

眩光测试标准和测量技术

阮亚飞

上海科涅迹光电技术有限公司

摘要: 本文详细介绍了不同照明环境中眩光评价的国内外标准以及眩光检测技术的发展和现状。目前室内体育场馆的眩光评价到底应该采用 UGR 还是 GR 更为合理, 建筑采光中窗户造成的眩光应该采用 DGI 还是 DGP 目前还没有定论。成像亮度计虽然已经逐步应用到眩光的现场检测中, 然而其眩光测试结果是否和实际眩光程度相吻合还缺乏相应的依据, 因此还需要进行大量的工作进行实验和评估。

关键词: 眩光 照明 亮度计

一、 研究背景

随着 LED 在室外道路、室内办公场所、体育场馆等的广泛应用, 在现场照明环境中高亮 LED 造成的眩光的影响越来越突出。使得眩光成为照明环境和灯具质量评价的重要指标, 如欧盟 EN13201^[1]规定了道路阈值增量 TI 的测试方法和评价指标, CIE147-2002^[2]规定了室内照明环境下根据灯具发光面大小或对应的立体角大小下所应采用的眩光评价指标(小光源模型采用 UGR_{small} 、大光源模型采用 GGR, 普通灯具大小采用 UGR)。国内标准如 GB50033-2013^[3]规定了窗的不舒适眩光采用 DGI 评价, GB50034-2013^[4]统一采用 UGR 评价室内眩光, CJJ45-2006^[5]规定了道路的评价方法和评价指标。

虽然早在上世纪基于眩光理论的研究基本完善, 但是由于测量技术的限制, 早期的眩光测量是一项非常耗时耗力的复杂工程。而随着点式亮度计和成像亮度计的出现逐步使眩光的现场测试成为可能。本文将从眩光的标准出发讨论目前眩光测试存在的问题。

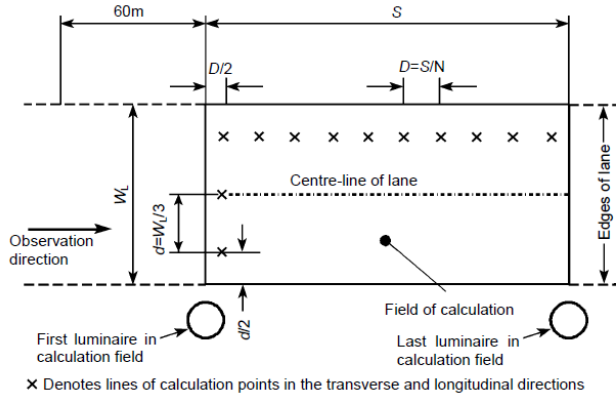
二、 眩光测试的国内外标准

眩光根据对人眼造成的视觉影响主要分为两类: 失能眩光和不舒适眩光。而针对不同的照明环境, 所采用的眩光评价方法也存在着区别:

		国内标准	国外标准
室外照明	道路照明	CJJ45-2006 城市道路照明设计标准	EN13201 CIE140-2000
	隧道照明	JTJ026.1-1999 公路隧道通风照明设计规范	CIE88-2004
	室外体育场馆照明	JGJ153-2007 体育场馆照明设计及检测标准 GB50034-2013 建筑照明设计标准	CIE112-1994 EN12193 EN12464-2
室内照明	室内照明	GB50034-2013 建筑照明设计标准	CIE117-1995 CIE146/147-2002
	室内采光	GB50033-2013 建筑采光设计标准	BS8206-2: 2008
	室内体育场馆照明	JGJ153-2007 体育场馆照明设计及检测标准 GB50034-2013 建筑照明设计标准	EN12193 EN12464-1

2.1 道路照明测试标准

道路照明中的眩光评价主要采用阈值增量。在CIE 31-1976^[6] "Glare and uniformity in street lighting"中给出了阈值增量作为室外失能眩光评价的Holladay公式。CIE140-2000^[7] "Road lighting calculations"中详细规定了道路照明的测量方法：



