

力学

葛利姆塞著
葛庭燧譯

商务印书馆

E. Grimsehl
Mechanics

3p11/23

力 学

葛利姆塞著 葛庭燧譯

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一一號

(上海市書刊出版業營業許可證出字第〇二五號)

新 華 書 店 總 經 售

上 海 勞 動 印 製 廠 印 刷

13017·133

1953年4月初版

開本 850×1168 1/32

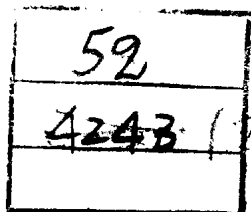
1956年3月4版

印張 14 7/16

1957年6月上海第2次印刷

印數 5,101—6,900

定價(10) 2.10



譯者序

葛利姆塞的“力學”是一本從實驗出發來講力學的書，它所包括的除去普通力學書籍所討論的材料以外，約有一半的篇幅是關於“物性學”方面的。我們認為它很可以補“理論力學”書籍之不足，值得推薦為大、中學教師們的參考書及大學和專門學校學生的教本或主要參考書。

這本書的翻譯初稿在 1941 年便已經完成，着手翻譯時先後得到張子高先生、任鴻雋先生的鼓勵。解放後曾經全部地予以改譯，隨後又經清華大學物理系劉紹唐先生及陸大雄、孔繁庚、陳志誠等同學把譯稿看過一遍；譯者曾經根據他們所提出來的意見把譯稿再加改正。

原書中本來有許多腳註：有的解釋一些物理學名詞的希臘、拉丁字源，有的介紹書中所述科學家的傳記軼事，有的說明他們的國籍，有的吹噓某幾個資本主義國家的成就。我們認為這些腳註與正文並沒有直接的關係，所以把它們一概刪去。為讀者的方便起見，我們另加了一些闡明原文的譯者註。

正文中我們刪去的僅是不恰當的幾個地方和附圖。

我們很誠懇地希望讀者們予以批評和指正。

葛庭燧 1952 年 5 月於北京清華大學物理系。

目 錄

譯者序

第一章 量器和量度	1
1—1. 長度的量度	1
1—2. 量長儀器	3
1—3. 角度的量度	11
1—4. 量角儀器	12
1—5. 求得精確讀數的儀器	13
1—6. 體積的量度	14
1—7. 時間	18
1—8. 時間的量度	19
第二章 運動的理論(運動學)	23
2—1. 相對運動和坐標系	23
2—2. 平移運動與轉動	24
2—3. 勻速運動和不勻速運動·速度	24
2—4. 自由落體的運動	28
2—5. 加速度	32
2—6. 用觀測法推導落體定律·運動圖	34
2—7. 運動的合成	35
2—8. 拋體的路徑	40
2—9. 真空中的拋體運動學	42
2—10. 沿傾斜路徑(或斜面)的落下運動	46
2—11. 沿曲線的運動·沿有心軌道的運動	50
2—12. 沿圓周的運動	53
2—13. 沿約束軌道的運動·運動的投影	56
第三章 力的理論	58
3—1. 質點	58
3—2. 慣性	58
3—3. 力	59
3—4. 質量·重量·厘米克秒制	60

3-5. 密度・比重	63
3-6. 力的靜力計法與動力計法・質量概念的基本處理	65
3-7. 把重量當作力的一種量度	71
3-8. 牛頓運動定律・作用與反作用	73
3-9. 衡量・動量	75
3-10. 沿彎曲路徑而運動的物體・正壓力・離心力	82
3-11. 功・能量	85
3-12. 功率・作用量	95
3-13. 力向量・力的平行四邊形法則	96
3-14. 力的分解	98
3-15. 約束路徑・投影原理・力矩原理	101
3-16. 動力平衡	105
3-17. 地球自轉的離心力與地面上的平衡	107
3-18. 剛體的平動	116
3-19. 剛體的轉動	118
3-20. 數個轉力的組合	121
3-21. 重心・質量中心	123
3-22. 重心的推算	127
3-23. 平行力的合成	128
3-24. 力偶	132
3-25. 單力對於可自由運動體的作用	136
3-26. 平衡	137
3-27. 穩度	140
3-28. 數個質量的等效應	142
3-29. 轉動體的動能	149
3-30. 物體的轉動慣量由軸線的位置而定	151
3-31. 數種轉動慣量的推算	153
3-32. 擺	156
3-33. 自由軸線	168
3-34. 陀螺的運動	171
3-35. 傅科擺的實驗	179

