

近代氣象學原理

S. Petterssen 著

程 純 樞 譯

龍門聯合書局出版

近代氣象學原理

INTRODUCTION

TO

METEOROLOGY

by

Sverre Petterssen

程純樞譯

龍門聯合書局出版

近代氣象學原理

INTRODUCTION TO METEOROLOGY

SVERRE PETTERSEN

【版權所有】

一九五〇年三月初版

一九五二年七月四版

定價人民幣 15,000 元

譯 者 程 純 樞

出版者 龍 門 聯 合 書 局

上海南京東路六一號一〇一室

電 話 一 八 八 一 九

總發行所 中國科技圖書聯合發行所

上海中央路二四號三〇四室

電 話 一 九 五 六 六

電報掛號 二 一 九 六 八

分銷處 龍門聯合書局及各地分局

海 總 店 河 南 中 路 210 號

上 海 支 店 南 京 東 路 157 號

北 京 分 局 東 安 門 大 街 82 號

北 京 西 城 支 店 西 單 鈔 五 商 場 6 號

重 慶 分 局 中 山 一 路 368 號

漢 口 分 局 江 漢 一 路 3 號

瀋 陽 分 局 太 原 街 40 號

天 津 分 局 經 斯 福 路 308 號

西 安 分 局 中 山 大 街 217 號

譯者序

這本書原名 Introduction to Meteorology，是著名氣象學家，現任挪威氣象局局長 Sverre Petterssen 氏所著；因原敘文中說明這本書的主旨是以簡要的方式來敘述近代氣象學的基本原理，所以改用了現在的書名。這本書篇幅雖不大，內容非常豐富而且有系統，一步步引入天氣分析與預報所需要的種種知識，是著者的一本名著「天氣分析與預報」的縮編精華。因為內容簡要而豐富，天氣分析所需的基本知識幾乎已包括無遺，不是一般初步書可比。以這本書作大學氣象學科的課本更是相宜。

這本書的譯文，已力求信達，只在必要地方稍加六號字的插註，以及更動一些目前不通用的制度方面的材料。最後由譯者加一補編，說明中國氣團與天氣，便利參考。

譯稿成後經老友盧鋈的潤飾，周夢塵兄照原文詳加查校；而且因為航空方面的採用與龍門書局的贊助纔能出版，這都是譯者所感謝的。

程 純 樞

1949年12月於上海氣象台

目次

序言

引論

第一章 大氣 3

成分 雜質 結構 層次

第二章 觀測與儀器 8

水銀氣壓表 氣壓 氣壓單位 氣壓與高度 空盒氣壓表 氣壓計 高度表
溫度 溫度計 濕度 濕度儀器 氣象計 風向與風速 測風氣球觀測 雲之分
類 霧與霾 霾 降水 雲與降水 雲量 雲幕 能見度 氣象觀測之應用

第三章 蒸發 凝結 降水 25

蒸發作用 凝結核 凝結程序 降水程序

第四章 絕熱溫度變化 29

氣體定律 熱力學第一律 絕熱變化 未飽和空氣之升降 飽和空氣之升降
絕熱圖 位置溫度 求凝結高度之法

第五章 穩定度與不穩定度 37

定義 未飽和空氣 飽和空氣 條件性不穩定 對流性不穩定

第六章 溫度之各種變化與天氣現象之關係 41

熱能來源 輻射 熱之轉移 垂直混和 水平混和 陸地上空氣之冷熱變化
海上空氣之冷熱變化 行動氣團之冷熱變化 對流 對流雲類 雷雨 溫度逆增
霧之構成 霧之日變 積雪面上之霧 霧之分類 霧之分佈 積冰

第七章 風系 60

氣壓力 氣壓梯度與等壓線 偏轉力 地轉風 風之離心作用——梯度風 *
摩擦之影響 風與高度 氣壓系統之型式 輻合與輻散 大氣環流 季風
陸風與海風 山風與谷風 自由大氣之環流 渦動 渦動與障礙物 山脈之影響
空氣之順旋

