

中華民國國家標準	光源及光源系統之光生物安全性	總號	1 5 5 9 2
CNS		類號	C 4 5 2 9

Photobiological safety of lamps and lamp systems

目錄

節次	頁次
前言	2
1. 適用範圍	3
2. 引用標準	3
3. 用語及定義	3
4. 曝露限制(EL'S)	9
4.1 一般	9
4.2 與決定及應用視網膜曝露限制相關之特定因數	10
4.3 危害曝露限制	11
5. 光源及光源系統之量測	18
5.1 量測條件	19
5.2 量測程序	20
5.3 分析方法	24
6. 光源之風險分類	26
6.1 連續輻射光源	26
6.2 脈衝輻射光源	27
附錄 A(參考)生物學效應之摘要	29
附錄 B(參考)量測方法	37
附錄 C(參考)不確定度分析	41
附錄 D(參考)參考資料	43

確認日期: 107 年 8 月

(共 43 頁)

公 布 日 期 101 年 11 月 15 日	經濟部標準檢驗局印行	修 訂 公 布 日 期 年 月 日
----------------------------	-------------------	----------------------

印行年月 101 年 11 月

本標準非經本局同意不得翻印

前言

本標準係依 2006 年發行之第 1.0 版 IEC 62471，不變更技術內容，制定成為中華民國國家標準者。

本標準係依標準法之規定，經國家標準審查委員會審定，由主管機關公布之中華民國國家標準。

依標準法第四條之規定，國家標準採自願性方式實施。但經各該目的事業主管機關引用全部或部分內容為法規者，從其規定。

本標準並未建議所有安全事項，使用本標準前應適當建立相關維護安全與健康作業，並且遵守相關法規之規定。

本標準之部分內容，可能涉及專利權、商標權與著作權，主管機關及標準專責機關不負責任何或所有此類專利權、商標權與著作權之鑑別。

1. 適用範圍

本標準可作為評估光源、光源系統及燈具在光生物安全性方面之指導性文件。本標準特別針對曝露限制、參考量測技術及分類模式加以規定，以評估及控制所有以電力驅動之非同調性寬頻輻射源(包含 LED 但不包括雷射)，其光學輻射在 200 nm 至 3,000 nm 波長範圍內之光生物危害性。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。有加註年份者，適用該年份之版次，不適用於其後之修訂版(包括補充增修)。無加註年份者，適用該最新版(包括補充增修)。

CIE 17.4:1987 International lighting vocabulary (ILV) – Joint publication IEC/CIE

CIE 53:1982 Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers

CIE 63:1984 The spectroradiometric measurement of light sources

CIE 105:1993 Spectroradiometry of pulsed optical radiation sources

ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement, ISO, Geneva, 1995.

3. 用語及定義

下列用語及定義、符號與縮寫，適用於本標準。

3.1 光化學劑量(actinic dose)(參照 ILV 845-06-23)

在對應波長下之光化學反應光譜值(actinic action spectrum value)，依光譜進行加權後所得之劑量值。

單位： $J \cdot m^{-2}$

備考：本項定義指出考慮光化學效應時採用反應光譜，通常反應光譜之最大值經正規化計算結果為 1。由於劑量值之單位相同，應特別指明劑量種類或為光化學劑量。

3.2 角距(α)(angular subtense (α))

視輻射源(apparent source)對應於觀測者之眼睛或量測點所形成之視角。本標準中角距係指全角，而非半角。

單位：弧度(radian)

備考：以透鏡及反射鏡所構成之光學投射裝置通常將改變角距，即視輻射源之角距將與實體輻射源之角距不同。

3.3 孔徑，孔徑光闌(aperture, aperture stop)

定義平均光輻射量測區域之開口。以量測光譜輻射照度而言，此開口通常置於輻射計(radiometer)/分光輻射計(spectroradiometer)入射狹縫前方之小型積分球其入射口。

3.4 藍光危害(blue light hazard, BLH)

因曝露於波長主要界於 400 nm 至 500 nm 間之輻射，而造成視網膜傷害之光化學潛勢。照射時間若超過 10 秒，光化學損傷機制成為主要支配者，將高於熱損傷機制數倍。

3.5 連續輻射光源(continuous wave (CW) lamp)

操作時連續輻射輸出時間超過 0.25 秒之光源，即非脈衝輻射光源。

備考：本標準將一般照明用(general lighting service, GLS)光源定義為連續輻射光源。

3.6 紅斑(erythema)(參照 ILV 845-06-15)

皮膚發生潮紅(reddening)之現象。本標準係指由日照輻射或人造光源輻射所引起之發炎反應(inflammatory effects)而產生之皮膚潮紅現象。

備考：紅斑持續之程度可作為紫外光治療時照射劑量之參考。

3.7 曝露距離(exposure distance)

人體受光源或光源系統照射之最近點。全方向輻射型光源之曝露距離，自燈絲或弧光輻射源(arc source)之中心處量測。反射型光源之曝露距離，自透鏡之外緣處量測，反射器無透鏡者，則自反射器末端之平面處量測。

單位：m

3.8 曝露限制(exposure limit, EL)

對眼睛或皮膚不致造成負面光生物效應之曝露位準。

3.9 眼睛運動(eye movements)

正常之眼睛於注視 1 件物體時，以數 Hz 之頻率進行微幅之隨機運動。快速眼睛運動將使單點輻射源之成像在視網膜擴張，其區域相當於 0.011 徑度之角距。由於工作所產生之眼睛運動，例如閱讀，注視能力將於注視時間超過約 100 秒後減退，導致輻射功率(radiant power)在視網膜上進一步擴散。

3.10 視場(field of view)

偵檢器(輻射計/分光輻射計)可視(探測)之立體角(接收角)，偵檢器在此區域內接收光輻射。

單位：sr

備考 1.勿將視場與視輻射源之角距(α)混淆。

備考 2.有時以平面角描述視場圓形對稱之立體角。

3.11 一般照明用(GLS)光源(general lighting service (GLS) lamps)

在通常有人員駐留或觀察之照明空間中所使用之光源，例如用於辦公室、學校、住家、工廠、道路或車輛照明之光源，不包含用於膠片投影、複印、仿日曬(suntanning)、工業製程、醫療及探照等應用之光源。

3.12 危害距離(hazard distance)

參照 3.38 皮膚危害距離或 3.27 眼睛危害距離。

3.13 照度(針對表面上之特定點)(E_v)(illuminance (at a point of surface) (E_v))(參照 ILV 845-01-38)

單元表面上特定點之入射光通量 $d\phi_v$ ，除以該單元表面之面積 dA ，所得之商數。

$$E = \frac{d\phi_v}{dA} \dots\dots\dots (3.1)$$

單位：lx

3.14 紅外光輻射(IR)(infrared radiation (IR))(參照 ILV 845-01-04)

波長大於可見光輻射之光學輻射。

備考：波長介於 780 nm 至 10⁶ nm 之紅外光輻射，一般可分為：IR-A(780 nm 至 1,400 nm)、IR-B(1,400 nm 至 3,000 nm)及 IR-C(3,000 nm 至 10⁶ nm)。

紅外光輻射通常以入射於特定表面之單位面積上其光譜輻射總量進行評估。應用於紅外光輻射之例包括：工業加熱、乾燥、烘烤及照相複製。某些應用，例如紅外光觀測系統，採用針對限定波長範圍感應靈敏之偵檢器(detector)，此時，輻射源及偵檢器之光譜特性至關重要。

3.15 預期用途(intended use)

依供應商所提供之規格書(specifications)、說明書(instructions)或資訊，針對產品、過程或服務之應用。

3.16 輻射照度(針對表面上之特定點)(irradiance (at a point of surface))(參照 ILV 845-01-37)

單元表面上特定點之入射輻射通量 $d\phi$ ，除以該單元表面之面積 dA ，所得之商數。

$$E = \frac{d\phi}{dA} \dots\dots\dots (3.2)$$

單位：W · m⁻²

3.17 光源(lamp)(參照 ILV 845-07-03)

為產生光學輻射(通常為可見光輻射)所製造之輻射源。

備考：“光源”一詞有時用於特定型式之燈具。

此型之燈具由附帶燈罩之光源、反射器、球形燈殼、外殼或其他配件所組成。

本標準所稱之光源係指電光源，不包含雷射，所產生之輻射在可見光範圍內之電磁輻射。可產生光且整合光學控制元件(例：透鏡或反射器等)之裝置，亦可視為光源，例如具備透鏡之 LED、末端配備透鏡之光源及反射型光源(即為拋物線形或橢圓形反射器內置光源之組合體，通常包含透鏡式外蓋)。

3.18 光源系統(lamp system)

任何結合光源或預期與光源結合之成品或組合品。

3.19 大型輻射源(large source)

在視網膜上成像之尺寸足夠大，使得自成像之中央沿徑向傳遞至周圍生物組織之徑向熱流與軸向熱流相比小至可忽略之輻射源。

3.20 雷射(laser)

由受激放射(stimulated emission)所產生，發射同調光學輻射之輻射源。

3.21 光(light)

參照 3.44 可見光輻射。

3.22 發光二極體(light emitting diode (LED))(參照 ILV 845-04-40)

具有受電能激發時發光之 PN 介面之半導體元件。

3.23 流明(lumen)(參照 ILV 845-04-40)

光通量之國際單位(SI)：由 1 個光強度為 1 坎德拉(candela)之均勻點輻射源在單位立體角內所放射之光通量，或由頻率為 540 × 10¹² Hz 且輻射通量為 1/683 W 之

單色輻射光束所放射之等效光通量。

3.24 燈具(luminaire)(參照 ILV 845-10-01)

可將 1 只或多只光源所發射之光進行分布、過濾及轉換之器具，除光源本身外尚包含所有必須之固定或保護光源之配件，需要時另包含輔助電路及其電源連接裝置。

備考：“燈具”及“光源系統”一詞通常假設為同義詞。本標準中“燈具”一詞僅限於供一般照明用之光分佈器具，“光源系統”係指非供一般照明所使用之光源。

3.25 輝度(針對沿特定方向且在實際或假想表面上之特定點)(L_v)(luminance (in a given direction, at a given point of a real or imaginary surface) (L_v))(參照 ILV 845-01-35)

由下列公式所定義之量：

$$L_v = \frac{d\phi_v}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega} \dots\dots\dots (3.3)$$

式中， $d\phi_v$ ：通過特定點且沿特定方向之單元輻射光束，在其單位立體角 $d\Omega$ 內所傳播之光通量

dA ：涵蓋特定點之輻射光束其截面積

θ ：截面法線與輻射光束方向之夾角

單位： $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$

3.26 勒克斯(lux)(參照 ILV 845-01-52)

照度之國際單位：1 流明之光通量均勻分布在 1 m^2 之表面積上所產生之照度。

3.27 眼睛危害距離(ocular hazard distance)

眼睛與光源所應保持之距離，低於此距離時，在指定曝露期間之輻射率或輻射照度將超過合理之曝露限制。

單位： m

3.28 光學輻射(optical radiation)(參照 ILV 845-01-02)

波長介於 X 射線過渡區(波長約為 1 nm)與射頻波(波長約為 10^6 nm)過渡區間之電磁輻射。

波長範圍低於 180 nm 之紫外光輻射(真空 UV)在空氣中極易被氧氣所吸收，本標準中光學輻射之波長範圍僅限大於 200 nm 之波長，而傳入眼睛中視網膜之光學輻射波長範圍介於 380 nm 至 $1,400 \text{ nm}$ ，因此，評估視網膜光生物安全性時須特別考量波長範圍。

3.29 光照性角結膜炎(photokeratoconjunctivitis)

角膜與結膜曝露於紫外光輻射所引起之發炎反應，波長小於 320 nm 之紫外光輻射最易導致此種情況。反應光譜(action spectrum)之峰值約在 270 nm 。

備考：CIE 已針對光照性角膜炎(photokeratitis)及光照性結膜炎(photoconjunctivitis)發布不同之反應光譜(參照 CIE 106/2 及 CIE 106/3-1993)；然而近期之研究則支持兩種眼睛之病症皆採用單一之反應光譜(即 CIE 106/1-1993)。

3.30 脈衝輻射光源(pulsed lamp)

以單脈衝或串列脈衝(train of pluses)之形式釋放能量之光源，每個脈衝假設其寬度小於 0.25 秒。釋放串列脈衝或調變光輻射能量之光源，其峰值輻射功率至少為平均輻射功率之 10 倍。

備考 1. 光源脈衝之寬度係指脈波之前端與後端在半功率點(half-power points)處所對應之時間間距。

備考 2. 本標準將一般照明用光源定義為連續輻射光源(參照 3.5)。脈衝輻射光源之例包括：攝影用閃光燈、複印機用閃光燈、脈衝調變 LED 及閃爍燈(strobe light)等。

3.31 輻射輝度(針對沿特定方向且在實際或假想表面上之特定點)(L)(radiance (in a given direction, at a given point of a real or imaginary surface) (L))(參照 ILV 845-01-34)

由下列公式所定義之量：

$$L = \frac{d\phi}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega} \dots\dots\dots (3.4)$$

式中， $d\phi$ ：通過特定點且沿特定方向之單元輻射光束，在其單位立體角 $d\Omega$ 內所傳遞之輻射功率(通量)

dA ：涵蓋特定點之輻射光束其截面積

θ ：截面法線與輻射光束方向之夾角

單位：W · m⁻² · sr⁻¹

若將輻射功率 $d\phi$ 以輻射能量 dQ 取代，則時間積分輻射輝度 L_t 可沿用 L 公式之定義。

3.32 輻射能量(radiant energy)(參照 ILV 845-01-27)

輻射功率 ϕ 對特定期間(given duration) Δt 積分之值。

$$Q = \int_0^t \phi \cdot dt \dots\dots\dots (3.5)$$

單位：J

3.33 輻射曝露量(針對特定期間且在表面上之特定點)(radiant exposure (in a point of surface, for a given duration))(參照 ILV 845-01-42)