第四章 萬有引力 185

4-1. 開普勒定律	185
4-2. 落體的加速度及行星的運動均由引力而起	189
4-3. 萬有引力常數	192

4-4. 天體的質量	194
4-5. 力場・所作之功與所循路徑無關	196
4-6. 數力所產生的總引力場內所作之功	197
4-7. 在引力場內所作之功・位	198
4-8. 圓殼與球在殼外的一點所引起的位	202
4-9. 圓殼在殼內的一點所引起的位	204
4-10. 等位面	205
4-11. 地面上重力的大小及方向	208
第五章 彈性與材料強度	211
5-1. 伸長和壓縮	211
5-2. 彎曲	216
5-3. 扭轉	224
5-4. 材料強度・硬度	226
5-5. 碰撞	231
5-6. 衡量沿彈性桿的傳播	235
第六章 有摩擦的運動・方的傳遞	239
6-1. 對於運動的阻力・摩擦	239
6-2. 媒質的阻力	244
6-3. 機器	249
6-4. 桿・桿棒系統	252
6-5. 繩・繩索機械	255
6-6. 投影定理的應用	259
6-7. 螺旋	264
6-8. 力矩定理的應用	268
6-9. 虛功原理	275
第七章 物體的組織	280
7-1. 集團態	280
7-2. 可分性・物質的分子說	280
7-3. 分子力	283
7-4. 固體的結構	291
第八章 液體和氣體的性质及行動	300
8-1. 液面的形狀	300
8-2. 液體中壓力的傳遞	302
8-3. 加於容器底上的下壓力・旁壓力・上壓力	305

8-4. 連通器	309
8-5. 阿基米德原理·浮	312
8-6. 應用阿基米德原理測定比重	316
8-7. 表面張力	318
8-8. 毛細作用	330
8-9. 大氣壓力	336
8-10. 氣體的壓力與其容積的關係	341
8-11. 由大氣壓測定高度	345
8-12. 抽氣機	347
8-13. 虹吸管·抽水機	352
8-14. 空氣中的上推力·氣球	354
8-15. 波義耳定律的應用	356
8-16. 液體混合物及溶液	359
8-17. 氣體溶液(吸收)及吸附作用	364
第九章 液體與氣體的流動	369
9-1. 液體的射流與管中流動	369
9-2. 流動液體的能·水力機械	383
9-3. 明輪船·槳·舵·船的螺旋槳	392
9-4. 水及空氣對於運動板的阻力·渦漩	394
9-5. 慣性力所引起的阻力·黏滯阻力或皮摩阻力	401
9-6. 無旋流動	406
9-7. 轉動流動(渦動)	411
9-8. 流線·流絲與壓力	415
9-9. 動壓力與上舉力·馬格那斯效應	420
9-10. 風車·螺旋槳·航行飛艇	425
9-11. 飛行	428
9-12. 飛機	434
附錄	436
附表	440
I. 各種快慢的例子	440
II. 厘米克秒單位與英國單位間的關係·因次	441
III. 密度	442
IV. 彈性常數	443
習題	444
答數	452

第一章 量器和量度

1-1. 長度的量度

1-1-1. 長度單位 爲使各人量長所得的數值便於比較起見,各地已經同意用相同的長度單位作根據。所用的單位是標準米尺之長。這

是用鉑鈹合金製成的尺桿,成分是百分之九十的鉑和百分之十的鈹,尺桿的形狀(一個短截面)如

圖 1-1.。這標準米尺是保存在巴黎郊外塞夫爾地方布累忒伊館中的權度局內 (the Bureau of Weights and Measures in the Pavillon de Breteuil at Sèvres)。在尺桿兩頭附近的槽底上各刻着三條細線,兩條中央線之間的距離在 0°C . 時是“一米”(1 m.)。

