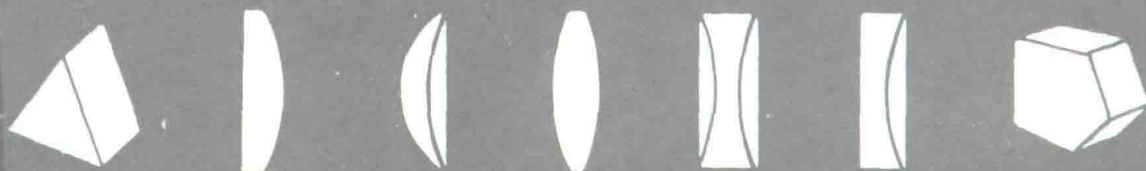


校鏡与透鏡制造

F. 吐 曼 著



國防工業出版社

出版者的話

本书所介紹的是英国光学工业中制造各种棱鏡和透鏡的方法。原书第一版于1943年1月出版;同年6月第二次印刷;1944年2月又印刷了第三次;該书于1952年修訂再版。在第二版中增加了有关制造眼鏡鏡片、精細分度、大型物鏡和反射鏡的資料,以及制造非球面和人造晶体的資料。此外,还增加了一篇柯达研究所闡述各种光学玻璃最近重要发展的文章。

本书的作者吐曼(F. Twyman)是喜尔格公司和瓦特斯公司的技术顧問。本书的內容大部份是喜尔格公司光学車間的生产經驗的总结,对我国同业讀者是具有参考价值的。

本书的編写形式比較特殊;全书按光学生产中的不同問題分編为十五章,同时又按生产中的具体問題分为338小节。此外,文字的书写風格采用了探討研究式的語句,并大量引用了別人的一些資料,因而,讀者在閱讀本书时,可以获得許多有关参考书籍的线索。另外,书中有些显然是夸张和商业性的文詞,在譯文中已做了删节,但是,考虑到讀者的某些需要,未完全删尽,請讀者批判地閱讀。

书中所用的单位有不少是英制的,同时在书內的插图上也是用的英制比例,所以在譯文中不便統一改为公制,只好請讀者在具体使用时再做換算。

原书第十六章專門介紹了几本光学及光学玻璃制造方面的参考书,現在改为附录Ⅱ列于书后。

PRISM AND LENS MAKING

F. TWYMAN

(HILGER AND WATTS LTD, HILGER DIVISION)

1952年第二版

棱鏡与透鏡制造

林友菴 譯

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

787×1092¹/₁₆ 印張20³/₄ 486千字

1964年2月第一版 1964年2月第一次印刷 印数:0,001—1,500册

統一书号:15034·688 定价:(科七)2.90元

目 录

第一章	历史	3
第二章	单一表面的制作	13
第三章	研磨和抛光的性质	27
第四章	一般使用的工具和材料	37
第五章	折光材料	68
第六章	透镜的大量生产	109
第七章	眼镜片的制造	141
第八章	显微镜透镜	155
第九章	棱镜的大量生产	163
第十章	非球形表面	179
第十一章	光学工件的检验	199
第十二章	用于检验和修改棱镜或透镜的喜尔格干涉仪, 以及其他类似的干涉仪器	230
第十三章	表面处理	248
第十四章	光学玻璃的检验	271
第十五章	大型物镜和反射镜	292
附录 I	吐曼退火时间表公式的推导	317
附录 II	偏光棱镜的制造	321
附录 III	制造光学玻璃的现状和未来的发展趋向	325
附录 IV	光学和光学玻璃制造的参考书	328

第一章 历史

古代的光学制作

1 就和大多数有用的技艺一样,透镜制造的发展次序和从事科学工作的人往往认为是合理的发展次序正好相反。在这方面,人们并不是首先研究磨制方法的原理,再把它应用到实际操作上,然后找到产品的用途。而是首先发现了一些偶然生成的近似透镜形状物体的光学用途,然后才有意識地开始制造透镜——从科学孕育出来的电气工业所遵循的就是这一发展过程——,至于研究磨光透镜的方法,那就更是最近的事了。

2 在尼罗河和美索不达米亚文明的时代,据说祭司阶级在宗教祭典中能够“引天火下凡”,于是有人便把这件事和当时有可能已经知道用透镜聚焦点火联系起来,这确是一种頗有趣趣的想像。拉丁文“焦点”(focus)一词原来的意思是“火炉”或“燃烧的地方”,从語源学上可以追溯到原来与寺院的祭坛或祭品焚献处有关的字根(参看牛津大字典)。还可以指出的是,近代法語中的“foyer”一辞具有“炉”和“焦点”的两重意义。

岡瑟(Gunther, 1920年)指出:复活节前一天用火鏡引燃新火的做法,在中世紀的英国已不算罕見。1388年威斯敏斯特教堂法具室的财产目录中就有火鏡一項。

普利尼(Pliny)和其他古代作家的作品,相当清楚地表明他們已經知道的用装满水的玻璃球做成的火鏡。人們时常引证希腊和羅馬的著作来证明他們已經懂得透镜,或者至少是装满水的玻璃球有放大的性能。王尔德(Wilde 1838年~1843年)^①对这个問題曾詳尽地加以討論,他断定:除去上述装满水的玻璃球以外,古人完全不知道近視或远視眼鏡,或者說根本不知道任何种类的透镜。他认为:古代文明遺物中发现的透镜形状的玻璃和晶体,都是宝石匠为了裝飾目的而制造的。另一方面,馬齐(Mach, 1926年)似乎倾向于这样的意見:迄今发现的这类古物是古人企图当作透镜使用才制成透镜形状的。

3 貝克(Beck, 1928年)援引了更多的证据表明,人們从很早就把某些透镜形状的物品,当作放大鏡和火鏡使用了。他指出从埃及第八王朝开始,普通类型的各种玻璃就陸續制造出来,而陈列在亚斯摩里英(Ashmolean)博物館的一块玻璃即使不屬於王朝时代之前,也應該是第一王朝的遺物。从美索不达米亚的阿部·沙林(Abu Shahrein)地方发现的一块很大的藍色玻璃,大約是紀元前三千年的古物。这位作者繼續写道:

但是,不管玻璃最初可能是在什么时候发明的,我們知道在紀元前十四世紀时,埃及已經有了一个地位相当稳固的玻璃制造中心,在爱琴海地区还有一个与它完全不同的中心,那里所采用的技术直到相当晚的时期才傳入埃及。而且,虽然埃及当时所制造的透明玻璃的数量,在总产量中只占微不足道的比例,可是爱琴海地区的玻璃大半是透明的,而且有相当数量是无色的。

