

目 次

第一章 緒論	1
第一節 化學工廠與測定	1
第二節 化學工廠用計測器之特殊性	3
第二章 測定各論	6
第一節 長及面積之測定	6
第二節 時間及速度之測定	11
第三節 重量之測定	16
第四節 比重之測定	19
1. 用比重計測定液體之比重	19
2. 用比重瓶測定液體之比重	19
3. 用天平測定液體之比重	20
4. 測定重於水之固體之比重	21
5. 測定輕於水之固體之比重	21
6. 測定細粉之比重	21
7. 測定水泥之比重	21
8. 測定多孔物質之比重	22
9. 連續記錄測定液體之比重	22
第五節 容積及液面之測定	23
1. 液體容積之測定	23
2. 氣體容積之測定	24
3. 液面之測定	26

第六節 流量之測定	28
1. 用角堰測定之流量	29
2. 用V型堰之測定	29
3. 用皮氏(Pit)管測定之流量	29
4. 用流孔(orifice)測定液體之流量	31
5. 用喇叭口之測定	32
6. 用文德利(Venturi)管測定液體之流量	32
7. 用皮氏管測定氣體之流量	33
8. 用流孔測定氣體之流量	34
9. 蒸汽流量之測定	36
第七節 黏度之測定	38
第八節 溫度之測定	44
1. 溫度計之種類及適當之使用範圍	44
2. 水銀溫度計	46
3. 封入氬氣之水銀溫度計	47
4. 低凝固點溫度計	47
5. 壓力計式溫度計	48
6. 電阻溫度計	48
7. 熱電偶	53
8. 光學的高溫計	61
9. 色革錐(Seger cone)	66
第九節 濕度之測定	67
1. 乾濕泡濕度計	67
2. 毛髮濕度計	67
3. 電濕度計	68
第十節 壓力之測定	69

第十一節 電阻及導電係數之測定.....	74
第十二節 氫離子濃度之測定.....	79
1. 比色法.....	80
2. 電池法.....	80
第十三節 光學的測定.....	84
第十四節 連續分析.....	92
1. 碳酸氣之連續分析.....	92
2. CO ₂ 及其他之連續分析.....	96
3. 用光電管之連續分析.....	97
4. 依導電係數或電動勢之連續分析.....	97
第三章 自動記錄及遠隔測定器.....	99
第四章 自動調節器.....	115
1. 溫度之自動調節.....	115
2. 濕度之自動調節.....	118
3. 液面及流量之自動調節.....	120
4. 液體成分之自動調節.....	122
5. 電壓之自動調節.....	123
6. 作業經路之自動調節.....	124
附記	

工廠測定及操作自動化

第一章 緒論

第一節 化學工廠與測定

關於化學工廠之測定，一般均承認其重要性。但對於測定之對象為何，如何測定，及其測定程度等問題，則多有未能作明確之判斷者。本來所謂化學工廠，其種類甚多，而其化學製品之種類尤繁。故在一工廠中，其應加測定之對象實不勝枚舉。唯就此等多數之測定對象，大別之可作下列之分類。

1. 原料，半製品，製品，廢物之試驗，分析及其數量之計測。
2. 對於單位處理(unit operation)之測定。
3. 對於單位過程(unit process)之測定。

第1類之計測為一般所熟悉，而其參考書籍亦多散見於出版界。唯其最新傾向則為此等試驗及分析多採用電的方法及其他新式技術，而能連續行之，並能自動記錄其製品之品位；或使用一種各就其一定的格式內進行自動調節之方法。此等實例當在各論中詳述之。

第2類所謂單位處理，例如萃取或蒸餾是否能悉合於吾人所期待，必須加以數量的分析，實有裨於作業之管理及改良，故為極重要之測定。其測定對象，例如溫度，壓力，流量等多屬純物理的數量，其測定方法亦為一般所素悉。唯測定器械所觸之物質不僅為空氣或水，凡腐蝕性液體，黏稠物質，揮發性物質等，種類繁多，均須加以測定，此則須特別

注意者也。

第3類之單位過程，例如對於還原或聚合等多屬有機化學工業上所使用之單位過程，亦須加以測定，以分析其效率及經過等。此項測定種類甚多。

故知化學工廠之測定，不外上述諸種測定之一。然則對於測定對象為何之問題，當視上列諸種測定中，以何種為適切及有效而為決定。當然，亦並非僅擇其中之一種測定對象而已，有時須聯合數種對象而加以測定者。從來在多數之化學工廠，僅作第1類之試驗及計測。至今日，則並重視第2，第3類之測定矣。此誠進步之現象也。