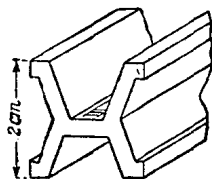


圖 1-1 標準米尺的形狀。

一米又按十進制分成 10 分米 (dm.)、100 厘米 (cm.)、1000 毫米 (mm.)。要更小的單位,可用一毫米的十分之一。一毫米的千分之一叫做一微米 (micron), 用 μ 表示; 一毫米的一百萬分之一叫做一毫微米 ($1\mu\mu=10^{-6}$ 毫米)。除此以外,埃^① (Ångström) ($1\text{ Å}=10^{-8}$ 厘米= $10^{-1}\mu\mu$) 和 X 單位 ($1X=10^{-11}$ 厘米) 也常用作量長的單位。

① 爲的紀念瑞典的埃斯特稜 (Anders Jonas Ångström, 1814—74)。埃氏是一位很有名的光譜學家。

測量較大的長度時用千米(km.)(1千米=1000米)作單位。

一七九一年三月，法國國民議會設立了一個委員會，由法國最重要的算學和物理學家所組成，其任務便是創制一個新權度制。在這個會上決定了用通過巴黎天文臺那根子午圈的四千萬分之一的長作長度單位。爲了這個目的，便用當時公認爲最完善的方法，把巴塞羅那城(Barcelona)附近的敦刻爾克(Dunkirk)和蒙特猶茲(Montjuich)兩地間的弧長測量出來；並且根據這次的測量去制定標準米尺。不過培塞爾(Bessel)隨後所作的更精密測量指出，要是以標準米尺計，地球一象限之長是10,000,856米，所以假如仍然說新單位的長度等於地球一象限的一千萬分之一，那麼法國委員會所制定的標準米尺便短了0.0856毫米。但是，縱然測量的結果如此，法國委員會所認可的那根米尺仍然被保持作長度的單位，因爲如果在每次更準確的地球測量以後，都重新再制定一個新的長度單位，那當然事實上不可能並且也是毫無意義的。

現用的米尺都曾經間接地和標準米尺比較過。爲便於比較起見，便用最完善的方法製成若干根米尺，米尺的材料和形狀和標準米尺相同，長度也儘可能地和它相等。把這些米尺累次和標準米尺仔細比較，量出來它們的長度誤差，然後把它們分配到各地去，作爲那個地方長度單位的標準。(英國國立物理實驗室把米尺和標準碼尺比較過，結果是1米=39.370147英寸。)這些精製的標準尺複型已經分給各事務所，事務所的任務便是拿實際應用的量尺直接或間接地與正式頒發下來的標準尺比較，以考核量尺的長度。爲技術上的便利起見，我們決定 20°C .爲實施一切測量的溫度，因而工業上所用的米尺在 20°C .時恰好和標準米尺在 0°C .時一樣長。於是一根鋼製米尺在零度時便比標準尺短0.223毫米。所以工業上的量度制與科學上的量度制並不相同，作精密測量時必須計及這一點。

爲的不使“米”長因爲標準米尺的遺失或改變而發生乖離起見，物理學家們已經苦心孤詣地用一個自然常數作測長的根據。據我們所知，這個自然常數是不變的，並且可以測得比地球的象限更爲精確。光的波長便是這樣一個適當的物理量，尤其是因爲近來在技術上也日漸加多地藉助於光波以測量長度。用一種最適當的波長——鐳元素的紅

線——和米尺比較，在溫度為 15°C 、壓力為 760 毫米的乾燥空氣中，結果是 1 米 = 1,533,164.1 個紅線的波長〔這是邁克耳孫(Michelson)在 1895 年，法卜利(Fabry)和白洛(Perot)在 1904 年所得的結果〕。這個數值大概可以準確到一千萬分之一。

平方米是面積的單位，一平方米就是每邊之長為一米的平方(sq. m.)，在物理學上和工業上，它的縮寫是米²；比這個小一萬倍的單位是平方厘米(厘米²)。

體積的單位是立方米(米³, cu. m.)，一立方米就是每邊之長為一米的立方；它的一百萬分之一是立方厘米(厘米³)。因為科學上通常所用的尺度比較小，所以為應用上的便利起見，一般人同意在純粹的科學工作上用厘米作長度單位。

