

萬有文庫

第一集一千種

王雲五主編

科學大綱

(十)

湯姆生著
胡明復等譯

商務印書館發行

4.10



0.53

MS

網 大 學 科

(十)

譯 等 復 明 胡 著 生 姆 湯

著 名 界 世 譯 漢

科學大綱

第二十三篇 氣象學

美國哈佛大學哲學博士 竺可楨譯
國立東南大學地學教授

近世氣象學之目的，在研究環繞地球外部之空氣，且發明空氣在地球上周流之定理。此等定理苟能完全熟識，則風雲晴晦，不難預料於事先，而氣象學將成爲有極大價值之一種科學矣。

人類在地球上之居住面積，幾完全爲氣候狀況所限。雖今日人類差可適應任何種之氣候，然世界最冷之地，或則絕無人跡，或則人烟寥落，如北部西比利亞其明證也。氣候對於各人種之性情，常有顯著之影響，與夫遠大之關係。在地球之古代歷史中，數經冰期，遂致氣候有劇烈之變遷；當冰川盛時，歐洲北美之大部分，均淹沒於冰區之下，高山峻嶺，均成爲冰川之中心。迨自冰期而入溫期，

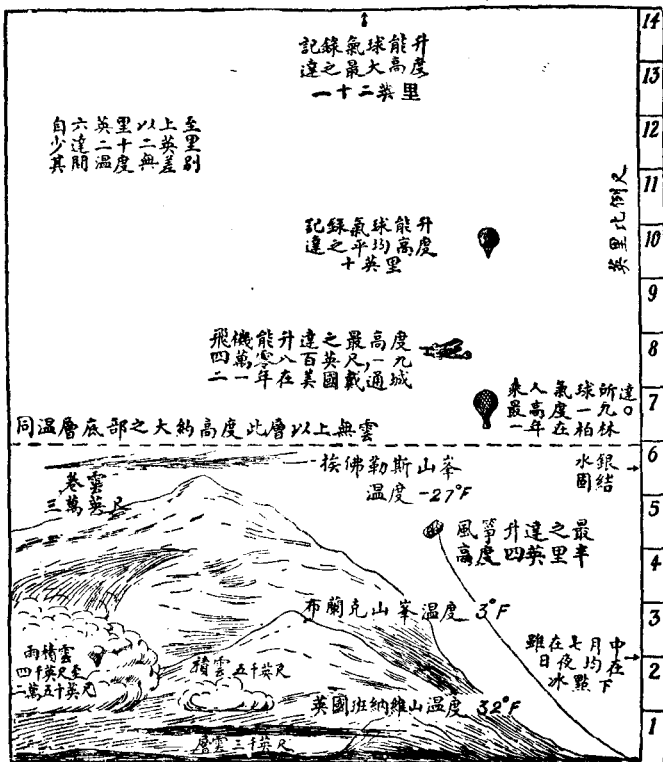
冰川溶解，成爲巨河大川，流入於湖海之中。迄今此等湖海，已成陳跡，或變爲沙漠，或涸爲沼澤。此等變遷，遠在古代，今則地球上貿易風帶內，雖以沙漠著，但自人類有史以來，殊無全球逐漸趨向於乾旱之確證，且間有足爲相反之左證者。如在中央亞細亞氣候固日臻於乾燥，但非洲撒哈拉 (Sahara) 沙漠中，則昔年不堪耕種之石田，今乃反足滋生草木也。

一

氣象變更之原因 氣象之變更，由於空氣之紛紜不定。空氣愈紛亂，則氣象之更變也亦愈劇烈。空氣之所以紛紜不定者，其最要原因，爲地球各處所受太陽之光與熱有多寡不同之故。餘如地球之自轉與公轉，地球面部海陸分布之不勻，地面高度之不同，而所受日光有多寡之別，以及空氣之爲氣質，故其體積，氣壓，溫度，均易生更變，凡此種種，皆足以助空氣呈紛亂之現象。

今氣象學之數學或理想方面，雖極爲世人所注目，但氣象學進步最速，實在其實驗或觀察方面。蓋各種理想，全恃觀察之結果以爲後盾，使事實與理想能相符合，則其理想始有價值。是故世界文明各國，莫不有氣象測候所之設立，而此等機關，在各國又多屬於政府。其責任在於記錄氣候上

之各種要素，以為預告風雲晴雨，以及統計上之用。英國政府司觀測氣候之機關，名氣象局，屬於航空部。



空氣與測量空氣之方法

圖中所示係著名山岳之高度，以及各種主要雲類之平均高度。各種空中探險方法，以及所達最大高度亦表示於其中。圖中虛線為北緯五十度左右之上同溫層與對流層更迭之處。

空氣中之上下二層 地球之外，環繞四周者皆空氣。空氣由數種氣質混合而成。其最要氣質，在下層爲氮與氧。碳酸氣與水氣雖有，而所占成分甚微。至於氫（argon）則更鮮矣。在上層空氣之成分，或有不同，氫與氦（helium）均存在於上層空氣中，依最近之說，則以氫爲尤多也。

若以溫度而論，則空氣可分爲上下二層。下層空氣之溫度向上低減極速，在上層則不然。以科學家研究所能及之地而論，則上層空氣之溫度，不因高下而生參差也。

氣象學家因名上層空氣爲同溫層（stratosphere），下層空氣爲對流層（troposphere）。自地面上升，高度愈大，空氣溫度愈低，迨達對流層與同溫層之交，若更復上升，溫度不再下降。此中變更，常極迅速，然亦有徐緩者，但對流層與同溫層更迭之處，不難推測而知也。同溫層離地之高度，因時因地而有不同，如在北緯五十度，其高度約距海面七英里左右。同溫層與對流層中，空氣之溫度，均非一定，時有升降。二層之所以不同者，則在同溫層中，空氣溫度不因上升而低減，在對流層中，則空氣溫度能因上升而低減也。是故昔人有謂上升愈高，則空氣溫度愈低者，其言要未足信。同溫層實爲近今之發明。試略述此驚人發明之由來。

上層空氣之測候 對於上層空氣之研究，極爲近今科學家所注目。在各國要重測候所，其測

候上層空氣之利器均惟輕氣球是賴。所用之氣球有兩種。其大者稱爲記錄氣球 (registering balloon)，中貯微小而極精巧之儀器，曰氣象儀 (meteo-graph)，上升時挾之以俱。氣球一入空中，逐漸上升，直至爆發破碎而止，其中所貯之氣象儀乃下降墜地。氣象儀籠以竹製之匣，且球破後，球衣在空中飄轉翱翔，不即驟下，故氣象儀雖隨球衣墜地，但往往得以無恙。儀器上繫有懸賞通告，凡人拾得此器，可向附近郵政局繳還，并可得若干報酬也。氣象儀中所記錄者爲氣壓、溫度及濕度。各種記錄均在一長方形之銀鍍金屬牌上，其大小僅如通常用之郵票耳。故欲知所得之結果，須於顯微鏡中檢得之，但甚精確可恃也。

第二種氣球則較小，輕氣裝入後，其直徑亦不過十八英寸至二十四英寸。球衣以橡皮製，染作深灰色，使易於觸目。此種氣球名爲探風氣球 (pilot balloons)。各國氣象臺每日施放若干。其內裝輕氣，入空中而後，其行蹤可以經緯儀 (theodolite) 測定之。測定之法，或二處同時觀測，或一人觀

測亦可。如二處同時觀測，則二地相距，必須在半英里以上，其間距離即成爲基線，測定氣球之地位，即以此線爲標準。二處預先約定時間，同時觀測，每分鐘觀測一次，記氣球在空中之傾角及其偏角。『即氣球方位與基線所成之角。』自此等記錄，即可求得每分鐘氣球所在之地點。若以一人觀測，則較爲迅速，其法即假定氣球上升之速率爲恆定，直徑十八英寸至二十四英寸之氣球。據近來實驗之結果，其上升速率，約爲每分鐘四百五十英尺，至五百英尺。知氣球之高度、仰角、及方位角而後，則其所在之地位，不難即時以算尺 (slide rule) 求得之。此法較爲簡捷，故各國測候所多樂用之，因用此法觀測，事竣而後，其結果亦可了然於胸中矣。

氣球行蹤之測定 氣球上升時所循之途徑，極無一定。而尤以英國東部濱海各測候所測定者爲奇幻。蓋英國東部常有海風，能挾氣球以西向入內陸。迨氣球上升達一處，超出海風之上，爲海風影響所不及，則其風又多來自西方，故氣球乃復折而東向，時或飛越原測候所；東入北海中，直至極其遙遠之處，乃失其所在。氣球所經之途徑，亦有作廣大之弧形者，則常轉向右方，或則作非規則的螺旋形。要之其所取途徑之作直線者，蓋寥寥也。此蓋由於各層空氣中之風向，頗不一致，近地面

之風向往
往與上層
風向相反。
空中交通，
與風向有
莫大之關
係，航空者
苟能升入
一定高度，
乘風而行，

則其欲達目的地也，必可收事半功倍之效矣。

驚人之新發明

探風氣球雖微小，但往往在極高處尙能見之，普通在二萬英尺以上，自經緯



探風氣球將上升時之景象

在觀測者之後，爲一特製之經緯儀，以備觀測氣球所循途徑之用，其法即每隔若干分鐘測定氣球之速率及方位一次。以此法所得之結果極有價值。普通探風氣球能達四英里之高，但有時能升至六英里之高，而始不見其蹤跡者。較大之測量氣球則可以升至十四英里之高。空氣達一定高度後，則其溫度不復下降，其理即由測量氣球所發明。

儀之天文鏡中，猶能窺見探風氣球。亦有能達至三萬英尺以上，始失其所在者。較大之測量氣球，則騰空更高。蓋自所得之記錄，足以推知其所升之高度。離地面十四英里以上之溫度及氣壓，竟有用此法以測得者。此等記錄，予科學家以極驚異之事實。蓋昔人常以爲自地面向上，愈高則亦愈冷，直至空氣外界而後止。但自氣球所測得之結果而論，則知自地面向上，其初焉溫度固逐漸下降，但至一處卽止，過此更上，則溫度不復下降，直至測量氣球所能達之高度，尙無更變也。在北緯五十度左右，同溫層離地面之高度爲七英里，在赤道上則其高度爲十英里，至南北極則僅五英里而已。

由地面向上，溫度逐漸低減，迨達一處而溫度不復下降，是實爲對流層之最高處，而爲同溫層之底部也。在對流層內溫度逐漸向上低減，故炎熱之空氣，得以上升，因熱空氣較冷空氣爲輕故也。但在同溫層內，則無此等現象。蓋空氣苟上升，則氣壓減少，而體積膨脹，體積膨脹，則溫度下降，而使較附近之空氣爲冷，空氣冷則重，卽足以阻止其上升矣。

同溫層所以能存在之理由，雖尙未洞悉，但其影響所及，實至重且要。蓋空氣中各種紛亂之現象，多由於溫度高下不均而生。同溫層中各處溫度既相等，故此等現象僅能見諸同溫層之下。雲霧

但能成於對流層中，各種風暴以及天氣之變遷，亦惟於對流層中始有之。

生物適存之地帶有限 上升愈高，溫度愈低，其結果足以使高山之巔，終年積雪，雖在赤道之上，亦復如斯。是以搏搏大地，百物暢茂，然其足以適於動植物之生存者，僅限於極狹窄之空氣層內。此空氣層之厚，在赤道不過三英里，緯度愈高則愈薄，直至北極圈與南極圈，則雖在海平面亦復不適於生物之繁殖，故在極圈左右，此層空氣已無厚薄之足言矣。全球空氣惟在此層內，始有冰點以上之溫度。

三

氣壓與溫度 空氣中之擾亂，由於溫度與氣壓之變遷。溫度為氣象學上之基本原數。地球面部所受之熱量，全來自日球，蓋日球輻射光與熱，達於地面，則能增益其溫度。但地面各處性質不同，故其所受之熱量亦有異。大陸之溫度易於增高，海洋則不然。日光經空氣而後，空氣不因之以加熱，但與炎熱之地面相接觸，則空氣之溫度乃能增高。大陸海洋均能傳導熱力於其附近之空氣，此所以以在中午或夏季時，陸上之空氣遠較在海上者為熱也。但水雖較大陸為難熱，但亦難冷，是故達冬

季，或子夜，則大陸上之空氣，又較海洋上爲冷矣。

大氣爲各種氣質所混合而成，已如上述，但各種氣質均具同一性質，即熱則體積膨漲，冷則體積減縮是也。反而言之，凡氣質體積膨漲時其溫度即低減，體積收縮時，則溫度即上升。如氣質之一部壓力增加，則其中有若干氣質必流向他方氣壓較低之處，在大氣中，此等氣質之運行名爲風。

設地面一處受熱較多，則其溫度必較附近各處爲高，溫度高則體積擴大，而使上層空氣受重大之壓力，夫如是，則其上層空氣所受之壓力，較附近各處同層內之壓力爲大，於是空氣即流向他方氣壓之較低者。但他方受此加入之空氣以後，其近地面之氣壓，必因之以增加。結果則在地面受熱較多之處，其氣壓反較四旁爲低，遂使地面上各方空氣，均流向溫度較高之處，如是流行不息，遂成爲風。

此等空氣之流行，可以設一喻以說明之，置爐於室中，積薪其內而焚之，洞開窗牖上下兩部，則室中之熱空氣，將自窗穴之上部流於外，而戶外之冷空氣，則將自窗穴之下部流入也，此雖小事，可以喻大矣。

地面各處局部之空氣流行，雖時見不鮮，特其最要者，實能廣被全球，成爲系統，日球既爲地面上熱力惟一之發源地，故亦爲支配空氣流系統之最要主宰。在赤道上，所受日光較他處爲多，至高緯度，則同一地也，冬夏兩季所得熱量，復相差遠殊，因之以生寒溫熱三帶之差別，冬夏寒暑季候之不同，而全球空氣流系統之形勢，乃於是乎成，凡各種天氣與其變遷，莫不與空氣流系統息息相關者也。

四

空氣中擾亂之影響 在空氣下層，即對流層中，所生之擾亂，極爲複雜，本書限於篇幅，不能詳述。但其本來面目，可於世界空氣流系統，及地面上氣壓溫度之分布窺見一斑也。在赤道附近爲無風帶，是實爲地球上氣流之最要來源。此處炎熱之空氣，向上升騰，外溢而往兩極。下部空氣上升而後，南北兩方之空氣乃吹入以代之，此等接濟來自北回歸線與南回歸線之附近。

但地球自轉，日夜不息，此等運行對於風能生一極可驚異之影響。乘電車者，若於電車轉角時，在車中向前而行，則必不能直前自如，而傾向一方。此蓋由於乘車者雖欲逕往直前，而其足下之電

車，乃適轉向他方也。地球上之風亦猶是耳。當風吹向一方時，其下之地面乃適移向他方，其結果，對於地面而論，亦足以使風轉向。蓋吾人四周之空氣，實隨地球以移轉，猶乘電車者隨車而前行也。但風在地面上自由行動時（猶之人在車中自由行動），地球之方向，時時更迭，故風向亦若隨之而變矣。在北半球地球自轉，能使風轉向右方，在南半球，則使其轉向左方。

貿易風(Trade winds) 因上述原因，所以凡風之自北方或南方吹向赤道者，未幾而變爲東北風或東南風，此等風，名爲東北貿易風（北半球），與東南貿易風（南半球）。自赤道上升之空氣，達高處而流向兩極，復因上述原因，在北半球折向右方，而在南半球則折向左方。故熱帶中上層之風向，在北半球爲西南，而在南半球則爲西北。此等上層風名爲反貿易風。反貿易風至回歸線附近，乃復下降而成一無風帶，即所謂回歸線無風帶是也。北回歸線以北在北溫帶中，地面多西南風。南溫帶內則多西北風。至空氣上層則無論南半球與北半球，其溫帶均多西風。南半球溫帶中西風之盛，著名於世，航海者均視爲畏途，因風猛浪高，使扁舟撼盪於海洋中，故南緯四十度左右有「撼盪四十」(rolling forties)之稱也。在北溫帶中則風殊不如在南溫帶之有定向。南北溫帶

之所以有此差別者，由於南半球多海洋少大陸，而北半球則海陸參半之故。海陸對於所受日光影響之不同，已如上述，大陸雖易熱，但亦易冷，海洋則反是。時當炎夏，則北回歸線以北，及南回歸線以南之海洋中，氣壓高而溫度低，在大陸之上則有極高之溫度與極低之氣壓。迨暑往寒來，大陸之上，溫度下降，而成高氣壓，海洋中則溫度較高，而成低氣壓。此等冬夏兩季之變遷，在北半球較南半球為尤厲。

五

印度之季風 冬夏兩季氣壓高下之更易，生一重要之現象。現象惟何，即「季風 (monsoon)」。是也。在印度季風之來，每歲有一定之時期，儼如節候，至足奇也。冬季印度之風，來自東北，蓋亞洲之東北，時為高氣壓，空氣由高氣壓吹入印度，故其風冷而乾燥，一至夏季，則亞洲之高氣壓變而為低氣壓，以波斯俾路芝斯坦 (Baluchistan) 為其中心，而高氣壓則移向南印度洋中，在馬達加斯加 (Madagascar) 島與澳洲之間。當空氣自高氣壓流向低氣壓時，在北半球有轉向右方之趨勢，故高氣壓雖在印度之南，但風至印度沿海時，已成爲西南風。此西南風未達目的地以前，飛越廣闊無涯

赤道上之海洋，故滿含水氣。迨達印度西岸，則適遇綿亘於馬拉巴 (Malabar) 海濱南北之山脈，橫阻於前。西南風欲越此山嶺，則非上升不可。空氣上升，則氣壓低減，體積擴大，而溫度因以下降，原有之水氣，乃不復能包含於其中。蓋空氣溫度高，則其能收容水氣之量，溫度下降，則本有之水氣，必且凝結而出，初爲雲霧，繼爲雨露，此所以印度之西南季風，常能使印度西部海濱得傾盆大雨也。印度東部之孟加拉 (Bengal) 灣，地亦濱海，且如阿撒母 (Assam) 之南部，以及緬甸濱海等處，亦有峻山嶺，橫梗於前。來自海洋中之西南風，至此亦逼迫而上，故孟加拉與阿撒母之沿海雨量亦獨多。越濱海一帶山嶺而過之空氣，仍不乏水氣餘留於其中，迨達喜馬拉雅 (Himalaya) 山，乃始悉數凝結而出矣。故喜馬拉雅山之山腰及山麓，亦爲多雨之地。阿撒母省南部之拆拉朋齊 (Cherrapunji) 稱爲世界雨量最多之地，每年平均有五百英寸云。