1. 驾驶员在行驶时眼睛高度为1.5m；
2. 观察区域为驾驶员行驶方向水平向下0.5° 到1.5° 的路面区域，近似为当前路面60m到160m左右的路面区域；
3. 驾驶员观察方向为视场水平方向向下1° ；
4. 路面亮度分析的布点方式为：路面分析区域小于等于30m时，纵向方向取样点为10个，大于30m时取样间隔大于3m，横向为3列；
5. 由于车窗上沿遮挡了人眼的视场，所以在进行眩光计算时，需要排除20° 视场线以上的区域路灯对计算结果的影响。

欧盟EN13201-3中关于眩光TI的表达式为：

$$TI = \frac{65}{(\text{average road luminance})^{0.8}} \times L_V \%$$

$$L_V = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2} = \frac{E_1}{\theta_1^2} + \frac{E_2}{\theta_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\theta_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\theta_n^2}$$

θ_k 表示观察者的视线与观测者至第k个灯具中心的连线所形成的角度，角度范围为1.5° 到60° 。路面亮度范围为0.05 cd/m²到5cd/m²

欧盟标准对于TI计算除了以上的要求和CIE140-2000相同外，还对每个灯具对光幕亮度的贡献做出了要求，每排灯具的范围只延伸到500m，直到该排中一个灯具对光幕亮度的贡献小于该排中前述灯具对光幕亮度总贡献的2%。

国内关于道路照明的标准为行业标准CJJ45-2006《城市道路照明设计标准》，与CIE和欧盟标准相比，国内标准保留了照度的评价指标（平均照度和照度均匀性）

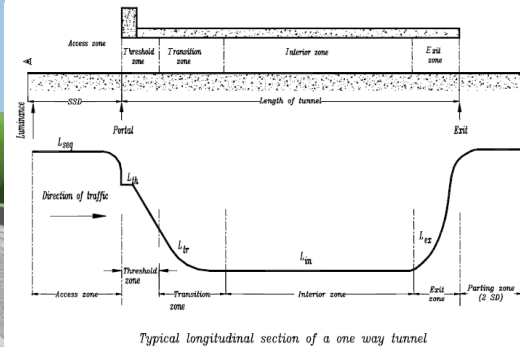
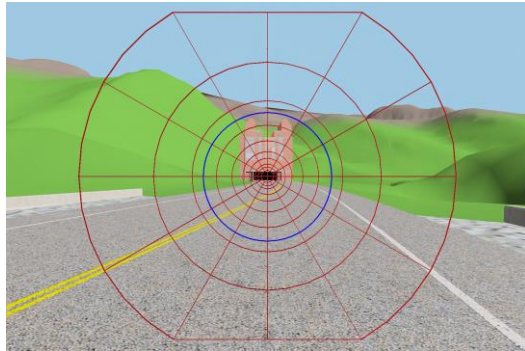
我国道路照明标准（CJJ45-2006 城市道路照明设计标准）

级别	道路类型	路面亮度			路面照度		眩光限制阈值增量 TI(%)	环境比 SR
		平均亮度 Lav	总均匀度 U ₀	纵向均匀度 U _L	平均照度	均匀度 U _E		
I	快速路、主干路	1.5/2.0	0.4	0.7	20/30	0.4	10	0.5

II	次干路	0.75/1	0.4	0.5	10/15	0.35	10	0.5
III	支路	0.5/0.75	0.4	-	8/10	0.3	15	-

2.2 隧道照明评价标准

隧道照明和道路照明都是基于亮度作为评价标准，与道路照明的区别在于对隧道不同路段进行了区分，并且根据车流量和车速规定了相应的亮度标准。白昼时需要测试洞外100m时视场20°范围内的平均亮度。进入洞内需要分别测量入口段、过渡段、中间段以及出口段的亮度。



CIE88-2004^[8]“Guide for the lighting of road tunnels and underpasses”除了规定需要测量洞外路面亮度，还需要测量洞内左右两侧2m高范围内的墙壁亮度，左右两侧隧道墙壁的平均亮度至少要大于对应路面平均亮度的60%。

Tunnel walls form part of the background for the detection of obstacles in the tunnel; they contribute to the adaptation level and to the visual guidance. Therefore, the luminance of the tunnel walls is an important component for the quality of the tunnel lighting. The average luminance of the tunnel walls, up to at least a height of 2 m, must be at least 60% of the average road surface luminance at the relevant location.

