

54
英國布拉格教授通俗實驗演講

電

楊孝述譯

中國科學圖書儀器公司發行



電

布 拉 格 著

(英國維多利亞大學物理學教授)

楊 孝 述 譯

1951.7.16



中國科學圖書儀器公司發行



序

英國皇家學院在每年耶蘇聖誕節的時候，必延聘國內科學名人作有系統的公開通俗實驗演講，由來已久。1934年主講人爲維多利亞大學物理學教授布拉格博士 (W.L. Bragg, Longworthy Professor of Physics in the Victoria University of Manchester)，講題爲「電」，共計六講：(1)電是什麼，(2)電如何流動，(3)電動機和發電機，(4)電的供給，(5)電報和電話，(6)振動電路。其演講文於1935年十二月十四日起由倫敦新聞畫報 (Illustrated London News) 陸續發表。此項演講專爲少年聽衆而作，把人類最偉大的一種發見，最繁複的諸般現象，用淺顯的言辭，簡明的表演，在僅僅六次演講中，將電的最基本的原理和各種應用，括賅提要，透澈地演說出來，實爲難能可貴。讀此一冊，定能獲得電的基本觀念，發生不少研究興趣。全部譯文曾分期刊載本年科學畫報，茲特輯成單行本，藉便初習電學者之瀏覽焉。

二十五年十二月譯者記。

目 錄

| | | |
|-----|---------|----|
| 第一講 | 電是什麼 | 1 |
| 第二講 | 電怎樣流動 | 12 |
| 第三講 | 電動機和發電機 | 23 |
| 第四講 | 電的供給 | 34 |
| 第五講 | 電報和電話 | 46 |
| 第六講 | 振動電路 | 56 |

第一講 電是什麼

電在今日，其用途之繁，實不可計數。它供給我們光和熱。它是把能力從一處傳遞到他處的最便利的方法；能力從中央發電廠發生，由電纜傳遞到需要能力的許多工廠和家屋中。它把遞信的方法完全改變，最初有電報，後來有電話，最後又有無線電，使我們能同地球對面的朋友通信，像與貼鄰朋友通信一般地容易而迅速。它是人類的一個新僕人，替我們工作的方法，真要使百年前的人們視為幻術呢。

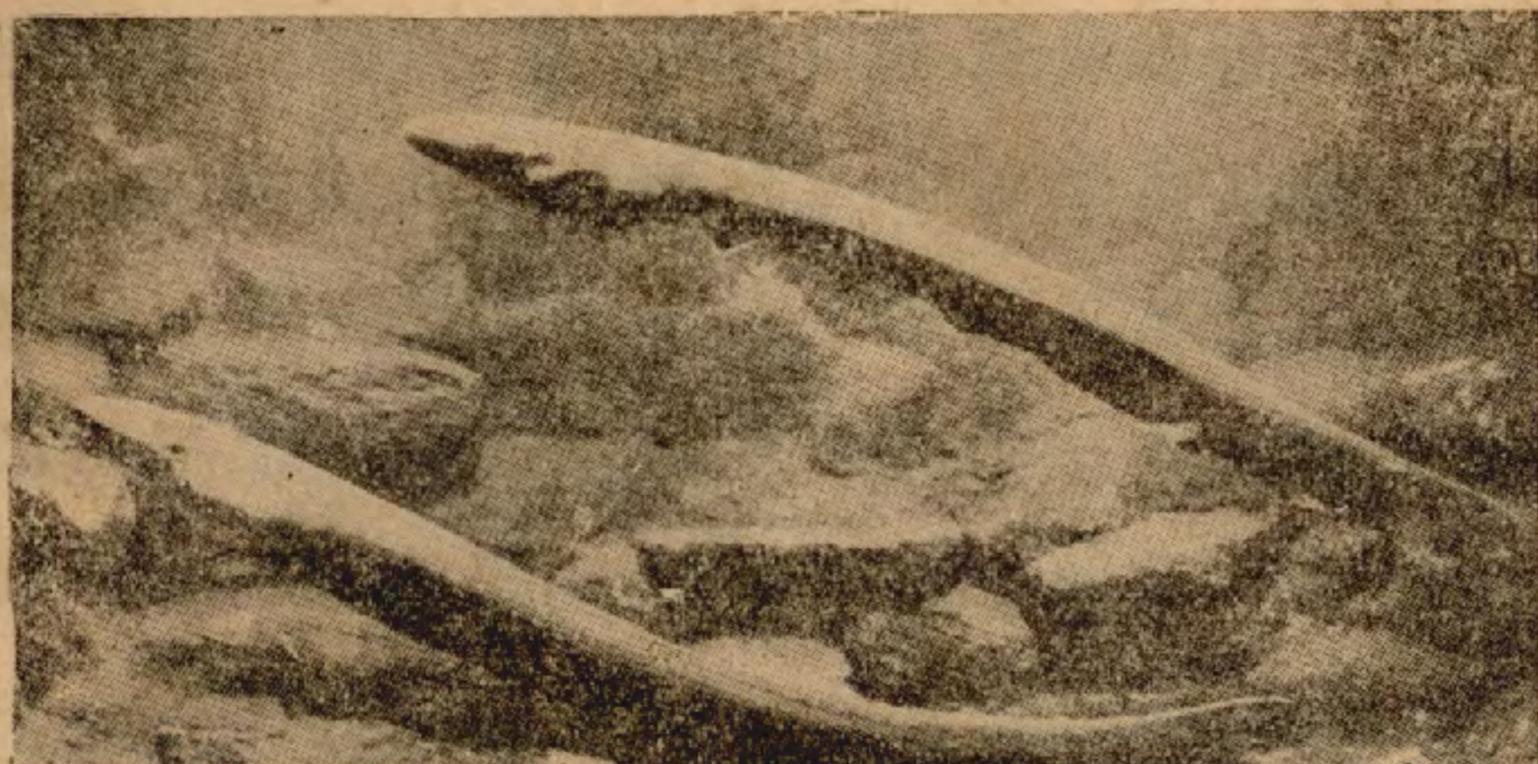
但是我們雖然在日常生活中常常用到電器，而大多數人却感覺到要了解它們怎樣地工作，真是一件極難的事。任何一個有機械學頭腦的人，都能夠把一架機器拆散，能夠知道它各個不同部分的功用。我們從經驗方面熟悉了輪軸，槓桿和齒輪，而且自然而然地知道它們怎樣地彼此作用。但在我們檢查一架電機的各部的時候，情形就不同了。一個沒有特別研究過電學的人，對於電機各部的功用，一定是莫明其妙的。人們大都很難於說明汽車中的一架電動機，或它的相反者——發電

電

機——是怎樣地動作的。家屋中的一架電能計(俗稱火表),看去好像是被幻術所轉動,而且能夠數出從發電廠發來的電能的單位數目。奇呀!它是怎麼造成的呢?

爲什麼「火表」能夠轉動得這樣奇怪?爲什麼關於電的動作有這樣神祕?說句真話,是因爲我們直至近來才把電的祕密從自然界中勉強地揭開,而且對於我們的新征服者,還是沒有了解的緣故。自然界中有無數關於機械的例子,我們已熟悉風力,流水的力,重力,輕重,快慢和運動量。從這些天然現象產生了我們玩具中的齒輪和輪軸,這些東西人類早已在若干年代以前爲着需要而發明了。但是電流,電荷和用電流所製成的磁鐵,在自然界中並無天然發生而存在的大自然間或以雷雨的形式來顯示放電,但是天空的電閃却沒有給予我們以放電的確切認識。此外還有一種叫做電鰩的魚,和電鰻(圖一)都具有一種法術,能使它們的俘虜或敵人受到電擊。

雖然如此,自然界却早已有了很微弱的徵兆,暗示人們能利用這種新力量來達其願望。電的發現是數千年人類歷史上最偉大的事件之一,而對於將來社會的發展實有無限的影響。



圖一 魚中電：紐約水族館中從巴西國採來的電鰻(學名 *Electrophorus electricus*)

這種魚放出強烈的電震，且能調節它的強度；它所射出的電流恰好足以使牠的捕獲物癱瘓而不致其死命，近頭部所見的隆起處是牠的飽食的胃。

電是什麼？最好的許多答案中之一是在羅塞爾 (Bertrand Russel) 寫的『原子初步』一書中。他說：『電非物，乃是凡物行爲所取之一道』。

假使我們把它推廣了說：凡物都是電，或者在我們把凡物精切地分析時，電是題給凡物行爲所取之道的一個名字。那麼我們可以知道，對於這問題是沒有一個最後的答案的。我們能夠用電來解釋任何物的行爲，但是我們不能解釋電的本身。把物分析總有一些最後的東西可以供我們研究，但是不能把它們解釋。在皇家學院的聖誕節演講中，我的目的就是要用實驗來向我少