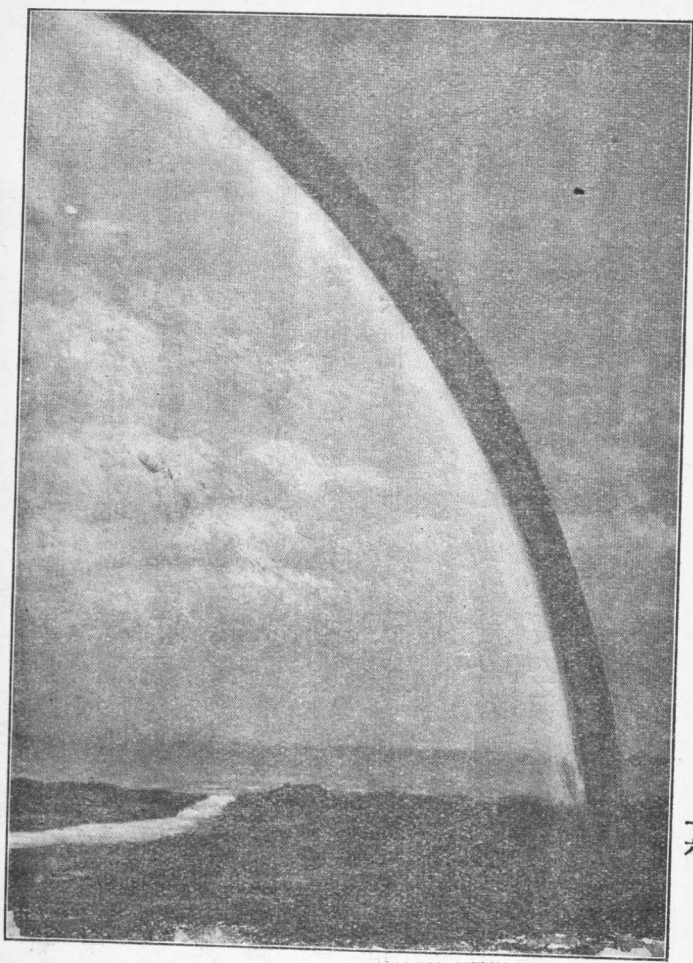
六

氣象記錄方法

氣象測候機關之組織

凡世界各國政府之設立有氣象測候機關者，其計劃大抵以中央測候所爲主要機關。舉凡天氣之預告，警報之分布輸送，各種統計之調查，及其核算，均由中央測候所執行之。與中央測候所相連絡或附屬於其內者，尙有若干之氣象臺，氣象電報通知所，及氣候所等，其責任均在記錄氣象上之要素。所謂氣象臺與氣象電報通知所者，均須於每日在一定時間，測定氣壓，溫度，等等，即時電知中央測候所，中央測候所得各方同時報告而後，乃將其結果繪之於圖上，老於斯事者，即能按圖索驥而決定圖上各處一二日內之風雲晴雨也。在英國傳送氣象電報時間，爲上午七時，下午一時，與六時，間亦有在上午一時另送一次者，所用點鐘，均以格林維基 (Greenwich) 天文臺之時刻爲標準。

氣象報告由電報傳送者，普通爲氣壓，溫度，風向與風力，濕度，視遠度 (visibility)，日光，雨量，雲量，晴陰雨晦，以及各種專門記錄。欲得上述各種要素，在較大之測候所，備有極精確之儀器，以司測量。較小之測候所中，則除有若干儀器不能省略外，其餘如風向，風力，均可以肉眼測定，聰穎練達之觀察者，其肉眼所測定之結果，極爲精確可恃。



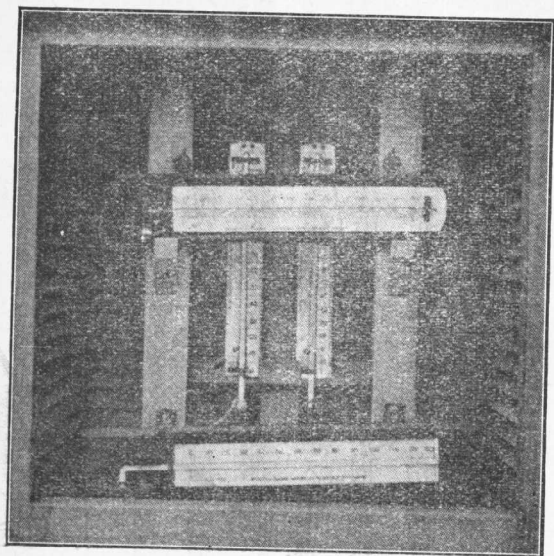
虹

虹霓燦爛之光彩，由於日光經雨點受折光反射而來。是故虹霓之見也，必在太陽之相對方面，當太陽近地平線時，則虹作半圓形。如太陽離地平較高，則虹所成之弧較小亦較低。但虹之周徑則無差別。虹有兩種：明顯者曰虹，又稱主虹；暗淡者曰霓，又稱次虹。虹之色紅在外而紫在內；霓之色則適相反，紅在內而紫在外。虹霓所成弧內之天色較弧以外之天色為鮮明。虹霓顏色之濃淡及其多少至不一定，視乎雨點之大小以為差別也。

記錄之儀器 記錄氣壓之儀器爲氣壓表 (Barometer)。表係一玻璃管，依英國標準，長爲三十六英寸，管之圓徑爲四分之一英寸，或二分之一英寸。表之上端封閉，而下端則洞開，插入於盛水銀之玻璃瓶中。製表法先將玻璃管滿盛水銀，然後將管倒置，以手指或其他物緊塞管之開口一端，使水銀不能逸出，而空氣無從乘隙以入。置開口一端於盛水銀之瓶中，乃將塞於管口外之手指取出，則管中水銀必將下降，至管中水銀面與瓶中水銀面高下相差約三十英寸而止。管之上端無水銀處爲真空。管中水銀之所以不能悉數流入瓶中者，乃由於瓶中水銀面之上，有空氣壓力，足以抵制之也。由是可知管中水銀柱之重量，等於同一大小面積上空空氣之重量也。普通所謂氣壓表之升降，即指表中水銀柱之長度或其重量增進或減縮而言，亦即指等重量空氣之壓力增長或減縮也。換言之，則氣壓表中水銀柱之壓力，實等於空氣之壓力。

利用照相術以記錄氣壓 主要氣象臺上，均備有照相機式之氣壓表。其法即以普通之氣壓表，置於光源方面，於背光方面置有照相機。以照相鏡正對氣壓表，照相機內有塗溴 (bromine) 之紙緊貼於一圓筒上，筒內有一鐘，能使圓筒於二十四小時內輪轉一次。水銀爲非透光體，故一日中

氣壓高低之變遷，可於塗溴記錄紙上覘得之。由此法所得之記錄，名爲氣象圖 (barogram)，其精確無倫，按此圖以列表，則氣壓變動之形態，可一目了然矣。



記錄溫度之史蒂芬孫百葉箱

儀器藏於特製之箱內，內貯寒暑表四枚。其中二枚直立者，爲乾寒暑表與濕寒暑表；乾寒暑表記空氣真正之溫度，濕寒暑表所記之溫度較低。其餘二枚橫置者，爲最高寒暑表與最低寒暑表，記在一定時間內之最高與最低溫度。

此外尙有一記錄氣壓之儀器，卽空盒氣壓表 (aneroid) 是也。此表係一小而薄之圓盒，爲金類所製。其面部起伏不平，內部空氣盡行抽去，故盒內係真空。盒外空氣壓力之或增或減，足使盒之外部或抑或升。此等抑揚升降之運動，以若干槓桿傳導於

盒面部上之示針。針能左右移轉，面部四周刻爲若干等分，視示針所指之度數，即可知氣壓之高低。空盒氣壓表雖較水銀氣壓表爲便利，且易於攜帶，但其精密與靈敏則遠遜也。

測量空氣溫度之儀器，卽爲溫度計（卽寒暑表）。此器爲一般人士所習見。寒暑表係一玻璃管，管內之孔極細，但至其下端，擴大爲圓形或長圓形之球。球內與管中之一部，均盛以水銀。溫度高，則球內之水銀卽漲，而管中水銀柱因之以增高。若溫度下降，則球內水銀減縮，而管中水銀柱卽因之以下降。

司蒂芬孫百葉箱 (Stevenson screen) 氣象測候中，備有寒暑表若干枚，以爲測各種溫度之用。此等寒暑表，置於特製之箱中，名曰司蒂芬孫百葉箱。箱之大小，東西長二十英寸，南北廣十三英寸，自頂達底深十四英寸，箱蓋有兩層，中有餘地足以容空氣，箱之四周均圍以百葉窗，箱底亦能透空氣。其法要能使箱中與箱外之空氣易於流通，但同時不能使日光射入。百葉箱須置於草地上，離地高四英尺，其地須空曠，不爲樹木居室所隱蔽，務使寒暑表能記錄真正空氣之溫度。百葉箱之內，外均塗以白漆，使寒暑表不致直接受日光之影響。

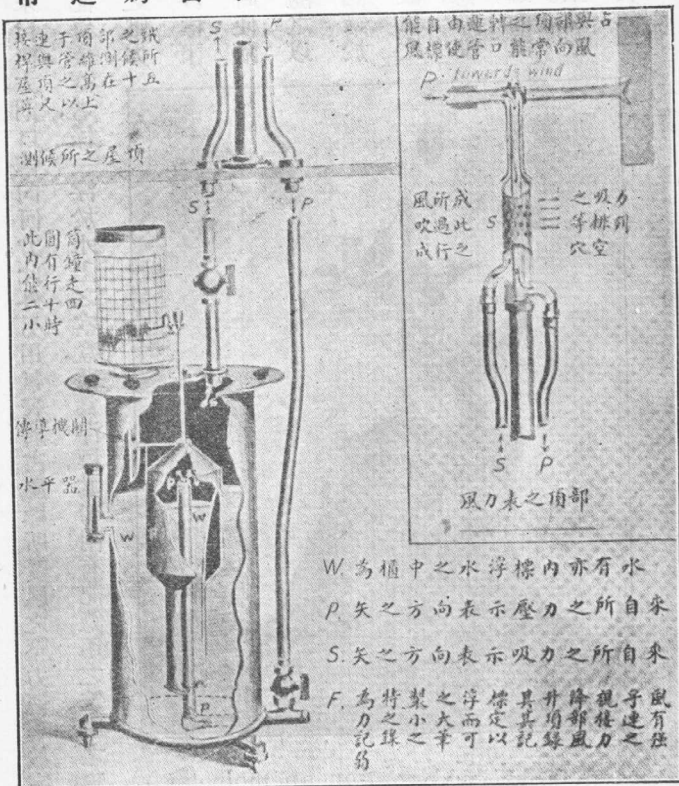
箱內普通有寒暑表四枚，二枚直立於架上，其中一枚下端之圓球包以紗布，此紗布與綿製之燈心相連，放入貯水之杯中，綿製燈心因毛細管吸力，引水至紗布上，使之濡濕。此即所謂乾濕計 (dry and wet bulbs)。其中乾寒暑表記空氣真正之溫度，濕寒暑表所計之溫度較低，此蓋因濕寒暑表之圓球，裹有濡濕之紗布，水分蒸發，而損失熱量之故。乾濕二表相差之度數，視乎天氣之燥濕而定。天氣愈乾燥，則二表相差亦愈大；因蒸發較速也。是故苟將乾濕二表之溫度，互相比較，則空氣濡濕之程度，不難覘知，是為比較濕度。凡有霧之日，乾濕二表之溫度相差無幾，而降驟雨之時，則往往有相去懸殊者，足知降雨之時，空氣未必盡濡濕也。

百葉箱中之其餘二枚寒暑表，則平放於架上。此二枚寒暑表之結構，與前所述者略有不同，用以測定在一定時間內最高溫度，與最低溫度，故名為最高寒暑表，與最低寒暑表。

七

風之記錄法 測定風向及風力之機械，在英國定為標準者，係英國皇家學會會員戴英司所發明之氣壓風力表。此器最近出者與普通所用者，略有不同，特其原理則一也。表係一鋼製之桿，高

自十五英尺至八十英尺不等，視乎其所在之環境而定，鋼桿之上端，附有能自由運行之占風標。標為一開口之管，其口常



測定風力之方法——戴英司氣壓風力表
 (Dines pressure tube anemograph)

風力強弱有更變，則其所生之壓力即有不同。壓力大小之更變，由表之頂部自氣管中傳導而下，及浮標內部之水面上受有壓力，則浮標上升，而與浮標相連之筆乃記錄於紙上。吸力所以增益表之功效。

向風，風來自何方，則口轉向何方。此外另用氣管，將占風標所受風之壓力，傳導於室內記錄之儀器上。所謂記錄儀器者，係一浮於水上之空盒，稱為浮標，其旁附有記錄用之筆，風之壓力增加，則浮標上升，風之壓力低減，則浮標下降，且同時使附帶之筆，隨之以上下，而記錄於紙上。是故風之一緩一急，均能傳諸筆端，而記錄於紙上。所記錄之圖，狀如一



魯濱孫風力計 (Robinson anemometer)

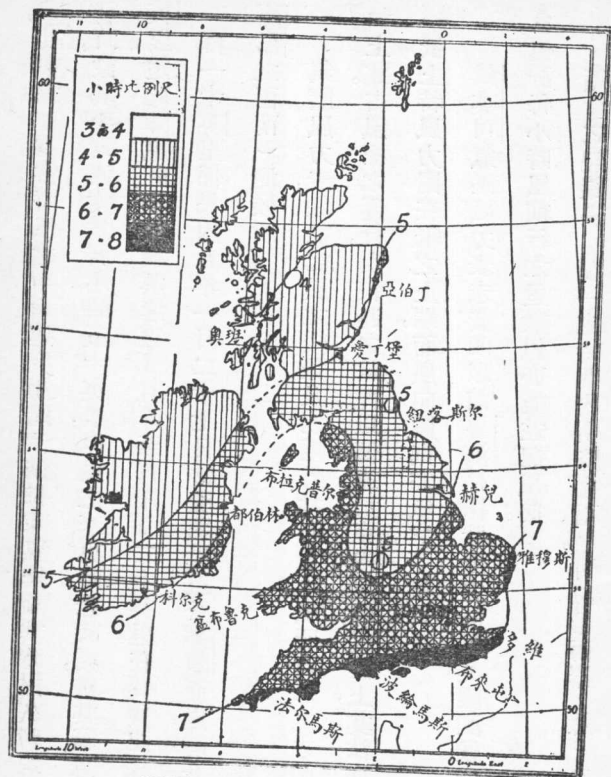
圖中半圓形之杯有風即轉動，故照相時須一人以手持之，風之速度即以杯轉之次數計之。杯之下為占風標，能記錄風之方向。右方下部之儀器，為坎柏爾·斯托克斯日光計 (Campbell Stokes sunshine recorder)。

帶，其中點即爲當時風之平均速度。用此法，則每陣風無論其時之久暫，均能表示於圖上。當狂風怒發時，設其平均速度爲每小時五十英里，但風之來也時急時緩，當其緊急之際，常可達每小時八十英里，迨此陣風經過而後，其速度或且降至每小時二十英里。在英國記錄上最速之風，爲每小時行一百一十英里，係民國九年一月二十七日當風暴橫亘愛爾蘭而過時，在岐爾底 (Quilly) 在愛爾蘭之西南測候所得此記錄云。

氣壓風力表，除能記風之緩急及速度外，并能表示風所自來之方向。蓋占風標能指示風向，已如上述。占風標之運行，由相連之鐵桿以傳達於室內記錄儀器上，其法亦以筆繪於記錄風力之一紙上，特風力圖在紙之上端，而風向圖則在紙之下端耳。

戴英司氣壓風力表未發明以前，魯濱孫杯狀風力計爲英國測候所所最通用。是器之計風力也，僅計每小時風前行之里數，但亦能並記風向。

雨量之記錄法 在一定時間內所降之雨量，可以量雨器 (rain gauge) 測定之。量雨器之頂部形如漏斗，上端有極尖而深之口。雨水自此漏斗式之頂蓋，流入接雨瓶中，自此即可以刻劃有度

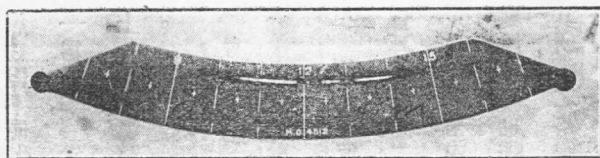


陽曆七月每日平均日照時數

上圖表示英倫諸島在七月中平均每日所受日光之時數，以喀利多尼亞 (Caledonian) 運河左近印味涅斯州 (Invernesshire) 一帶所受日光為最少。島之北部在夏季晝雖長於南部，但每日所受日光數乃反向南增進，東南沿海一帶所受日光之多，尤足注意泰因河 (Tyne) 與黑國間，則日光驟減，半由於工廠林立煙霧騰空之故。西北濱海一帶雨量之所以多者，因受西方海中所來濡濕之風有以致之。

數之玻璃杯量得雨水之多寡。如以英寸計算，須量至一英寸百分之幾，如以耗 (millimeter) 計算，

量至一耗十分之幾。若欲得一較爲詳密之結果，則必須用量雨表 (hyetograph) 或自計量雨器



日照計所得記錄之小影

圖中黑線爲日光所燃焦之處，當日光猛時，則記錄紙被燃作隙穴，如圖所示。直列之白線爲鐘點線，觀圖可以知自上午十時半以至中午，日光繼續照臨，無時或間，自中午以迄下午一時，則時照時隱。

(self-recording rain gauge) 自計量雨器之種類頗多，然大都以浮於水中之瓶，接受雨水，雨水之重量，使瓶沈下，而與瓶相接之筆，即可以記錄之。及瓶中水滿，則記錄之筆已達記錄紙之底部，此時引起虹吸作用，使瓶中之水盡行洩出，筆亦上升，又足爲接受雨水之用矣。

日光之記錄法

記錄日光之儀器，最通用者爲坎柏爾·斯

托克斯日光計。計係一金屬製造之架，狀作半圓式弧形。架上置一水晶球，具有普遍鏡 (universal lens) 之作用，使水晶球之焦點，適達於弧形架之內部。架之方位，角度，須視所在地之緯度而定，要能使使地球所成焦點進行之線，與架之邊緣相並行爲度。架之內部，有孔道三，可插紙板於其中。水晶球所聚之日光，射於紙板，能使

焦灼，但不使燃燒。在溫帶內冬夏春秋四季日球之高度不同，故須鑿有三孔道；以爲插入紙板之用。一爲冬季，一爲夏季，而一則爲春秋兩季也。當日光照臨時，能聚日光至紙板上燃之使焦。故一覽紙上焦爛之遺跡，則一日中日照時數，不難計算矣。

八

旋風之暴動

旋風與反旋風 旋風(cyclones)與反旋風(anticyclones)之名稱，凡屬留心氣象報告者，皆耳所熟聞。二者皆係不規則的變遷，發現於空氣中，卽在於上述普通空氣流系統之內者也。

在熱帶內之旋風，其名稱因地而異，或稱赫烈根(hurricane)或稱捲風(whirlwinds)或稱颶風。其發也驟而狂，往往災害隨之。熱帶旋風，其範圍不廣，循一定之路線而行，美國之托耐陀旋風其所經之路線，長不過十英里，幅廣僅數百碼耳。但在此帶內森林五穀以及人爲之建築物，均摧折無遺，其力之猛，實足驚人。

在溫帶內旋風雖較多，但不及熱帶旋風之狂暴，溫帶旋風所占面積亦較廣，其直徑常達一千英里。

熱帶旋風之生成，大抵由於大陸上各處炎涼不同，溫度高處，空氣即向上升騰，而風暴於是乎成焉。至於溫帶旋風之成因，至今尚無定論，氣象學家有以爲兩種溫度不相等之空氣互相接觸，爲其最要原因者。亦有信同溫層（即空氣上層）中溫度變遷有以使之者。上述各種原因，大抵皆足以使地面氣壓有高下之別，因以生狂暴之風也。

旋風與反旋風之成造 空氣猶之水也，水自高趨下，自山趨谷，空氣則自高氣壓以趨低氣壓。但因地球自轉之故，在北半球之風往往轉向右方，已如上述。空氣既不能自高氣壓直達低氣壓，而斜向右方，於是乃成一旋流狀之系統。在高氣壓之四周，旋流之趨向與時計上分針所行之方向相等，低氣壓之四周，旋流之方向，與時計上分針所行之方向適相反。各種天氣之變遷，風雲晴雨之遞變，莫不由於此兩種旋流系統之作用。此等旋流系統之名稱，在每日氣象預告上業已司空見慣。低氣壓系統昔常稱爲『旋風』，近則簡稱之曰『低』（low），或『風暴』（depression）。高氣壓系