單元表面上特定點於特定期間內之入射輻射能量 dQ ，除以該單元表面之面積 dA ，所得之商數。

$$H = \frac{dQ}{dA} \dots\dots\dots (3.6a)$$

單位：J · m⁻²

輻射曝露量可等效定義為輻射照度 E 對特定期間 dt 積分之值。

$$H = \int_{\Delta t} E \cdot dt \dots\dots\dots (3.6b)$$

3.34 輻射功率(Φ)(radiant power (Φ))(參照 ILV 845-01-24)

以輻射之形式放射、傳遞或接收之功率，輻射功率通常稱為輻射通量。

單位：W

3.35 視網膜(retina)(參照 ILV 845-02-01)

位於眼睛內部後方，對光刺激敏感之組織；包含光受器(錐細胞及桿細胞)及神經細胞，而神經細胞負責將光受器受刺激所產生之訊號傳至視神經(optic nerve)。

3.36 視網膜灼傷(retinal burn)

由光化學或熱效應所導致之視網膜損傷。

3.37 視網膜危害區域(retinal hazard region)

介於 380 nm 至 1,400 nm 間之光譜區域(可見光及 IR-A)，在此範圍內正常眼球介質(normal ocular media)可將光學輻射傳至視網膜。

3.38 皮膚危害距離(skin hazard distance)

皮膚與光源所保持之距離，在此距離下，經 8 小時之曝露後將超過合理之曝露限制。

單位：m

3.39 光譜分布(spectral distribution)(參照 ILV 845-01-17)

包含波長 λ 之波長間距 $d\lambda$ 之輻射量(radiant)、光度量(luminous)或光子量(photon quantity)，除以波長間距 $d\lambda$ ，所得之商數。

$$X_{\lambda} = \frac{dX(\lambda)}{d\lambda} \dots\dots\dots (3.7)$$

單位：[X] · nm⁻¹

備考：當 $X_{\lambda}(\lambda)$ 為寬廣範圍波長之函數而非特定波長之函數時，較適合以光譜分布方式處理。

3.40 光譜輻射照度(spectral irradiance)

單元表面上對應於特定波長間距 $d\lambda$ 之入射輻射功率 $d\Phi(\lambda)$ ，除以該單元表面之面積 dA 與該波長間距 $d\lambda$ ，所得之商數。

$$E_{\lambda} = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot d\lambda} \dots\dots\dots (3.8)$$

單位：W · m⁻² · nm⁻¹

3.41 光譜輻射輝度(針對沿特定方向、特定波長間距 $d\lambda$ 之特定點) (L_{λ})(spectral radiance (for a wavelength interval $d\lambda$, in a given direction at a given point) (L_{λ}))

由下列公式所定義之量：

$$L_{\lambda} = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega \cdot d\lambda} \dots\dots\dots (3.9)$$

通過特定點且沿特定方向並對應於特定波長間距 $d\lambda$ 之輻射光束，在其立體角 $d\Omega$ 內所傳遞之輻射功率 $d\Phi(\lambda)$ ，與特定波長間距 $d\lambda$ 、立體角 $d\Omega$ 及包含特定點且垂直於特定方向之平面上所照射之輻射光束其截面積($\cos\theta dA$)三者之乘積，兩者相除所得之比值。

單位： $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$

3.42 立徑(steradian)(參照 ILV 845-01-20)

立體角之國際單位。頂點位於球體中心之立體角，於球體表面所截之面積，相當於以球體半徑為邊長之正方形面積。

3.43 紫外光輻射(UV)(ultraviolet radiation (UV))(參照 ILV 845-01-05)

波長小於可見光輻射之光學輻射。

備考：波長介於 100 nm 至 400 nm 之紫外光輻射，一般可分為：UV-A(315 nm 至 400 nm)、UV-B(280 nm 至 315 nm)及 UV-C(100 nm 至 280 nm)。

對於 UV 之分類不應視為精確之界限，尤其針對光生物效應之評估。

在光生物學之某些領域中，紫外光輻射之波長範圍分為 200 nm 至 290 nm、290 nm 至 320 nm 及 320 nm 至 400 nm，有時分別稱為(並非絕對正確)UV-A、UV-B 及 UV-C。波長小於 180 nm 之紫外光輻射視為真空紫外光輻射。應特別留意，即使 380 nm 至 400 nm 屬於正式之紫外光波長定義範圍內，其輻射仍視為可見光輻射。

3.44 可見光輻射(visible radiation)(參照 ILV 845-01-03)

任何可直接產生視覺之光學輻射。

備考：可見光輻射之光譜範圍並無精確之界限，取決於到達視網膜之輻射功率總量及觀測者之響應。下限一般介於 360 nm 至 400 nm，上限一般介於 760 nm 至 830 nm。

3.45 視角(visual angle)

物體或細部結構(detail)對應於觀測點所形成之角即視為視角。雖然視角可以毫徑度、度或分表示，惟視角之國際單位為徑度。

4. 曝露限制(EL'S)

4.1 一般

個人在光源及光源系統附近之曝露位準(exposed to levels)，不得超過本標準所規定之限制值。曝露限制值來自於國際非游離輻射防護協會(ICNIRP)所發布之各項指導文件，係從實驗性研究(參照附錄 A 之摘要)中所獲致最有用之資訊。

輻射限制值代表：確信在一般人群中，幾乎所有個人在反覆曝露下，不致對健康產生不利之影響。然而，不包括對光異常敏感之個人，或長時間與光敏劑接觸之個人，因光敏劑易使個人對光輻射更為敏感，致產生對健康不利之影響。一般而言，這些人比對光非異常敏感之個人或非長時間接觸光敏劑之個人更易經由光學輻射而對健康產生不利之影響。對光敏感之程度因人而異，難以針對特定族群訂定專屬之曝露限制。

本標準之曝露限制適用於連續輻射源(continuous sources)，曝露期間不小於 0.01 ms，且不大於 8 小時，而曝露限制應作為曝露管制之方針，惟不應視為明確界定安全與不安全之分界線。

眼睛對於在可見光至 IR-A 此寬頻(broad-band)之光輻射曝露限制，須先掌握從受曝露人體其眼睛之位置所測得之輻射源其光譜輻射輝度 L_{λ} 及總輻射照度 E 。一般而言，僅在輻射源之輝度超過 $10^4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 時，始需輻射源之細部光譜輻射數據，

輝度低於此值時，將不致超過曝露限制。曝露限制參照 4.3。

4.2 與決定及應用視網膜曝露限制相關之特定因數

4.2.1 瞳孔直徑

射入眼睛並由視網膜吸收之輻射通量(在 380 nm 至 1,400 nm 之範圍)，與瞳孔面積成正比。眾所週知，在極低輝度($< 0.01 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$)下瞳孔約為直徑 7 mm 之圓孔，在輝度值達 $10,000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 之等級(order)時將縮為約 2 mm。在此，將最大輝度(角距為 0.011 呎度之圓形視場內之平均值)小於 $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 定義為微弱視覺刺激(weak visual stimulus)。在特定之輝度下，不同人之瞳孔直徑差異極大，因此，建立曝露限制時僅假設 2 種不同之瞳孔直徑，說明如下：

- 當輻射源之輝度足夠高($> 10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$)，且曝露期間大於 0.25 秒時(例如應用於藍光危害或視網膜熱危害之評估)，以 3 mm 之瞳孔直徑(面積為 7 mm^2)推導曝露限制。
- 當輻射源之輝度低(即紅外光輻射所產生極小或甚至不產生視覺刺激)，則以 7 mm 之瞳孔直徑(面積為 38.5 mm^2)作為 EL 之推導基礎。評估脈衝輻射源及/或曝露期間低於 0.25 秒之光生物性危害時，亦基於瞳孔直徑為 7 mm 之假設推導 EL。
- 對於使用近紅外光輻射源(near infrared source)，且環境光輻射強之情況，得假設瞳孔直徑為 3 mm，並將 EL 乘以瞳孔直徑比之平方以調整至較高值，依此情況，EL 可調高 $(7/3)^2=5.5$ 倍。

4.2.2 輻射源之角距及量測之視場

對於波長範圍 380 nm 至 1,400 nm 之輻射，視網膜受照射之面積為決定 EL 對藍光及視網膜熱危害之重要因素。由於眼睛之角膜及水晶體可將視輻射源聚焦於視網膜上，因此最佳之方法係以視輻射源之角距 α 所對應之面積表示受照射面積。基於眼睛在生理上之限制，於靜止眼睛之視網膜上可產生之最小成像其最小值限定於 α_{\min} ，對於點輻射源亦為如此。本標準中 α_{\min} 之值為 0.0017 呎度。針對與視網膜熱曝露限制相關之視點輻射源(眨眼反射時間為 0.25 秒)所發射之輻射進行量測時，無論為脈衝或極高輝度連續輻射源，皆應以 0.0017 呎度之角距作為量測視場。

當時間大於 0.25 秒時，快速眼睛運動使輻射源在較大之角度形成模糊之成像，本標準稱此角度為 α_{eff} 。曝露期間為 10 秒時，點輻射源模糊之成像覆蓋視網膜之面積，約與 0.011 呎度之角度相等，因此量測 10 秒曝露期間之視網膜熱或藍光危害 EL 所對應之輻射輝度時，所採用之有效角距應為 0.011 呎度。為使 α_{eff} 在 0.25 秒至 10 秒之變化保持連續性，因此假設 α_{eff} 由 α_{\min} 以時間平方根之比例增至 0.011 呎度，即 α_{eff} 正比於 $\alpha_{\min} t^{0.5}$ ，亦即 $\alpha_{\text{eff}} = \alpha_{\min} \cdot \sqrt{(t/0.25)}$ 。由於僅少量數據支持此項時間關係式，使用時應格外留意。另由於輻射源輝度通常以 0.25 秒或 10 秒進行評估，並可以第 6 節所述之風險類別加以確認，一般不需採用此項時間關係式。

此外，對於藍光危害，曝露期間大於 100 秒時，由於工作所產生之眼睛運動將

使小輻射源在視網膜上之照射面積進一步擴張為較大面積，不包括眼睛以醫療方法固定之情況，例如進行眼科手術。為量測輻射源對藍光危害曝露限制所對應之輻射輝度，曝露期間小於 100 秒時，有效角距 α_{eff} 設定為 0.011 弧度，曝露期間大於 10,000 秒時，有效角距 α_{eff} 設定為 0.1 弧度。基於便利性，在 100 秒至 10,000 秒間，假設 α_{eff} 約隨時間之平方根增大，即 $\alpha_{\text{eff}} = 0.011 \cdot \sqrt{(t/100)}$ (應留意此公式並非精確)。在本標準中，所有針對視網膜之危害，角距之最大值 α_{max} 均為 0.1 弧度。因此，應留意大於 10,000 秒時 α_{eff} 等於 α_{max} 。

對於角距大於最大角距 α_{max} 之視輻射源，視網膜危害之 EL 與輻射源之尺寸無關。矩型輻射源之角距，應由輻射源之最大與最小尺寸取算術平均後之值決定。例：長度為 20 mm、直徑為 3 mm 之管狀輻射源，沿垂直於光源軸方向之視距離 $r=200$ mm，其平均尺寸 Z 為： $Z=(20+3)/2=11.5$ mm，因此 $\alpha=Z/r=11.5/200=0.058$ 弧度。任何大於 α_{max} 之角距應限定為 α_{max} ，且小於 α_{min} 之角距應限定為 α_{min} ，在計算算術平均值前即須決定。因此，依上述之例，若輻射源之直線尺寸大於 20 mm，僅得以 20 mm 計算輻射源之有效尺寸。

4.3 危害曝露限制

4.3.1 皮膚及眼睛之光化學 UV 危害曝露限制

入射紫外光輻射之曝露限制，係基於皮膚或眼睛未施加保護，且曝露期間在 8 小時以內之條件，在任何一天，連續曝露超過 8 小時之情況均不予考慮。有效輻射曝露之曝露限制為 $30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

為保護眼睛或皮膚免於寬頻輻射源所產生之紫外光曝露而造成傷害，光輻射源之有效積分光譜照度 E_S 不得超過下列公式所定義之位準：

$$E_{S,t} = \sum_{200}^{400} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S_{\text{UV}}(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \dots\dots\dots (4.1)$$

式中， $E_{\lambda}(\lambda, t)$ ：光譜輻射照度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$)

$S_{\text{UV}}(\lambda)$ ：光化學紫外光危害加權函數

$\Delta \lambda$ ：頻寬 (nm)

t ：曝露期間 (秒)

光化學加權函數 $S_{\text{UV}}(\lambda)$ 之圖形形式，如圖 4.1 所示。由於函數範圍涵蓋廣泛，因此 $S_{\text{UV}}(\lambda)$ 以對數座標表示，此外， $S_{\text{UV}}(\lambda)$ 之光譜輻射值詳列於表 4.1。

入射紫外光輻射之容許曝露期間，係基於眼睛或皮膚未施加保護之條件，以下列公式計算：

$$t_{\text{max}} = \frac{30}{E_S} \text{ 秒} \dots\dots\dots (4.2)$$

式中， t_{max} ：容許曝露期間 (秒)

E_S ：有效紫外光照度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

表 4.1 對皮膚及眼睛評估紫外光危害之光譜加權函數

波長 ^(a) λ nm	UV 加權危害函數 $S_{UV}(\lambda)$	波長 λ nm	UV 加權危害函數 $S_{UV}(\lambda)$
200	0.030	313 ^(b)	0.006
205	0.051	315	0.003
210	0.075	316	0.0024
215	0.095	317	0.0020
220	0.120	318	0.0016
225	0.150	319	0.0012
230	0.190	320	0.0010
235	0.240	322	0.00067
240	0.300	323	0.00054
245	0.360	325	0.00050
250	0.430	328	0.00044
254 ^(b)	0.500	330	0.00041
255	0.520	333 ^(b)	0.00037
260	0.650	335	0.00034
265	0.810	340	0.00028
270	1.000	345	0.00024
275	0.960	350	0.00020
280 ^(b)	0.880	355	0.00016
285	0.770	360	0.00013
290	0.640	365 ^(b)	0.00011
295	0.540	370	0.000093
297 ^(b)	0.460	375	0.000077
300	0.300	380	0.000064
303 ^(b)	0.120	385	0.000053
305	0.060	390	0.000044
308	0.026	395	0.000036
310	0.015	400	0.000030

