

天然採光

沈天行 編著

科學出版社

內 容 提 要

本書敘述了建築設計中天然採光的設計原理：影響陽光直射及天空中散射光的因素及其確定的方法，並結合了一些具體的建築如展覽館及工業建築等來說明設計天然採光的方法。

本書可作為高等學校的建築系中建築物理課的部分參考資料及建築設計人員的設計參考資料。

天 然 採 光

編著者 沈 天 行

出版者 科 學 出 版 社

北京東黃城根甲42號

北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

印刷者 上海新光明記印刷所

總經售 新 華 書 店

書號：0341

(專) 099

(通) 0001—2,070

字數：64,000

1955年11月第一版

1955年11月第一次印刷

開本：787×1092 1/25

印張：3 7/25 插頁：2

定價：(8) 0.56 元

前 言

我是去年在錢偉長教授的指導下才開始學習天然採光。這篇東西主要是自己在學習天然採光中的筆記；爲了使自己學習的東西能更系統，就稍微整理了一下，裏面的內容主要是參考了蘇聯古雪夫（Гусев）教授在 1949 年所出版的建築光學一文。由於自己是初學，沒有實際經驗，而且俄文水平很低，因此內容也必然有很多錯誤及不合實際之處，裏面所用的名詞也可能和目前一般所用的不符合，這些都希望讀者和專家們能及時提出來。

沈 天 行 1955 年 5 月

一、緒言	1
1. 光在衛生學中的意義	1
2. 光對生理上的影響	3
3. 光在建築藝術上的價值	4
二、照明的種類	6
三、照度的測定	6
四、影響室外照度的自然因素	8
1. 雲層對大氣及天然採光的影響	9
2. 地面遮蓋物的影響	10
3. 太陽高度的影響	11
五、室內照度的確定	12
1. 照度的意義和單位	12
2. 天然照度係數的意義	12
3. 室內天然照度係數的確定	13
4. 透光係數的確定	20
5. 反射光的考慮	21
6. 室外遮擋係數	27
六、在設計中陽光直射的考慮	28
七、天然採光的設計	48
1. 設計的步驟及原則	48
2. 工業建築天然採光的設計	62
3. 博物館及展覽室天然採光的設計	67
基本的代表符號	75
參考文獻	76

一. 緒 言

光學和建築學有密切的關係，它在建築學的範圍內，主要解決如何保證在房屋內達到正確的光線分佈，使它能滿足人們生理上及心理上的要求。現代建築師應該很好的懂得並會利用自然光線的特點，來創造光線舒適的房子，來適應建築學上的基本原則——斯大林對人的關懷。

1. 光在衛生學中的意義

光是一切有機物體不可缺少的生存條件，不論對於微生物乃至對於植物、動物、人類都是如此。光線的不足及設備的不妥善可以使人產生近視。據統計：蘇聯在十九世紀七十年代的學生中，有百分之三十是近視眼，其主要原因是由於當時學校中使用很暗的煤油燈所致。廿世紀初的十年間，在都市的學校中使用了一部分電燈後，據1911—1912年莫斯科學校衛生醫生的報告，可知近視已經減少了二分之一。目前蘇聯廣泛實施保健措施後，學生近視眼降到了百分之三至百分之五。

視覺和照度的關係，不只對視覺病理——近視眼有關，而且對我們的工作效率等也有很大的關係。在考慮合理的照明前，就必須了解視覺器官所有機能的下列各種特徵：

a) **對比感度** 這是指眼睛識別兩物體明度不同的能力，例如在工作表面的背景上識別出加工零件的能力，這種識別是在背景的亮度 (B_{ϕ}) 和零件的亮度 (B_{π}) 間存在有一定差異時，才可能識別。亮度差 ($B_{\phi} - B_{\pi} = \Delta B$) 和背景亮度的比稱為對比閾

$$K_{\text{ноп}} = \frac{\Delta B}{B_{\phi}}.$$

對比閾愈小，即眼睛能識別的亮度差愈小。背景的亮度在

0.00065—0.065 cd^1) 的範圍內時,對比閾越高,同時眼睛的對比敏感度亦隨之增加,但超過此範圍,不論背景的明度上昇或下降對比敏感度都漸降低。上面所談的數值相當於照度 20—2600 lx^2) 範圍內的照度變化(由於反射係數不同而不同)。