統則名爲『反旋風』或簡稱曰『高』(High)反旋風普通視爲良好之天氣，至旋風來時，則天氣惡劣，而暴風雨隨之。

大多數旋風或風暴之生成，及其發達，常限於一定區域之內。此區域卽自美洲五大湖起，經大西洋，而達歐洲西北部。旋風之數，在冬季較夏季爲多，蓋時常冬季，則坎拿大中部奇寒，但同時歐洲西北部之挪威，因墨西哥灣洋流之作用，及來自海洋溫暖之西南風，使其溫度極爲和暖。是故北美聖羅凌士灣(St. Lawrence)雖在挪威之南約一千英里，但其溫度反較挪威沿海低華氏二十五度也。此外發源於巴芬灣(Baffn Bay)沿臘布刺多(Labrador)海濱一帶之寒流，及來自格林蘭(Greenland)冰原上之寒風，皆足以使附近區域內之溫度狀況，杌隉不定，而易於生成風暴。北美洲所成之風暴，大多數移向東北，而往格林蘭。英國之風暴則多取源於大西洋中，抵大不列顛諸島而後，或則繞道向東北往挪威，或則橫互島國，而至波羅的海(Baltic Sea)。

試進而述風暴行經英倫諸島時天氣變更之情形。設風暴未來以前，數日之間，惠風和暢，天無片雲，全國氣壓均高。一日晨起，愛爾蘭島上西部測候所中之觀測者，忽遙見西方天際發現馬尾雲

(mare's tail) 或卷雲(cirrus)。卷雲離地之高，約可五英里，初在天邊，漸漸移近而達天頂。此等卷雲，由疎而變密，遂成爲層狀之白幕，太陽映照此雲而過，則成爲『暈』(halo)。同時風轉向而爲南風，氣壓乃始下降，初甚徐而後漸急。此時天空陰雲密布，作鉛灰色，日球尙隱約可見，惟光芒遠減耳。此等滿布天空之陰雲，名爲『高層雲』(alto stratus)，其高實不過初時卷雲之一半，雲之低降，足以知空氣中水氣凝聚之漸加多也。未幾，而氣壓之下降愈速，南風加競，而更低之『雨雲』(nimbus)亦於斯時發見，乃始降雨矣。嗣後風力愈猛，直成烈風(gale)或暴風(storm)。〔英人 Beanfort 分風之強弱爲六種，依其強弱程度而列舉之如下：(1)微風，(2)和風，(3)疾風，(4)烈風，(5)暴風，(6)颶風〕風之速率每小時達四十英里以至七十英里，同時雨亦驟降。復經若干時而後，氣壓之下降漸緩，尋而完全終止，風力亦漸衰，自南風變爲東南風，俄頃又忽轉爲西風或西北風。此時氣壓乃開始上升，雨勢漸殺，旋即停止，西方乃復見青天。繼而西北風加緊，風力與初之南風不相上下，氣壓上升極驟，雲霧四散，而天日重見矣。雖間有繼以短時間之陣雨者，但未幾而天朗氣清矣。雨過而後，西北風之速率雖不亞於其初之南風，但溫度則遠遜矣。此何以故？依挪威著名氣象學家佩裘

克泥 (Bjerknes) 之說，各種風暴均由於兩種空氣流來自不同之方向，互相接觸而生。氣流之一，來自南方，和暖而濡濕，因其橫渡大西洋而來也。一則來自北極方面，故寒冷而乾燥。二者相遇而後，和暖之空氣，因溫度較高故較輕，為北來之空氣所推逼而上升，挾其所含之水氣以與之俱。此和暖之空氣，被迫向上，升至高處，則氣壓低減，而溫度遂因之以下降，（其原因已於上節述及）一部分之水氣乃凝結為雲霧，終且結而成雨。蓋冷空氣所能含之水氣，不及熱空氣之多也。

以上所述，為風暴中心掠觀測者之北而過時之情形。若風暴中心，取道於觀測者之南，則溫度相差不致如上述之懸殊，且風向之更易，亦適相反，初為東風，漸變為北風，終轉而為西北風。（我國長江流域冬季風暴經過時情形，亦與所述者相類似，所不同者，尙有三點：（一）風暴初來時，為東南風，而非東風或南風，且風力甚弱；（二）未幾即變為東北風，且風力較猛，雨雪隨之；（三）氣壓上升後，雨雪不即停止，往往氣壓初升時為風雨最大之時。——譯者識。）

英國西部海濱之多雨

英國諸島之西部，均有山脈橫互，足以梗阻西來之風，迫之使上升，而雲霧雨雪，因以成焉。英倫諸島西海岸之雨量，較東海岸之所以豐富者，一則因西岸山岳衆多，而一

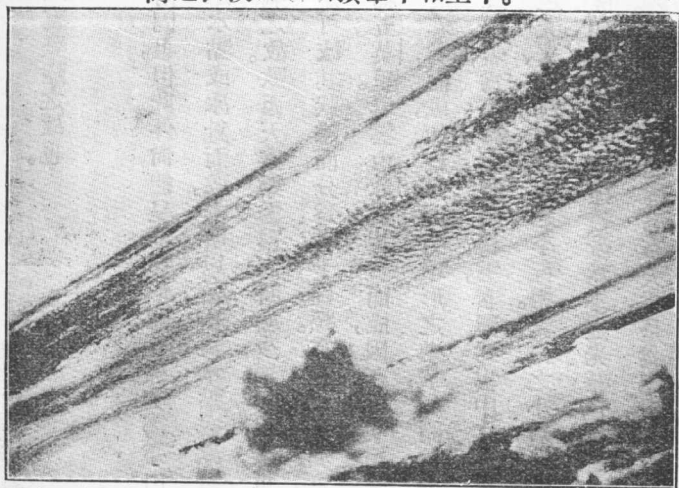
則自海洋吹來溫而且濕之西風，或西南風，均在此處登陸之故也。

九

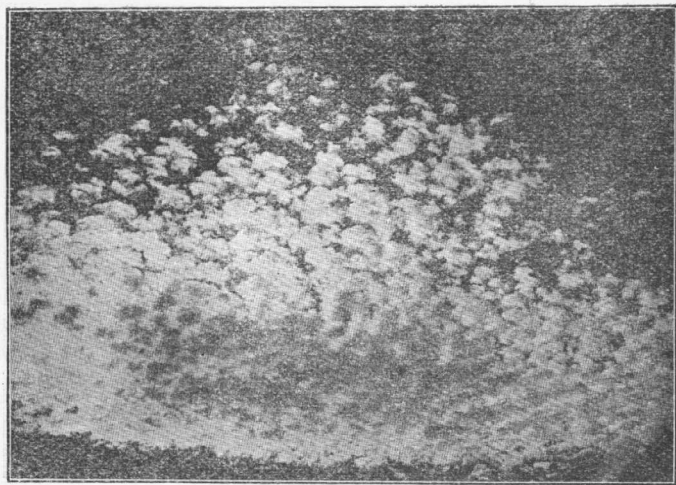
雲 由蒸發而入於空中之水氣，能凝結成雨固也，但此外尙能呈他種形態。各種雲霧亦由於水氣凝結而成。蓋雲霧非他，乃集合無數極微渺之水點或冰針而成，其所以凝結爲水點或冰針者，莫不由於溫度低減，空氣中不復能包含原有水氣之故。歐西天空無雲影之時極少，舉目四望，每見有雲霧點綴於其間。雲雖變態萬端，奇形百出，但亦可依其狀態而分爲若干種類。有狀如鳥羽者，爲卷雲，卽普通所謂馬尾雲是也。能浮沉於空中，高約五英里。卷雲由冰針集合而成，因在五英里之高度，溫度常在冰點以下也。各種豔麗之現象，時由於卷雲而成，如日月近旁環形之光華，所謂暈者，卽其一種也。較卷雲略低，散布天空作斑點狀或魚鱗狀者，爲卷積雲及高積雲，素稱爲雲中之最美觀者。其排列分布，整齊可觀，實至足驚異者也。雲塊之大者，列成廣而直之平行帶。雲塊之小者，雜於白色大雲塊之間，作翺翔起伏之狀。此等雲常能於日月四周，現一周徑較暈爲小之光華，色與虹相類，卽所謂光環是也。此等現象，惟於天氣晴朗時有之。或則淡灰色之雲滿布天空，是爲高層雲。日月雖



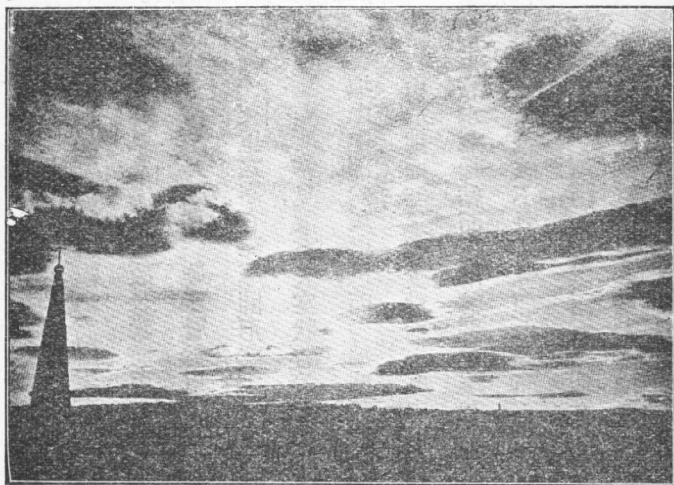
纖細如絲網之卷雲爲最高之雲。其平均高度適與世界最高之山埃佛勒斯頂峯不相上下。



圖中卷層雲之間夾以卷積雲，其下部作黑色爲積雲，其高度乃在卷層雲與卷積雲三英里之下也。

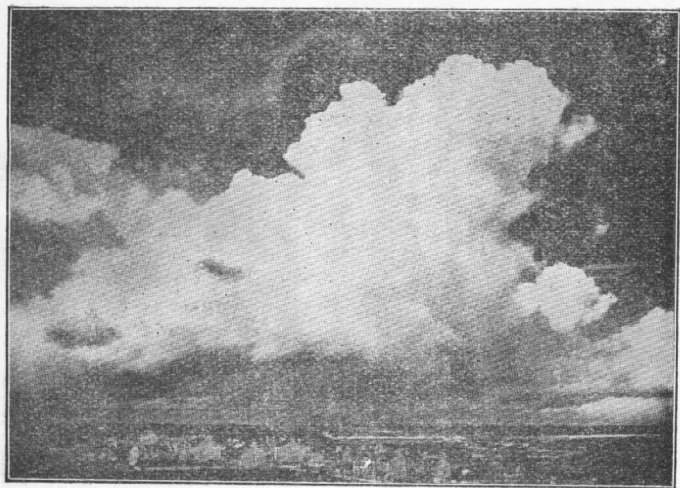


斑點若魚鱗之高積雲



夕陽西下時層積雲之狀態

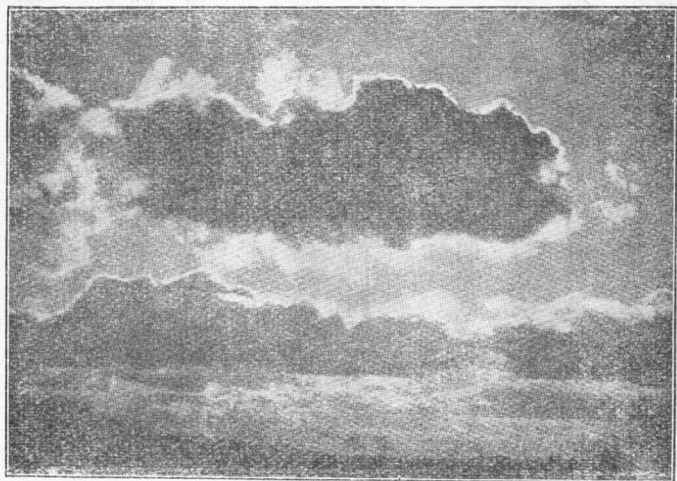
圖中白色者為卷雲，遠高於黑色之層積雲。



積雨雲，係濃厚之雨雲，狀類積雲。

爲所隱蔽，但猶能自雲中映照而出，特不甚明亮耳。馬尾雲之後，常繼以高層雲，而高層雲又往往爲風暴之先驅，故足爲將雨之朕兆也。

雷雨與冰雹 較高層雲更低，拔海面不過一英里之高，有渾厚圓形之雲塊，是爲積雲，卽夏季所常見，散布天空狀若羊毛之雲塊也。雲塊之中部爲灰黑色，而邊端則爲銀白色。積雲由於地面空氣因受熱而上升，至高處溫度下降，水氣凝結而成。雨雲則爲深灰色之雲塊，其邊際殘破不齊，雨雪卽由此而下降。至於高大無倫之積雨雲，或雷雨雲，常能發育極速，自頂及踵往往達三英里之厚。積雨雲實爲極濃



普通積雲中部深黑色而邊端則銀白色

厚之雨雲，特其外表則宛若積雲。積雨雲雖易於生成，但亦易於消散，爲夏季雷雨時冰雹雨水之源，是以積雨雲常足爲雷電之先兆。電閃者爲積留於雲中雨點上電氣之放射，放射時所發生之影響，觸於吾人耳鼓時，卽成雷聲矣。但光之速率，其迅速幾乎百萬倍於聲浪之傳播，故電光雷聲，雖同時發生，但吾人必先見電閃而後聞雷聲。電閃之放射，或在雲與雲之間，或在雲與地球之間。

除上所述者而外，尙有各種雲類，爲世界各處所常見，但本書以限於篇幅，不能贅述。至於雲之來蹤去跡，種種變態，往往有令人百思

而不得其解者，亦可得而言也。

「高懸於火山頂上偉大之雲塊（即洪保德氏之火山雲）(Humboldt's volcanic cloud)，時發光輝四射之電，當其向地面下降也，由山坡飛滾而下，迅速無倫，其速率之大，迥非地心吸力或風力所能為功。其下焉，視若受有一種魔力，大抵為極高之電流作用云。即尋常一般雲類之移行流動，亦莫不受有電流之影響也無疑，特影響至如何程度，則殊難斷定耳。此外最高之雲，即卷雲，狀若微茫之絲，其組織往往錯雜紛紜，頭緒千萬，亦非僅風所能為力。即卷雲之動作變遷，亦殊費思索。要而言之，與雲相關之各種問題，疑竇甚多，欲一一解決，祇能待諸異日，蓋科學家對於雲之研究，至近今方始發軔耳。」

雲之成因，亦不易明瞭，欲詳為解析，則讀者必於熱力學一途，已具有根底而後可。蓋此問題亦頗複雜也。若僅欲靜心辨別雲之種類，察其變遷，併由雲之種類變遷，以預料未來之天氣，則人人能為之。此種研究，不特極有興趣，且亦有應用之價值也。

霧之成因

當溫暖之空氣，吹渡寒冷之海洋而過時，則空氣之溫度，因之以低降，其中一部分

之水氣，卽凝結爲霧。是故霧者非他，實爲近地面之雲也。山谷中因晚間發散熱量，而溫度下降，至翌晨亦能生霧或露，其成因實與上所述者同一理由也。至冬季則水氣凝結之時，空氣溫度在冰點以下，故不降雨而降雪或霰，不垂露而結霜，若空中有濃霧著於樹上，卽成爲冰，是爲霧凇（*glacier thaw*）。

雹之大者若剖而驗視之，則知其中之冰雪分爲若干層。此蓋由於雹之成焉，必有猛烈之空氣流，時上時下，忽降忽升，挾雹以與之俱。當其降也，則雹之外沾有雨水，及其升也，則水結爲冰，故雹升降若干次，其內部卽結有冰若干層。

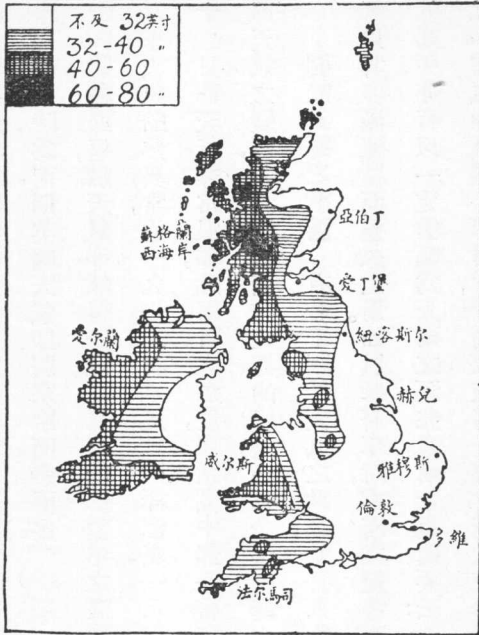
空氣中含有無數之微塵，翱翔上下於其間，因其極爲微渺，吾人初不知其存在也。推厥其源，則沙漠中之沙粒，海洋白沫氣化之鹽分，工廠中之煙灰，留星之餘燼，以及草木之花粉，在在皆足以增多其數，而使其分布於空中。設無此等微塵，則空中卽不能有賞心悅目美麗之顏色。蔚藍之青天，將一變而爲黑色，而日月星辰，則將愈益明顯。蓋天之所以青者，實全賴微塵，微塵之小，直不可思議，而以上層空氣者爲尤甚。微塵能反射太陽光中之青色及藍色光線，使之廣布四方，而天因以作青

色也。

雲霞之顏色；極光 (aurora) 清晨薄暮時之曙光，均由於太陽映照高層空氣中之微塵所以致之。日升日落時各種豔麗之色彩，亦均由於日光受折射 (diffraction) 及散光作用而成。空中之微塵及水點，對於光線有選擇的能力。藍色青色光線，最易於爲微塵水點所反射，綠色光線次之，而以紅色黃色光線爲最難反射，此所以夕陽西下，或旭日東升時，日球常作紅色或黃色也。虹霓之色，由於日光經雨點受折光反射作用而成。蓋日光中含有各色之光波，雨點之作用與三稜鏡相類似，能使日光中各色光波分離而見其本色。

但雲霞虹霓之色彩，均不足以敵極光之美豔奪目也。所謂極光者，於高緯度在冬季無月之晚時能見之。其光閃爍不定，其色或紅或黃或綠，或作玫瑰紫。極光離地高約五十英里，其內容性質，雖科學家尙未能十分明瞭，然大抵係日球傳來之負電子所成。當日斑最盛時，極光亦獨多。依近今之調查，則知極光之多寡，與日斑之大小盛衰，以及磁暴 (magnetic storm) 之發現，有密切之關係，或者三者起於一源，亦未可知。昔人有信極光爲風暴之預兆者妄也。

和之天氣。但此等變遷，為數甚微，斷非常人不恃儀器之助者所能覺察也。



英國每年平均雨量之分配

英倫諸島因西部多山，兼之西南風極為盛行，故西部雨量較東部為多。

定期的氣候變遷

常聞人言，謂某處之雨量比前加多，或某處天氣較昔和暖，此均係無稽之談。依近時觀測，則知雨量溫度，雖在各處時有增減，視乎日斑之多寡為轉移，每十一年為一循環，自乾燥溫和之天氣，變為潮濕寒冷之天氣，復回為乾燥溫

以英國而論，則一年中天氣之溫涼燥濕，全視乎風暴所循之途徑而定。如風暴所取之道較平時爲北，掠蘇格蘭之北而過，則英國天氣必且乾熱而少雲，因受大西洋中高氣壓之影響也。若風暴路線較平時爲南，則英國天氣卽將寒冷而多雨矣。