第八章 氣團 78

氣團之生活史 氣團源地 氣團之分類 冷氣團之性質 暖氣團之性質 冷暖氣
團示例

第九章 鋒	86
鋒之生成 主要鋒帶 鋒面之傾斜 鋒與溫度 鋒與氣壓 鋒與風 鋒之分類 鋒與雲類 鋒與風之結構 地面天氣圖上之暖鋒象徵* 地面天氣圖上之冷鋒象 徵* 山脈之影響	
第十章 氣旋 反氣旋	99
氣旋模式 穩定波與不穩定波 氣旋之發展 熱帶氣旋 氣旋路徑 陸龍捲與海 龍捲 反氣旋 氣旋與反氣旋之高度	
第十一章 天氣分析	107
觀測與符號 等壓線繪法 等變壓線繪法 天氣圖分析 分析範例 等熵分析	
第十二章 天氣預告	117
路徑法 地轉風法 趨勢法 加深與填塞 預告步驟	
第十三章 天氣圖舉例	125
海洋天氣分析之例 三度空間分析之例	
第十四章 氣候	132
氣候要素 氣候因子 日射之日變化與年變化 海陸對於氣溫之影響 雨量之正 常分佈 氣候之分類	
第十五章 歷史	144
背景 自 Aristotle 至 Galileo 自 Glileo 至 Laverrier 自 Leverrier 至 Bjerknes 自第一次大戰至第二次大戰	
補編 中國氣團與天氣*	149
中國之氣團 中國之鋒面與天氣 中國之氣旋	
附錄*	153
氣壓測高公式 地轉風速查算圖 地轉風隨高度之變化	
換算表	162
I. 吋與毫巴換算表 II. 每升高 100 呎之氣壓低降表 III. 百分溫標與華氏溫標 換算表 IV. 風速各種單位換算表	
索引	166

[註] 加有 * 號者為譯本增補之部分。

近代氣象學原理

引 論

氣象學爲大氣之科學。近代科學分工日細，故氣象一科，亦可視其理論研究取徑之異及其於人類各種活動上應用之別，而分門別類。

自理論觀點，氣象學可分爲下列諸門：

1. 動力氣象學 研討產生與維持大氣運動之力，及其與熱能之變換；其中又常分爲流體力學（論力與運動）及熱力學（論熱能）。至氣體動力學（Aerodynamics）一詞則常用以專指研究氣流與物體（如飛機翼部）交互作用之科學，不屬於動力氣象學。

2. 物理氣象學 討論屬於純物理性質之作用，如輻射、熱、蒸發、凝結、降水、積冰、及光、聲、電諸種現象。

3. 氣候學 亦稱統計氣象學，專事檢定氣象要素之統計關係、平均值、正常值、頻率、變化、分佈等。

自實用觀點，氣象學亦分爲數門，主要者有：

4. 天氣學（Synoptic Meteorology）其目的在根據廣大地域之同時觀測，綜合研究大氣變化之程序。爲洞悉當前大氣內情勢起見，天氣學須應用動力氣象學與物理氣象學，亦須略事應用氣候學，以完成其天氣分析及預報之主旨。

5. 航空氣象學 爲氣象學對於航空問題上之應用。論及天氣實況則與天氣學有關；論及大氣正常狀態則與氣候學有關。

6. 海洋氣象學 爲氣象學對於航海之應用，其關係一如航空氣象學之於航空。

7. 農業氣象學 討論氣象學對於農事、土壤保持等方面之應用。

8. 水文氣象學 研究有關給水、防洪、灌溉等之氣象問題。

9. 醫藥氣象學 討論天氣及氣候對於人體之影響。

10. 高空氣象學 (Aerology) 為氣象學之一支，根據直接觀測討論自由大氣各種現象。

本書之範圍以天氣學為主，因其大部分與天氣變化之程序有關。此外氣候學及氣象學史，亦均列有專章，略事敘述。

第一章 大氣

大氣 (Atmosphere) 一詞源自希臘，atmos 之意爲汽，sphaira 意爲球體，現用以指地球外圍之氣圈。

成份 空氣爲組成大氣之物質，乃數種氣體之混合物。燥淨空氣，氮含有 78% (就體積言)，氧 21%，氬約 1%，此外尚有 0.03% 之二氧化碳。以上四種共計 99.99%，其餘 0.01% 爲氖、氦、氫、臭氧、氙、氡等稀有氣體，其量至微，與天氣現象之研究實無甚關係。

