

科學圖書大庫

光學儀器叢書

(一~六全一冊)

譯者 王大庚 曹培熙

本叢書含下列各書：

1. 望遠鏡光學
2. 自製望遠鏡
3. 光學遊戲
4. 望遠照相鏡頭大全
5. 準直儀與準直
6. 紅外線及其應用

徐氏基金會出版

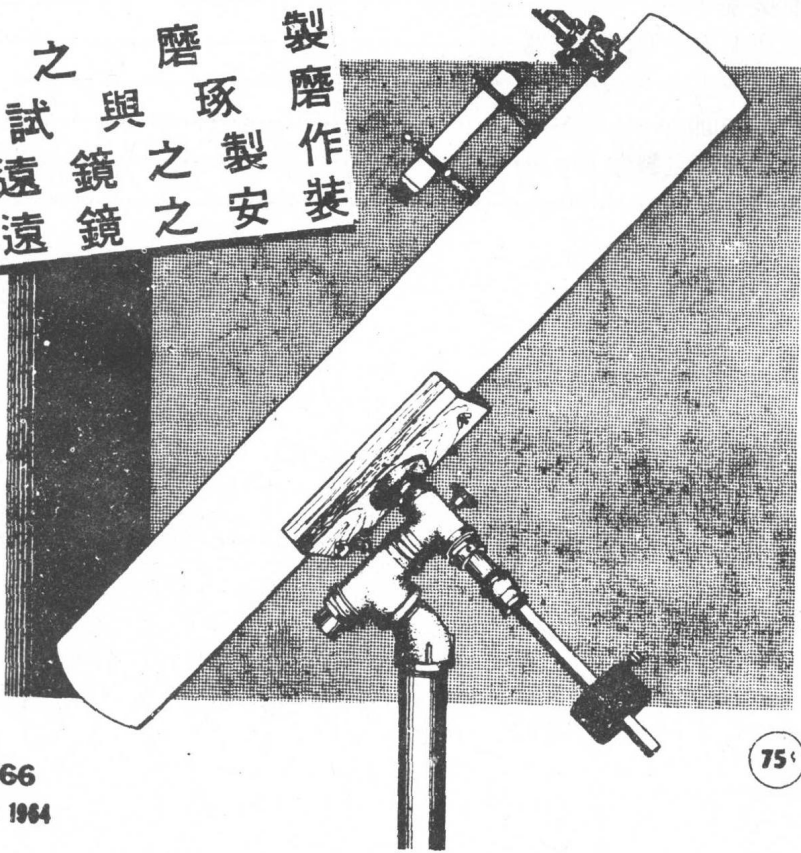
自製望遠鏡

譯者 王大庚

江苏工业学院图书馆
藏书章

自製望遠鏡

製磨作裝
 磨琢製安
 之之
 與鏡鏡
 之試遠遠
 鏡測望望

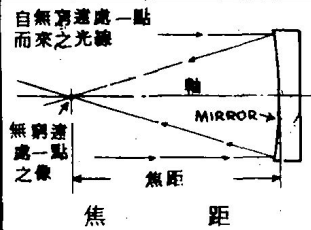


No. 9066
 Copyright 1964

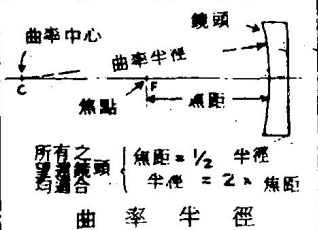
75¢

愛德蒙科學儀器公司編印

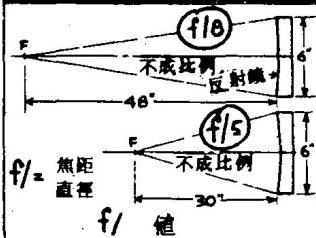
望遠鏡頭 光學入門



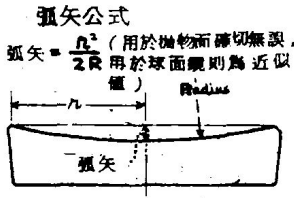
鏡面至無窮遠處物體成像之點之距離



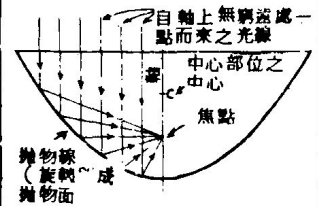
球面鏡之半徑，或拋物鏡面中心部位之半徑



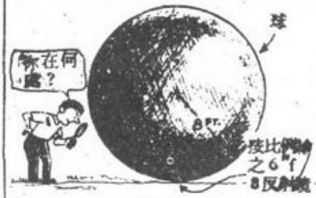
鏡或透鏡之焦距除以直徑。f/B 為最普通者。



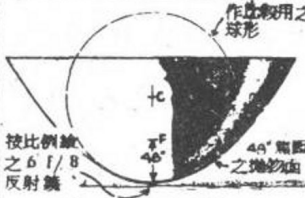
弧矢公式
弧矢 = $\frac{h^2}{2R}$ (用於拋物面則為近似值)
曲線之深度。弧矢公式適用於計算一切望遠鏡。