物極必返，於天氣亦然。苟一歲溫度過低，則翌年之溫度大抵必甚高。如英國在一九一一年之夏季，天氣酷熱異常，迨一九一二年之夏季，則極涼爽。一八七九年之十二月，歐洲寒冷逾恆，及翌年十二月，則天氣非常溫和。此兩月之溫度，在歐洲中部一帶相差至法倫氏二十度之多云。要而言之，則天氣之變遷，非爲濡緩而有定期的變遷，乃爲急促而無定期的變遷也。

關於天氣之歌謠 有若干關於天氣之歌謠，爲吾人所習聞，此等歌謠中，頗有科學的根據，未可以其俚淺陳腐，而遂忽之焉。如風暴將來時，雲霞之變遷更迭，殊足恃以爲降雨之預兆。（按我國歌謠中，亦有以一定雲類爲天雨之預兆者，如管窺輯要云：「雲勢若魚鱗（卷積雲），來朝風不輕。」又「雲氣如亂穰（卷雲），大雨將至旁」等。）老於航海者，則所知之諺謠尤多，如云

「風背日馳不足恃，頃刻將見去復回。」

則殊足以表示風暴將來時風轉向之形勢。此蓋得諸歷年之經驗，可以科學之理論解釋者也。又「晨曦有隋，牧童之誠」亦極近理。此歌謠之意，若謂晨起而下陣雨，則將連綿終日。揆之近世科學上之觀念，實亦不誤。蓋陣雨由於上升之空氣流而成，而空氣非至中午以後，上升不力，若午前而有陣雨，則有背乎常，故往往能繼續降雨，至於下午或直達子夜也。（詩云「朝濟於西，崇朝其雨」實與科學理想不合。楚辭謂「虹霓紛其朝霞，夕淫淫而霖雨」則近似矣。）

日月近旁之暈，大都足爲天將有風雨之兆。蓋暈由於卷層雲中之冰針反射及折光而成，而卷層雲則常見之於風暴之前也。但無風暴而成暈者，間亦有之。

有若干歌謠，在此處甚靈驗，而在他處則否者，如多山嶺之地，山巔上雲之聚散消長，足爲未來天氣之徵候，此則山嶺之地所特有者也。

「朝霞不出門，暮霞行千里」（語見范成大詩中）亦爲普通之歌謠，但不甚足恃。蓋在各種情況之下，天邊均能有霞，非具有氣象學智識者，善爲研究其霞之所自來，則此說實不能應用也。

但歌謠中亦有若干，全屬齊東野人語，無研究之價值者。如云新月與天氣有關，則爲一般人所

深信，但依研究調查之結果，則知全無根據。（詩云，『月離於畢，俾滂沱矣，』亦與此相類。）更可笑者，則有信聖斯尉廷生日（*St. Swihin's Day*）天氣惡劣，則以後六週每日均將有雨者。（斯尉廷生日爲七月十五號，此種迷信，我國亦極多。朝野僉載所謂「春雨甲子，赤地千里，夏雨甲子，乘船入市」等是也。）不知英國氣候，夏季乾旱，而秋季多雨，聖斯尉廷生日在季夏，適當乾旱二季之交也。

要而言之，則古來相傳之歌謠，實有研究之價值，謂余不信，試一覽應華茲君（*Mr. Richard Inwards*）所著天氣歌謠（*Weather Lore*）一書，則讀者亦當首肯矣。

參考書目

- Clarke, G. A., *Clouds.*
- Geddes, A. E. M., *Meteorology, an Introductory Treatise.*
- Lempfert, R. G. K., *Meteorology and Weather Science.*
- McAdie, A., *Principles of Aerography.*¹
- Milham, W. I., *Meteorology.*¹

Moore, W. L., *Descriptive Meteorology.*¹

Pick, W. H., *Short Course in Elementary Meteorology.*

Salter, M. de C., *Rainfall of the British Isles.*

Shaw, W. N., *Forecasting Weather.*

¹All these books are American.

第二十四篇 應用科學之一——電之神異

美國麻省理工大學電工碩士
國立東南大學電工教授 楊肇熾譯

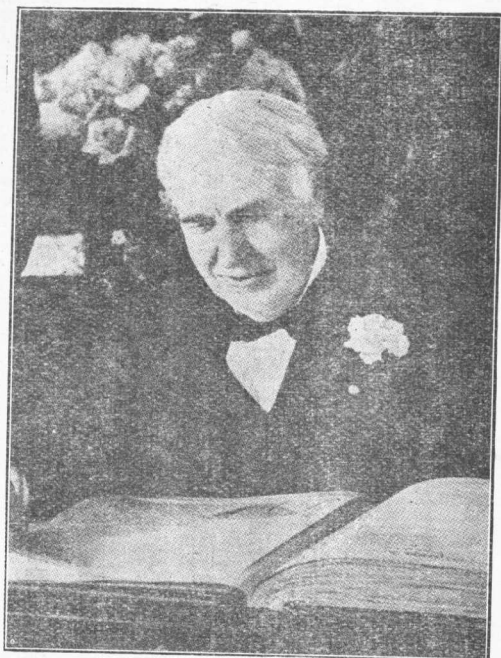
電世紀 吾人之世紀，電世紀也。近年以來，因電之實用而發生之影響，不得謂非現世人生之一大奇觀。現代文明之有賴於電工科學，固非一時所能見及。現世生活中之重大問題，莫不亟待解決以求進步，而電工科學之所解決者亦已多矣。佛來銘教授 (Professor J. A. Fleming) 研討電之問題已五十年，其言曰：「電工將來有無限之可能；一旦實現，則吾人目前之成績雖云偉大，亦不免為陳舊之歷史。」夫過去半世紀之紀錄已足驚異，而吾人所樂聞者，名家如佛氏，竟謂此後五十年電之問題尤可耐人深長思也。

空閒時間昔所視為交通之障礙者，今則幾於消滅；能之傳遞，電力發生及分佈之發展，俱示人以偉大之可能。吾人於本書前數篇中，已見物理家與化學家研考原子結構所達之地位，以及此等

研考如何變更吾人對於物質之基本觀念。拉得福德爵士 (Sir Ernest Rutherford) 有言曰：自發見電子爲物質原子之流動部份以來，電學上所受之影響甚廣，而多數電學問題之攻研，亦以此爲起點。在此發現以前，電雖爲吾人所習用如僕隸，而實爲一種神祕之力，其特性初非吾人所通曉。顧至於今日，昔所視爲神祕之電磁力，已爲吾人所明瞭者，蓋不鮮矣。

電在現世生活中所造成之改革，其致力也靜，其收功也積漸而恆，其影響所及復廣而且溥，無惑乎常人於現世電工科學之工作，鮮能了解其範圍與偉績也。今設以活動影片機演五十年前所爲之事，及今日以電所爲同一之事，兩兩相較，則用電之勝利赫然見矣。一千九百二十二年三月，英國電工程師會舉行五十週紀念慶典，前此不及五十年，人僅視電工程師爲一顯耀之表演者，往來各市展覽其出品已耳，在上述之大會中，墾涅狄爵士 (Sir Alexander Kennedy) 謂猶憶一千八百九十年上下兩院初用電時，曾竭力要求售電者務設法勿使燈光閃爍，在議長宴會之際，此點尤須注意云。洛治爵士 (Sir Oliver Lodge) 述英國第一電車行駛激急，初無控制，以致撞入肆店陳列窗中而後止。哥達爾明 (Godalming) 實爲英國第一鎮市之用天鵝牌電燈者，厄味瑟德君

(Mr. S. Evershed) 謂當時關於電之知識殊為缺乏，竟以電纜置諸陽溝中云。



愛迪生托馬斯(Thomas A. Edison)

氏為美國著名電氣工程師及發明家，入世之初，僅一鐵路
上售報童子。非電界之發明中，吾人拜其賜者，為留音器及活
動影戲術。渠為電界人，第一滿意之白熱燈為其所造，發電機
及電報電話器具為其所改進，錄纖蓄電器為其所發明。

現代之人，

於電之層出神

異，適為同時，或

已見慣不驚。然

大多數關於電

之知識，實亦微

甚，而能解釋電

能之發生，傳遞，

及利用之原理

者，更寥寥矣。電

力所為各種神異，更僕難數。巍巍落機山 (Rocky Mountains)，橫貫美洲之快車越焉，電驅之也；

阿爾卑斯 (Alps) 山，八百噸重之列車逾焉，電挽之也；以每秒十八萬六千哩之速率，越大西洋而遞信，電爲之也；都市所需之光與熱，電供之也。昔者以水底電纜傳信，已無遠弗屆，今則併可廢去。英倫之人苟欲與居巴黎者對話，固無須線與纜，而在地面者亦可與匿於雲中之飛艇司機者交談也。

今之工業巨擘有爲完全屬於電工程者，而各種工業中電工程無不居其一部：以煤礦言，則斬煤，運煤，通氣之機，胥以電動也；以新式鑄鐵廠言，則法氏表六千度之高溫，電爐所生也；以工肆言，則凡金屬合金之銲接，電弧 (electric arc) 爲之也。

在製造工廠中，昔用蒸汽力，以機械傳遞之法如鋼軸皮帶，使動各部機器者，今幾全代以電動機矣；巨舶之行駛，昔用蒸汽機，今則由汽輪之機械能變爲電能，施諸電動機以鼓輪破浪，亦大告功矣。吾人烹飪以電，浣洗以電，掃除以電，卽牙醫修齒之鑽，亦莫不以電也。電磁鐵所發之力可舉十噸之鐵；工人之目荷爲鋼片嵌入，醫士則以磁鐵吸取之。電之爲用廣矣哉！

傳遞之易 電力在今日大爲通用，其故在能力之屬於電者，傳遞分佈，經濟甚省，效率甚大也。距離若遠，能之傳遞實爲電所壟斷。設有巨量之能須傳諸百哩以外，其介有三，受壓空氣，受壓之水，



水電纜之安設

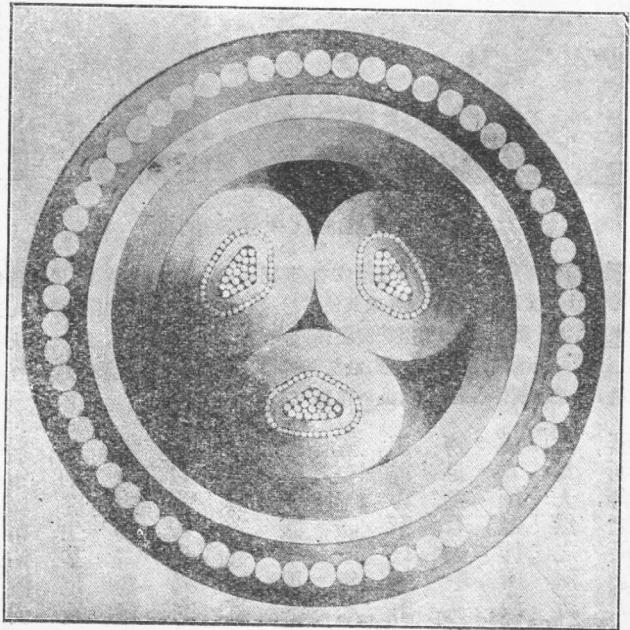
上圖示紐約至紐芬蘭水底電纜引至岸端之一。纜既抵岸，即置於溝中直達纜站，由是接於通常架空之電報線。本圖爲在紐芬蘭之克柯爾科弗地方，以多人運纜上巖，每人所擔重量約數英尺之纜。最大號之纜，每英里約重六十二噸半，且以特別方法製造，使其能於淺水中有抵禦冰山撞割之力云。

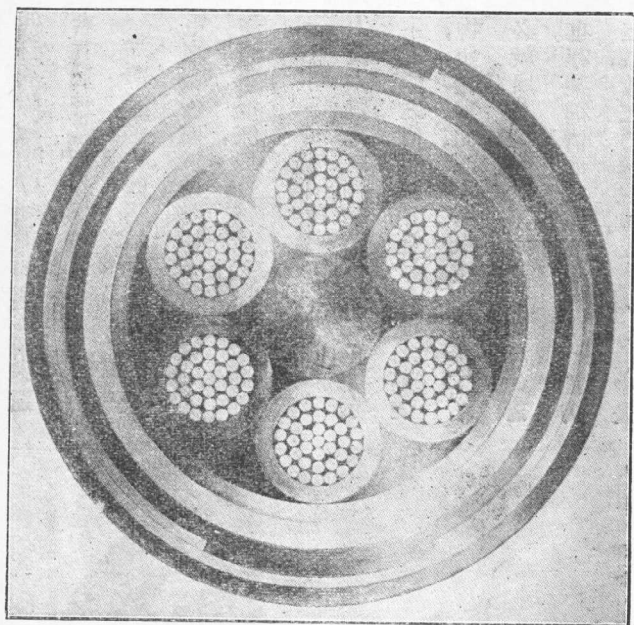
四十八

及電是已。用受壓空氣，則需口徑甚巨之管；製造、安置、保管費皆不貲。用水力傳遞，亦需巨管，且必深埋地底以免凝凍。電能之傳遞，僅用細小絕緣之導體，或藏於地，或架以桿，斯可矣。導體可任意變其趨向，且可屈之撓之，以合於自然情狀，而不致損其效率。以管運流質，苟遇變向屈撓之處，則效率減少爲不可避免。且也，巨川、深谷，以及其

他自然障礙，導體所能易於超越迴避者，其於管路則呈無窮之困難焉。

傳遞之術既省費而多效，於是發電之廠胥建於情勢適合發電之地，產生巨量電流，以分佈於各處，所及廣而且遠，以視各處自設電廠生小量之電力僅供當地之用，其需費實較廉也。發生電能之原料，或用便於轉運之燃燒物，如煤與油，或用廢氣瀑布，惟後二者必就所在地而利用之，不能遷移如志也。在某種情形之下，運煤至需用能力之區，較之傳遞電流，或為經濟；但中央



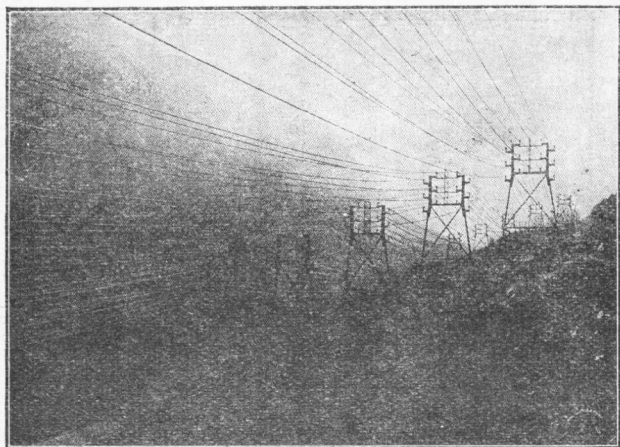


地底傳遞電流裝甲纜之剖面

纜中導體係錫包銅線若干根纏成者。其絕緣係蠟紙，或橡皮帶，用煤膠化合物侵過之黃麻，硫化地瀝青或其他材料。圖中白環為鉛製之鞘，闊約八分一英寸。加於纜上之法，引纜使經壓鉛機，機擠鉛出以環於纜，成一無缺之殼。鉛鞘可絕潮濕，惟易受損壞，故於其外再包以黃麻，更加混汞鐵線甲（視右圖）或互啣鋼帶（視上圖），此外復加一層黃麻。

五十

發電廠，苟佈置妥善，則發生某定量之電力，其需費之省，以視若干獨立小廠，其差甚鉅。就鐵路言，機車用煤五至七磅所作之工，電力廠只須兩磅足矣。若夫廢氣，或為煉鐵爐所洩，或為天然之熱所蒸，所含之能必於



用架空導線傳遞電力之神異

圖中所示六十導線成爲二十道三相電路，以一萬弗打電壓，傳遞二十萬匹馬力。鋼製支架與裸導線間之絕緣爲有電阻甚高之大號瓷製絕緣體。圖中導體俱以鋁製，蓋傳遞線所常用也。現在傳流之壓已至二十二萬弗打，爲電力之用，傳遞距離已達二百英里云。

所在地變而爲電，否則無所用之。是故冶鐵廠之往往成爲分佈電力於各方之中心（從一煉鐵爐之廢氣可得四千馬力），而富於地熱量之區，亦日形重要。是以在拉達勒羅 (Lardarello) 爲意大利服爾忒刺 (Volterra) 附近之一火山區，是處地底之水蒸氣可以管引至地面，使發一萬匹馬力之電，然後傳至勒格渾 (Leghorn)，佛羅稜薩 (Florence)，比薩 (Pisa) 等處。使無電，則雖有天

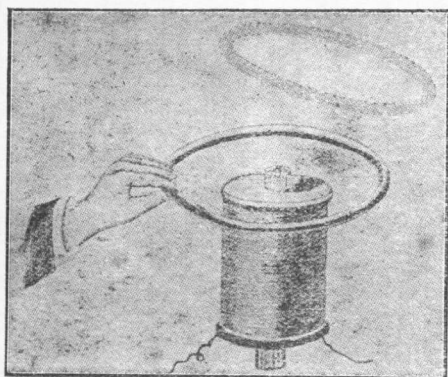
生之水蒸氣，其不能以管引至以上諸處，亦明甚矣。

一

何爲電流 電與磁之品性及其相互關係，凡爲吾人今日所知者，已於前章詮釋，茲不贅敘。凡

用電之機器如發電機（卽以機械力發生電流之機器），電動機，感應圈，以及其他，莫不以電磁鐵爲本原。現世電報電話，亦皆以電磁鐵爲至要之物品也。

以一通路線圈移之使近或使遠一磁鐵（換言之，使橫經一磁力場），則有一電流應感而生；此法拉第（Michael Faraday）無上光榮之發現也。第一發電機之告成，實亦法氏一手之功云。夫何爲磁力場乎？所謂電流者，電子從原子至原子之流也。置鋅於銅上，吾人卽得一微弱電流；鋅之原子頗易與其電子分離，電



圖示一異向流電磁鐵，以手置一銅環於其極上，荷一釋手，則環卽受強大之拒力，自躍起於空中。

子離錳，即通行至於銅之原子；電子之通行是謂之流，換言之，電流者，一原子以其電子給諸其鄰之謂也。設以化學品浸錳銅於中，錳徐溶解，復以銅線接錳與銅，則電子之流較爲迅捷，即得一強流（參看第四冊第八篇九三頁），由是知銅爲良導體。吾人又已見電子之動未有不產生一相從之能場者（參看第四冊第八篇九七頁）；因有電流，磁力是生，厥徑爲圓，而環於線，其結果使能媒中發生擾動。是故環繞電流路之空間俱爲磁力線所充滿，而吾人即得所謂磁力場矣。

是故法氏產生電流之法，即以一絕緣銅線圈使之旋轉於馬蹄形磁鐵兩極之間。吾人第一磁鐵電機，實法氏之賜，因而損益，以達今日之地步；飲水思源，數典者所不宜忘也。

「凡摩托車俱有一法氏磁鐵，用電花燃點圓筒中所貯之石油汽與空氣之混合物。法氏草創之磁鐵機係於皇家學院之試驗室中所製，以一圓銅盤旋轉於一強磁鐵兩極之間，今日電燈廠電力廠中之碩大電機，皆法氏此機之苗裔也。」

