

# 氣象器械學

王應偉譯



TREATISE ON METEOROLOGICAL INSTRUMENTS

TRANSLATED BY

Y. W. WANG

# 序

孔子有言：工欲善其事，必先利其器。斯言也，應用於晚近科學界之器械的實驗，覺尤有偉大之價值。氣象學上所用之儀器，雖較物理學中爲簡單，然在實際使用上，究非操切從事者所能勝任。蓋測器無論如何精良，在製作上，必有優劣點之存在，惟在善用者取其優點而汰其劣點，始收實地觀測之效耳。然則所謂利其器云者，一基於測器之自身，一基於人工之處置也明矣。普通氣象學書，於各測器之理論，僅撮其大要，而無詳細論述，既無以應各測候所之需要，於是此類專門之書，在現今出版界，亦成爲先務之急。蓋就應用方面而言，各測候所之氣象器械，其大部分通例安置於露場，由天氣陰晴暨寒暑之變更，器械之各部，往往起膨脹收縮之作用，發生誤差及故障。設身任斯職者，不明測器之構造原理，及其處理方法，則縱有精良之器，亦幾等於石田之無用而已。且此事對於現在之中國，其關係尤形重要；何則，地球上各區域之氣象狀況，無不與其地形地勢有關，須經長時間之觀測，將其實地所得材料，一一加以統計，然後於學術研究，始有裨益。中國氣象事業，方在萌芽，設以在儀器方面未經訓練之人，充任觀測，則其所得材料，既不精確，其結果將非徒無益而又有害焉。不特此也，現今我國一切測器，大都購自外國，而尙無自行製作之工廠，一旦測器之各部分，發生輕微故障，而仍須運往外國原廠修理，亦爲事實所不許。由是言之，關於氣象器械一類之專籍，爲國內

測候界所必備之書，已毫無疑義矣。

就科學領域而言，氣象學爲物理學之分門，所占領域狹矣；氣象器械學占氣象學中之一部分，領域尤狹之又狹。故其專門書籍，即求諸歐美，亦不多覯。惟最近德國新出有氣象器械學大全(Handbuch der meteorologischen Instrumente und ihrer Auswertung)一書，此書由 E. Kleinschmidt 主編，經多數專門家分類編纂而成，占七百餘篇幅，理論與實用並重，記述今日氣象學上所用之儀器，幾悉數無遺，出版於一千九百三十五年，顧其價至昂，欲購是書，約需中幣七十餘元，既非個人財力所能勝任，且又不通德語者，亦難卒讀。此外之單行本，則僅有美人 C. Abbe 所著之 Treatise on Meteorological Apparatus and Methods, 及德人 M. Robitzsch 之 Die Beobachtungsmethoden des modernen Meteorologen. 前者由官版發行，已成古本(1888年出版)，雖現今仍爲良參考書，恐已不易購置；後者出版年月較近(1925年出版)，惟其內容之大部分，均係專門的記述，而非初學入門之書，亦不適用於吾國現在之測候界。

歲甲戌(民國二十三年)，青島觀象臺開氣象講習班，每週六小時之氣象器械學，由余擔任，苦無適當教本，適二年前日本中央氣象臺長岡田武松博士，出有氣象器械學一書，爰爲逐譯，使諸同學筆錄成書；惟因講習期間，僅限三月，爾時刪繁就簡，所譯者尙不及原書二分之一。事後臺中同人，咸唆余將全書譯出問世，余自維淺學，何敢貿然從事，第念我國現在航空與農田水利等事業，逐漸發展，各地測候所

之增設，時有所聞，本書由時勢所乘，或可爲目前出版界之需要品；重以中國氣象學會，樂爲代余印行，爰於公務餘閑，竭數月之力，整理舊稿，將其全部譯竟，以付手民。惟倉卒成書，不及細加潤色，章節中謬誤之處，在所不免，深望國內諸彥，詳加指教，匡我不逮，俾於再版時得以訂正，是則尤譯者所引爲欣幸者也。

民國二十五年八月王應偉識於青島觀象臺

## 例 言

(一)譯文僅取達意而止，故書中語句，均不爲原文所囿，以期讀者容易了解。

(二)本書中所記述之氣象器械，對於東亞測候界所使用者，大致應有盡有，自信尙適合於中國目前之需要。

(三)原書爲彼國中央氣象臺技術養成所之課本，該所收錄之生徒，限於專門學校畢業，書中程度，與現在中國測候界人員相較，微有不合，故由譯者創意，將各章各節各段落中之稍高深部份，均於其前印有星形\*之符號，如讀者未習過高等數學，遇章節段落前，印有該符號時，可省讀之，與實際上毫無妨害。

(四)彼國出版界，於本書外，尙出有氣象觀測法等書。因各書互有關係，於是各書所載事項，亦互有出入。現爲適應吾國測候界環境起見，書中間有爲譯者所添入者；并有少數段落，在現在之中國，絕對不必要者，則爲譯者所刪去。蛇足之譏，知所不免，閱者諒之。

# 氣象器械學

## 目次

### 第一章 溫度計

1. 溫度計之起源
2. 溫度計之構造
3. 水銀溫度計之標準器
4. 自記溫度計
5. 遠距離溫度計
6. 遠距離自記溫度計
7. 最高溫度計
8. 最低溫度計
9. 溫度計測溫之原理
10. 百葉箱
11. 通風溫度計

### 第二章 溼度計

1. 溼度
2. 乾溼計
3. 乾溼計公式
4. 乾溼計之歷史
5. 各國乾溼計之公式
6. 通風溼度計
7. 毛髮溼度計
8. Polymer
9. 毛髮溼度計之理論

## II. 目 次

---

10. 自記毛髮溼度計
11. 露點
12. 露點計
13. Nippoldt 之露點計
14. Lambrecht 之露點計

### 第三章 氣壓計

1. 氣壓
2. 氣壓計
3. 水銀氣壓計之構造
4. Fortin 氏水銀氣壓計
5. 標準氣壓計
6. 水銀氣壓計示度之冰點更正
7. 水銀氣壓計示度之重力更正
8. 水銀氣壓計示度之海平面更正
9. Station 式水銀氣壓計
10. Station 式水銀氣壓計之冰點更正
11. 山岳用氣壓計
12. 空盒氣壓計
13. Richard 自記氣壓計
14. Sprung 氏自記氣壓計
15. 微壓計
16. Shaw-Dines 之微壓計
16. 氣壓計室

### 第四章 日照計

1. 日照計

2. Jordan 式日照計
3. Campbell-Stokes式日照計
4. Jordan 式日照計之記象
5. 可照時
6. 日照率

## 第五章 雨量計

1. 雨量計
2. 量雨杯
3. 雨量觀測
4. Hellmann 式自記雨量計
5. Sprung 式自記雨量計
6. Rung 式自記雨量計
7. 強雨計

## 第六章 風力計

1. Robinson 氏風力計
2. Routh 氏之理論
3. Thiesen 氏之理論
4. Chree 氏之理論
5. Stow 氏之實驗成績
6. Jeffery 及 Whipple 氏之實驗成績
7. Dohrandt 之實驗成績
8. Dines 式風壓計
9. Dines 式風壓計之理論
10. 風力自記器械
11. Richard 式自記電接同數器



- 
12. Fuess 自記電接回數器
  13. 風力自記器
  14. Anemo-Cinemograph
  14. 風力計用之電池及配線

## 第七章 風向計

1. 風向計及其理論
2. 新型風向計
3. 自記風向器
4. Negretti型自記風向器
5. 自記風向計之其他種類
6. 風向器之制動裝置
7. 風向盤

## 第八章 蒸發計

1. 蒸發計
2. Wild 氏蒸發計
3. Piche 氏蒸發計
4. Houdaille 式自記蒸發計
5. Wild-Fuess 式自記蒸發計

## 第九章 雲量測定裝置

1. 立體角
2. 雲量之測定
3. 全天攝影機

## 第十章 日射計

1. 無氣黑球溫度計
2. Arago-Davy 日射計

3. Angström 日射計
4. Abbot 氏水流日射計
5. Abbot 氏銀盤日射計

## 第十一章 地中溫度計

1. 曲管地中溫度計
2. Quetelet 氏之補正法
3. Symons 式地中溫度計
4. Lamont 式地中溫度計
5. Wild 式地中溫度計
6. 白金抵抗地中溫度計
7. 自記地中溫度計
8. 地面溫度計

## 第十二章 記塵器

1. 記塵器
2. Aitken 氏計塵器
3. Owens 氏記塵器

## 第十三章 視程計

1. 視程計

## 第十四章 測風氣球

1. 測風氣球
2. 浮力天平
3. 測風氣球经纬儀
4. 單经纬儀觀測
5. 雙经纬儀觀測
6. 輕風管與氣球填充

- 
7. 減壓器
  8. 測風氣球夜間觀測

### 第十五章 測雲器

1. Sprung 氏雲鏡
2. Fineman 氏雲鏡
3. Arcimi 氏雲鏡
4. Besson 氏橢形測雲器
5. 攝影經緯儀

### 第十六章 夜間放射計

1. 夜間放射計
2. Angström 氏夜間放射計
3. Boutaric 氏夜間放射計

### 第十七章 空中電氣測定器械

1. Exner 氏電位計
2. Wulf 氏雙線電位計
3. Wulf 氏單線電位計
4. Dolezalek 氏象限電位計
5. 水滴蒐集器
6. 放射物蒐集器
7. 火焰蒐集器
8. 空中電位測定裝置
9. Benndorf 氏自記象限電位計
10. 平面更正
11. Elster及Geitel氏電荷散逸測定器
12. Gerdien 氏空中電氣傳導率測定器

13. Ebert氏Ion計
14. Langevin氏Ion計
15. Kähler 氏雨水電荷測定裝置
16. Schindelbauer 氏雨水電荷測定裝置
17. Simpson氏雨水電荷測定裝置

## 第十八章 自記器用時計

1. 自記圓筒時計
2. 自記圓筒時計之分解
3. 操縱機之構造
4. Cylinder脫進機
5. 自記圓筒之心棒
6. 掃除與琢磨
7. 擦油法
8. 目覺式自記時計
9. Anchor 脫進機

## 補遺

1. 百葉箱之研究
2. 溫度計惰性之研究
3. 溼球比乾球高溫時之處理法
4. 氣壓計室
5. Marvia 氏日照計
6. 雨量計之研究
7. 自記風向器
8. 雲高之測定
9. Abbot 氏銀盤日射計之使用法

VIII.

目

次

---

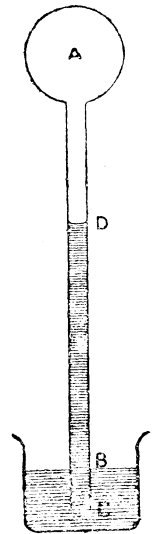
10. 自記洋墨水之製法

# 氣象器械學

## 第一章

### 溫度計

1. 溫度計之起源 據 E. Wohlwill 氏所述，溫度計幾為荷蘭及意大利同時獨立發明之品。其在荷蘭，則在1600年前後 C. Drebbel von Alkmaar 發明溫度計；至意大利之 Galileo Galilei，則於1592年頃，考出溫度計之型，惟彼始作之時，與今日所用者不同，即如第一圖，A B為玻璃管，球部A內含有空氣，C為盛水之玻璃器，若A與高溫之物體相接觸，則A內之空氣膨脹，而下壓管中之水，使D之水面下降，即DC之高，由接觸物體之溫度而異，溫度愈高，則DC之水柱愈低，故 Galilei 所作者，為一種之氣體溫度計。至於 Drebbel 所製作，亦不過與此大同小異耳。



第 1 圖

現今所用之溫度計，係應以液體膨脹之原理，其最初創作者，為法國醫師 Jean Rey 其人(1631年時)，但當時之刻度，不與現時相同，其最古者，雪之溫度為  $20^\circ$ ，夏日之最炎暑時為  $80^\circ$ ，且刻度不以細線，而以磁油之點，附着於玻璃管側。

最初定溫度計刻度之定點者，為德人 Gabriel Daniel Fahrenheit 氏，氏使用水銀作溫度計，於1724年，將水銀溫度計之製作法，公諸於世。氏更將溫度計，插入於水與雪及 Salammonia Cl(NH<sub>3</sub>) 之混合體中，以其示度為  $0^\circ$ ；健康人之體溫為  $96^\circ$ ，此溫度計置諸將融解之冰中，則為  $32^\circ$ ，其後瑞典人 Anders Celsius，於1742年，以水之沸騰點為水銀溫度計之  $0^\circ$ ，冰點為其  $100^\circ$ ，而將兩定點間百等分之；迨1750年 Strömer 氏，又將冰點為  $0^\circ$ ，水之沸騰點為  $100^\circ$ ，而立百度溫度計之基，故今日記一度時，記以 C 之符號者，乃係百度表 (Cent-

igrade)之C，非攝氏之C，然因沿訛成習，往往亦以攝氏名之矣。

2. 溫度計之構造 溫度計係用細玻璃管，將其下端吹成球或圓筒狀，并排除管內之空氣，而密閉其上端，更於其一部分，注入水銀或酒精，及Toluol類似之液體，由其液體之膨脹收縮，以測溫度之昇降。

溫度計之感度，係由於球部與細管兩者間容積之比而定，設將球部視為真球，其半徑為 $R$ ，則球部之容積 $V$ 為 $\frac{4}{3}\pi R^3$ ；又若細管之內徑為 $2r$ ，則其切口之面積 $A$ 為 $\pi r^2$ 。當溫度上昇 $1^\circ\text{C}$ 時，管中水銀頭之移動距離為 $S$ ，是時水銀單位容積之膨脹為 $\mu$ ，則溫度每上昇 $1^\circ\text{C}$ ，球部內水銀之膨脹為 $\mu V$ ，由此容積之增加，而細管中水銀線亦增長，由是得

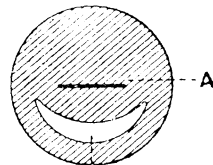
$$AS = \mu V, \quad \therefore \quad S = \frac{\mu V}{A}.$$

$$\text{惟因 } A = \pi r^2, \quad V = \frac{4}{3}\pi R^3, \text{ 故 } \quad S = \frac{4R^3}{3r^2}\mu.$$

若球為圓筒形，而圓筒之半徑為 $R$ ，其長為 $l$ ，則 $V = \pi R^2 l$ ，

$$\text{故 } \quad S = l \frac{R^2}{r^2} \mu.$$

因溫度計感度之敏銳條件，為 $S = \mu V/A$ ，故 $V$ 愈大而 $A$ 愈小，則愈形敏銳。但 $V$ 過大，則須使用多量之水銀，溫度計之重量增加，其結果則經濟上及製作上均不適宜，故祇 $A$ 求其小，為可能之條件，即通常用毛細管製作之，惟管太細，則水銀絲頭辨別較難，於是如第二圖之A，令其切口為扁橢圓形，又圖中之B，因欲使水銀絲頭容易認識，特將沟壑之背影，封入於其中也。



B

第 2 圖

$V$ 之大小雖一定，而表面積若能增大，則受熱亦速，因而溫度計之感覺亦增敏，但由幾何學所述，凡同容積中，以球之表面為最小，由此點而言，球最為不利益，故現時有用圓筒形代其球形者。至圓筒以外之形，當然亦可使表面積增大，惟製作既形困難，而不對稱

之形，當氣壓生變化，又易感受影響，而使示度有上下之虞，故就對稱之形而論，球爲最適宜之形，而圓筒形次之。

至決定定點之法，即將溫度計插入半融解之碎冰中，待其示度靜止時，以之爲冰點。惟此處所宜注意者，冰之選擇，尤須鄭重，市上所購之冰，有時含有鹽分及其他雜質，往往可使其冰點低下，故用蒸溜水以寒劑凍之，最爲合用。

當試驗冰點時，若球部起冰結，則由其壓力，可使溫度計之示度增高，不可不深切注意。

求沸騰點之法，則將溫度計置入沸水面上之蒸氣中，俟示度停止時，其讀度爲  $t$ ，又是時所測之氣壓爲  $B\text{mm}$ ，則沸騰點之溫度  $t$ ，可用次式計算得之：

$$t=100^{\circ}+0.375(B-760),$$

$B$ 係表示水銀氣壓計重力更正後之讀度。

凡溫度計須與標準器相比較，而檢查其刻度線，而檢查最重要之目標，則爲冰點，蓋當製作溫度計時，必將玻璃加熱，而玻璃爰起歪之現象，起歪後之玻璃，又須經若干時日，而始能恢復原狀，於是冰點亦漸起差異，英國物理家 Joule 氏，嘗將一個敏銳之溫度計，經四十年間之檢查，即 1844 年其冰點爲  $0^{\circ}$ ，1846 年爲  $5^{\circ}.5$ ，1848 年爲  $6^{\circ}.9$ ，1856 年爲  $9^{\circ}.5$ ，1870 年爲  $12^{\circ}.1$ ，1882 年爲  $13^{\circ}.3$ ，但此處所云刻度之  $13^{\circ}$ ，與  $1^{\circ}F$  相當，要而言之，溫度計之冰點，雖經長年而變更，其在製作後之二三年間，變化最爲急速，故現今製作溫度計者，製成後經二三年間，始定冰點及刻度也。此外則沸騰點之試驗，須在試驗冰點之後，苟反其順序，則所得之冰點爲低，冰點之低下，以 Jena 玻璃爲最小，然亦可自  $4$  至  $0^{\circ}.03$  也。

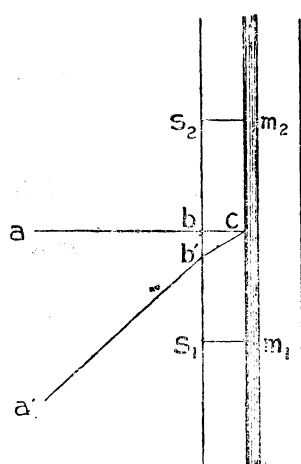
3. 水銀溫度計之標準器 氣象觀測所用之溫度計，須與一定之標準器相比較，而檢定其差，此標準水銀溫度計，當然亦與國際度量衡局所備之輕氣溫度計相比較，而施精密之檢查，通常各國之中央氣象臺，負有檢定國內之各氣象



器械之任，而備有水銀溫度計之準器也。

所謂水銀溫度計之準器云者，其構造亦與普通所用者相同，惟所用材料，經充分選擇，且製作時加以精密之注意，而避去次列各項之誤差：

(1) 視差與屈折之補正 溫度計之度數，有刻於管側者，亦有刻於釉油板上者，與水銀線之頭部，有若干之距離，故由外部以測水銀線之頭部，眼之位置



第 3 圖

須正確，須線頭與度數在同一視線，今如第三圖，abc為正視之位置，若視線為a'b'c'之方向，則光線於b'起屈折，而b'點之讀度，其間生bb'距離之誤差。

今命刻度線與水銀線頭部之距離bc為a，溫度相異一度，兩刻度線之距離s<sub>1</sub>s<sub>2</sub>為s，玻璃之屈折係數為n，光線由a'b'方向之入射角為i，屈折角為r，則

$$\tan r = \frac{bb'}{bc}, \quad \therefore bb' = bc \tan r = a \tan r.$$

若以溫度一度之刻度線距離為單位，則得

$$bb' = a \tan r = \frac{a}{s} \frac{\sin i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}.$$

據C. Abbe 所著氣象機械論中之示例，當 $\frac{a}{s} = 1.1$ ， $n = 1.6$ 之溫度計中，若 $i = 10^\circ$ ，則 $bb' = 0.12$ ，若 $i = 20^\circ$ ，則 $bb' = 0.24$ ，故此誤差，不可謂小，觀測時務須避去此誤差，萬一遇不能避時，則應加入此等之補正。

(2) 對於刻度之補正及 Calibration 凡正確之溫度計，玻璃管之內外兩直徑，無論在何部分均相同，即等距離之刻度線，等分管內之容積，然在實際製作上，決不能得直徑一樣之玻璃管，故於等分之刻度線，須加入等容積之補正。因此實驗時可將管微微衝擊，使管中一部分之水銀線，成切斷形，使移置於種種之位置，以覓出刻度線之誤差，此法稱為 Calibration，但刻度之誤差，可由

其他準器比較得之，故此法為不重要。

(3)沸騰點及冰點之決定 說明已見於前。

(4)玻璃管溫度之補正 水銀溫度計之球部及管部，須與其所測物體為同溫度，而示度方為正確。然有時球部與管有不能同溫度者，則對於其時管之溫度，須加以補正，此補正方法，俟後章論曲管地中溫度計時詳論之。

(5)氣壓及於球部壓力之補正 溫度計之球部，受外氣壓力之影響，恆使管中水銀柱上昇，Guillaume氏曾以760mm為標準氣壓，而測驗氣壓對於760mm昇降時，其管內水銀柱所受之影響，即此外壓之影響，與球部玻璃之厚薄有關。其在自0.5mm至0.6mm厚之玻璃，當氣壓昇降1mm，則溫度計之示度，可昇降 $0^{\circ}.0001\text{C}$ 許，此補正在通例雖極微，然在平地所檢定之溫度計，一旦移置於甚高之山頂，則此補正數，不能置諸省略。

又溫度計之球部，其內部亦受有壓力，即昇於管中水銀線之壓力，及由線頭毛管作用所起之壓力，後者當水銀線上昇時，則呈減少壓力之作用；當其下降時，則呈增加壓力之作用。蓋元來管內水銀線之壓力，有使球部體積增大模樣，於是其示度應微低，由此所起之誤差，雖至大不過 $0^{\circ}.02$ 許，然在精密觀測之例，亦不可略去也。

\* (6)惰性之補正 溫度計當溫度變更時，不能即時表示其溫度，通例漸次變易其示度，然後達於所欲測之溫度，此性質可以惰性視之，今假定用溫度計所測之物，其溫度在最初時間 $t=0$ ，具有 $W_0$ 之溫度，且設想該溫度隨時間之比而增加，即達 $t$ 時間後，為 $W_0 + kt$ ，今溫度計與所測物接觸，而歷 $t$ 時間後，設其溫度為 $\theta$ ，則得次之微分方程式：

$$\frac{d\theta}{dt} = -\lambda[\theta - (W_0 + kt)]$$

將此式施積分後，且由 $t=0$ 時， $\theta = \theta_0$ 之條件，其結果得

$$= W_0 + \frac{k}{\lambda} + kt + \left( \theta_0 - W_0 - \frac{k}{\lambda} \right) e^{-\lambda t}$$

Grossmann氏曾就 $t=n-r, n+2r, n+3r, n+4r$ 之五回觀測以求 $\lambda$ ，

得次式：

$$\lambda = \frac{1}{2r \log e} \log \frac{\theta_n - 2\theta_{n+r} + \theta_{n+2r}}{\theta_{n+2r} - 2\theta_{n+3r} + \theta_{n+4r}}$$

若溫度不變更，則  $k=0$ ，由是

$$\theta = W_0 + (\theta_0 - W_0) e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{1}{r \log e} \log \frac{\theta_{n+r} - \theta_n}{\theta_{n+2r} - \theta_{n+r}}$$

故  $r$  值之分配，施三回觀測，即可求得  $\lambda$ 。例如最初  $9^{\circ}.35$  示度之溫度計，置諸溫度  $19^{\circ}.6$  之中，讀取各分間之示度，就種種時刻而使之組合，以計算  $r$  及  $\lambda$ ，則如次表：

$t$	0	2	6	10	14	18	20	30	40
$\theta$	9.35	11.04	13.74	15.54	16.80	17.66	18.00	19.00	19.40

$\theta$ 之組合	2, 6 10	6, 10 14	10, 14 18	2, 10 18	0, 20 40	2, 6, 10 14, 18	0, 10, 20 30, 40
$r$	4	4	4	8	20	4	10
$\lambda$	0.101	0.091	0.095	0.094	0.091	0.101	0.091

由上表知  $\lambda$  之平均值為 0.095，故就任意之溫度計，若  $\lambda$  為已知，則得以計算該溫度計與四周同溫所需之時刻，即命其時刻為  $x$ ，則在此例，因  $x=r$ ，由是得

$$x = \frac{1}{\lambda \log e} \log \frac{\theta_n - \theta_0}{\Delta}$$

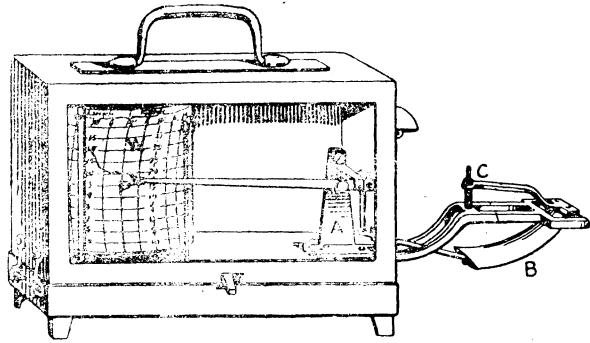
此處之  $\theta_n$  為最初之溫度， $\theta_0$  為所測物之溫度， $\Delta$  則係表示溫度測定之精密程度。例如溫度計與所測物體之溫度差，最初為  $10^{\circ}$ ，至兩者溫度差至  $0^{\circ}.1$  所需之時間  $x$ ，則為

$$x = \frac{1}{0.095 \log 2.718} \log \frac{10}{0.1} = \frac{4.605}{0.095} = 48.5 \text{ 分.}$$

此惰性之補正，即在通常氣象觀測，亦不能置諸不論。

4. 自記溫度計 自記溫度計中之最通用者，為法國 Richard 廠之製作品，其全器械之形，則如第四

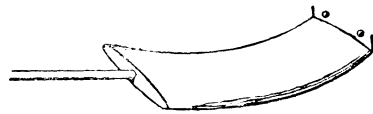
圖所示，第五圖則示 Bourdon 管之形（名以發明者之名），其中儲酒精或以脫，當溫度增高時，管內液體之容積增大，而使管扁平，從而管之曲率半徑增大；又溫度低降，則液



第 4 圖

體收縮，而使管復原狀，其管之伸縮，由槓杆之裝置，而使自記鋼筆尖，於自記圓筒之自記紙上，描氣壓昇降之曲線。

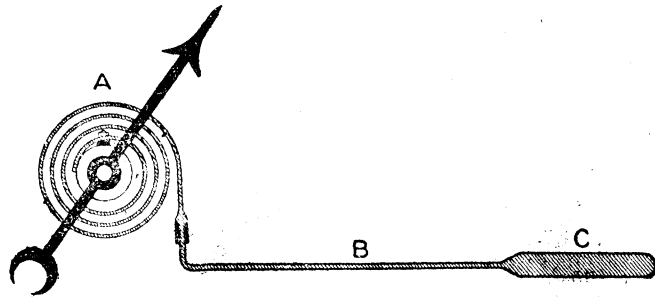
當液體注入於 Bourdon 管時，其溫度非常低下，方為適宜，否則遇低溫度時，管將不起伸縮之作用，故管之材料，大都取鋼鐵或其他富有彈力之金屬，而其切口，則約成橢圓形。



第 5 圖

器內所裝置之槓杆，其一端每易沾鋼筆尖內之藍墨水 (Ink)，而使腐蝕，以減短鉛製槓杆之長，而來倍率不正確之虞，故當注藍墨水於鋼筆尖內，雖以滿為度，尤須注意其不沾染於槓杆之端，此外則鋼筆尖與紙之摩擦，以及裝置槓杆之各部分摩擦，尤須充分注意之。

5. 遠距離溫度計 (Distance thermometer) 此器係測隔離物體溫度之用，其種類雖有種種，如電氣抵抗溫度計，及熱電堆 (Thermopile) 溫度計等，應用於物理學上者，使用時稍需技術，故除特殊測定以外，其在氣象學上所用者，以 Negretti 及 Zambra 廠所製之鋼管溫度計，最為通用。此鋼管溫度計之要部，則如第六圖所示，為鋼製球部 C，由毛管 B 與 Bourdon 管 A 相連絡，此 A，B，C 中充滿水銀，若 C 之溫度增高，則其中水銀膨脹，使 Bourdon 管 A 之螺線狀面積增大，於是其上之固定示針，起回轉作用，以表示 C 管溫度之變化。



第 6 圖

因毛管中水銀之膨脹，影響於溫度計之示度，故C之容積非常增大，雖為避除此缺點之一法，但甚影響於溫度計之感度，於是現今製作上，B之管徑，非常微小，今若毛管B之容積，為C管之 $\frac{1}{10}$ ，且此溫度計限用於 $0^{\circ}$ 與 $100^{\circ}$ 之間時，則當毛管溫度為 $100^{\circ}$ 時，即生 $\frac{1}{10}$ （即 $10^{\circ}$ ）之示度差；若溫度變化 $10^{\circ}$ ，則約生 $1^{\circ}$ 之差。又若毛管容積，為C之 $\frac{1}{100}$ 之時，則溫度變化 $10^{\circ}$ ，約生 $0.1$ 許之差。故現今之製作品，大都C部之容積為 $11.96\text{cm}^3$ ，毛管之長為 $300\text{cm}$ ，其徑約為 $0.178\text{mm}$ ，由是管之全容積為 $0.075\text{cm}^3$ ，約為C管容積之 $\frac{1}{160}$ 。

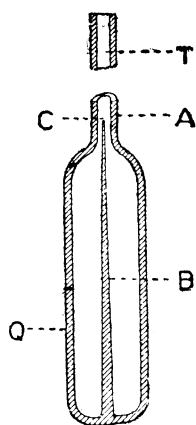
此處更須注意者，C及B內之水銀，雖不起脹縮，當A附近之空氣溫度變更時，因A管中水銀之脹縮，從而溫度計之示度，亦隨之而變化，因欲避免此缺點，故於製作時，在Bourdon管A之終端，以雙金屬片連絡之，使兩者為相反之轉動，以補正其闕也。

此遠距離溫度計之其次問題，則為示度之惰性：即使用此溫度計時，須經若干秒後，而始得其所測溫度之示度。據英國國立工業物理試驗所（National physical laboratory）之檢驗，溫度 $20^{\circ}\text{C}$ 之此種溫度計，置 $20^{\circ}\text{C}$ 與 $90^{\circ}\text{C}$ 間種種溫度之溫槽中，大抵須經20秒乃至40秒後，始達所求之示溫，此與通常用玻璃所作者，無甚大差。又Bourdon管，對於氣壓之變動，頗受感覺，而影響其示度，抑亦該器械一缺點。

凡購置遠距離溫度計，須豫將示度之範圍（Range）說明。例如自 $-10^{\circ}\text{C}$ 至 $45^{\circ}\text{C}$ ，或 $0^{\circ}\text{C}$ 至 $50^{\circ}\text{C}$ 之類，俾承受者得以依此製作之。

6. 遠距離自記溫度計 將前之溫度計，加以自記裝置，以之應用於地中溫度之自記，最為適宜。其自記之主要部，為自記圓筒，與 Richard 自記溫度計之自記部構造，全然相同，其詳細記於後章地中溫度計之說明中。此外又有自記電氣溫度計數種，且有用熱電堆者，但其精密之度，均不適用於氣象觀測。

7. 最高溫度計 現今在東亞方面使用較多者，為 Fuess 型之最高溫度計。此器有棒狀者，有二重管者，而其構造則均同。如第七圖，則示棒狀之最高溫度計，球部 Q 之上部 A，作成頸狀，其由底部直立之玻璃細棒，其尖端 C 入於 A 之狹隘部，當球部內之水銀，因溫度升高而膨脹，經過 A 而流入於 T 管中；及至溫度下降，球之水銀雖收縮，但其在 A 以上之水銀，因 A 之狹隘，仍被隔斷，由是管中水銀線之示度，係表示其最高溫度。



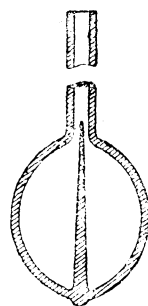
第 7 圖

二重管之最高溫度計，僅球部為球形，此為其與棒狀者之差異。第八圖即其球部之切口。在通常 Fuess

型之二重管最高溫度計，其刻度大抵自  $-22^{\circ}$  至  $52^{\circ}$ ，而刻度線刻至  $\frac{1}{2}$  度，然亦有刻至  $\frac{1}{5}$  度

者。至於日本所仿製之棒狀溫度計，大都自  $-25^{\circ}$  至  $45^{\circ}$ ，刻度線則至  $\frac{1}{2}$  度。

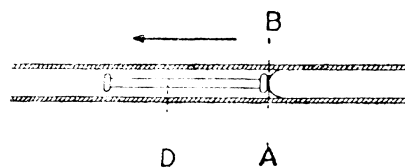
最高溫度計安置之位置，雖為水平，但球部須略低下，即其位置須少許傾斜，始能適宜也。



第 8 圖

8. 最低溫度計 現時東亞方面所多數使用之最低溫度計，為 Rutherford 所考案之製作品，係一種之酒精溫度計，如第九圖所示，溫度計

內有亞鈴狀之顏色玻璃棒 D，當球部酒精收縮時，A 之線頭，向矢之方向移動，D 亦隨之而動；然當酒精膨脹，則 A 向反對之方向移動，而 D 仍遺留原處，由是玻璃棒 D 之端，可用以表最低溫度之示度。



第 9 圖

此溫度計之酒精線頭，恆起蒸發，填塞空所，由其張力，其示度可低至 $0^{\circ}.5$ 許，故使用之際，務須充分注意。

Fuess廠所製之二重管最低溫度計，其刻度大抵自 $-44^{\circ}$ 至 $42^{\circ}$ ，其刻度線則刻至 $\frac{1}{2}$ 度；至於日本製之棒狀最低溫度計，則自 $-25^{\circ}$ 自 $45^{\circ}$ ，刻度線亦至 $\frac{1}{2}$ 度

最低溫度計，恆懸置於水平位置，又無論為最高或最低溫度計，其球部常置於溼度計乾球之近處。

9. 溫度計測溫之原理 用溫度計以測定物體之溫度，須滿足次述二假定：

(1)溫度計之熱容量(Thermal capacity)，即比熱與質量之乘積，較所測物體之熱容量，極為微小。

(2)溫度計與所測物體接觸時，不能有他物體，與之生熱之交換作用。

如不能滿足上述二假定，則溫度計即不能測物體之真正溫度，此根本事項，雖甚簡單，然不能注意及此者，正不乏其人。

溫度計之熱容量，約略可由球部之容積決定之，因水銀 $1\text{cm}^3$ 之熱容量為 $13.6 \times 0.033 = 0.45\text{cal}$ ；而玻璃 $1\text{cm}^3$ 之熱容量為 $2.5 \times 0.19 = 0.47\text{cal}$ ；此兩者幾相等，故若球部容積為 $V$ ，則其熱容量為 $0.45V$ 。

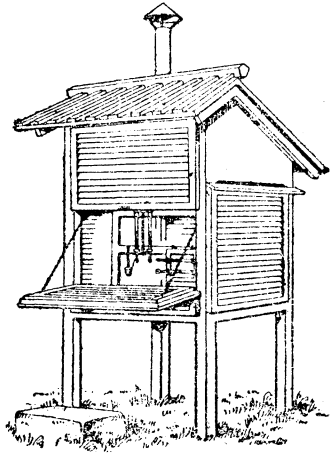
此處更舉實例，以說明上述二假定之重要。例如於細試驗管入少量之藥液，而測其溫度。當溫度計插入藥液中後，液之溫度即變更，其測得者，當然非原來藥液之溫度；又測木葉之溫度，當葉包溫度計之球部時，因葉之熱容量，比溫度計為小，其結局溫度計之示度，非葉之溫度。即此二者，均不能滿足第一假定。

至如測積雪面之溫度，當溫度計插入其表層時，設有日光映於雪面，則日射可透過雪層，以溫暖溫度計之球部，而使其示度在 $0^{\circ}\text{C}$ 以上，當然非雪面之真溫度。此即不能滿足第二假定。

故用溫度計以測物體之溫度，驟視似極簡易，其實際上正談何容易也。

10. 百葉箱 測空氣之溫度時，若置溫度計於空中，不能測得空氣之真溫

度。此因在晴天，太陽光熱四射，溫度計每由地面，空氣，雲層及其他存在於附近之物體，而受輻射熱，同時溫度計自身，亦起輻射作用，即熱之交換，不能避免。至當雨天，則溫度計沾染雨水，可謂為傳雨之溫度，二者均不能達測驗空氣溫度之目的，故測候家特用百葉箱以安置溫度計，普通所用者，口面之寬，約為 94cm，進深約 80cm，高約 120cm，其構造則如第十圖所示。



第 10 圖

凡百葉箱須滿足次列四條件：

- (1) 百葉箱內之溫度，隨處均須一樣。
- (2) 百葉箱內壁之溫度，與箱外之氣溫相同。
- (3) 各種溫度計，須完全包圍於百葉箱中。
- (4) 百葉箱須為不透過輻射熱之物。

此處所揭載之(3)，(4)兩條件，對於吾人今日

所用之百葉箱，約略可以滿足；而對於(1)，(2)兩條件，則殊感困難，尤其是箱之內壁與外氣同溫，其目的最難達到。故現今用木造之百葉箱，內外塗以白漆，由其全反射之作用，既約略可防止外來之輻射熱，且又從表面向裏面之傳熱亦鈍，以求稍滿足此二條件而已。

小型之百葉箱，如英國 Stevenson 氏所作者，其箱壁因日射而增熱，又因放熱而冷卻，較諸大型之百葉箱，其現象尤為顯著。故小型百葉箱中之溫度計，與大型者相較，在日中則示度稍高，夜間則示度稍低，其最大之差，可至  $0^{\circ}.6C$  許，故在任何測候所，經濟苟稍裕餘，百葉箱無寧用大型者為宜。

\*今假定輻射於百葉箱內之溫度計，其全熱量為  $H$ ，溫度計球部之吸收率為  $r$ ，則所吸收之熱量為  $rH$ ；又假定溫度計球部之輻射率為  $B$ ，熱在空氣內之傳導率為  $B'$ ，對於風之單位速度，其對流率為  $B''$ ，風速為  $v$ ，則當並列相異之兩溫度計，其示度為  $t_1$  及  $t_2$ ，氣溫為  $t_0$  時，若其示度在定常之條件下，即得次列二式：



$$r_1 H = B_1 r_1 (t_1 - t_a) + B_1' (t_1 - t_a) + B_1'' v (t_1 - t_a)$$

$$r_2 H = B_2 r_2 (t_2 - t_a) + B_2' (t_2 - t_a) + B_2'' v (t_2 - t_a)$$

由此二式消去H，

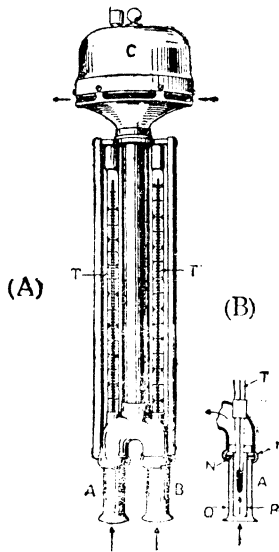
$$t_2 - t_a = (t_1 - t_a) \frac{B_1 + \frac{B_1' + B_1'' v}{r_1}}{B_2 + \frac{B_2' + B_2'' v}{r_2}} = c(t_1 - t_a)$$

$$t - t_2 = \frac{c}{1-c} (t_2 - t_1)$$

\*C. Abbe氏在俄國Pulkowa天文臺時，曾用玻璃球部之溫度計，及黑塗之溫度計兩種，在1m立方之百葉箱中，經一年間之觀測，發見 $t_2 - t_1$ 不能超過 $0.6^\circ\text{C}$ 。但百葉箱之四壁均用油紙糊之。要而言之，欲檢查百葉箱之輻射影響，此種溫度計，最為適用焉。

此處尤須特別注意者，即空氣之熱容量，比溫度計為小之問題也。惟因空氣之比熱為一定，故欲其熱容量增大，不可不令接觸於溫度計之空氣質量增加，因此之故，百葉箱內須常令其自由通風，如能若 Assmann 通風溫度計模樣

，有2.5m/sec速度之氣流，則所得結果最良。但實際上箱內之通風，不能有1m/sec之速，故現今吾人所用之百葉箱，其箱內之氣溫之精密程度，約達僅 $\frac{1}{10}^\circ\text{C}$ 許，然此程度對於調查氣候之目的，似無大差。



第 11 圖

11. Assmann 通風溫度計 此器可以完全測空氣之溫度，為德國氣象學者 Assmann氏所發明，如第十一圖之 A)，係其外部形，即用鍍Nickel之金屬製作品，當日光直射時，大約生十分之九之反射作用，而其內部不甚傳熱也，至裝置溫度計球部處，則如第十一圖(B)所示之斷面，具有P與Q之二重管，內管P僅用三小釘尖，與外管相連；外管則用象牙I，與器體

相連絡，故當外管稍增溫時，內管幾不受影響。又此器頭部，附有回轉之風車，約可令2.5m/sec速之氣流，在溫度計之周圍，流通不絕。

水銀溫度計之球部容積，通例約0.2cm<sup>3</sup>，故其熱容量為0.45×0.2=0.09g m-cal，但空氣之定壓比熱為0.2375，而空氣1cm<sup>3</sup>之質量，在0°C及氣壓760mm時，為0.001293gm。故與溫度計球部等熱容量之空氣，其容積為

$$\frac{0.09}{0.001293 \times 0.2375} = 293 \text{cm}^3.$$

Assmann之器械，其內管切口之直徑，恰為1cm，故其面積為

$$\pi r^2 = 3.14 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{3.14}{4}.$$

故於一秒間，293cm<sup>3</sup>之空氣，通過該面積時，得

$$293 \frac{3.14}{4} \doteq 373 \text{cm/sec}.$$

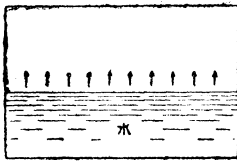
常用此器械測氣溫時，須在觀測時刻之前，開始通風，待其示度一定不變後，始行讀度。在通常通風後，約五分時許讀度，最為適當。

## 第二章

### 溼度計

1. 溼度 空中恆存在有水蒸氣，且具有氣體之一般性質，而充滿其任意之容器，故凡與水蒸氣相接觸之物體處，均受其壓力；但在水蒸氣方面言之，則為張力。然則所謂水蒸氣之壓力或張力云者，名稱雖異，而其實相同。

在一定空間內，究竟能含有多少之水蒸氣量，為此處之重要問題。今如第



第 1 圖

一圖所示，箱內盛若干量之水時，則水徐徐蒸發，向空間逸散，但同時水分亦從箱內之空間，向水面凝結，此種水分，經幾度循環後，而空間與水面二者間，其水分始停止出入。斯時之空間，吾人特稱為水蒸氣飽和之空間，亦即水蒸氣達最大張力之時。質言之，

即該空間所含之水蒸氣，已達極量而不能增多，然若其時之溫度，漸次增加，則其所含水蒸氣極量，亦隨之而增多，由是吾人所謂空間所含水蒸氣之極量云者，係指對於其時溫度之相當極量而言也。惟此處所宜注意者，無論該空間內含有空氣與否，其所達水蒸氣之極量均同。惟空間有空氣存在時，水蒸氣自開始以至達極量，其間須需要若干之時間耳。

對於種種溫度，以試測水蒸氣之最大張力，自昔已不乏其人，其法大都限用於蒸汽機，或其他之高壓器械行之，迨至1843年法人Henri Victor Regnault，始將其精密測定之範圍，公之於世。氏之研究，約分三段：其第一段則為自 $-32^{\circ}\text{C}$ 至 $50^{\circ}\text{C}$ 之實測，應用於氣象學之範圍；第二段則自 $50^{\circ}\text{C}$ 至 $230^{\circ}\text{C}$ 之測定，可應用於蒸汽機關之範圍；第三段則將是等實驗之結果，用圖表顯出之，且根據之以作實驗公式。惟因彼之測定，尚含有種種之誤差，故就其測定值以作圖，不能得平滑之曲線。換言之，對於各溫度，欲表示水蒸氣之最大張力，非取去是種誤差不可，且此處更宜注意者，Regnault之測定，其所用張力單位

，爲 $0^{\circ}\text{C}$ 之水銀柱 $1\text{mm}$ ，在緯度 $48^{\circ}50'$ (巴里)，且拔海 $60\text{m}$ 處之壓力。

迨1878年，羅馬開國際氣象會議，始決定作國際氣象常用表，表內水蒸氣張力一項，係採Regnault所測定，惟其水銀柱 $1\text{mm}$ 張力之單位，則改算成緯度 $45^{\circ}$ 海面之重力時之值，所用水銀密度，爲 $13.59593$ 。其改算人Broch氏，更作次之公式：

$$F = A \times 10^{\frac{bt+ct^2+dt^3+et^4+ft^5}{1+gt}}$$

但  $A=4.5686859$ ,  $a=0.003667458$ ,  $b=10^{-2} \times 3.134366174$ ,  
 $c=-10^{-5} \times 1.416112423$ ,  $d=10^{-7} \times 1.935338308$ ,  
 $e=-10^{-9} \times 2.646535103$ ,  $f=10^{-11} \times 1.139377158$ .

$F$  爲對於溫度  $t$  之水蒸氣最大張力，現今吾人所採用之表，即由該公式計算而出。

國際氣象常用表所揭載之範圍，則自 $-30^{\circ}\text{C}$ 至 $101^{\circ}\text{C}$ ；而Broch氏之表，則載於法國度量衡局報告內。

Regnault 又就 $0^{\circ}\text{C}$ 以下過冷却之水，測定其水蒸氣(接觸於其水面上之)之最大張力，但此值與 $0^{\circ}\text{C}$ 以下冰面上之水蒸氣最大張力不同，在當時未能察知。其後德人 K. Scheel 與 W. Hense 兩人，更就 $0^{\circ}\text{C}$ 與 $50^{\circ}\text{C}$ 之範圍，而施行測定，其報告載於1910年德國物理工藝試驗報 (Mitteilung)，而 Thiesen 氏之實驗公式

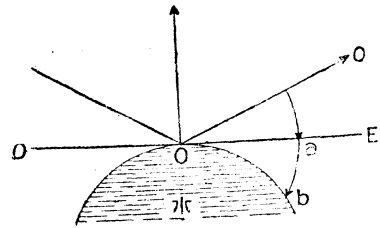
$$\log \frac{F}{4.5813} = \frac{t}{t+273} (8.628 - 0.00394t + 0.000002t^2),$$

則頗能與之相一致。

以上所述，係就水面爲平面着想，若水面爲球狀，或彎曲之凹狀，其飽和張力，當然與之不同。

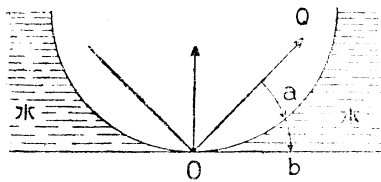
日用氣象觀測，吾人所使用之常用表內，其所載水蒸氣之最大張力，亦係假定水面爲平面，故所謂溼度者，即用對於現在溫度之水蒸氣最大張力，除現在水蒸氣張力所得之比，亦係以水面爲平面時而言也。

若如第二圖所示，水面為球面，則當如以上所述之例，空間雖達飽和狀態，而水分仍能繼續蒸發，今就水瀾之一點O，當其蒸發之際，而設想其水分子之散逸情狀，即知向OQ方面進行之水分，若水面為DOE之平面，則Q與a之距離較近，該水分易為水面



第 2 圖

所吸引；若水面為球面，則Qb之距離較遠，即不能如前之容易吸引，而水分更將繼續散逸。故空間水分，若對於平面之水，雖達飽和，在此同情形下，對於球狀之水面，即不能停止其蒸發也。吾人在雨天時，空中水蒸氣均達飽和，其溼度固為100%；然由汽罐車所出之白煙，仍然於僅少時間內消失，或屋內洗濯物，仍能漸次乾燥，即其實例。



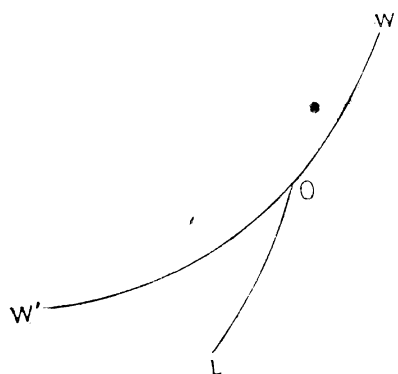
第 3 圖

至於水面為彎曲之凹形，則如第三圖所示，OQ方向之逸散水分子，因距離Qa比Qb為近，容易為水面所吸引。即在此例，縱使空間未達飽和狀態，而亦可以停止水分之蒸發。

以上所述，僅就水面而言，若為雪面或冰面，則其最大張力比水面為小，此事實當Regnault測定最大張力，尚未知之也。

Regnault氏之論文內，水之飽和張力，由液體之蒸氣，移至固體之蒸氣時，為一種連續之曲線，即 $0^{\circ}\text{C}$ 以下之最大張力曲線，為 $0^{\circ}\text{C}$ 以上者之延長線，然至1858年，德國物理學者Kirchhoff氏之研究，始討論 $0^{\circ}\text{C}$ 之水蒸氣最大張力曲線，與冰蒸氣最大張力曲線，其值相異。即兩者之曲線，於 $0^{\circ}\text{C}$ 成若干之角，於理論上施以證明，即如第四圖，WW'為水蒸氣曲線，OL為冰蒸氣曲線，其在 $0^{\circ}\text{C}$ 以下，則OW'與OL成交角。

1884年英人Ramsey與Young兩氏，測定冰蒸氣之最大張力時，發見其與過冷卻時水蒸氣之最大張力，其值互相差異。其後1909年德人Scheel與Heuse



第 4 圖

兩氏，又在  $-28^{\circ}\text{C}$  至  $-67.9^{\circ}\text{C}$  之範圍內，施精密之測定，而 Thiesen 之公式

$$\log \frac{F_i}{4.5813} = 9.78 \frac{t}{t+273},$$

且頗能表示之，但  $F_i$  為冰蒸氣之最大張力。

其在  $0^{\circ}\text{C}$  時，則水與冰之蒸氣，其最大張力相同。Regnault 之實測值為 4.60，經 Broch 之改算後，則為 4.57，至於 Scheel

之測定值，則為 4.579。

此處更將  $0^{\circ}\text{C}$  以下各溫度之水與冰兩蒸氣之最大張力，列表如次：

$t$	$0^{\circ}$	$-1^{\circ}$	$-2^{\circ}$	$-3^{\circ}$	$-4^{\circ}$	$-5^{\circ}$	$-6^{\circ}$	$-7^{\circ}$	$-8^{\circ}$	$-9^{\circ}$	$-10^{\circ}$	$-11^{\circ}$	$-12^{\circ}$
$F$	4.579	4.256	3.952	3.669	3.404	3.158	2.928	2.712	2.509	2.320	2.143	1.979	1.826
$F_i$	4.579	4.216	3.879	3.566	3.276	3.008	2.761	2.532	2.321	2.125	1.946	1.780	1.627

設現時之水蒸氣張力為  $f$ ，溫度為  $t^{\circ}\text{C}$ ，對於  $t$  之水平面上最大張力為  $F$ ，則溼度為

$$\frac{f}{F} \times 100.$$

惟此處所成爲問題者，爲溫度在  $0^{\circ}\text{C}$  以下之例。而在現今所使用之最大張力，則爲過冷却水面上之水蒸氣最大張力，在英國氣象局之檢溼表，則無論何處，均規定使用過冷却水，因此在冰點下時，即使乾球與溼球爲同一之示度，而溼度則較 100 % 爲小；又露點亦比乾球之示度爲低。現今各國之測候家所用溼度之定義，均本乎此，該定義是否適用，則爲研究上之另一問題。所以 A. Wegener 對於此義，頗多指摘，彼所著有名之大氣熱力學中，且言及在雨雪所組成之雲中，欲表示其溼度時，則對於其時之溼度目的，與上述空氣中飽和水蒸氣之溼度定義，甚相離遠。實言之，即以過冷却水面上水蒸氣之最大張力，爲測驗溼度之目的，在此處不相適合；無寧用冰蒸氣之最大張力，較爲得

策。且 Wegener 之議論，在應用高層氣象，而施天氣預報之例，殊感重要。尤其是過冷却水之水蒸氣最大張力，已經測定者，僅至  $-20^{\circ}\text{C}$  許而止，在  $-20^{\circ}\text{C}$  以下之低溫，不過用公式算出之，其間當然有甚大之疑問存在。至冰上之蒸氣最大張力，已實測至  $-67.9^{\circ}\text{C}$  止，故由此點觀之，似用冰蒸氣之最大張力，較為適宜。惟習慣上已用過冷却之水，不能一處獨異，但兩者併用之，亦無不可也。

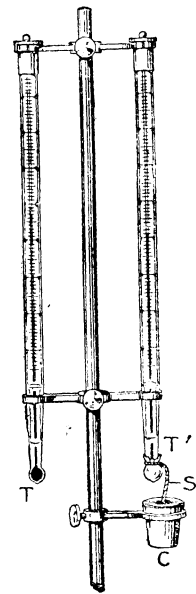
2. 乾溼計 測溼度之器械，現今仍未臻完全之地位。吾人日常所使用者，則為乾溼計，如第五圖，取一樣之溫度計二具  $T$  及  $T'$ ，於  $T'$  之球部，裹以棉布或棉線，使之下垂，與水壺  $C$  相連絡，所用棉布以粗薄而具有漏孔者為宜，如用棉線，則自六條乃至十條為一束，線勿過粗，且須煮去其糊或脂，使之潔淨。至壺內之水，其水質務使清潔，如能用蒸溜水最佳；其次則雨水，至含有雜質之水，務須避去。

由 O. Edlmann 之研究，溼球所用之包布，與乾溼球溼度計公式中之常數有關。氏發見當用厚而具粗孔之棉布，則常數  $A=0.000733$ ；若用精製而具細孔之麻布，則  $A=0.000873$ 。要而言之，包布似用粗孔之薄棉布為佳。然至 1911 年，Love 及 Smeal 兩氏，對於溼球用種種之包布，而加以研究，其結果則謂其示度與包布之種類無關，則又與 Edlmann 氏所研究者相異。要之溼球之包布，尚有研究之餘地存在也。

乾溼計之原理，雖有種種，然就一般而言，設  $f$  為現在水蒸氣之張力， $t$  及  $t'$  為乾溼球之示度， $F$  為對於  $t'$  之水蒸氣最大張力， $B$  為其時之氣壓，則有次之關係式：

$$f = F - A(t - t')B.$$

式中之  $A$ ，雖為常數，然實際上則與溼度及風有關。法國中央氣象臺長



第 5 圖

Angot，則謂  $A$  之變化，與  $t-t'$  成比例，用露點計以測定  $f$  後，求得  $A$  為

$$A=0.000776+0.0159\frac{t'}{B}-0.000028(t-t'),$$

以之代入於前式，於是得吾人日常所使用之公式。

在冬季當溼度計冰結時，或遇濃霧之時，有時溼球示度，有反比乾球為高者。關於此點，現今尚無正確說明，然據 N. Ekholm 之說，則謂空間由多量水蒸氣飽和，或達過飽和，而溼球凍結時，則存在於空間之水蒸氣，向冰面凝結，而可游離潛熱，使其示度高於乾球；又當氣溫急降時，乾球示度，當然隨之而降，惟因溼球感度較鈍，示度低降較遲，由是一時的溼球亦可高於乾球之示度，在此兩例，吾人可將兩溫度計之示度，視為相等，而定其溼度為 100%，但當溼球冰結時，則前節之  $F$ ，因係冰蒸氣之最大張力，故溼度較 100% 略為微小。

3. 乾溼計公式 乾溼計公式之求法，雖有種種，但其結果均略相近似。今假定接觸於溼球之流通空氣量為  $m$ ，因此空氣分與若干之熱於溼球，故空氣自身之溫度，由  $t$  降至  $t'$ ，質言之，即分與溼球之熱量，為  $(t-t')sm$ 。但  $s$  為空氣之比熱 = 0.24cal。又此接近溼球之空氣，可觀想其所吸收者，為由溼球所蒸發之水分，而達飽和，即空氣中之水蒸氣，由原來之張力  $f$ ，而達最大張力  $F$ （對於溫度  $t'$ ）。故若水蒸氣之密度為  $\sigma$ ，則其所吸收之水蒸氣之量為  $(F-f)\frac{\sigma m}{B}$ ，但  $B$  為其時之氣壓。設  $L$  為水之氣化熱，則從溼球所奪取之熱量，為

$$(F-f)\frac{\sigma m}{B}L.$$

今一方面空氣既從溼球奪去上式所表示之熱，同時又分與溼球以  $(t-t')sm$  之熱，當溼球示度  $t'$  一定不易時，則此兩熱量相等，即

$$(F-f)\frac{\sigma m}{B}L=(t-t')sm,$$

$$\therefore f=F-\frac{s}{L\sigma}(t-t')B.$$



今令  $s/L\sigma=A$ ，則  $A$  特稱為乾溼計之常數。惟因

$$s=0.24 \quad L=600 \text{ cal} \quad \sigma=0.623,$$

$$\frac{s}{L\sigma}=A=\frac{0.24}{600 \times 0.623}=0.000642,$$

故 
$$f=F-0.000642(t-t')B$$

Angot 氏於 1879 年，設想  $A$  與  $t-t'$  成比例，則令

$$A=a+c(t-t')$$

氏用露點計測定  $f$ ，及乾溼計測  $t-t'$ ，而令

$$A=\frac{F-f}{B(t-t')}=a+c(t-t')$$

以決定  $a$  及  $c$  之值，得

$$a=0.000776+0.0159\frac{t'}{B}, \quad c=-0.000028.$$

於是得乾溼計之公式，為

(1) 當溼球未至冰結時

$$f=F[1-0.0159(t-t')] - 0.000776B(t-t')[1-0.0361(t-t')].$$

(2) 當溼球冰結時

$$f=F[1-0.059(t-t')] - 0.000682B(t-t')[1-0.0411(t-t')].$$

當 Angot 發見此公式時，尚未注意及水蒸氣之最大張力與冰蒸氣之最大張力，其值相異，故 (1) (2) 兩公式中之  $F$ ，均使用水蒸氣之最大張力，因此在今日該公式尚有改善之餘地。

又由 C. Jelinek 則有次列二式：

$$(1) \quad f=F-\frac{0.480B(t-t')}{610-t'} \quad \text{溼球未冰結時}$$

$$(2) \quad f=F-\frac{0.480B(t-t')}{689-t'} \quad \text{溼球已結冰時}$$

此處尤宜注意者，溼球在零度以下，仍有不冰結之時，則其時應使用公式 (1)，而  $F$  則用過冷卻水面之水蒸氣最大張力。若溼球冰結時，則應使用公式

(2)，而  $F$  則不可不用冰上水蒸氣最大張力。

現時青島觀象臺所用之表，則由 Angot 氏公式所算出者。

4. 乾溼計之歷史 乾溼計(Wet and dry bulb thermometer)亦稱為Psychrometer，其希臘原語，係測寒冷之意，由德人 August 氏附以此名。自溼球蒸發水分，而降下其示度，在1783年 Saussure 氏所著之溼度測定論中(法文)，業已論及，但彼之目的，不用以測空氣之溼度。迨1792年英人 Hutton 氏，始就 Psychrometer 加以考察，而施諸應用；1799年法人 Leslie 氏，又用乾溼兩球示差溫度計，(Defferential thermometers)，試測溼度。1802年德國 Karlsruhe 市之 Beckmann 氏，行 Leslie 氏溼度計之觀測，然尚未達溼度算定之境域。1815年法國物理學者 Gay-Lussac，始求乾溼球公式；1822年英人 Ivory 亦得一般之公式；1825年德人 Ernst Ferdinand August 及1834年英人 Apjohn，更得同樣之公式；1885年美國氣象家 W. Ferrel，又作有風時之公式；1881年俄人 Sworykin，研究風與乾溼計常數之關係。迨1887年 R. Assmann 發明通風溼度計，而 Sprung 則於1888年，作對於該通風計之公式，此其大較焉。

5. 各國乾溼計之公式 因乾溼計之公式有種種，故各國所用者，大都不同。今將主要者揭載如次：

英 國	$f = F - 0.000656B(t - t')$	$t' < 0^\circ$	Glaisher
德 奧	$f = F \frac{0.480B(t - t')}{610 - t'}$	$t' > 0^\circ$	Jelinek
	$f = F \frac{0.480B(t - t')}{689 - t'}$	$t' < 0^\circ$	
美 國	$f = F - 0.000660B(t - t')(1 + 0.00115t')$		Ferrel
法 國	$f = F - 0.00079B(t - t')$	$t' > 0^\circ$	Angot
	$f = F - 0.00069B(t - t')$	$t' < 0^\circ$	
意大利	$f = F - 0.0008B(t - t')$		Eredia
日 本	$f = F[1 - 0.0159(t - t')] - 0.000776B(t - t')[1 - 0.0361(t - t')]$	$t' > 0^\circ$	

$$f = F[1 - 0.059(t - t')] - 0.000682B(t - t')[1 - 0.0411(t - t')] \quad t' < 0^\circ.$$

Angot

是種公式內之常數，大都由溼球所當之風速而異。Ferrel氏且由風速而用其相異之常數，惟奧國之J. M. Pernter，則用次之常數：

$$f = F - B \cdot A(t - t') \left(1 + \frac{t'}{c}\right).$$

風速	濕球未冰結時		溼球已冰結時	
	A	C	A	C
0—0.5m/s	0.0012	610	0.001060	689
1—1.5m/s	0.0008	610	0.000706	689
> 2.5m/s	0.000656	610	0.000579	689

6. 通風溼度計 溼度計需要通風，據 E. Grossmann 之調查，Regnault 在 1845 年頃，業已知之，但未以風速之函數，表示乾溼計之常數耳。尤其是 1831 年，意大利人 Belli 及 Chistoni 兩氏，將溼球納入於管端裝置風韞之管中，而施通風之實驗。至 1881 年，俄人 Sworykin 氏，又以風速之函數，表示乾溼計常數 A，其法用二種溫度計，第一種之球部為球狀形，其直徑為 10mm；第二種之球部為圓筒狀，其長 8mm，直徑 4mm。將是種溫度計，納入長 50cm 直徑 25cm 之金屬筒中而通風之，其所得結果，在

$$f = F - A(t - t')B$$

式中得，

$$I \quad A = \frac{1}{1000000} \left\{ 593.1 + \frac{135.1}{\sqrt{v}} + \frac{48.0}{v} \right\}.$$

$$II \quad A = \frac{1}{1000000} \left\{ 640.3 + \frac{4.3}{\sqrt{v}} + \frac{51.5}{v} \right\}.$$

但  $v$  為風速，用  $m.p.s$  單位表之。

1883 年 Recknagel 氏，又將上二式總括成一式，即

$$A=0.00001\left(65+\frac{6.75}{v}\right).$$

當1887年Assmann氏製出定速之通風溼度計，其構造見於前章最後之圖，圖中之 $T$ 為乾球， $T'$ 為溼球。1888年Sprung氏，且應用之而作次之公式：

$$f=F-\frac{1}{2}(t-t')\frac{B}{755}.$$

此器械之通風速度為2.5m/s。迨1891年Assmann氏，又作使用於百葉箱中之通風器(Ventilator)，此器僅使用溼球。惟百葉箱中，若乾球無輻射之影響，則無通風之必要，而熱容量亦不顧及，尤為顯著之差誤。又Assmann之通風器，溼球不露出於外，溼球之冰結與否，俄然不能判定，抑亦其缺點之一也。

