作的工具，并提供人员防护装备(PPE)。

注：等级 c) 和 d) 不提供对激光加工机发射的激光辐射的保护，因此只有在从机器开口到可控制边界的距离超过“眼的标称危害距离(NOHD)”时才应考虑。

### E.2.7 人员防护装备

人员防护装备仅作为工程和管理相结合仍不能提供有效防护的最后手段。这种人员防护装备应能接受管理控制来监管它的使用。仅当风险评估显示若使用其他手段不能减少危险程度以及当使用其他手段不能确保提供足够合理的保护时，才使用这个装备。当工作在 UVB 和 UVC 两个紫外波段时，还要求穿戴紫外线防护服。

### E.2.8 人员的介入

若机器的运行需要人员介入，则人员介入可以归入对风险评估和对可能产生的故障状态的持续时间关联程度的评估。在此条件下还需控制人员的进入，仅对被认可的人员（在激光安全和激光系统的检修方面接受过足够培训的人员）允许进入。同样应限制隔离区域，不对公众开放。观察人员和其他未经培训的人员应用围栏或用某些管理手段阻止其接近危险的辐射区域。

## E.3 风险评估

### E.3.1 引言

人员受到激光材料加工中使用的典型类型的激光束的辐照后能够造成中度至重度的伤害，这取决于激光波长、被辐照的细胞组织和受害者的反应。这种辐照发生的概率成为评估伤害风险的关键性因素，降低伤害风险到可接收的程度是一个反复的过程。这个过程不存在以标准的方式出现在程序或文件中。尽管如此，在 GB/T 16856 中描述涉及的步骤是通用的。

### E.3.2 总则

应对风险进行评估，以便鉴别危害的后果和评估一个激光防护屏在指定位置上可预见的受辐照程度，这种评估应考虑某些因素如下。

#### E.3.2.1 激光加工区域的特点

包括激光的功率和波长、光学部件的焦距、光束传输的自由度程度（例如运动轴线数）。

#### E.3.2.2 加工

例如切割、钻孔、焊接、打标等过程。机器或是专用的，或是能够提供若干种加工。

注：被反射的激光功率明显有别于加工和材料被加工时使用的激光功率。

#### E.3.2.3 加工控制

这个因素特别强调激光防护屏在故障状态下所能承受辐照的时间，包括确定可预计辐照限(FEL)的时间（例如加工周期），检验过程（例如每一项目或每一时间周期除以项目数目），以及在故障变明显时

自动操作控制应用的方式和有效性。

#### E.3.2.4 手动操作

操作人员的介入应考虑故障时手工控制的需要和规定、处理观测的方法和有效性(包括视窗或照相机的位置),以及在故障状态变明显时介入的可行性和有效性。

#### E.3.2.5 机器人操作

机器人运动、机器人头部的冲击保护、检修线路和传递到机器人光束的一般保护,和限制机器人头部的运动方式和方向(例如,软件限制、硬件限制和物理限制)的全程,尤其是激光束对激光防护屏辐照最接近的通道。

#### E.3.2.6 工件

工件的几何形状、成分和表面光洁度,以及激光加工过程中工件如何能够影响光束反射的方向和强度。

#### E.3.2.7 箝位和固定装置

工件的夹持和定位,工件表面反射和聚焦头的碰撞的相关问题。

#### E.3.2.8 装载和卸载

工件的装卸方法,特别注意是人工操作还是自动操作,是单片操作还是多片工件连续操作,进出加工区域的方法(例如滑动、滚动或提升门)。

#### E.3.2.9 光束传输

光束传输方面的考量包括光学方法(反射镜或光纤)和监控方式、光学元件的安置和移动等方法。还包括光路中器件安装的结构完整性,光学器件的保养方法(例如用清洁而干燥的气体吹净加冷却),光束准直的维护方法,在线光束异常的规定,离线光束异常的监视,光路围屏的构造方法。

注:应特别注意使用新型的(未经证明的)激光束传输设计,以及光束传输结构暴露的情况,外部机械力(例如振动)可能会引起光路偏斜。同样应注意光学元件的篡改或激光器性能特别是光束指向异常,以及激光功率过高以致于光束传输元件性能不确定的情况。

#### E.3.2.10 工作人员的位置

规定的工作区域,特别是允许靠近机器的最短距离。包括工作人员头顶的位置(例如起重机操作人员或高架行人道上的工人),邻近的台阶和梯子。

#### E.3.2.11 维护规定

包括使用维护位置(例如可卸掉面板、键控装置)的方法和程序,以及联锁越级控制和急停停止的规定。

#### E.3.2.12 防护特性

在正常条件下和可预见的非正常条件下,对 FEL 和 PEL 的评估应包括防护的每一个部件,包括固定的和可移动的壁和窗。

#### E.3.2.13 防护环境

环境因素能够影响防护有效性,包括接触叉车和其他移动的物体而引起的显著机械损伤,含尘的环境

境均能够对光学元件的性能和防护屏的防护性能产生不利影响。

#### E.4 风险评估的例子

##### E.4.1 部件的连续供给

- 例子

激光处理单元安装在输送机械的传送带上方。

- 定位

在正常的生产或维护期间,进出通道应被控制,仅允许被认可的和培训过的人员进入。但输送机械周围的区域不设禁限,并可对观察员和其他未经培训的人员开放。

在检修期间,区域的进出通道同样被严格管理,不对其他未受过培训的人员开放。

- 关键问题

激光防护的布置应对连续供应的部件开放进出加工区域的通道。

- 可能的解决方案

超量激光辐射的风险属高等级时:

——提供连锁的滑动防护屏,连锁的滑动保护屏打开以允许器件通过,并在激光加工前关闭。

超量激光辐射的风险属中下等级时(风险评估后有下列可能的解决方案):

——在部件通过期间,刷式密封实现局部防护密封以维持安全的围封,或

——在开口处周围提供一个开放的隧道以便禁止视线直达激光加工区,这可以用下列方法达到:

- 用一个曲折的部件在进出口路径上以阻挡直接的目视;
- 使用一个连锁的挡板(例如光的挡屏或围屏),或一个为安全使用所认可的压力垫,以限制视察位置以便防止直接的目视。

##### E.4.2 平板式激光切割和标记

- 例子

放在激光工作车间的平板切割台。

- 定位

在正常的生产、维护和检修周期,需要控制通道,仅对认可人员放行并局限于受过培训的人员。

- 关键问题

为了在切割台上对板状工件进行装卸,需要操作通道。

- 可能的解决方案

在过量激光辐射的风险属于高等级时,(例如在正常生产期间,由于反射产生的有害激光辐射):

——提供完整无缺的周边防护以保护操作人员和其他人员。连锁的滑动保护屏打开以允许器件通过,并在激光加工前关闭。

在过量激光辐射的风险属于中下等级的区域(例如光束垂直地照射片状工件,光在此工件内被包围住):

——提供独立的防护屏以保护激光操作人员;

——对限制进出区域内的所有人员提供人员防护设备。

在所有情况下,确保对未经认可和未经培训的人员提供足够的控制,以防止他们误入危险区域受到辐照后造成某种伤害。

### E.4.3 多轴加工机

- 例子  
在汽车生产线上自动操控的激光焊接机。
- 定位  
在正常的生产或维护期间,不对通道进行控制,该区域不受限制,对观察者或其他未经培训的人员开放。  
在检修期间,通道将被控制,仅允许被批准的人员进入危险区域,不向其他未经培训的人员开放。
- 关键问题  
控制器的故障状态能导致激光束直接射向激光防护屏。
- 可能的解决方案  
在过量激光辐射的风险属于高等级的区域内:  
——对经风险评估为薄弱的加工区域的部分面积提供增强性的防护。使用主动式防护屏就是一种选择。  
在过量的激光辐射的风险属于中小等级的区域内:  
——解决的措施包括:
  - 对典型激光束的直接辐照,提供按照本标准规定的性能验证后的防护装置;
  - 提供软件控制和硬件,限制光线进行旋转运动;
  - 提供束线发射点的碰撞保护;
  - 提供附加的传感器防止激光照射到工件以外;
  - 如果激光聚焦点是固定的,提供激光发射的控制。

### E.4.4 为监督区域设立的激光防护屏

- 例子  
临时性激光防护屏在检修期间设立,防止检修操作以外的人员进出。
- 定位  
在正常生产和维护期间,这些激光防护屏不能作为正式的防护屏使用。  
在检修期间,通道应被控制,只有经过激光安全培训的人员被批准方可进入该区域。该区域可用管理的手段(例如警告信号)禁止其他未经培训的人员进入。
- 关键问题  
光束的方向应被管理控制。
- 可能的解决方案  
在过量的激光辐射的风险属于高等级的区域,解决的措施包括:  
——确保激光防护屏是不透明的,且对激光束有至少 100 s 的防护能力;  
——进入围屏的通道连锁或在直接的管理控制下;  
——使用经过培训的人员执行检修操作;  
——在控制区域内所有人员要使用防激光的眼镜(和尽可能穿能保护皮肤的衣服)。  
在过量的激光辐射的风险属于中下等级的区域(例如在激光防护屏外的区域对人无害):  
——如上所述,除了由围屏提供的保护时间短于 100 s 之外,检修工程师接近激光时应准备好使用光闸控制,并对围屏的激光辐照提供清楚可见的指示(例如烟雾或强烈的褪色)。

## E.5 风险评估的指引

本条提供了在设计激光防护屏时,结合激光加工机进行风险评估时所应考虑的项目清单,这些项目将形成评估的部分文件记录。

应注意这个清单并不全面,它可能没有包含应被考虑的全部方面。

### E.5.1 设备

- 激光
  - 型号;
  - 波长;
  - 连续波/脉冲;
  - 脉冲持续时间;
  - 脉冲重复频率;
  - 功率(或能量);
  - 光束输出的透镜焦距。
- 加工机类型
  - 2轴机器;
  - 3轴机器;
  - 多于3轴的机器;
  - 自动装置;
  - 气体排出的适当装置;
  - 加工区域的封闭;
  - 1类 AEL;
  - 其他。

### E.5.2 加工机光束的传输

- 光束传输路径的监控:
  - 用硬件控制;
  - 用软件控制。
- 光束传输转镜的监控:
  - 用硬件控制;
  - 用软件控制。
- 光束传输机械总成:
  - 需要使用工具;
  - 提供监控:
    - 用硬件控制;
    - 用软件控制;
  - 光束聚焦透镜控制总成。
- 自由空间光束传输系统。
- 光纤光束传输系统。



### E.5.3 工艺描述

- 锡焊/铜焊；
- 热处理；
- 打标；
- 焊接；
- 钻孔/切割；
- 清洁处理；
- 成型；
- 快速成模。

### E.5.4 加工机控制

- 自动模式操作(即无操作人员介入):
  - 完全防护下的操作。
- 手动模式操作(即机器运转期间需操作人员介入):
  - 完全防护下的操作。
- 加工监视方法:
  - 在加工区域围屏中使用窗口；
  - 使用闭路电视(CCTV)监控；
  - 其他。
- 若观察到一个错误时准备停止运转的方法:
  - 紧急停机；
  - 正常停机。

### E.5.5 自动装置的基本描述(见 GB 11291)

- 摆动范围:
  - 限制空间；
  - 最大空间；
  - 安全防护空间。
- 限制运动范围的方法:
  - 硬件控制；
  - 软件控制。
- 安全防护屏空间联锁方法:
  - 硬件控制；
  - 软件控制。
- 碰撞的传感:
  - 硬件控制；
  - 软件控制。
- 最终位置的控制:
  - 硬件控制；
  - 软件控制。

### E.5.6 加工部分的类型

- 几何形状的类型:

——平板；

——其他。

- 材料的类型。

#### E.5.7 固定装置部分

- 自动定位和定位：
  - 硬件控制；
  - 软件控制。
- 手工定位和定位。
- 激光束导致损伤的可能性：
  - 由于工具各部位的反射；
  - 由于工具高光洁度表面的反射。

#### E.5.8 材料流入加工区域

- 部件的自动连续流动。
- 手工推动的单一部件。
- 加工区域部件的进出通道：
  - 滑动门；
  - 提升门；
  - 卷帘门；
  - 管道；
  - 其他。
- 部件供给控制：
  - 硬件控制；
  - 软件控制；
  - 根据本部分的要求设计加工区域防护；
  - 根据本部分的要求试验加工区域围壁。