國家圖書館



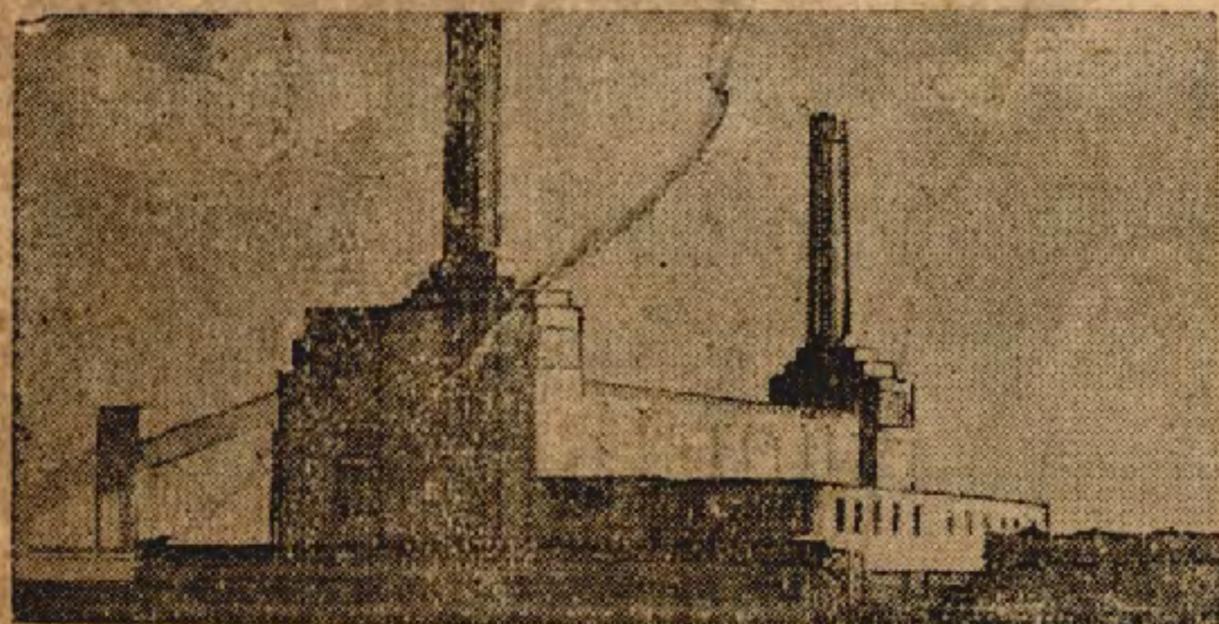
002409585

年聽衆，解釋這種叫做『電』的行爲，然後再告訴他們，倘使他們一旦熟諳了這種行爲，而且對於它得到了一個本能的感覺之後，他們要了解一架電動機或一個無錄電真空管，真是和明瞭一架水車或一架打字機一般地容易了。這次各演講中所插的圖畫，就是表示我所用許多實驗中的幾個。

在我做小孩子的時候，對於用『電』字的地方，有許多很不同的東西，



圖二 把硬橡膠棒摩擦，我們能使它起電。



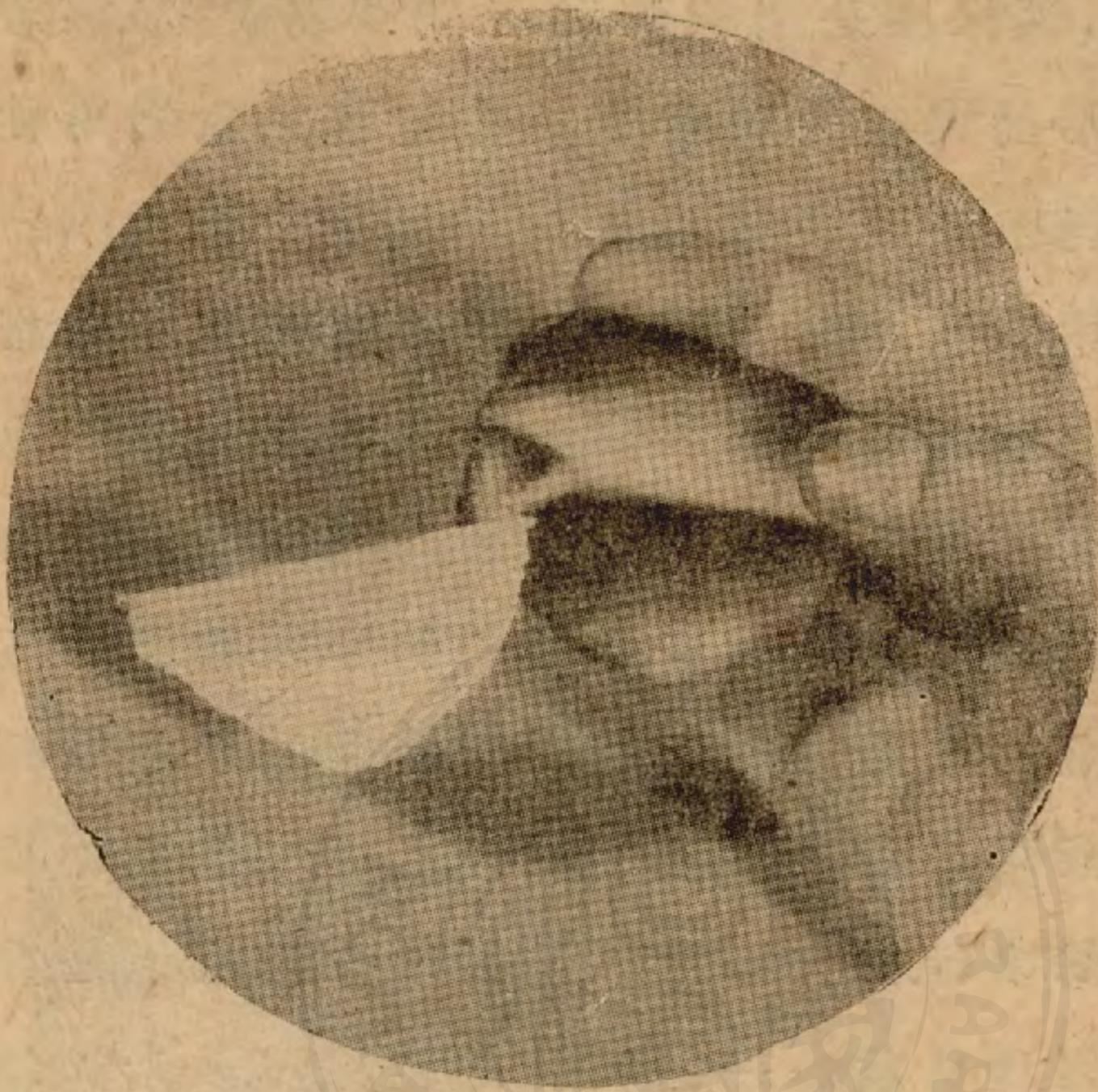
圖三 這是一所倫敦的巨大發電廠，發出電來供給光和力。發電機所發出的電壓是11,000 伏特，再用變壓器把這電壓升高到66,000 伏特，以便把電傳布到各處。

多很不同的東西，真使我迷惑極了。假使一個人在乾燥的天氣裏梳他的頭髮，就有爆裂聲發生，在黑暗中他並且能看見火花。人家告訴他這就是『電』。摩擦某種東西能夠起電，最好的方法之一是用一塊法蘭絨去摩擦一根硬橡

膠棒(見圖二,硬橡膠是用橡膠和着硫磺製成的).同時如圖三中所示的大電力廠也說是在造『電』,我們可從它那兒買『電』來亮屋子呢.

在本講中,我只討論電荷,例如因摩擦而生的電;把發電廠留在以後再講.我們摩擦無論什麼東西,實際上都能使它們起電.可是大多數物體是所謂『導體』,起於導體上的電荷會立刻跑掉,像水漏過篩子一般.祇有起在某種物體上的電荷,能夠留在它所發生的地方,這種物體叫做絕緣體,如硬橡膠,玻璃,琥珀,或絲.但就是絕緣體也須乾燥的才行.在有極冷氣候的地方,且空氣是非常乾燥的,一條地毯就是一個很好的絕緣體.人走在地毯上,可以得到一個極大的電荷,走到門前執手之處去開門的時候,會有一個很大的電花射去,這人當感到刺痛.我在美國時所認識的一個小女孩,在前年冬天她時常先在地毯上跳躍,然後把她的指節放近一隻睡在火爐前的狗的鼻子,以資取樂.那隻狗也懂得這小孩子的頑皮生活.