不过我們用不着由于最初制成无色玻璃的日期不能确定,就无法考察出古代放大鏡可能制成的日期,因为

① 有号碼的参考文献見本章末书目提要,沒有号碼的見书末的参考文献目录。

晶体到处都是，而已知的最早的放大鏡就是采用这类材料制成的。

据我所知，首次提到透鏡的文献是阿里斯托芬(Aristophanes)的喜剧“云”，这个剧作于紀元前 434 年上演。在它的第二幕里有下面的对话：

斯瑞西阿得斯：你在药舖里见过透明透亮的、人家常用来取火的石片嗎？

苏格拉底：你是說火鏡嗎？

斯瑞西阿得斯：是呀。

苏格拉底：那么，你拿它有什么用呢？

斯瑞西阿得斯：要是有人向我发傳票，我就拿出这块石片，朝太阳底下一站，尽管离得远，我也会把傳票上写的字融化掉。

〔注〕 斯瑞西阿得斯在上面对話中所說的要旨是：他所提到的是債務傳票，傳票上的字是用蜡写的。他的意思是說，如果他用火鏡把蜡融化掉，傳票上的字迹便消失干淨，他也就不用还了。

……拉克坦提烏斯(Lactantius)在公元 303 年說过，盛滿水的玻璃球放在阳光下面，甚至在最冷的天气里也会点出火来。

因此，质量足以做火鏡的透鏡就可以做放大鏡。

在大英博物館的埃及部存有兩块放大鏡，要不是因为已經晦暗失色，就滿可以做极好的火鏡。它們的直徑約为 $2\frac{1}{2}$ 吋，焦距約为 $3\frac{1}{2}$ 吋，因此可以放大三倍。它們不仅經過压鑄，并且經過磨琢。而且平面是跟另一轉動着的平面对磨的，和近代的磨法完全一样。例如，透鏡之一(埃及部陈列館 22522 号)是在塔尼斯(Tanis)发现的，确定的日期是公元 150 年(见图 1)①。

……但是，关于早期放大鏡最肯定的证明是这一年(1927 年)，法斯代克(E. J. Forsdyke)在克里特島所发现的两只晶体放大鏡，它們的制成日期至少可远溯到公元前 1200 年，甚至可能是公元前 1600 年，因为在墓中所发现的大多数小物件都属于这个年代。

作者最后又补充道：

在烏利(Woolley)新近发现并被认为是公元前 3000 年以前制成的古物中有些手工既精良而又細致，这就使我們感到很可能在那时已使用放大鏡。再加上，那时候已使用晶体，这就使我們可以指望：将来的发现会使我們肯定放大鏡或晶体的制造日期甚至比这些剛在克里特島发现的十分重要的东西还要早一些。

格利夫(Greef, 1921)著作的第三章还举了另外大約有六件古物的例子，無論它們当初是否是作放大鏡用的，过去而且事实上在有些情况下甚至今天都能够用作放大鏡。其中之一就如圖 1 所示。它現存于柏林人民博物館，陈列在由舒里曼从特洛伊(Troy)发掘出来的有名古物中；估計是公元前三世紀后半期的遺物。尽管这样，作者仍贊同地引用了費特汪格拉(Furtwängler)的意見：曾有人断言“古代人在工作中使用过放大鏡，也有人提出异議。不过，尽管我們滿可以认为这很有可能，但却很难加以证实”。

我們看到，当人們第一次觉得为了使用而必須研磨透鏡时，就已經有了为裝飾而研磨宝石的种种方法。甚至那时候最初大概也是用于宗教仪式而不是用于非宗教目的，并且其制造方法还可能严格保守秘密。这种保密作風在今天的珠宝行业中还存在。

4 人們在談到早期的光学历史时，时常提到阿拉哈孙(Alhazen)的名字。

阿拉哈孙(文布·阿里·哈桑 Abu Ali Al-Hasan Ibu Alhasan)生于巴士拉，1038 年死于开

① 我原来希望亲自考察一下这块玻璃，看看我的判断是否能够证实作者的論点，可惜这块特殊的标本在战时迁往某处安全地点后还没有运回大英博物館。但我攝进大英博物館新拍的一张照片作为圖 1 的一部分，它比原引材料的图片更清楚地显示了該物体的性质。——著者注

罗。他解决了在一面凸鏡上寻找一个点的問題,从这个点上,来自一个特定点的光綫将被反射到另一点上去。他的关于光学的研究論文曾被維特罗(Witelo)譯成拉丁文(1270年),并由里斯納

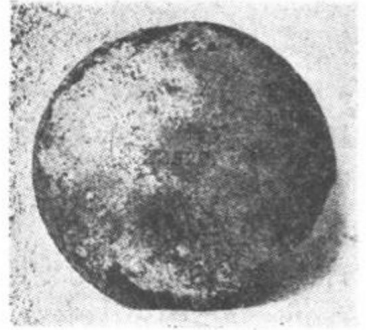
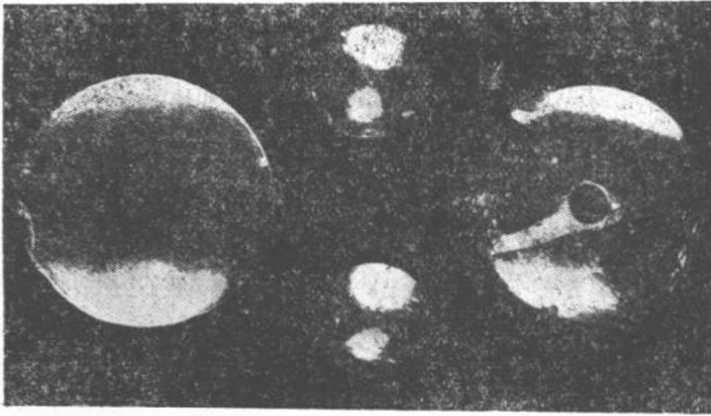


图1 古代光学制品:

左—从古代特洛伊发现的像透鏡形狀的岩石晶体;

右—从塔尼斯发现的一只早期埃及透鏡(紀元后150年)。

(F. Risner) 于1572年以下列书名出版:《阿拉哈孙氏光学丛术七卷附同作者的論薄暮与黎明时的云彩上升》(Optical thesaurus Alhazeni libri VII. cum ejusdem libro de crepusculis et nubium ascensionibus)(大英百科全书第十一版1910年~1911年“Alhazen”条),拉丁譯文可在同卷“傳記”部分找到,見本章末参考文献第一項亨利馬丁(Th. Henri Martin)的論文所列。但是,阿拉哈孙在提到透鏡时似乎只說过一句話:假使把物体放在一个玻璃球較大球缺底部上,物体就会显得被放大。