#### E.5.9 激光加工机的操作人员

- 工作区域；
- 机器内部；
- 机器外部。

#### E.5.10 维护

- 维护通道门的位置；
- 对机器授权(关键控制)的方法；
- 保持运转的控制。

附 录 F  
(资料性附录)  
激光防护屏适用性评估指南

## F.1 危害的鉴别

### F.1.1 安全措施的选择

在选择安全措施时,因为技术上的可行性和特殊应用的限制,有时可能无法选择更有效的安全措施。

在设备运行的每一个相关阶段,在考虑所有的危害时,风险评估有助于选择安全性能最好的组合。

影响设备运行状态的要素有:

- 安装;
- 试运转;
- 操作;
- 设置或改变工艺;
- 清洁处理;
- 调节;
- 维护;
- 检修。

这些要素可能存在相互冲突的要求,此时应优先考虑可能产生最大风险的要素,例如更需强调维护、设置和调节,使总风险降到最低。

## F.2 风险评估和完整性

### F.2.1 总则

应向对待其他的机械装置一样鉴别所有的机械危害。这些危害包括:

- 缠绕;
- 摩擦和磨损;
- 切割;
- 剪切;
- 划伤和破损;
- 冲击;
- 压碎;
- 拉伸;
- 压缩气体或高压流体系统引起的损伤。

也可能存在非机械危险,这些危害包括:

- 可接近的区域:
  - 滑倒、绊倒和跌倒;
  - 下落物和飞溅物;
  - 阻挡物和飞溅物。

- 搬运和起吊。
- 电气(包括静电):
  - 电击;
  - 灼伤。
- 化学:
  - 有毒的;
  - 有刺激性的;
  - 易燃的;
  - 有腐蚀性的;
  - 易爆的。
- 火灾和爆炸。
- 噪声和振动。
- 压力和真空。
- 温度(高温和低温)。
- 雾、烟和灰尘的吸入。
- 窒息。
- 离子和非离子辐射。
- 病毒和细菌等生物危害。

消除人员受到非机械危害所采用的各种安全防护屏需要与机械危险的安全防护相结合,以便把总的风险水平降至最低。

## F.2.2 防护屏的可靠性

风险越大,其防护需求也越高,随着防护措施故障而导致损伤的可能性或严重性的增加,其安全措施的可信性也应提高。这通常适用于安全防护屏和控制措施,也适用于联锁装置和防护屏材料。

对各种危害进行鉴别,应对可能引起损伤和危害的可能故障或故障组合仔细研究。在任何系统里一个故障就能对安全产生不利影响的情况下,应对系统中的每一个部件依次检查。应整体考虑故障的可能类别及它们对系统的影响。当存在更高风险的时候,应使用正规的分析方法,如“故障模式和影响危害性分析(FMECA)”。当安全依赖于操作程序时,同样必须考虑操作程序的可靠性,后续程序中疏忽故障和蓄意故障都应包括在内。

防护屏实现其防护功能时,应将停机检修时间和对生产率的影响降到最低。应认识到生产的压力或频繁使用可能会导致安全防护屏失效。设计人员设计和构造安全防护应使无论有意还是无意的绕过或损坏防护屏都尽可能困难。

本附录仅考虑与过量激光辐射照射防护直接相关的特性。

一些特殊的危害应结合下列因素合并考虑:

- 设备类型;
- 激光辐射波长;
- 设备运转轴的数量;
- 光路的复杂程度。

## F.2.3 实际风险的评估方法

### F.2.3.1 一般性风险的评估方法

这些方法在附录 E 中已概述过。

### F.2.3.2 GB/T 16855.1 建议的风险评估

GB/T 16855.1 涉及机械控制系统某些为提供安全运转功能的部件。这些部件由硬件或软件组成，它们提供控制系统的安全功能。它们可是分立或集成的控制系统部件。该标准中，控制系统有关安全部件性能的故障分为 5 个类别(B、1、2、3、4)，这 5 个类别应作为参考点。

按照 GB/T 16855.1 的定义，上述类别的选择将依赖于机器和控制方法对防护措施使用的程度。

在进行类别选择和设计控制系统有关安全部件时，设计人员至少应提供下列与安全相关部件的资料：

- 选择的类别；
- 功能特性；
- 在机械装置保护措施中安全相关控制所发挥的具体功能和作用；
- 安全相关控制的准确限值；
- 所有已考虑到与安全相关的故障；
- 故障排除方法中未考虑到的与安全相关的故障及排除故障的措施；
- 与可靠性相关的参数，例如环境条件；
- 使用的技术。

为了让使用本部分具有灵活性，在设计过程中应选择相应的类别作参考点进行设计说明。本部分提供了一个清晰的依据，在此依据上可对控制系统有关安全部件(和设备)任何应用的设计和运行进行评估。

本部分的正文描述了安全措施的选择和设计流程，以及安全功能特性和故障分析。

GB/T 16855.1 的附录 B 对选择类型包括风险评估方法提供的指导是特别有用的。

### F.2.3.3 最低合理可行(ALARP)原则

本方法通过设计和实施一种结构方法旨在把风险降到“最低合理可行”(ALARP)。主要手段是采用好的行为规范。在这种意义上，好的行为习惯是控制风险过程的基本准则。好的行为规范有多种表现形式，其范围和细节将反映危害和风险的本质，并反映生产活动和过程的复杂性，也反映了相关法规要求的本质。例如，被认同的已成文的行为规范包括由政府部门发出的指令、由标准制定机构(例如 CEN、CENELEC、ISO、IEC)发布的标准和由工业业务领域的团体(例如贸易同盟、专业的学会)推荐的指南。

表 F.1 显示了如何用 ALARP。

表 F.1 ALARP 的应用

计划阶段	说明风险可尽量合理降低的因素
方法或理念之间的选择	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 根据好的设计原理对风险进行评估和处理。</li> <li>● 说明担当责任者的设计安全原理是满足法定要求的。</li> <li>● 说明选择的方法可导致最低的风险或虽然风险不是最低的，但可证明是正确的选择。</li> <li>● 比较最好规范的选择，确定残留的风险对最好的现有设备的功能的影响是较小的；只要设备工作必然会存在风险，它也会影响有关的组件。</li> <li>● 必要时应满足业界的需求</li> </ul>
详细的设计	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 根据好的设计原理进行风险的评估和管理。</li> <li>● 风险存在于设备的全寿命周期，同时将影响相关系统。</li> <li>● 使用适当的标准、代码、好的行为规范等，和被证实的偏差。</li> <li>● 识别可行的降低风险的措施及其执行，除非被证明这种措施并非合理可行</li> </ul>

### F.3 一般设计

设计新的安全的机械装置,应遵照 GB/T 15706 中规定的基本原则,同时也要参照有关专用机械的专业标准。作为一个实用的导则,危险区域应予消除或有效地封闭;如果不能消除,则补充合适的安全防护措施作为设计的一部分,或应在后续阶段补充易于融合的安全措施。

在设计阶段应做好安排,以便在运转、检查、调试和维护期间避免人员暴露于任何危险区域。

设计人员应考虑机械装置使用的人机工程学,即他们应考虑机器所要求的工作环境的所有方面,目标是对机器和操作人员最佳性能期间提供激光安全保护。

在需要考虑的方面包括对操作人员和附近的其他人员创造一个适宜的环境,在需要的地方提供热、冷、光和机械的援助以降低操作人员体力的消耗,并把对热、光、激光辐射、噪声、灰尘、蒸汽和液体的发生控制到一个可接受的水平。

设计人员应知道如何鉴别上述危害,这些危害大部分应通过合适的设计来加以避免。如果危害不能避免,则设计人员对影响风险高低和损伤严重性的因素进行考察,也应考虑能影响暴露频率以及损伤概率的因素。

控制装置的设置应利于提供安全和便利的操作。在每一个控制装置和机器的其他部分之间应留有足够的间隙,参考在 GB 5226.1 和 GB 18209.3 中讨论的方法。

对激光防护屏应给出特别的考虑如下:

- 必须保留间隙的困难情况;
- 帘布、围裙和刷封;
- 打开围屏顶部;
- 在平板部分和固定窗口间的连接;
- 改善进出口(例如:门的上方,帘幕);
- 围屏里面的气体环境:安全出口(烟气,氧气的过量或耗尽);
- 围屏上的观察窗;
- 次级屏(备用屏);
- 几何形状和一般的配置考虑;
- 与激光类型(波长)、光束控制类型、光束传播等相关的设计问题。

### F.4 安全防护屏的选择

在激光加工机正常运转期间不需要进入危险区域的情况下,安全防护屏可从下面选择:

- 固定的密封防护屏;
- 固定距离的防护屏;
- 可移动的防护屏。

当正常操作过程中需进出危险区域时,例如:设立、加工修正、维护或检修,使用的安全防护可能不能完全防护。在这些情况下,应采用安全工作措施,如隔离。必要时增设安全防护屏。采用这些措施需要有关各方制定计划和纪律约束。

在那些对正常运转期间需要进出危险区域的情况下,可选择下列安全防护屏:

- 联锁的防护屏;
- 可调的防护屏;
- 临时的防护屏。

## F.5 防护屏的设计和制造

### F.5.1 对设计和制造固定的和可移动的防护屏的一般要求

在设计安全防护屏系统时,除了激光辐射的危害必须考虑外,涉及的机械的或其他的危险在选择防护屏的类型和制造方法时也应被考虑。在机器运转和机器寿命中的其他状态,这种防护屏应对工作活动干扰最小,以减少任何安全防护屏故障的诱因。

防护屏应优先考虑适应机器的外形。当达不到要求时,例如维护或因为机器的形状,应考虑减少危险区域的驻留。对于保护在危险区域内的工作人员也需要额外的安全措施,可通过安全防护屏或安全工作规范来保证。

### F.5.2 固定的密封防护屏

一个固定的防护屏必须保持封闭且安装在固定位置,防护屏不仅应防止人员接近危险区域或激光辐射,而且应结构坚固,经受得住足够的加工压力和环境条件。

如果防护屏能打开或移动,必须通过使用工具才可实施,优先的固定方法应选用可拴住的类型。当工件必须通过防护屏投料时,开口尺寸应大到满足工件进入运送通道,不应卡住。这些情况下的防护屏同样应不接触激光辐射,还应满足 GB 7247.1—2012 中给出的防止人员接近的要求。

### F.5.3 固定距离的防护屏

一个固定距离的防护屏指的是:一个固定的防护屏,它不完全围封危险区域,但可依靠其本身尺寸和与危险区域的距离来减小危险的接触。固定距离的防护屏的一个例子是包围一台机器的围屏。这种防护屏在设计时需极小心,以便能保护人员接触过度的激光辐射。如果一个顶部开口的激光加工机的防护屏足够高,以致人员不能接近激光辐射,此防护屏能作为一个固定距离的防护屏。

### F.5.4 可移动的联锁防护屏

联锁防护屏指的是,它能够移动或有可移动的部件,它的移动与机器电源或机器控制联锁。

联锁防护屏应以如下方法与机器控制连接:

- a) 联锁通过切断其电源或关闭光闸来防止危险激光辐射的产生直到防护屏关闭。
- b) 当会造成人体损伤的风险因素未被排除前,防护屏必须锁上并关闭。只当在这个风险因素被排除后,方允许有关人员进入防护屏。

联锁作用于屏幕的上升和下降,但为防止万一屏幕由于重力作用下落而造成伤害,故应提供一个合适的防下落装置。某些联锁防护屏能用电源驱动,在这种情况下,应采取适当措施避免由于防护屏移动产生的伤害。

联锁系统能够是机械的、电子的、液压的或气动的,或任何它们的结合。联锁本身运行的类型和模式与使用的加工方式有关。联锁系统应设计得能最大限度地减小故障风险,应不易破损。

### F.5.5 可调的防护屏

可调的防护屏是固定的或可移动的屏,它可整体调节,或者一部分或几部分联合调节。在特别运转期间,调节保持固定不变,防护屏的调节必须由经过适当培训的人员仔细地调节。一旦位置固定,需要定期维护,确保防护屏的调节元件固定原处。防护屏设计应使调节部件不易拆下或误置。

### F.5.6 临时性防护屏

当正常安装在激光加工机周围的永久性防护屏因维护和检修需要而被移走时,应安置临时性的防

护屏,并对激光辐射的危险提供全面的保护作用。在临时性的防护屏上或邻近处应标明适当的警告标记,并增加管理上的防护措施,以确保临时性防护屏的有效性。在激光加工机恢复到正常运转状态前,程序应复位以确保被置换或移去的永久性防护屏被放回原处,并移走临时性防护屏。

## F.6 防护屏的制造和材料

任何供选择的防护屏本身不应存在危害,例如凹陷点或尖锐点,粗糙或锋利的边缘,或其他很可能会导致引起损伤的危害。

防护屏的安置应与强度和防护功能相匹配。

电源驱动的防护屏在设计和制造上不应产生危险点。

除本部分外,GB/T 8196 也给出了对制造固定的和可移动的防护屏的总体要求。

### F.6.1 材料

#### F.6.1.1 概述

在选择材料制造防护屏时,应考虑以下几点:

- a) 其性能应能经受住激光加工机产生的任何可预见危害,防护屏能满足功能的结合,例如防止接近和封闭的危害,这些危害包括激光辐射、发射粒子、灰尘、烟气、噪声等,一个或多个这种危险就能支配防护屏材料的选择;
- b) 对常规维护,其重量和尺寸应满足移动和更换的要求;
- c) 其与被加工材料的兼容性,这在食品加工或医药工业上特别重要,在这些行业中防护屏的材料不应成为污染源;
- d) 在与潜在的污染源接触后,在加工操作或清洁,或在维护时使用杀菌物质期间产生潜在的污染后,其物理和机械性质依然能保持不变的能力。

#### F.6.1.2 固态金属板

金属在强度和刚度上具有优势,并且可制成板状。当很少调节且不需观察加工区内的工作状态时,金属板特别适合作防护屏。然而还需要小心谨慎,以确保:

- 提供防护屏足够的通风,以防止加工区内部过热;
- 防护屏不产生噪声或共振。

显示在图 F.1 到图 F.22 的数据将有助于选择合适的材料来经受可预见的最坏情况下的激光辐射的辐照量。

#### F.6.1.3 玻璃

由于玻璃具有易断裂的倾向,所以不适宜用作防护屏的材料。但是,当激光加工需要观察且材料很可能暴露在高温或腐蚀环境中,则能对激光辐射提供足够保护的一块安全玻璃是合适的(在材料内部激光辐射的内部吸收或防护屏材料表面合适的光学反射涂层)。确定这些材料适用性的方法将在本部分的其他地方给出。

#### F.6.1.4 塑料

在激光防护屏上可用透明塑料板替代不透明材料,尤其在加工工作期间需进行观察时。

适用于防护目的的塑料材料包括聚碳酸酯和专用染色的聚丙烯板。材料选择时最重要的是其光学防护性能要适合于激光加工机的激光波长和功率。



许多塑料的机械性质由于污染、不正确的冷却操作、连续地暴露于高温或紫外辐射而导致不利的变化。连续地暴露于高温(聚碳酸酯:135 °C,聚丙烯板:90 °C)将会引起软化,结果降低了抗冲击强度和其他光学性质。

表面材料的剥落会降低材料在相应激光波长上的光学防护性能,所以应考虑设置附加机械保护层。

大多数塑料能存储静电,这能够引发易燃材料静电起火的风险,而且还能吸附灰尘,这些特性通过使用抗静电的处理予以减轻。

#### F.6.1.5 其他材料

混凝土块的作用对某些防护屏的制造而言能够是一种有效材料,所以经常用作大功率的二氧化碳激光加工机的机壳。

#### F.6.2 支撑

防护屏应固定于独立的支撑点或固定于机械装置本身。固定点的数量和间距应合适,以确保防护屏的稳定性和刚性。

在需要的地方,防护屏周围应留有间隙,以便清洁和除去杂物等,要确保这个间隙不会容许人员接近危险区域。

#### F.6.3 盖板

可移动面板或可拆卸的盖板能合并到防护屏中,以提供容易的进出通道或改善可见度。它们应被视为防护系统的一部分,根据加工的要求作为固定的或联锁的防护屏。

#### F.6.4 人机因素

防护屏的设计和构造应达到防止身体的任何部分到达危险区域的目的。设计人员应考虑有关人员的身体特征,特别是防止穿过防护屏开口、翻越或绕过防护屏围屏。目前可用的人机因素(人机数据)最佳近似见 GB/T 18717.3。

### F.7 其他安全装置

#### F.7.1 跳闸装置

跳闸装置是一种可以使工作中的机器停止或进入其他安全状态,以防止人员在接近超过安全限的危险区域时发生伤害的装置。如不使用其他方法解除该功能,当人员依然留在危险区域内时,跳闸装置将保持机器处于停止状态。

跳闸装置应设计为,当有人接近超过安全限的危险区域时,装置启动,在发生伤害前终止危险。

跳闸装置应设计为,当它产生作用以后能够自动或手动复位;这可借助于一个正常启动的执行装置来实现再启动。跳闸装置的运转应不会因受任何外界影响而被削弱。

#### F.7.2 电子感应保护装置

电子感应保护装置有时指无形的围挡,其运转仿照跳闸装置的探测原理,当人员或人体的某部分进入危险区域时该保护装置就起作用。探测的手段可为主动式光电感应、主动式漫反射光电响应、被动式红外辐射、电容、电感、微波或视觉侵扰。整套装置的有效性不仅取决于电子感应保护装置的完整性,而且取决于其余的电子和机械的完整性,以及取决于电子感应保护设备的探测装置相对于危险区域的位置。

### F.7.3 控制系统(键、压力垫、光屏)

#### F.7.3.1 弹压键控系统

一般讲,一个弹压键控联锁装置是一个电动开关与一个机械键控操作锁对机器固定部分的防护。操作键安装在防护屏的可活动部分,为了打开防护屏需打开该键,转动此键到“off”位置并释放解锁,防护屏就能被打开。

某些弹压键系统是由压下式按键联锁系统组成的。在压下式按键联锁系统中,防护屏的锁定和开关合并成一个锁定,是作为对立的分离件合并进入一个信号单元。本系统最本质的特点是无论是防护屏的锁定,还是开关的锁定,均由可上下移动的按键被按下来实现。防护屏的锁定应如此安排,即仅当防护屏被关闭和锁定时,按钮才能被弹起。这就允许按钮从防护屏转移到开关锁定。当开关处在“on”位置时,开关的关闭即压下键后防护屏就不能被移走。

#### F.7.3.2 压力敏感垫

压力敏感垫和含有传感器的夹层,仅当一个人或物件对此垫或此夹层施加压力时才会产生响应。对它们应作周期性的维护和检查。因为根据它们的本质,压力灵敏垫具有一个潜在的能导致故障危险。

压力敏感垫的大小应考虑到人员接近的速度、步幅和保护装置的全部响应时间,注意没有此垫或此层的作用,则防护屏的进出通道就不能有效使用。当一定数量的垫被共同使用时,在垫的内部特别是围绕它们的边缘,应检查全部表面的状况。压力敏感垫的应用操控见 IEC 62046,一个压力敏感垫能够适当地指出在机器内部人员的存在,如果需要就停止机器运转。

#### F.7.3.3 光屏

大多数光屏的运转原理是探测一条或多条光束光路上的障碍,这种无形的挡屏可包含单一光路元件或多条光路元件组成的帘或光屏。这个光屏同样可由一个扫描的光束或一定数量的固定光束所组成。光既可以是可见光也可以是不可见光。这些装置的设计和性能要求见 GB/T 19436.2 中的介绍。

### F.8 联锁的考虑事项

#### F.8.1 联锁的功能

联锁即将防护屏和固定防护屏的激光加工机控制系统联结,联锁和带有联锁的防护屏的设计、安装和调整应按下列要求:

- a) 无论是采用遮挡激光束,或是用光束衰减器的办法,或者切断激光电源的办法,联锁须阻止激光发射直到防护屏被关闭;
- b) 在来自危险区域的伤害风险被排除前防护屏保持锁定状态,在开启防护屏时会引发危险被排除前,防护屏均应关闭并禁止使用。

应确保安装的联锁装置的动作能保护且防止一个危险且不产生另一个不同的危险。

#### F.8.2 联锁的媒介

联锁中最常遇到的4种媒介是:电动的、机械的、液压的和气动的。在控制系统中,电动的联锁是最普遍使用。联锁的原理对所有介质具有普适性。每一种都有优缺点,联锁介质的选择将依赖于激光加工机的类型和进出危险区域的方法。

某些联锁系统具有多种的控制通道,例如双重控制系统,设计这些系统所采用的较好的方法是:把由于相同的原因(一般导致故障)在两种通道中引起的类似的故障降至最小。

### F.8.3 常用的联锁方法

#### F.8.3.1 防护屏锁定电源的联锁

防护屏锁定电源的联锁,电源直接用一个单一器件进行截断,这一器件这样安排:

- a) 当电源未被截断时,此器件实际上阻止防护屏被打开;
- b) 当防护屏被打开时,此器件实际上使防护屏处在时刻截断电源的位置上。

#### F.8.3.2 联锁防护屏电源联锁

利用联锁防护屏的电源联锁,电源直接被一个单一器件所截断。即当防护屏发生移动时能自动引发此器件运行。防护屏和此器件应安排使只有当防护屏被打开时,切断电源;而当防护屏处于除关闭状态以外的任何位置时,电源保持截断状态。

#### F.8.3.3 与交叉监视联锁的双重控制系统

在与交叉监视联锁的双重控制系统中,存在两个分立的电源截断器件,每一个都能够截断电源。装置应安排成串联状态,以便任何一个误操作都将导致电源被截断,安装在防护屏上的这些系统将执行此功能。

两个电源截断器件均应被监控,以便任何一种故障时,它们的控制系统或截断装置本身对控制系统讯号的响应将被立刻探测到,从而防止激光加工机进入下一个运转周期。每一个电源截断器件的电路,包括它的执行器件,只要可行,应保持尽量远的物理隔离,以减少由于共因故障造成联锁系统故障危险的概率。

#### F.8.3.4 不与交叉监视联锁的双重控制系统

不与交叉监视联锁的双重控制系统应遵守以上描述的系统相同的原理。但将失去自动监控两种电源截断器件的功能。

在缺乏自动监控的情况下,可能导致任何一个联锁通道不响应危险,未能探测到故障,这会使系统对单控制系统的联锁系统失去完整性。然而,为使没有交叉监控的双重控制系统联锁能有效运行,应执行定期核查,以确保两个通道都能正确地工作。检验频率将取决于被使用元器件的可靠性和联锁运转的条件。

#### F.8.3.5 单通道系统的联锁装置

单通道系统的联锁装置使用了一个联锁器件,它能借助一个控制系统通过操作一个单独的电源截断器件间接地截断电源。它没有一个高度的完整性,因为单个元器件在系统中故障导致整个系统故障的危险概率较大。因此系统应使用最少数量的元器件来进行设计和安装,以提高系统可靠性。

系统应进行定期检查和试验,任何老化或损伤的元器件应更换或修理。

### F.8.4 联锁系统故障

联锁系统的设计原则是把联锁系统作为一个整体,使故障的危险减至最小。

如果电源供应经常故障,则应对依靠电源运行元器件的功能进行检查,以便把电源故障对整个系统的危险减至最小。

#### F.8.4.1 故障类型

联锁系统可能会遭受的最常见故障类型:

- a) 外界供应电源的故障、中断或变化；
- b) 电路系统中开路；
- c) 机械故障，例如破裂或滞塞；
- d) 由于电气环境的故障，即馈电线路的承受度或辐射干扰；
- e) 由于振动引起的不正常工作；
- f) 由于动力供应的污染引起的不正常工作；
- g) 接地故障，即某个导体对地的偶然连接会导致例如意外的启动或制动故障；
- h) 其他单个元器件的故障导致特性变化或功能丧失；
- i) 交叉连接故障引起，例如意外的启动或制动故障。

能够采取措施将联锁系统中单一故障的后果减至最小，这些措施可能包括使用附加的控制或监视电路。然而，由于多个未探测到的故障，例如普通类型的故障或未能探测到的故障将导致系统进一步出现故障，所以系统作为一个整体仍然是有故障的。

一般引起故障的典型原因如下：

- a) 外部环境，例如由于灰尘、电网扰动、极端的温度、振动或辐射；
- b) 在每一个通道中使用次等质量的一批元器件；
- c) 由于局部失火或撞击引起的损伤。

#### F.8.5 联锁系统的安全性

一个联锁系统的安全性可通过避免导致故障的动因和(或)提高产生故障的难度而得到改善。安全防护系统的设计应周密考虑在机器使用寿命的任何阶段人员介入的需要。

提高产生故障难度的方法包括：

- a) 使用编码的联锁器件或系统；
- b) 在防护屏打开期间用实物遮挡或屏蔽联锁器件。

#### F.8.6 联锁系统的完整性

一个联锁系统的完整性将不仅取决于故障或失效的直接后果，而且取决于这些故障或失效是否会导致损坏系统内的其他部件或连接件。因此，一个重要的措施是电路保护。

其他改善联锁系统完整性的基本准则包括：

- a) 正确的安装；
- b) 质量好、集成度高的元器件，保护系统能经受住环境(包括可能的激光能量反射)的变化和评价它们必须执行的责任的能力；
- c) 通过设计、制造和安装，使发生接地故障概率的最小化；
- d) 使故障的危险最小化；
- e) 使损坏最小化。