一根硬橡膠棒被摩擦而起電時,它能發生引力而拾起如紙屑等的輕物.古人早已發現琥珀被摩擦後能拾起瑣屑(圖四),英文 Electricity (電) 這一字,就是從希



圖四 琥珀拾起紙屑。琥珀的希臘文 Electron，這是英文中 Electricity (電) 名稱的起源。

布拉格教授說：「古人發現受擦的琥珀能拾起瑣屑，「電」的一名詞是從希臘字琥珀而來」。圖中所示的那塊琥珀是英國皇家學會之物，已經用過一百年。據說在公元前六百年，希臘賢哲泰利斯 (Thales of Miletus) 已經知道琥珀的吸引力。英女王依利薩伯的御醫吉爾柏特 (William Gilbert, 1544-1603年) 試驗得許多東西具有同樣的吸引力，他稱為 “electric” (電)。寫做拉丁文時，他用一句短語 [vis electria] (意思是電力)。“electricity” (電) 的一字最先見於1650年查理敦 (Walter Charleton) 所著「三異論」 (Ternary of Paradoxes) 一書中。

臘字[琥珀]而來。要表示這種引力，我們可從演講廳的天花板上用一條長線懸起一塊掛台，請一個孩子躺在上面 (見圖六)。我靠近他的脚，握着一根摩擦過的硬橡膠棒，就能夠把他拉轉，先向一方向，再向另一方向。從實驗，我們立刻知道電有相反

的兩種；爲
便利起見，
就稱一種
爲陽電或
正電，稱另
一種爲陰

電或負電。

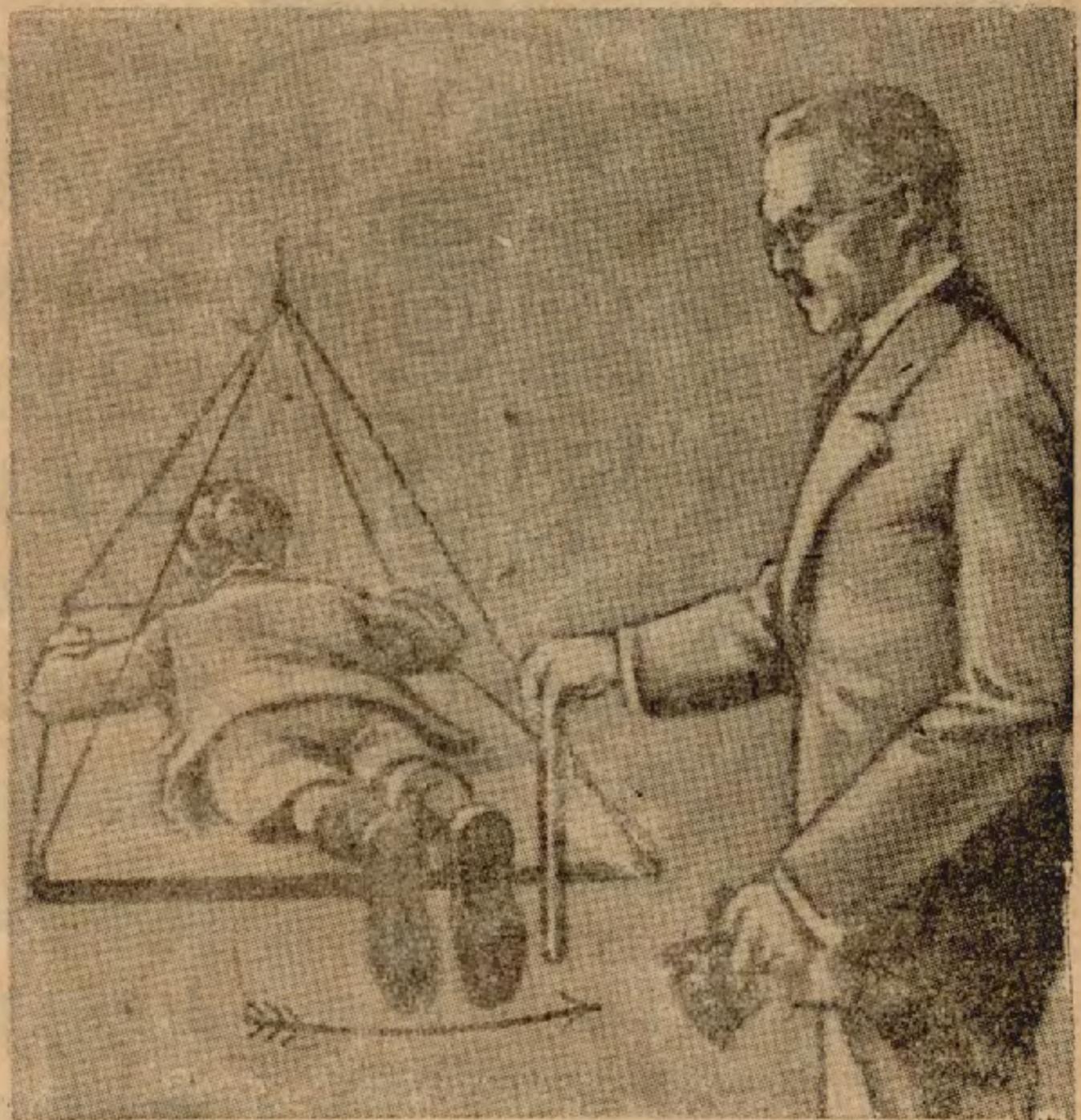
一根硬橡
膠棒被法
蘭絨摩擦
時，它帶陰
電而法蘭
絨帶陽電。
同類電荷
互相推斥，
異類電荷
互相吸引。

我的

助手和我站在兩只絕緣的台上(見圖七)。這兩個矮台
是先用一具起電機來使它們帶電的；我們中的一人帶



吉爾柏特在英國女王依利薩伯面前試驗琥珀的引力。



圖六 在這實驗中，把那根因摩擦而帶電的棒放近
這童子的身旁，就發生吸引力，足以把他拉轉。



圖七 實驗者站在帶着相反電荷的二只絕緣的矮凳上。他們吹起肥皂泡，每個人所吹的泡被他自身所推斥，而被另一人所吸引。

着正電，另一人帶負電。我們大家吹起肥皂泡，我的肥皂泡離我而衝出，因為牠們帶着和我同樣的電，所以牠們從空氣中飛向我的對方去，而對方的肥皂泡却衝到我這兒來。

這種相吸和相拒的作用，可再用一只從鋁箔上剪出來的小蝴蝶和一根帶電的硬橡膠棒來表演（圖八）。這蝴蝶起初衝到棒上，但是一經接觸，分得了棒上的一部份電荷，就猛烈地被推開去了。我們

可再做一種遊戲，把這根硬橡膠棒移近那蝴蝶，在約離一尺遠的地方去指揮它，就可使它在空中飛翔，好像真的蝴蝶一般。倘使一個人把一個指頭靠近它，它就會衝

到指頭上而失去它的電荷，因此再飛回到棒上去，這時又被棒所推斥了。這個蝴蝶比賽確是一種十分有趣的室內遊戲呢。

有幾種想像圖，很能幫助我們獲得電的推斥和吸引作用的觀念。大科學家法拉第(Michael Faraday)所常用的『力線』一種說法，就是有助於這一方面的。凡物都是由帶陽電的質點和帶陰電的質點

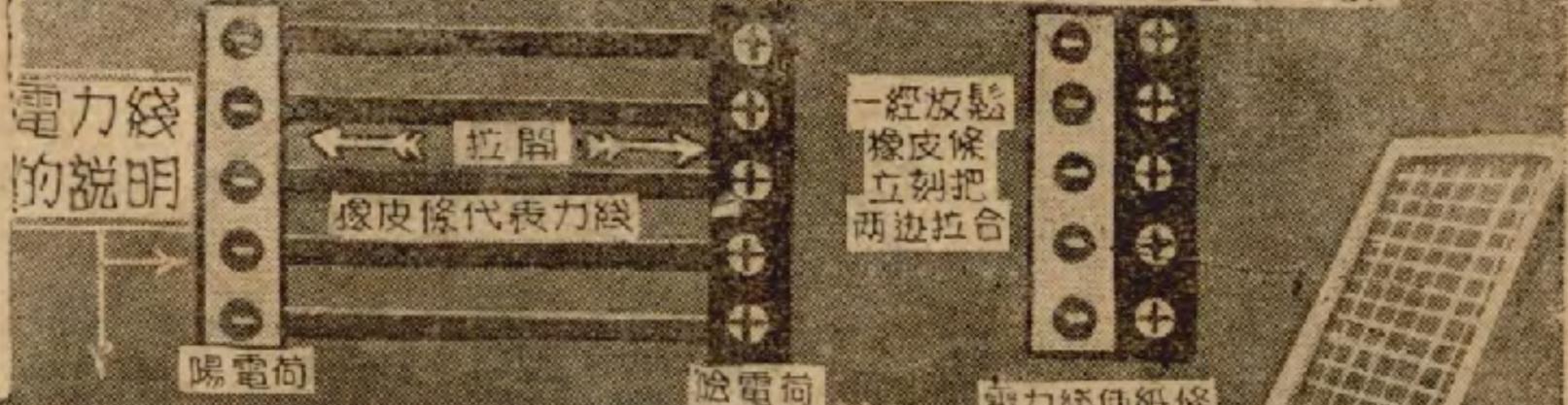
所造成，但是在通常狀態之下，它們的電荷是恰好互相中和的。我們摩擦一物時，就把它的兩種電荷撕了開來。我們可設想有一種看不見而有彈性的線，從陽電荷綁到陰電荷。當陰陽二電被分開的時候，這種力線是被拉開而在緊張的狀態。所以它們常要把帶着相反電的二