与道路照明相同，CIE还要求了隧道在过渡区和中间段的阈值增量小于15%，路面亮度低于5cd/m²时，TI的计算公式和道路照明相同，路面亮度大于5cd/m²时采用另一个TI计算公式

The threshold increment TI must be less than 15% for the threshold, the transition and the interior zones of the tunnel at daytime and night-time. For the exit zone during daytime no restriction is given. The following formula shall be used to calculate TI :

$$TI = 65 (L_v / L_r^{0.8}) \text{ for } L_r \leq 5 \text{ cd/m}^2$$

$$TI = 95 (L_v / L_r^{1.05}) \text{ for } L_r > 5 \text{ cd/m}^2$$

国内关于隧道照明的标准为行业推荐性标准JTG/T D70/2-01—2014^[9]《公路隧道照明设计细则》，基于交通运输部对原有的《公路隧道通风照明设计规范》进行了修订和扩充，将照明设计规范部分独立出来。该标准采用CIE88-2004除了基于亮度的评价指标外，保留了照度的评价指标。唯一遗憾的是TI的评价指标没有纳入国内标准。

标准中对于洞外亮度精度的要求相对较低，亮度精度在±25%的范围内即可满足要求。超过25%需要调整照明系统的设计。

2.3 体育场馆照明

体育场馆分为室内场馆和室外场馆，CIE112-1994^[10]“Light and lighting. Lighting of work places. Indoor work places”规定了室外体育场馆眩光评价采用眩光指数GR表示眩光程度，：

$$GR = 27 + 24 \lg (L_{v1} / L_{ve}^{0.9}) \quad (3.2)$$

GR stands for "Glare Rating". The lower the value of GR, the better the glare restriction. In the original experiments which have led to this concept, a glare control mark GF was used which related to the glare assessment scale given in Table 3.1 [8]. The glare rating GR can be calculated from the glare control mark GF using the following equation:

$$GR = (10 - GF) \cdot 10 \quad (3.3)$$

L_{v1} 、 L_{ve} 分别为灯具在观察者眼睛上产生的光幕亮度和环境反射光形成的背景光幕亮度，GF代表泛光灯具的眩光控制指数，GF和GR的评价尺度分为9级，如下图所示：

Nine-point glare assessment scale

glare control mark GF		glare rating GR
1	unbearable	90
2		80
3	disturbing	70
4		60
5	just admissible	50
6		40
7	noticeable	30
8		20
9	unnoticeable	10

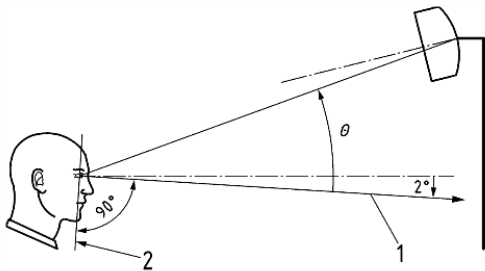
CIE还提出了室外体育场馆最大眩光指数限制：训练场地要求小于55，比赛场地（包括电视转播）要求小于50。

Sports Lighting

Type of application	GR_{max}
Lighting for Training Purposes	55
Lighting for Competition Purposes (including CTV broadcasting)	50

(*) For viewing tasks of decisive importance on working areas it may be advisable to use maximum glare rating values of GR_{max} 5 units lower than those specified.

欧盟的 EN12464^[11] "Light and lighting—Lighting of work places—part2: outdoor work places"规定了室外不同工作环境下的眩光评价指标，并且规定了 GR 测量时观察者采用的视线方向（水平向下 2° ）。



1 为观察者的视线方向

2 为眼睛接收的垂直面照度的平面

EN12193^[12] "Light and lighting—Sports lighting"将体育场馆的眩光评价分为两种，室内体育场馆和室外体育场馆，室外体育场馆采用 CIE112-1994 的眩光评价公式 GR。

Glare rating values (GR) used in the tables of requirements in Annex A apply. The glare rating shall be calculated for agreed observer positions and angles of view.