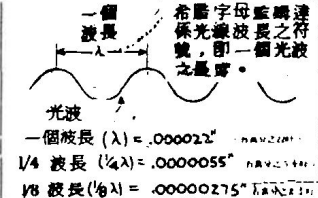
使平行光線反射至一點之曲線即為拋物線。而拋物線旋轉即成拋物面



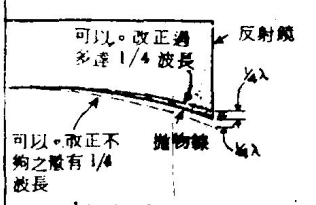
球面鏡
具有球形表面之鏡謂之球面鏡。其f/值如為f/10或以上者，即為製作良好望遠鏡之形狀。



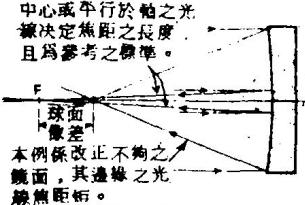
拋物鏡
鏡面係拋物線旋轉而成者，此種鏡面係望遠鏡頭之完善表面。



光波長度
一個波長 (λ) = .000023"
1/4 波長 (λ/4) = .0000055"
1/8 波長 (λ/8) = .00000275"
係為規定反射鏡或透鏡表面準確度之有用之量度單位。



1/4 波長 反射鏡
鏡面之曲線如果光滑，且其形狀與理想之拋物面相差不過 1/4 波長者，則其作用可接近完善之程度。



球面像差
邊緣光線與中心光線焦點上之差異。此為磨製鏡頭時須要研討之唯一像差。



黑影測試
黑影或刀口測試為法國物理學家柯可所創，可讓你看到並測出表面之形狀至 1/12 波長的準確程度。

目 錄

自製望遠鏡.....	1
磨製鏡頭.....	3
製作瀝青砥光盤.....	12
磨光.....	15
測試裝備.....	19
附有測微規之刀口測試器.....	22
測試與改正.....	24
琢磨拋物面.....	29
反射望遠鏡之製作.....	35
望遠鏡之安裝.....	42

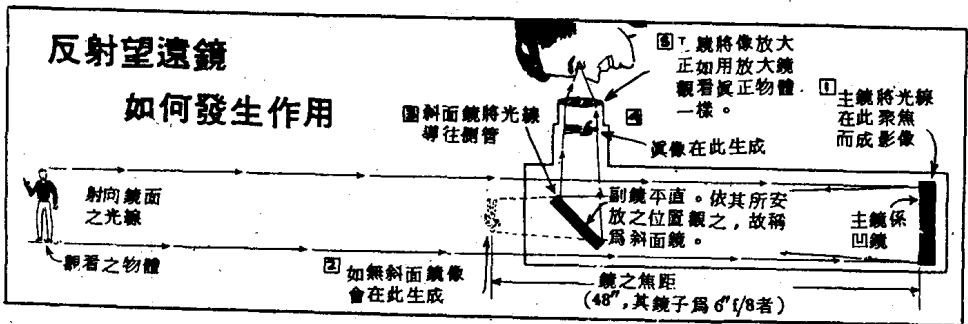
自製望遠鏡

薩姆·布朗編訂

望遠鏡製作是一種嗜好，不論個人之手藝與工場裝備如何，每一個人均可享受其樂趣。最簡便之法，自然是購買現成之鏡頭與零件，使其工作減少至僅作裝配而已。當你自己製作一些零件或者全都自製時，你會感到有無窮樂趣，而最令人興奮者，莫過於自己研磨鏡子（反射鏡）。使用自己的雙手，你可將鏡面磨至百萬分之一吋的準確程度，就實用而言，也可藉此節省金錢，一個磨好的鏡子，其精度的誤差為 $1/4$ 波長者，約需美金 60 元；如自己磨製，其鏡胚及所需之一切材料，包括鏡面塗鋁在內，所花費者卻不過 20 美元而已。

在各種精細工作中，鏡頭磨製與眾不同之特點，在於高度之準確性可藉極粗糙之臨時裝備而達成之。全部所需者祇不過是一些堅牢之支架，將工作物保持至高約與腰平之位置而已。然後將兩塊玻璃圓片疊在一起摩擦，一個在上，一個在下，中間加一些磨料與水，如此繼續不已，則在上者自然就會磨成淺窩（凹入），而在下者就隨之凸出。因為你是需要凹面鏡，上面之圓片就成為你所需要磨製之鏡頭，而下面凸出之圓片就是所稱之「工具」。摩擦兩個圓片時如圍繞着工作架走，則鏡片四周將會磨得很均勻，成為一個幾乎近於完善的球面部分。其最顯而易見的道理，乃是二者相摩擦時，此乃唯一能彼此保持密切接觸的曲面。