眼鏡的发明

5 关于第一次有根据地提到使用眼鏡的日期,我們應該追溯到十三世紀末期,这似乎見諸于麦斯納(Meissner 1260~1280年)的著作,他明确說过老年人深得眼鏡之助益(Bock, 1903年)^[2]。在古老的圣·巴芬·勒·格藍(Saint-Bavon-le-Grand)修道院的档案里,找到了这样的陈述:一个名叫尼科拉斯·布勒特(Nicolas Bullet)的神父,曾于1282年戴着眼鏡簽訂了一項契約(Pansier 1901年)^[3]。我們能在上面見到眼鏡的第一張图画是杜馬索·得·麦丁那(Tomaso de Modena)繪制的,保存于特累微左(Treviso)的圣·尼古拉教堂,繪制年代是1360年(Oppenheimer, 1908年)。

馬丁^[1]說:

发明近視和远視眼鏡的記載見于1299年佛罗棱薩(Florence)地方的一卷手抄本,它提到眼鏡是“新近的发現”。蒙彼利埃(Montpelier)的伯納德·戈登(Bernard Gordon)教授在1305年开始著作的“药用百合”(Lilium medicinae)一书中提到戴眼鏡可以糾正視力的缺陷。吉奥丁纳达里华图(Giordano da Rivalto)在1305年2月23日布道时談到这项发明还没有超过二十年。抄录布道文的人說他亲眼看到过这位发明者,并且和他談过話,因此眼鏡的发明大約是1285年的事,不可能更早一些。除此之外,我們还知道这位发明者是佛罗棱丁(Florentine)的沙維納·德·阿麦图·的里·阿麦提(Salvino d'Armats degli Armati),他死于1317年。他将这项发明作为已有而不向外宣布。但是,比薩(Pisa)的修道士亚历山大·斯平納(Alessandro Spina, 死于1313年)

曾看到沙維納·德·阿麥圖所做的眼鏡；成功地仿造了一副，而且很快就把这个秘密公开了。

在 237 頁的附注末尾中，馬丁說：

老式眼鏡由两块皮子組成，它們被釘緊在一頂帽上，这种帽子低低地扣在前額上。

晚近时期(1921 年)，格利夫(Greeff)仔細研究了大量有关发明眼鏡的資料。他指出：如果想知道最古老的眼鏡是什么样子，虽然我們簡直不能忽視画像的价值，但可是如认为画上的眼鏡都是画家所代表的那一时代的東西，那就太天真了。从封·爱克(van Eycks)开始，画家們即使在繪制非常古老的时代的人物时，为了表示一个人沉緬于学习或默想，給画中人物往往画上一副眼鏡以使他們的画面更加逼真。作者引用了这种不合乎时代现实的情况，例如，大約 1456 年在海德耳堡(Heidelberg)繪成的一幅摩西小画像，就戴着一副眼鏡。在繪画艺术的那一特殊阶段，画師們的目的并非力求在細節上反映历史真像，而是照他們同时代的人所看到的和感觉到的一切进行創作。因此，在他們的画像中出現的眼鏡也只是代表了他們自己所生活的时代所流行的眼鏡。

在另一章中，格利夫研究了时常提到的一种假定，认为眼鏡导源于印度或中国，但是他发现这是无稽之談。他引证了很多权威著作后，推断在产生眼鏡以前，絕對沒有人能证明中国人有眼鏡，同时他还合理地假定眼鏡是在十六世紀早期經馬六甲傳入中国的。然而格利夫博士提到了紐約州哥伦比亚大学赫斯(Hirth)教授的意見，后者认为公元前一世紀的中国就有了凹凸青銅鏡。

根据这些以及类似的证明，我們可以同意这样的看法：眼鏡的使用大約始于 1280 年。

布魯克韦尔(Brockwell, 1948 年)說：

关于透鏡的制造，罗杰·培根(Roger Bacon)在 1266 年左右写成的《主要著作》(Opus Majus)以及另一著作《透視的第三部分》(Perspectivae Pars Tertia)中指出“将一个球缺平面朝下地放在书上，人們就会使一些細小字迹变大^①。”他把这个光学上的知識介紹給朋友海因里希·戈德尔士(Heinrich Goethals)，后者于 1285 年在意大利旅行时，又把这种思想轉告給比薩的修道士亚历山大·特拉·斯平納(Alessandro Della Spina)，因为他“能够随心所欲地制造出任何东西”。这位修道士死于 1313 年。

6 本书著者尚未找到在威廉·波尼士(William Bourne's 1585 年)^[4]之前如何磨成透鏡的資料，波尼士的記載虽然十分不完全，但是却足以說明那时候所用的一些方法和現在仍然一直沿用着的一些方法十分相似。他叙及透鏡時說：

这类鏡片是在專門的铁质磨模上磨成的，磨模略呈中空状或向內低凹。而且可以用任何种类的玻璃制成，但是玻璃越澄明則越好。在玻璃完全制成圓形之后，用胶把它粘牢在小垫座上，用手研磨直至平滑，并使得邊緣或周圍薄而中央最厚。

他沒有叙述所用的材料、磨具或工作的方法。

7 那波利(Naples)的巴普蒂斯塔·波特(Baptista Porta, 1591 年)在他的名著“自然魔术”中，有完全不同的叙述，这是一本内容龐杂包括光学、磁学、美容术、烹飪术、炼金术、药学以及魔术等等的技艺百科全书，其中有很多内容是淺薄、低劣和无聊的东西，但却也可以找到不少部分像描述光学磨光操作那样，显出对知識的深入探索和对内容广泛的事物具有精辟的了解。下面是該书 1658 年出版的英譯本第 17 卷 21 章的摘录，但是其内容則和 1591 年的拉丁文版本完全

① 完全像二百年前阿拉哈孙所指出的——样。

相同。譯者把原文“*pilae vitreae*”譯成“玻璃球”，當時，人們却是用這一短語表示“空心玻璃球”的（如普利尼），如果讀者想正確地理解下列描述，就應該記住這一點。

在日爾曼，有人製造一種玻璃球，其直徑為1呎或1呎左右，球體以延里米石（Emrilstone）刻出圓形，割成很多小圓片，然後運到威尼斯，在那里用熔化的松香把它們膠牢在木柄上。如果想做凸眼鏡片，就要用一只凹陷的铁盘子，這一铁盘是一个大球的一部分，眼鏡的凸度可以或大或小，铁盘必須完全磨光。如果想做凹眼鏡片，就用一个铁球，它和大銅炮借火药射击的炮彈一樣，它的表面大約二、三呎。在铁盘或铁球的表面上撒上产自凡盛提亚（*Vincentia*）的白砂，一般把它称做沙达米（*Saldame*）。拌水之后用两手大力摩擦，使玻璃圓片的表面符合铁盘的形状，即在铁盘或铁球上磨出凹的或凸的表面，直至两者完全一致为止。做好了这一步，用文火加熟手柄，取下鏡片，仍用松香将另一面胶上去，照样磨制，使两面均可得到凸的或凹的表面。然后加上硅藻土（*tripoli*）重新研磨，这样它就会被精細地拋光。如果研磨工作彻底，看起来便很明淨。拋光时把羊毛呢布束在木头上，加上水滴和硅藻土粉用力摩擦，这样就得到优等的玻璃鏡，成为你所买到的威尼斯造大透鏡和眼鏡了。