#### F.8.7 联锁系统的选择

对特殊应用而言选择联锁系统应考虑：

- a) 接近危险区域的频率；
- b) 联锁系统故障导致损伤的概率和严重程度；
- c) 降低损伤风险所需的办法。

#### F.8.8 电路的考虑因素

电控系统的故障可能导致危险的状况。故应对把这种局面发生的概率减至最小而给予特别的关

注,GB 5226.1 给出了这方面的指导。

应选择制造商指明的适合于特殊安全应用的设备,应考虑下列有关性能的资料:

- a) 对环境条件的耐受力;
- b) 寿命估计;
- c) 功能评价;
- d) 可靠性。

单独依靠金属物质存在与否来启动的近程开关,因为容易出现故障,一般不适合用于连锁。然而,经过仔细设计,这些器件可以成为不易接近的或小型系统的组成部分。必须特别小心以防止器件出现故障,并做好合适的冗余装置以防止一般故障引发危险的全面失控。

## F.8.9 机械的考虑因素

### F.8.9.1 连锁器件

连接防护屏和机器电源或控制系统的机械装置可采取各种形式,但其功能一般是相同的。通常将它们设置为,防护屏和机器的操作仅在正确的安全程序下才能运行。

### F.8.9.2 机械连锁的方法

不同于电力、液压或气动系统,机械连锁很少采用单一控制系统之外的其他系统。

单一控制系统连锁的基本元件是:

- a) 由防护屏运转的激励器件;
- b) 内置的机械连接,如有;
- c) 防止激光辐射发射或防止其他危险的器件。

减少插入连接的数目可以降低系统陷入危险的可能性。

## F.8.10 气动和液压的考虑因素

### F.8.10.1 连锁器件用于连接防护屏

用于连接防护屏运动的器件包括:

- a) 凸轮操作阀;
- b) 弹压键的阀门,抽头键控制的气动阀门;
- c) 气动喷嘴探测阀门;
- d) 气动或液压操作锁。

当阀门被选择好用于安全防护屏后,阀门的运行参数(压力、温度等)和可靠性应与环境和预计的任务相适应。

### F.8.10.2 气动和液压的连锁方法

一般而言,前面已经介绍过连锁方法仍适用。这些方法包括:

- a) 单控制系统的连锁;
- b) 具有或不具有交叉监控连锁的双重控制系统;
- c) 电源连锁。

在控制阀和连锁之间的所有的管道、软管等应适合于流体和工作环境,应依据最大流量和压力进行正确的管材定径和定级。必需时,应采取进一步的有效保护和安装。对管道器材的选择应确保它们的完整性不影响连锁系统整体完整性。

## F.9 环境的考虑因素

### F.9.1 环境

一个安全防护屏的选择应考虑使用地的环境。在恶劣的环境中防护屏应有能力承受住可能要经受的条件,且其本身不应因环境恶劣而成为危险源。

### F.9.2 腐蚀

如果一个防护屏很可能被暴露在一个腐蚀的危险环境中,则应采取特殊的措施。可考虑使用抗腐蚀的材料或抗腐蚀的表面涂层。

### F.9.3 卫生保健和防护屏设计

防护屏用在某些工业中,特别是食品和药品加工时,特别要考虑到防护屏不仅要安全使用而且能容易清洁,用作安全防护屏的材料应无毒、无吸收、防震、易清洁,并在材料加工或清洁或消毒时不受影响。

### F.9.4 雾、烟和灰尘

在加工处如产生危险的有害的蒸汽、烟或灰尘,应提供容器或合适的抽气设备。人员在蒸汽、烟或灰尘中的暴露水平应遵守职业接触限和职业接触标准中对健康有危害物质的控制要求。

### F.9.5 噪声

设计安全围屏和防护屏时应考虑降低噪声,设计防护屏外壳时经常可能要适用于双重目的:防护激光辐射危害及机械危害和降低噪声发射。防护屏不能因设计不好或安装不妥而增加噪声级别。

## F.10 安装的考虑——环境因素——检修

### F.10.1 照明

当考虑与激光加工机有关的照明时,下列影响人员安全的要素应包括在内:

- 灯光的方向和强度;
- 背景和局部照明之间的反差;
- 光源的颜色;
- 反射、闪光和影子;
- 观察窗的可见光透射特性。

### F.10.2 电缆和管道

检修的管道和电缆安置在加工区域外边。当无法做到时,则应在可预见的故障状态下,提供有足够强度并能承受激光辐照的包裹层。

## F.11 维护和检修的考虑因素

### F.11.1 安全防护屏运行期的维护

一旦安全防护屏投入使用,则它的保养对于其不间断地有效运行是必需的。

应定期检查安全防护屏,以确保安全所必须的标准得以维持,安全防护屏的常规检查应成为计划保

养程序的一个部分。

### F.11.2 激光防护屏材料的性质

作为例证,图 F.1 到图 F.22 提供了对各种金属板的烧穿时间为 10 s 或 100 s 的激光光束功率和光束直径试验值界限;金属板垂直放置,前表面涂黑,激光光束是水平的。“烧穿时间”是指激光光束在其光路上穿透材料(例如,熔融、汽化、烧蚀)所花的时间,数据应仅作为一种参考,因为该值会随光束的参数(包括波长和光束剖面)和防护屏表面的条件而变化。

激光防护屏的性能可能还依赖于它的特殊设计以及应用场合;推荐通过合适的性能试验验证激光防护屏的适用性。

图 F.1~图 F.22 显示各种防护屏材料的一些例子。

图 F.1 为 1 mm 厚的镀锌钢板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.2 为 1 mm 厚的镀锌钢板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.3 为 2 mm 厚的镀锌钢板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.4 为 2 mm 厚的镀锌钢板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.5 为 3 mm 厚的镀锌钢板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.6 为 3 mm 厚的镀锌钢板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.7 为 2 mm 厚的铝板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.8 为 2 mm 厚的铝板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.9 为 1 mm 厚的不锈钢板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.10 为 1 mm 厚的不锈钢板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.11 为 6 mm 厚的聚碳酸酯板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.12 为 6 mm 厚的聚碳酸酯板的连续 CO<sub>2</sub> 激光损伤试验

图 F.13 为 1 mm 厚的镀锌钢板的连续 Nd:YAG 激光损伤试验

图 F.14 为 1 mm 厚的镀锌钢板的连续 Nd:YAG 激光损伤试验

图 F.15 为 2 mm 厚的镀锌钢板的连续 Nd:YAG 激光损伤试验

图 F.16 为 2 mm 厚的镀锌钢板的连续 Nd:YAG 激光损伤试验

图 F.17 为 3 mm 厚的镀锌钢板的连续 Nd:YAG 激光损伤试验

图 F.18 为 3 mm 厚的镀锌钢板的连续 Nd:YAG 激光损伤试验

图 F.19 为 2 mm 厚的铝板的连续 Nd:YAG 激光损伤试验

图 F.20 为 2 mm 厚的铝板的连续 Nd:YAG 激光损伤试验

图 F.21 为 1 mm 厚的不锈钢板的连续 Nd:YAG 激光损伤试验

图 F.22 为 1 mm 厚的不锈钢板的连续 Nd:YAG 激光损伤试验

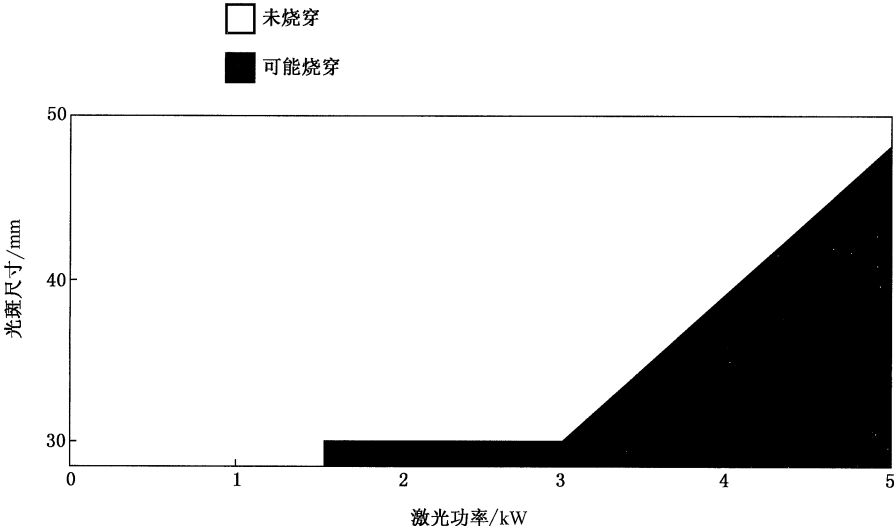


图 F.1 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后, 1 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力

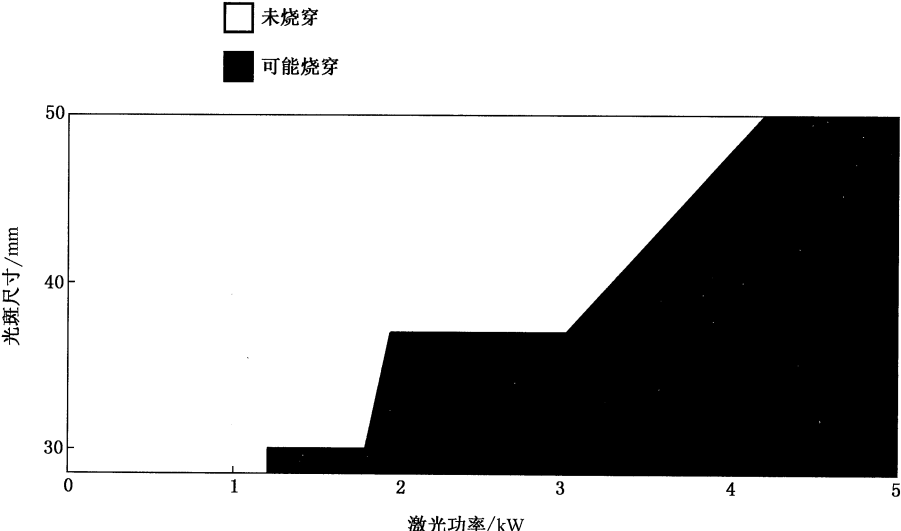


图 F.2 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后, 1 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力



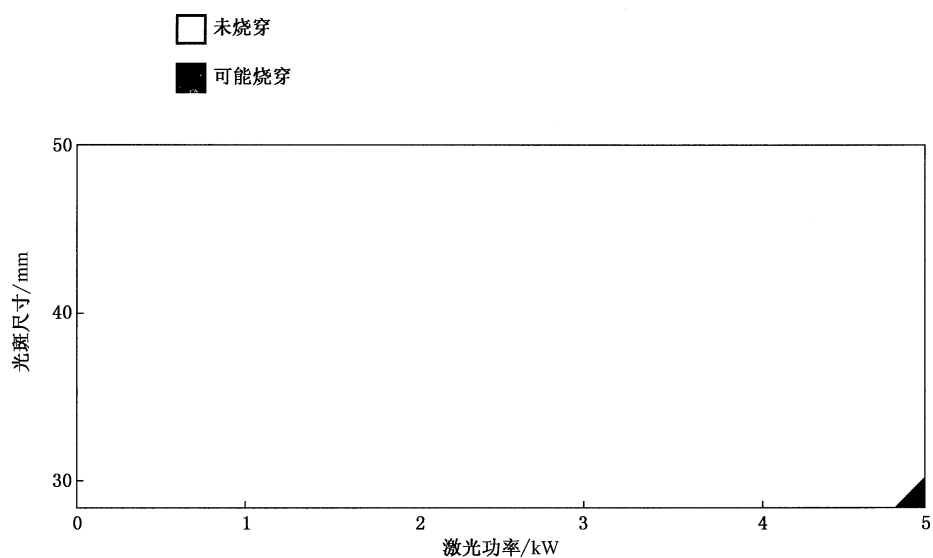


图 F.3 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后, 2 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力