1-2. 量長儀器

測長的最簡單方法，是直接把一根刻度的米尺和欲測的長度靠攏起來，看一看要繼續量多少次，或者是米尺之長的幾分之幾和欲測的長度相等。

1-2-1. 銜接測長桿 銜接測長桿(圖 1-2)是些長方截面的尺桿，桿兩端的垂直距離是 1 米。

這尺桿普通是用木材製成的。為使兩端的表面不至損壞起見，桿的两端裝着金屬套(包頭)。包頭的形狀像鈍刀刃一樣。把尺桿插進包頭以後，一端的包頭



圖 1-2 銜接測長桿。

豎着而另一端的包頭則是水平的。如果把一根尺桿的水平包頭和另一根尺桿的垂直包頭頂在一起，並且令這兩根尺桿擺在一條直線上，那就可以把若干根尺桿很精密地一根挨一根銜接起來，中間沒有空隙。

1-2-2. 組合銜接規 為的可以用最簡單的方式實行測量，但同時又可得很高的準確度，尤其是為測驗機器零件是否符合於規定的大小起見，近幾年已經製出來所謂組合銜接規(圖 1-3.)。這種銜接規是由若干根鋼製的銜接測長桿所組成，各測長桿的表面是平行的。如果

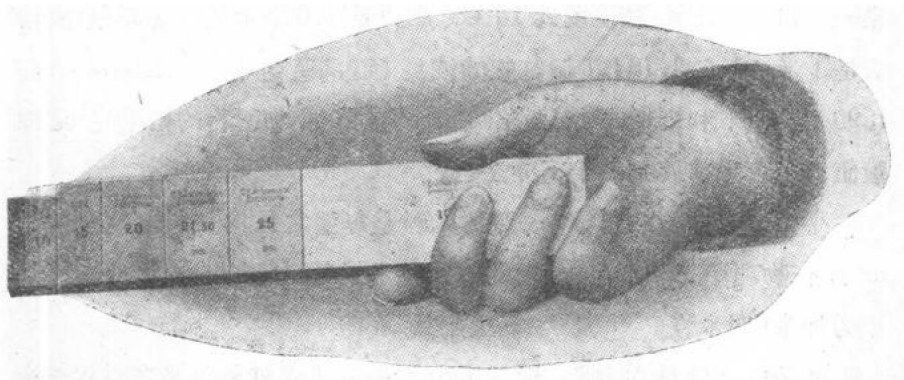


圖 1-3 組合銜接規。

把它們那磨得極光滑的對面頂到一起，那便能夠連接而成任何種所欲的長度。爲了這個目的，銜接規分爲若干組，例如

第一組：共有 49 根銜接桿，從 1.01 到 1.49 毫米每隔 0.01 毫米有一根。

第二組：共有 49 根銜接桿，從 0.5 到 24.5 毫米每隔 0.5 毫米有一根。

第三組：共有 4 根銜接桿，從 25 到 100 毫米每隔 25 毫米有一根。

另外還有一根銜接桿，長度是 1.005 毫米。

把各組中的銜接規連成一個堅固的測長桿，便可以得到任何種所欲的長度，並且可以準確到 0.01 毫米。要是加入 1.005 毫米那根銜接桿，更可以準確到 0.005 毫米。圖 1-3. 所示的便是這樣的一個組合。如果用四根或五根銜接規連成 100 毫米的總長，那麼最大的誤差決不會超過 0.001 毫米；據說實際的長度誤差遠比這個極限值爲小。

