

第二十九章 照明系統 (Illumination Systems)

一個聚光系統能將光源的能量傳送到投影鏡頭的入射瞳孔。其必須也要在底片上 (或其它被照明的物體) 提供均勻的照度。圓形均勻照度瞳孔也被假定隱藏在常見的給定在文字形式的照明公式裏 (Smith, 1966, E₉.8.11)。Smith 的方程式可以改寫如下：

$$E: \frac{TpB}{4[f^{\#}(m+1)]^2} = \text{影像產生的照度}$$

其中 T 為系統穿透率, B 為物體亮度 (明視度 luminance), $f^{\#}$ 為投影鏡頭的 f 數值, 以及 m 的其放大率的絕對值。

如果 A 為底片面積, 相對於非常大的投影距離而言 ($M \gg 1$); 螢幕的能量流 = $\frac{TpB}{4f^{\#2}}$ 流明

因此, 對於非常大的螢幕系統而言, 傾向於使用大形式的底片 (見附錄 A 的不同底片形式)。

雖然常見的透鏡最佳化程式是用來最小化像差, 這樣的程式仍然可以使用來設計折射聚光系統。有幾點要記住的：

1. 將孔徑設為底片位置。
2. 提供系統放率以使光源能充滿投影鏡頭的入射瞳孔。
3. 通常沒有漸暈。
4. 修正程式將大量的重點放在邊界的違反及少量放在影像誤差。
5. 由於通常為小光源, 二個視角應該足夠。
6. 在覓跡光源的長共軛時, 針孔畸變是不可忽略的。這是因為在入射瞳孔被照明的邊緣地區分量必須比中央為較大比例的光源地區。不幸地是, 大部分的光源在邊緣具有比中心較少的亮度。
7. 這些系統罕有無色差的。

圖 29-1 顯示一個熔石英 (fuse quartz) 單位放大率的聚光器。其充滿孔徑為 0.5 吋的投影鏡頭。其為 $f/1$ 且將含蓋 2 吋直徑的底片。物體 (燈) 到第一鏡面的距離的 4.300。這個透鏡的資料給在表 29-1：

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	4.499000	0.250000	AIR
1	0.000000	0.481000	1.300000	QUARTZ C
2	-2.222000	0.037000	1.300000	AIR
3	2.222000	0.481000	1.300000	QUARTZ C
4	0.000000	0.247000	1.300000	AIR
AST	0.000000	3.862000	1.300000	A
IMS	0.000000	0.000000	0.329888	S