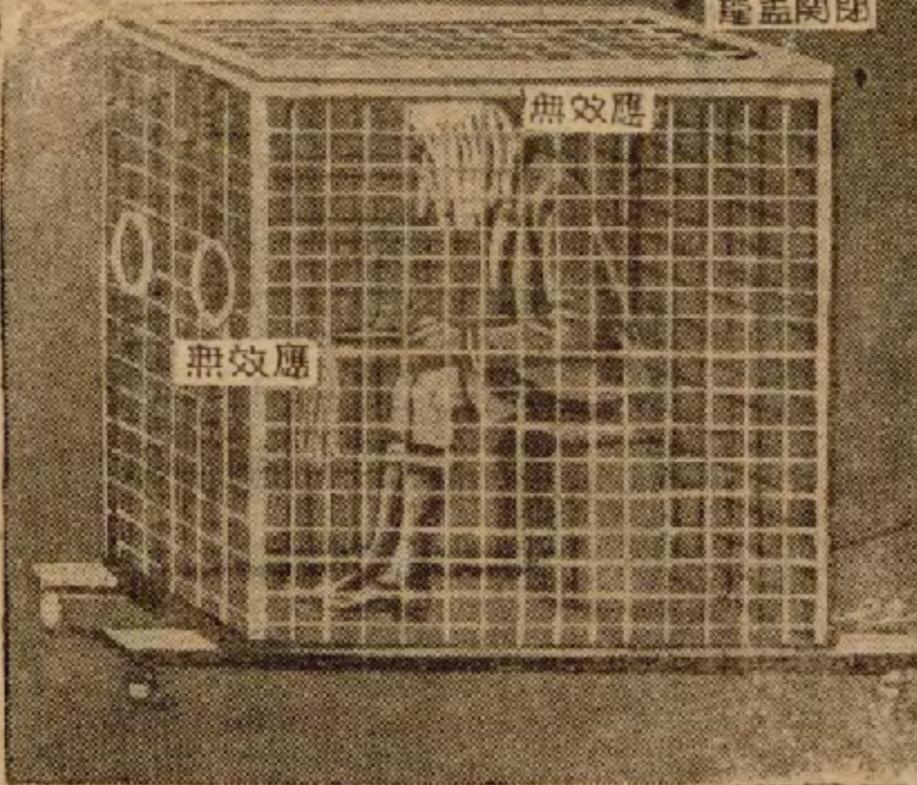
圖八 這只鋁箔製的蝴蝶飛到帶電的棒上，因此帶着和棒上同類電荷。倘使那蝴蝶停到一朵紙花（非導體）上，就被吸引，但倘使停到一個人的手（導體）上，就被推斥。

圖九 (譯者按)籠外面的電力綫，一頭在籠上或紙條上，一頭在附近的地板或任何物件上，故能把紙條拉直。紙條上相同的電相斥，故能把紙條分開。

我們可以想像“電力綫”是緊張於相反電荷之間的彈性綫，常要把電荷拉攏來

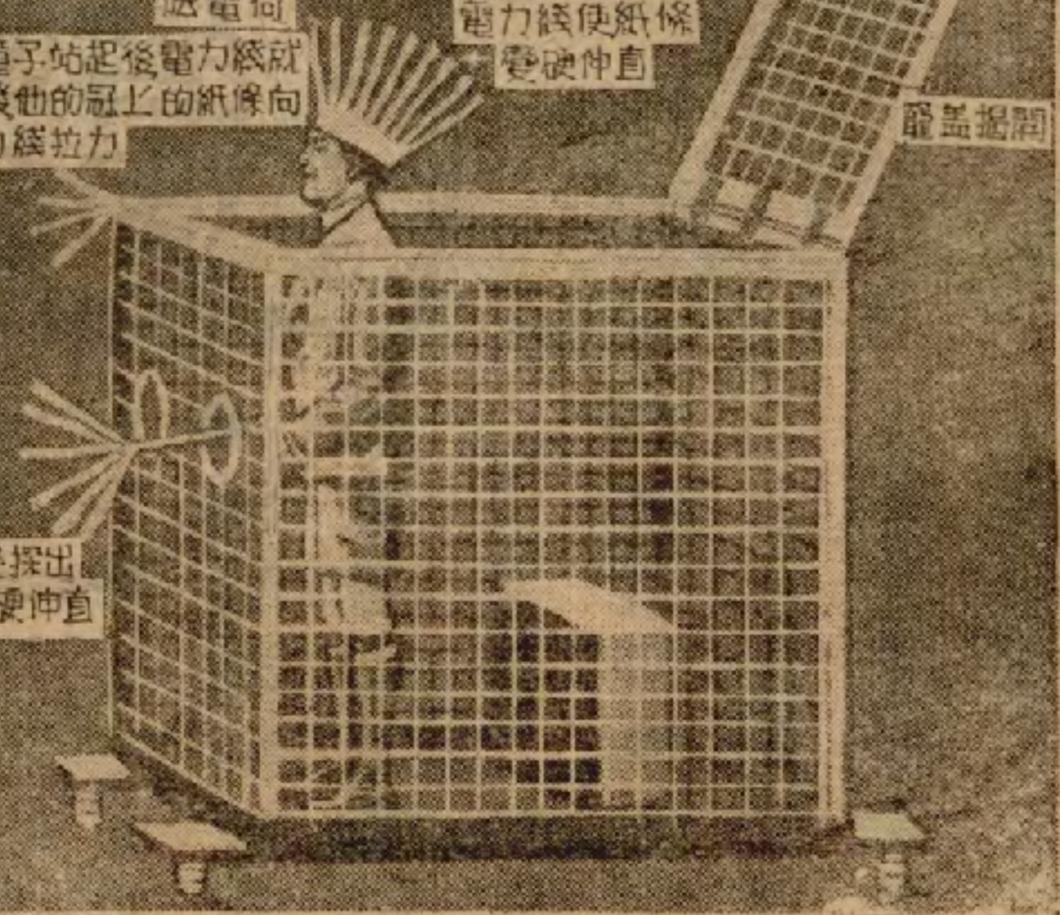


線籠中的電子不覺得什麼因為電子帶電甚強烈但籠內沒有電力綫。



把籠蓋一開電子站起後電力綫就從他的上出發他的冠上的紙條向上伸直這是力綫拉力的作用。

捧上的紙條探出籠外立刻變硬伸直



物體再拉攏來(觀圖九上部)。

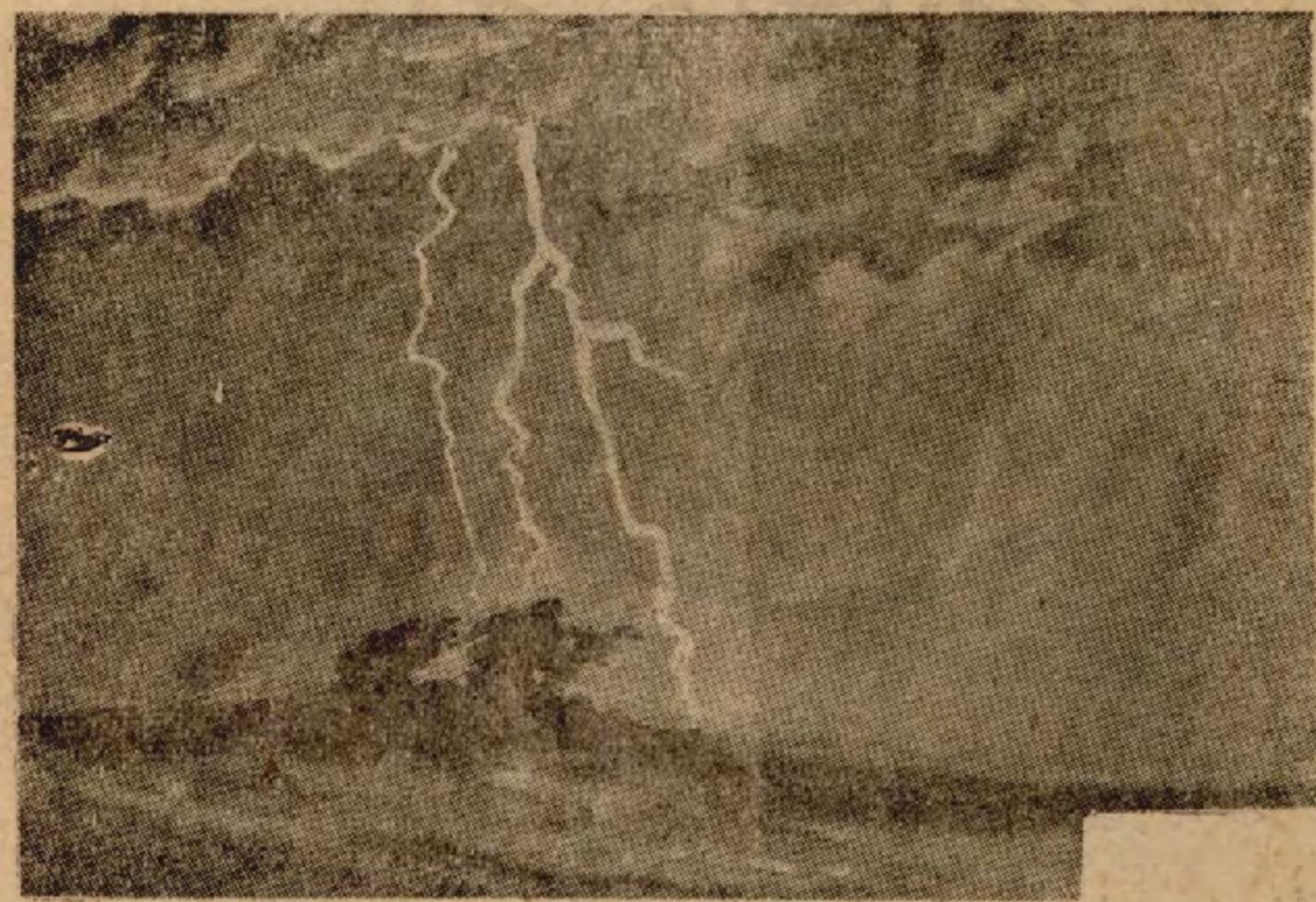
我們最後的實驗是使一只大的,絕緣的錄*籠帶電,有一個小孩站在籠裏,這是法拉第的一個老實驗(圖九下部)。雖然這籠子帶電很強,甚至我們能從它上面得到電花,但是這小孩却不覺得什麼,因為彈性的力線是從籠的外面向外展開的,籠內沒有力線。在開了籠蓋,使他的頭伸出的時候,有些力線就衝到他所帶的紙條帽子上,把紙條向空中拉上去。只有在籠蓋關閉的時候,紙條又垂下來。