銅線中如何發生感應電流，有一最單簡之例。以一通常人人所見之馬蹄形磁鐵，直立其兩極，置銅線環之一節於兩極間而上下移動之，即得一感應電流於線環中矣。

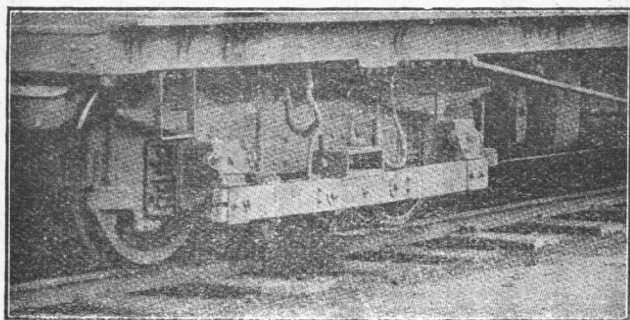
前言於磁極之四圍有能擾動狀態，換言之，即有一磁場。有銅線割此磁場時，則電子以甚大速度自銅線中一原子自由行至其次，而電生焉。如線環爲靜止而移磁場使橫過線環，結果仍與前相同；要點在磁場及線環有相對行動。電流之方向視線動之方向而定。當線向上移動時，則環中電流遵一方向；而向下移動時，即取反向。此種電流名曰交流 (alternating current)，蓋當導體換易行動時，電流祇取任一方向也。此種簡例可詮釋普遍原則，且吾人前已言之，法氏即由此發見，以構造第一發電之機械者也。

發電機 簡言之，所謂發電機者，即以一線圈或數線圈纏繞於一鐵心上使成一鼓狀發電子 (drum type armature)。(此在發電機內之名，若在電動機則此物又名電動子)；而永久磁鐵則易以一具或數具電磁鐵，使能產生甚強之磁場。發電子係裝於一動軸上，以高速率旋轉於兩磁鐵之間；不然，則發電子爲靜止，而磁鐵繞之旋轉。有一點須注意者，發電子線圈不完全代表前述之原始線環，蓋諸線圈只成電路之一部，而其大部則爲靜止之線傳電流於需要之區也。倘發電子自身旋轉，其與電路靜止部份之交通須用電刷（以金屬片或炭塊爲之）緊按於金屬環上，環則接

於發電子線圈，隨發電子旋轉焉。

此機可以比一圓筒，以其兩端接於一水管之兩端。即如一吸水機之活塞，在圓筒內往來行動，迫水使往來於管中，在發電機則驅動電能使往復經過傳電之路，其方向之變換，每秒鐘次數頗多也。

於此吾人須申明有若干用途，交流電殊為不便。達內摩 (dynamo) 一詞，普通祇用為直流發電機之號，此種發電機之特點，在設計使之驅電流於圓路中繼續依一方向進行。此電流謂之曰直電流 (direct current)。在電動機中，其發電子恆為旋轉部份。連發電子於傳路之電刷，則並非按於各別之環，而按於一圓筒形鼓上，此鼓隨發電子旋轉，且順其軸長，分為若干絕緣片段，每段又連於若干發電子線圈。電刷與鼓接觸之各點相距為一半圓，是故設鼓有十二段，則在任何時鼓與刷接觸之點為第一及第七段，或第二及第八，餘類推。此分段圓柱體名曰整流子 (commutator)，其詳細不能於此盡述，只略言大概。在電流改向之際，整流子之旋轉使每對弧段遞次按於刷上，於是每刷俱連於一線圈，圈中之流係取所需之方向，而電路之靜止部份，便可免去反向之流矣。再用線



電列車如何承接電流

圖中可見兩輪之間有一熱鐵鞋，與路軌接觸，其兩端上曲，車動即曳之與路軌相觸而行。兩軌之間另有一條絕緣軌（圖中不可見），亦有相似鐵鞋與之接觸，流即自此以入電動機，然後從車行軌上之鞋（圖中可見者）而出，車行兩軌用鏈相接以當迴路或負導體。

圈及永久磁鐵之例，則整流子之效用等於在線圈變換上下移動之時，翻轉其面，使線圈每次皆以同面切割磁場也。

電路 保持電流，路必全通，換言之，電流之

通，僅在兩極之間，猶之在通常初級電池中，流從鋅片起，經過一線而回至炭片；使其路被割，則流亦即止。今試就一發電機及其外路言之，機由一刷傳流於外路，復經他一刷以受之；換言之，假設路為全通，如在路中何處有一缺口——即路為斷者——則傳電之必要條件未能畢具，發電子將施施然旋轉，並不發生電流，不過處於激發狀態中而已。雖然，苟路一全通，則流即暢行，其量視

發電機之速率爲增損。倘速率增加無限，則導線阻力將使之發熱以至鎔化。通常之所謂「電路」類皆處於已斷或不通狀態中。路中一部份之固定導體相距甚近，以故當有需要，其間即可連接。在電車路上，其導體之一爲一架空絕緣線，其他爲鐵軌，用爲地線及回歸線以返於供給之電源。架空傳流導體之本身並非危險。雀鳥歇翅其上，儘可無虞，修理電車架空電線之工匠，以赤手處理，亦復安全，蓋其工作之臺絕緣於地也。但設有一人同時觸於導體及接地或他一導體，則電路全通，即可立時致死。

在用於運輸之直流電路中，通常將陽導體絕緣，而以鐵軌爲回歸線或陰導體。

二

發電廠 在考慮如何從發電廠將電力傳遞及分佈至需用地之問題前，當先觀一大電廠之工作。參觀之人苟非專家，往往不易明瞭產生此等鉅量電力之大概。廠中既寂靜無事，又無行動可見，游覽者眼光中蓋無可以激動好奇之念者。倫敦主要之中央電廠有三：一在拆爾息 (Chelsea)，一在伍德巷 (Wood Lane)，一在泥斯敦 (Neasden)。地底各路鐵道俱從此數廠接受電力以載

乘客，乘客之數每年約五萬七千一百萬人。所需燃料之量至鉅；祇言一廠爲發生電流所用之煤，每年亦不下二十六萬噸云。

在各廠中吾人可見蒸汽臥輪 (steam turbine) 驅動偉大之直流發電機及交流發電機。拆爾息廠所生電力約七萬八千啓羅瓦特 (kilowatt) (約十萬匹馬力)。電流即從諸廠供給於散佈倫敦之二十七分廠；於此諸分廠中，變爲直電流以給各路地底鐵道，電氣鐵路，及電車路之載流鐵軌。

電流之分佈 電流之發生大半爲交流式，其電壓 (voltage) 在三千弗打 (volt) 以上。電學中所謂弗打，亦猶氣體液體之壓力，所謂「每方英寸若干磅。」在廠屋之側面，或在另一室中，即可見一電鑰屏 (switchboard)，屏上置各種量電表，以計量電流之大小，並有各式手柄電鑰以節制電流而指揮之。

有多數發電機之處，可分爲若干部，每部各自有電鑰屏。如一排蒸汽鍋爐之各個，由其自有之枝管及活瓣以供汽於總管，每部之發電機亦由電鑰屏諸鑰送電流於一副短度匯流導體，此類導

體名曰匯流桿。

此匯流桿復與其他電鎗相連接，則發電廠中之電流可傳至他導體而分佈於各處；如有數部發電機，則大都具有互相連接之設備，庶幾必要之時可收互爲挹注之用。合諸電鎗屏而言，可以比於船橋，爲艦長發令所在處；蓋卽司機人竭其心思手足以指揮待用之強力之中心也。一具槓杆之動作卽可傳數千馬力之電流至於各點，近者在發電廠之內，遠者則百千里而遙矣。

局部分佈之電流可由發電機直傳至總線，嗣始加以變更，如後所述。就遠處之分佈言，電流先送達變壓器，使其電壓增高，或如電界中人所謂「升級」。電壓愈增，則因導體抵抗所生之傳遞耗損愈形減少；換言之，電壓愈高，則以同一耗損而導體可愈小。導體之值甚鉅，故傳遞距離加遠時，多增加電壓以求節省。二十年前，五萬弗打已視爲甚高之壓；今日則傳導之線已用二十二萬弗打，而電界中人猶期有更高之電壓也。

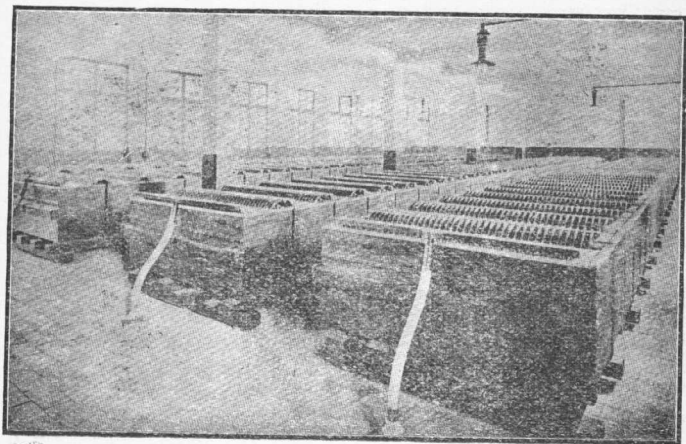
長距離之電流既離增高變壓器，卽經高懸桿架之線纜，倏忽之間，已超山越水，橫草原，巨沙漠，抵於遠處之廠以待分佈。惟達於鎗屏之前，須用「降級」變壓器減低其電壓至於適宜之度，鎗屏

則分流於各路，或者送至分廠變為直電流以應電車及附郭鐵路之需。（變交流為直流之機器，在隧道站中即可聞其營營作響。）或者供給動力以備工廠之運用；或者更經小變壓器以供給小區域內燃燈生熱之電能。既達終止之點，電流尙可通於各種器具使之適合特殊之用途。

三

電之積蓄 積蓄電力以供商用，唯一方法，係用蓄電池（storage battery）。池分為若干電瓶，每瓶中有若干版，版載化學物，浸入液（名電解物）中。諸版互相連接以成二組。甲組之版與乙組之版相間為列；每組接於一線端。如直電流從外源送經池中，則引起版上化學物與電解物間之相互作用，於是電能遂變為化學能。故池中電瓶，就作用言，實為初級蓄電器，倘許電流經過電路與送入池中之方向相反，則其化學能可復變為電能，而版上化合物亦將返其原狀。每瓶可蓄之能量，全視版之大小。一單瓶之電壓固有定限，而以多數電池串聯相接，任何電壓皆可也。

曩者蓄電池頗多不利之點，最甚者，即其對能量而論，重量頗大，且安全充電放電之時率甚遲緩也。近年以來，已有重要之改進，蓄電池重量及其充電時間，俱可望大減，故自具蓄電池及電動機



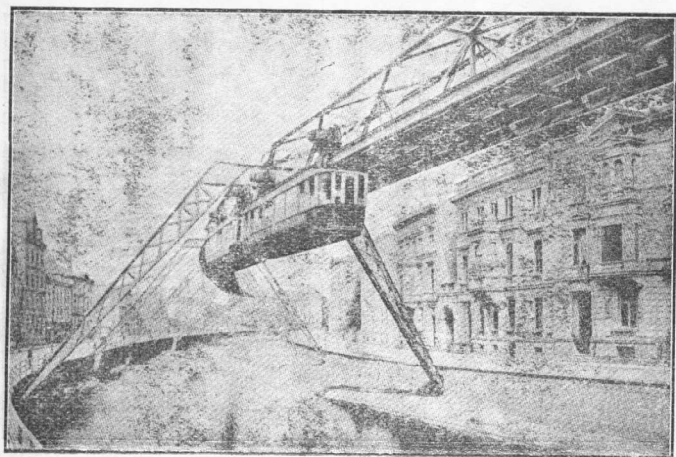
蓄 電 器

上圖所示之裝置，發生電力廠中多見之，其功用亦猶煤氣廠中之蓄煤氣器。賸餘之功能，儲於蓄電器，當廠之外來需要最大或有損壞停止之時，即可應用。負荷輕微之時，蓄電器可任電廠之全責，而發電機器竟得止息之機。

之車輛，其用途大有推廣之勢。此種車輛固具優點，而其速率及行動範圍尚屬有限。用新蓄電池之車，能行一百五十英里始須復行充電，而復行充電，不過數分時而非數小時之事矣。即在鐵路，新蓄電池可生饒有興味之發展。九十噸之蓄電池一具估計有八千馬力之能量（與一千馬力繼續使用八小時相當量）。如許能力可供特別快車一列自倫敦駛至愛丁堡之用。

四

電之運重 一電列車，或一列車



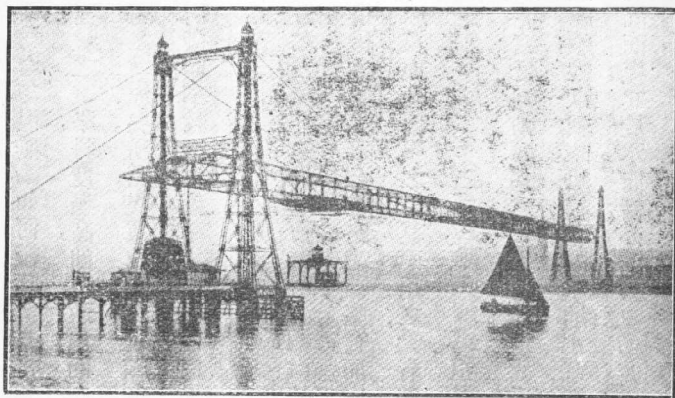
奇 特 之 電 氣 鐵 路

圖為德國巴門易北非爾鐵路(Barmen-Elberfeld Railway)之一部。自首至尾路軌支於架上。架間距離約三十碼，跨武泊河(Wupper River)及沿途市街。車廂以大鉤懸於在軌上行駛之電動機關。每廂可容乘客五十，滿載時重約十四噸。全路計長八英里半，且曾達到每小時行約四十英里之高速度。

以電機車運之，視通常蒸汽列車有一較大之便利，即能迅捷達到滿量之速率也。蒸汽列車由靜止開行，其每秒鐘速率之增加，不過每小時五分二英里至每小時半英里；以言電列車其加速率係每秒每小時一英里至每秒每小時一又三分一英里，故在半分時後，其行動速率已達每小時三十至四十英里矣。市中及近郊區域中，停車既數，運輸復繁，正需如此迅捷之速率，蓋由是車之平均速率

可以較高，列車間之時距較短，而一路線之載運容量大加。據由蒸汽改爲電運鐵路之記載，其規定速率已增加百分之二十至五十。倫敦區鐵路當以蒸汽運駛時，在一軌道上每小時運駛列車數至多不過十八；而現今電列車在最繁忙時，可以一分半之時間開行於兩站之間，即每小時可開四十二列車。

近郊電車可省去另一機車，蓋開行之電動機係分佈於各輛車中也。通常每隔一輛車下有電動機二，各有二百馬力，故一列六輛之列車，即有一千



電力運輸橋

此橋橫跨麥爾西 (Mersey) 及曼徹斯特 (Manchester) 通船運河，其塔柱中間之距離爲一千英尺，蓋爲同類橋中之最大者。在圖中較近之塔之右方，可見一與之接近之車，以纜索懸於運駛於橫樑底邊之滑輪上車頂有一小屋，司機人在焉，以控制驅使滑輪之電動機。每次可載六百乘客，從此端達彼端，需時約二分鐘。

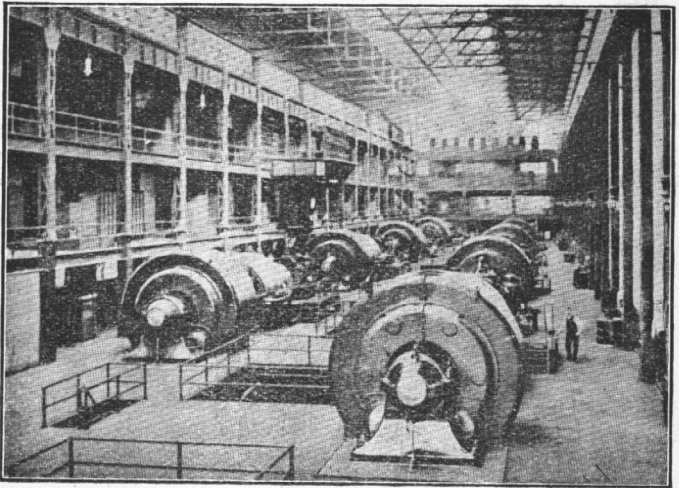
二百馬力之推行力。電動機之分佈猶可較爲均勻，但無論如何，較諸等長之蒸汽列車，電列車之工率實較高，此亦理所必然。蓋在新設蒸汽運駛之鐵路，斜度過高，即不敢用，而在電軌，工程師輒用之不疑。速率既大，斜度復高，能力之需要亦隨之增加矣。所謂複單位列車管轄制者，每一單位供給適當比例之能力，以故無論若干輛車俱可銜接而不致減其速率之能量。同時所有各電動機，一若集中於機車，莫不受司機人完全之管轄也。

強有力之電動機 發電機所生能力之大部份終爲電動機所消納，由是復變爲機械能力，以成工作，電動機之用途無數，且日見增加，俱緣其易於接合電路，清潔堅實，而應用又甚融通也。論其巨細及工率，小者如牙醫之鑽，凡上之扇，以及地氈去塵之帚，莫不用之，大者則驅動輾鋼之機，鼓行巨大之船。航海者所用之迴旋指南針 (gyroscopic compass)，雖與鋼鐵相近，而無甚影響，電動機改革之功也。以言開鑛，則砍礮，通氣，排水，運遠，皆電動機爲之，凡人所能達之處，固亦無深弗屆也。安於抽水機上，即可隨潛水人以入將沉之船艙；當歐戰時，船隻因潛水抽水電機而浮起者甚夥，苟無此機，則將永沉海底矣，戰時戰後，船之已沉而復起於水面者，亦其力也。南非洲邊界之金鑛，安置電

動抽水輪由鑛軸之底激水
使至地面（歷程最長者約
半英里），在經濟上之貢獻
實莫大焉。

美國加利福尼亞州祇

農業所用之電動機，總量已
達十九萬匹馬力，而稻業則
全賴電動抽水機以資灌溉。
製造廠中調帶機軸繁複之
制已易為直接機器工具之
電動機。扛重電機能玩視百
千噸之重載。電起土機則一



拆爾息城羅茲路發電廠之內部

此廠佔地約四英畝，供給電流於都市區，及除去倫敦中部所有之地底鐵路。其設備有發電機十具（圖中可見其八），以帕孫茲氏蒸汽臥輪為原動機，其最大總產額約八萬啓羅瓦特（即十萬七千匹馬力）。其發生之電流為一萬一千弗打交電流。分佈於各工廠，於此變為六百弗打之直電流，以為列車電動機之用。每年燒煤約二十六萬噸，俱從駁船以自動機器起運，至於架空之盛卸斗，然後飼於鍋爐。

掘而舉數噸重之泥土或碎石，每分鐘可二三掘。電動橫軸轆轤則牽最大船隻使過巴拿馬運河之閘，殊爲易事；又能曳引船舶車輛使上傾斜之面。電之運重，在運輸上，已收革新之果，而於吾人日常生活影響復非淺鮮，究其根由，實電動機爲之。約而言之，無論何處苟須動作，如其可能，電動機未有不儘先致用者也。

五

電之偉績 鐵路幹線之用電，在英國尙屬幼稚。在歐洲及合衆國則已甚發達。瑞士、奧國及意大利正用電於長段之鐵路，而經過阿爾卑斯山隧道數段鐵路之使用電機車，歷時已久矣。最長完全用電之鐵路則在美國，泊夫用電之術出，而長途運重之方改，較易行走之段已用五千噸之列車，預料猶有更重者出現云。

電機車之龐然無儔，工程之成績偉大，自以美國爲特著。其間天然及他種情形均要求大力之機器。強大之馬勒特 (Mallet locomotive) 蒸汽機車有重逾四百噸者，吾人已習聞之，而電界中與之勢均力敵者，聲名猶未甚彰也。