1896年瑞典人A. Svenson，研究Assmann通風溼度計之公式，且用 $A=\frac{F-f}{B(t-t')}$ 以算 $A$ 。惟式中之 $F$ ，當溼球未冰結時，則用水面（或過冷卻水面）上之水蒸氣最大張力；當溼球已冰結時，則用冰上之水蒸氣最大張力。其 $f$ 之值，則用Sondén氏之溼度計求得之。其結果當溼球上無冰時， $A=0.000645$ ；當溼球覆有冰層時， $A=0.000587$ 。且氏於1926年更論述Sprung之公式，有修正之必要，而提出次式：

$$f=(a+bt')F-A.B(t-t').$$

式中之 $a$ 及 $b$ ，均為甚小之值，故令 $a+bt'=\eta$ ，視為常數，得

$$\eta=0.9737.$$

7. 毛髮溼度計 毛髮由空氣之溼度而有伸縮，最初知之者，為瑞士人H. B. Saussure氏，於1783年，在Neuchâtel市，出版有溼度論。大抵吾人之毛髮，本護有油膜，以防溼氣之影響；故欲使之受溼度之感覺，此種油膜，必須除去。通常方法，將毛髮浸於碳酸鈉( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )之溶液中，約煮沸半時間，然後取出，以清水細細洗滌，待其乾乃可合用。

毛髮因溼度之大小，而其所起之伸縮，兩者本不能成正比例，據Gay-Lussac之測定，其溼度與毛髮伸縮之關係，約如次表：

R %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
$\Delta L$	0.0	4.6	9.5	14.8	20.8	27.8	36.3	47.2	61.2	79.1	100.0

表中之 $R$ 為溼度， $\Delta L$ 為縮短之百分率，換言之，即假定溼度100時，其縮短為0；溼度0時，其縮短為100，在兩者間，則以百分率表出之者也。

又毛髮由溼度之差異，而亦起多少之伸縮，且其伸縮更依乾溼之程度，而微有參差。據 Kleinschmidt 氏之測定，當溼度為0%時，其膨脹係數 $\beta_0$ ，每溫度差 $1^\circ$ ，其值為

$$\beta_0 = 34 \times 10^{-6}$$

因黃銅之膨脹係數為  $19 \times 10^{-6}$ ，故若毛髮可裝置於黃銅架上，則其比較溫度係數，為

$$(34 - 19) \times 10^{-6} = 15 \times 10^{-6}$$

據 Kleinschmidt 氏之實測，溫度在  $+50^\circ\text{C}$  及  $-80^\circ\text{C}$  之間，每溫度相差一度，其溼度之差可至 0.06%，尤其是當溫度升高時，溼度且現增加之模樣。蓋由此計算，當溫度調整之後，生  $17^\circ$  之變化時，其溼度可生 1% 之差。

Robitzsch 氏曾就種種之溼度，而論述其所受溫度之影響，其結果如次表

溼度 %	9	20	40	60	80	100
溫度 $^\circ\text{C}$	17	11	7	5	4	3

此表之意味，例如溼度為 60% 時，則溫度變更  $5^\circ\text{C}$ ，溼度差 1%，其餘仿此。

\* 毛髮溼度計，其毛髮不能表示溼度瞬時之值，須經若干時後，而始能表示之，特稱為遲差(Lag)。遲差當溫度低下時，雖應發生，但在  $20^\circ$  與  $50^\circ$  之間，幾無影響，自  $5^\circ$  以下，則漸增大，迨至  $-40^\circ$ ，則毛髮溼度計幾不適於使用。又在  $-10^\circ$  至  $-15^\circ$ ，遲差急劇增大，故在此溫度範圍內，不能用毛髮溼度計測溼度之急劇變化。今命  $\gamma$  為遲差係數，則有次式之關係：

$$R=r+\gamma\frac{dr}{dz}$$

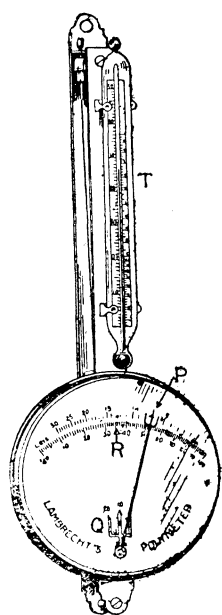
$r$  爲毛髮溼度計之示度， $z$  爲時間， $R$  爲實際之溼度。當溼度自 100% 減至 50% 時， $\gamma$  之值約自 0.2 至 0.8。

當非常低溫度時，毛髮之周圍可覆以極薄之冰層，此時毛髮幾不因溼度而起變化，即失去溼度計之效用。

毛髮使用之有效期間較短，大都不過一兩年，苟經長期使用，即全無意味，故須時與他種器械如露點計等，與之比較，驗其良否。

凡乾溼球在冰點以下之時，其所得之觀測值，每對之不甚滿意；而毛髮溼度計，似可無此缺點，故苟非在非常低溫度時，用之似佳。J. M. Pernter 且謂毛髮溼度計，用於冬季之測候所，較能得良好之結果云。

8. Polymer 毛髮溼度計，在東亞方面，大都用爲氣象觀測之參考品，至本節所謂 Polymer 云者，原來本含有種種方面觀測之義，即此器械之構造



第 6 圖

，如第六圖所示，可用以測溫度，水蒸氣最大張力，溼度，露點及水蒸氣張力等，在實際上不過一種之毛髮溼度計(此圖所示爲 Lambrecht 廠之製作品)，圖中用  $R$  所示之刻度，係直接用以測溼度。但露點則不能直接讀取之，另有所謂溼數者 (Hygronumbers)，記入其內，觀測時讀取溼數，然後再從溫度將此減去之，即得露點。

此器械之指針(如圖中之  $P$ )，其兩側更出針尖，即共有三針尖。又如圖中之  $Q$ ，其最右端之針尖，用於溫度  $0^\circ$  時；在中與者，用於溫度  $10^\circ$  之時；其左端者，用於溫度  $20^\circ$  之時。即因針尖各由溫度而異，故須就觀測時相當之溫度，而讀取針尖之示數。設現時之溫度爲  $15^\circ$ ，則須在  $10^\circ$  之針與  $20^\circ$  之針之中間，適

當想定其針，然後讀取其示數。在其他之溫度，則以此類推。

此器上之T為溫度計，其左側則刻以攝氏之度，其右側則刻與溫度相對應之水蒸氣最大張力。

\* 9. 毛髮溼度計之理論 毛髮因空氣之乾溼而起伸縮，在1895年，俄人B. Sresnewsky曾考究其機巧，而為簡單之說述，如第七圖，毛髮之表面，含有無數毛細管之溝，其內部(如圖所示)均有水分滲入，由其表面張力，水之表面形成凹面。設空間漸次收燥時，則因由矢頭所示之水蒸氣張力減小，其中之水分，可不使散逸而起收縮模樣，而毛細管縮細，毛亦縮短；當空間溼潤時，則生反對之現象，而毛髮全體增長。故從實際而言，毛髮之伸縮，並不與溼度直接成比例，而比例於溼度之對數。



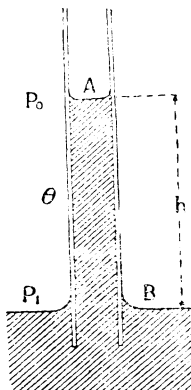
第 7 圖

今假定毛細管中水引上  $h$  之高時，始與外之水蒸氣張力相平衡。命A處水蒸氣張力為  $P_0$ 。(如第八圖)，B處為  $P_1$ ，水蒸氣之溫度為  $\theta$ ，密度為  $\sigma$ ，因  $h$  甚小，可設想  $\sigma$  為常數，由是得

$$P_0 - P_1 = -gh\sigma,$$

若  $\sigma$  不為常數，則與測高公式可作同一之設想，且由  $P = R\sigma\theta$ ，有次之關係式：

$$h = -\frac{R\theta}{g} \log \frac{P_0}{P_1}.$$



第 8 圖

今命水之密度為  $\rho$ ，則A面直下之壓力為  $P_1 - h\rho g$ ，而其直上壓力為  $P_1 - h\sigma g$ ，此上下兩面壓力之差為

$$P = (P_1 - h\sigma g) - (P_1 - h\rho g) = (\rho - \sigma)hg.$$

即表面張力，能支持上式所表示之壓力差。今命管之半徑為  $r$ ，每單位之長所作用之張力為  $T$ ，則得

$$\pi r^2 P = 2r\pi T,$$

$$P = \frac{2T}{r}.$$

故

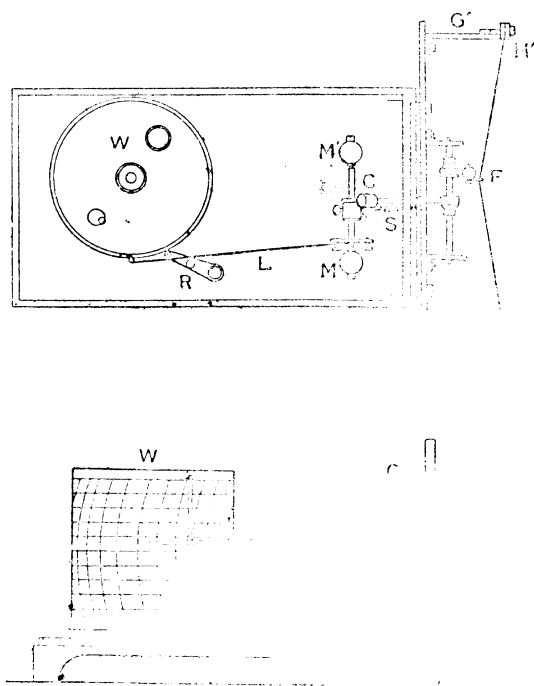
$$(\rho - \sigma)hg = \frac{2T}{r}.$$

因 $\sigma$ 比 $\rho$ 為甚小而可置諸省略，故

$$\frac{2T}{r} = \rho hg = R\rho \log \frac{P_0}{P_1}$$

存在於毛髮之小孔(即此處所云之毛細管)，帶有彈性，故由A面之表面張力，其所生之歪，恆欲使此孔(亦即管徑)縮小，但從表面張力及由歪所起之彈性兩者間互相平衡設想，則因毛髮之容積變化，藉A面之曲率表示之，故其結局，可推想毛髮之收縮與 $\log \frac{P_0}{P_1}$ 成比例，當無不可。

10. 自記毛髮溼度計 用自記裝置，施諸毛髮溼度計，其型式雖有種種，但東亞普通所用者，大都為法國 Richard 廠之製作品，如第九圖，用毛髮十數條，緊張於H與H'之間，其中央處則有F之鉤，鉤之作用，由巧妙之製作上，C之重量及附有鋼筆尖之槓杆重量，兩者相平衡，故毛髮縮則筆尖下移，毛髮



第 9 圖

伸則向上。惟毛髮之伸縮與鋼筆尖之運動，至某程度成比例之條件下，則F之



形，在製作時頗費考慮也。W爲自記圓筒，由內部之時計裝置，而可令其等速的迴轉；R之裝置，則因欲鋼筆與圓筒面離開而設。

今命HH'爲 $2b$ ，當溼度0%時，毛髮之長爲 $2l$ ，F與HH'之距離爲 $a$ ，即得 $l^2 = a^2 + b^2$ 。然當溼度增大，毛髮伸長由 $l$ 至 $l + \Delta l$ ，其對應之 $a$ ，由 $a$ 至 $a + x$ ，又得 $(l + \Delta l)^2 = (a + x)^2 + b^2$ 。由此兩式，得

$$2l\Delta l + (\Delta l)^2 = 2ax + x^2,$$

$$x = -a \pm \sqrt{a^2 + 2l\Delta l + (\Delta l)^2}.$$

據 A. Bongards 所設之例， $2\bar{l} = 20\text{cm}$ ， $a = 0$ ， $l = b = 10\text{cm}$ ，當溼度100%時， $2\Delta l = 0.025 \times 2l = 0.5\text{cm}$ ，故 $\Delta l = 0.25\text{cm}$ ，由是 $x = 2.25\text{cm}$ ，由此觀之，設毛髮之一端，附以重量而緊張之，當其伸長 0.5cm，與此相比，則成1與4.5之比。質言之，F之移動，可得4倍半，從而溼度計之刻度距離，可較大焉。

11. 露點 在現在水蒸氣張力之狀況下，減低溫度，至空氣達飽和時，則該溫度稱爲露點。故置物體於空氣中，使漸次冷卻，同時接觸於該物體之空氣薄層，亦因漸次冷卻，而層中之水蒸氣，爰欲凝結於物體之面，此時物體之溫度，爲此空氣之露點。故所謂露點云者，當空氣漸次冷卻時，須合乎水蒸氣張力始終不變之條件也。但在實際上，空氣於定壓條件下，而使之冷卻，則起收縮作用，故對於乾燥空氣及水蒸氣之全壓力，其比率若與冷卻前相同，固無不可；但斯時將空氣與水蒸氣之膨脹係數，視爲相同，而以之入用，斯亦不外乎一種之近似的值耳。

Sprung氏之氣象教科書內，曾採取一種空氣樣本 (Luftprobe)，使之冷卻而達於飽和，以斯時之溫度爲露點之定義。此定義之嚴密，固不俟論；但彼時空氣樣本，在漸次冷卻間，假定氣壓始終不變，然若此空氣樣本，納入固體之容器內，而使冷卻，則因該空氣當溫度低降，其壓力亦隨之而生變化，於是水蒸氣之凝結，須比上所述定義之露點，其溫度更爲低下。

若空氣中水蒸氣張力，既已測得，則求露點極易，即檢閱水蒸氣最大張力表，而將現在之水蒸氣張力，視爲最大張力，而求其對應之溫度，即得所求。

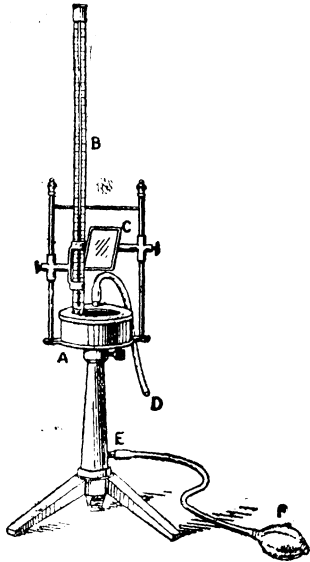
逆而言之，若空氣中之露點，業已測定，則由表求對於該溫度之水蒸氣最大張力，即現在之水蒸氣張力也。

12. 露點計 露點計之最先考案者，為法人Le Boi氏，曾揭載1751年法國學士院紀要。但實際使用之器，則為1819年英人 Daniell 之製出品，即連結黑白兩玻璃球，黑球內入以敏銳之溫度計，白球外部包以寒冷之紗，兩球之空氣，均儘量排除之，且黑球中入以酒精(Ether)，於是黑球中充滿有酒精液及其蒸氣，白球則充滿酒精蒸氣。故於白球外部之紗上，灌注酒精，因其蒸發而使冷卻，其中之蒸氣爰起收縮；同時黑球中之酒精蒸發，而低降黑球之溫度，而馴至其外面起露點，此時測其溫度；又靜待之，恰當露點消去時，又測其溫度，以此兩者之平均值，為所測之露點。用Daniell露點計為測定器，其缺點甚多，故現今僅限於學校及物理實驗教場而已。

1854年，Regnault氏始作供實用之露點計，該器係兩個銀製圓筒器，一筒內充酒精，并插入溫度計；他一筒則僅插入溫度計。由特種裝置之作用，使酒精發生器泡而起蒸發，於是銀器面因冷卻而開始結露，斯時讀取其溫度；又至露恰消失時，再讀取其溫度，此兩者之平均值，用以為所求之露點。此器械在氣象學上使用甚少，大抵亦用於物理學之實驗教場。

在氣象學上定乾溼計之常數，往往用 Alluard 之露點計，係1877年所製出。該器即用平面之結露面，代Regnault露點計之圓筒；迨至1828年，法人Crova氏又作能於風中使用之露點計；1888年瑞士人 H. Dufour氏又作特殊之露點計。惟以上諸氏之器械，因結露面均為鉛直面，附近之冷卻空氣，易於滑走而流去，不易結露，為其大缺點。其後英人 W. H. Dines氏又為之稍稍改良，用水平黑玻璃板為結露面；迨1894年W. A. Nippoldt氏所作之露點計，則以鐵器盛水銀，插溫度計於其中，而即以水銀面為其結露面。

13. Nippoldt之露點計 露點計中最良善之測器，為 W. A. Nippoldt 氏之製作品，氏為地磁學家 A. Nippoldt 之嚴父，該器外部之構造，則如第十圖所示，A為具有二重壁之皿，壁間盛酒精(Ether)，因E口通於酒精中，故由E

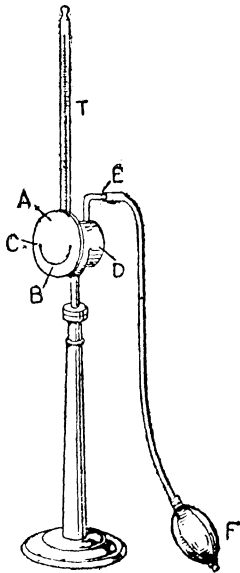


第 10 圖

送入空氣，則酒精盛起泡沫而蒸發，D 即為其蒸氣之出口；且欲助其蒸發之速度，壁間附有無數之絲。A 之鐵皿中盛以水銀，溫度計 B 之球部，使成彎曲，恰浸入於水銀面之下，故水銀面之溫度，得依此而測定。且以其水平水銀面為其結露面，C 為鏡面，以為水銀面結露時容易測定之助。鐵皿 A 之內部，則如第十一圖所示，鐵皿內壁之外部裹以絲或布(如圖中粗線所示)，q 為水銀，C 為注入酒精之處，B 之溫度計球部，約略與管成直角。

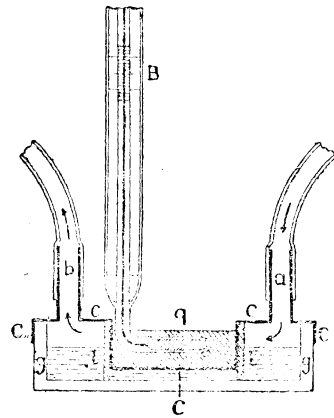
此器械當使用時，觀測者與器械之中間，須隔以玻璃板，以防人體影響於結露面，是為必要。

14. Lambrecht 之露點計 此器械係德人 Lambrecht 氏所考案，而其構造如第十二圖所示，A 為鍍銀之結露面，平滑而有光輝，C 為穿面之溝，將結露面分為 A 及 B 兩部分，D 為酒精之盛器。A 恰為該盛器之側壁，而 C 溝以下之部分(即 B)，則不與



第 12 圖

之直接連絡。D 器上附有口管 E，以為送入空氣之用。又 D 之裏面，更出一口管(圖上不見)，以為蒸氣逸出之用。溫度計則插入於 D 器之酒精中，以之測酒精之溫度。



第 11 圖

欲用此器以測露點，先將酒精注入於 D 器，然後壓 F 之橡皮球，送入空氣於 D 之酒精中，於是酒精發泡沫而蒸發，其蒸氣逸出於

D外，從而酒精之溫度，漸漸降低，結露面 A 之溫度，亦隨之而低。迨至A面恰能結露時，讀取溫度表之示度，命之為 $t'$ ；次停止輸送空氣後，結露面上之露消失時，仍讀取示度，命之為 $t''$ 。由是所求之露點為

$$(t' + t'') \div 2.$$

蓋 $t'$ 為結露瞬時之溫度，比真露點稍失之過低； $t''$ 為露消失時瞬間之溫度，比真露點失之稍高，故 $t'$ 與 $t''$ 之平均值，無寧與真露點相近。至於B部分，則審視A是否結露時，與之比較，更覺顯然焉。

一般露點計之問題中，均假定將溫度計之示度，即視作露點。在實際上，此種假定，是否成立，非實地研究，無從決定。著者(岡田氏)嘗以銅與鎳之熱電堆，接觸於Lambrecht露點計之表面，測定其溫度，以之與酒精中溫度計之示度比較，發見結露面之溫度，比酒精中溫度計之示度為高，其差在結露時約 $1^{\circ}.36$ ；消露之時約為 $0^{\circ}.83$ 。至Regnault露點計，其結露時之差約為 $0^{\circ}.72$ 。

## 第三章

### 氣 壓 計

1. 氣壓 氣壓云者，並非指空氣之重而言，凡任意之氣體，在可能範圍內，皆有擴大其容積之性質，故若將一定量之空氣，而置諸密閉之器中，則器內各壁，同時均受由空氣所生之壓力，即所謂氣壓。但就空氣自身而言，則謂之張力。

大氣圍繞地球，自下而上，雖無境界可定，惟因地球引力之作用，空氣之各部分，均被吸引，而使之不能逃逸；故與上所述器中所存在之空氣，幾具有相同之狀態。在地球表面一平方寸面積上，其所受空氣壓力，殊足驚人，凡人體之各部，均為氣壓所傳達，只因內外部所受壓力相均等，故反不生空氣壓力之感覺也。

當溫度 $0^{\circ}\text{C}$ 時，高 1mm 之水銀柱，在緯度 $45^{\circ}$ 之海面，因受重力之作用，其底面所受之壓力，是為氣壓單位，特稱為 1mm 之壓力。故氣壓 1mm 云者，與通常長度之單位，其意義不同，即於水銀氣壓計讀取其水銀柱之高，而以今所述之單位，表而出之也。依此定義，於是有冰點及重力更正之必要。

德法日等國，採用米突制，我國近來亦改用公尺，故均用 mm 為氣壓單位；但英美兩國及其領土，則採用英寸為單位，故比較世界各地之氣壓，殊感不便，由是 W. Köpper，及 McAdie 及 V. Bjerknes 諸氏，倡用一種新單位，稱為 Bar。現今英美等國之若干區域，已有採用此新單位；但在東亞測候界，則仍沿用 mm 單位也。

760mm 之水銀柱高，以 cm 表示之，則為 76cm，以水銀密度 13.5951 及重力加速度  $980.665\text{cm cm/sec}^2$  連乘之，得

$$76 \times 13.5951 \times 980.665 = 1013250 \text{ dyne/cm}^2.$$

即水銀柱 760mm，以壓力之單位表之，為  $1013250 \text{ dyne/cm}^2$  也。

上述諸氏所倡用之新單位，則為 $1000000\text{dynes}/\text{cm}^2$ ，即百萬 dynes，稱為 1Bar，其千分之一，稱為 Millibar，以 mb 記之，故 1Bar 約與 750.08mm 相當，其兩者間之關係如次：

$$1\text{Bar}=750.08\text{mmHg}, \quad 760\text{mmHg}=1.013226\text{Bar}.$$

$$1\text{mb} \doteq 3/4\text{mmHg}, \quad 1\text{mmHg}=1.33319\text{mb} \doteq 4/3\text{mb}.$$

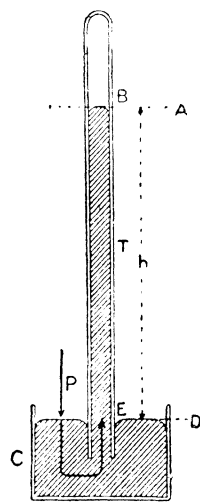
2. 氣壓計 水銀氣壓計，於1643年，為意大利人 Evangeliste Torricelli 氏所發明。最初之器，極其簡單，今日所用者，蓋已經多次之改良，而始臻此形也。氣壓計英語稱為 Barometer，其字從希臘語 βαρός 而來。蓋即重字之意，而為英國化學家 John Dalton 所命名云。

氣壓計之種類繁多，其通常所用者，則有下列之數種：

(i) Fortin 氣壓計 (ii) Station 氣壓計 (iii) 山岳用氣壓計 (iv) 空盒氣壓計

(i) 為法國器械師 Fortin 所製出，故以之命名；(ii) 則為歐美測候所之通用器械，歐美各測候所，規模較小，備有專門之職員者較少，故用此種器械，以求觀測上之便利。蓋 Station 本含有測候所用之意義，此即命名之所由來也；(iii) 之構造，與 Fortin 氣壓計同，不過器械輕而攜帶便利，適用於山岳上之觀測耳；(iv) 一名 Aneroid barometer，蓋 Aneroid 含有無液之義也。此器械在 1847 年，為意大利人 Vidi 氏所考案，但現在之形，則為法人 Breguet 氏之改良器。此種之氣壓計，空盒之外，尚有數種，其中且有用 Bourdon 管 (Bourdon tube) 者。

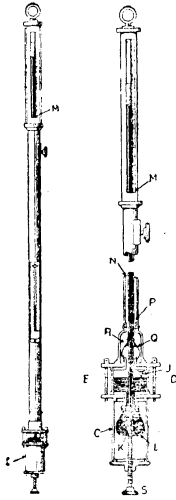
3. 水銀氣壓計之構造 約 1m 許長之有底玻璃管，滿充水銀，使倒立於盛水銀之器中，則管中之水銀，即有少許之下降，至若干之高而止。如第一圖，T 為玻璃管，C 為盛水銀之器，管中水銀柱之高為 EB，此水銀柱之壓力，及於器中之水銀面 ED，故就單位面積設想，則外氣之壓力，適與管中水銀柱 EB 之壓力相等。故若能知管中水銀柱之高，即可以求得空氣之壓力。惟此處所宜注意者，於水銀柱 EB 之



第 1 圖

外，不可不先知水銀之溫度及該地之重力。

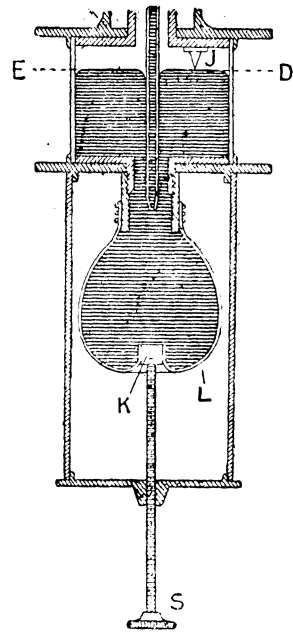
在實際使用之氣壓計，因欲精測水銀柱之高，故於器中水銀 ED 處置尺度之基點，且為運搬上便利起見，而并不使水銀有漏出之虞；於是器械幾成密閉之形，其全體如第二圖所示左圖，其右圖則示內部之構造，圖中之下部，則與第一圖中 C 之水銀器相當，即 C 之器為細長形，其底為鞣皮 L 所作成，而用附有木球 K 之螺旋 S 支持之。故螺旋 S 上旋時，則底 L 向上移，從而 ED 之水銀面上升，S 下旋時，ED 亦隨之下降。又從 C 器上部之蓋，出象牙針 J，其尖端與尺度之零點符合，故觀測管中水銀之高  $h$  時，不可不動 S 之螺旋，使 ED 面與象牙針之尖接觸。但在實際之觀測，先將水銀面稍上昇，然後再使之下降，恰令針尖之位置，在水銀面為度，是為通法。



第 2 圖

氣壓計玻璃管與水銀槽相接處，其管上捲以木棉絲，成一種之填充物 (Packing)，其上包以皮 Q，故氣壓計當倒立時，而水銀可不致漏出。然外部之空氣，則從 M 經由 N 及 P，通過皮之縫，而與水銀槽中之空氣相連，使其壓力及於槽內之水銀面。

因求管中水銀柱之高，歸着於求第五圖中所示 C 面之高，故玻璃管外，圍以黃銅管，其上刻有尺度線，且於管面開窗形之長方孔，恰令於外面能窺見玻璃管內之水銀面。此長方孔傍，置能上下之游尺 (Vernier)，此遊尺之零點 (即最下端)，與管中之水銀頭，在同一水平面上時，則先讀取尺度線之  $m$  數，次再視游尺中刻線，與尺度中之刻線相符合

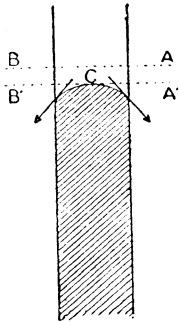


第 3 圖

處，再讀取 mm 之十分位及百分位。通例游尺自零點起至第十等分線處，適等於本尺度之 19mm；故 mm 之十分位，雖可直接讀取，而百分位則憑目測。但游尺亦有將本尺度之 19mm，20 等分者，則可直接讀至 0.05mm。

此外尚有應注意之點如次：

(第一) 尺度因溫度之差異而起伸縮。設於溫度  $0^{\circ}$  時，其長為正確，則對於其他之溫度，須加入補正數，而  $h$  始能表示真正水銀柱之高。



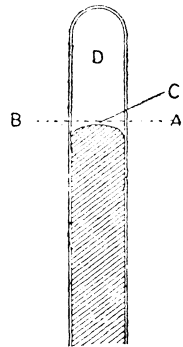
第 4 圖

(第二) 管中水銀面，因其表面張力之作用，有自身下降之傾向，即如第四圖，應有 AB 高之水銀面，實際上降下至 A'B' 處，故讀取水銀面時，須加以補正。

(第三) 象牙針之尖端，實際上未必真能與黃銅管上尺度之零點一致，故讀取時亦須補正。

以上三種中，第一之補正，由其溫度而異；第二第三，則無論何時，均一定不易，故歸入於器差中。

4. Fortin 式水銀氣壓計 如第五圖，C 為玻璃管中水銀頭，因玻璃管與水銀間，有毛細管引力之作用存在，於是水銀柱頭成凸形，既述於前節，即若無毛細管引力時，水銀柱頭應高至 AB 之處。今 AB 線至水銀之柱頭之垂直距離，命之  $\delta$ ，則由物理學上所述，水銀管之半徑若愈大， $\delta$  之值應愈小。東亞如日本各測候所所用氣壓計之管徑，約為 10mm；而  $\delta$  為 0.4mm 許，若管徑為 8mm，則  $\delta$  為 0.7mm。大凡水銀氣壓計管徑若稍小，則入於其中之水銀，即非常減少，於是賣價亦隨之而減少。但  $\delta$  之值則不免加大，即器差加大，故不能稱為良好之器械。



第 5 圖

D 部分雖稱為真空，然其中入有水銀蒸氣，其壓力影響於水銀柱之頭部，而將水銀柱稍稍壓下。但水銀蒸氣之張力，在溫度  $20^{\circ}$  時，為 0.002mm 許； $40^{\circ}$  時為 0.008mm 許，即其值不大，特稱為第四補正。故第二、第三、第四之補正



均歸入器差內。因器差過大，須歸咎於製作不良，故器械師對於是種之補正，均各就能力所及，以使之小。惟尺度之零點，欲精密與象牙針尖合一，則頗非易事，普通器械中，象牙針尖之位置，非過高即失之稍低。

附着溫度計之溫度，非僅以示水銀之溫度，且欲藉此以顯同時尺度之溫度。然附着溫度計，既非插入於氣壓計之水銀槽中，當然不能用以代表真正水銀之溫度。於是觀測者之體溫，往往及於附着溫度計，而使之示度增高。故觀測者須於氣壓讀取之前，迅速讀附着溫度計之示度，是為通法。

Fortin氣壓計，通常為觀測上便利起見，於其下端，用螺旋釘固定之，但當其固定之時，螺旋釘之位置，稍不適宜，則氣壓計之玻璃管，即起傾斜；故裝置時必須精密檢查，而後始能適用。

英人W. Previte 曾就氣壓計管，與鉛直方向成傾斜角 $\theta$ 時，而研究其示度之誤差，其法如次：

如第六圖，P為象牙針之尖端， $d$ 為象牙針與氣壓計管軸之距離。當氣壓

計傾斜時，則槽中之水銀面，可上昇至P點（如圖所示）。今作含管與水銀面（成橢圓形）長軸之平面，及含管軸與象牙針之平面，其兩平面之交角為 $\varphi$ ，因氣壓計傾斜，而管中之水銀面，由T上昇至Q，其長當然等於 $ab$ ，由是得次式：

$$QT = ab = d \tan \theta \cos \varphi.$$

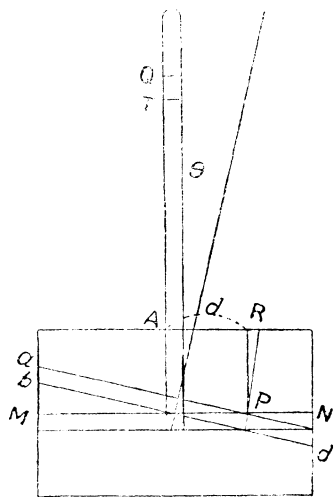
命 $B$ 與 $B'$ 為氣壓計真正之示度，及外見上之示度，則

$$B = (B' - QT) \cos \theta = B' \cos \theta - d \sin \theta \cos \varphi.$$

故氣壓計與鉛直方向成 $\theta$ 之傾角時，其所起之誤差，為

$$B' - B = B'(1 - \cos \theta) + d \sin \theta \cos \varphi. \quad (1)$$

設氣壓計之懸鉤，與螺旋釘之距離為 $H$ ，螺旋釘適宜位置與差異位置之距



第 6 圖

離為  $s$ ，則

$$\theta = \tan^{-1} \frac{s}{H}$$

(1) 式中之誤差，當  $\varphi = 0$  時為最大；至  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  及  $\varphi = \frac{3}{2}\pi$  時，則右邊之第二項為 0。

在東亞多數測候所所用之氣壓計，通常為

$$d = 12\text{mm}, \quad H = 1900\text{mm}.$$

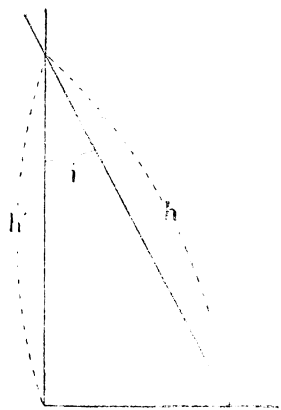
故由實地計算，得下表：

螺旋釘位置差異	1	2	3	4	mm
管之傾斜	3.4	6.9	10.3	13.8	
示度誤差	0.012	0.024	0.036	0.048	mm

即螺旋釘位置差異，在 5mm 以內，氣壓計示度之誤差，不能過 0.05mm 也。

實際上螺旋釘位置差異，決不能如上述之大，故用三螺旋釘固定氣壓計，於觀測方面，較為得策。

5. 標準氣壓計(Standard barometer) 此器之構造，亦與 Fortin 氣壓計相似；惟其觀測之精密，則可至 0.01mm 之程度，使用是種之標準器，須將種種之誤差，加以補正，是為必要。此處將其主要者，列舉如次：



第 7 圖

(1) 尺度刻度之誤差 求刻度之誤差，其法以與精密尺度相比較，而加以檢定，最為便利。施行此工作時，不僅就兩端之示度，互相比較；并且將其中間之刻度，約分為 12 處，一一施以檢查。

(2) 尺度傾斜之誤差 因氣壓計管中水銀面，與槽內水銀面之垂直距離，用尺量得之。故尺度之位置，亦不可不垂直，若尺度與鉛垂方向成  $\theta$  之傾角，其時所讀取之氣壓計示度，其高為  $h'$ ，真正示度之高為  $h$ ，則如圖 7 所示：

$$h' = h \cos i.$$

故由尺度傾斜所生之補正，爲

$$h - h' = h(1 - \cos i) = 2h \sin^2 \frac{i}{2}.$$

今由此式，就種種之  $i$  而計算其補正數，則如次表：

傾斜( $i$ )	1°	2°	3°	4°	5°
$2\sin^2 \frac{i}{2}$	0.00015	0.00061	0.00137	0.00244	0.00380
760mm	0.11	0.46	1.04	1.85	2.98
700mm	0.11	0.43	0.96	1.71	2.02

觀此表，知誤差甚大。通常尺度之傾斜，在1°與2°之間，往往不能用目發現，故實行此種檢查時，或將尺度懸垂，或用其他方法，以能見出其傾斜爲度。

(3) 水銀密度之誤差 水銀之密度，當0°C時，設其值爲 $\Delta_0$ ，則

$$\Delta_0 = 13.5951,$$

若 $\Delta_0$ 發生 $\pm 0.0001$ 之誤差時，則氣壓計示度之高，應生

$$\pm \frac{0.0001 \times H}{\Delta_0}$$

之誤差。例如當 $H = 760\text{mm}$ 時，則

$$\pm \frac{0.0001 \times 760}{13.5951} = \pm 0.006\text{mm}.$$

鉛或其他金屬之Amalgam，若少許混入於水銀中，則其密度即容易生0.0001或0.0002之差。故氣壓計由水銀密度所起之誤差，不可謂小也。

(4) 管上部真空不完全之誤差 氣壓計管之上部，若非完全真空，而存留少許之空氣時，則氣壓計之示度，大都比真正氣壓爲低。此因真空部之容積起變化，而槽中之水銀面亦隨之而起變化。法人Arago氏，曾研究其補正方法如次所述：

假定真空部分內之空氣，在壓力 $p$ （——氣壓）之條件下，其容積爲 $v$ ，真空部之容積爲 $v_1$ ，則斯時殘留空氣之壓力 $p_1$ ，爲

$$\pi_1 = \frac{pv}{v_1}$$

次上下水銀槽內之水銀面，使真空部之容積生變化，其時之容積為  $v_2$ ，殘留空氣之壓力為  $\pi_2$ ，則更得

$$\pi_2 = \frac{pv}{v_2}$$

在此實驗間，大氣之壓力  $P$ ，不生變化，僅氣壓計之高，由  $p_1$  變至  $p_2$ ，則得

$$P = p_1 + \pi_1 = p_1 + \frac{pv}{v_1}, \quad P = p_2 + \pi_2 = p_2 + \frac{pv}{v_2}$$

故

$$pv = \frac{p_1 - p_2}{\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)} = (p_1 - p_2) \frac{v_1 v_2}{(v_1 - v_2)}$$

由是得

$$\pi_1 = \frac{p_1 - p_2}{v_1 - v_2} v_2 = (p_1 - p_2) \frac{1}{\left(\frac{v_1}{v_2} - 1\right)}$$

因真空部容積之變化，起於槽中水銀面之上下，故斯時水銀柱之高，須用 Cathetometer 測定之。通例此種補正為甚小之值，苟或不然，則殘留空氣之壓力，隨溫度而起變化。又當殘留空氣容積縮小或增大，係斷熱的 (Adiabatic) 收縮或膨脹，故須隔離少許之時，而後再讀取其高始可。

今命最初所測真空部之容積，壓力，溫度為  $v_1, \pi_1, t_1$ ；第二次所測得之容積，壓力，溫度為  $v_2, \pi_2, t_2$ 。然若依以上所述，對管中水銀柱之最高為  $D_1$  及  $D_2$  (由尺度所量得者)，管之全長為  $A$ ，則真空部前後之容積為  $(A - D_1)s$  及  $(A - D_2)s$ 。由是得

$$P = p_1 + \pi_1 = p_1 + 0.0355 t_1$$

$$P = p_2 + \pi_2 = p_2 + 0.0355 t_2 \quad (A)$$

故

$$(pv) = \frac{p_1 - p_2}{1 + 0.00365t_2} \frac{1 + 0.00365t_1}{v_1 - v_2 + 0.00365(t_2v_1 - t_1v_2)}$$

故通例當溫度 $t^\circ$ 時之補正數 $\pi$ ，為

$$\pi = (pv) \frac{1 + 0.00365t}{1 + 0.00365t_1}$$

(5) 水銀蒸氣之誤差 氣壓計之真空部，因水銀之蒸發作用，有多少蒸氣之存在；由其張力，可使氣壓計之示度，稍稍低降，此低降之程度，雖隨溫度而生差異，然甚微小。依實驗所得，可如次表：

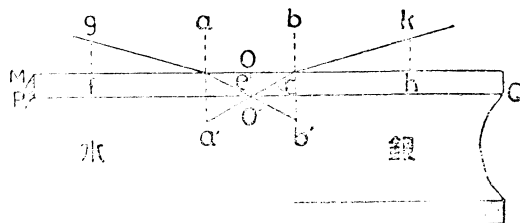
溫 度	0	10°	20°	40°	°C
誤 差	0.0004	0.0008	0.0018	0.004	mm

觀此表，知溫度須達40°C以上，始能有0.01mm之誤差。

(6) 毛管作用之誤差 氣壓計管中水銀柱面，因其表面張力(Surface tension)之作用，而恆使其示度低下。此低下之值，由管徑而異，即管徑愈大，而其值愈小。依實地研究所得，在管徑10mm時，其水銀柱頭之低下，為0.4mm許；若管徑為8mm，則低下為0.7mm許。

由上所述，此問題當歸着於求管之直徑。此處將Bravais氏之求法(稍經他人改善)·述之如次：

如第八圖，將氣壓計管安置於水平位置，而於管軸成直角處，取a, b二點，而附以記號。因管之內面FQ，恰如鏡狀，故ab之像，位於a', b'二點。今由O'向b點所出之光線，經屈折而射於k之方向，斯時用名片狀之厚



c 圖

紙，立於玻璃管上，恰使a'與b'在紙之上邊，適成一直線模樣，而求kh。依同

法就  $b$  之像  $b'$ ，而求  $g$  之位置。於是精測  $af = ag$ ， $fh = 2\beta$ ， $kh = gf = h$ ，且令玻璃之厚為  $e$ ，其屈折率為  $n$ ，則得次式：

$$\sin i = n \sin r,$$

$$e = a \cot r,$$

$$h = (\beta - e) \cot i.$$

由此三式以求  $e$ ，從玻璃管之外徑減去  $2e$ ，則得內徑。

至管中水銀頭部之凸形 (Meniscus)，其高甚易測定，即用 Cathetometer 或其他方法，以測其頭部及底部之垂直距離斯可矣。

(6) 水銀氣壓計示度之冰點更正 氣壓用水銀柱之換算，既述於前。而水銀之密度，因溫度之昇降而有差異；且以氣壓計上黃銅製之尺度，亦因溫度而伸縮。欲避去此等觀測上之誤差，而求真正氣壓之比較，則不可不以零度時之數換算，謂之冰點更正 (Reduction to the freezing point)。蓋製作此種尺度時，實以零度為標準也。今假定附有溫度計之示度，足以代表尺度及水銀柱之溫度，命  $\lambda$  為黃銅之線膨脹係數， $t$  為觀測時之溫度， $H$  為其時觀測之尺度， $H'$  為真正之尺度，則

$$H' = H(1 + \lambda t).$$

設在溫度  $t$  時，高  $H'$  之水銀柱，改為 0 度時，其高為  $H_0$ ，則

$$H' d_t = H_0 d_0 \quad \text{及} \quad d_t (1 + \mu t) = d_0.$$

但  $d_t$  及  $d_0$  為溫度  $t$  及 0 度時水銀之密度， $\mu$  為膨脹係數。由是

$$H' = H_0 (1 + \mu t), \quad \therefore H = H_0 \left( \frac{1 + \lambda t}{1 + \mu t} \right).$$

即

$$H_0 = H \left( 1 - \frac{\mu - \lambda}{1 + \mu} t \right).$$

今命  $C_t$  為冰點更正數，則  $C_t = H_0 - H$ ，故

$$C_t = -H \frac{\mu - \lambda}{1 + \mu} t.$$

惟因

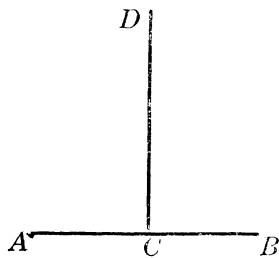
$$\lambda = 0.0000134, \quad \mu = 0.00014918,$$

故 
$$= -H \times \frac{0.0001634t}{1 + 0.0001818t}$$

設附着溫度計有 $0^{\circ}.10$ 之誤差，則 $C_t$ 可生 $0.01\text{mm}$ 之誤差。又上式之右邊，其分母亦含有 $t$ ，故在冰點以上或以下，對於 $t$ 之同值，其 $C_t$ 之絕對值，則生多少之差異也。

(7) 水銀氣壓計示度之重力更正 前節所述冰點更正後之 $H_0$ ，尚不能作為所求之氣壓，因地表面之重力，由觀測地之土地及緯度之高低而異；故現今擇緯度 $45^{\circ}$ 度海平面之重力，以為標準，於是作用於 $H_0$ 之該地重力 $g$ ，不可不以此之改成 $g_{45}$ ，從而水銀柱之高，亦須改成 $H_{45}$ 。

重力與土地高低之關係，可以次之計算式說明之。今假定地球為球體，如



第 9 圖

第九圖， $ACB$  為地表面之一部分，地球之半徑為  $R$ ，由  $C$  至  $D$  之垂直距離為  $h$ ， $D$  點之重力為  $g_h$ ， $C$  點之重力為  $g$ ，即得

$$\frac{g_h}{g} = \frac{(R+h)^2}{R^2} = \left(1 + \frac{h}{R}\right)^2 = 1 + 2\frac{h}{R} + \frac{h^2}{R^2}$$

惟因地球之平均半徑為 $6376150\text{m}$ ，故 $h^2/R^2$ 可以置諸省略，由是

$$g_0 = g_h \left(1 + \frac{2}{R}h\right) = g_h (1 + 0.00000314h)$$

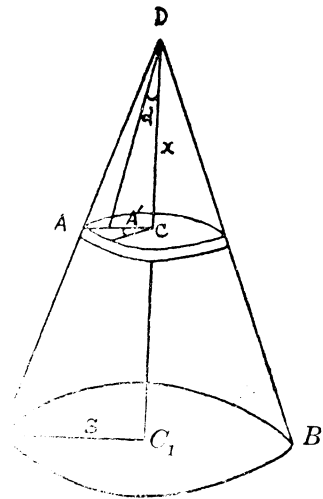
此在自由空氣中所用之公式，若係山地，則不可不將山之引力算入也。

\* 為簡單起見，如第十圖，視山為 $DA_1B$ 正圓錐體，令

$B_1C_1$

$C_1A_1$

且垂直於 $C_1D$ 線，引梯相接之水平直線，其距離



第 10 圖

爲 $dx$ ，令 $DC=x$ ；又以任意之長 $r$ ，作極相接近之二半徑 $CA$ ， $CE'$ ，且令角 $ACE=d\theta$ ， $A'E'=rd\theta$ ，及 $AA'=dr$ ，故若山之平均密度爲 $\rho$ ，則其微小體積之質量，爲

$$dm = \rho dx dr d\theta.$$

由是 $D$ 點上單位質量所受 $dm$ 之引力，命之爲 $dF$ ，則

$$dF = \frac{K \rho r dx dr d\theta}{x^2 + r^2} \quad (K \text{ 爲常數})$$

此 $dF$ 之引力，可分爲水平及垂直二者，其水平分力，則因各質點與山軸成對稱，互相消滅。由是 $D$ 所受者，僅爲其垂直分力，即

$$dF \cos \alpha = dF \frac{x}{\sqrt{x^2 + r^2}} = \frac{K \rho r dx dr d\theta}{(x^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}$$

故 $D$ 點上單位質量所受之全引力 $\Delta g$ ，爲

$$\Delta g = \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{s}{h}x} \int_0^h \frac{K \rho x r}{(x^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}} d\theta dr dx.$$

但此處之積分界限，爲 $x/r = h/s$ 。

故其結果得

$$\Delta g = 2\pi K \rho h \left( 1 - \sqrt{\frac{h}{S^2 + h^2}} \right) = 2\pi K \rho h.$$

\*次命 $\delta$ 爲地球之平均密度， $C$ 點上單位質量所受之重力爲 $g_0$ ，則

$$g_0 = K \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \delta \cdot \frac{1}{R^2} = \frac{4}{3} \pi K \delta R,$$

故 $D$ 點上單位所受之重力 $g'_h$ ，爲

$$g_h = g_h + \Delta g = g_0 \left( 1 - \frac{2}{R} h \right) + 2\pi K \rho h$$

$$\frac{g'_h}{g_0} = \frac{\frac{4}{3} \pi K \delta R \left( 1 - \frac{2}{R} h \right) + 2\pi K \rho h}{\frac{4}{3} \pi K \delta R} = 1 - \frac{h}{R} \left( 2 - \frac{3}{2} \frac{\rho}{\delta} \right)$$

此式爲法人Porson氏之公式。

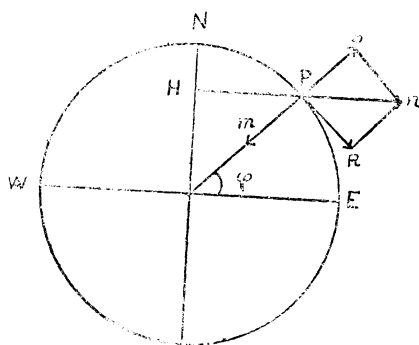
由法人Porson氏之公式在山地時，其式爲



$$g_h = g_o (1 - 0.00000196h).$$

重力與緯度之關係，其間亦有二原因：

(i) 因地球之自轉 今如第十一圖，假定地球為球體，其自西向東之自轉



第 11 圖

角速度為 $\omega$ ，地球上任意點 $P$ 之引力為 $A$  (如 $\vec{Pm}$ )， $P$ 點之遠心力為 $F$  (如 $\vec{Pn}$ )，而 $F$ 又可分為水平及垂直二分力 $\vec{PR}$ 及 $\vec{PS}$ ，則 $P$ 點之重力 $g_o$ 為

$$g_o = A - \vec{PS} = A - Pn \cos \varphi = A - F \cos \varphi.$$

惟因 $F = \omega^2 PH = \omega^2 R \cos \varphi$ ，故

$$g_o = A - \omega^2 R \cos^2 \varphi = A - \omega^2 R \frac{1 + \cos 2\varphi}{2}$$

$$= G(1 - h \cos 2\varphi).$$

但 $G = A - \omega^2 R / 2 =$  緯度 $45^\circ$ 之重力， $\varphi$ 為該地之緯度 $k = \frac{\omega^2 R}{2} / \left( A - \frac{\omega^2 R}{2} \right)$ .

(ii) 因地球為迴轉橢圓體 命地心為原點， $P$ 點之坐標為

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi,$$

通過 $P$ 與地軸之切面，其方程式為

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

或

$$\frac{r \cos^2 \varphi}{a^2} + \frac{r^2 \sin^2 \varphi}{b^2} = 1,$$

今將 $\cos^2 \varphi = (1 + \cos 2\varphi) / 2$ ，及 $\sin^2 \varphi = (1 - \cos 2\varphi) / 2$ ，代入上式中，得

$$\frac{1}{r^2} = \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{b^2} - \frac{1}{a^2} \right) \cos 2\varphi = P - q \cos 2\varphi.$$

若 $\varphi = 45^\circ$ ，則 $\frac{1}{r^2} = P$ 。又因地面重力與地心距離之自乘為逆比，故

$$g_o / G = (P - q \cos 2\varphi) / P = 1 - \frac{q}{P} \cos 2\varphi$$

$$g_o = G(1 - k' \cos 2\varphi),$$

$$k' = q / P.$$

由上所述，無論地球為球體，為迴轉橢圓體，以緯度之函數表重力之值，其形相同。故其一般表示法為

$$g_o = G(1 - K \cos 2\varphi).$$

由實測之結果，

$$g_o = G(1 - 0.00259 \cos 2\varphi).$$

綜以上之計算，地表面上之重力可以次式表之：

$$g'_h = G(1 - 0.00259 \cos 2\varphi) (1 - 314 \times 10^{-9} h), \quad \text{自由大氣中}$$

$$g'_h = G(1 - 0.00259 \cos 2\varphi) (1 - 196 \times 10^{-9} h). \quad \text{山岳或高地}$$

今觀測地點水銀柱之示度為  $H_o$ ，重力為  $g$ ，更正標準重力後，其示度為  $H_{45}$ ，

則  $GH_{45} = gH_o$ ，故  $H_{45} = \frac{g}{G} H_o$ 。

設重力更正數為  $C_g$ ，而緯度  $\varphi$  之更正為  $C_\varphi$ ，及高  $h$  之更正為  $C_h$ ，則

$$C_g = H_{45} - H_o = -H_o \left( 1 - \frac{g}{G} \right) = C_\varphi + C_h.$$

$$C_\varphi = -H_o \times 0.00259 \cos 2\varphi, \quad C_h = -H_o \times 0.000000196h.$$

故水銀氣壓計之示度讀取後，先加入器差，加  $C_t$ ，其次加  $C_g$ 。

8. 水銀氣壓計示度之海平面更正 地面上各測候所，地勢高低不一，非將各觀測值，取同一之水平面改算之，即無以比較其氣壓之大小。現今所取之水平面，係平均海面，即改算各地氣壓，使成同一平均海面上之氣壓，謂之海面更正 (Reduction to the level of the sea)。今緯度  $\varphi$  且距海面高  $h$  處，其氣壓為  $P$ ；在同一直線上之海面，其氣壓為  $P_o$ ，據 Laplace 之理論， $P$  與  $P_o$  之間，成立次之公式：

$$h = 18400(1 + 0.00367\theta) \left( \frac{1}{1 - 0.378 \frac{e}{p}} \right) (1 + 0.00259 \cos 2\varphi) \left( 1 + \frac{h}{6371104} \right) \log_{10} \frac{P_o}{P}.$$

此式中上之  $\theta$ ，為自海面至高  $h$  處氣層之平均溫度， $e$  為上下兩處之平均水蒸氣張力， $p$  為上下兩處之平均氣壓。今將此式右邊第一，第二，第五因子作積，而省去含  $oh$  之微小項，則得式如次。

$$h = (18400 + 67.53\theta + 0.003h) \left( \frac{1}{1 - 0.378 \frac{e}{p}} \right) (1 + 0.00259 \cos 2\varphi) \log_{10} \frac{P_0}{P}$$

更將上式右邊第二，第三因子省去之，且令

$$\frac{h}{18400 + 67.53\theta + 0.003h} = m, \text{ 則 } \log_{10} \frac{P_0}{P} = m, \therefore \frac{P_0}{P} = 10^m.$$

今海面上氣壓計之示度爲  $H_0$ ，距海面高  $hm$  處之示度爲  $H$ （此種示度已經溫度更正及重力更正者），則  $P_0/P = H_0/H$ 。故

$$H_0/H = 10^m.$$

設更正數爲  $C$ ，則

$$C = H_0 - H = H(10^m - 1).$$

空氣之溫度，大都因高而生變化，設距海面高  $hm$  處，其溫度爲  $t$ ，海面上之溫度爲  $t + \lambda$ ，則  $\theta$  約可由次式算之：

$$\theta = (2t + \lambda) / 2 = t + \frac{\lambda}{2}$$

9. Station式水銀氣壓計 此器械幾爲歐美各測候所之通用品，其與Fortin水銀氣壓計相異者，即觀測時無施行整理水銀槽之手續，因此器之尺度零點無一定，故當氣壓上昇，氣壓計之管內，其水銀柱上昇，同時水銀槽內之水銀面則下降；當氣壓低降，管內之水銀柱下降，同時水銀槽內之水銀面上昇。故製作該器之必要條件，爲水銀槽中之水銀面，須使之增大，然後當氣壓昇降時，其槽中水銀面之昇降，較爲微小，於是該器之水銀槽，大都爲扁圓筒之形。

現今所製之Station式之氣壓計，約略對於零點之補正，均納入於器械製作內。故其尺度上1mm之刻度，比實際稍爲微小。今命玻璃管之水平切口面積爲  $a$ ，水銀槽之水平切口面積爲  $A$ ，則當管中水銀降下  $x$ mm 時，槽內水銀應上昇  $\frac{xa}{A}$ mm。從而氣壓實際上應下降

$$x + \frac{xa}{A} = x \left( 1 + \frac{a}{A} \right).$$

設當  $x=0$  時，水銀柱之高爲  $B$ ；則水銀柱下降  $x$ mm 時之氣壓，應爲  $B - x \left( 1 + \frac{a}{A} \right)$ 。依同一之論法，當水銀柱上昇  $x$ mm 時，其氣壓應爲  $B + x \left( 1 + \frac{a}{A} \right)$ 。故 Stat-

ion 式氣壓計尺度上之刻度，以  $\frac{A}{A+a}$  mm 代 1mm，而以之觀測氣壓之昇降，此尺度特稱為更正尺度 (Reduced scale)。

\*10. Station 式水銀氣壓計之冰點更正 此器之冰點更正，與 Fortin 氣壓計相較，具有多少差異之點。此處根據 Kristern Irgens 氏所論，而求其更正數如下：

設氣壓計之附着溫度計，當其示度為 0 度時，氣壓計之示度為  $B_0$ ；當溫度達  $t$  度時，氣壓計之示度為  $B_t$ ，其水銀槽及管中水銀面之上昇為  $\epsilon h$  及  $\delta l$ ，其尺度之伸長為  $\delta s$ 。則是時管中水銀面對於尺度之相對的移動為  $\delta l - \delta s$ 。但此係用更正尺度所測得之距離，故由尺度所測得之冰點更正，為

$$C = -(B_t - B_0) = -(\delta l - \delta s) \left(1 + \frac{a}{A}\right).$$

次如第十二圖所示，命  $V$  為水銀之全立積， $v_r$  為槽內水銀平面以上管中之水銀立積， $v_k$  為槽內水銀平面以下水銀之全立積， $v_g$  為槽內水銀平面以下玻璃之立積， $\mu$  為水銀之膨脹係數， $\lambda_g$  為玻璃之膨脹係數， $\lambda_m$  為尺度之膨脹係數， $\lambda_c$  為水銀槽之膨脹係數， $a'$  為玻璃管狹隘部分之切口面積， $B'$  為槽內水銀平面以上狹隘部分之管長，則得次式：

$$V = v_k + v_r.$$

當溫度由  $0^\circ$  昇至  $t^\circ$  時，則上式之變化為

$$\delta V = \delta v_k + \delta v_r + A \delta h + a \delta l \dots \dots \dots (1)$$

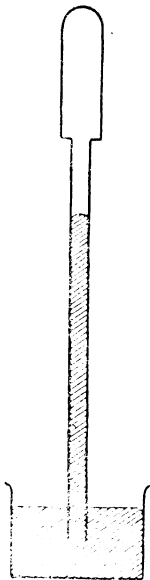
但  $\delta V = V \mu t$ ,

$$\delta v_k = (v_k + v_g) 3\lambda_c t - v_g 2\lambda_g t = v_k 3\lambda_c t + v_g (3\lambda_c - 2\lambda_g) t,$$

$$\delta v_r = v_r 2\lambda_g t - B' (a - a') \lambda_g t.$$

因假定其時氣壓不生變化，

$$\delta h = \frac{\delta V}{A} = \mu t.$$



第 12 圖

由是

$$A \delta h + a \delta l = \left(1 + \frac{a}{A}\right) A \delta l - B_o A \mu t.$$

代入於(1)式，

$$\begin{aligned} \delta V = V \mu t = v_k 3\lambda_c t + v_g (3\lambda_c - 2\lambda_g) t + v_r 2\lambda_g t \\ - B' (a - a') \lambda_g t + \left(1 + \frac{a}{A}\right) A \delta l - B_o A \mu t. \end{aligned}$$

今令  $v_k = V - v_r$ ，則

$$\begin{aligned} \left(1 + \frac{a}{A}\right) \delta l = B_o \mu t + \frac{V}{A} (\mu - 3\lambda_c) t + \left[ \frac{v_r + v_g}{A} (3\lambda_c - 2\lambda_g) - \frac{B' (a - a')}{A} \lambda_g \right] t \\ \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

因  $v_r + v_g$  及  $B' (a - a')$  與  $V$  比較，為甚小之量，故將(2)式右邊之第三項省去之，亦無大差，由是得

$$\left(1 + \frac{a}{A}\right) \delta l = B_o \mu t + \frac{V}{A} (\mu - 3\lambda_c) t \dots\dots\dots (3)$$

次再推求決定  $\delta s$  之法，因令

$$\delta s = B_t \lambda_m t,$$

無甚大差，故

$$\left(1 + \frac{a}{A}\right) \delta s = \left(1 + \frac{a}{A}\right) B_t \lambda_m t \dots\dots\dots (4)$$

故將  $B_o = \frac{1 + \lambda_m t}{1 + \mu t} B_t$ ，代入於(3)式後，再將(3)，(4)代入於  $C = -(B_t - B_o)$

之式中，而省去其微小之項，其結果則得

$$C = -(\delta l - \delta s) \left(1 + \frac{a}{A}\right) = - \left\{ B_t \frac{\mu - \lambda_m}{1 + \mu t} + \frac{V}{A} (\mu - 3\lambda_c) \right\} t$$

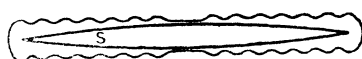
今  $\lambda_c = 0.000010$ ， $\mu - 3\lambda_c = 0.000152$ ，且  $\frac{\mu - \lambda_m}{1 + \mu t}$  用  $0^\circ$  與  $30^\circ$  間之平均值  $0.000163$ ，

則得

$$C = -(0.000163 B_t + \frac{V}{A} \times 0.000152) t.$$

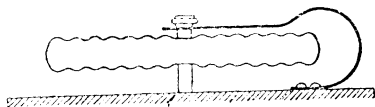
11. 山岳用氣壓計 此器械之構造，全與Fortin氣壓計相同，惟所容之水銀較少，不得不採用細玻璃管及細長之水銀槽。此外則因山岳上之氣壓，較平地為低，故尺度之刻度，能表顯低度之氣壓，而水銀槽中水銀面上之空所亦較大也。

12. 空盒氣壓計 通例此器為自記氣壓計之使用品，而以輕金屬製成盒狀，且須增強盒之柔韌性，故其表面成圓波紋形。如第十三圖所示，S為其內部之撥條，惟將數個之空盒重置之，即成普通自記氣壓計之型，是種之盒，當然內部之空氣，約略排除淨盡，而不互相連絡。至於攜



第 13 圖

帶用或懸掛用之空盒氣壓計，則盒內之撥條S，如第十四圖所示，現於盒之外部，恆使支持盒面，而與外部之氣壓相均衡。惟此撥條之彈性，亦隨溫度而變化，是種相伴之變化，宛若與氣壓變化，得同樣之結果。因須補正其缺點，製作時於盒中殘留少



第 14 圖

許之空氣，令此空氣膨脹或收縮時，恰與撥條彈性之變化相消。但須完全補正，亦僅限於一定之氣壓時，此一定氣壓，特稱為補正氣壓。至在其他之例，則未免有多少之不正確，故欲避免此影響，須將空盒氣壓計，置諸溫度不甚變化之室，是為必要。

\* 次更進而推究補正氣壓之求法，由物理學所述，撥條之彈力，與其歪 (Strain) 成比例；而歪又與氣壓成比例。故若氣壓為 $p$ ，則彈力 $E$ 可如次式：

$$E = mp.$$

\* 但從他方面設想，當溫度 $T$ 生 $\Delta T$ 之變化時，則其彈力為相應之減弱。用是由彈力變化所起之示度變化，更可書為

$$-n\Delta T(mp).$$

此處之 $m$ 及 $n$ 為比例常數，其負符號係表示 $\Delta T$ 為正時，則彈力變化 $\Delta E$ 為負也，即係溫度增加，彈力減弱之意味。今令 $mn = \beta$ ，則得

$$\Delta E = -\beta p \Delta T.$$

\* 設空盒內殘留空氣之壓力為  $q$ ，當溫度上升  $\Delta T$  時， $q$  增加  $\Delta q$ ，由是可書如次式：

$$\Delta q = a \Delta T.$$

\* 惟在通例，空盒氣壓計之示度  $p$ ，當溫度昇  $\Delta T$ ， $p$  即降下  $\Delta p$ 。而殘留空氣壓力  $q$  增加  $\Delta q$  時，空盒氣壓計之示度降下  $\Delta q$ 。但彈力則因溫度增加而減弱，於是其示度之變化，宛與氣壓增加相同，故斯時氣壓之變化  $\Delta p$ ，為

$$\Delta p = -(a - \beta p) \Delta T.$$

\* 設於此式中，令  $a - \beta p = 0$ ，則  $\Delta p = 0$ 。即溫度雖增加，而其示度完全不變。換言之，即完全溫度補正可能時，其相應之氣壓為  $p_0$ ，則

$$a - \beta p_0 = 0, \quad \dots \quad p_0 = \frac{a}{\beta},$$

\* 若欲由此式以求  $p_0$ ，可於  $p_1$  之示度時，溫度昇  $\Delta p$ ，則得

$$\Delta p_1 = -(a - \beta p_1) \Delta T;$$

又當 之示度時，更得

$$\Delta p_2 = -(a - \beta p_2) \Delta T.$$

由此式求  $a$  及  $\beta$ ，從而可以決定  $p_0$ 。

空盒氣壓計之刻度，係與冰點及重力更正後之水銀氣壓計刻度相比較而製作之，故空盒氣壓計之示度，與重力無關。

至於求空盒氣壓計之溫度係數  $c$ ，則命  $Q$  為水銀氣壓計上之氣壓讀度， $A$  為空盒氣壓計上之示度，其時之溫度為  $t$ ，則可由假定，可成立次式：

$$Q = A + ct;$$

又當溫度  $t'$  時，得

$$Q' = A' + ct'.$$

故  $Q' - Q = A' - A + c(t' - t)$ ,  $\therefore c = \frac{(Q' - Q) - (A' - A)}{t' - t} = \frac{\Delta Q - \Delta A}{\Delta t}$