二氧化碳含量變動無常，植物時加消耗，而動物以及燃料之焚燒、火山之活動、土壤之崩解諸作用復時時造成之。兩者雖難以平衡，然因海水可溶解過量二氧化碳而收調制之功效，故大氣中 CO_2 之量遂幾近恆定。

臭氧，高空 10 至 25 千米 (公里) 處最豐，其量多變；下層大氣中則甚稀少。

除二氧化碳及臭氧外，大氣成份全球各地均無甚變化，即儀器所及之高空 (35 千米) 亦少差異。

空氣通常尚含有水汽，其量多變，然實爲大氣最重要之成份。空氣中水汽最高含量端視溫度而定，氣溫愈高，水汽含量愈大。空中水汽既達最高量謂之飽和。一旦冷至飽和溫度以下，凝結即行開始，水汽凝爲小水滴，或冰晶 (低溫時)。因空氣中時有上升氣流，小水滴或冰晶每浮游而不下墜，但在某種特殊情形下，亦可併合而爲大水滴或雪片，迨形體過鉅，非上升氣流所能負荷，即自雲中降落及地。

雜質 除上述種種而外，大氣中尚有不定量之雜質，如微塵、煙粒與鹽質之類。

微塵主要來源爲乾燥之沙漠及草原區域，粗粒因風播揚，難以致遠，然微塵則無遠弗屆，勻佈下層大氣中。副熱帶大陸氣團常含有多量微塵，惟自極地來者則較純淨。

煙粒主要來源爲工業區、森林火災及火山。燃料在高溫下燃燒，氫氧合爲水汽，碳氧化爲二氧化碳，均爲大氣之正常成份。如溫度較低，燃燒不完，碳質即隨空氣上升而爲煙粒。

據觀測結果，知空氣常含大量之鹽分。海水因風激盪，浪花飛捲，入空蒸發，鹽粒遂殘留於大氣中。

空氣所含雜質均極微細，非肉眼所能見，然其於能見度及遠物色彩之影響則甚彰著。

暗色遠物(如山)，隔霧視之，猶如爲藍灰薄幕所籠罩，其色白者(雪山或遠雲)，則一如蒙有黃色薄幕。距離稍遠，因霧幕較密，一切乃漸模糊，遙映天空，徒存影像。霧幕愈密，失視距離亦愈短。

大氣微塵，不僅影響能見度，且可以促進水汽之凝結。純淨空氣，水汽凝結不易，但如有某種吸水性核存在，空氣一經冷至飽和溫度，凝結立即附着而開始。鹽粒及燃燒之各種產物均爲良好之凝結核，大氣中甚爲豐富。

構造 空氣富彈性而易壓縮，質雖輕然確有重量，在通常壓力及溫度下，地面空氣之重量約爲同體積水之 $1/800$ 。換言之，1 立方呎之空氣重約 1.2 英兩，即 1 立方米重約 1.3 仟克。

大氣因有重量，故對地面施有壓力，每平方呎達 15 磅，即約每平方厘米 1.05 仟克。此項壓力可視爲一單位，曰 1 大氣壓。

地面至大氣頂之空氣柱，其所施於地面之壓力相當於一高 34 呎(10 米)之水柱，或高 30 吋(76 厘米)水銀柱之重量。水銀氣壓表測定大氣壓力，即依此項原理而製成。

離地愈高，大氣壓力愈減。上下二點氣壓之差即等於二點間空氣柱之重量。如在垂直方面，二點或數點間氣溫及氣壓既經測知，則其間高度之差即可從而計算。設溫度分佈正常，氣壓應爲高度之函數，航空通用之高度表，實即一特製之氣壓表，僅其示度爲高度而非氣壓耳。

