

工業、演示及娛樂用途激光 安全指南

2005 年版

香港九龍
啓成街 3 號
機電工程署

電話：(852) 1823

傳真：(852) 2870 0074 or 2818 4421

網址：www.emsd.gov.hk

電郵：info@emsd.gov.hk

目錄

2005 年版序	vi
鳴謝	vii
前言	viii
第 1 部 激光器及其危害簡介	1
1.1 引言	2
1.2 激光器	2
1.3 潛在危害	3
1.4 最大允許照射量	4
1.5 分類法	4
1.6 激光設備的保養及維修	7
1.7 激光設備的記錄	7
第 2 部 工業用激光器安全指南	9
2.1 引言	10
2.2 與常見工業用激光器有關的危害	10
2.3 標準	15
2.4 購買工業用激光系統	15
2.5 工業用激光系統的安全	17
2.5.1 在工廠及工業經營使用完全包封的系統	17
2.5.2 使用非包封激光系統	18
2.6 用於戶外調準和測量工作的激光系統安全	23
2.7 體格檢驗	24
2.8 委任激光安全主任	25

第 3 部	激光產品製造商的安全守則	27
3.1	引言	28
3.2	本部詞彙定義	28
3.3	安全規定及建議概要	28
3.4	使激光產品的設計和製造合乎標準	29
3.4.1	量度	29
3.4.2	設計準則	30
3.4.3	標記準則	32
3.4.4	說明書之規定	33
3.5	試驗產品以確保符合規定	34
3.6	簽發產品符合規定證明書	34
3.7	記錄保存	35
3.8	報告意外	35
3.9	收回、置換及修理產品	36
第 4 部	演示用途激光器安全指南	37
4.1	引言	38
4.2	定義	38
4.3	指南	39
4.3.1	一般規定	39
4.3.2	通知	39
4.3.3	演示激光資料	39
4.3.4	不可見輻射的發射	40
4.3.5	可見輻射的發射	40
4.3.6	激光系統的安裝	40
4.3.7	光束終止器的使用	40
4.3.8	防止擅用的措施	40
4.3.9	激光演示區域的劃定	40
4.3.10	激光控制台的位置	40

4.3.11	激光輻射緊急終止裝置	41
4.3.12	界線的標示	41
4.3.13	觀眾／公眾的允許照射量	41
4.3.14	操作員／表演者的允許照射量	41
4.3.15	掃描器的使用	41
4.3.16	激光系統的操作	42
4.3.17	激光設備的安裝／調準	42
4.3.18	激光輻射照射量的測定	43
4.3.19	公開進行激光演示前的功能檢查	43
4.3.20	場地的考慮因素	43
4.3.21	使用視光輔助儀器觀看	44

附件	45
附件 A 醫學原理	46
圖 A.1 眼睛的構造	52
圖 A.2 激光輻射對生物體損傷的圖示	53
圖 A.3 眼睛對不同波長輻射的吸收特性	54
表 A.1 過量光照的病理效應一覽表	55
附件 B 最大允許照射量水平	56
表 B.1 角膜直接受激光輻照的最大允許照射量	56
表 B.2 激光輻射對皮膚的最大允許照射量	57
附件 C 各類激光產品的可達發射極限	58
表 C.1 1 類及 1M 類激光產品的可達發射極限	58
表 C.2 2 類及 2M 類激光產品的可達發射極限	59
表 C.3 3R 類激光產品的可達發射極限	60
表 C.4 3B 類激光產品的可達發射極限	61
表 C.5 不同譜段的輻射對眼睛 (o) 及皮膚 (s) 的疊加效應	62
表 C.6 適用於量度激光輻照度和輻照量的孔徑	62
圖 C.1 放射時間為 10^{-9} 至 10 秒的修正系數 C_1	63
圖 C.2 $\lambda = 302.5 \text{ nm}$ 至 315 nm 時的分界點 T_1	63
圖 C.3 $\lambda = 302.5 \text{ nm}$ 至 315 nm 時的修正系數 C_2	64
圖 C.4 光源大小為 0 mrad 至超過 100 mrad 時的分界點 T_2	64
圖 C.5 $\lambda = 400 \text{ nm}$ 至 600 nm 時的修正系數 C_3	65
圖 C.6 $\lambda = 700 \text{ nm}$ 至 $1\,400 \text{ nm}$ 時的修正系數 C_4	66
圖 C.7 N (脈沖數目) 為 1 至 100 000 之間時的修正系數 C_5	66

圖 C.8	$\lambda = 1\,050\text{ nm}$ 至 $1\,400\text{ nm}$ 時的修正系數 C_7	67
附件 D	為分類用途而作的激光輻射試驗 — 量度	68
表 D.1	量度窗孔的直徑和量度距離	70
圖 D.1	用以確定定義明確的接受角的量度設備	72
附件 E	激光產品分類	74
表 E.1	如果時間低於 T_i 便須把脈沖組相加	78
附件 F	激光設備記錄	79
附件 G	供應予購買者的資料	81
附件 H	激光產品的防護措施	83
附件 I	標記	84
圖 I.1	警告標記 — 危險符號	92
圖 I.2	說明標記	93
附件 J	製造商要求一覽表	94
附件 K	演示激光資料	95
附件 L	物理量、單位及符號	98
附件 M	技術詞彙漢英對照	99

2005 年版序

近年，激光器的使用率大大增加，而激光的技術和應用亦迅速發展。我們出版工業、演示及娛樂用途激光安全指南的目的，是推廣激光安全，並就正確使用激光器提供一般指引。本指南並非法定文件，激光設備的擁有者、使用者、操作者和製造商必須知悉本港現行法例的規定。

香港特別行政區政府

機電工程署

鳴謝

荷蒙下列機構准許本指南翻印其具有版權的出版物部分內容，機電工程署謹此致謝。

- (i) McGraw-Hill Companies：准許在本指南第 2 部 2.2.3 段翻印 Mr. Jeff Hecht 所著 The Laser Guidebook (2000) (書號 ISBN 0071359672) 部分內容；
- (ii) 英聯邦大學協會英國大學副名譽校長及大學校長委員會 (The Association of Commonwealth Universities for the Committee of Vice-chancellors and Principals of the Universities of the United Kingdom)：准許在本指南第 2 部 2.5 至 2.7 段翻印「大學安全：使用指南第 2:1 部 激光器」(1992 年修訂版) 部分內容；
- (iii) US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Food and Drug Administration, Center for Devices and Radiological Health：准許在本指南第 3 部 3.2 至 3.5 段翻印 Compliance Guide for Laser Products (1989 年重印本) 部分內容；
- (iv) The Health & Safety Executive：准許在本指南第 4 部翻印 The Radiation Safety of Lasers Used for Display Purposes HS (G) 95 部分內容；及
- (v) 國際電工委員會 (The International Electrotechnical Commission)：准許在本指南第 1 部 1.3 至 1.5 段、第 2 部 2.4 至 2.7 段、第 3 部 3.4 段及附件 A、B、C、D、E、G、H、I、J 和 L 翻印國際電工委員會標準 60825-1:2001 (IEC 60825-1: 2001) 部分內容。(版權©2001，瑞士日內瓦國際電工委員會。版權所有，不得翻印。有關國際電工委員會的詳細資料，請瀏覽網址 www.iec.ch。)

上述機構均保留本指南所翻印資料的版權。這些機構無須對本指南所翻印的摘要和內容的編排和結構負上責任，亦無須對本指南的其他內容或準確程度負上責任。

前言

目前，激光器在本港的使用正逐漸增加。如有關人士未能遵行安全措施，激光器可能構成危險。

自從激光出現以來，激光安全一直是惹人關注的問題，一直以來，在這問題上花去的人力資源亦不少。在各國科學家及機構的共同努力研究下，現時在激光安全方面已制訂了多種國家和國際標準及工作守則。

本指南乃用作補充激光器製造商所提供的操作手冊。本指南在激光安全的基本範疇上提供指引。有關方面極力建議激光設備擁有者、使用者、操作者和製造商嚴格遵從本指南內的指引，以保障他們的員工、顧客、或其他在生產或使用激光設備時可能遇上危險的人士的安全。

本指南只就安全使用激光設備訂定基本和技術指引。激光設備的擁有者、使用者、操作者和製造商亦應知悉及遵守任何有關的法律和技術規定。

本指南包括四個獨立的部分及多份技術附件。第 1 部的簡介，提供有關激光器，其危害及分類法，以及激光設備記錄制度的基本資料和指引，此部分的內容適用於激光的所有應用領域。其餘三個部分分別為三個不同領域提供激光安全指引，詳情如下：

第 2 部：工業用激光器安全指南

第 3 部：激光器製造商的安全守則

第 4 部：演示用途激光器安全指南

各部主要取材自國際電工委員會標準 60825-1:2001 (IEC 60825-1:2001)，因此，除了一些適用於個別領域的細則外，其餘部分原則上相同。

至於其他方面的應用，請參閱本港及海外的激光安全資料。下表列明在教育、醫療及牙科，以及科學及實驗室方面有關激光安全的參考資料：

<u>激光應用領域</u>	<u>相應激光安全參考資料</u>
(a) 教育	(i) 激光 – 科學實驗室安全 香港特別行政區政府教育署 2002 年 (供中學及工業學院使用)

(ii) 大學安全：使用指南，第 2:1 部激光器
英國大學副名譽校長及大學校長委員會
1992 年修訂版
(供大學及理工學院使用)

(b) 醫療 及牙科	醫療安全使用激光指引 香港醫學會，1994 年
(c) 科學及 實驗室	大學安全：使用指南，第 2:1 部激光器 英國大學副名譽校長及大學校長委員會 1992 年修訂版

如激光器擁有者、使用者、操作者和製造商對激光安全有任何問題，請查閱有關操作守則和參考資料，國際電工委員會標準系列 IEC 60825，或向香港特別行政區政府機電工程署政府激光安全主任*查詢。如有需要，可向機電工程署索取本指南。

* 政府激光安全主任
地址：香港九龍啓成街 3 號機電工程署
(電話：1823)

第 1 部

激光器及其危害簡介



1.1 引言

本部提供有關激光器、其分類法、潛在危害及激光設備記錄制度的基本資料及指引，適用於激光的所有應用領域。

1.2 激光器

1.2.1 一般而言，激光器是產生可見或不可見的強烈、高相干性和單色的光束的器具。光束通常是幾乎平行，而且只有極小的發散角。

1.2.2 激光器可以輸出連續光束或單一個脈沖或連串脈沖。因此，激光器常按其操作模式而稱為連續波激光器或脈沖激光器。若激光器連續輸出能量的周期等於或大於 0.25 秒，則視為連續波激光器。脈沖激光器以單脈沖或脈沖串形式釋放能量，其脈沖的寬度少於 0.25 秒。

1.2.3 在描述一個激光器時，通常會提及產生激光作用的媒介，激光器的功率，以及操作模式，即連續波模式或脈沖模式。例如，「二氧化碳 500 瓦特連續波激光器」是描述某種激光器的適當方法。下列例子為現時常用的典型激光器：

(a) 氣體激光器

- (i) 氬 (Ar)
- (ii) 二氧化碳 (CO₂)
- (iii) 氦氖 (He-Ne)
- (iv) 氪 (Kr)
- (v) 準份子 (Excimer)

(b) 液體激光器

- (i) 染料 (Dye)

(c) 固態激光器

- (i) 摻釹鈮鋁柘榴石 (Nd-YAG)
- (ii) 紅寶石 (Ruby)

(d) 半導體（二極管）激光器

(i) 砷化鎵（GaAs）

(ii) 銦磷（InP）

1.3 潛在危害

1.3.1 危害是取決於若干因素，這些因素包括光束的波長、持續時間或強度，以及照射持續時間。最容易受到危害的主要器官是眼睛，因為如果可見的或近紅外線的光束進入眼睛的話，可能會聚焦在視網膜上一個直徑為 $10\mu\text{m}$ 至 $20\mu\text{m}$ 之間的小點。經過這樣聚焦後，強度可能增大 200,000 倍之多。如果這樣強烈的激光束聚焦在黃斑中心（即視網膜上視力最敏銳的地方）上，會導致失明。

1.3.2 如果激光光束的功率具有足夠強度的話，激光光束或其鏡面反射的照射可引致皮膚受到損傷。極度高功率水平的照射，可引致皮膚色素變黑、潰瘍和形成癍痕，並令皮下組織受到損傷。在紫外光區域的某些波長的激光所引致的不良影響，與過度曬曝所產生的相似。

1.3.3 很多激光器具有其他與操作有關的危害，包括：

- (a) 關閉電流後積存在電容器內的高電壓；
- (b) 操作時的高電壓；
- (c) 有毒化學品（如設備為染料激光器）；
- (d) 由下述物質引致的空氣污染：
 - (i) 來自一些激光器氣體媒介的有毒氣體；
 - (ii) 放電時產生的臭氧；
 - (iii) 汽化目標物發出的有害空氣污染物；及
 - (iv) 高壓放電時所產生的 X 射線。
- (e) 有關的火災危害。

1.3.4 附件 A 詳載激光器造成的潛在生物危害。

1.4 最大允許照射量

1.4.1 一般情況下，人體受到照射後而無不良效應的激光輻射量，稱為最大允許照射量（Maximum Permissible Exposure）。最大允許照射量表示眼睛或皮膚受到照射後，即時或長時間後無損傷發生的最大照射水平。它與輻射波長、脈沖寬度或照射時間及受照射的組織有關。如果激光輻射是介乎 400nm 至 1400nm 的可見及近紅外線輻射的話，則亦與視網膜成像的大小有關。附件 B 詳述皮膚及眼睛的最大允許照射量。

1.4.2 激光光束的波長、能量值和脈沖特性可以有很大的變化，使用激光光束時產生的危害亦有很多種類。因此，人體可接受的最大允許照射量會視乎激光的種類、模式及類別而定。

1.4.3 最大允許照射量的數值是訂定得低於已知危害水平，而且是根據實驗研究所得的最佳資料而定出。最大允許照射量數值應用作控制照射量的指引，不應當為分辨安全與危險水平的精確分界線。

1.5 分類法

1.5.1 根據國際電工委員會標準 60825-1:2001 (IEC 60825-1:2001)，激光產品大致分為四類，即 1 類（再分為 1 及 1M 類）、2 類（再分為 2 及 2M 類）及 3 類（再分為 3R 及 3B 類）；1 至 3 類均有訂明的可達發射極限（Accessible Emission Limits），而 4 類則包括功率超於 3B 類所訂明的可達發射極限的激光器。以下數段文字簡述國際標準分類法。附件 C 詳載各類激光器的可達發射極限；附件 D 描述為進行分類而量度激光輻射量的方法；附件 E 則詳述激光產品類別。各附件是以國際電工委員會標準 60825-1:2001 (IEC 60825-1:2001) 為依歸。

1.5.2 1 類激光器不容許人類受到超過適用於 1 類波長和發射時間的可達發射極限的輻照（見附件 C 表 C.1）。

1.5.3 1 類激光器是在合理可預計的運作條件（包括通過視光儀器直視光束）下安全的激光器。

1.5.4 1M 類激光器是發射波長範圍在 302.5nm 至 4 000nm 之間的激光器，不容許人類受到超過適用於 1 類波長和發射時間的可達發射極限的輻照，輻照水平按附件 D 量度，但使用比 1 類激光產品為小的量度窗孔或在離明顯光源較遠的距離評估（見附件 C 表 C.1）。

1.5.5 1M 類激光器在合理可預計的運作條件下是安全的，但使用者通過視光儀器直視光束，則可能有危險，例如以下情況：

- (a) 在處理分散光束時，把視光組件放置在距離光源 100mm 的地點，以集中（瞄準）光束；或
- (b) 量度直徑大於附件 D 表 D.1 所指直徑的平行光束的輻照度及輻照量。

1.5.6 2 類激光器不容許人類受到超過適用於 2 類波長和發射時間的可達發射極限的輻照（見附件 C 表 C.2）。

1.5.7 2 類激光器是能發射可見光的激光器，即其激光是在波長 400nm 至 700nm 的範圍內，通常由眼睛對光的迴避反應（包括眨眼）提供對眼睛的保護。在合理可預計的運作情況（包括通過視光儀器直視光束）下，上述反應可提供足夠保護。

註：若光束的波長範圍並非在 400nm 至 700nm 之間，則 2 類激光器的任何附加發射數值必須低於 1 類激光器的可達發射極限。

1.5.8 2M 類激光器是發射波長範圍在 400nm 至 700nm 之間的激光器，不

容許人類受到超過適用於 2 類波長和發射時間可達發射極限的輻照，輻照水平按照附件 D 量度，但使用比 2 類激光產品為小的量度窗孔或在明顯光源較遠的距離評估（見附件 C 表 C.2）。

1.5.9 2M 類激光器是能發射可見光，通常由眼睛對光的迴避反應（包括眨眼）提供對眼睛的保護。但如果使用者通過視光儀器直視光束，則危險程度可能增加，例如以下情況：

- (a) 在處理分散光束時，使用者把視光組件放置在距離光源 100mm 的地點，以集中（瞄準）光束；或
- (b) 量度直徑大於附件 D 表 D.1 所指直徑的平行光束的輻照度及輻照量。

註：若光束的波長範圍並非在 400nm 至 700nm 之間，則 2M 類激光器的任何附加發射數值必須低於 1M 類激光器的可達發射極限。

1.5.10 3R 及 3B 類激光器容許人體接觸超逾 1 類及 2 類激光器可達發射極限的激光輻射。不過，就發射時間及波長而言，人體可接觸的激光輻射不得超逾 3R 及 3B 類激光器的可達發射極限。

1.5.11 3R 類激光器的發射波長範圍在 302.5nm 至 10^6 nm 之間，直視光束會有危險，但其風險低於 3B 類激光，使用者所需遵守的製造規定和控制措施亦較 3B 類激光為少。其可達發射極限在 2 類激光（波長範圍在 400nm 至 700nm 之間）的可達發射極限的五倍內，以及在 1 類激光（其他波長）的可達發射極限的五倍內（見附件 C 表 C.3）。

1.5.12 3B 類激光器可發出不超逾附件 C 表 C.4所列可達發射極限的可見及／或不可見輻射。如屬連續波激光器，輸出功率不可超逾 0.5W。

1.5.13 在近距離直視 3B 類激光器發出的光束是有危害的。觀看漫反射的未聚焦脈沖激光輻射則是無害的。在下列條件下，通過漫反射體觀看可見光激光光束是

安全的：

- (a) 由屏障至角膜的最短觀察距離為 13cm；及
- (b) 最長觀察時間為 10s。

若不符合上述任何一個條件，則必須小心計算潛在的漫反射危害。

1.5.14 4 類激光器為高功率激光器，其輸出功率較 3B 類激光器高。可見光和近紅外線 4 類激光器能產生有害的漫反射，能灼傷皮膚，並可造成火災。使用這類激光器時須格外小心。

1.5.15 由於不同類的激光器需要不同的安全措施，實有必要確保所有激光設備的分類均為正確。如激光器使用者對其激光設備的分類有疑問，應與有關供應商聯絡。激光器使用者也可就分類問題，向機電工程署政府激光安全主任^{*}尋求協助。

1.5.16 激光器擁有者應與供應商／製造商聯絡，以便根據最新標準對現有的激光器重新評估及分類。

1.6 激光設備的保養及維修

為確保激光設備在其可用期內能保持安全操作，必須按照製造商的建議加以適當保養及維修。附件 G 概述在採購階段應予考慮的事項。大體上，激光設備的保養及維修應由製造商或其指定代理人進行。如對保養及維修有任何疑問，可向政府激光安全主任查詢。

1.7 激光設備的記錄

1.7.1 所有激光設備使用者應在購買激光設備三個月內備存一份激光設備的

^{*} 政府激光安全主任

地址：香港九龍啓成街 3 號機電工程署

電話：1823

記錄。附件 F 簡述應該保存的資料種類。

1.7.2 所記錄事項應包括設備的改動及處理詳情。

第 2 部

工業用激光器安全指南

2.1 引言

2.1.1 本指引供工業用激光器使用者參閱。範圍包括在工廠或廠房內使用的激光器，以及建築業用調準或測量的各種波長的激光器。本指引：

- (a) 描述在工業上一些常見種類的激光器所產生的危害；
- (b) 列明部分有關的國際及國家標準，供使用者參閱；
- (c) 提供有關購買工業用激光系統的指南，令使用者在真正購買設備前能考慮清楚；
- (d) 為室內用的包封及非包封激光系統的操作提供指南；及
- (e) 說明在戶外進行建築調準或其他測量工作時使用激光光束的有關規則。

2.1.2 設有激光裝置的工作地點的僱主、僱員及佔用人應知道他們要負上對健康及工作安全（包括激光安全）的一般責任。

2.2 與常見工業用激光器有關的危害

2.2.1 因為激光光束的同諧特性，激光能夠在受控的情況下，以高能密度聚焦於細小的區域，所以在工業應用方面很有用。亦因為這特性，激光光束是有危害的。激光光束能夠溶解和蒸發金屬，當然亦會危害生物組織。可見的激光光線對眼睛尤其危險。可見光線能以入射光束本身 20 萬倍的能量密度聚焦於視網膜，通常會造成永久性損傷。不可見光線亦能對眼睛及身體構成危險。視乎激光波長而定，光束能對視網膜、眼角膜或晶狀體造成損害。

2.2.2 工業界廣泛使用常見的激光器有兩類，分別是二氧化碳（CO₂）激光和摻釹鈮鋁柘榴石（Nd-YAG）激光器。二氧化碳激光器通常用於切割和焊接重型物料；摻釹鈮鋁柘榴石激光器則用於輕工業材料加工。兩者皆是熱加工激光器，因為它們的光束均在紅外線範圍內發出。工業界近年亦越來越常用另一種激光器 – 準分子（Excimer）激光器。由於準分子激光器所發出之光束介於紫外線範圍，所以

適用於敏感物質(例如半導體和化學品)的非熱能加工。在建築定線及風速計方面，則常有使用氦氖(He-Ne)激光器。氬離子(Argon Ion)激光器亦可作工業用途。

2.2.3 上述各類激光器的安全措施大致相同，但是，因為它們的物理及工程特性各有不同，故須特別注意個別類型激光器在使用時的特有危害。詳情列於下文。

(a)* 二氧化碳激光器(Carbon Dioxide lasers)

- (i) 二氧化碳激光器有兩類潛在危害：高電壓及激光光束。操作該類激光，需要數 10 千伏特的電壓。使用者應參閱安全使用高壓電氣設備的有關標準。關於光束安全方面，所有二氧化碳激光器均屬於 4 類激光器（請參考附件 E所載激光器分類法概要），能灼傷皮膚及眼睛。二氧化碳激光器的波長可被生物組織大量吸收，以致所造成的損害均集中在表面。雖然國際電工委員會標準 60825-1:2001（IEC 60825-1:2001）及美國國家標準學會標準 Z136-1（ANSI Z136-1）均規定激光器製造商安裝精密的聯鎖，以防操作者觸及光束和未經許可人士操作激光器，但不可見的紅外線光束仍構成潛在危害，很多用於材料工作的二氧化碳激光器，皆以有機玻璃包封。這類包封，能讓可見光透過，但可吸收紅外線激光光束。
- (ii) 二氧化碳激光器的光束在空氣中及從表面反射時，一般均無法看到，若這些光束的功率密度高至可令該表面或空氣中的塵埃微粒溫度大