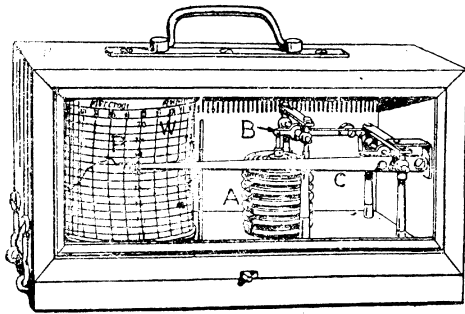
今  $t = 20.2^\circ C$ ,  $Q = 746.5$ ,  $A = 749.6$

$$t'=6.^{\circ}0C, \quad Q'=746.8, \quad A'=747.6,$$

則  $\Delta Q - \Delta A = 2.3, \quad \Delta t = -14.^{\circ}2C$  故

$$c = -0.162mm.$$

13. Richard自記氣壓計 自記氣壓中之最簡便者，為法國巴里Richard廠所製之自記空盒氣壓計，如第十五圖，A為七個相重之空盒，而互相附着；但其內部則各不相通，當氣壓上升，則將盒面下壓；氣壓下降時，則因盒內撥條之作用，而盒面外凸。且因幾個空盒相重，由其各個之作用相加，故頗見敏銳。



第 15 圖

相重之空盒中，其位於最上部者，由適當之裝置，其頭部B與槓杆相連。依氣壓之升降而B上下時，從而槓杆C端所具之鋼筆尖，隨之而上下。於是在八日或一日一回轉之自記圓筒之自記紙上，描出高下之跡，而以之知隨時之氣壓值。

自記空盒氣壓計之示度，當製作時，亦與冰點及重力更正後水銀氣壓計之示度相合。若發生差異，則須加入補正數，設此差失之過大，則因最下部之空盒，與外函底部小孔之鍵相連，可稍旋轉此鍵而矯正之。

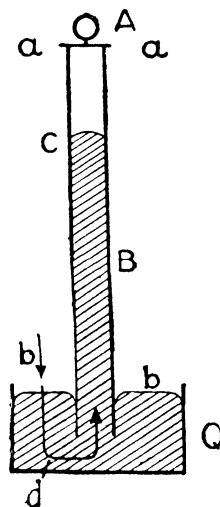
凡空盒氣壓計，當氣壓不變而溫度變更時，其示度亦隨之而起變化；故安置是類氣壓計，務擇溫度不甚變易之室，是為必要。又自記紙每因經溼氣而非常伸縮，故亦不宜於潮溼之室。此外則鋼筆尖及其他槓杆間之摩擦，務求其小，故須時常掃除，使不沾塵垢。

14 Sprung氏自記氣壓計 自記水銀氣壓計中，其最精確者，厥為天秤式自記氣壓計 (Wage-barograph)，係1877年德人A. Sprung氏所發明。現時所用者，雖經種種改良，然其構造之原理，及作用之要旨，仍與最初之器，毫無



所異。今將該器械之理論，說明如次：

如第十六圖，B為氣壓計之管，Q為水銀槽，但B管之下端，入於Q之水銀中，而其位置並非固定；其上端A處，則用鉤自由懸於天秤之一端，而管保持垂直。因bb之面，受空氣壓力之作用，爰使Q中之水銀，壓入B管，至bc之高。又他一方面，管頂aa面，同時亦受氣壓p之作用；且因管內無壓力作用，於是aa面可被氣壓壓使向下；故天秤之他端，附以適當之重量，而使之平衡，此即用天秤得以測氣壓之微旨，而bc高之水銀柱，則適與氣壓相等，今就天秤A端所受之作用力設想，則有下列數種：



第 16 圖

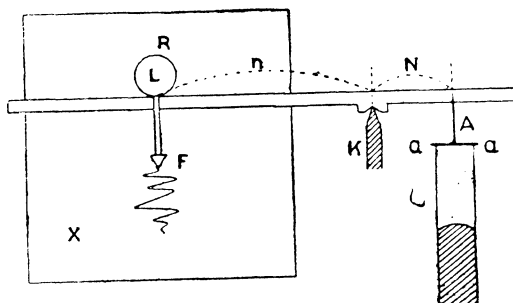
(i) 氣壓計之管及鉤，與其他附屬品之重量，其作用，方向向下。

(ii) 切口aa上之氣壓，即等於bc同高之水銀柱壓力其方向亦向下。

(iii) 氣壓計管bb以下之部，即入於水銀中之部分，受水銀浮力作用，而押之使上(即力之方向向上)。

但 Sprung自記氣壓計，由其製作上之機巧，天秤之A端，恆使之不動，即如當A欲上下移動時，可由其他端砝碼之移動，而仍可使A不動焉。因此上述之(iii)，雖當氣壓變化，幾毫不生變動。且因(i)亦不生變化，故其時僅(ii)起變動，即水銀柱bc之高起變動。

至欲求天秤氣壓計之作用，則如第十七圖，R為砝碼，其下附以鋼筆尖F，刀刃狀K為天秤之支點，當氣壓增高，而A須向



第 17 圖

下，其時圖上之  $L$ ，即向左移，而使  $A$  靜止；若氣壓減低，則  $L$  移動，方向相反，由是  $F$  在自記紙上，描出曲線，即以表示氣壓之變化，今命砝碼  $R$  之重量為  $p$ ，氣壓計之重量為  $P$ 。又  $KA$  之長為  $N$ ， $KL$  之長為  $n$ ，則當  $P$  增加  $\Delta P$  時， $n$  則增加  $\Delta n$ ，與之相應，即得次式：

$$PN = pn, (P + \Delta P)N = p(n + \Delta n) \therefore p\Delta n = N\Delta P.$$

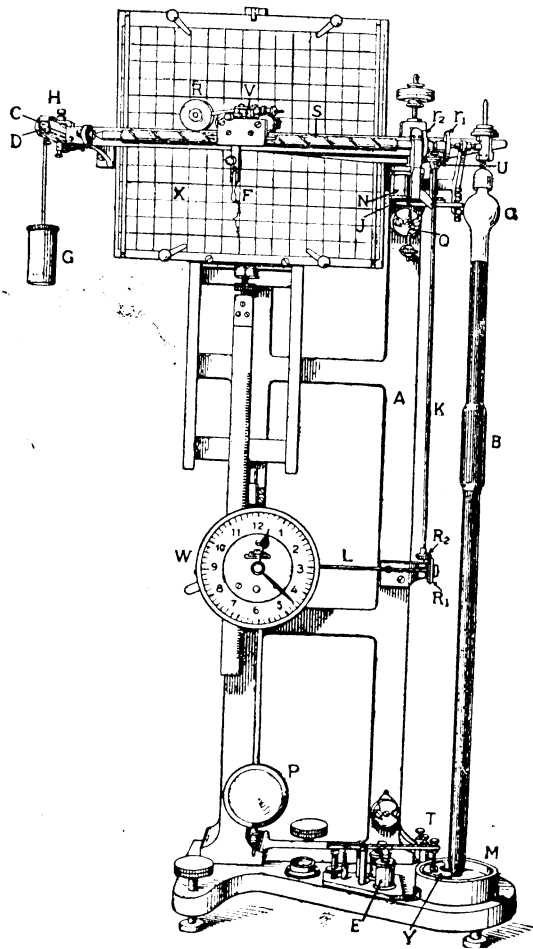
故 
$$\Delta n = \Delta P \frac{N}{p} \dots\dots\dots (1)$$

上式中之  $N$  及  $p$ ，均為不變量，故  $\Delta n$  與  $\Delta P$  成比例，惟因  $\Delta P$  與氣壓之變化成比例，故結局  $\Delta n$  得以表示氣壓之變化。

第 18 圖

更就實際之器械，而說明其構造，則如第十七圖，天秤右腕之端，懸以氣壓計  $B$ ，其左腕端及中間部分，則懸有重錘  $G$  及砝碼  $R$ ，并其架  $V$  等，而使左右互相平衡。其裝置之機巧，則基於氣壓升降時， $R$  可左右移動，而  $B$  恆靜止不動焉。

例如當氣壓減低，氣壓計之頭部向上昇時，則天秤之左端向下降，同時白金線  $C$  接觸於電接裝置  $H$  之刀刃  $D$  上，而使電路閉；於是電磁石  $N$  起作用，而吸引鐵片  $J$ ，斯時有固定於  $J$  之槓杆，亦起作用，而使硬橡皮車  $U$ ，與圖中右向之



圓板 $r_1$ 相接觸，又因此硬橡皮車 $U$ ，與時計相連絡，而恆為等速的迴轉；故圓板 $r_1$ 亦隨之迴轉，而使固定於圓板之無緣棒狀螺旋 $S$ ，亦起迴轉，此無緣螺旋 $S$ ，位置於天秤左腕之前，而由一種水平橫棒所管制；故由前視之，最前面為無緣螺旋，其後為橫棒，又其後為天秤之左腕，三者互相平行，且橫棒之面向上。

在橫棒上面，載有架 $V$ ，架上附有二滑車狀之車輪，適能嵌入於橫棒之上緣，又由架附有突出物，經橫棒至天秤左腕之後面止而突出之，其端懸鋼筆尖之腕，而恆使鋼筆尖與自記紙相接觸，又此架下有足狀物下垂，其端適能嵌入於無緣螺旋之溝中，故螺旋迴旋時，架即隨之而左右移動。

砵碼 $R$ 載於天秤左腕之上，用鈎與架 $V$ 相連絡，故砵碼與架可同時移動。至砵碼之形，亦係滑車狀而有溝，天秤之腕恆能嵌入其溝中，故移動時，砵碼無墜落之虞，設無緣螺旋 $S$ 迴轉，而架 $V$ 生向右移動時，則砵碼 $R$ 亦向右移動，天秤成平衡狀態，而(1)式爰以成立。斯時鋼筆尖 $F$ 所描者，為氣壓之減少。迨至砵碼向右生過度之移動時，則天秤之左腕，又向上昇，同時電接裝置 $H$ 之刀刃 $D$ ，與白金線 $C$ 相離，而電磁石 $N$ 之作用停止，於是鐵片 $J$ ，為撥條 $Q$ 所引，而使下降。其時硬橡皮車輪 $U$ ，可接觸於左圓板 $r_2$ ，而無緣螺旋 $S$ ，爰起迴轉，使架 $V$ 向左移動，從而砵碼亦隨之而左移，再使天秤復歸平衡位置，其結果則電接裝置 $H$ ，再閉電路，又復從前之狀態，因此該自記氣壓計之記像，不能為平滑之曲線，而成細鋸形之線狀也。

在此自記氣壓計上，時計 $W$ 亦起種種之效用，即(1)使自記紙 $X$ 等速的下移；(2)經由 $L$ 及 $K$ 棒，使硬橡皮車等速的迴轉；(3)每十分時間，電磁 $E$ 起作用，使木片 $Y$ 洗下，令水銀槽 $M$ 中之水銀面動搖，以整理 $B$ 管中之水銀柱頭。

又由(1)式，若 $p$ 減少，則 $N/p$ 增大，即器械之倍率加大，故知欲增器械之倍率，務將砵碼 $p$ 減小，在實際上，則備砵碼兩個，用其重者倍率得5倍，其輕者則得10倍也。

欲調整天秤之感度，基於支點之升高或降下。惟升高時若稍過度，天秤即具不安定之狀，斯則不可不深加注意也。

自記氣壓計之示度，往往一時間內，有5mm或10mm之升降：例如當低氣壓襲來時，鋼筆尖F，可出於自記紙之外。欲免此弊，斯時之示度，應稍增高。因此氣壓計管鈎之上面，即天秤左腕之一端，有直立之棒，斯時於該棒上，加微小之砝碼即可。此砝碼大概分為5mm之分，及10mm之分兩種，而為購置器械之附屬品。

Sprung 自記氣壓計，其使用之法，雖未就其器械，而加實地之精密研究，但其最應注意者，有下列二點：

(i) 硬橡皮車U，與圓板接觸而迴轉時，全然利用其摩擦作用，故是種接觸若形過度，則迴轉橡皮車之時計，為所壓迫，而使時計停止；又此接觸若失之過輕，則由其太空滑，而圓板不起迴轉。故欲調整其接觸，而使之適當，殊非易事。

(ii) 對於電磁石使用之電池，在此新形自記氣壓計，有2 Volt之蓄電池二個，雖可足用，但無寧用2 Volt電池三個，即6 Volt者，較為良善。若電池使用過多，則火花飛起時，每有損傷器械之虞。

Sprung式自記氣壓計，對於器械溫度之變化，是否發生影響，實有研究之必要。原來此器械之目的，係自記氣壓計管上端所作用之氣壓變化，而非用以直接自記管中水銀柱之高。故當溫度上升時，水銀雖膨脹，而終不能亂器械之示度。惟溫度上升時，氣壓計管之玻璃，應起膨脹；由是管上端之面積增大，而外見上氣壓亦似加大。此缺點是否能避，為當前之重要問題。Sprung氏則當氣壓計管膨脹時，而將溫度之影響除去之也。其根據則如次所述：即如第十八圖所示，命

$Q$  = 氣壓計管切口之面積

$Q+x$  = 氣壓計管中間脹大部分之切口面積

$Q'$  = 水銀槽切口之面積

$q$  = 氣壓計管下端狹部分之切口面積

$r$  = 氣壓計管下端狹部分玻璃部分之面積即  $Q - q = r$

以上之諸面積，皆以  $cm^2$  表之。

$P$  = 氣壓計管及其他屬於天秤附屬品之全重量

$G$  = 懸垂物之重量

$s$  = 溫度  $t^{\circ}C$  時水銀之比重

$s_0$  = 溫度  $0^{\circ}C$  時水銀之比重

$V_0$  = 溫度  $0^{\circ}C$  時全水銀之容積

$B$  = 氣壓 (即經過冰點更正後水銀之柱之高)

$i$  = 玻璃管最下端與水銀槽底面之距離，則成立下式：

$$P = G + (H - k)Qs + lxs + (k - h)qs - (h - i)rs \dots (2)$$

又因當  $t^{\circ}C$  時，水銀之全質量，與在  $0^{\circ}C$  時水銀之全質量

相同，故

$$(H - k)Qs + lxs + (k - h)qs + hQ's - (h - i)rs = V_0s_0 \dots (3)$$

因在  $0^{\circ}C$  時，水銀柱之高為  $B$ 。

$$(H - h)s = Bs_0 \dots (4)$$

由 (2), (3) 消去  $H$ , 得

$$P = G + V_0s_0 - Q'hs \dots (5)$$

由 (3), (4) 消去  $H$ , 得

$$hs = \frac{V_0s_0 - BQs_0 + s\{k(Q - q) - lx - ir\}}{Q' + Q - (q + r)} \dots (6)$$

更由 (5), (6) 消去  $h$ , 得

$$P = G + V_0s_0 - \frac{Q'}{Q' + Q - (q + r)} [V_0s_0 - BQs_0 + s\{k(Q - q) - lx - ir\}] \dots (7)$$

今令

$$\frac{Q'}{Q' + Q - (q + r)} = C, \text{ 則}$$

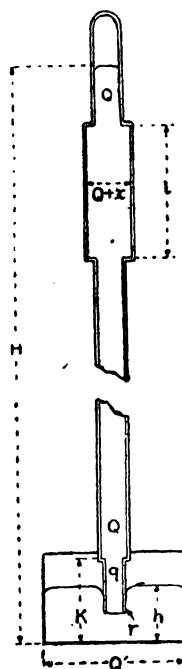


圖 19 第

$$P = G + V_0 s_0 - C [V_0 s_0 - B Q s_0 + s \{k(Q - q) - lx - ir\}] \dots \dots \dots (8)$$

惟因氣壓計管之切口  $Q$ ，與水銀槽之切口  $Q'$  相比較，非常微小，故令  $C=1$ ，似無大差。又若當製作管時，令  $q+r=Q$ ，則(8)為

$$P = G + B Q s_0 - s \{k(Q - q) - lx - ir\} \dots \dots \dots (9)$$

今命玻璃之線膨脹係數為  $\beta$ ，水銀之膨脹係數為  $a$ ，則  
 $Q = Q_0(1 + 2\beta t)$ ，  $q = q_0(1 + 2\beta t)$ ，  $r = r_0(1 + 2\beta t)$ ，  $x = x_0(1 + 2\beta t)$ ，及  
 $s = \frac{s_0}{1 + at}$  將是等之式代入於(9)式，得

$$P = G + B s_0 Q_0 (1 + 2\beta t) - s_0 \{k(Q_0 - q_0) - lx_0 - ir_0\} \frac{1 + 2\beta t}{1 + at} \dots \dots (10)$$

又令  $k(Q_0 - q_0) - lx_0 - ir_0 = F$ ，則

$$P = G + B s_0 Q_0 (1 + 2\beta t) - s_0 F \frac{1 + 2\beta t}{1 + at} \dots \dots \dots (11)$$

更由  $q+r=Q$  之關係，

$$F = (k - i) r_0 - lx_0 \dots \dots \dots (12)$$

今將(11)式微分之，

$$\frac{dP}{dt} = 2B Q_0 s_0 \beta - s_0 \left\{ F \frac{d}{dt} \left( \frac{1 + 2\beta t}{1 + at} \right) + \frac{1 + 2\beta t}{1 + at} \frac{dF}{dt} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

於(13)令  $\frac{dP}{dt} = 0$ ，則

$$2B Q_0 \beta = F \frac{d}{dt} \left( \frac{1 + 2\beta t}{1 + at} \right) + \frac{1 + 2\beta t}{1 + at} \frac{dF}{dt} \dots \dots \dots (14)$$

惟因  $\frac{d}{dt} \left( \frac{1 + 2\beta t}{1 + at} \right) = \frac{2\beta}{1 + at} - \frac{a(1 + 2\beta t)}{(1 + at)^2} \dots \dots \dots (15)$

故  $\left[ \frac{d}{dt} \left( \frac{1 + 2\beta t}{1 + at} \right) \right]_{t=0} = 2\beta - a \dots \dots \dots (16)$

及  $\frac{1 + 2\beta t}{1 + at} = \left[ \frac{1 + 2\beta t}{1 + at} \right]_{t=0} = 1 \dots \dots \dots (17)$

(14)為對於溫度  $t^\circ C$  時之一般式，惟因計算上非常煩雜，故就  $t=0^\circ C$  時，而用(15)及(17)也。

次求  $\frac{dF}{dt}$  則由(12)，

$$\frac{dF}{dt} = r_0 \left( \frac{dk}{dt} - \frac{di}{dt} \right) - x_0 \frac{dl}{dt} \dots\dots\dots (18)$$

因  $l$  爲氣壓計管中間較粗部分之長，故

$$l = l_0(1 + \beta t), \quad \therefore \frac{dl}{dt} = l_0 \beta \dots\dots\dots (19)$$

惟在(18)中， $\frac{dk}{dt}$  與  $\frac{di}{dt}$ ，可約略相等，何則，因氣壓計管之全長爲  $L$  設其支持此管之鐵架，其高爲  $L'$ ，則  $L'$  與  $L$  之差，當然極微，故鐵之線膨脹係數若爲  $\gamma$ ，則

$$L' = L_0'(1 + \gamma t), \quad L = L_0(1 + \beta t), \quad i = L' - L,$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{dL'}{dt} - \frac{dL}{dt} = L_0' \gamma - L_0 \beta, \quad \therefore \frac{di}{dt} \doteq L_0(\gamma - \beta).$$

$\gamma - \beta$  爲非常微小值，由圖視之，亦知  $\frac{di}{dt} \doteq \frac{dk}{dt}$ ，故(18)爲

$$\frac{dF}{dt} = -x_0 \frac{dl}{dt} = -x_0 l_0 \beta \dots\dots\dots (20)$$

今將(12)，(16)，(17)及(20)，代入於(14)式中，得

$$2BQ_0\beta = \{ (k-i)r_0 - l_0x_0 \} (2\beta - a) - l_0x_0\beta,$$

$$l_0x_0 = \frac{2BQ_0\beta}{a-3\beta} + \frac{r_0(k-i)(a-2\beta)}{a-3\beta} \dots\dots\dots (21)$$

$l_0x_0$  爲氣壓計管中間較粗部分之容積，故製作之際，若適合乎(21)之條件，則  $\frac{dP}{dt} = 0$ ，即可避去之溫度之影響也。

Sprung氏就實際之器械而施計算，當  $B = 750\text{mm}$  時，以求  $l_0$ ，則如下：

$$B = 75\text{cm}, \quad Q = 3.0774\text{cm}^2, \quad \beta = 0.0000085, \quad a = 0.0001815,$$

$$\therefore \frac{2BQ_0\beta}{a-3\beta} = 25.15\text{cm}^3.$$

又  $r_0 = 0.5\text{cm}^2$ ， $k - i = 3\text{cm}$ ，及  $\frac{a-2\beta}{a-3\beta} \doteq 1$ ，則

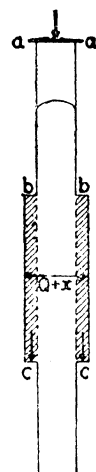
$$\frac{r_0(k-i)(a-2\beta)}{a-3\beta} = 150\text{cm}^3,$$

$$l_0 x_0 = 25.15 + 1.50 = 26.6 \text{ cm}^3.$$

更令  $x_0 = Q_0 = 3.08 \text{ cm}^2$ , 則  $Q_0 + x_0 = 6.16 \text{ cm}^2$ , 於是較粗部分之半徑為 1.40cm, 從而長  $l_0 = 8.64 \text{ cm}$ .

用以上之數式所記述之溫度補正法, 幾潛伏於式內, 而其物理的意義, 幾難捉摸。此處更說明溫度補正法之真意義如次:

今如第二十圖, 此氣壓計管上部aa面, 受氣壓之作用, 而有壓下之傾向, 已述於前。又水銀入於管中後, 因管無底, 故管之重量, 毫不增加; 僅其中間較粗之部分 bb,cc 處, 其所入之水銀, 作用於cc面, 有下壓之傾向。今當溫度上昇, 則aa面增大, 即受氣壓作用之面積增大, 其所得結果, 宛與氣壓增加相同, 於管之全體, 更增加其壓下之傾向。但從他方面設想, 因溫度上昇, 管之 bb,cc 部分, 因膨脹而使水銀之密度減小, 從而在 cc 面上有減少其下壓之傾向。換言之, 即aa面因膨脹而增加下壓力, 同時 bb,cc 部分, 因水銀重量減少, 而下壓力亦減少。故bb,cc 部分之容積, 若為適宜之大小, 則可使此兩壓力互相消去, 此即 Sprung 氏溫度補正法之原理也。



第 20 圖

次所論者, 係溫度及於天秤之腕及砝碼之影響, 即命

$W$  = 天秤之腕及重錘  $G$  之總重量

$m$  = 以上二者之重心與天秤支點之距離

$P$  = 氣壓計之重量       $n$  = 砝碼  $R$  與支點之距離

$P'$  = 氣壓計示度甚低時即  $n=0$  時之重量

$\mu$  = 製作天秤腕金屬之膨脹係數       $p$  = 砝碼之重量

即得  $pn = PN - Wm \dots\dots\dots (22)$

而此式可書為

$$n = P \frac{N_0}{p} (1 + \mu t) - \frac{W}{p} m_0 (1 + \mu t) \dots\dots\dots (23)$$

微分之,



$$\frac{dn}{dt} = \frac{N_0}{p} (1 + \mu t) \frac{dP}{dt} + \frac{\mu}{p} (PN_0 - Wm_0) \dots\dots\dots (24)$$

$$\frac{dn}{dB} = \frac{N_0}{p} (1 + \mu t) \frac{dP}{dB} \dots\dots\dots (25)$$

當溫度增加1°C時，自記紙上之氣壓，外見上呈增加模樣，其相當之水銀柱高為y，則

$$y = \frac{\frac{dn}{dt}}{\frac{dn}{dB}} = \frac{\frac{dP}{dt}}{\frac{dP}{dB}} + \frac{(P - P')\mu}{(1 + \mu t) \frac{dP}{dB}} + \frac{(P'N_0 - Wm_0)\mu}{N_0(1 + \mu t) \frac{dP}{dB}} \dots\dots\dots (26)$$

惟因P'為n=0時P之值，故於(23)中，令n=0，則得

$$P'N_0 - Wm_0 = 0,$$

即(26)式右邊最後之項=0，

至於求P-P'，則可用(11)式計算之。因Sprung氏之器械，即使氣壓昇降，而氣壓計之管，則靜止不動，i及k亦不生變化。故當P時之對應值為B，當P'時之對應值為B'，則

$$P - P' = s_0 Q_0 (B - B') (1 + 2\beta t) \dots\dots\dots (27)$$

更求 $\frac{dP}{dB}$ 則就(8)式而施微分計算，且令C=1，則

$$\frac{dP}{dB} = s_0 Q = s_0 Q_0 (1 + 2\beta t) \dots\dots\dots (28)$$

惟由前所述， $\frac{dP}{dt} = 0$ ，故(26)為

$$y = \frac{(P - P')\mu}{(1 + \mu t) \frac{dP}{dB}}$$

故由(27)及(28)，知

$$\frac{P - P'}{(1 + \mu t) \frac{dP}{dB}} = \frac{(B - B')\mu}{1 + \mu t},$$

由是

$$y = \frac{(B - B')\mu}{1 + \mu t} \dots\dots\dots (29)$$

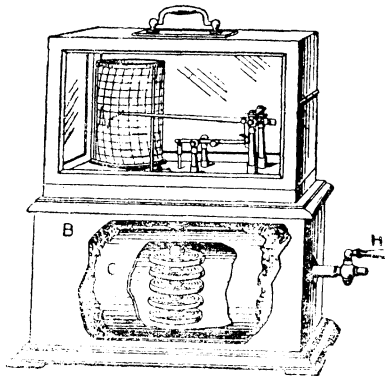
命  $\mu=0.000019$ ,  $B=76\text{cm}$   $B-B'=8\text{cm}$ , 則

$$y=0.0015\text{mm}.$$

故當溫度增高 $10^{\circ}\text{C}$ 時，可約略增高 $0.015\text{mm}$ 。

14. 微壓計 (Statoscope) 此器械如第二十一圖所示，大型之空盒五個，

使之相重而成一組，其內部互相連絡，且與外氣相通；并由最下空盒之內底出一棒，用槓杆以傳底之昇降於示針。



第 21 圖

空盒納於罐 C 中，而罐 C 又入於 B 之木函中，其間則入綿或毛類，以防罐內溫度之變化，又因欲使罐內與外氣相交通，於木函外，出 H 之鍵。此鍵柄成直角時，則罐內空氣與外氣之交通隔絕；若柄之位置平行時，則內外相通。故當內外同氣壓時，用鍵閉其

通路，若此時外面氣壓，稍稍增高，則空盒為所壓迫，而微壓計之示度，表示氣壓增加；若外面氣壓下降，則由盒內撥條之力，使盒膨脹，而示針表示低度。故此器械可視為一種之示差氣壓計。(Differential barometer)。

在通常之自記氣壓計，因欲避免溫度之影響，故須抽去盒內大部分之空氣。於是欲其支持外部之氣壓，盒內須具有強有力之撥條，而對於氣壓之微小變化，感度遲鈍，故不能以之為微壓計之用。至於 Statoscope，則空盒內部與外部之氣壓幾相等，無須用強有力之撥條，以支持盒之內部，而反用微弱之金屬撥條，以顯其示度敏銳。惟溫度之影響，則比通常自記氣壓計為甚，故用綿毛類以為救濟，殊感必要也。

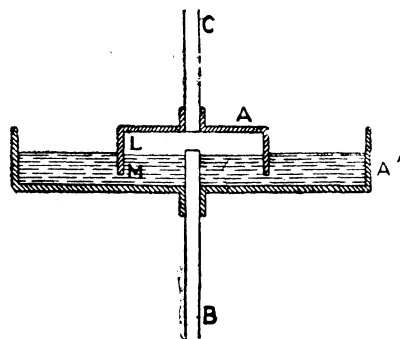
Richard 廠所製之 Statoscope，每經 52 分，自記圓筒迴轉一次，其自記紙上  $1\text{mm}$  之  $\frac{1}{4}$ ，與氣壓  $1\text{mm}$  之  $\frac{1}{100}$  相當。

此器械於記氣壓微小變化外，更能記錄其較大之變化，故其自記記像，漸次有傾斜之嫌。故須時時使罐內與外氣相交通，而變其示度，是為必要，且因

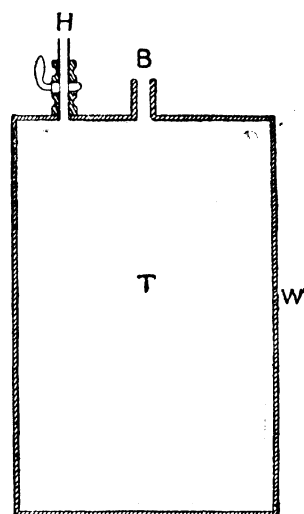
易受溫度之影響，故室內之溫度，務必保持其不變方可。

\*15. Shaw-Dines 之微壓計 此器械於 1903年 W. H. Dines，根據 W. N. Shaw 之考案而製作之，特稱為 Microbarograph 且經二氏之共同研究，而始臻完成。構造之原理，頗極簡單：其主要部為充空氣之圓筒，其裝置目的，則使筒外之氣壓，與筒內壓力之差，能自記於自記圓筒紙上而已。此筒常用綿毛之類包裹，以防溫度之變化。且圓筒上設有毛細管狀之漏孔 (Leak)，由其柄之迴轉，可開閉其孔，并可令其孔任意大小。若外面氣壓徐徐變化，則由此漏孔，使空氣徐徐出入，至內外之壓力略相平均。然若外面氣壓急劇變化，則因漏孔甚小，內部壓力，為其對應之變化；於是圓筒之蓋，對於氣壓起上下運動，而能記錄於自記圓筒上。

第二十二圖，係表示器械之一部分，A及A'則為圓筒裝置之一部分，M為所盛之水銀，蓋A則浮於其上，L為入空氣之處，由B管與圓筒之本體相通。



第 22 圖



第 23 圖

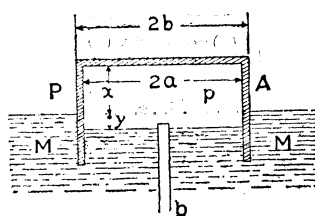
第二十三圖，為充空氣圓筒之本體，由B管與第二十二圖之裝置相接續，H為毛細管狀之漏孔，孔內空氣出入之量，可由柄之迴轉，而為適當之加減。用時圓筒T中充入空氣，與第二十二圖中L之空氣相通。

今由漏孔H柄之迴轉，使圓筒內外相通，而內外之壓力略相等，其時使內壓力略高，然後用柄使孔減小，僅令空氣得以徐徐出入，斯時若外部氣壓急劇

增加，則蓋A被下壓，而C管向下移；又若氣壓急劇減小，則T中空氣壓力，大於外壓力，而將蓋A押上，從而C向上移。由C之昇降，作適當之裝置，可使氣壓之微動，得自記於自記圓筒上。Dines氏所用之空氣圓筒，其立積為一立方英尺之三分之一。

此器械之構造，雖極簡單，但其理論，則甚複雜。Shaw及Dines兩氏，曾加靜力學的說明，但實際上甚不充分，蓋此器械非靜力學的而實動力學的問題也。惟此處為避免複雜起見，僅就靜力學的理論，述其概要如次：

如第二十四圖，蓋A具圓筒狀之形，其外徑為 $2b$ ，內徑為 $2a$ ，A外之氣壓為 $P$ ，A內之壓力為 $p$ ；從A外水銀之水平面起算，其A內空處之高為 $x$ ，A內外水平面距離之差為 $y$ ，則得



第 24 圖

$$P = p - y,$$

但 $y$ 與 $P, p$ 之任一量相比，為甚小之量。

浮於水銀面上之A蓋，其重量為一定不變。且因內外壓力之差發生時，A蓋或向上移，或向下移，其位置至內外壓力相平衡時而靜止，斯時與A不受壓力相同，故結局A應排除與A同重量之水銀。質言之，A在水銀中，其所排除之水銀量，亦為一定不易。基於此理，當 $P$ 或 $p$ 發生變化時，A所排除量(Displacement)之變化，適與A內水銀面之變化相消，從而A外之水銀面為一定不易。今命圓筒T之立積為 $V$ ，其高為 $v$ ，則 $V = \pi a^2 v$ ；溫度假定為不變，則由Boyle之定律，

$$\pi a^2 (x + y + v) P = \text{const.} \dots \dots \dots (1)$$

及  $P = p - y \dots \dots \dots (2)$

設A動移 $\delta x$ ，其對應之 $y$ 生 $\delta y$ 之變化，則其間之關係為

$$\left. \begin{aligned} \pi a^2 \delta y &= \pi (b^2 - a^2) \delta x, \\ \pi a^2 (x + y + v) \delta p + \pi a^2 (\delta x + \delta y) p &= 0, \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

但 $y \delta p$ 為甚小之量，可置諸省略。由是(3)之第二式為

$$(x+v)\delta p = -(\delta x + \delta y)p,$$

又由(2)，

$$\delta P = \delta p - \delta y = -\frac{(\delta x + \delta y)p}{x+v} - \delta y = -\frac{p\delta x}{x+v} - \left(1 + \frac{p}{x+v}\right)\delta y,$$

將(3)之第一式代入之，

$$\begin{aligned}\delta P &= -\frac{p\delta x}{x+v} - \left(1 + \frac{p}{x+v}\right)\frac{b^2 - a^2}{a^2}\delta x \\ &= -\left\{\frac{p}{x+v} + \left(1 + \frac{p}{x+v}\right)\frac{b^2 - a^2}{a^2}\right\}\delta x.\end{aligned}$$

在Dines之器械內， $p=30\text{inch}$ ， $x+v=60\text{inch}$ ，故

$$\delta P = -\left\{\frac{1}{2} + \frac{3}{2}\frac{b^2 - a^2}{a^2}\right\}\delta x.$$

此處可選取  $a$  之種種值，以決定種種之倍率。逆而言之，若倍率決定時，則  $b/a$  之值，亦可定，例如  $\delta x = -\frac{1}{2}\delta P$  時，若所用之槓杆為40倍，則倍率可得20倍，即由上式：

$$\frac{3}{2} = \frac{3}{2}\frac{b^2 - a^2}{a^2}, \quad \dots \quad b = \sqrt{2a}.$$

日人吉田得一氏，曾以石油代水銀，命石油對於水銀之比重  $k$  為，則基本關係式(2)為

$$P = p - ky.$$

於是其結果為

$$\delta P = -\left\{\frac{p}{x+v} + \left(k + \frac{p}{x+v}\right)\frac{b^2 - a^2}{a^2}\right\}\delta x.$$

吉田氏之器械，為

$$a=3\text{cm}, \quad b=3.04\text{cm}, \quad x=2\text{cm}, \quad p=76\text{cm}, \quad V=20000\text{cm}^3,$$

$$v = \frac{V}{\pi a^2} = \frac{20000}{3.14 \times 3^2} = 707\text{cm}$$

又  $k=0.065$ ，故

$$\delta P = -\left\{\frac{76}{709} + \left(0.065 + \frac{76}{709}\right)\frac{(3.04)^2 - 3^2}{3^2}\right\}\delta x.$$

$$\text{即 } \delta P = -0.111 \delta x, \quad \therefore \delta x = -\frac{\delta P}{0.111} = 9 \delta P.$$

故氣壓如生0.1mm之變化，A之浮子起0.9mm之昇降。吉田氏之器械，其槓杆之倍率為12倍，故自記鋼筆尖生 $12 \times 0.9 = 10.8\text{mm}$ 之變化。質言之，即鋼筆尖描10.8mm，以顯氣壓之0.1mm，即約略擴大100倍之自記也。

16. 氣壓計室 安置氣壓計之室，其建築時有注意之必要：因欲室內之溫度，不甚起變化，及日光不直接接觸於器械，故往往僅於北面開窗戶一個，以光線足用為度。又其入口之門亦須成一種特別裝置，使門不能急劇開閉，否則開閉之際，室內之空氣，因膨脹或收縮，其室內氣壓，可與室外相異，而爰以影響氣壓計之示度。又室內之窗若過多，則當風沿窗而吹送時，亦起一種之吸出作用，而使室內外之氣壓相異。

若氣壓計室係現在所流行鐵筋洋灰之建築物，則氣壓計可直接懸於壁上。至於木造家屋，則可置一直立之柱，其下端埋入地中，以之為懸掛氣壓計之用。如室有地板，則直立柱與地板接觸處之周圍，須留約五分寬之空隙，其間嵌入柔軟之綿等，以防地板下之空氣侵入室內；且人在地板上行走時，亦不至振動直立柱。

Richard式自記氣壓計，通例置於堅固之机上，然若於机上敷設橡皮之薄板，而於板上安置自記氣壓計，則更可防地板振動之影響。至Sprung式自記氣壓計，亦係沿壁懸掛，故用螺旋將其函固定於壁，是為必要，俾萬一地震等發生時，不致有轉倒之虞。

懸掛水銀氣壓計，其高恰使水銀柱之上端，與普通直立人之目相並，亦為必要。否則失之過高過低時，對於觀測人之讀度，應發生影響。

## 第四章

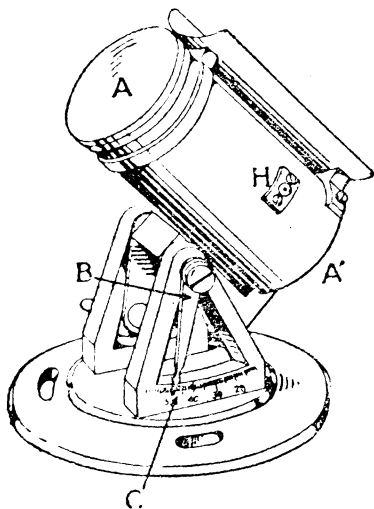
### 日照計

1. 日照計 1838年，英人 T. B. Jordan 始發明現今所稱日照計之器械 (Daylight and sunshine recorder)，其記事揭載於 Cornwall 工藝學會第六期年報 (Sixth annual report of the Royal Cornwall Polytechnic Society)，係金屬之圓筒，附以時計裝置，使在24小時內，可迴轉一周。筒側有小孔，太陽光線，射入於其中之攝影紙上，而該小孔則可恆對太陽；故此器與現今所用之日照計，實不相同。

迨1885年，有與上同名之 James Jordan，發明日照計 (Sunshine recorder) 報告於英國氣象學會，即吾人今日所使用之 Jordan 式日照計。

又1854年頃，J. F. Campbell of Islay 亦發明日照計，揭載於英國氣象學會報，迨 1879年，英國物理學者 G. G. Stokes，更爲之改良，即現今所稱之 Campbell-Stokes 式日照計。

2. Jordan 式日照計 此器械如第一圖所示，AA'爲黃銅製之圓筒，其上



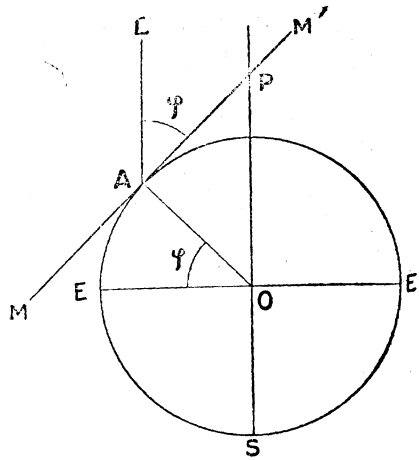
第 1 圖

穿有小孔  $H$ ， $BC$  爲示針，與  $AA'$  圓筒軸成  $45^\circ$  之角。此圓筒之裏面，有與  $H$  相同之小孔  $H'$  (圖上不能見)。此圓筒軸之位置成南北向，而與地軸平行，在午前日光射入於  $H'$  孔；在午後則射入於  $H$  孔；其在正午，則日光同時射進兩孔，並能藉以調整時間。圓筒內貼有攝影感光紙，在日照時間內，可殘留燒跡，至圓筒軸安置在子午面內之法，通例用測星，或其地之磁石偏角法，並且須在真太陽時之正午，日光恰

同時射入兩孔，然後圓筒軸始在子午面內。又圓筒軸之示針，須於事前，使與觀測地點之緯度符合，是為必要。

圓筒軸與地軸平行之理由，其說明可如第二圖所示， $MM'$  為通過觀測點

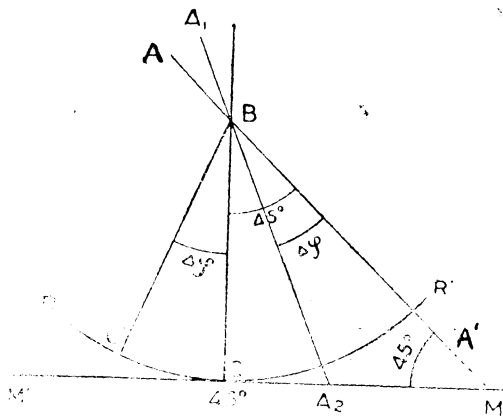
$A$  之水平面， $O$  為地球之中心，直線  $AO$  與赤道面  $OE$  之交角  $EOA$ ，當然為  $A$  點之緯度，命之為  $\varphi$ 。今自  $A$  作直線  $AL$ ，使  $\angle LAM' = \varphi$ ，則  $\angle LAM' = \angle APO$ 。故  $AL$  與地軸  $SOP$  平行，故圓筒之軸與觀測地之水平面成  $\varphi$  交角時，即與地軸平行。次如第三圖， $AA'$  為日照計之圓筒軸， $BC$  為其示針，與  $AA'$  成  $45^\circ$  之固定角。今延長  $AA'$  與  $MM'$  交於  $M''$  則於三角形  $BCM$ ， $\angle CBM$



第 2 圖

$= \angle BMC = 45^\circ$  故刻度弧  $RR'$  之度數，在  $C$  處（即示針垂直於  $MM'$  處）為  $45^\circ$ ，

而  $BA$  線則與  $0^\circ$  相合。且因  $CC'$  全弧之刻度，約為  $70^\circ$ ，故示針  $BC$  之尖端  $C$ ，與  $BA$  成角  $45^\circ$ ，實為必要。



第 3 圖

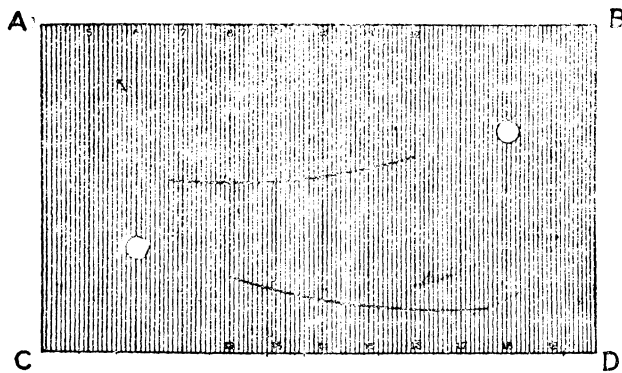
圓筒中所插入之感光紙，刻有時刻線，且塗有攝影用之藥品。通常所用者，係於清水  $100\text{gm}$  中，溶入赤血鹽 (Ferricyanide of Potassium,  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ )  $16\text{gm}$ ，以

之為甲液；又水  $100\text{gm}$  中，溶枸橀酸鐵 Ammonia ( $\text{Citrate of Iron and Ammonia}$ ,  $\text{Fe}_2(\text{NH}_4)_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_3$ )，以為乙液。等量的混合甲乙兩液，而以刷毛均勻  $20\text{gm}$ 。



塗於紙上即得。

至於用紙，則如第四圖所示之 $ABCD$ ，其 $AB$ 之長，恰等於圓筒截面之周

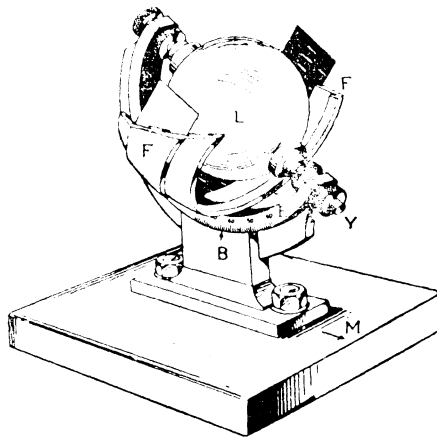


長；而 $AC$ 則比圓筒之長略短，以能納入於圓筒中為度。且將 $AB$ 十二等分之，每分與一時間相當。 $H'$ 孔適正對六時之線上，而 $H$ 孔則正射18時之線上。其日照記像，則成上下二種之

第 4 圖

曲線，以之表現午前午後之日照，其在上者，終於12時線，下者則始於12時線。

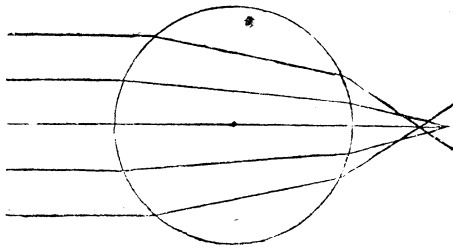
3. Campbell-Stokes式日照計 此器械如五圖所示，其主要部為玻璃球 $L$ 。1921年英國所採用者，球之直徑為3.99英寸乃至4.01英寸，係用Crown玻璃(Crown glass)所製，對於Sodium光之屈折率，約自1.511至1.513；故玻璃球焦



第 5 圖

點距離，約自2.94至2.96英寸，此玻璃球安置於黃銅架 $FF'$ 之內架，為與玻璃

球同心之球形，恰能將日照紙插入。當太陽照於球面時，則第 6 圖所示球之焦點，適在紙上，而遺留燒痕。惟此器上  $M$  矢形線，若與觀測地之南北線相符合



第 6 圖

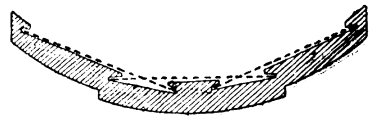
，且於  $E$  之刻度弧上，求其地之緯度，即與  $B$  之矢形相合，則  $XY$  軸可在子午面內，且與地軸平行。由是架之位置，若適當安置之，則太陽光射入之燒痕線，可與紙緣平行，至於架  $FF'$  之切口，其形可如第 7 圖所示，

而其用紙則分為三種：

(1) 長而曲者，用自四月十三日起至八月三十一日止。

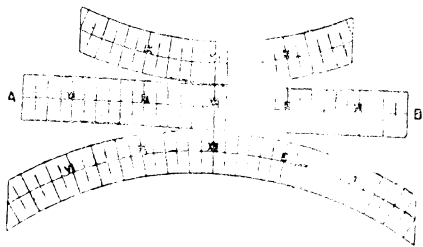
(2) 短而曲者，用自十月十三日起至翌年二月末日止。

(3) 平直形者，用自三月一日至四月十二日，及九月一日至十月十二日止。



第 7 圖

此三種用紙之形，則如第 8 圖所示。又此日照計應具備數多之條件，即



第 8 圖

(1) 此玻璃球之中心，須與球形架之中心相一致。

(2) 當平直形用紙，插入於架中，若假想垂直於含中央綫之紙面，作一平面，則該平面須通過球心，且與天球之赤道面相一致。

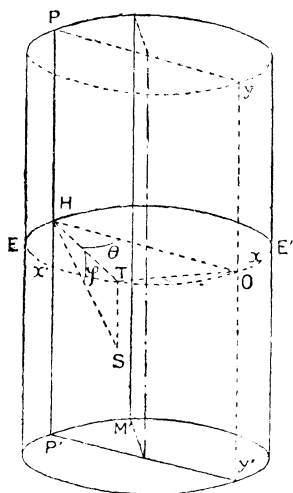
(3) 通過玻璃球，且對稱的貫穿架面之垂直平面，須與子午面相一致。

(4) 對於玻璃球之熱線，其焦點距離 須等於自架之中心至日照紙之距離。但此說尚少留議論之餘地，據英國 E. G. Billan 之實驗，實際上焦點之處，日照紙不生燒痕，自焦點稍向內之距離處，燒跡最為明顯云。

(5) 用平直形用紙之時，自正午起算，須與 $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, \dots$ 之時角相一致。今命架之半徑為 $a$ ，則此用紙之全長為 $2\pi a$ ，以 24 時間除之，得相隣時刻之距離，為

$$\frac{2\pi a}{24} = \frac{\pi a}{12}$$

\* 4. Jordan 式日照計之記像 如第九圖，自小孔 $H$ 作直徑 $HO$ ，遇圓筒於 $O$ ，以之為坐標原點，次通過 $H$ 及圓筒軸作平面，其交線 $OY$ 為 $y$ 軸；在該平面上引 $x$ 軸，與 $y$ 軸成直角。今假想由 $H$ 所射入之光 $HS$ ，與日照紙過於 $S$ ，而 $HS$ 在 $EE'$ 平面上之射影為 $HT$ ，則



第 9 圖

$$HT = HO \cos \theta = 2R \cos \theta \dots \dots \dots (1)$$

但 $R$ 為圓筒之半徑。

設 $HS$ 與 $HT$ 之交角為 $\varphi$ ，又得

$$ST = HT \tan \varphi \dots \dots \dots (2)$$

惟因 $ST$ 為 $S$ 點之縱坐標，故若命 $S$ 之坐標為 $(x, y)$ ，則

$$y = HT \tan \varphi.$$

又因平面 $EE'$ 與赤道面平行，故此處之 $\varphi$ ，即係太陽之赤緯 $\delta$ ，由是得

$$y = 2R \cos \theta \tan \delta \dots \dots \dots (3)$$

式中之 $\theta$ ，係對於弧 $OT$ 之圓周角，等於該弧上之圓心角之半，故以弧度法 (Radian) 表示之，則為

$$\frac{OT}{R} = \frac{\theta}{1}, \quad \theta = \frac{OT}{R} = x/2R,$$

以之代入於(3)，

$$y = 2R \cos\left(\frac{x}{2R}\right) \tan \delta,$$

此即日照計記像之方程式。

依同理對於 $H'$ 孔之光線，亦得同形之方程式。

次求一日中太陽正當 $PP'$ 面之時刻，其在此時， $x=0$ ，且因無論太陽之赤緯爲何，在等時間 $t$ 內，經相等之子午線角(即時角)，故

$$\frac{d\theta}{dt} = k. \quad (k \text{ 爲常數})$$

惟因 $\theta = x/2R$ ，故

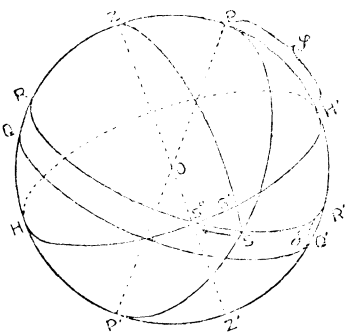
$$\frac{dx}{dt} = 2Rk = k'.$$

設觀測地點之子午面 $MM'$ ，與 $PP'$ 面之交角 $\beta = 60^\circ$ ，則 $60/15 = 4$ ，爲太陽正當 $PP'$ 面之時刻，即以表示正午之前或正午之後之時刻。故若於自記紙上，畫等間隔之平行線，其相隣二線間，適與一時間相當時，即可以求日照之時刻。但此時每一間隔之值，可如次所述：即命太陽通過一間隔爲 $\theta_h$ ，則

$$\theta_h = x_h / 2R, \quad x_h = 2R\theta_h.$$

惟因  $\theta_h = \pi/12$ , 故  $x_h = R\pi/6$ .

5. 可照時 所謂可照時(Possible duration of sunshine)者，即係自日出至日沒之時間數，亦即晝間時數，設觀測地係平原區域，而無山岳丘陵森林及其他障礙物等，妨礙日照，則其日照時數，可由天文學上之計算得之，如第十



第 10 圖

圖， $O$ 爲觀測地點， $Z$ 爲其天頂， $P$ 爲天球之北極， $HH'$ 爲地平圈， $QQ'$ 爲赤道。太陽 $S$ 一日間所行之圈爲 $RR'$ (如矢之方向)，在氣象常用表內，當太陽之中心出現於 $HH'$ 上時，則謂之日出。但實際上當太陽中心在 $H'$ 下 $34'$ 時(因受大氣之屈折作用)，業已現 $HH'$ 上，即圖中之 $SS'$ 與 $34'$ 相當。

\*今命觀測地之緯度爲 $\varphi$ ，太陽之赤緯爲 $\delta$ ，則如十圖所示， $\angle PH' = \varphi$ ， $\angle R'Q' = \delta$ 。又令 $43' = r$ ，則由球面三角形 $ZPS$ ，

$$ZS = \frac{\pi}{2} + r, \quad ZP = \frac{\pi}{2} - \varphi, \quad SP = \frac{\pi}{2} - \delta.$$

又命  $\angle ZPS = t$ , 即天文學上所稱為時角。則由球面三角公式：

$$\cos ZS = \cos ZP \cos PS + \sin ZP \sin PS \cos \angle ZPS,$$

$$\cos \angle ZPS = \frac{\cos ZS - \cos ZP \cos PS}{\sin ZP \sin PS}.$$

惟因  $1 - \cos \angle ZPS = 1 - \cos t = 2 \sin^2 \frac{t}{2}$ ,

由是 
$$\sin \frac{t}{2} = \sqrt{\frac{\sin \frac{1}{2}(90^\circ + r - \varphi + \delta) \sin \frac{1}{2}(90^\circ + r + \varphi - \delta)}{\cos \varphi \cos \delta}}$$

先於航海歷上求  $\delta$ , 然後由此式計算可照時 ( $2t$ )。

\* 數多國家之現行歷, 均以太陽之上緣出地平線時, 以之為日出。且因太陽之視半徑為  $16'$ , 故以  $r = 34' + 16' = 50'$ , 以計算晝間時數。美國之 Smithsonian 協會之氣象常用表 (Smithsonian meteorological table), 則亦以  $r = 50'$ , 至其他則間有不同者。至於接近山岳之土地, 則實際上之可照時, 較上述算式中所算出者, 稍為減少。

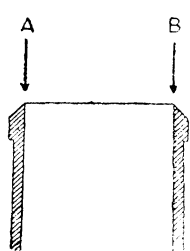
\* 奧國之 V. Conrad, 曾擇水平線不規則且四圍被山環繞之土地, 計算其實際之可照時, 由日照計記像, 且選定絲毫無雲之日, 以之為直角坐標之  $y$  軸,  $x$  軸上則取日之順次數, 其一年間之日數, 得相互之多數點, 連結是種點所得之曲線, 則成實際之水平線之鏡像。氏并於瑞士之 Gargellen, 實施此法, 以定實際之可照時; 同時又用經緯儀測定四周之山高, 以算出可照時, 二者頗相符合云。

6. 日照率 將實測之日照時數, 用可照時數除之, 再以 100 乘之, 其所得數, 稱為日照率 (Percentage of possible duration), 此因各地之可照時, 各因緯度及季節而異, 故用此方法, 比較各地方之日照時, 或比較同一地方季節相異時之日照時, 較有意義。此與用相對溼度討論空氣之乾溼, 其理相同。現時計算日照率所用之可照時, 無論在山岳或平原地, 均依天文學上公式所計算者, 而不使用實際之可照時。

## 第五章

### 雨量計

1. 雨量計 雨量計之種類甚多，東亞測候界所通用者，則如第一圖所示，受水器之緣為刀刃之形，則在A, B部分所落之雨水，不致滲入於器內。通常受

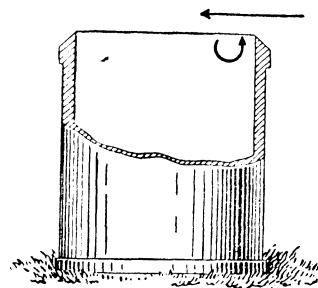


水器為圓筒形，其直徑為2dm，當觀測雨量時，須將受水器置諸草地之旁，斯時雖觀測加以充分注意，但經長年月日後，受水器之口，每起歪之現象，而略成橢圓形。今假定受水器之半徑為 $r$ ，則其受水面積(為圓形時)，應為 $\pi r^2$ 。若變形而成橢圓，其長軸為 $a$ ，短軸為 $b$ 時，則其受水面積成 $ab\pi$ 。

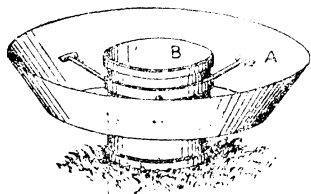
第 1 圖 因現時通常之雨量計， $r=10\text{cm}$ ，故當其為圓形時，受水面積為 $314\text{cm}^2$ ；然當其歪而成橢圓形，其長軸 $a=10.65$ ，短軸 $b=9.39\text{cm}$ 時，則其受水面積成 $310\text{cm}^2$ 。若在此程度之歪，當精測雨量 $0.1\text{mm}$ 之時，固不發生差異，萬一雨量計受水器之變形，較上述者為大，則該器即欲測 $0.1\text{mm}$ 之雨量，亦不可能，故觀測者考查雨量計之受水器，是否起歪，是為必要。

當安置雨量計時，AB之受水面，必與水平面相一致，然安置之後，經過長年月，受水面之位置，亦有起變化而稍傾斜者，此尤當時常注意焉。

在有風時，雨量計內所入之雨水，通例比實際為少，此因如第二圖所示，當風通過矢之方向時，受水器之內側(在矢之附近)，空氣起卷現象；由是向該部分落下之雨滴，可為所妨害，美國學者Nipher氏，因欲避去此影響，於雨量計B之外，側附以盆狀之外圍A(如第三圖)，且A與B在同一水平面上，而B之直徑為2dm，A約為1m，且因A器無底，故其中不留雨水，當風在受水器表面附近吹送時，渦卷生於盆狀器內側A處，而不生於B之內側，由是得以精測雨量，此裝置近來歐美各地均用之，尤其是多強風之海濱地，更有採



第 2 圖



第 3 圖

用之必要焉。

底之A處，其內部之形，略帶圓狀，故該處之刻度距離，比他處為大。

杯之上部，刻有 $D=2D. M.$ 字樣，其左邊之D係表示直徑；右邊之D. M.係Decimeter之略。但在新式之量雨杯，則不刻 $2D. M.$ 而刻 $20cm$ 也。凡量雨杯之刻度，均漸漸注入水後，方着手刻線，故該器之製作，頗不簡易。

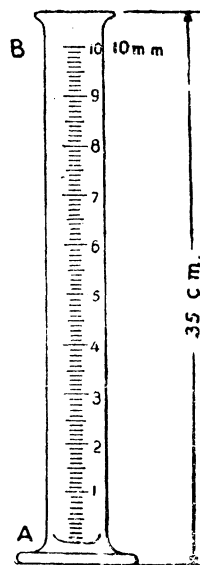
3. 雨量之觀測 觀測雨量時，先取開受水器，次取出儲水瓶，將其內之水，移入量雨杯，以左手之大指第二指及中指，執杯之上部，使杯口成水平，杯內雨水面之最低處，與眼之視線，成水平直線時，然後讀取其刻線所記之數（水在杯內因受有毛管作用於杯壁處稍稍將水引上故刻度以最低處為標準）。

遇強雨時，往往短時間之雨量，非一杯所能容。在此例，可分次注入杯內，然後再求其總和。

4. Hellmann氏自記雨量計 此器為德國氣象學家 G. Hellmann 所發明，其構造如第五圖，R為受水器，Z為儲水筒，筒中浮子F，隨水位之高下而昇降。當水位達於CC'線上，筒中水深適為 $20mm$ ，斯時由虹吸F之作用，將水流盡

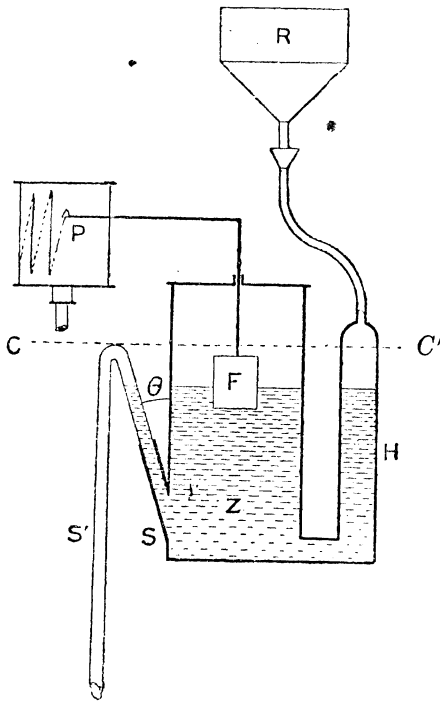
用之必要焉。

2. 量雨杯 量雨杯(Measuring glass)之形，與通常之刻度玻璃杯相似，但刻度線之距離不同，如第四圖，高約 $35cm$ ，直徑約 $40mm$ ，其自下至上之刻度線，至 $10mm$ 止，其中間則每隔 $0.1mm$ 為一線。至於 $0.01mm$ 之讀度，須由觀測者目測決定之，而無 $0.0mm$ 之刻線。又量雨杯之刻度，亦有刻至 $20mm$ 而止，惟其各相鄰之刻度線，其距離往往不相等，此因杯內各處之內徑，不能均一所致。至近



第 4 圖

，而浮子下降。又浮子F上，接以細槓杆，而屈曲一端，附以鋼筆尖，使之於自記紙上，記錄雨量。



第 5 圖

使用該器，有應行注意之點，即虹吸管宜常使之清潔，而後其作用方敏銳。蓋虹吸管之內部，經長時間含有塵芥之雨水出入，易生污垢，故當常用稀薄硝酸或鹽酸滌去其垢，再以清水洗盡其酸，方為適宜。

此器械若使用於嚴寒地帶，則筒 Z 中因極殘留少許之水，故 Z 及 H 之部分，應包以棉或毛布之類，使保持其最小限度之溫度，而不令冰凍。而自記雨量室內，則安置火爐或電燈之類，以防水之凍結。

現今普通所用者，Z 內雨量達 20mm

時，有用電接裝置，而使 F 再恢復元位置者。

至於受水器 R 之直徑，儲水筒 Z 之直徑，及自記倍率三者間，其關係可用次法求之：

今命  $D_1$  = 受水器 R 之直徑， $D_2$  = 調節筒 H 之直徑， $D_3$  = 儲水筒 Z 之直徑， $D_4$  = 虹吸管 S 之直徑， $\theta$  為虹吸管對於鉛直線之傾角， $n$  為自記倍率，則 R 之面積為  $\frac{\pi}{4} D_1^2$ ，當雨水降 1mm 時，P 之鋼筆尖應畫  $n$  mm 之刻度，由是 Z，H，S 三者之水面，應各上昇  $n$  mm 之距離。質言之，當雨水全量注入 R 中，為  $\frac{\pi}{4} D_1^2 \times 1\text{mm}$  時，則 Z 中之水量，為  $\frac{\pi}{4} D_3^2 \times n$  mm，H 中之水量為  $\frac{\pi}{4} D_2^2 \times n$  mm 至於虹吸管中，則如第六圖，管之直截面面積 A 與水面 A' 之關係，為

$$A' \cos \theta = A, \quad \therefore \quad A' = \frac{A}{\cos \theta}.$$



惟因管內水之全量爲 $A' \times n$ ,故

$$\frac{An}{\cos\theta} = \frac{\pi D_4^2 n}{4 \cos\theta},$$

由是得

$$\frac{\pi}{4} D_1^2 = \frac{\pi}{4} D_3^2 n + \frac{\pi}{4} D_2^2 n + \frac{\pi}{4} D_4^2 \frac{n}{\cos\theta}.$$