望遠鏡和顯微鏡透鏡

8 1671年，一个叫培利·查魯賓·德奧蘭斯（*Père Cherubin d'Orléans*）的人写的一本名著問世，它不仅論述了光学、望遠鏡（包括双目望遠鏡）和顯微鏡以及它們的原理、結構和用途，而且还論及透鏡的制造和他自己为了减少研磨望遠鏡片的勞力、加快研磨速度和增进精確度而发明的各种机器。該书的后一部分共八十二頁并有很多插图（大約35,000字）。这些介紹是如此詳盡，作者本人在这方面的知識表現得是如此深湛，以至即使在今天，如果把这部书介紹給光学徒工，恐怕还是适用的。

他所用的材料跟我們現在还广泛使用的十分相近，叙述得頗为詳細，因此，如果把它們意譯出来，在这里并不算多余，我們只要認識到下一事实就能明白其理由，这就是：如果在把二十世紀发现的方法除去不計，我們在德奧蘭斯以后的时期内发现的基本上全新的方法，实际上是微乎其微的。

在磨具方面，他使用的材料是铁和黃銅，胶結透鏡的托柄則采用鉛、錫或銅（他比較喜欢用銅）。他詳盡地闡述了有关制造鑄型和模具以及車制、研磨模具的全部細節。同时还介紹了他为車制磨具而特別創造的車床。

在談到將透鏡固牢到托柄上去的接合剂时，他說有人用上等黑瀝青（一定要沒有燒过的）混合上篩过的葡萄藤灰，但他却比較喜欢在瀝青里摻上四分之一的上等葡萄胶（*grape jelly*），并且用研細的赭石或石堊粉来代替葡萄藤灰。

他介紹用敲碎的磨石（*grindstone*）作为优良的研磨材料，这些碎磨石的分等步驟如下：把粉末放在盛滿水的大容器內，充分加以攪拌后，令其沉淀片刻，以便使粗粒下沉。然后，迅速将大部分液体倒到另一容器內，液体带着細粒一起流出。可以在这个容器中繼續完全沉淀，然后慢慢地把剩余的液体潑掉。反复将带着有用顆粒的沉淀物按照这样的方式处理数次，这样就使几种“强度”等級不同的顆粒分开，存放不同的地方，按工作的性质而分別使用。他把硅藻土或者是氧化錫粉作为拋光材料。

他說，硅藻土以最輕者为最好，质量高的不妨使用天然生成的团块，否則应加上白兰地酒或（如无白兰地酒时）白酒研細，然后密封在瓶子里靜放四、五个月使它軟化。它能够在阳光下晒干

而成团地使用，也可以直接从瓶子里取用潮湿的。

他爱用的氧化锡粉是用锡煅烧成的（他提供了制备氧化锡的详细说明）。玻璃是用威尼斯破镜子制成，因此它的两面均已抛光，便于检验。

他宣称改进了抛光的方法，即在他曾用来研磨的凹磨具上紧蒙着一张厚度均匀而且柔软的薄皮，用一个圆环将它箍到磨模的周围，在皮上摩擦透镜，摩擦时，压下透镜使皮面与磨模相吻合。他使用的另一种方法，是将磨模复上一层纸，十分小心地将纸粘贴到磨处的位置中，以避免表面的皱纹或其他不均的毛病。他用硅藻上将纸润湿，然后就这样用于抛光。在他描述的他自己发明的机器中，有几种也许满可以当作现代还常用的一些机器的前身，在其中的一种机器上安装着竖轴，光学工具是利用一根绳子和吊悬着的重量和轴一起转动的，所以工作者的双手便可以腾出来。光学工具精确地车削成所需的半径，其办法是利用一根半径杆用枢轴卡住其一端，另一端装上车刀，这样就足可使光学工具被车成所需的凹面。同样的机器也用于研磨和抛光玻璃，在随手操作时用手托住玻璃。本书作者还没有找到比这更早的有关用来车削工具或用来研磨和抛光透镜的机器的具体资料。

9 大约同一时期，虎克(Hooke)正在制造显微镜(1667年)，他描述了一种制造显微镜物镜的方法：用灯把一块威尼斯玻璃碎片拔成细线，然后把这根细线的一端放在火焰里烧成一个玻璃球，再在这根细线的玻璃球一端磨出一个平面。首先放在磨石上磨，然后放在平滑的金属板上用硅藻土一起研磨。但是，由于这些透镜太小，似非他使用的优良的平凸物镜，而且也没有迹象证明这些物镜是他自己制造的。

10 德国伟大的显微镜专家雷文胡克(Leeuwenhoek)于1719年做成了自己的透镜，但却没有遗留下关于他的制造方法的记载。1715年9月28日，他给莱布尼兹(Leibnitz)的信上说：

有关你鼓励青年人研磨玻璃的想法（好像是从设立一所研磨玻璃的学校开始），我本身认为这是没有多大用处的，在莱顿(Leyden)，由于我的发现，许多有闲暇的人已经对于研磨玻璃产生了莫大兴趣。这个城里事实上有三位这门技艺的能手在教导着对这些事情有兴趣的学生，但他们的劳动又有什么结果呢？就我所知，什么结果也没有。

目前，人们钻研一切学科的目标是：凭知识发财致富或是借博学获取声誉，但这种目的却不是研磨玻璃或发现玄奥的事物所能达到的。而且我相信很难从千人中找到一位非常适合于这种学习的人，因为学习这项技艺既要付出大量的时间，又要浪费金钱，如果谁想要在这方面有所成就的话，他的精神必须永远保持紧张状态，不断思索和钻研问题。大多数人并不十分热衷于这种知识，事实上，对此并不投合的许多人往往毫不犹豫地发问：知道不知道这些事情又有什么关系呢？

牛顿和反射望远镜

11 牛顿是第一个成功地做成一架反射望远镜的人。诚然，詹姆斯·格雷戈里(James Gregory)在1663年曾提出过格雷戈里式的望远镜，并于第二年来到伦敦委托有名的光学工匠莱微(Reive)承制这种望远镜。它的焦距要有6呎，但是后来证实镜面情况不好，因此就放弃了再做下去的念头。格雷戈里认为这次失败是由于莱微试图用布来抛光镜子的缘故，因此格雷戈里当时一定已经知道：除去当时为人所知的一切抛光模（在牛顿的制品出现以前）以外，还有可能存在一种更完美的物质。牛顿在1721年所说的一段话据说是利用瀝青制成抛光模这一方法的第一