* 第 2.2.3(a)至 2.2.3(e)段乃翻印自 McGraw-Hill Companies 出版，2000 年版權，Jeff Hecht 所著 The Laser Guidebook 第 111、137、176 至 177、227 至 228 及 409 至 410 頁。McGraw-Hill Companies 已以書面准許翻印上述資料，版權仍由該公司保留。McGraw-Hill 不會就 McGraw-Hill Material 內所載資料的準確性作出申述或保證，包括可銷售或適用於特定用途的保證。對於任何因 McGraw-Hill Material 而引致或與 McGraw-Hill Material 有關的特別、附帶、侵權或間接損害，McGraw-Hill 均無須對任何一方負責，即使 McGraw-Hill 已獲告知可能會引致這些損害。

大提升，則屬例外。有些二氧化碳激光器會與氦氖激光器組合，其光束以線性對應的方式排成直線，因此，紅色的氦氖激光器的光束會在不可見的紅外線光束路線上留下痕跡。

(b) 摻鉍釔鋁石榴石激光器 (Neodymium-YAG lasers)

- (i) 摻鉍釔鋁激光器通常屬第 4 類。它們以 1 060nm 的波長產生不可見的光。這些光線雖然不可見，但仍能穿透眼球，因而可以和可見光一樣對眼睛造成損害。大部分摻鉍釔鋁激光器能產生強烈的脈沖，使情況更加危險。其實，過去曾發生由視光組件無意中反射的單一鉍激光脈沖對眼睛造成傷害的個案。不可見的光束往往更易導致這類反射發生。防止上述意外發生的最有效方法是佩戴適當的安全護目鏡，即只讓可見光穿過而能阻隔波長 1 060nm 的激光輻射的護目鏡。
- (ii) 摻鉍釔鋁激光器短促而強烈的諧波脈沖對眼睛亦有危害。532nm 的二次諧波是居於可見的綠色光譜，能夠透射入眼睛。綠光輻射的存在對設計保護眼睛的眼罩造成問題。較高諧波與較長波長的輻射產生不同的危害，各種高諧波所產生的危險也不同。兩類紫外光輻射之中波長較短的一種能引致類似陽光造成的皮膚灼傷，亦會危害眼睛。現已有安全護目鏡，可以保護眼睛，免受這兩種波長輻射的傷害。
- (iii) 多度波長的激光輸出能對眼睛構成嚴重危害，因為設計阻隔二或三種不同波長光線的安全護目鏡，非常困難。原則上，使用者必須選擇合適的護目鏡，確保能過濾輸出光束的所有危險波長，但不會阻隔安全操作該設備所需的光線。如採用非線性視光組件，使用者必須小心，因為設備可能發出多種諧波。
- (iv) 用於激發摻鉍釔鋁激光的閃光燈能構成兩種不同的危害：電源的高壓和負荷過重的閃光燈爆炸。使用者應參閱有關安全使用高壓電氣設備的國際標準。如用脈沖輸送的能量過高，閃光燈可能會爆炸。

(c) 準分子激光器 (Excimer lasers)

- (i) 使用準分子激光器有四種潛在危害：高壓電力、在某些產品作預先電離用途的 X 光、紫外光和激光氣體本身。
- (ii) 在準分子激光器內放電作視光激發，需數十千伏特電壓。這些高壓電是在激光器及電源之間儲存及轉向。在檢查激光器內部前，必須確保所有儲存的電壓已經消耗。使用者須參閱有關的國際標準，以獲得處理高壓電氣設備的指引。
- (iii) 若 X 光用作預先離子化激光氣體，可引致放射性危害。這類產品應有適當的防護裝置及警告標籤，以達致安全操作的目的。X 光的使用受輻射條例監管。
- (iv) 短而強的紫外脈沖對眼睛有危害，而紫外光照射皮膚亦能引致損害。波長超過 315nm 的脈沖能對視網膜造成傷害。計算在各種波長下照射極限的指引，可參閱附件 B。附件 C 列明達致激光安全的有關極限。波長較短的紫外光輻射在角膜已被吸收，不能到達視網膜，故可引致痛楚及短暫類似陽光造成的灼傷，稱為「雪盲」或「焊接閃光」。紫外光對眼的晶狀體亦有危險。皮膚暴露於紫外光下，亦能導致與暴露於陽光中的紫外線下的同樣後果。使用適當的保護屏障，可避免激光操作區受到紫外光照射。為避免上述危險情況發生，實有需要採取這項措施。
- (v) 準分子激光器內的鹵素並非是無害的，現時已有標準訂明暴露於有關氣體的極限。以氟 (Fluorine) 而言，空氣中的含量極限為百萬分之 0.1 (0.1ppm)；氯 (Chlorine) 為百萬分之一 (1ppm)；氟化氦 (NF₃) 則為百萬分之十 (10ppm)。純氟腐蝕性很強，有引致火災和爆炸的危險。為安全計，準分子激光器內的氟，通常會加入氦，使其濃度變稀至百分之五，並置於瓶內供人使用。使用者亦應參閱有關的國際標準，作為處理有毒氣體的指引。

(d) 氦氖激光器 (Helium Neon lasers)

- (i) 數百毫瓦特或以下的激光能量對生命沒有危險，皮膚也可能甚至一點也感覺不到其溫暖。但是，氦氖激光光束的強度可與陽光相比，兩者皆是由平行光線組成。眼睛可把這兩種光線聚焦於視網膜上的一個小點上。如照射的時間過長，集中於視網膜的強光能夠引致永久損害。但是，偶然一瞥低能量的氦氖激光，卻不須太過憂心，因為引致瞬時失明的可能並不高於偶然一瞥太陽。雖然如此，對較高能量的氦氖激光器，尤其是 3B 類和 4 類，應該特別小心。
- (ii) 安全使用氦氖激光器的基本規則是避免注視激光光束，以及避免接觸用於放電的高電壓。

(e) 氬離子激光器 (Argon Ion lasers)

- (i) 氬激光器多屬於 3B 類和 4 類，使用者必須小心避免直接受到光束照射（尤其是眼睛）。未衰減的氬的藍綠線會產生危險，由氬激光器發出的未衰減且窄擴散的光束，能夠射入眼球，並對視網膜造成永久影響。
- (ii) 氬激光的紫外光線很容易為眼睛的晶狀體吸收，只有少部分會到達視網膜。以這波長發出的連續波激光器數目不多，目前仍未有確實資料計算或量度紫外線激光對眼睛的危害程度，因此，應使用吸收紫外光的護目鏡，以策安全。
- (iii) 如其他以放電驅動的激光器，氬激光器需要高電壓，惟這電壓只用於引發放電。開始放電後，電壓將降低至 90 至 400 伏特的水平，並有 10 安培或以上的電流通於管內。該電流量的危險程度只與牆上外露的插座相似，而與較高電壓的不同。

2.3 標準

2.3.1 工業用激光系統的使用者必須注意下列國家、州／省和國際標準：

(a) 國際電工委員會標準 60825-1:2001 (IEC 60825-1:2001) 激光產品安全 — 第 1 部：設備分類、規定及使用指南

(b) 英國標準歐洲標準 60825-1:1994 (BS EN 60825-1:1994)
激光產品安全：設備分類、規定及使用指南

(c) 美國國家標準學會 (ANSI) 標準 Z136.1-2000 美國安全使用激光國家標準

(d) US Department of Health and Human Services "Performance Standard for Laser Products" Code of Federal Regulations, Title 21, Subchapter J, part 1040.10, 1985

(a)至(c)的標準屬自願執行性質，(d)的標準則屬強制執行。

2.4 購買工業用激光系統

2.4.1 如要購買工業用激光系統，必須預早定下計劃。使用者須考慮所需的財政預算和空間，包括聘用專人負責安全規則，激光安全設備的開支，以及設置一個激光管制區。

2.4.2 將會使用工業用激光系統的使用者必須事前瞭解他們將購置的激光裝置的類別。如他們對評定所欲購買的裝置的類別有疑問，應與經銷商、供應商及／或製造商聯絡，索取資料。如有需要，亦可徵詢香港特別行政區政府機電工程署政府激光安全主任的意見。

2.4.3 有關激光系統製造商必須向激光系統購買者、經銷商、分銷商提供的資料均詳列於附件 G。

2.4.4 在購置激光系統前，使用者必須預先制定一套符合該類別激光器的管制

措施。如可行的話，3R 類（不可見光束）、3B 類和 4 類激光器的措施應包括：

- (a) 委任一名激光安全主任^{*}；
- (b) 為每件激光設備制訂特定的內部安全守則；
- (c) 設置激光管制區；
- (d) 制訂工程管制計劃；
- (e) 定出行政和程序控制架構；
- (f) 提供所有必需工具和適當的個人保護裝備；
- (g) 在激光管制區所有入口張貼合適的警告標誌；及
- (h) 提供員工訓練、教育和醫療檢查。

2.4.5 並不是所有上述管制措施都是必需的，但如不欲採納其中任何措施，委任激光安全主任須有明確的理由。上述措施詳載於國際電工委員會標準 60825-1（IEC 60825-1）和美國國家標準學會標準 Z136-1（ANSI Z136-1）內，亦列於附件 H內。

2.4.6 3R 類（可見光束）及以下的激光系統，可能不需上述管制措施，但須準備合適的程序和警告標誌，以確保無人會直視發自激光源的光束或經反射的光束。使用者須注意，這些系統如被改裝或正進行保養，可能變為 3B 或 4 類，在此情況下，便應遵行上文第 2.4.4 段。

2.4.7 購買者、經銷商和分銷商應確保，所買賣的激光系統是根據上文第 2.3.1 段所列國際標準而製造和分類。任何未能符合上述標準的系統，應當作未分類產品，而就激光安全來說，未分類產品必須特別小心處理。除非它們按國際標準獲重行分類並加上標記，否則這類激光系統必須當作 4 類激光器，且應採用第 2.4.4 段所述的管制措施。附件 D 和 E載有激光產品分類的指引。

^{*} 本部所述「委任激光安全主任」指由激光使用者委任或認可的人士。機電工程署的激光安全主任稱為「政府激光安全主任」。

2.4.8 重行分類試驗必須在委任激光安全主任監察下，由合資格的人士進行。

2.4.9 行將購買和使用激光系統的公司，在安裝系統前，應確定公司能施行適合該類別系統的必要安全措施。公司亦應注意，如激光器在重行分類後進行改裝或修理工程，則應根據該激光器新類別的性能而施行安全措施。

2.4.10 如第 1 部第 1.7.1 段所述，所有激光設備使用者應為每一設備設置記錄。附件 F 列明應保存的資料。

2.5 工業用激光系統的安全

為激光安全計，必須清楚明瞭各類激光器所需的適當安全措施。使用者不須採取過多措施，但也不應採取少於必要的措施。包封激光系統比較不包封系統易施行激光安全管制。使用者應購買包封貨品：製造商目前在可能情況下，都希望生產包封系統。但是，使用者應清楚「包封系統」的基本意義，以及在何種情況下，包封系統會變成非包封系統。

2.5.1 在工廠及工業經營使用完全包封的系統

2.5.1.1 這種激光系統應依循列於附件 I的方法加上標記。

2.5.1.2 完全包封系統是指在內部裝置一個（或多個）激光器，以便與外界完全分隔，而在系統之外，任何人士不可能受到比 1 類激光器可達發射極限為多的輻射的照射。

2.5.1.3 第 2.4.4 段所列的管制措施，大部分不適用於這類系統。但是，如果員工必須接近包封的內部，以進行保養、裝置和類似的操作，激光器在這段時間內必須重行分類，並施行適當的管制措施。

2.5.1.4 激光器亦須符合下列規定，才可列為完全包封系統：

- (a) 包封必須貼上清楚標記。
- (b) 必須裝上連鎖裝置，使激光器在正常操作時，不能拆除包封的任何一部分，這樣便可防止操作者或其他人士受到比 1 類激光器可達發射極限為多的輻射的照射。措施應包括覆蓋工作物料，以避免其反射激光。
- (c) 激光器和包封必須有「失效保護」的設計，以致在系統任何一部分進行調節、改裝和系統失效時，也不會使包封外的照射量違反規定，或使系統在其他方面變為不安全。
- (d) 包封內的激光器必須可清楚認明，並根據附件 I所載的分類，貼上適當的標記。
- (e) 必須為整個系統裝置一個電力獨立掣，並應貼上清楚標記，以及裝置於一個當眼和方便的位置。

2.5.1.5 當安全連鎖系統需要改裝時，應諮詢有關製造商。

2.5.2 使用非包封激光系統

使用這類系統，應視乎激光器類別而遵守下列規定：

2.5.2.1 1 類激光器

- (a) 這種激光器應依循列於附件 I的方法加上標記。
- (b) 如果激光器太細小或數量太多，以致要加上標記並非實際可行，例如激光器為半導體二極管激光器，則應在最近激光器使用時的位置加上標記。

2.5.2.2 1M 類、2 類、2M 類及 3R 類激光器

- (a) 這種激光器應依循列於附件 I的方法加上標記。
- (b) 必須採取安全措施，以防止任何人持續直視光束，並應管制視光觀察儀器如顯微鏡、望遠鏡等的使用，以確保眼睛所接受的輻射不會超越最大允許照射量。
- (c) 若視光觀察儀器（例如望遠鏡）與 1M 類、2M 類及 3R 類激光產品一併使

用，可能會增加對眼睛的危害，故應盡量避免，並考慮採取影像監察等額外預防措施。

- (d) 只有合資格及曾接受訓練的人士方可獲指派安裝、調校和操作激光設備。
- (e) 應在使用這類激光器的地方提供適當的激光警告標誌。
- (f) 若可行的話，應以機械或電子方式協助調整激光。
- (g) 應採取預防措施，確保任何人士均不會直視光束（長時間的光束內視可造成危害）。透過視光儀器直視光束（例如經緯儀）亦可能造成危害，尤其是不符合附件 D 表 D.1 條件 I 的 1M 類及 2M 類激光器，除非獲得委任激光安全主任的批准，否則不得使用這類儀器。
- (h) 激光光束應在符合其用途的光束路徑末端終止；若構成危害的光束路徑（正常會危害眼睛）伸展至管制區範圍以外，則必須終止激光光束。
- (i) 若可行的話，激光的光束路徑應設定在眼睛水平以上或以下。
- (j) 應採取預防措施，確保激光光束不會非故意地射向鏡類物（鏡面的）表面（尤其是鏡類的平面或凹面）。
- (k) 激光器在無人使用時，應貯存在未經授權人士不能進入的位置。
- (l) 即使激光系統由一個集成機械系統控制，也切不可蓄意把激光光束射向人體。

2.5.2.3 3B 和 4 類激光器

- (a) 應為這兩類激光器設置記錄冊，並應依循列於附件 I的方法為激光器加上標記。
- (b) 如激光器本身的設計並無提供防護，而有關人士亦無配戴適當的護目鏡，則直視 3B 激光器所發出的光束或反射光束均可對眼睛構成危害。
- (c) 4 類激光器對眼睛及皮膚均可構成更大的危害；即使是漫反射亦會對眼睛及皮膚造成損害，並可導致嚴重火災。須知這類包括輸出功率超於 0.5 瓦的所有激光器。現在也有輸出功率以兆瓦計的激光器供應，輸出功率的差別的確很大。基於安全理由，這類激光器顯然不可能全以同一方法處理。

- (d) 公司管理階層與委任激光安全主任，應預先小心計劃 3B 和 4 類激光裝置所需的實際安全措施。這兩類激光器只可在激光管制區使用，即工廠廠房內或建築物內指定作激光器操作而危害能有效地受到控制的地方。使用者亦可考慮在此區域內裝設 2 類激光器和完全包封系統。
- (e) 激光管制區必須要清楚界定。附件 I 圖 I.1 所載的警告標誌必須用作界定激光管制區的範圍並被納入一適當的告示內，同時須要展示於激光管制區的所有入口。此外，亦應考慮在各入口處安裝適當的視覺訊號器，並與激光器連鎖，使到每當激光器進行操作時，便發揮功用。
- (f) 通常應只限已得到許可的人員進入激光管制區。激光器正在使用時，其他人士一概不能進入。上文 2.5.2.3(e) 段所述的告示必須清楚指明這一點。前往此區域的訪客必須由合資格人士陪同，並獲委任激光安全主任許可，而委任激光安全主任所給予的許可，須得到上司批簽。
- (g) 在某些特殊情況下，如正在使用高能量脈沖激光器時，必須在通往管制區的門戶上裝上連鎖，以防止在激光器操作時有人進入。管制區入口處應設有可見標記，說明激光器正處於準備發射激光輻射的狀態。如有需要遵守上述程序，必須小心確保激光設備不會妨礙在管制區域內工作的人員迅速離開或使用緊急服務。此外，亦必須確保有關人員不會在門戶緊鎖的區域內單獨工作，否則，如遇緊急情況，應該有開啓連鎖方法。
- (h) 在可能範圍內，在任一個激光管制區，同一時間內只可使用一個激光器。如不可能的話，必須考慮使用適當的不透光屏障（可見和不可見激光輻射均不可透過），作分隔用途。
- (i) 激光管制區在興建和設備方面，須能減低在該處工作認可人員所受危害，包括由激光器本身、有關的電氣、機械、化學及其他的危害。此外，亦必須對訪客和區域以外的人士提供保護。
- (j) 每個激光管制區必須特別為指定激光用途而設計。再者，在設計激光管制區時，須考慮事項中較重要者如下：

- (i) 若無法合理可行地把激光光束「完全密封」在激光設備內，應考慮防止激光光束洩漏出管制區。把激光器擺放在適當的位置可減少從門窗洩漏激光的機會，不過，仍需要把窗戶「覆蓋」。
- (ii) 安裝合適的光束阻止器或目標物，以終止激光光束。這設備必須能夠吸收有關能量，並必須對指定的激光有防火的特性。一般來說，設備表面必須為無光澤的黑色，雖然視乎環境而定，可能須用其他處理方法。
- (iii) 在可能情況下，應在區域內提供高水平的照明設備，務使眼睛瞳孔維持最小。
- (iv) 激光管制區內的牆壁、天花板和裝置應盡可能髹上淺色而無光澤的漆油，以加強照明，並減低反射。
- (v) 把所有不必要的設備移離激光管制區。
- (vi) 減少或有可能的話，移去反射表面。前面配備玻璃的櫥櫃、髹上光油的電器和其他設備，是明顯的例子。
- (vii) 盡可能提供充足的通風設備，以防止由激光器本身物質或激光所照射的物質產生的空氣污染物積聚。當使用其他物料如液態氧氣時會構成進一步危害，切不可忽視。詳情可參閱由勞工處職業安全及健康部編印的控制工作地點空氣雜質（化學品）的工作守則。
- (viii) 盡可能提供足夠的設施，以使用和處置有毒的化學品（例如在漂染激光器內使用的物質，有些可能會致癌），亦應考慮如何處置有毒廢物及將其移離房產。
- (ix) 若可行的話，應把光束路徑維持在眼睛水平以下位置，並加以遮蔽（例如置於管內或完全密封在設備內）。完全密封的設備及屏障不可讓激光波長穿過，並應可防止會產生危害的鏡類反射及漫射作用。若可能的話，應在完全密封的設備及屏障的表面髹上無光澤的黑色油漆，並採用防火物料。有關設備應在合理可行的情況下防止身體任何部分意

外暴露在危險區域。亦應考慮把這設備與激光控制系統連鎖。

- (x) 固定激光器和有關設備，以防止設備意外移動，因而引致意外發出直射或反射光束。如激光器固定於可移動的托架上，應加裝連鎖系統，限制光束只直射於工作的物件，並無反射。
- (xi) 安裝有標記電掣和控制裝置的認可供電設備，用以：
 - (1) 防止激光器意外發射激光；
 - (2) 當有關設備（例如電容儲存器）進入準備狀態時，發出指示；
 - (3) 使有關人員能站於安全的地方；
 - (4) 結合所有有關電力安全的特點；
 - (5) 使站於激光器旁的人士能關閉激光器；
 - (6) 使設備能與外界隔絕，即使有火警或其他意外發生亦使激光管制區以外地方安全；及
 - (7) 為所有輔助設備及儀器供應足夠電力，並把隨動電線數量（無論在任何情況下，均應固定其位置）減至最少。
- (xii) 提供足夠和適當的滅火設備。
- (k) 即使激光系統及指定激光安全區已加入上述所有設計特點，並已推行管制措施，在調校及維修程序中，仍可能與光束有所接觸。在這種情況下，必須採取上文第 2.5.2.3(l)段所述的措施，以適當地保護眼睛。
- (l) 應考慮採用已加上適當塗層的光纖組件。選擇在激光光束下不會破損或破裂的組件；把毋須使用的儀器、裝置和設備移離激光區，並把餘下物件的反射表面清除；除掉個人飾物、手錶等，並以適當的實驗室外套或連身工衣遮蓋光亮的鈕扣、皮帶扣等。

2.6 用於戶外調準和測量工作的激光系統安全

2.6.1 在戶外建築地盤或工廠的戶外範圍使用任何一類激光器，必須採取特別措施，以應付上述工作所會導致的公眾安全和公共關係問題，尤其是當公眾人士可進入那些區域時。激光光束尤其必須在試驗區內能完全終止，而試驗區必須明確界定，且有清楚的指示。如激光器的光束須向上投射的話，應考慮向民航處查詢。委任激光安全主任應評估民航安全所受影響。在正常情況下，激光光束不應向天空投射。

2.6.2 如欲在戶外使用激光器，應任命一位委任激光安全主任，就行動的詳情提出意見。為保障公眾人士的安全，在委任激光安全主任簽發正式書面許可之前，在任何情況下，均不可在戶外使用激光器。

2.6.3 如任何人士或機構在不屬於他們的戶外地方使用激光器，必會引起有關職責、責任和保險的問題。在戶外使用激光器之前，有關人士或機構必須預先徵詢法律意見。必須為使用激光器可能會引起意外受傷或損害，安排適當的保證。

2.6.4 操作者必須遵從委任激光安全主任的指示。他們必須小心遵從任何有關使用激光而可能特別適用於有關廠房的規例、操作守則或其他指示，如並無上述文件，則應遵照本指南的有關條款進行工作。如有任何疑問，操作者必須立即向委任激光安全主任求教。

2.6.5 若可行的話，1 類或 2 類激光器應用作測量、較準及平水。不過，在高強度的環境光下，亦可能需要使用較高輸出功率的激光器。使用 1M、2M 及 3R 類激光器時，應按照 2.5.2.2 段所載的規定。在須使用 3B 類激光器的特殊情況下，則應按照 2.6.6 段的規定處理。此外，人體不應接觸波長範圍在 400nm 至 700nm 之間，發射時間逾 3.8×10^{-4} s 而輻射功率超逾 5×10^{-3} W 的激光輻射，亦不應接觸超逾 1 類激光器可達發射極限的激光輻射，不論其發射時間及波長範圍為

多少。

2.6.6 只有在使用激光器方面曾接受充分訓練及獲委任激光安全主任批准的人員，方可在戶外及類似環境中操作 3B 及 4 類激光器。爲了把潛在危害減至最低，除上文 2.5.2.2 段所述的預防措施外，亦應採取下列各項措施：