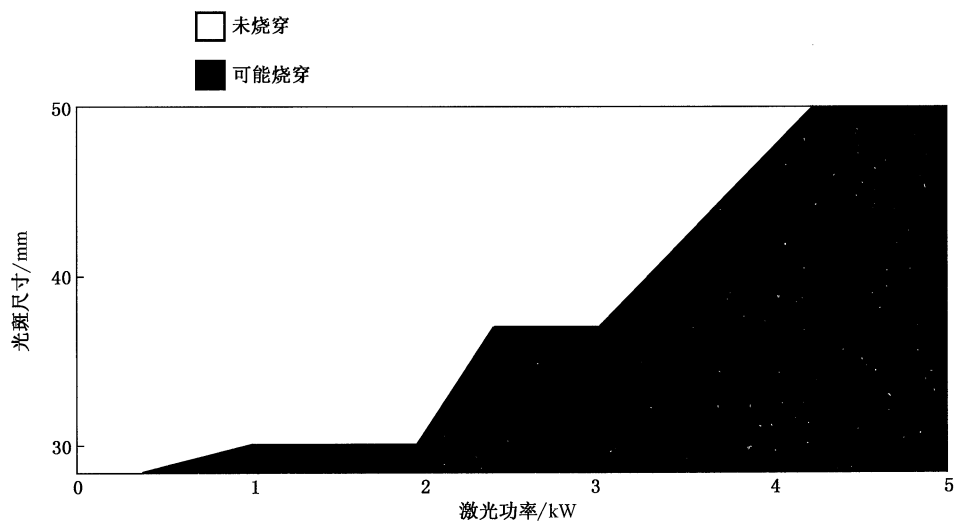


图 F.4 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后, 2 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力

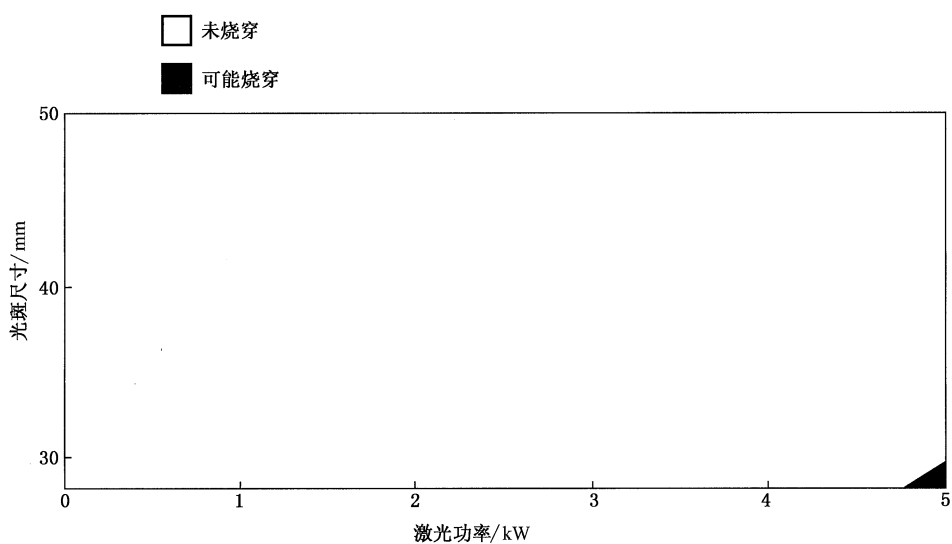


图 F.5 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后, 3 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力

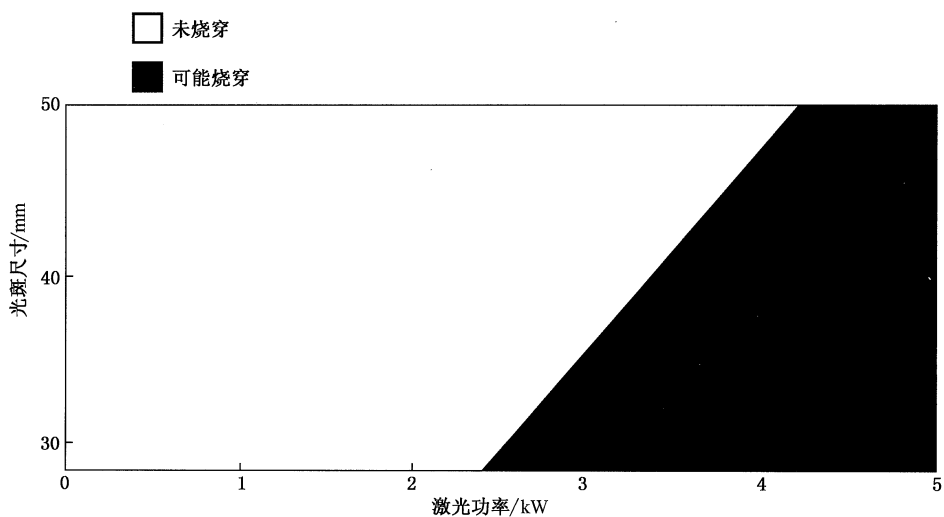


图 F.6 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后, 3 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力

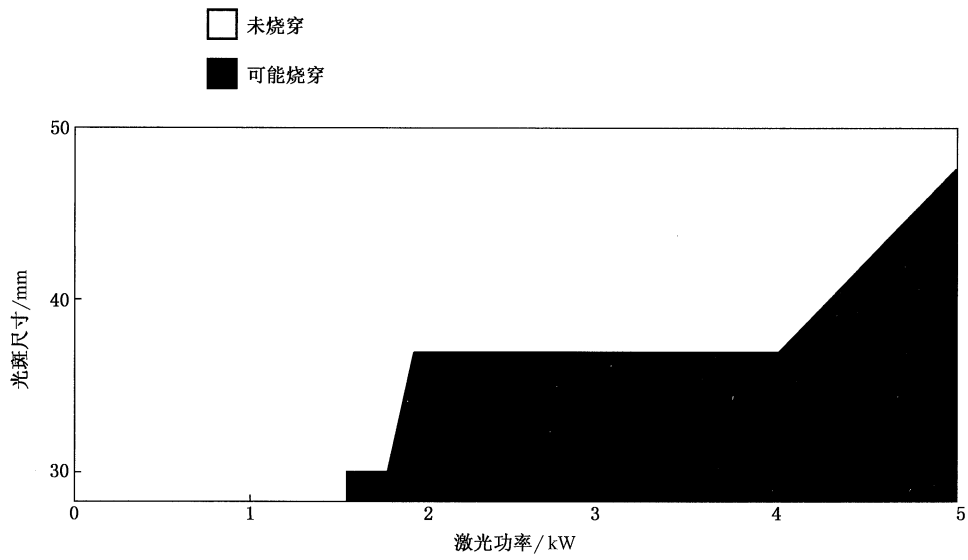


图 F.7 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后, 2 mm 厚的铝板呈现的抗损能力

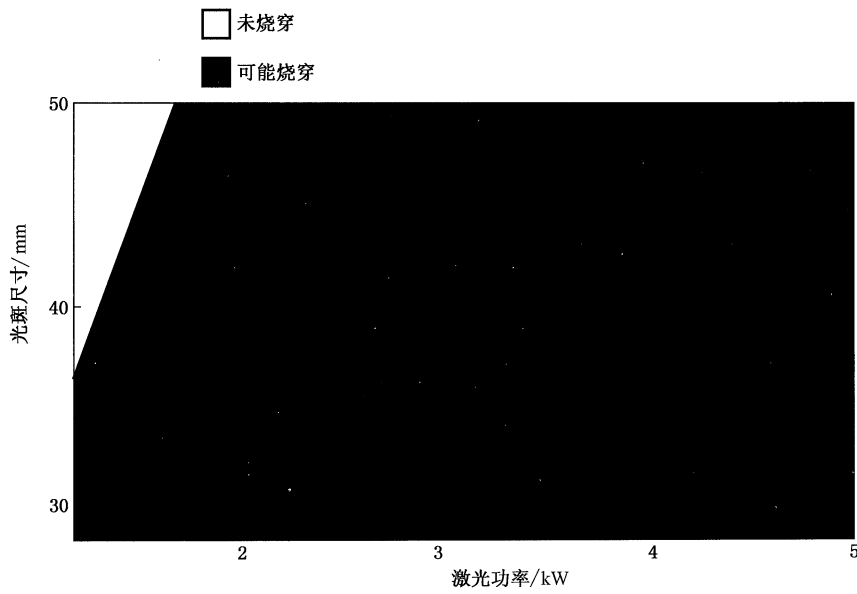


图 F.8 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后, 2 mm 厚的铝板呈现的抗损能力

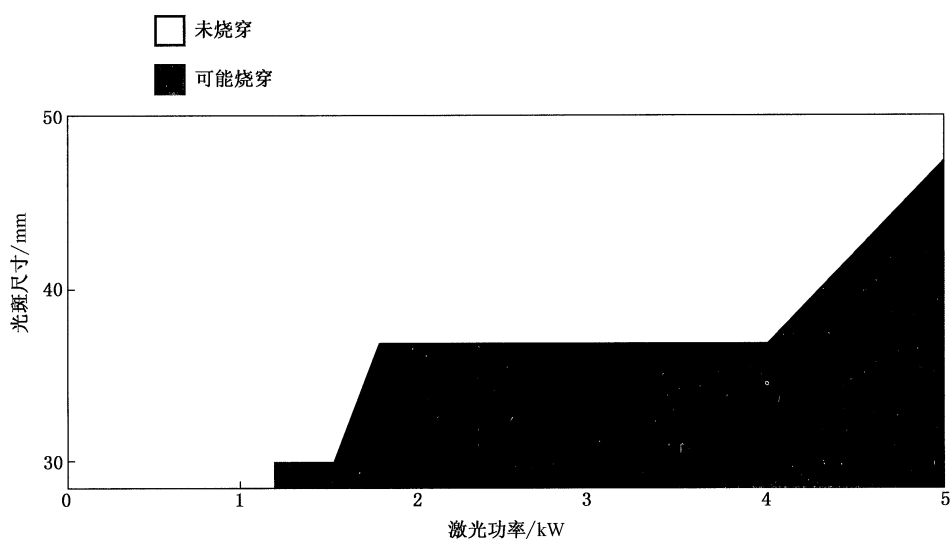


图 F.9 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后, 1 mm 厚的不锈钢板呈现的抗损伤能力

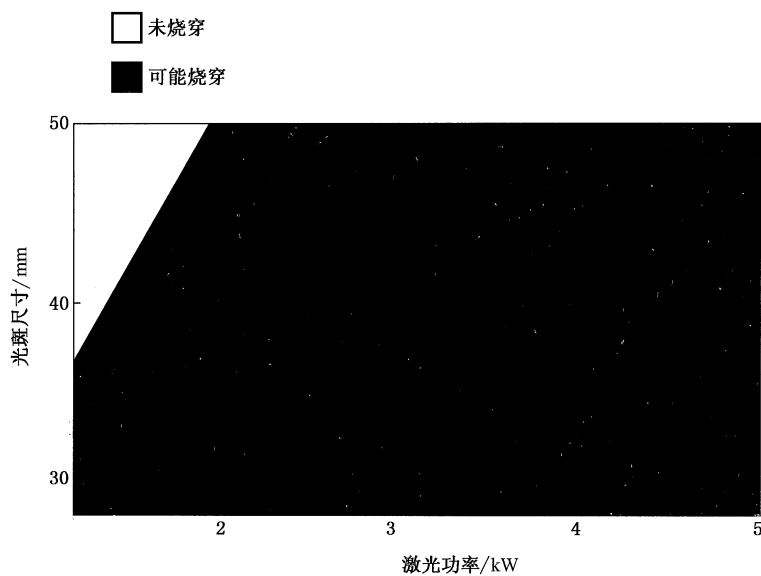


图 F.10 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后, 1 mm 厚的不锈钢板呈现的抗损伤能力

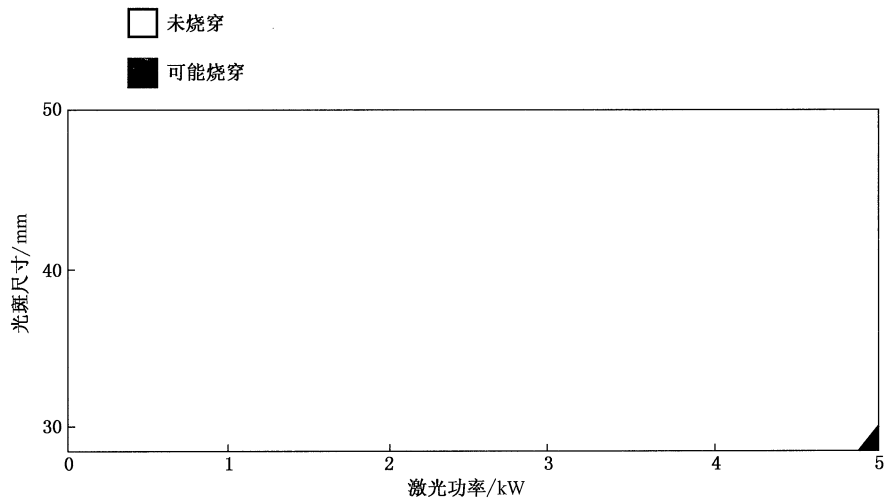


图 F.11 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 10 s 后,6 mm 厚的聚碳酸酯板呈现的抗损伤能力