次公諸于世。

牛頓于 1668 年制成他的第一架反射望遠鏡，口徑只有 1 吋，焦距為 6 吋。

牛頓會採用反射式望遠鏡的理由將在第十章中敘述。

在 1672 年 3 月 25 日的《哲學會報》的目錄上，我們看到“伊薩克·牛頓發明的新型望遠鏡報告”一文，報告中敘述他曾試用過各種銅、錫和砷的合金，其中有一種包含 6 盎司銅、2 盎司錫和 1 盎司砷。他的一位朋友說：“研磨的結果比使用別種合金來得好”。牛頓是用氧化錫粉來拋光他的金屬鏡子的。

我們看到，他所用的金屬跟“鏡面合金”很類似。第九版《大英百科全書》在“青銅”條下注明青銅含二份銅一份錫。我自己也曾澆鑄了這種合金，而且用它做了成百上千面鏡子。

1721 年，牛頓提出了一些拋光的要點，雖然指的是鏡子，却也適用於透鏡，看來他還是第一個用瀝青來拋光的人，這是一個極其重要的革新。牛頓在上述文獻中說：

我是採用這種方法拋光的，我用兩塊直徑各為 5 吋的圓銅片，一塊是凸的，另一塊是凹的，它們彼此對磨得十分吻合，拿凸的來研磨預定要被拋光的凹金屬物鏡，一直磨到和凸磨模的形狀相符而可供拋光為止。然後把瀝青薄薄地塗在凸磨具上，其方法是把融化的瀝青滴到凸磨具上，並要將凸磨具加熱以保持瀝青的柔軟。同時，我使它與銅凹鏡互相摩擦，使瀝青均勻地塗在整個的凸磨模上。通過這樣的適當操作，我使瀝青層變得像四辨士的銀幣(groat)●一樣薄。等到凸磨模冷卻後，再次研磨，以求盡量得到正確的形狀。然後，利用經過洗滌除清所有粗粒的十分精細的氧化錫粉灑一些在瀝青上，拿銅凹鏡在瀝青上面研磨直至發出噪音，然後以快速動作在瀝青層上研磨金屬物鏡，研磨時間約為二、三分鐘，研磨時使研磨物緊緊地壓倚在瀝青層上。接著，我在瀝青上加添新的氧化錫粉重複操作，直到發出噪音時為止，在這以後再按照以往的作法在瀝青層上研磨金屬物鏡。重複操作到金屬鏡面拋光。最後一次研磨時，我在很長時間內使盡了全身力量，時常在瀝青上呵氣保持濕潤，但並不再加新的氧化錫粉。金屬物鏡有 2 吋寬，厚度約為 $\frac{1}{3}$ 吋，借以避免彎曲。我有兩塊這樣的金屬物鏡，將它們都拋光以後，我先試一下哪個最好，然後再拋光另一個，看看我是否可以使它拋得超出前一只。通過這樣的多次試驗之後，我就懂得拋光的方法，直至做成上述的兩塊反射望遠鏡。通過多次實踐比讀讀我的報告能更好地學會這種拋光技術。我在瀝青上研磨金屬物鏡之前，每次都首先添上氧化錫粉用凹磨具磨到發出噪音，因為粉末的顆粒如不經過這種方法緊緊粘附在瀝青上，它們會上下滾動擦傷金屬物鏡，因而使它布滿小孔。

但是，因為金屬比玻璃難以拋光，往後也很容易晦暗以致不能像鍍水銀的玻璃一樣反射那么多的光綫，我主張用玻璃代替金屬，玻璃的前面要磨凹，後面磨成一樣大小的凸形，凸面鍍上水銀膜層，玻璃各處的厚薄都應該完全一樣，否則物鏡看來會帶有顏色，而且不清晰。約在五、六年前，我想用這樣一片玻璃鏡面做一架放大率為 150 倍的 4 呎長反射望遠鏡。我自己感到很滿意，以為一切都已具備，就差一個很好的工匠使設計大功告成了。因為這片玻璃是倫敦一位工匠按照他們磨制望遠鏡鏡片的同一方法磨制的。可是，儘管它看起來和一般製造的物鏡一樣好，但當它被鍍上水銀以後，卻發現整片玻璃上有很多地方反射不均勻。由於有這種不均勻的缺點，儀器里的物體就顯得很不清楚。玻璃不均勻所引起的反射光綫的誤差要比同樣的不均勻所引起的折射光綫的誤差大五倍左右。儘管如此，這次實驗仍有滿意的地方，起初我擔心從玻璃凹面反射的光綫會損及視線，結果害

● E. S. G. 魯濱孫，蒙倫敦英國博物館硬幣與勳章助理保管員，供給下列資料，深為感謝。

四辨士大銀幣在牛頓時代大約有半毫米厚，但是實際上並沒有大量流通，只是用作布施錢而已，更早時候用作貨幣的四辨士銀幣的厚度在牛頓時代，恐怕已經磨蝕很多了，不大有可能超過三分之一毫米。

因此如果牛頓說這句話時真是指的字面含義，而並非只把它當作“薄如四辨士銀幣”這句通俗成語——根據他平常的謹嚴風格看來，後一種可能是不大的——那麼，他使用的瀝青厚度不超過現在常用的三分之一，關於這方面的實踐經驗，有很多值得一談的，因為這使我們能夠使用一種柔軟得多的瀝青而不變形，因此更可以避免留下傷痕和紋路。

处并不明显。由此可见，只要有能够研磨玻璃和将它们抛光成正确球形的巧匠，就完全可以使这些望远镜趋于尽善尽美。伦敦一位技工制成的一架14呎长的望远镜，曾由我作了很大的改善，其办法是：将它放在瀝青层上用氧化錫粉抛光，在抛光过程中使它轻轻地倚在瀝青层上，否则恐怕氧化錫粉会把它划损，用这种方法来抛光，这些反射玻璃镜子是否能有好效果，我还没有试验过。但是，也不妨试用这种或者另一种被认为更好的抛光方法，研磨准备抛光的玻璃时，如果不使用伦敦工人压紧玻璃抛光的那种强力，效果就可能好得多。因为这些强大的压力容易使玻璃在研磨时产生少许弯曲，而这当然就会破坏它们的外形完整。

早期的研磨和抛光机器

12 看来有些光学研磨和抛光的机械早在十七世纪就已经出现并被使用。C. A. 克罗姆林 (Crommelin 1929年) 博士曾描述和说明了由德斯卡兹、惠更斯、虎克、赫尔维利厄斯 (Helvelius) 等人所制成或计划的机器。