- (a) 除非已穿戴適當的保護眼罩和以合適防火及耐熱物料所製造的衣服，否則，任何人員均應避免進入光束輻照度或輻照量超逾最大允許照射量的光束路徑上的每一點。若可行的話，應採用屏障、連鎖等限制光束闊度和高度的工程管制措施，以加強管制。亦可安排操作員在一個可防止漫射光束但可清楚看到四周事物的密封範圍內工作。
- (b) 禁止在標稱的眼睛危害距離內刻意追蹤非目標的往來車輛或飛機。
- (c) 若可行的話，光束路徑不應經過可無意產生危害反射的所有表面，或應適當擴大危害區。
- (d) 直視 3B 類激光器的光束通常有害。觀看漫反射的未聚焦脈沖激光輻射則是無害的。在下列條件下，通過漫反射體觀看可見光激光光束則是安全：
 - － 由屏障至角膜的最短觀察距離爲 13cm；及
 - － 最長觀察時間爲 10s。

若不符合上述條件，則必須小心計算潛在的漫反射危害。

2.7 **體格檢驗**

2.7.1 雖然醫學界目前對激光工作者的醫療監察的作用未有定論，但有關當局（如公司的管理人員）應安排醫務顧問（可能是一般執業醫生），負責替操作 3B 和 4 類激光器的員工進行醫療檢查。醫務顧問應安排眼科醫生爲員工檢查眼睛及進行其他他認爲有需要的檢驗。如有意外發生，他亦應提供醫療服務。

2.7.2 爲遵行國際標準，應考慮施行下列建議：

- (a) 目前仍未有證據確立需要替使用激光產品的員工進行定期眼睛檢查。但如要進行眼睛檢查，則必須由合資格的专业人士進行，並只須限於使用 3B 和 4 類激光產品的員工。
- (b) 如懷疑眼睛曾受過量輻射照射，應在意外發生二十四小時內，由合資格專業人員進行檢驗。除此之外，亦應進行一個意外發生地點環境的全面生物物理調查。有關機構應將這兩個研究報告的副本送往一中央機構^{*}，並採取必要步驟，防止同類意外發生。
- (c) 基於醫學和／或法律理由，可能值得在僱用員工操作 3B 和 4 類激光產品前，為他們安排眼睛檢驗，同時在他們擔任有關工作時和離職後，接受眼睛檢驗。然而，眼睛檢驗不必是安全計劃的一部分。

2.7.3 如醫務顧問以書面建議，並且提出足夠理由，有關機構必須確保有關人士停止操作激光器。未得醫務顧問醫生批准前，不能准許該人士恢復操作激光器。

2.8 委任激光安全主任

2.8.1 裝設了 3R 類（不可見光束）、3B 類或 4 類激光器或須在戶外使用激光器的機構，必須任命一名委任激光安全主任，而他須有足夠的知識和訓練，能夠向該機構提議必要的安全措施。

2.8.2 委任激光安全主任有責任和權力進行安全及健康危害評估，以及建議有關負責人士採取適當的管制措施。同時，委任激光安全主任有責任和權力以監察和執行激光危害管制，實行評估和管制激光危害。例如，他可能需要進行計算工作，以訂定激光器對眼睛構成危害的距離，並可能在激光器改動後，重新界定激光器的類別。他亦可能需要進行抽查，確保安全措施受到遵從。

^{*} 政府激光安全主任
地址：香港九龍啓成街 3 號機電工程署
電話：1823

2.8.3 如發生激光意外，委任激光安全主任應向政府激光安全主任及勞工處處長（如適用者）報告有關意外。他應為任何意外進行調查，並將結果知會所有有關人士。他應採取補救措施，以防止發生同類意外。

2.8.4 視乎工業機構內 3B 類及 4 類激光器的數量而定，委任激光安全主任可是一個執行職務的全職人員、或兼職僱員，或外間顧問公司的合資格人士。

第 3 部

激光產品製造商的安全守則



3.1 引言

3.1.1 本部指引以本港所有激光產品製造商為對象，無論產品是供本港或海外使用，製造商均須遵守本部指引的規定。

3.1.2 如果產品是供海外使用，製造商亦應參閱有關國家的安全規定。

3.1.3 遵守本部指引的規定，並不代表亦已遵守其他國家的安全規定。例如，輸往美國的激光產品須符合美國聯邦規章條例（United States Code of Federal Regulation），Title 21, Chapter I, Sub-chapter J, Parts 1000 to 1010, 1040.10 及 1040.11。美國聯邦規章條例的規定與本指南的建議有不同之處。

3.2 本部詞彙定義

下文為某些詞語在本部內所具定義：

(a) 製造商

任何製造、裝配、輸入或轉口激光產品的人士或機構。

(b) 激光產品

任何組成或包含或用以包含激光器或激光系統的器件。

(c) 操作或保養

使用說明書或其他文件內所述，由使用者執行的工作。

(d) 維修

由合格維修工程師執行的工作。

3.3 安全規定及建議概要

製造商應：

(a) 使其產品的設計和製造合乎本指引的規定；

(b) 試驗其產品以確保合乎規定；

- (c) 證明其產品合乎規定；
- (d) 保存上文(a)、(b)及(c)項的記錄，以及銷售記錄和一個有關安全事宜的書信來往記錄；
- (e) 向香港特別行政區政府機電工程署報告任何與其產品的製造或使用有關的意外或傷人事件；以及
- (f) 盡量設法收回、替換或修理任何損壞或不合乎規定的產品。

3.4 使激光產品的設計和製造合乎標準

- (a) 在設計激光產品時，製造商必須首先斷定操作人員在正常操作激光產品時，可能接觸到的激光輻射水平。人體無需接觸的激光輻射必須予以消除或局限在保護罩內。人體接觸的定義為：
 - (i) 可導致人類身體任何部分接觸從窗孔發出的危害激光輻射，或可導致直徑為 12 mm 及長度達 80 mm 的棒狀物接觸 2、2M 或 3R 類激光器發出的激光輻射；
 - (ii) 若保護罩內的激光輻射水平超逾第(i)項所述的極限，則指可導致人類身體任何部分接觸由產品內部經任何單一介入平滑表面直接反射而透過產品保護罩上任何孔洞穿透出來的危害激光輻射。
- (b) 製造商因此必須根據其產品在操作時的可接觸激光輻射最高水平而斷定產品的類別，(請參閱附件 C 表 C.1 至 C.4 及附件 E)。產品的類別決定產品在警告方面的規定，以及說明書內的警告的規定。所須警告的措辭是取決於可達激光輻射的損傷能力。附件 J總結本節所述的要求。
- (c) 至於在操作時不可能會接觸而只會在保養或維修時才可接觸的激光輻射的有關規定，請參閱下文有關標記及安全聯鎖裝置的段落。

3.4.1 量度

- (a) 進行量度以斷定激光器產品的分類時，必須將量度儀器安放在可以探測到最

大輻射量的位置，並調整激光產品上所有控制器，使其發出最大輻射量。如使用計算法而非量度法，所有數值必須合理並且代表一個最壞情況分析。

- (b) 製造商必須將所有量度數字，操作程序及測試數據表格存入檔案內，並由產品最後出廠日期起計，保存最少五年以便參考。關於測試儀器及程序的詳情請參閱附件 D。

3.4.1.1 多光束或發散光束，漫射光源：

在接收立體角為 10^{-3}sr 以內的所有輻射，必須全列入量度範圍內。因此如有需要，必須使用準直視光裝置幫助量度。所使用的準直視光裝置的焦距必須超過 20cm（總屈光度不超過 5 度）。

3.4.1.2 掃描光束

激光輻射如屬於掃描輻射，應以屈光度 5 度或以下的準直視光裝置量度直徑為 7mm 而接收立體角為 10^{-3}sr 的圓形窗孔內的輻射能量和輻射光率。如果掃描的角速度低於 5rad/s，則接收立體角必須與掃描同步。

3.4.1.3 分類法

- (a) 激光產品是根據操作時人體可接觸的最高輻射水平而作分類。保養或維修時才可接觸的輻射水平並不影響產品的分類。因此，1 類產品亦可能含有 4 類激光器。
- (b) 如果某一產品，在任何發射時間內，發出超逾某一類別的激光輻射的極限，則該產品不應列入該類。所有有可能的發射時間，由單一的毫微秒脈沖（ 10^{-9}s ）以至極長時間（超逾 10 秒）都必須予以考慮。

3.4.2 設計準則

- (a) 所有激光產品均須有防護罩。防護罩的設計須能盡量使人體或儀器不致接觸激光束或反射光束及高壓電路。製造商必須證明防護罩能密封所有與激光產

品的功能無關的激光輻射。

- (b) 防護罩擋板如果在保養或操作時是可以拆除或移開，因而使人體可以接觸到由封閉激光產品發出的超過 3R 類可達發射極限的激光輻射或超過激光產品所屬類別的可達發射極限的激光輻射時，則這些擋板必須裝有安全聯鎖。安全聯鎖的設計須能使到直至可達發射值低於激光產品所屬類別的可達發射極限時，擋板才可拆除，而且若由於疏忽而令致聯鎖復位，發射值也不會高於激光產品所屬類別的可達發射極限。
- (c) 如進行維修或保養，可能需要具一個安全聯鎖超控裝置，這裝置亦須具有失效保護，它應該是用鑰匙操作，而且當運作時，會發出視覺及／或音響警告。（視覺警告的波長應與激光光束波長不同）。
- (d) 所有 3B 及 4 類激光系統應帶有一遙控聯鎖連接器。這連接器通常是採用「緊急停止」按鈕方式與安全聯鎖串聯。連接器亦須有失效保護。
- (e) 所有 3B 及 4 類激光系統，應帶有一個鑰鎖開關，以便使用者防止他人擅自操作。在「開」的位置時，鑰匙必須不能拔出。
- (f) 波長範圍在可見光譜以外（即範圍在 400nm 至 700nm 以外）的 3R 類激光器，以及 3B 及 4 類激光系統均應具有發射警告裝置。可見或音響顯示器都可以用。在輻射開始發射的一段時間前，便須發出顯示，而該段時間必須足夠容許使用者及在操作區內的其他人士得知激光產品已發射在即，因而可以避免受到照射。視乎所需行動及有關的激光輻射水平，需要的時間長度可能差別頗大，典型時間長度在 2 至 20 秒之間。如果激光器（激光頭）與操作控制裝置有可能移動至相隔 2 米以上，則兩者均須裝上發射顯示器。
- (g) 3B 及 4 類激光系統應裝有光束衰減器。光束衰減器是一個機械或機電裝置，例如光閘或可將激光發射遮擋的衰減器。在無須關掉激光器的情況下，光束衰減器應可遮擋激光輻射，以免人體接觸 1M 或 2M 類（按情況適用者）極限以上的輻射。激光器在操作時，光束衰減器均須隨時備用。電源

開關或鑰匙控制裝置不能替代安裝光束衰減器的規定。

- (h) 3R、3B 或 4 類激光產品的操作控制裝置的位置必須設置得宜，使使用者在使用時不會受到激光照射。
- (i) 視光觀察器、觀察孔或顯示屏必須在激光器操作或維修時防止人體接觸超過 1M 類極限的激光或伴隨輻射，如果視光觀察器配有光閘或可變衰減器，該光閘或衰減器須有失效防護，即是，它們須有適當設計，使到失效時光閘便不能打開而衰減量亦不能改變。視光觀察器包括觀察孔、窗、焊接或鑽孔器具上的顯微鏡，以及外科手術激光器上的顯微鏡。衰減量可以全部，亦可以是部分性質（例如使用隔濾器時）。適當的設計可防止激光器在衰減器未移至適當位置時發射。維修說明書必須載有如何防止透過視光觀察器受到危險照射的指示。
- (j) 掃描安全裝置須能防止發出超過該類產品的極限的輻射。以掃描及非掃描兩種模式操作的 3B 或 4 類激光產品，其掃描安全裝置必須亦能防止發出超過該類掃描激光輻射極限的輻射（否則將會導致發出超過 3R 類的輻射）。掃描激光輻射是可以平移或改變方向的激光輻射。掃描安全裝置的反應時間必須短促到可以容許它在更高類別的輻射發出前開始操作。可行的做法是使用高慣性掃描器連同電機光閘。
- (k) 3B 或 4 類激光系統應裝有手動重校裝置。當遙控聯鎖連接器起動或主要電源意外停頓超過 5 秒鐘，因而導致中斷激光器的操作時，手動重校裝置不可導致激光器自行恢復操作。

3.4.3 標記準則

3.4.3.1 每一激光產品均須按照附件 I所訂規定貼上標記。標記必須字跡清楚及安穩地貼上，並且根據其用途在激光產品操作、保養或維修時均明顯可見。標記的位置必須使人體不必受到超過 1 類可達發射極限的激光輻射照射方能看到。標記

的底必須為黃色並配上黑色的周界及符號。如果激光產品的尺寸或設計使標記無法貼在激光產品上，則標記必須附在使用者說明書內或包裝箱上。

3.4.3.2 標記上所有文字必須中英並用。詳情載於附件 I。

3.4.4 說明書之規定

3.4.4.1 說明書之規定適用於使用者操作及保養說明書，購買說明書（例如小冊子及規格表）以及維修說明書。

3.4.4.2 使用者說明書須具有：

- (a) 操作及維修指南，以及有關避免照射的適當警告；
- (b) 輻射規格；
- (c) 安全標準所規定必須具備，而且在操作及維修激光產品時可看到的標記的複製品，以及該標記所在位置的資料；
- (d) 控制及調校裝置一覽表；
- (e) 有關不遵守指示可能受到危險照射的警告。

3.4.4.3 小冊子及規格表必須包括產品上所須警告標誌或適當警告文字的複製品（顏色隨意）。

3.4.4.4 維修說明書須備有：

- (a) 維修程序表，以及避免受到照射的適當警告；
- (b) 為保持產品符合規定的維修程序表；
- (c) 能提高可達發射水平的控制裝置一覽表；
- (d) 防護罩可拆除部分的辨認方法；
- (e) 維修時防止受到照射的程序表；以及
- (f) 所須標記（顏色隨意）及警告的複製品。

3.4.4.5 製造商可自行決定是否將使用者說明及維修說明載於同一本手冊內。若程序屬維修性質，必須清楚列明維修程序。在很多情況下，某一程序被分類為保養或維修程序是決定是否須要安全聯鎖的因素。

3.5 試驗產品以確保符合規定

3.5.1 製造商必須為每一激光產品設置一本記錄冊，記錄支持其分類的試驗及步驟程序。試驗方法及步驟請參閱附件 D。

3.5.2 下列各項應考慮列入記錄冊內：

- (a) 已具報的產品及標記；
- (b) 產品如何符合標準；
- (c) 確保產品符合規定的試驗程序；
- (d) 試驗；以及
- (e) 所用的試驗設備。

3.6 簽發產品符合規定證明書

3.6.1 簽發產品符合規定證明書交由製造商負責。不過，擬出口的產品須符合有關國家的激光產品法例及規則。為此，製造商須確保：

- (a) 產品分類正確；及
- (b) 存有記錄，記載產品如何分類。

3.6.2 產品的類別應載於所有廣告、操作及維修說明書內。（請亦參閱上文第 3.4.3 段所述標記規定。）

3.7 記錄保存

3.7.1 應為每一激光產品設立第 3.4、3.5 及 3.6 段所述的記錄，並由產品最後出廠日期起計，保存最少 5 年。

3.7.2 每一激光產品必須具有由製造商設計的永久標記或牌，牌上寫上型號及獨有編號，以資識別。

3.7.3 必須保存銷售及產品記錄，以便就每一類型、獨有編號的產品追溯資料。

3.7.4 製造商亦應設置來往書信檔案，用以保存所有與安全或技術細節有關的查詢或來信及覆函，但無須一定為個別產品設置檔案。

3.8 報告意外

3.8.1 生產時的意外

製造商必須採取所有必要措施，防止僱員受到激光輻射照射，尤其是在輻射超逾 1 類極限時。安全措施包括提供護目鏡、屏蔽包封、夾具及裝置，以減低可能或真正受到照射的危險。對於 3B 及 4 類激光系統，應任命一名委任激光主任為每一類型的激光器訂定內部安全守則。

3.8.2 使用或維修產品時的意外

如果顧客或維修人員向製造商報告產品曾發生實質意外或傷人事件，製造商應立即採取下列補救行動：

- (a) 修理或置換有關產品；
- (b) 在使用者及維修說明書內提出發生意外的警告；
- (c) 如有可能將該型號產品改良；
- (d) 考慮將產品收回。

3.8.3 報告

在上述兩種情況下，均須將一份簡短報告寄予香港特別行政區政府機電工程署政府激光安全主任及勞工處處長（如適用者）。

3.9 收回、置換及修理產品

3.9.1 如任何一件、一批或一型號激光產品有以下情況：

- (a) 在安全或運作方面有缺點；
- (b) 不符合已驗證的類別；
- (c) 在某一模式下使用會有危險；或
- (d) 長期使用有可能發生危害性故障；

則製造商必須盡力追查有關產品，並訂下計劃採取補救行動。為追查最大數目的產品，製造商應致函所有已知出口商、進口商、分銷商、代理及使用者，說明有關型號、編號及建議的補救行動。

3.9.2 追查產品、傳播資料及修理／收回／置換產品方面的開支，應由製造商負責。

第 4 部

演示用途激光器安全指南



4.1 引言

4.1.1 激光器經常用於娛樂方面，以製造特別視覺效果。表演節目的主辦者及編導或娛樂場所的經理，應注意激光對觀眾及表演者的眼睛的危害。激光器可作公眾演示用途，例如用於佈置及廣告。使用這類激光器的人士應注意可能對公眾造成的危害。供應、安裝或操作演示用激光器的公司，必須熟悉本部指引及第一部的基本資料，以免公眾被激光傷害。

4.1.2 本指南只涉及安裝／調準或使用演示激光產品以產生所需的視覺效果時，針對所發射的伴隨輻射的特別防護措施。在本指南內，「演示」包括所有娛樂、戲院、舞台、佈置及裝飾方面的應用、宣傳推廣及照明。

4.1.3 對於戶外或戶內的激光演示，表演節目的主辦者及編導或娛樂場所的經理，亦應留意公眾衛生及市政條例的廣告附例、香港機場（障礙管制）條例及公眾娛樂場所條例。這些法例對於在戶外或戶內使用激光作這類演示，加以限制。

4.2 定義

與本部分指南有特別關連的用語的定義如下：

(a) 認可

暫時獲有關活動主管人以書面認可。

(b) 演示區域

演示激光產品在正常操作其效果時，一個人將會受到激光輻射（包括來自目標物及擴散物質的反射）照射的區域（如該人獲准進入的話）。

(c) 激光效果

使用演示激光產品時所產生的視覺效果。

(d) 防護設備

供操作者／表演者使用，此設備可以減弱／吸收激光輻射以防止眼睛及／或皮膚受到超逾最大允許量的激光輻射照射。

(e) 曾受訓練

曾接受有關指導及適當訓練，因而有關人員在執行所需工作時，能夠提供一個安全的工作制度，並且消除對本身及他人的潛在危害，避免他人在其執行工作時受到影響。

(f) 可見輻射：光

任何足以直接引起視覺的輻射。註：在本指南內，意指單色部分波長介乎 400nm 至 700nm 之間的電磁輻射。

4.3 指南

4.3.1 一般規定

每一演示產品應具有適當設計，並以適當方法建造及保養，使產品在正確使用的情況下，安全無害。在這方面，應遵行國際電工委員會標準 60825-1:2001 (IEC 60825-1:2001)，有關激光產品輻射安全規定和設備分類法的部分。

4.3.2 通知

在公開使用任何演示激光產品前，激光系統的操作者應該向機電工程署政府激光安全主任提供充份資料，以便評估可預見的危害。這些資料應包括：

- (a) 簡圖、數字及輻射測量數據等，以證明激光系統可安全使用，不會對健康產生危害；
- (b) 有關保安安排的書面資料；及
- (c) 在何種情況下會停止操作激光器。

4.3.3 演示激光資料

附件 K 載有操作者所應提供的各類資料，以便全面評估潛在危害。

4.3.4 不可見輻射的發射

如需發射光譜範圍在 400nm 至 700nm 以外的任何激光或伴隨輻射，則應盡量將該等發射維持在最低水平；在任何情況下，不得超逾 1 類激光產品的可達發射極限。

4.3.5 可見輻射的發射

光譜範圍在 400nm 至 700nm 內的任何演示激光產品的輸出功率，應維持在剛足以產生所需效果的最低水平。

4.3.6 激光系統的安裝

所有演示激光產品及其有關的視光組件、鏡子等，均應安裝穩妥以防止意外移動或發生偏差。

4.3.7 光束終止器的使用

激光窗孔必須以髹上黑色漆油且堅固的鋼板或鋁板遮蔽，以抵禦持續的激光輻射的直接照射。遮蔽窗孔的板須放置在適當位置，以固定激光光束的發射方向，並防止激光輻射偏離原有路線。

4.3.8 防止擅用的措施

所有演示激光產品均應配有以鑰匙操作的開關掣，防止激光器被擅用。

4.3.9 激光演示區域的劃定

演示激光器的所有效果應在預先指定及有確定界線的演示區內出現。激光效果／光束一旦離開這演示區的界線，激光器應自動停止發射。

4.3.10 激光控制台的位置

整場激光表演應由曾受訓練的操作員監控，而在整段表演時間內，該人員應留在控

制台（設有緊急停止裝置）。每一演示激光產品的控制台應該是穩固的，而所在位置應能容許操作者看到整個演示區。如這並非實際可行，應作出其他有效安排，使操作者能瞭解情況及察覺任何故障等。

4.3.11 激光輻射緊急終止裝置

所有演示激光產品均應配有一個或以上的易達的控制裝置，以便隨時將激光輻射的發射立即終止。如果激光系統無須由操作員持續監督或操縱，應指派一人負責在設備有故障或觀眾不守秩序或情況不安全時，將激光輻射立即終止。

4.3.12 界線的標示

凡激光輻射超逾 1 類激光產品的可達發射極限的區域，應予清楚標明，並張貼適當警告告示，以及豎立屏障，防止未經認可人士進入。如有需要，應只讓穿戴適當防護設備的認可人士進入這些區域。

4.3.13 觀眾／公眾的允許照射量

演示時，在公眾獲准到達的任何地點，激光或伴隨輻射均不得超逾最大允許照射量。此等輻射包括來自目標物及擴散物質的反射。

4.3.14 操作員／表演者的允許照射量

如果激光輻射的作用是供操作員／表演者觀看，以便完成他們的職務的話，照向他們的激光可達照射量不應超逾最大允許照射量。如果激光輻射的作用並非供操作員／表演者觀看的話，則可達照射量不應超過 3R 類激光產品的可達照射量。

4.3.15 掃描器的使用

所有掃描器（包括鏡球），均應配有特別裝置，在掃描器出現故障時，自動防止照射量超過第 4.3.13 及 4.3.14 段所定限量。

4.3.16 激光系統的操作

- (a) 無人監督下 — 如果演示激光器並非在一名曾受訓練的認可操作員的直接監督下操作，在演示時，任何容許觀眾站立的平面之上 6 米以內的任何一點，激光輻射不得超逾 2 類激光產品的可達發射極限。
- (b) 在監督下 — 若激光表演或演示不符合以上(a)段的規定，則該激光系統在任何時間內均應在一名曾受訓練的認可操作員的直接監督下操作。該名操作員應不斷監察激光效果，並在設備有故障、觀眾不守秩序或情況不安全時，立即終止激光輻射的發射。
- (c) 此外，在無人監督或在監督下進行激光表演或演示時，任何人所受的激光輻射不得超過 1 類激光產品的極限：
 - (i) 任何容許觀眾／公眾站立的平面之上 3 米以內的任何一點；或
 - (ii) 演示時任何容許觀眾／公眾之中任何一人到達的位置週圍 2.5 米以內的任何一點。(關於戶外使用激光器時的額外特別規定，請參閱第 4.3.20 段。)