6) 視力 是眼睛識別微細部分之能力。視力是由某種程度的照度情形而決定,是隨照度的增加而增加的。但這種視力在照度低的場合下,增高得較快,在照度高的場合下增高得較慢。照度如果到 50 勒克司以上,視力就漸漸停止增高。對於易於分辨的白黑兩色,當照度為 50—75 勒克司時,視力最大,但對於較難分辨的白灰兩色,照度要昇到 200 勒克司時,視力才最強大。

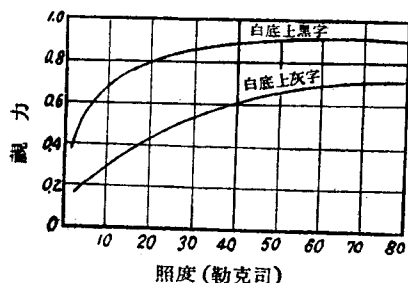


圖 1. 照度與視力的關係
(錄自蘇聯公共衛生學)

Б) 識別速度 是用時間所表示出來的眼睛識別力,試驗結果證實了:如將照度增高到 100—150 勒克司時,識別速度即急速增大,此後照度增大時,識別速度的增加即變成遲緩,然而這種增大的傾向到 1000 勒克司也不停止。視角愈大,對比閾愈大,識別速度亦愈大。

Г) 持久明視 即是在一定時間內,能明確識別所注目的細小部分。明視持久的程度,是由在 1 分鐘內明視時間與非明視時間的比率而規定的。由實驗證明:照度大則明視時間長,視力工作的生產率也被提高(圖 3)。若在照度不足的情況下工作,則視覺疲勞增大,持久明視力減少。

根據研究結果,照度從 20 勒克司增到 120 勒克司時,視別機能正常的人,持久明視力平均增強 14%;視別機能有缺陷的人,持久明視力增加 22%。

1) cd ——均勻發光的平滑表面向垂直方向每 1 平方厘米發出 1 燭光的亮度。

2) lx ——勒克司,簡稱勒,亦稱米燭光,是照度的單位。

持久明視力與工作條件亦有關係。譬如在輝煌照明易於引起眩目的情況下進行工作，則將降低視覺器官的工作能力。

實驗證明：若照度不足，則除了要引起視覺疲勞外，也會引起全身疲勞。

A) 順應度 在規定照明標準時，要注意到明度分佈的情況。在工作面上能均勻的分佈是最理想的。若是明度不同，則眼睛頻繁的適應各種明度，會給眼睛帶來疲勞，以致發生不良影響。如果在被照射的物體上有陰影，則對照度的品質有極重要的影響。所以在建築光學裏，要規定陰影部分的一般指標，如教室中陰影部分的照度，不應小於非陰影部分照度的二分之一。

光線的好壞，不但對視覺機能有很大影響，而且對人的生理上及心理上都有着很大的影響。

2. 光對生理上的影響

如果從各方面大量研究一下，天然光和人工光對人類及動物的身體所發生的作用，就可以確認出，光對身體的各種生理及生物學的

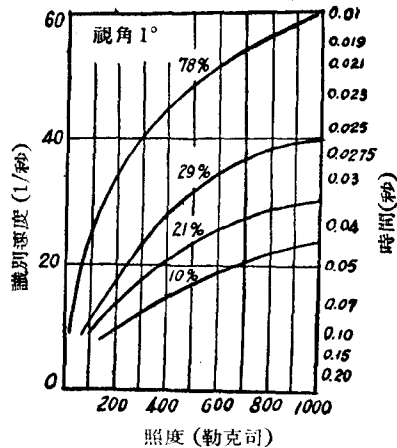


圖 2. 各種反射係數下照度對識別速度的影響
(錄自蘇聯勞動衛生學)

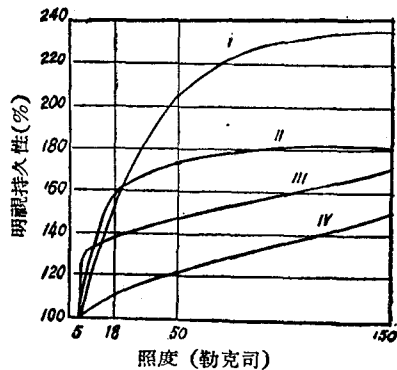


圖 3. 四名被實驗者在各種照度下明視持久性
(錄自蘇聯勞動衛生學)