其次為如何測定之問題。關於此項之測定對象，當於第二章各論中詳述之。唯所謂單位處理及單位過程之種類甚多，而其所處理之材料及條件亦互異。故在某一工廠，雖欲就一個處理或過程施行新的測定，但因無適當之測定法，而現存之計測器又不適用，故多無法進行者。此時工廠之工程師，若能就新測定法及新計測器加以研究，並應用之於測定而能成功，則其對於工業之貢獻當極大。此種技術之高度化，決非其他富於惰性之落後工廠所能企及者也。

第三為測定至如何程度，亦為必加考慮之重要問題。當測定之時，其應加考慮之點，即測定價值之決定不在精密而在正確。徒橫列數十位之數字所示之測定，究不若位數簡單的數字所示正確的測定之可貴也。唯位數簡單之數字非必正確，有時因測定對象之價值，亦常要求正確而精密之測定。一般關於如何測定之例，若欲盡量爭取多一位正確而有效之數字，則其計測器亦須求其能作詳細測定之銳敏器械，此計測器之價值亦必甚昂，而使用此計測器之人亦必須為曾受高度訓練之技術員；且在測定之時，必須加以綿密之注意，其工作甚為艱苦。此必須先考慮及之也。故當測定時，須在能考慮及一切客觀的情勢之範圍內，求取其必

要而正確之位數。此種測定原則，不僅與精密相符，且亦能適合於正確之程度。如以正確度為100，而以百分率(%)表示其誤差，則其誤差可容許在百分之幾之範圍，當以上述原則決定之。

第二節 化學工廠用計測器之特殊性

關於化學工廠用計測器，必須考慮及其測定對象之性質上種種附屬的條件。例如腐蝕性問題，共存物質之影響，部分的均一性等，及其他多數之例，實不勝枚舉。今單就測定溫度言之：有如專測橡膠表面溫度之器械，亦有利用餘熱以行乾操作業，須測定內部與外壁溫度相異的氣流溫度之器械。此時若僅使用水銀溫度計，決不能作正確的測定。又當合成氨之時，須測定高壓氣體之流量；而在氨碱法(ammonia-soda process)，則須測定氨與水共存之鹹水中之食鹽濃度。故知測定之最後形式，雖可以採用在普通測定法中為一般所熟知之形式；但欲達到此種最後形式，則必須加以苦心之研究也。此即化學工廠用計測器最大特殊性之一。

其次須注意之特殊性則為測定對象之連續性。僅測定各個對象之每一靜態之數量，決不能稱為完美。其中有必須測知其時時刻刻變化狀況之例甚多。故計測器，最少限度，亦必須為指示計器(indicating instrument)。例如氣體之發熱量，若用普通之熱量計以行測定，每一回需要數十分鐘。但欲連續的示明時時刻刻在變化之氣體發熱量，如以一定壓力，採取此氣體輸送至外部，在一定條件之下，使之燃燒；利用其所發火焰，以加熱計測器中所附設之雙金屬線(bimetallic wire)，則由此雙金屬線之彎曲度，可以直接示明其發熱量。現今計測器中，已有具此種構造之指示熱量計，製出可供採用。一般指示計器，有安置於高塔上者，有安置於冷凍室中心者，欲常往檢視，至不便利，故多不能充分加

以利用者。其後利用遠距測定計器，此種困難遂得解除。近來常使用電的方法以計測各種數量之最後數字。故此種遠距測定可能利用之範圍日見擴大。又因計測器之進步，記錄計器之時間的限制亦得解除。有須在午前二時加以測定者，竟因夢酣未果；又有須每隔五小時測定一次者，因時間相距過久，遂致遺忘。但若使用新式記錄計測器，則可解除此等困難，祇須隨時檢視其計測器即可。