註^(a) 所選擇之波長為具備代表性之波長，波長間之其他數值得以對數內插法計算。

^(b)汞放電之放射光譜線。

4.3.2 眼睛之近 UV 危害曝露限制

在 315 nm 至 400 nm(UV-A)之光譜範圍間，對眼睛之總輻射曝露不得超過 10,000 J · m⁻²，且曝露期間須小於 1,000 秒。對於未施加保護之眼睛，曝露期間超過 1,000 秒(約為 16 分鐘)之 UV-A 輻射照度 E_{UVA} 不得超過 10 W · m⁻²。

此項限制可以下列公式表示：

$$E_{UVA} \cdot t = \sum_{315}^{400} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10,000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad (t < 1,000 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.3a)$$

$$E_{UVA} \leq 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (t \geq 1,000 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.3b)$$

式中，E_λ(λ, t)：光譜輻射照度(W · m⁻² · nm⁻¹)

Δλ：頻寬(nm)

t：曝露期間(秒)

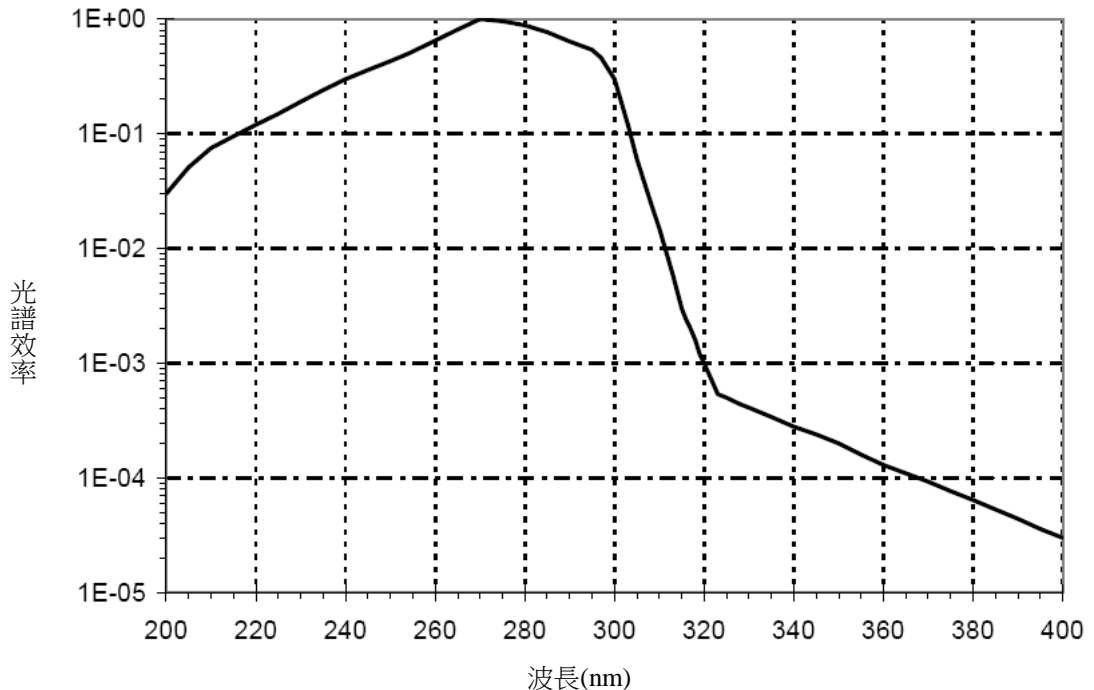


圖 4.1 對皮膚及眼睛評估紫外光危害之光譜加權函數 S_{UV}(λ)

入射紫外光輻射之容許曝露期間，係基於眼睛未施加保護且曝露期間小於 1,000 秒之條件，以下列公式計算：

$$t_{\max} \leq \frac{10,000}{E_{UVA}} \text{ 秒} \dots\dots\dots (4.4)$$

備考：對於眼睛在 UV-A 範圍之曝露限制，ICNIRP 於 1989 年改變上述之 EL，將 10,000 J · m⁻² 之輻射曝露期間由 1,000 秒延長至 10,000 秒(2.6 小時)，並將曝露期間介於 10,000 秒 ≤ t ≤ 30,000 秒(8 小時)之輻射照度調整為 1 W · m⁻²。

4.3.3 視網膜藍光危害曝露限制

為保護視網膜免於因長期藍光曝露而造成傷害，光輻射源之光譜輻射輝度與防

止藍光危害加權函數 $B(\lambda)$ 之積分值，即藍光加權輝度 L_B ，不得超過下列公式所定義之位準：

$$L_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t L_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad (t \leq 10^4 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.5a)$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad (t > 10^4 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.5b)$$

式中， $L_\lambda(\lambda, t)$ ：光譜輻射輝度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$)

$B(\lambda)$ ：藍光危害加權函數

$\Delta \lambda$ ：頻寬 (nm)

t ：曝露期間 (秒)

藍光光譜輻射加權函數 $B(\lambda)$ 與視網膜熱加權函數 $R(\lambda)$ 之圖形形式，如圖 4.2 所示。由於函數範圍涵蓋廣泛，因此縱座標以對數表示，此外， $B(\lambda)$ 與 $R(\lambda)$ 之光譜輻射值詳列於表 4.2。

表 4.2 評估寬頻光學輻射源對視網膜危害之光譜加權函數

波長 nm	藍光危害函數 $B(\lambda)$	灼傷(burn)危害函數 $R(\lambda)$
300	0.01	
305	0.01	
310	0.01	
315	0.01	
320	0.01	
325	0.01	
330	0.01	
335	0.01	
340	0.01	
345	0.01	
350	0.01	
355	0.01	
360	0.01	
365	0.01	
370	0.01	
375	0.01	
380	0.01	0.1
385	0.013	0.13
390	0.025	0.25
395	0.05	0.5
400	0.10	1.0
405	0.20	2.0

表 4.2 評估寬頻光學輻射源對視網膜危害之光譜加權函數(續)

波長 nm	藍光危害函數 B(λ)	灼傷危害函數 R(λ)
410	0.40	4.0
415	0.80	8.0
420	0.90	9.0
425	0.95	9.5
430	0.98	9.8
435	1.00	10.0
440	1.00	10.0
445	0.97	9.7
450	0.94	9.4
455	0.90	9.0
460	0.80	8.0
465	0.70	7.0
470	0.62	6.2
475	0.55	5.5
480	0.45	4.5
485	0.40	4.0
490	0.22	2.2
495	0.16	1.6
500-600	10[(450-λ)/50]	1.0
600-700	0.001	1.0
700-1,050		10[(700-λ)/500]
1,050-1,150		0.2
1,150-1,200		0.2 × 100.02(1150-λ)
1,200-1,400		0.02

加權輻射源輝度 L_B 超過 $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 時，最大容許曝露期間 t_{\max} ，以下列公式計算：

$$t_{\max} = \frac{10^6}{L_B} \text{ 秒} \quad (t \leq 10^4 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.6)$$

式中， t_{\max} ：最大容許曝露期間(秒)

L_B ：藍光危害加權輝度($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$)

備考 1.光譜輻射輝度 L_λ 應為整個正圓錐視場 α_{eff} 之平均值，參照 4.2.2。

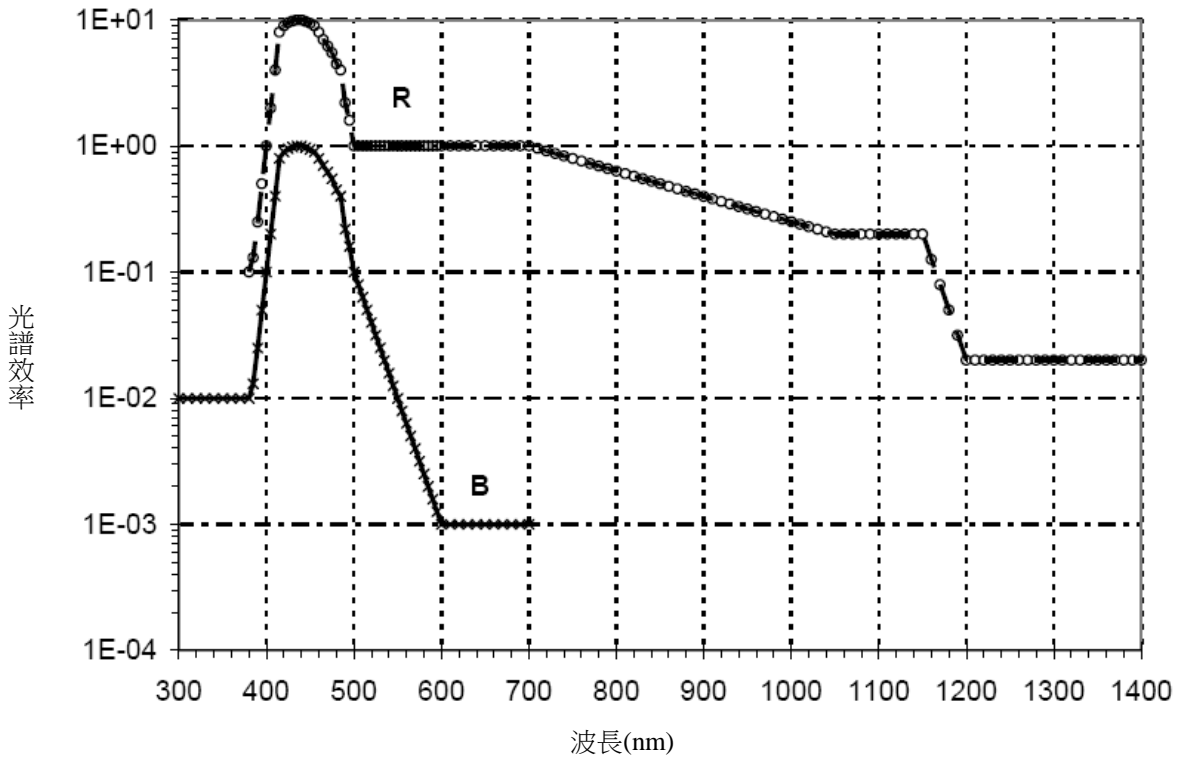


圖 4.2 評估視網膜危害之光譜輻射加權函數 $B(\lambda)$ 與 $R(\lambda)$

備考 2.當數個輻射源非鄰近時，此準則適用於單一輻射源，當輻射輝度為所有輻射源之平均值時，則亦可適用於整個輻射源。

4.3.4 視網膜藍光危害曝露限制－小型光源

角距小於 0.011 弧度之光輻射源，由 4.3.3 之限制值可導出 1 個以光譜輻射照度而非以光譜輻射輝度為基礎之簡化公式。由公式 5.4 可看出 L 與 E 間之關係，以 0.011 弧度之角距為例， L 約為 E 之 10^4 倍。因此，照射於眼睛之光譜輻射照度 E_λ 乘以防止藍光危害加權函數 $B(\lambda)$ (參照表 4.2)後，不得超過下列公式所定義之位準：

$$E_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad (t \leq 100 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.7a)$$

$$E_B = \sum_{300}^{700} E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq 1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (t > 100 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.7b)$$

式中， $E_\lambda(\lambda, t)$ ：光譜輻射照度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$)

$B(\lambda)$ ：藍光危害加權函數

$\Delta \lambda$ ：頻寬 (nm)

t ：曝露期間 (秒)

對於藍光危害加權照度超過 $0.01 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 之光源，最大容許曝露期間以下列公式計算：

$$t_{\max} = \frac{100}{E_B} \text{ 秒} \quad (t \leq 100 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.8)$$

式中， t_{\max} ：最大容許曝露期間 (秒)

E_B ：藍光危害加權照度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

備考 1.特別留意 E_B 與時間無關之曝露期間為 100 秒，而非為公式 4.6 中 L_B 所指定之 10,000 秒，改變之理由為曝露期間超過 100 秒時，假設視網膜上照射面積之直徑隨時間之平方根而增加，視網膜上之有效照度因而減小，另假設因工作所產生之眼睛運動，在 100 秒至 10,000 秒之曝露期間，視網膜上之輻射曝露累積與時間無關。此現象如圖 5.4 中 E_B 之代表圖形所示。

備考 2.對於眼科診療儀器或手術期間使眼睛維持在最小運動情況，則曝露期間延長至 10,000 秒，意指在此情況下藍光加權照度應 $\leq 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ，即低於公式 4.7b 計算所得之值 100 倍。

備考 3.
$$E = L \cdot \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} = L \cdot \frac{3.14 \cdot (0.011)^2}{4} = 0.00009498 \cdot L \Rightarrow L \geq 10,528 \cdot E \Rightarrow L \geq 10^4 \cdot E。$$

4.3.5 視網膜熱危害曝露限制

為保護視網膜免於熱傷害，光輻射源之光譜輻射輝度與灼傷危害加權函數 $R(\lambda)$ (參照圖 4.2 及表 4.2)之積分值，即灼傷加權輝度 L_R ，不得超過下列公式所定義之位準：

$$L_R = \sum_{380}^{1,400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{50,000}{\alpha \cdot t^{0.25}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad (10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ 秒}) \dots\dots (4.9)$$

式中， L_λ ：光譜輻射輝度 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$)

$R(\lambda)$ ：灼傷危害加權函數

t ：觀察期間(若為脈衝輻射光源時則為脈衝寬度)(秒)

$\Delta\lambda$ ：頻寬(nm)

α ：角距(徑度)

備考 1. L_λ 應由角距不小於 0.0017 徑度且不大於 0.1 徑度(包含角度)之整個正圓錐視場取平均值。

備考 2. 當數個輻射源非鄰近時，此準則適用於單一輻射源，當輻射輝度為所有單一輻射源之平均值時，則亦可適用於整個輻射源。

4.3.6 視網膜熱危害曝露限制－針對微弱視覺刺激

對於紅外光熱光源或任何近紅外光光輻射源，所產生之微弱視覺刺激不足以激發眼睛之不適反應，以眼睛觀察近紅外光(780 nm 至 1,400 nm)且曝露期間超過 10 秒時，其輻射輝度 L_{IR} 應限制在下列公式所定義之位準：

$$L_{IR} = \sum_{780}^{1,400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{6,000}{\alpha} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \quad (t > 10 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.10)$$