其餘的經過自不必說，大多數的初學者全都知道。使用很細很細的磨料

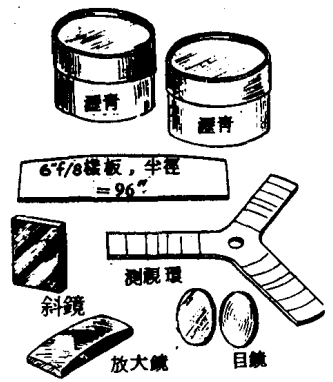
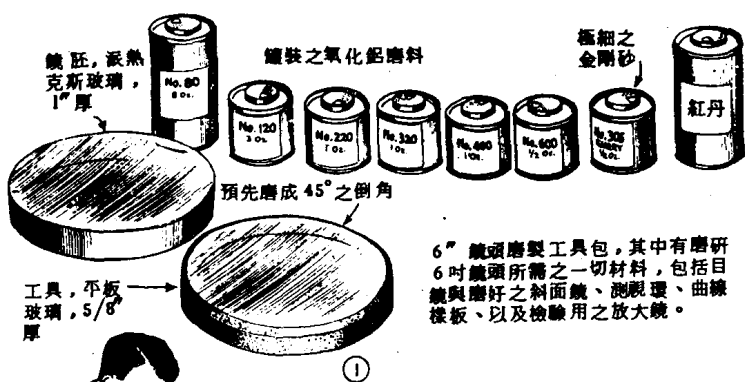


2 自製望遠鏡

，就可使表面磨得異常光滑，最後使用紅丹研磨，其表面可如寶石一樣細潤發光。就一般之準確度而言，此乃一個完善的球形切面，但就光學加工所需之超精細程度而論，其中存有百萬分之廿五吋之差誤就會變成一項相當重要的事情。

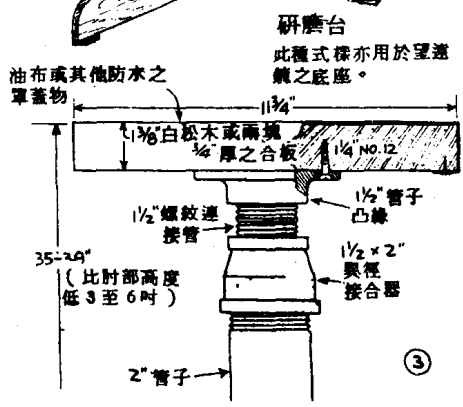
此種程度之工作，任何十二歲大小之兒童均能勝任，因其祇是一種慣常的程序，僅需乾淨俐落與週到徹底而已。年青人不論其如何仔細，其常見的缺點乃是磨出的鏡子通常都是缺乏光澤。鏡子假若打磨得非常光亮，任何近乎球面的形體都會反映出良好的影像。

製作一種第一流上等品質的鏡子，其大部分之實際工作大都花費在測試與改正上面。此不僅在試圖使其成為拋物線形體，而是要始終遵照改正技術，直至獲得改正鏡面之秘訣與技巧，將其改正至預期的結果為止。此種技術不能光靠書本，正如打字、糊牆、或打高爾夫球一樣，需要實地練習方可獲得。在你能成爲一個磨鏡專家之前，你諒必會要花費數百小時於此種技術之研究與練習。



磨製鏡頭

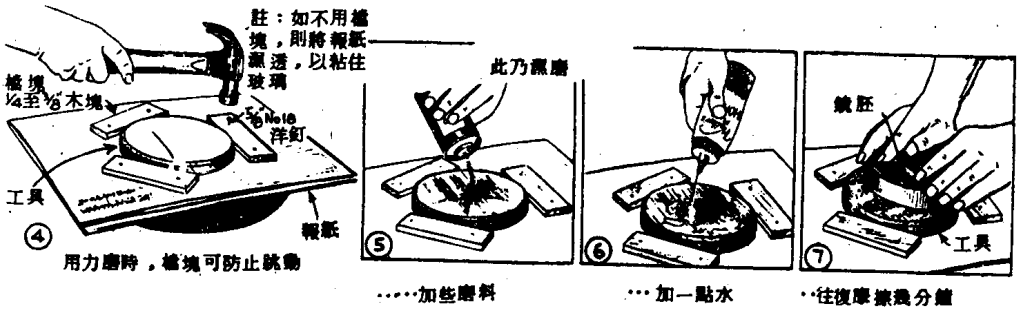
磨製鏡頭所需之一切用品通常均可從購買一個鏡頭磨製工具包而獲得之，如圖 1 所示。該項工具包有 4 1/4，6，8，10，及 12 1/2 幾種尺寸，此等尺寸乃是指鏡子之直徑而言。普通常用者為 6 吋，初學者大都選用此一種，價錢約為美金 12 元。另外再花一塊錢買一個製作瀝青砥光盤之橡皮席（見第 12 頁）亦極合算。