赫瑟尔 (Herschel) (论文集 1912 年) 在 1774 年使用瀝青磨模来抛光他的望远镜上的金属镜 (它们当中有些十分巨大)。他谈到过一次要用十个人的抛光操作。他介绍了用他制造的机器来抛光大型金属镜可以避免雇用这么多操作工人，不过，他却没有公开他的操作方法的细节，因为他显然把这些看做是职业秘密。但是，他曾于 1789 年写了一篇含糊其词的相当短的论文给皇家学会，说到他已经最后制成了一架真正能够工作的抛光机器，这种机器他在六年前曾试造过，但却失败了。我认为我们可以相信自 1789 年起他大概已采用各种机器来抛光和修整他所有的镜子外形。已经详细地公诸于世的不多几分记载见 J. F. W. H. 为第八版《大英百科全书》撰写的“望远镜”一文。这篇文章的某些摘录见特力迦 (Dreger) 所编《科学论文集》第一卷第 XLIX 页，并附有一张插图，示明每一动程中镜子和抛光模的研磨运动，以及旋转的原理。

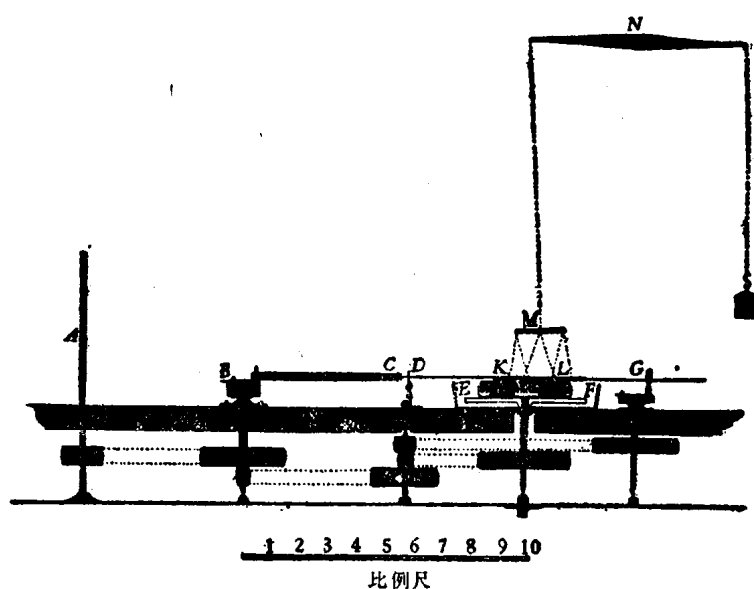


图2 鲁斯爵士的抛光机

年)，(当时的名衔是奥克斯明吞 (Oxmantown) 男爵，1841 年才继承鲁斯伯爵衔) 曾在皇家学会报告过有关一种研磨大镜子的机器 (见图 2)。

A 是一根与蒸汽机连接的轴；B 是偏心轮，可借螺栓调节从 0 吋到 18 吋的任何动程长度；C 是接头；D 是导

13 夫琅和费 (Fraunhofer) 所做的望远镜透镜是十分优越的，据说他是第一个采用球形样板来检验表面精确度的人。

然而，一分已发表的资料 (戴维，1936 年) 认为最早使用球形样板的是大约五十年前法国的劳梭特工厂 (Laurent, 现在称约宾与乌冯合资工厂)。

14 最后，在仍然被我们称为历史时期的阶段中，鲁斯 (Rosse) 爵士 (见帕森斯，1926

軌；E、F 是鏡子在內旋轉的水槽；G 是另一個偏心輪，也像第一個偏心輪那樣可以調節自 0 時到 18 時的任何動程長度。杆 D、G 穿過一條狹縫，因此 G 處的銷子必須跟着偏心輪同時繞着它的軸線旋轉。H、I 是裝在框盒內的金屬鏡子，浸進水內距其表面約達 1 吋以內；K、L 是鑄鐵的拋光磨具，重量約為 250 磅。M 是一個圓木盤，用六根繩子鉤掛在六個地方而使它与磨具連挂在一起，每個鉤挂地點離中心為半徑的三分之二。在 M 的那一點有一個活節的掛鉤綁着一根繩子，使整個機器与杆 N 的一端連接起來。因此，磨具壓在鏡面上的力量等于它本身的重量与平衡法碼 O 的重量的差值。以一块 3 呎直徑的鏡面來說，我使平衡法碼的重量比磨具少十磅。杆 D、G 与磨具配合得很好，一点也不緊，因此磨具轉動得很自然。通常鏡子每轉動約十五至二十轉時，磨具才轉動一次。為了防止磨具意外地接觸鏡面，那里有四個防護器。此外，用兩個導軌來防止拋光磨具受壓，磨具的兩個極端穿過這些導軌。我曾試用了很多新發明的裝置，來把機器与磨具連接起來使用，但是，我在上面敘述的這一種遠較他種優良。在拋光一個 3 呎直徑的鏡面時，輪子 B 的轉數為 16 轉/分。當拋光一面較小的鏡子時，借變換 A 軸的滑輪就會增加速度。

在同一篇文章里，他敘述了紅粉的制备方法（載于帕森斯，1926 年 98 頁）。在硫酸鐵的稀釋溶液中加入氨水使之沉淀，然後將所產生的過氧化鐵沉淀物放在暗色灼火中煅燒，就製成這種紅粉。此外，還值得注意的是：魯斯爵士是以蒸氣透平機而著名的查爾斯·帕森斯（Charles Parsons）的父親。

15 製造透鏡的這些現有方法的發展階段已經說得够多了，但是我們應該補充一句，這些留傳下來的記載很可能遺漏了許多發明這些方法的工作者的名字。有些方法也可能導源于十分古老的研磨寶石的技术。

書目注要

1. 亨利·馬丁（Th. Henri Martin）著：《論近代研究工作者將若干光學儀器的發明歸功于古人之謬談》，載于《數學与物理學歷史及其書目雜誌》（羅馬）第 4 卷，第 165～238 頁，1871 年。

馬丁所討論的內容，大部分和可以在王爾德（E. Wilde）的《光學史》（Geschichte der Optik，柏林，第 1 卷，1838、第 2 卷，1843 年）中發現的相同，但馬丁的論述却充實得多。馬丁在這篇有趣的文章里，簡明地論述了這樣的證據：古人熟悉某些光學儀器，但他認為沒有可靠的證據說明他們會有任何關於望遠鏡、顯微鏡、放大鏡或近視以及遠視透鏡的知識。他認為很多已經發現的類似透鏡的晶体和玻璃恐怕都只是裝飾品而已。他在這個問題上所作的最大讓步是，他認為古代的透鏡狀透明石片是用來做火鏡的。同時，例如在阿里斯托芬時代，藥劑師們將它們當作火鏡銷售，通過陽光用它們點火（阿里斯托芬的作品和其他古代有關著作說的非常清楚，沒有一點含混的地方）。此外，他還承認古人可能曾經用透鏡（充滿水的玻璃球）放大物體。