其中， L_λ ：光譜輻射輝度，單位為 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$

$R(\lambda)$ ：灼傷危害加權函數

t ：曝露期間(秒)

$\Delta\lambda$ ：頻寬(nm)

A ：角距(徑度)

微弱視覺刺激在此定義成最大輝度(由角距不小於 0.011 徑度之整個圓形視場取平均值)低於 $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 而對視覺所產生之刺激反應。

備考 1. L_λ 應由角距不小於 0.011 弧度且不大於 0.1 弧度(包含角度)之整個正圓錐視場取平均值。

備考 2. 由於假設光輻射源之輝度微弱，公式 4.11a 及 4.11b 之曝露限制係基於瞳孔直徑為 7 mm 所導出。在環境光輻射強之情況下，得假設瞳孔直徑為 3 mm，而 EL 乘以瞳孔直徑比 $((7/3)^2=5.5$ 倍)之平方調整至較高值，即 EL 可調高至 $33,000/\alpha \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ (參照 4.2.1)。

4.3.7 紅外光輻射對眼睛之曝露限制

為避免對眼角膜產生熱傷害及對眼睛之水晶體造成可能之後遺症(白內障)，在波長範圍 780 nm 至 3,000 nm 之紅外光輻射，曝露期間小於 1,000 秒時，曝露限制不得超過下列公式所定義之位準：

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3,000} E_\lambda \cdot \Delta\lambda \leq 18,000 \cdot t^{-0.75} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (t \leq 1,000 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.11a)$$

曝露期間大於 1,000 秒時，曝露限制不得超過下列公式所定義之位準：

$$E_{IR} = \sum_{780}^{3,000} E_\lambda \cdot \Delta\lambda \leq 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (t > 1,000 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.11b)$$

式中， E_λ ：光譜輻射照度($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$)

$B(\lambda)$ ：藍光危害加權函數

$\Delta\lambda$ ：頻寬(nm)

t ：曝露期間(秒)

備考 1. 對於冷環境下用於輻射加熱之紅外光輻射源，在 0°C 下之長期曝露限制可提升至 $400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ，在 10°C 下則可提升至 $300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

備考 2. 對於所有白熾光輻射源，上述曝露限制已將 IR-C 之輻射效應考量在內。

4.3.8 對皮膚之熱危害曝露限制

皮膚對可見光及紅外光輻射之曝露限制，不得超過下列公式所定義之位準：

$$E_H \cdot t = \sum_{380}^{3,000} E_\lambda(\lambda, t) \cdot \Delta t \cdot \Delta\lambda \leq 20,000 \cdot t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad (t \leq 10 \text{ 秒}) \dots\dots\dots (4.12)$$

式中， $E_\lambda(\lambda, t)$ ：光譜輻射照度($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$)

$\Delta\lambda$ ：頻寬(nm)

t ：曝露期間(秒)

備考：曝露限制係基於皮膚因組織之溫升所導致之傷害，僅適用於受小面積照射之條件。不提供曝露期間大於 10 秒之曝露限制。由於當皮膚處在低於皮膚傷害之溫度下即能引發劇烈疼痛，因此針對個人之曝露限制一般限定於人體仍可感覺舒適之範圍。基於人體與環境間之熱交換、生理活動及其他多項因素之考量，無法針對大面積之照射與熱應力進行評估，亦無法由產品安全標準規範，惟仍須依環境熱應力準則進行評估。

5. 光源及光源系統之量測

為計算光生物輻射值所進行之光學輻射量測，對於光輻射量測人員而言存在極大之挑戰。典型之光生物反應光譜)例如 $S_{UV}(\lambda)$ ，當波長發生微小之變化時將使數值產生

大幅改變。此外，從具備玻璃罩之光源所傳出之光輻射，在 $S_{UV}(\lambda)$ 急速降低而波長增加之範圍內，光輻射輸出將快速增加。因此，加權結果之精確度應充分考量。輻射照度之量測依常規進行，輻射輝度之量測則無規律可循，且往往難以量測，尤其是針對光生物危害之量測，須隨危害評估之需要改變視場。

基於上述原因，用以決定不同光源及光源系統之風險類別而進行之光輻射量測所需之條件與程序，有必要進行長期探討。

應特別留意本標準所提供之量測程序，係以解釋生理現象為目的，尤其是程序中所包含對孔徑或視場取平均值之作法，不適用於一般輻射量測，然而，若以非量測平均值與個別曝露限制進行比較，則可能高估危害程度。

為使 4.3 所述之不同曝露限制，包括視場效應，便於進行比較，本節最後之篇幅中提供綜合性之圖表。以不同輻射其危害曝露最大照度為基礎之曝露期間函數，彙整於圖 5.4 及表 5.4；以視網膜危害曝露最大輝度為基礎之曝露期間函數，彙整於圖 5.5 及表 5.5。

備考：第 1 節中進行任何危害評估之波長範圍上界為 3,000 nm。由於信號響應低及校正輻射源取得困難等因素，單光輻射計(monochromator)難以進行 IR 在波長範圍 2,500 nm 至 3,000 nm 間之光譜輻射照度或輻射輝度量測，然而，大於 1,400 nm 之波長未定義加權函數，因此，針對 1,400 nm 至 3,000 nm 波長範圍所進行之寬頻量測，適合作為眼睛及皮膚在此波長範圍之 IR 危害評估條件。

5.1 量測條件

量測條件應與曝露限制評估結果及對應之風險類別，一併記錄於試驗報告中。

5.1.1 枯化點燈[lamp ageing (seasoning)]

為在量測過程中取得穩定之光輻射輸出，並提供再現性結果，光源應進行適當期間之枯化點燈。在光源操作之初期，由於元件仍處於平衡調整期間，光輻射輸出特性將有所變動。若針對未經枯化點燈之光源進行量測，在量測期間內之量測值將存在顯著之差異。由於光源之光輻射輸出通常隨時間而衰減，枯化點燈期間應以能產生保守性危害評估結果為原則儘量縮短。

應依對應之 IEC 光源標準，進行光源之枯化點燈。

備考：對於放電式光源之枯化點燈期間，例如螢光燈或高強度放電燈(HID)，通常為 100 小時；鎢絲光源則為其額定壽命之 1 %，然而，枯化點燈之準則可隨特殊之應用而不同，例如仿日曬燈。

5.1.2 試驗環境

為維持量測之準確性，光輻射源應於受控之環境中量測。光輻射源及量測設備受環境因素所影響。此外，在量測路徑中所產生之臭氧可能對準確性產生影響，並對安全性造成危害。對於特定之試驗條件，參照對應之光源國家標準或 IEC 標準，當此類標準不存在時，則參照製造廠商所提供之建議條件。

環境溫度將對特定光輻射源之光輻射輸出構成顯著之影響，例如螢光燈。進行量測時之環境溫度，應維持在對應之光源國家標準或 IEC 標準所規定之條件。

氣流亦對特定光輻射源之特性產生顯著之影響。除光源本身所產生之自然對流外，其他流經受測光源表面之氣流，應儘可能降低，而點燈過程中所產生之臭氣，基於安全之考量亦應儘可能降低。若系統提供維持空氣循環之連鎖裝置，則應在空氣循環下進行量測。

5.1.3 外界輻射

應針對外界之輻射或反射源進行查核，以確保不對量測結果造成顯著影響，通常使用擋板以減少外界輻射。特別留意視覺上呈現黑色之表面可反射 UV 及 IR 輻射。此外，在紅外光輻射量測時應考慮擋板所造成大入射角度之熱輻射。

5.1.4 光源操作

受測光源應依對應之光源國家標準或 IEC 標準之規定操作。對於無對應標準之光源類型，則參照製造廠商所提供之建議條件。

5.1.5 光源系統操作

受測光源所搭配之控制裝置，應依對應之國家標準或 IEC 標準之規定操作。對於無對應標準之控制裝置，則參照製造廠商所提供之建議條件。

5.2 量測程序

5.2.1 輻射照度量測

本節之內容適用於寬頻輻射照度與光譜輻射照度之量測。1 個理想之輻射照度量測儀器，包含 1 個直徑為 D 之平面圓形區域偵檢器，應足以達成所需之訊噪比，並具備下列特性：

- 在正圓錐範圍內接收輻射，且正圓錐之中心線垂直於偵檢器區域之平面。
- 空間角度響應隨與偵檢器圓形區域中心垂直線所形成之餘弦角變化。
- 在 λ_1 至 λ_2 之特定波長頻帶範圍內，於特定位置之光譜輻射響應固定。

本標準中，最小入射孔徑之直徑應為 7 mm，最大入射孔徑之直徑應為 50 mm。小型積分球通常具備直徑為 25 mm 之平面圓形孔徑，建議作為單光輻射計之入射口。對於光學輻射呈現空間均勻分布型態之輻射源，建議採用直徑為 25 mm 之孔徑。對於光學輻射無法呈現空間均勻分布型態之輻射源，例如窄光束角反射型光源，峰值輻射照度(強度)可能明顯高於圓錐角充滿直徑 25 mm 孔徑時之量測值，在此情況下，偵檢器孔徑之直徑應限制於 7 mm。

圖 5.1 概略指出進行輻射照度或光譜輻射照度量測之主要觀念，包括限制視場之孔徑(視需要)、半角 A ，以及接收器(receptor)與偵檢器之距離須遠大於偵檢器之直徑。

應於光束中能顯現最大讀值之位置進行量測。儀器應加以校正，以利取得每單位接收面積中絕對入射輻射功率之準確讀值。

備考 1. 基於實務之觀點，改變入射孔徑需額外針對輻射計或分光輻射計進行校正。若輻射照度隨距離之變化已知，為達成較小孔徑之需求可採用 1 種方法，即將偵檢器孔徑(假設採用直徑為 25 mm 之孔徑)朝遠離輻射源之方向移動，當 7 mm 孔徑在 200 mm 距離下之圓錐恰可滿足 25 mm 之孔徑時，所移動之距離即為量測距離，即約為標準評估距離 3.5 倍之距離。

備考 2. 量測輻射照度時，不得於比規定還小之孔徑取平均值，否則可能高估危害程度。取平均值之最小孔徑與人體之生理及行為因素相關，使入射輻射於特定表面積上取平均值。

備考 3. 基於多項因素，包括眼睛之生理特性，4.3.1 及 4.3.2 中所有紫外光輻射曝露位準，均適用於角距小於 80° (1.4 弧度) 之輻射源，即輻射源在與照射區域中心垂直線所形成之 40° 角範圍以內，因此放射角距較大之輻射源所釋放之輻射，僅需於 80° 全角範圍內量測。

輻射照度量測適用於評估下列危害曝露限制(參照 4.3)：

- 315 nm 至 400 nm 之眼睛曝露限制(ocular exposure limit)， E_{UVA} 。
- IR 危害曝露限制， E_{IR} 。
- 皮膚之熱危害曝露限制， E_H 。

光譜輻射照度量測適用於評估下列危害曝露限制(參照 4.3)：

- 200 nm 至 400 nm 之皮膚及眼睛曝露限制， E_S 。
- 小型輻射源之視網膜藍光危害曝露限制， E_B 。

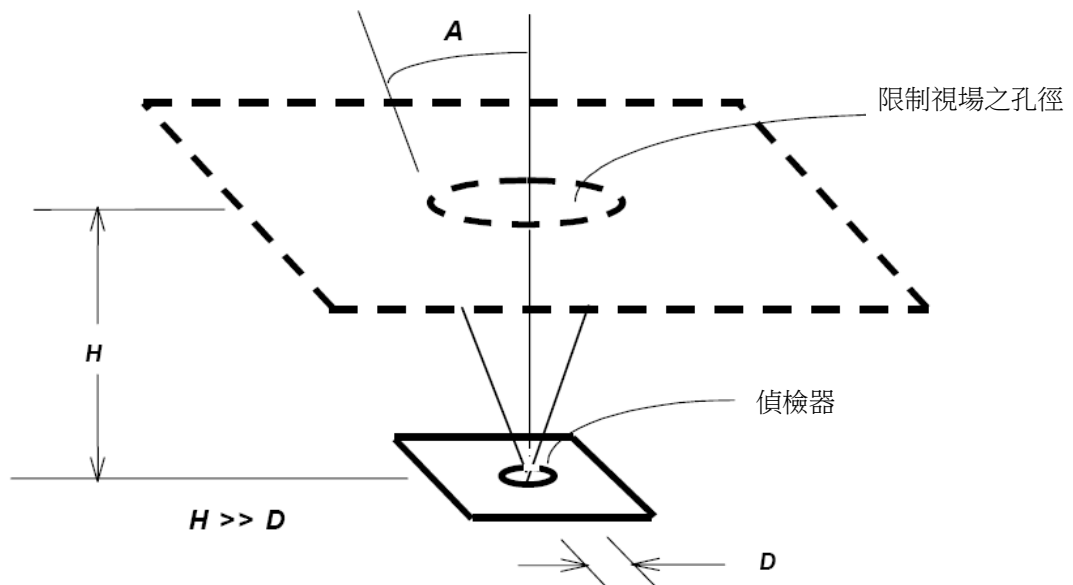


圖 5.1 輻射照度量測之圖例

5.2.2 輻射輝度量測

5.2.2.1 標準方法

本節之內容適用於寬頻輻射輝度與光譜輻射輝度之量測。以下列之光學系統進行輻射輝度量測(參照圖 5.2)：

- 作為輻射源成像之偵檢器。
- 形成平均視場 α_{eff} 其特定角度範圍之圓形視場光闌。
- 等同於輻射照度量測所使用之平均孔徑，且同樣滿足 5.2.1 所規定條件之圓形入射光瞳(孔徑光闌)。對於小角度，偵檢器直徑與成像裝置焦距之關係視為 $d = \alpha_{eff} \cdot H$ 。