變化有極重要的作用。

由實驗證明：天然光和人工光可以促進人體的各種新陳代謝作用。光的缺乏有礙於身體的成長。關於這一點，廿世紀著名的小兒科大夫 Н. П. Гундобин 教授寫道：“在太陽光充沛之處生長的兒童，和在地下室及暗室中生活的兒童，完全不同，後者多病虛弱，抵抗力小。因此揭露出了各階層居民在社會上之不平等情況。”

缺乏光線，使磷、鈣 (P, Ca) 代謝受到障礙；缺乏日光光譜的紫外線，會引起人類皮膚長期不能形成維生素丁。假如天然採光不好，那末不但能促使多數疾病的發生，而且更能使兒童及成人的體力勞動能力及腦力勞動能力衰退。

最後，光線的殺菌作用對傳染病有着重要的預防意義。所以合理的照明除了對視覺器官有着重要的意義外，對居民，特別是對兒童的保健上有極大的衛生意義。光是影響人們健康、正常身體發育的最重要因素之一。

3. 光在建築藝術上的價值

光是通過適當的感受器（視覺器官）發生興奮，傳到大腦半球神經中樞，根據各種條件不同，而使大腦皮質興奮和阻抑大腦皮質、改組身體的生理機能及心理機能、改變身體緊張支持的活動情況及覺醒情況。

Н. Е. Введенский 早在他的著作“關於光對動物興奮的影響”中指出：就是在視野以外有一些微光的影響，對神經中樞也能呈現長時期的高度興奮。

在我們日常生活中也時常遇到，當我們處在陰暗的環境中，心理上也容易感到沉悶陰鬱，甚至有恐怖的感覺；當我們處在明亮的環境中就感覺到心情愉快、開闊和興奮。

С. И. Вавилов 院士說：“實際上光能够延長人類的意識存在，光的重大意義首先在此。”

因此，光的處理能幫助建築反映時代的思想意識及體現整個民族的情感和情感，而取得更好的藝術效果。

例如埃及的神廟，從聳立着一對四方碑處，進入兩條很長、兩旁排着獅身人面像的大道，穿過兩垛高牆，進入周圍有廊的庭院；庭院和廊，都是從戶外走向室內的緩衝地帶，逐漸引入主題。經過柱廊進入大柱廳，巨大密排的石柱，僅從天窗和柱隙間透入微弱的光線，造成了神祕森嚴的氣氛。再進入是愈益黑暗，逐漸矮小的廳堂，也造成神祕氣氛。這種利用光的變化來鼓舞人們對神的虔誠，在我國的一些廟宇建築中亦是如此：從山門進入四天王殿等，最後進入主要廟堂，暗暗的光線，幾盞油燈，在很黑暗的神龕中，隱隱的看見金色佛像。

在反映社會主義時代的建築上如莫斯科的地下鐵道，它之所以能被很多人們所喜愛，不僅是因為它有豐富的裝飾，有巨大的自動樓梯，能減少人們上下地下鐵道所耗費的體力，而且也因為它充滿了新鮮空氣和充足的光線。這寬敞而光亮的地下宮，啓發人們的樂觀主義和熱情高漲的感情，和資本主義國家中昏暗的如同下水道的地道成了強烈的對比。

我們室內各種精美的裝飾，假使沒有合理的照度，也不可能有舒適的感覺。

房間中採光最普遍的是用窗，而窗是建築立面和形式的基本構件之一。它有着很重要的意義。但是在設計房子時，立面和房間中照度所提出的要求，常常是矛盾的。例如立面上要求開小窗，而這樣的窗照度却不够。要能合理的解決這些矛盾，設計者不但應懂得建築藝術，亦應該懂得光學，了解各種窗的形式與位置對室內照度的影響。

在我們設計城市時，要選擇街坊地區合理的陽光。房子的間距這些問題的合理解決亦需要學好建築光學。

因此過去的經驗告訴我們，建築師在設計過程中，解決複雜的問題時，建築光學有很大的意義。現代的建築師應該很好的懂得，並會利用採用天然光線的特點，來建造光線舒適的房子，達到對人關懷的目的。