派熱克斯 (Pyrex) 玻璃之優點乃是韌性比一般玻璃為好，不易刮傷，其膨脹的程度只有平板玻璃的 1/3（平板玻璃每增高攝氏一度膨脹 .0000091 吋，而派熱克斯玻璃則只有 .0000031 吋）。

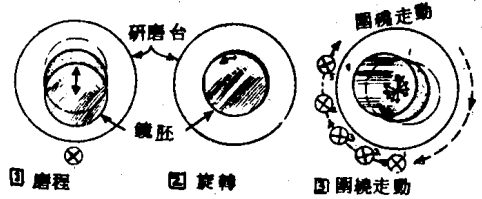
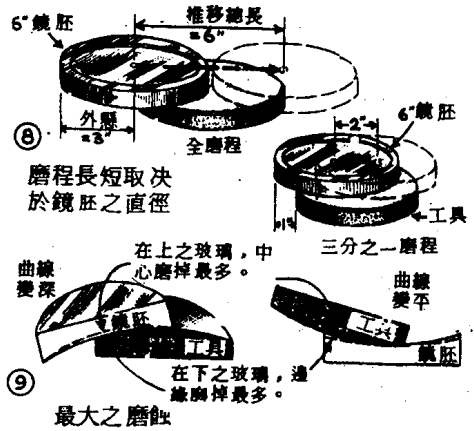
研磨台 要舒適合用，此台須相當地高，約與腰齊。舊油桶內盛水作為壓重相當良好，堅牢之木箱上壓砂包、水泥磚或其他重量亦很合用。如一

4 自製望遠鏡



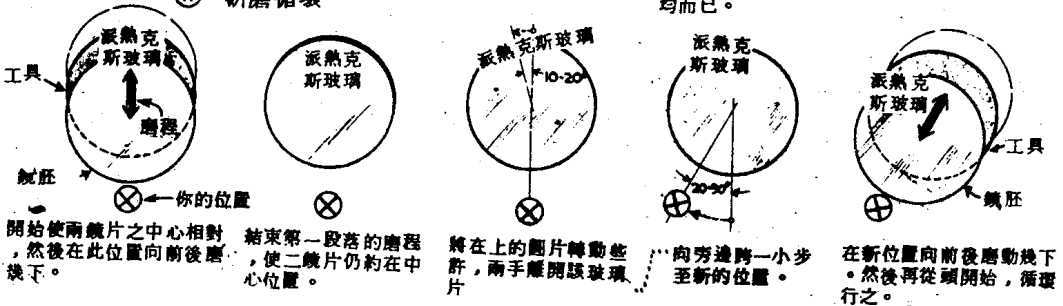
定要作一個台子，最好的辦法就是如圖 2 所示之底座，以後復可用其安裝望遠鏡。使用此種台子，當然總免不了要跨過其伸出的三條腿，但這算不了一回事。不過，無論如何，都須能圍繞台子走動而不受阻碍，因為圍着台子走動乃是成功的磨鏡秘訣之一。

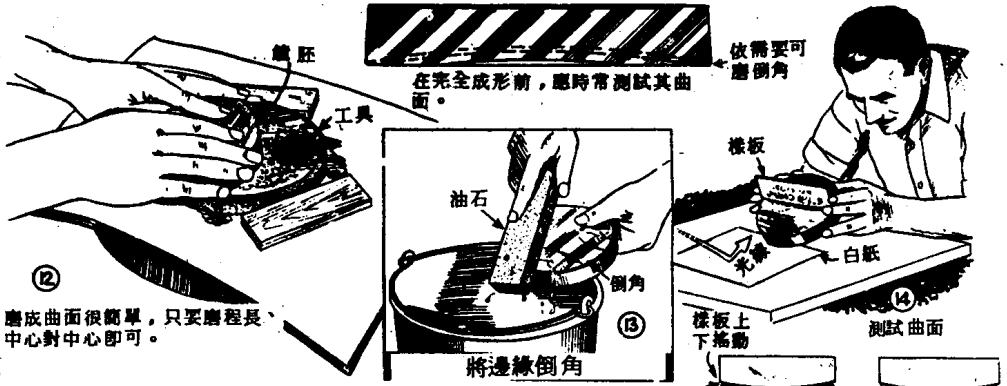
磨程之長短 磨鏡時前後推移之幅度係以鏡胚之直徑量度之。全磨程乃是指前後推移之總長等於鏡胚之直徑；三分之一磨程則表示移動 2 吋（指 6 吋鏡胚而言），如圖 8 所示。所有磨研動