與照度量測相同，最小孔徑光闌直徑 D ，如圖 5.2 所示，對應於脈衝輻射源之

瞳孔直徑為 7 mm，對於連續輻射源，由於瞳孔可能更為縮小，但眼睛與頭顱之移動可容許瞳孔之孔徑平均，因此就光生物觀點可視同平均孔徑。與照度量測相同，若入射輻射照度之均勻性足夠，孔徑光闌可超過 7 mm。

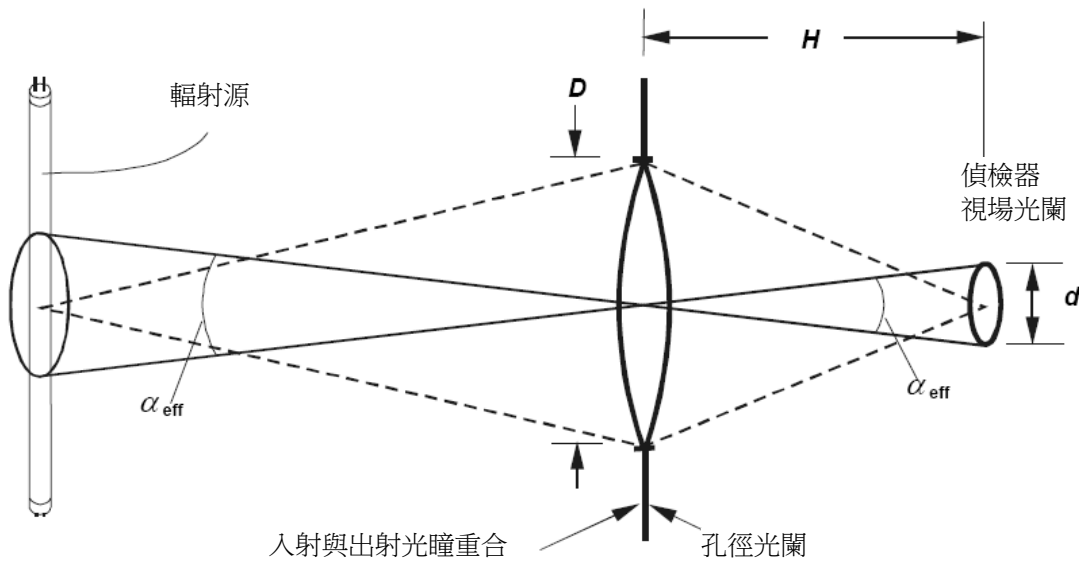


圖 5.2 輻射照度量測所需成像裝置之圖例

儀器應加以校正，以利取得該儀器平均視場(FOV)上每單位可接收立體角及每單位接收面積中絕對入射輻射功率之準確讀值。

備考：量測輻射輝度時，不得在比規定還小之視場取平均值，否則可能高估危害程度。平均視場之尺寸，與眼睛運動之範圍，即較大面積輻射源成像之輻射功率在視網膜上之分布相關，而平均視場之尺寸則與輻射源尺寸 α 無關。角距 α 比規定視場 α_{eff} 更小之輻射源，其平均輝度值將小於輻射源之實際實體輝度；然而，此生物效應值與曝露限制相比仍屬適當值。

光譜輻射輝度量測適用於評估下列危害曝露限制(參照 4.3)：

- 視網膜藍光危害曝露限制， L_B 。
- 視網膜熱曝露限制， L_R 。
- 弱視覺刺激之視網膜熱曝露限制， L_{IR} 。

5.2.2.2 替代方法

倘量測視場之定義明確，則可依輻射照度量測之概念進行輻射輝度之量測，即將輻射照度之量測值除以量測視場，可得出輝度值。將前節之輻射照度成像配置修改為輻射輝度成像配置，即將圓形視場光闌置於輻射源之輻射照度量測配置，可用以進行輻射輝度量測(參照圖 5.3)。由視場光闌 F 之尺寸，以及視場光闌與孔徑光闌間之距離 r ，可決定視場，即：

$$\gamma = F/r \dots\dots\dots (5.1)$$

由輻射照度量測配置可推論，視場光闌可置於足以貼近視輻射源之位置，以產

生所需之視場。

在針對垂直於光源之區域進行量測、針對 3.31 之定義將 θ 設為 0 及針對小角度等條件下，輻射照度量測值 E 與輻射源輻射輝度 L 間之關係，如下列公式所示：

$$E=L \cdot \Omega \dots\dots\dots (5.2)$$

式中 Ω 為以 sr 為單位之角，係量測之視場，即圖 5.3 中所示以徑為單位之平面角 γ 所對應之立體角。因此，對於小角度而言，平面角 γ 與立體角 Ω 之關係，如下列公式所示：

$$\Omega = \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} \dots\dots\dots (5.3)$$

因此，依圖 5.3 所示之概念，輻射照度與輻射源輝度之關係，如下列公式所示：

$$E = L \cdot \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} = L \cdot \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2} \dots\dots\dots (5.4)$$

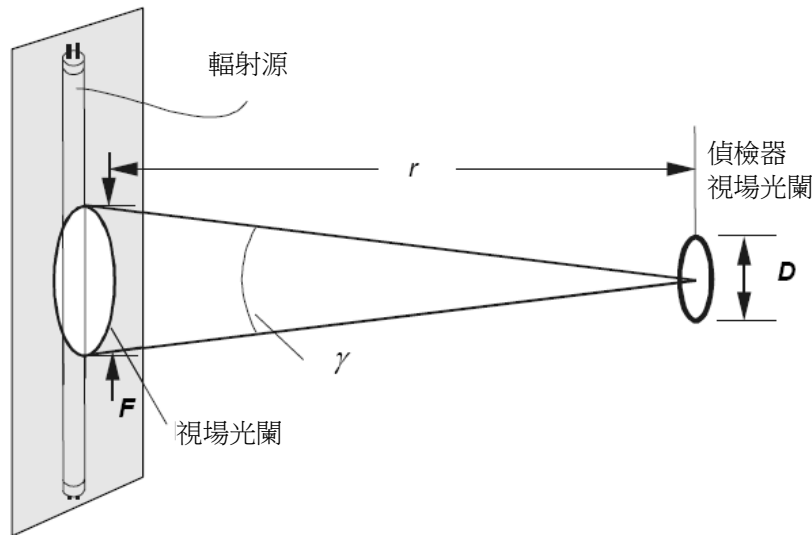


圖 5.3 輻射照度量測之替代方法圖例

當以透過輻射照度量測值所取得之輻射輝度值，針對特定危害進行比較時，視場光闌之直徑 F 須設定為：

$$\gamma = \alpha_{\text{eff}} \dots\dots\dots (5.5)$$

備考：對於小型輻射源，藍光危害之輻射照度限制等同於針對特定量測平均視場之輻射照度限制。輻射照度限制係依公式 5.4，由輻射輝度限制乘以平均量測視場得出。

5.2.3 輻射源尺寸之量測

為測定輻射源之角距 α ，需測定輻射源中 50% 之輻射點，常用之方法係於驗證輻射光譜之均勻度，足以保證可見光輻射可類比 IR 輻射後，始可以攝影術或數位相機進行測定。輻射源所涵蓋輻射光譜之變化，可能造成在不同輻射光譜區域中輻射源之尺寸不同(參考 Sliney and Wolbarsht, 1980 之 12.6.6)。

5.2.4 脈衝輻射光源之脈衝寬度量測

為測定輻射源之標稱脈衝寬度，需測定到達輻射源峰值 50%之期間。常用之方法係於驗證輻射光譜之均勻度，足以保證可見光輻射可類比 UV 或 IR 輻射後，始可以光電池及示波器進行測定。在 1 個脈衝週期中輻射光譜之變化，可能造成在不同輻射光譜區域中存在不同之脈衝寬度。

5.3 分析方法

5.3.1 加權曲線插值

表 4.1 所定義之加權曲線，一般不足以解決輻射源之輻射加權計算問題。在半對數座標中任何區域，函數可合理視為線性，因此，為使內插值符合標準化，針對特定之對數值進行線性內插計算，以取得所需波長間距之中間值，例：建議取 1 nm 為間距。內插值之反對數值需透過內插加權因數加以換算。

5.3.2 計算

輻射源危害值之計算，係以合適之函數進行光譜掃描加權，計算加權總能量值。為提供可重複性之方法，本標準建議對於 400 nm 以下之波長，內插或加總計算之波長間距為 1 nm，以 1 nm 之解析度進行加權暨加總計算，大於 400 nm 之波長，建議波長間距為 5 nm。

5.3.3 量測不確定度

所有量測結果之品質，須以不確定度分析加以量化，所有計算結果須附帶不確定度值，而不確定度應依第 2 節引用標準所示之 ISO 指導文件進行分析。各項結果應以擴充不確定度(expanded uncertainty)記錄於報告中，而擴充不確定度應依 ISO 指導文件(參照第 2 節)之定義，以涵蓋因子(coverage factor) $k=2$ 與組合不確定度(combined standard uncertainty) u_c 予以計算。不確定度之值應包含附錄 C 所述之所有不確定度來源，並由校正不確定度(calibration uncertainties)進行展開計算。

表 5.4 皮膚表面或角膜之ELs彙整表(輻射照度基準值)

危害類型	對應公式	波長範圍 nm	曝露期間 秒	限制孔徑徑度(角度)	固定輻射照度下 之EL $W \cdot m^{-2}$
皮膚及眼睛之光化學UV危害	$E_S = \sum E_\lambda \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	200-400	< 30,000	1.4 (80)	$30/t$
眼睛之UV-A危害	$E_{UV-A} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	315-400	$\leq 1,000$ $> 1,000$	1.4 (80)	$10,000/t$ 10
小型輻射源之藍光危害	$E_B = \sum E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300-700	≤ 100 > 100	< 0.011	$100/t$ 1.0
眼睛之IR危害	$E_{IR} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	780-3,000	$\leq 1,000$ $> 1,000$	1.4 (80)	$18,000/t^{0.75}$ 100
皮膚之熱危害	$E_H = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	380-3,000	< 10	2π sr	$20,000/t^{0.75}$

表 5.5 視網膜之ELs彙整表(輻射輝度基準值)

危害類型	對應公式	波長範圍 nm	曝露期間 秒	限制孔徑徑度(角度)	固定輻射輝度 下之EL $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
藍光危害	$L_B = \sum L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300-700	0.25-10	$0.011\sqrt{(t/10)}$	$10^6/t$
			10-100	0.011	$10^6/t$
			100-10,000	$0.0011\sqrt{t}$	$10^6/t$
			$\geq 10,000$	0.1	100
視網膜熱危害	$L_R = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	380-1,400	< 0.25	0.0017	$50,000/(\alpha \cdot t^{0.25})$
			0.25-10	$0.011\sqrt{(t/10)}$	$50,000/(\alpha \cdot t^{0.25})$
視網膜熱危害 (微弱視覺刺激)	$L_{IR} = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	780-1,400	> 10	0.011	$6,000/\alpha$

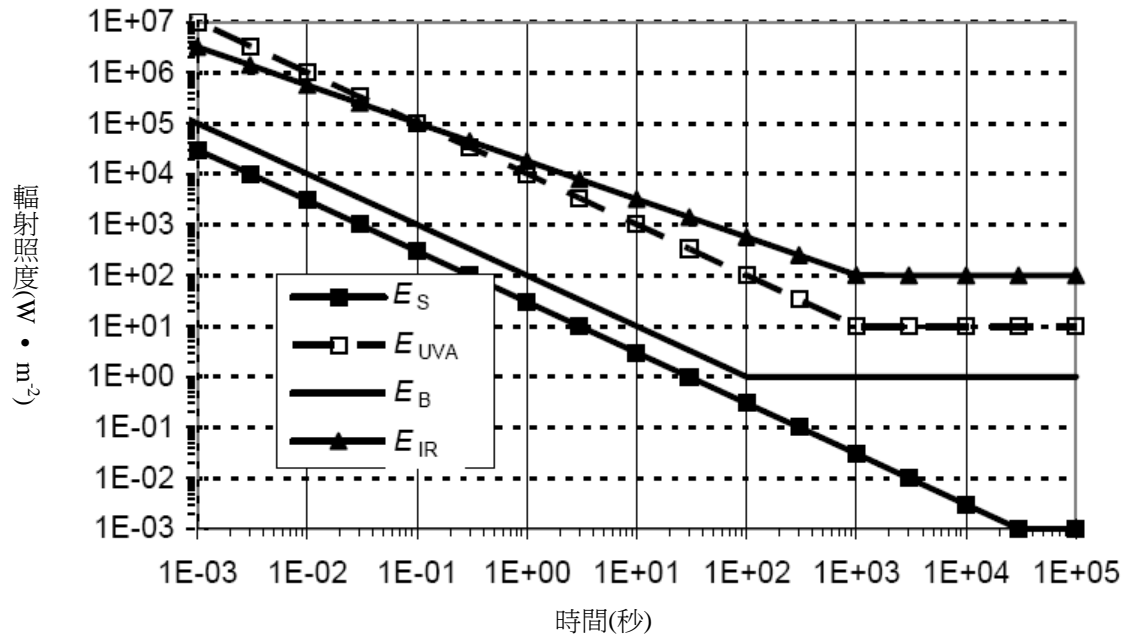


圖 5.4 固定曝露下加權輻射照度曝露限制與時間之關係圖例

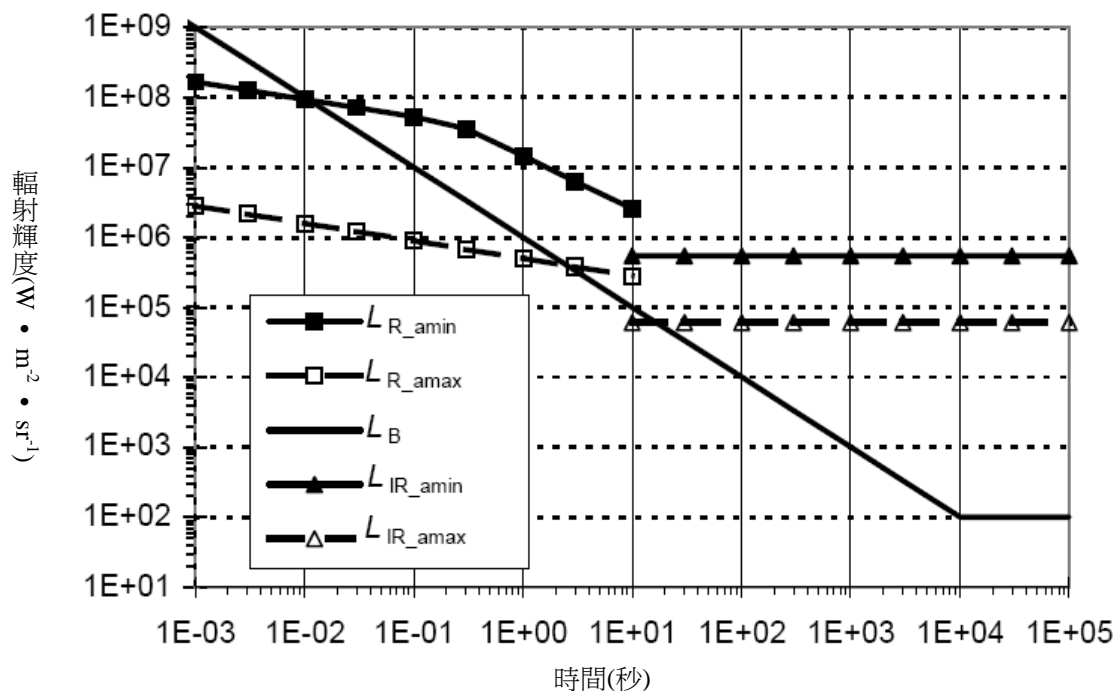


圖 5.5 固定曝露下加權輻射輝度曝露限制與時間之關係圖例

6. 光源之風險分類

本標準係由 CIE TC 6-47 及 IEC SC34A 所共同制定，雙方均認定須記錄於試驗報告中之風險類別及光源輻射產生光生物危害值之距離係為重要議題。由於光源從某些觀點可能造成危害，建立分類模式有助於光生物危害之評估。