二. 照明的種類

照明一般可以採用兩種方法來解決，即人工採光及天然採光。天然採光的實質在於能在各種處境和要求下，利用天然光線。但是天然光線，特別是太陽光，對室內的照度却無時無刻不在變化，並且調節不易，這與人工採光比較起來是迥然不同的。但天然採光償付的代價比人工採光少，而且太陽光對人體正常的生長及發育，亦有很大作用，因此天然採光還是被廣泛的應用了。不過應該用那種採光比較好的問題，還是要從具體情況下對光線各種不同的要求來決定，並不能一概而論的。在這裏因為主要是講天然採光，所以對人工採光的問題就不再述及。

三. 照度的測定

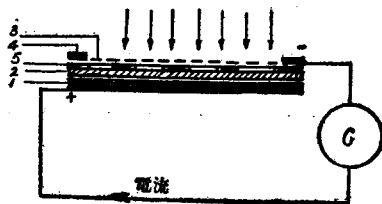


圖 4. 光電池米燭計構造

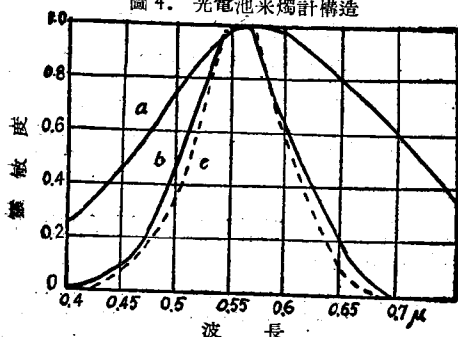


圖 5. 硒光電池對光譜靈敏度之曲線
a—沒有濾光片的光電池靈敏度；b—有濾光片的光電池靈敏度；c—眼睛的靈敏度。
(錄自 Проф. В. Ф. Фвдоров, Общий курс светотехники)

測定照度的方法，可用儀器，亦可用達尼留克圖表法來計算。這計算法留待後面來講，這裏主要是談儀器的測定。

照度一般可利用精確的米燭計來測定，米燭計是由兩個光電池及一個感應電流計組成，其內部構造如圖 4。圖中 1 為一鐵板上塗一層薄的硒 (Se)；2, 3 是一透明的金屬板 (金或鉑)，上面塗硒，作為陰極；上面蓋以金屬環 4；在 2 與 3 之間有一關閉層 5。當光線射到薄板上就

發生電流，就可用電流計來測定光通量的大小。用適當的分度方法電流計的度數可以轉換為米燭的刻度。但當天然光線很強時，外面的光電池在測量時必須罩上烟色的濾光片，因為光線很強時，照度和產生的電流不是完全吻合的，並且光電池對不同波長的光譜敏感性亦不同（圖 5，圖 6）。這種光度計只能測定平面上的照度，如果要測定散射空間的照度時，就應該用下述光度計了。

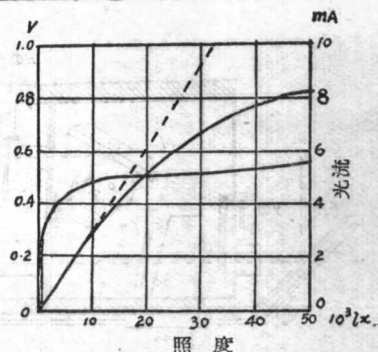


圖 6. 照度和鎢光電流的關係
(錄自 Проф. Б. Ф. Фадоров, Общий курс светотехники)

蘇聯國立光學研究所製的照度計（圖 8）是由平面及半球形的不透明玻璃、接目鏡、凹凸透鏡、標準光源、電流計及電阻所組成。測定散射光之程序如下：將半球鏡對準光源調整電阻，使在接目鏡內所見到的光源和標準光源的像在相鄰地點亮度一致，再讀出電流計上的數值。在要測定平面照度時可將平面玻璃對着光源。

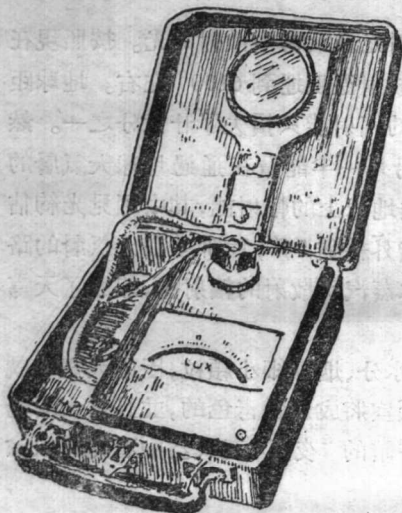


圖 7. 鎢光電池的米燭計

為了連續測定在變化着的光源，上述光度計可以用自動記錄的米燭計代替。在自動記錄的光度計中，電流計的指針和記錄器的筆尖有聯動裝置，當電流計的指針偏動時，筆尖就在記錄筒上繪出照度的起伏曲線。記錄筒的轉動用鐘錶機械控制着，使能在一定的時間內轉動一定的距離，因此起伏的照度曲線就表示各個時間的照度。