1-2-3. 測鏈和鋼卷尺 測量五十米以上的長度時用測鏈(圖

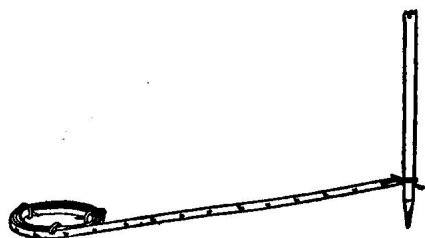


圖 1-4 帶插柱的測鏈。

1-4.)。測鏈的每個鏈條通常是 20 厘米長，鏈的總長是 20 米、30 米或 50 米。最近，鋼卷尺已經流行，代替了測鏈。

1-2-4. 游標測徑器 游

標測徑器(圖 1-5.)特別用於

測量物體的厚度。它有一根刻着厘米的標度尺 M ，尺的一端連着與尺垂直的 A 臂。標度尺上裝着游標 N ，游標上帶着 B 臂。要是把游標向

回推，一直使兩臂完全靠攏，游標尺上所刻的記號必須指着零度。所以，如果把所欲測量的物體放在兩臂中間，物體的厚度便可以在標度尺上讀出來。

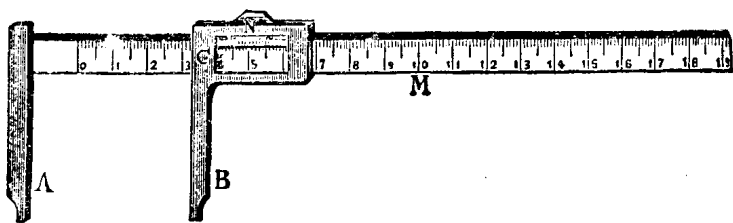


圖 1-5 游標測徑器。

1-2-5. 鉗狀規 鉗狀規（圖 1-6.）由兩根槓桿連結為鉗狀而成，桿臂的比率是 1:10。兩槓桿中間裝着一個彈簧，使較短的兩臂輕鬆地靠攏在一起。一根長臂的頭上裝着圓弧標度尺，另一根長臂的尖頭則像指針似的沿着這標尺移動。標度尺上分成毫米。欲測其厚度的物體是放在兩短臂中間。標度尺上所示的厚度是物體實在厚度的 10 倍。我們要注意鉗狀規的測量夾口是測弦的，而標度尺上所示的卻是弦長。所以一個完善鉗狀規的標度尺必須對照着它的

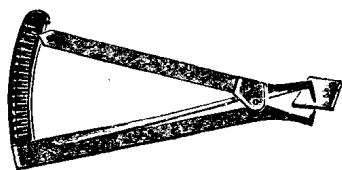


圖 1-6 鉗狀規。

測量夾口校準過。

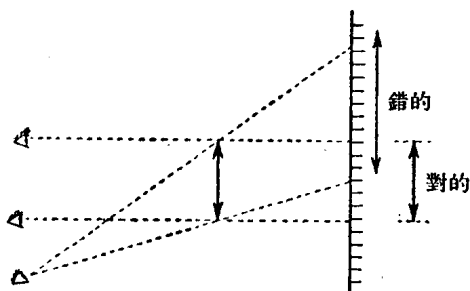


圖 1-7 視差。

1-2-6. 鏡標度尺 如果不能令標度尺與所測物體的表面接觸，那便必須沿着物體的邊緣去看標尺。惟有當視線與物體的邊緣垂直時，標度尺才能正確指示物體兩邊緣間的距

離。如果斜着看，物體便發生一種對於標度尺的視位移（視差）。由圖 1-7. 可知視差能夠令測量完全失敗；當物體離標度尺愈遠時尤甚。

為免除因視差而生的誤差起見，我們把標度尺和物體都放在一個鏡子的上方，再沿着物體的邊緣去看標度尺，令物體的邊緣在鏡中所成的影像恰與物體的邊緣相合。或者更可以直接把標度尺刻在鏡子上或鏡子的背面。