NOTE CIE Publication 112 has been taken into account to define the GR values for most sports.

$$GR = 27 + 24 \log \left(\frac{L_{v1}}{L_{ve}^{0.9}} \right) \quad (2)$$

对于室内体育场馆，EN12193 建议采用 UGR 作为眩光评价标准。室内体育场馆的标准值可以参考和 EN12464-1（6.2.24）规定的相似的工作场景。

5.8.2 Indoor

NOTE 1 Some measures for limiting glare may be taken from CIE Publication 117.

Measures for limiting glare have been developed for working areas mainly with a horizontal viewing direction and a regular layout of ceiling mounted luminaires. It may be necessary, therefore, to take additional measures for limiting glare in indoor sports facilities, depending on the type of sports.

NOTE 2 For example, the risk of glare caused by high brightness light sources in the player's field of view at some critical point in the game, can require special attention to the positioning and screening of light sources to avoid this effect. On the other hand, the viewing direction of a sports participant is constantly changing, whereas in working areas, discomfort glare is aggravated by a relatively fixed viewing position and direction. In indoor sports facilities however, there can be frequently occurring viewing directions for some sports, where discomfort glare should be limited as far as possible. For these sports, additional notes are added to the tables of requirements in Annex A.

In situations similar to working conditions described in EN 12464, glare should be evaluated using the unified glare rating (UGR) method. The limiting value shall be equivalent to those specified in EN 12464-1.

此外，不同体育项目的国际组织也规定了相应的眩光指标，如国际足联 FIFA^[13]在 2011 年出版的“Football Stadium: Technical recommendations and requirements”要求各级足球场眩光 $GR \leq 50$ ；国际田联和国际网球联合会也要求场馆的眩光 $GR \leq 50$ 。

国内关于体育场馆眩光评价的行业标准为 JGJ 153-2007^[14]《体育场馆照明设计及检测标准》，与欧盟 EN12193 不同之处在于室内体育场馆眩光仍然推荐采用 GR 的评价方法。由于室内体育场馆在背景亮度、光源立体角以及灯具布置方面与室外体育场馆存在着很大的差异，室内体育场馆的 GR 值要大大低于室外体育场馆。所以 JGJ153-2007 以及 GB50034 推荐了室内体育场馆眩光评价等级和眩光指数值。

表 15 眩光评价分级

眩光评价等级 GF	眩光感受	眩光指数 GR	
		室外	室内
1	不可接受	90	50
2	—	80	45
3	有干扰	70	40
4	—	60	35
5	刚刚可接受	50	30
6	—	40	25
7	可察觉	30	20
8	—	20	15
9	不可察觉	10	10

表 16 推荐的体育照明眩光指数

应用类型	GR_{max}	
	室外	室内
业余训练和娱乐照明	55	35
比赛照明(包括彩色电视转播)	50	30

2.4 室内照明评价标准

室内眩光属于不舒适眩光，CIE117-1995^[15]“Discomfort glare in interior lighting”采用了统一眩光指数 UGR 作为室内眩光的评价指标。UGR 适用于简单立方体形房间的一般照明装置设计，不适用于采用间接照明和发光天棚的房间，室内光源要求在观察者方向形成的立体角范围为 $0.1 \geq sr \geq 0.0003$

The domain of the data used to develop the UGR system was limited and restricted to sources which have a maximum subtense at the eye of 0,1 steradian (say, a 1m square luminaire, seen from about 3m). Further, discomfort glare for very small sources is determined by intensity rather than by luminance, so the UGR system should not be used for sources smaller than 0,0003 steradian (say, an incandescent downlight seen from about 10m).

观察者眼睛的高度坐姿为 1.2m，站姿为 1.7m

From the mounting height of the luminaires above the floor, the eye height of the observer is subtracted to give H . The eye height of a seated observer is normally 1,2 m and for a standing observer 1,7 m. The dimensions of the room are converted into dimensions in terms of H , respectively x and y (see Figure A2).