2. 博克（E. Bock）著：《眼鏡及其歷史》（Die Brille und ihre Geschichte，維也納，1903 年）一書中重複了一部分馬丁已經充分討論過的東西，但卻沒有提到下面這些話：“由博尼法奇烏斯（Bonifazius）教堂取名的、偉大的蕭特·文夫利德（Schotte Winfried）（680～755）了解放大鏡的作用。”“首先是羅杰·培根（Roger Bacon）……曾在 1276 年提到過眼鏡。”“在這時期，眼鏡在德國已經為人們所熟知。邁斯尼爾（Meissner，1260～1280 年）在詩集中明確地提到，老年人都戴眼鏡”。他沒有敘述制造的方法。

3. 品斯亞（P. Pansier）著：《凹凸兩面的透鏡史》（Histoire des Lunettes）（巴黎 1901 年）第

21 頁。內容很少超出馬丁討論過的東西，雖然作者並不承認這一點。該書第五頁寫着：“無論如何，古代羅馬人還不會利用凸透鏡來補救老花眼的缺陷，因為根據曼寧(Manni)、西塞羅(Cicéron)、康尼利厄斯·尼波斯(Cornélius Nepos)、蘇登(Suétone)等人的著作，都證明老年人視力衰退時，除用一個奴隸幫助他代讀之外，別無其他辦法”。後面又說，“我們的先人似乎完全不懂凸透鏡，從任何可信的記載上都不能得出他們已利用凸透鏡解決眼疾的結論”。

4. 威廉·波亞尼(William Bourne)著：《論光學玻璃的特性與質量》(A Treatise on the properties and qualities of glasses for optical purposes) (大英博物館，萊斯特手稿，第 121 號)。這篇論文沒有說明發表的日期，但最可能是在 1585 年寫成的，因為作者引證了他自己著作的另一本書，而後者他說是七年前的作品，人們猜想即是指 1578 年在倫敦出版的“旅行者的寶庫”。文章只簡單地提到在一個凹形鐵質磨具中研磨的問題。

第二章 单一表面的制作

16 本章将討論数世紀来一直沿用的手工磨制棱鏡或透鏡的若干方法。为了實驗室技術人員和业余研磨透鏡爱好者的利益打算，我們介紹了这样一些机器，虽然它們的效率并不頂高，但却只須使用最簡單的設備就可以用来减少过去手磨玻璃的單調工作。

这些步驟和材料在大量生产透鏡和棱鏡时都有許多更改。然而基本原理却仍然沒有改变，而且是由最初时期研磨玻璃的方法直接继承下来的。棱鏡和透鏡的大量制造問題，将在第六章和第七章中叙述。

首先應該提到必須达到的表面精确度問題，面积一平方呎的窗玻璃通常的表面平度在百分之一吋以內。正确一点說，如果你把它放到一只平板上，两个表面之間的間隔在某些地方可能达到百分之一吋。一块同样大小的优质平板玻璃的誤差大致是千分之一吋。就第二等的双目望远鏡來說，棱鏡的平度在万分之一吋以內，这大約也是眼鏡名厂产品的精确度。最优等的双目望远鏡，誤差不超过十万分之一吋。某些科学上使用的制品所要求的最高精确度，平面誤差不能超过百万分之一吋，事实上，有时候还必须达到比这个标准更高的精确度（參看 227.1, 336 和 337 各节）。

17 光学零件的制造，無論是棱鏡、透鏡或是平晶都包括下列四种主要操作：

- a. 从原料(玻璃块)鋸取毛坯；
- b. 粗磨尺寸以及角度(或半徑)；
- c. 保持着角度(或半徑)的細磨；
- d. 拋光和零件的最后加工。

单块棱鏡的制造

18 假定我們想做一只用于分光鏡的棱鏡，而且已經从玻璃制造厂得到合适的玻璃块。

鋸取毛坯

鋸玻璃有三种常用的方法，現在依照效率高低的順序叙述如下：

- a. 在工具磨輪上把手鋸片的鋸齒磨掉，然后装在普通的鋸架上，鋸切时加上用水調和的碳硅砂浆。
- b. 用像技师用来切削碳化物尖端的碳硅砂切盘，但必須保证切盘的粒度和結胶适用。如果把需要和用途告訴制造厂，他們便会供应合用的切盘。
- c. 使用加嵌金剛石的鋸片，这在市面上可以购得几种不同的型式，或者借小电动車床的帮助临时制成，采用 0.03 至 0.04 吋厚的軟铁鋸片。

談到这三种方法分別具有的优点，我們认为用手鋸的方法虽然緩慢和辛苦，但对于不熟练的人來說，恰好可以比較保險。碳硅砂輪和金剛石鋸片需要高轉速才有效率，前者的实际轉速由制造厂規定。如果能有一架合用的小車床，加上一个适宜的托架，就可以用它車鋸片胎坯，然后在

鋸片胎坯上開斜口，嵌入金剛石粉制成鋸片。實際鋸切玻璃也在小車床上進行。

除了鋸切之外，玻璃塊尚可劃上裂痕壓斷。特別的壓裂機使這種方法適用於很厚的原料。壓斷的方法，是首先用硬鋼滾輪在玻璃上劃痕，然後將劃痕面向上放在壓力機的平台。放置的位置使劃痕平行並對正一個比平台平面稍高的刀口。壓力經由另外兩個刀口傳遞給玻璃表面，這兩個刀口和第一刀口平行，在劃痕兩側的距離大約相等（它們之間的距離對下刀口成 60° 角）。這兩個刀口在玻璃塊上表面平面上的位置並不固定，以便補償玻璃兩表面間不平行的缺點；且以軟墊承托着，以避免過大的壓力使個別接觸地方有部分破裂。壓力使玻璃完全沿着劃痕折斷。一般說來，用這種方法，裂面的平整度誤差約在玻璃厚度的 8% 以內。這種設備可以折斷 $1\frac{1}{4}$ 吋至 8 吋厚的玻璃塊。

鋸片上加金剛石粉粒

19 早期，在鋸片上加金剛石粉的方法是粗糙的，但也頗為有效。凡顆粒較大的通稱為“工業鑽石”的金剛石先被兩塊，譬如說，平鐵板軋碎，然後用手指拌進石蠟油調潤棕紙灰做成的漿糊，金剛石粉粒的直徑不超過七千分之一吋。

當用鋸片鋸切硬質玻璃或水晶時就拿手指把這些黑色漿糊塗抹到鋸片的邊緣上。用這種方法把金剛石粉擠進鋸片鋒口以後，鋸片就立刻可用了。

另一種製造金剛石粉的方法比上述粗糙方式要好一點，製造程序是：把金剛石粒放進一個裝有硬錘的小硬鋼筒里搗碎。做成粉末之後用下文第 72 節所述的清洗金剛砂的方法淘洗。研磨金剛石、剛玉、紅玉、碧玉以及其他這類硬質晶体時，需要用金剛石粉（碳硅砂比金剛砂更堅硬，因此更適用於研磨石英或其他硬度相似的晶体）。