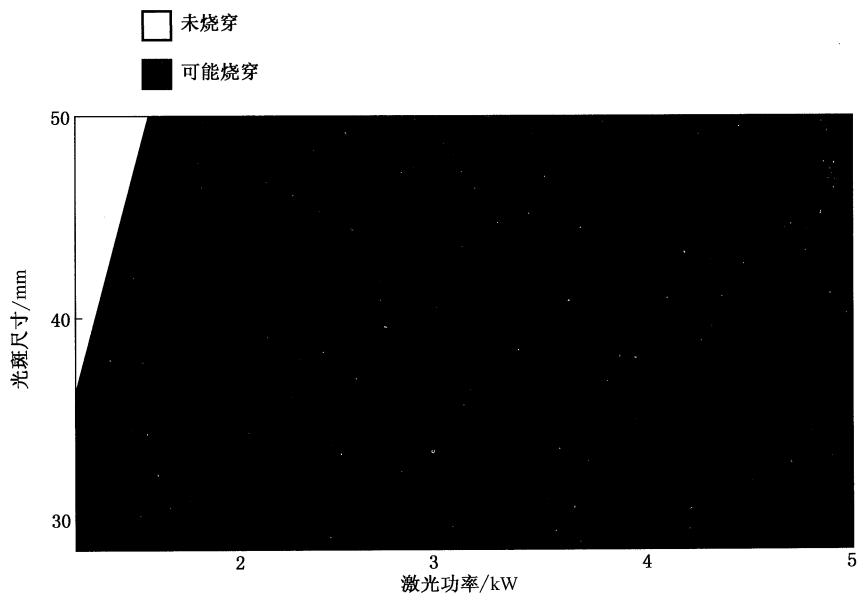


图 F.12 用连续波 CO<sub>2</sub> 激光散焦辐照 100 s 后,6 mm 厚的聚碳酸酯板呈现的抗损伤能力

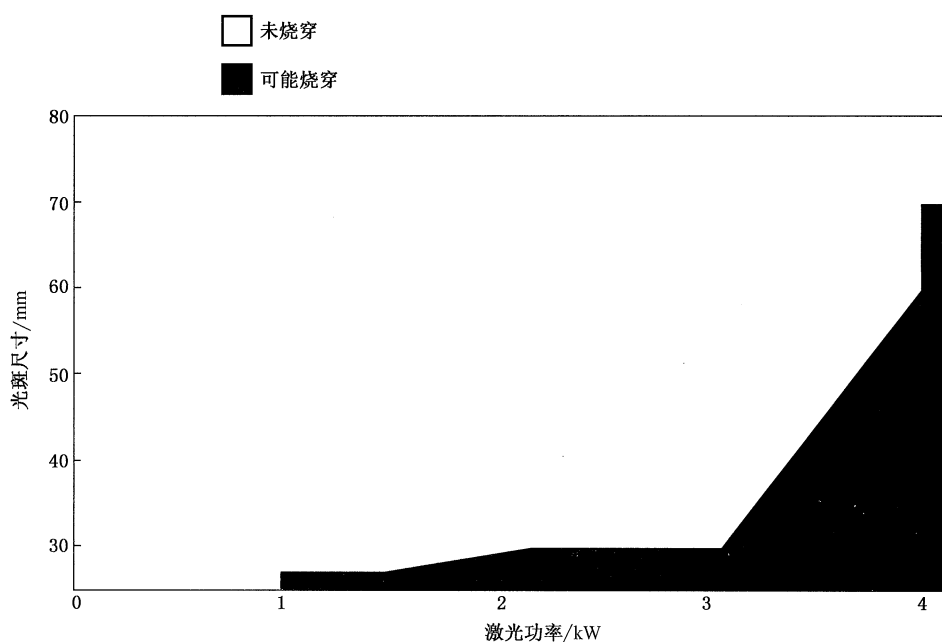


图 F.13 用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 10 s 后, 1 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力

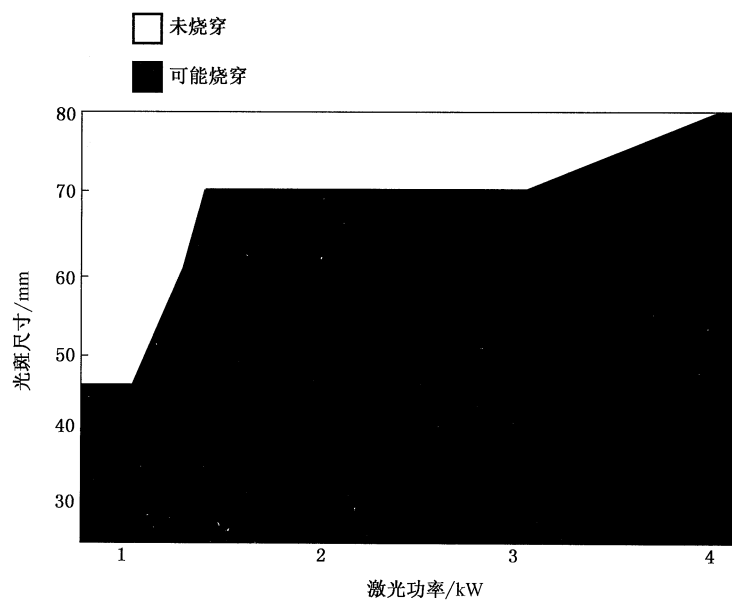


图 F.14 用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 100 s 后, 1 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力

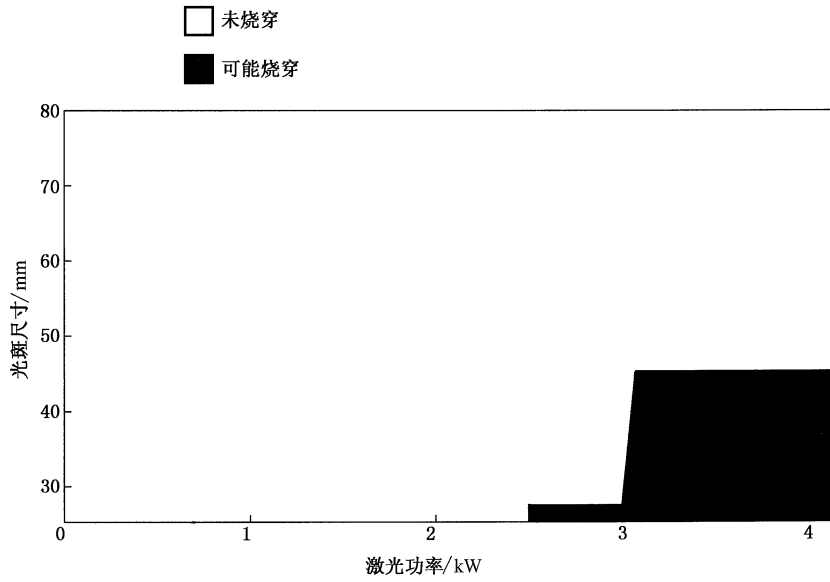


图 F.15 用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 10 s 后, 2 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力

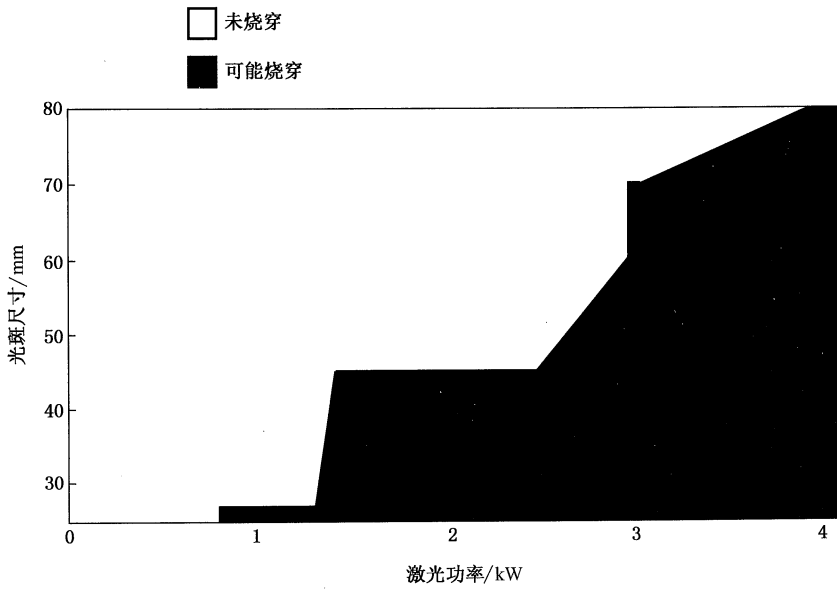


图 F.16 用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 100 s 后, 2 mm 厚的镀锌钢板作损伤试验呈现的抗损伤能力

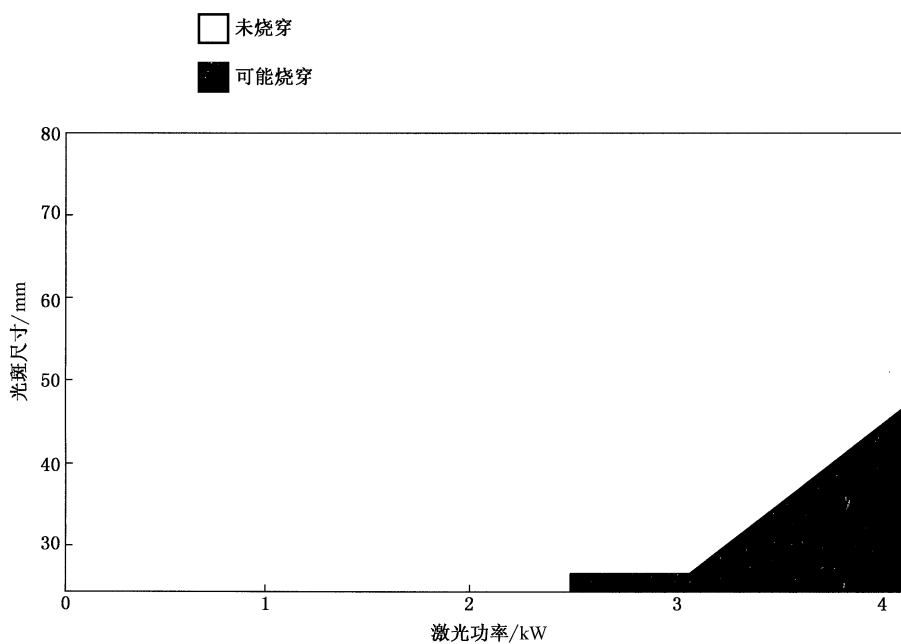


图 F.17 用连续波 Nd:YAG 激光散焦激光束辐照 10 s 后, 3 mm 厚的镀锌钢板散焦呈现的抗损伤能力

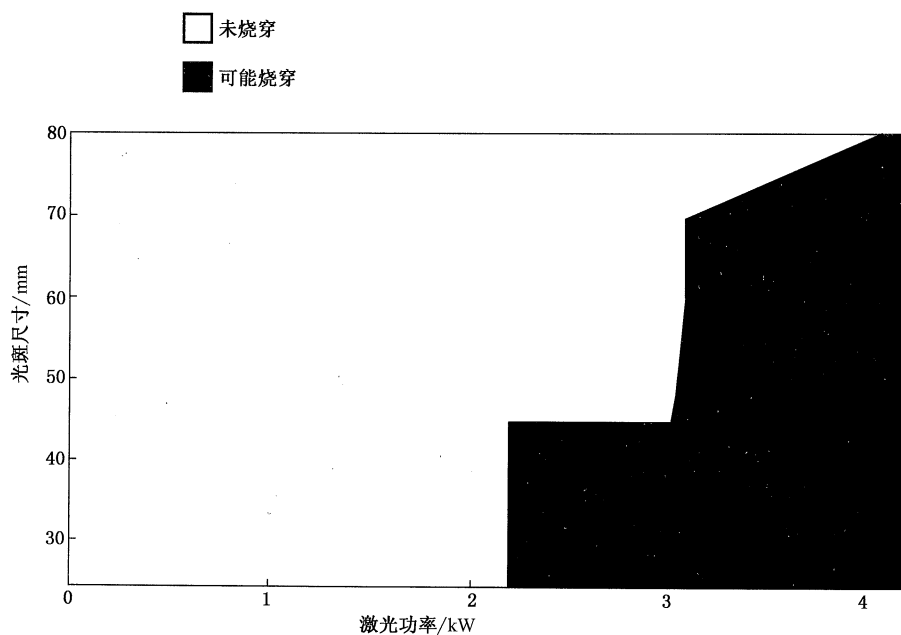


图 F.18 用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 100 s 后, 3 mm 厚的镀锌钢板呈现的抗损伤能力