CIE147-2002 “Glare from small, large and complex sources” 定义了小光源、大光源和复杂光源的眩光计算模型。CIE S 008/E-2001^[16] “Lighting of indoor workplaces” 和 EN12464-1 规定了不同室内工作场所的眩光评价指标。需要指出的是 CIE 和欧盟的标准对教育建筑中的“运动厅、体操房、游泳池”均采用室内 UGR 的评价方法。

28. Educational buildings			
Play school room	300	19	80
Nursery class	300	19	80
Nursery craft room	300	19	80
Classrooms, tutorial rooms	300	19	80
Classroom for evening classes and adults education	500	19	80
Lecture hall	500	19	80
Black board	500	19	80
Demonstration table	500	19	80
Art and craft rooms	500	19	80
Art rooms in art schools	750	19	90
Technical drawing rooms	750	16	80
Practical rooms and laboratories	500	19	80
Teaching workshop	500	19	80
Music practice rooms	300	19	80
Computer practice rooms	500	19	80
Language laboratory	300	19	80
Preparation rooms and workshops	500	22	80
Student common rooms and assembly halls	200	22	80
Teachers rooms	300	22	80
Sports halls, gymnasiums and swimming pools	300	22	80

国标 GB/T26189-2010^[17] “室内工作场所的照明” 等同采用了 CIE S 008/E-2001 的标准。而国标 GB50034-2013 “建筑照明设计标准” 规定了不同室内工作场所采用 UGR 作为评价标准，室内体育馆和室外体育馆均采用 GR 作为眩光评价标准。

2.5 建筑采光评价标准

在建筑采光设计中，需要考虑由白昼窗户引起的眩光。目前主要的评价方法有两种：DGI 和 DGP。DGI 最早是由 Petherbridge 和 Hopkinson^[18]在 1950 年提出的 BGI 公式改进而来，由于 DGI 的评价指标最早是从大面积人工光源结果上引进的，所以它只能有效的评估 DGI 数值在 16 到 28 范围内的眩光情况。它的结果通常会高于实际环境中的眩光值。国标 GB50033-2013“建筑采光设计标准”采用了 DGI 作为窗的不舒适眩光评价标准：

B.0.1 窗的不舒适眩光指数 (DGI) 可按下列公式进行计算。

$$DGI = 10 \lg \Sigma G_n \quad (B.0.1-1)$$

$$G_n = 0.478 \frac{L_s^{1.6} \Omega^{0.8}}{L_b + 0.07 \omega^{0.5} L_s} \quad (B.0.1-2)$$

$$\Omega = \int \frac{d\omega}{p^2} \quad (B.0.1-3)$$

$$p = \exp [(35.2 - 0.31889\alpha - 1.22e^{-2\alpha/9})10^{-3}\beta + (21 + 0.26667\alpha - 0.002963\alpha^2)10^{-5}\beta^2] \quad (B.0.1-4)$$

DGP 的评价方法是由 Wienold 和 Christoffersen^[19]在 2006 年提出。其借助 CCD 成像亮度计，根据人眼对白昼眩光的主观感觉和提出了窗的不舒适眩光改进公式 DGP。目前国内的一些研究机构或大学也采用了 DGP 的评价方式，如西工大的马智^[20]等采用 DGP 的评价方法研究飞机驾驶舱的白昼眩光。同济大学的李峥嵘^[21]等采用 DGP 的评价方法研究办公建筑的白昼眩光。

三、 眩光测试方法

虽然眩光理论研究在上个世纪已经趋于完善。受限于测量技术的发展，对于眩光的现场评价直到最近两年才成为现实。以室内 UGR 为例我们来介绍一下眩光测试技术的发展。

CIE117-1995 定义的 UGR 计算公式为：

The CIE Unified Glare Rating (UGR) is given by the formula (see Figure 4.1):

$$UGR = 8 \log \left[\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right]$$

L_b 背景亮度

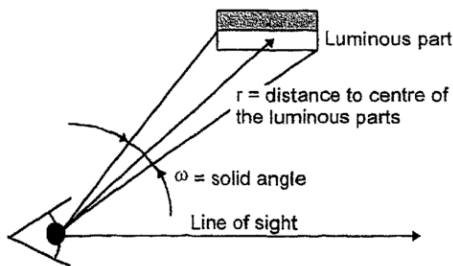
L : 灯具在观察者眼睛方向上的亮度

ω 为灯具在观察者眼睛方向上形成的立体角

p 为位置指数

3.1 基于照度的测量方法

首先需要测量灯具到人眼观察方向上的亮度，采用照度计和光阑（用于屏蔽背景光和其他灯具对测试结果的影响）的方法，测量灯具在观察者方向上的照度，根据照度、发光强度和亮度的转换关系计算得到观察者方向上的亮度。