使用新式指示計測器或記錄計測器，在工廠之管理及析明上，至為便利，但亦有防外來參觀者，洩漏其工廠內部祕密起見，而講求所以防制之方策者。例如人造絲工廠等所使用之溫度計，並不刻明度數，僅刻一危險線；對於操作者，亦僅使其明瞭在危險線以內可以安心工作而已。此項方法，既可保持工廠內之祕密，而操作之測定亦得極端單純化而且有效。此外亦有採用僅適應於該工廠之暫定的單位為度數之方法，此方法雖普遍利用於液體之濃度、比重等之測定，但技術負責人若不能熟習其換算法，則其操作反有陷於混亂之虞。唯近日對各種數量及性質，皆用電的方法加以測定，凡工廠內屬於極機微之部分概在中央測定室，採用遠距計測方法行之，由是可以完全保持工廠內部之祕密。



第1圖 中央測定室之一隅

第1圖示德國魯盧化學公司氮氣工廠內之中央測定管制室。爲保持工廠內之祕密，工廠內之測定遂採用遠距測定法，且逐漸轉化爲自動記錄測定；此固近代化之必然的趨勢也。

第二章 測定各論

第一節 長及面積之測定

化學工廠對於長度之測定，需要較少。其原因之一，係化學製品或原料常受溫度濕度壓力之影響，故寧以重量測定之結果代精密長度之測定。然如電木 (bakelite) 等之可塑物質，現廣用為精密機械之零件材料，於工作時須與金屬材料同行精密之測定。大量生產特徵之一，為各零件依嚴格之規格而製造，故各各之容許誤差 (allowable error) 頗小。零件之通融性大，則利益多。

工廠處理之材料尺寸一定時。例如欲將金屬之圓棒削成一定之直徑時，有用簡單之規 (gauge) 如第 2 圖所示者，即所削圓棒能通過 A 部而不能通過 B 部，方合於所定之規格，A 與 B 長度之差即工作所容許之誤差也。又測定孔之內徑時，依同樣之原理，可用如第 3 圖所示之規，即能通過 A 部而不能通過 B 部，乃所求之孔徑。

此容許誤差之大小，由製品之精確度決定；其值愈小，則製品愈精密。第 2 第 3 圖係容許誤差一定之簡單之規。此外有用精密螺旋得將容



第 2 圖 外徑規



第 3 圖 內徑規

許誤差任意變更之規。

更新穎有趣者，爲約翰孫 (Johanson) 規，其用途極廣。此規由八十一枚厚薄不同之鋼製六面體構成，可測定 0.2 英寸至 10 英寸，其精確度爲 ± 0.00004 英寸。各六面體相對之二面有 $1/100,000$ 英寸以內之誤差，幾近於平面。將此種平面二枚相重，完全密合，所得之厚爲此二枚各個之厚之代數和。八十一枚之標準規由 0.1001 英寸至 0.1005 英寸，可到 0.0001 英寸者一組；0.101 英寸至 0.149 英寸，可到 0.001 英寸者一組；0.050 英寸至 0.950 英寸，可到 0.05 英寸者一組；由 1,000 英寸，2,000 英寸，3,000 英寸，4,000 英寸四枚等組合而成。依是等組合可得 80,000 種類不同之長度，其精確度如上記。此規現今之精密機械工廠多喜用之，而在化學工廠則不免有失於過精巧之感。

普通化學工廠對於測定較薄之厚度以採用測徑規 (calipers)、測微計 (micrometer) 等爲適當。而測微計中有利用彈簧或光之干涉，以一定之力挾持試料者。最近又發明依容電器 (condenser) 中電容之變化，以精密測定長度厚度之方法，載在各雜誌中 (Instruments, 1932, 5, 33 G. E. Review, 1932, 35, 139; Z. Hochfrequenztech, 1931, 38, 101; Siemens Review, 1931, 7, 213)。

容電器之容量 $C(\mu F)$ 其 $C = KA/4\pi d \times 900,000$ 。

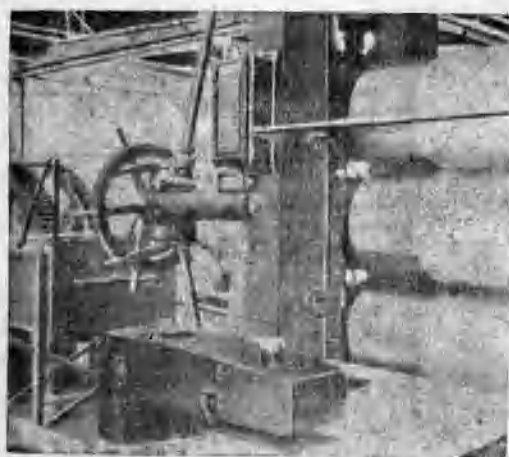
A ； 相對面之面積 (cm^2)