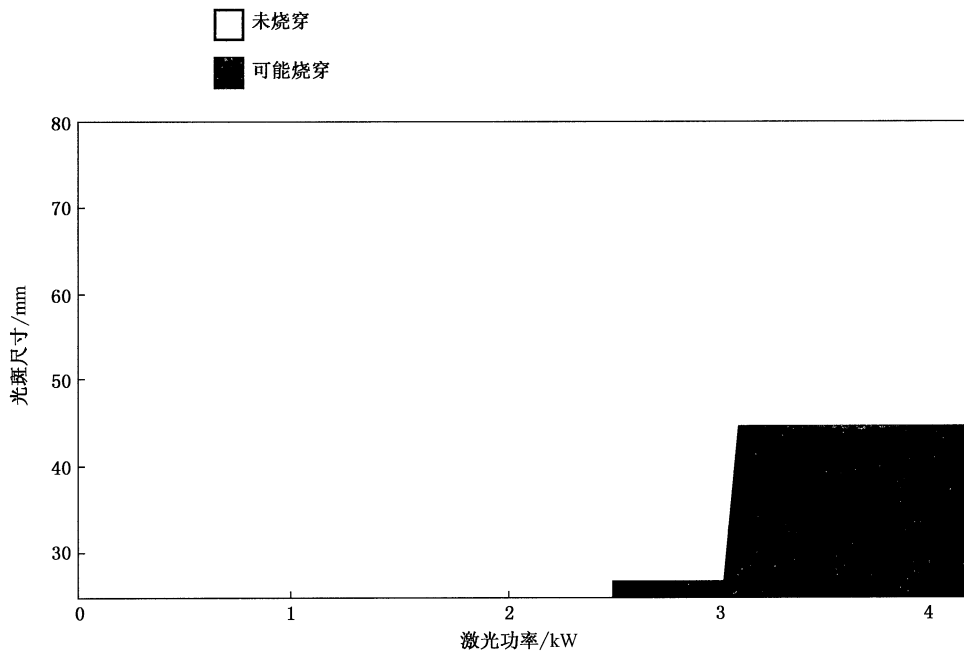


图 F.19 用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 10 s 后, 2 mm 厚的铝板呈现的抗损伤能力

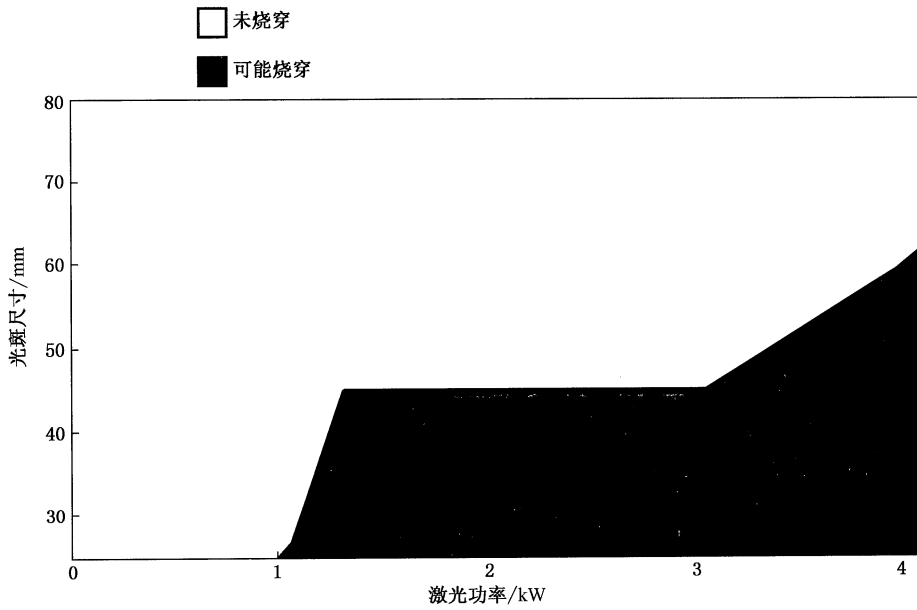


图 F.20 用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 100 s 后, 2 mm 厚的铝板呈现的抗损伤能力

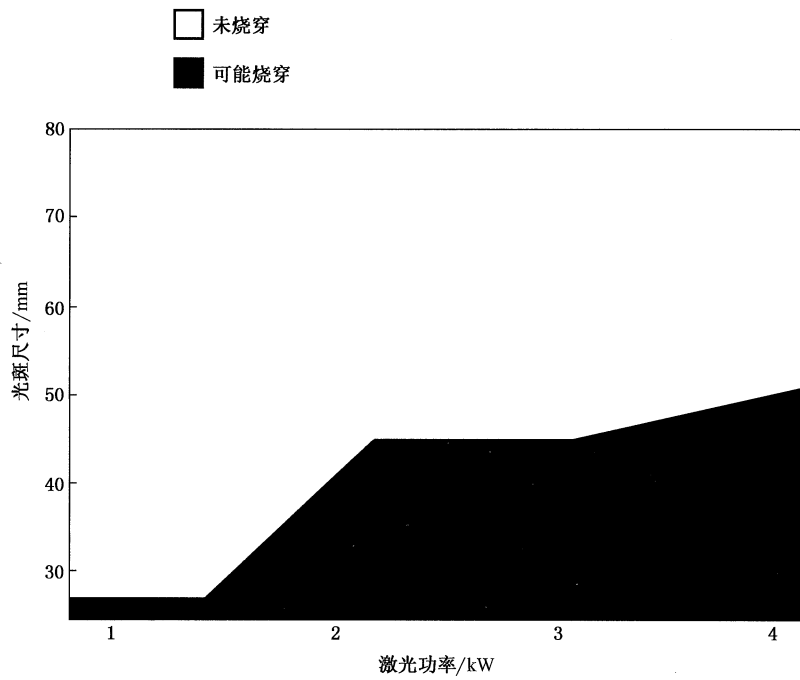


图 F.21 用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 10 s 后, 1 mm 厚的不锈钢板呈现的抗损伤能力

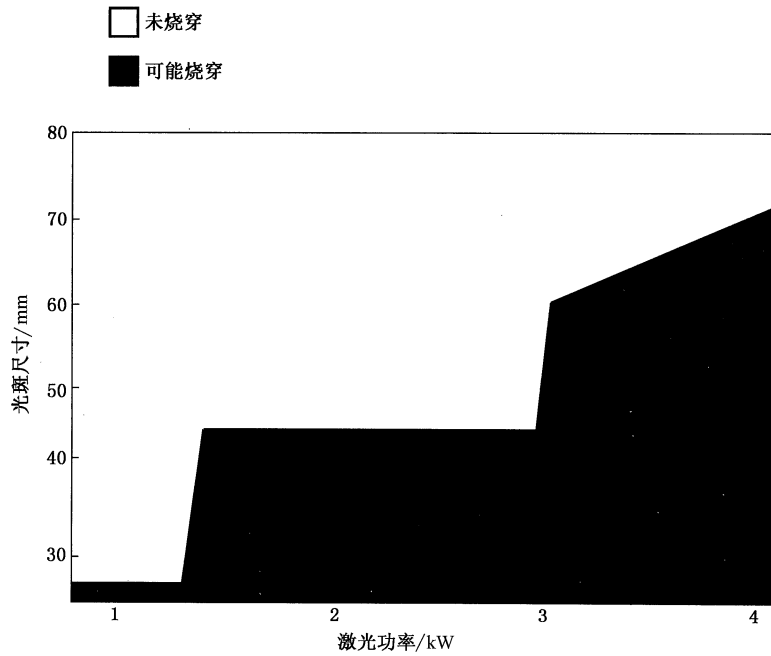


图 F.22 用连续波 Nd:YAG 激光散焦辐照 100 s 后, 1 mm 厚的不锈钢板呈现的抗损伤能力

**附 录 G**  
(规范性附录)  
**光束传输系统**

**G.1 总则**

本附录包括导光传输系统的结构、安装和使用说明。激光光束可在受限空间和自由空间中通过空气、气体或真空传输,也能在激光加工机应用中通过光纤光缆传输。

本附录应用于激光产品输出耦合和防护罩之后的导光传输系统的防护措施,保护人员免受激光辐射的危害(要求详见 GB 7247.1)。本附录旨在补充应用于激光加工围挡的要求(在本部分和 ISO 11553-1中指出)。本附录还提供了评估风险的方法(包括合理预测使用、滥用和误用),并提供了满足本标准和 GB 7247.1 规范性要求控制方法的例子。

本附录不适用于激光器防护罩内部的光束传输系统。

本附录不适用于医疗或通讯应用的光束传输系统。

**G.2 术语和定义**

除了 GB 7247.1 和 GB 7247 的其他部分规定的定义之外,本附录使用下列术语和定义。

**G.2.1****挡板 access panel**

当移走或拆去时人员可接触激光辐射的任一遮挡物。光纤包裹层,封装部件的套管或者任何具有此功能的可移走或和拆开的遮挡物,都可以作为此处定义的“挡板”。

**G.2.2****光束传输系统 beam delivery system**

包括全部光束部件和可能的的光路及其附件组成的系统,组合后将激光辐射从激光辐射发射器(激光器)传输到工件。这些部件可能包括激光束导光、整形、开关的全部单元,以及光路密封和支撑的部件。

**G.2.3****光路部件 beam path components**

位于一个指定的光路上的光学部件(见 GB 7247.1—2012 中的 3.16)。

注:光路部件,如光束调节镜、聚焦透镜或光纤光缆连接器等。

**G.2.4****光束整形部件 beam shaping components**

在光路中通过孔径、反射、折射或衍射,用于改变光束轮廓或光束横截面的光学部件。

**G.2.5****光束开关部件 beam switching components**

在光路中,通过外部控制使光路指向或移出预定方向的光学部件或部件组合。外部控制使光路从一个预定的方向切换到另一个方向。

**G.2.6****光纤光缆 fibre optic cable**

使激光辐射沿着透明介质传播的光束导引部件。光纤光缆具有一个玻璃或其他材料的纤芯传输激光辐射,纤芯由包层包覆。光纤外部由包层保护,也可能用聚合物或金属等其他材料制成的附加层进一

步保护,防止机械形变、浸水等。本附录中,此术语也包括其他形式的传输器件,如波导。

### G.3 一般要求

#### G.3.1 总则

有关光束传输系统的风险和危害应作为机械风险评估总体要求的一部分。评估应采用 GB/T 15706 给出的风险评估原则。评估应确定可接受的风险水平和对处在这些危害下,并能保持机器性能处于可接受的风险水平时的机械操作人员免于接触危害的防护措施。

危险可能来自于却不限于以下几种原因:

- 防护罩或其他光束传输系统的机械防护措施的失效、故障或损伤,导致激光辐射从防护罩中的意外发射;
- 光束光路部件的失效和故障,导致防护罩或其他防护性器件的损伤;
- 关联装备或控制的失效和故障,导致激光加工机的安全功能损伤、失效或出现故障;
- 合理可预见的误用或滥用产生的失效和故障,导致激光辐射从防护罩中的意外发射。

采用的工程和管理控制在设计阶段作综合考虑,包括用户使用说明。

设计应首先考虑减小风险。若未能将危险降到可忽略时,还应考虑附加的安全防护和安全工作流程。

注:风险评估和减小风险的可能措施的举例见 G.6。

#### G.3.2 防护罩

防护罩的要求在 GB 7247.1—2012 的 4.2.1 和 4.2.2 指明。

#### G.3.3 用于自由空间传输的光束传输系统的档板和安全联锁

档板和安全联锁的要求在 GB 7247.1—2012 的 4.3 指明。

自由空间光束传输系统可能包括光束整形和光束开关部件,当下面两种情况均满足时,其光束传输系统防护罩档板应有安全联锁:

- a) 在检修或操作激光加工机过程中,档板被有意移走或拆除;并且
- b) 移走档板后,可接触激光辐射水平为 GB 7247.1—2012 中表 1 标记的“×”。

安全联锁应为设计的一部分,移走档板时联锁功能应启动,直到可达发射水平低于上面规定的 AEL。联锁意外复位时,它本身应不会使发射值恢复到上面规定的 AEL 之上。

如果有一个更优的优先控制机制,GB 7247.1—2012 中的 4.3.2 要求采用这种机制。

所有的安全联锁、安全监控器件和有关安全的相关控制电路均应满足 GB/T 15706 和 GB/T 16855.1 中对于防护屏连同有关联锁器件和安全监控器件,及其在安全相关控制电路中应用所列出的全部要求。