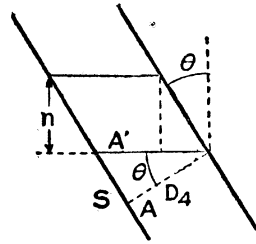
$$\frac{D_1^2}{n} = D_3^2 + D_2^2 + D_4^2 \frac{1}{\cos\theta}.$$

在通例爲 $D_1=200\text{mm}$ ,  $D_2=23\text{mm}$ ,  $D_4=14\text{mm}$ ,

$\theta=20^\circ$ ,  $\cos 20^\circ=0.94$ ,  $n=5$ ,故 $D_3$ 可由次式得之:

$$\frac{1}{5} \times (200)^2 = D_3^2 + (23)^2 + (14)^2 \frac{1}{0.94}$$

$$\sqrt{\frac{(200)^2}{5} - (23)^2 - \frac{(14)^2}{0.94}} = 85.2\text{mm},$$



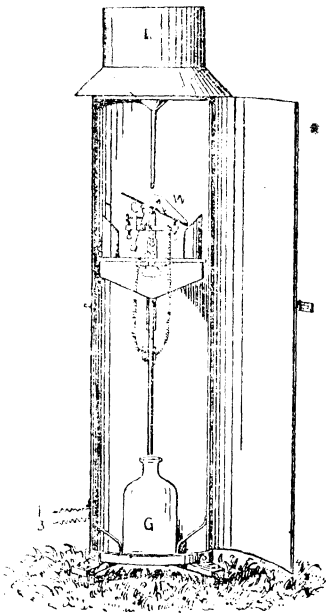
第 6 圖

實際上照此尺寸以作圓筒，非常費工，故現今往往於H之調節筒中，置入直徑4mm長150mm許之玻璃棒八根或九根，以加減Z中之水量。但此亦非良善方法，蓋水當排出時，水可附着於棒，而不能排盡。又棒亦可阻礙水之排出，故現時自記器有不裝置調節筒者。

5. Sprung氏自記雨量計 此器械安置時，自記器與受水器可隔離較遠，而爲自記雨量計中最爲便利之器，係1889年Sprung氏與器械師 Fuess 協力所作成。其受水器如第七圖所示，漏斗管R之足，懸於轉倒器W之上。當降雨之際，雨入W中，迨至注滿時，由雨水之重量，將W向一邊轉倒；於是他一邊之受水器，與R之足相對，以之受雨水，注滿後則亦起轉倒作用。質言之，即W在左右互相轉倒，且每轉倒一次，C之電接裝置，即起電流，而生作用於自記器之電磁石E。

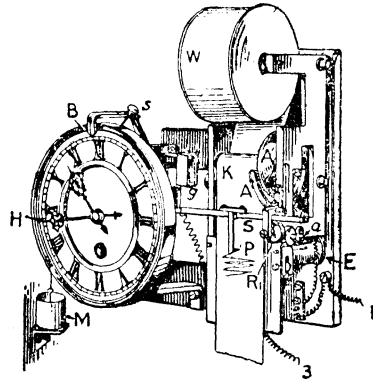
受水器之受水面積爲 $500\text{cm}^2$ ，W上之受器，則雨量每降0.1mm，即轉倒一回。

至自記器械，則如第八圖所示；其內部之機巧，則如第九圖，即 $\gamma$ 爲時針



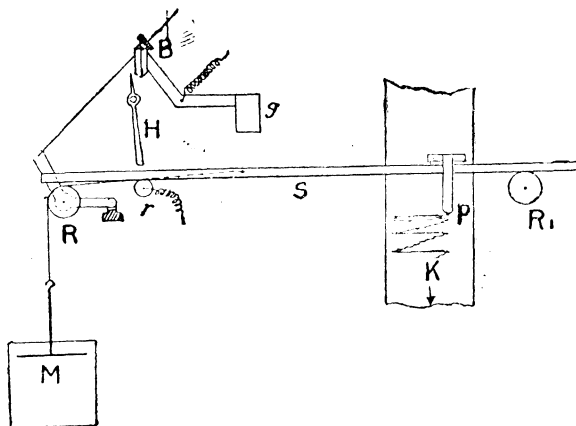
第 7 圖

心棒上所附着之圓筒，橫棒S，則載於圓筒r之上，圓筒與橫棒上均刻有細齒形，而互相嚙接，故當時針迴轉，圓筒即隨之而迴轉，從而橫棒S亦等速的向右水平移動；橫棒S上，載有鋼筆尖F之架，故架亦等速的自左向右，而鋼筆尖遂於自記紙K上，畫水平線。

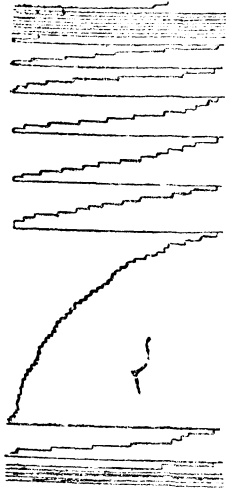


第 8 圖

自記紙捲於圓筒 W' 上，每轉倒器轉倒一次而接電流，使作用於電磁石 E 時，則吸引金屬物 A，使 A' 齒輪迴轉一齒，而自記紙亦下移若干距離。故當連續降雨之際，自記紙上之記象，如第十圖，而成鋸齒形。又每經一小時，時計



第 9 圖



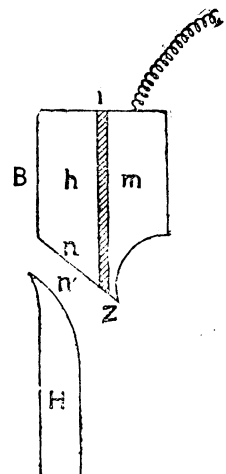
第 10 圖

分針 H 之尖，與電接裝置 B 之左半分相接觸，而將 B 押上，於是橫棒 S 亦向上，與時針之心棒 r 相離，同時由重錘 M 之作用，（如第九圖）橫棒 S 爰自右向左移動，歸復原位置，而鋼筆尖亦於自記紙上自最後之位置，回復最初之位置。但在此時，因 H 與 B 右半分之端接觸，電磁石上之電流復通，於是齒輪 A' 復回轉一齒，而自記紙復下移一次。故當無雨之時，每一小時，畫一平行橫線，且前後時間之橫線，決不相重。惟此處所宜注意者，因自記紙下移一次，而雨量為 0.1mm，故由自記紙讀取雨量，必須減去當橫棒自右向左後自記紙下移一次之相當雨量，是為必要。

次再詳細說明橫棒能回復原位置之機巧，即如第九圖 R 為橫棒 S 之枕，若 H 與 B 相接觸，則連結 R 之金屬線被緊張，而 R 上向；於是 S 由重錘 M 之作用，而歸於原位置。又重錘 g 為減輕 R 及 M 之重量而設，此因使 S 向上，無須用甚大之力故也。牝螺旋 s，則為調節接觸裝置 B 與分針 H 間距離之用。重錘 M 為圓板狀物，入於盛石油類液體之器中；利用圓板狀物，可徐徐升降，苟或不然，則棒 S 急速移動，由其反動之作用，可使 P 躍出，且器械亦易受損。

至 B 之電接裝置，如第十一圖，由 h 及 m 兩種金屬片組合而成，其間夾以 i 之絕緣體，故右片 m 出導線而電接之際，左片 h 不通電流，左片之下端 n 成傾斜形；右片 m 之下部，則具半圓形，而 Z 之尖則比 i 稍形突出。又分針 H 之尖端，則成 n' 之特殊形。

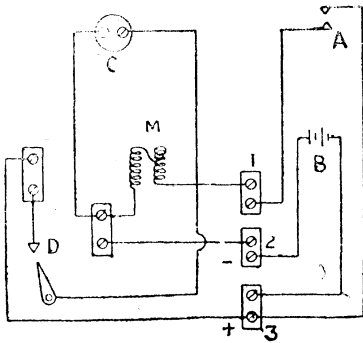
當 n' 與 n 相接觸，即成一種平滑的移動，及至將與 Z 相接觸，斯時 B 約上移 1mm 或 2mm 之距離；從而 R 亦向上移，S 即向左移，而鋼筆尖回復最左之端。在此時 n'



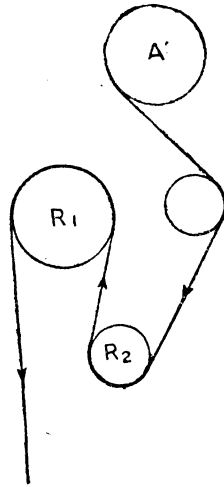
第 11 圖

已與Z接觸而通電流，A' 迴轉一齒，自記紙則下垂其相應之距離，而鋼筆尖在左端零位（自記紙上），亦上升與一齒相應之距離。此後n'即與Z相離，而B回復原位置。且因欲使B之動作敏銳，故用牝螺旋s以調節之。且B之尖端，恆與時計記時盤上12時處相合。

電磁石 E若通電流，即吸引其前之軟鐵板；此軟鐵板上，固定有半月形之操縱機，其兩端各具一爪，一為迎爪，一為送爪，因此爪與捲紙圓筒 A' 端所固定之齒輪相嚙接，故當軟鐵板被吸引，爪即送下一齒，他爪則迎受其次之一齒，而使自記紙下移。



第 12 圖

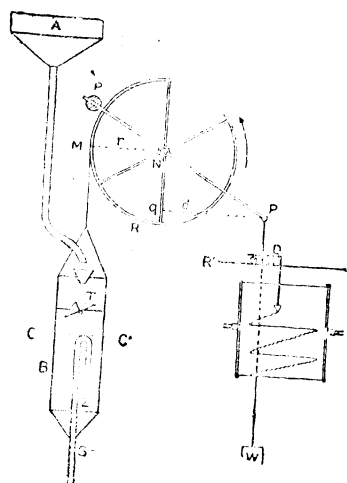


第 13 圖

自記器械之電氣接續，則如第十二圖所示；至於自記紙之捲法，則可第十三圖。紙之一端，捲於A'之前面，經由R<sub>2</sub>，R<sub>1</sub>而下垂，其位置均如圖所示。

Sprung式自記雨量計，其受水器亦不能無缺點，在相當強雨之際，每降雨0.1mm，其受器當然轉倒一次；但若遇微雨時，雨水之落下，幾無加速度，往往受器受至0.1mm以上，尚不轉倒者，此因就理論方面，以論轉倒器之作用，雨水落下時，應有相當之加速焉。

6. Rung式自記雨量計 此器械為丹麥氣象臺員C. Rung氏所製出，甚得良好之品評，其構造如第十四圖，N為刀刃(Knife edge)，刃上載滾車R之心棒



第 14 圖

，滑車上之兩端，則懸重錘  $W$  及瀝水筒  $Z$ 。雨水由受水器通過鉛管，而流入於  $Z$ ，則其重量漸次增加，與重錘恆保持平衡狀態，而漸下降。是時因滑車  $R'$  之旋轉，其固定於  $R$  之  $PP'$  棒，亦依矢之方向而回轉。由是與  $P$  相連續之鋼筆尖臺  $D$ ，在  $R$  上水平的自左向右移動。迨至  $Z$  中之水達  $CC'$  線，則由虹吸管  $S$  之作用，將水全部放出，而鋼筆尖遂復返原位置之零點。通例此器械雨量達至  $5\text{mm}$ ，而復返零點一次。

今命滑車半徑  $NM$  為  $R$ ，其所懸瀝水筒之總量為  $B$ ，則得次式：

$$rB = dW.$$

此處之  $r$  及  $W$ ，為一定不變之量。當  $F$  隨雨量之增加而變化時， $d$  亦隨之而增加，此關係為

$$r\Delta B = W\Delta d, \quad \therefore \Delta d = \frac{r}{W}\Delta B.$$

即鋼筆尖自左向右之移動，與雨量之增加成比例。

此器械在製作上頗為精巧，惟用黃銅製虹吸管，為其最大缺點。蓋黃銅易為雨所污，其清潔之手續，決不能如玻璃管之簡單；故無寧用玻璃管之虹吸，較為得策焉。

因雨量較多時， $B$  之瀝水器增加重量而下降，雨水導管之口，與轉倒器  $T$  距離較遠；從而雨水由  $T$  流下時，勢力增強，於是  $B$  中之虹吸管，亦早起作用，為此器之一缺點，故此裝置亦有改善之必要，即導管之口與  $T$ ，無論何時，能保同一之距離，方為完善也。

7. 強雨計 所謂強雨計者，其目的為測定某時間內降雨之速率，而非用以測該時間內之降雨量，故其名稱，亦未甚妥洽。在日本方面，則有大石和二郎氏，中村精男氏，及本多光太郎氏之製作品；其在歐洲，亦有數種，順述如

次：

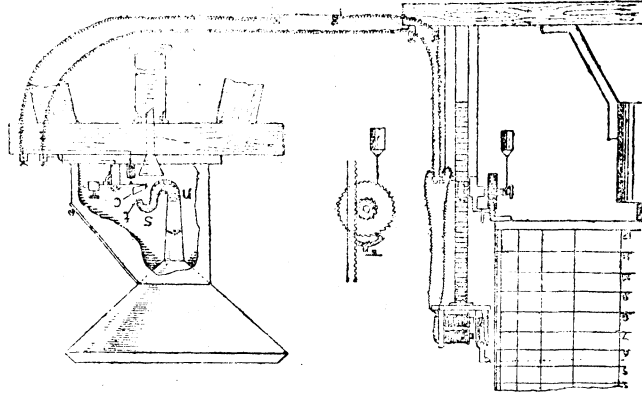
(1) 大石氏強雨計 此器之主要裝置，係雨水流入瀦水管後，復用毛細管放出之。其放出之水速度，與瀦水管內之水位成比例，即降雨量大於放出量時，水位逐漸增高，小於放出量時，水位即逐漸減低。質言之，即瀦水管內水位之變化，與降雨之速度成比例也。惟因此器械以毛細管之作用，為其主體，雨水中所含有之細塵煤烟，以及其他等，往往堵塞毛細管，而妨害其作用，故宜時時用稀鹽酸洗之，是為必要。而中村精男氏則將此器之弧狀的記像，改為直線的記像，則覺尤為完好焉。

(2) 本多氏之強雨計 此器之瀦水槽，非常巨大，且用三角狀之窗，以代前器之毛細管，而使水流出。但此器現今用者甚少，西班牙人 R. Jardi 氏之強雨計，其構造之原理，亦與此同。

(3) Negretti-zambra 式之降雨速度測定器 此器為英國之 Negretti-zambra 公司所製出，特稱為降雨速度測定器 (Rainfall rate recorder)，即於任意之時刻，記錄斜面上所流雨水之重量；此重量由於雨水之流速而生變化，故其結局得以自記雨水降下之速度。即以蛇管為斜面，懸於天秤腕之一端；其腕之他端，則懸重錘而使平衡。且腕端附以鋼筆尖之裝置，因其昇降，而得以記錄於自記圓筒上。

此器之製置，即使雨水由受水器之足，直接流入於蛇管也。

(4) Gallenkamp 式之雨量計 此器於 1905 年為德國人 W. Gallenkamp 氏所製出，在普通之自記雨量計，係求一定時間內所降之雨量，而此器則自記降一定雨量之時間，蓋其目的正相反也。該器之要部，如第十五圖，S 形之管與受水器之足相連續，且 S 中常儲以水，其中之水面，恰與 S 管口  $t$  同高。雨水由受水器流入 S 管後，在  $t$  口成水滴下滴，是為其主要作用。因此器之受水器直徑為 10cm，故雨量降 1mm，適與水之  $7.85\text{cm}^3$  相當；而 S 管口落下一滴，約為  $0.2\text{cm}^3$ ，即一滴之雨量為 0.025mm；而 40 滴之雨量為 1mm。今由 S 管落雨水一滴於轉倒器，同時因轉倒器之轉倒，起水銀電接作用一次，而自記圖筒上，即



第 15 圖

印一點，且自記鋼筆尖，則藉時計裝置，與時間成比例，而自上向下移動；自記時計，則每一分間，回轉 $4\text{cm}$ ，故能於自記紙上，記錄種種之點。

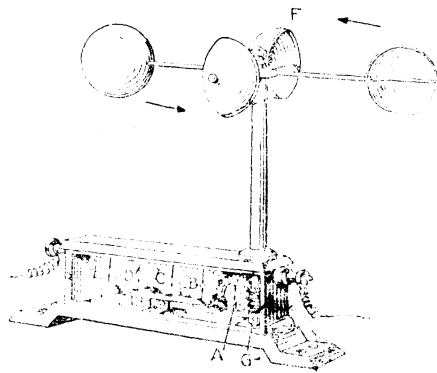
Sprung 氏曾指出該器械改良之點，且說明 Richard 廠所製之 *Arcmo.cine-mograph*，亦有利用之可能，載於彼所著之 *Dar Wetter* 中。

## 第六章

### 風力計

1. Robinson氏之風力計 該器之主要部份，爲十字形腕之端，附以風杯，以之暴露於風中，則起迴轉運動。其理由在現今雖尙難充分判明，大概係風杯凸面與凹面上，所受空氣壓力之差而起，可約略推想及之。惟由於實驗風力計之回轉數，與風之全程(Total course)，其間有一定之關係，故用以爲測驗風速之器械也。

美國測候界，恆有用風杯三個之Robinson氏風力計者。但將其成績比較，



第 1 圖

具 3 風杯之風力計，若風杯之大小及腕之長短，爲適宜之製作時，則反比 4 風杯之風力計爲優。即約略自微弱之風至強烈之風止，其回轉數頗能與風速成比例。設風杯之半徑爲 6.35，杆長爲 16cm，則比例係數與 2.5 相當。

今命一定時間之平均風速爲  $v$ ，風力計之回轉數爲  $n$ ，則二者間係約略可以次式表出之，即

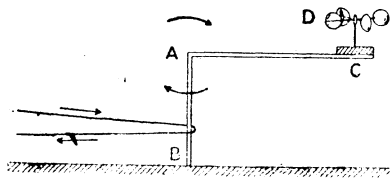
$$v = a + bn + cn^2.$$

式中之  $a$ ，爲恰能回轉風力計之風速；無論風速爲如何，而其值不變。此因風力計中，具有器械之摩擦，及其他原因，必須有打勝是種之力之風速，而後方



能使其回轉也。b 為回轉數與風速度之比例值，亦為常數。青島觀象臺現用之風力計，係日本玉屋商店之出品，當  $n=3$ ，則得  $b=10\text{m/s}$ 。但近來與英國 Cacella 公司所製成標準風力計比較，而施以精密之實驗，發見此值失之過大，即約略以  $0.7 \times b$  代上式之  $b$ ，現在則用此改正數也。c 為補足常數，因由嚴密言之，風速與回轉數不能成比例，故再加入一項耳。

由以上所述，可使用 Camb 氏回轉機 (Camb's rotation apparatus)，以決定



第 2 圖

常數之值，即如第二圖，於地面上直立垂直之 AB 棒，A 端更出橫棒 AC，其 C 端固定風力計，由適宜之裝置，可使 AB 軸以任意之速度而回轉，於是 D 亦與之相應而回轉（此實驗當然須選取無風之日及優良處所行之）。

今命 AC 之長為  $r$ ，則風力計一回轉間，所經之距離為

$$2 \times 3.14 \times r.$$

設在  $t$  時間內，AC 之回轉數為  $n$ ，風力計之速度為  $v$ ，則

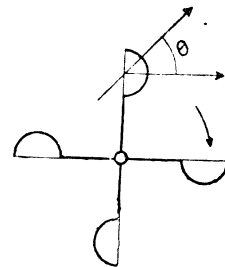
$$v = \frac{2 \times 3.14 \times r \times n}{t}.$$

以風力計之回轉數除上式之右邊，即可求得常數  $b$ 。

\*2. Routh 氏之理論 Robinson 風力計 (Robinson anemometer)，用四半球狀之風杯製成，既如上述。此器械由靜止而起回轉時，其回轉之速，恆保持風壓能率，與抵抗能率之均衡而增加。今如第三圖， $\theta$  為一風杯之運動方向，與風向之交角， $V$  為風速度， $v$  為風杯中心之速度， $v'$  為杯心對於風之關係速度，則如第四圖，知

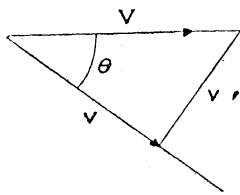
$$v'^2 = v^2 - 2vV\cos\theta + V^2 \dots \dots \dots (1)$$

今在空氣中直線運動之物體，其所受之抵抗，假定與空氣之關係速度之乘方成正比。且因在風力計任意位



第 3 圖

置，風杯之各部與風之關係速度，均不相同。故風之合成壓力，對於風力計軸



第 4 圖

之周圍，其能率之式，可假定為  $V$  與  $v$  之二次式形，

即

$$aV^2 + 2\beta Vv + \gamma v^2 \dots \dots \dots (2)$$

式中之  $a, \beta, \gamma$  為常數，該常數與對於風之風杯位置

有關，即  $\theta$  之函數；由是當風杯回轉時，其值亦隨之

而變。惟因此處所要求者，係其平均之結果，以數式書出之，則為

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (aV^2 + 2\beta Vv + \gamma v^2) b \theta.$$

此式之積分結果，可書如次形：

$$AV^2 + 2BVv + Cv^2$$

又從他方面着想，命風壓對於風力計軸周圍之能率為  $F$ ，則

$$F = AV^2 + 2BVv + Cv^2 \dots \dots \dots (3)$$

此式中  $A, B, C$  之符號，不可不各別決定之。

今設想風力計自靜止位置，而開始動作時，風壓最初之能率為正；迨風杯回轉時，壓力遂開始減少，從而亦  $v$  減小。斯時之  $\frac{\partial F}{\partial v}$  不可不為負。今就 (3) 而施微分計算。

$$\frac{\partial F}{\partial v} = 2BV + 2vC.$$

因  $2BV$  為常數，故若  $\frac{\partial F}{\partial v} < 0$ ，則  $B$  不可不為負；又若風雖停止，而風杯仍動時，則風杯受靜止空氣之抵抗而亦停止，即  $V=0$  時，若  $\frac{\partial F}{\partial v} < 0$ ，則  $C$  亦應為負。由是得

$$F = AV^2 - 2BVv - Cv^2.$$

式中之  $B > 0, C > 0$ ，又風力計之運動，達運動最終狀態 (Final state of motion) 時，則  $F$  與支柱上摩擦之平均能率相等。然在製作條件上，是種摩擦，幾等於零，由是

$$F = 0, \quad \dots \quad AV^2 - 2BVv - Cv^2 = 0$$

$$\text{即} \quad A \left( \frac{V}{v} \right)^2 - 2B \left( \frac{V}{v} \right) - C = 0,$$

今令  $V/v = m$  代入之，而解此二次方程式，且命其二根為  $m_1$  及  $m_2$ ，則

$$m_1 = \frac{B + \sqrt{B^2 + BC}}{A}, \quad m_2 = \frac{B - \sqrt{B^2 + BC}}{A}.$$

$m_2$  明明為負，而  $m_1$  為正，故取其正根，則得

$$m_1 = \frac{V}{v}, \quad \therefore \quad V = m_1 v.$$

$m$  稱為 Robinson 之係數 (Robinson factor)，此僅隨器械之形而變，對於風力計之大小及風速無關係。

Robinson 氏，當時製作此器械時，風杯之直徑為 3 英寸，腕為 5.36 英寸。其大型者，則直徑 = 12 英寸，腕 = 23 英寸，其時之  $m$  均為 3。然其後經種種長之研究，其所得結果，知  $m$  由風杯之直徑及腕長而異；且更隨風速之大小而異，即風速大則  $m$  隨之而小。又依實驗上，由風速所起係數 (即  $m$ ) 之差異，腕與風杯之比愈小，測其差異從而減少。故製作時，若腕減短而風杯增大，較多利益。但風杯過大時，則互相障礙，亦不能無缺點也。

\*3. Thiesen 氏之理論 德人 M. Thiesen，於 1877 年，就 Robinson 風力計，施以理論的研究。此處特為述之如次：

命  $w$  為風速， $v$  為風杯中心之速度， $r$  為風力計之腕長，即風杯中心與軸之距離， $R$  為風杯之曲率半徑， $y$  為風與風杯之合成速度， $\varphi$  為風與風力計腕之交角， $\psi$  為風力計運動時，風與風杯之合成速度與腕之交角；更命  $P = a/w$ ， $P = y/w$ ， $\varepsilon$  為空氣之密度，則順次得次所述之理論：

(a) 先假定當風力計停止時，其合成風壓為  $\varepsilon w^2 R^2 F(\varphi)$ 。但空氣之粘性等，均置諸省略。當風力計迴轉時，風壓與  $\varepsilon w q^2 R^2 F(\psi)$  成比例。但  $F(\varphi)$  及  $F(\psi)$ ，均為未知函數。更設想此種風壓，全作用於風杯之中心，則當風杯迴轉時，其合成偶力為  $\omega w^2 q^2 R^2 F(\psi) r$ 。此偶力各作用於四個風杯時，其量應等

於風力計迴轉之角加速度  $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$  與迴轉軸周圍之慣性能率  $M$  之乘積。惟因

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{r} = \frac{wp}{r},$$

及 
$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{1}{2} \frac{d}{d\varphi} \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{d}{d\varphi} \left( \frac{wp}{r} \right)^2 = \frac{w^2}{r^2} p \frac{dp}{d\varphi}.$$

以  $d\varphi$  乘其兩邊，而作次之等式：

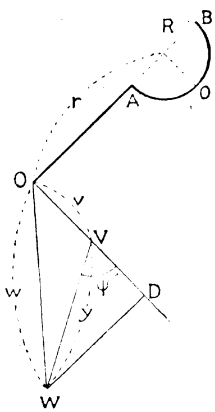
$$M \frac{w}{r^2} p dp = \varepsilon w^2 q^2 R^2 r F(\psi) d\varphi \dots \dots \dots (1)$$

因有四風杯及腕，故(1)之右邊，應有四同形之項。

當  $p$  為週期函數時，且自  $\varphi=0$  至  $\varphi=2\pi$ ，將(1)實施積分運算。若(1)之左項(即加速度)為0，則風力計達定常狀態，即斯時

$$\int_0^{2\pi} q^2 F(\psi) d\varphi = 0 \dots \dots \dots (2)$$

(b) 今假想一迴轉間， $p$  之值為一定不易，此因當腕數較多，慣性能率較



大時，此種假想，可約略與之相近。今如第五圖所示，  
 O 為風力計之軸，OA 為腕，在 O 處 V 之方向，令  $OV=v$ ，  
 風向為  $OW$ ，令  $OW=w$ ， $OV$  與  $OW$  之交角為  $\varphi$ ，則  
 $VW=y$ ，為風對於風杯中心之相對速度，更命  $VD$  與  
 $VW$  之交角為  $\psi$ ，及  $q=y/w$ ， $p=v/w$ ，則由  $OV$  延長線  
 上之  $WD$  垂線，即得  $OV=OD-VD$ ，即

$$w \cos \varphi - y \cos \psi = v,$$

$$y \cos \psi = w \cos \varphi - v.$$

第 5 圖 以  $w$  除之，得

$$\frac{y}{w} \cos \psi = \cos \varphi - \frac{v}{w}, \quad \dots \quad q \cos \psi = \cos \varphi - p \dots \dots \dots (3)$$

又因  $w \sin \varphi = y \sin \psi$  (4)

將(3)，(4)各自乘而邊邊相加，

$$q^2 = 1 - 2p \cos \varphi + p^2, \quad \dots \quad 1 = q^2 + 2p \cos \varphi - p^2 \dots \dots \dots (5)$$

又將(3)與(5)相組合，而消去 $\cos\varphi$ ，

$$1=q^2+2p(q\cos\psi+p)-p^2=q^2+2qp\cos\psi+p^2 \dots\dots\dots (6)$$

而(6)更可書如次：

$$1=q^2+2qp\cos\psi+p^2(\sin^2\psi+\cos^2\psi),$$

$$1-p^2\sin^2\psi=(q+p\cos\psi)^2,$$

$$\sqrt{1-p^2\sin^2\psi}=q+p\cos\psi.$$

故命  $\Delta=\sqrt{1-p^2\sin^2\psi}$ ，則得

$$q=\Delta-p\cos\psi \dots\dots\dots (7)$$

更將(4)施微分計算，

$$dq=\frac{\cos\varphi}{\sin\psi}d\varphi-q\frac{\cos\psi}{\sin\psi}d\psi \dots\dots\dots (8)$$

將(3)微分之，

$$\cos\psi dq-q\sin\psi d\psi=-\sin\varphi d\varphi-dp$$

由(8)・(9)消去 $dq$ ，

$$qd\psi=(\sin\varphi\sin\psi+\cos\varphi\cos\psi)d\varphi+\sin\psi dp \dots\dots\dots (10)$$

由(10)與(3)・(4)兩式消去 $\sin\varphi$ ・ $\cos\varphi$ ，得

$$qd\psi=(q+p\cos\psi)d\varphi+\sin\psi dp=\Delta d\varphi+\sin\psi dp \dots\dots\dots (11)$$

當 $p$ 視為一定不變時，則(11)中 $dp=0$ ，由是得

$$d\varphi=\frac{qd\psi}{\Delta},$$

或

$$d\varphi=\frac{qd\psi}{\sqrt{1-p^2\sin^2\psi}}.$$

故積分式(2)，為

$$\int_0^{2\pi} \frac{q^2 F(\psi) d\psi}{\sqrt{1-p^2\sin^2\psi}}=0$$

今假定函數 $F(\psi)$ ，可用三角級數展開，且因 $F(\psi)=F(-\psi)$ ，可不含正弦之項，即

$$F(\psi)=A_0+A_1\cos\psi+A_2\cos 2\psi+\dots\dots\dots$$

但  $A_0, A, A, \dots$  等爲常數，可由實驗上決定之。由是(2)之結果爲具

$$I_n = \int_0^{2\pi} \frac{q^3 \cos n\psi}{\sqrt{1-p^2 \sin^2 \psi}} d\psi$$

形之積分總和。但

$$q = \sqrt{1-p^2 \sin^2 \psi} - p \cos \psi,$$

即  $p$  及  $\psi$  之函數，今將  $q$  之值代入於上之積分式中，

$$I_n = \int_0^{2\pi} \cos n\psi \left( 1 + p^2 + 2p^2 \cos 2\psi - p \cos \psi \times \frac{3-p^2+2p^2 \cos 2\psi}{\sqrt{1-p^2 \sin^2 \psi}} \right) d\psi.$$

今命

$$I_n' = \int_0^{2\pi} \frac{\cos n\psi}{\sqrt{1-p^2 \sin^2 \psi}} d\psi,$$

則當  $n$  爲奇數時， $I_n' = 0$ ；當  $n$  爲偶數時， $I_n$  除  $I_0$  及  $I_2$  外，其餘均等於 0。故當  $n$  爲奇數之時，

$$I_n = -\frac{p}{2} \{ q^2 (I'_{n+3} + I'_{n-3}) + 3 (I'_{n+1} + I'_{n-1}) \}.$$

$I_n$  當然可用  $p^2$  之乘冪級數之展開式表出之，故令  $p^2 = 4a^2$ ，則

$$\frac{1}{2\pi} I_0' = 1 + a + \frac{9}{4} a^4 + \frac{50}{8} a^6 + \frac{245}{16} a^8 + \frac{1134}{32} a^{10} + \dots$$

$$-\frac{1}{2\pi} I_2' = \frac{1}{2} a^2 + \frac{12}{8} a^4 + \frac{75}{16} a^6 + \frac{392}{32} a^8 + \frac{1890}{64} a^{10} + \dots$$

$$\frac{1}{2\pi} I_4' = \frac{3}{8} a^4 + \frac{30}{16} a^6 + \frac{196}{32} a^8 + \frac{1080}{64} a^{10} + \dots$$

$$-\frac{1}{2\pi} I_6' = \frac{5}{16} a^6 + \frac{56}{32} a^8 + \frac{405}{64} a^{10} + \dots$$

$$\frac{1}{2\pi} I_8' = \frac{7}{32} a^8 + \frac{90}{64} a^{10} + \dots,$$

$$-\frac{1}{2\pi} I_{10}' = \frac{9}{64} a^{10} + \dots$$

由是得

$$\frac{1}{2\pi} I_0 = 1 + 4a^2,$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi} I_2 &= 4a^2, \\ \frac{1}{2\pi} I_1 &= -3a - \frac{3}{2}a^3 - \frac{2}{8}a^5 - \frac{3}{16}a^7 + \frac{66}{32}a^9 + \frac{434}{64}a^{11} + \dots, \\ -\frac{1}{2\pi} I_3 &= \frac{5}{2}a^3 + \frac{5}{8}a^5 + \frac{9}{16}a^7 + \frac{172}{32}a^9 + \frac{1042}{64}a^{11} + \dots, \\ \frac{1}{2\pi} I_5 &= \frac{7}{8}a^5 + \frac{21}{16}a^7 + \frac{180}{32}a^9 + \frac{1055}{64}a^{11} + \dots \\ -\frac{1}{2\pi} I_7 &= \frac{9}{16}a^7 + \frac{93}{32}a^9 + \frac{623}{64}a^{11} + \dots \\ \frac{1}{2\pi} I_9 &= \frac{19}{32}a^9 + \frac{205}{64}a^{11} + \dots, \\ -\frac{1}{2\pi} I_{11} &= \frac{29}{64}a^{11} + \dots \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

由實驗上  $a$  幾等於  $1/6$ ，故將  $a$  之三乘以上項省略之，亦無甚大差。由是得

$$O = A_0 - 3aA_1 + 4a^2(A_0 + A_2) - \frac{1}{2}a^3(3A_1 + 5A_3) + \dots$$

$A_0, A_1, A_2, \dots$  等，若由實驗求得，即可以計算  $a$ 。故  $p$  在實際上若一定不易，則因  $p = 2a$ ，即  $v/w = 2a$ ，即能求出矣。

(c) 以上所述，係加入種種之假定，其所求之結果，為一種之近似值。故就嚴格言之，尚須加入幾多之補正，是為必要。此處更將重要之一種補正，述之如次：

今假想  $p$  非一定不易，而係一種之週期函數，且由方程式(1)，令

$$\varepsilon r^3 R^2 / M = \alpha,$$

則得 
$$p dp = \alpha q^2 F(\psi) d\psi.$$

更設想  $p$  可由  $a$  之乘冪級數展開之，若取至第一乘冪而止，則其形為

$$p = 2a + \alpha p_1.$$

但  $2a$  為既經求出之近似值，由是  $dp = \alpha dp_1$ ，代入於前式中，且以  $2a$  代  $p$  之近似值，

$$2adp_1 = q^2 F(\psi) d\varphi.$$

此式左邊之 $p_1$ ，可用Fourier級數(即三角級數)，即 $\varphi$ 之餘弦與正弦之級數表示之；次於左右兩邊，各用 $\cos n\varphi$ 及 $\sin n\varphi$ 乘之，自 $\varphi=0$ 至 $\varphi=\pi$ ，而施積分，則可求得 $p_1$ 之各項係數。惟其右邊為 $F(\psi)$ ，不可不用

$$d\varphi = \frac{p}{\Delta} d\psi$$

之關係代入之。

又因 $\cos n\varphi$ 及 $\sin n\varphi$ ，不可不用含 $\cos n\psi$ 及 $\sin n\psi$ 表示，故由(3)與(4)式，

$$q \cos \psi = \cos \varphi - p, \quad q \sin \psi = \sin \varphi,$$

故 
$$e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi = q \cos \psi + p + i q \sin \psi = q e^{i\psi} + p$$

由是 
$$e^{in\varphi} = (q e^{i\psi} + p)^n = \cos n\varphi + i \sin n\varphi.$$

即得 
$$\cos n\varphi = q^n \cos n\psi + n p q^{n-1} \cos(n-1)\psi + \dots + p^n,$$

$$\sin n\varphi = q^n \sin n\psi + n p q^{n-1} \sin(n-1)\psi + \dots + p^{n-1} q \sin \psi.$$

惟因 $\frac{q^3 F(\psi)}{\Delta}$ 之展開式，僅含餘弦之項，故 $\frac{dp_1}{d\varphi}$ 之展開式，當然僅含有 $\varphi$ 之正弦各項。在Robinson風力計之一般之例，其腕數為 $n$ ，其鄰接兩腕之角距離為等間隔時，則 $p_1$ 之展開，僅含有 $n\varphi$ 倍數之sine各項，從而在四風杯之風力計，為

$$p_1 = p_{1,4} \sin 4\varphi + p_{1,8} \sin 8\varphi + \dots$$

$$4ap_{1,4} = \frac{4}{2\pi} \int_0^{2\pi} q^2 F(\psi) \cos 4\varphi d\varphi,$$

$$8ap_{1,8} = \frac{4}{2\pi} \int_0^{2\pi} q^2 F(\psi) \cos 8\varphi d\varphi,$$

.....

如欲求此積分之值，可依前之論法，將 $\frac{q^3 \cos n\varphi}{\Delta}$ 用 $a$ 之升冪級數展開之，其結果得

$$\begin{aligned} \frac{q^3 \cos n\varphi}{\Delta} = & \cos n\psi + a \{ (n-3) \cos(n-1)\psi - (n+3) \cos(n+1)\psi \} \\ & + a^2 \left\{ \frac{(n-2)(n-4)}{1.2} \cos(n-2)\psi - 2 \frac{(n+2)(n-2)}{1.2} \cos n\psi \right. \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 & + \frac{(n+4)(n+2)}{1.2} \cos(n+2)\psi \} \\
 & + a^3 \left\{ \frac{(n-1)(n-3)(n-5)}{1.2.3} \cos(n-3)\psi \right. \\
 & - 3 \frac{(n+1)(n-1)(n-3)}{1.2.3} \cos(n-1)\psi \\
 & + 3 \frac{(n+3)(n+1)(n-1)}{1.2.3} \cos(n+1)\psi \\
 & \left. - 3 \frac{(n+5)(n+3)(n+1)}{1.2.3} \cos(n+3)\psi \right\} \\
 & + a^4 \left\{ \frac{n(n-2)(n-4)(n-6)}{1.2.3.4} \cos(n-4)\psi \right. \\
 & - 4 \frac{n^2(n-2)(n-4)}{1.2.3.4} \cos(n-2)\psi + 6 \frac{n^2(n-4)}{1.2.2.4} \cos n\psi \\
 & - 4 \frac{n^2(n+2)(n-4)}{1.2.3.4} \cos(n+2)\psi \\
 & \left. + \frac{n(n+2)(n+4)(n+6)}{1.2.3.5} \cos(n+4)\psi \right\} \\
 & + \dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

用此展開式，而施前式之計算，則得

$$\begin{aligned}
 4p_{1,4} &= \frac{2}{a} A_4 + 2(A_3 - 7A_5) + 24a(2A_6 - A_4) \\
 &\quad - a^2(A_1 + 15A_3 - 105A_5 + 105A_7 + \dots\dots\dots), \\
 8p_{1,8} &= \frac{2}{a} A_8 + 2(5A_7 - 11A_9) + 24a(A_6 - 5A_8 + 5A_{10}) + \dots \\
 16p_{1,16} &= \frac{2}{a} A_{16} + 2(9A_{11} - 15A_{13} + \dots\dots\dots) \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

今命風杯回轉之平均速度與風速之比為  $\bar{p}$ ，風力計回轉之時間為  $T$ ，則

因

$$\bar{p} = \frac{2\pi r}{T w}, \quad T = \int_0^T dt = \frac{r}{w} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{p},$$

$$\bar{p} = \frac{2\pi}{\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{p}}$$

其在四風杯之風力計，當

$$p = 2a + \alpha(p_{1,4}\sin 4\varphi + p_{1,8}\sin 8\varphi + \dots)$$

時，則可將 $1/p$ 用二項法展開之，而省略 $\alpha$ 之高次項，則其積分之結果，為

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{p} = \frac{2\pi}{2a} \left\{ 1 + \frac{\alpha^2}{8a^2} (p_{1,4}^2 + p_{1,8}^2 + \dots) \right\}$$

由是 
$$\bar{p} = 2a \left\{ 1 - \frac{\alpha^2}{8a^2} (p_{1,4}^2 + p_{1,8}^2 + \dots) \right\}$$

故若 $p$ 非一定不易，而 $e$ 為常數時，應加入

$$\bar{p} = p(1 - \alpha^2 e) \quad \left( \alpha = \frac{\varepsilon r^3 p^2}{M} \right)$$

之補正，且知 $\bar{p}$ 由 $\alpha$ 之增大而減少，即風力計之回轉能率愈小，而 $\bar{p}$ 愈為減少也。

\*4. Chree 之理論 在1895年時，英國Kew氣象臺長 C. Chree，曾用與上所述相異之見地，闡發 Robinson 風力計之理論，本節為之介紹如次：

命 $v$ 為風杯中心之速度， $V$ 為風速， $l$ 為風杯之腕長， $u$ 為風與風杯之合速度， $\theta$ 為風向與風杯腕法線（向風杯腕所引之法線）之交角， $\psi$ 為當風力計迴轉時，風及風杯之合成速度（即 $u$ ），與風杯腕法線之交角， $R$ 為風杯之半徑， $\rho$ 為空氣之密度。

(a) 作用於風力計之偶力有三：即 (i) 由風壓所起之偶力 $\rho u^2 R^2 f(\psi)$ ，但 $f(\psi)$ 為 $R, \frac{R}{l}$ 及 $\frac{v}{V}$ 等之函數；(ii) 風杯當迴轉時，由其反對方向之摩擦作用所起之偶力，其形為 $-\beta + \gamma u^2$ ；但 $\gamma$ 為 $R, \frac{R}{l}, \frac{v}{V}$ 等之函數， $\beta$ 則與 $\gamma$ 相異，為與迴轉者之質量成比例；(iii) 基因於風之粘性者，其方向亦與風杯回轉之方向相反，其形為 $-(KV + K'v)$ 。

在風杯一回轉間，設假定 $v$ 及 $V$ 均係一定不變，則約略能與事實相近。從而在各時刻，其使風杯回轉之力，可以用一回轉間之平均值表示之。於是其運動方程式，為

$$\frac{dv}{dt} = l \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{2\pi I} \int_0^{2\pi} \{ \rho u^2 R^2 l^2 f[\psi] - l[\beta + \gamma u^2] - l[KV + K'v] \} d\theta.$$

但  $I$  為風力計之慣性能率。

設  $f[\psi]$  及  $\gamma$  均能用  $v/V$  之乘冪級數展開，則上式得如次形：

$$\frac{dv}{dt} = -a_0 - a_1 v - b_1 V + V^2 \left\{ c_2 - 2b_2 \frac{v}{V} - a_2 \left( \frac{v}{V} \right)^2 - c_3 \left( \frac{v}{V} \right)^3 \dots \dots \dots \right\}.$$

但  $a_0, a_1, \dots$  為與  $V, v$  無關係之量，此式右邊之級數，若非  $v < V$  則不能收斂，用是在上記之式，其最簡單之形，為

$$\frac{dv}{dt} = -a_0 - a_1 v - b_1 V - a_2 v^2 - 2b_2 v V + c_2 V^2 \dots \dots \dots (1)$$

此式中  $-a_0$  係表示摩擦，今假定恰能打勝此摩擦，而使風力計起運動時，其風速為  $V_0$ ，則於(1)式，令  $v=0, \frac{dv}{dt}=0$ ，即得

$$c_2 V_0^2 - b_1 V_0 = 0, \therefore V_0 = \frac{b_1}{2c_2} + \frac{\sqrt{b_1^2 + a_0 c_2}}{2c_2} \dots \dots \dots (2)$$

由是知風速  $V$  若比  $V_0$  為小，即不能迴轉風力計。

(1) 風常定帶狀態時，則因  $dv/dt=0$ ，於是(1)式如次：

$$a_0 + a_1 v + b_1 V + a_2 v^2 + 2b_2 v V - c_2 V^2 = 0 \dots \dots \dots (3)$$

當風增強時， $v$  亦相當增強，此式約略可書如次：

$$c_2 \left( \frac{V}{v} \right)^2 - 2b_2 \left( \frac{V}{v} \right) - a_2 = 0 \dots \dots \dots (4)$$

由實驗對於  $V$  之任意值，因具定常狀態，故  $\frac{V}{v}$  不能不為正根，因知風當增強時， $V/v$  之比，約略為一定。

風力當較弱時，則因  $-a_0 - a_1 v - b_1 V$ ，不能置諸省略，從而  $\frac{V}{v}$  之比，不能視為定數。

(2) 風速隨時間變化之例 就此例以求一般之理論，其困難自不待言，此處僅就其特別之例，說明如次：

先假定風速適合於次之條件式：

$$V = \bar{V} [1 + \lambda \cos pt] \dots \dots \dots (5)$$

但 $\lambda$ 爲甚小之量， $\bar{V}$ 爲風杯一回轉時間(即 $2\pi/p$ 之時間)之風速平均值，故 $V$ 之最大值爲 $\bar{V}(1+\lambda)$ ，最小值爲 $\bar{V}(1-\lambda)$ 。今將(5)代入於(1)式中後，而省略含 $\lambda^2$ 之項，則方程式(1)之解，可如次形：

$$v = \bar{v} \{ 1 + \nu \cos(p\bar{t} - \sigma) \} \dots \dots \dots (6)$$

但 $\bar{v}$ ， $\sigma$ ， $\nu$ 滿足列次各式：

$$a_0 + a_1 \bar{v} + b_1 \bar{V} + a_2 \bar{v}^2 + 2b_2 \bar{v} \bar{V} - c_2 \bar{V}^2 = 0 \dots \dots \dots (7)$$

$$\sigma = \tan^{-1} \frac{p}{a_1 + 2a_2 \bar{v} + 2b_2 \bar{V}} \dots \dots \dots (8)$$

$$\nu = \lambda \frac{\bar{V}}{\bar{v}} \frac{2c_2 \bar{V} - 2b_2 \bar{v} - b_1}{\sqrt{p^2 + (2b_2 \bar{V} + 2a_2 \bar{v} + a_1)^2}} \dots \dots \dots (9)$$

由(6)式觀之，知風杯之速度，含有 $\bar{v}$ 之平均值。其變化週期，與風速相同，亦爲 $2\pi/p$ ，僅其位相有差異耳。

由(7)式，知在定常狀態，而風速爲 $\bar{V}$ ，則風杯之速度爲 $\bar{v}$ 。故在比 $2\pi/p$ 較大之時間中，其風經過之全程，本例與定常狀態時相同，可由 $\int v dt$ 求得之。

更由(8)，(9)兩式，於風杯速度 $v$ 之週期的變化項中，知其振幅與位相，關係於風速週期的變化之週期，及風速之平均值。

風速之變化爲週期的，但週波數(Frequency)  $p/2\pi$ 甚小，而平均風速 $\bar{V}$ 較大時，則約略爲

$$\sigma = 0, \quad \nu = \lambda \frac{\bar{V}}{\bar{v}} \cdot \frac{c \bar{V} - b \bar{v}}{b_2 \bar{V} + a_2 \bar{v}}.$$

即風杯亦週期的運動。與風速爲週同期。且其大小之數值位數，亦約略相同。又 $\bar{V}/\bar{v}$ 若不由 $\bar{V}$ 而生變化，而約略一定，則 $\nu/\lambda$ 亦約略一定。

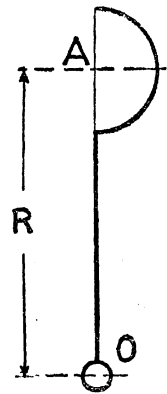
若風速之週波數 $p/2\pi$ ，其值較大，而平均風速較小，則 $\sigma$ 接近於 $\pi/2$ ，而 $\nu$ 之值可甚小。故當風杯回轉甚速時，而風速可既已減小，而達於平均風速。又風杯速率之變化，雖與風速之變化成比例，但大致就其較小時而言也。由此知Robinson式之風力計，其風杯在風速中，雖所表示者實際上爲較小之變化，然其表示風之全程，可不生甚大之誤差。

以上所論述者，僅用  $V = \bar{V}(1 + \lambda \cos pt)$  所表示之式以論風速，而推究其單一週期  $2\pi/p$  之變化，至於其他週期：例如有其  $\frac{1}{2}$ ， $\frac{1}{3}$ ， $\frac{1}{4}$  ………等之週期時，則因適用同樣之論述，故其結局，亦適用於是等之合成。因此知風速之變化，若視為種種週波數之週期變化之合成，則可用同一之方法，討論之也明甚。彼微風計，即 Airmeter 之理論，雖由 E. Ower 所提出，而此處所述者，大體與之相似，但未能詳說耳。

5. Stow 氏之實驗成績 如第六圖，命風杯中心 A 與軸 O 之距離為 R，風杯在單位時間內，其迴轉數為 n，風杯中心之迴轉速度為 v，風速為 V。然則由 Robinson 原來所想定，為

$$v = 2R\pi n, \quad V = 3v = 6R\pi n.$$

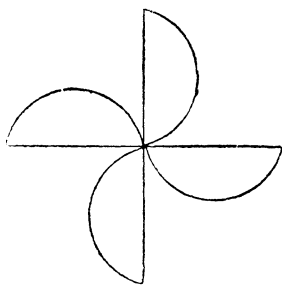
此為 Robinson 之係數，業經長年月之採用。然英國 F. Stow 於 1870 年及 1872 年，最先創議此係數，不能滿足此器。氏曾於該國之 Hawsker 庭中，用九個異尺寸之風力計，且同時以 Kew 氣象臺型之器為準器，而施行比較的試驗。各風力計均安置於



第 6 圖

木柱之頂上，其各柱之距離為 20 Yard。其試驗之結果，當風微弱時，各風力計所示之風速，均相一致。至風力較強時，則各風力計之風速，均比準器為小。若風力非常強烈，當準器上每小時達 30 哩，各風力計內尚有不及 17 哩者。此

即證明 Robinson 之係數，對於種種之風力計，不能一律焉。



第 7 圖

Stow 氏又言若製作如第七圖所示之風力計，當較完善云。

此處更將 Stow 氏所得之結果，表示如次；并將氏所使用之風力計列如下表：

風力計	型 式	風杯直徑	腕 長
A	Kew 氣象臺型準器	22.86	60.96
B	Casella 製作	7.62	17.02

C	Negretti and Zambra製作	9.40	17.02
D	Adie型短腕式	10.16	10.16
E	Adie型長腕式	10.16	22.86
F	Adie型長腕大杯式	11.68	28.45
G	Adie型	10.16	14.22

上式中風杯直徑及腕長，均以cm為單位。

(I)				(III)			
平均 風速	全風程		比 B:A	平均 風速	全風程		比 D:A
	A	B			A	D	
3.0	24	20	0.833	11.0	320	260	0.813
7.4	280	223	0.796	13.5	81	66	0.815
11.0	320	255	0.797	16.0	272	210	0.772
12.9	490	371	0.757	20.2	829	600	0.724
16.2	406	308	0.759	24.0	336	241	0.717
20.2	829	652	0.786	30.9	216	149	0.690
24.0	336	260	0.774	34.8	139	86	0.619
26.2	420	327	0.778				
28.0	126	97	0.770				
30.3	364	287	0.788				
32.7	180	139	0.772				
34.8	139	106	0.762				
(II)				(IV)			
平均 風速	全風程		比 C:A	平均 風速	全風程		比 E:A
	A	C			A	E	
3.0	24	25	1.041	7.2	118	101	0.856
4.1	58	63	1.086	8.6	66	53	0.803
5.8	75	70	0.933	10.1	163	131	0.804
7.4	311	270	0.868	12.7	369	301	0.816
11.5	1077	874	0.811	16.3	802	644	0.803
14.0	1136	921	0.811	19.0	1123	899	0.800
16.7	502	394	0.785	21.8	262	210	0.801
20.2	829	641	0.773	23.0	268	216	0.806
24.3	877	689	0.786	24.7	371	302	0.815
26.0	780	591	0.758	31.0	96	77	0.802
28.1	352	266	0.756	40.3	141	116	0.822
30.3	364	280	0.769				
32.7	180	135	0.750				
34.8	139	104	0.748				
(V)				(V)			
平均 風速	全風程		比 F:A	平均 風速	全風程		比 F:A
	A	F			A	F	
9.0	664	608	0.915	9.0	664	608	0.915
13.2	385	344	0.893	13.2	385	344	0.893
15.7	1054	894	0.848	15.7	1054	894	0.848
18.4	1694	1440	0.850	18.4	1694	1440	0.850

平均 風速	(VI)		比 G:A
	全風程 A G		
4.1	58	65	1.120
6.4	246	210	0.854
7.1	186	160	0.860
7.9	189	162	0.857
9.4	478	401	0.837
11.2	118	99	0.838
13.3	241	200	0.830
14.2	1024	832	0.812
15.4	592	482	0.814
17.8	1091	905	0.829
23.2	1043	849	0.814
24.6	541	432	0.799
27.5	165	126	0.764
29.6	148	111	0.750

以上之諸表中，其平均風速，則由準器A所測定，以一時間內之哩(Mile)為單位。其全風程為二風力計在觀測時間內之哩數(但假定Robnson之係數為3)。

C. Abbe氏曾用 $V=a+bv$ 之式，從上記之實驗結果，以決定常數 $a$ 及 $b$ 如次表：

風力計	風杯直徑	腕長	b	
A	9.0	24.0	1.50	2.40
B	3.0	6.7	1.65	3.07
C	3.7	6.7	0.14	3.33
D	4.0	4.0	0.00	3.53
E	4.0	9.0	0.58	3.10
F	4.6	11.2	0.18	3.08
G	4.0	5.6	0.30	3.25

表中之風杯直徑及腕長，均以英寸為單位，觀於此表，知風力計中B，E，F對於風杯之比較，其腕較長，其係數約略近於3；至C，D，G則腕較短，而其係數則大於3(最小者為3.25)，故由此結果，知腕過短時，則其風杯或能防害他風杯之作用，亦未可知焉。

\*6. Jeffery及Whipple兩氏之實驗成績 1872年，英人R.H.Scott氏，曾囑託Kew氣象臺長Samuel Jeffery及其技師G. M. Whipple兩氏，用回轉機檢定各種風力計，而支給其經費。氏等遂於Kew氣象臺近傍公園內之曠場，始實施實驗，但未獲良好之結果，其後更於倫敦市之水晶宮(Crystal Palace)中，藉蒸氣機關，應用回轉游動車(Merry-go-round)再為同樣之實驗，但此實驗成績，當時並未發表。迨1882年，英國物理學大家亦用回轉機，實驗Kew風力計時，Scott氏始言此種實驗，前人已行之者，同時並交付關於Jeffery及Whipple實驗書類一件，於是Scott教授，爰調查其成績，為之公佈於世，

該實驗成績，基於次之理論：

命回轉器上之風力計，即其軸之線速度為  $V$ ，風速為  $W$ ，風力計之運動方向與風向間之交角為  $\theta$ ，則風力計對於風之比較速度  $V'$ ，為

$$V' = \sqrt{V^2 - 2VW\cos\theta + W^2} \dots\dots\dots (1)$$

若風力計之慣性能率甚小，則在各瞬時間，風力計可視為由於其時之比較速度而運動，亦無不可。由是可設想回轉器在一回轉間，其風杯回轉之平均速度，與風力計及空氣之平均比較速度相應。在實際上  $W$  比  $V$  為小，故(1)可書如次：

$$\begin{aligned} V' &= V \left\{ 1 - 2\left(\frac{W}{V}\right)\cos\theta + \left(\frac{W}{V}\right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \\ &= V \left\{ 1 - \frac{W}{V} \left( 2\cos\theta - \frac{W}{V} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \\ &= V \left\{ 1 - \frac{W}{V} \cos\theta + \frac{1}{2} \left(\frac{W}{V}\right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{W}{V}\right)^2 \cos\theta - \dots\dots\dots \right\}, \end{aligned}$$

其一回轉之平均值，則為

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V' d\theta.$$

此展開式中，省去四乘幕以上之項，則其平均為  $V + \frac{W^2}{4V}$ 。故用風力計所測定之速度，其中加入  $\frac{W^2}{4V}$ ，則能得真正之速度。

若風力計之回轉能率較大，則在回轉器一回轉時間，風力計回轉之速，幾成一定不易。今風力計對於空氣之速為  $V'$ ，風杯中心之速度為  $v$ ，風力計之回轉，由於能率  $F$  之力，而受抵抗，其  $F$  由Robinson之研究，為

$$F = AV'^2 - 2BvV' - Cv^2.$$

但此式中未將摩擦算入，如欲一并算入摩擦，則須使用實際動力 (Effective moving force) 之能率，而不能採用  $F$ ，且由Robinson氏之說，於實驗上  $F$  之式，其右邊之最後項，即置諸省略，亦能得良好之結果，故可令

$$F = AV'^2 - 2BvV' \dots\dots\dots (2)$$

但 
$$V' = \sqrt{V^2 - 2VW\cos\theta + W^2}.$$



回轉機雖經幾次回轉，而風力計不發生加速度時，則其間實際上動力之能率，不可不等於0，即 $F=0$ 。故於(2)之兩邊，求其一回轉中之平均值，得

$$0=A(V^2+W^2) - 2Bv\left(V + \frac{W^2}{4V}\right) \dots\dots\dots (3)$$

設空氣對於風力計之速度為 $u$ ，而為等速的，則亦可視為風力計以 $u$ 之速度回轉，於是(3)式，

$$0=Au^2 - 2Bvu \dots\dots\dots (4)$$

由(3)及(4)消去 $Bv:A$ ，得

$$u\left(V + \frac{W^2}{4V}\right) = V^2 + W^2.$$

此實驗中所使用風力計之大小，則如次表：

型	風杯直徑 (英寸)	腕長 (英寸)	回轉機腕長 (英尺)
Kew	9.0	24.0	23.3
Adie	2.5	6.7	20.7
其他	3.3	4.15	19.1

此實驗之結果中，Kew 氣象臺型之器，其係數為 2.5；他二器則約略等於 3。

7. Dohrandt 之實驗成績 俄國中央氣象臺之 Dohrandt 氏，就次之公式

$$F = \frac{a}{v} + b.$$

將諸家所作種種之風力計，用回轉機實驗之，得次表之成績。但風杯半徑及腕長，以mm為單位。

腕長	風杯半徑	b		腕長	風杯半徑	b	
150	36	0.5	2.59	225	62	0.7	2.38
154	47	0.9	2.55	225	80	0.7	2.33
155	52	0.9	2.43	280	54	1.0	2.50
156	52	0.9	2.44	300	36	0.6	2.89
150	62	0.5	2.47	300	62	0.8	2.39
150	80	0.2	2.58	304	74	1.1	2.20
172	38	0.7	2.75	300	80	0.6	2.28
218	48	0.7	2.51	440	149	0.2	2.47

219	48	0.5	2.90	608	116	0.4	2.34
225	36	0.7	2.72	610	105	0.6	2.30

今命風杯半徑為 $rm$ ，腕長為 $Rm$ ，則 $b$ 為 $r$ 與 $R$ 之函數，但由Dohrondt氏之實驗，其決定之函數，為

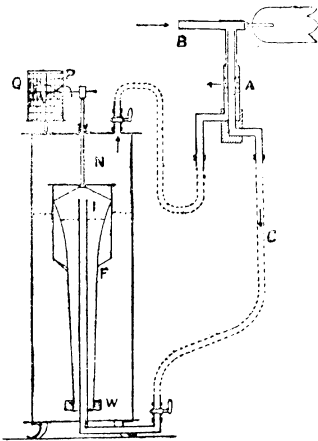
$$b=3.013-53.74\left(\frac{r}{R}\right)r+1034\left(\frac{r}{R}\right)^2r^2.$$

用 $b$ 之平均值2.5，而

$$V=2.5v$$

時，則不能不有 $\pm 16\%$ 許之誤差。

8. Dines氏風壓計 此器械為英國 W. H. Dines 所發明，與丹麥 C. Rung 之器械，採相同之原理。如第八圖，AB為風壓計之頭部，係安置於高處之部分，由B依矢之方向受風時，則經C之鉛管，



而增I之壓力。惟因A管側開有多數之孔，同時風通過管之外側，起吸出之作用，可減少與A管相通之N部分壓力，且因無論壓力增加，或壓力減少，均與風速之平方成比例；故浮子F上移，固着於浮子上之P，亦隨之而上移，於是鋼筆尖在等速迴轉圓筒Q之自記紙上，描風壓變化之曲線。W為重錘，當無風時，可藉此重量而使浮子下沉。

第 8 圖

浮子上下之距離，與風速之平方成比例，

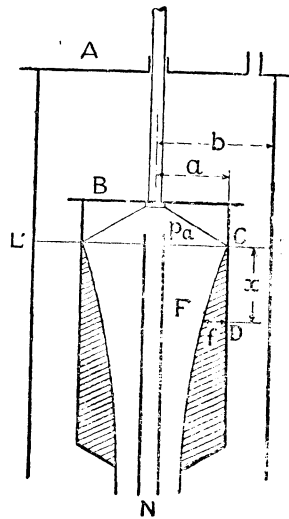
故自記紙上之刻度線，其距離不能相等，因欲避去此弊，於是浮子內面之形狀，成特殊之曲面，使浮子上移時，恰能與風速成正比例。

使用此器械時，其最要之注意，為鉛管決不可成折角模樣，而使之彎曲。至器內所用之水，以自來水為宜。其在交通不便利地方，因水之比重不同，往往對同程度之風速，而浮子上下之距離，不免稍生差異，又水質每使浮子之鉛錫(Solder)起腐蝕。故浮子之接合面，施以鉛錫後，其上更塗以漆，如使用雨水

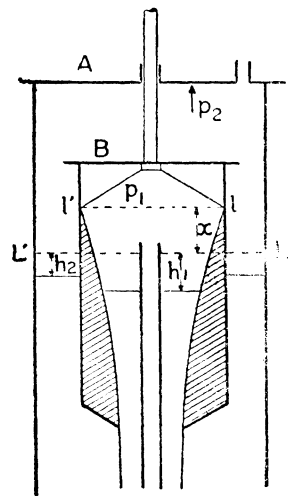
，亦較合宜。其在寒地，則因水有凍結之虞，此器之外部，須包以毛布或棉，是為必要。又安置此器，須務水平，苟稍有傾斜，則浮子上部槓杆，必與圓筒蓋之小孔接觸而起摩擦，其影響可及於自記紙上之記像。故此風壓計之安置，如能從地上起建築石臺，最為適宜焉。

\*9. Dines式風壓計之理論 Dines氏風壓計之理論，討論者頗多，有靜力學的及動力學的兩方面之論述。日人中野氏曾就現用之器械，加以靜力學的研究，因其容易了解，此處特為介紹如次：

如第九圖，係表示Dines氏風壓計之垂直切斷面，浮子之外半徑為 $a$ ，筒之半徑為 $b$ ，至C則為無風時水面上之位置，LL'為無風時之水面，浮子上任意一



第 9 圖



第 10 圖

點D，在LL'下之深為 $x$ ，今命 $DF=f$ ，則 $f$ 之值，當隨D之位置而變化(即 $x$ 之函數)也明矣。

今假定風速 $w$ 之風，吹向該器械時，浮子之位置，比無風時上昇 $x$ 距離；而浮子內之水面，下落 $h_1$ 距離；浮子外之水面，下落 $h_2$ 距離(如第十圖所示)。當浮子與水達平衡狀態時，則自LL'線起算，浮子因上移所占之容積，為

$$\int_0^x \{\pi a^2 - \pi(a-f)^2\} dx.$$

因水之全容積不變，故浮子上昇，則水面下降，在浮子外面，因水下降所得之空所，為

$$(\pi b^2 - \pi a^2) h_2 = \pi (b^2 - a^2) h_2.$$

在浮子內因浮子上昇，水下降，而在LL'線下所得之空所，為

$$\int_x^{x+h_1} \{\pi(a-f)^2 - \pi r^2\} dx.$$

但r為中管N之半徑。此兩空所之和，為

$$\pi(b^2 - a^2) h_2 + \pi \int_x^{x+h_1} \{(a-f)^2 - r^2\} dx.$$

此不能不與浮子上浮部分之容積相等，即

$$\pi(b^2 - a^2) h_2 + \pi \int_x^{x+h_1} \{(a-f)^2 - r^2\} dx = \pi a^2 x - \pi \int_0^x (a-f)^2 dx,$$