表 29-1 熔石英聚光器 1X

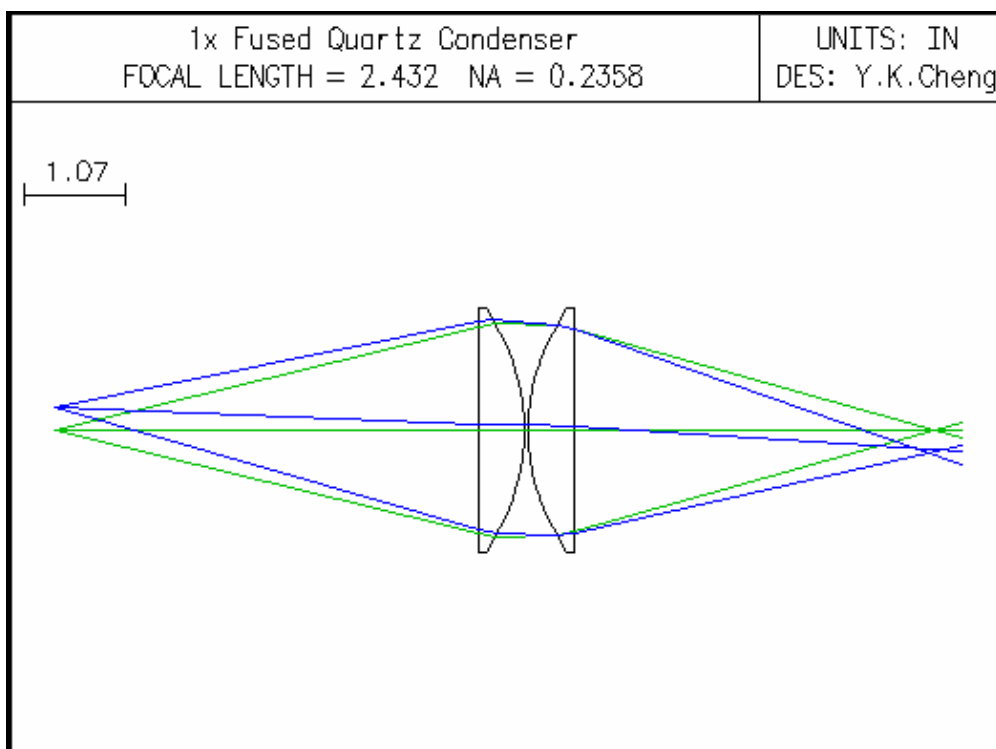


圖 29-1 熔石英聚光器 1X

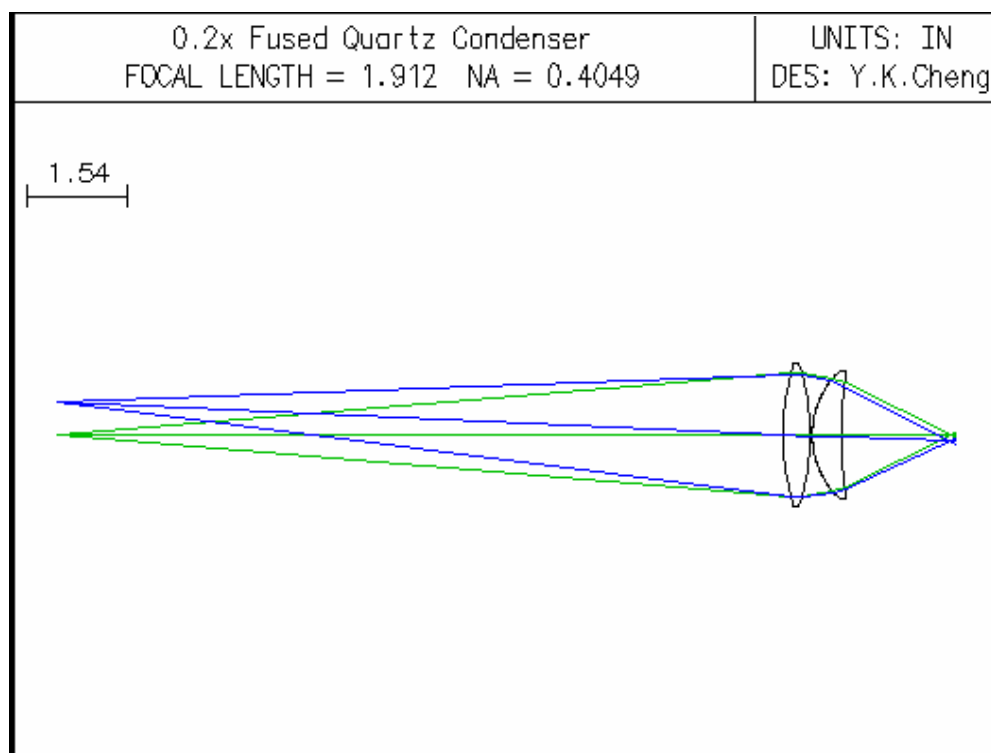


圖 29-2 熔石英聚光器 0.2X

EFL=2.424。第一鏡面到像距為 5.108。

在附錄 J 的 CONDENSER 程式對於設計此種聚光器是有用的。雖然其顯示大量的球差，這是一個簡單有效的聚光器。將球面變換成拋物面將大大改善設計。

圖 29-2 顯示一個 0.2 倍放大率的石英聚光器。其也是 $f/1$ 且將充滿 1 吋直徑的投影透鏡入射瞳孔。這個透鏡的資料給在表 29-2。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	11.033000	0.500000	AIR
AST	0.000000	0.200000	0.920000	AIR
2	3.635000	0.421000	1.090000	QUARTZ
3	-3.635000	0.035000	1.090000	AIR
4	1.319000	0.454000	0.960000	QUARTZ
5	6.269000	1.756000	0.840000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	0.140682	S

表 29-2 熔石英聚光器 0.2X

EFL=1.906。物體（投影透鏡孔徑）到第一鏡面距離為 11.234。這具有比前一系統較小的球差。令第三面（ $R=1.319$ ）為拋物面將減低球面像差。

在圖 29-3 顯示一個 $f/0.833$ 包含三個球面元件的 Pyrex 聚光器。其具有單位放大率且將含蓋直徑 1.8 的底片，足夠 35mmSLR 底片投影機用。焦距長為 2.059 這個透鏡的資料給在表 29-3。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	3.687700	0.250000	AIR
1	0.000000	0.350000	1.180000	PYREX
2	-3.000000	0.050000	1.180000	AIR
3	5.000000	0.400000	1.225000	PYREX
4	-5.000000	0.050000	1.225000	AIR
5	3.000000	0.350000	1.180000	PYREX
6	0.000000	0.250000	1.180000	AIR
AST	0.000000	3.200000	1.000000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	0.313610	S