4.3.17 激光設備的安裝／調準

應採取下列安全措施：

- (a) 激光設備的安裝／調準應由曾受訓練的激光操作員進行。
- (b) 安裝／調準激光設備時，應只容許執行有關職務的人員在場。
- (c) 激光輻射的可達照射量應盡量減低至最低水平，在任何情況下，不應超逾 1 或 2 類激光產品的可達照射極限。
- (d) 如對僱員的安全有需要的話，在激光設備的安裝／調準時，應讓僱員穿戴適當防護設備。
- (e) 如可行的話，演示區應以警告標示標明，在搭建場地時最好能以障礙物分隔。

4.3.18 激光輻射照射量的測定

在觀眾、公眾、操作員或表演者可能受到主光束或來自目標物或擴散物質的反射輻射照射的所有地點，激光輻射的可達發射量應由操作者量度及／或計算。

4.3.19 公開進行激光演示前的功能檢查

每次公開使用激光產品作公開演示前，應為所有保障人身安全的安全設施、聯鎖裝置等進行功能檢查。

4.3.20 場地的考慮因素

(a) 在室內進行的演示

- (i) 在閣樓、高台、露台及樓梯的人士均可能受到激光輻射的照射，因此，必須詳細評估光束路線及在適當位置遮蔽激光。
- (ii) 鏡子應穩固地擺放，亦不得讓未經許可人士接觸。若鏡子會把偏離原定路線的危害光束反射到公眾區域，應予以遮蔽以限制反射角度，從而減低這類危險。

(b) 在戶外進行的演示

- (i) 在戶外進行演示時，外部「目標物」必須安全和堅硬，以防受天氣、運輸引起的震動，甚至故意干擾及毀壞的影響。在典型的戶外活動發射距離下，即使外部視光組件或激光光束稍為偏離原定位置或路線，亦能導致嚴重的偏差危害發射。
- (ii) 不應假定演示場地附近或演示場地內的建築物、天台、行人道等無人使用，這些地點可能會突然有人出現。
- (iii) 應避免燈柱、棚架、有玻璃地方、水灘、濕潤表面、可能會無意中放置在激光照射位置的觀眾自攜物品（如反光氣球）等因反射而引致危害。若光束透過玻璃室或建築物的窗戶傳送，應採取特別預防措施，以防止危害反射。若光束射出時會穿過窗戶，最好把窗戶打開，甚至

拆除。

- (iv) 作為一般守則，應確保射出的光束以低於水平線的角度發射，以及
在主辦人控制的區域內終止。若不可行，則射出的光束可向天發射。
不過，突然射出的激光可能會令機師目眩或迷失方向，故在准許進
行戶外演示前，應先諮詢民航處的意見。
- (v) 如在戶外使用演示激光產品，應考慮到可能有人在標稱的眼受害距離
內直接觀看光束及可能使用視光儀器觀看光束或其反射，故需採用適
當措施以保障他們的安全。同時應特別考慮到在戶外使用演示激光產
品時對交通（包括海、陸、空及港口交通）所構成的危害。

4.3.21 使用視光輔助儀器觀看

應勸喻觀眾／公眾，不要使用眼鏡以外的額外視光輔助儀器觀看激光演示。

附 件

醫學原理

眼睛的解剖

- A.1 圖 A.1(a)為左眼的外部結構。眼瞼之間的裂隙限制了眼的可見區域，使眼呈杏仁狀。眼睛的主要結構已標明，而虛線和箭頭則相應地指出圖 A.1(b)顯示的各切面部位。
- A.2 圖 A.1(b)為左眼的水平切面圖。眼睛分為兩部分，前部是以角膜、虹膜和晶狀體為界的前房；而後部是以視網膜為界，內含膠如凝膠般的玻璃狀液。
- A.3 圖 A.1(c)為檢眼鏡下所見的正常左眼的內部。檢眼鏡的光束可通過瞳孔直接照亮眼內部，所見到的圖像被稱為眼底。眼底是微紅色，可清晰地看到較大的視網膜血管，其他突出的結構是白色的視盤和中央小窩。中央小窩是視網膜表面的一個凹陷，色素較周圍視網膜的多，是視覺最敏銳的區域。中央小窩是黃斑的中心，黃斑使眼睛能看見細微的部分。
- A.4 圖 A.1(d)是放大的視網膜結構（見圖 A.1(b)）。視網膜由一組神經細胞層組成。下面是感光的桿體和圓錐細胞，即光射到視網膜表面，必須通過神經細胞層，才能到達感光細胞。錐體、桿體細胞層的下面是色素上皮層，它含有黑褐色的黑色素。色素上皮層下面是微細毛細血管層，即脈絡膜毛細管層。脈絡膜是最後的吸收層，它含有色素細胞及血管。
- A.5 圖 A.1(e)是放大的黃斑區結構。黃斑區僅有圓錐細胞。而神經細胞則沿半徑置放於這視力最敏銳區的周圍。在亨利氏纖維層內的黃斑色素，對400nm至500nm的光吸收力最強。

激光輻照對生物組織的影響

- A.6 激光輻射引起損傷的方式，對於所有的生物系統來說都是相似的，可以包括熱、熱聲瞬變（thermo-acoustic transients）和光化學相互作用的過程。上述任何一種方式引起損傷的程度均與輻照源的若干物理參數有關，其中最重要的是波長、脈寬、影像大小、輻照度和輻照量。
- A.7 概括地說，在超越臨界值照射中，主要的損傷方式與照射的持續時間有關。隨著脈沖持續時間的逐漸延長，在如下的時間範圍內，起主要作用

的損傷方式是：照射時間為納秒（nanosecond）和亞納秒（sub-nanosecond）時，主要是聲瞬變效應（acoustic transients）；照射時間為 1ms 至數秒時，為熱效應（thermal effects）；照射時間超過 10s 時，為光化學效應（photochemical effects）。

- A.8 激光輻射，其光束準直性與許多其他已知的輻照類型不同，此種特性加上光輻射初期含有的高能量，使得過多的能量傳導到生物組織中。各種激光輻射對生物系統的損傷主要是由於該系統吸收輻照所致。
- A.9 吸收輻射是一種波長特有的過程，並發生於原子與分子的層面上。因此，一台特定的激光器的激光波長決定哪種組織會受損傷。當一個系統吸收了足夠的輻射能量時，其組成分子的振動增加，從而導致溫度上升。多數激光損傷，都是由於吸收部位的組織受熱而致。這種熱損傷通常局限在激光能量吸收部位，從輻射光束照射之中央部位擴至邊緣的區域。此區域內的細胞明顯地燒傷。組織的損傷主要是由於蛋白質變性引起。正如上述所示，激光次要的損傷的發生可能與組織受熱反應的時間有關，反應的時間又直接地與激光的脈寬（圖 A.2）和冷卻期有關。加熱期和冷卻期均會產生熱化學反應，導致熱損傷，損傷程度視乎照射光點的大小而定。如果一台連續波或長脈沖激光直接照射組織，那麼由於傳導，受照射組織區的溫度逐漸增高。當越來越多細胞的溫度升幅超過他們所耐受的溫度時，這種熱擴散就可導致損傷面積擴大。光束影像大小也是非常重要的，因為熱傳導而引致的周邊擴散的程度是影像大小，以及最初組織受熱區的溫度的函數。這種類型的熱損傷在連續照射和長脈沖激光照射中常常可以見到，但亦可見於短脈沖激光。照射光點的大小如為 1mm 至 2mm 或更少，輻射熱流會引致損傷，損傷程度視乎照射光點的大小而定。
- A.10 另一方面，損傷可能是某些分子吸收某些光的直接後果。這種過程是由於吸收光能而引起的。有關物質沒有釋放能量，而是經歷其激發態所特有的化學反應。一般相信這種光化學反應是造成低輻照損傷的原因。透過此一機制，某些生物組織，例如皮膚、眼睛的晶狀體，尤其是視網膜，可能會由於長期受中級紫外輻射和短波長光的照射而造成不可回復的變化。如果輻照時間太長，或雖是短時間照射，但作長時間重複照射，則這種光化學導致的變化就可引致系統的損傷。有些由激光照射所引發的光化學反應或許是有異常規的，或即正常也踰越常度。光化學反應一般遵從 Bunsen 和 Roscoe 定律。若反應時間為 1 小時至 3 小時或更少（在此情況下修復機制便有所作用），閾值（表達為輻照量）在一段較長的輻照時間內會不變。散熱過程所引起熱效應與照射光點大小的關係，在這種情況下並不存在。
- A.11 短脈沖 Q 開關或鎖模激光器，通過不同損傷機理的聯合作用，可導致組織損傷。能量在極短的時間內釋放到生物靶標上，使受照射部位產生很

高的輻照量。由於靶標組織溫度急速上升，致使組織細胞的液體部分氣化。多數情況下，這些轉變極快，可使組織爆炸及細胞破裂。由此產生的壓力瞬變，在燒傷中心的外周緣產生的一個環狀的爆破帶。相似的壓力瞬變亦可由熱膨脹引起。以上兩種壓力瞬變均可使到部分組織移位，從而導致遠離吸收層部位的組織出現切割狀損傷。照射時間如低於 ns 的水平，眼睛媒體的自我對焦功能把來自平行光束的激光能量進一步集中和降低閾值至約 10ps 和 1ns 之間。此外，在小於 ns 的範圍內，其他非線性光學機制似乎也是導致視網膜損傷的原因之一。

- A.12 上述的所有導致損傷的方式均已被證實會影響視網膜，並反映於本標準所述的安全輻照水平內的分界點或斜率的改變。

對眼睛的危害

- A.13 在 A.1 至 A.5 段，已簡要地解釋了眼睛的結構。眼睛特別適合於接收和感應光輻照。眼睛對於不同波長輻射光的吸收特性見圖 A.3。因過量照射引起的有關病理學變化則概括於表 A.1 中。因此，紫外和遠紅外光的激光輻射能危害角膜，而在可見光和近紅外光波長的激光輻射則能危害視網膜。
- A.14 可見光和近紅外光激光，對眼睛而言，存有非常的危害，正因為眼睛有有效的感光特性，使含色素較多的組織受到較強的輻照，從角膜到視網膜的輻照度的增加，大概相等於瞳孔面積與視網膜上的影像面積之比。輻照度增大的原因，是因為進入瞳孔的光在視網膜上聚焦成一個「點」，瞳孔是一個可變的孔徑，對年青人的眼睛而言，其直徑最大可擴張至 7mm。於這樣一個瞳孔下的視網膜影像，直徑可在 10~20 μm 之間。考慮到眼球內散射和角膜光行差，角膜與視網膜之間的輻照度增加了約 2×10^5 倍。假如增加了 2×10^5 倍，那麼在角膜上為 50 W m^{-2} 的光束到視網膜上將變為 $1 \times 10^7 \text{ W m}^{-2}$ 。本標準中，將 7mm 的瞳孔作為最壞條件下的限制孔徑，此值是對年青人瞳孔直徑進行量度而得到的。在確定引致視網膜炎的輻照極限時，可以放寬 7mm 的瞳孔假設。上述輻照極限是要防止在觀看光亮可見（400ns 至 700ns）激光光源超過 10 秒時出現視網膜炎。在上述情況下，可以以 3mm 的瞳孔作為最壞條件下的極限窗孔；不過，由於瞳孔的生理活動，在量度時仍然最好假設 7mm 的平均輻照窗孔。因此，仍會為 7mm 窗孔確定時間長於 10 秒的可達發射極限。
- A15 如果一束強激光聚焦到視網膜上，則僅有一小部分光（5%以下）被視桿和視錐細胞中的感光色素所吸收；絕大部分光均為色素上皮中的黑色素所吸收。在黃斑區內，波長為 400nm 至 500nm 的能量，部分被黃斑色素吸收。能量的吸收導致局部發熱，並燒壞色素上皮和鄰近的感光視桿細胞和視錐細胞。這種燒傷或損傷可以導致視力的喪失。由光化學反應造成的損傷儘管並非熱損傷，也會局部影響色素上皮。

- A.16 這種視力喪失是否永久性，則取決於照射的強度。除非當黃斑中央部分或黃斑區的中央小窩受損傷，否則當事人通常不會感覺到視力的減退。位於黃斑中央的中央小窩是視網膜中最重要的部分，因為它使我們能看到最清晰的影像。它是視網膜中用來「瞄準物件」的部分。中央小窩所對的角度大約相等於觀看月球所對的角度。倘若這部分受傷，則初期會出現一個模糊的白點阻礙視覺的中央區域，但兩週內或更長的時間後，則白點變為黑斑。最後，患者可能在正常視覺中不會再察覺到這個盲點（scotoma）。然而，當在注視如一張白紙的視場時，盲點就可以立即顯露出來。視網膜的周邊只有在發生嚴重損傷時，患者才會察覺到。小的周邊損傷不易察覺，甚至有系統的眼科檢查也未必可以發現。
- A.17 激光波長如介乎 400nm 與 1400nm 之間，最大的危害是損傷視網膜。角膜、水狀液、晶狀體和玻璃狀液不會阻擋上述波長的輻照。如為平行光束，危險實際上不受輻照源和眼睛之間距離的影響，因為視網膜的影像假定為受到衍射的限制，其直徑約為 $10\mu\text{m}$ 至 $20\mu\text{m}$ 。在假設熱平衡的情況下，視網膜的危險區域是由限制角 α_{min} 決定的，一般來說限制角對應於直徑約為 $25\mu\text{m}$ 的視網膜區域。
- A.18 對於擴散的激光光源，則其危害會隨著光源與眼睛之間的距離而變化，因為儘管即時的視網膜輻照度只受光源的輻照量和眼睛晶狀體特徵的影響，來自較大視網膜影像的能量熱擴散效率較低，這種熱擴散會引致熱損傷，損傷程度視光點的大小而定，這情況在光化學損傷中並不存在（只在 400nm 至 600nm 的光譜範圍內居於主導地位）。此外，眼部活動亦進一步把連續波激光輻照所吸收的能量擴散，對不同大小的視網膜造成不同程度的危害。
- A.19 在確定視網膜危害區域的輻照極限時，只有當觀察時間超過 10s 時才使用眼部活動的修正系數。雖然稱為眼部快速掃視（saccade）的眼部生理活動的確會在 0.1s 至 10s 的時間內把最小視網膜影像（約為 $25\mu\text{m}$ 或更小）所吸收的能量擴散，上述極限可為此一觀察條件提供額外的安全系數。在 0.25s 時，被照射的平均視網膜範圍約為 $50\mu\text{m}$ 。在考慮到光點大小的因素後，到 10s 時，被照射的視網膜區域擴大至 $75\mu\text{m}$ ，靜止眼睛的最小形成影像條件的額外安全系數是 1.7。到 100s 時，照射區域（在 50% 點處量度）很少會達到 $135\mu\text{m}$ 這般細小，並因而為最低影像條件提供 2—3 或更多的安全系數。
- A.20 眼部活動研究和視網膜熱損傷研究所得的資料會結合起來，得出一個觀察時間 T_2 的分界點。相對眼睛不活動的情況，在這個分界點眼部活動可補償增加視網膜輻照時間所帶來的理論上的熱損傷閾值。由於當輻照時間 t 增至 -0.25 次方（即在時間上每增加十倍只減少 44%）時，熱損傷閾值（表示為進入眼睛的輻照量功率）會減少，只有在受輻照的視網膜範圍內的輕微增加量會對較長觀察時間所帶來的較高風險作出補償。增

加觀察時間和眼部活動引致視網膜輻照範圍不斷擴大，因此需較長時間來補償擴大光源所引致的散熱效果減少。因此，對於增加的角度 α ，分界點 T_2 會由較小光源的 10s 增加至較大光源的 100s。超過 100s 後，小型和中型影像的熱損傷風險均不再增加。有關極限和量度條件的規定嘗試以這些變數為根據並作出簡化，導致對風險的保守估計。根據保守的假設，視網膜熱損傷閾值與視網膜影像大小（靜止）成反比，變化範圍為約 25 μ m 至 1mm 之間（對應於 1 μ m 至 59mrad 的角度）。超過 1.7mm 時(角度大於 100mrad)，與光點的大小無關。

A.21 靜止影像，是否產生由光化學反應引致的視網膜損傷與光點大小並無關係。跟熱損傷的機理不同，光化學損傷的閾值受波長和輻照量的影響，即閾值隨輻照時間延長而減少。對角度為 1mrad 至 1.5mrad 的電弧引致的光化學視網膜損傷的研究顯示，典型的損傷大小為 185 μ m 至 200 μ m（對應於 11mrad 至 12mrad 的視覺角度），這清楚顯示眼部活動在進行燒焊安裝時受到的損害；這些研究及其他有關進行燒焊安裝時眼部活動的研究使我們可以確定最大允許照射量，以預防光化學視網膜損傷。上述研究的另一個結果是，最大允許照射量被規定為 11mrad 的平均值（輻照時間為 10s 至 100s 之間）。因此，角度 α 少於 11mrad 的光源會被視為等同於「點」光源，而 α_{min} 的概念被擴展至連續波激光觀察。嚴格來說，這種方法並不正確，因為 11mrad 光源的輻照量並不同於平均分布於 11mrad 的觀察區域(γ)，除非光源的分布為方形（如「高禮帽」般模樣）。因此，須區別光源的角度和光化學最大允許照射量的輻照平均值。如觀察時間超過大約 30s 至 60s 的範圍，則在進行燒焊安裝時的快速眼部活動一般會被視覺任務的行為活動取代。如果假設光源只會在中央小窩留下影像超過 100 秒，這是不合理的。因此，接受角度 γ_p 會隨著 t 的平方根線性遞增。就視網膜熱危害評估時使用的所有輻照時間而言，最小角度 α_{min} 維持在 1.5mrad 的參考角仍屬正確。不過，對於視網膜光化學危害評估而言，事實上有關概念是有所不同，因為角度 γ_p 是用以量度輻照的線性接受角度。這只能應用於超過 11mrad 的擴大光源。

A.22 如為「點類」發散光束光源，其危害與光束聚集部分與眼睛之間的距離成反比。其原因是，隨著距離縮短，集合功率增加，而對於距離接近至 100mm（由於眼睛的適應能力）的真正激光光源來說，則可假定視網膜影像是受到衍射的限制。最大的危害是在最短適應距離。減少距離後，對於肉眼的危害亦相應減少，因為視網膜影像的大小會迅速增長，即使可能需要收集更多功率，輻射度亦會相應減少。為了模擬雙筒望遠鏡或望遠鏡等視光儀器直視平行光束的危害，根據清楚觀察所需的最短距離，我們假設 2m 的最短距離和 50mm 的孔徑。

A.23 在本指南中，人類眼睛的最短適應距離作如下假定：若波長介乎 400nm 與 1 400nm 之間，則最短適應距離假定為 100mm。以上是一項折衷的假定，因為在所有人中只有少數年青人和極少數患有近視的人不能把眼

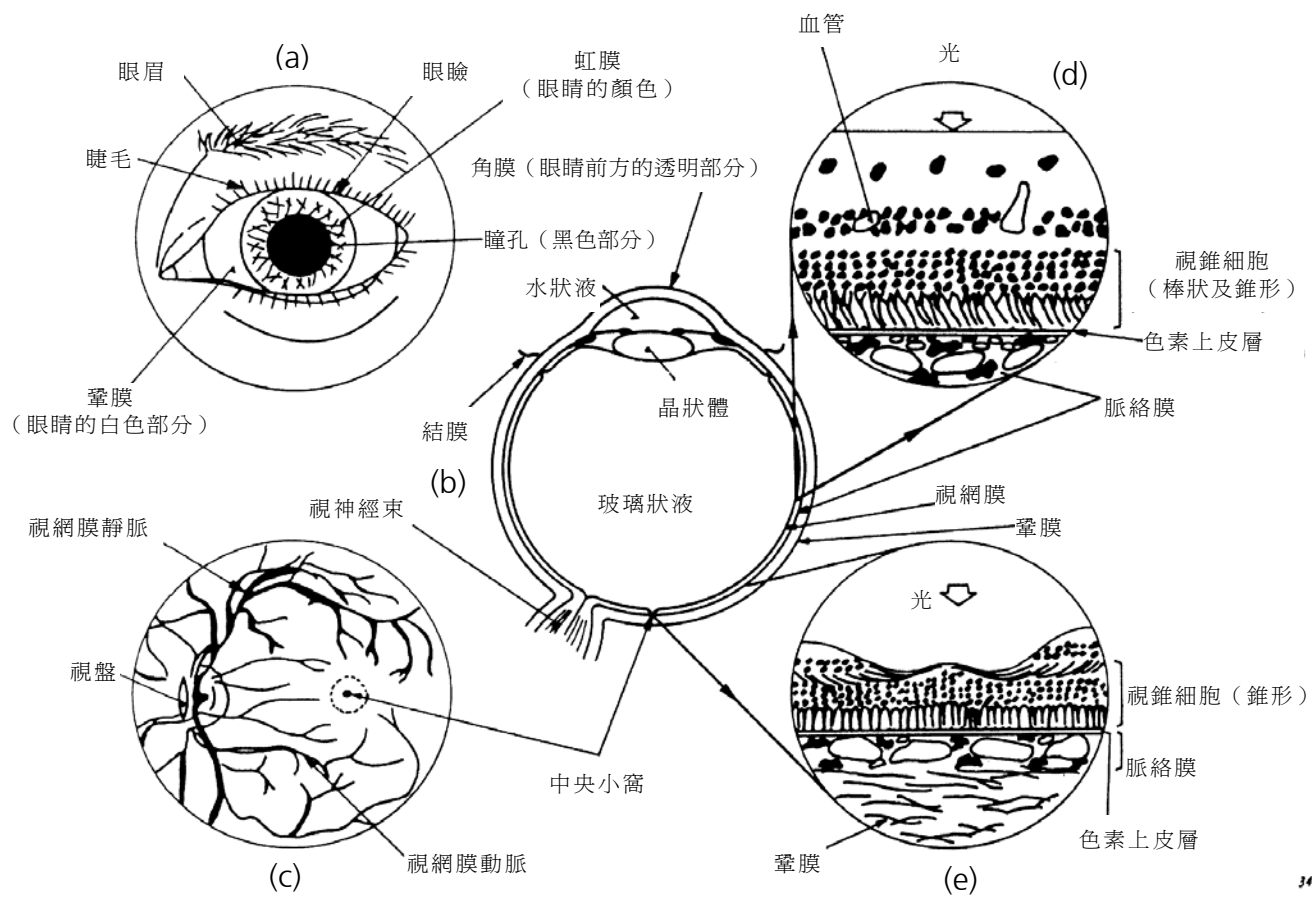
睛瞄準至少於 100mm 的距離。這個距離是用來量度直視光束的輻照度（見附件 C 表 C.1）。