⑩ 磨鏡之三種動作 前後推動之磨程乃是實際施磨，旋轉與圍繞走動只是使磨蝕平均而已。

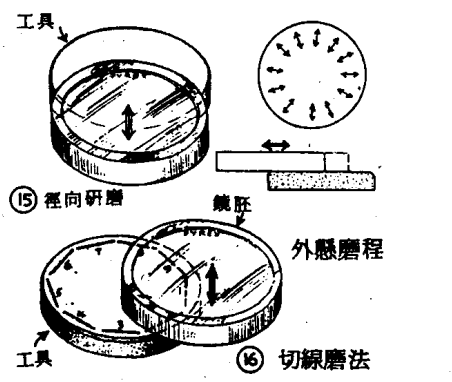
⑪ 研磨循環





磨鏡時程表*

磨料	水濕次數	每加水一次之磨料用量	每濕一次之研磨時間	總時間
成形 № 80	20-30		1-4 分鐘	2 小時
磨勻	15-20	全面佈滿	2-4 分鐘	2 小時
№ 120	12-15	1/2 茶匙	5 分鐘	1 小時
№ 220	8-12	1/4 茶匙	5 分鐘	1 小時
№ 320	6-10	1/8 茶匙	5 分鐘	1 小時
№ 400	6-8	1/16 茶匙	5-10 分鐘	1 小時
№ 600	6-8	1/32 茶匙	5-10 分鐘	1 小時
№ 305†	6-8	1/64 茶匙	5-10 分鐘	2 小時
*6" 鏡胚				11 小時
†將 305 號金剛砂與水混合, 用刷蘸上, 如此可以免除刮痕。				



作中約有 75% 都是使用三分之一磨程。全磨程之應用時機乃在要磨出曲面之最初與欲將球面打磨成為拋物面之結尾的動作中。不論在何種情況，一個磨程乃是指前後各移動一次而言。磨鏡速度應為每分鐘 60 個磨程左右。

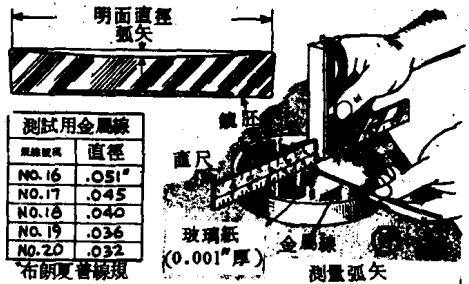
最大之磨蝕 圖 9 係表示鏡胚磨研之基本原理。在上之玻璃，其中心磨蝕最多；在下之玻璃，其邊緣磨掉最多。長的磨程磨得最快；短的磨程則磨得較慢而均勻。鏡胚如要磨成凹入之曲面，則顯而易見必須將其置於上面方可磨成所需之曲面。圖 9 右邊所示之情況係將工具置於上面，因之鏡胚將逐漸磨平，此種道理不及前述者明顯，須稍加思索。只要將鏡胚或工具按照需要置於上面施磨，就可控制欲磨鏡頭之表面形狀。

三種動作 磨鏡所用之三種動作分別繪示如圖 10，聯合運用成為研磨很

環之情形則如圖11。關於旋轉與圍繞走動之幅度，常無嚴格之規則，如一定要知道一些平均之數字，則可將其述之如下：繞着支架走約15步，其鏡胚即在手中旋轉兩週。你一旦實際開始工作，你自己之磨鏡方式就會很自然地形成，無待外求。鏡的邊緣通常所受的研磨作用最少。若要使速度加快，可以一半的磨鏡時間將鏡胚放在上面研磨，然後再將工具置於上面磨之即可。

磨成曲面 此一工作通常都是使用全磨程，即磨程之每一端都向外懸空3吋，如圖2所示。從磨料擦過玻璃發出沙沙作響的聲音，就可知道磨料已經發揮作用。此種作用很快就減低下來，因為大多數的磨料經過幾次往返推磨之後，都被擠到工具之邊外去了。其被擠出之磨料仍可收集復用，故并非完全損失。80號之磨料在開始幾次加水的時候，每一次很少能維持一分鐘的研磨時間，但當圍繞支架走過兩圈之後，每加一次水便能多磨些時間了。再多磨幾圈，然後將鏡胚與工具二者均浸入水桶中，洗去其淤泥，即可看到鏡胚之中心已開始磨出一個小的淺窩了！