- 符合 3.11 所定義之一般照明用光源 (GLS)，輻射照度及輻射輝度之危害值應記錄於試驗報告中，以產生 500 lux 照度之距離為基準，但此距離不得小於 200 mm。
- 對於所有其他種類之光輻射源，包含脈衝輻射光源，應將以 200 mm 為基準所得出之危害值紀錄於試驗報告中。

本節主要針對光源之風險分類，然而，類似之分類模式亦可適用於搭配光源操作之燈具或其他光源系統。對於一般照明用光源，進行輻射照度量測之距離則依量測能力加以考量。

風險類別僅代表潛在風險，潛在風險是否真正成為實際危害，取決於所採用之因子，例如曝露期間及燈具所造成之影響等。表 6.1 針對 4.3 所討論之各項風險，依不同風險類別，彙整對應之輻射照度及輻射輝度限制。

備考：在某些情況下，相同之光源可作為 GLS 及特殊用途，此時應依其預期用途進行評估。

6.1 連續輻射光源

6.1.1 無風險類別

無風險類別之科學基礎，係基於在本標準所規定最極端之曝露限制下，光源不造成任何光生物危害。滿足本項要求之光源，須符合下列所有條件：

- 在 8 小時 (30,000 秒) 內之曝露期間，不造成光化學紫外光危害 (E_S)。
- 在 1,000 秒 (約 16 分鐘) 內之曝露期間，不造成近紫外光危害 (E_{UVA})。

- 在 10,000 秒(約 2.8 小時)內之曝露期間，不造成視網膜藍光危害(L_B)。
- 在 10 秒內之曝露期間，不造成視網膜熱危害(L_R)。
- 在 1,000 秒內之曝露期間，不造成對眼睛之紅外光輻射危害(E_{IR})。

符合上述條件之光源可列為無風險類別。

釋放紅外光輻射而不造成強烈視覺刺激(即低於 $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$)，且在 1,000 秒內之曝露期間而不造成近紅外光視網膜危害(L_{IR})之光源，亦可列入無風險類別。

6.1.2 風險類別 1(低度風險)

風險類別 1(低度風險)之科學基礎，係基於在一般之曝露限制下，光源不造成危害。滿足本項要求之光源雖超出無風險類別之限制，但須符合下列所有條件：

- 在 10,000 秒內之曝露期間，不造成光化學紫外光危害(E_S)。
- 在 300 秒內之曝露期間，不造成近紫外光危害(E_{UVA})。
- 在 100 秒內之曝露期間，不造成視網膜藍光危害(L_B)。
- 在 10 秒內之曝露期間，不造成視網膜熱危害(L_R)。
- 在 100 秒內之曝露期間，不造成對眼睛之紅外光輻射危害(E_{IR})。

符合上述條件之光源可列為風險類別 1(低度風險)。

釋放紅外光輻射而不造成強烈視覺刺激(即低於 $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$)，且在 100 秒內之曝露期間而不造成近紅外光視網膜危害(L_{IR})之光源，亦可列入風險類別 1(低度風險)。

6.1.3 風險類別 2(中度風險)

風險類別 2(中度風險)之科學基礎，係基於即使因強光輻射源造成生理不適或熱不適之反應，光源仍不造成危害。滿足本項要求之光源雖超出風險類別 1(低度風險)之限制，但須符合下列所有條件：

- 在 1,000 秒內之曝露期間，不造成光化學紫外光危害(E_S)。
- 在 100 秒內之曝露期間，不造成近紫外光危害(E_{UVA})。
- 在 0.25 秒內之曝露期間(生理不適反應)，不造成視網膜藍光危害(L_B)。
- 在 0.25 秒內之曝露期間(生理不適反應)，不造成視網膜熱危害(L_R)。
- 在 10 秒內之曝露期間，不造成對眼睛之紅外光輻射危害(E_{IR})。

符合上述條件之光源可列為風險類別 2(中度風險)。

釋放紅外光輻射而不造成強烈視覺刺激(即低於 $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$)，且在 10 秒內之曝露期間而不造成近紅外光視網膜危害(L_{IR})之光源，亦可列入風險類別 2(中度風險)。

6.1.4 風險類別 3(高度風險)

風險類別 3(高度風險)之科學基礎，係基於即使經短暫期間或瞬間之曝露，光源仍可能造成危害。超出風險類別 2(中度風險)限制之光源即列為風險類別 3(高度風險)。

6.2 脈衝輻射光源

本節適用於單脈衝及任何脈衝寬度在 0.25 秒內之脈衝輻射光源。

脈衝輻射光源應在製造廠商所指定之最高標稱能量負載(highest nominal energy loading)下進行評估。

對於每個脈衝，對應之加權輻射曝露(H 或 $E \cdot t$)或時間積分加權輻射劑量($L \cdot t$)，

應由輻射源所放射之加權輻射照度或輝度對整個脈衝寬度進行積分所得出，而積分之時間上限為 0.25 秒。進行各項光生物危害評估時，應將加權輻射曝露或加權輻射輝度劑量之計算值與 4.3 所提供之曝露限制(ELs)進行比較。

備考：加權輻射照度值應於 0.0017 弧度(或角度)之正圓錐視場(參照 4.2.2)取平均值。

受測光源應依下列條件決定風險類別：

- 超出曝露限制之光源應列為風險類別 3(高度風險)。
- 對於單脈衝輻射光源，其加權輻射曝露或加權輻射輝度劑量低於 EL 時，應列為無風險類別。
- 對於重複脈衝輻射光源，其加權輻射曝露或加權輻射輝度劑量低於 EL 時，以脈衝輻射之時間平均值，依 6.1 中針對連續輻射光源之風險類別進行評估。

表 6.1 連續輻射光源之風險類別輻射限制

危害類型	反應光譜	符號	輻射限制			單位
			無風險	低度風險	中度風險	
光化學UV危害	$S_{UV}(\lambda)$	E_S	0.001	0.003	0.03	$W \cdot m^{-2}$
近UV危害	—	E_{UVA}	10	33	100	$W \cdot m^{-2}$
藍光危害	$B(\lambda)$	L_B	100	10,000	4,000,000	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
小型光源之藍光危害	$B(\lambda)$	E_B	1.0 ^(a)	1.0	400	$W \cdot m^{-2}$
視網膜熱危害	$R(\lambda)$	L_R	28,000/ α	28,000/ α	71,000/ α	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
微弱視覺刺激之視網膜熱危害 ^(b)	$R(\lambda)$	L_{IR}	6,000/ α	6,000/ α	6,000/ α	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
對眼睛之IR輻射危害	—	E_{IR}	100	570	3,200	$W \cdot m^{-2}$

註^(a)小型輻射光源之角距 < 0.011 弧度。10,000 秒之平均視場為 0.1 弧度。

註^(b)包含非 GLS 光源(GLS source)之評估。

附錄 A

(參考)

生物學效應之摘要

生物學效應資料 1：紅外光致白內障

A.1 生物學效應

紅外光致白內障，亦即“製程熱致白內障(industrial heat cataract)”、“鍋爐工之白內障(furnaceman's cataract)”或“玻璃工之白內障(glassblower's cataract)”。

A.1.1 器官/部位

眼睛/水晶體。

A.1.2 光譜範圍

700 nm 至 1,400 nm，可能達 3,000 nm。

A.1.3 反應光譜之峰值

不確定，可能在 900 nm 至 1,000 nm 之間。

A.1.4 已知情況說明

依有限且可取得之資料指出，在 1,064 nm(Wolbarsht, 1992)及 IR-A(Pitts and Cullen, 1981)之波長範圍可造成兔子之急性白內障。尚無針對人體研究之資料。尚無累積程度及反應光譜之資料。流行病學之證據充分(Lydahl, 1984)。

A1.5 反應時間

水晶體明顯發生渾濁現象，一般為長年在高曝露量下之慢性效應，發生反應之時間視曝露量與臨界值間之差異程度而定，重度曝露時將在最短時間內產生反應。

A.1.6 成因

一般推測由熱所引起，雖然新證據表明可能由光化學反應所造成，但詳細原因尚不明確。水晶體所接收之熱可經由直接照射(Vogt, 1919)或透過虹膜所傳遞之熱量(Goldmann, 1983)。

A.1.7 症狀

視力模糊。

A.1.8 須掌握之資訊

強烈曝露及伴隨紫外線曝露效應之反應光譜(若存在時)；多次曝露之累積效應，以及週期性曝露引發延遲反應之可能性。

A.1.9 光源使用之經驗

對於意外之傷害，包括對於高熱度光源之曝露尚無資料。應限制對公眾之曝露。

A1.10 主要參考資料

- GOLDMANN, H. Experimentelle Untersuchungen über die Genese des Feuerstars. 111 Mitteilung. Die Physik des Feuerstars I. Teil. Arch. für Ophthalmol., 130, 93-130 (1983). LYDAHL, E. Infrared Radiation and Cataract. Acta Ophthalmologica, Suppl. 166, 1-63 (1984).
PITTS, D.G. and CULLEN, A.P. Determination of Infrared Radiation Levels for Acute Ocular Cataractogenesis. von Graefes Arch. Ophthal., 217, 285-297 (1981).
SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L. Safety with Lasers and Other Optical Sources. New

York, Plenum, (1980).

VOGT, A. Experimentelle Erzeugung von Katarakt durch isoliertes kurzwelliges Ultrarot, dem Rot beigemischt ist. Klin. Mb/ Augenheilk., 63, 230-231 (1919).

WOLBARSHT, M.L. Cataract from Infrared Lasers: Evidence for Photochemical Mechanisms. Lasers and Light Ophthalmology, 4, 91-96 (1992).

生物學效應資料 2：光致角膜炎

A.2 生物學效應

光致角膜炎

A.2.1 器官/部位

眼睛/角膜。

A.2.2 光譜範圍

(180–200) nm 至 (400–420) nm；以 (200–320) nm 為主。

A.2.3 反應光譜之峰值

約在 270 nm(Pitts, 1971)；約在 288 nm(Cogan and Kinsey, 1946)。

A.2.4 已知情況說明

已建立急性臨界條件之完整數據，包括兔子(200 nm 至 400 nm)、猴子(200 nm 至 320 nm)及人體(200 nm 至 300 nm)。來自不同實驗室之數據皆經過多方確認。

A.2.5 反應時間

一般在曝露後經 4 小時至 12 小時始產生反應，發生反應之時間視曝露量與臨界值間之差異程度而定，重度曝露時將在最短時間內產生反應；非極重度曝露以外之情況，可在 24 小時至 48 小時內恢復。

A.2.6 成因

由光化學效應啟動生物性連鎖反應，詳細原因尚不明確。

A.2.7 症狀

感覺眼中存在異物，眼瞼痙攣(眼皮之肌肉發生短暫性、強制性之激烈收縮現象)，有時感覺視力模糊；眼瞼隙(上、下眼皮間所形成之開口)反應。

A.2.8 須掌握之資訊

取得在 305 nm 至 320 nm 波長範圍內較高之解析度；週期性曝露引發延遲反應之可能性。

A.2.9 光源使用之經驗

偶發性接受殺菌燈、汞燈及氙氣弧光燈之照射，但僅針對特殊應用，例如刻意接受仿日曬燈照射。

A.2.10 主要參考資料

COGAN, D.G. and KINSEY, V.E. Action Spectrum of Keratitis Produced by Ultraviolet Radiation. Arch. Ophthalmol., 35, 670-617 (1946).

HEDBLOM, E.E. Snowscape Eye Protection. Arch. Environ. Health, 2, 685-704 (1961). LEACH, W. M. Biological Aspects of Ultraviolet Radiation, A Review of Hazards. BRH/DBE 70-3, U.S. Public Health Service, Bureau of Radiological Health, Rockville, Maryland (Sept. 1970).

MACKEEN, D., FINE, S., AARON, A., and FINE, B.S. Preventable Hazards at UV Wavelengths.

Laser Focus, 7(4), 29 (1971).

PITTS, D.G. and TREDICI, T.J. The Effects of Ultraviolet on the Eye. Ameri. Ind. Hyg. Ass. J. 32(4), 235-246 (1971).