#### G.3.4 用于光纤光缆或其他光波导的光束传输系统的安全联锁

至少满足下列条件之一,才可在光束传输系统中移走或拆开光纤光缆(或其他形式的光波导):

- a) 专业或经过培训的人员使用钥匙或工具在连接点处接触、移走或拆开光纤光缆。
- b) 为防止从光纤光缆中发射激光辐射,若要移走或拆开光纤光缆,应在接触光纤光缆之前中断激光辐射,通过使用可移走界面的联锁实现这一功能。
- c) 只有在采取其他保护措施,确保人员不会暴露在引起伤害的激光辐射之下的情况下,才可以不使用钥匙或专用工具或不中断激光辐射移走或拆开光纤光缆。这些保护措施以及使用的必要程序应清楚地为用户手册上写明。

当使用安全联锁时,移走防护罩不应使人员接触到超过 GB 7247.1—2012 中表 1 的可达发射水平的激光辐射。联锁意外复位时,它本身不应使发射值恢复到 GB 7247.1—2012 中表 1 适用的 AEL 之上。这种联锁应具有自动防故障功能或提供多重保护,并符合可用的 IEC 产品标准要求。

如果有一个更优的优先控制机制,GB 7247.1—2012 中的 4.3.2 要求采用这种机制。

所有的安全联锁、安全监控器件和有关安全的相关控制电路均应满足 GB/T 15706 和 GB/T 16855.1 中对于防护屏以及有关联锁器件和安全监控器件,及其在安全相关控制电路中应用所列出的全部要求。

### G.3.5 环境条件

全部激光传输系统应满足本附录规定的在预期的操作条件下和可预见的滥用和误用条件下安全要求。应考虑的因素包括:

- 使用的环境;
- 加工环境条件(例如温度、相对湿度等);
- 预期的振动和冲击;
- 电磁干扰。

## G.4 安全要求检定或防护测量

应通过目视检查对于本附录的要求总体确认。

应通过制造商指定的性能测试查证控制器件的功能的正确无误。

有关激光辐射水平的检定程序应符合 GB 7247.1 的要求。

用户信息的检查应通过检查手册和其他相关信息确认。

## G.5 用户信息

### G.5.1 技术文件

除激光加工机制造使用的其他标准规定的要求之外,还应提供下列信息:

- a) 安全相关的有关文件和安全安装与使用光束传输系统的细节。若适用,应包括:
  - 1) 关于激光传输系统及其安装和与安全相关控制主机连接的清晰、全面的描述;
  - 2) 供电与其他控制要求;
  - 3) 激光辐射性能限制;
  - 4) 相关物理环境信息。
- b) 光束传输系统维护和检修程序的有关安全相关的文件。这些信息应包括指导调节、维护、替换和修理,特别是指导授权检修人员使用的防护器件和控制。
- c) 授权检修人员使用的推荐的备件清单。
- d) 安全防护、联锁功能和联锁防护的描述(包括连接图)。描述应包括不使用钥匙或专用工具,没有中断激光辐射,使用其他防护措施确保人员不会暴露在造成损伤的激光辐射时移走或拆开光纤光缆的情况。应清楚地描述这些防护措施和使用这些措施的必要程序。
- e) 必要时描述暂停安全防护的方法。

### G.5.2 标签

按 GB 7247.1—2012 中的第 5 章的要求,应贴有档板警告标签。

G.6 风险评估的例子

表 G.1 和表 G.2 列出了风险评估的例子和降低风险的可能措施。列出的只是部分的和可选择的技术措施(可能有同样的或更好的方法)。

表 G.1 采用自由空间传输的光束传输系统

正常使用、合理可预见滥用或误用	故障机理	危害	降低风险的例子
直接通过光束开关器件的光束	光束开关发出激光束部分或全部导向非预期光束传输系统	在非预期光束传输系统中,激光辐射超过 1 类可达发射极限(AEL)	通过设计光束开关器件来避免
直接通过光束开关器件的光束	光束开关不在合适位置——激光束部分或全部导向非预期光束传输系统	在非预期光束传输系统,激光辐射超过 1 类 AEL	监控并锁定光束开关器件,确保其处于正确位置
通过防护罩向自由空间传输的光束	反射镜或透镜损坏、破碎或污染,导致高度散射辐射,可能引起光束传输系统部件变形	在光束传输系统开口处激光辐射超过 1 类 AEL	防护罩若可承受可预计照射限(FEL)(定义见 3.4),可作为被动式防护屏,或使用正确设计的主动式防护。 使用光阑减少缺陷反射镜的散射辐射量或限制光路不准直产生的散射辐射量。 监控易受影响的光束传输部件的局部温度
通过防护罩向自由空间传输的光束	反射镜破碎产生过热,导致光束传输系统部件变形	在光束传输系统开口处激光辐射超过 1 类 AEL	防护罩若可承受可预计照射限(FEL)(定义见 3.4),可作为被动式防护屏,或使用正确设计的主动式防护。 使用光阑减少缺陷反射镜的散射辐射量或限制光路不准直产生的散射辐射量。 监控易受影响的光束传输部件的局部温度
通过防护罩向自由空间传输的光束	防护罩机械变形(由于外力过大造成的临时或永久物理形状扭曲产生的损伤或形变)	在光束传输系统开口处激光辐射超过 1 类 AEL	设计防护罩承受合理可预见机械力,或提供可选的主动式防护屏
通过防护罩向自由空间传输的光束	由于振动等造成防护罩位移,引起光束传输系统崩溃	在光束传输系统开口处激光辐射超过 1 类 AEL	使用经过试验证明可靠的能够承受可预见操作应力设计方法,和在相似应用中广泛使用的成功方法。 定期检查
通过防护罩向自由空间传输的光束	反射镜指向偏离	防护罩受辐射水平高于防护辐射限(PEL)(定义见 3.13)	使用经过试验证明可靠的能够承受可预见操作应力设计方法,和在相似应用中广泛使用的成功方法。 防止在光束传输系统里的光束指向偏离。 结合小孔和挡屏限制光束传输。 限制调节器的数量和调节范围

表 G.1 (续)

正常使用、合理可预见滥用或误用	故障机理	危害	降低风险的例子
通过防护罩向自由空间传输的光束	不清楚光束传输部件性能,安装了不合适的部件,不仅损坏了部件本身,也损坏了机械或工件的其他部分	在光束传输系统开口处激光辐射超过 1 类 AEL 损伤了机械的相关部件	确保所有的光束传输系统的零部件全部贴上易于识别的标签。 提供充分的说明指示,减小使用错误部件和错误安装或调节的风险。 结合联锁,防止错误部件和错误安装
光束整形部件的错误安装	人为错误	激光辐射超过 1 类 AEL(逸出激光防护区,或超过激光防护屏的 PEL)	提供合适的说明指示,减小使用错误部件和错误安装调节的风险。 定期检查
光束整形部件的损伤	来源于与工件的碰撞、污染或水冷故障造成的部件过热	激光辐射超过 1 类 AEL(逸出激光防护区,或超过激光防护屏的 PEL)	确保所有的光束传输系统的零部件全部贴上易于识别的标签。 提供充分的说明指示,减小使用错误部件和错误安装或调节的风险。 结合联锁或机械定位键防止错误部件和错误安装。 监控易受影响的光束传输部件的局部温度

表 G.2 采用光纤光缆的光束传输系统

正常使用、合理可预见滥用或误用	可能的故障机理	危害	降低风险的例子
直接通过光束开关器件的光束	光束开关“泄漏”,激光束部分或全部导向非预期光束传输系统	在非预期光束传输系统,激光辐射超过 1 类 AEL	通过设计光束开关器件来避免
直接通过光束开关器件的光束	光束开关不在合适位置——激光束部分或全部导向非预期光束传输系统	在非预期光束传输系统,激光辐射超过 1 类 AEL	监控并联锁光束开关器件,确保其处于正确位置
耦合进入光纤的光束	耦合光学部件损伤(热损伤)	耦合光学部件或零件过热,产生损伤或变形,导致光束泄漏或光束异常	将耦合光学部件或装配系统设计为被动地处理功率。 光束联锁。 监控部件温度,联锁入控制系统
耦合进入光纤的光束	光纤入射端面损伤	光纤连接器过热导致变形,激光辐射没有正确地耦合入光纤	将耦合光学部件或装配系统设计为被动地处理功率。 采用光束监控机制并联锁入控制系统

表 G.2 (续)

正常使用、合理可预见滥用或误用	可能的故障机理	危害	降低风险的例子
在光纤光缆中的光束	由于机械力造成的光纤破坏	从破损的光纤中向周围发出高于 1 类 AEL 的激光辐射。可能引起火灾	将光纤放入保护盖内,防止操作环境中的机械力和可能的误用或滥用。 使用防护罩限制过量扭曲。 在光纤端面使用减小应变的措施,减小弯曲和扭曲。 使防护罩主动防护接入控制系统(见本部分)。 监控部件温度并连锁入控制系统
在激光束通过光纤时,反复弯曲光纤	由疲劳引起的破碎	从破损的光纤中向周围发出高于 1 类 AEL 的激光辐射	设计防护罩限制弯曲半径,防止光纤破损。 在光纤端面使用减小应变的措施,减小弯曲和扭曲。 设计加强防护罩,在防护罩内表面可承受激光辐射。 使防护罩主动防护接入控制系统(见本部分)
在激光束通过光纤时,反复弯曲光纤	由不同于机械力引起的破损(光学性能降低、初脉冲等)	从破损的光纤中向周围发出高于 1 类 AEL 的激光辐射	能保持防护罩内表面激光辐射不被照穿的防护罩。 使防护罩主动防护接入控制系统(见本部分)
未连接的光纤,激光器在光纤输出端发出激光辐射 未连接的光纤,激光器在光纤输入端发出激光辐射	人为错误 配件的机械松弛,例如由于错误安装或振动引起的	向未定的或未受控制的方向发射激光辐射,导致潜在曝光超过 1 类 AEL(逃离了激光防护区或超过了其他激光防护屏的 PEL)	连锁光纤激光端面或连接器。 确保用于安装和拆卸光纤界面的装备和相关工具是合适的。 减小界面受干扰的条件。 此工作限制于检修,仅具有经验和经过专门培训的授权人员才可操作。 设计增强型激光防护屏
光束整形部件的错误安装	人为错误	向未定的或未受控制的方向发射激光辐射,导致可能的曝光超过 1 类 AEL(逃离了激光防护区或超过了其他激光防护屏的 PEL)	确保设计足够可靠。确保说明书足够用于安全调节。 推荐检查周期
光束整形部件损伤	来源于与工件的碰撞、污染或水冷故障造成的部件过热	向未定的或未受控制的方向发射激光辐射,导致可能的曝光超过 1 类 AEL(逃离了激光防护区或超过了其他激光防护屏的 PEL)	设计考虑应包含完全激光防护屏。提供碰撞防护或连锁
多根光纤——光纤之间的混淆	人为错误	向未定的或未受控制的方向发射激光辐射,导致可能的曝光超过 1 类 AEL(逃离了激光防护区或超过了其他激光防护屏的 PEL)	定位、机械连锁或永久清晰地标记光纤光缆。 确保说明书清晰明确。 若光纤传输激光至一个分离的激光防护围挡,将光纤与围挡连锁



参 考 文 献

- [1] GB 5226.1—2008 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件
  - [2] GB/T 7247.14—2012 激光产品的安全 第14部分:用户指南
  - [3] GB/T 8196—2003 机械安全 防护装置 固定式和活动式防护装置设计与制造一般要求
  - [4] GB 11291—1997 工业机器人 安全规范
  - [5] GB/T 16856.2—2008 机械安全 风险评价 第2部分:实施指南和方法举例
  - [6] GB 18209.3—2010 机械电气安全 指示、标志和操作 第3部分:操动器的位置和操作的  
要求
  - [7] GB/T 18717.3—2002 用于机械安全的人类工效学设计 第3部分:人体测量数据
  - [8] GB/T 18831—2002 机械安全 带防护装置的联锁装置 设计和选择原则
  - [9] GB/T 19436.2—2013 机械电气安全 电敏保护设备 第2部分:使用有源光电保护装置  
(AOPDs)设备的特殊要求
  - [10] IEC 62046:2008 机械安全 防护设备检测现场人员的应用(Safety of machinery—Appli-  
cation of protective equipment to detect the presence of persons)
  - [11] ISO 11252:2004 激光器与激光相关装备 激光器件 文件的最低要求(Lasers and laser-  
related equipment—Laser device—Minimum requirements for documentation)
-