K ； 佔於面中之物質之介質常數 (dielectric constant)，若係空氣則等於 1。

d ； 兩面間之距離 (cm)

若連絡適當之共振電路 (resonance circuit)，則可用電流計測定極微容量之變化，且殊銳敏由是得求知其厚度 d 。依試料之介質常數不同，而挾持試料部分之構造相異。第 4 圖示防水布上塗橡膠時用電測微

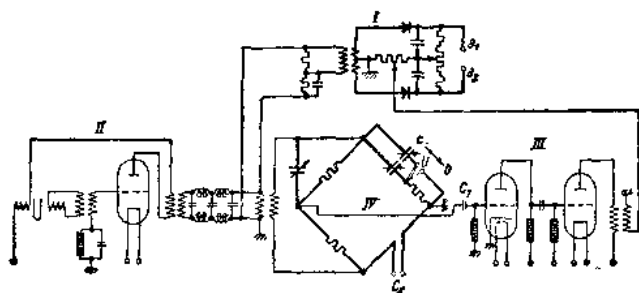
計之情形。依以前之方法，因原料布之厚度不一定，縱連續測定製品之厚度，而不能平均塗敷橡膠；今改用電的方法，則布與橡膠之介質常數互異，故得明測橡膠之厚度，而製品上所塗敷之橡膠較為平均也。第4圖之柱上附置記錄針，乃記載製品之單位面積上重量之變動率；其中央為零，左右則記至15%之變動率。記錄針之主體為電流計，其配置電線之大要如第5圖。II為800頻率之發振器(oscillator)，所發電力0.2瓦。此高頻率經電橋IV至I，而整流於插入 a_1, a_2 間之電流計，可看到不平衡電流之強度。



第4圖 塗橡膠於帆布時所用之電測盤計

試料插於 C_s 之間，由面積 500 cm^2 之金屬板支持之。 U 為電鍵(switch)，供檢驗時使用。

普通測微計可測至 0.02 mm 。若更小者，則可用目鏡附有刻度之顯微鏡。顯微鏡可測定之範圍僅至 $0.1\text{ }\mu$ 為止；其值較小者則須用超顯微鏡(ultramicroscope)。用超顯微鏡以測定膠體粒子大小之法，有山本研一氏之報告，可供參考（見早稻田應化會報；1927，5，32）。



第6圖 同上電線配布略圖

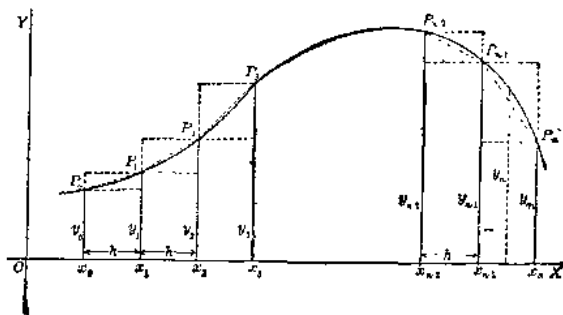
欲求顏料及橡膠配合劑等微粉物質之平均直徑，困難殊多。其適當之測定法因物質而異，已分別研究。其法甚多，有利用離心力篩、氣流、水流等者，有依沈降分散度分析者，有由光之消滅而算出者；詳見於各膠體化學者之報告及著書中。

壓力計之水柱或汞柱等之高度，通常附屬之刻度尺可讀至 $1 \sim 0.1$ mm.。若欲正確讀至 0.01 mm.，有用測高計 (cathetometer) 者。此時置測高計之場所與測定對象之場所基礎均須同樣堅固，不致相對的上下動移，否則恐不能正確讀至 0.01 mm.。設須極精密測定高度而不能得如此之堅固基礎時，則可並置測定對象與正確檢定之刻度尺，僅以測高計作補助用之望遠鏡而已。對於尺度之檢驗，標準尺度與比長計 (comparator) 均屬必要。

對於長度之測定，若於大圓盤之周圍讀取螺旋之旋轉數，以代螺旋前進之長度，則測定之精密度可增進 $1 \sim 2$ 位數字。前記之測微計，測徑計，傾斜差壓計等，皆利用此原理而作成。手製壓力計多可利用普通市售之尺與鋼捲尺等。若將毫米格之方格紙剪成細長而利用之，固極簡單，惟因濕度而延長自應加以補正。