1-2-7. 比長儀 要把水平的距離測得更精確些，比長儀乃是一種

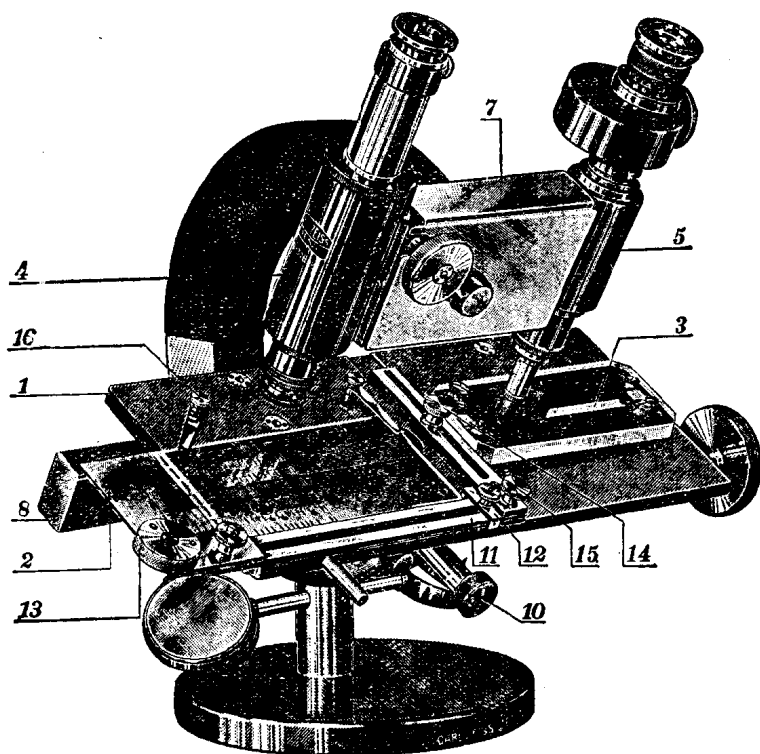


圖 1-8 阿俾比長儀。

1. 鋼底板； 2. 物體； 3. 玻璃標度尺； 4. 觀測顯微鏡； 5. 讀數顯微鏡； 7. 輻射擋； 8. 鋼軌； 10. 鉗制臺座的螺旋； 11—16. 管制物體位置的各種裝置。

適當的器具，例如圖 1-8. 中所複印的阿俾比長儀 (Abbe comparator)；其運用的情形如下。標度尺和欲測的距離同放在一個滑動臺的同一直線上。把第一架顯微鏡對準欲測的距離的一端，用第二架顯微鏡讀出刻度尺上的相關數值。然後移動滑動臺，使欲測的距離的另一端正在第一架顯微鏡下面。經過精密的調節以後，再用第二架顯微鏡讀出標度尺上的相關數值。這兩個數值之差便是標度尺的位移，也就是欲測的距離之長。

1-2-8. 測高差計 測高差計 (圖 1-9.) 的用處是測量豎長。它有一個豎着的長稜柱，柱上刻着厘米標度尺。另外有一架水平的望遠鏡可以沿柱上下移動。在測量高度時，第一步先用望遠鏡去觀察高度的一端，譬如上端，使鏡中的叉絲對準這一端；再從柱上讀出鏡的位置。然後把望遠鏡向下移動，使高度的另一端與鏡中的叉絲密合；再從刻度尺上讀出鏡的位置。這兩個讀數之差便是所欲量的高度。

1-2-9. 螺旋測微計 螺旋測微計 (圖 1-10.) 很像一個螺旋夾子。螺距普通是一毫米，就是螺旋在旋過一次後便向前移動一毫米。如果祇旋過一轉的一部份，螺旋的前端