- A.24 若波長少於 400nm 或高於 1 400nm，則會對晶狀體或角膜構成最大危害。晶狀體或角膜會優先或專門吸收光學輻射，視乎波長而定（見表 A.1）。如為上述波長的發散光束光源，光源與眼睛之間的距離應避免過短。
- A.25 在 1 500nm 至 2 600nm 的波長範圍內，輻射會滲透入水狀液。因此熱會擴散至眼睛的較大部分。若輻照時間少於 10s，則最大允許照射量會增加。若脈沖時間非常短，並且波長介乎 1 500nm 與 1 800nm 之間（在這範圍內吸收體積最大），最大允許照射量會有最大增長。當時間超過 10s 時，熱傳導會重新分配熱能，使滲入深度不再有太大影響。

皮膚損傷

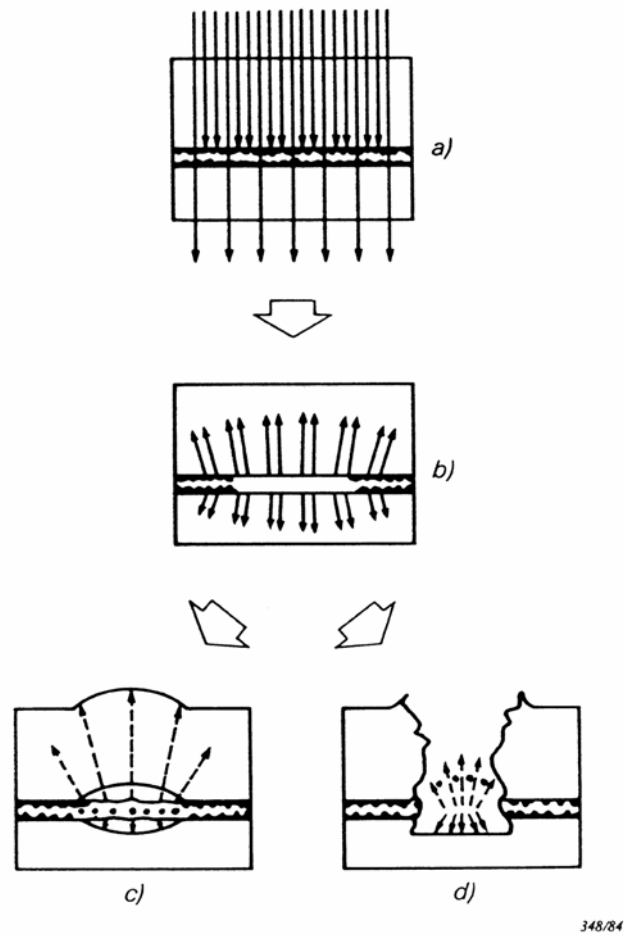
- A.26 一般來說，皮膚比眼睛能忍受更多的激光輻照。由可見光和紅外波譜範圍的激光輻射所導致的影響，輕則可使皮膚出現輕度紅斑，重則形成水疱。在 Q 開關激光器發出的極短脈沖激光輻照後，表面吸收力較強的組織可出現碳化，而不一定出現紅斑。
- A.27 極強的輻照度可造成皮膚的色素沉着、潰瘍、瘢痕形成，並可傷及皮下的器官。但激光輻射的潛在效應或累積效應還未被確立。然而按有限的研究顯示，在特殊情況下，人體組織的小區域可能對反覆的局部照射敏感，從而改變了該身體區域的最輕反應照射量。結果就是在低量照射時，該區域的組織反應亦變得非常嚴重。
- A.28 在 1 500nm 至 2 600nm 的波長範圍內，生物閾值研究顯示，皮膚損傷的風險跟眼睛的風險相似。當輻照達到 10s 時，最大允許照射量會在這個光譜範圍內增加。

圖 A.1 眼睛的構造



347/84

圖 A.2 激光輻射對生物體損傷的圖示



- (a) 生物體吸收激光能量
- (b) 所吸收能量傳導到周圍的組織上使其受熱
- (c) 長脈沖或連續激光所致的熱領域的擴大使損傷區域逐漸擴大
- (d) 在短脈沖激光器高峰值功率可導致使細胞爆裂、組織斷層的損傷

圖 A.3 眼睛對不同波長輻射的吸收特性

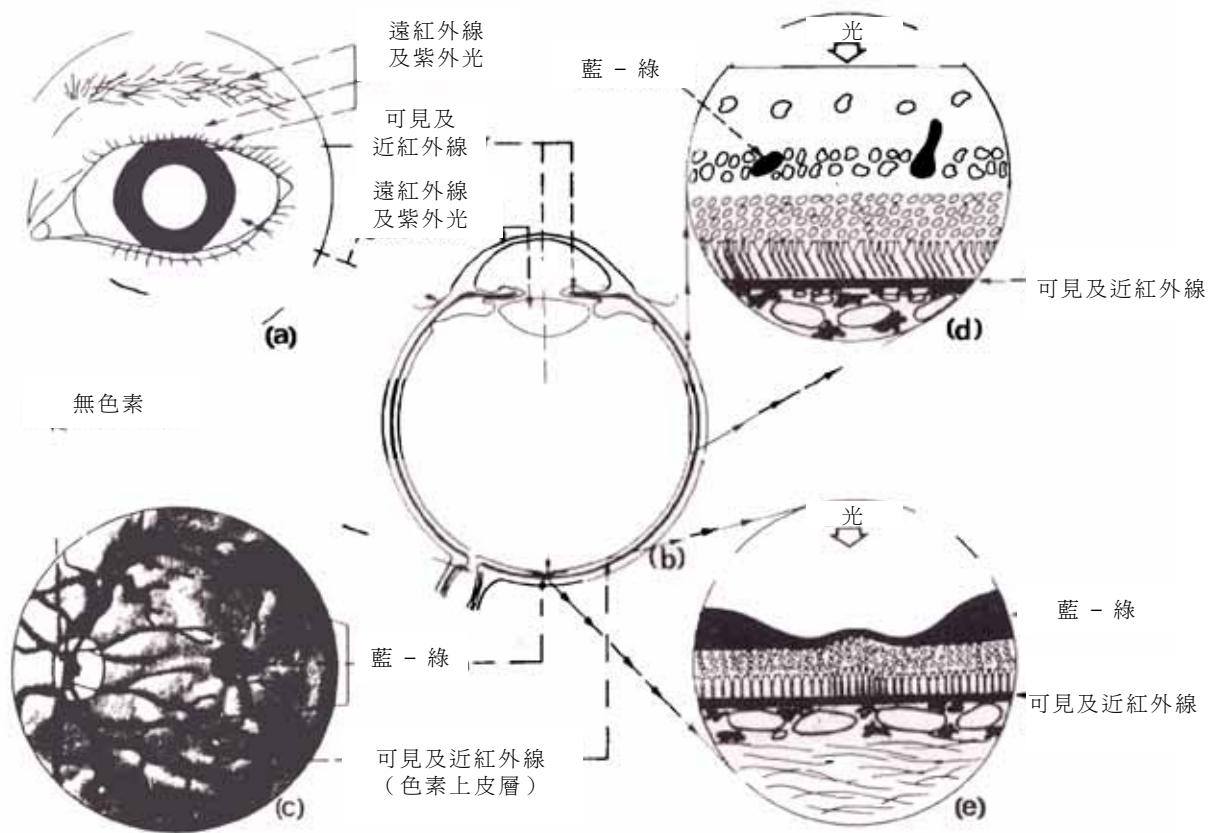


表 A.1 – 過量光照的病理效應一覽表

CIE ^a 光譜範圍 ^b	眼睛	皮膚	
紫外光 C (180nm～280nm)	光致角膜炎	紅斑（陽光灼傷）	
紫外光 B (280nm～315nm)		加速皮膚的 老化過程 色素沉着	
紫外光 A (315nm～400nm)	光化學反應 所致的視障	色素加深 光敏感作用	皮膚灼傷
可見光 (400nm～780nm)	光化學和 熱致的視網膜損傷		
紅外光 A (780nm～1 400nm)	白內障、視網膜灼傷		
紅外光 B (1.4μm～3.0μm)	水份蒸發、白內障、 角膜灼傷		
紅外光 C (3.0μm～1nm)	僅為角膜灼傷		

^a CIE 指國際照明委員會。

^b 國際照明委員會（CIE）所界定的光譜範圍縮寫，對描繪生物效應是有用的，但可能與最大許可照射量（MPE）表中的光譜斷點未盡相符。

最大允許照射量水平

表 B.1 – 角膜直接受激光輻照的最大允許照射量^{a, b, c}

輻照時間 t (單位：秒) 波長λ (單位：nm)	10 ⁻¹³ 至 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ 至 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ 至 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ 至 1.8 x 10 ⁻⁵	1.8 x 10 ⁻⁵ 至 5 x 10 ⁻⁵	5 x 10 ⁻⁵ 至 1 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻³ 至 10	10 至 10 ²	10 ² 至 10 ³	10 ³ 至 10 ⁴	10 ⁴ 至 3 x 10 ⁴
180 至 302.5	3 X 10 ¹⁰ W.m ⁻²		30 J.m ⁻²								
302.5 至 315			C ₂ J.m ⁻² (t > T ₁)					C ₂ J.m ⁻²			
315 至 400			C ₁ J.m ⁻²					10 ⁴ J.m ⁻²		10 W.m ⁻²	
400 至 700 ^d	1.5 x 10 ⁻⁴ C ₆ J.m ⁻²	2.7 x 10 ⁴ t ^{0.75} C ₆ J.m ⁻²	5 x 10 ⁻³ C ₆ J.m ⁻²	18 t ^{0.75} C ₆ J.m ⁻²	400 to 600 nm ^d	視網膜光化學危害					
					100 C ₃ J.m ⁻² 假定 γ _p = 11 mrad	1 C ₃ W.m ⁻² 假定 γ _p = 1.1 t ^{0.5} mrad		1 C ₃ W.m ⁻² 假定 γ _p = 110 mrad			
					及 ^d						
					400 to 700 nm ^d	視網膜熱危害					
700 至 1050	1.5 x 10 ⁻⁴ C ₄ C ₆ J.m ⁻²	2.7 x 10 ⁴ t ^{0.75} C ₄ C ₆ J.m ⁻²	5 x 10 ⁻³ C ₄ C ₆ J.m ⁻²	18 t ^{0.75} C ₄ C ₆ J.m ⁻²			α ≤ 1.5 mrad: 10 W.m ⁻² α > 1.5 mrad: 18 C ₆ T ₂ ^{-0.25} W.m ⁻² (t > T ₂)				
1050 至 1400	1.5 x 10 ⁻³ C ₆ C ₇ J.m ⁻²	2.7 x 10 ⁵ t ^{0.75} C ₆ C ₇ J.m ⁻²	5 x 10 ⁻² C ₆ C ₇ J.m ⁻²		90 t ^{0.75} C ₆ C ₇ J.m ⁻²		(t ≤ T ₂) 18 t ^{0.75} C ₄ C ₆ C ₇ J.m ⁻²				
1400 至 1500	10 ¹² W.m ⁻²		10 ³ J.m ⁻²			5600 t ^{0.25} J.m ⁻²	1000 W.m ⁻²				
1500 至 1800	10 ¹³ W.m ⁻²		10 ⁴ J.m ⁻²								
1800 至 2600	10 ¹² W.m ⁻²		10 ³ J.m ⁻²			5600 t ^{0.25} J.m ⁻²					
2600 至 10 ⁶	10 ¹¹ W.m ⁻²		100 J.m ⁻²	5600 t ^{0.25} J.m ⁻²							

^a 有關修正系數和單位，請參閱表 C.1 至 C.4 的註釋。

^b 輻照時間少於 10⁻⁹ 秒、波長少於 400 nm 和大於 1400 nm 的最大允許照射量是根據輻照極限為 10⁻⁹ 秒時的同等輻射量計算出來的。輻照時間少於 10⁻¹³ 秒的最大允許照射量設定為等同於 10⁻¹³ 秒的同等輻射量的最大允許照射量。

^c 角度 γ_p 是接納量度儀器的極限角。

^d 若波長為 400 nm 至 600 nm 之間，則採用雙重極限，產品的發射量不得超逾適用於任何一個類別的極限。一般而言，光化學危害極限只適用於輻照時間超過 10 s 的情況；但若波長介乎 400 nm 與 484 nm 之間，而明顯光源大小介乎 1.5 mrad 與 82 mrad 之間，則在輻照時間大於或等於 1 s 時，應使用 100 C₃Jm⁻² 的雙重光化學危害極限。

表 B.2 – 激光輻射對皮膚的最大允許照射量^{1) 2)}

輻照時間 t 波長 λ nm	$< 10^{-9}$	10^{-9} 至 10^{-7}	10^{-7} 至 10^{-3}	10^{-3} 至 10	10 至 10^3	10^3 至 3×10^4
180 至 302.5	$3 \times 10^{10} \text{ W.m}^{-2}$	30 J.m^{-2}				
302.5 至 315		$C_2 \text{ J.m}^{-2}$ ($t > T_1$)			$C_2 \text{ J.m}^{-2}$	
315 至 400		$C_1 \text{ J.m}^{-2}$ ($t \leq T_1$)				
400 至 700	$2 \times 10^{11} \text{ W.m}^{-2}$	200 J.m^{-2}		$1.1 \times 10^4 t^{0.25} \text{ J.m}^{-2}$	2000 W.m^{-2}	
700 至 1 400	$2 \times 10^{11} C_4 \text{ W.m}^{-2}$	$200 C_4 \text{ J.m}^{-2}$		$1.1 \times 10^4 C_4 t^{0.25} \text{ J.m}^{-2}$	$2000 C_4 \text{ W.m}^{-2}$	
1 400 至 1 500	10^{12} W.m^{-2}	10^3 J.m^{-2}		$5600 t^{0.25} \text{ J.m}^{-2}$	$1000 \text{ W.m}^{-2} \quad 3)$	
1 500 至 1 800	10^{13} W.m^{-2}	10^4 J.m^{-2}				
1 800 至 2 600	10^{12} W.m^{-2}	10^3 J.m^{-2}		$5600 t^{0.25} \text{ J.m}^{-2}$		
2 600 至 10^6	10^{11} W.m^{-2}	100 J.m^{-2}		$5600 t^{0.25} \text{ J.m}^{-2}$		

- 1) 有關修正系數和單位，請參閱表 C.1 至 C.4 的註釋。
- 2) 目前只有很少證據證明輻照時間少於 10^{-9} s 秒的效應。上述輻照的最大允許照射量是在 10^{-9} 秒內保持輻射推導出的。
- 3) 受輻照的皮膚面積如超過 0.1m^2 ，則最大允許照射量減為 100Wm^{-2} 。
在 0.01m^2 和 0.1m^2 之間，最大允許照射量與受輻照的皮膚面積成反比。

各類激光產品的可達發射極限

表 C.1 – 1 類及 1M 類激光產品的可達發射極限^{a, b, c}

輻照時間 t (單位：秒) 波長 λ (單位：mm)	10^{-13} 至 10^{-11}	10^{-11} 至 10^{-9}	10^{-9} 至 10^{-7}	10^{-7} 至 1.8×10^{-5}	1.8×10^{-5} 至 5×10^{-5}	5×10^{-5} 至 1×10^{-3}	1×10^{-3} 至 0.35	0.35 至 10	10 至 10^2	10^2 to 10^3	10^3 to 10^4	10^4 to 3×10^4	
180 至 302.5	$3 \times 10^{10} \text{ W.m}^{-2}$		30 J.m^{-2}										
302.5 至 315	$2.4 \times 10^4 \text{ W}$		$7.9 \times 10^{-7} C_2 \text{ J}$ $(t > T_1)$						$7.9 \times 10^{-7} C_2 \text{ J}$				
315 至 400			$(t, \leq T_1)$ $7.9 \times 10^{-7} C_1 \text{ J}$						$7.9 \times 10^{-3} \text{ J}$		$7.9 \times 10^{-6} \text{ W}$		
400 至 700 ^d	$5.8 \times 10^{-9} C_6 \text{J}$	$1.0 t^{0.75} C_6 \text{J}$	$2 \times 10^{-7} C_6 \text{J}$	$7 \times 10^{-4} t^{0.75} C_6 \text{J}$	400 to 600 nm ^d	視網膜光化學危害							
						$3.9 \times 10^{-3} C_3 \text{ J}$ 假定 $\gamma_p = 11 \text{ mrad}$	$3.9 \times 10^{-5} C_3 \text{ W}$ 假定 $\gamma_p = 1.1 t^{0.5} \text{ mrad}$	$3.9 \times 10^{-5} C_3 \text{ W}$ 假定 $\gamma_p = 110 \text{ mrad}$					
						及 ^d							
						視網膜熱危害							
700 至 1 050	$5.8 \times 10^{-9} C_4 C_6 \text{ J}$	$1.0 t^{0.75} C_4 C_6 \text{ J}$	$2 \times 10^{-7} C_4 C_6 \text{ J}$	$7 \times 10^{-4} t^{0.75} C_4 C_6 \text{ J}$				$\alpha < 1.5 \text{ mrad}: 3.9 \times 10^{-4} C_4 C_7 \text{ W}$ $\alpha > 1.5 \text{ mrad}: 7 \times 10^{-4} C_4 C_6 C_7 T_2^{-0.25} \text{ W}$ $(t > T_2)$					
1 050 至 1 400	$5.8 \times 10^{-8} C_6 C_7 \text{ J}$	$10.4 t^{0.75} C_6 C_7 \text{ J}$	$2 \times 10^{-6} C_6 C_7 \text{ J}$		$3.5 \times 10^{-3} t^{0.75} C_6 C_7 \text{ J}$				$(t \leq T_2)$ $7 \times 10^{-4} t^{0.75} C_4 C_6 C_7 \text{ J}$				
1 400 至 1 500	$8 \times 10^5 \text{ W}$		$8 \times 10^{-4} \text{ J}$				$4.4 \times 10^{-3} t^{0.25} \text{ J}$	$10^{-2} t \text{ J}$	$1.0 \times 10^{-2} \text{ W}$				
1 500 至 1 800	$8 \times 10^6 \text{ W}$		$8 \times 10^{-3} \text{ J}$				$1.8 \times 10^{-2} t^{0.75} \text{ J}$						
1 800 至 2 600	$8 \times 10^5 \text{ W}$		$8 \times 10^{-4} \text{ J}$				$4.4 \times 10^{-3} t^{0.25}$	$10^{-2} t \text{ J}$					
2 600 至 4 000	$8 \times 10^4 \text{ W}$		$8 \times 10^{-5} \text{ J}$	$4.4 \times 10^{-3} t^{0.25} \text{ J}$									
4 000 至 10^6	10^{11} W.m^{-2}		100 J.m^{-2}	$5\,600 t^{0.25} \text{ J.m}^{-2}$					$1\,000 \text{ W.m}^{-2}$				
a 有關修正系數和單位，請參閱表 C1 至 C4 的註釋。													
b 發射時間少於 10-13 秒的可達發射極限設定為等同於 10-13 秒時可達發射極限的同等功率或輻射值。													
c 角度 γ_p 是接納量度儀器的極限角。													
d 若波長為 400 nm 至 600 nm 之間，則採用雙重極限，產品的發射量不得超逾適用於任何一個類別的極限。倘若輻照時間為 1 秒至 10 秒、波長為 400nm 至 484nm 之間，光源大小為 1.5mrad 至 82 mrad 之間，則 $3.9 \times 10^{-3} C_3 \text{ J}$ 的雙重光化學危害極限延長至 1 秒。													

表 C.2 – 2 類及 2M 類激光產品的可達發射極限

波長 λ nm	發射時間 t s	第 2 類可達發射極限
400 至 700	$t < 0.25$	跟第 1 類可達發射極限相同 $C_6 \times 10^{-3} \text{ W}^*$
	$t \geq 0.25$	
* 有關修正系數和單位，請參閱表 C1 至 C4 的註釋。		

表 C.3 – 3R 類激光產品的可達發射極限^{a,b}

輻照時間 t (單位：秒) 波長 λ (單位：mm)	10 ⁻¹³ 至 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ 至 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ 至 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ 至 1.8 x 10 ⁻⁵	1.8 x 10 ⁻⁵ 至 5 x 10 ⁻⁵	5 x 10 ⁻⁵ 至 1 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻³ 至 0.35	0.35 至 10	10 至 10 ³	10 ³ 至 3 x 10 ⁴
180 至 302.5	不適用		不適用							
302.5 至 315	1.2 x 10 ⁵ W		7.0 x 10 ⁻⁶ C ₂ J (t > T ₁)						4.0 x 10 ⁻⁶ C ₂ J	
315 至 400			4.0 x 10 ⁻⁶ C ₁ J						4.0 x 10 ⁻² J	4.0 x 10 ⁻⁵ W
400 至 700	2.9 x 10 ⁻⁸ C ₆ J	5.0 t ^{0.75} C ₆ J	1 x 10 ⁻⁶ C ₆ J	5.0 x 10 ⁻³ C ₆ W (t ≥ 0.25 s)			5.0 x 10 ⁻³ C ₆ W	5.0 x 10 ⁻³ C ₆ W		
700 至 1 050	2.9 x 10 ⁻⁸ C ₄ C ₆ J	5.0 t ^{0.75} C ₄ C ₆ J	1x 10 ⁻⁶ C ₄ C ₆ J	3.5 x 10 ⁻³ t ^{0.75} C ₄ C ₆ J				α ≤ 1.5 mrad: 2.0 x 10 ⁻³ C ₄ C ₇ W α > 1.5 mrad: 3.5 x 10 ⁻³ C ₄ C ₆ C ₇ T ₂ ^{-0.25} W (t > T ₂)		
1 050 至 1 400	2.9 x 10 ⁻⁷ C ₆ C ₇ J	52 t ^{0.75} C ₆ C ₇ J	1 x 10 ⁻⁵ C ₆ C ₇ J		1.8 x 10 ⁻² t ^{0.75} C ₆ C ₇ J					
1 400 至 1 500	4 x 10 ⁶ W		4 x 10 ⁻³ J				2.2 x 10 ⁻² t ^{0.25} J	10 ⁻² t J	5.0 x 10 ⁻² W	
1 500 至 1 800	4 x 10 ⁷ W		4 x 10 ⁻² J				9 x 10 ⁻² t ^{0.75} J			
1 800 至 2 600	4 x 10 ⁶ W		4 x 10 ⁻³ J				4.4 x 10 ⁻² t ^{0.25} J	5 x 10 ⁻² t J		
2 600 至 4 000	4 x 10 ⁵ W		4 x 10 ⁻⁴ J	2.2 x 10 ⁻² t ^{0.25} J						
4 000 至 10 ⁶	5 x 10 ¹¹ W.m ⁻²		500 J.m ⁻²	2.8 x 10 ⁴ t ^{0.25} .m ⁻²					5 000 W.m ⁻²	
a 有關修正系數和單位，請參閱表 C1 至 C4 的註釋。										
b 發射時間少於 10 ⁻¹³ 秒的可達發射極限設定為等同於 10 ⁻¹³ 秒時可達發射極限的同等功率或輻射值。										