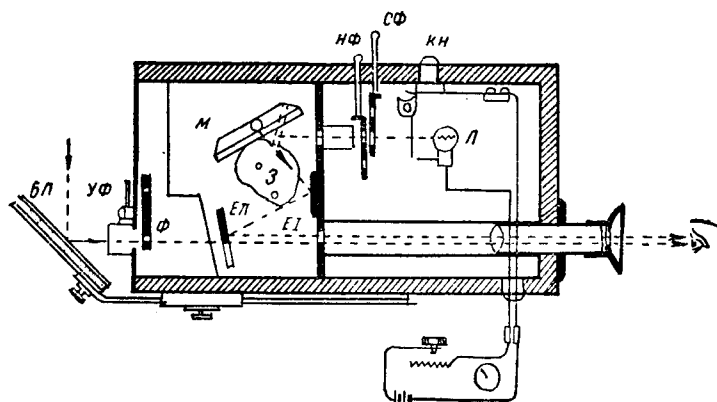


圖 8. 蘇聯國立光學研究所製的照度計要圖

Л—標準光源； М—內部石膏板； ЕЛ—外部石膏板；
 З—透光鏡； ЕЛ—鏡的鍍銀部； ЕЛ—未鍍銀部；
 УФ 及 Ф—濾光片； KH—電流連接按鈕。

四. 影響室外照度的自然因素

天然採光的光源是太陽的直射光及天穹中散射的光。按照現在的了解，太陽是熾熱的物體，它的放射溫度達到 6100° 左右。地球距太陽 1,500,000,000 千米，但太陽的輻射能只損失了廿億分之一。然而到達地球上的能量只有一半，另外一半能量在通過地球大氣層的路上，被反射散射和吸收了。到達地球上的輻射能，其中可見光約佔 52% 左右；紅外線佔 43% 左右；紫外線佔 5%；而那些在大氣層的路上被空氣的分子、細小的灰塵和水蒸汽所散射的輻射能，即成了天穹中散射的光。

由於大氣中含有空氣、灰塵、水分、烟等細小顆粒，因此天穹中就有散射光。如果沒有這些微粒，天空將成為鐵青色的，並且當太陽光照射下來時，會使我們感到像在昏暗的“夜間”在天空看見耀眼眩目的太陽和星。

物體直接受陽光照射時，迎光的部分和背光的部分，明暗反襯得

非常顯明,但是散射光線是緩和這些明暗分佈的顯明程度。通常在晴朗的日子裏,天穹中散射光約佔整個充滿陽光直射表面亮度的0.15—0.12。在雲霧的情況有所改變後,它亦隨之改變,而且整個照度之大小,亦因各地各時、太陽位置的不同而有所不同。

1. 雲層對大氣及天然採光的影響

任何雲的存在,對室外照度的強度有很大的影響,它和雲的種類、高低¹⁾及多少都有密切關係。

雲按大小程度分為若干級。天穹的二分之一為雲所遮蓋者稱為一級,這樣等於五級的雲,就意味着天空50%的表面被遮蓋了。較陰的天,天空中散射光之亮度亦就較亮。這可從表1中看出。

大氣的透明性亦影響室外的照度,它是和空氣中的煙霧、灰塵及溫度等有關。在大城市和工業區中,由於大氣較污穢,因此室外散射光的亮度較低;一般大城市中空氣透明係數的大小為0.7。

1) 雲的高低是依靠它自己的構成形式來識別。我們一般可分為:

I. 高雲: 通常高度在6000米以上,屬於此類的有

- (1) 卷雲 (Ci)——具有纖維狀的結構,無影白色,帶有一種絹絲的光輝;
- (2) 卷積雲 (Cc)——其性質與卷雲一類相似,無影,由單純白色小片或小球所成;
- (3) 卷層雲 (Cr)。