生物學效應資料 3：光致視網膜炎

A.3 生物學效應

光致視網膜炎或藍光視網膜傷害。

A.3.1 器官/部位

眼睛/視網膜。

A.3.2 光譜範圍

對於保有水晶體之眼睛(水晶體完好)為 400 nm 至 700 nm(以 400 nm-500 nm 為主)；對於未保有水晶體之眼睛(水晶體摘除)為 310 nm 至 700 nm(以 310 nm-500 nm 為主)。

A.3.3 反應光譜之峰值

對於已摘除水晶體之眼睛約為 445 nm(Ham, 1976)；對於恆河獼猴約為 310 nm(Ham, 1980)。

A.3.4 已知情況說明

已針對猴子建立急性臨界條件之完整數據，並針對人體在醫療用雷射波長及偶發性直視太陽及電焊弧光等方面，已建立部分之實證數據。

A.3.5 反應時間

對於長期(在 10 秒以上)之曝露，所造成之傷害主要為熱傷害。通常在曝露後超過 12 小時始產生明顯之反應，發生反應之時間視曝露量與臨界值間之差異程度而定，重度曝露時將在最短時間內產生反應；最嚴重之反應一般發生在 48 小時內。某些因直視電焊弧光或太陽等偶發性曝露，人體可自然恢復。

A.3.6 成因

由光化學效應啟動生物性連鎖反應，明顯集中於視網膜色素上皮層，詳細原因尚不明確。

A.3.7 症狀

當強烈弧光在視網膜上成像時產生盲點。在曝露後 48 小時內進行眼科檢查，可發現視網膜可見損傷(一般色素消退之現象由藍光所造成，色素沉澱之現象則由某些紫外光波長所造成)。儘管輕微之案例可恢復視覺，惟仍有永久失去視覺之可能性。

A.3.8 須掌握之資訊

關於傷害成因之更多資訊；在 400 nm 至 450 nm 之頻帶範圍內，曝露時間低於 10 秒之數據；多次曝露之累積效應，以及低於急性臨界條件之週期性曝露，引發延遲反應之可能性。

A.3.9 光源使用之經驗

極少或幾乎無文獻記載，因凝視光源所產生之過度曝露而造成傷害。自然厭光反應通常可限制曝露量，因而防止光致視網膜炎發生。應限制公眾之曝露。

A.3.10 主要參考資料

- HAM, W.T. Jr, MUELLER, H.A., and SLINEY, D.H. Retinal Sensitivity to Damage by Short-Wavelength Light. *Nature*, 260 (5547), 153-155 (1976).
- HAM, W.T. Jr, RUFFOLO, J.J. Jr, MUELLER, H.A., and GUERRY, D. The Nature of Retinal Radiation Damage: Dependence on Wavelength, Power Level and Exposure Time. *Vision Res.*, 20(12), 1105-1111 (1980).
- MAINSTER, M.A. Spectral Transmission of Intraocular Lenses and Retinal Damage from Intense Light Sources. *Am. J. Ophthalmol.*, 85, 167-170 (1978).
- MARSHALL, J. Light Damage and the Practice of Ophthalmology. In: *Intraocular Lens Implantation*, Rosen E., Arnott, E., and Haining, W. (eds). London, Moseby-Yearbook, Ltd. (1983).
- PITTS, D.G. The Human Ultraviolet Action Spectrum. *American Journal Optom. Physiol. Opt.*, 51, 946-960 (1974).
- SLINEY, D.H. Eye Protective Techniques for Bright Light. *Ophthalmology*, 90(8), 937-944 (1983).
- SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. New York, Plenum (1980).
- SPERLING, H.G. (ed). *Intense Light Hazards in Ophthalmic Diagnosis and Treatment*. Proceedings of a Symposium, *Vision Res.*, 20(12), 1033-1203 (1980).
- VARMA, S.D. and LERMAN, S. (eds). *Proceedings of the First International Symposium on Light and Oxygen Effects on the Eye*. Oxford: IRL Press (1984) [also published as *Current Eye Res.*, 3(1) (1984).]
- WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). *Optical Radiation and Visual Health*. Boca Raton, CRC Press (1986).
- WILLIAMS, T.B. and BAKER, B.N. (eds). *The Effects of Constant Light on the Visual System*. New York, Plenum Press (1980).
- YOUNG, R.W. A Theory of Central Retinal Disease. In: *New Directions in Ophthalmic Research*, Sears, M.L. (ed). New Haven, Yale University Press, 237-270 (1981).

生物學效應資料 4：視網膜熱傷害

A.4 生物學效應

視網膜熱傷害。

A.4.1 器官/部位

眼睛/視網膜及角膜。

A.4.2 光譜範圍

400 nm 至 1,400 nm(以 400 nm 至 1,100 nm 為主)。

A.4.3 反應光譜之峰值

約在 500 nm(Ham, 1966)。

A.4.4 已知情況說明

已針對兔子及猴子建立急性臨界條件之完整數據，並針對人體已建立有限之數據。來自不同實驗室之數據皆經過多方確認。

A.4.5 反應時間

對於短期(低於 10 秒)或在波長大於 700 nm 之曝露,所造成之傷害主要為光化學視網膜傷害。通常在曝露後立即(或 5 分鐘內)產生明顯之反應,情況可能有限度恢復或不恢復。

A.4.6 成因

熱化學反應使蛋白質及細胞之其他關鍵性生物元件產生變性,並對生物組織造成破壞。光吸收及傷害集中於視網膜色素上皮層及脈絡膜。

A.4.7 症狀

當高強度光輻射源在視網膜上成像時產生盲點。在曝露後 5 分鐘內(24 小時內均可確認)進行眼科檢查,可發現視網膜可見損傷。最嚴重之症狀為曝露後即失去視覺,某些情況則在 14 日內可恢復有限之視覺。

A.4.8 須掌握之資訊

對於大成像尺寸(> 1 mm)曝露之更多數據。

A.4.9 光源使用之經驗

實際上並無光源可造成此類之傷害。以氙氣弧光燈照射眼睛時可產生此種臨床症狀,但須在極端條件下始能造成傷害,因此極少或幾乎無文獻記載,由於凝視高強度弧光燈而造成傷害。自然厭光反應通常可限制曝露量,因而防止傷害發生。

A.4.10 主要參考資料

ALLEN, R.A. Retinal Thermal Injury. Proc ACGIH Topical Symposium, 26-28 November 1979, ACGIH, Cincinnati, Ohio (1980).

HAM, W.T. Jr, RUFFOLO, J.J. Jr, MUELLER, H.A., and GUERRY, D. The Nature of Retinal Radiation Damage: Dependence on Wavelength, Power Level and Exposure Time. Vision Res., 20(12), 1105-1111 (1980).

HAM, W.T. Jr, WILLIAMS, R.C., GEERAETS, W.J., MUELLER, H.A., GUERRY, D., CLARKE, A.M., and GEERAETS, W.J. Effects of Laser Radiation on the Mammalian Eye. Trans. NY Acad. Sci., 28, 517-526 (1966).

SLINEY, D.H. and WOLBARSH, M.L. Safety with Lasers and Other Optical Sources. Plenum, New York (1980).

生物學效應資料 5：紫外光致白內障**A.5 生物學效應**

紫外光致白內障。

A.5.1 器官/部位

眼睛/水晶體。

A.5.2 光譜範圍

290 nm 至 325 nm, 可能達 400 nm。

A.5.3 反應光譜之高峰

對於急性白內障,約為 305 nm(Pitts, 1977);對於波長 > 325 nm 之效應,則無反應光譜之資料(Lerman, 1980, Zigman, 1979)。

A.5.4 已知情況

已針對兔子及猴子建立急性臨界條件之完整數據(295 nm 至 325 nm)，對於人體之急性白內障則尚未建立數據，惟對於脈絡膜之 UV-B 輻射曝露，則已存在流行病學證據(Taylor, 1988)。

A.5.5 反應時間

通常在曝露後超過 4 小時水晶體始明顯發生渾濁現象，發生反應之時間視曝露量與臨界值間之差異程度而定，重度曝露時將在最短時間內產生反應；僅某些接近臨界條件之曝露可在數天內恢復，否則水晶體混濁將成為永久性現象。

A.5.6 成因

光化學反應，詳細原因尚不明確。

A.5.7 症狀

視力模糊。

A.5.8 須掌握之資訊

對於急性及 UV-A 曝露效應之反應光譜(若存在時)；多次曝露之累積效應，以及週期性曝露引發延遲反應之可能性。

A.5.9 光源使用之經驗

偶發性之傷害尚不明確，對於氙氣弧光燈之曝露亦然。應限制公眾之曝露。

A.5.10 主要參考資料

- BRACHEM, A. Ophthalmic ultraviolet action spectra. *Am. J. Ophthalm.*, 41, 969-976 (1956).
- LERMAN, S. *Radiant Energy and the Eye*. Mac Millan, Inc., New York, (1980).
- PARRISH, J.A., ANDERSON, R.R., URBACH, F., and PITTS, D. *UV-A: Biological Effects of Ultraviolet Radiation with Emphasis on Human Responses to Longwave Ultraviolet*. Plenum Press, New York (1978).
- PITTS, D.G. The Ocular Ultraviolet Action Spectrum and Protection Criteria. *Health Physics*, 25, 559-566 (1973).
- PITTS, D.G., CULLEN, A.P., and HACKER, P.D. Ocular Ultraviolet Effects from 295-1000 nm. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 16(10), 932-939 (1977).
- SLINEY, D.H. Estimating the Solar Ultraviolet Radiation Exposure to an Intraocular Lens Implant. *J. Cataract Refract. Surg.*, 13, 296-301, May 1987.
- SLINEY, D.H. Physical Factors in Cataractogenesis - Ambient Ultraviolet Radiation and Temperature. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 27(5), 781-790, 1986.
- TAYLOR, H.R., WEST, S.K., ROSENTHAL, F.S., MUNOZ, B., NEWLAND, H.S., ABBEY, H., and EMMETT, E.A. Effect of Ultraviolet Radiation on Cataract Formation. *New England Journal of Medicine*, 319, 1429 (1988).
- WAXIER, M. and HITCHENS, V. (eds). *Optical Radiation and Visual Health*. Boca Raton, CRC Press (1986).
- ZIGMAN, S., DATILES, M., and TORCYZNSKI, E. Sunlight and Human Cataracts. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 18(5), 462-467, 1979.
- ZUCILICH, J.A. and CONNOLLY, J.S. Ocular Damage Induced by Near Ultraviolet Laser Radiation. *Invest. Ophthalmol.*, 15, 760-764 (1976).

生物學效應資料 6：紫外光致紅斑

A.6 生物學效應

紫外光致紅斑。

A.6.1 器官/部位

皮膚。

A.6.2 光譜範圍

180–200 nm 至 400–420 nm，以 200–320 nm 為主。

A.6.3 反應光譜之峰值

約為 295 nm(Urbach, 1968, Anders, 1995); 約為 254 nm(Hausser, 1928, Coblenz, 1932, Freeman, 1966)。

A.6.4 已知情況

已針對人體建立急性臨界條件之完整數據(254 nm 至 400 nm)。對來自不同實驗室之數據皆經過多方確認，若進行 2 項反應光譜之實驗，則其中 1 間實驗室負責進行 4 小時至 8 小時之實驗，另 1 間實驗室則負責進行 24 小時至 48 小時之實驗。

A.6.5 反應時間

一般在曝露後經 4 小時至 12 小時始產生反應，發生反應之時間視曝露量與臨界值間之差異程度而定，重度曝露時將在最短時間內產生反應；非極重度曝露以外之情況，可在 24 小時至 48 小時內恢復。

A.6.6 成因

由光化學效應啟動生物性連鎖反應，詳細原因尚不明確(van der Leun, 1965)。

A.6.7 症狀

曬傷，曝露於紫外線輻射之部位產生紅斑。

A.6.8 必要之資訊

取得在 305 nm 至 320 nm 波長範圍內較高之解析度；週期性曝露引發延遲反應之可能性。

A.6.9 光源使用之經驗

偶發性接受殺菌燈、汞燈及氙氣弧光燈之照射所引起，但僅針對特殊應用，例如刻意接受仿日曬燈照射。

A.6.10 主要參考資料

ANDERS, A., ALTHEIDE, H., KNALMANN, M., and TRONNIER, H. Action Spectrum for Erythema in Humans Investigated with Dye Lasers. *Photochemistry and Photobiology*, 61, 200, (1995).

COBLENTZ, W.W. and STAIR, R. Data on the Spectral Erythemic Reaction of the Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. *Bur. Stand. J. Res.*, 8, 541 (1932).

COBLENTZ, W.W. and STAIR, R. Data on the Spectral Erythemic Reaction of the Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. *Bur. Stand. J. Res.*, 12, 13-14 (1934).

- COBLENTZ, W.W., STAIR, R., and HOGUE, J.M. The Spectral Erythemic Reaction of the Human Skin to Ultraviolet Radiation. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., 17, 401-403 (June 1931).
- FITZPATRICK, T.B., PATHAK, M.A., HARBER, L.C., SIEJI, M., and KUKITA, A. (eds). Sunlight and Man. Tokyo, Tokyo University Press (1974).
- FITZPATRICK, T.B. Dermatology in general medicine 5th ed. McGraw Hill, New York, pp. 1555-1561, (1999) and its references.
- FREEMAN, R.G, OWENS, D.W., KNOX, J.M., and HUDSON, H.T. Relative Energy Requirements for an Erythema Response of Skin to Monochromatic Wavelengths of Ultraviolet Present in the Solar Spectrum. J. Invest. Dermat., 64, 586-592 (1966).
- HAUSSER, K.W. Influence of Wavelength in Radiation Biology. Strahlentherapie, 28, 25-44 (1928).
- HAUSSER, K.W. and VAHLE, W. Sunburn and Suntanning. Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Siemens Konzerns 6(1), 101-120 (1927), Translated in: Biologic Effects of Ultraviolet Radiation (F. Urbach, ed), Pergamon Press, New York (1969).
- HAWK ed. Photodermatology. Arnold, London, pp. 43-52, (1999) and its references.
- ISO 17166:1999 / CIE S007 – 1998 Erythema reference action spectrum and standard erythema dose.
- van der LEUN, J.C. Theory of Ultraviolet Erythema. Photochemistry and Photobiology, 4, 453, (1965).
- LUCKIESH, M., HOLLADAY, L.L., and TAYLOR, A.H. Reaction of Untanned Human Skin to Ultraviolet Radiation. J. Opt. Soc. Amer., 20, 423-432 (1930).
- PARRISH, J.A., JAENICKE, K.F. and ANDERSON, R.R. Erythema and melanogenesis action spectrum of normal human skin. Photochemistry and Photobiology, 36, 187, 1982.
- SCHMIDT, K. On the Skin Erythema Effect of UV Flashes. Strahlentherapie, 124, 127-136 (May 1964).
- URBACH, F. (ed). The Biologic Effects of Ultraviolet Radiation. Pergamon Press, New York. pp. 83-39, 327-436, 541-654, (1968).
- World Health Organization. Ultraviolet Radiation. Environmental Health Criteria 14, WHO, Geneva (1979).