大約在 1910 年前後，人們用下面的一種方法製造鋸片：用軟鐵或銅制一只平圓片；直徑為 6 至 12 吋，厚 1 至 $2\frac{1}{2}$ 毫米。先將平圓片車制正確，然後用粗滾花刀滾花，再以小硬鋼齒敲出斜槽，斜槽大約相距 2 毫米，深度為 1 毫米（應該注意的是採用這種方法時，我們使用較厚的鋸片，因為薄鋸片不能保證鋸切平直，但是，鋸片厚度增加時，玻璃的浪費和金剛石的費用便都要增加）。然後把金剛石粉（80 號篩的粒度較佳）和凡士林油拌好，用手指抹進斜槽，同時用一個硬鋼滾子擠合斜槽使金剛石粉附牢。

如果鋸切的工作很多，特別是鋸切石英，為了延長鋸片的壽命，可以對這種簡單的加粉方法作幾種改進。其中之一是做成交替成對斜槽的鋸齒形“樣模”，以增加鋸切的間隙，同時，使斜槽具有微小的沖擊角度，這樣就能把金剛石更深地壓進去，而不會被帶出來。然後用和外圍滾子成 45° 角的另外一對滾子把斜槽封合起來，這就能避免金剛石粉從旁邊漏出。

鋸片使用時的轉動鋸速為每分鐘 1,000 呎，然而也有人主張每分鐘 3,000 呎。一只做得很好的這種鋸片可以鋸切大約 1,000 平方吋的玻璃。

金剛石的耐久性可以從下面的事實看出來。人們把一小粒金剛石鑲嵌到一支鋼棒頂端的眼孔內，好幾年來一直用它來車改一只大磨輪。最後，由於鑲嵌壞了，金剛石終於落出，但它上面沒有磨損的痕迹。因此，我們也許可以說：裝在磨具等物件上的金剛石粒不會磨損，而只會在承托物鬆動的時候失落。

采用銅合金做鋸片，并且在开斜槽、填充金剛石粉和滾磨值中等方面都使用机械設備。这样制成的每只鋸片可以鋸切 5,000 平方吋的玻璃。但是，如果要取得最好的效果和节省時間，最好采用一架特別設計的机器，它的軸承和一般結構能使鋸片(14吋)每分鐘大約轉 1000 轉。由于燒結式(見下文第 127 节)的鑲嵌金剛石鋸片受到歡迎，斜槽鋸片現在已經不用了。

鋸切棱鏡成形

20 我們假定棱鏡所需要的形狀已經用蜡筆在玻璃塊上划下來，這時，便可以開始鋸切出棱鏡，但必須留下八分之一吋的余量，以供修整工序的消耗。圖 3 示一塊玻璃已經划上切成六只“恒偏向角”棱鏡的記號。棱鏡應該三面拋光，剩下的一面，可以保持毛灰狀態。在鋸切階段，如果玻璃的“熔爐號”已經去掉，就應該立刻用金剛石刀把它補刻在留下的一塊或數塊玻璃上。因為熔爐號是玻璃光學性質的唯一準確指示，而性質不明的玻璃是沒有多大用處的。

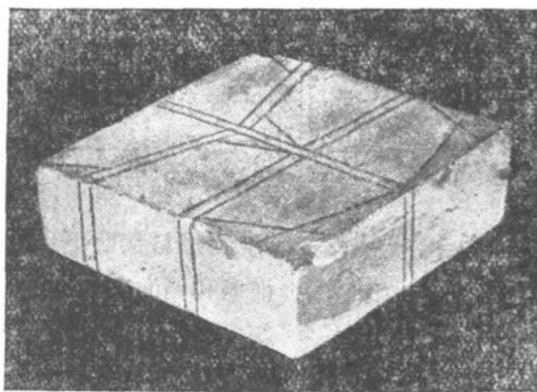


圖 3 割成六個恒偏向角棱鏡的玻璃板划線

粗磨角度

21 粗磨角度可以通過用螺絲旋進穩固支架上的平鐵盤來進行。鐵盤上塗上常用的碳硅砂和水，砂的粗細先用 80 號再用 160 號。如果鐵盤或磨具旋在一根電動垂直軸上，四周并圍有用來收集濺出的砂和水的金屬盆，這就成為通常的手用粗磨機了(見圖 61)，而磨效也會大大提高。假設轉軸不可能做到電動的話，就應樹立一根支柱，四邊可供工作者走動，每經過六次動程便向一邊移動一小步，這樣，磨具表面的磨損就會圍繞中心對稱地分布，比較容易修整。

把棱鏡的任何一個長方形面磨到和選定的基面垂直，用直角尺檢查它的垂直度，如果細心，可能達到 2 分圓弧的精確度。然後，在這一面以及基面上用蜡筆作好記號，以避免產生重磨錯誤。再用一只好角規(如圖 4 和圖 5 所示)對正到棱鏡所要求的角度，接着便研磨棱鏡另一個長

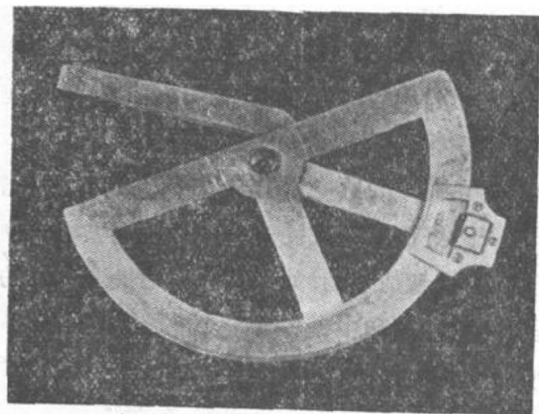


圖 4 調整棱鏡角度的角規

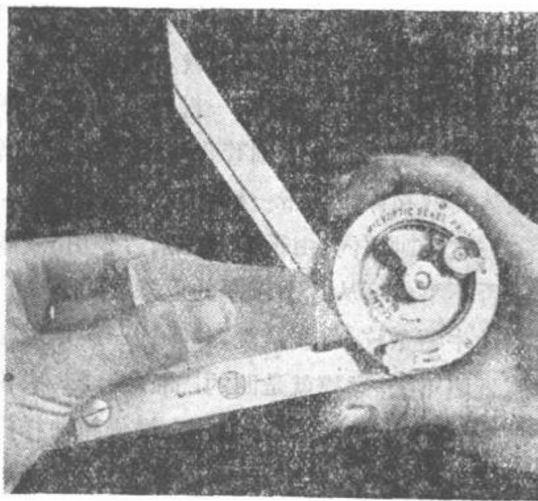


圖 5 瓦特斯“Microptic”斜口分度規