*凡金屬製的線,如銅線,鐵線等,統稱曰錄,仍讀作線,以別於路線,

力線,直線等之線,以後仿此。

第二講 電怎樣流動

在第一講中，我們已知道可用摩擦法使物體起電。倘使把帶電物體絕緣了，它能保留它的電荷；但是若把它接通到相反的電荷或地上，它的電荷就放一電花而漏去。在雷雨中，一朵雲因帶電水滴的生成而起電，這雲的電衝放到地或別一雲中時，即成電閃（圖一）。放電極



圖一 大自然沒有把連續不息的電流供給我們。天空中驚人的電閃是一霎時的，它不過是極微量的電的過路。一只手電筒電池裏的電量要比它大幾倍呢。

快，在它發生的時間內，我們決沒有機會去研究它。

約在1800年，有一個劃時代的發見，即如何使

電流流動不息的發見。電器的實際使用與電現象的科學研究均是從這個發見開始的。從那時起，人們才能造

出一個連續的定電流，且對電流做起種種試驗。這個發見是伏打 (Volta) 的成就，在他給英國皇家學會會長班克斯爵士 (Sir Joseph Banks) 的一封信裏發表出來。伏打在他的信裏說，他對於電流的性質做了好幾年試驗，才敢把所得的結果送交一個學會發表，足見當時研究科學的人很具從容恬靜的態度，現在的人倘使一有重要的發見，必定立刻撰文刊出，惟恐別人搶先發表啦。

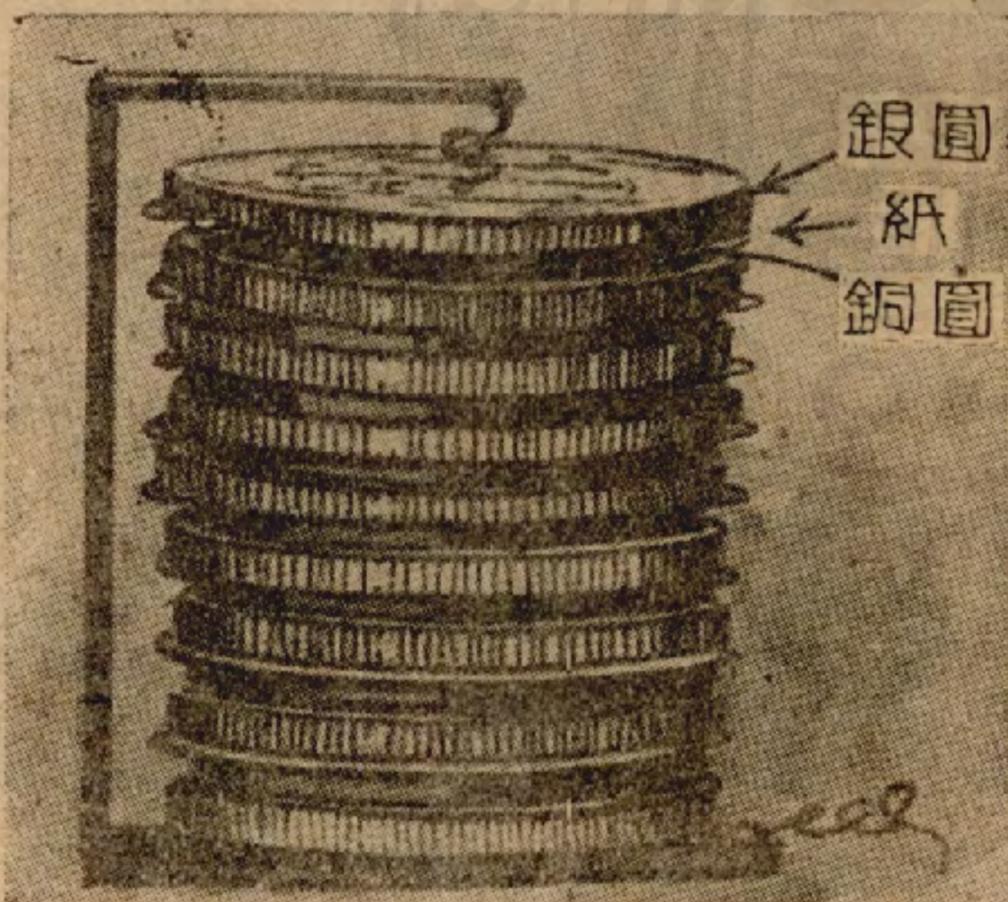
伏打創造第一只電池，就是歷史上著名的『伏打電堆』 (Volta Pile圖二)。電堆的構造是一疊不同的金屬圓片，如銅和鋅或銀和鋅，每兩片之間隔着一張在鹽溶液或稀酸中浸過的吸墨水紙 (伏打用皮革)。它們互相堆疊於一定的次序，銅——紙——鋅——銅——紙——鋅，以下類推。今若把底片接地，即可測知其頂片已被起電，正如一根硬橡膠棍因被擦而起電一樣。這種電荷，甚是微弱，但是用一精密的器具，如金箔驗電器來檢驗，也很容易把它表顯出來。所謂金箔驗電器有二張金箔，從一



圖二 產生連續電流的最初方法，是伏打所發明。他造出第一只電池，稱為伏打電池。

根銅桿的一端垂下，銅桿的另一端上裝着一小銅球。若把銅球接於任何帶電的物體，那二張金箔就會互相推開。電堆的帶電雖是這樣地微弱，但它的性質却和被擦而帶電的棒不同。其頂片能一次一次放電，然而放一次電總是再生一次電。實際上，若用一根錄從頂片接到底片，即有電流不斷地在錄中流過。但這電堆也不能永久有電流，因為電堆本身終究要衰竭，正如我們無錄電收音機中的電池，接通了多少時間之後會衰竭一樣。然而當時已經獲得了一種起電方法，不會自己一閃電而漏

去，却能維持連續的電流。



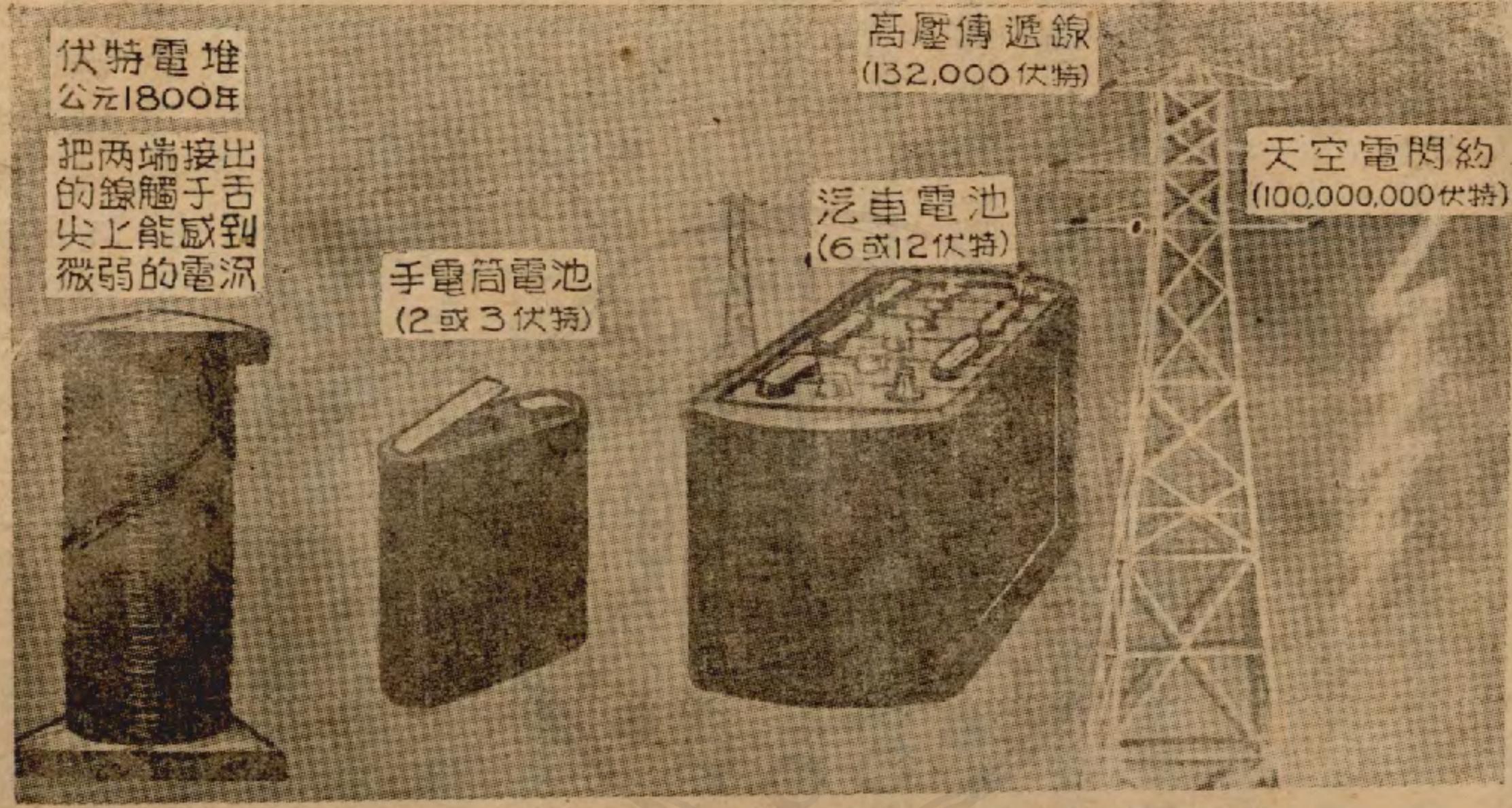
圖三 伏打的簡單電池可用錢幣（銀和銅），間以鹽溶液中浸過的紙來構成。頂上一枚錢幣已被起電，可用一只驗電器來顯示，儘管把它一次一次放電，它總是帶電的。