圖形之面積得依辛普孫 (Simpson) 方法簡單算出。利用此法，則於各種積算量之計算等，殊多便利。今假定欲求第6圖中 x_0, p_0, p_n, x_n 所

包圍之面積，其計算法如下：——



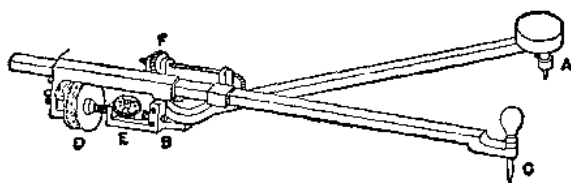
第6圖 辛普孫積分

先將所求之面積區分為 (x_0, p_0, p_1, x_2) , (x_1, p_1, p_2, x_2) 等之小面積偶數個，且各縱軸間之距離相等，命為 h 。此時面積 A 可依下式算出。

$$A = \frac{1}{3} h [(y_0 + y_n) + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \cdots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \cdots + y_{n-2})]$$

依此方法，對於任何圖形，將 p_0, p_1, p_2 ，及 p_1, p_2, p_3 ，以下 p_{n-2}, p_{n-1} ， p_n 均視作拋物線，而行近似計算；又因此曲線部可作種種之假定，遂想出種種之計算法。關於此等計算法，可參閱 J. Lipka: Graphical and Mechanical Computation。此外純用機械的方法以算出面積，有面積計(planimeter)。

第7圖即面積計之一例， AB 及 BC ，乃以 B 為中心能自由開闔之二臂。測面積時，將 A 腳固定於圖形（欲測其面積者）之附近，執 C 之尖端，精密的循圖形之輪廓而動。 A 及 C 之尖端與 D 之下端同接一平面， C 運動時 D 連帶旋轉，其旋轉數於 D 及 F 之刻度上顯出，由此可知所求之面積。 F 為調節用之螺旋，用已知面積之正方形等檢驗後調節之。檢驗時，僅據紙上圖形輒生測定誤差，最好於紙上剪一正方形之孔，沿此而動（ C 之尖端），較易得正確之結果。



第7圖 面積計

此外尚有種種面積計，其動作原理詳見工業用具及測定器書中(E. Griffiths: Engineering Instruments and Meters)。

紙上圖形之面積，可繪此圖形於方格紙，計算方格之數，即可大體得知。又秤定單位面積之紙之重量及剪出圖形之紙之重量，亦可算出面積。測定不規則物體之表面積時，困難常多。其大者，捨圖解後用立體圖學的算出外，無他法。其小者則將既知面積之紙剪碎，零星貼於欲求之表面積之上，而求全體貼滿後所需紙之面積。又有浸油法，即將欲求面積之物體與既知表面積之物體一同浸入油脂類中，取出後分秤增加之油量，以推定面積之大小。至工廠地面等之面積測定，可參閱測量術之專門書籍。

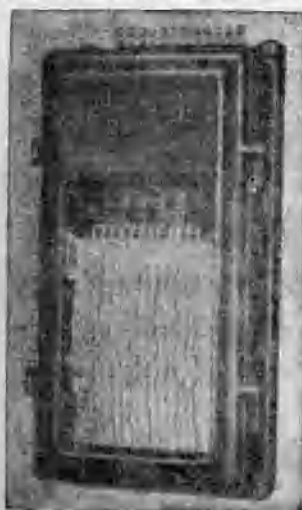
第二節 時間及速度之測定

化學工廠備置普通計秒之停錶 (stop-watch, 刻 0.2 秒者)，殊多便利。例如黏度之測定，流量及液體容量之算出等，均可採用之。又測定滾子 (roll) 等低速旋轉體之旋轉數，亦極利便。普通化學工廠所採用者止此已足，無須更速之秒鐘或時間記錄器 (chronograph) 也。

自工廠管理上言之，廠內各處均宜備掛鐘。若用電動鐘，則全廠時間一致。最近有利用電燈線頻率數之廉價電動鐘出售。頻率數之誤差正負 (+, -) 約略均等分布，故其結果，時間上之誤差頗少。惟鐘之停止及行動與停電給電相應，往往因停電而中止，因是誤時，是為電鐘之缺點。