II. 中雲: 通常由2000米到6000米。

- (4) 高層雲 (As)——為灰色或淺藍色的纖維狀的、或密集的形状;
- (5) 高積雲 (Ac)——由扁平的或波狀的雲塊形成的層或若干塊,都具有暗影。

III. 低雲: 通常低於2000米。

- (6) 兩層雲 (Ns)——其低層全為灰色,降雨或降雪;
- (7) 層雲 (Si)——具有均勻層,類似霧;
- (8) 層積雲 (Sc)——由灰色扁平的塊或球所形成的一層或若干塊,相當稠密,其間界線很難看出。

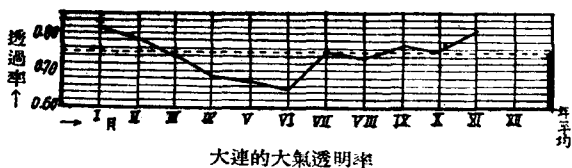
IV. 直展雲: 此雲的低邊大致在低雲的水平上,而其頂端可能在中雲及高雲處。

- (9) 積雲 (Cu)——是密集的雲,其上層部分形成瘤形穹窿,而其底邊幾乎水平的;
- (10) 積雲層 (Cunb)——在垂直方向十分發展的大雲塊,其積雲部分具有山和塔的形狀,而上層則橫展作鐵砧狀。

表 1 在各種大氣狀態下天空的平均照度

大 氣 狀 態	天空的亮度 (cd)	大 氣 狀 態	天空的亮度 (cd)
大氣範圍之外	0.0	濃霧天氣或點層雲的天氣	0.61
很晴朗的天	0.08	中級雲	0.16
晴天	0.16	密雲	0.08
較陰沉的天	0.32	被陽光照耀的雲	3.2
天略陰	0.47		

(錄自古雲夫教授著建築光學)



(本記錄錄自日本建築學會編建築設計資料集成 2)

2. 地面遮蓋物的影響

室外照度的大小，受地面遮蓋物的影響。地上遮蓋物的反射係數愈大，則所考慮的地面遮蓋物反射光愈大。這點特別是當冬季有雪遮蓋時意義很大(圖 9)。

表 2 地面上各種遮蓋物的反射係數

遮蓋物的名稱	反光係數 (ρ)	遮蓋物的名稱	反光係數 (ρ)
新下的雪	0.78	松杉科森林地	0.07
木材	0.05—0.08	多葉的森林地	0.09
草地或青苔	0.08	湖泊與河流	0.07—0.09
赤裸裸的耕地	0.08	都市地區	0.1
黑土(乾、濕)	0.07—0.05	沙地	0.13—0.18

(錄自古雲夫教授著建築光學及蘇聯公共衛生學)

3. 太陽高度的影響

太陽高度的改變，亦直接影響着照度的大小，這可以從圖 9 中看出，並可用近似公式 (4.1) 來計算，

$$E_H = a \sin h_0, \quad (4.1)$$

式中， E_H ——室外水平面的所受天穹散射光的照度，單位為勒克司； h_0 ——太陽距水平面的高度，單位為度； a ——常數，它與上述幾個影響照度的因素有關。

由於影響室外天然照度的因素很多，而且隨時隨刻都在變化，因此在解決實際問題時，就不便於把每個時候、各種因素都來一次綜合運用而是應用“地方照明氣候”。這地方照明氣候是由各地陽光測定機關或氣象台所做幾年中室外天然照度的平均值。它是陽光天穹散射光的亮度和由天穹及地面多次反射亮度的函數。

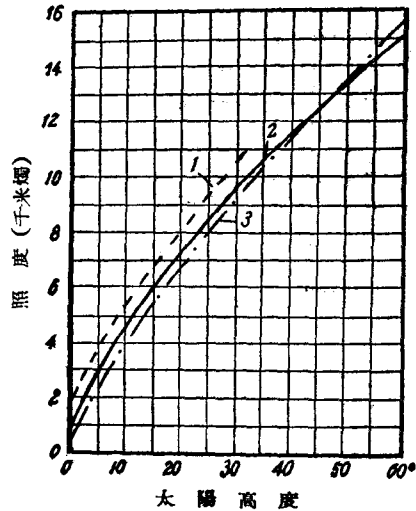
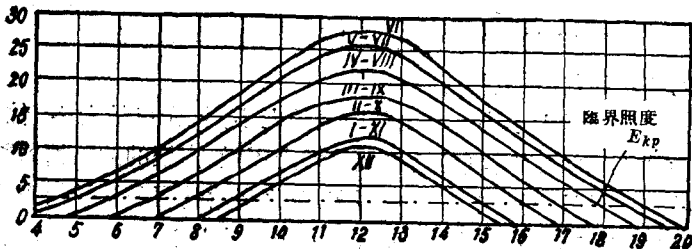