在這演講中，我用我衣袋裏的零星錢幣和吸墨水紙製成一個伏打電堆（圖三），那吸墨水紙先在溶有少許食鹽的水中浸過。這個電堆的堆疊次序如下：
銀幣——紙——銅幣——
——銀幣——紙——銅幣。

用一個驗電器即可表示頂上銀幣的已帶電。你倘使從電堆的頂和底各接出一根銅線，而後把它們觸在你的舌尖上，就可覺得電流。它在你口中會給你一種特性的味兒和一種刺痛的感覺。

驅使電流從電堆的一端到他一端的壓力，用『伏特』(Volt)做單位來量計，這名稱是為紀念第一隻電池的發明人伏打而取的。一個手電筒電池的電壓有二或三伏特，汽車電池通常有十二伏特，高壓傳遞線可有132,000伏特，天空中電閃的電壓約有100,000,000伏特(圖四)。但是天空電閃一忽兒就過去，其所流的總電量(它的意義以後再講)甚小，不過類於我們手電筒電池的總電量而已。

一個電池是怎樣發電的呢？要明瞭這個，我們必須先探究電流是什麼。我們大家都知道如何能把電流用線(金屬之線)來引到我們家中的電燈，用綑在鋼塔上的電纜來引過鄉野，或者使它在道路旁的電報線上流過。倘使把線截斷，電流即停止；我們屋中用電鍵來開燈或關燈，就是採用這個方法。我們因此推想電線中總有什麼東西走過，但是很難明了這東西是什麼，因為在電流經過之後，那電線並無變化。可是我們却注意到電流經



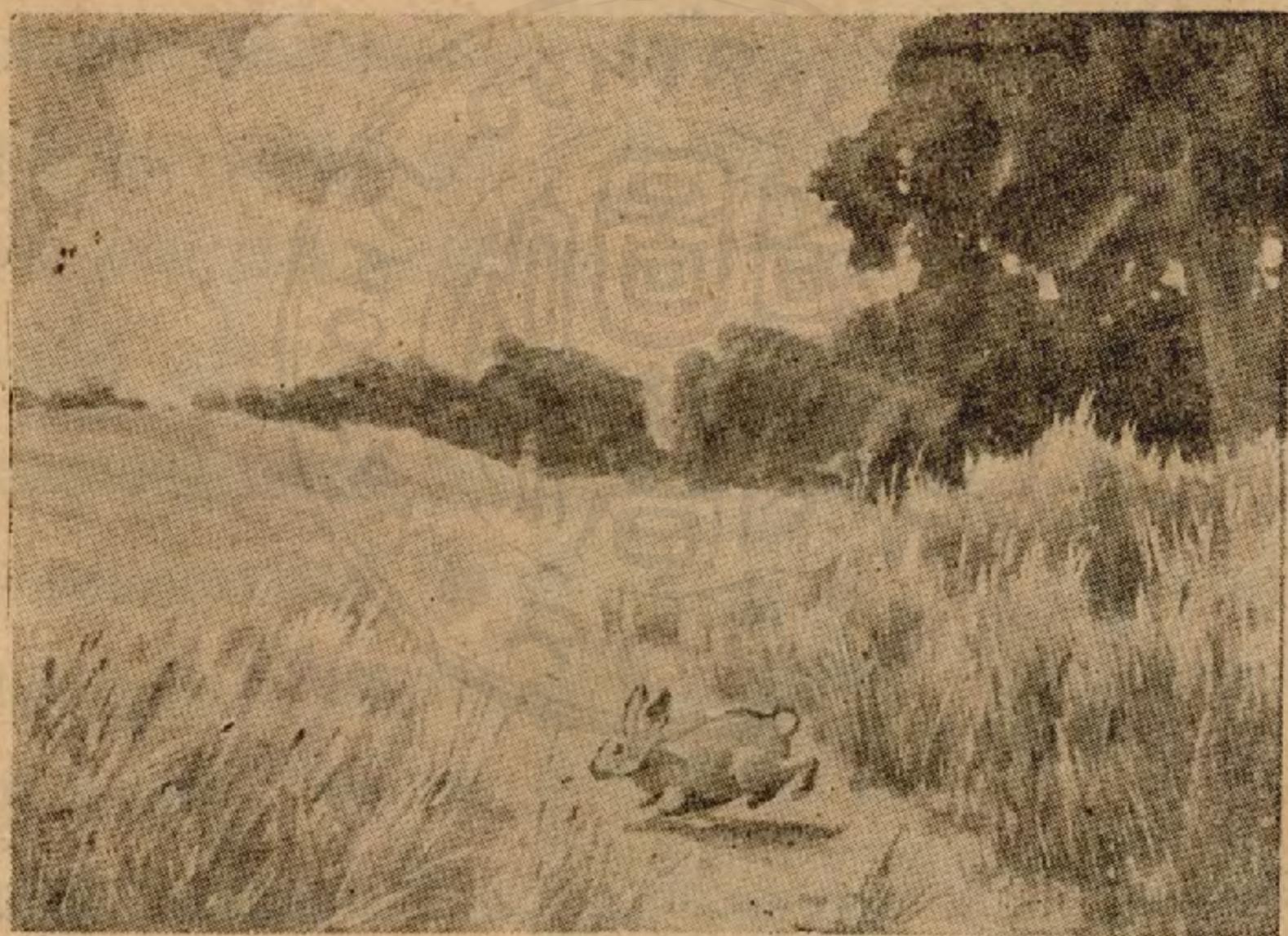
圖四 第一只電池和後來發展物的伏特數，與天空電閃的伏特數相比：

(從左至右)伏打電堆，手電筒電池，汽車電池，高壓傳遞綫和天空電閃。

這第一只電池，著名為伏打電堆，是意大利物理學家伏打伯爵(Count Alesandro Volta, 公元1745年至1827年)所發明，其說明載在1800年三月二十日他寫給英國皇家學會的一封信裏。後人為紀念他，乃稱電壓的單位為「伏特」。布萊格教授在這篇演講裏把圖中所示各件的伏打數和天空電的伏打數相比較。但是他指出，天空中雖有一萬萬伏特把電驅動，但其電閃一忽兒就完結，其所流的總電量甚小，不過類於我們手電筒電池的總電量。

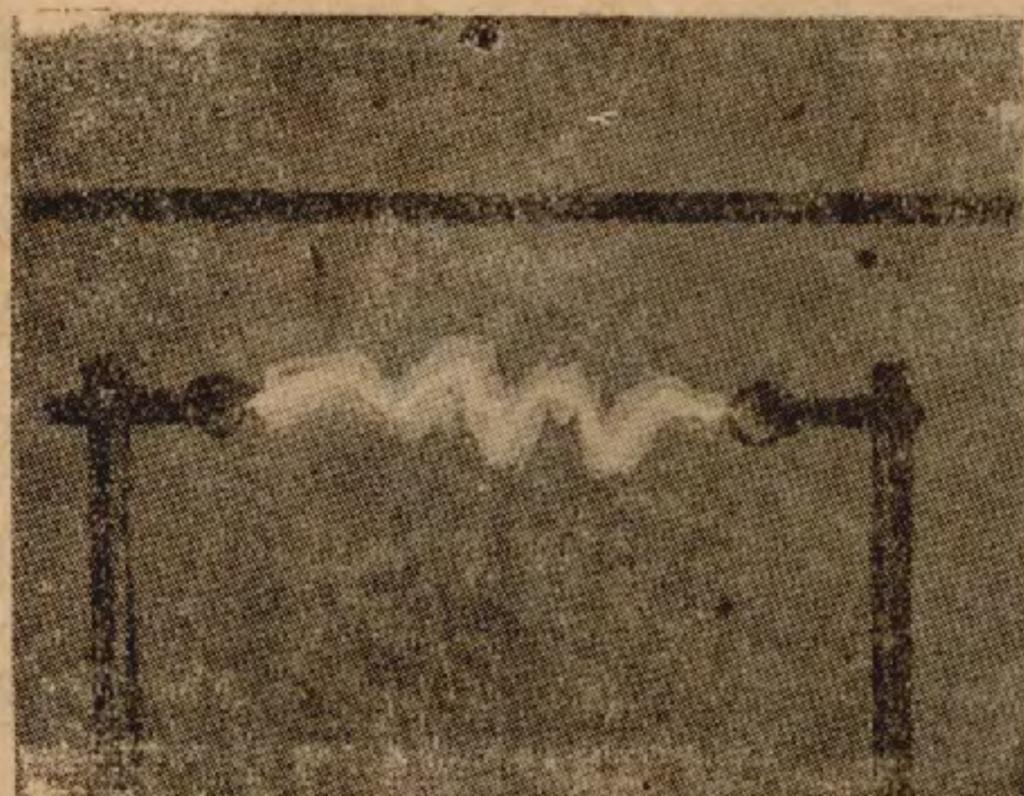
過時，那電線是發熱的，在一盞電燈裏更熱得發出光來。

要知道電線裏有什麼東西，我們必須把電池拿『出』來，且把它來試驗。有時我們在鄉間走路，從草葉的沙沙聲，能夠料到一隻小動物在草叢中跑過，但是還不知道它是一隻什麼東西，必須等到它跑過空地時才得認出（圖五）。我們也能使一個電流跑過一個沒有線的