其種類甚多，有由母鐘（發動之鐘）間歇的送電，每隔一分或三十秒使指針前進者；有於一日至七日之間，電動機自動旋轉一次以轉緊發條者（其鐘之構造與普通用發條者同）。

若用作業記錄器（operation recorder），則每日作業若干次，或每次作業需時若干，均可一目瞭然。第8圖乃西門子公司發售者，能記十二人之作業。大體之構造由紙捲（tape）式時間記錄器結合而成，旋轉速度甚緩。裝設於作業場所適當之位置，有能自動按押之電鍵；作業中記



第8圖 作業記錄鐘

錄針偏左方，及作業既終仍返右方，於是如圖所示記錄凸凹之線。此線凹部之初乃作業開始之時刻，凹部之長示每作業一次所需之時間，而變凸部之處乃作業一次告終之時刻也。將此電鍵與停閥（stop-valve）併置，或置於每日須攪拌數次之槽蓋上，或置於爐竈之礦石裝入口（礦石由手裝入者），即可窺知作業情況。例如晝夜焙燒硫化礦時，往往因深夜疎忽，天明驟加入多量，致所生之二氧化硫（ SO_2 ）濃度不勻，製造硫酸發生困難；若用作業記錄器測驗，則大可避免此弊。對

於包工制，可利用之以公平計算工資，且可藉此得到增進作業能率之資料。

通常對於低速度及旋轉數少者，用目測可求到數%以下之誤差。然速度及旋轉數增加，則目測困難。此時將適當之旋轉計與秒鐘併用，固可測定相當之高速度，而專製之速度計及旋轉計尤為便利。其構造種種不一，有由自動的秒鐘及旋轉計合成者，有利用離心力等者。前者之刻

度全體均一，測定之誤差在廣大之速度範圍內，大致相等且甚少，乃僅示一定時間內平均之旋轉數者。第 9 圖所載之哈斯拉 (Hasler) 旋轉計為前者之代表。於三秒間所得之旋轉數，可立即以每分之旋轉數或線速度表示。若欲其隨時不斷的表示旋轉數，則應使用後者。此又分數種：——(1)利用離心力者，(2)利用旋轉磁鐵之吸引力者，(3)利用液體



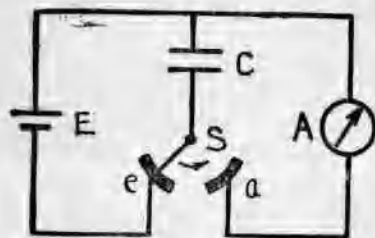
第 9 圖 哈斯拉旋轉計

或氣體之黏度者，(4)利用發電機之電動勢者等等。就中(1)(2)(3)三種構造簡單，可測至極高速度，惟易受溫度影響，且心軸摩擦時，常致發生甚大之誤差，故須時時檢驗。第 10 圖乃利用重錘離心力與彈簧彈力之平衡記錄旋轉計，與水輪機或製紙機等直接連結，則旋轉數 5—10% 之變動，可正確記錄。第四種之利用發電機者，乃利用欲測定之旋轉體以轉動磁鐵發電機，然後用電量計測定誘起之電壓，以測知旋轉數者也。電量計上預刻旋轉數俾得一目了然。此種旋轉計，若將引至電量計之導線延長，可行遠隔測定。此外對於旋轉數之遠隔測定器，有利用容電器之放電及充電速度者。其原理如第 11 圖所示，使斷續器 S 與欲測之旋轉體一同旋轉，在某瞬間 S 與 e 接觸，而電源 E 充電於容電器



第10圖 記錄旋轉計

C ，次之瞬間 S 與 a 接觸，而所容之電經電流計 A 放電。 A 面所示之數，乃放電電流之平均值，與旋轉數成比例。此種旋轉計若有無線電收音機 B 電池用之乾電池、 $8\mu F$ 之容電器、及約 15 ma. 之毫安培計 (milliammeter, 可測至千分之一安培者)，即可簡單手製之。又電源電壓之降下為誤差之原因，關於此事，兼重寬九郎氏等於「簡單之設計」一文中曾論及之(見工學雜誌，1931，67，394)。



第11圖 交互充放電式旋轉計

測定旋轉力弱之旋轉體，或高速度旋轉體之正確測定，不欲依上法將旋轉計直接連結於旋轉體，或不能連接時，可用光測頻器(stroboscope)