每一次水濕後之研磨時間能到達三分鐘左右時，圖6所示之



表二 已知弧矢大小時求6"鏡子之焦距

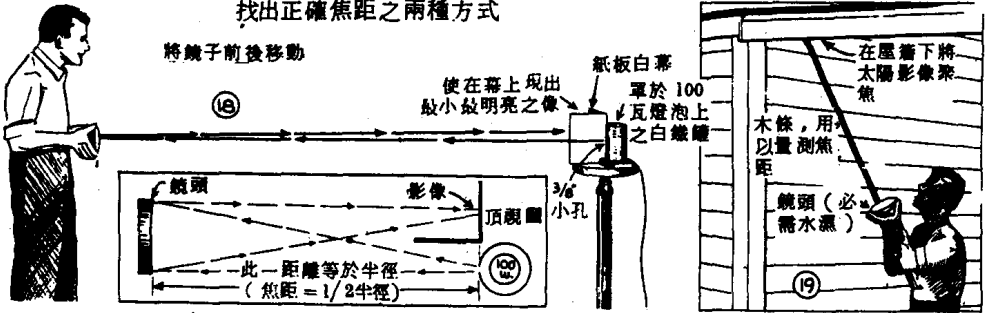
弧矢	明面直徑				
	5 3/4"	5 1/2"	5 1/8"	5 1/16"	6"
.038"	54.38"	55.57"	56.77"	57.98"	59.21"
.039	52.98	54.14	55.31	56.49	57.69
.040	51.66	52.79	53.93	55.08	56.25
.041	50.40	51.50	52.61	53.74	54.88
.042	49.20	50.27	51.36	52.46	53.57
.043	48.05	49.10	50.17	51.24	52.32
.044	46.96	47.99	49.03	50.08	51.13
.045	45.92	46.92	47.94	48.96	50.00
.046	44.92	45.90	46.89	47.90	48.91
.04687					48.00
.047	43.96	44.93	45.90	46.88	47.87
.048	43.05	43.99	44.94	45.90	46.87
.049	42.17	43.09	44.02	44.97	45.92
.050	41.33	42.23	43.14	44.07	45.00
.051	40.52	41.40	42.30	43.20	44.12
.052	39.74	40.61	41.48	42.37	43.27
.053	38.99	39.84	40.70	41.57	42.45
.054	38.27	39.10	39.95	40.80	41.66
.055	37.57	38.39	39.22	40.06	40.91
.056	36.90	37.71	38.52	39.34	40.18
.057	36.25	37.04	37.84	38.65	39.47
.058	35.63	36.41	37.19	37.98	38.79
.059	35.02	35.79	36.56	37.34	38.13
.060	34.44	35.19	35.95	36.72	37.50

茲舉例說明表之用法：鏡子之明面直徑為6"，弧矢為.050"時，從上表可查得焦距=45"

公式：表內未包括之情況可用下式

$$\text{焦距} = \frac{6^2}{4 \times \text{弧矢}} \times \frac{1}{2}$$
 例：焦距 = $\frac{6^2}{4 \times .35} \times \frac{1}{2} = 45$

找出正確焦距之兩種方式



水壺即可棄置不用，每次要加料時乃將上下兩個圓片一齊浸入水桶中洗濯，然後加上新的磨料。磨成所需之曲面約需二小時，磨時須施以 15-20 磅之輕度壓力。磨粒之滾動作用使壓力聚集於鋒利的切口上，如此乃將玻璃表面擦掉極小之片屑。壓力過大會將磨粒壓碎，致不再發生此種一小片一小片擦掉之作用。工作之前最好將手壓於磅秤上，試出 20 磅之壓力究竟須施多少膂力，然後在實際研磨中即始終維持此一種施力之程度。以 20 磅之壓力磨幾個週期（以 15 或 20 分鐘為一週期）即可在指定之二小時內將工作完成，然後再以一小時將粗糙磨成之曲面加以磨光，使成正確之球面。

倒角 從市面上購得之派熱克斯玻璃圖片，其邊緣都稍呈圓形。假若你將該玻璃片磨成所需之曲面而又未將邊緣磨掉得太多時，即可不必管它，任其如舊。然而如邊緣被磨成尖角時，則須用油石加水潤濕，以磨成 1/16 吋寬，45 度之倒角，如圖 13 所示。如無油石，可用 220 號之磨料加水拌成糊狀，塗於金屬或玻璃片上磨之。購得之玻璃工具全屬已經有倒角者。