大氣壓力既等於空氣柱之重量，則高度愈高，氣壓必愈減，迨及於零而後已。空氣密度亦復如是。由此可知大氣並無明確之上限，漸上漸稀，終歸烏有。圖 1 示大氣下層 15 仟米內氣壓、密度、氣溫隨高度而變化之情形。

大氣所及高度，雖甚可觀，但於天氣關係重要者僅其下部而已。最高

之雲(卷雲)去地罕逾 10 仟米 (33000 呎), 且大氣重量有 50%, 水汽有 90% 均集中於去地 5 仟米 (16000 呎) 之範圍內。

層次 自圖 1 可見自地面至 11 仟米, 氣溫均隨高度而遞減, 11 仟米以

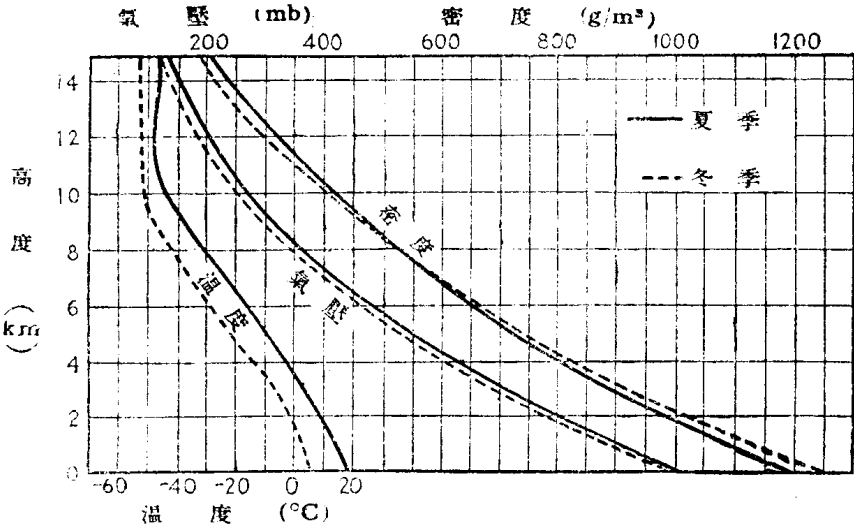


圖 1. 中緯度地方溫度、氣壓與密度隨高度變化之正常情形。

上始轉恆定。氣溫隨高度遞減之率曰溫度直減率 (Lapse rate)。大氣下層, 經常有顯著之溫度直減率者曰對流層 (Troposphere)。大氣上部, 其垂直方面之氣溫幾近恆定者, 曰平流層 (Stratosphere)。兩者間之過渡層曰對流層頂 (Tropopause)。

對流層頂之高度視緯度及季節而異, 復視天氣情形而不同, 低壓(氣旋)區較高壓(反氣旋)區為低。

圖 2 表示對流層頂之正常高度及大氣下層溫度之平均分佈。其可注意之點為平流層中溫度大體均係自極地向赤道低減。

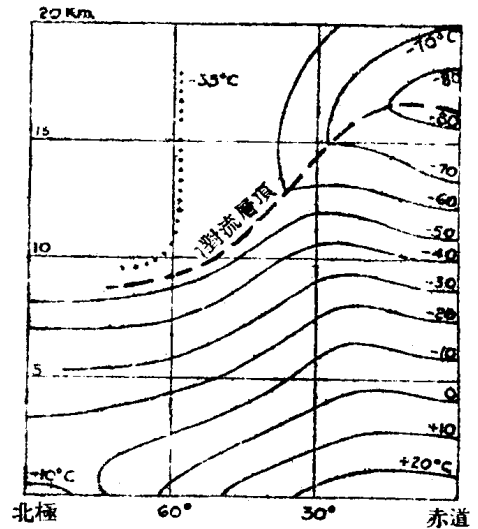


圖 2. 平流層下部及對流層中之平均年溫。
注意平流層在北極處較在赤道處為矮。

目前氣象儀器所及之高度約 36 仟米, 據 36 仟米以下之直接觀測與夫

晚近對於輻射、流星、北極光以及音波無線電波傳播等問題之研究，大氣上層之結構已漸明。茲簡述大氣層次如下：

對流層中溫度隨高度之增加而遞減，每 100 米約減 0.6°C （即每 300 呎減 1°F ）。對流層較不穩定，常有垂直氣流，每生凝結而致雲雨。普通之天氣現象均發生於對流層中，其下部尤為頻見。