$$L = \frac{I}{A_p}$$

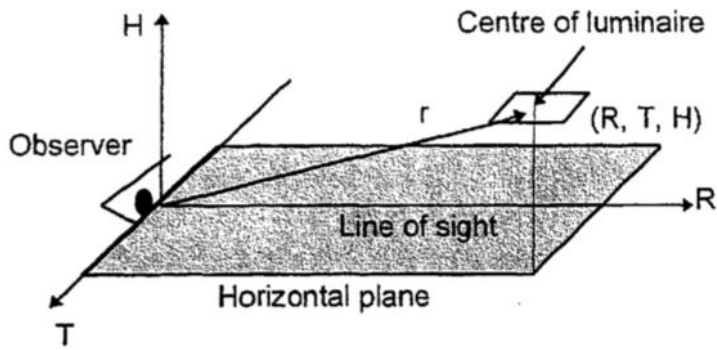
其次采用照度计测量人眼接收到的照度，减去上一步中得到的灯具照度，根据以下关系计算背景亮度

$$L_b = \frac{E_i}{\pi}$$

根据灯具的投影面积和观察者到灯具中心的距离，计算得到灯具在人眼方向上的立体角。

$$\omega = \frac{A_p}{r^2}$$

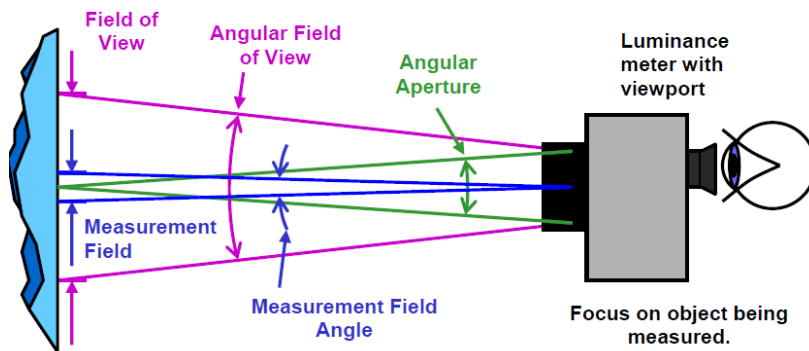
根据灯具到人眼视线方向水平距离 T 、灯具到人眼的视线方向垂直距离 H 和人眼到灯具投影距离 R ，查找 g_{uth} 位置指数表得到 p 的值。



根据 CIE 计算方法，立体角、古斯位置指数相对容易确定，而采用照度计对光源亮度和背景亮度进行现场测量几乎是无法实现的。由于计算机技术的发展，计算机模拟软件可以根据灯具的配光曲线和 IES 文件得到灯具在观察者方向上的发光强度和灯具的投影面积，计算光源在人眼投影方向上的亮度，根据室内屋顶、强度、地面的反射率计算室内的背景亮度，由此可以得到灯具的规则房间内的理论 UGR 数值。

3.2 基于点式亮度计的评价方法

便携式点式亮度计的出现使光源亮度和背景亮度的现场测量成为可能。



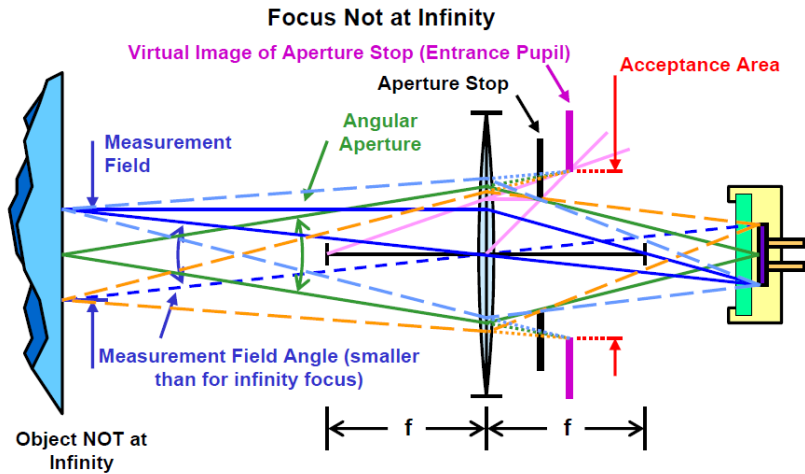
点式亮度计内部有不同的光阑控制测量视场的大小。测量时根据灯具的大小和灯具到观察者眼睛的距离选择合适的光阑，使亮度计的测量点位于灯具内部。测量时选择灯具发光面的不同位置测量，灯具亮度取测量点的平均值。背景亮度分别测量屋顶、墙壁典型位置的亮度。