故  $(b^2 - a^2) h_2 = a^2 x + r^2 h_1 - \int_0^{x+h_1} (a-f)^2 dx \dots \dots \dots (1)$

因浮子內外壓力之差，所生之押上力，等於 $\pi(p_1 - p_2)a^2$ （即加於浮子上壁之壓力），而浮子因上浮所生浮力之減少，如以水之重量換算之，即等於浮子內占空所容積之水之重量（占浮子浮出原來水面後內部之空所）。故若命水之密度為 $\gamma$ ，則其所換算之水重量，為

$$g\gamma \int_0^{x+h_1} \{\pi a^2 - \pi(a-f)^2\} dx. \quad (g \text{ 爲重力})$$

此二者不可不相等，即

$$\pi(p_1 - p_2)a^2 = \pi g\gamma \int_0^{x+h_1} [a^2 - (a-f)^2] dx \dots \dots \dots (2)$$

當內外之水相平衡時，則 $p_1 - p_2 = g\gamma(h_1 - h_2)$ ，由是

$$a^2(h_1 - h_2) = a^2(x + h_1) - \int_0^{x+h_1} (a-f)^2 dx.$$

故  $-a^2 h_2 = a^2 x - \int_0^{x+h_1} (a-f)^2 dx \dots \dots \dots (3)$

將此式與(1)組合，得

$$b^2 h_2 = r^2 h_1, \quad \therefore \quad h_2 = \frac{r}{b^2} h_1$$

若無中管N，則  $r=0$ ，從而  $h_2=0$ ，即浮子外之水面，不起變化。今因有中管而浮子外之水面，爰亦下降。惟因中管半徑  $r$ ，與圓管半徑  $b$  相較，非常微小，故此水面之變化，幾可置諸省略。

次命風速為  $W$ ，且假定壓力之差，與風速之平方成比例，則得

$$p_1 - p_2 = cW^2.$$

$c$  為常數。又製作該器之條件，浮子之上下與風速成比例，得

$$W = mx.$$

$m$  為常數。惟因  $p_1 - p_2 = g\gamma(h_1 - h_2)$ ，故

$$h_1 - h_2 = \frac{p_1 - p_2}{g\gamma} = \frac{cm^2 x^2}{g\gamma} = h_1 \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right).$$

$$h_1 = \frac{cm^2 x^2}{g\gamma \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right)} \dots \dots \dots (4)$$

今令  $x + h_1 = y$ ，則

$$y = x + \frac{cm}{g\gamma \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right)} x,$$

即 
$$x^2 + \frac{g\gamma}{cm^2} \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right) x - \frac{g\gamma}{cm^2} \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right) y = 0.$$

解此二次方程式，而求  $x$  之正根，

$$x = \frac{\sqrt{g\gamma \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right)}}{2cm^2} \left\{ \sqrt{g\gamma \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right) + 4cm^2 y} - \sqrt{g\gamma \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right)} \right\}.$$

將此式代入於(3)，且與  $h_2 = \frac{r^2}{b^2} h_1$ ，及  $y = x + h_1$  相組合，得

$$a^2 \left[ \frac{\sqrt{g\gamma}}{2cm^2} \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right)^{\frac{3}{2}} \left\{ \sqrt{g\gamma \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right) + 4cm^2 y} - \sqrt{g\gamma \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right)} \right\} + \frac{r^2}{b^2} y \right] = \int_0^y (a-f)^2 dx.$$

由此式求  $y$  與  $f$  之關係，即於其兩邊，取對於  $y$  之微係數，且因右邊為定積分，故

$$\frac{d}{dy} \int_0^y (a-f)^2 dx = (a-f)^2.$$

此因  $f = \varphi(x)$ ，即於  $\{a - \varphi(x)\}^2$  中，以  $y$  代其  $x$ ，當然得同一之結果。故

$$a^2 \left\{ \frac{\sqrt{g\gamma} \left(1 - \frac{r^2}{b^2}\right)^{\frac{3}{2}}}{2cm^2} + \frac{2cm^2}{\sqrt{g\gamma \left(1 - \frac{r^2}{b^2}\right) + 4cm^2y}} + \frac{r^2}{b^2} \right\} = (a-f)^2.$$

今命  $\frac{4cm^2}{g\gamma \left(1 - \frac{r^2}{b^2}\right)} = k$ ，則  $2\sqrt{\frac{c}{k}} \cdot m = \sqrt{g\gamma \left(1 - \frac{r^2}{b^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$ ，故

$$a^2 \left\{ \frac{1}{m\sqrt{ck}} \frac{2cm^2 \left(1 - \frac{r^2}{b^2}\right)}{\sqrt{\frac{4cm^2}{k} + 4cm^2y}} + \frac{r^2}{b^2} \right\} = (a-f)^2.$$

約盡之，得

$$a^2 \left( \frac{1 - \frac{r^2}{b^2}}{\sqrt{1 + ky}} + \frac{r^2}{b^2} \right) = (a-f)^2, \text{ 且以 } x \text{ 代其 } y$$

故  $f = a \left\{ 1 - \sqrt{\frac{1 - \frac{r^2}{b^2}}{\sqrt{1 + kx}} + \frac{r^2}{b^2}} \right\}.$

此為中野氏所得之結果，若無中管  $N$ ，則  $r = 0$ ，則得

$$f = a \left\{ 1 - \sqrt{\frac{1}{1 + kx}} \right\}.$$

日本玉屋商店所做製之風壓計， $r^2/b^2 = 0.00227$  許，而中野氏則採用 Glazebrook 氏物理學辭典 (Dictionary of Applied Physics) 之常數 (見該書第三卷五百零六 (i))，即

$$p_1 - p_2 = cW^2 = 0.00731W^2.$$

但  $W$  係用 miles/hour 表示之， $p_1 - p_2$  則用英寸表水柱之高。若以風速  $m/s$  及水柱之高  $mm$  改算之，則

$$1 \text{ miles/hour} = 0.447 \text{ m/sec,}$$

$$1 \text{ inch} = 25.4 \text{ mm,}$$

$$c = 0.00731 \times (0.447)^2 \times 25.4 = 0.0037 \text{ g.}$$

又  $W = 50 \text{ m/sec}$  時，則  $x = 17 \text{ cm}$ ，從而

$$m = \frac{W}{x} = \frac{50}{17}, \quad \therefore \quad 4cm^2 = \frac{4 \times (50)^2 \times 0.0037}{(17)^2},$$

更令  $\gamma = 1$ ，則

$$k = \frac{4cm^2}{g \left( 1 - \frac{r^2}{b^2} \right)} = \frac{4 \times (50)^2 \times 0.0037}{(17)^2 \times (1 - 0.00227)}.$$

用是等之常數，以計算曲線之要素，其曲線之形約如第十一圖所示之形。

在 Dines 氏風壓計中，於  $p_1 - p_2 = cW^2$ ，其常數  $c$ ，實際上為空氣密度之函數，即其值由溫度而異，此處則假定空氣之密度為  $1226 \text{ g/m}^3$ ，設命標準密度為  $\rho_0$ ，其風速為  $V_0$ ；當密度為  $\rho$  時，風速為  $V$ ，則兩者間之關係，可以次式表示之：



第 11 圖

$$V = V_0 \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$$

例如在高 1500m 之山頂，約  $\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}} = 1.077$  由是風速之補正，約為 8%。又如在山頂等處，受氣壓之影響，非常敏銳。使浮子上下之空氣，經鉛之導管而流通時，因有管之摩擦影響，故其結局，此器械不能不由動力學方面研究之。

\*10 風力自記器械 Robinson 式風力計所示之風程，有二種之自記方法：即 (i) 自記紙等速回轉，且風力計每經一定之週轉，而自記紙上印痕一次，例如 Richard 式電接回數器 (Chronograph totalisateur)，即此種之自記器械。(ii) 依時計之作用，描等速之時間線，而自記紙則與風速相應而迴轉。例如日本測候界所使用之風力自記器，即風力計每電接一次，自記圓筒即隨之而迴轉，亦此種自記器械之一例。

德國氣象學家 Sprung氏，曾就此兩種器械，而論其得失。即命自記紙上相鄰兩電接間所印之風程爲 $s$ ，此風程間之平均風速爲 $v$ ，則在(i)之器械， $s$ 與 $v$ 成反比例，即

$$v = \frac{c_1}{s} \dots\dots\dots (1)$$

$c_1$ 爲比例常數。在(ii)之器械，則 $s$ 與 $v$ 爲正比例，即

$$v = c_2 s \dots\dots\dots (2)$$

$c_2$ 亦比例常數。今就(1)式微分之，得  $dv/ds = -\frac{c_1}{s^2}$  與(1)相組合，

$$\frac{dv}{ds} = -\frac{v}{c_1} \dots\dots\dots (3)$$

設(3)中之 $ds$ ，視爲測 $s$ 時之誤差，則 $dv$ 即爲其對應之誤差，故在(i)種之器械，即使則定 $s$ 精度之確率相同，而風速度愈大，算出風速之誤差亦愈大也。且在實際上，當暴風之際，相鄰電接所印之點，非常接近，而欲精確測定風速，尤爲困難也。

更就(2)施微分計算，

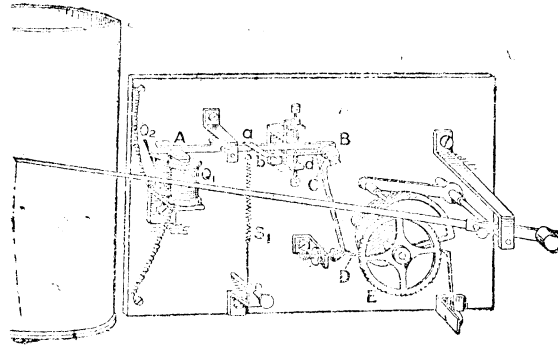
$$\frac{dv}{ds} = c_2,$$

即 $dv$ 與 $ds$ 成比例，故若 $s$ 各值之誤差不變，而誤差 $dv$ 亦隨之而不變。

就以上所述觀之，(ii)之種類似較爲良好。惟須用電力以回轉自記紙，亦不無困難之點也。

11. Richard式自記電接回數器 此器如十二圖所示，當Robinson風力計，經一度電接，則電絡圈(Coil)  $Q_1$ 及 $Q_2$ 通電流，而在於槓杆A端之軟鐵，即被吸引；同時附於槓杆他端之爪D，亦被引上。於是因屈折形杆上推C，而D爪與E車之齒離開後，復與其次之齒相接觸，當電流切斷時，則軟鐵與因電絡圈相離，彈簧 $S_1$ 將槓杆引下，從而BD亦被引下，由是車輪E轉一齒。質言之，即風力計經一度電接，而E之車輪恰轉一齒也。又車輪E之後面，安置有螺旋形之板，此板與車輪共同迴轉，板緣上所接觸之曲杆形物，遂使長槓杆運動，

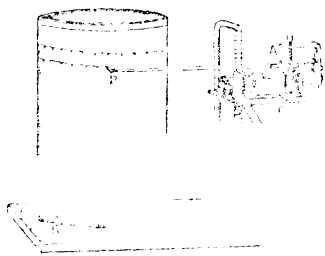




第 12 圖

而槓杆他端之鋼筆尖，適於自記紙上，畫向上之線。至曲杆形物與螺線板極邊之緣相離，則鋼筆復下降，回復至自記紙之零線處。惟因此下降若太速，則器械易生惡影響。故復安設調節器，即將水或煤油類之液體，注入於玻璃管，由適當之裝置，使之與曲杆形相連也。在普通之電接回數器，每經 100 回之電接，槓杆之鋼筆尖，再回復至零線。

12. Fuess自記電接回數器 此器與前記之Richard自記電接回數器，其用途相同，而構造則稍異。即如第十三圖，W 為每時間一回轉之自記圓筒，有齒車R固定於其下，此齒車又與以無緣螺旋棒S為心軸之齒車相嚙接。當S迴轉



第 13 圖

時，鋼筆尖架 F 漸次下移，由是鋼筆尖 P 於自記紙上畫螺線。又風力計每接一次，而電流即自 L 流入電絡圈線 E，於是電磁石吸引槓杆端之鐵片，而槓杆他端所附之鋼筆尖，即作一印痕於螺線上。

Fuess 公司所製出之風力計，因風程每歷 500m，而電接一次；故若自記紙上相隣二印痕之時間，為 1.2 分，則得次計算：

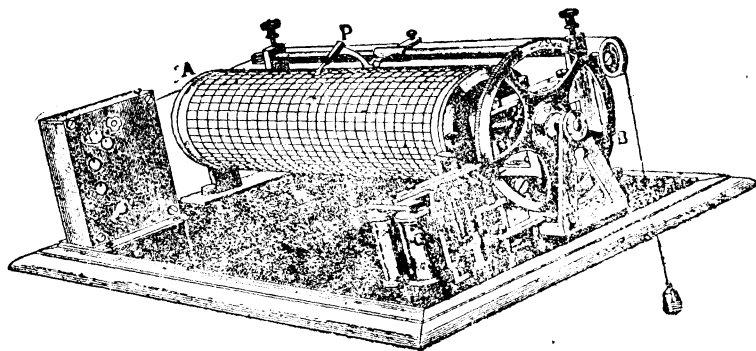
$$1.2 \times 60 = 72 \text{ 秒}$$

$$\frac{500}{72} = 6.9\text{m/s.}$$

即風速爲6.9m/s.

現在東亞所通用者，大都爲日本玉屋商店所作Robinson風力計，約70m電接一次。當風強烈時，印痕失之過多，讀取頗難正確；惟當風較弱時，適於使用耳。蓋遇強風，若非將圓筒直徑及其回轉速度，各增加一倍，則讀取時即感非常之困難，反不如Richard回數自記器，較爲得用。但Richard之器械所畫者爲曲線，終不如此器畫直線之爲優也。

13. 風力自記器 此器之始作者爲何人，無從判明，其構造則如第十四圖，A爲自記圓筒，其心棒之兩端，安置於摩擦輪上，其一端有大形之齒輪B，



第 14 圖

B之一邊有電磁石C，由時計裝置，沿此自記圓筒面，有等速移動之自記鋼筆尖P。當該圓筒不同轉時，則P在紙面畫直線。此器用電線與Robinson風力計相連絡，風力計之風杯，每30回轉而電接一次。於是電磁石C吸引其上之軟鐵片D，而齒輪B迴轉一齒，從而自記圓筒A與之相應，而起回轉，使鋼筆尖於自記紙上，印明顯之痕跡。

自記紙面由橫線分爲30等分，由縱線分爲25等分，每歷二十四小時，自記鋼筆尖經過此紙上之二十四分區一次。

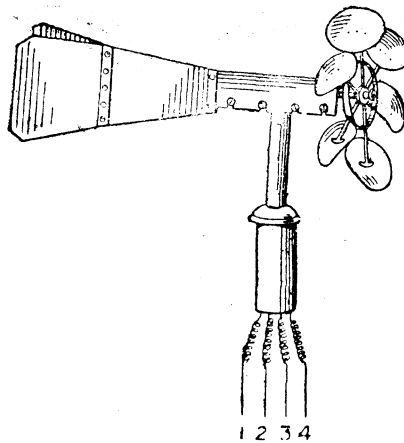
在實地使用時，此器每經一回電接，有時齒車 B 可迴轉二齒，此缺點大都由電磁石與軟鐵片之調節不良而起，故常須檢查而處理之。例如電磁石當電流停止時，仍存多少之磁性，不能與軟鐵片相離。斯時電磁石與軟鐵片間，應插入薄紙片，或將薄紙片貼於軟鐵片上。又若牽引此軟鐵片之撥條，失之過微弱時，則回轉調節螺旋，使縮短鐵片與電磁間之距離。

風力自記器之自記圓筒，亦有作垂直形者；然其作用，則全與上述者相同。惟此種器械，往往為讀取風速全程便利計，裝置各有不同耳。

此器之缺點，為圓筒過重，必用多數之電池。又自記紙嵌入圓筒後，因有接縫，往往使鋼筆尖發生阻礙，若能除去此種缺點，洵可稱為良好之器也。

\*14. Anemo-cinemograph 此器為法國 Richard 廠所製，亦風力自記器之一種。在 1889 年時，該廠之目錄，已載有此器，其構造之詳細說明，各書均不記載。迨 1892 年，英國氣象學會開常會時，G. W. Whipple 氏，曾就此器與 Robert Beckley 式風力計比較，而為詳細的講演，揭載於該學會誌內，此處則僅撮其大要而已。

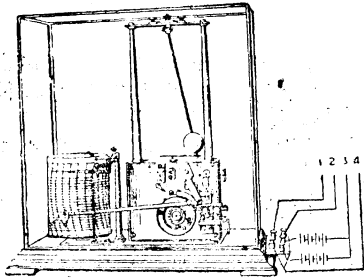
此器之全部，則由風車及自記器二者組合而成。其外觀則如第十五圖，由



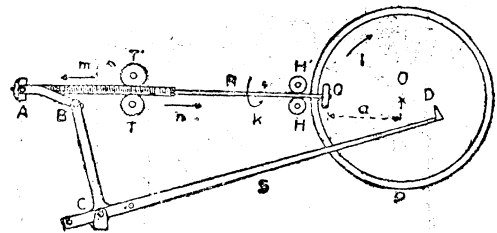
第 15 圖

風車出四電線，各與自記器連絡（因全風程亦欲自記，故用四線，若僅記平均

風速，則三線已足用)。其自記器之原理，則如第十六圖及十七圖，T與T'爲齒車(Roue)，風車迴轉時，每電接一次，該齒車迴轉一齒，而心棒R，即由矢



第 16 圖



第 17 圖

之方向，自右向左，爲相應之移動，假定此運動以M表之，在他一方面，則有P之二重圓板，其後板則基於時計之裝置，而自左向右回轉；前板則以小齒車(Pinion)爲媒介，而自右向左回轉。但R之端固着有Q之小車，介在於P之二重圓板間，而前後均被緊押，故不生滑動作用，而僅隨P之回轉而回轉。於是，由T與T'間之螺旋運動，而R(如矢形)向圓板P之中心方向進行，此運動以N示之。

此兩種反方向之運動，在保持平衡狀態時，則

$$M=N$$

今因N之值，與OQ之長 $\alpha$ 及時間 $t$ 之乘積成比例，而M則與風程 $s$ 成比例，由是

$$at=ks \quad \therefore \quad \alpha=k\frac{s}{t}$$

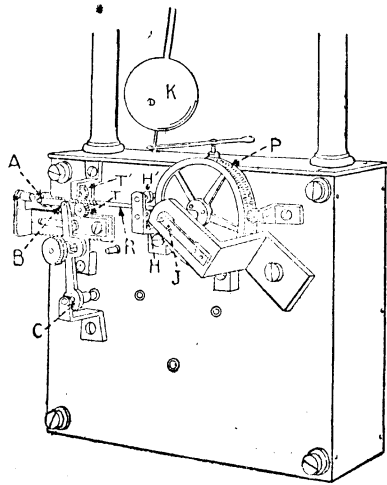
$k$ 爲比例常數。若 $\alpha$ 較大，則因畫半徑較大之圓，故與 $2\pi\alpha$ 成比例。若Q之回轉增多，從而N亦增大。

又因風速 $v=s/t$ ，故結局 $\alpha=kv$ ，即 $\alpha$ 之長與風速成比例，故利用槓杆A，B，C，S，能以鋼筆尖指示風速。

自記器部之構造，則如第十八圖，其中央爲時計裝置，附以二種之車：其

一種為 P 之二重板，恆使之等速的迴轉，若欲迴轉速度加大，則將圓錐振子上

之錘 K，用錘下之螺旋，將錘稍稍引上；欲使迴轉稍遲，則稍稍引下之，以為調節。



第 18 圖

圓錐振子之理，則可用第十九圖說明之，因圓錐振子之錘，畫一種之水平圓，而為等速運動。今命圓半徑為  $a$ ，迴轉之週期為  $T$ ，則其速度  $V$  為

$$V = \frac{2\pi a}{T}$$

設錘之質量為  $m$ ，則錘對於圓中心之向心力，為

$$\frac{V^2}{r} = m \cdot 4\pi^2 \frac{a}{T^2}$$

此力等於棒  $l$  牽引錘之力  $F$ ，對於  $MO'$  方向之分力。

故  $l$  與錘線  $h$  之交角若為  $\theta$ ，則

$$F \sin \theta = F \frac{a}{l} = 4m\pi^2 \frac{a}{T^2}$$

又  $F$  之垂直分力，等於  $mg$  也明甚，即

$$F \cos \theta = F \frac{h}{l} = mg$$

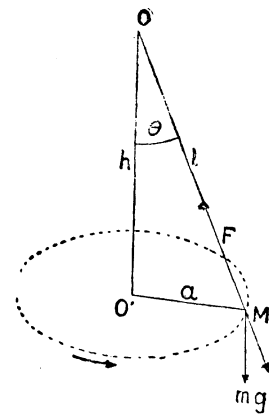
由此式兩式消去  $F$ ，

$$4m\pi^2 \times \frac{1}{T^2} = m \frac{g}{h}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{h}{g}}$$

即  $h$  若增大，圓錐振子之週期  $T$ ，亦隨之而增大也。

在實察之器械，錘之直徑為 44mm，杆之長約為 135mm，故



第 19 圖

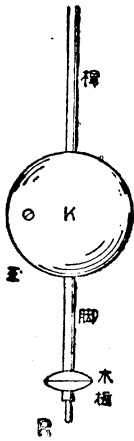
$$h=135+44/2=157\text{mm},$$

$$T=2 \times 3.14 \times \sqrt{\frac{15.7}{980}}=0.8\text{sec}$$

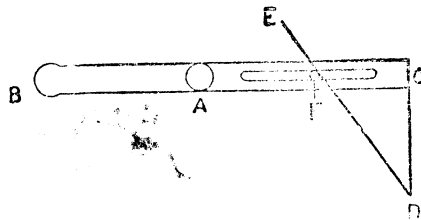
在實測上錘回轉30次，所需時間為23秒，故其週期為 $23/30=0.77$ 秒，約略與計算上相接近。又因  $\delta T = \frac{T}{2} \frac{\delta h}{h}$ ，故若  $\delta h=1\text{mm}$ ，則

$$\delta T = \frac{0.8}{2} \times \frac{1}{157} = 0.0025\text{sec}.$$

附屬於 Anemo-cinemograph 之圓錐振子，則如第二十圖所示，錘下出一足，其足之下端，則貫穿小圓木板，且其細端出於板下。錘以上之杆端，則以彈簧螺狀物懸之。脚之下端，則如第十八圖所示，接續有金屬條。此金屬條則如第二十一圖，係以A為中心而能迴轉之薄鋼條，其中央刻有長溝，其一端C彎折之，



第 20 圖



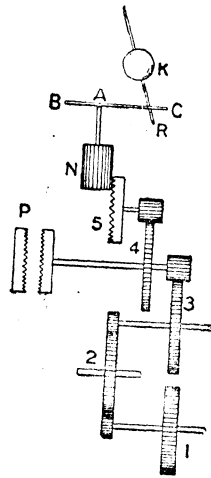
第 21 圖

成CDE之撥條狀物。第二十圖之R，即插於F處。因BAC之金屬條，連接於時計裝置之第五車，故恆為連續的迴轉運動，而圓錐振子K，亦隨之而迴轉。若K所畫之圓過大，則DE之撥條受壓力，而反對的押之使回。

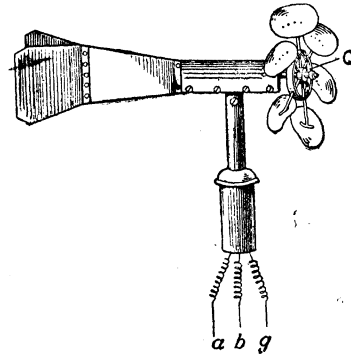
時計裝置之內容，則如第二十二圖，(1)為附屬於主發條函(Mainspring)之第一車，由此而第二，第三，第四各車，互相嚙接。第五車為冠齒車(Crown wheel)，與N相接，N之上端，則固定BAC之金屬條，而第四車之心棒，則連於P之二重圓板(即冠齒車)。故由圖觀之，圓錐振子K，實為時計之調整器(Regulator or governor)也。

至於時計裝置所連絡之他一種車，則參照十七圖為嚙接於T及T'之轉輪螺旋(Worm)R，因此R與風力計連接，當不在電接時，恆向二重板之中心方向引移。

風車則如第二十三圖，為木葉形 (Helicoid) 之翼六個，縱向回轉。此翼之心棒，恆在水平之位置，而與電接裝置相連。惟因尾為二重翼，故全體可準對風向。如第二十三圖所示，則因不記錄全風程，故僅有a, b, g三接線。

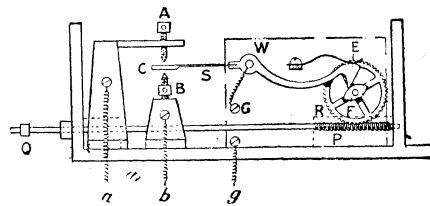


第 22 圖



第 23 圖

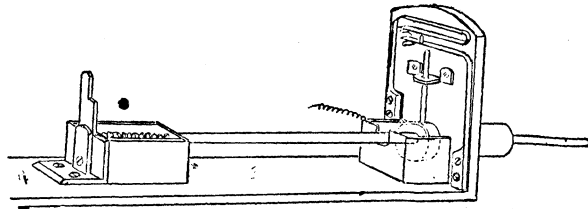
電接裝置，則如第二十四A圖，因風之吹送，心棒 Q 回轉時，則無緣螺旋 P，迴轉齒輪 R，於是金屬物 F，與 E 接觸，而將 E 押上，同時 C 向下垂而接觸 B，故可如第二十五圖所示，電流在 BHIXW 線上環流，而 X 之電磁石起作用。而將十七圖中之心棒，自右引向左。又 C 若與 A 接觸，則電流向 ANMZW 線上環流，而使 Y 之電絡線 (Coil) 起作用。



第 24 A 圖

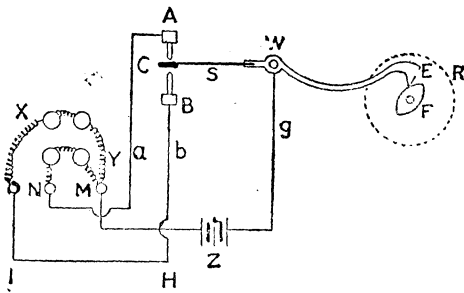
要而言之，此器械備極複雜，使用之際，須加以特種注意。第二十四A圖中點線所示處，為盛油之函。第二十四B圖，則係其詳細之圖形。此函中常須不斷的充油，是為必要。又此油中所入之無緣螺旋心棒，極易折斷，用時萬不能

稍形忽略。



第 24 B 圖

15. 風力計用之電池及配線 在 Robinson 風力計，與電接回數器連接途中所用之電池，以乾電池最為便利。



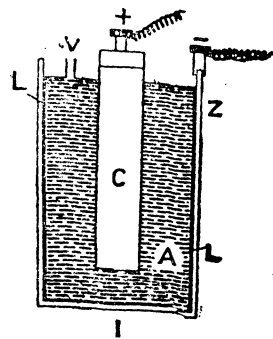
第 25 圖

ia (Salammoniac) 及鹽化亞鉛 (Zink chloride) 液之物。C 與 L 之間，則入炭素之粗粒，其中以二酸化錳 (Manganese dioxide) 之混合物充滿之。在此例，鹽化 Ammonia 為電池之液，二酸化錳則為制止分極之用，故乾電池即 Leclanché 式之電池 (Leclanché cell) 也。

乾電池在 V 處開有小孔，以為電池所發生之輕氣，或其他氣體逸出之用。若無此小孔，則氣體發生後，膨脹電池，而使其作用遲鈍。

乾電池在不用時，因其內部起化學變化，故亦自然的減弱，又其內部并有水分蒸發，亦能使作用遲鈍。

乾電池如第二十六圖所示，炭素板 C 入於亞鉛槽 Z 中，Z 槽之內面，則貼以 L 之吸取紙，或充分吸收鹽化 Ammonia



第 26 圖



電池之連結法，分爲行連結及列連結之二種。在普通用途上，大抵用行連結，然有時亦有用列連結之必要。今將其用途，說明如次：

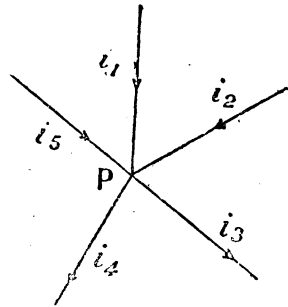
在物理學上，電池之連結，以Kirchhoff氏之定律爲出發點。即

(i)會於導線上任意一點各電流量之代數和爲零。此定律合於定常電流之條件，即歸着於電流在該點不生蓄積現象。此處

於各電流，附以符號，向此點而來者爲(+)，由此點而出爲者(-)。例如第二十七圖，P點當五電流會集之時，則此定律爲

$$i_1 + i_2 - i_3 - i_4 + i_5 = 0.$$

(ii)在一個閉電路中，其各部分之電流，與其抵抗乘積之代數和，等於該電路上之電動力。即電流爲*i*，抵抗爲*r*，電動力爲*E*，則得



第 27 圖

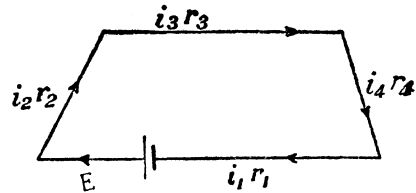
$$\sum ir = \sum E.$$

如第二十八圖，由四部分所成之閉電路，則得

$$i_1 r_1 + i_2 r_2 + i_3 r_3 + i_4 r_4 = E.$$

此定律向右迴之電流則爲(+)，

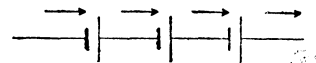
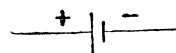
向左迴者則爲(-)，又(+)方向之電流，則生(+)之電動力。今將本定律應用於電池之連結法。



第 28 圖

(a)電池之行連結 電池則表以第二十九圖之略記法，其行連結則如第三十圖所示，即在此例：

(i) 電路行內各部分電流之強相等，



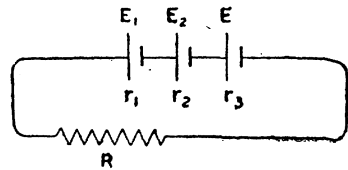
第 29 圖

第 30 圖

(ii) 行連結之抵抗，其全抵抗等於各部分抵抗之和。

(iii)行內抵抗兩端之電壓，等於各抵抗間電壓之和。

今命各電池之電動力為  $E_1, E_2, E_3, \dots$ ，  
 內部抵抗為  $r_1, r_2, r_3, \dots$ ，外部抵抗為  $R$ ，  
 則在第三十一圖所示之電池連結，此電路內電  
 流之強  $i$ ，由定律第二，應為



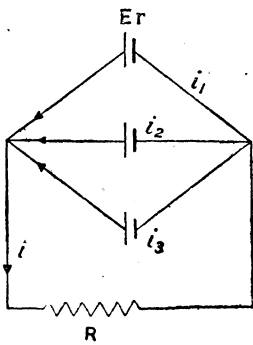
第 31 圖

$$iR + ir_1 + ir_2 + \dots = E_1 + E_2 + E_3 + \dots,$$

$$i = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots}{R + r_1 + r_2 + r_3 + \dots}$$

若電池為同型，則  $r_1 = r_2 = r_3 = \dots = r$ ，及  $E_1 = E_2 = \dots = E$ ，

$$i = \frac{nE}{R + nr} \dots \dots \dots (1)$$



第 32 圖

(b)電池之列連結 其列連結如第三十二圖所示，

設電池皆同型，則  $i_1 = i_2 = i_3 = \dots$  故由定律第一，

$$i - ni_1 = 0.$$

又由定律第二

$$iR + i_1 r = E.$$

故由此兩式，

$$i = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} \dots \dots \dots (2)$$

若外部抵抗  $R$ ，較內部抵抗  $r$ ，非常增大，則由(1)，

$$i \doteq \frac{nE}{R}.$$

即在此例，行連結能得較強之電流。

風力計連結電池所用導線甚長，適與上述之例相當。若  $R$  比  $r$  非常微小時，則由(2)

$$i \doteq \frac{E}{\frac{r}{n}} = \frac{nE}{r}.$$

即列連結能得強大之電流。

電池之電動力，通例以Volt測之。

Daniell電池	1.1 Volt
乾電池	1.5 Volt

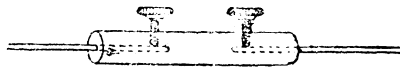
電池之內部抵抗(Internal resistance)，在乾電池則自0.3至0.6 ohm。若導線為銅，其斷面積為 $1\text{mm}^2$ ，長為1m，則其抵抗為0.0153ohm，若為鐵則為0.097 ohm。蓋抵抗與斷面積成逆比例，與長成正比例。今依此理而計算直徑1mm長1mm銅線之抵抗如次：

因斷面積為 $\pi \left(\frac{1}{2}\right)^2 \text{mm}^2$ ，故

$$0.0153 \times \frac{1}{\pi \left(\frac{1}{2}\right)^2} \times 50 = 0.0153 \times 4 \times 50 \times \frac{1}{\pi} = \frac{3.06}{\pi} = 0.974 \text{ohm.}$$

風力計連絡電池後，若歷時過久，則電流非常微弱，在此情狀下，其所連結之電池，反使其內部抵抗增大，非常不利益，故通常電接回數所用之電池，只2個已足矣。

風力計與電氣盤，或自記回數器相接觸，其兩端相接處，僅線與線相續，在當時未嘗不密合，但時間稍經久，則往往因溫度之變更，或其他原因，可使接線處鬆弛，而增加抵抗，故須用柄狀接續器，或如第三十三圖之接續器，以



第 33 圖

，設存絲毫苟且之心，則大誤矣。

接合兩線之端。此因氣象觀測之裝置，與實驗室不同。學校中之研究，均係一時的，而氣象學上則含有長時間之性，故其一切設備及裝置

## 第七章

### 風向計

1. 風向計及其理論 風向計係歐美各國所稱為 Weather cock 之改良製作品，在氣象器械中，為最簡單之一種，除蒸發計以外，不能再有如此之簡單器械。在歐美各國，此 Weather cock，本置諸旗竿或寺院之尖頂，沿用已久，始於何時，現今未能考定。而氣象器械中之 Dines 風壓計內，即附有此物。但風壓計內，僅用以指示風向，而其目的則在觀測風力。

最簡單之一葉風向計，因恆起自己振動，不合於應用。現時所通用之二葉風向計，則始於 Parrot 兄弟，及美國氣象學家 George E. Curtis 氏。據 1797 年之 Voigt 雜誌 (Voigt's Magazine für den neuesten Zustand d. Naturkunde. Jena u. Weimar) Engelhart, 及 Parrot 兩氏，因防風向計之動搖，作二葉形之風向計，使其角之二等分線，恰與風向合一。其後行於英國，而其他各國，亦從而效之，爰沿用至今。

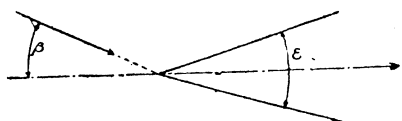
\* 論述單葉風向計及複葉(即二葉)風向計之得失者，為 G. E. Curtis 氏，先假定有速度  $v$  之風與平面成  $\alpha$  角時，則依 Lord Rayleigh 氏數理上之研究在單位面上所受之風壓，為

$$\frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha} \rho v^2$$

$\rho$  為空氣之密度，然若  $\alpha$  角當甚小時，則  $\alpha$  與  $\sin \alpha$  幾為同值，此處為簡單起見，假定為  $\rho v^2 \sin \alpha$ 。

\* 在單葉風向計之例，若係直角當風，則其所受全壓，為  $(1+n)p$ 。此  $n$  係表示背風面上之減壓。若風向與風向計面之角成  $\gamma$ ，則風壓為  $(1+n)p \sin \gamma$ 。

\* 至複葉風向計則如第一圖所示，若兩葉間之夾角為  $\epsilon$ ，風向與夾角之二等分線(即兩葉間之中央線)，其所成之交角為  $\beta$ ，則當  $\beta < \frac{\epsilon}{2}$ ，風壓可及於兩葉面；當  $\beta \geq \frac{\epsilon}{2}$ ，則風壓僅及於一葉面。通常東亞測候界所用之  $\epsilon$ ，約為  $20^\circ$ 。當  $\beta < \frac{\epsilon}{2}$ ，則風在兩葉面生反對風向之作用；當  $\beta > \frac{\epsilon}{2}$ ，風僅作用於一葉面，則與單葉風向



第 1 圖

同。惟由實際而言，兩葉間之空氣，當然生種種之運動，其及於兩葉面之影響，應非常複雜。但此處為研究簡易起見，將是種之影響，均置諸省略，則僅就  $\epsilon$  與  $\beta$  之

大小關係，討論之可矣。

(1) 當  $\beta < \frac{\epsilon}{2}$ ，則回轉風向計之力，與  $p \left\{ \sin\left(\frac{\epsilon}{2} + \beta\right) - \sin\left(\frac{\epsilon}{2} - \beta\right) \right\}$  成比例，即與  $2p \sin\beta \cos\frac{\epsilon}{2}$  成比例，惟因由前所述， $\cos\frac{\epsilon}{2} = \cos 10^\circ = 0.98$ ，故  $2\cos\frac{\epsilon}{2}$  約略等於 2。其在單葉之例，其  $p \sin\beta(1+n)$ ，由於實驗， $n$  之平均值，約為 0.5。由是單複葉風力計回轉力之比，為 1.50:1.96。

(2) 當  $\beta = \frac{\epsilon}{2}$  或  $\beta > \frac{\epsilon}{2}$ ，則風與一葉面成  $\beta + \frac{\epsilon}{2}$  之角，而於他一葉面則成  $\beta - \frac{\epsilon}{2}$  之角而吹送，由是其回轉力，為

$$p \sin\left(\beta + \frac{\epsilon}{2}\right) + n p \sin\left(\beta - \frac{\epsilon}{2}\right).$$

其在單葉，則為

$$p \sin\beta + n p \sin\beta.$$

今令  $n=1/2$ ，而取兩者之差  $D$ ，則

$$D = \frac{1}{2} p \sin\frac{\epsilon}{2} \cos\beta - \frac{3}{2} p \left(1 - \cos\frac{\epsilon}{2}\right) \sin\beta.$$

此式當  $\epsilon/2=10^\circ, \beta=75.^\circ 3$ ，則  $D=0$ ，又  $\epsilon/2=20^\circ, \beta=62.^\circ 1$ ，則  $D=0$ 。故無論  $\beta < \frac{\epsilon}{2}$  或  $\beta > \frac{\epsilon}{2}$ ，對於  $\beta$  及  $\epsilon$  之適宜值，複葉之回轉力，可比單葉為大。

\*今如第二圖，命風速為  $v$ ，器械上風力  $p$  之着力點，與風向計軸之距離為  $r$ ，風與風向計之速，其合成量為  $R$ ， $OO'$  為風向計之葉， $OW$  表示風向與風速，則  $\angle WOO' = \beta$ ， $OO'$  之長（即風作用於葉面之點  $O'$  與回轉軸之距離）為  $r$ ，且因  $O'$  之回轉角速度為  $\frac{d\beta}{dt}$ ，故其線速度為  $r \frac{d\beta}{dt}$ （以  $O'P$  表之），而在  $O'$  點之風速  $O'W' = v$  也明矣。故風速  $v$  與  $r \frac{d\beta}{dt}$ （即葉之速）之合成量  $R$ ，為

$$R^2 = v^2 + r^2 \left(\frac{d\beta}{dt}\right)^2 + 2v \left(r \frac{d\beta}{dt}\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right)$$

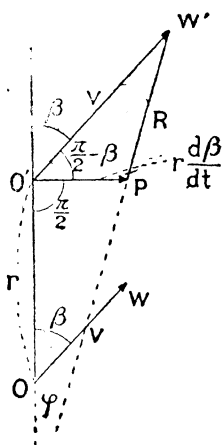
$$=v^2+2vr\frac{d\beta}{dt}\sin\beta+\left(r\frac{d\beta}{dt}\right)^2$$

葉之速度  $\frac{d\beta}{dt}$ ，反風向而移動時為正，順風向運動時則為負。故若合成速度  $R$ ，與葉所成之角為  $\varphi$ ，則

$$R\sin\varphi=v\sin\beta+r\frac{d\beta}{dt}, \quad R\cos\varphi=v\cos\beta.$$

當迴轉風向計，葉之風力，恰在葉靜止時，則風速  $v$  之二乘方，對於葉之垂直成分，與  $v^2\sin\beta$  成比例；然在葉運動時，則與  $R^2\sin\varphi$  成比例。今姑設想  $\beta$  及  $\frac{d\beta}{dt}$  均為微小量， $\left(\frac{d\beta}{dt}\right)^2$  及  $\sin\beta\frac{d\beta}{dt}$  均可置諸省略，則得

$$R^2=v^2, \quad \sin\varphi=\sin\beta+\frac{r}{v}\frac{d\beta}{dt},$$



第 2 圖

故 
$$R^2\sin\varphi=v^2\left(\sin\beta+\frac{r}{v}\frac{d\beta}{dt}\right).$$

\*今命風向計之葉，對於回轉軸之慣性能率為  $I$ ，空氣之密度為  $\rho$ ，風向計葉之面積為  $S$ ，單位風速及於單位面積上之風壓為  $f_0(P)$ ，且令  $K=\frac{\rho S f_0(P) r}{I}$ ，則由力學上所論述，

$$\frac{d^2\beta}{dt^2}+Kv^2\left(\sin\beta+\frac{r}{v}\frac{d\beta}{dt}\right)=0.$$

因  $\beta$  為微小量，故可令  $\sin\beta\approx\beta$ 。又令  $Kv^2=w^2$  及  $Krv=2k$ ，則上記之微分方程式，為

$$\frac{d^2\beta}{dt^2}+2k\frac{d\beta}{dt}+w^2\beta=0.$$

此為熟知之式。故令  $\beta=e^{\lambda t}$ ，則由代入之結果，

$$\lambda^2+2k\lambda+w^2=0.$$

由是 
$$\lambda=-k\pm\sqrt{k^2-w^2}=-k\pm k\sqrt{1-\frac{w^2}{k^2}}.$$

今命  $h^2=w^2-k^2$ ，又  $t=0$  時， $\beta=a$ ，且因  $k^2-w^2<0$ ，故結局得

$$\beta=ae^{-kt}\left(\cos ht+\frac{k}{h}\sin ht\right)\dots\dots\dots(1)$$

此即適合於單葉風向計之解式。

\* 至於複葉風向計，則因風對於兩葉，其作用方向相反，故其合成風壓，為

$$v^2 \left\{ \sin\left(\frac{\epsilon}{2} + \beta\right) + \frac{r}{v} \frac{d\beta}{dt} - \left( \sin\left(\frac{\epsilon}{2} - \beta\right) + \frac{r}{v} \frac{d\beta}{dt} \right) \right\}$$

此式中前後項之  $\frac{d\beta}{dt}$ ，其符號不能不相反，其結局為

$$v^2 \left( 2\sin\beta \cos\frac{\epsilon}{2} + 2\frac{r}{v} \frac{d\beta}{dt} \right)$$

若令  $2\cos\frac{\epsilon}{2} = 1.96$ ，則得

$$\frac{d^2\beta}{dt^2} + 4k \frac{d\beta}{dt} + 1.96w^2\beta = 0.$$

故令  $h_1^2 = 1.96w^2 - 4k^2$ ，則上式之解，為

$$\beta = ae^{-2kt} \left( \cosh h_1 t + \frac{2k}{h_1} \sinh h_1 t \right) \dots\dots\dots(2)$$

此為適合於複葉風向計之解式。

\* 更將 (2) 微分之，得

$$\frac{d\beta}{dt} = -a \frac{h_1^2 + 4k^2}{h_1} e^{-2kt} \sinh h_1 t.$$

當  $t=0$  時， $\frac{d\beta}{dt} = 0$ ，故振幅  $= a$ ；又當  $t = \frac{\pi}{h_1}$  時， $\frac{d\beta}{dt} = 0$ ，故振幅  $= ae^{-\frac{2k}{h_1}\pi}$

；及  $t = \frac{2\pi}{h_1}$  時， $\frac{d\beta}{dt} = 0$ ，故振幅  $= ae^{-\frac{4k}{h_1}\pi}$  以下仿此。用同法以推論(1)式

• 即於單葉之例，得

$$a \quad ae^{-\frac{k}{h_1}\pi} \quad ae^{-\frac{2k}{h_1}\pi} \dots\dots\dots$$

惟因 
$$\frac{2k}{h_1} = \frac{Kr}{\sqrt{1.96K - K^2r^2}} \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{k}{h} = \frac{Kr}{\sqrt{4K - K^2r^2}} \dots\dots\dots(4)$$

其在單葉之例，因受背風面上之減壓，故計算(4)式，須以  $(1+n)K$  代其  $K$ ，即

$$\frac{k}{h} = \frac{Kr}{\sqrt{\frac{4}{1+n} K - K^2 r^2}} \dots \dots \dots (5)$$

$n < 1$ ，故取 $n$ 之種種值，恆為 $2k/h_1 > k/h$ 。由是知複葉風向計之振幅，較單葉為小，即振動時，比單葉者易於靜止。

\*兩種風向計振幅之差，若 $K^2 r^2$ 與 $1.69K$ 相比較，約略可置諸省略時，其值為最小，其在此例，(3)與(5)之比，為

$$\sqrt{\frac{4}{1+n}} : \sqrt{1.96}$$

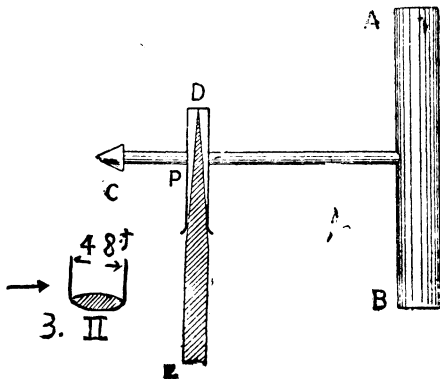
此為振幅式之指數比。

\*上述之差，由於加 $K^2 r^2$ 之項，而其值增加。但 $r$ 及 $K$ 由於風向計之葉長及表面積，而為常數。

\*由以上所論，得次之結論：

- (i) 風向計由於葉之長及其面積之增大，而振動隨之減小。
- (ii) 複葉風向計較單葉易於安定。
- (iii) 複葉風向計比單葉為安定之優點，在葉欲其長，而對於風速無關。

2. 新型風向計 無論為單葉風向計，或複葉風向計，今所沿用之風向計葉，終不免有缺點。當歐州大戰時，英國航空隊 (Royal Aircraft Establishment, South Formbough)，曾考出新型之風向計，以為實地使用。其構造則如第三



圖，其形與定規橫置時相似；其葉之切口，對於氣流之流線，最為適合，即 $AB$ 與現今沿用之葉相當，其切口雖成蛤形，但在左右，則各異其形。且因風之流線之形，由於風速而異，難於一定。故此器之構造，約略與普通程度之風速相應。 $C$ 為重錘， $PE$ 垂直杆之上部 $D$ 處，為

第 3 圖

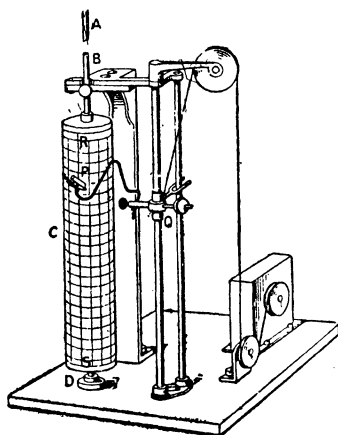


支持此器之點。AB 之長，就理論方面而言，與切口之長相比，其長應為無限，但實際上為不可能，即其長約為2尺許，幅約為4.8寸許，至於切口之形，則如第三圖之II所示。

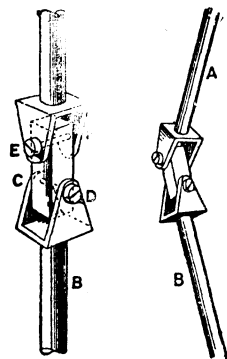
此新型風向計，對於風向之轉變，容易適應，惰性亦不大，誠為極良好之發明品。但因此器為英國 Negretti-Zambra 公司之專利品，故他人不能仿造也。

日人荒川氏，曾就此器，而施以理論的研究，其論文揭載於彼國中央氣象臺歐文彙報第四卷，此處則從省略。

3. 自記風向計 自記風向計中，其最簡單之製作品，則如第四圖所示，A 為風向計之桿，與C之自記圓筒相連；當A迴轉時，C亦隨之而迴轉。P為鋼筆尖，附屬於支持物Q，因由時計之裝置，Q可等速的下降；故用鋼筆尖所描之曲線，以知各時刻之風向。D通例稱為 Ball bearing，其目的係使圓筒之迴轉，非常靈敏。又A與B之連絡，若成一直棒，則C之裝上與卸下，殊感不便，於是用Gimbal連絡之，如第五圖所示，因由CD及EF組合而成，故前後左右，均



第 4 圖



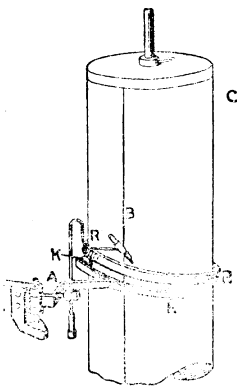
第 5 圖

可將A與B之連結，隨意轉折，以便實用。惟此處所最宜注意者，當連結AB時，必使AB成垂直之一直線狀，若稍成折角形，如第五圖右邊所示之形，則必

影響於風向計之迴轉(即葉之迴轉)。

風向計之各部分，宜常擦油，若風向計微生破碎之音時，則或由於裝置未善，或由於油乾而不滑潤，宜隨時檢驗之。又自記風向器之D，亦須勤於擦油，不使之乾。

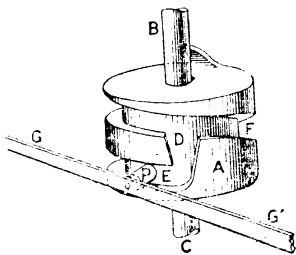
此器之缺點，為自記紙之接縫，若不安置妥貼，則P之鋼筆尖描畫時，即受其阻礙。於是鋼筆尖之製作，有改良而使其端略成圓弧狀者。但因每在自記紙上之一處，可往復回轉，遂使自記紙上所沾洋墨水，又將失之過多，未為善



第 6 圖

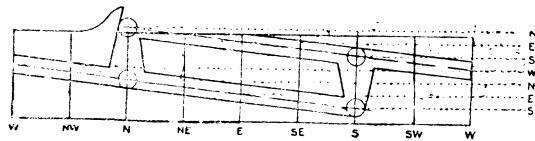
策，故現今用含尖端之鋼筆尖，英人 Baxendell 嘗改良此自記紙之接縫，即如第六圖所示，以金屬之輪，觸合於自記圓筒，以壓其接縫。圖中之金屬輪 RR'，載於兩車 K, K' 上，而傾斜的附著於自記圓筒，其重適足以鎮壓自記紙。當圓筒回轉時，K, K' 之位置不變，而鋼筆尖又甚與之接近，故若自記紙之接縫，來至鋼筆尖處，因受金屬輪之鎮壓，殆不生何等之故障，而得自記風向之變化。

4. Negretti 型自記風向器 此器械為德人 O. Steffen 氏所考出，其構造要部，如第七圖，A 為金屬之心棒，其上刻有 EDF 特別形之溝，BC 為心棒之軸，GG' 為支持鋼筆尖之杆，P 為其突出足。溝之展開



第 7 圖

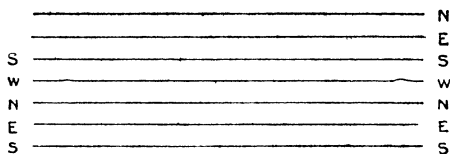
圖，則如第八圖所示，此突出足入於 EDF 之溝。當風向變化，而 A 起回轉時，突出足伴之而



第 8 圖

動，於是 GG' 起上下移動，其杆端之鋼筆尖，於自記紙上描出風向之變化。

自記紙則捲於自記圓筒上，其紙上則如第九圖，印若干之平行直線。例如

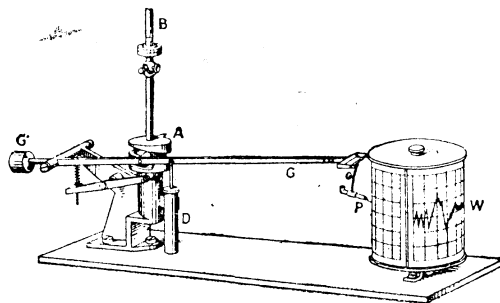


第 9 圖

鋼筆尖至最下之 S 線時，即時移向上層之 S 線位置，且鋼筆尖大抵恆在紙面之中央處移動。

此器械之全形，則如第十圖所示，W 為自記圓筒，B 為風向計之心

軸，GG' 為支持鋼筆尖之槓杆，D 為制動器(Damper)，G' 為平衡重錘 (Counter weight)，P 為鋼筆尖，制動器中，則盛水或石油均可。



第 10 圖

5. 自記風向計之其他種類  
 上所述之風向計，其自記紙上所記一時間之距離，每失之

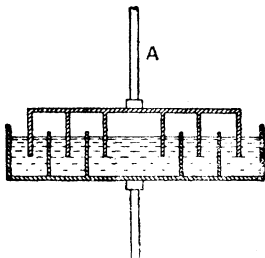
過短；於是對於風向之變化，有不甚明瞭之虞。由此點而言，Richard 式自記風向器，較為便利，此器中時計裝置，其所用卷紙較長，以之記風向之變化，其方法殊為巧妙。即數個之鋼筆尖，附於一無緣鎖上，而其下為貼附自記紙之裝置也。

此外更有 Sprung-Fuess 式自記風向器，亦係一種卷紙之式，而可以知八方位。若欲知十六方位，則甚不明瞭。至 Richard 式之器，雖亦具電氣裝置，但須導線十七條，未免過形複雜，蓋由理想推之，如用導線三條，而能測十六方位，則完善矣。

6. 風向器之制動裝置 風向器所受空氣之抵抗甚大，且無論如何，各部之摩擦，終不能充分免去，故其自己振動應甚小。惟因風向器之惰性甚大，在風向變轉範圍內，是否有逸出該範圍之現象，亦不可不推想及之。尤其是當氣象學上之要求，置諸度外，而單從氣候學上之見地而言，則在所要求之時刻中，

應知其平均之方向。於是用一種之制動裝置，以制止風向之微小變轉，亦可得良好之結果。

E. Almeida Arroya 氏，於1912年，曾考出一種風向器之制動裝置，適於上述之目的，即於風向器上，附入盛油器，如第十一圖，器內入帶粘性之油，

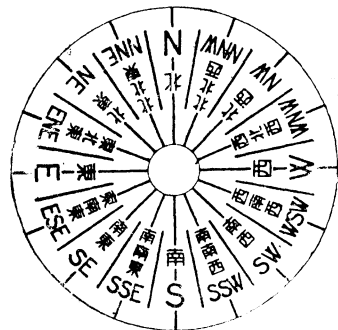


第 11 圖

A 為風向器之桿。由是種之裝置，風向器之小振動，可以除去。Arroya 氏又於 A 與風向器之間，用橡皮製之雙線吊挂，以為連絡，此亦係一種制止小振動之裝置也。

7. 風向盤 以前風向器上所用之風向盤，僅記有八方位。欲讀十六方位之風向，僅用目測，於是遇NNW或ENE等之風向，往往為N或NE等，為數見不鮮之例。於是對於一地方最多風向之統計，及合成風向圖 (Vector diagram)，每易致誤，故現今之風向盤，則加改良，而如第十二圖所示，將圓板均分為十六方位，且於兩方位之間作一界線，以為觀測時識別之用。

風向盤如安置於室內，則須先將室之南北方向，精密測定，否則在太陽正南時，由窗戶內所進之日光，用竿影決其方向亦可

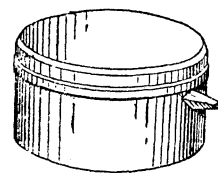


第 12 圖

## 第八章

### 蒸發計

1. 蒸發計 東亞測候界，多數使用之蒸發計，則如第一圖所示，為銅製之圓筒器，口徑為20cm，深約10cm，其傍附有小口，其中注入水後與該口相齊時，則為零(即蒸發量為零之意)。又蒸發計之口緣，為黃銅製之輪，正與雨量計之刃形相同，此可以防雨滴在口緣上之反撥。



第 1 圖

蒸發計之內部，全部鍍錫，即取內壁用白色之意。且此器應置於地之草皮泥上，口緣務須使之水平，器中入清水20mm，經24時間，其所消失之量，即一晝夜間之蒸發量，用量雨杯可以直接測得之。若當降時，因雨量計與蒸發計係同口徑，可將附近所設雨量計中之量減去之，即得同一之結果，例如雨量為 $R$ ，用量雨杯測蒸發計內之水量為 $E$ ，則蒸發量 $V$ 為

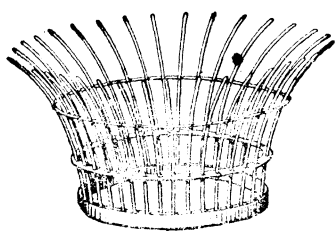
$$V=20-(E-R).$$

若遇降雪，則觀測時可將蒸發計蓋其上口，溫暖之使雪融化，然後減去雨量計內所儲雪水之量。但此法祇用於降雪微小時，若逢大雪，則誤差甚大，無寧用天秤較為得策。

此種之蒸發計，晒於日光中，因日射而器之半面被蔭，水面亦可幾分被蔭。由是因晴蔭而蒸發量遂生差異，即所受測器之影響甚大。由實測之結果，若面積大於通常之蒸發計四倍時，其蒸發量反可少十分之一許。此因注入水量較多，即在日中，水溫亦不能達過高，爰以得此結果。

因欲遮斷雨雪及日光，以測蒸發量，於是將蒸發計置諸百葉箱內，以施行觀測，此稱為日蔭蒸發(Evaporation in shade)；上所遺者，則稱為日向蒸發(Evaporation in sunshine)。在通例百葉箱中，除霧及雪等外，凡雨雪等及直接之日光，皆能遮斷，惟風速則箱內與箱外，呈明顯之差異。即在大形之

百葉箱，箱內之風速，約為箱外之 $\frac{1}{10}$ ，由此點言之，箱內之風速，當然有另行測定之必要。但箱中用 Airmeter，未免太不經濟，無寧用小型Robinson風力



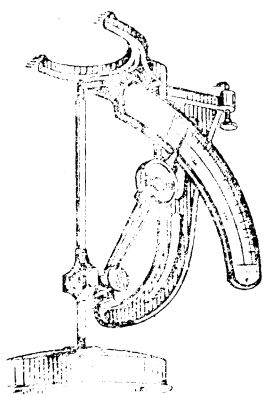
第 2 圖

計(攜帶用)，較為適當，此器械風杯之直徑，約為3cm，器差則當然另行檢定。

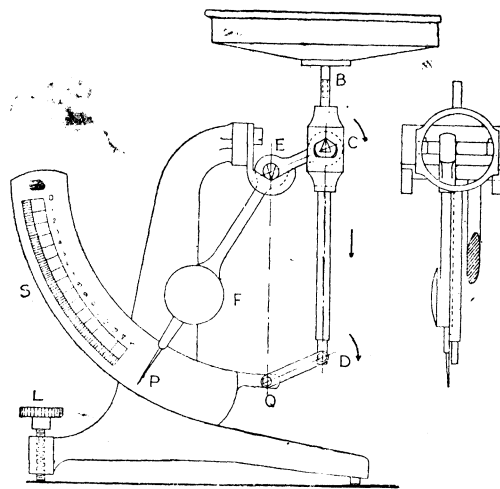
蒸發計附屬有網，如第二圖，用銅線製成盆狀之金屬網，安置於蒸發計上。由此網形，可設想由蒸發計所蒸發之水蒸氣，成流線之形。然實際上是否如是，尙

未判明。又此盆狀之網，置於蒸發計上，可預防鳥類之飛入浴水，及犬之飲水等。

2. Wild氏蒸發計 此器為俄國中央氣象臺長 H. Wild (瑞士人)所製出，可無須用量雨杯，以測蒸發量。第三圖則示其全體之外部，第四圖，則示此器械之構造，圖中之A為蒸發計皿(入水於其中)，接連於B處，而BD恆為垂直，重錘F則與A相平衡，故當A中之



第 3 圖



第 4 圖

水，經蒸發而減少時，所裝置之 P 針，足以表示其減少量。即 S 之刻度規，直接以耗(mm)示其蒸發水量也。現今 Fuess 廠之製作品，A 之蒸發器口徑約 18cm

，深約22mm，其最深處，則為40mm(如第五圖)•S之刻度規，其最上為0mm，最下為15mm，其中間15等分之，其各分更5等分之。由是其各小部為0.2mm，即蒸發量可正確讀至0.1mm。又刻度線之外，刻有A內無水時之目標(Einstellungsmarke bei leerer Schale) 因蒸發面積為250cm<sup>2</sup>許，故1mm之蒸發量，與25gm相當。至於CE之構造(參照四圖)，二者均係刀刃形，E處之刀刃處支持E，C則刀刃在上，以之支持A之重。而D與Q則可自由迴轉。

\* 此蒸發秤之理論，可如第六圖，秤之一腕為p，他腕為q，p錘之重為M，蒸發器與水重之和為R，當兩者互相平衡時，應成立次式：

$$Mpsin\theta = Rqsin\varphi \dots\dots\dots (1)$$

又因AE與BE均固定於E，故∠AEB為一定

，命之為A，則

$$\theta + \varphi = A \dots\dots\dots (2)$$

(1)(2)相組合，得

$$Mpsin\theta = Rqsin(A - \theta) \dots\dots\dots (3)$$

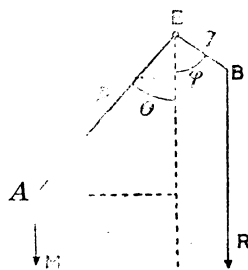
施行微分運算，

$$Mp\cos\theta d\theta = -Rq\cos(A - \theta) d\theta + qs\sin(A - \theta) dR,$$

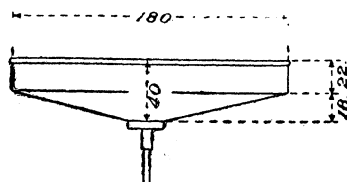
$$dR = \frac{Mp\cos\theta + Rq\cos(A - \theta)}{qs\sin(A - \theta)} d\theta,$$

$$\text{即 } dR = \frac{M + R\left(\frac{q}{p}\right)\cos A + R\left(\frac{q}{p}\right)\sin A \tan\theta}{\left(\frac{q}{p}\right)\sin A - \left(\frac{q}{p}\right)\cos A \tan\theta} d\theta.$$

今A=150°，則sinA=sin30°=0.5，cosA=-cos30°=-0.866；又p=13cm，q=3cm則q/p=3/13=0.23。因θ之變化，大都自20°至50°；由是tanθ之變化，自0.364至1.192。故在含tanθ之項，與他項相比，可置諸省略時