逾對流層頂而上（見圖 3），據儀器之觀測，氣溫少變，或隨高度而稍增。其中且有一層特富臭氧。據近年 Dobson 諸氏之研究，臭氧之量與地面天氣狀況之關係甚顯。平流層雖常無雲，然特殊之貝母雲，則偶或可見於臭氧層。臭氧層與對流層頂之間無雲，平流層下部之空氣異常穩定，最宜飛行。

據統計結果，流星失視之處多在 80 仟米或 40 仟米之高度。足證 40 至 80 仟米間之氣層溫度特高，約達 60° 至 70°C （即 120° — 130°F ）。此與聲波傳播研究之結果，亦正相吻合。

60 仟米處之氣層，每可吸收無線電波。此層為日射作用所產生，因此，無線電台之射程，遂夜勝於晝，短波尤然。

80 仟米以上是為電離層 (Ionosphere)，其下部偶見夜光雲 (Noctilucent cloud)，但甚罕耳。電離層分為數導電層，中以 Kennelly-Heaviside 層（即 E 層）為最重要。此層返射無線電波回歸地面，無線電台之遠射程即由於此。E 層常甚顯著，其高度常在 90 至 130 仟米間。E 層之上為 Appleton 層（即 F 層），不甚明顯，高度無定，且時或崩解為數層。

北極光及其相類之現象常見於電離層下部。據近年 Stoermer 氏之測量，北極光竟可於去地 1200 仟米之高處出現。由此可見在此高度仍有極稀薄之空氣存在。

第二章 觀測與儀器

各國氣象局均設有大量測站，其任務為按國際規定觀測氣象，并定時報告於中心機關。氣象報告，國內均用無線電、電傳打字機、有線電等傳遞，國際間則依規定程序廣播，以供應用。凡有關國際重要性之事宜，均由國際氣象組織（其永久秘書處設瑞士 Lausanne）處理之。此外海洋船舶亦間有作氣象觀測者，其報告各國亦互相交換。

氣象測站可分三類：

1. 尋常陸地或船舶測站，報告地表空氣狀況及天空狀況(The state of the sky)。
2. 測風氣球(Pilot-balloon)站，測量高空自由大氣中之風。
3. 高空氣象測站 (Aerological station)，施放氣球或飛機騰空，攜帶儀器，測量自由大氣中之氣壓、溫度及濕度。

本章所述，僅以各種重要氣象要素及常用儀器為限。讀者欲知其詳，可參閱中央氣象機構所頒佈之技術指導書刊。

水銀氣壓表 大氣壓力（氣壓）常以水銀氣壓表測定之。水銀氣壓表原理略如下述：取一玻管長約一米，一端洞開，他端密閉，充以水銀。以指緊捺閉端，倒置之，使直立於水銀槽內（圖4）；移去手指，管內水銀即行下降，迨至高出水銀面約 30 吋（760 毫米）而後已；此時管內水銀柱面上已成真空，不受大氣壓力之作用。