磨料

鋒利

碳化矽

堅硬、鋒利、且脆，極適合於快速磨掉玻璃，但對光學上之細磨工作則嫌太厲害。商標名稱有：CARBILON, CARBORUNDUM, CRYSTOLON

氧化鋁

很韌，但不如碳化矽堅硬。光滑均勻之割切性質使其成為理想之磨鏡材料。商標名稱有 ALOXITE, ALUNDUM, LIONITE

氧化鋁與碳化矽二者均係人造磨料，是從電爐中製出之產品。

磨粒均勻呈多面形

8 粒

NO. 8 - 磨粒約為 1/8" 直徑

磨粒大小

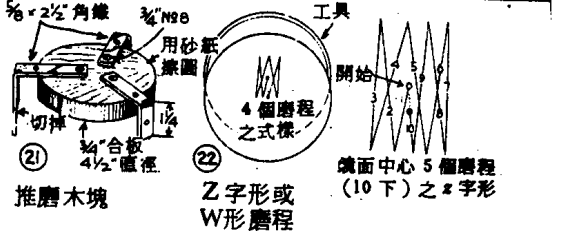
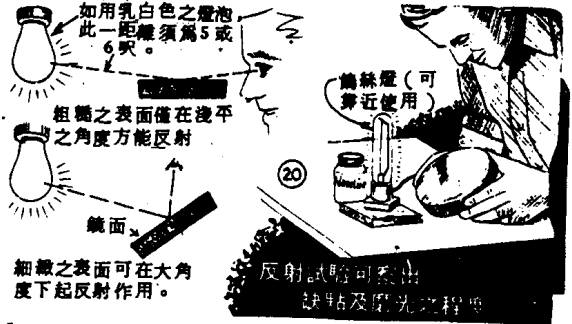
大略言之，磨粒之大小乃表示每吋中磨粒之數目。而 220 號以下之磨粒乃是以通過篩孔之大小而分級，更細者（麵粉狀）乃是以水浮選而區分等級。

圓角之多面形

金剛砂

金剛砂乃是自地下開採出之天然磨料，類似氧化鋁但比較軟。磨鏡工具包中所供給之 305 號金剛砂，乃是產品目錄所規定之號碼，並非顆粒之大小。就比較而言，305 號金剛砂約為每吋 1000 顆。

測試曲面 在磨曲面之過程中，須隨時注意其形狀與深度。開始所用測試工具乃是如圖4所示之一種樣板。工具包中所供給之紙板樣板，用作大略測試可說相當滿意，如要更求精確，可用鐵板製作之樣板。另外一種很有用之機械檢查法乃是測量弧矢（曲面之深度），如圖17所示。如要磨成一個6吋，f/8之鏡子，其最終之目的當是48吋之焦距或96吋之半徑。焦距雖然大或小一二吋，也無妨礙。在細磨之時尙可將半徑作大量之調整。鏡胚如放在工具上面磨（通係如此），其半徑愈磨愈短；工具如放在鏡胚上面磨，則其半徑加長。細磨之時如站在一個位置始終以三分之一的磨程施磨，其半徑之改變可望達到6吋左右。



替用之成形磨程 大多數的磨鏡者都迫不及待地希望在鏡的中心立刻現出淺窩，此種沒有耐心的結果，遂流行着數種懸空的磨法，其目的均是在使鏡之中心直接在工具之邊緣上摩擦。圖15之徑向磨法或圖16之切線磨法均可用以達成此一目的。徑向磨法與前述之長程磨法的一端非常相似；而切線磨法則是一邊懸空之三分之一的磨程，并沿鏡邊之弦向施磨（將圖周可分成十

瀝青

光學方面所用之瀝青大多數均是取自松樹或針葉，取自挪威針葉者品質特佳。該項松脂似之汁液經煮開後提煉成半固體之產品；再加松香、松節油與蜂蠟煎熬即成瀝青。瀝青可以燃燒，但不像汽油一樣會起爆炸，故熔化時僅須稍加注意即可。置白蠟罐於家用電爐上，傾瀝青於罐中，即可熔化。如用明火，可將罐置於有水之鍋中，慢慢加熱以熔之，熔後該瀝青冷半分鐘，然後緩慢地傾於溫熱之工具上。製作瀝青磁光盤之困難隨其厚度而增加，初學者須注意及之。

製作瀝青磁光盤所需之數量

直徑	厚度	立方吋
4 1/2"	1/4"	4 1/2
6"	1/4"	7 1/2
6"	3/16"	5 1/2
8"	1/4"	13

1/2 磅 (8 兩) 裝瀝青 → 容量 11 立方吋 售價 80¢ 175° F 熔化



或十五根弦)。磨時使用圖11之標準研磨循環，開始第一圈不論是用上述二法之何一種，其鏡心均是直接在工具邊上施磨，以後之各圈便逐漸減少懸空之程度，直至恢復正常之中心對中心之位置為止。

磨勻曲面 當你認為弧矢(曲面之深度)已經正確無誤時，即將磨法改成三分之一或較短之磨程，繼續用80號磨料磨之，直至獲得良好之接觸面為止。接觸良好與否之最普通試法，為在施磨時察看自兩圖片間所形成之泡沫情形如何，即可知曉。操縱在上之圖片，可將空氣自中心驅至邊緣，從其泡沫大小之變化，即可知其是否尚存有淺窩與稜脊。另外一個簡單之試法乃是將一條弄皺後整平之玻璃紙壓於兩玻璃圖片之間一該紙在整個面上都須壓得同樣的平。另有一個訣竅乃是用防水的墨水在鏡面上畫一條線，然後察看該鏡面重行施磨時，其上之線條是否很均勻地磨掉，這種方法也很通行。完善的接觸乃是表示有一完善的球面形狀。