第 6 圖



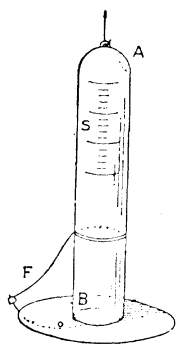
第 5 圖

• 則R與dθ成比例，此即S之刻度線等距離之理由。惟因含tanθ之項，在實際

上未必能省略，故 $dR$ 與 $d\theta$ 之比例，係一種之近似值。

3. Piche 式蒸發計 此器大都用於農學及植物學上，但氣象學家亦不可不知其原理，如第七圖，AB爲一端密閉之玻璃管，其內徑爲10mm許，長爲70

mm許。其下端之口，蓋以厚吸收紙，其中央穿一小孔，使用時，AB管垂直而成倒立之形狀。因氣壓之作用，水既不漏洩，而紙亦不能脫落。水由C面蒸發，管內之水減少，空氣遂由C之中央小孔，通過水柱，而上昇至A處，而占其容積。其蒸發之水量，由S之刻度線，得以知之。



第 7 圖

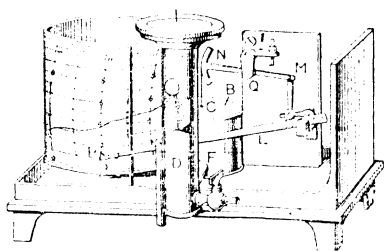
今命紙面 C 之圓半徑爲  $r$ ，玻璃 AB 之外半徑爲  $\rho$ ，則 C 之面積爲  $\pi r^2$ 。但蒸發面積，則從 C 之正反兩面積內，減去  $\pi \rho^2$ ，即

$$\pi (2r^2 - \rho^2)$$

也明矣，紙之半徑，則用 S 上 1mm 之刻度表示之。

此器若曝露於風雨間，則用 F 之彈簧，壓住紙之下面，以不至脫落爲度。蓋從吸收紙所蒸發之水量，與自由水面所蒸發之水量，其間本存在有一定關係。故用 Piche 式蒸發計，其所測定之蒸發量，可用之改算自由水面之蒸發量也。惟用該器以施行測定，對於風速之關係，不能不加入於計算耳。

4. Houdaille 式自記蒸發計 此器爲法國 Montpellier 農學校教授 Houdaille 氏所設計，而該國 Richard 公司爲之製作。其構造如第八圖，E 爲 Piche 式蒸發



第 8 圖

計之吸收紙，D 之中盛以水，其水位則由 F 之連通器，恆與水槽 B 中之水位相一致，水槽中浮有浮子 C，因 E 與 D 中之水，用絲條連絡之，適與浮球溫度計之作用相同。故 E 常溼潤，而不斷蒸發，由 E 之蒸發，而 D 中之水



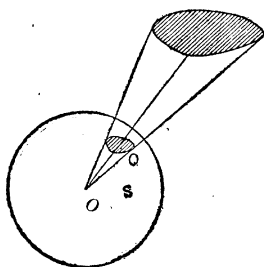
減少，同時浮子C在B中下降；浮子C之絲，使N迴轉，故由QML之槓杆裝置，鋼筆尖P，遂於自記紙上，記水位之變化，即蒸發量之變化也。

5. Wild-Fuess式自記蒸發計 此自記器械，即於Wild式蒸發計之示針上，附以槓杆裝置，使之於自記紙上，描出蒸發量之變化而已，故無重複詳述之必要，此外又有Kassner-Fuess式自記蒸發計，則不過將Hellmann氏自記雪量計之自記部，用為蒸發計耳。

## 第九章

### 雲量測定裝置

1. 立體角 於說明雲量測定之前，先就立體角之意義，述之如次，如第一圖，P 為任意之面積，今以空間之任意一點 O 為中心，畫單位半徑之球；次以

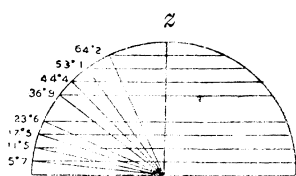


第 1 圖

O 為頂點，P 為底，作錐形，與單位半徑球交成 Q 之球面部分。惟因全球面之立體角，對於 O，例以單位半徑之球面積表示，即  $4\pi \times 1^2 = 4\pi$ ；故 P 對於 O 之立體角，以 Q 之面積表示之。

2. 雲量之測定 在普通氣象觀測，規定滿天無絲毫之雲時為 0；雲佈滿全天時為 10，所謂十分法者是也。但當觀測時，觀測者以目為

中心，對於各雲團之立體角，須一一估計之，而求其角之和，使恰與  $4\pi$  之何分之一相當，通例以目測法決定之。以前俄之 Pawlowsk 氣象臺，嘗作金屬網狀之物，以為目測之補助。如第二圖，C 為觀測者之位置，以之為中心作半



第 2 圖

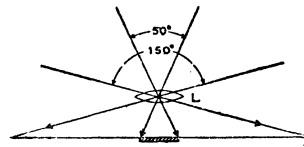
球，并自 AZ 起算，於 AZ 弧上，作高度  $5.7^\circ$   $11.5^\circ$   $17.5^\circ$   $23.6^\circ$   $30.5^\circ$   $36.5^\circ$   $44.4^\circ$   $53.1^\circ$   $64.2^\circ$  等，則各帶之面積均相等。由是置目於 C 點，而目測其各帶內雲所遮掩之部分，以之相加，即得所求之雲量。

從來之氣象觀測，其雲量之目測法，近於地平線者，則視其高之廣袤；近於天頂者，則視其水平之廣袤為標準。此對於氣候調查之目的，無論雲之為縱為橫，僅以推求雲蔽天空若干部為歸宿，施行此法，固無甚大差。惟就理論氣象學考察，此法是否完善，洵現今未解決之問題焉。

3. 全天攝影機 (Apparatus to photograph the whole sky) 若攝全天之攝

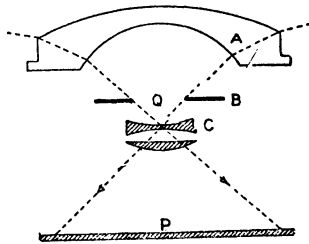
影機，能製作完成，則對於雲量之觀測，自非常裨益。英人 Robin Hill，對於此種裝置之 Lens，細為研究。據 C. Beck 之記述，全天視作半球，除特殊之方法外，於有限平面，即種板上之射影，不能免

多少形之歪。因此最初所研究者，為種板上能射入  $180^\circ$  之角，但如第三圖所示，普通焦點距離之 Lens，射入之角，幾以  $50^\circ$  為限。若係  $150^\circ$  之角，則種板之直徑，約須 3 英尺；角  $160^\circ$



第 3 圖

時，須 6 英尺；至  $180^\circ$ ，則種板之直徑，須至無限大。因欲救濟此種困難，Hill 氏用特殊之 Lens，如第四圖所示，其直徑為  $2\frac{1}{4}$  英寸，成外側彎曲形之凸 Lens，於是可將  $180^\circ$  之光，收斂之使入於  $90^\circ$  之圓錐形內。至內側則彎曲更大



第 4 圖

而成凹形，於是由 A 所射入之光線，收斂而於圓錐之 Q 點，而 Q 處則安置攝影用之 Lens C；B 處則安置 Stops 及 Screen；最後於適當處，則安置種板 P。即由此設計，而能得全天之攝影也。惟就實際之器械而論，此種 Lens，置入於攝影暗箱而得  $2\frac{1}{2}$  英寸許之攝影，且因在攝影時，由天空所射入光之強弱而異，故用

Panchromatic plate，則攝影時間，在一秒以內。然當於日出或日沒時，則時間當較長，又此攝影機之目的，雖在攝全天之雲，而與雲量之測定無關，惟因 Stereographic 投影 (Stereographic projection)，其面積比例，亦頗正確，故對於雲量測定，亦適於應用。

## 第十章

### 日射計

1. 無氣黑球溫度計 (Black bulb thermometer in vacuo) 此器為由英國輸入東亞之製作品，用以測定日射之強。前印度氣象臺長 J. Eliot，曾加以理論的說明，即如第一圖所示，此溫度計為球部圓形之水銀溫度計，其球部塗以油



第 1 第

煙，封入於大形之玻璃球中，而排除其一部分之空氣，即大形玻璃管及球中之空氣，極其稀薄，

B 為黑球，C 為玻璃球，A 為封入

於玻璃管中之橡皮輪，用以支持溫度計。此黑球溫度計，如安置於百葉箱內，則用以表顯空氣之溫度；若置諸箱外，而曝於日光中，則油煙吸收太陽熱，而示度上昇。今命其示度為  $t_1$ ，其時之氣溫為  $t$ ，則  $t_1 - t$ ，係表示該時刻觀測地點所受太陽熱之強。惟此處所謂受太陽熱者，包含直接由太陽射來之熱，及由大氣所反射之熱而言。因此溫度計之球部，塗有油煙，故是等之熱，均被吸收。其封入於玻璃球者，則用以防風或雨時，而免油煙剝落也。

今於任意時間，黑球之溫度為  $\theta$ ，玻璃球之溫度為  $\theta'$ ，黑球在一分間所受之熱量為  $q$ ，黑球輻射係數  $e$  則得次式：

$$q = ce(\theta - \theta').$$

若  $ce$  為常數，則  $q$  可由  $\theta - \theta'$  測定之，此處之  $\theta'$ ，雖為玻璃球之溫度，而通例則用以代表空氣之溫度。但由 O. Chwolson 所論述，實際上  $\theta'$  應比空氣之溫度為高。

2. Arago-Davy 日射計 此器為法國天文學者 Arago 氏所考案，巴黎 Mont Souris 氣象臺之 Marie-Davy 氏，施諸實地應用。故附以此名，至此器之構造，則如第二圖所示，為二種之溫度計；其一為無氣黑球溫度計，他一種則無氣白球溫度計（即封入玻璃管中之普通溫度計）。設命白球之示度為  $\theta_1$ ，其輻射係數

爲 $e'$ ，白球之吸收熱量爲 $q$ 之 $n$ 倍，即 $nq$ 。當兩球示度一定時，而并假定Newton之輻射法，得適用於本例，則得

$$q = ce(\theta - \theta'), \quad nq = ce'(\theta_1 - \theta').$$

由此二式消去 $\theta'$ ，得

$$q = \frac{cee'}{e' - ne}(\theta - \theta_1) = B(\theta - \theta_1).$$

因 $B$ 爲常數，故太陽熱之強，與黑白兩球示度之差成比例。但此器械由物理學方面討論，則有次列之缺點：

(I) Newton 之輻射法則，對於此種黑白兩球之溫度差較大時，不能適用。

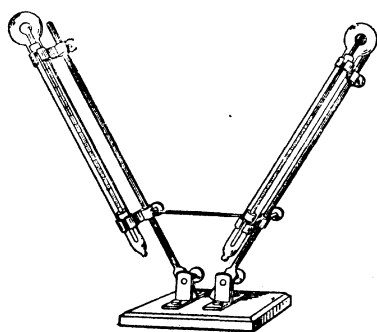
(II) 因包圍黑球之玻璃球，吸收日射中各波長之光線，不能一律，故 $q$ 不能爲日射之目標。

(III) 由白球玻璃壁與水銀面起反射時，各波長之輻射，不能相同，從而 $n$ 不能視爲常數。

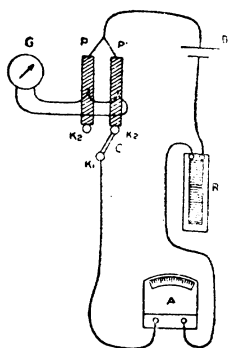
若以上之缺點，均可置諸不問時，則此器亦不無多少之效用。

3. Angström 日射計 此器械之主要部，如第三圖所示，兩個同大之鍍金

屬片 $P$ 及 $P'$ ，其表面均塗黑色；其兩片之裏面，則附有熱電堆(Thermopile)；其間更安置電流計 $G$ 。若兩片之溫度相異時，則如第三圖所示，電流計之針起偏倚。今由 $P'$ 遮斷日射，使 $P$ 向日射之方向，則 $P$ 吸收日射，而溫度增高，而 $G$ 之針偏倚；同時 $P$ 通電流而亦增其溫度，迨 $P$ 與 $P'$ 爲等溫時， $G$ 之針始回復原位置。此時 $P$ 所吸收之日射量，應與 $P'$ 由電流所得之熱量相等。故若能計算此熱量，即可求得日射量



第 2 圖



第 3 圖

也明矣。

今命錳金屬片之幅為 $b$ cm，長為 $l$ cm，抵抗為 $r$  ohm，電流之強為 $i$  ampere， $P'$ 由電流所得之熱量為 $Q'$ ，則由物理學上所述，

$$Q' = \frac{ri^2l}{4.18} \text{ gm.cal.}$$

又在單位時間中之單位面積內， $P$ 所受之日射量，若為 $q$ ，則 $P$ 全面積所受之日射量 $Q$ ，應為

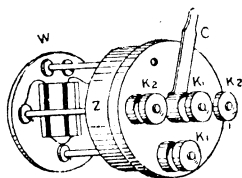
$$Q = aqlb \text{ gm.cal.}$$

但 $a$ 為 $P$ 之吸收率，惟因 $Q=Q'$ ，故

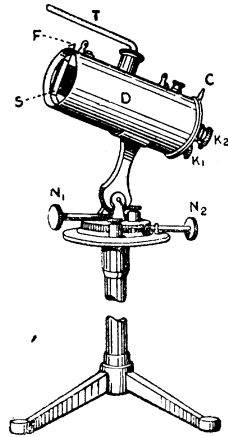
$$q = \frac{ri^2}{4.18ab} \text{ gm.cal.}$$

實際上此器械如第四圖所示，納入於鍍銀之圓筒中， $T$ 為溫度計，用以測錳金屬片之溫度，但錳金屬之抵抗，不甚由溫度而起變化，故此溫度計亦不收甚大之效用。

收入於圓筒中之器械，則如第五圖， $W$ 為支持 $P$ 及 $P'$ 之架， $K_1$ 及 $K_2$ 為連結導線之處， $C$ 則用以轉換電流。



第 5 圖



第 4 圖

在實地觀測時，先將圓筒正對太陽之方向，用第四圖中之 $F$ ，以遮斷 $P'$ ，令 $P$ 正向日射，然後動 $C$ 之柄，使 $P'$ 通電流，且用抵抗器 $R$ 以調節之(如第三圖)，使電流計 $G$ 之針，歸原位置，斯時讀取Ammeter  $A$ 之示度，命之為 $i$ 。次用 $F$ 遮斷 $P$ ，使 $P'$ 向日射，并向反對方向迴轉 $C$ ，使 $P$ 通電流，迨 $G$ 之針歸原位置時，以測定 $i$ ，而取其平均值以為所求。

通例實測之際，應反覆數次：及(1) $P$ 當日射時，其電流為 $i_1$ ；(2) $P'$ 當日射時，其電流為 $i_2$ ；(3)再令 $P$ 當日時為 $i_3$ ；(4)再令

P'當日射為 $i_4$ ；則所求電流之強，為

$$i = \frac{i_1 + i_2 + i_3 + i_4}{4}$$

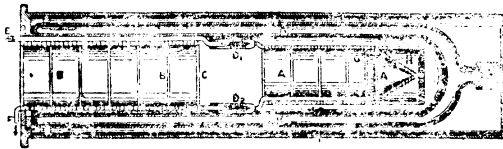
日本中央氣象臺所藏之日射計No. 95，為

$r=0.222$  ohm per cm,  $b=0.2005$  cm,  $a=0.980$ ,故其一分間所受之日射量，為

$$q = \frac{60ri^2}{4.18ba} = \frac{0.222 \times 60}{4.18 \times 0.2005 \times 0.98} i^2 = 16.22i^2$$

使用日射計有應注意之兩點：第一，當日射之時，錳金屬片熱之吸收，從表面始，而通電流之他一片，其熱則從內部開始，故片從表面向內部，其溫度之遞減率，兩片不相同。尤其是因錳金屬片之長為20mm，厚 $20\mu$ ，油煙之厚 $10\mu$ 許，故由此原因所來之誤差，大抵可在0.5%以上，第二通日射之小孔，其緣邊之蔭，可遮掩片之少許部分，使不受日射，即在實際上，長20mm之片中，約有1mm許，可為緣邊之蔭，故由此原因所來之誤差，特稱為緣邊誤(Randeffekt)。德人Martens氏，則謂由此誤差所得之測定值，約為2.8%，測定差後應將此值加入云。

4. Abbot氏水流日射計 此器於1903年，為美人Abbot氏所考案之品，稱為水流日射計(Water-flow pyrheliometer)，用以測日射之絕對值。如第六圖。有內徑3.5cm之室，其壁為二重壁，壁間常使水流通，此水從E之入口，流



第 6 圖

入於室A，及受熱圓錐H之壁間。此受熱圓錐，因吸收太陽熱而增熱，於是流入之水，遂奪取此熱而自將溫度增加，迨經白金抵抗溫度計D<sub>2</sub>時，並得知其溫度昇高量。但此水流通過B之周圍，從F之出口流出之。當水流未到H之前，先經過白金抵抗溫度計D<sub>1</sub>，以判明水流最初之溫度，故由D<sub>1</sub>，D<sub>2</sub>之示度，可以推知水流在H處所奪取之熱量。因A，B，H內面均用油

入於室A，及受熱圓錐H之壁間。此受熱圓錐，因吸收太陽熱而增熱，於是流入之水，遂奪取此熱而自將溫度增加，迨經白金抵抗溫度計

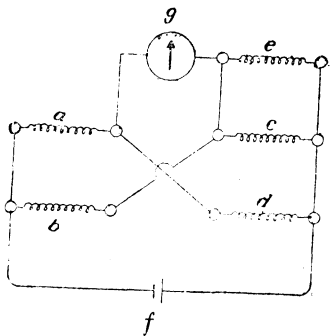
煙塗黑，故正對H之日射，既為所吸收，而同時反射之日射，再為壁所吸收，其結局則日射量全被吸收也。

欲避去外界熱傳導及輻射等之影響，故將此器之全體，收入於特種之暖水瓶 (Thermos bottle) K中，恐其易於破損，再以之納入於金屬圓筒中，其水流之裝置，則於距此器約高10m處，安置儲水筒 (Tank)，其間連以導管，且於管上裝置活栓，活栓開時，一秒間應流幾 $\text{cm}^3$ 之水，預為算定之。

用此器以測日射時，使H正對日射之方向，日光得自由射入，且有C之裝置，得知日光所照之面積，水流溫度之變化，則如前所述，由 $D_1$ 及 $D_2$ 之示差溫度計測定之，於是測得水流之量，其日射量即可由計算求出之。

白金抵抗溫度計，則如第六圖所示之 $D_1$ 及 $D_2$ ，將金屬筒之一端，少使擴大，封入玻璃管，其間置有填充物 (Packing)，此玻璃管開有小孔，由此水得流通。又玻璃管內封入白金線，而以象牙之螺線支持之，若將其端之牝螺旋 (Nut) 迴轉，則可置象牙螺線於適宜之位置。此象牙螺線，自頭至尾，用數條白金線貫之，此等白金線之端，皆連於一粗銅線，由此銅線，以與抵抗溫度計之他部相電絡。

此白金抵抗溫度計之電絡情狀，則如第七圖所示，第六圖中數條之白金線



第 7 圖

，於此處則以 $a, b, c, d$ 四個電絡線 (Coil) 表之，此中之 $a, c$ 則與前圖之 $D_1$ 相當； $b, d$ 則與 $D_2$ 相當。於Wheatstone電橋 (Wheatstone bridge) 之一腕，插入抵抗變化較大之電絡線 $e$ ，視為分流器 (Shunt)， $g$ 為電流計， $f$ 為電池，今命電池之電動力為 $E$ ，其導線之抵抗為 $B$ ，電流計中之電流為 $g$ ，其導線抵抗為 $G$ ，電橋中四導線之抵抗為 $\alpha, \beta, \gamma$

， $\delta$ ，則當四導線中之任意一導線例如 $\beta$ ，起 $d\beta$ 之變化時，電流計之電流，起 $dg_\beta$ 與之對應，且令



$$D = BG(\alpha + \beta + \gamma + \delta) + B(\alpha + \beta)(\gamma + \delta) \\ + G(\alpha + \delta)(\beta + \gamma) + \alpha\delta(\beta + \gamma) + \beta\gamma(\alpha + \delta),$$

則成立次之等式：

$$dg_{\beta} = \frac{E}{D} \left\{ \delta - \frac{BG + B(\gamma + \delta) + G(\alpha + \delta) + \alpha\delta + \gamma(\alpha + \delta)}{D} (\beta\delta - \alpha\gamma) \right\} d\beta.$$

對於其餘三者，亦得同形之式。

在此器械內，電橋導線之抵抗，在於11—12 ohm之間；電池與電流計之導線抵抗，亦約略為20—100 ohm，故可取其略近值，即

$$dg_{\beta} = \frac{E\delta}{D} d\beta.$$

其他三式，亦得同樣之簡單形。

命對於微小電流，其電流計之偏倚為  $Kdg_{\beta}$  ( $K$  為常數)。設  $c$  之導線與分流器之導線，其抵抗為  $e$  時，電橋達平衡狀態，而  $e$  起變化  $\Delta$  時，電流之偏倚為  $\sigma$ ，因將  $c$  視為分流器時，其導線之抵抗為  $\frac{ce}{c+e}$ ，故起  $\Delta$  變化時，為

$$\frac{c(e+\Delta)}{c+e+\Delta} - \frac{ce}{c+e} = \frac{c^2\Delta}{(c+e)(c+e+\Delta)},$$

$$\text{及} \quad \sigma = K \frac{E}{D} \alpha \frac{c\Delta}{(c+e)(c+e+\Delta)}.$$

當日射入射時， $a$  及  $c$  之導線，其溫度升高  $dt$ ，電流計起  $S$  之偏倚，抵抗增加  $qdt$  ( $q$  為常數)，則

$$S = K \frac{E}{D} \left\{ \frac{ce}{c+e} + \frac{ae^2}{(c+e)(c+e+qdt)} \right\} qdt.$$

$qdt$  與  $c+e$  相變，幾可置諸省略。又  $a$  與  $c$  亦幾相等，今用其和之半分  $Q$ ，則得

$$S = K \frac{E}{D} \frac{ceq}{c+e} \left( 1 + \frac{e}{Q+e} \right) dt.$$

次命水流之速為  $w$ ，日射進孔時，其所照之面積為  $s$ ，日射之強為  $R$ ，以  $S$  除6，且以  $Q$  代  $a$  及  $c$ ，則

$$R = \frac{w}{s} dt = \frac{w}{s} \frac{S}{\sigma} \frac{Q^2}{qe} \frac{\Delta}{(Q+e+\Delta) \left( 1 + \frac{e}{Q+e} \right)}.$$

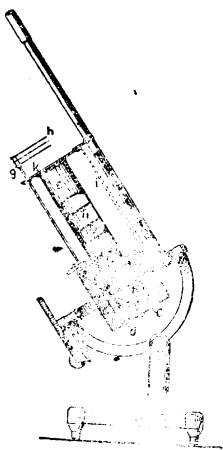
即由此式可計算日射也。

Abbot氏所製之器械中，其No. 3，經氏之測定，其常數如次表：

溫 度	導 線 抵 抗			
	a( $\alpha$ )	b( $\beta$ )	c( $\gamma$ )	d( $\delta$ )
0.00	10.6303	10.5833	10.6405	10.5696
10.60	11.0177	10.9666	11.0242	10.9553
20.80	11.3758	11.3277	11.3883	11.3129
30.49	11.7224	11.6699	11.7321	11.6563
40.20	12.0644	12.0112	12.0761	11.6973

\*5. Abbot氏銀盤日射計 前節所記之日射計，雖可以測日射量之絕對值，但使用上較為複雜，適用於研究日射之專門家，而於一般氣象觀測上，似難通用，於是Abbot更有銀盤日射計(Silver disk pyrhelimeter)之設計，其構造如第八圖，a為有橫孔之銀製圓盤，此孔中插入水銀溫度計之圓筒形球部，其間

隙中，則入水銀，使銀盤之溫度，容易傳達於溫度計，銀盤置於圓筒器之底部，銀盤之上面，及圓筒之內面，均用油煙燻熱，且圓筒器之內，設有二絞圈(Iris biaphragm)  $f_1$ 及 $f_2$ ，以防風之吹出，及氣流之出入。且欲與外界及熱之傳導輻射等隔絕，故圓筒器之全部，納入木製之函中。又此器恆載於赤道儀式之架上，使其方向能正對日射。



第 8 圖

用此器以測日射時，先將器械正對日射方向，使太陽光線，恰與銀盤面垂直。且在觀測開始時，先用不傳熱之物，以為圓筒器之蓋，以蓋圓筒之口，迨諸事均整理就緒，然後去蓋，使日光垂直的射於銀盤上面。於是讀取溫度計之示度。例如經 $\alpha$ 分後，溫度計上昇 $\Delta t$ 度，則若能知此器械之常數，即能求得日射量。

設用水流日射計與本器同時觀測日射，由水流日射計所測定之日射絕對值為 $q$ ，用本器經 $\alpha$ 分後其溫度之上昇為 $\Delta t$ ，則常數 $f$ 可由次式計算之：

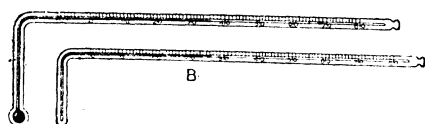
$$f \frac{\Delta t}{z} = q, \quad \therefore f = \frac{zq}{\Delta t}.$$

此 $f$ 之值，就各器械決定之。

# 第十一章

## 地中溫度計

1. 曲管地中溫度計 距地面約深至 30cm 止，其地中溫度，通例用曲管地中溫度計測定之。此器如第一圖 A，棒狀溫度計之管，成直角形彎曲之，將其球部，埋入地至所當之深。則該溫度計，即可以示該深處之溫度。惟此處所宜



第 1 圖

注意者，球部之溫度，未必能與管部之溫度相一致。若管部溫度，比球部為高，則此溫度計所示者，比實際之地中溫度為高；反之則比實際之地中溫度為低，此

與觀測氣溫相異(因觀測氣溫時溫度計全部皆在同溫之空氣中)。

由上所述，當管部與球部溫度不同時，須加入若干之補正，而後可得真正之地中溫度，此補正，稱為管之補正(Stem Correction)。因欲加入補正，於是不可不先知管中水銀線之溫度，今命其溫度為  $\tau$ ，管露出地面部分之刻度數為  $n$ ，真正之地中溫度為  $\theta$ ，溫度計讀取之示度為  $\theta'$ ，則得

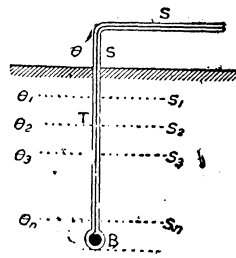
$$\theta = \theta' + n\alpha(\theta - \tau)$$

式中之  $\alpha$ ，為管中水銀之線膨脹係數，等於 0.000158。惟因  $\theta$  與  $\theta'$  相差甚微，故上式可以  $\theta'$  代右邊括弧中之  $\theta$ ，即

$$\theta = \theta' + n\alpha(\theta' - \tau).$$

此式右邊之第二項，即管之補正。由是本節之問題，歸着於  $\tau$  之求出，通例用一種補正溫度計(Faden thermometer)，係法人 Arago 所創製。A. Angot 及 E. Schmidt 兩氏所著之氣象學中，對於地中溫度之觀測，亦獎勵用此種之器，此器如第一圖之 B，與地中溫度計同形而無球部，惟 A 與 B 中各部分水銀線粗細之比，須一定不易，為其必要條件，又 A 與 B 中水銀線之長，往往由溫度而起差異，故用 B 之示度，以為補正，尚存多少不正確之點。

2. Quetelet 氏之補正法 如第二圖，用曲管溫度計以測地中溫度，其最深處之球部 B，中途之管 T，地上之管 S，三者之溫度各不相同，故讀取 S 處之示度，再加以前節所述之補正，在實際上仍未能得真正之地中溫度，此因垂直管



T 之補正，不可置諸省略也。Arago 氏嘗提案用無球部之同形溫度計，埋入同深之處，而讀其示度，以為補正數。此法在大體上可無非難，但次所述之 Quetelet 氏之計算法，亦甚饒興趣。

第 2 圖

今假定觀測地埋多數之地中溫度計，命地上之氣層為 S，地面與第一地中溫度計球部間之地層為 S<sub>1</sub>，第一與第二地中溫度計球部間之地層 S<sub>2</sub>，以下同樣，馴至第 n-1 與第 n 地中溫度計球部間之地層為 S<sub>n</sub>；次命 θ 為氣層之溫度，θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>, θ<sub>3</sub>, …, θ<sub>n</sub> 為 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, …, S<sub>n</sub> 各地層之溫度，g 為管露出於空氣部分之刻度數，g<sub>1</sub>, g<sub>2</sub>, g<sub>3</sub>, …, g<sub>n</sub> 為 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, …, S<sub>n</sub> 各地層管刻度數，則得

$$\begin{aligned} \theta - \theta_n &= B \text{ 與 } S \text{ 溫度之差,} \\ \frac{\theta + \theta_1}{2} - \theta_n &= B \text{ 與 } S_1 \text{ 溫度之差,} \\ \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - \theta_n &= B \text{ 與 } S_2 \text{ 溫度之差,} \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{\theta_{n-1} + \theta_n}{2} - g_n &= B \text{ 與 } S_n \text{ 溫度之差.} \end{aligned}$$

若玻璃管中水銀之膨脹係數為 α，則欲得 B 之真正溫度時，其所用之補正數 C，為

$$C = \alpha \left\{ g(\theta - \theta_n) + g_1 \left( \frac{\theta + \theta_1}{2} - \theta_n \right) + g_2 \left( \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - \theta_n \right) + \dots\dots\dots + g_n \left( \frac{\theta_{n-1} + \theta_n}{2} - \theta_n \right) \right\}$$

$$= \frac{\alpha}{2} \{ \theta (2g + g_1) + \theta_1 (g_1 + g_2) + \theta_2 (g_2 + g_3) + \dots \}$$

若  $g_1 = g_2 = g_3 = \dots = g_n$ , 則

$$C = \alpha \left\{ g (\theta - \theta_n) + g_1 \left( \frac{\theta}{2} + \theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_{n-1} + \frac{\theta_n}{2} - n\theta_n \right) \right\}$$

今令  $\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n = \Sigma\theta$ , 則

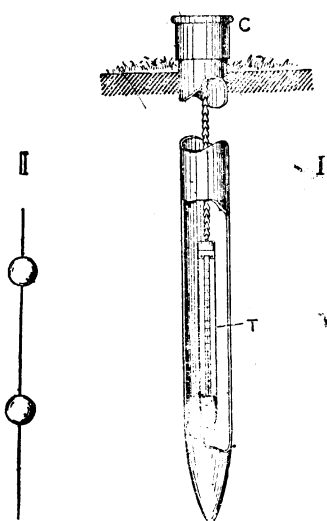
$$C = \alpha \left\{ g (\theta - \theta_n) + g_1 \left( \frac{\theta}{2} + \Sigma\theta - \frac{\theta_n}{2} - n\theta_n \right) \right\}$$

$$= \alpha \left\{ \left( g + \frac{g_1}{2} \right) (\theta - \theta_n) + g_1 (\Sigma\theta - n\theta_n) \right\}$$

在通例  $g_1 (\Sigma\theta - n\theta_n)$ , 為非常微小之數, 可置諸省略, 由是

$$C = \alpha \left( g + \frac{g_1}{2} \right) (\theta - \theta_n)$$

以上之補正, 并將水平管部分之補正, 亦同時算入矣。



第 3 圖

3. Symons式地中溫度計 此器如第三圖, 為英人 Symons 氏所使用, 俗稱為鐵管式地中溫度計。凡欲測深30cm以上之地中溫度, 雖有種種方法, 但多數之測候界, 大都用此鐵管式器, 即如圖 I 將鐵管埋入地內, 其中懸以溫度計, 按日於一定時刻, 讀取其示度, 至鐵管構造, 大抵其外徑為4.6cm, 內徑為4.2cm, 管厚0.4cm. C 為銅製之蓋, 附以鎖鏈, 以懸溫度計 T, 即通常之水銀計; 惟其球部則包以橡皮, 以為預防引上溫度計時, 示度急劇變化之用。

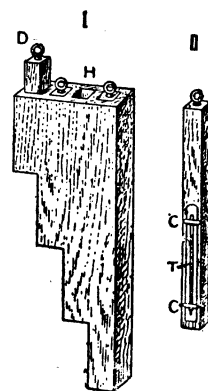
鐵管式地中溫度計, 易受鐵管之影響, 且鐵管中并起空氣對流作用, 故就實際而言, 不能得真正之地中溫度。於是於鎖鏈間, 附以多數之球, 如圖 II 所

示，懸入管中，使球與管壁間所留之空隙極小，以之減少對流作用。此球當然以木製或橡皮製者為宜。

埋置鐵管時，須挖掘地土，故地中溫度之配布，至恢復該地之常態，約須六個月；從而施行觀測，亦不可不準此行之，又鐵管之底，往往有水侵入，須時時用細竹竿，其一端捲以類似棉布之物，以拭乾管底之水。苟或不然，則地中溫度計之球部，將附有薄水膜，而如溫度計之溼球矣。

此式之地中溫度計，因係英人 G. Symons 所製，故英國測候界用之最多。但輸入於東亞者亦不在少數，而 Potsdam 氣象臺，則以洋銀管代鐵管，蓋因其熱傳導率，較鐵為小，且與土之傳導率相近也。但亦併用陶土管，而不用鎖鏈，將地中溫度計，嵌入於圓棒狀木之下部，其球部捲以石棉，且以銅物固定之，使懸入管中，以避對流之影響。

4. Lamont 式地中溫度計 此器為德國 München 氣象臺長 Johan von Lamont 所創製，特稱為 Lamont 函，(Lamont-Kasten) 為歐洲大陸多數之使用品，如第四圖，木製之函，其中插入木柱(如圖中之 II，其柱之下部，附有溫度計 T，用金屬 C 固定之。此溫度計之球部較大，充入多量之水銀，而使其熱容量亦較大；故當此溫度計引上時，暫時其示度可不變，至 I 圖所示之木函，則埋入於地中，其 H 孔即係插入木柱 II 之孔，當觀測時，以手持 D 環，而急速讀其示度。



第 4 圖

5. Wild 式地中溫度計 此器為 H. Wild 所創見，多數用於俄國測候界，其構造之要旨，則以硬橡皮 (Ebonite) 管，為鐵管之代用，管之下端，則嵌以銅製之金屬具 (Kupfer-Basis)，此管中恰好插入圓木棒，其棒之一端

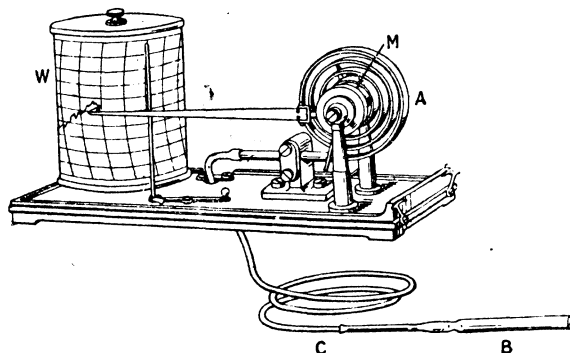
，則為溫度計，其球部則罩以黃銅之圓筒，而兩者之間隙，則以黃銅細屑充滿之，因木棒插入管中，木棒與管壁間之隙，阻以布片之輪，故可以防阻對流，又木棒之上部有蓋，故雨水亦不至流入管中。

在多雪之地方，則硬橡皮管，約須露出於地面二尺許，比用鉄管爲優，而就Ebonite之熱傳導率(Thermal conductivity)設想，其採用尤爲適宜，今爲參考起見，將二三物體之熱傳導率，用  $g\text{-cal per degree } c \text{ per cm}^3$  示之如下：

鑄鉄 0.144	玻璃 0.0025	陶器 0.0025	檜材 0.00035
銅 0.918	洋銀 0.0700	杉材 0.00023	土壤 0.004
黃銅 0.260	Ebonite 0.00087	水銀 0.0148	

6. 白金抵抗地中溫度計 測定地中溫度，亦有使用白金抵抗溫度計者，當然比鉄管地中溫度計爲合理的，惟因氣溫之於抵抗，易起影響，如地中溫度之變化遲緩，若使用抵抗函，決不能良好之結果（從實際言此種器械合於物理實驗而不適用於氣象觀測），無寧用熱電堆較爲得策，又奧國之 Schmitt 氏，嘗以玻璃管代鉄管，以小型熱電堆代水銀溫度計，其成績非常優美。尤其是田圃等之地中溫度測定，更爲適宜焉。

7. 自記地中溫度計 自記地中溫度計(Earth temperature recorder)中，其最便利使用者，爲英國 Negretti & Zambra 公司所製之自記地中溫度計。即如第五圖所示，即於鋼製毛管 C 中，充滿水銀，而與 Bourdon 管 A 連接，毛管之



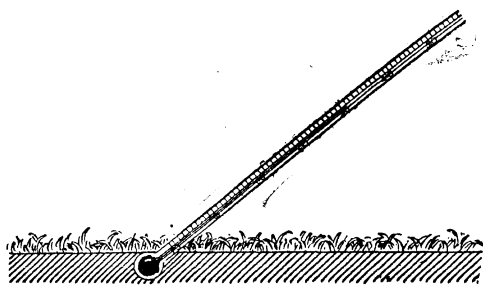
第 6 圖

他端，更與較大之芋形鋼管 B 相連。此芋形管恰與溫度計之球部相當，此芋形管溫度增高時，則其中之水銀膨脹，經過毛管 C 而入 Bourdon 管 A，於是 A 管有



由彎曲而直伸之趨勢，從而附着於管之示針起運動，可以記錄溫度之昇降。即由其示針之運動，在自記時計所捲之自記紙上，畫溫度昇降之曲線。此處所宜注意者，Bourdon管A，曝於空氣中，往往感受氣溫之變化而起影響。因欲避去此弊，通例於Bourdon管之端，附以雙金屬片 (Bimetallic strips) M，由其作用，以減少其因氣溫所起之變化。

8. 地面溫度計 觀測地表面之溫度，雖較為困難，通常則如第六圖所示，



第 6 圖

水銀溫度之球部，約略埋入於地，其露出之表面部分，則塗以薄層之土，因此球部之上半，在日中比地表面之溫度為高；其下半則較低；至於夜間則反是，故其平均溫度之示度，約略與地表面之溫度相接近。然經細心推詳，

此溫度計之示度，無論如何，而非真正之地面溫度也明矣。又從他方面設想，所謂地表面云者，其定義由字面而起，從而所謂地面溫度云者，其定義除此而外，亦無其他意義可言，且無其他方法可發見，惟使用此方法時，往往因降雨而使球部所塗之土剝落，此則常宜注意焉。且塗土之厚薄，無論何時，須使之一樣，尤為必要。蓋地表面之溫度，其測定上之困難，實不止一端也。

## 第十二章

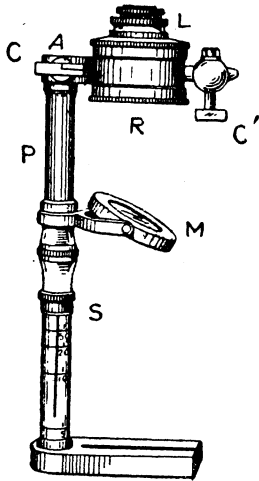
### 計 塵 器

1. 計塵器 此器用以測定空氣中浮泛細塵之數，即細砂煙煤及其他等細塵之數。最初之器，於1888年時，為蘇格蘭學者 J. Aitken 氏所考案，基於次之原理：即空氣當斷熱的膨脹時，其中之水蒸氣，恆以空氣中之細塵為心核，而凝結成微細之水滴。將是種水滴，用玻璃板受之，而以顯微鏡視其數，即可知  $1\text{cm}^2$  中細塵之數。但氏作此器械時，尙未知空氣中之 Ion，能作凝結之心核。故從今日觀之，Aitken 氏之計塵器，其所測得者，不僅為土砂塵及煤煙塵等，凡能凝結之心核，均算入其內也。

迨1921年，英人 J. S. Owens 氏，從另一見地製作計塵器，為今日英國各測候所之通用品，但已加三次之改良矣。

以上二氏之器械之外，在1916年，美人 G. T. Palmer 氏亦曾設計一器，其原理則基於作水之散滴，而通以空氣，使其中所含之細塵，為水所吸收，然後再將水蒸發，以測細塵之重量，然此法經多數人之研究後，知為水所吸收之細塵，不過一部分，故該器於實際上無甚效用。此外則亦有將玻璃板及皿等，曝露空氣中，以測定沈澱於其上之細塵量者。

2. Aitken 氏計塵器 此器如第一圖所示，構造原理，極其簡單：即於容器上張以吸收紙（能充分吸收水者），而導入既知量之空氣。且此器中入檢鏡用之玻璃板，即玻璃蓋板 (Deckglass)，置諸水平位置。此容器與唧筒 (Pump) 相連，藉唧筒之作用，使容器中飽和水蒸氣之空氣，其壓力急劇減少，則水蒸氣斷熱的冷卻，而以浮泛於空氣中之細塵為心核，而凝結成微細之水滴，沈降於玻璃板上。此時用顯微鏡視之，且鏡下豫置有基盤格之玻璃板，得以數其  $1\text{mm}$  方格內之水滴數，再予以計算細塵數。至於測定所入空氣之立積，其裝置尤為精巧。蓋因唧筒之胴身，為容器之支柱，其上刻有度數，故活塞下壓時，其柱上刻度線之讀度，得以知容器中空氣膨脹之比率，迨活栓開，則與前膨脹時同



第 1 圖

容積之空氣流入，而使內外壓力平均。圖中之 R 為流入空氣之容器，其內面置充分含水之吸收紙，L 為顯微鏡，M 為反射鏡，P 為唧筒，S 為活塞 (Piston)，C 及 C' 為活栓 (Cock)，以為容器與外氣交通或絕緣之用。

依 E. Abberhalden 氏著書，實測時之順序如次所述，最為適當：

(i) 在實測前，先取出玻璃蓋板 (Deckglass) 及棋盤格，使之非常清潔，容器 R 中之吸收紙，使之充分含水量後，將玻璃蓋板及棋盤格板，置於原位置。

(ii) 容器中之空氣，使之清潔，即先開活

栓 C'，令容器 R 與外氣相通；次閉 C' 而開 C，令容器與唧筒相通；次調節反射

鏡 M，令棋盤格板，非常明瞭，然後急下 S，使唧筒之活塞起作用，同時由顯

微鏡望棋盤格板，見有微細之水滴沈澱。此後仍將 S 徐徐下移，而水滴之沈澱

，遂漸減少，至空氣中不含細塵而止，斯時器內之空氣，可全然清潔。

(iii) 實測時可先將 S 上移，是時活栓 C，如第一圖所示，在 A 之位置，使 R

與外氣連絡，於是 R 內空氣之一部逸出於外；次閉活栓 C

，如第二圖 B 之位置，使 R 與外氣之交通斷絕，於是下移 S

，例如至 R 容積  $\frac{1}{20}$  處之刻線處，則 R 中立積  $\frac{1}{20}$  之空氣，流

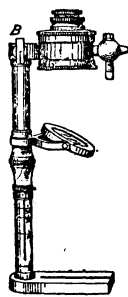
入於唧筒內。斯時再開 C，如第一圖之 A，則 R 又與外氣

交通，而含細塵之空氣，又流入 R 中，其所流入之容積，

約等於 R 之  $\frac{1}{20}$ 。故其時容器中清潔之空氣，為  $\frac{19}{20}$ ，而

含細塵之空氣為  $\frac{1}{20}$ 。又其次則將 S 上移，使唧筒內之空氣

，逸出於外，於是閉活栓 C，如第二圖之 B，斷絕 R 與外氣之交通，調節反射



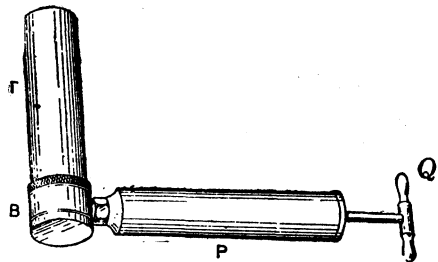
第 2 圖

爲心核之水滴，落於棋盤格板上，而細數其滴數。此種實測，約連續十回。

(iv)由上十回實測而施計算，例如 $1\text{mm}^2$ 上之水滴數爲3,4,5,5,3,2,4,2,4,3，則其平均爲3.5。故 $1\text{cm}^2$ 上，爲 $3.5 \times 10^2 = 350$ 個。今容器R之高，若爲1cm，則 $1\text{cm}^3$ 中含有細塵350個，惟因此爲容積 $\frac{1}{20}$ 之細塵數，故若容器中所入者，盡爲含細塵之空氣，則 $1\text{cm}^3$ 中，應含 $350 \times 20 = 7000$ 個細塵數也明矣。

細塵含多量時，可以立積之 $\frac{1}{50}$ 爲準；含少量時，則 $\frac{1}{10}$ 或 $\frac{1}{5}$ 均可。故刻度線應分幾重刻之。

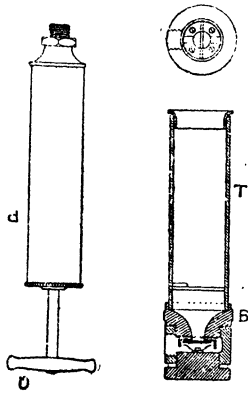
3. Owens 氏計塵器 此計塵器 (Oust counter) 如第三圖，T爲黃銅製之圓筒，其內壁貼以充分含水之吸收紙，P爲唧筒，Q爲活塞之柄，P之立積爲50cc，T約爲其2倍，其原理則將一定量之空氣，使通過極狹之細隙而迸出之，令吹着於細隙前，約1mm處之玻璃板上，則其中所浮泛之細塵，均附着於板面上。故在顯微鏡下，數1mm方格中所含之數，因以計算 $1\text{mm}^3$ 之細塵數。



第 3 圖

因空氣通過細隙之前，接觸圓筒內之溼紙，而成充分的溼潤，故由迸出速度之關係，壓力減少，而起斷熱的冷卻；於是其中所含之水蒸氣，以細塵爲心核而凝結，遂沈澱於玻璃板上。此時迸出空氣，其速度亦減，而壓力及溫度亦增加，於是水分蒸發，而細塵殘留於玻璃板上。

此器之內部構造，則如第四圖，B爲黃銅製之胴，其下旋入底栓C，其間夾皮製物，以防空氣之漏洩，胴B之上，則旋入喇叭狀金屬物，此金屬物之底，並列半圓板兩枚，稍離開成細隙(Slit)，此半圓板則如第四圖上部所示，用四螺旋固定之，且使圓板位置，稍能移動，而細隙之幅，可因之增大或減小，通例其幅爲0.2mm許，此圓板上能安置玻璃蓋板，底栓C之上面，則出有二撥條，壓此玻璃板而使之不動。



第 4 圖

此器在實地使用時，T筒內之吸收紙，使之充分含水，由唧筒之作用，使空氣充分入於T筒，然後安置玻璃蓋板於洞中，將底栓C旋緊，於是用唧筒令空氣從細隙突入(務求其速)；此後取出玻璃蓋板，置諸顯微鏡下，而數其細塵之數。此顯微鏡下，本置有刻每方格1mm或0.1mm之玻璃板，故可藉以知1mm方格中之細塵數。今命一方格內細塵之平均數為N，方格之數為S，空氣之 $\text{cm}^3$ 數為C，則空氣 $1\text{cm}^3$ 之

細塵數，可由次式計算之(但S以 $\text{cm}^2$ 為單位)：

$$\frac{N \times S}{C}$$

用此法以測定之細塵數，不過得其最小限度，蓋實際上有不附着於玻璃板而逃去者，然由J. S. Owens氏之說，此數約為全體之20%云。

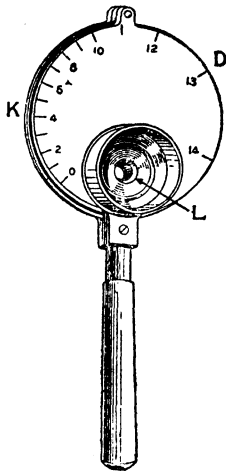
## 第十三章

### 視 程 計

1. 視程計(Sichtmesser) 視程計為德人 A. Wigand於1919年考案之製作品，最初製成者，為階級視程計(Stufensichtmesser)。氏於是年又改良其不便之點，作楔形視程計(Keilsichtmesser)。其視程測定之原理，則歸宿於選定既知之目標，即用人目對乳色玻璃，恰毫無所見時，命其乳色玻璃之度為  $a$ 。又與目標距離  $l$  km 無關係之最大限度，其乳色玻璃之度為  $a_m$  (即視程最良時之值)，則  $a_m - a$ ，係用乳色玻璃度，表示對於  $l$  距離之空氣混濁度，故將此值用  $l$  除之，即  $(a_m - a)/l$  為對於  $l$  km 距離之空氣混濁度。其逆數即以之為視程  $S$  之定義，即

$$S = \frac{l}{a_m - a}.$$

視程計之構造，則如第一圖，於二重圓板  $D$  之間，插入乳色之圓板狀楔  $K$



第 1 圖

，人目由  $L$  處視遠方，徐徐將  $K$  迴轉，可使視野成黑暗。當迴轉  $K$  時，同時讀取  $D$  上所記之刻度線數，且因據 Wigand 氏之決定， $a_m$  為 14.3，故  $S$  可由上式計算之。但實際上經種種之測驗， $S$  由目標之形狀，大小及顏色而異，其值不能與距離無關係。由是為救正起見，加入補正  $\sigma l$ ，以求與距離無關係之  $S$  值，今命之為  $S_\sigma$ ，則得

$$S_\sigma = S - \sigma l = \frac{l}{a_m - a} - \sigma l = l \left( \frac{1}{a_m - a} - \sigma \right)$$

今用二相異距離  $l_1, l_2$ ，以觀測  $S$ ，得所求之值為  $S_1, S_2$ ，

則

$$S_1 = \frac{l}{a_m - a_1},$$

$$S_2 = \frac{l}{a_m - a_2}.$$

惟因 
$$S_\sigma = \frac{l_1}{a_m - a_1} - \sigma l_1 = \frac{l_2}{a_m - a_2} - \sigma l_2,$$

故 
$$\sigma = \frac{S_2 - S_1}{l_2 - l_1}.$$

用此方法決定 $\sigma$ ，其在濃霧， $\sigma=0.04$ ；在煙霧時， $\sigma=0.06$ ，故由 $a_m=14.3$ ，得

$$S_\sigma = l \left( \frac{1}{14.3 - a} - 0.06 \right).$$

在氣象觀測上，所謂視程云者，其目標為視遠至不能見時之距離 $L$ ，而在視程計上，恰為 $a=1$ ，故

$$S_\sigma = L \left( \frac{1}{14.3 - 1} - 0.06 \right) = 0.015L,$$

$$L = \frac{S_\sigma}{0.015} = 66S_\sigma.$$

故若知 $S_\sigma$ ，即可求得由km所表示之視程。

以上所述，係測水平視程之方法，然亦可用同一之視程計，以測垂直視程。惟其目標，須用測風氣球，而將視程計安置於測風經緯儀上，通過望遠鏡而測之。惟此處與水平時相異者，第一由於氣球之大小，而所得相異之結果，應加入補正 $a_z$ ；第二對於望遠鏡應加入補正 $a_0$ ，故若既讀取 $a_z$ ，則得

$$S_\sigma = l \left\{ \frac{1}{a_m - (a_f + a_0 + a_z)} - \sigma \right\}$$

$$a_m = 14.3, \quad a_0 = 5.85, \quad \sigma = 0.06.$$

惟 $a_z$ 由所用之氣球與距離而異，在普通之氣球，當 $l=1\text{km}$ ，則 $a_z=-1.2$ ；當 $l=5\text{km}$ ， $a_z=0.7$ ；又 $l=10\text{km}$ ，則 $a_z=1.8$ 許。故先計算 $S_\sigma$ ，然後用以求 $L$ ，其計算式與水平時相同。

## 第十四章

### 測風氣球

1. 測風氣球 充滿輕氣之橡皮氣球，以之測高空各層之風向，風速，此種氣球，特稱為測風氣球 (Pilot balloon)。東亞各測候所，通常所採用者，為節省經濟起見，大都為小形氣球，其重量約自20g。至40g，其色為深紅色，然亦有白者。

填充輕氣之時，氣球之浮力，通例用浮力天秤測之，又若浮力  $L$  為已知，則其上昇速度  $V$ ，可由次式計算之：

$$V = k \frac{L^2}{(W + L)^{\frac{1}{3}}}$$

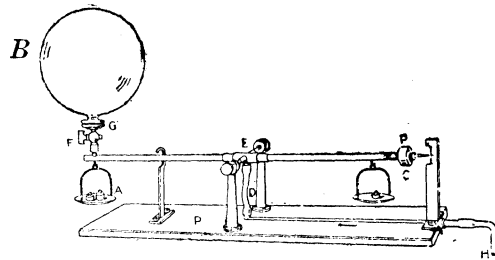
$W$  為氣球皮之重量， $k$  為常數。上昇速度，用每分鐘若干 meter 表示之， $L$  與  $W$ ，若以 gm 計算，則  $k$  約等於 81。

測風氣球之上昇速度，因空氣之上昇或下降運動之影響，決不能謂為等速，又因存在有空氣之亂流，用雙經緯儀法，定各時刻氣球之高度，而以其平均值之差，為昇降氣流之速度，亦不可能。又氣球受日射時，氣體之溫度增高，從而上昇速度，亦因之增加。故由此種種原因言之，用測風氣球為觀測上層風之方法，不過僅能得其概要而已。

2. 浮力天秤 測風氣球，當填充輕氣之時，須用浮力天秤，以決定輕氣之填充量，如第一圖，係表示測風球 B 與天秤之連絡模樣，即經由 F，E，D 而與輕氣管相連。若螺旋瓣 F 開，則氣球與輕氣管通，瓣閉則其連絡斷絕，當輕氣入氣球中，而球起膨脹，則因 B 得浮力，天秤一端之皿中，載以砝碼，其重量適與 B 球所需要之上昇速度相當。待天秤之竿，至水平位置時，然後斷絕 B 與輕氣管之連絡。至於氣球 B 之重 (球皮之重)，則當預先測定之。

浮力測定之後，以細絲緊縛氣球之下口，務使不漏洩，然後使球與天秤相離。





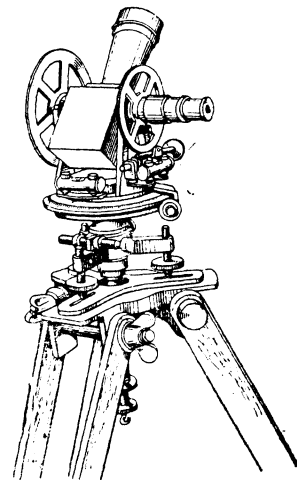
第 1 圖

今將測風氣球之浮力略表，揭之如下：

V \ W	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
100	11.9	14.6	16.9	19.0	21.0	22.8	24.5	26.2	27.8	29.3
150	55.7	61.9	67.4	72.4	77.2	81.7	86.2	90.2	94.2	98.0
200	245	254	262	271	278	286	293	300	306	313

此表之意味，例如氣球之球皮重15g而欲使其一分間之上升速度為150m，則其浮力應為61.9g，其餘類推。

3. 測風氣球經緯儀 此器與測量用之經緯儀相似，惟因鏡中之視界，務求其廣，故所用之 Lens 亦較大，從而不免稍暗，又用此器讀度，務極迅速，故刻度距離亦粗，通常大都每一度刻一線，而遊尺則可讀至六分乃至三分。望遠鏡之外部，附加肉眼照準裝置，以便氣球在近距離處，急速追跡其方位及高度之變化，且為觀測上便利起見，對於高度及方位之變化，并裝置含有制止作用之微動螺旋，以便二者兼用。又氣球經過天頂附近，則觀測殊為困難，故亦有具備側視接眼鏡者。第二圖所示，則係通常所用之測風氣球經緯儀。



第 2 圖

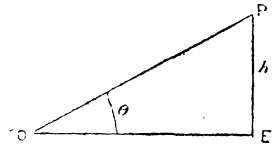
4. 單經緯儀觀測 此觀測係假定測風氣球

之運動，為等速的上昇，選適當之觀測地點，安置經緯儀，而以之為基點，氣球放後，每分鐘或每若干秒，讀取其高度  $\theta$  及方位角  $\varphi$ ，但方位角以北為  $0^\circ$ ，是為通例。

今如第三圖，O 為觀測地點，氣球放後，假定經過一分鐘後，由 O 行至 P。惟因氣球之上昇速度為  $V_m$ ，故  $V=PE$ 。又風速(水平運動)在一分鐘，若為  $W_m$ ，則  $W=OE$ 。今命  $OE=l$ ， $PE=h$ ，氣球之高度為  $\theta$ ，則

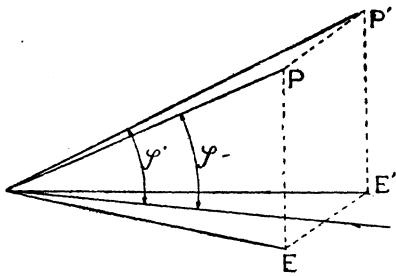
$$l = h \cot \theta$$

因  $l$  可視作風在一分鐘移動之水平距離，故以 60 除  $l$ ，可得每秒之平均風速。P 之方向，則北為  $0^\circ$ ，東為  $90^\circ$ ，以下順次遞推。

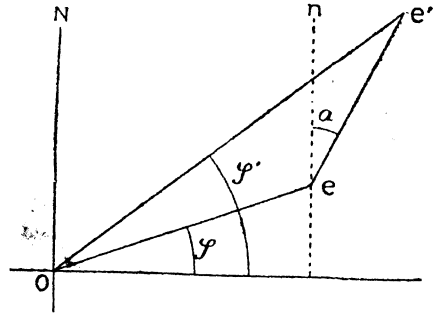


第 3 圖

更假定第二分時間後，氣球之位置如第四圖所示，由 P 移至 P'，則 PP' 為風



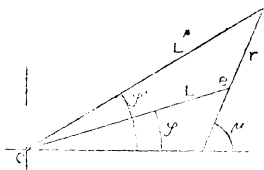
第 4 圖



第 5 圖

一分間所行之距離，而  $EE'$  即以示水平分速，亦即吾人所求之目的物，此與第五圖中之  $ee'$  相當，今於  $Oe$  及  $Oe'$  之方向，用與長  $l$  及  $l'$  相當之縮尺量之，即可求得  $ee'$  之長；其方向則測其與  $en$  (北向) 線之交角  $\alpha$ ，可以知之。

以上之結果，若以計算得之，則非常煩雜，非惟時間不經濟，亦為事實所不許，現今大都以圖表求之。



第 6 圖

\* 至於由單經緯儀觀測所得之誤差，尤有詳說之必要，今命氣球之上昇速度為  $v$ ，經  $t$  分後之水平距離為  $L$ ；經  $t+1$  分後之水平距離為  $L'$  (如第六圖所示)，則準前述之公式，

$$L = v t \cot \theta, \quad L' = v (t+1) \cot \theta' \dots \dots \dots (1)$$

又因方位角為 $\varphi$ 及 $\varphi'$ ，及 $\varphi' - \varphi = a$ ，則得

$$r^2 = L^2 + L'^2 - 2LL' \cos a \dots \dots \dots (2)$$

及

$$\frac{L}{L'} = \frac{\sin(\mu - \varphi')}{\sin(\mu - \varphi)},$$

$$\tan \mu = \frac{L' \sin \varphi' - L \sin \varphi}{L' \cos \varphi' - L \cos \varphi} \dots \dots \dots (3)$$

今於(1)式各取兩邊之對數，而施微分計算，

$$\frac{dL}{L} = \frac{dv}{v} + \frac{dt}{t} - \frac{2d\theta}{\sin 2\theta} \dots \dots \dots (4)$$

\*先設想 $dt=0$ ， $d\theta=0$ ，即時間 $t$ 及仰角 $\theta$ ，在觀測時不生何等之誤差時，則

$$\frac{dL}{L} = \frac{dv}{v}.$$

即氣球上昇速度，有 $\frac{dv}{v}$ %之誤差時，其所決定之水平距離，亦得相同%之誤差。

\*次就 $\theta$ 誤差及於 $L$ 之影響設想，即於(4)式中令 $dt=0$ ， $dv=0$ ，則得

$$\frac{dL}{L} = -\frac{2d\theta}{\sin 2\theta} = -2 \operatorname{cosec} 2\theta d\theta.$$

惟因 $\theta < 90^\circ$ ，故 $\sin 2\theta$ 恆為正。於是知 $\theta$ 若過大，則 $L$ 應失之過小。

\*此處更就種種之高度，當 $d\theta=0.1$ 時，而揭載 $\frac{dL}{L}$ 之絕對值如下：

但此計算中，因 $d\theta=0.1=6'$ ，須用弧度法示之，故不可不以 $\frac{\pi}{360 \times 60}$ 乘之。

$\theta$		$dL/L$	$\theta$		$dL/L$	$\theta$		$dL/L$
1	89	10.0%	10	80	1.0%	35	55	0.4%
2	88	5.0	15	75	0.7	40	50	0.4
3	87	3.3	20	70	0.5	45	45	0.4
4	86	2.5	25	65	0.5			
5	85	2.0	30	60	0.4			

即就大體而言， $\theta$ 生 $1^\circ$ 之 $\frac{1}{10}$ 之誤差， $L$ 可生0.5%之誤差。即1000m有 $0.5 \times \frac{1000}{100} = 5\text{m}$ 之差，10000m則有50m之差。

\*次就 $L$ 與 $L'$ 及於 $r$ 之影響設想，先將(2)式微分之，得

$$rdr = LdL + L'dL' - (LdL' + L'dL)\cos\alpha + LL'\sin\alpha da$$

兩邊以 $r^2$ 除之，且令 $da=0$ ，則得

$$\frac{dr}{r} = \frac{(L - L'\cos\alpha)dL + (L' - L\cos\alpha)dL'}{L^2 + L'^2 - 2LL'\cos\alpha}$$

今令  $\frac{L'}{L} = k$ ，則  $\frac{dL'}{L} = \frac{L'}{L} \frac{dL'}{L'} = k \frac{dL'}{L'}$ ，由是

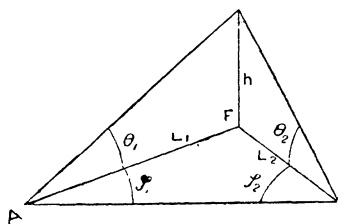
$$\frac{dr}{r} = \frac{(1 - k\cos\alpha)\frac{dL}{L} + k(k - \cos\alpha)\frac{dL'}{L'}}{1 + k^2 - 2k\cos\alpha}$$

在許多之例，大都  $\frac{dL}{L}$  與  $\frac{dL'}{L'}$  約略相等，故

$$\frac{dr}{r} = \frac{dL}{L} = \frac{dL'}{L'}$$

\*6. 雙經緯儀觀測 單經緯儀觀測，係假定測風氣球之上昇，為等速運動；且同時復假定地面上空氣，不起垂直運行。從嚴格言之，此種觀測結果，極不精密，故此法之外，又有雙經緯儀觀測。實施此工作時，先作 1km 乃至 1.5 km 距離之基線，於其兩端各安置測風經緯儀，同時觀測同一之測風氣球，測

知其高及方向，則即可求得氣球所行之距離。今如第六圖，AB為基線，其長為 $b$ ，氣球之位置P，距地面之高為 $h$ ，P之正射影為F，則得



第 6 圖

$$AF = L_1, \quad BF = L_2, \text{ 及}$$

$$L_1 = \frac{b \sin \varphi_2}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}, \quad L_2 = \frac{b \sin \varphi_1}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