表 29-3 Pyrex 聚光器

第一鏡面到像距為 4.489。物體（燈絲）到第一鏡面距離為 3.689。

注意到從光學圖形中這最後系統比前二個正確的多。在三個單位放大率的系統中，我們從燈覓跡到投影透鏡瞳孔，然而在 0.2 倍放大率系統我們從投影透鏡覓跡到燈絲。

通常，燈絲（或弧光）是放在球面反射鏡的曲率中心。這將從未被聚光器收集的能量改變方向回光源。然而，我的經驗指出這些反射鏡只增加小量的照度。這是因為現代的鎢鹵素燈中燈絲包的非常緊。這球面反射鏡成像回燈絲自己，包含少量的穿過。

DYS 燈是一個具有開放燈絲的例子。其為 600 瓦具有二根再聚焦基腳的燈。反射鏡以能使燈絲成像在燈絲上方一點點的方式調整。

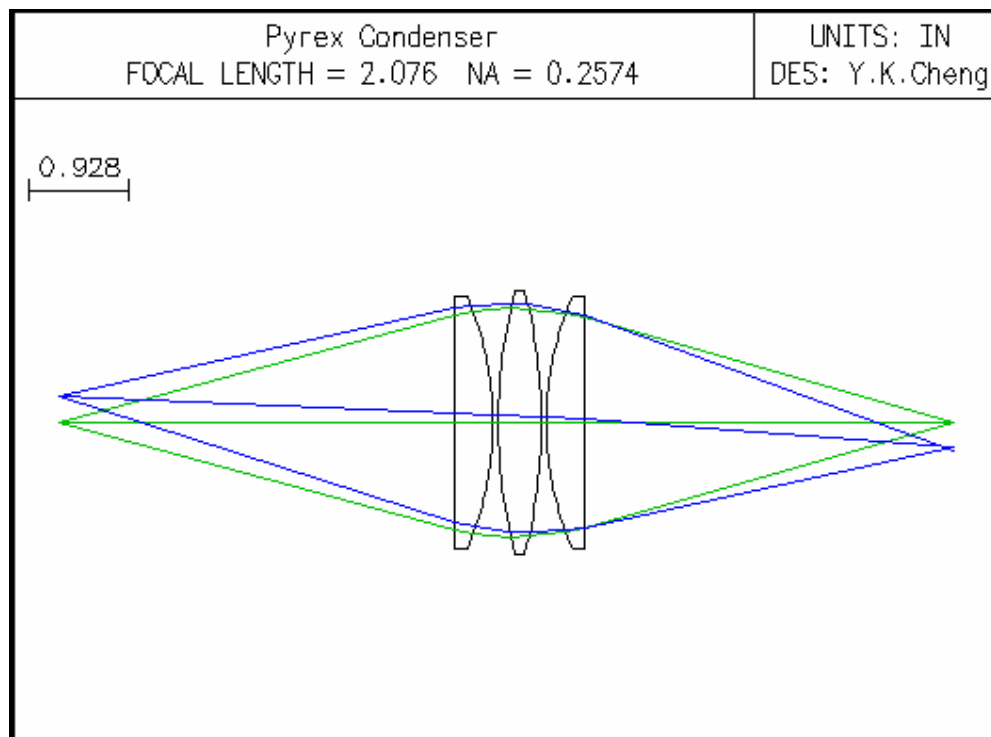


圖 29-3 Pyrex 聚光器

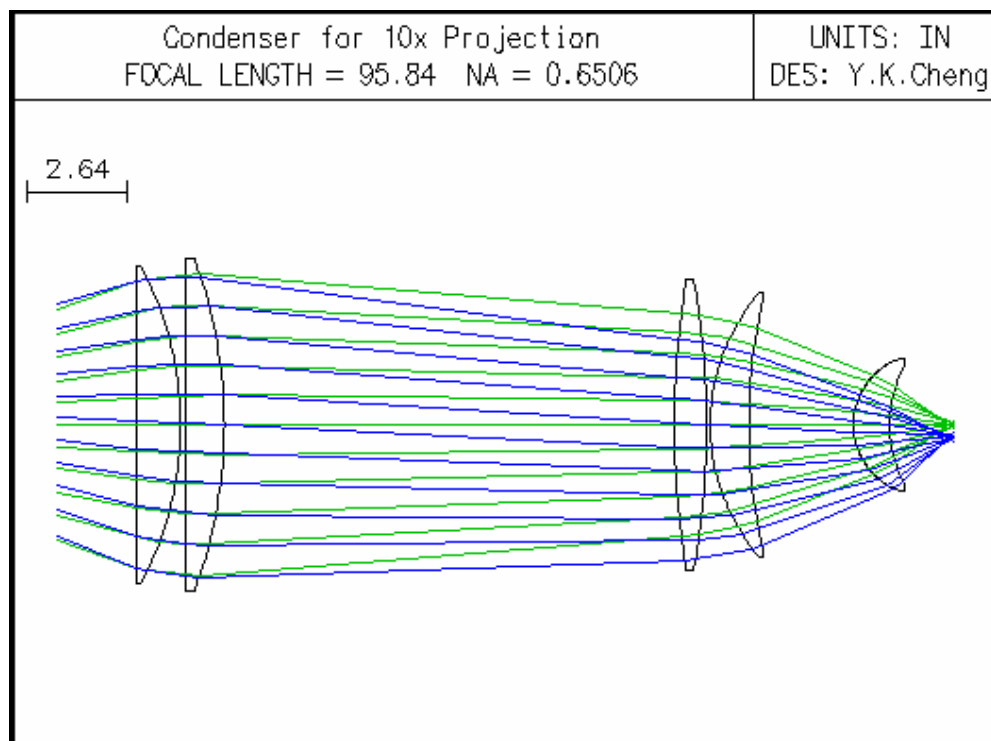


圖 29-4 幻燈片聚光器

有些鎢鹵素燈具有已建構在外殼的反射鏡。一個例子為 ANSI Code BCK。這是一個 500 瓦常使用在滑動投影機的燈。其具有色溫 3250k 及燈絲尺寸 0.425 × 0.405 吋。

Pyrex 是 Corning Glass Works 的一個商品名。相似的材質由 Schott (Duran) 和 Ohara (E-6) 製造。這些材質為使用中等功率燈泡的聚光透鏡的優先選擇。要移動超過紅外輻射，通常在聚光透鏡和燈泡間放置一熱吸收濾片。(有些設計甚至互開透鏡系統而將此熱吸收器放置在透鏡群組之內。) 一般的熱過濾片為 Schott KG 系列或 Corning 1-58, 1-59, 或 1-75。一個現代的趨勢為使用二色性 (dichroic) 熱再吸收器。隨著現代鍍膜技術，這提供了更有效率的系統。這些熱反射器是可用的如 0.125 吋厚的 Pyrex 材質庫存項目。其使用在正向入射或 45° 入射 (冷反射鏡)。後面的例子通常較有效率，且具有反射在光學系統之外熱量的優點。

圖 29-4 顯示一個設計來照明直徑 7.16 吋幻燈片聚光器系統。此幻燈片接著用 9.54 吋焦距， $f/8$ ，10 倍的透鏡來投影。由於這個聚光器系統具有 2 倍放大率，其光源直徑為：

$$\frac{9.54}{8(2)} = 0.596$$