表 C.4 – 3B 類激光產品的可達發射極限

波長 λ nm \ 發射時間 t s	$<10^{-9}$	10^{-9} 至 0.25	0.25 至 3×10^4
180 至 302.5	$3.8 \times 10^5 \text{ W}$	$3.8 \times 10^{-4} \text{ J}$	$1.5 \times 10^{-3} \text{ W}$
302.5 至 315	$1.25 \times 10^4 C_2 \text{ W}$	$1.25 \times 10^{-5} C_2 \text{ J}$	$5 \times 10^{-5} C_2 \text{ W}$
315 至 400	$1.25 \times 10^8 \text{ W}$	0.125 J	0.5 W
400 至 700	$3 \times 10^7 \text{ W}$	0.03 J 若 $t < 0.06 \text{ s}$ 0.5 W 若 $t \geq 0.06 \text{ s}$	0.5 W
700 至 1 050	$3 \times 10^7 C_4 \text{ W}$	0.03 $C_4 \text{ J}$ 若 $t < 0.06 C_4 \text{ s}$ 0.5 W 若 $t \geq 0.06 C_4 \text{ s}$	0.5 W
1 050 至 1 400	$1.5 \times 10^8 \text{ W}$	0.15 J	0.5 W
1 400 至 10^6	$1.25 \times 10^8 \text{ W}$	0.125 J	0.5 W

有關修正系數和單位，請參閱表 C1 至 C4 的註釋。

表 C1 至 C4 的註釋

註 1 目前只有很少證據證明輻照時間少於 10^{-9} 秒、波長少於 400nm 和大於 1 400nm 的效應。上述輻照和波長的可達發射極限是在計算 10^{-9} 秒內波長少於 400nm 和大於 1 400nm 的同等輻照功率或輻射而導出的。

註 2 表 C1 至 C4 所用的修正系數 C1 至 C7 以及分界點 T1 及 T2 乃根據以下公式定義，詳見圖 C.1 至 C.8。

參數	光譜範圍 nm	圖
$C_1 = 5.6 \times 10^3 t^{0.25}$	302.5 至 400	1
$T_1 = 10^{0.8(\lambda-295)} \times 10^{-15} \text{ s}$	302.5 至 315	2
$C_2 = 10^{0.2(\lambda-295)}$	302.5 至 315	3
$T_2 = 10 \times 10^{[(\alpha-\alpha_{\min})/98.5]} \text{ s}$ ^a	400 至 1 400	4
$C_3 = 1.0$	400 至 450	5
$C_3 = 10^{0.02(\lambda-450)}$	450 至 600	5
$C_4 = 10^{0.002(\lambda-700)}$	700 至 1 050	6
$C_4 = 5$	1 050 至 1 400	6
$C_5 = N^{-1/4}$ ^b	400 至 10^6	7
$C_6 = 1$ for $\alpha \leq \alpha_{\min}$	400 至 1 400	^c
$C_6 = \alpha / \alpha_{\min}$ for $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$	400 至 1 400	^c
$C_6 = \alpha_{\max} / \alpha_{\min} = 66.7$ for $\alpha > \alpha_{\max}$ ^d	400 至 1 400	^c
$C_7 = 1$	700 至 1 150	8
$C_7 = 10^{0.018(\lambda-1150)}$	1 150 至 1 200	8
$C_7 = 8$	1 200 至 1 400	8

^a $T_2 = 10$ 秒 (若 $\alpha < 1.5\text{mrad}$) 以及 $T_2 = 100$ 秒 (若 $\alpha > 100\text{mrad}$)

^b C_5 只適用於脈沖時間少於 0.25 秒的情況

^c C_6 只適用於脈沖激光和熱損傷為主的連續波激光 (見表 C1)

^d 接受度 γ 的極限角度應相等於 $\alpha_{\max}$
 $\alpha_{\min} = 1.5\text{mrad}$
 $\alpha_{\max} = 100\text{mrad}$
 N 是適用時間內的脈沖數目

註 3 有關極限窗孔參見表 C.6。

註 4 在表 C1 至 C4 的公式中，波長的單位應為納米，放射時間的單位 t 應為秒，而 α 的單位應為微弧度。

表 C.5 – 不同譜段的輻射對眼睛（o）及皮膚（s）的疊加效應

光譜範圍*	UV-C 和 UV-B 180 至 315nm	UV-A 315 至 400nm	可見光和 R-A 400 至 1400nm	IR-B 和 IR-C 1400 至 10 ⁶ nm
UV-C 和 UV-B 180 至 315nm	o s			
UV-A 315 至 400nm		o s	s	o s
可見光和 R-A 400 至 1400nm		s	o** s	s
IR-B 和 IR-C 1400 至 10 ⁶ nm		o s	s	o s
* 有關光譜範圍的定義，參見表 A.1。 ** 如需為時間基礎或輻照時間為 1 秒或更長評估可達發射極限和眼睛的最大允許照射量，則應分別評估光化學疊加效應（400 nm 至 600 nm）和熱疊加效應（400 nm 至 1 400 nm），並使用最限制值。				

表 C.6 – 適用於量度激光輻照度和輻照量的孔徑

光譜範圍 nm	孔徑	
	眼睛 mm	皮膚 mm
180 至 400	1	3.5
≥ 400 至 1 400	7	3.5
≥ 1 400 至 10 ⁵	1 若 $t \leq 0.35s$ $1.5 t^{3/8}$ 若 $0.35s < t < 10s$ 3.5 若 $t \geq 10s$	3.5
≥ 10 ⁵ 至 10 ⁶	11	11

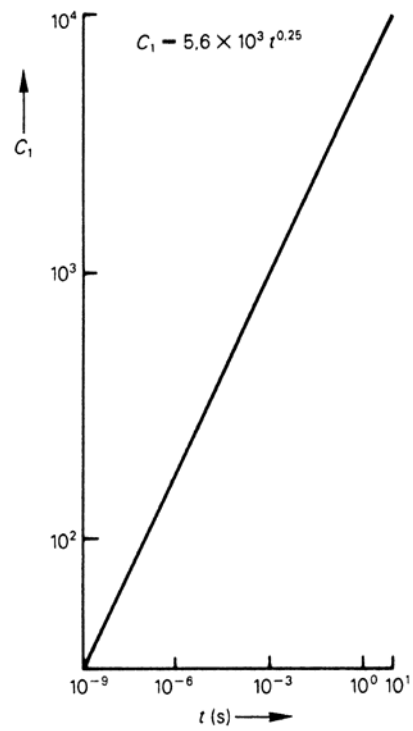


圖 C.1 – 放射時間為 10^{-9} 至 10 秒的修正系數 C_1

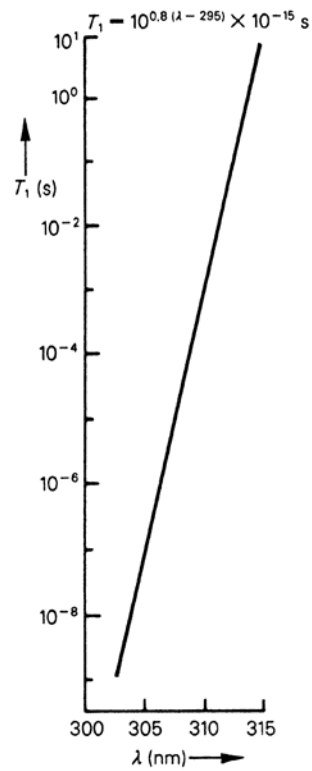


圖 C.2 – $\lambda = 302.5 \text{ nm}$ 至 315 nm 時的分界點 T_1

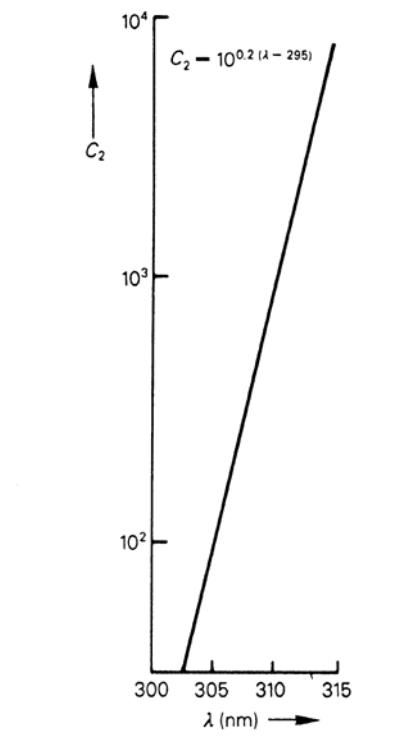
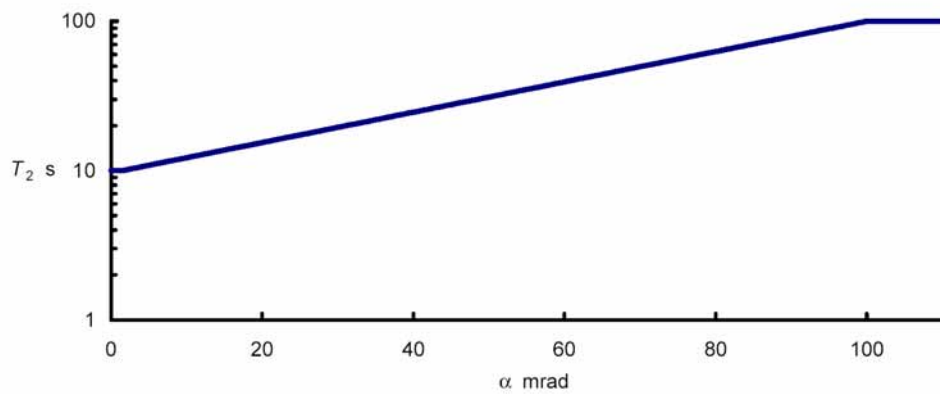


圖 C.3 – $\lambda = 302.5 \text{ nm}$ 至 315 nm 時的修正系數 C_2

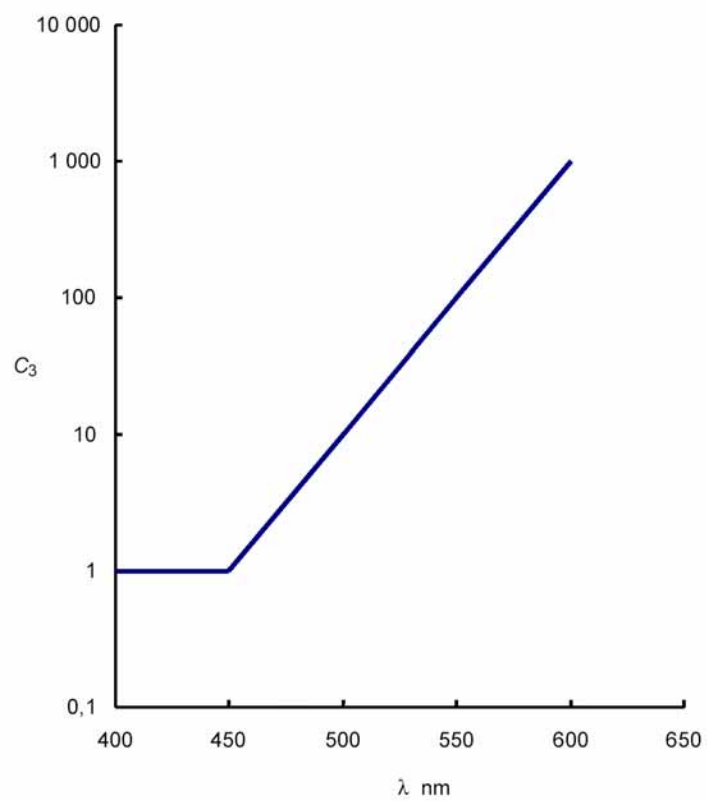
$T_2 = 10$	$0 < \alpha < 1.5$
$T_2 = 10 \times 10^{[(\alpha - 1.5 \text{ mrad})/98.5]}$	$1.5 < \alpha < 100$
$T_2 = 100$	$\alpha > 100$



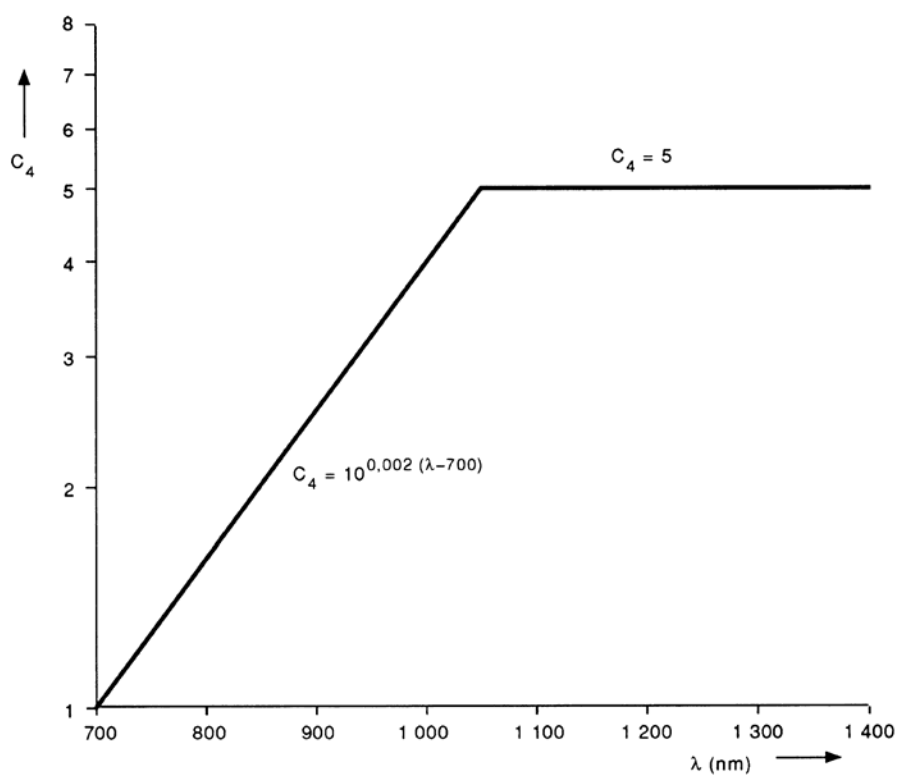
圖C.4 – 光源大小為 0 mrad 至超過 100 mrad 時的分界點 T_2

$$C_3 = 1 \quad \text{for } (400 < \lambda < 450)$$

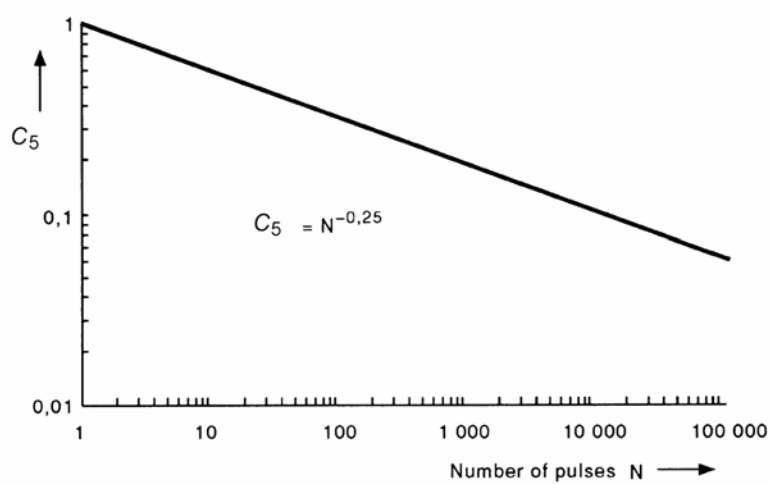
$$C_3 = 10^{0.02(\lambda-450)} \quad \text{for } (450 < \lambda < 600)$$



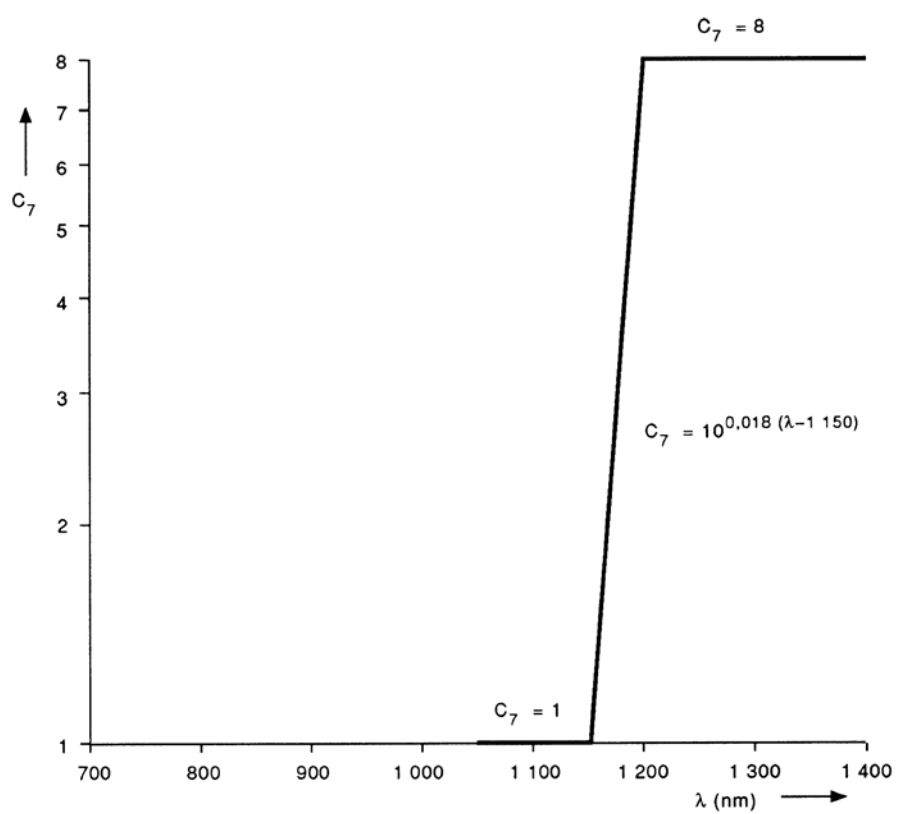
圖C.5 – $\lambda = 400$ nm 至 600 nm 時的修正系數 C_3



圖C.6 - $\lambda = 700$ nm至1 400 nm時的修正系數 C_4



圖C.7 - N (脈沖數目) 為1至100 000之間時的修正系數 C_5



圖C.8 - $\lambda = 1\,050\text{ nm}$ 至 $1\,400\text{ nm}$ 時的修正系數 C_7

爲分類用途而作的激光輻射試驗 — 量度

一般要求

- D.1 試驗必須考慮測試過程中的所有誤差及各統計數據的變化不定，以及因老化而起的發射增大值，與輻射安全性能的退化。
- D.2 操作、保養或維修期間必須對各項適用的要求進行適當的試驗。
- 註 1 任何符合 IEC 60825-1:2001 第 8 條（即附件 D中之 D.3 及 D.4）規定的試驗程序均可接納。
- 註 2 產品如須作特殊用途，可能須進行額外試驗。

激光輻射分類的量度

- D.3 量度必須在下列條件下進行：
- a) 在可取得最大可達發射水平的條件及程序下進行，包括激光產品的啓動、穩定發射及關閉；
 - b) 利用操作、保養及維修說明書中所列的所有操作和調節裝置，將激光器調校至產生最大可達發射量。如使用會增加輻射危險以及製造商供應或提供的與產品一起使用的配件（例如平行視光儀器），亦應進行量度；
 - c) 激光系統以外的激光產品，應使該產品與製造商規定兼容並發射最高可達輻射的激光能源相連；
 - d) 在人員爲量度可達發射水平而操作時可以接近的地點進行，例如，如果操作時必須移開防護罩的某些部分並使安全聯鎖失效的話，則必須在該產品狀態下可以接近的地點進行量度；
 - e) 在量度時，量度儀器的探測器相對於激光產品位置與方向，應調較到使量度儀器能探測到該激光器所產生之最大輻射；
 - f) 應作出適當準備，以防止或消除側邊輻射對量度的影響；
 - g) 1 類及 1M 類
在 302.5nm 至 4 000nm 的波長範圍內，倘若根據表 D.1 就條件 1 及條件 2 確定的輻射水平少於或等於類別 1 的可達發射極限，則該激光產品會被劃歸 1 類。

倘若根據表 D.1 確定的輻射水平大於條件 1 或條件 2 的可達發射極限，並且少於類別 3B 的可達發射極限，但用直徑窗孔量度，離實際光源的距離須等於表 D.1 所列的距離。倘若輻照測量少於或等於 1 類的可達發射極限，則該激光產品會被劃歸 1M 類。

註：為限制通過某屬 1M 類的視光儀器的最大功率，3 類的可達發射極限亦會用來量度功率或能量。

h) 2 類及 2M 類

在 400nm 至 700nm 的波長範圍內，倘若根據表 D.1 就條件 1 及條件 2 確定的輻射水平超逾類別 1 的可達發射極限，並且少於或等於 2 類的可達發射極限，則該激光產品會被劃歸 2 類。

倘若根據表 D.1 確定的輻射水平大於條件 1 和條件 2 的可達發射極限，並且少於 3B 類的可達發射極限，但用直徑窗孔，並在表 D.1 所列輻照量的距離量得的輻照水平少於或等於 2 類的可達發射極限，則該激光產品會被劃歸 2M 類。

註：為限制通過某屬 2M 類的視光儀器的最大功率，3B 類的可達發射極限亦會用來量度功率或能量。

D.4 量度的幾何結構

表 D.1 所示的兩種量度條件適用於通過視光儀器協助觀察可能會增加危害的波長。應使用限制性最高的條件。如果條件 1 或 2 的適用情況並不清晰，則須評估兩種條件。條件 1 適用於望遠鏡和雙筒望遠鏡可能會增加危害的平行光束，而條件 2 則適用於有高度發散輸出，而且使用顯微鏡、放大鏡和寸鏡可能會達加危害的光源。在量度被掃描的激光輻照的功率和能量方面，應使用表 D.1 所指明的為輻射或輻照而設的量度窗孔和距離。

(a) 孔徑

須採用表 D.1 所示用來量度輻射以作分類用途的孔徑。

註：如窗孔小於表 D.1 所示輻射及輻照的極限窗孔，則不應取各種窗孔的平均輻射及輻照值。

(b) 量度距離

對於條件 1 而言，表 D.1 的指明的量度距離是指人類接觸到的輻射的最近點與光闌之間的距離。對於條件 2 以及輻射及輻照量度而言，量度距離是指明顯光源與光闌之間的距離。在 302.5 nm 與 4000 nm 的波長以外，無須區別條件 1 及條件 2，表 D.1 所指明的距離是指人類接觸到的輻射的最近點與光闌之間的距離。

就 IEC 60825-1:2001 標準而言，光束聚集部分的位置應視為明顯光源的位置，該位置乃用於確定表 D.1 所示的量度距離。不過，光束聚集部分的大小不應用來以幾何方法確定明顯光源的角度。如使用大於 $\alpha_{\min}$ 的角度來進行分類，應確定明顯光源的大小。如為掃描光束，適當的量度位置是角度與脈沖時間引致最受限制的可達發射極限的位置。

註：用來量度條件 2 的功率和能量，以及波長介乎 302.5nm 與 4 000nm 之間的輻射及輻照。如果不能透過工程設計(例如帶切槽)到達明顯光源，則量度距離應為人類接觸到的輻射的最近點，但不少於指定距離。