灯具的立体角、古斯位置指数需要根据灯具的尺寸和安装位置 (T/H/R) 来确定。再根据光源亮度和背景亮度就可以实现室内 UGR 的现场测量。

目前点式亮度计如拓普康 BM-7、美能达 CS200 和远方 LM-3 瞄点式亮度计均可实现眩光的现场测试，然而由于室内灯具较多，每个灯具都需要进行多次瞄点测量，整个室内场所测试完成可能需要测量几十上百次。然后再根据每个灯具的位置分别计算每个灯具产生的眩光。一般一个测试项目可能需要花费一整天的时间，此外因为点式亮度计是对整个灯具发光面取点采样的方法进行测量。并不能完整地代表整个灯具的平均亮度和环境的背景亮度，因此在结果的重复性和准确性相对较差。

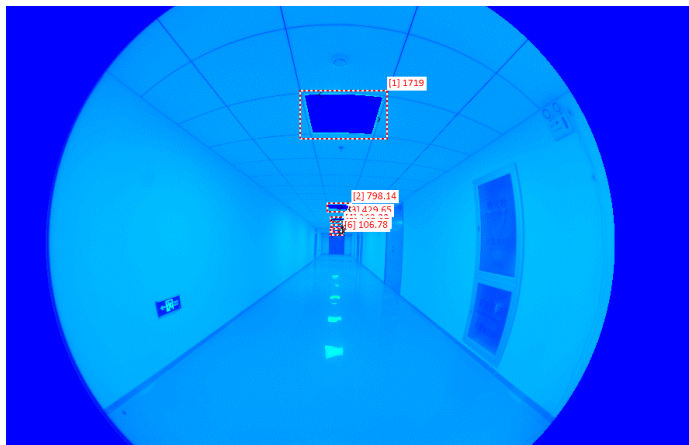
3.3 基于成像亮度计的评价方法

成像亮度计由于可以同时获得光源的亮度信息以及光源的位置信息，因此可以实现现场照明环境的快速测量。



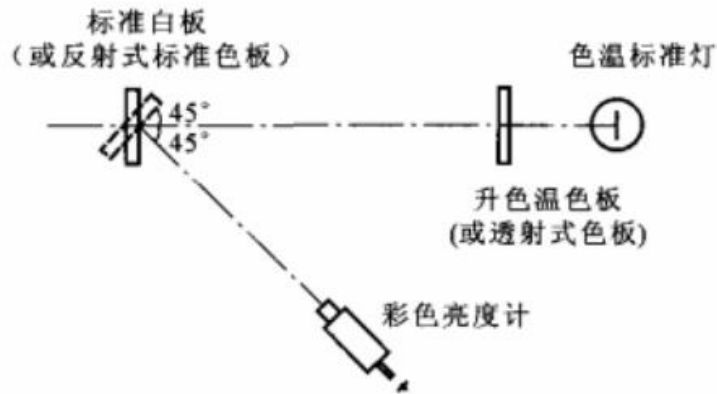
首先光源上某一点发出的光经过成像亮度计的镜头成像在 CCD 对应位置。物空间和像空间存在对应关系。因此可以得到光源发光面每一点的亮度信息。通过图像处理的算法将光源区域扣除可以直接得到整个环境的背景亮度。