因此在這裡可以使用 ANSI BCK 燈。圖 29-4 的透鏡資料給在表 29-4 中。

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	11.016400	0.596000	AIR
AST	0.000000	1.176000	4.200000 A	BK7 C
2	-8.903000	0.110000	4.200000	AIR
3	0.000000	1.049000	4.390000	BK7 C
4	-12.554400	11.939000	4.390000	AIR
5	23.463000	0.839000	3.850000	PYREX C
6	-23.463000	0.110000	3.850000	AIR
7	5.405200	1.030000	3.505000	PYREX C
8	15.921300	2.768000	3.410000	AIR
9	1.865400	0.958000	1.775000	PYREX C
10	3.322900	1.700000	1.580000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	0.447377 S	

表 29-4 幻燈片聚光器

物體到第一鏡面距離為 11。(物到幻燈片距則為 10.5。) 第一鏡面到像距為 21.676。此聚光器系統的焦距為 110.028。

這個聚光器的數值孔徑則為 $\frac{7.159}{10.5} = 0.6818$ 。

為了抗熱以及經濟效益，後端元件由 Pyrex 製造。然而，Pyrex (如同 Duran 和其他相似材質) 有大量的細紋和一些泡泡和雜質。前端二個元件，由於接近幻燈片，由 BK-7 製造。在這些元件和後端 Pyrex 透鏡間的大量空氣間隔包含一個折疊冷反射鏡。

對於很大的氙弧燈（如同動畫投影機）而言，一個更加有效率的系統為使用深橢圓反射鏡。燈泡放置在反射鏡軸上，弧光位於橢圓的焦點之一。這樣的系統具有收集遠超過上述討論的折射裝置能量的能力。其在近年來已由電鑄科技的建立而被實際製造。在這個過程，先製作鋼主模。其電鍍了約 2mm 厚的鎳且接著與主模分離。伴隨適當的控制，製作出低應力元件。內部的凹面再覆上鋁。