附錄 B

(參考)

量測方法

B.1 儀器

B.1.1 雙單光輻射計：建議使用

為決定危害類別對輻射源所進行之量測，校正及測試時須保持準確度。偵檢器之寬頻光譜響應及高光譜解析度需提供準確之加權，以滿足排除頻帶外雜散光之要求。校正用輻射源提供之寬頻光譜輻射輸出，須排除頻帶外雜散光。對於鎢絲或鎢絲鹵素校正用光源，其頻帶外能量與 270 nm 頻帶內能量之比值，應小於 10^{-4} 。雙單光輻射計為唯一具備選擇性之儀器，建議作為危害性評估(包括 UV 及可見光輻射)之量測儀器。由於單光輻射計系統在便利性及速度方面之限制，當進行紫外光及可見光譜之量測，1 部單光輻射計僅在其量測結果與雙單光輻射計所測得之結果相當時始得使用。例如對於 LED 等輻射光譜限定於極窄範圍之光源，使用單部單光輻射計即可滿足需求。

B.1.2 寬頻偵檢器

現今之寬頻偵檢器，經針對合適之反應光譜謹慎進行校正，則可用於量測，對於寬度窄之脈衝及低強度之輻射源，使用時極為便利。寬頻危害量測用偵檢器一般使用濾波器以匹配加權光譜，匹配程度無法完全吻合，並將形成些許誤差。當輻射源之光譜或偵檢器之光譜響應未知，光譜誤差始對不確定度造成影響。若輻射源之光譜未知，偵檢器與反應光譜間最大百分比偏差之點需假設為不確定度。不確定度決定時應將反應光譜為零之光譜區域納入考量。

當偵檢器之反應光譜及輻射源之光譜已知，直接計算可產生 1 個修正因數。使用合適之修正因數時，則寬頻偵檢器可為本標準提供 1 項可用之量測法。對於光輻射量測人員而言，有必要證明修正因數對於各種特殊情況均屬有效，情況不同將造成或可能造成光譜之改變，而須重新決定修正因數。

備考：在許多情況下，加權寬頻輻射計與雙單光輻射計可改善量測過程。1 種類型之輻射源其空間、瞬時或逐項之變化，可使用濾波偵檢器迅速完成量測。

B.2 儀器限制

B.2.1 雜訊等效輻射照度

所有儀器均存在限制，低於此限制即無法量測。進行危害分析時，當確知量測結果低於儀器限制時，報告中登載零訊號值並不恰當。用於危害評估之儀器須依其特性決定量測限制位準或可量測位準。當儀器之讀值為零或低於量測限制，應將對應之儀器限制記錄於試驗報告中。若儀器之限制對決定輻射源之風險類別產生明顯之影響時，須替換更高品質之儀器。

備考：偵檢器之雜訊限制通常主導分光輻射計之量測限制。偵檢器之雜訊限制可取自偵檢器暗訊號(dark signal)之 RMS 變化。將偵檢器之雜訊限制乘以系統之校正光譜，以成為與量測值單位相同之光譜，稱為「雜訊等效

輸入，NEI”。記錄於試驗報告中之量測值，為量測光譜與 NEI 之每個波長中較高值。

B.2.2 儀器之光譜輻射響應

光譜響應之形狀(狹縫函數)及量測間距與頻寬之比值，將決定系統能否在窄光譜範圍內量測訊號，例如原子發射譜線(參考 Kostkowski, 1997 之第 5 章)。

具備完美三角形光譜響應(狹縫函數)之單光輻射計，用於量測間距在頻寬中均勻分布之量測系統時，無論光譜形狀為何，將可準確量測所有訊號(參考 CIE 63:1984 之 1.8.4.2.1，或 Kostkowski, 1997 之 5.9)。由儀器所產生之偏差可能對能量之量測造成誤差。量測系統之光譜響應需透過窄波長輻射源以高光譜解析度之量測決定。當設定於單波長時，量測光譜須與輻射源之波長對稱，以代表系統之響應。量測系統對各量測波長頻譜響應總和之準確度，即為在窄頻訊號準確量測能量之能力。頻譜響應總和之偏差為總量測訊號之潛在誤差，須納入不確定度分析。

儀器之特性將影響危害評估之結果。單光輻射計之頻寬將改變任何光譜在位準變動下之加權結果，所有頻寬有限之儀器對錯誤之波長量測訊號時，將導致加權暨加總計算之誤差。

加權暨加總計算時，在不確定度上界為 2% 下之建議頻寬，如表 B.1 所示。

表 B.1 建議之頻寬

波長範圍 (nm)	頻寬 (FWHM)
$200 \leq \lambda \leq 400$	$\leq 4 \text{ nm}$
$400 \leq \lambda \leq 600$	$\leq 8 \text{ nm}$
$600 \leq \lambda \leq 1,400$	$\leq 20 \text{ nm}$
$1,400 \leq \lambda$	無頻寬之限制

可藉由對輻射源光譜進行更完整之分析，進而放寬建議之頻寬準確度，分析之結果應納入量測不確定度之評估。

備考：在光譜掃描期間即對信號進行積分之量測系統，光譜響應形狀或量測間距與頻寬之比值將不對總功率之量測造成誤差，但使用此類型之儀器時，大頻寬仍將對加權結果造成誤差。

B.2.3 波長準確性

用於測定輻射源光譜外形之儀器，其波長準確度對於加權值之影響極大。以 UV 危害加權函數 $S_{UV}(\lambda)$ 大幅度改變為例，例如波長在 300 nm 處、於 3 nm 之範圍內變化幅度達 250%。若欲達成合理之誤差限制，則量測能量時須指定合適之波長間距，並經適當加權。

表 B.2 所示之範例，顯示當波長間距改變 0.1 nm 時，量測間距對加權結果所產生之變化，依假設分光輻射計具備三角形光譜響應、2 nm 之頻寬及 1 nm 之量測間距等條件，計算量測值。依 B.2.2 所述之原理，量測值之總和相等，而譜線產

生偏移，波長改變 0.1 nm 則加權量測值產生 2 ½% 之變化，當儀器發生 0.1 nm 之波長誤差時，即可能發生量測之誤差。

表B.2 因波長誤差而造成加權誤差之例

nm	$S_{UV}(\lambda)$	305 nm		305.1 nm		總和之比率
		量測值	加權值	量測值	加權值	
304	0.08485	0.25000	0.02121	0.22500	0.01909	
305	0.06000	0.50000	0.03000	0.47500	0.02850	
306	0.04540	0.25000	0.01135	0.27500	0.01249	
307	0.03436	0.00000	0.00000	0.02500	0.00086	
總和		1.0000		1.0000		≥ 100 %
總和			0.06256		0.06094	≥ 97.4 %

$S_{UV}(\lambda)$ 為 UV 危害加權函數。

用於評估風險類別之單光輻射計，其波長準確度應滿足：加權結果因波長不準確所導致之誤差低於 3%，因此，所需之準確度取決於光譜之範圍與所採用之加權函數。誤差約 3% 時建議之波長準確度，如表 B.3 所示。

表B.3 建議之波長準確度

波長範圍 (nm)	波長準確度
$200 \leq \lambda \leq 300$	0.2 nm
$300 \leq \lambda \leq 325$	0.1 nm
$325 \leq \lambda \leq 600$	0.2 nm
$600 \leq \lambda \leq 1,400$	2 nm

可藉由對輻射源光譜進行更完整之分析，進而放寬建議之頻寬準確度，分析之結果應納入量測不確定度之評估。

B.2.4 雜散輻射功率

分光輻射計之絕對值校正，須使用寬頻光譜輻射輸出之高能量輻射源。若光譜雜散訊號之消除不充分，則校正時將包含來自光譜其他部分之額外能量，此種類型之誤差將使分光輻射器之校正失準，並造成評估風險類別之讀值降低。總能量與通過單光輻射計訊號之典型比率為 10^4 ，為達成 1% 之準確度，消除頻帶外光輻射之規模須達到 10^6 (參考 CIE 63: 1984)。

B.2.5 光譜輻射照度量測用輸入光學系統：建議使用

單光輻射計所使用之一般輸入光學系統存在許多討論議題。校正用輻射源與受測輻射源可不具備相同之偏振特性，亦不具備導致入射角偏差之相同尺寸，因此受測輻射源同時具備大、小之角距，此差異可能導致錯誤之量測結果。由於

塗層之隨機反射使人射光發生偏振現象，而合宜之設計可儘可能接近餘弦響應，此外積分球內之多次反射將使輻射計之輸入端充滿光輻射，且 UV 偵檢器之餘弦響應為更困難之問題，基於上述理由，進行輻射照度量測時，建議以積分球作為單光輻射計之輸入裝置。

設計合宜之擴散器亦可作為單光輻射計或輻射計之輸入裝置。

B.2.6 線性

受測之個別光源或裝置，應假設其輻射程度與量測系統之校正用輻射源不同。為達成校正之有效性，須了解量測系統之線性程度，且須於線性之範圍內量測。存在量測系統內之非線性因素可透過校正函數加以修正，使其達成線性，但須留意校正及量測皆須進行修正。

B.3 校正用輻射源

在 UV 之範圍，建議以氘氣放電光源(deuterium discharge lamp)作為校正用輻射源，較長之 UV 波長、可見光及近紅外光之光譜，則適用鎢絲或鎢絲鹵素校正用光源。氘氣放電光源在光譜形狀不變下，其光輻射輸出位準仍可能變化，因此，量測系統在 200 nm 至 350 nm 範圍以氘氣放電光源進行校正時，應以 250 nm 至 350 nm 之鎢絲燈(或鎢絲鹵素燈)作為比較基準，進行調校，當波長低於 250 nm 時，考量鎢絲燈(或鎢絲鹵素燈)在此波段之雜訊，校正時應採用氘燈之光譜形狀。

附錄 C
(參考)
不確定度分析

不確定度分析需針對所有不確定性之來源進行量化評估。不確定度分析之首要步驟，係確定各項不確定性之來源。為決定光源及光源系統之風險類別所進行之量測，其不確定度可參考下列項目進行評估。細節可參考 CIE 53:1982, *Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers*。

儀器

波長

光輻射頻寬

輻射光譜變化之響應

線性度

穩定度

雜散光

路徑外

頻帶外

校正

標準(指定不確定度)

距離

配置

與電相關之操作

量測

配置

距離

受測輻射源

穩定度

溫度

尺寸

與電相關之操作

須找出或評估個別之不確定度因子。各項因子需透過量測而展開，以找出對決定風險類別之加權值所造成之影響性。如 5.3.3 所述，對加權值影響之百分比，可能與個別因子之不確定度百分比不同。以白熾光源為例，光輻射輸出之變化為輸入電流之函數，輸入電流之變化使光源之電能消耗改變，進而改變光源之電阻及溫度，光源之總光輻射輸出不隨輸入電流之改變而產生線性之變化，由於溫度改變，單波長之光輻射輸出不隨總光輻射輸出而變化，即使變化並非線性，對於微小之變化仍可視為線性。一般展開不確定度之方法，係找出最終值之變化量相對於初始因子之變化。以白熾光源為例，光源輸入電流之微小百分比變化，對特定波長之光輻射輸出所產生之變化，如下

表所示。

表C.1 不確定度展開之例

	光源輸入電流	在300 nm波長下之光輻射輸出
設定條件1	8.2000	8,451
設定條件2	8.2011	8,461
變化率	0.0134%	0.118%

靈敏度為 $0.118\% / 0.0134\% = 9$ 。

電流 0.1%之不確定度，對在 300 nm 波長下之光輻射輸出所產生之不確定度為 0.9 %。

各項不確定度須由最終值進行計算，並以百分比表示。

總體不確定度為各項不確定度之平方和取平方根值，以百分比表示，並連同量測值一併記錄於試驗報告中。

附錄 D

(參考)

參考資料

- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). TLVs and BEIs; Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents; Biological Exposure Indices. Cincinnati, ACGIH.
- ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America) RP27.1-96. Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – General Requirements. New York, IESNA 1996.
- ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America)RP27.2-00. Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – Measurement Systems – Measurement Techniques. New York, IESNA 2000.
- ANSI/IESNA (American National Standard Institute / Illuminating Engineering Society of North America) RP27.3-96. Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – Risk Group Classification & Labeling. New York, IESNA 1996.
- CIE 134/3 1999 Recommendation on Photobiological Safety of Lamps. A review of standards. In CIE Collection in Photobiology and Photochemistry (1999). CIE x016-1998 Measurements of Optical Radiation Hazards.
- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Guidelines on UV radiation exposure limits. Health Physics 71, 978, (1996).
- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) Guidelines on limits of exposure to broadband incoherent optical radiation (0.38 to 3 μm). Health Physics 73, 539-554, (1997).
- IEC/TR 60825-9 Safety of laser products, Part 9: Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation, 1999.
- IRPA/INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee). Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent optical radiation). Health Physics 49, 331-340, (1985) and 56, 971-972, (1989).
- KOSTKOWSKI, H.J. Reliable Spectroradiometry. Spectroradiometry Consulting, La Plata, MD (1997). SLINEY, D.H. and WOLBARSHT, M.L. Safety with Lasers and Other Optical Sources. Plenum, New York (1980).

相對應國際標準

IEC 62471: 2006 Photobiological safety of lamps and lamp systems