在室内眩光测量中，成像亮度计的测量视场应满足人眼的观察视场（水平方向 143° ，竖直方向 124° ），因此需要采用大视场的鱼镜头对室内照明环境进行测量，由于鱼镜头采用特殊的畸变设计来获取较大的视场，导致空间光源在通过鱼镜头成像在 CCD 芯片上得到的坐标位置 (x, y) 与其在实际物体空间坐标位置 (H, T, R) 存在着很大差异，因此通过 CIE117-1995 标准通过查表法得到的古斯位置指数会存在加大的误差。而眩光亮度计一般通过采用对鱼镜头进行空间位置信息的校准，将每个像素对应的直角坐标系统转换为极坐标系统，并根据空间角度 (θ, ϕ) 来得到光源每个像素对应的古斯位置指数和立体角。



（Kernel-70D 拍摄于北京某单位地下室走廊）

目前国外如 Technoteam 的 LMK-Mobile、国内如科涅迹光电推出的 Kernel-70 眩光亮度计虽然已经逐步应用到道路、隧道、体育场馆和室内照明等不同现场环境的眩光检测中，然而根据 JJG211-2005^[22]“亮度计”检定规程，成像亮度计只采用光强灯和标准白板的方式检测亮度精度，而视场均匀性和角度精度没有对应的检定规程进行检测。因此成像亮度计的眩光测试结果是否和实际眩光程度相吻合还缺乏相应的依据。眩光测量的验证和比对还需要大量的工作去实验和评估。



四、 结论

国内外关于眩光的标准已经日趋完善，然而在一些具体的照明环境，关于照明环境评价指标和眩光的评价方法仍然存在着争议，比如 CIE 和欧盟均舍弃了道路照明中的照度评价指标，国内 CJJ45-2006 在采用亮度的指标外还保留了照度的评价指标。另外对于体育场馆，国内外标准均采用了照度作为场地照明和照明均匀性的评价指标，而鉴于亮度测量技术的发展和成熟，是否应当逐步将体育场馆的照度评价方法过渡到基于亮度的评价方式上。另外对眩光的评价方法，室内体育场馆到底应该采用 UGR 还是 GR 更为合理，建筑采光中窗户的不舒适眩光应该采用 DGI 还是 DGP 目前都还没有定论。而成像亮度计一旦在实际验证中确认其眩光测量结果和理论计算结果想吻合，其测量速度和亮度精度的巨大优势不仅可以促进由照度到亮度评价方法的进步，还可以推动眩光研究和现场评价的跨越式发展。

参考文献

- [1] EN13201-3-2003:Road lighting part3:calculation of performance
- [2]CIE147-2002: Glare from small, large and complex sources
- [3]GB50033-2013: 建筑采光设计标准
- [4]GB50034-2013: 建筑照明设计标准
- [5]CJJ45-2006: 城市道路照明设计标准
- [6] CIE 31-1976:Glare and uniformity in street lighting
- [7] CIE140-2000:Road lighting calculations
- [8] CIE88-2004:Guide for the lighting of road tunnels and underpasses
- [9] JTG/T D70/2-01—2014: 《公路隧道照明设计细则》
- [10] CIE112-1994: Light and lighting. Lighting of work places. Indoor work places
- [11] EN12464:Light and lighting—Lighting of work places—part2: outdoor work places
- [12] EN12193:Light and lighting——Sports lighting
- [13] FIFA2011:Football Stadium: Technical recommendations and requirements
- [14] JGJ 153-2007: 体育场馆照明设计及检测标准
- [15]CIE117-1995:Discomfort glare in interior lighting
- [16]CIE S 008/E-2001:Lighting of indoor workplaces
- [17] GB/T26189-2010: 室内工作场所的照明
- [18] P. Petherbridge and R. Hopkinson. Discomfort glare and the lighting of buildings. *Illuminating Engineering*, 15(39), 1950
- [19] J. Wienold and J. Christoffersen. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings*, 38(7):743-757, 2006
- [20] Zhi Ma and Wei Zhang. The Glare Evaluation Method Using Digital Camera for Civil Airplane Flight Deck. *EPCE/HCI 2013, Part II, LNAI 8020*, pp. 184-192, 2013
- [21]李峥嵘, 陆瑞阳, 赵群; 基于日光眩光特性的办公建筑遮阳使用需求分析; 建筑热能通风空调, 2014 年 04 期
- [22]JJG211-2005: 亮度计