圖 9. 太陽高度與照度的關係

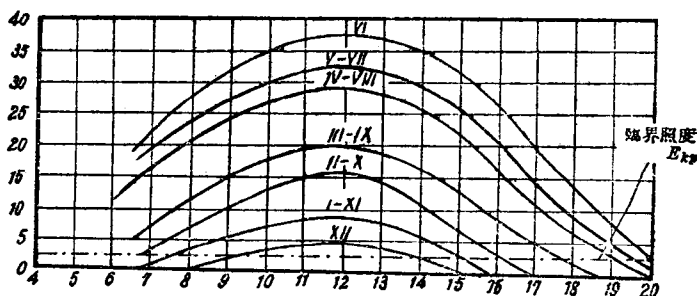
- 1—當地上蓋有雪； 2—沒有雪時；
3—按照公式 $E_H = a \sin h_0$ 。

(錄自古雷夫所著建築光學)

1) 伊爾庫茨克



2) 莫斯科



3) 列寧格勒

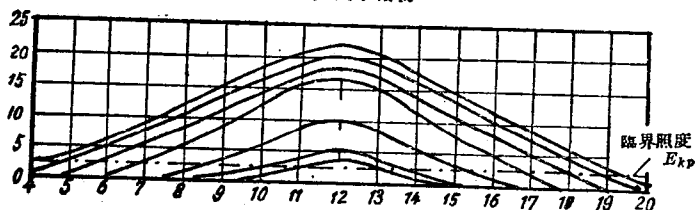


圖 10. 地方照明氣候
(錄自古雪夫所著建築光學)

五. 室內照度的確定

1. 照度的意義和單位

照度是用來說明物體受光時光通量在物體上分佈的情況，而光通量是指在單位時間內通過任何面積所傳遞的光能。光通量的單位是“流明”，即一立體弧度角內從發光強度為 1 燭光的各向同性的點光源所發出的光通量。當 1 流明的光通量平均分佈在 1 平方米面積上，則在這面積上的照度我們稱為 1 勒克司或稱米燭光。

2. 天然照度係數的意義

室內照度的大小決定於室外照度的大小，採光口的大小、位置、形狀，採光口的透光率（包括玻璃的透光係數、窗櫺的阻擋係數），室內建築構件的遮擋狀況，相隣建築物的遮擋情況及房子內表面的反射係數等。而這些因素中，只有室外照度的大小是隨時在改變的，

所以在計算室內照度的大小時，我們不便於以其變化不定的絕對值計算，而是以室內和室外照度的比值計算；這比值我們就稱為天然照度係數，它就是室內某點和室外水平面上一點照度的百分比。

若設 e ——天然照度係數； E_M ——室內點 M 的照度，單位是勒克司； E_H ——天穹散射光對室外水平面上一點的照度，單位是勒克司，則

$$e = \frac{E_M}{E_H} \times 100\% . \quad (5.1)$$

天然照度係數的值總是小於 1。利用這數值我們就可以導出室內任何一點照度的絕對量

$$E_M = e \times E_H \text{ 勒克司} . \quad (5.1a)$$

在公式 (5.1) 中我們這比值的大小主要是決定於窗的大小、位置及形狀，至於上述的其他因素，我們就要另外考慮進去而得出公式 (5.2)

$$E_M = e \times E_H \times \tau_1 \times \tau_2 \times r \times K_1 . \quad (5.2)$$

在這公式中： τ_1 ——採光口的透光率；

τ_2 ——室內建築構件的遮擋係數；

r ——房子內表面的反射係數；

K_1 ——相隣建築的遮擋係數；

E_M ——室內點 M 的照度，單位是勒克司；

E_H ——天穹散射光對室外水平面上一點的照度，單位是勒克司；

e ——天然照度係數 (%)。

3. 室內天然照度係數的確定

由公式 (5.1)，我們知道在確定天然照度係數前，要先知道室內的照度。通常計算受光面的照度是根據下列情況進行的：首先確定發光表面的亮度，然後再找出發光面對所求點引起的照度。而發