槽內水銀面既受有大氣壓力，水銀柱高出水銀面部分，顯即等於面上承受之空氣柱重量。水銀柱之長度即可示當時氣壓之高下，管外附以標尺，大氣壓力即得從而測定。

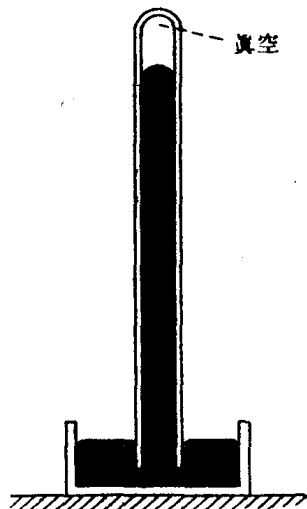


圖 4. 水銀氣壓表之原理。
槽內水銀面上之空氣壓力正為管中水銀之重量所平衡。

氣壓 氣壓表直接讀數為水銀柱長度，其重量與其上空氣柱之重量相平衡。但水銀柱之長度又視氣壓表之溫度而定。為使各處觀測便於互相比較起見，凡讀數均須訂正至 0°C 之標準溫度，以免除玻璃管、水銀、及標尺受熱而生脹縮之影響。

當地重力於水銀柱重量亦有影響，須另加訂正，使所得之氣壓相當於緯度 45°N 標準重力下之讀數。

氣壓表製作雖精，仍難免有誤差，故讀數常須訂正儀器差。讀數經儀器差、溫度差、重力差訂正後，所得始為氣壓表水銀槽上真確之大氣壓力。

自地面向上氣壓遞減甚速，欲使各站觀測結果互可比較，須另加海平面訂正，故各方報告之氣壓實相當於海平面上，溫度 0°C 時， 45°N 標準重力下氣壓表之紀錄。

氣壓單位 1914 年前，氣壓均以長度單位（水銀柱之吋數或毫米數）報告，嗣後始通用新單位毫巴（millibar，簡寫 mb）。海平面之標準氣壓約為 30 吋，或 760 毫米，或 1013 mb。

長度單位與壓力單位換算之法如次：設單位截面水銀柱之高為 76 厘米。因水銀密度約為 13.595，水銀柱之質量應為 $76 \times 13.595 = 1033.22$ 克。標準之重力加速度，在 c. g. s. 單位制中，為 980.665。質量乘重力加速度即得 c. g. s. 制單位之壓力數：

$$1,013,250 \text{ 達因/平方厘米}$$

又因每平方厘米達因壓力單位過小，故 V. Bjerknes 乃另創一新單位曰毫巴，以 $1\text{mb} = 1000 \text{ 達因/平方厘米}$ 。故 1013 mb 即相當於 76 厘米高水銀柱之壓力。

氣壓與高度 上下二點間之氣壓差，即等於兩點間空氣柱之重量。設 Δp 為測得之氣壓差， Δz 為高度差，則

$$(1) \quad -\Delta p = \rho g \Delta z.$$

ρ 為空氣密度， g 為重力加速度。負號表示高度增時氣壓減。因空氣密度視溫度與氣壓而定，故可將各溫度、氣壓下氣壓沿高度遞減之值編列成表（附錄中之第一表）。地面附近，若謂氣壓直減率約為 4 毫巴/100 呎（約 30 米），實已足夠精確。

如高度相差甚小，方程式(1)已足夠正確。惟高度差較大時，則應採用下式*：

$$(2) \quad \Delta z = 18400 \left(1 + \frac{1}{273} t \right) \log_{10} \frac{p_0}{p}$$

式中 Δz 為高度差(米)， t 為空氣柱平均溫度($^{\circ}\text{C}$)， p_0 為空氣柱下端氣壓， p 為上端氣壓。氣壓垂直遞減率，約 10000 倍於水平方向之變化，故兩測點是否在同一垂直線上，並無關緊要。飛機即或去機場頗遠，以飛機上與機場上測得之氣壓與溫度計算高度，結果已甚準確。