經過阿爾卑斯之電列車

自聖哥忒德鐵路(St. Gothard Railway)改蒸汽爲電運後，其穿過阿爾卑斯長九英里之隧道，已較前迅速而安穩。圖中所示，方出隧道之機車爲波勿利(Brown-Boveri)式，有四百五十馬力之電動機四。此機車能曳三百噸之列車以上每三十八尺高一尺之升降度，且於此種情形之下，能達每小時三十英里之速率，其短時期之工率，亦有二千五百馬工率。另一隧道名爲新普倫(Simplon)，長約十二英里，於一九〇六年完工後，其運輸事業即以電工作。

六十七

距今不久，在

伊利(Elia)地方
舉行一無偶之電
及蒸汽之競賽。以
用於紐約中央鐵
路拖『有限』列
車強有力式之現
世蒸汽機二部互
相連接；再用於
芝加哥密爾窩基
及聖保羅鐵路
(Chicago, Mil-

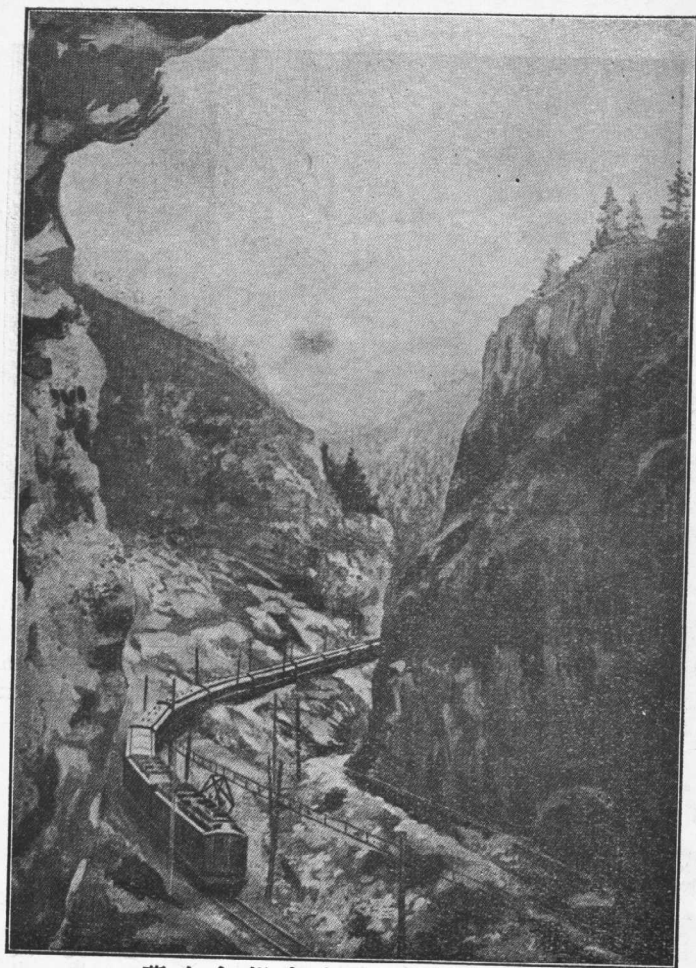
waukeg, St. Paul Railway) 極西段作相同之務之電機車一輛；使二者互爲推曳。其初電鍵未閉，電機車爲蒸汽機驅使倒行，毫無難阻，迨及電流既通於動機，蒸汽機卽漸次停止，未幾而竟循軌倒退，其入汽喉管猶然大張。嘻！是誠來日之預兆哉！

各種試驗中尙有一極饒興趣者，先以蒸汽機驅電機車使前行，少時，然後反電動機之連接，使其用若發電機，反給能力於導體中以返於發電廠，其發生之量有時約二千六百匹馬力以上，於是蒸汽車與廠中原動機相對抗，當然不敵，遂漸停止矣。

現在美國已有長段用電之幹線鐵路，其載客運貨之機車皆以電動，機量大至四千匹馬力。此等龐大怪物，在多山之區所演成績至堪驚詫，諾福克(Norfolk)及『西方鐵路』用二電機車引曳三千二百五十噸重之載煤列車，而上行於百分之二之傾斜度，其速率且倍於以前用三部最大馬勒特蒸汽機車時之速率云。類此之事甚夥，茲僅舉其一端而已。電機車力量絕偉，其妙處在總重量之大部份俱專供使車輪旋轉之器具，良以其能量來自外源而非由一重大之鍋爐也。

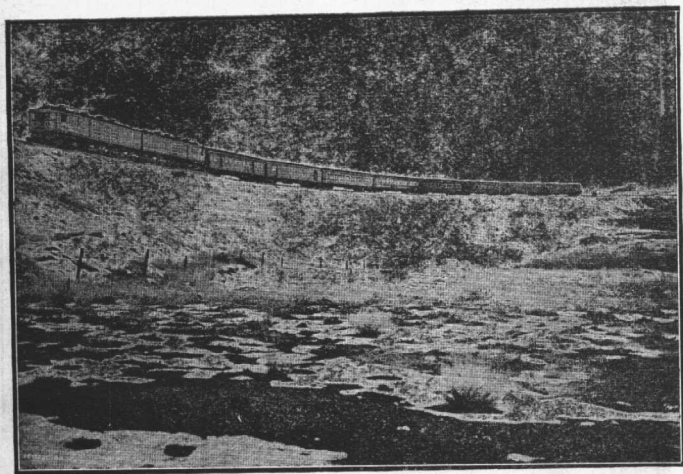
攀登落機山

用電之幹線鐵路段數最長者，厥惟最近完工橫跨美洲之芝加哥，密爾窩基，及



蒙大拿州十六英里長之山峽

芝加哥密爾窩基及聖保羅鐵路沿途風景之一。該路爲世界最大之用電鐵路，長亘美國所經四大山脈，有秀麗之柏而特(Belt)，壯偉之落磯，林深菁密之比忒魯特(Bitter Root)，及雪覆山巔之喀斯喀德(Cascade)。



橫經落機山迅急若飛之電列車

上圖爲芝加哥密爾窩基及聖保羅鐵路極快列車之一，名曰『奧林皮恩』，以奇偉之機車曳過路軌在落機山中所達最高之點（在蒙大拿州）。自遠視之，苟無自架空導體取流之承流器，機車與車輛幾無從分辨。本路六百五十餘英里所用之電機車，實爲近來製成最強有力之引曳機，可以曳三千二百噸之載重，以每小時十六英里之速率，上百分一之升降度。

七十

聖保羅鐵路。諸段中之落機山

段長四百四十英里；喀斯喀德

山段由奧忒羅（Othello）至

他叩瑪（Tacoma）長二百十

一英里。兩段中間地勢較平長

約二百英里不久亦將用電，若

然，則連續不斷八百英里之長，

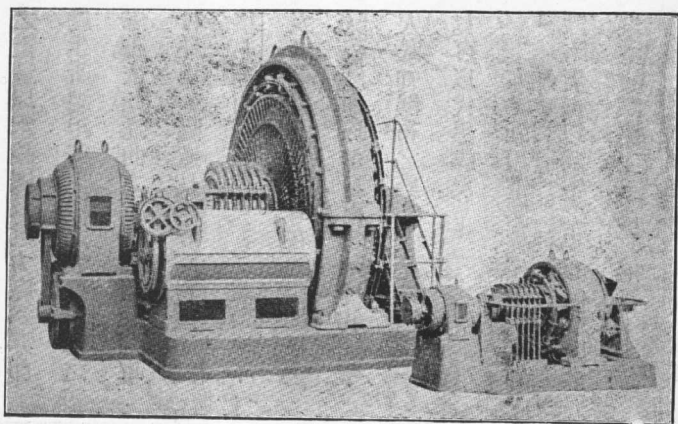
俱可以電力行駛矣。此諸段中

有衆多長而且厲之傾斜度，甚

銳之曲線，深艱之邃道，蒸汽運

重備極困難，而在冬季爲尤甚，

在必須停車之處，蒸汽列車竟



迴旋變流機

通常發電廠所生電力俱爲交電流，以高壓分佈於各處。此種電流必需變爲直電流，始能供推動電列車或街車之直流電電動機之用。先用變壓器降低其電壓至適宜之度，然後傳於所供給區中各點之分廠，以經一種機器名曰迴旋變流機。圖中示變流機大小各一，其能量爲三千啓羅瓦特及三百啓羅瓦特。

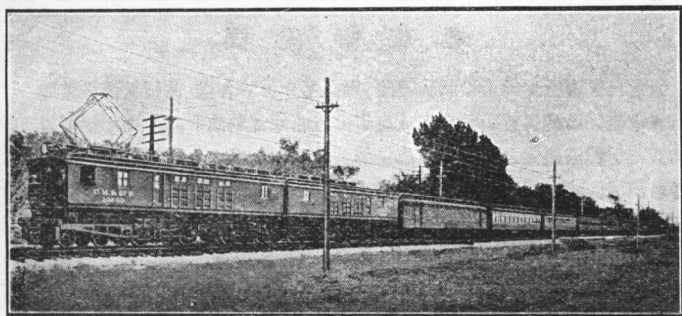
有冰凍之虞。自用電後，行駛時間已較前減三分之一云。

各段所需電力係由數中央發電廠供給，以十萬至十一萬弗打之交流電傳遞至各分廠，沿路約每三十英里有一分廠，電壓於此降低，且變爲三千弗打之直流電，以飼於架空之導體。凡屬用電鐵路雖其電壓及距離各有不同，於普遍原則，固大都相同也。

現在曳引列車上山地傾斜度所需之電力，大都取給於他處瀑布

之重量。以水輪機及電力廠爲介，即產生所謂平衡上舉之效果。瑞士之瀑布，依此迂曲之方法，以開動列車行經山巔隧道，且攀登高峯，幾達成格弗老山 (Jungfrau) 之頂，所不及者僅數百英尺耳。在缺少燃料之區，天然即以多量雨雪彌補其缺。今人既知瀑布之應用，於是『白煤』竟可以代黑煤矣。

人之知用電路線，僅限於近郊鐵路者，每以爲電之曳重較慢於蒸汽。其實鐵路上最高之速率——每



引曳客車之電機車側面圖

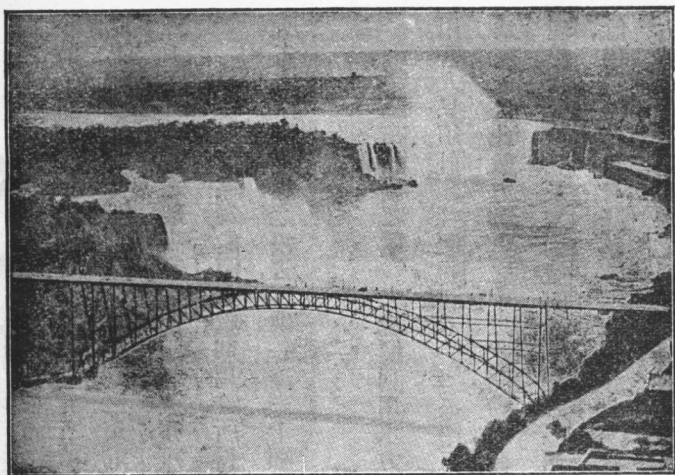
以電機車曳重，乘客之便利大增，蓋舉蒸汽運轉所不能免之煙塵掃而除之矣，不寧惟是，此類機車以視其較舊之敵，尙有其他堪以注意之便利。無須預備，立時即可開動，一也。可以較高之速率，較小之費用，曳倍重之負載，二也。低溫度非特不減其效率，且有增益，三也。省去煤水之站與車，四也。無須特別注意，即行數千里之遙，亦不過問一察視，五也。圖中機車可發三千五百匹馬力，重二百五十噸，可以每小時二十五英里之速率曳九百六十噸之列車，上百分二又十分二之升降度。若在平直軌上，則可於一小時內驅等重列車行六十五英里。

小時一百三十一英里——在一九〇三年已爲一電機車所達到。辯者猶可謂當時試驗之情狀非常，蓋其路軌爲特製者；然幹線鐵路之用電者，其快速率約每小時六十英里，亦爲尋常路軌上經濟工作所能達之最高速率，懷疑者蓋亦可以已矣。

在必須用煤爲能源之處，則用電所得燃料之經濟，實毫無問題。上所述及之跨洲鐵路，其一年所省之量，依可靠之報告，可供一萬三千噸排水量之海舶二百七十艘，從美國至法國往返一次。

六

從瀑布而發之電 大規模利用水力以產電力之所以可能者，實由於發電機與電動機之功用。吾人只須赴耐亞嘎拉瀑布 (Niagara Falls) 即可見落水之能力成爲電力之變換，其規模至爲宏大。於此數方英里之中，以水開動之發電廠，多於地球上任何其他相等之面積，其情形至合於理想。溝通伊利及安剔釐阿 (Ontario) 兩湖之耐亞嘎拉河，沿流僅數英里，已直落三百三十英尺餘，內包瀑布自身降落之一百五十九英尺。每一秒鐘，水自岩層投入在下之渦塘，多於二十二萬立方英尺。以單簡數學之計算方法，即可求得此落下及流動之總位能約八百萬匹馬力。



耐亞嘎拉瀑布瞰視圖

由此莊嚴諸瀑布經過之水量，每秒鐘約二十七萬五千立方英尺，而其能力則有六百萬馬力。已取用者現達五十萬馬力，以供電流於與英倫諸島相等之面積。已著手諸工程完功時，此數且將加倍云。

最大水力計畫，莫如以一流經坎拿大領土之運河連威蘭河 (Welland River) (入於瀑布上之耐亞嘎拉河) 與琴茲吞 (Queenston) 之大發電廠 (在瀑布下數英里)。如此即得三百零五英尺之降落，而在瀑布自身之降落，竟不過一百五十英尺也。

二十年來，耐亞嘎拉河旁建築之發電廠數起，先後俱收成效。或居瀑布之上，或居其下，從瀑布所取水量，發生豐而且廉之電流，足供半徑一百英里中之城市，而並不損其天然之美。現在祇耐亞嘎拉瀑布一處，已供五十萬匹馬力，為坎拿大及美國諸城市燃照及運重之用；迨其全部計畫實現時，此數

且將倍增云。

凡不悉工程學者，於未參觀耐亞嘎拉之前，必以爲於此當有在平常河流所見點綴風景之水車，其不同者或較大耳。其實此等水車渺不可見，所用之水動機——水輪機——俱藏於發電廠屋頂之下。共有八廠，各具殊異特點，但俱依某種定理：從較高處引水，經過名爲水棟之鋼管，以至於較低處，遞經水輪機，然後注放於瀑布下之河中。其如此注河之速率，較之直落相等距離所得之速率，爲大少矣。欲得十足之下落，耐亞嘎拉瀑布之計畫如後：通過岩石，掘長方大直坑，深一百五十英尺有餘，其下水輪機在焉。又鑿長隧道，以引在水輪中既完工作之水，使離坑而去。飼水於輪機之水槽，係附置於坑之旁面，而輪機則各以長軸接於發電廠中各個發電機之轉動部，自坑以視發電廠，蓋高乎在上矣。

工程偉績 在耐亞嘎拉關於各種原動力計畫已告成之偉績甚夥，於此不能悉數，茲僅略述至堪注意之二洩水隧道。二者俱鑿石而成，一長七千英尺，一長二千英尺。長七千英尺者，論其剖面積，爲世界最大隧道之一，其出路則位於坎拿大境內耐亞嘎拉瀑布水簾之後，亦別饒風趣，分觀諸

計畫，則最近者亦爲最動視聽者，以其利用之瀑布，已過三百英尺，蓋倍於昔所經營者矣。在此計畫中，瀑布爲一長十二英里半之運河所變轉，運河則遠在瀑布上方，從流入耐亞嘎拉河之威蘭河，導水至琴茲吞附近下灘之下方，在此正建一巨大發電廠於水邊。此廠能容四萬匹馬力之電機十部。運河之修造，所挖掘之土石（以石居多）約有三萬五千一百萬立方英尺之多；而經由新道之流既大且急，竟使威蘭河在其與耐亞嘎拉相交之點及其入運河口之間，反其原有之流向。

水輪機如何工作 在耐亞嘎拉所用之水輪機，吾人僅能於此作簡略之敘述。前一段所述安於坑底之輪機，有一固定直立之大室，形若圓筒，水槽（鋼管）即放受高壓之水於其中；又有一直軸穿過筒之兩端，附直徑大於筒之圓盤二，盤在筒外且幾觸其兩端。循盤之周緣，安數圈直立之標片，疊蓋圓筒，與近筒兩端空隙所安數圈之引導片相對。水經導片向外湧出，以有效之角度，擊於水輪之標片，即激動圓盤使之旋轉，而軸亦隨之。其行動標片之外有數個堅實之環，可由一自動節制器升之降之，以節制流水之速度及輪機行動之速率。

在瀑布下方諸發電廠中之輪機，則安置之法異此。法將輪機置發電機旁，同在一層地板，其軸

平直而短。水入一內面開洞之環形室，經過導片，以達內輪之標片，於此變水流之方向，然後以與軸平行之方向傾洩之。

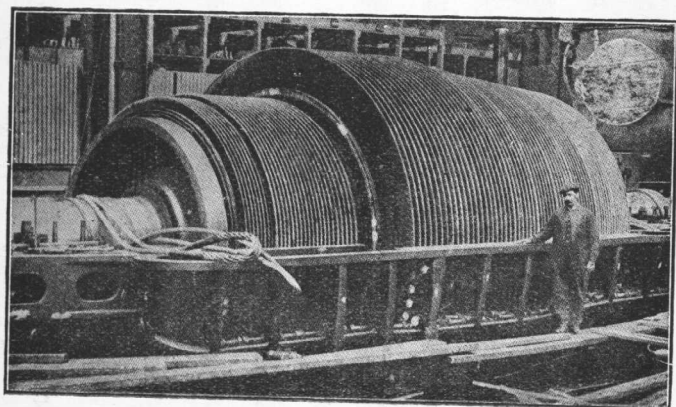
耐亞嘎拉水輪幾無少於五千匹馬力者；產一萬匹者甚多；最近之機有達四萬五千匹馬力者。諸輪所開動之發電機有爲現今之最大者，每具重量約三百至四百噸。

拍爾登水輪 (Pelton wheel) 雖不用於耐亞嘎拉諸廠，而在採用高壓力水之發電廠中，其用頗廣。此輪爲一大盤，循其周緣勻佈一對水杯。一股之水以高速率從一嘴管噴出，以擊一對水杯間之刃形分限，於是析爲左右兩流，緣杯之內面而過，當反其流向時，即傳所有之能力於水杯，水杯遂以水股速率之半向前行動。最足稱道之拍爾登水輪廠當推瑞士富勒 (Folly) 所設之廠。再此引水自一湖下流，經一長三哩之管，途逕雖短，水已下落一哩——約六倍於巴黎愛斐爾塔 (Eiffel Tower) 之高度——以故在管下端之壓力已逾每方吋一噸矣。水離嘴管之速率約每小時四百哩，水輪之直徑雖有十二呎之大，亦爲其所驅動，每分鐘旋轉五百次。急流之水對其路由之變更，能呈甚大之阻力。三吋直徑之水一股，受每方吋五百磅之壓噴出，縱以鐵槌擊之，亦不斷也。

蒸汽輪機 常用電力大半仍由蒸汽發生，與發電機同軸之蒸汽臥輪機即與水輪機相當。

帕孫茲式 (Parsons type) 之

蒸汽臥輪有一平置之長筒，安於軸上，置於堅強殼中，軸則自殼之兩端穿出。殼與筒間之環形空處，逐級增大，以筒爲分級者也。空處滿安曲線片若干列，筒上則安與之相間之片若干列，二者之間復安若干列於殼上。筒上諸片之尖，恰可不觸於殼上，而殼上諸片，則正不觸於筒及其他