設由A所測之高為 $h_1$ ，由B所測者為 $h_2$ ，因通例基線須在同一之水平面上，故 $h_1 = h_2$ 。惟因

$$h_1 = L_1 \tan \theta_1, \quad h_2 = L_2 \tan \theta_2.$$

$$h_1 = \frac{b \sin \varphi_2}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)} \tan \theta_1, \quad h_2 = \frac{b \sin \varphi_1}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)} \tan \theta_2.$$

今於此式，取兩端之對數而微分之，

$$\begin{aligned} dh_1 &= -\frac{\pi h_1 \cot(\varphi_1 + \varphi_2)}{180 \times 60} d(\varphi_1 + \varphi_2) \\ &\quad + \frac{2\pi h_1}{180 \times 60} \frac{d\theta_1}{\sin 2\theta_1} + \frac{\pi h_1 \cot \varphi_2}{180 \times 60} d\varphi_2, \\ dh_2 &= -\frac{\pi h_2 \cot(\varphi_1 + \varphi_2)}{180 \times 60} d(\varphi_1 + \varphi_2) \\ &\quad + \frac{2\pi h_2}{180 \times 60} \frac{d\theta_2}{\sin 2\theta_2} + \frac{\pi h_2 \cot \varphi_1}{180 \times 60} d\varphi_1. \end{aligned}$$

惟因

$$\cot \varphi_2 - \cot(\varphi_1 + \varphi_2) = \frac{\sin \varphi_1}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) \sin \varphi_2},$$

$$\cot \varphi_1 - \cot(\varphi_1 + \varphi_2) = \frac{\sin \varphi_2}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) \sin \varphi_1},$$

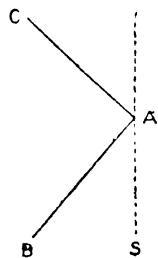
$$dh_1 = \frac{2\pi h_1}{180 \times 60} \frac{d\theta_1}{\sin 2\theta_1} - \frac{\pi h_1}{180 \times 60} \cot[\varphi_1 + \varphi_2] d\varphi_1.$$

$$+ \frac{\pi h_1}{180 \times 60} \frac{\sin \varphi_1}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) \sin \varphi_2} d\varphi_2,$$

$$dh_2 = \frac{2\pi h_2}{180 \times 60} \frac{d\theta_2}{\sin 2\theta_2} - \frac{\pi h_2}{180 \times 60} \cot(\varphi_1 + \varphi_2) d\varphi_2$$

$$+ \frac{\pi h_2}{180 \times 60} \frac{\sin \varphi_2}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) \sin \varphi_1} d\varphi_1.$$

即在雙經緯儀觀測，其高 $h$ 之誤差，與方位角 $\varphi$ 及高度 $\theta$ 之誤差，均有關係，而備極複雜焉。



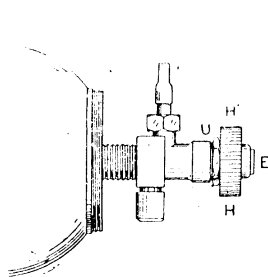
第 7 圖

\*施行雙經緯儀觀測，若基線可不止選出一線，則如第七圖所示，可取 A 為主點 B, C 二點為副點。取 AB, AC 二直線，擇其中任一直線為基線均可。即 AC 為良好天氣時，與該地最多風向成直角之線，AB 則不論晴雨時，與該地最多風向成直角之直線，由此法可比較得良好之結果。

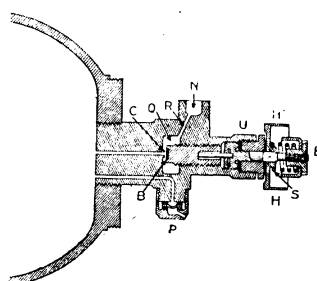
A, B, C 三點，通常須用電話連絡裝置，俾觀測

氣球時，二觀測地點，可得正確之同時刻，即時計亦不可不用電接裝置。

6. 輕氣管及氣球填充 通常測風氣球內，輕氣填充時，輕氣管內所壓縮之輕氣，其壓力約自100氣壓至200氣壓。此種鐵管之口，因用於可燃性之氣體，故為左旋螺旋。即其外觀如第八圖；內部則如第九圖，B為可迴轉之螺旋，向



第8圖



第9圖

左回旋時，螺旋即鬆弛，B之硬橡皮 (Ebonite) 部分，稍與C之小口相離，鐵管中之輕氣，遂由C經過Q, R, N之路，而逸出於外。

測風氣球輕氣填充時，先將HH'之柄向左旋轉，於是心棒亦回旋。心棒上有用銅釘固定之螺旋，而附於其端之鐵片，因與螺旋B之溝相嚙接，故兩者亦隨之而回旋。又心棒之前緣，則由S之彈簧，用U部分之填充物 (Packing) 緊壓之，以防氣體之洩漏。B端塞入硬橡皮片，以之密閉C口。U則為纖維 (Fiber) 之填充物，P為安全裝置，鐵管中壓力過大時，則可由小孔使氣體逸出。

7. 減壓器 測風氣球填充輕氣時，先測氣球皮之重量。次由浮力天秤之橡皮管，以之與鐵管相連，略將E回旋，使管內輕氣徐徐流出。但有時為安全起見，用減壓器與N口相連，則可減少輕氣之壓力，以之連於天秤之橡皮管。

8. 測風氣球夜間觀測 於夜間使用測風氣球，須附有光源，使之上昇，是為必要。歐洲大戰，法國戰線上遠征之空軍，曾用日本小田原氏提燈，以為光源。此外則亦有用小電池作成豆電球，以為光源者，大約氣球之高為3km許時，則用小田原氏提燈為優；若至5km以上，則無寧用豆電燈，較為得策焉。

所謂小田原氏提燈云者，與普通所用者不同，係純粹用紙作成，而可折疊

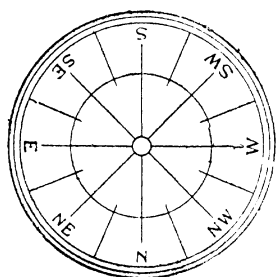
---

• 就其大小而言，則長為15cm許，直徑為7cm許，燈內燃蠟燭後，其全重量得20g許。此提燈用絲懸於氣球之下，且令其距離較遠，使隨氣球而上昇。

# 第十五章

## 測雲器

1. Sprung氏測雲鏡(Der Wolken Spiegel von Sprung) 此雲鏡如第一圖所示，為直徑90mm 許圓鏡二枚所組成：其一為黑玻璃，他為普通鍍銀之鏡，其



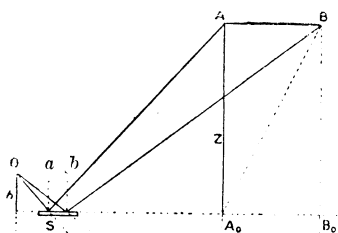
第 1 圖

鏡之表面，刻十六方位線。又以鏡之中央為圓心，畫直徑6mm及46mm之二同心圓，且欲保護鏡面，附有金屬蓋。

用此器觀測時，先將蓋取下，安置雲鏡於水平之位置，并校正其方位角。其時觀測者眼之位置，恰使雲影在鏡之中央小圓內，而後觀雲在鏡內運動之徑路，而取其反對之方向，即

所求之雲向。例如雲向ENE之方向運行，則其雲向為WSW。惟此處所宜注意者，當觀測時，眼之位置，容易變易，通例將兩手捧頭，而不使之稍生動搖為宜。

為說明雲鏡之原理起見，先假定雲在水平方向移動，如第二圖，O為觀測者之眼，A為雲在天空之位置，A在鏡面上之影為a，經過t秒後，雲由A移至B



第 2 圖

其鏡面上之影為 b，今由 B 下垂線於鏡面 S，且延長之至於 B'，令  $BB_0 = B_0B'$ ，更令  $AB = S$ ， $ab = s$ ，則雲速 V 為

$$V = \frac{S}{t}$$

設雲距地面之高為 z，觀測者之眼，距地之高為 h，則

$$\frac{S}{s} = \frac{z+h}{h}$$



故 
$$S = \frac{s}{h}(z+h).$$

惟因  $h$  比  $z$  非常微小，故以  $z$  代  $z+h$ ，無甚大差，由是得

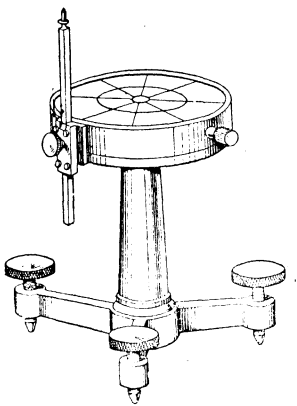
$$V = \frac{sz}{ht}.$$

但雲高  $z$ ，實際上不能確知，故用雲鏡不能測實際之雲速，而僅可用以測雲速與其高之比  $\omega$ ，即

$$\omega = \frac{V}{z} = \frac{s}{ht}.$$

當實地觀測時，大抵用黑鏡，至於非常淡色之雲，則用鍍銀鏡，又欲知雲影在鏡面上之移動距離，則可自中心之小圓起測至其次之中圓，使其距離恰為 20mm，至為便利也。

2. Fineman 氏雲鏡 如第三圖所示，此鏡安置於三足臺上，因欲定眼之位置，鏡側立有標柱，柱傍附有螺旋裝置，而使標柱得任意上下。



第 3 圖

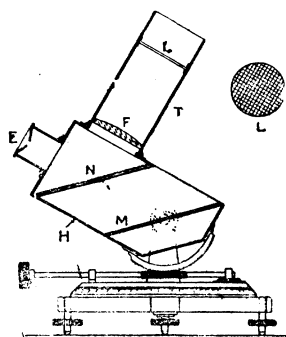
此雲鏡之使用法，全與 Sprung 氏之雲鏡相同。又計算雲之比較速度，其方法與所用公式，亦與前節所述者全同也。

3. Arcimi 氏雲鏡 (J. Arcimi's nephoscope)

此雲鏡構造至為簡單，為 1922 年 Agostino 氏所考案，其原理則如第四圖所示， $H$  為金屬製之函，其尺寸則為  $20 \times 15\text{cm}$ ，其函面直立有  $T$  之間筒， $M$  為平面鏡，與函底成  $45^\circ$  之角。近

於圓筒  $T$  之上口，安置透明之玻璃板，其面與筒軸垂直，其上刻有約 2mm 寬之方格線。E 為對眼孔， $N$  為透光之平面玻璃板，其位置與  $M$  平行， $F$  為 lens。今  $M$  若映入雲影時，則由雲所射入之光，經  $M$  之反射而入人目。同時由圓筒  $T$  所射入之光映於  $N$  上，而顯方格之影，入於  $E$  處之人目，斯時雲影位置，適在多

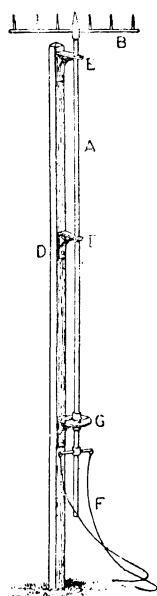
數方格中之何處，可以推知之。至經  $t$  秒後，以前之雲影則在  $L$  上其他之位置。由是測定  $L$  上方格數，可以知雲之移動距離。蓋雲影在  $L$  上移行一格，恰與移  $1^\circ$  之角相當。例如高 1000 之雲，經 14 秒，在  $L$  板上移過一方格，則該雲實際之運動距離，為  $\frac{1000 \times 1^\circ \times 3.14}{180} = 17.44$  m，故雲速為  $\frac{17.44}{14} = 1.24$  m/s。



第 4 圖

4. Besson 氏櫛形測雲器 (Besson's comb

nephoscope) 此器為法人 Besson 氏所製出，為測候界多數使用之品，其構造要旨，則如第五圖所示，長約 4m 以上之黃銅竿，使之直立，其頭部橫杆上，附有七個之櫛齒狀短棒， $G$  為方向盤，刻有十六方位， $F$  為手綱，用以迴轉  $A$  而使  $C$  移動， $D$  為全體之支柱，由金屬物  $E$  及  $E'$ ，以之支持  $A$  杆。



第 5 圖

用此器以測雲向時，觀測者立於距支柱約 1.5m 處，牽手綱  $F$  以迴轉  $C$ ，使與雲行方向平行，由是雲向可由  $G$  之方位盤推知之（即由固定於  $A$  之示針指示之）。

至於求雲之比較速度，則測雲通過櫛齒間之時間，即可求得，若雲行迅速，則測定雲經過數齒間之時間，而求其平均數亦可。

今命每隔一齒間之距離為  $s$ ，觀測者之眼與櫛齒之垂直距離為  $h$ ，雲之高為  $z$ ，雲速為  $V$ ，雲經過齒與齒間之時間為  $t$ ，則得次式：

$$\frac{V}{z} = \frac{s}{ht}$$

通例  $s=0.4$ m,  $h=4$ m, 由是  $\frac{V}{z} = \frac{1}{10} \times \frac{1}{t}$  故若雲高為 100(m), 及  $t=10$  秒, 則

$$V = \frac{1000}{10} \times \frac{1}{10} = 10 \text{ m/sec.}$$

\*5. 攝影經緯儀(Photothedolite) 欲正確測定雲高及雲速，則應使用攝影

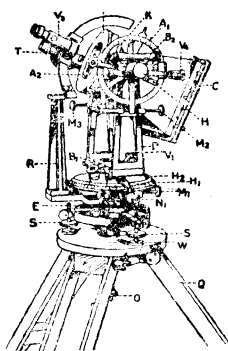
經緯儀。此器為德人C. Koppe所發明，而為彼國Braunschweig之器械師Oscar Günther所製

作，即將攝影機與普通之經緯儀二者組合而成

。如第六圖所示，經緯儀有S之三腳架，E為直立軸，其上固定H<sub>1</sub>，H<sub>2</sub>內外一組之圓盤。

此盤上之刻度，則為讀取方位之用，B<sub>1</sub>為水準器，P為支柱，P之上部有垂直輪，用以讀

取暗函之高度，而暗箱C則藉H之水平軸，而置於P之支柱上，G為重錘，恰能保持暗箱之

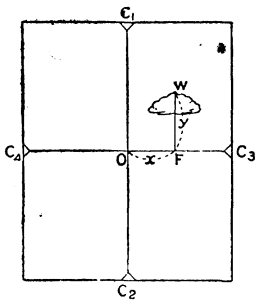


第 6 圖

平衡，水平軸之他端，則安置望遠鏡及小型副望遠鏡(Finder)，B<sub>2</sub>亦為水準器，至R處則安置讀取器械，但當觀測時，器中諸件，與上圖所示者不同。

用此器以求雲之攝影，至少在水平距離1km以上之甲乙兩地間作基線，其間設電話使兩地互相連絡，在攝影之前，觀測者及其助手，於甲乙兩地各安設攝影經緯儀，各將該器細為調整，然後將器上之望遠鏡互相對向，即由甲望乙，則以乙處經緯儀中心為目標；由乙望甲亦如之。斯時讀取方位盤上零度之位置，迨此種工作告竣，則於暗箱中插入種板，同時通電話，約定所欲測之雲形，使之正向Lens。然後引出暗箱中之蓋，再由電話中呼一，二，三等之呼聲，令兩處同時施攝影手續，并讀取其方位角及高度，此二者即攝影經緯儀之光軸方向。

現攝影之像，通例用苛性鉀液。當該液溫度為18°C時，則顯像時間，以三分許為標準。至於洗片等工作，可用普通方法行之，顯像及洗片等事畢後，則須先求光軸之通過點，此因攝影原板之上下左右緣邊，本附有印記，可用鉛筆連結之，以求其交點。即如第七圖所示，C<sub>1</sub>，C<sub>2</sub>，C<sub>3</sub>，C<sub>4</sub>均為其印記，而C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>與

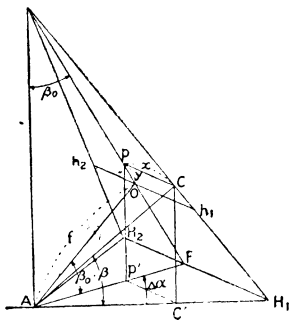


第 7 圖

$C_3C_4$  之交點  $O$ ，即光軸之通過點，或稱主點 (Hauptpunkt)。

其次則將甲乙兩處，由攝影所得之原板並列於修整臺上，求出雲之共通點，而附以 1, 2, 3, …………… 等之記號，既求出各點，然後再用前所述之讀取器械，以求方向，即先將記有各點之原板，納入於攝影經緯儀之暗箱中，其位置與攝雲影時分毫不爽。次將讀取器械安置於經緯儀上，用擴大鏡通過經緯儀之 Lens，而窺

測原板上附有記號之各雲點，以主點為基點，而定其方位及高度。且因此種讀取器，在經緯儀之周圍及上下，均能移動自如，故求方位及高度，毫不困難。或不用讀取器，如上圖以  $C_4C_3$  為  $x$  軸， $C_1C_2$  為  $y$  軸，雲點之坐標用精密尺度量之，則由計算法亦可得其方位及高度。此處述其方法如次：



第 8 圖

如第八圖， $AH_1H_2$  為水平面， $zH_1H_2$  為乾板之平面，由攝影機 Lens 之光心  $A$ ，引鉛直線交平面  $zH_1H_2$  於  $z$ ， $O$  為主點  $AO$  為光軸之方向，故其長等於焦點距離  $f$ 。今以  $zOF$  為  $y$  軸，與該軸成直角之  $h_1Oh_2$  為  $x$  軸，則由主點  $C$ ，引  $CP$  與  $H_1H_2$  平行，則得  $C$  之坐標為

$$CP=x \quad PO=y.$$

$AC$  係表示  $C$  對於  $AO$  之方位。•  $zC$  之延長線，與水平面  $AH_1H_2$  之交點為  $H_1$ ，更作含  $PC$  之鉛直

面，其與水平面之交線為  $P'C'$  則  $P'$  點當然在  $AF$  上。

今命光軸  $AO$  與水平面所成之角為  $\beta_0$  (即高度)，其方位即  $AF$  線之方位為  $\alpha_0$  (對於任意選擇之基準線)， $AC$  與水平面所成之角為  $\beta$ ，其方位為  $\alpha$ ，即  $AH_1$  線之方位)，更命  $AF$  與  $AH_1$  兩方位之差  $\angle H_1AF$  為  $\Delta\alpha$ ，則

$$\alpha = \alpha_0 \pm \Delta\alpha,$$

而由圖所示，則  $\angle OAF = \beta_0$ ， $\angle CAH_1 = \beta$ ，及於三角形  $AP'C'$ ，知

$$AP' = f \cos \beta_0 - y \sin \beta_0, \quad P'C' = x,$$

$$\tan(\Delta\alpha) = \frac{x}{f \cos \beta_0 - y \sin \beta_0} \dots\dots\dots (1)$$

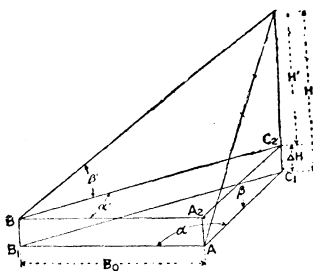
更於三角形  $ACC'$  知  $AP' = AC' \cos(\Delta\alpha)$ ，故  $AC' = \frac{f \cos \beta_0 - y \sin \beta_0}{\cos(\Delta\alpha)}$ 。

又因  $CC' = f \sin \beta_0 + y \cos \beta_0$ ，由是得

$$\tan \beta = \frac{(f \sin \beta_0 + y \cos \beta_0) \cos(\Delta\alpha)}{f \cos \beta_0 - y \sin \beta_0} \dots\dots\dots (2)$$

即乾板上雲點  $C$  之坐標，若為已知，則(1)，(2)即係其方位及高度之計算式。

至欲求雲實際之高，則如第九圖， $A, B$  為甲乙兩處之觀測地點，此兩處之水平距離為  $B_0$ ，高低之差為  $\Delta H$ ；又假定由  $A$  向  $B$  之仰角為  $\delta$ ，所觀測之雲點為  $C$ ，由  $A$  點視雲之垂直距離為  $H$ ，由  $B$  視雲之垂直距離為  $H'$ 。



第 9 圖

今過  $B$  作水平面，與  $CC_1$  交於  $C_2$ ，與鉛直線  $AA_2$  交於  $A_2$ ，且於三角形  $A_2C_2B$ ，因  $A_2B = B_0$ ，

$\angle A_2C_2B = \pi - (\alpha + \alpha')$ ，故得

$$\frac{AB}{\sin[\pi - (\alpha + \alpha')]} = \frac{BC}{\sin \alpha} = \frac{AC}{\sin \alpha'}$$

故  $BC_2 = \frac{B_0 \sin \alpha}{\sin(\alpha + \alpha')}$ ，

$$AC_1 = \frac{B_0 \sin \alpha'}{\sin(\alpha + \alpha')}.$$

故於三角形  $BC_2C$ ，因  $CC_2 = H'$ ，及  $CC_1 = H$ ，故得

$$H' = B_0 \frac{\sin \alpha \tan \beta'}{\sin(\alpha + \alpha')}, \quad H = B_0 \frac{\sin \alpha' \tan \beta}{\sin(\alpha + \alpha')}.$$

若就嚴格而言，雲點  $C$  在甲乙兩乾板上，決不能得同一之點；且  $\alpha, \beta, \alpha', \beta'$  等之角，在讀取時亦不能無誤差，故  $H$  與  $H' + \Delta H$  亦不能同一。今命  $z$  為  $A$  點距規準海面之高，則雲點  $C$  對於海面上之高  $H_0$ ，為

$$H_0 = \frac{1}{2}(H + H' + \Delta H) + z.$$

## 第十六章

### 夜間放射計

1. 夜間放射計 用塗黑表面，置諸水平位置，曝於自由空氣中，俟其溫度與外氣相同時，其 $1\text{cm}^2$ 面上，在1分時間內所放失 Energy 之量，稱為夜間放射(Nocturnal radiation, Nächtliche Strahlung)。為測定此放失之量，古來業已設計有幾多之夜間放射計。其最古者，為1847年 Melloni 氏之器，係插溫度計之球部於銅片中，而觀測其溫度之變化。翌年 Pouillet 氏亦作特殊之器械。迨1887年，J. Maurer 氏及 J. M. Pernter 氏等，皆用相異之放射計，測定夜間放射量。至1897年，芬蘭物理學者Homen氏，在此方面有甚大之貢獻，即應用示差日射計之原理，而作夜間放射計。

迨1905年，瑞典物理學家Angström 氏用電氣補足日射計之原理，而作放射計，此係故障極少之器械，至今日尚可稱為標準器械也。

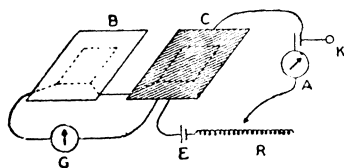
Angström 氏及其他學者，嘗就平地及各異之山頂，以測定夜間放射量，其結果則為 $0.148-0.2527$ 許。

A. Boutaric 氏曾作放射之公式，為

$$r = \sigma T^4 - w.$$

式中之 $r$ ，為放射量， $T$ 為放射體之溫度， $w$ 為大氣之放射量，即在觀測地點水平面 $1\text{cm}^2$ 上，大氣所放射之受熱量。

2. Angström 氏夜間放射計 此器械與以前所述之日射計，同其原理，即如第一圖。B與C為薄白金片，B之表面，加以琢磨 C則塗黑色而其裏面附有熱電堆，以之測溫度，且白金片成為電氣的絕緣。G為電流計，A為 Mili-ammeter, K為電鍵，R為抵抗器(Rheostat), E為電池。



第 1 圖

此外則有安置B及C白金片之函，有溫度計插入之，以測函內之溫度，此因白

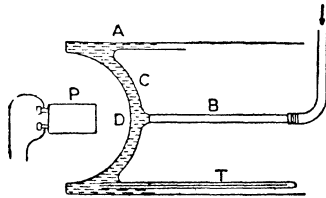
金片由於溫度而異其電流，故用以測其溫度也。

用此器以施實測時，先用溫度均一之屏帳(Screen)遮覆兩白金片，斯時因兩熱電堆為等溫，而電流計之示度為零位，次取去屏帳，於是兩片放射熱量。惟因黑片之放射，較白片為優，而兩片生溫度之差，電位計G起偏倚之示度，是時於黑片方面通電流，且加減R之抵抗，而使G之示度，復歸零位。即黑片所失之熱，用電流補足之，此熱量與電流*i*之二乘成比例，故結局黑片之放射量*r*，為

$$r = Ki^2(1 + \alpha t).$$

但*t*為白金片之溫度， $\alpha$ 為其抵抗之溫度係數，常數*K*則由實驗決定之。

Angström氏之裝置，則如第二圖，A為圓筒，D之面為半球形，B為橡皮



管，以之流水，故A之內面為恆溫。T為溫度計，用以測水溫，P為放射計，D之半球面，則塗黑色油煙，今將P正對D，以測定放射時，其電流為*i*，半球之溫度為 $\theta$ ，則

$$Ki^2(1 + \alpha t) = \sigma \{ (t + 273)^4 - (\theta + 273)^4 \}$$

第 2 圖

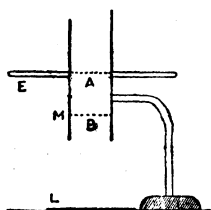
據Kurlbaum氏之測定，在一般之例，

$\sigma$ 之值為

$$\sigma = 7.68 \times 10^{-11} \text{ gr. cal. per. cm}^2. \text{ per. min.}$$

由是得計算*K*，Angström氏器械之一種，其白金片之幅為1.5mm，*K*之值在*t*=15°時為35，

3. Boutaric氏放射計 此器即係Melloni熱電堆(Melloni thermopile)，即用蒼鉛(Bismuth)與銻(Antimong)薄片連接而成，如第三圖，M為包熱電堆之圓筒，A為堆之片面，B為他一片面，L為琢磨之金屬板。B與L正相對，L與外氣兩者之溫度幾相同，故其放射能(Emissive power)極小。E為一種屏蔽物(Screen)，固定於圓筒，用以防L向天空起放射。A. Boutaric氏，即用此裝置



第 3 圖

，以測定夜間放射，彼假定B之溫度與外氣溫度  $T$  同。A向大氣放射，其溫度冷卻至於  $T'$ ，即此時由大氣所來之 Energy，與由放射所失之 Energy，兩者正相補足。惟由大氣所來之 Energy，與  $T-T'$  成比例，故放射量亦與  $T-T'$  成比例。但在他方面，熱電堆之電流，與  $T-T'$  成比例，故結局放射量與電流之強成比例。由是測定電流之強，而放射量亦隨之而測定。

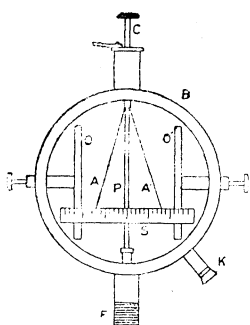


## 第十七章

### 空中電氣測定器械

1. Exner 氏電位計 電位計之種類甚多，隨其所用之目的而異，且其中尚有原始的製作品，猶為今所沿用者，此處不分精粗，為之記述如次：

Exner 氏電位計 (Exner's electroscope) 之構造，如第一圖，係一種鋁箔驗電器。A 及 A' 為鉛箔，P 為支柱，其上張貼兩面平滑之箔片，O, O' 為將箔片壓



第 1 圖

緊於支柱上之用。即當該器不使用時，保護箔片之一種裝置也。尺度 S 上刻有分度線，當 Aluminium 箔即鋁箔張開時，即藉之以讀取尺度數。K 為玻璃筒，其內部盛以鉀 (Potassium)，俾吸收溼氣，以乾燥電位計之內部，C 為繫導線之處，O 及 O' 之柄為硬橡皮 (Ebonite) 或 Ambroid 所製成，使之與外函 B 相絕緣。又外函則由 F 之絕緣物，使與地面相絕緣，與 C 處相連者為 Volt 既知之電池，或一定不變之電源，故尺度 S

上之數，可由比較檢定而刻之，以知種種之刻度線，與種種之電位相當。

當使用該器械時，先使 O 及 O' 與箔相離。次將現所欲測定者，與 C 連結。斯時電氣傳於兩箔，由反撥作用，而箔互相離開，更由箔之離開度，而讀取 S 上之刻數，閱檢定表而知其相當之電位。

原來檢電器上所用者，為極薄之金箔。惟金箔之分量較重，且欲切成極薄之片，尤非易事，故現今改用鋁箔。但鉛箔較堅，以之為檢電器之箔片，有時離開時，可發微音，不能如金箔一樣之速，而漸次離開，斯亦一種之缺點。其在歐美各國，往往用銅與亞鉛之合金，稱為 Dutch-metal (銅十一分亞鉛二分之合金)，以為箔片，可稍減少此項缺點。至箔之大小，則由其器械而有多小之差異，普通所用者，其幅為 2mm 乃至 3mm 許，其長則自 30mm 至 40mm 許為度。

至於張貼箔片之方法，可先將支柱之兩面，極度琢磨，而使之直立。支柱上端貼箔之部分，塗以一種之糊(Shellac)，而將箔垂直張貼之，惟箔性甚脆，彎曲後欲改之使直為不可能，故張貼時務宜注意。

檢電器之絕緣體，普通用Ambroid，因此係琥珀，固能得良好之結果；但因其性較脆，故精細製作時，務加注意。

硫黃亦為良好之絕緣體，但失之過脆，故製作硫黃棒時，須將竹筒各半劈開，再以線緊纏之使合，然後以融於鍋內之硫黃注入之，待硫黃凝結堅固，再分開竹筒，即得良好之硫黃棒。又硫黃棒亦可用玻璃管製成之，因硫黃當凝固後，稍具收縮性，故在玻璃管中成棒後，容易與玻璃管相脫離。惟硫黃具有微妙性，第一當其過熱時，則失絕緣性；第二直接受日光時，亦失去絕緣性。對於此二點，務須極度注意。

無論為Ambroid或硫黃，以之為絕緣體，恆附有少許之電荷，因此兩箔互相反撥或吸引時，其檢電器之讀取，不無多少之誤，欲減少此種誤差，除絕緣體減少面積外，幾無他法，故絕緣體務求其小。

品物中能作絕緣體者雖甚多，但如Ebonite一類之物，對於靜電氣之工作，不甚適用，而非良絕緣體，又Paraffin油，雖為良絕緣體，但其自身帶有電荷，亦較為不適用焉。

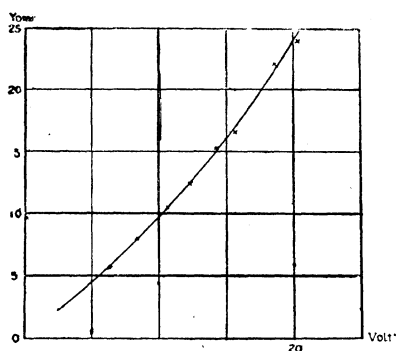
至於溼氣較多之地(如島國及海濱地以及其他等)，絕緣體之表面，常含有水分，此實最足為患之事，雖用良好之琥珀，亦無濟於事。故絕緣體常欲其乾燥，尤為必要之條件。

檢電器當檢定之際，用蓄電池及Volt計(Voltmeter)，是為恆例。即將蓄電池組合，而與檢電器連絡，自最初起，將電池之數逐漸增加，使具有20,30,40,50,60,……200 Volt電池數，而讀取箔之離開度。且因僅二枚，故可將由支柱之各離開度相加，如是則可求得個個之讀取數，及其對應之Volt。然後以Volt為橫軸，讀取數為縱軸，而得多數之點，此種多數之連線，特稱為檢定曲線(Eichkurve, 德語)。例如次表之實測結果：

電 位 27 63 81 104 122 141 160 185 204 Volt

讀取數 2.4 6.1 8.0 10.5 12.5 14.6 15.8 22.0 24.0 mm

此等數值，以線聯之，則得如第二圖所示之曲線。觀於此圖，對於任意之



第 2 圖

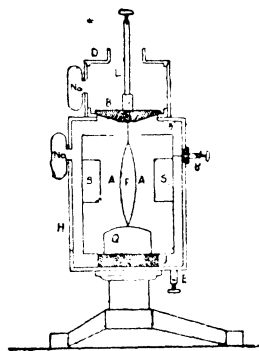
讀取數，即可求出其對應之 Volt。普通商店內所購之檢電器，常附有檢定曲線圖，然在實際使用，若不親自檢定一次，則終覺不安心焉。

當使用檢電器時，最應注意者，為自然漏逸 (Natural leak) 之檢定。蓋檢電器當帶電時，電氣恆能自然的漏逸，於是箔之離開度，因而減小，

故當實測時，在實測以前，及實測以後，箔離開度之減小量，實有測定之必要。

J. Elster 及 H. Geitel 兩氏，曾協力改良 Exner 氏之檢電器，即於尺度 S 處置平面鏡，其前則置尺度，用小望遠鏡窺其反射之像，則尤易於讀取，而且比較的正確也。

2. Wulf 氏雙線電位計 此器為 1907 年荷蘭人 Th. Wulf 氏所考案，名為變線



第 3 圖

電位計 (Das Zweifadenelectrometer)。其構造如第三圖所示，A 及 A' 為白金鍍金之水晶線，其下端固定於水晶線之軸 Q，而 Q 具有彈性，且恆使與 A 及 A' 在同一之平面圖上，而運搬之際，亦不致有損傷。裝置之全部，則納於金屬製之函 H 中，水晶線之長，雖與感度有關，然就大體而言，則其長為 6cm 許，直徑則在 0.01mm 以下，通例以 5 乃至 6 micron 許為多。

裝置中之絕緣物，則均用琥珀；水晶線之鍍白金

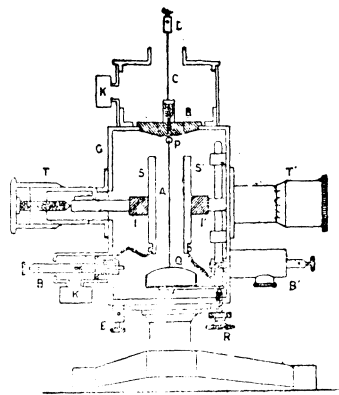
，則用爲陰極線。

當A及A'之雙線有電荷時，則互相離開，且用小望遠鏡以讀取其離開度，其作用與鉛箔檢電器毫無所異。在實地使用時，由F處出導線，使外函與地相連絡，而爲零電位，設外函不與地相連，通例外函帶有電氣，於是A與S之間生電位之差，而雙線之離開度，可失之過大或過小。

在雙線之中間部分，其離開度最大，即以之爲讀取之標準。又此器之上部，有D之蓋，使塵芥等不致侵入，以防害絕緣之作用。蓋之中部，則盛鉀使之常乾燥，外函亦然。要而言之，絕緣體上如含水分，則爲患最大，使之乾燥，最爲必要也。

3. Wulf氏單線電位計 單線電位計，於1908年，爲德人C. W. Lutz氏所考案，其後則經幾次之改良，迨1914年，荷蘭人Th. Wulf氏考出同樣之器械，幾爲現今之通用品，其原理亦毫無所異。即二板垂直之金屬板，互相平行，其間懸鍍金之水晶線，與兩板平行，且垂直而緊張之。今於兩板中之一板，使帶正電；他一板使帶負電。斯時水晶線若含有電荷（線上之電荷當然極小），即受電力之作用，而成彎曲狀；因此彎曲以測線之偏倚距離，而可求得電荷之大小。在此例水晶線所受之作用力，本極微小，僅爲 $10^{-8}$  dyne許，又此電位計之電氣容量極小，且水晶線不起振動，所謂Dead beat是也，週期亦極小，故對於測電之急速線化，最爲適宜。

如第四圖，S及S'爲金屬板，A爲單線，其下端固定於Q，全與雙綫電位計相同。A之上端，挾於金屬物P內，此金屬物更貫穿琥珀絕緣體B，而連於C之金屬棒，棒上端D處，具有小孔，如欲測某物體之電位時，即用導線與此小孔相連。T與T'具有同樣之構造，T係表示T'之斷面，以顯出其內部之構造模樣，S及S'兩板之距離，以T及T'調節之，即兩板有時可



第 4 圖

以挾住水晶線，有時可生至 2cm 之距離，其距離則用 T 及 T' 內螺旋測定之，且 S 與 T 及 S' 與 T' 間，挾以琥珀之絕緣物 I 及 I'，外函 G 則用金屬物 E 與地相連絡，K 爲置入 Potassium 之處。如 S 與 S' 欲與電源（例如蓄電池或水電池或乾電池等）相連，則於 B 及 B' 處，接續導線；如欲使水晶綫荷電，則於 D 處，接續導線，如欲使水晶綫之緊張度適當，則上下 R 之螺旋以爲調節。

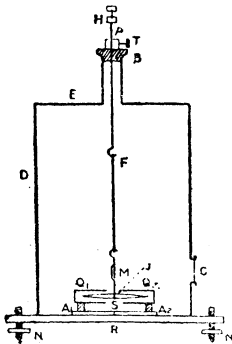
單綫電位計，有時可用補助電壓 (Hilfsspannung, 德語)，以施測定，有時則可不用之，在不用補助電壓時，其使此器械之方法，可分爲三種：即 (i) 使水晶綫與任一金屬板相連絡，共使之帶電，則其時水晶綫受斥力而運動，(ii) 使水晶綫帶電，與金屬板之一枚相對，且使該金屬板與地連絡，其他一枚之金屬板，取去不用，則斯時水晶綫，因金屬板上由感應所起之電荷，被吸引而運動；或水晶綫不帶電，使與金屬板之一枚連絡後，再與地相連結，僅他一枚金屬片，使之帶電，亦無不可，惟在本例，金屬片之電氣容量，比水晶綫甚大，故不得謂之良善方法，(iii) 水晶綫與金屬片之一枚連結，共使帶電，使其間起斥力作用；他一枚金屬片，則與地相接，使之起感應作用。

至於用補助電壓之方法，則先將電池組合。其一極連於金屬片之一枚，他一極則連於他一枚，電池之中央，則與地連絡。如是則若電池爲 100 Volt，則金屬片之一枚爲 +50 Volt，他一枚爲 -50 Volt，即兩片間之電壓增大時，此器械之感度，非常敏銳也。

4. Dolezalek 氏象限電位計 象限電位計，原係 Lord Kelvin 所考案之品，且甚精巧，惟頗不易於使用。法人 Mascart 氏，曾將此器改爲簡單形，然用玻璃爲器中之絕緣物，並且使用硫酸等，用時手續亦繁重。其後 Dolezalek 氏，復加改良，爰成今日之形。但在最近，美國之 Compton 氏，又爲之改良，惟對於空中電氣之不斷觀測，仍以 Dolezalek 氏象限電位計 (Dolezalek's quadrant electrometer)，較爲適當。

此器械之要部，如第五圖所示， $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  爲象限， $A_1, A_2, A_3, A_4$  爲四琥珀足，固定於 R 臺上之 S 板。S 由二枚之半圓板所作成，其一枚作離開狀，恰能

窺見內部，四象限之各二枚，互相引離。D 爲圓筒蓋，有金屬棒貫穿其上端 B，棒之下端，有鉤 F 懸挂細綫，綫之下端，則懸鉛製之示針。由螺旋 T 之上下



第 5 圖

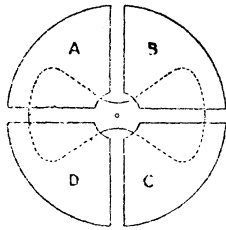
，可使此示針如第六圖所示，適在四象限之中央。M 爲小平面鏡，光綫由小窗 C 射入至鏡面，而再反射，俾能於遠距離處，亦望見鏡隨示針之迴轉運動。惟因示針務欲其輕，故有時示針用紙作成，而貼以錫箔。至吊示針之綫，與感度有關，故現用磷銅綫條或鍍銀之水晶綫。

關於象限電位計之理論，大都揭載於一般物理學書內，此處不再詳述，僅就 Makower 及 Geiger 兩氏所著之

Practical Measurements in Radioactivity 上所說明者，介紹如次：

當象限電位計之示針，回轉微小之角  $\theta$  時

，則吊綫中因扭轉而起一種之器械的力，使示針有回復原位置之傾向，此力與  $\theta$  成比例，即  $K_1 \theta$ ，此處之  $K_1$ ，爲關於電位計之常數。又示針偏倚時，象限間之力綫起歪 (Strain) 之現象，而生電氣的力，亦有使示針回復原位置之傾向，而與由吊綫扭轉所生之力爲同方向而俱爲



第 6 圖

正，故若示針之電位爲  $V$ ，則此力爲  $K_2 V^2 \theta$ ，但  $K_2$  爲比例常數。

今四象限之各二枚，互相反對組合而連絡時，若其電位爲  $V_1$  及  $V_2$ ，則其偏倚該示針之力，與  $V$  及  $V_1 - V_2$  成比例，即  $K_3 V (V_1 - V_2)$ 。故示針位置當靜止時，應成立次之等式：

$$K_1 \theta + K_2 V^2 \theta = K_3 V (V_1 - V_2), \therefore \theta = \frac{K_3 V}{K_1 + K_2 V^2} (V_1 - V_2)$$

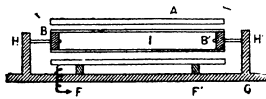
即示針之偏倚角  $\theta$ ，與兩對象限之電位差成比例，故若測定  $\theta$  之角，即可求得其電位差。至電位計之感度，則與  $K_3 V / (K_1 + K_2 V^2)$  成比例。

由上所述，可知用象限電位計之目的所在，即最初應將電位計安置於堅固

之臺上，而使之水平，兩對之象限及示針，則與地連絡，然後迴轉器械，使示針對於兩象限對，其位置為對稱，而且適在象限內部間上下兩盒之中間，此位置即示針之零位。

其次則遮斷地之連絡，將示針繫於 100Volt 許電池之一極，其他極則與地相連。尤其是示針與電池之間，有水抵抗或其他之偶然作用發生時，尤宜預為防止。蓋示針若繫於是種電池之極，在理論上示針當仍在零位而不移動，但實際上仍起多少之偏倚。此時用水平螺旋，使示針回復零位，迨將示針與電池之極離開，則零位又生移動，然後使示針再與極相連，再用螺旋使歸原位。如是者若干次之後，待零位安定時，乃將所欲測定之目的物，與象限之兩對相連，而測定其示針之偏角即得。

欲測定電位計之電氣容量，不可不先備蓄電器(Condenser)及電鍵(Key)。適當之蓄電器，為市場中所販賣者，則有 H. Gerdien 氏，Th. Wulf 氏等所考



第 7 圖

案之兩種，一為可使電氣容量起變化者。一為不能使之起變化者，但後者亦能自己製作也。今如第七圖，A及I為同軸之內外圓筒，而I為內圓筒，A則由F及F'兩枕安置於G之臺上，I則

用B及B'之兩琥珀塞，閉其兩端，由臺出H及H'兩支柱，與B，B'所出之兩棒相接，而I之位置固定。設命內圓筒I之外徑為 $R_1$ ，A之內徑為 $R_2$ ，圓筒之長為 $l$ ，則由靜電學上之計算，此蓄電器容量 $C$ ，若用靜電單位表示之，則為

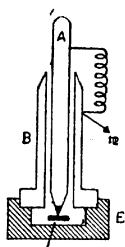
$$C = \frac{l}{2 \log \frac{R_2}{R_1}} \text{ e.s.u.} = \frac{l}{4.144 \times 10^6 \times \log \frac{R_2}{R_1}} \text{ microfarad.}$$

但此處將圓筒兩端之影響，置諸省略。

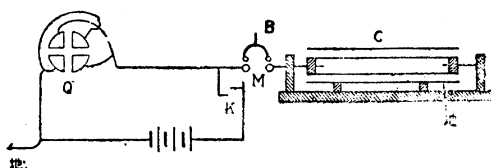
電鍵之種類，亦有種種，而以 W. Makower 及 H. Geiger 著書上所記述者，最為良好。如第八圖，A 為黃銅棒，其下端削尖之，而附以白金之尖端，且與地相連絡，此黃銅棒貫通金屬筒 B，而 B 亦與地相連。C 為白金小板，埋入於 E 之 Ebonite 內，此白金板連接於電位計之象限，當 A 棒尖端與白金板相接觸，其

時電位計之象限，當然與地相連絡無疑，然 A 之棒尖上移，與 C 相離時，電位計之象限，即成絕緣。

基於以上之準備，以測象限電位計之電氣容量，則如第九圖，連給電位計 Q，蓄電器 C，電池 E，電鍵 K 等，最初使蓄電器 C 與電位計 Q 相離，押電鍵 K，使電池與電位計連絡，斯時示針



第 8 圖

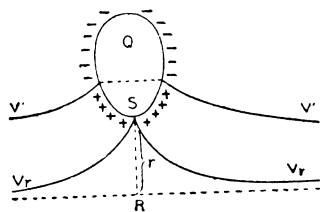


第 9 圖

生角  $\theta_1$  之偏倚；次將 B 橋置入水銀壺 M 內，而使 Q 與 C 連絡，再押電鍵 K，其示針所生之偏倚為  $\theta_2$ 。故若電位計之電氣容量為 C，且假定示針之偏角與電位成比例，則最初示針回轉  $\theta_1$  時，電位計之電荷為  $Kc\theta_1$ ；第二次電位計與蓄電器連絡，其電荷為  $K(c+C)\theta_2$  此兩電荷，不可不相等，即

$$Kc\theta_1 = K(c+C)\theta_2 \therefore c = C \frac{\theta_2}{\theta_1 - \theta_2}$$

5. 水滴蒐集器 水滴蒐集器之理論，從前經過多數學者之說明。本節所述，則抄錄 H. Benndorf 氏之著書，即最先假定地球之電場，無論經過若干時間，不生變化(即電場之強為一定)，且力線為鉛直的自上向下。設於此電場內，置任意形之導體，與地面相絕緣，則由其感應作用，而導體下部帶正電，其



第 10 圖

上部帶負電，於是帶正電部分與帶負電部分之中間，必存在有限界面，如第十圖所示，此面上不存在有電荷，特稱為中立面或中立綫 (Neutral line)。因圖係表示截斷面，故圖上之點綫即中立綫。若此導體出現感應電荷，則此導體附近之等電位面



，比導體不存在時，而稍異其位置。例如原來之等電位面  $V'$ ，現在則如圖所示，不能成水平，且於導體相接觸處，互相垂直。於是導體之表面，亦具有  $V'$  之電位。換言之，即表面亦成  $V'$  之等電位面。次就導體  $Q$  下端之  $S$  點設想，并假定在該點由感應所生之電荷，其密度為  $\sigma_1$ ，又設想此導體上附以  $E_a$  之電荷時，其電位為  $V$ ，則  $V$  與  $V'$  之關係式，為

$$V = V' + \frac{E_a}{C}.$$

但  $C$  為導體之電氣容量。又增加  $E_a$  之電荷後， $S$  點之密度增加  $\sigma_2$ ，而其總密度為  $\sigma$ ，則有

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

之關係。

設此導體為中空，滿盛以水，而於  $S$  處開一小孔，且由特種裝置可使水滴由  $S$  小孔下滴，則各水滴每下滴時，同時并消失其電荷，其消失量與  $S$  處之電氣密度成比例。故若  $S$  處之水滴任其下滴，而不加阻止，則  $S$  處之電氣密度，將漸次減少，而達於零，而  $E_a$  亦隨之減少。設至此減少停止時，其值為  $E_e$ ，其電位為  $V_2$ ，則

$$V_2 = V' + \frac{E_e}{C}.$$

至此最後狀態時， $S$  處之電氣密度  $\sigma$  應為零， $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = 0$ 。惟因  $\sigma_2$  與  $E_e$  成比例，故若比例常數為  $k$ ，則

$$\sigma_2 = k \frac{E_e}{C}, \quad \dots \quad \sigma = \sigma_1 + k \frac{E_e}{C} = 0, \quad \dots \quad \frac{E_e}{C} = -\frac{\sigma_1}{k}.$$

故最後狀態時之導體電位  $V_r$ ，為

$$V_r = V' - \frac{\sigma_1}{k},$$

即斯時導體具有比  $V'$  較低之等電位面，但此等電位面通過  $S$  點。若地球之電場內，無此導體時，則此等電位面，應如圖中所示，為  $V_r$ ， $V_r$  之面。今此面與  $S$  點之垂直距離，命之為  $r$ ，地球電場之強為  $|H|$ ，則因  $V_r = V' - r|H|$ ，故

$$r = \frac{\sigma_1}{h|H|}$$

次求導體上 $V_R$ 電位之經過時間，假定 $t=0$ 時， $V=V_0$ ，且電位計與蒐集器電氣容量之合計為 $C$ 。迨 $t=t$ 時，其電位為 $V$ ，而電氣量為 $CV$ 。於是經過 $dt$ 時間後，其所失之電氣量為 $-d(CV)$ ，而此值與 $dt$ 及 $V-V_R$ 成比例，故得

$$-d(CV) = \gamma(V-V_R)dt$$

設想 $V_R$ 為一定不易，則由積分之結果，

$$\log(V-V_R) = -\frac{\gamma}{C}t + C'$$

惟因當 $t=0$ ，為 $\bar{V}=\bar{V}_0$ ，故 $\log(V_0-V_R) = C'$ 。由是

$$\log(V-V_R) - \log(V_0-V_R) = -\frac{\gamma}{C}t$$

$$V-V_R = (V_0-V_R)e^{-\frac{\gamma}{C}t}$$

令 $C/\gamma = \tau$ ，則

$$V-V_R = (V_0-V_R)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

此 $\tau$ 特稱為蒐集時間(Characteristic Ladungszeit, 德語)。即由最初電位 $V_0-V_R$ ，減少至 $(V_0-V_R)/e$ 之經過時間。設減至最初電位之 $\frac{1}{100}$ ，其所需時間為 $T$ ，則

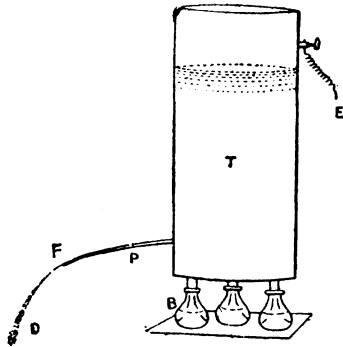
$$T = \tau \log_e 100 = 4.6\tau$$

在普通之蒐集器，大概 $\tau=15$ 秒，從而 $T=75$ 秒。

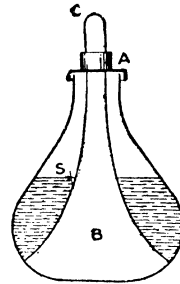
Mascart氏之水滴蒐集器(Mascart's water dropping collector)，其形雖稍舊，然仍便於用，如第十一圖，T為銅製之圓筒(Tank)，其下部突出P之鉛細管，管之尖端有小孔，圓筒中盛以水，水由F迸出時，小孔處成散亂之水滴，B為Mascart氏絕緣瓶，由臺上支持T，以為絕緣之用，E為與電位計之連絡處。

第十二圖所示，為Mascart絕緣瓶之構造，係一種茄子形之玻璃瓶。由底立B柱，柱之上端，則成C之圓形。A為貫穿於柱上之金屬蓋，與瓶壁不相接觸，瓶中盛濃硫酸至S平面止，於是S以上空氣中之水分，盡被吸收，而B柱爰形

乾燥，C處之絕緣，可得良好之結果。但在實



第 11 圖



第 12 圖

地使用時，尚不能使充分絕緣，故此瓶務使清潔而不令沾有塵芥，是為必要。

現今有用硫黃柱或琥珀臺，以代 Mascart 氏絕緣瓶之用者，但無論為硫黃或琥珀，其表面易沾水分，且時時起眼所不能見之水薄膜，以阻礙絕緣之用。故乾燥工作，為第一要義，尤其是島國或海濱地帶之夏季，對於是種工作，尤感困難也。

因水滴迸出之速率，通例與筒內水高之平方根成比例，故筒內之水減少，則迸出之速率，亦隨之而減。然使用較大之圓筒，一日間添水 2 回，則亦可使迸出之速，不生大變化。但亦有用特種設計，使水滴等速的迸出者。

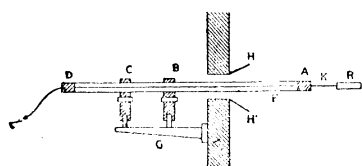
當冬季時，水滴器之水(尤其是細管中之水)，往往有冰凍之虞，此為應用上最困難之點。然氣溫在冰點下三度以上，大抵尚不致發生此現象。

6. 放射物蒐集器 利用放射物以為蒐集器，自 Franz Exner 始。其中最良好之製作品，則於銅或白金片上，使沈澱 Polonium，由此物質所放出之  $\alpha$  線，可電離空氣，而使成導體。由空氣之運動，用此蒐集器而導去其電荷。

於 Polonium 之外，尚有 Ionium 可用，即將 Ionium 之化合物，用一種樹脂狀物(Lac)，塗於金屬板上而放置之，其作用比 Polonium 為遲鈍，故較能經久。蓋 Polonium 之作用，約經 4 個月而半減；而 Ionium 則幾可經年不變。故使用 Polonium 時約經幾月，須換置一次，是為必要。無論極寒之地，放射物蒐集

器，均可使用，此為其優點。但附着水之薄層及霧冰時， $\alpha$ 線即被吸收，而失其作用，此處務宜注意焉。

放射物蒐集器實際之形，則如第十三圖所示，R為直徑25mm許之錐圓板



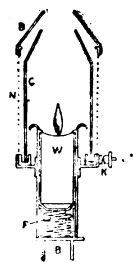
第 13 圖

，其下面塗 Ionium，更敷一種之滋藥 (Enamel)，而使之不脫落(當然Enamel對於 $\alpha$ 線為透明之物)。K為金屬竿，貫通F之Alumium管，而使其一端，與E之電位計連絡A及D為琥珀或硫黃之絕緣體，B及C亦為是種之絕緣體，而支持於G之支柱上，以之保持F管之位置，H及H'為圓錐形之物。由以上之裝置

，可使F不與MM'壁相觸，而導入於室內。因F管中欲其乾燥，故於管之中途，安置二個鹽化鈣器，則尤為適用。

7. 火焰蒐集器 火焰之氣體，起電離作用甚強，可視為良好之電導體，故若火焰安置於電場內，則因火焰之氣體騰上，電氣可由上面導去。即此器與水滴蒐集器相較，其導去電氣之方向相反，而作用則同也。此種類之蒐集器，古來甚多，或用蠟燭，或用洋燈(即石油Lamp)。惟因火焰須保持一定之高，似用洋燈較為適宜。但究不如用蠟燭之簡便。

實際上所用之火焰蒐集器，以Lutz氏所製者，最為良好。如第十四圖，W



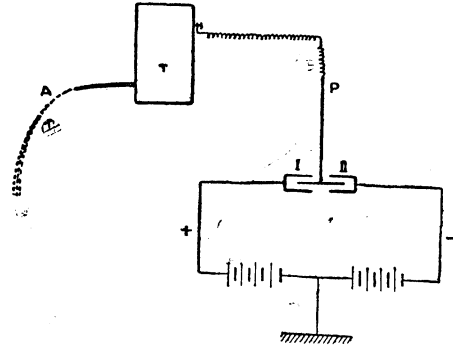
第 14 圖

為蠟燭，其底接F之撥條，使其上面火焰可保持一定之高；C為覆於焰周圍之玻璃罩，以防風之影響；N為金屬網，其上接以D之金屬。今由K出線，將此器與電位計連絡，則由前所說明之原理，火焰所指者為比此稍高處之電位。惟其高度變化甚大，尤其是風吹送時，難得其準確之高也。

火焰蒐集器之蒐集時間，大約須27分許。

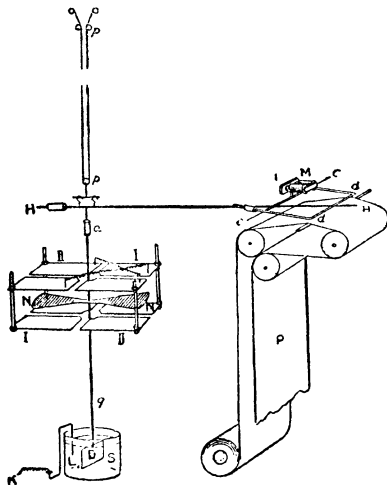
8. 空中電位測定裝置 欲測定中各高處之電位，可如第十五圖所示(例如用水滴蒐集器)，將水滴蒐集器細管之尖端，置於空中若干高

處，使水如A之迸出模樣，次使圓筒T連絡象限電位計之針，其象限則置於適當之位置。其一組I連絡於電池組之陽極，他組II則連絡於陰極，電池組之中央，則與地連絡。例如用1Volt之電池100個相組合，則象限I之電位為+50 Volt，象限II為-50Volt，於是I及II之電位差為100Volt，蓋電池組之中央，若不與地連，I與II之電位差，雖亦能為100Volt，惟不能限定I為+50Volt，II為-50Volt



第 15 圖

(亦可以I為70VoltII為-30Volt)，今中央與地連絡，則宛如將電池分為二組，其一組之一極為+50Volt，他極為0；他組之一極為-50Volt，他極為0也。由此種裝置，而觀測電位計中鏡之迴轉，可以知空中電位之變化。



第 16 圖

9. Benndorf氏自記象限電位計 自記象限電位計中，有 Mascart 氏攝影式之器械，而器械的自記，則以Benndorf氏所製者，最為便利。如第十六圖，I及II為各一對之象限，描針HH則連結於P之雙線上，此描針之軸上，固定N之針，其位置為水平，此軸之下端附有雲母板D，浸入於盛硫酸之玻璃器S中，以為制動器之用。又因硫酸為導體故LK與地連絡，M為電磁石，每一分間，其中通過電流時，則dd向下押，而描針遂於自記紙上印點痕

• R為自記紙，等速的向下移動。此器之全形，則如第十七圖所示。

10. 平面更正 測定空中電位，其最困難之點，為選擇觀測地點，即地點須寬廣而平之中央。地面上有短草，雖亦甚善，但不可稍有樹木及建築物。僅

就安置電位計及蒐集器，則狹小之屋，儘能適用，而寬廣之平地，縱使可以求

得，仍不免有多少之凸凹起伏焉；故通例在觀測地點，所實測之電位內，以一種之因數乘之，使合乎理想的平面之值，謂之平面更正(Reduction to level)。此因數稱為更正因數(Reduction factor)。求此種平面更正之方法，現今約有二三種，然均不能充分，今就此等方法中之一例，即 Johnson 氏在澳大利加洲西部 Watherloo 地磁觀測所所施行之例，述之如次：

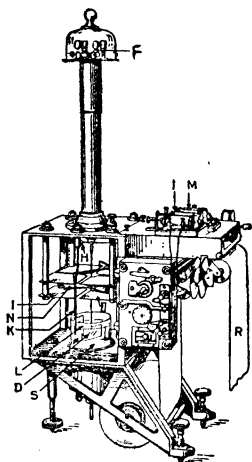


圖 17 圖

距定地點觀測所約六分之一哩，選擇地點，以為標準觀測所，該地點之四周，均係平地，且在10m以內之草，除去盡淨。20m以內，除

灌木外，無其他植物存在。於是立二柱，其高為1.1m，其二柱之距離為20m。此兩柱間張以金屬線，其中央安置 Jonium 蒐集器。且因金屬線上裝置有扣金(Turn-buckle)，故其蒐集器之高，適距地高1m。近於此金屬線之兩端處，附有硫黃之絕緣體，使金屬線與地面絕緣。且硫黃面亦每時置換，常使呈新鮮模樣。

距此金屬線1m處，作1.3m長之函，於其中安置電位計。連絡該電位計上金屬線，則用極細之導線。

至於定地觀測所，則仍用通常之裝置。於是在兩觀測所，同時於20分間內，每分鐘讀取一次，將其結果比較。Johnson 氏於1926年，選取八月四日，三十一日，九月十八日之三日，以實施觀測，其每日21回讀取之平均值，則如次表：

	八月四日	八月三十一日	九月十八日
A	85.8 Volts	80.0 Volts	73.9 Volts
B	77.5 "	76.2 "	69.6 "
C	1.11 "	1.06 "	1.06 "

表中A及B係表示標準觀測所及定地觀測所之值，C為更正因數，即更正因數為1.07許。

實施此方法時，須具次列各條件：

- (1) 一日之內，施六回比較觀測，每回20分鐘，讀取20回，且此一日中，此六回之時間距離，務使之均等。
- (2) 選取標準觀測所之地點，務與定地觀測所接近。
- (3) 比較觀測，須選無雲之日，風則4.5p.m.s.以上之日為宜。
- (4) 觀測地附近之樹木，須盡數除去，觀測所須用金屬板圍之，以除去外界電場之影響

11. Elster及Geitel氏電荷散逸測定器 置絕緣導體於空氣中，而使之帶電，則導體之電荷，漸次減少，此現象稱為電荷之散逸，今在時間 $t$ ，設導體之電位為 $V$ ，在實驗上 $V$ 減少之比率，約與 $V$ 成比例，以式書之，為

$$\frac{dV}{dt} = -aV.$$

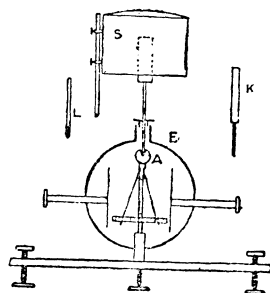
若與 $t=0$ ， $V$ 之值為 $V_0$ ，則上式積分之結果，為

$$V = V_0 e^{-at}, \quad \dots \quad a = \frac{1}{t} \log_e \frac{V_0}{V}.$$

$a$ 稱為電荷散逸係數(Coefficient of electric dissipation)。

Elster及Geitel氏於散逸測定，其所用之導體(即散逸體)，為金屬圓筒，其直徑為6cm，長為10cm。由其底出一細足，其卜端插入於Exner氏電位計內。此圓筒之全部，均塗黑色，以避免電荷由日光而起散逸。

實際之器械，則如第十八圖，M為散逸體，E為電位計，S為黃銅製之圓筒蓋，其直徑為18cm，高為14cm，以為掩覆M之用，而防外界電場之影響，此蓋亦全塗黑色。先使M帶電，其對應之電位為 $V_0$ ，迨經過時間 $t$ ，約15



第 18 圖

分後，測得其電位為  $V$ ，則由式

$$a = \frac{1}{t} \log_e \frac{V_0}{V}$$

以決定  $a$ 。

惟因電位計未必能完全絕緣，而電位計內之電荷，亦起散逸現象，故  $a$  之值比實際應失之過大，於是不可不實施補正。

先取去散逸體  $M$ ，僅使電位計帶電，測得其電位為  $V_0'$ ；經過  $t'$  時間後，其電位為  $V'$ ；僅有電位計時之散逸係數為  $a'$ ，則  $a'$  可由次式計算之：

$$a' = \frac{1}{t'} \log_e \frac{V_0'}{V'}$$

惟在實際上散逸體  $M$  連於電位計，故僅由電位計所測定之  $a'$ ，仍與實際之值  $a''$  相異。今命散逸體之電氣容量為  $C$ ，電位計之容量為  $C'$ ，因電位減少之比率，與電氣容量 (Electrical Capacity) 成逆比例，故  $a'$  與  $a''$  之關係，為

$$\frac{a}{a'} = \frac{C'}{C+C'}$$

故若令補正之散逸係數為  $a_1$ ，則得

$$a_1 = a - a \frac{C'}{C+C'}$$

故

$$a_1 = \frac{1}{t} \log_e \frac{V_0}{V} - \frac{C'}{C+C'} \frac{1}{t'} \log_e \frac{V_0'}{V'}$$

由上所述，本問題應歸着於  $C'/(C+C')$  之測定。Elstel 及 Geiter 氏，則先使電位計帶電，測得其電位為  $V_1$ ；次用棒  $L$  將  $M$  與電位計連絡，於是  $M$  上亦配布有電氣，測其電位為  $V_2$ 。由  $V_1$  及  $V_2$  之比，以求出  $\frac{C'}{C+C'}$ 。