如果光源沒有切槽，則不會在根據表 10 a)所示熱極限的公式所釐定的距離 r 放置一個 7mm 直徑的光闌，而會在距離明顯光源 100mm 的地點放置可變直徑 d 的光闌。在此情況下，孔徑根據以下公式計算：

$$d = (7\text{mm}) \sqrt{\frac{\alpha_{\max}}{\alpha + 0.46\text{mrad}}} \quad \text{若 } \alpha < \alpha_{\min}, d = 50\text{mm}。 \text{若 } \alpha \geq \alpha_{\max}, d = 7\text{mm}。$$

註：表 D.1 的量度窗孔和距離描述量度條件的幾何結構，這些條件是用來確定輻射水平，以便進行分類。在某些情況下，由於儀器或空間限制，可能需要使用同結構的窗孔和距離。例如，可以在距離明顯光源 100m 的地點放置直徑 50mm 的光闌，以代替在距離明顯光源 14mm 的地點放置直徑 7mm 的光闌。

表 D.1 – 量度窗孔的直徑和量度距離

波長 nm	表達為功率 W 或能量 J 的值				輻射 W/m ² ^b 或輻照 J/m ² ^b	
	條件 1		條件 2			
對於 1 類，亦請參閱 D.3(g)	孔徑光闌	距離	孔徑光闌	距離	極限窗孔	距離
對於 2 類，亦請參閱 D.3(h)	mm	mm	mm	mm	mm	mm
< 302.5 nm	-	-	7	14	1	0
≥ 302.5 nm 至 400 nm	25	2 000	7	14	1	100
≥ 400 nm 至 1 400 nm	50	2 000	7 ^a	r ^a	7	100
≥ 1400 nm 至 4 000 nm	25	2000	7	14	1 若 t ≤ 0.35 s 1.5 t ^{3/8} 若 0.35 s < t < 10 s 3.5 若 t ≥ 10 s (t 的單位為 s)	100
≥ 400 nm 至 10 ⁵ nm	-	-	7	14	1 若 t ≤ 0.35 s 1.5 t ^{3/8} 若 0.35 s < t < 10 s 3.5 若 t ≥ 10 s (t 的單位為 s)	0
≥ 10 ⁵ nm 至 10 ⁶ nm	-	-	7	14	11	0

^a 如為光化學極限，且 t ≤ 100s，則 r 設定為

$r = 14 \text{ mm}$ 若 $\alpha \leq 1.5 \text{ mrad}$

$r = 100 \text{ mm}$ ($\alpha/11 \text{ mrad}$) 若 $1.5 \text{ mrad} < \alpha \leq 11 \text{ mrad}$

$r = 100 \text{ mm}$ 若 $\alpha > 11 \text{ mrad}$

(有關 1M 類和 2M 類的測試，參見 D.3(g)和 D.3(h))

如為光化學極限，且 $t > 100 \text{ s}$ ，則 r 設定為(有關 γ_p 的定義，參見 D.4(c))

$r = 14 \text{ mm}$ 若 $\alpha \leq 1.5 \text{ mrad}$

$r = \left[14 + 86 \frac{\alpha - 1.5 \text{ mrad}}{\gamma_p - 1.5 \text{ mrad}} \right] \text{ mm}$ 若 $1.5 \text{ mrad} < \alpha \leq \gamma_p$

$r = 100 \text{ mm}$ 若 $\alpha > \gamma_p$

(有關 1M 類和 2M 類的測試，參見 D.3(g)和 D.3(h))

如為熱極限，則 r 設定為

$r = \left[(100 \text{ mm}) \sqrt{\frac{\alpha + 0.46 \text{ mrad}}{\alpha_{\max}}} \right] \text{ mm}$ 若 $\alpha < \alpha_{\min}$, $r = 14 \text{ mm}$ 。若 $\alpha \geq \alpha_{\max}$, $r = 100$

mm

(有關 1M 類和 2M 類的測試，參見 D.3(g)和 D.3(h))

- ^b 若波長介於 400nm 與 4 000nm 之間，則上述數值亦適用於量度 1M 類和 2M 類的功率或能量 (D.3(g)和 D.3(h))

(c) 接受角

(i) 光化學視網膜極限

如果用光化學極限(400 nm 至 600 nm)量度光源，則接受極限角 γ_p 是

若 $10 \text{ s} < t \leq 100 \text{ s}$: $\gamma_p = 11 \text{ mrad}$
若 $100 \text{ s} < t \leq 10^4 \text{ s}$: $\gamma_p = 1.1 t^{0.5} \text{ mrad}$
若 $10^4 \text{ s} < t \leq 3 \times 10^4 \text{ s}$: $\gamma_p = 110 \text{ mrad}$

如果光源的角度 α 大於指定的接受極限角 γ_p ，則接受角不應大於 γ_p 的指定值。如果光源的角度 α 小於指定的接受極限角 γ_p ，則接受角應完全覆蓋有關光源，但在其他情況下無需有明確定義（即接受角無需限於 γ_p ）。

註：如果量度單個小光源而 $\alpha < \gamma_p$ ，則無需使用特定的定義明確的接受角。

為使接受角的定義明確，可把接受角定義為把光源影進 field stop 上或遮蓋光源。

(ii) 其他極限

如果量度輻照量，以便與光化學極限以外的其他極限進行比較，則接受角須完全覆蓋有關光源（即接受角最小須等於光源的角度 α ）。但如在 302.5 nm 至 4 000 nm 的波長範圍內， $\alpha > \alpha_{\max}$ ，則接受極限角為 $\alpha_{\max}$ （100 mrad）。若在 400 nm 至 1 400 nm 的波長範圍內評估包含多個點的明顯光源，則接受角須在 $\alpha_{\min} \leq \gamma \leq \alpha_{\max}$ 之間取值（參見附件 E 的 E.13）。

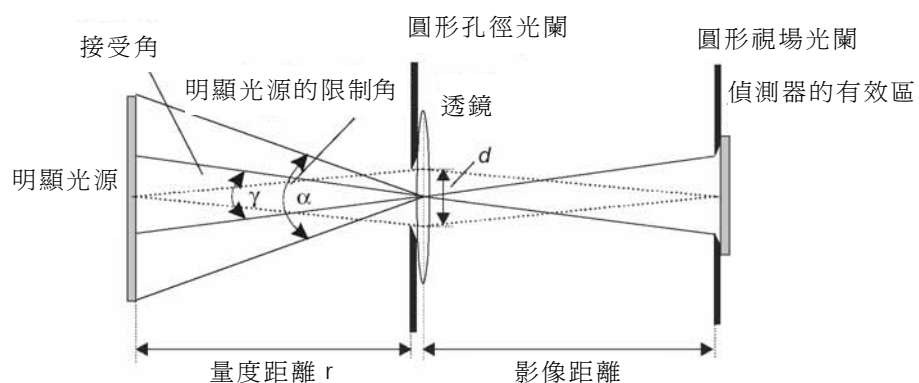


圖 D.1(a)

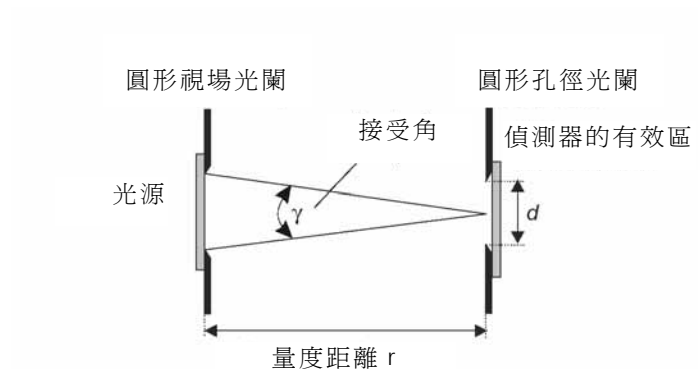


圖 D.1(b)

圖D.1 – 用以確定定義明確的接受角的量度設備

D.1(a)：把明顯光源影在視場光闌平面上；

D.1(b)：在接近光源處放置圓形的窗孔或遮罩。

接受角是根據視場光闌直徑與透鏡-視場光闌距離（影像距離）的比例（圖D.1(a)），或者視場光闌直徑與光源-偵測器距離的比例（圖D.1(b)）確定。須考慮由透鏡引致的傳輸損耗和反射損耗。表D.1所示的量度距離 r 乃由孔徑光闌取得。

激光產品分類

1. 激光產品類別的定義

E.1 激光產品必須按照 E.1(a)至 E.1(g)的規定予以分類，每一類具有規定的可達發射極限（Accessible Emission Limit）。

(a) 1 類激光產品

1 類激光產品是在合理可預計的運作條件(包括通過視光儀器直視光束)下安全的激光產品。1 類激光產品不容許人類受到超過適用於 1 類波長和發射時間的可達發射極限的輻照。(見附件 C 表 C.1)

(b) 1M 類激光產品

1M 類激光產品不容許人類受到超過適用於 1 類波長和發射時間的可達發射極限的輻照，輻射水平按照附件 D 量度，但使用比 1 類激光產品為小的量度窗孔或在離明顯光源較遠的距離評估（見附件 C 表 C.1）。1M 類激光產品在合理可預計的運作條件是安全的，但使用者通過視光儀器直視光束，則可能有危險。

(c) 2 類激光產品

2 類激光產品是能發射可見光的激光產品，即其激光是在波長 400~700nm 的範圍內，通常由眼睛對光的迴避反應（包括眨眼）提供對眼睛的保護。在合理可預計的運作情況(包括通過視光儀器直視光束)下，上述反應可提供足夠保護。2 類激光產品不容許人類受到超過適用於 2 類波長和發射時間的可達發射極限的輻照。（見附件 2 表 C.2）

(d) 2M 類激光產品

2M 類激光產品是在波長為 400nm 至 700nm 之間發射、不容許人類受到超過適用於 2 類波長和發射時間的可達發射極限輻照的激光產品，輻射水平按照附件 D 量度，但使用比 2 類激光產品為小的量度窗孔或在離明顯光源較遠的距離評估（見附件 C 表 C.2）。2M 類激光產品是能發射可見光，通常由眼睛對光的迴避反應（包括眨眼）提供對眼睛的保護。但是如果使用者通過視光儀器直視光束，則危險程度可能增加。

(e) 3R 類激光產品

3R 類激光產品是發射可見光的激光產品，即其激光是在光譜範圍 302.5nm 至 10^6 nm 內。直接在光束內觀察會有危險，但其風險低於 3B 類激光，使用者所需遵守的製造規定和控制措施亦較 3B 類激光為少。其可達發射極限在 2 類激光（波長範圍：400nm 至

700nm) 的可達發射極限的五倍內，以及在 1 類激光 (其他波長) 的可達發射極限的五倍內 (見附件 C 表 C.3)。

(f) **3B 類激光產品**

3B 類激光產品是其發射值不超過附件 C 表 C.4 中規定的可達發射極限的可見及／或不可見輻射的激光產品，連續波激光器的輸出功率不超過 0.5W (發射時間超過 0.25s)。

註：直視 3B 類激光產品光束是有害的。但在下列條件下，通過漫反射體觀看光束是安全的：

(i) 由光屏至角膜的最短觀察距離有 13cm；及

(ii) 最長觀察時間為 10s。

如果這些條件中有一個不符合，即必須小心計算危害。

(g) **4 類激光產品**

4 類激光產品為高功率激光產品，可以產生有害的漫反射，而其輸出功率則超過附件 C 表 C.4 中規定的 3B 類可達發射極限。

註：4 類激光產品能灼傷皮膚及造成火災。因此，使用此類激光產品需格外小心。

2. 分類程序

分類責任

E.2 為激光產品提供正確的分類是製造商或其代理人的責任。

E.3 如果原已分類的激光產品被改動，從而影響 IEC 60825-1:2001 標準範圍內所列的激光產品的性能或其所擬作的用途，則必須對該產品作檢查，及倘若有需要的話，將其重行分類。進行這種改動的人或組織要負責為有關的激光產品重行分類及重行貼上標記，並確保符合 E.1 至 E.13 段的規定。

規定激光產品類別的規則

E.4 一般規定

必須根據出廠後，該激光產品在任何可能操作情況下的輸出功率及發射的激光輻射波長來分類，並將其類別列入相應的最高激光類別上。

註：1、1M、2、2M、3R 及 3B 類 (按照危害增大的順序排列) 可達發射極限分別載於附件 C 表 C.1 至 C.4。

E.5 分類的時基

在進行分類時，所用的時基如下：

- (a) 波長為 400 nm 至 700 nm 的 2、2M 及 3R 類激光輻射：0.25 秒
- (b) 波長大於 400 nm 的激光輻射（(a)及(c)項所列者除外）：100 秒
- (c) 波長少於或等於 400 nm 的激光輻射，以及波長大於 400 nm 而激光產品是供長期觀察：30 000 秒。

註：在為產品分類時，必須考慮時基內的所有可能發射時間，這即是說須把某單一脈沖的發射水平與適用於該脈沖發射時間的可達發射極限作比較。僅僅求出分類時基時間的發射水平的平均值是不足夠的。

E.6 單波長輻射

發射線光譜範圍足夠窄，使可達發射極限不致改變的單波長輻射激光產品，如果在適合某類別的條件下量得的可達激光輻射超逾所有較低類別的可達發射極限，但不超逾該類別的可達發射極限，則應把該激光產品列入該類別。

E.7 多波長輻射

- (a) 在光譜範圍內發射兩至兩個以上波長（及在附件 C 表 C.5中列出有疊加效應）的激光產品，如果在適合某類別的條件下量得的可達激光輻射與上述波長的可達發射極限的比率的總和，在所有較低類別均大於 1，而在該類別則不超逾 1，則應把該激光產品列入該類別。
- (b) 在光譜範圍內發射兩至兩個以上波長（而在附件 C 表 C.5中表示無疊加效應的）的激光產品如被列入某一類別，則其通過窗孔的激光輻射須超過所有較低激光類別任一波長的可達發射極限值，但不能超過所屬激光類別任一波長的可達發射極限。

E.8 來自擴展光源的輻射

波長範圍在 400 nm 至 1400 nm 之間的激光光源對眼睛的危害視乎光源的角度。當某光源的角度大於 $\alpha_{\min}$ （ $\alpha_{\min} = 1.5\text{mrad}$ ）時，該光源即被視為擴展光源。在評估對視網膜的傷害（400 nm 至 1400 nm）時，擴展光源的可達發射極限與光源的角度成正比。在評估視網膜的光化學危害（400 nm 至 600 nm）時，如果輻照時間超過 1 秒，可達發射極限並不與光源的角度成正比，在量度時會使用 11 mrad 或更大的接受極限角 γ_p ，視乎輻照時間而定（見附件 D 的 D.4(c)(i)）。而接受極限角與光源角度 α 的關係可影響量得的值。

- E.9 角度少於或等於 $\alpha_{\min}$ 的光源的可達發射極限和最大允許照射量不受光源角度 α 的影響。
- E.10 擴展光源的量得功率或能量必須低於該類別指明的可達發射極限的許可功率或能量，量得的功率或能量是光源角度 α 的函數。
- E.11 在為適用條件 1 的激光產品分類（見附件 D 表 D1）時，須在 50 mm 的量度窗孔處確定明顯光源的角度 α 。只要能夠顯示在透過放大 7 倍的視光儀器直視輻射時，最小可能視網膜點直徑不會少於 $C_6 \times 25 \text{ } \mu\text{m}$ ，便可把明顯光源角度 α 的 7X 放大應用於確定 C_6 ，即 $C_6 = 7 \times \alpha / \alpha_{\min}$ 。在計算 C_6 前表達式（ $7 \times \alpha$ ）須限制為 $\alpha_{\max}$ 。

註：在 $\alpha < 1.5 \text{ mrad}$ 但 $7 \times \alpha > 1.5 \text{ mrad}$ 的情況下，只要可以顯示視網膜點直徑的 7X 放大，便適用表 1 及 3 中 $\alpha > 1.5 \text{ mrad}$ 的極限值。

E.12 在為適用條件 2 的激光產品分類（見附件 D 表 D1）時，明顯光源的角度 α 須確定為人類接觸到輻射的最近點，但不少於 100mm。

E.13 非循環及多重光源

對於明顯光源包含多個點或為一線性光源而角度大於 $\alpha_{\min}$ ，並且波長在 400nm 至 1 400nm 間的激光輻射而言，須在每個單獨點或一組點進行量度或評估，並且有必要確保光源的每個部分範圍的每個可能角度 α 不超過可達發射極限，其中 $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$ 。

就視網膜光化學危害極限（400nm 至 600nm）而言，附件 D 的 D.4 (c) (i)規定了用來評估擴展光源的接受極限角 γ_p 。

E.14 在確定可達發射極限的視網膜熱危害極限（400nm 至 1 400nm）時，應使用光源的兩個角度的算術平均數確定方形或線性光源的角度值。在計算平均值前，任何大於 $\alpha_{\max}$ 或小於 $\alpha_{\min}$ 的角度均應分別限制為 $\alpha_{\max}$ 和 $\alpha_{\min}$ 。光化學極限（400nm 至 600nm）不受光源角度的影響，光源須根據附件 D 的 D.4(c)指明的接受角量度。

重複脈沖或調制激光

E.15 因為多脈沖激光照射準則資料有限，所以在計算重複脈沖輻射照射時必須慎重。在確定其可達發射極限時必須採用 E.16 至 E.12 段所述方法。

E.16 利用限制最強的相應條件(a)、(b)及(c)確定波長為 400 nm 至 10^6 nm 的可達發射極限值。至於其他波長，利用限制最強的相應條件(a)及(b)確定可達發射極限值。條件(c)只適用於熱極限，而並不適用於光化學極限。

(a) 脈沖列中任一脈沖的幅照不得超過單脈沖的可達發射極限值。

(b) 就某個脈沖發射時間 T 而言，某脈沖列發射時間 T 的平均功率不得超過附件 C 表 C.1 至 C.4所示的可達發射極限所對應的功率。

(c) 某脈沖 train 內的平均脈沖能量不得超過單個脈沖的可達發射極限乘以修正系數 C_5 。如使用可變幅度的脈沖，應對每個幅度的脈沖分別進行評估，以及對整個脈沖 train 進行評估。

$$AEL_{\text{train}} = AEL_{\text{single}} \times C_5$$

上式中

AEL_{train} 是脈沖 train 內單個脈沖的可達發射極限；

AEL_{single} 是單個脈沖的可達發射極限；

$$C_5 = N^{-0.25};$$

N 是根據下表所示時間脈沖 train 內的脈沖數目：

波長	用以確定 N 的時間
400nm 至 1 400nm	T ₂ （見表 C1 至 C4 的註釋 2）或適用的時基，以較短者為準
> 1 400nm	10 s

C₅ 只適用於少於 0.25s 的單個脈沖時間。

E.17 在某些情況下，計算值可能低於可達發射極限，此可達發射極限適用於在相同最高功率使用相同時基的連續操作。在上述情況下，可使用連續操作的可達發射極限。

E.18 如在時間 T_i（見附件 E 表 E1）內出現多個脈沖，只要各個脈沖的時間均超過 10⁻⁹s，則在確定 N 時這些脈沖均被算作一個脈沖，並且應把每個脈沖的能量相加，以便與 T_i 的可達發射極限作比較。

註：在任何給定時間內由任何一組脈沖（或脈沖 train 內的其中一組脈沖）釋出的能量不應超過該時間內的可達發射極限。

表 E.1 – 如果時間低於 T_i 便須把脈沖組相加

波長	T _i
400 nm ≤ λ < 1050 nm	18 X 10 ⁻⁶ s
1050 nm ≤ λ < 1400 nm	50 X 10 ⁻⁶ s
1400 nm ≤ λ < 1500 nm	10 ⁻³ s
1500 nm ≤ λ < 1800 nm	10 s
1800 nm ≤ λ < 2600 nm	10 ⁻³ s
2600 nm ≤ λ < 10 ⁶ nm	10 ⁻⁷ s

E.19 如果脈寬或脈沖間隔可變，則可使用 total-on-time-pulse (TOTP) 方法代替 E16(c) 的規定。在此情況下，可達發射極限是用 TOTP 的時間確定，即在發射時間 T₂ 內所有脈沖時間的總和，以較小者為準。時間少於 T_i 的脈沖，指定其脈沖時間為 T_i。如果在時間 T_i 內出現兩個或多個脈沖，則指定這些脈沖組的時間為 T_i。為了與相應時間的可達發射極限作比較，須把所有單個脈沖能量相加。

E.20 當把脈沖的平均能量與單個脈沖的可達發射極限乘以 C₅ 作比較時，此方法等同於附件 E 的 E.16(c) 的規定。

激光設備記錄

公司／機構名稱 ： _____
聯絡人 ： _____
電話 ： _____

所擁有／供應激光設備資料：
（製造商／型號）

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____

請為以上每一型號，填寫一份詳盡資料表及夾附一份貨品說明書。

詳盡資料

製造商：_____

型號：_____原產地：_____

供應商：_____價格：_____

激光器類別：_____激光介質：_____

用途：教育／演示／工業實驗室／娛樂／量度／其他*
(如屬其他用途，請註明)

購買／裝置日期：_____

保用期：_____年

保用期屆滿後的保養安排：_____

委任激光安全主任姓名：_____

操作訓練：有／無* 訓練期：_____

鑰匙控制開關：有／無* 警告標記：有／無*

亮燈式開關或操作指示燈：有／無*

輸出光束直徑：_____ (毫米) 光束發散角：_____ (弧度)

參數：

☐ 連續波模式

☐ 脈沖模式

波長 最大功率

波長 每一脈沖能量 脈寬 脈沖重複頻率

在操作或維修期內有無發生實質意外？：有／無*

如有的話，請簡述意外／受傷情況：

*請將不適用者刪去

供應予購買者的資料

使用者說明書

G.1 激光產品製造商必須在供應激光產品的同時提供下文(a)至(j)所列資料。

註：如有提供操作手冊，這些資料亦應列入手冊內。

- (a) 為恰當裝置、保養及安全使用（包括勸喻避免受到超逾附件 C 表 C.1 至 C.4所列可達發射極限的激光輻射的可能照射的警告）提供充分指示。
- (b) 對於 1M 及 2M 類的激光產品，須附加一項警告。對於發散的光束而言，這項警告應表明，透過某些視光儀器（例如寸鏡、放大鏡和顯微鏡）在 100mm 距離內直視激光輸出，可能會對眼睛造成危害。對於平行光束，這項警告應表明透過某些遠距離視光儀器（例如望遠鏡和雙筒望遠鏡）直視激光輸出，可能會對眼睛造成危害。
- (c) 應採用適當單位，說明平行光束的發散度、脈寬（以秒計）及最大輸出等，其累積量度不確定度及出廠後隨時附加在製造時的積測值上的預計增值亦應註明（由於非故意鎖模引起的脈沖持續時間不必指明，但激光產品產生非故意鎖模的已知條件必須指明）。
- (d) 此外，對於內嵌式激光產品以及其他內置激光產品，須提供描述該內置激光的類似資訊。有關資料須包括適當的使用者安全說明，以防使用者不慎受到具危害性的激光輻照。
- (e) 按照附件 I 的規定供貼在激光產品上或準備連同激光產品一道提供的所有供黏貼用的標記及危險警告的複製品（適當顏色或黑白色）。複製品必須字跡清楚。
- (f) 說明所有已黏貼在激光產品上的標記的位置。如果標記是連同激光產品一起供給的話，則要說明這些一起供給的標記並非一定供作貼在激光產品上之用，並說明有關如何使用這些標記的形式和方法。
- (g) 清楚指出所有激光窗孔的設置位置。
- (h) 列出供運作及維修用途的控制、調校及程序，包括警告字句「注意－必須使用本產品指明的控制、調校及程序，否則可能引致危險的輻照」。
- (i) 對於那些沒有激光能量來源（發射激光所必需的）的激光產品，應說明激光能量來源的相應要求，以確保安全。