帕孫茲氏蒸汽臥輪之旋動部

在電力廠中，蒸汽臥輪起而代往復式活寒蒸汽機，以其能與發電機同軸，且能以高速率開動而無劇烈之顛動也。本圖所示爲一臥輪，其外蓋之上半，已經移去，其轉動部則顯露之。多數扁片從轉動部突出成排，猶一圓刷之剛毛。此等扁片，與從外蓋向內突出成排相同之固定扁片相間爲列。蒸汽由外蓋之一端，經過外蓋與轉動部之空間，以至他端，屢次被導射於行動扁片上。其壓力強，即傳迅速之轉動於轉動部。

曲片。在大輪機中，曲片以百千數，其長則自一英寸以至一英尺有餘。蒸汽自機殼較小之端放入，蜿蜒以經多列之引導片及行動片，每行動片受一旁推力，此力由筒及軸傳至發電機。蒸汽大漲之後，或直接至於冷凝器，或至另一汽輪復事工作。蒸汽輪機之均衡至佳，雖每分鐘旋千次，甚或過之，而極平穩，以錢幣一枚，以其邊立於機殼上，亦不致傾倒也。

七

水力之重要 十年以來，世界上所探得及發展之水力，其規模實為近世工程現象之最堪注意者。現在所用之水力，已三倍於十年前。發達最速之區，自推昔時仰給燃料於他國，而實自有『白煤』以代黑煤之諸國。法蘭西在一九一五年有七十五萬匹馬力，現已增加八十五萬匹馬力；瑞士在一九一四年有八十五萬匹，現有一百五十萬匹；西班牙在大戰前僅有十五萬匹，現則加至九十萬匹，且正計畫更增二百萬匹馬力。坎拿大、美國、意大利、日本、挪威、瑞典、印度俱有相同之發展；於此諸國中，雖頗有富於煤產者，而水力亦正使其工業情狀變遷甚速也。世界可以應用水力之總數，估計約有二萬萬匹馬力。凡屬估值自不得據為確證，蓋在未嘗開拓之區，縱有測量，當然不能完全，而

即於此諸區內，或可冀有最大之發展也。今僅總數中之二千五百萬匹馬力歸於實用。顧即今由利用水力所得之經濟，已甚明顯。在大號最良蒸汽廠中，產一匹馬力繼續一年之久，須煤九噸。故苟欲用煤以發現由水所生之能量，每年需煤二萬二千五百萬噸，此數約等於英國所有煤礦每年之產額。依此計算，全世界水力之總數，已超過一九一三年全球產煤所能供給之能量矣！

水力之發達，或將影響及於世界工業之重心，蓋工業率趨赴於動力價廉之區。瑞典一國可以借喻。在其北部鐵礦頗豐，昔所開採，僅供美國熔鍊及其他產煤之國。但瑞典雖窮於煤而富於水力，現已應用於電爐，爐變礦苗為鐵為鋼，於是瑞典因處境既佳，遂得於世界鋼鐵商場角逐雄矣。挪威以多瀑布，亦新在工業中為重要。又如巴西（佔有二千六百萬匹馬力），英屬之基阿那（Guiana），贊鼻齊流域（Zambezi Basin），新西蘭（New Zealand），以及其他厚於天賦之國，孰能謂其不以落水之能力，而於將來獲得工業重要之位置哉？

八

電燈 吾人有賴於電燈者至切，此人人所曉，毋待縷贅。茲僅述其如何發光。如通電流於能受

極高熱度而不熔之細絲中，因遇耗阻，遂生熱焉。熱之一部復變爲一種能力，其名曰光。依此方法即得白熱燈，蓋不過一根極細鎢絲裝於玻璃泡中，泡中空氣全行抽盡，庶燈絲爲電流燒至白熱時，鎢金不致與氧氣化合。空氣既盡，吾人復放入與燈絲無影響之惰性（即不善化合）氣質少許，此種燈名曰充氣燈。惰性氣之加入可使燈較爲經濟，蓋每用一單位之電流，其所發之光則較多也。是故製造充氣燈有至數千燭光以代弧光燈。弧光燈中有炭桿二接於電路，然後移使兩尖相觸。電流既通，尖變白熱，如即令使稍稍相離，則白熱炭原子從此尖躍過罅隙以達彼尖，成一不斷而發光極強之流，厥名爲弧，以其分子之路線屈曲也。一弧光燈具有諸器件，炭棍逐漸燒去，則自行移近使兩尖距離不變更；電路既斷，則移使相觸，以便重用；及乎電流既通，則分之相離，以使成弧。弧光燈雖較白熱絲燈爲煩瑣，而發光較強遠甚；且其光發自一小面積，以透鏡及反射鏡聚其光線於一點，頗能精確，又能放射成一發光極強之光束，諸如探海燈及電影片映射器之所需者。燈塔所用之弧，強者至九千萬燭光。在成格弗老鐵路（Jungfrau Railway）一車站中，曾有一燈所射光束，可見於六十英里外。離站三十五英里之吞城（Thun）街市，竟可藉以讀新聞紙，此燈迄今或尚存在云。

在廉價發生電流之區，電燈爲人工發光術之最便利而最低廉者固矣，然自科學眼光觀之，去盡善猶遠也。發光電流，耗散爲熱者，約居二十分之十九；其全賴乎煤者，煤中能力僅百分之一實變爲光。曾有人謂：苟吾人變能力爲光，克如螢火之經濟，則只須垂髻之童，旋一手柄，即可供一中等城市所須之光云。由是觀之，電力發光術之領域，其有待於開闢者甚廣也明矣。

電爐 爲生熱之用，電之效率，比較爲高，蓋電能易變爲熱也。電機之大者，其困難之一，卽爲令其各部俱涼，以免絕緣燒燬。家用電生熱諸器具，係用線，或薄層金屬，或他種材料，通過足量之電流，使其燃紅，而熱生焉。電輻射器多爲烘暖房室之用，其計畫及構造，初不異於白熱燈，不過以線繞於耐熱物上，卽露置於空氣中。電製之熨斗，燙板，滾水壺等等，其導體則埋置於雲母石或石棉中，緊接於一金屬蓋上，熱經蓋以達須熱之物。凡烹飪或生熱工作，其不能以電爲之者甚鮮。是故今日電竈燙板而外，他如燒焊器，膠壺，溫足器，燃雪茄器，床被等，莫不用電生熱。飛機駕駛員高翔數千丈，全賴手套及衣服中所藏絕緣線網，佈熱於全身。熱之來源，係一小旋進器所開之電動機，苟非如此，其不受凍而僵者幾希。

由電力所變之熱，僅一小部分用於家事。巨量之電力則用於電熔爐，以製吾人所用之鋁，及產生二炭炔 (acetylene) 氣之炭化鈣，人工磨擦物，以及含氮（由空氣中取出者）之肥料。電熔爐今亦用以熔鐵，鍊爲上好之鋼，其產量以百千噸計。電熔爐之原理，不過就弧光燈及家用耗阻生熱器擴大之而已；統而計之，諸爐繼續所用之馬力，蓋有數百萬匹也。

電熱尚有一重要部分，即爲鍛接。當處分重大機械之修理時，電流實爲工師無價之助手。其多所贊助之例證，大戰時爲尤夥。拘留於美國港口之敵船，往往於拋棄之前，輒損壞其鍋爐使歸無用。倘在昔日，唯一補救之方，即將已毀部分易以新製；惟既有電弧之助，斷者即可復續，缺者即可重補。續部之處堅而且牢，以故機械雖有毀傷，縱不能令其形狀如新，亦可使之具新機之效用。於是在短時間中竟令敵人以爲必失鬪力之大艦，再航海上以致用焉。

在製造程序中，鎔接亦可取貫釘而代之。船甲之鋼板，已無須一釘即可相連；鎔接之船隻，已經效用。日用諸品爲電鎔接者甚多。欲爲一鎔接，須將應連部分，被緊壓於二棒端間，二棒接於一電路，電流所生之熱，遂鎔此部分令其混合於棒間面積。又設欲附加一短棒於厚板，且須從板支出。昔時

必於板上鑽洞，今則割螺旋線於其中，然後割螺旋於棒上，只須緊按棒於板上，通一強電流以經兩部；數分鐘時，二者即合而為一矣。

參考書目

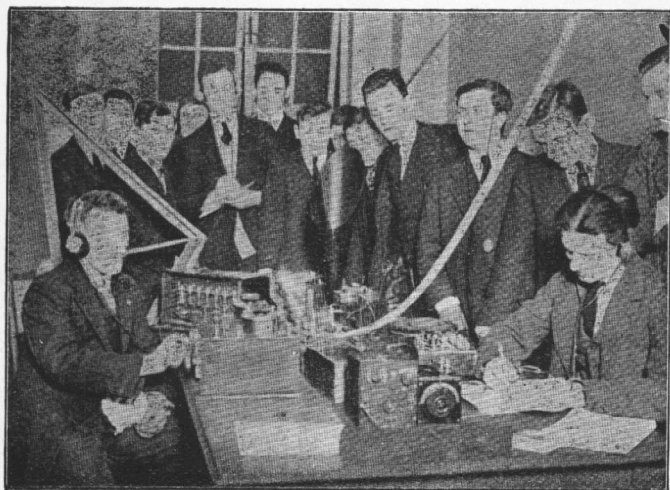
- Bell, *Electrical Power Transmission*.
- Fleming, *Fifty Years of Electricity*.
- Gibson, *Electricity of To-day*.
- Glazebrook, *Electricity and Magnetism*.
- Hobart, *Electric Motors*.
- Kapp, *Electricity* (Home University Library).
- Lodge, *Electrons, or The Nature and Properties of Negative Electricity*.
- Walmsley, *Electricity in the Service of Man*.

第二十五篇 應用科學之二——無線電報與無線電話

美國意大利諾大學物理學碩士
國立東南大學電機教授 熊正理譯

無線電報及無線電話，在應用科學中爲最幼稚，當其初出，已足驚人，近年進步，更能震世耳目。無線電郵，跨山越海，行數百萬里，曾不瞬息利那，風馳電閃，尙難方物。某著者嘗爲極妙形容之言曰：「自斯二事發明，吾人遂得縮地術，地球雖大，縮之不過如一大講堂，坐客交談，互以無線電傳言，所謂遠隔千里，猶近在咫尺。」譬人在大西洋海船上，據牀高坐，尙可娛聽巴黎、倫敦之音樂。飛行家駕駛騰空，高出雲表，有時雲霧迷漫，東西不辨，然可遙詢地下，夷然出險。故無線電之有功於飛機，亦猶磁針之有功於航海也。

今美國私人接無線電者約百萬。一年之間，增人數六十萬。每日郵電，絡繹不絕。商賈翹首以望證券股票之漲跌，婦媪側耳而聽百物零星之市價，都人士女，赴約出遊，又得預知天氣之晴雨。交通



無線電俱樂部

近年無線電俱樂部盛興，於美尤發達，會員千百人，各以無線電器聽音樂

或談話。

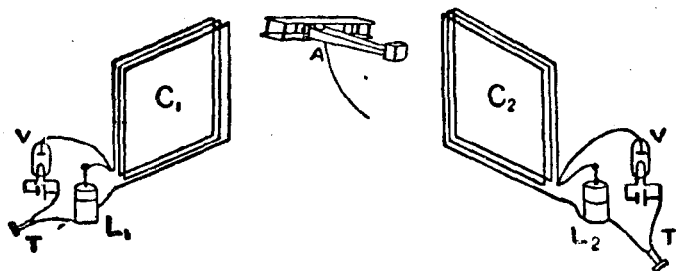
之便太過，供求之勢相懸殊，自非加以限制，無以應付人人，而尤以無線電話爲尤急。推原其用，本爲傳散世界新聞，商業消息，且傳播音樂，供公共之娛樂。馬可尼公司 (Marconi Co.) 每星期傳播音樂一次，英國用無線電話者約八千人。是故千里之曲，在家可顧，或良友遠隔，有發電之具，則可與之交談。在英國者可至郵電局，與海船上客談話，以無線電話送遞。吾人可預料將來火車上亦必裝無線電。此非向壁虛造之言也，美國馬可尼公司曾作一度試驗，

火車速度每小時六十英里，長途蜿蜒自始至終，無絲毫差池。夫火車速度，比之飛機已爲緩慢。飛機每小時行二百英里，猶能接電，則火車之能接電更何待言。誠以電浪速度每秒十八萬六千英里，與光無異，久爲物理學者所證明，以飛機火車速度方之，甚蔑如也。

自無線電發明，航海更加一重保險。一九一四年歐釁未發以前，海船失慎，賴無線電呼援得生者，至少五千人。大戰之時，德國潛水艇襲擊協約各邦之船，沈沒之數，不知多少。溺者賴無線電之救得慶更生，亦復不可勝數。其在戰時，功績尤著。然收發之具，並不龐大，一長廣高俱不過十八英寸之匣，即足容之。兵士帶至戰壕，前線與後防呼應靈便。尤有異者，海港戒嚴，暗浮水雷，歸船回港，或值大霧，或當黑夜，不辨標識，易遭危險，此亦可藉無線電以探求生路。

「法用兩電線圈，一在港內，一繫船尾沈水中，每圈接一電話。如近港沿海底線，則電話聲音響亮，如船誤途，則必有一寂然無聲者，利用此法，雖深夜大霧，不致誤觸水雷」(見 J. A. Fleming, Fifty Years of Electricity)。

美國將軍司拉夫忒 (Slaughter) 嘗言，自對德宣戰後，凡美飛機，俱裝無線電話，以便互通聲



用無線電定飛機地點法，左右為收信電台

C_1C_2 為定向架，凡發電所依架之平面，則接電最靈，與架成直角，則最不靈。設發電所為一飛機，其電波自尾線A散出，轉動兩架，至接電最靈之度，循兩架方向伸出交點，即飛機所在矣。

氣。一九一八年五月，以三十九機組織一飛行隊，在空中練習，其司令官直以口令指揮，無線電話之奇如此。故學習飛行，進步迅速，當停戰之日，萬眾歡呼，飛機數千，翱翔太虛，此種大觀，豈不當歸功於無線電話也哉？

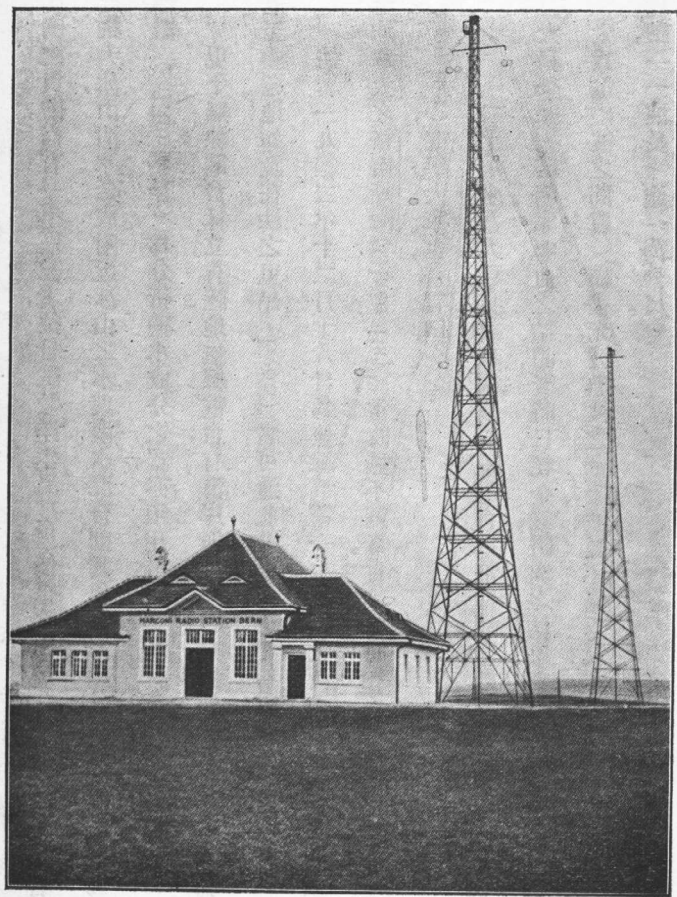
提坦尼克 (Titanic)，英之最大商船也，造成之費計一百一十七萬金鎊，壯麗華美，有海上宮殿之稱。一九一二年四月由英赴美，渡大西洋，中途誤觸冰山，全船沈沒；死者一千五百餘人，其得救者僅七百餘人，舉世震悼。嗟夫！使在今日必不至是；且此七百人得生還者，亦無線電之功也。今大西洋之北，有專司巡查冰山之船，定其大小地點，以無線電通告諸海船，每日至少二次。其經費出自各國，凡有大西洋航業關係者，為

比例之負擔。尚有一事堪記者，往日試驗洋水溫度，以偵探冰山，然此尙欠準確。冰山者自大冰分裂，此種大冰，由清水凝成。附近冰山之水，與海水混合，則其含鹽之成分較平常海水爲少。近人發明驗鹽器 (salinometer) 爲分析鹽水成分之器，亦須用電；以之偵探冰山，更靈驗不爽。

現今無線電台林立，有陸地無線電台；有海岸無線電台，專與海船通電；有強力無線電台，以傳電至極遠地；如設在法之里昂 (Lyon) 者，可通北非洲及五千哩外之越南。

往者一九〇二年十二月十六日爲無線電第一次直越大西洋之日，自英之波爾度 (Poldhu) 至坎拿大之格雷斯灣 (Glace Bay)，當時無不驚奇。會幾何時，相形已有天淵之別。今英人佛來銘 (Fleming) 電學大家也，嘗言曰：

『二十年來，吾人已見全球徧立無線電台，電浪所屆，激蕩半球，其馬力數千，雖一器一械，皆大科學家大發明家嘔血之結晶，費時日，耗金錢，研究之結果也。三十年前，包繞地球之以太（以太爲電磁波之間質），僅被光波熱波之驚擾，波長不過黍粒，五官所能感覺。今則極受大波之撼動，一「波長」逾一萬公尺。』



馬可尼公司紐百倫 (New Bern) 電台之高塔

塔高三百英尺以懸天線。

馬可尼公司，有大無線電台三，一在波爾度，一在克立夫騰(Clifden)，一在卡那貢(Carnarvon)，其第三台與美國新澤稜(New Jersey)電台通。巴黎之無線電台，一在愛斐爾塔(Eiffel Tower)，高一千尺，以懸天線，全世界著名者也。

凡值發電，電波四散，求如平常有線電報，專趨一向，雖日後可望達此目的，此時尙覺困難。且無線電話尙難達過遠之地，非力不足也。紐約倫敦之間，未嘗不無精良可靠之器，特事不經濟，不能應商業之用。改良裝置，減省經濟，必有成功之一日。

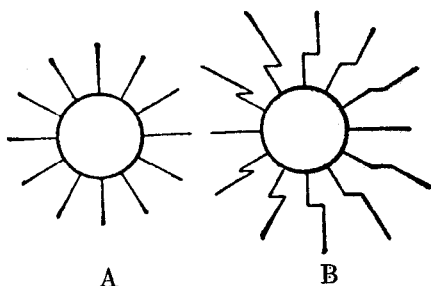
一

無線電報之興起，非如哥倫布之得美洲，偶然發現者也。科學史上固有因偶然發現之事，起學問上革命，如銹之發現是已。至於無線電報，則淵源於科學，發軔之人，如馬克斯維耳(Maxwell)，赫芝(Hertz)等，皆物理學名家，於電流及電磁之理多所發明。無線電報之原理，其基礎在電磁波上，欲通其理，須了解此數公之思想，讀其書而探其微妙。實言之，當通物理學最重要之一部，所謂「電磁輻射論」是已。普通物理書所言電學，大抵多論電體，少論電體以外之空間。如言電流在線內，罕