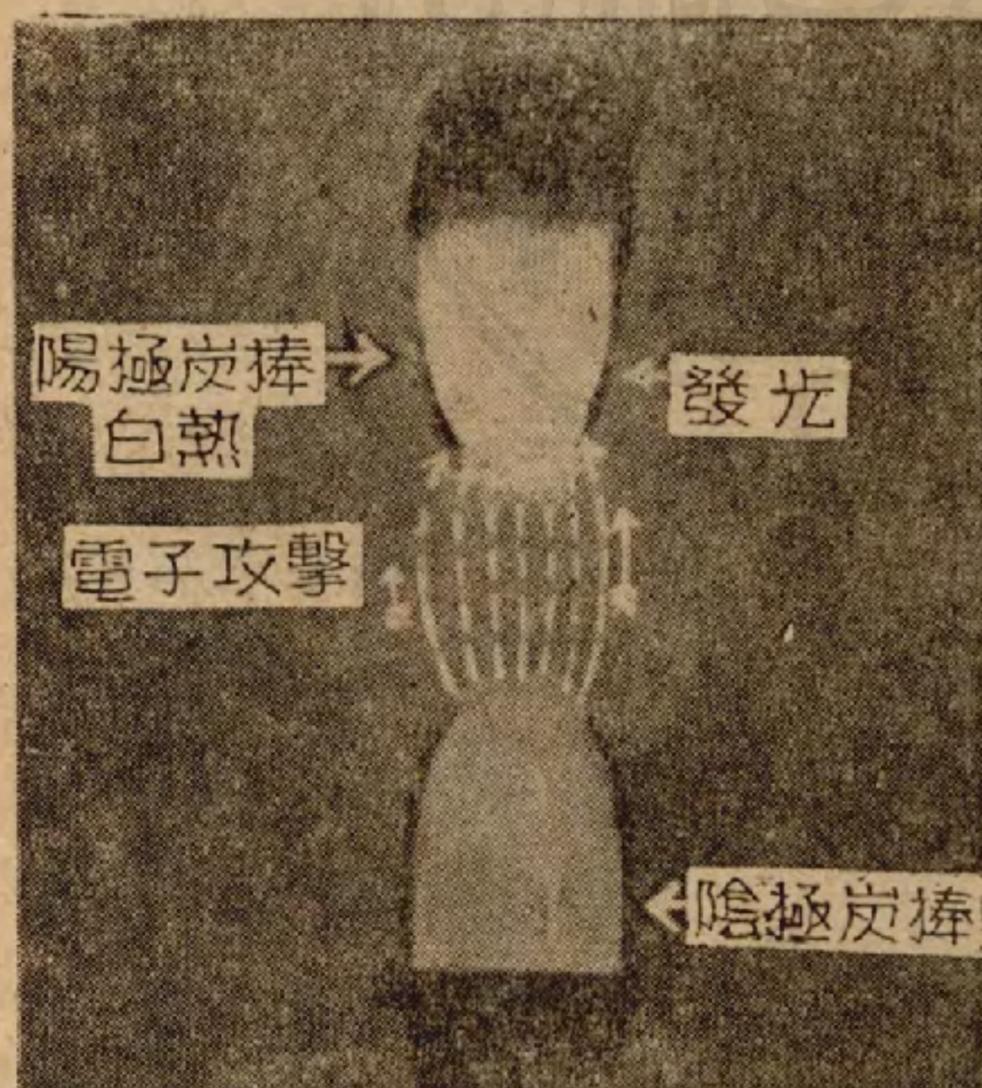


圖五 電在線中經過好比是一隻小動物在長草叢中經過。我們可以觀察草動，可是無從決定那動物是什麼，必須等到它跑過空地而被我們看見時才能認出。

空地（圖六）。例如在一個無線電裝置內的真空管中，當揚聲器的發聲電流在絲極和板極之間的空隙中跳過時，就可看到電流。對於這電流跳過空隙間的真相，我們



圖六 要知道電流流在金屬線中時有什麼事情發生，我們必須把電拿「出」來看。若使它跳過一個空隙，我們就可知道它是一股電子流。



圖七 我們能夠在電弧中看見電的過路。它在兩炭棒電極之間越過時，電子把陽極炭棒撞擊而使它白熱。

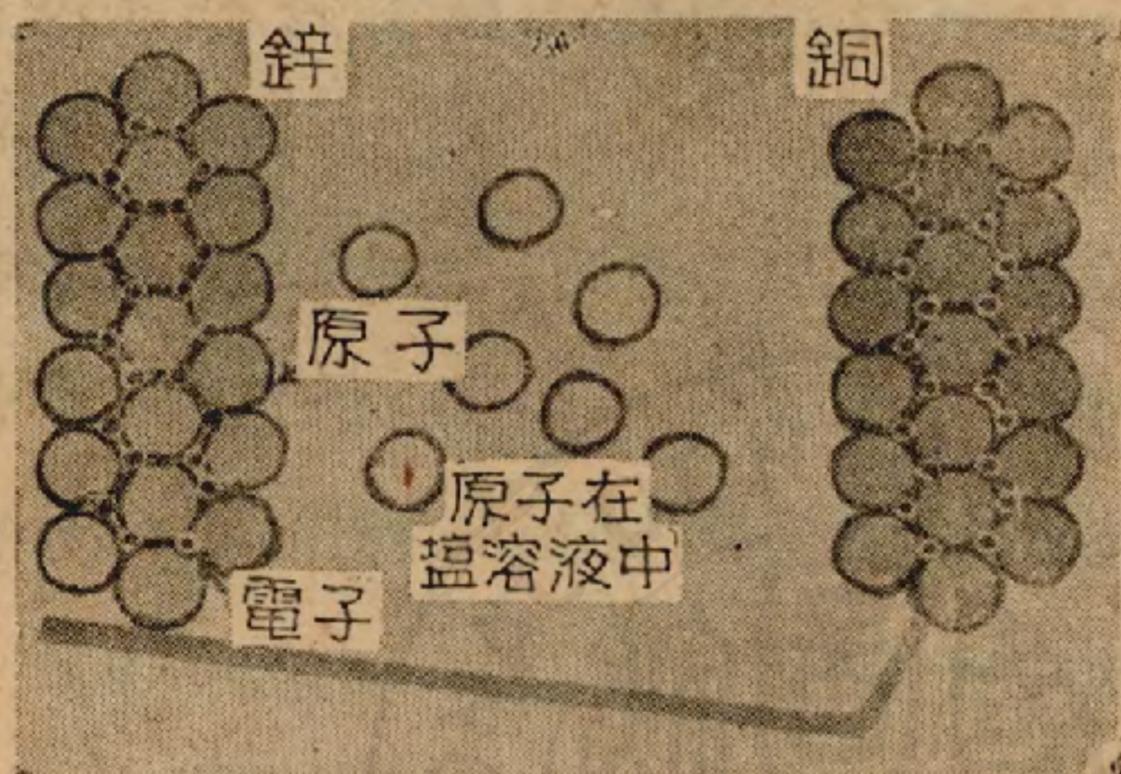
可以用一個投射在屏上的電弧影子來說明。把二根碳棒接於總電線上，先令它們相觸一下，而後把它們分開，就有電流在二碳棒之間不斷地流過，那衝過這空隙的東西，把陽極電棒的溫度升高到發出白熾的光來（就是弧光燈）（圖七）。

最先啓示電流的性質者是湯姆孫爵士 (Sir J.J. Thompson)。他對於經過真空管的電流做了許多實驗。電流是由一股荷陰電的渺小物體，叫做電子的所組成。此種質點比原子小得多，實際上，原子是