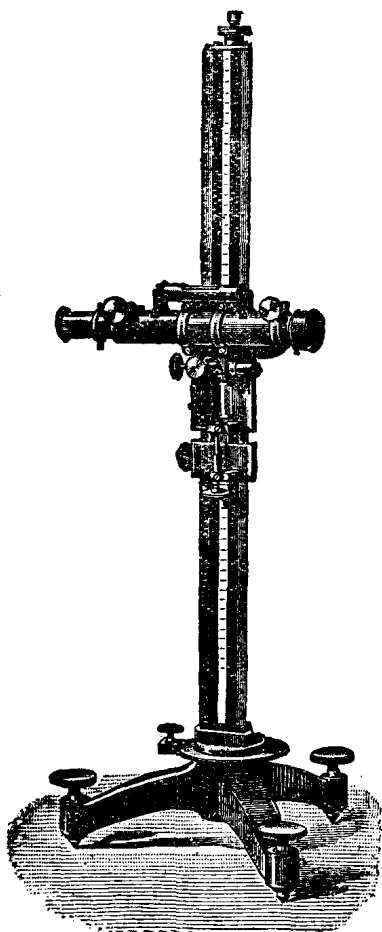


圖 1-9 測高差計。

便也向前移動一毫米的同樣一部份。螺旋的轉軸上刻着圓標尺，把轉

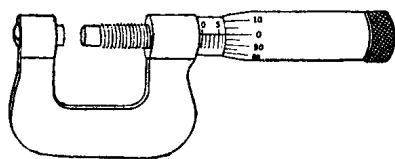


圖 1-10 螺旋測微計。

軸的圓周分成一百個部份，這樣便可以讀出一轉的一百分之一。把螺旋向回擰得靠攏時，標度尺上應當指着零度。如果把一個物體放在測微計裏，把螺旋向前扭轉，令螺旋夾

子把這個物體輕輕夾住，那便可以從轉軸的縱標度尺上讀出整的毫米數，從圓標度尺上讀出毫米的餘數。

用最簡單的螺旋測微計測厚時，因為在調節螺旋時所加壓力的大小沒有一定，所以常會發生誤差。為消除這種誤差起見，在比較完善的測微計裏，那轉動頭並不和螺旋的轉軸牢固連在一起，而祇是藉着一個扁平的齒輪圈與轉軸上的齒輪圈互相啣合。這兩組齒輪是用一個鬆彈簧壓合在一起，因而在夾緊物體時如果螺旋緊得超過一定的限度，這彈簧便不能再使螺旋頭和轉軸連在一起，於是螺旋頭再轉動時便不把轉軸帶着一齊轉動。這可以保證在每次測量時物體夾在螺旋夾子中間的鬆緊程度一樣。如果螺旋擰得靠攏時標度尺並不恰好指着零度，那便必須用這個偏差數作為改正項，這就是所謂零度改正。

1-2-10. 球徑計 球徑計(圖 1-11.)由一個三腳架構成，架的三隻腳 C_1 、 C_2 、 C_3 排列成一個等邊三角形的三角頂。有一個像螺旋測微計中所說的那種測微計穿過架子的中央。如果把球徑計的三隻腳放在一個準確的平面上，並且把螺旋向下轉動，令它下端的 B 點和平面接觸，那麼縱標度尺和圓標度尺便都指着零度。如果把螺旋再轉上去以後，把一個欲測其厚度的物體(譬如顯微鏡的蓋玻片)放在前次所用的平面上，然後再把螺旋轉下來，令它和蓋玻片接觸，那就可以從螺旋上的 E 標度尺上讀出玻璃厚度的百分之一的毫米數，從 D 標度尺上讀出

整的毫米數。

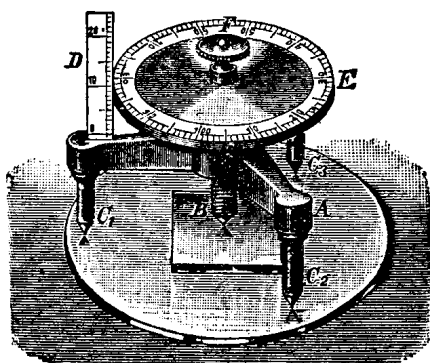


圖 1-11 球徑計。

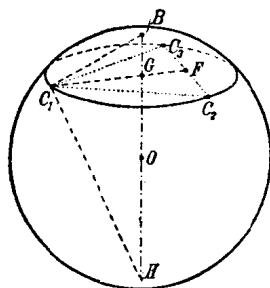


圖 1-12 用球徑計測定曲率半徑。

我們也可以用球徑計去測定球面，例如玻璃透鏡的曲率半徑。

令 C_1, C_2, C_3 (圖 1-12.) 代表球徑計三腳與球面接觸的三點，三點間的距離都是 a ；令 B 點代表中央螺旋與球面接觸之點，從測微計的標度尺上可以讀出 B 點離 C_1, C_2, C_3 面的距離 h ；再令 O 點代表欲測其半徑 r 的那個球面的中心。通過 B 點畫一根直徑 BH ， BH 與三角形 C_1, C_2, C_3 的面相交於重心點 G 。 C_1G 的長度等於三角形高度 $\frac{a}{2}\sqrt{3}$ 的三分之二，也就是 $\frac{a}{3}\sqrt{3}$ 。 C_1G 又是 BG 與 GH 的等比中項。由此可知