圖 29-5 顯示一個和弧光光源使用的橢圓反射器。這個反射器的參數如下：

軸上半徑	2.7064
離心率	0.853707
頂點到弧	1.46
頂點到像	18.00
放大率	12.67

其應該適用 7 仟瓦氙氣燈泡。這具有弧形尺寸 $1 \times 8\text{mm}$ 。

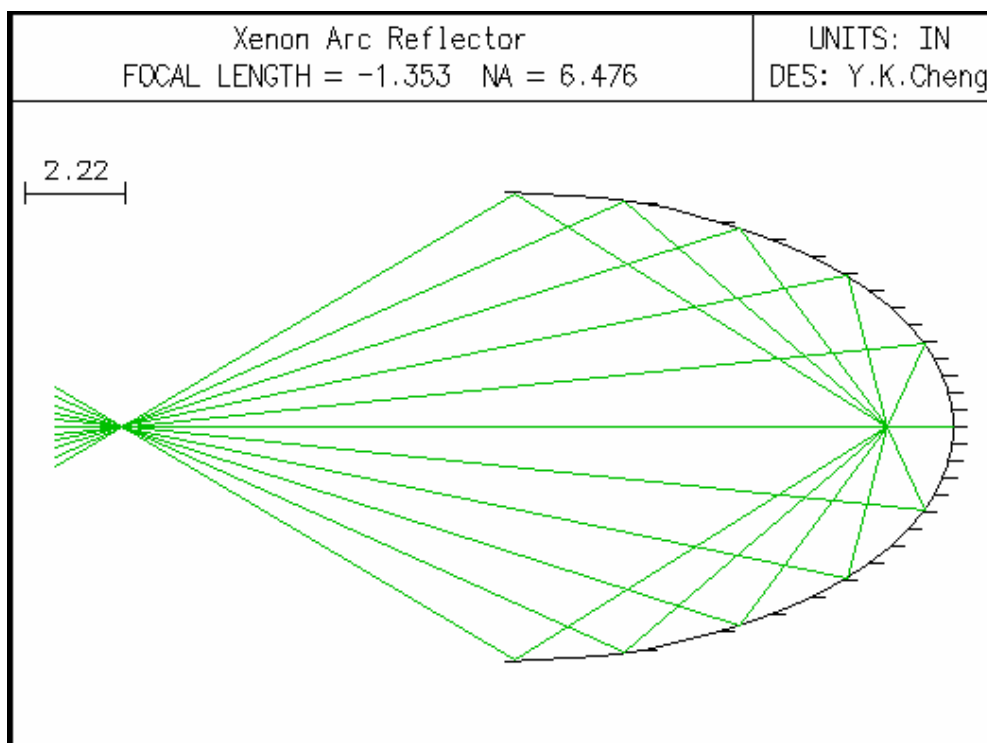


圖 29-5 橢圓反射器

這個將光源放置在橢圓反射器軸的縱軸上的相同觀念也用在小的鎢鹵素燈泡上，ANSI ENH 和 BHB。這些燈泡具有構成燈泡的二色鍍膜反射器且被廣泛使用在消費視聽產品。

參考文獻

- Brueggemann, H. P. (1968). *Conic Mirrors*, Focal Press, New York.
- Corning. (1984). *Color Filter Glasses*, Corning Glass Works, Corning, NY.
- DuPree, D. G. (1975). Electroformed metal optics, *Proceedings of SPIE* 65:103.
- General Electric. (1988). *Stage/Studio Lamps, SS-123P*, General Electric co., Cleveland, OH.
- Hanovia. (1988). *Lamp Data*, Hanovia Corp., Newark, NJ.
- Jackson, J. G. (1967). Light projection optical apparatus, U.S. Patent 3318184.
- Koch, G. J. (1951). Illuminator for optical projectors, U.S. Patents 2552184 and 2552185.
- Levin, R. E. (1968). Luminance, a tutorial paper, *SMPTE*, 77:1005.
- Optical Radiation. (1988). *Lamp Data*, Optical Radiation Corp., Azusa, CA.
- Sharma, K. D. (1983). Design of slide projector condenser, *Appl. Opt.* 22:3925.
- Smith, W. J. (1966). *Modern Optical Engineering*, McGraw-Hill, New York.
- Sylvania. (1977). *Sylvania Lighting Handbook*, GTE Sylvania, Danvers, MA.
- Wilkerson, J. (1973). Projection light source and optical system, U.S. Patent 3720460.