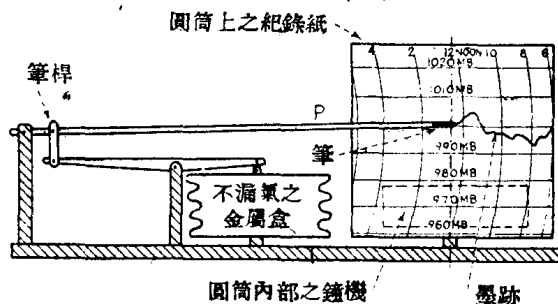


圖 5. 空盒氣壓計之原理。如將轉動之圓筒用一氣壓標尺替換後，此項儀器即成為一空盒氣壓表矣。

空盒氣壓表 水銀氣壓表因攜帶不便，故另有空盒氣壓表 (Aneroid Barometer) 之創製，利用彈力與氣壓相平衡。輕便經濟，但精度稍遜。其構造係以密封之金屬盒(一部分空氣已抽出)固定架上(圖 5)。氣壓增空盒壓縮，氣壓減空盒伸張。盒上連一槓桿指標 P，指標能於標尺上迴旋，以示氣壓之高下。

氣壓計 自動記錄之氣壓表曰氣壓計(Barograph)，通為空盒型。其標尺印於自記紙上，紙固着一圓筒上，圓筒內為時鐘。時鐘運轉圓筒每日(或每週)一週。指標端附墨水筆，筆與自記紙接觸，因可得一連續曲線，任何時間之氣壓均可一望而知。

高度表 空盒氣壓表如按氣壓與高度之關係，標尺改刻高度而不刻氣

* 如用英制，則可用方程式：

$$(2') \quad \Delta Z = (49080 + 107 t) \frac{p_0 - p}{p_0 + p}$$

惟此處 ΔZ 以呎計， t 以 $^{\circ}\text{F}$ 計。

壓，則謂之高度表(Altimeter)。

高度表之應用，須極審慎，因其表尺所示之高度，乃係按標準地面氣壓及垂直溫度之關係而制訂，設地面氣壓與標準值有異，高度即不正確，須加

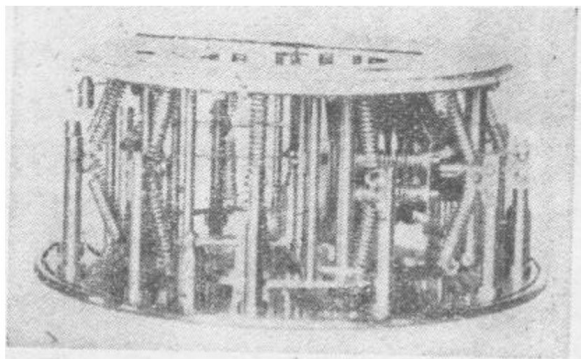


圖 6. 空盒氣壓表之內部。彈簧之作用在消除振動。

改正。例如：某飛機在海平面高度，氣壓為 1010 毫巴時，其高度表示數為 0 呎。設海平面氣壓下降至 1002 毫巴，則高度表所示高度為 200 呎。而

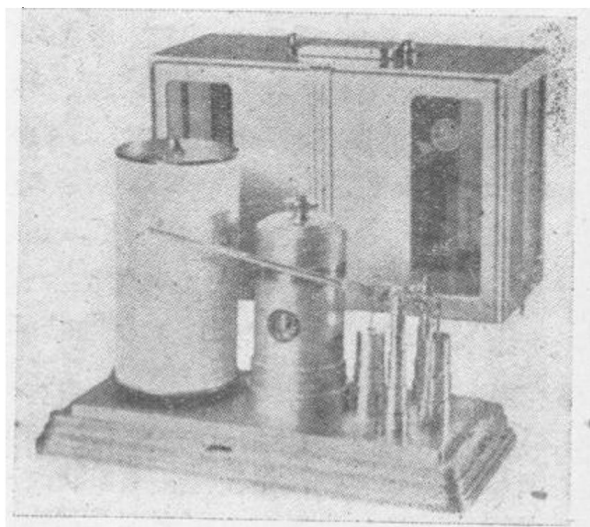


圖 7. 氣壓計。

如海平面氣壓復升至 1022 毫巴，高度表示數即應為負 300 呎。故高度表須照地面正確氣壓訂正後，所示之高度始正確。

設一飛機自上海起飛，其高度表示數正確，因在颱風附近，故海平面氣壓為 990 mb，若飛至北京，該地海平面氣壓為 1030 mb。到達之時，因海平