由前所述之意義，以測定係數  $a$ ，其所用電位計之影響，尚含於其中。通例將此影響除去後，其所得之係數，稱為絕對散逸係數 (Coefficient of absolute dissipation)。蓋此絕對散逸係數，若不求出，則用相異之器械，而求得之各測值，即無從互相比較焉。

蓋如前所說，僅有散逸體  $M$ ，則其電氣容量為  $C$ ；加入電位計後，其全體



之電氣容量為  $C+C'$ ，故電位之變化，在僅有  $M$  時，為  $\frac{C}{C+C'}$ ，故其散逸係數，應不為  $a$  而為  $a_2$ ，其  $a$  與  $a_2$  之間有

$$a_2 C = a (C + C'),$$

$$a_2 = a \frac{C + C'}{C} = \frac{C + C'}{C} \frac{1}{t} \log_e \frac{V_0}{V'}$$

於是補正電位之散逸後，其絕對散逸係數  $a_3$ ，為

$$a_3 = \frac{C + C'}{C} \frac{1}{t} \log_e \frac{V_0}{V} - \frac{C'}{C + C'} \frac{1}{t} \log_e \frac{V_0}{V'}$$

此為法人 Ch. Maurain 氏之式。

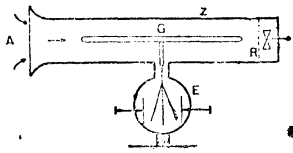
在實際上測散逸係數時，若為多溼氣之島國，或海濱等地帶，則如西洋所用 Zamboni 電池 (Zamboni's cell)，不適於用，無寧用適當之帶電棒 (Charging rod)，較為得策，用此種之棒，以組合  $M$  及  $E$  而使之帶電，其帶電約為 200 Volts，經五分鐘許，使絕緣體達電氣的定常狀態時，始為第一回之讀取；再經十分許，則為第二回之讀取，而後藉以計算  $a$ 。

次取去散逸體  $M$ ，僅使電位計帶電，即  $K$  為附有絕緣體柄之小導體， $M$  取去後，以  $K$  棒代  $M$  而插入之，使此棒與電位計之組合，仍為同符號之帶電（其帶電符號與前同），然後再從電位計取去  $K$  也。此後則仍與前同，為二回之讀取，以之計算  $a'$ 。在實際上  $a'$  之值非常微小，約略與測定值之誤差相等。若失之過大時，則大抵歸着於電位計絕緣之不良，不可不充分研究之。

至於求  $C:(C+C')$  之比時，則於散逸體  $M$  上部之小孔，將絕緣棒  $L$  插入之。在他一方面，僅使電位計帶電，而讀取其電位。然後持  $L$  棒，將散逸體插入於電位計，再讀取其電位。此兩電位之比，即為所求之比。

對於測定電荷散逸，大抵先用正電荷測定之，次用負電荷為同樣之測定。惟取去正電後，而使帶負電，仍須歷 5 分鐘後而始讀取，是為至要。

12. Gerdien 氏空中電氣傳導率測定器 此器械如第十九圖所示之形， $Z$  為輕金屬 Magnalium 製之圓筒（即 Aluminium 及 Magnesium 之合金所製），且欲避去光電氣之影響，故內外面俱塗黑色。圓筒之直徑為 16cm，長為 56cm， $G$  為散



第 19 圖

逸體，即直徑 1.5cm，及長 25cm 之中空棒，亦由 Magnalium 所製成，亦塗黑色。棒之中央出垂直足，以之插入於電位計 E，故 Z 與 G 成圓筒蓄電器 (Cylinder Condenser)。R 為用手迴轉之風車，以為空氣從 A 口吸入於圓筒內之用。

R 與 G 之間，則設有金屬網之境界。

Gerdien 氏之器械，其所用之電位計，雖為 Fxner 氏鉛箔電位計，在實際上，如用雙線電位計，更能得良好之結果。又風車亦有不用手轉，而代以小發動機者。

用 Gerdien 氏器械，以測空中電氣之傳導率  $\lambda$ ，先使 G 有電位  $V_0$  之帶電，將風車迴轉  $t$  時間後，再讀電位計，其電位為  $V_t$ ，則  $\lambda$  由次式計算之：

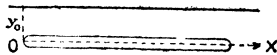
$$\lambda = \frac{1}{t} (\log_e V_0 - \log_e V_t) \frac{C}{4\pi C'}$$

式中之  $C$ ，為 G 與 E 之電氣容量， $C'$  為 G 單獨之電氣容量，G 帶正電時，則  $\lambda$  記以  $\lambda_+$ ；帶負電時，則記以  $\lambda_-$ ，是為通例。在實際之測定， $V_0$  約為 100Volts， $t$  為 10 分許。

此測器之理論，先歸着於求圓筒內所經過 Ion 之徑路。今命內圓筒 G 之長

為  $l$ ，其半徑為  $r$ ；外圓筒 Z 之半徑為  $R$ 。內

$\Delta y$



第 20 圖

圓筒與外圓筒互相絕緣，內圓筒帶電後，其對於外圓筒之電位差為  $V$ 。此兩圓筒間之空氣為

等速的流動，其速度為  $U$ 。更設想有一 Ion 隨

氣流從 A 口而入圓筒內，則因電場之存在，該

Ion 之進行方向，應生偏倚之現象。

今如第二十圖，取內圓筒之左端為坐標原點， $x$  軸取水平方向， $y$  軸與之垂直，則從內圓筒起算，其任意一點  $y$  距離之電場之強  $F$ ，由電氣學上計算，為

$$F = \frac{V}{y \log_e \left( \frac{R}{r} \right)} \dots\dots\dots (1)$$

空氣流動之方向，與  $x$  軸平行，Ion 之比速 (Specific mobility) 爲  $v$ ，則強  $F$  之電場內，Ion 之速度爲  $vF$ 。故

$$\frac{dy}{dx} = \frac{vF}{U} = \frac{v}{U} \frac{V}{y \log_e \left( \frac{R}{r} \right)} \dots\dots\dots (2)$$

因 Ion 在圓筒內進行，漸次與內圓筒軸接近，故上式右邊附以負符號。今將上式積分之，得

$$y^2 = -\frac{2v}{U} \frac{V}{\log_e \left( \frac{R}{r} \right)} x + C.$$

$C$  爲積分常數，設  $x=0$ ，Ion 爲  $y_0$  距離，則  $C=y_0^2$ 。由是

$$x = (y_0^2 - y^2) \frac{U}{2v} \frac{\log_e \left( \frac{R}{r} \right)}{V} \dots\dots\dots (3)$$

即 Ion 之徑路爲拋物線，其軸與圓筒軸相一致。

設於 3) 式中，以  $r$  代其  $y$ ，則由圓筒軸  $y_0$  距離處之 Ion，到內圓筒時，知其水平距離爲  $x$ ，即

$$x = (y_0^2 - r^2) \frac{U}{2v} \frac{\log_e \left( \frac{R}{r} \right)}{V} \dots\dots\dots (4)$$

在一般之例，從 A 口而入於圓筒內之 Ion，有行至內圓筒上者，亦有越過內圓筒者。然若  $V$  與  $U$  爲適當之值時，則可使是種 Ion，盡數行至內圓筒上，其適當之條件，如次所述：

蓋 Ion 之能落於內圓筒上，其必要條件，爲  $x \leq l$ 。惟因  $y_0$  之最大值  $R$ ，故

$$\frac{V}{U} \geq \frac{(R^2 - r^2)}{2vl} \log_e \left( \frac{R}{r} \right) \dots\dots\dots (5)$$

Gerdien 氏之器械，不能不滿足上式之條件，若不能滿足該條件，而

$$\frac{V}{U} < \frac{(R^2 - r^2)}{2vl} \log_e \left( \frac{R}{r} \right)$$

則自圓筒軸 $y_0$ 距離處，且其有比速 $v$ 之一部分Ion，不能落於內圓筒上也明甚。  
今於(4)中，令 $x=l$ ，則其相應之 $y_0$ 值為

$$y_0 = \sqrt{\frac{2v}{U} \frac{Vl}{\log_e \left( \frac{R}{r} \right)} + r^2}$$

次命含於空氣 $1\text{cm}^3$ 中之Ion數為 $n$ ，每一Ion之荷電量為 $\varepsilon$ ，因內外兩圓筒間切口之面積為 $\pi(R^2-r^2)$ ，故 $dt$ 時間內流入空氣之立積為 $\pi(R^2-r^2)Udt$ 。故在 $dt$ 時間內，落於內圓筒上之各Ion，其所帶來之全電荷量為 $\varepsilon n \pi (R^2-r^2) U dt$ 。  
今於(4)以 $R$ 代 $y_0$ ，則得

$$R^2 - r^2 = \frac{2v}{U} \frac{Vl}{\log_e \left( \frac{R}{r} \right)}$$

故 
$$\varepsilon n \pi (R^2 - r^2) U dt = 2 \varepsilon n v \frac{\pi l}{\log_e \left( \frac{R}{r} \right)} dt.$$

若內圓筒與電位計之電氣容量為 $C$ ，則

$$C dV = -2 \varepsilon n v \frac{\pi V l}{\log_e \left( \frac{R}{r} \right)} dt.$$

積分之，

$$C \log_e V = C_1 - 2 \varepsilon n v \frac{\pi l}{\log_e \left( \frac{R}{r} \right)} t$$

設 $t=0$ 時，為 $V=V_0$ ，而 $t=t$ 時，為 $V=V_t$ ，則上式可變為

$$\varepsilon n v = \frac{1}{t} \frac{C}{2\pi l} (\log_e V_0 - \log_e V_t) \log_e \left( \frac{R}{r} \right)$$

空氣中含有種種之Ion，其所含各數，若為 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_h$ ，其各比速若為 $v_1, v_2, \dots, v_h$ ，且使內圓筒帶負電荷時，則其傳導率 $\lambda_p$ ，為

$$\lambda_p = \varepsilon \sum n_h v_h = \frac{1}{t} \frac{C}{2\pi l} (\log_e V_0 - \log_e V_t) \log_e \left( \frac{R}{r} \right)$$

惟由電氣學上之計算，若內圓筒之電氣容量為 $C'$ ，則

$$C' = \frac{l}{2 \log_e \frac{R}{r}}$$

由是得  $\lambda_p = \frac{1}{t} (\log_e V_0 - \log_e V_t) \frac{C}{4\pi C'}$

Scheering 氏嘗用塗黑色鉅線以爲散逸體，線之直徑爲 2mm，長爲 20m，又距地 1m 許之高度，置直徑 1m 許金屬網之圓筒，沿此圓筒軸之水平位置，而安置此銅線散逸體，其金屬網之網目，則爲自 5-6cm 許云。

13. Ebert 氏之 Ion 計 此器械爲氏 1901 年之發見品，用以測算空氣中 Ion 之數，其構造與 Gerdien 氏之器械相同，惟欲空氣流動速率甚小，而使 Ion 盡數落於內圓筒上，故若空氣之流動速度爲  $U$ ，則其條件，爲

$$U < \frac{2vlV}{(R^2 - r^2) \log_e \frac{R}{r}}$$

今假定一秒間所吸出之空氣量爲  $W$ ，空氣  $1\text{cm}^3$  中 Ion 所帶來之電氣量爲  $E$ ，則內圓筒上在一秒間所附着之電氣量爲  $WE$ ，

$$EW = -C \frac{dV}{dt}$$

設  $T$  時間內之平均電氣量爲  $\bar{E}$ ，而  $V_0$  及  $V_r$  用 Volt 以爲表示，則

$$\bar{E} = \frac{C(V_0 - V_r)}{WT \times 300}$$

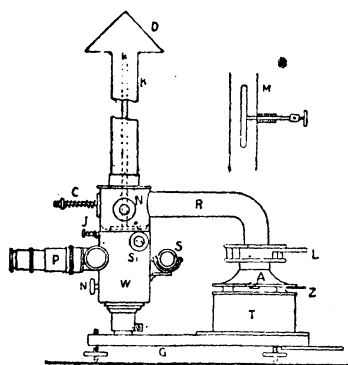
又每一 Ion 之電荷爲  $\epsilon$ ， $1\text{cm}^3$  中所含 Ion 之數爲  $n$ ，則出次式

$$n = \frac{E}{\epsilon}$$

可計算  $n$ 。

Ebert 氏之器械，其所用之吸氣器，與附屬於 Assmann 氏通風溫度計者同其構造，故風車之回轉，須 15-30 分間。至新型之器械，則僅 2-5 分許，已生效用。

新型器械之構造，則如第二十一圖，縱圓筒爲其主要部，而附以 Assmann 氏之通風器，電位計則用 Wulf 氏雙線電位計，爲電位計示度讀取時明瞭起見



第 21 圖

，器上附有望遠鏡。又觀測時吊線欲其明瞭，故又附以小鏡，其角度可自由回轉。

用 Ebert 氏器械，以實施測定，不可不知其種種誤差之發生原因。第一，此器械僅係捕捉小 Ion (即普通之 Ion)，實際上大 Ion (即稱為 Langevin 氏 Ion 者) 之一部分，及比大 Ion 略小 Ion (即中 Ion) 之一部分，均被捕捉，而當計算時，其內圓筒上所附着之電荷，僅就小 Ion 推算，而以  $n$  除之，於是誤差因以發生。其所捕捉大中 Ion

之數若愈多，則其誤差愈大，故於器械特設長短二種之內圓筒，不可不同時各施實測，以檢查其是否一致。第二，因測器置於地球之電場內，圓筒口之上部，可生負電，從而圓筒內所吸入之 Ion，受此負電之作用，為相對的進行，而不能與流入空氣同其速度；且 Ion 之徑路，亦與無此負電時不同。因此負 Ion 之數，可顯著減少。關於此例，美國之 W. F. G. Swann 氏，曾有詳細之研究。第三，放射物附着於帶負電之內圓筒上，於是此放射物使內圓筒周圍之空氣，起電離現象，而增多 Ion 之數。就中通風時間，在 2 分或 3 分許，則其影響不甚大，德人 K. Kurz 氏，曾就此事亦有研究。

14. Langevin 氏 Ion 計 若用適當大小之內外圓筒及吸氣之速，則無論正負，其大小之 Ion，均能捕捉，即大者之數為  $N$ ，小者之數為  $n$  時，則可測定  $N+n$ 。故另一方面，用 Ebert 氏之器械，以測  $n$ ，而後從  $N+n$  減去之，當然可計算  $N$ 。惟由前所述，Ion 能悉數捕捉之條件，為

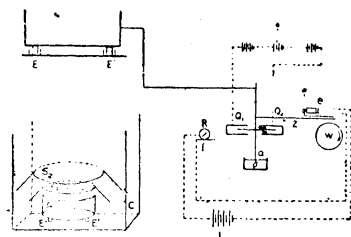
$$\frac{U(R^2-r^2) \log_e \frac{R}{r}}{2Vl} < v.$$

因大 Ion 之  $v$  甚小，故欲電位  $U$  不甚高，則  $R^2-r^2$  須小，而  $l$  須大。Langevin 氏所選之大小，則為

$$l=120\text{cm}, \quad 2R=7\text{cm}, \quad 2r=5\text{cm}.$$

今若 $U=3\text{cm/sec}$ ，則 $V$ 為350許Volts已可。

15. Kähler 氏雨水電荷測定裝置 此裝置如第二十二圖，A 為亞鉛之皿，以之受雨水。此皿恰與雨量計之受水器為同樣之構造，且支持琥珀足 E 及 E' 上，使與地面絕緣。此受水器與 Benndorf 氏電位計之示針相連絡。受水器之直徑為 30cm，高為 10cm。因欲避免地球電場及於受水器之影響，故有金屬網之籠 C，包圍其四周。此籠之高，為 1.4cm，幅及進深均為 1.7m。籠亦與地連絡。籠之內壁出圓錐形之鏢兩枚  $S_1$  及  $S_2$ ，其目的亦為避免地球電場影響之用。



第 22 圖

電位計中一對之象限  $Q_1$ ，連於電池組之一極；其他一對  $Q^2$ ，則連於他極。電池組之中央，則與地連絡。由是如以前所述，電池組之電位差為  $2V$ ，象限之一對為  $+V$ ，其他一對為  $-V$ 。又示針吊綫之中途，有琥珀絕緣物，而示針并出 Z 之針，W 為捲自記紙之圓筒，由電磁石 e 之作用，而可將 Z 之針下壓。至其他之電池組，則一極連於車輪 R 之一邊；他一極則經電磁石 e，而連於撥條 f 之一端。由時計裝置，車輪每經 2 分間，回轉一次而閉電路，於是針被下壓，而自記紙上現印痕。

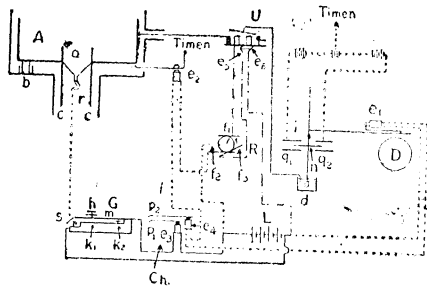
車輪 R 為硬橡皮 (Ebonite) 所製成，而其軸則為金屬，且沿半徑出一白金線，其一端出於車輪之緣邊。當車輪回轉，此白金之端，與 f 之白金片接觸時，則電流通，而 e 之電磁石起作用，於是 Z 之針，於自記紙上印點，此即表示每 2 分間所集之電氣量。

由降雨之種類，而有調節電位計感度之必要。例如尋常之雨，雨量較少，從而所集之電氣量亦少；於是電位計之感度，務求敏銳。但 Benndorf 氏之電位計，零線左右之幅，僅 5cm 許，故遇雷雨或豪雨等，針往往出於紙面外。由是

須另用補助電位，以減弱其感度。

雨量則須裝置敏銳之自記雨量計記出之，蓋普通自記雨量計，欲測每2分間之雨量，實係不可能，只可用以測長時間之雨量及其電氣量後，以知對於水單位立積之平均電氣量而已。其後F. Schindelbauer氏始改良觀測方法，使得每2分間，測知雨量，如次節所述：

16. Schindelbauer氏雨水電荷測定裝置 雨水之電荷，其測定原理，已述於前節，此處無重言聲明之必要。次所述之方法，則係用改良之設計，以自記降雨之強而已，此自記雨量計，與 Gallenkamp 氏之器相似，可使雨水成一定大小之水滴而下滴，然後數其滴數也。第二十三圖，則示該器之構造，蓋與其謂測雨水，無寧謂非直接測定其量，而測其一定大小水滴之落下時間也。圖中



第 23 圖

之A為受水器，其受水面積為707cm<sup>2</sup>

• 因其面積過大，故其中央設有小受水器a。其受水面積，僅為92.9cm<sup>2</sup>。

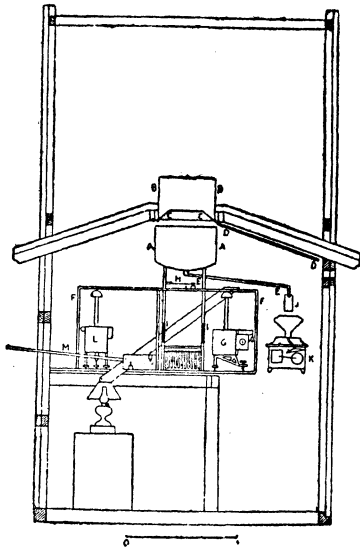
即假定雨水對於A之全面積為均等下降，而用a所測之雨量，以決定A中之雨量也。

受水器a之下部，管導管r。因欲由該導管之口，無論如何，須落同大之水滴，故r之形，為二重U字狀之彎曲。又恐落下之水滴，受外界之影響，而更使之帶電，故以c之圓筒，包圍r之口，水滴下滴時，由G之裝置，恰能閉其電路，故容易數其滴數。m為黃銅撥條，其一端枕於硬橡皮片，而取水平之位置；他端連於鋁製之傾斜面s，由r所下滴之水滴，適能落於s上。且因s之傾角為45°，故雨水經s而降入瀝水瓶中。每滴雨水下落，m之撥條即彎曲，而與k<sub>1</sub>之白金接續點相接觸。此因與電池L之一極相連，故電磁石e<sub>3</sub>之電路閉，而鋼筆尖p<sub>1</sub>遂於記時器(Chronograph)上，印相應之點。此印點至水滴不壓m而始行中斷，其時m始復原位。k<sub>2</sub>與h若同時施適當之調節，則可調節m之位置，而變其感度。C<sub>h</sub>之記時器，則為測時間



之用，電磁石  $e_4$ ，則與 Benndorf 氏電位計之電磁石相連絡，每歷 2 分而通電流一次，於是  $p_2$  於記時器上，每 2 分印一痕，即電位與雨水量，均每隔 2 分，而得測一次也。

17. Simpson 氏雨水電荷測定裝置 此裝置為 G. C. Simpson 氏所設計，其裝置之全體，納入四面約 8 英尺寬之波形板 (Corrugated plate) 小屋內 (如第二



第 24 圖

十四圖)。雨水由屋面中央所穿之孔，落入於受水器 AA，而受水器則連於 Benndorf 式電位計。恐落於屋面上之雨滴，滲入受水器中，故作亞鉛圓筒 BB，嵌入屋面中央之孔中，其上緣高出屋面 20cm，下緣約略與小屋之天花板齊，且防圓筒內壁所附着之雨水漏入受水器 AA，作圓錐之鏢 CC，其下緣固定於圓筒 BB。至 CC 與 BB 間所溜之雨水，由導管 DD 排出之。因圓筒 BB 內有此鏢，故受水面之直徑，僅有 29cm。受水器 AA 亦係亞鉛製成，其直徑為 50.5cm，深 31cm，底稍帶球狀，使容易由底中央之導管 EE，送雨水入自記雨量計內。至受水器之安置法，則其上緣接近於圓筒 BB 之底，其底則有直立之三足支持之，此直立之三足，則從內箱 (Case) 之底，貫穿內箱之頂而不與頂相接觸，且因足上覆以硫黃，而接續有硬橡皮棒，故能絕緣。

因測受水器電位時，與電位計連絡，故經 2 分，自記紙上印一點。若受水器雖與電位計連絡，而受水器不帶電荷時，則所印之點，在自記紙上成直線狀之點線。至受水器忽帶電荷，則因電位計之針起偏倚，從而所印之點，即不能作直線狀。

由此裝置，并能知電荷之自然散逸 (Natural leak)。即受水器一度得電荷後，不使電荷增加而放置之，自記紙之點列，不作直線而成傾斜狀，視其傾斜

由此裝置，并能知電荷之自然散逸 (Natural leak)。即受水器一度得電荷後，不使電荷增加而放置之，自記紙之點列，不作直線而成傾斜狀，視其傾斜

之程度，以知其電荷之散逸。

測雨水帶來之電荷以爲目的，則用H之地線連絡裝置。蓋電位計一方面，記錄受水器之電位，同時受水器與地相連絡也。即壓電位計之針，於自記紙上印點時，而同電路之電流，使H之電磁石起作用，故自記紙之點，可表示受水器在2分間所受雨水之荷電量。

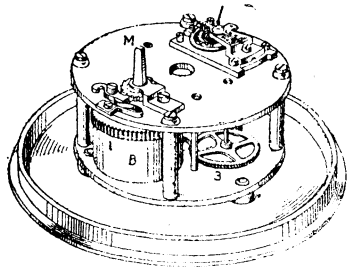
所用之雨量計，爲顛倒式雨量計(Tipping bucket rainguage)。其鋼筆尖亦每隔2分與自記紙接觸一次，此亦基於電位計之針被壓時，經由電磁石而受同線路電流之作用也。

因欲避免外界影響及於受水器內之雨水，故將小屋之四壁，向外伸張，如圖中所示，以之包圍受水器，風如是則之影響，亦可免去矣。

# 第十八章

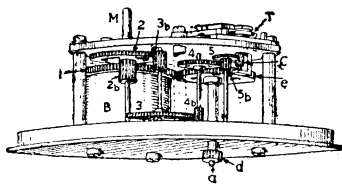
## 自計器用時計

1. 自記圓筒時計 Richard 式自記氣象儀器中，均有自記圓筒。今就該圓筒內之時計之構造，加以說明，以為使用氣象器械者之一助，如第一圖，則示時計之要部；第二圖則係橫視之形，其齒車 (Wheel) 及軸齒輪 (Pinion) 之位置，均以矢顯示之。至於第三圖則為說明圖式，即發條盒 B 中，置強有力之發條，所謂主發條 (Main spring, Zngfeder) 是也，此盒上固定第一齒車 1，此第一車與第二齒車 2 之軸齒輪 2b 相嚙接，第二齒車固定於 2b 之心棒，而再與第三齒車 3 之軸齒輪 3b 相嚙接，以下順次如是，遞至第五齒車 5 之軸齒輪互相嚙接，又第五齒車更與脫進機車 C 相嚙接，而使 C 迴旋。此脫進機

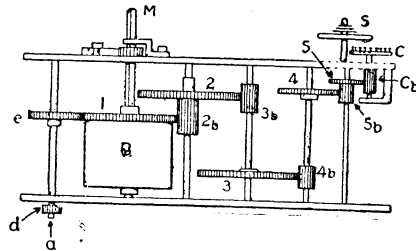


第 1 圖

車 (Escapement wheel, Gangrad) 則以起操縱機 (Escapement Hemmung) T 之動作，而操縱機之上，則捲有游絲 (Hair spring, Spiralfeder)。今發條盒 (Barrel, Federhaus) 內之發條旋捲後，則因其彈力而有恢復原狀之傾向，於是第一車使第二車回旋，從而其互相嚙接之第三，第四以及最後之第五車，均起回旋，而脫進機車 C，亦起轉動。惟因操縱機之心棒，與脫進機車之齒相嚙接，故操縱機一往復振動，而脫進機車恰回轉一齒。質言之，當 T 往復振動開始時，C 之齒即與 T 之心棒嚙接處相脫離；迨 T 一往復告終時，則 T 之心棒又與 C 其次之齒



第 2 圖



第 3 圖

車 (Escapement wheel, Gangrad) 則以起操縱機 (Escapement Hemmung) T 之動作，而操縱機之上，則捲有游絲 (Hair spring, Spiralfeder)。今發條盒 (Barrel, Federhaus) 內之發條旋捲後，則因其彈力而有恢復原狀之傾向，於是第一車使第二車回旋，從而其互相嚙接之第三，第四以及最後之第五車，均起回旋，而脫進機車 C，亦起轉動。惟因操縱機之心棒，與脫進機車之齒相嚙接，故操縱機一往復振動，而脫進機車恰回轉一齒。質言之，當 T 往復振動開始時，C 之齒即與 T 之心棒嚙接處相脫離；迨 T 一往復告終時，則 T 之心棒又與 C 其次之齒

相嚙接。故時計之秒針，非連續的回轉，每經微小時間，而迴跳一次。至於操縱機上游絲之運動，雖可漸次消耗 Energy，而因發條盒中發條之旋捲，其所蓄積之 Energy，經由脫進機車以支持操縱機之振動，遂得以補充其所消耗。若游絲之物質，及其長短，厚薄，寬廣等，適當選定之，則操縱機一振動之時間，亦可隨心所欲決定之。準以上之理而言，所謂自記圓筒，用一樣之速度回轉云者，當與時計之秒針相同，而非連續的回轉也明甚。

自記圓筒經一定時間，而為若干之迴轉，既如上述，此一定時間，則與操縱機之振動週期，是否同一，則與溫度之變化，以及游絲與主發條之強弱，均有關係。故發條每八日捲一次之時計，使之每二日捲一次，則發條之力，比較的可每日均等。且溫度亦不使生甚大變化時，游絲之週期，亦可每日均等，從而時計之遲速度，不至參差不齊。

Richard 製自記圓筒中之時計，其齒車與小齒車之齒數及其直徑，則如次表：

車	第一	第二	第三	第四	第五	脫進機車	傳動車
車直徑(mm)	36.3	30.0	27.4	20.2	10.4	—	36.3
車齒數	80	76	84	70	40	15	81
小齒車直徑(mm)	—	7.4	3.8	3.7	2.3	—	8.4
小齒車齒數	—	16	8	10	7	8	16

傳動車則如第三圖中之 e，與第一車嚙接，至傳動車之心棒，其下端 a 處則置有筒形小齒車 (Cannon pinion) d，雖以心棒為軸，而並非固定於心棒，僅藉其甚大之摩擦力耳。

今自記圓筒，每八日回轉一次，其操縱機之振動週期，應如何始與之相應，此處有計算之必要。

自記圓筒心棒上有固着之齒車，亦係傳動車之一種，此與筒形小齒車 d 相嚙接，而其齒數為 84。故自記圓筒一回轉時，發條盒之回數，應如次之計算：

$$\frac{84 \times 81}{16 \times 80} = 5 \frac{101}{320}$$

即不能不有 5 回有奇之回轉；於是操縱機不能不有

$$\frac{80 \times 76 \times 84 \times 70 \times 40}{16 \times 8 \times 10 \times 7 \times 8} \times 15 \times \frac{84 \times 81}{16 \times 80} = \frac{203609700}{128}$$

回之振動。惟因自記圓筒每經八日，即每經

$$8 \times 24 \times 60 \times 60 = 691200$$

秒而回轉一次，故操縱機一振動之時間，為

$$691200 \div \left( \frac{203609700}{128} \right) = 0.43$$

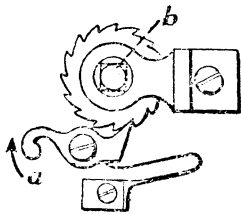
秒。又在發條盒一回轉之時間，脫進機車之回轉數應為

$$\frac{80 \times 76 \times 84 \times 70 \times 40}{16 \times 8 \times 10 \times 7 \times 8} = 19950.$$

又脫進機車之齒數為 15，當操縱機一振動，而該車回轉一齒，故對於發條盒之一回轉，其操縱機之振動數，為

$$19950 \times 15 = 299250.$$

2. 自記圓筒時計之分解 Richard 式自記時計，當修理或琢磨時，有分解拆卸之必要；而拆卸時則有一定之順序，否則時計有損壞之虞，蓋拆卸時最先工作，為將發條盒內主發條逆捲，使之恢復原狀。設不將該發條逆捲，則當操縱機等件卸下時，因該發條之逆轉，其心棒等皆有折斷之虞。當發條逆捲時，應如第四圖，右手持鍵鑰，貫入心棒 d，用力下捺；左手持萬力 (Ratchet) 之爪



第 4 圖

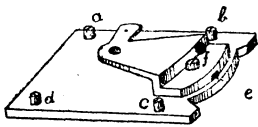
a，使之與圖中接觸處離開，斯時發條即起逆轉運動，若運轉過速，則又放置萬力之爪 a，使停止發條之逆轉，如是者數次，則發條大致可復原狀。然後用手將第二或第三車稍稍上下移動，若此種移動，不與手相應，則知發條未全然恢復原狀，尚有若干餘力存在。於是再使

之逆轉，至無餘力為止。

卸操縱機之臺板時，不可使操縱機先與臺板相離。即如第五圖，先旋下 a，

b, c, d 四螺旋，而後徐徐將臺板向上取出，此時手萬勿急促，致脫進機車之折

釘，與第五車衝擊。因臺板之位置，多少可以移動，故 a, d, c, d 四螺旋之孔，較螺旋自身為大。且因四螺旋各與原孔相適當，故卸下後，不可亂置，須仍依一定之順序安置之。



第 5 圖

使操縱機與臺板相離時，則如第五圖，先旋下螺旋 f，再用鋼針及其類似物之尖端，刺 e 孔，徐徐起開之，即能使操縱機與臺板分離。惟實施此工作時，須充分注意，第五圖所示者，即操縱機分離後之臺板。

從臺板分離操縱機及游絲時，其游絲上之游絲卸 (Hairspring or balance spring)，為裝置時便利起見，不必取下。游絲卸固定於游絲之一端，其足即如第六圖所示，出於 h 之處，故從其頂押之，即可脫下。

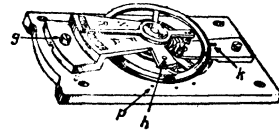
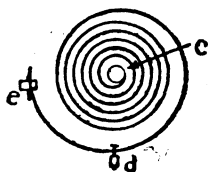


圖 6 第

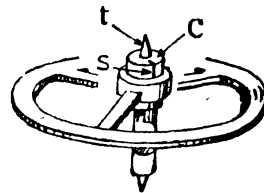
此外又有游絲鎖 (Stud. Klötzchen)，如第七圖所示之 d，為加減游絲有效之長短而設，

即時計之快慢針，向印 R 處回轉，則游絲鎖向右移，而游絲有效之長加增，若向印 A 處回轉，則游絲鎖向左移，而游絲有效之長縮短。

3. 操縱機之構造 游絲之他端，接於游絲軸錘，如第八圖之 c，軸錘之



第 7 圖



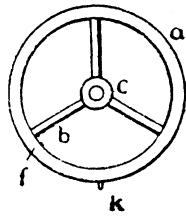
第 8 圖

小孔中，釘以小楔，使之固定游絲。操縱機之心棒 t，貫穿軸錘，而其上端作尖形。又游絲軸錘之一邊，并作一切縫 s，使心棒易於貫穿。心棒之下端，亦

作尖形，其中間則剝去其大部分，恰如殘缺不全之圓筒形（此裝置僅限 Cylinder 脫進機一類之構造中）。

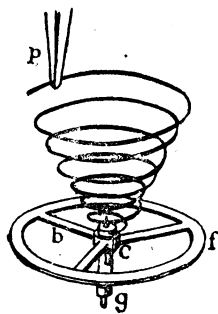
操縱機與臺板相離後，則如第九圖，為一種之車輪，特稱為操縱機車

(Escapement wheel)。車輪之輻，則由中央向輪之方向射出，c為游絲軸錘(Collet. Spiralrolle)。又車輪之外緣則出一小針k，稱為制限針(Banking pin. Anschlagstift)。此針從縱操機架之上面下垂，若操縱機輪振動過大，越180°以上，則由此針制止之，操縱機輪之面，有平者，有圓形者，Richard 自記



第 9 圖

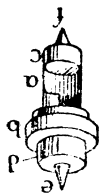
圓筒時計所用者，則屬於後者之形。第十圖則示游絲上摘之狀。



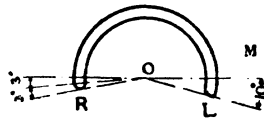
第 9 圖

4. Cylinder 脫進機 操縱機一往復振動，而脫進機車回轉一齒，使時計之針，為等時間的進行。脫進機又衝擊操縱機之運動，以防操縱機運動之停止，而兩者互相呼應，在普通時計中之脫進機，有 (Anchor escapement) 及 Cylinder 式 (Cylinder escapement) 兩種，大部分之時計，大都為 Anchor 式；但 Richard 式自記時計，則用 Cylinder 脫進機，故此處述該脫進機之構造如次：

如第十一圖，d 為游絲軸錘，b 為固定操縱機輪之金屬圈，e 為操縱機心棒之上端，f 為其下端，心棒之下部分 a，則剝去其一



第 11 圖



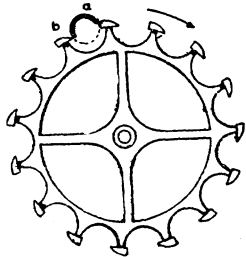
第 12 圖

部，宛如圓筒之殘缺不全形。此部分之切口，則如第十二圖，因為 196°，故比半圓之形稍大；但其兩端

之緣，其形不相同，R 緣之內外兩側，均作圓狀，稱為受緣 (Receiving lip)。L

之緣則僅內側作圓狀，稱為開緣(Let off lip)。若圓筒切口之中心為O，則由O向R作切線，及由O向其圓部作直線，則此兩直線之交角為 $3^\circ$ ，OL與OM間之角為 $10^\circ$ 。至圓筒之下部，則有剝去 $180^\circ$ 以上者。

脫進機車之構造，則如第十三圖所示，為含有十五突出角狀物之車輪，其



第 13 圖

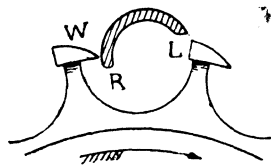
角則與車輪之面成直角而上向，其端附有小三角形之楔，楔之外緣，略帶圓狀而琢磨極光滑，第十四圖，係表車輪之一部分，并顯出其角之形狀，及楔之位置。

第十五圖，係表示操縱機之心棒，在左右振動之途中，而脫進機車適依矢之方向而回轉時之情狀。即最初楔端恰與圓筒之外側

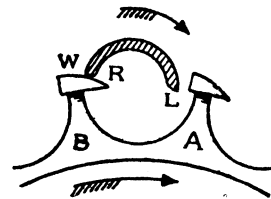
接觸，其次因操縱機之心棒，不斷的振動，於是圓筒之受緣R，擦過三角形楔之圓狀緣，此即將 Energy 供給於操縱機，在時計師方面，則稱為補充操縱機之力。此後則R與楔緣相離，楔即入於圓筒內，其端與圓筒之內側相衝擊，迨心棒向反對之方向振動，則開緣L又擦過



第 14 圖



第 15 圖

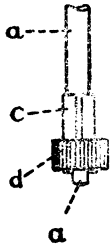


第 16 圖

楔緣，為Energy之輸送，第十五第十六兩圖，即以示其運動時之模樣。

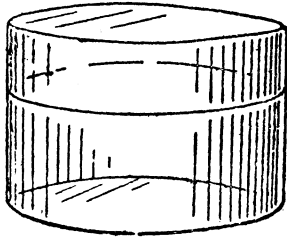
5. 自記圓筒之心棒 嚙接於發條盒之車，其心棒上附有筒形軸齒車d，如第十七圖所示。此軸齒車則與自記圓筒心棒上之齒車相嚙接。惟因自記圓筒上，捲貼自記紙時，須使描針尖與時刻相合，故此筒形軸齒車d，並非定固於心





棒上，而約略能自由回轉。換言之，此軸齒車d與其心棒間，僅恃其充分之摩擦力，俾心棒回轉時，軸齒車d亦隨之而回轉。苟或不然，圖中之心棒回轉時，自記圓筒可以不動。故使用時苟非校正時刻，切勿將自記圓筒，隨便迴旋，以減少其摩擦之作用。

6. 掃除與琢磨 掃除時計內臟之各細件，而使之清潔，其法甚多。就中以使用 Benyine，較為便利。即預準備 Benyine 或揮發油，以之注入潔清器(如第十八圖之圓筒狀玻璃器)。然後將器械中帶污之部分置入之，而覆以蓋，徐徐振盪一二次，經浸漬一分鐘或二分鐘，乃取出，而



第 18 圖

用清潔之軟毛刷，輕擦去其塵垢與油氣，再置諸潔淨之白木棉布上，拭之使乾。或將器械之部分浸入 Methyl alcohol 中(酒精之一種)，以去水氣，再取出而使之乾亦可。若係小鐘表，則自 Alcohol 中取出後，置諸黃楊之鋸屑(Box-wood sawdust)中，是為一定之法，此因可使金屬品之外觀改美也。迨自鋸屑取出後，必用乾軟毛刷，徐徐掃除之。其所用之軟毛刷，平時須用皂子水洗之，保持其清潔及乾燥。若係鋼鐵之部分品，則其中往往有生銹者，該部分品若為平面，可用氫砥石或金鋼砂紙磨之，但如心棒或小齒輪等，則用一種櫟木(用作牙籤之木)或黃楊木之篋，混以油及 Rotten stone 之粉，以之磨擦各部分，即去淨其銹。

琢磨心棒插入之孔，則可小刀將牙籤木削尖之，徐徐插入於其孔而迴旋之，即可取去其塵垢。但木質之中，本含有多少之酸，可以妨害金屬，故使用之前，不可不將是種之酸氣取去之。

若時計部分品之附屬物中，對於 Alcohol 具有溶解性，則不可將該部分品，浸入 Alcohol 中。

7. 擦油法 Richard 式自記圓筒時計，經裝置完成後，有時其各部須用油

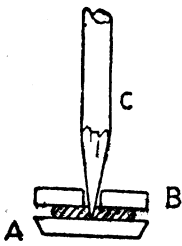
注之，即於毛筆尖上，使含充分之良質時計油，以滴入各部分之心孔，但勿過多，故此工作亦宜極端注意，至於操縱機及筒形小齒車之承石 (Dap jewel) 及贖石 (Balance jewel) 則於裝置之前，用油滴入，比裝置以後滴入為優。且其擦油法，亦甚簡單，如第十九圖，A 及 B 為承石及贖石之位置，先將油一滴注入孔中，然



第 19 圖

後如第二十圖，用 C 之牙籤

木尖插入，使油下注及於 A 與 B 間，若一滴過少時，則如前法，再注一滴。



第 20 圖

發條盒中之主發條部分，亦宜灌注以油，該部分若油太乾，則容易起軋轆之虞。但操縱機之游絲，則不可沾以油。

Cylinder 脫進機，亦有注油之必要，但不可失之過多。其擦油法，大約每隔二齒，注入一滴，因 Cylinder 振動時，每隔一齒，接觸一次，故所注之油，可以及於全體。

8. 自覺式自記計時計 此種時計所用之發條，與 Richard 式自記圓筒時計所用者，毫無所異。即用帶狀之鋼帶，捲成渦狀，而藉其彈力作用也。在價廉之時計，則發條置於時計中，若價值較高者，則發條收入發條盒中。第一車之軸，貫穿發條盒，而發條之一端，即連於其軸；其他端則固定於發條盒之內壁。發條旋捲時，則發條盒內之心棒回轉，而發條即被捲於第一車之軸，故發條漸次遲緩時，則第一車與發條盒共同迴旋，第一車與發條盒相連，而與第二車之軸齒輪相嚙接，第二車則於第三車之軸齒輪相嚙接，順次至第四車與第五車 (即脫進機之軸齒輪) 相嚙接。軸齒輪之構造，若係 Richard 之自記圓筒時計，則將鋼鐵之棒，磋出凹凸形，使之成齒輪；若係價廉之時計，則用數條金屬線，插向二枚之圓板，使其形約略成籠罩狀，即以金屬線為齒之代用品也。

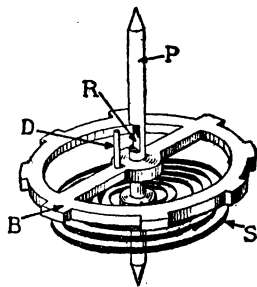
如將此種時計，用為自計時計，則於第三車之軸 (即附有時針之軸)，裝置滑車，而此滑車上，則懸以線，由此線得以生自記鋼筆尖之動作。且因欲調節

自記鋼筆尖之位置，滑車有可以右迴及左迴者，惟在此例，附有滑車之心棒，亦生迴轉，其影響所及，亦可使第三車向右迴或左迴，從而時計亦因之而不良。又在此處，滑車並非固定於心棒，而僅藉摩擦力以為作用，故無端將滑車迴轉，而心棒不動。

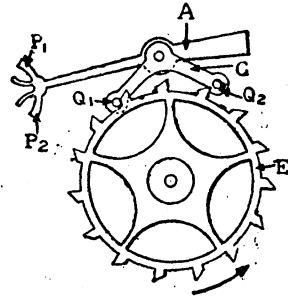
此種類時計之齒車齒數，亦有二三種，頗適於用，茲揭載其一種如次：

車之種類	第一車	第二車	第三車	第四車	第五車	脫進機車
車齒數	104	100	98	96	75	15
軸齒輪齒數	—	10	8	14	12	10

9. Anchor 脫進機 本節所述者，為操縱機及脫進機之構造。操縱機如第二十一圖所示，通常為黃銅製之圓輪，其間固定一直徑，圖中之B即表示操縱

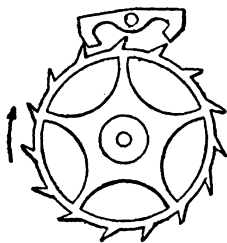


第 21 圖



第 22 圖

機。其中心出心棒 P，與輪相垂直，心棒 R 處則剝去一部分。又直徑之上，直立有小棒 D，操縱機之游絲，則用磷銅作成之，其一端固定於心棒 P 之游絲軸錘上，他一端則固定於時計之架。



第 23 圖

脫進機車，則如第二十二圖，為含有15齒之車 E，而脫進機則於下垂齒 G 之兩端，出 Q<sub>1</sub> 及 Q<sub>2</sub> 之掣子 (Pallet)，以之衝擊脫進機車之齒。固定下垂齒之棒 A，其一端附有四叉形物，直徑上之棒 D，則向中央之叉嚙接。P<sub>1</sub> 與 P<sub>2</sub> 之二叉則藉以防止越出範圍之振動。蓋如第二十一圖，由 D 棒隨操縱機而振動，A 亦隨之而振動，於是 G 之下垂齒，使掣子 Q<sub>1</sub>

及 $Q_2$ ，與脫進機車之齒起開闔動作。斯時脫進機車之齒，將 $Q_1$ 之掣子上押，而游絲同時受一方之押迫，使此部分得補充位置的Energy。質言之，在此種狀況下，操縱機一往復振動，而脫進機車即迴轉一齒也。此種脫進機為法人 Achille Brocot氏之考案品，特稱為Anchor掣子脫進機(Pin-pallet escapement)。

由時計之種類，亦有不用上述之脫進機，而用Graham式之脫進機者。該脫進機，如第二十三圖，逕用下垂齒之齒，與脫進機車齒相衝擊，但其作用，則與上述者同。此為英人George Graham氏考案所得。

此種時計之分解或裝置與處理Richard自記圓筒時計，其方法約略相同。此處無重言之必要。

## 補 遺

以前各章中所遺漏之若干事項，此處爲之追加如次：

1. 百葉箱之研究 百葉箱之構造，已說明於第一章，即所謂 Stevenson 氏之小形百葉箱，甚難得良好之結果，其下此者更不待言。G. Hellmann及L. G. Diens 氏，曾就此點而實施比較的研究。現今東亞測候界，如日本及上海徐家匯所用者，雖較 Stevenson 氏之小形百葉箱爲優，但仍未經充分之研究。例如所塗之白色，既有充分研究之餘地；內壁之溫度，究竟如何，亦未精密測定；又箱內之通風，其大體雖如第一章所記，然亦未經充分觀測。要而言之，百葉箱在今日爲一極重要之問題也。

\*2. 溫度計惰性之研究 若用溫度計在航空機上觀測，則因空氣之溫度，往往急速變化，而溫度計之示度，不能與空氣之溫度合一，於是其間生時間之示度距，即所稱爲 Lag 者是也。此事在普通氣象觀測上，當然亦成爲問題，業於第一章中有所說明。惟因其假定，失之過簡，故此處更爲稍嚴密之研究。蓋此問題先由A. R. McLeod 氏，根據熱傳導論施以研究；近今則T. J. F. A. Bromwich及A. T. Starr 氏，更從數理方面，補足其理論。

此問題於任意時刻求其示度距 (Lag)，非常複雜。此處僅就 McLeod 氏所述求平均示度距之法，錄之如次(但溫度計之球部爲球)：

設在時間  $t$ ，自溫度計球部至球心距  $r$  處之溫度爲  $u$ ，則由熱傳導理論， $u$  滿足次之偏微分方程式，即

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (1)$$

但  $a^2 = \frac{K}{\rho\sigma}$ ， $K$  爲熱傳導率， $\rho$  爲球部中物質之密度， $\sigma$  爲其比熱。

今命球部之半徑爲  $c$ ，且假定當  $t=0$  時， $u=0$ 。外界之溫度在  $t$  時刻爲  $Gt$ ，表面傳導率 (Surface conductivity)  $h$ ，爲一定不易，則  $r=c$  時，應成立次式：

$$K \frac{\partial u}{\partial r} = h(Gt - u).$$

自球心至 $r$ 距離任意點之Lag爲 $\theta$ ，則 $u=Gt-\theta$ ，以之代入於(1)，

$$G-\frac{\partial \theta}{\partial t}=a^2\left(-\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2}-\frac{2}{r}\frac{\partial \theta}{\partial r}\right).$$

設 Lag爲定常時，則 $\frac{\partial \theta}{\partial t}=0$ ，由是

$$\frac{d^2 \theta}{dr^2}+\frac{2}{r}\frac{d\theta}{dr}+\frac{G}{a^2}=0 \dots\dots\dots(2)$$

(2)之一般解爲

$$\theta=A+\frac{B}{r}-\frac{Gr^2}{6a^2} \dots\dots\dots(3)$$

$A$ 及 $B$ 爲積分常數，惟因 $r=0$ 時， $\theta$ 爲有限值，故 $B=0$ 。

今命球部全體之平均Lag(The mean lag for the sphere)爲 $\bar{\theta}$ ，則

$$\bar{\theta}=\frac{3}{c^3}\int_0^c\left(A-\frac{Gr^2}{6a^2}\right)r^2dr=A-\frac{Gc^2}{10a^2}.$$

次假設球部表面上溫度之Lag爲 $\theta_c$ ，則當 $r=c$ 時，以 $u=Gt-c$ 代 $K\frac{\partial u}{\partial r}=h(Gt-u)$ 中 $u$ ，得

$$-K\left(\frac{\partial \theta}{\partial r}\right)_{r=c}=h\theta_c.$$

因(3)之 $B=0$ ，故微分之結果，爲

$$\frac{KGc}{3a^2}=h\theta_c, \quad \dots \quad \theta_c=\frac{KGc}{3ha^2}=A-\frac{Gc^2}{6a^2},$$

故

$$A=\frac{Gt^2}{a^2}\left(\frac{K}{3ch}+\frac{1}{6}\right),$$

$$\bar{\theta}=\frac{Gc^2}{15a^2}+\theta_c=\frac{Gc^2}{a^2}\left(\frac{1}{15}+\frac{K}{3ch}\right).$$

3. 溼球比乾球高溫時之處理法 溼球在冰結時，其示度有時可比乾球爲高，此時空氣中之水蒸氣，對於冰結之溼球，因其張力達於最高，於是水蒸氣在溼球起凝結，由其游離之潛熱，遂使其示度增高。此種解釋，在實際上可設想斯時乾球與溼球爲同示度。故空氣中之水蒸氣，對於乾球之示度，成爲冰蒸氣而達最大張力。惟因溼度之計算，係用水蒸氣最大張力(對於乾球示度)所除得

之數，故結局此時之溼度，應略比 100% 為少。何則，因對於同溫度冰蒸氣之最大張力，比水蒸氣最大張力為小也。

今就實例說明之，設溼球冰結時之示度為  $-1.5^{\circ}\text{C}$ ，乾球為  $-1.7^{\circ}\text{C}$ ，則是時溼度之求法，先設想兩球之示度差為 0，對於  $-1.7^{\circ}\text{C}$  冰蒸氣之最大張力為 3.98mm。其水蒸氣之最大張力為 4.04mm，而當時之水蒸氣最大張力，視為 3.98mm，則溼度為

$$\frac{3.98}{4.04} \times 100 = 99\%.$$

對於此事，N. Ekholm 氏曾有詳細之研究，其原論文載於 Met. Zeit. 1894. P. 90.

僅就以上所論，仍未盡善，蓋此問題仍多研究之餘地也。

4. 氣壓計室 凡山頂測候所，因風之流通，氣壓計之示度，往往起不斷之變化，此因風之吸出及吹入，以之影響氣壓計也，但此現象之發生，不限於山頂，而平地測候所之氣壓計室，亦能起此作用。惟此作用與風速之二乘成比例，故於風強之山，尤為顯著，德國 Göttingen 市之流型研究所 (Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung in Göttingen)，嘗利用風筒作種種建築之模型，以實驗其中氣壓之變化，據 O. Schrank 氏之報告，當風速  $v$  時，室內氣壓之變化，可自 0 至  $-0.8 \frac{\rho}{4} v^2 \frac{1}{13.6}$  mm。式中之  $\rho$ ，為空氣密度，用  $\text{kg l m}^3$  表示之； $v$  則用  $\text{m/s}$  表示之，惟大多數係受吸出之作用而減壓，此壓力之變化，且由於室之風向而異。氏又言如欲室內與外氣為同氣壓，可將室密閉之，通以粗大之導管，以連絡內外之空氣，導管之口，置於室之遠距離處，若能將管口置諸該室五倍高之處，則尤為適宜。不然則將風之影響，及於室內氣壓者，測定之，亦無不可。

5. Marvin 氏日照計 美國測候界所用之日照計，係 C. Marvin 氏所考案，為一種之示差溫度計，即將黑球與白球，用細管連絡之，其細管中則盛以水銀，黑白兩球中，則入空氣。當受日照時，黑球內之空氣，其膨脹比白球為

大，於是將水銀線上押，且因中途出有白金線，故電路閉，而於自記紙上現印痕。由其印痕之長短，得以判定日照時間之多少。但此器須時時調整，亦一缺點也。

6. 雨量計之研究 用雨量計以觀測雨量，當有風吹送時，與靜穩時相較，其結果不同，實基於受水器之內緣附近，起有渦動，此已為熟知之事實，故雨量計安置處，其風之流線，實有研究之必要。俄國氣象學者 Bastamoff 氏及 Witkewisch 氏，曾利用大型之風筒，將種種不同形之雨量計，置入其中，吹送4乃至5m.p.s.之氣流，散布Lykopodium粉，以取流線之攝影，其結果則發見次列事項：即無論普通之雨量計，或Nipher氏式有緣邊之雨量計，其受水面處所受氣流之影響均甚強。且Nipher氏式之器，其所受氣流強勢之面積，超過受水面半分以上。故知Nipher式之器，雖附有邊緣，受水量仍不免減少。而普通無緣邊之雨量計，在實際上其減量尤為顯著。因欲避免此種缺點，兩氏又製出改良型之雨量計，即於Nipher氏器之緣邊上，其外緣更附以平滑之輪，於是雨量計之受水面，其所通過之氣流，約略可以均等云。

N. Kurmangalin氏，曾於俄國Omsk市農事試驗場之氣象觀測所，施行三年間之比較觀測，亦言用上述改良型之雨量計，其成績較好云。

7. 自記風向器 近來美國製出一種自記風向器，即利用同調的發動機，(Synchronous motor)，將風向之變化，在遠距離處，而為正確的自記，此種器械，製作較易，故日本已有仿造者，且價值亦廉。惟Synchronous motor使用時間甚短，約經半年，其部分器之大部分，均須更換耳。

日本東京帝國大學航空研究所員拔山氏，亦設計一種自記風向器，亦用電氣裝置，在遠距離處，能自記風向，現今已有製作販賣者。

8. 雲高之測定 與風力塔等高之高處，置平面鏡，使與水平面成傾角 $\beta$  ( $\beta$ 為極小之角)，則由地平面水面上所反射之雲影，及由鏡面所反射之雲影二者，可使同時入於人目。設由水面所反射之光線與水平面成 $\alpha$ 角，塔高為 $h$ ，則雲之高 $H$ ，可由次式計算之：



$$H = h \frac{\sin(2\alpha - 2\beta)}{\sin 2\alpha}$$

法國氣象學家L. Besson氏，曾基此原理，作略測雲高之器械。

\*9. Abbot 氏銀盤日射計之使用法 此器之構造，已述於第十章，此處更述其使用法如次。

先將此日射計置於南北線上，使器械之軸，與地軸平行（與於安置日照計方法同）。因支持溫度計之架，穿有小孔，此時之器械，是否正對日光，及日光是否能射入器中，則基於從小孔是否能窺見日光為斷。第十章第八圖中之點線*i*，即表示由小孔所見之光線模樣。至於觀測之順序，則最先遮斷日光，經20秒後，讀取溫度之示度，次經100秒，即自最初至第3分時，再讀取溫度計之示度，斯時用Shutter（即開閉器），使日光射入，而較正其方向，經20秒後，讀取溫度計之示度，再經100秒後，即自最初之第五分，再讀取一次，於是閉Shutter，此後溫度計示度之讀取，則仍如前法，即此法須實施數回而後，以之計算也。其溫度計之讀法，則先讀度之100分數，其次再讀度。

此處將 Abbot 氏所施之觀測及計算，例示如次：

第一表（日射計讀取）

順序	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
時刻	h m s 11 55 20	m s 57 00	m s 57 20	m s 59 00	m s 59 20	h m s 0 01 00	m s 01 20	h m s 0 3 00	h m s 0 3 20	h m s 05 00
示度	15.°12	14.°25	14.°80	17.°58	17.°36	16.°09	16.°58	18.°99	17.°75	17.°29
狀況	日射遮斷		正對日射		日射遮斷		正對日射		日射遮斷	

在計算之前，先由次式求 $R_1$ 及 $R_2$ ，

$$R_1 = \frac{(1) - (2) + (5) - (6)}{2} + [(4) - (3)],$$

$$R_2 = \frac{(5) - (6) + (9) - (10)}{2} + [(8) - (7)].$$

次將器差補正加入，於 $R_1$ 及 $R_2$ 內。設(3)與(4)之間，其平均氣溫為 $T_1$ ；

(7)與(8)之間，其平均氣溫為 $T_2$ ，則器差補正後之 $R_1$ 及 $R_2$ 內，更加入 $K[(T_1-30^\circ)R_1]$ 及 $K[(T_2-30^\circ)R_2]$ 。若氣溫與 $20^\circ$ 相比，有甚大之差異，則每隔 $10^\circ$ ，可加入 $0.0014R$ 於 $R_1$ 及 $R_2$ 中，由以上計算所得之 $R$ ，稱之為 $R_1'$ 及 $R_2'$ ，此即表示在自(3)至(4)，及自(7)至(8)間器械，正對日射時，每100秒溫度計上昇之比率。但此種計算，係歸着於溫度計球部為 $30^\circ$ ，又管之溫度為 $20^\circ$ 時之示度。

由以上計算所用之常數 $K$ ，則在檢定器械，已經決定。在此處例示之器械，則 $K$ 為 $0.0011$ 許。

如欲將 $R_1'$ 及 $R_2'$ 以 cal. per.  $cm^2$  per min. 改算之，則用器械檢定表內所記入之常數乘之，即得所求。

第二表 (計算)

順 序	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
示 度	15.°12	14.°25	14.°80	17.°58	17.°36	16.°09	16.°58	18.°99	18.°75	17.°29
差	0.°87		2.°78		1.°27		2.°41		1.°46	
冷 却 補 正			1.°070				2.°365			
$R_1$ 及 $R_2$			3.°850				3.°775			
$T_1$ 及 $T_2$			16.°2				17.°8			
尺 度 補 正	$-0.0020R_1 =$		$-0.°008$		$-0.0022R_2 =$		$-0.°008$			
$KR(T-30^\circ)$	$-(0.0011)$ $(13.8)R_1 =$		$-0.°058$		$-(0.0011)$ $(12.2)R_2 =$		$-0.°051$			
空 氣 補 正	$+0.0007R_1 =$		$-0.°003$				$+0.°003$			
$R_1'$ 及 $R_2'$			3.°787				3.°717			

10. 自記洋墨水 (Ink) 之製法 自記洋墨水之製法，現有種種。此處述其兩種之製法如下：(1) 明礬 200g 之飽和溶液中，加入清水 500g，及Glycelinum (譯作甘油)300g，合成1000g之溶液，然後再溶入Anilin色素(Anilin colours)20乃至30g。惟因紫染料為固體，故須先將其碎成粉狀，或浸入Alcohol中，使之柔軟，始以之混入溶液中為宜。準備既畢，於是將該溶液用火煮沸之，且時

---

時攪拌，使混合物充分溶解，待其冷卻後，用布片濾之。明礬之作用，係防洋墨水在白記紙上起粘染現象，故其量可任意加減。但若良質之紙，則不用明礬亦可。(2)清水500g中，加入白砂糖20g，置諸文火上煮沸之，然後加Glycelinum 250g及Anilin色素20g，攪拌而使之混合，經充分溶解後，乃冷卻而以布片濾之，如(1)之法。

## 勘 誤 表

頁數	行數	誤	正	頁數	行數	誤	正
V	13, 14, 15	記 塵 器	計 塵 器	122	12	$h_1^2+4h^2$	$h_1^2+4k^2$
V	25	輕 風 管	輕 氣 管	123	4	1.69	1.96
VII	10	Sylinder	Cylinder	124	13	殊 感 不 便	殊 感 不 便
1	24	記 度 時	記 溫 度 時	128	11	若 當 降 時	若 當 降 雨 時
7	11	氣 壓 昇 降	溫 度 昇 降	129		第 三 圖 倒	
23	23	Lussc	Lussac	136	2	輻 射 法	輻 射 法 則
24	19	50 之 間	5° 之 間	137	25	及 (1)	即 (1)
29	14	發 生 器 泡	發 生 氣 泡	140	21	除 6	除 $\sigma$
34	15	包 以 皮	包 以 鞣 皮	141	17	biaphragm	diaphragm
34	18	過 皮 之 縫	過 鞣 皮 之 縫	145	1	$\frac{\alpha}{2}$	$\frac{\alpha}{2}$
38	末 行	為 $u_1$	為 $v_1$	147	9	不 能 良	不 能 得 良
73	19	起 卷	起 過 卷	147		第 6 圖	第 5 圖
76	9	$\sqrt{\quad}$	$D_3 = \sqrt{\quad}$	148	3	Bourden	Boundon
80	11	為 R	為 r	151	8	Oust	Dust
80	15	$\Delta =$	$\Delta d =$	159	7	$\frac{dL'}{L}$	$\frac{dL'}{L'}$
82		圖 倒		165	21	,	t,
84	3	Cacella	Casella	168	17	$\sin(\alpha + \alpha')$	$\sin(\alpha + \alpha')$
86	12	測 其 差 異	則 其 差 異	172	4, 20	鉛 箔	鋁 箔
86	18	$P = a/w$	$p = v/w$	175	18	急 速 線 化	急 速 變 化
86	19	$P = y/w$	$q = y/w$	186	15	若 與 $t=0$	若 當 $t=0$
88	21	$q^2 F(\psi)$	$q^3 F(\psi)$	188	18	$C:(C+C')$	$C':(C+C')$
91	5	$\frac{p}{\Delta} d\psi$	$\frac{p}{\Delta} d\psi$	197	10	風 如 是 則	如 是 則 風
92	9	1.2.4.5	1.2.3.4	198	8	Zngfeder	Zugfeder
94	1	$\int_0^{2\pi} -\rho u^2$	$\int_0^{2\pi} \rho u^2$	199	15	20.2	20.0
95	18	為 週 同 期	為 同 週 期	201	3	a, d, c, d	a, b, c, d
98	4	Robnson	Robinson	204	7	Benyine	Benzine
100	11	23.3	22.3	205	15	自 記 記	自 記
104	20	$\int_0^y$	$\int_0^y$	208	20	$\frac{\partial u}{\partial r}$	$\frac{\partial u}{\partial r}$
105	8	$1 - \frac{r^2}{b^2}$	$1 - \frac{r^2}{b^2}$	209	16	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{15}$
106	3	0.00731	0.000731	210	1	100% 為 少	100% 為 小
106	7	$(1 - 0.00227)$	$(1 - 0.00227)$	210	17	$-0.8 \frac{\rho}{4}$	$-0.8 \frac{\rho}{2}$
112	12	$\frac{V^2}{a}$	$m \frac{V^2}{a}$	212	9	取 溫 度	取 溫 度 計

表 之 勘 誤

頁	欄	誤	正
212	8	01 <sup>m</sup> 20 <sup>s</sup>	0 <sup>h</sup> 1 <sup>m</sup> 20 <sup>s</sup>
213	5	2.°365	1.°365
213	5	3.°717	3.°719

# 近世地震學

王應偉編

銷售處青島觀象臺

定價國幣肆圓

本書共分十一章理論與實用並重自第二章至第六章爲理論部分第七章以下則注重實用其章目如下

- 第一章 地震之一般事項及其統計
- 第二章 彈性波動
- 第三章 地震波之反射及屈折
- 第四章 地震波之傳播
- 第五章 地震機械之理論
- 第六章 地震計
- 第七章 地震計之常數
- 第八章 地震記象
- 第九章 地震波之觀測
- 第十章 震央及震源
- 第十一章 雜論
- 附錄 關於地震觀測設備及操作上之注意