- (j) 任何與激光產品的安全使用有關的資料。

購買及維修說明

G.2 激光產品製造商必須提供下列說明：

- (a) 按照附件 I 的規定，在每台激光產品附帶的所有貨品說明書、規格說明書及資料性小冊子內，附上字跡清楚的分類標記（見附件 I 表 1.1 至 1.2）的複製品（適當顏色或黑白）。
- (b) 對維修者、銷售者及其他函索者，就每一類型激光產品，提供下列資料：
 - (1) 詳細指導書，說明進行調整及維修的工作程序，包括明顯的警告及為避免受到可能的照射而須採取的防護措施。
 - (2) 使到激光產品保持安全操作的保養時間表。
 - (3) 列出（可由製造商或其代理人以外的人進行）可以提高可達輻射水平的控制及程序。
 - (4) 如拆除防護罩會使該系統發出超逾該產品的所屬類別的可達發射極限的照射，則須清楚描述防護罩可拆除部分的位置。

指引中必須包括有關維修人員的防護措施及已貼在激光器上的標記的複製品（要字跡清楚，適當顏色或黑白）及危害警告。

激光產品的防護措施

要求條文	分類						
	1 類	1M 類	類	2M 類	3R 類	3B 類	類
激光安全主任	沒有規定，但如須直視激光光束，則建議委任激光安全主任 2				如為可見發射，則沒有規定 如為不可見發射，則有所規定	有規定	
搖控聯鎖連接	無規定					與房門的聯鎖線路相聯	
鑰控	無規定					不用時拔出鑰匙	
光束衰减器	無規定					當使用時可防止意外照射	
發射指示器	無規定				用以指示發出不可見波長的激光器處於激發狀態	用以指示激光器處於激發狀態	
警告牌	無規定					遵守警告牌上的告示	
光路	無規定	1M ^a 類應如 3B 類	無規定	2M ^b 類應如 3B 類	用以在有用光路的末端終結光束		
鏡反射	無規定	1M ^a 類應如 3B 類	無規定	2M ^b 類應如 3B 類	防止無意的反射		
眼睛保護措施	無規定					若不能實施工程及管理防護措施並超過最高允許照射量，則需要眼睛保護措施	
保護衣物	無規定					有時需要	特別規定
訓練	無規定	1M ^a 類 as for 3B 類	無規定	2M ^b 類 as for 3B 類	所有操作人員及檢修人員均需受訓		
^a 不符合表 D.1 條件 1 的 1M 類激光產品。如為不符合表 D.1 條件 2 的 1M 類激光產品，則無此規定。							
^b 不符合表 D.1 條件 1 的 2M 類激光產品。如為不符合表 D.1 條件 2 的 2M 類激光產品，則無此規定。							
註：本表旨在提供一個防護措施一覽表。對於詳盡的防護措施，應參看本標準原文。							

標記

I.1 一般要求

每台激光產品得附有符合下列條文所規定的標記。標記應永久張貼在產品上，字跡必須清楚，並且根據其用途在激光產品操作、保養或維修時可清楚看到。標記的位置必須讓人員可在不必受到超過 1 類可達發射極限激光輻射照射的情況下就能看到。標記邊框及符號須為黑色而背底則為黃色。但如為 1 類產品，則無需使用這種顏色組合。如果產品的大小或設計導致不能加上標記，則須把標記載於使用者說明文件或貼在包裝上。

I.2 1 類

每台 1 類激光產品必須貼上說明標記（圖 I.2），標記上註明：

1 類激光產品

英文版本：

CLASS 1 LASER PRODUCT

I.3 1M 類

每台 1M 類激光產品必須貼上說明標記（圖 I.2），標記上註明：

激光輻射

切勿透過視光儀器直視

1M 類激光產品

英文版本：

LASER RADIATION

DO NOT VIEW DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS

CLASS 1M LASER PRODUCT

可以在「儀器」一詞後加上可能增加危險的視光儀器種類，把名稱置於括號內。對於大直徑的平行光束，如因不符合附件 D 表 D.1 條件 1 而被歸入 1M 類的激光產品，附加的字眼可以是「(雙筒望遠鏡或望遠鏡)」；如因不符合附件 D 表 D.1 條件 2(高度發散光束)而被歸入 1M 類的激光產品，附加的字眼可以是「(放大鏡)」。

除了上述標記外，製造商可酌情決定在使用者說明文件中加入相同字句。

I.4 2 類

每台 2 類激光產品必須貼上警告標記（圖 I.1）及說明標記（圖 I.2），標記上註明：

激光輻射
勿直視激光束
2 類激光產品

英文版本：

LASER RADIATION
DO NOT STARE INTO BEAM
CLASS 2 LASER PRODUCT

I.5 2M 類

每台 2M 類激光產品必須貼上警告標記（圖 I.1）及說明標記（圖 I.2），標記上註明：

激光輻射
勿直視激光束或切勿透過視光儀器直視激光束
2M 類激光產品

英文版本：

LASER RADIATION
DO NOT STARE INTO BEAM OR VIEW
DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS
CLASS 2M LASER PRODUCT

可以在「儀器」一詞後加上可能增加危險的視光儀器種類，把名稱置於括號內。對於大直徑平行光束，如因不符合附件 D 表 D.1 條件 1 而被歸入 2M 類的激光產品，附加的字眼可以是「(雙筒望遠鏡或望遠鏡)」；如因不符合附件 D 表 D.1 條件 2 (高度發散光束) 而被歸入 2M 類的激光產品，附加的字眼可以是「(放大鏡)」。

I.6 3R 類

每台波長介乎 400 nm 與 1 400 nm 之間的 3R 類激光產品必須貼上警告標記 (圖 I.1) 及說明標記 (圖 I.2)，標記上註明：

激光輻射
避免激光值接照射眼睛
3R 類激光產品

英文版本：

LASER RADIATION
AVOID DIRECT EYE EXPOSURE
CLASS 3R LASER PRODUCT

至於其他波長的 3R 類激光產品，則須貼上警告標記 (圖 I.1) 及說明標記 (圖 I.2)，標記上註明：

激光輻射
避免激光照射
3R 類激光產品

英文版本：

LASER RADIATION
AVOID EXPOSURE TO BEAM
CLASS 3R LASER PRODUCT

I.7 3B 類

每台 3B 類激光產品必須貼上警告標記 (圖 I.1) 及說明標記 (圖 I.2)，標記上註明：

激光輻射
避免激光照射
3B 類激光產品

英文版本：

LASER RADIATION
AVOID EXPOSURE TO BEAM
CLASS 3B LASER PRODUCT

1.8 4 類

每台 4 類激光產品必須貼上警告標記（圖 1.1）及說明標記（圖 1.2），
標記上註明：

激光輻射
避免眼或皮膚受到直射或散射輻射
4 類激光產品

英文版本：

LASER RADIATION
AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO
DIRECT OR SCATTERED RADIATION

1.9 窗孔標記

每台 3R、3B 類及 4 類激光產品必須在靠近每一發射超過 1 類或 2 類可
達發射極限激光輻射的窗孔處貼上標記。標記必須註明：

激光窗孔
或
避免受到照射 — 此窗孔發射激光輻射

英文版本：

LASER APERTURE
或
**AVOID EXPOSURE – LASER RADIATION IS
EMITTED FROM THIS APERTURE**

I.10 輻射輸出量及標準說明

每台激光產品（除 1 類激光產品外）必須在說明標記（圖 I.2）上註明激光輻射最大輸出量、脈寬（如合適的話）及發射的波長。用以為產品分類的標準的名稱及發出日期須在說明標記或貼近產品的其他位置註明。如為 1 類及 1M 類產品，則上述資料可載於使用者說明內而非產品標記上。

I.11 檔板標記

I.11.1 面板標記

每一接頭、防護罩面板以及防護包封檔板，如若移開後可容許人體接觸超過 1 類可達發射極限激光輻射，則必須貼上標記，註明（如為內嵌式 1M 類激光產品，則可只在使用者說明內加入這些字句）：

注意 – 打開時有激光輻射

英文版本：

CAUTION – LASER RADIATION WHEN OPEN

此外，倘若：

- (a) 在量度輻射處可達輻射不超過 1M 類可達發射極限，標記須註明：

注意 – 打開時有 1M 類激光輻射

切勿透過視光儀器直視激光束

英文版本：

**CAUTION – CLASS 1M LASER RADIATION WHEN OPEN
DO NOT VIEW DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS**

- (b) 在量度輻射處可達輻射不超過 2 類可達發射極限，標記須註明：

注意 — 打開時有 2 類激光輻射
勿直視激光束

英文版本：

CAUTION – CLASS 2 LASER RADIATION WHEN OPEN
DO NOT STARE INTO THE BEAM

- (c) 在量度輻射處可達輻射不超過 2M 類可達發射極限，標記須註明：

注意 — 打開時有 2M 類激光輻射
勿直視激光束或
透過視光儀器直視光束

英文版本：

CAUTION – CLASS 2M LASER RADIATION WHEN OPEN
DO NOT STARE INTO THE BEAM OR VIEW
DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS

- (d) 可達輻射的波長介乎 400nm 與 1 400nm 之間，但不超過 3R 類可達發射極限，該標記上須註明：

注意 — 打開時有 3R 類激光輻射
勿直視激光束

英文版本：

CAUTION – CLASS 3R LASER RADIATION WHEN OPEN
AVOID DIRECT EYE EXPOSURE

- (e) 可達輻射的波長在 400nm 與 1 400nm 範圍以外，但不超過 3R 類可達發射極限，該標記上須註明：

注意 — 打開時有 3R 類激光輻射
避免激光照射

英文版本：

**CAUTION – CLASS 3R LASER RADIATION WHEN OPEN
AVOID EXPOSURE TO THE BEAM**

(f) 可達輻射不超過 3B 類可達發射極限，該標記上須註明：

**注意 – 打開時有 3B 類激光輻射
避免激光照射**

英文版本：

**CAUTION – CLASS 3B LASER RADIATION WHEN OPEN
AVOID EXPOSURE TO THE BEAM**

(g) 可達輻射超過 3B 類可達發射極限，該標記上須註明：

**注意 – 打開時有 4 類激光輻射
避免眼或皮膚受到直射或散射輻射**

英文版本：

**CAUTION – CLASS 4 LASER RADIATION WHEN OPEN
AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO
DIRECT OR SCATTERED RADIATION**

這項資料可透過產品上多個標記提供。

l.11.2 安全聯鎖板標記

每一安全聯鎖如果可易於超控，並於超控後可允許人體接觸超過 1 類可達發射極限激光輻射，則必須貼上適當標記。這些標記必須在超控前及超控時均可以看到，並且要靠近移開防護罩後所形成的開口處。標記上須註明 l.11.1(a)項至(g)項的字句，並在第一行後加入一行，註明下列字句：

聯鎖消除

英文版本：

AND INTERLOCKS DEFEATED

I.12 不可見激光輻射警告

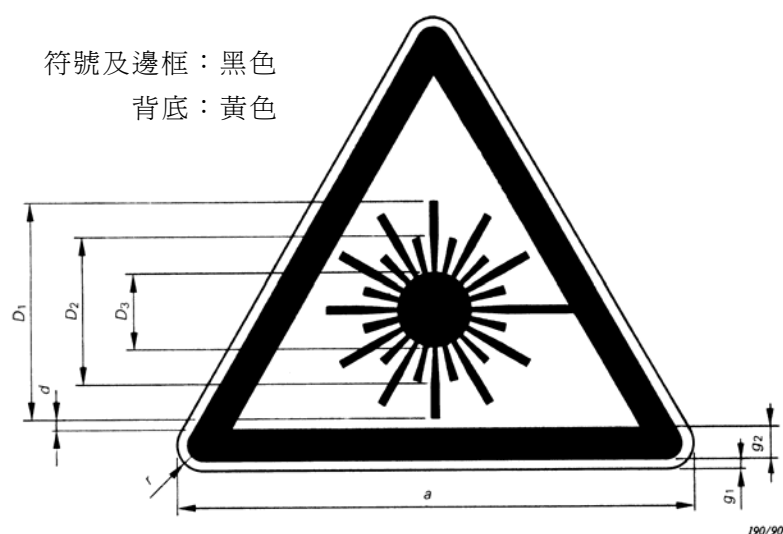
許多情況下說明標記規定的用詞包括短語「激光輻射」。如果輸出激光波長在 400~700nm 範圍以外，則短詞必須改為「不可見激光輻射」，又或如果輸出波長一部分在這段波長範圍以內，另一部分在此範圍以外，則應修改為「可見及不可見激光輻射」。如果產品是根據可見激光輻射水平分類，而且在不可見波長的輸出超過 1 類可達發射極限，則須在標記中加入「可見及不可見激光輻射」以代替「激光輻射」字眼。

I.13 可見激光輻射警告

如果輸出激光在 400nm 至 700nm（可見）波長範圍內，則可把「激光輻射」修改為「激光」。

I.14 LED 輻射警告

如為發光二極管（LED）輻射，則應以「發光二極管」代替標記上「激光」一詞。



所有尺寸以毫米為單位

a	g ₁	g ₂	r	D ₁	D ₂	D ₃	d
25	0.5	1.5	1.25	10.5	7	3.5	0.5
50	1	3	2.5	21	14	7	1
100	2	6	5	42	28	14	2
150	3	9	7.5	63	42	21	3
200	4	12	10	84	56	28	4
400	8	24	20	168	112	56	8
600	12	36	30	252	168	84	12

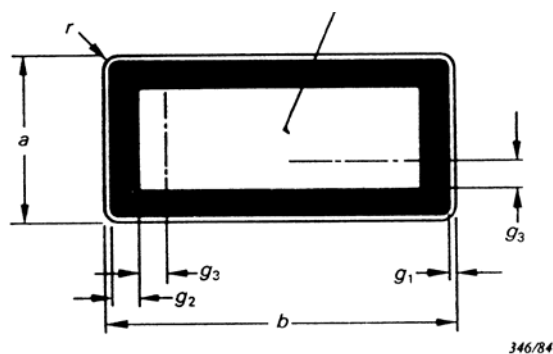
D₁, D₂, D₃, g₁ 和 d 是建議尺寸。

- 註 1 能清楚辨讀標記的最大距離 L 與標記的最小面積 A 的關係可由下式表示： $A = L^2 / 2000$ ，上式中 A 和 L 的單位分別為平方米和米。此公式適用於少於約 50 米的距離。
- 註 2 這些尺寸只是建議尺寸，只要尺寸與所給數值成比例，符號及邊框可以採取任何可以看見的尺寸，以配合激光產品的尺寸。

圖 I.1 警告標記 – 危險符號

說明文字及邊框：黑色
底色：黃色

說明文字處



所有尺寸以毫米為單位

a x b	g ₁	g ₂	g ₃	r	字體最小高度
26 x 52	1	4	4	2	字體的尺寸須能使字體清楚易見
52 x 105	1.6	5	5	3.2	
84 x 148	2	6	7.5	4	
100 x 250	2.5	8	12.5	5	
140 x 200	2.5	10	10	5	
140 x 250	2.5	10	12.5	5	
140 x 400	3	10	20	6	
200 x 250	3	12	12.5	6	
200 x 400	3	12	20	6	
250 x 400	4	15	25	8	
g ₁ 是建議尺寸。					

註 1 能清楚辨讀標記的最大距離 L 與標記的最小面積 A 的關係可由下式表示： $A = L^2 / 2000$ ，上式中 A 和 L 的單位分別為平方米和米。此公式適用於少於約 50 米的距離。

註 2 這些尺寸只是建議尺寸。標記可採用足以包含所需字體及邊框的尺寸。每條邊框的最小闊度 g₂ 及 g₃ 須為標記較短邊長度的 0.06 倍。

圖 I.2 – 說明標記

製造商要求一覽表

要求 條文	分類						
	1 類	1M 類	類	2M 類	3R 類	3B 類	類
危害類別的說明	在合理預期條件下是安全的	與 1 類相同，通過視光儀器直視光束可能發生危害	低功率：通常由眼睛對光的迴避反應提供保護	與 2 類相同，通過視光儀器直視光束可能發生危害	直視光束可能發生危害	直視光束通常有危害	高功率：漫反射可能有危害
防護罩		2 每台激光產品都應具備：使可達輻射不超過激光產品發揮其功能所需的可達發射極限					
防護罩上的安全聯鎖	使到直至可達發射值低於 3R 類的可達發射極限時，擋板才可拆除				使到直至可達發射值低於 3B 類的可達發射極限時，擋板才可拆除		
遙控裝置	無規定					使激光設備可以容易加裝外部聯鎖	
鑰匙開關	無規定					取下鑰匙時，激光器不能使用	
發射警告裝置	無規定				當激光器開啓或脈沖激光器電容器組充電時，發出音響或可見警告。對於 3R 類的激光器，如果發射不可見的輻射，本要求便適用。		
衰減器	無規定					作為控制開關以外的額外裝置，用以暫時遮擋激光光束	
控制裝置的位置	無規定				控制裝置須設於適當位置，使到調校時無須受到高於 1 類或 2 類可達發射值的輻射照射		
視光觀察器	無規定	所有視光觀察系統發出的輻射必須低於 1M 類可達輻射極限					
掃描	掃描失效不會導致激光產品變成更高類別						
分類標記	規定的用詞		圖 1.1 及 1.2 及指定的用詞				
窗孔標記	無規定				指定的用詞		
檢修孔標記	有需要，須與可達輻射的類別配合						
超控聯鎖標記	在某些情況下有需要，須與所用激光產品的類別配合						
波長範圍標記	在某些波長範圍內有需要						
LED 標記	對於 LED 產品須修改某些用詞						
使用者說明書	操作手冊必須載有安全使用的指示，附加要求適用於 1M 類和 2M 類						
購買及維修說明	推銷小冊子必須刊載產品的分類，維修手冊須載有安全資料						
醫療產品	有關醫療激光產品的安全，應依循 IEC 60601-2-22						
註：本表旨在提供一個製造要求一覽表。對於詳盡的要求，應參看本標準原文。							

演示激光資料

1. 機構／擁有人資料

(a) 姓名／名稱 : _____
(b) 地址 : _____
(c) 負責人 : _____
(d) 電話 : _____
(e) 圖文傳真 : _____

2. 激光裝置資料

(a) 地點 : _____
(b) 戶內／戶外 : _____
(c) 永久性／臨時，使用時間 : _____
(d) 裝置日期 : _____
(e) 用途（例如：舞台表演、的士高燈光、宣傳廣告）： _____

3. 負責供應／裝置激光系統的機構資料

(a) 姓名／名稱 : _____
(b) 地址 : _____
(c) 負責人 : _____
(d) 電話 : _____
(e) 圖文傳真 : _____

4. 所用激光設備資料

(a) 製造商 : _____

(b) 型號 : _____

(c) 原產地 : _____

(d) 激光器類別 : _____

(e) 輸出功率 : _____

☐ 連續波模式		☐ 脈沖模式			
波長	最大功率	波長	每一脈沖能量	脈寬	脈沖重複頻率
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____

(f) 輸出光束直徑 : _____ (毫米)

(g) 光速發散角 : _____ (弧度)

5. 操作者資料

姓名	曾受訓練操作者	有操作經驗者
_____	是／不是	是／不是
_____	是／不是	是／不是
_____	是／不是	是／不是
_____	是／不是	是／不是
_____	是／不是	是／不是

6. 申報人應提供兩份詳列下述資料的簡圖：

- (i) 所用激光設備的位置
- (ii) 所用附加部件（例如掃描主光束分器、光束衰減器、光束終止器等）的位置
- (iii) 控制擋板的位置
- (iv) 光束路徑／圖案
- (v) 演示區域內其他反射表面（例如鏡子、金屬表面等）的位置
- (vi) 屏障（如適用的話）的位置
- (vii) 激光演示區域界線

7. 激光演示圖案概述

8. 第 6 及 7 項內未提及的激光系統的裝置／操作概述

9. 算項／實測數據

申報人應提供足夠資料（包括算項），以證明激光演示區域外的激光輻照度低於最大允許照射量。如提供實測數值，應說明量度方法和儀器。

10. 激光設備目錄（如有的話）

物理量、單位及符號

物理量	單位名稱	單位符號	定義
長度	米	m	1m 等於光在 1/229792458 秒內穿越真空所經過的長度
	毫米	mm	10^{-3} m
	微米	μ m	10^{-6} m
	納米	nm	10^{-9} m
面積	平方米	m ²	1 m ²
質量	千克	kg	質量單位，等於國際千克原器的質量
時間	秒	s	鉍-133 原子基態的兩個超精細能級之間的躍遷所對應的輻射 9 192 631 770 個週期的持續時間
頻率	赫茲	Hz	週期性運動現象為每秒一週的頻率等於 1Hz
平面角	弧度	rad	1 rad 是圓內兩條半徑間的平面角，這兩條半徑在圓週上截取的弧長與半徑相等
	毫弧度	mrad	10^{-3} rad
立體角	球面度	sr	1sr 是一立體角，其頂點位於球心，而它在球面上，所割取的面積等於以球半徑為邊長的正方形面積
力	牛頓	N	1 m.kg.s^{-2}
能	焦耳	J	1 N.m
輻照量	焦耳每平方米	J.m^{-2}	1 J.m^{-2}
輻射量	焦耳每平方米 每球面度	$\text{J.m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$1\text{ J.m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$
功率	瓦特	W	1 J.s^{-1}
	毫瓦	mW	10^{-3} W
輻照度	瓦特每平方米	W.m^{-2}	1 W.m^{-2}
輻射度	瓦特每平方米 每球面度	$\text{W.m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$	$1\text{ W.m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$
註：為方便計算，本表包括部分單位的倍數和分數。			

技術詞彙漢英對照

激光	Laser
連續波激光器	Continuous Wave Laser
脈沖激光器	Pulse Laser
氬激光器	Argon Laser
二氧化碳激光器	Carbon Dioxide Laser
氦氖激光器	Helium Neon Laser
氪激光器	Krypton Laser
染料激光器	Dye Laser
摻釹釔鋁石榴石激光器	Neodymium-YAG Laser
紅寶石激光器	Ruby Laser
砷化鎵激光器	Gallium Arsenide Laser
準份子激光器	Excimer Laser
可見輻射	Visible Radiation
不可見輻射	Invisible Radiation
可達發射極限	Accessible Emission Limit
最大允許照射量	Maximum Permissible Exposure
激光管制區	Laser Controlled Area
委任激光安全主任	Designated Laser Safety Officer
政府激光安全主任	Government Laser Safety Officer
安全連鎖	Safety Inter lock
失效保護	Fail-safe
激光窗孔	Laser Aperture
光束衰減器	Beam Attenuator
光束終止器	Beam Stopper
光閘	Shutter
控制擋板	Control Panel
熱聲瞬變	Thermal-acoustic Transient
聲瞬變	Acoustic Transient
熱效應	Thermal Effects
光化學效應	Photochemical Effects
脈沖重複頻率	Pulse Repetition Frequency