及線以外空間之事，夫電流線內，其流之大小，發熱之多少，雖線路如網，皆可依定律推算，誠可謂奇。然線以外之空間，雖目不能觀，手無所觸，然同時亦起特別奇境，則為馬克斯維耳所發明。自斯發明，物理學遂開一新紀元，無線電因此出焉。

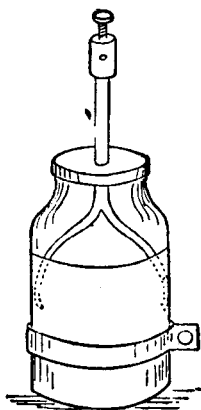
據近世電子論 (electron theory) 言，電流由於電子之行動，電子者極微不可分又荷負電之微塵也。凡由帶電之體有四射若輪輻之電力線，電流之周圍有環繞重重如輪之廓者，名曰磁力線。凡電子行動，則為電流，同時即發生磁場。物理學者疑鐵成磁，亦由電子環動，其軌道平行，與螺圈之通電流相似。吾人可圖擬力線之狀，若無數急張之線，發自正電體，抵負電體。線勢欲縮，故正負電互吸，若兩體各荷正電，或各荷負電，則互相推拒，其力線亦互相推拒。設想一電子，其力線四射至無限遠，電子之外凡力線所經過之地，俱為電力場，力場之強弱，視距離電子之遠近。電子在銅線上行動，則成電流，亦同時發生磁力線。電子動，力線亦隨之動，而其長無限。然力線非如堅硬之輪輻。電子之行動決不能同時傳至力線之全長。近者在先，遠者落後，故力線屈折，儼如浪形（參觀圖一）。此種屈曲之動，自中心延線前進，其速度與光齊。磁力線亦重重展佈，如石子投水，水圈四散，其速度亦與

光齊，故名曰電磁波。電力線與磁力線兩重前進如上所述。無線電之基礎即在於是。



圖一

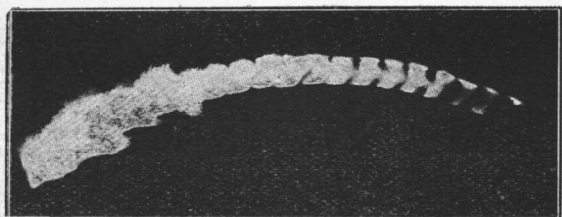
A 爲靜電體狀態，其力線輻射而出，B 爲動電體狀態，力線曲折如波動，速度每秒一八六，〇〇〇英里。



圖二 來丁瓶

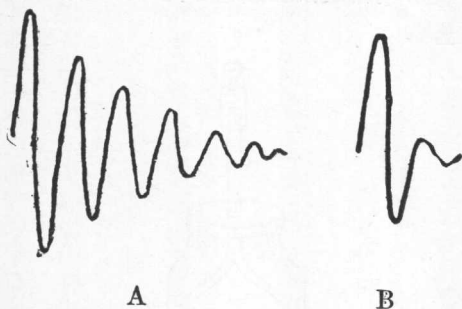
瓶係玻璃製成，內外皆塗錫箔。瓶內置白銅桿一，接觸內箔，桿上有一銅球，桿與瓶口隔離。將外箔與銅球相連，瓶即放電。若二者不使相觸，相距少許，則得一顫動火花。電流在空氣隙中前後跳躍，遂成一光耀之火花。是器爲無線電儀器中所必需。

電磁波亦名以太波，物理學家謂以太爲傳波之間質，猶空氣爲傳聲之間質。是說也，初頗風行，今人則多疑之，本書前曾言（參看物質以太，與愛因斯坦（Matter, Ether, and Einstein）第六



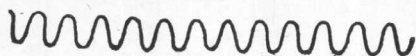
圖三 顫動火花拓影

此影以旋轉像片攝取之。所謂顫動火花者，電流往復運行而生者也。影中每一小段白光即電流之一躍，前後兩躍之間，即黑暗之空隙。



圖四 減幅波

A. B. 俱減幅波，其波幅逐漸減小，A 不甚減，B 則大減。



圖五 不減幅波，即連續波

不減幅波之強度永為均等。其產生法較減幅為難，惟為無線電話所必需。至無線電報，則亦可用減幅波。

八頁)以太純為設想，無試驗確證以明其存在。有尙信其說者，謂以太瀰漫宇宙，無物不入，凡輻射

之能，出傳空間，必藉以太為媒介，光線熱線之傳佈，亦由以太之振動。其不信是說者，另有一解說，謂能之傳播，由分子之振動，此分子非他，即電子是已。物理學家布拉格（Bragg）謂兩說各有價值，其兩種作用之實際，似可略為確定。惟二者關係尙未全明，或中有關鍵，可以互通，尙俟將來開啓。雖然，此無關本篇之旨，姑置弗論可也。

凡電子變其運動，則發生電磁波，譬如真空管內發生之電子，迸觸管面，或於其經過之路，設一金類之片，則發生極小之電磁波，即所謂 X 光線。若使無數電子亦如此變其運動，衆力並舉，聚小成大，則波強可以行遠。更用相當電具，使可觀可聞，無線電之原理不過如此。故第一要義，當考究何法，能使無數電子同時振動，發生強波。

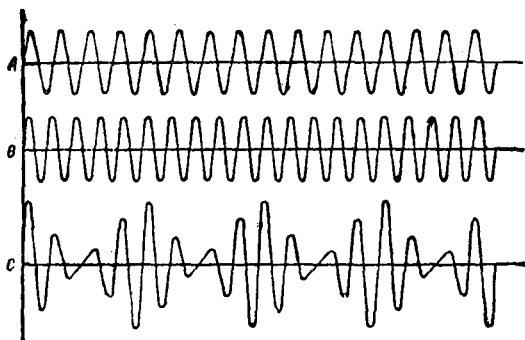
初學物理，知用來丁瓶可以發生極速之電振動，來丁瓶者一種蓄電器，能貯電久不散失，以玻璃瓶為之，內外俱黏錫箔，箔高約如瓶三分之二（圖二）。設內充正電，則外感生負電，中間玻璃受電感如張急弦，弦之兩端，繫於箔面。箔之用，令電展散均勻，倘內外兩面，接一銅線，電流湧出，如水決隄，其勢兇湧，又如馳馬驟停，騎者仍欲前衝。弦力一弛，不僅彈回原點，更加反動，勢如擺之往復，經數

次始息。吾人謂來丁瓶被放，依舊解說謂正負電相消，依新解說，則謂兩箔電子無差也。放電不必待一線直接兩箔，設線中斷，兩端各有兩小球，其間力場甚強，亦能驅電超躍，發現火花。星火閃爍，非僅由電子一次跳躍，其實往復數次方息，有如珠跳玉盤，每一個火花皆由電子跳躍一次。試用轉鏡窺其搖影，若僅一個火花，當祇見一條光。若電子不是跳躍往復，則光如一片。今所見者，光條明暗相間（圖三），足證明電之爲顫動。每振動一次，則力弱一次，故光之強度遞減，如單擺動，此種振動，即名曰減幅振動（圖四）。若振動力不因振動減小，如鐘擺藉彈絲之力，此種振動名曰連續或不減幅振動（圖五）。以太受此種振動，俱軒然生浪，惟傳行之遠近有殊，於後當更論之。

二

由上節所言，可進而述無線電波傳遞之原理。法用一來丁瓶，以相當裝置繼續充電，一面復以一線圈，及一星火隙，成一電路。來丁瓶充電至滿，即放電而生振動電流。以太雖受振動，然不克傳遠，猶在土室發聲，聲浪不能逸出。法拉第嘗發明兩線圈相近，其一有變電流，則其二亦發生變電流，此即著名感應電流之試驗。故當來丁瓶電路之線圈，對面置一線圈，第一圈有振動電流，則第二圈亦

發生振動電流。第二圈一頭埋入土中，一頭上接天線，如此電磁波可以行遠，不似來丁瓶路之閉置也。



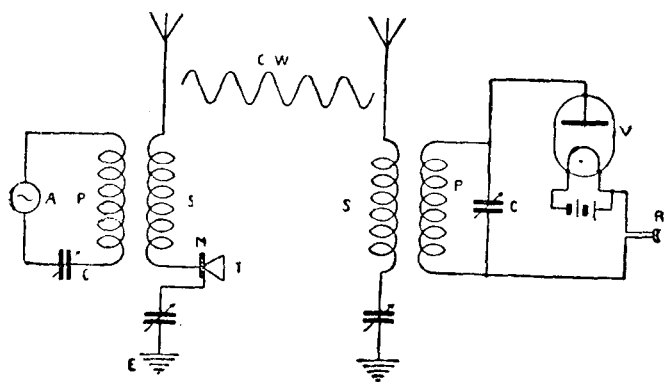
節拍電流之振幅

兩種振動一A—B周波率少異，合成如C。此波形狀不若A B之整齊有最高點大於前者之振幅。

天線之最簡單者，以一長銅線，高懸桅桿上，惟繫結處必用不良導體。振動電流由第一線圈換至第二圈，每秒次數在百十萬以上。電子之運動變，則發生小電磁波，合無數電子之振動，則併合成大波，自天線幅射而出，其速度與光相同。波之電力與磁力成正角，又各與波動之方向成正角，試伸手以三指擬之，可得其狀。

考無線電之送發器要件，其一為送電於來丁瓶之高壓電源，此或用感應圈，則電源為尋常電池，或用發電機，則電源為交流。此電流須經過一上級變壓器，使電壓變高，蓋欲充電於凝電瓶非高壓不可

也。高壓器又先經過一鎊，爲開關之用。其二爲凝電器，如來丁瓶，或數個來丁瓶相連，或以玻璃片兩面黏錫箔，亦可代來丁瓶。其三有兩圈相對，一圈連來丁瓶，其第二圈上通天線，下入土中，其效用已詳前節。惟第二圈尙須加接一圈爲「協調之用」，再通天線。協調之義，俟後言之。故電路有二，一爲正路，凝電器與線圈是也。一爲副路，天線與線圈是也。正路之間，尙有一火花隙，其最單簡者爲兩銅球，或閉在匣內，或全體外露。設電報生須發電，先連結正副兩路之各件，次協調適當，電池與感應圈或交流與變壓器亦連好。按鎊則電堆聚蓄電器上，火

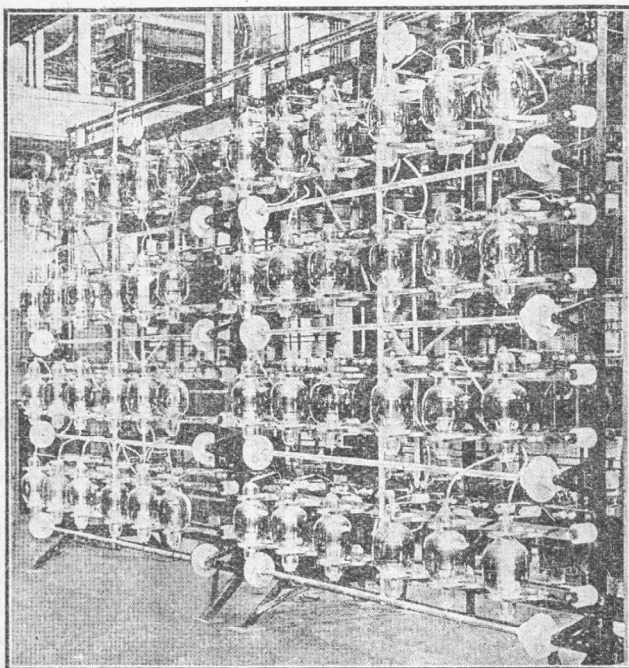


無線電話收送器連接圖

左爲送器，右爲收器。左A爲高周波率發電機，P與S爲正副感應線圈，爲凝電器，T爲話筒。發送處散出連續電波CW，隨話筒中之語音抑揚，由天線射出。右V爲真空管，R爲聽筒。按實用發生連續電波器爲三極真空管。

花一發，則發生電波，由第一圈換移至第二圈，於是電波由天線輻射而出矣。以按鑰之久暫，電波啣接相隨，而有短長之別，其長短之別，可爲電報之符號。平常電報之符號爲點線，拼合成字，無線電報亦用之，點由於啣接暫短之波，線由於啣接較長之波。故拍發電報，不論有線無線，其按鑰手法無異。

發電報之法既明，次當考究收電報之法，據法拉第著名之感應電流試驗，凡銅線割切力線，則發生電流，不論銅線動，或磁力線動。天線散出之波既爲電力與磁力，故設遇銅絲與之交割，則銅線亦發生振動電流，其振動率與原來者無差。惟發電台之天線上其電流強，收電台之天線上其電流弱，故收接器必須特別靈於感覺。今所用者爲電話聽筒，然以之直接天線，電流振動率太高，聽筒薄片不能與之相應，故必無效，若加連一電活門，則靈驗矣。電活門之作用似抽氣筒之活門，僅能開放一面，空氣入者不能出，出者不能入。電活門之作用，使電專趨一向，變交流爲直流。常用活門爲整流晶，晶之種類甚多，通用之晶爲矽化炭(carborundum)，氮化鋅(zincite)，硫化鐵(iron pyrite)等等。晶有特別電性，卽所謂活門之作用，故以晶連接聽筒，振動電流自天線經過整流晶，至聽筒專趨一向，不復往復顫動。於是聽筒發音，長短有節奏，短音由於啣接短列之波浪，長音由於長列之波浪，



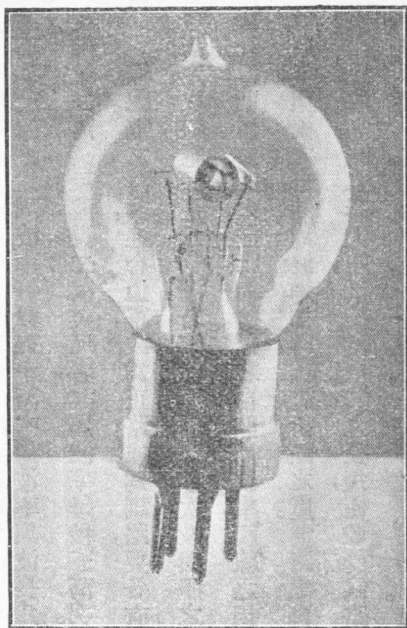
卡那賈馬可尼無線電台之世界最大真空管活門組

凡四十八後加八，共五十六，凡接收極遠電報，須極靈活門，法以數十活門相連。

長音短音，隨發電人按鑰之久長而變，西文之字母，中文之數目，卽長音短音所拼成也。

近數年來通行之電活門爲真空管，此爲最新發明，其單簡者似一電燈泡，惟電燈泡祇有一燈絲，此則燈絲之外尙有一圓筒，以金類爲之，

與燈絲完全隔開。燈絲一通電流，白熱發光，電子自燈絲射出。電子本帶負電，若圓筒另接電池之正極，燈絲接負極，則電子被吸，令圓筒與燈絲之間可通電流。若圓筒接電池之負極，則電子被推拒，電



真空管活門

未曾有，故一時風行。考其初起，源於純粹科學之研究，其後應用於無線電，而其效大著。佛來銘有言：『真空管之用，尚不限於偵接電浪，即發生振動電流，及擴大電流，無線電報器具等亦用之而大有

改革，非復舊日面目。今發軔之初功效已彰，前途尙未可限量也。」

三

無線電報所用之波長無定，視其所用如何。平常海船所用者，波長約二千英尺，波行速度約十萬萬英尺，故波之周波率每秒五十萬次。周波率與波長爲反比例，若大無線電台發出電波，自六千英尺至二萬英尺，波長二萬英尺者，其周波率每秒五萬次。

無線電之器具，連合通路，或爲正路，或爲副路，要各有其自然周波率，如絃管之音，高低視其長短而定。取線懸球，是爲單擺。若頻推擺球，每秒次數與擺之自然周波率相應，用力雖小，而球之擺動甚壯，否則用力雖大，擺動尙微。擺之自然周波率，視線之長短而異。又如軍隊過橋，步武整齊，使其足步頻率，與橋之自然周波率相符，橋有折斷之虞。電路之自然周波率，大抵視其線圈及凝電器之大小而定。故加減二器大小，猶變更單擺之長短，使收受電路之長短，調度恰當，與發來電波周波率相合，則響應最靈。電話聽筒，聲音最亮，吾人謂之兩方協調。協調之義，亦猶調絃，更張絃之長短，緩急大小，則音高低如意。無線電台林立，波長短不同，故能收甲台之電，未必能接乙台，因與甲台協調者未

曾與乙台協調也。利用協調之法，故可擇收一無線電報。若雙方須守秘密，則預約一定之波長，故調協電路，與來波相應，猶琴師調絃與笛並奏，須發音高下相同，方能合樂。

四

無線電報之理既明，其電話之理亦易曉。聲之傳播藉空氣波動，尋常電話發聲筒與聽筒俱有一薄片，隨空氣振動。薄片之後，有無數炭屑，以此通電流。當話筒薄片振動，炭屑疏密變更，其電阻大小隨之而變，故電流之強弱，亦隨之而變。此變電流由線至聽筒，藉磁力作用，亦使聽筒薄片振動，激蕩空氣，原來聲音又重出矣。無線電話不藉線傳變電流，惟藉電波耳，且不能用減幅電波，必用連續電波。當話筒連接於無線電之發送電路時，振動電流間接受聲波之抑揚，電波發出，曲折不爽，收電者持聽筒，聞人聲音，與平常電報無異。惟平常話筒電流甚小，此則電流較大，易致燬壞耳。故其構造困難，現有數種，可以合用，如串連幾個電話筒，並以水冷之，亦一法也。

英物理學家洛治爵士 (Sir Oliver Lodge) 言：『無線電話之奇，遠軼無線電報。蓋電報不過緣機械的繼電器，發出簡陋之點線符號，欲使機械的動作，能隨人聲微妙之變動，舍利用電子，何由

奏效。今人以之，假電波爲媒介，遂使千里外可以對談……電波之周波率，每秒數百萬，豈人耳與器械所能與之相應，亦惟電子能之耳。倘使除外來電波外，就地另發生電波，祇須旁設一小真空管，爲發生振動電流之用。設二電波周率相差數百，於是交湊而成節拍，間接使空氣振動則發樂音矣。外來電波受人聲之抑揚，雖交湊亦不爽其原來曲折，故持聽筒，歷歷可聞。」

節拍之法，初尙不知採用。始用電活門，爲整流晶之類。後人發明真空管，美人福勒斯特（Lee Forgas）又加以改良，用之爲擴大器。此以電子爲繼電器，數真空管相連，則初振動雖微，可以加強百千倍。故發電話時，自第一管經過之電振動，其振動受人聲間接之抑揚，尙毋庸以之感動天線，傳至以太，且先激刺第二活門。第二活門職在擴大，令振動之強電波，可以橫越大西洋，此可於幾分之一秒時得之。至是電波雖以波動之範圍擴大而致微弱，然不失原來面目，聲波振動之狀，仍然保存，可以重發，更藉增強之法，使之易於聽聞也。

參考書目

Bangay, *The Elementary Principles of Wireless Telegraphy.*

Bucher, Practical Wireless Telegraphy.

*Fleming, The Wonders of Wireless Telegraphy and Waves and Ripples in Water,
Air, and Ether.*