細磨 按照表一之時程實施，每用一種等級之磨料磨畢後自然須要洗濯乾淨、更換報紙與換用新水等等，以防有散失之粗粒留下，混入以後之研磨行動中。整個細磨所用之磨法均是採用之三分之一磨程，每加一次新的磨料應至少研磨約五分鐘之久(或相當於繞着支架轉兩三周)。當水開始乾時，上下之二玻璃圖片將彼此滯在一起，此時所磨之時間或許比繞桶多出兩圈或兩圈以上的時間，而該次水濕所需磨之時間即告結束。為着可靠起見，也時常有用手擠壓之水壺多加一些水，此種加長時間之磨法特別是對每一級磨料之最後一次水濕最為有用。水之主要供給來源乃是水桶，在每一次換新磨料前，上下兩塊玻璃圖片均須浸入該桶中清洗乾淨。為確使鏡緣磨損平均，建議各位使用一些「工具在上」之磨法—每一等級之磨料至少用此方式作水濕兩次之研磨。如愛用一個有手把或推動之木塊助磨，可用圖21所示急速罩上或取下之方式行之。若磨得手酸，可用15磅之重量壓在玻璃圖片之頂上以代替手上所施之壓力。

重要指示 鏡子與工具在研磨之時如緊滯在一起，可用木塊靠住鏡邊，然後用木榔頭將其敲開。

找出確切之焦距 圖8所示之簡單反射試驗法可作此用。待試之鏡面必須用水浸濕以使其反射；如加上幾滴甘油則可使濕面保持得較久。房間必須

黑暗，幕布必須夠大以便易於顯出影像，因為在磨光之開始階段，該項影像微弱、閃藏不定也。

如有陽光，可用圖19所示之試驗方法。你可沿車棚或走廊站立，使鏡對着陽光，但你的面部則位於蔭處。此法係直接量測焦距，其長短可用記號畫於手中所持之木條上，如圖所示。太陽在鏡上之影像將比 $\frac{1}{2}$ 吋直徑為小，鏡面上如甘油較多、清水較少，其反射之時間將可保持數分鐘。

反射試驗 使用 120 號或更細之磨粒施磨後，反射試驗乃是檢查鏡面之形狀及其磨勻程度之最佳辦法，如圖 20 所示。粗糙之表面僅能在淺平之角度方能看到燈泡之反光。曲面之形狀，則可將鏡稍微偏動使反光在鏡面上移動以檢查之。突然之光亮表示有稜脊存在；光亮減弱乃是表示低下一塊。自鏡面中心至邊緣之反光如均保持同樣亮度而無變動，則其表面乃是球形。通常之缺點乃是邊緣之亮度減弱。此總是要到最後才能磨掉，因為你所見到之暗光是從上次磨料所磨成之較粗表面反射而來。每用一種磨料磨畢之後即加試驗，而且在用同一種磨料施磨之過程中亦應時加試驗，迄至鏡面中心至邊緣之反光均勻為止。

鏡之背面會發生副反射，假如刺目，可在鏡背塗上一薄層凡士林以消除之。試驗用之燈泡任何瓦特數均可，燈絲或乳白色者均可使用。有燈絲之燈泡可在很近之距離使用，如圖所示；但乳白色之燈泡則須在 5 或 6 呎之處觀看之，以消除其漫反射 (diffuse reflection)。

W式磨程 在細磨快要結束時，須開始學習如圖22所示之Z字形或W式樣之磨法。此種式樣之磨程數目從4到10均可一平均的數目約為5或6個磨程。此乃一種混合式之磨程，較直線式之從中心磨過者能使鏡面光滑優良。邊緣向外之懸空每磨一下約為 $\frac{1}{2}$ 吋。

最後之細磨 用 305 號金剛砂作最後細磨之時間可以加長，以獲得好的效果，磨時只要加水即可。手上所施之壓力隨所用磨粒之細度而逐漸減輕，用到最細之磨粒等級時，其所施之壓力不過是手壓在玻璃上之重量而已。在此時及以前所用各種磨粒之研磨過程中，最好是將氣泡消除。此一工作極為簡易，只須將鏡胚滑至快要脫離工具之際，然後慢慢滑回至中心即可。此一動作要在繞支架半周之後實施。

準備磨光 磨的工作不要停止，直到確實判定表面勻滑而且是良好之球面爲止。將鏡子放在距報紙數吋之處，如能從鏡面中讀出報上之文字，則該鏡面即屬勻滑。鏡面如能以45度之角度通過前述之反射試驗，該一表面乃是既勻滑且又呈球面。當然，表面之外觀也要光滑均勻方可。只要稍有花紋或暗影都是表示磨的功夫不夠。