$$BG : C_1G = C_1G : GH,$$

即

$$h : \frac{a}{3}\sqrt{3} = \frac{a}{3}\sqrt{3} : (2r - h),$$

因而

$$r = \frac{a^2 + 3h^2}{6h}.$$

作精細測量時，一切用螺旋測厚的器具都要因為螺距的不規則而發生誤差，另一個缺點是除非陽螺旋造得極端完善，它便免不掉要在陰螺旋中略有搖擺，因而有時會在陰螺旋中擠得緊些，有時擠得鬆些。因為這個緣故，所以用螺旋測微計實施測量時，慣例上的調節方法是永遠順着同樣的方向扭轉螺旋；因為向右方轉動螺旋所調節出來的螺旋位置，和向左方旋轉螺旋所調節出來的位置也許大不相同。這種誤差叫做螺旋齒後退 (backlash)。

1-2-11. 蔡司測厚器 蔡司 (Zeiss) 測厚器 (圖 1-13.) (創自阿俾) 把測厚螺旋所發生的兩種誤差大為減小。在 F_1 和 F_2 兩軸承中間用線掛着一個豎標度尺。懸標度尺的線的上端跨過一個固定滑車 R 。標度

尺大部份的重量被懸線另一端的反重量(counter weight)所保持不墮,

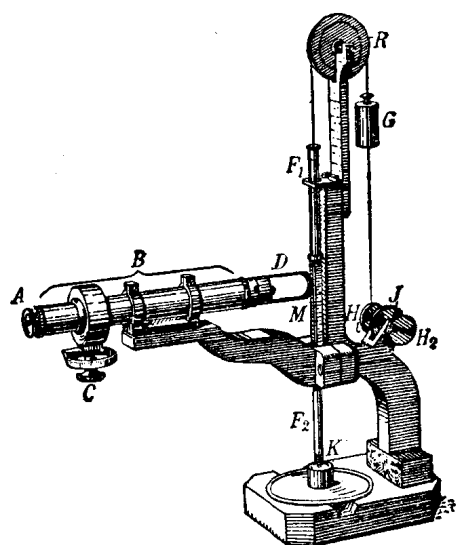


圖 1-13 蔡司測厚器。

因而可藉接觸桿而輕輕停放在下面的盤子上,或欲測其厚度的物體上。這接觸桿是用瑪瑙製成的,桿下端作圓狀。如果把所欲測量的物體放在盤子和標度尺當中(我們預先藉着滑車的作用,用引手 H_1 和 H_2 把標度尺吊了起來),那就可以用顯微鏡 B 讀出標度尺對於一個固定記號所發生的位移。 D 是用以照耀標度尺的反射器; A 是顯微鏡的目鏡。為增加準確

度起見,目鏡中裝着一個螺旋測微計。

1-2-12. 目鏡測微計 我們可用目鏡測微計(圖 1-14.)極準確地測出小於標度尺上一個分度的位移。小輪上裝着一個刻度輪。把小輪轉動,可令目鏡中的一條細線(或兩條離得很近的平行線)在顯微鏡的視場中移動。鼓輪的圓周上劃分成一百條線,因而可以估計出螺旋一轉的一千分之一。鼓輪上一個分度的絕對值視乎所用目鏡的放大率而

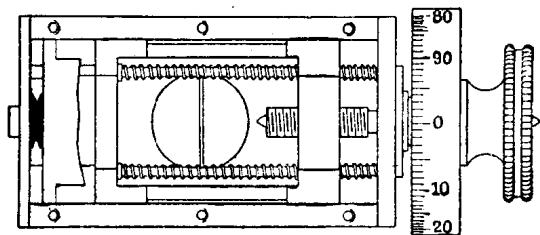


圖 1-14 目鏡測微計。

定。欲確切校準鼓輪上的分度時,可用目鏡去觀察一個標度尺,並且適當地調節目鏡的放大率,使鼓輪轉動一周時,目鏡中的細線恰從標度尺