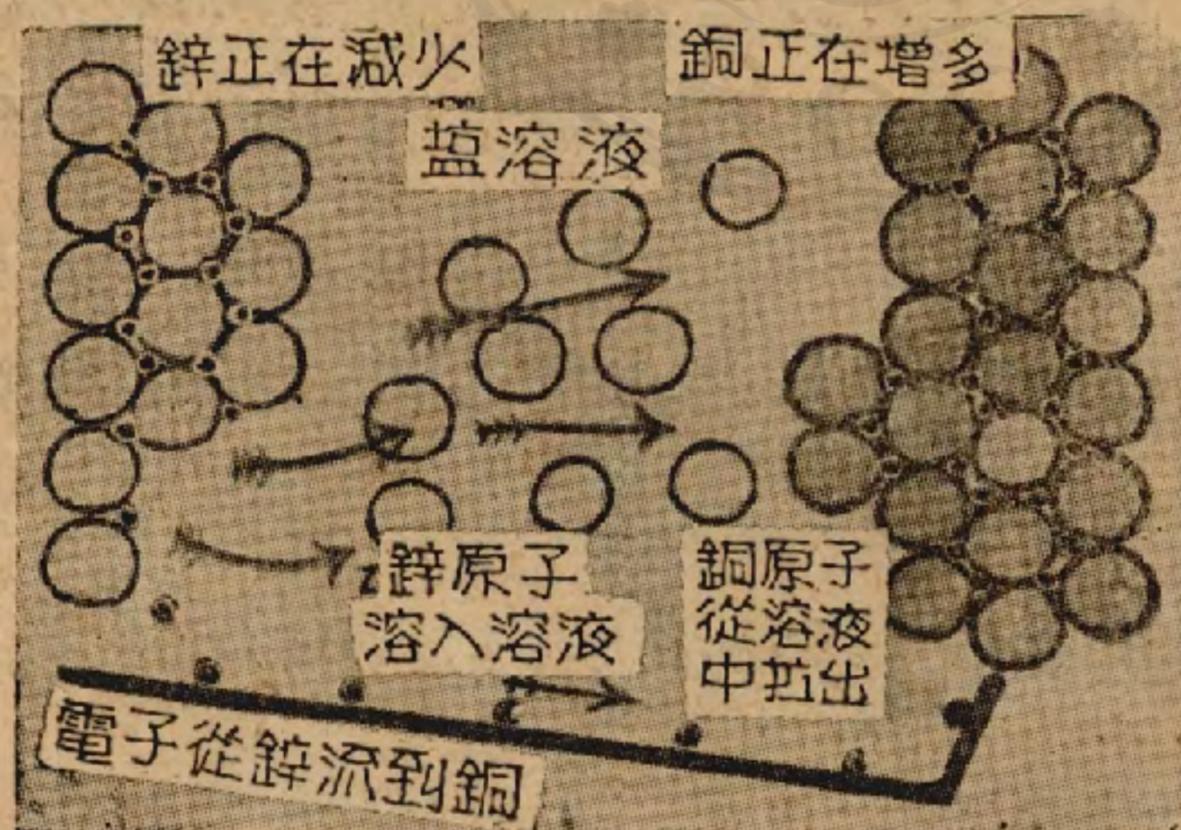
由它們所組成的。它們老是存在於金屬線中。電流就是在線中運動的電子，從一只電池或發電機的陰極，沿着線而向它的陽極走去。一個發電廠並不能『造』電，它只不過把沿線的電子驅送到我們的工廠或家中，再抽回到發電廠而已。

電子沿線流動的流量以『安培』(ampere)來計數。[安培]和[伏特]的區別容易纏誤，但是倘使我們把電壓比喻驅動着電子周流于電路的壓力，把電流比喻每秒鐘經過電路某一點的電子數，那就容易明白了。凡物都是由這種陰性電子和帶陽電的原子中心叫核的相結合而成。我們用一物體摩擦另一物體而起電，就是把電子從一物體中拉出而轉送到另一物體。電子能夠由導體中跑回來，但是它們不能經過絕緣體，或者只能很慢地在絕緣體中漏過。我們現在要回到電池的問題，一查考爲什麼電池能夠供給一個不斷的電子流，從一電極經過連線而到另一電極。倘使我們取一個小銅球如彈丸大，並把它起電到三萬伏特的電壓，我們所放在這球上的電量是約等於100個單位。在另一方面，倘使我們用一根銅線使這銅球裏的電從這線上流過，而數計這銅球裏所有的一切電子，我們就求得它們所代表的電量竟

有 1,000,000,000 個單位。用起電法而放在這銅球上的電量，比到這球內所能排洩出的一切自由電子，真是甚微。一只電池發出電流也是如此。



圖八 (1) 一塊鋅版和一塊銅版放在鹽溶液(按例如硫酸銅)中。鋅和銅均由對稱排列的原子和由原子隔開的電子所構成。



圖九 (2) 電子正在從鋅版流到銅版，使溶液中的原子能夠積集于銅版上，而一方面把鋅版蝕掉。

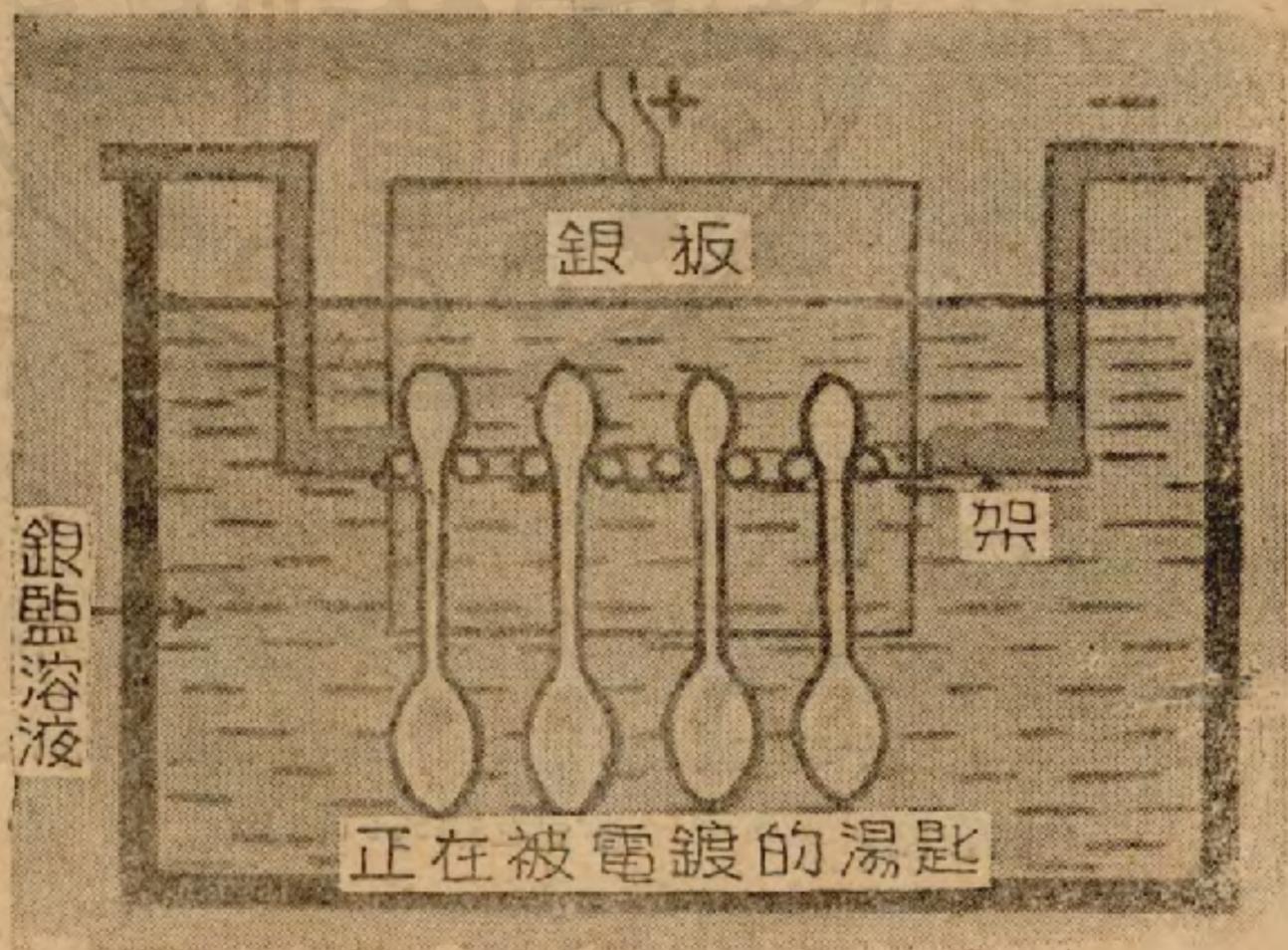
用幾幅圖畫或者可以說明這一點(圖八,九,十)。把一塊銅和一塊鋅放在鹽溶液中那小點子代表電子,大圈子代表金屬的陽性的原子。剛巧鋅內的電子比銅內的電子束縛得鬆一些,故一個電子倘使能夠離開鋅而跑到銅內較穩定的家中,當然是很願意的。它不能如自由電子般經過溶液,但

是倘使我們用一根錄來接通銅和鋅,以供給它一條路,那電子就能跑過,如圖九所示.一入了銅,它們就能夠和溶液中的銅原子相結合,造成更多的金屬銅,因此銅塊增大.在另一方面,鋅原子一失去了它們的合夥——電子,就要飄流到溶液中去.等到所有的鋅完全消耗時,那電池就衰竭了.你可以看見你家中電鈴電池內的鋅是在漸漸兒被蝕去的.最後,一切



圖十 (3)電子從鋅版流到銅版,使電池漸漸衰竭;欲使電池恢復原狀,必須把電子趕回。

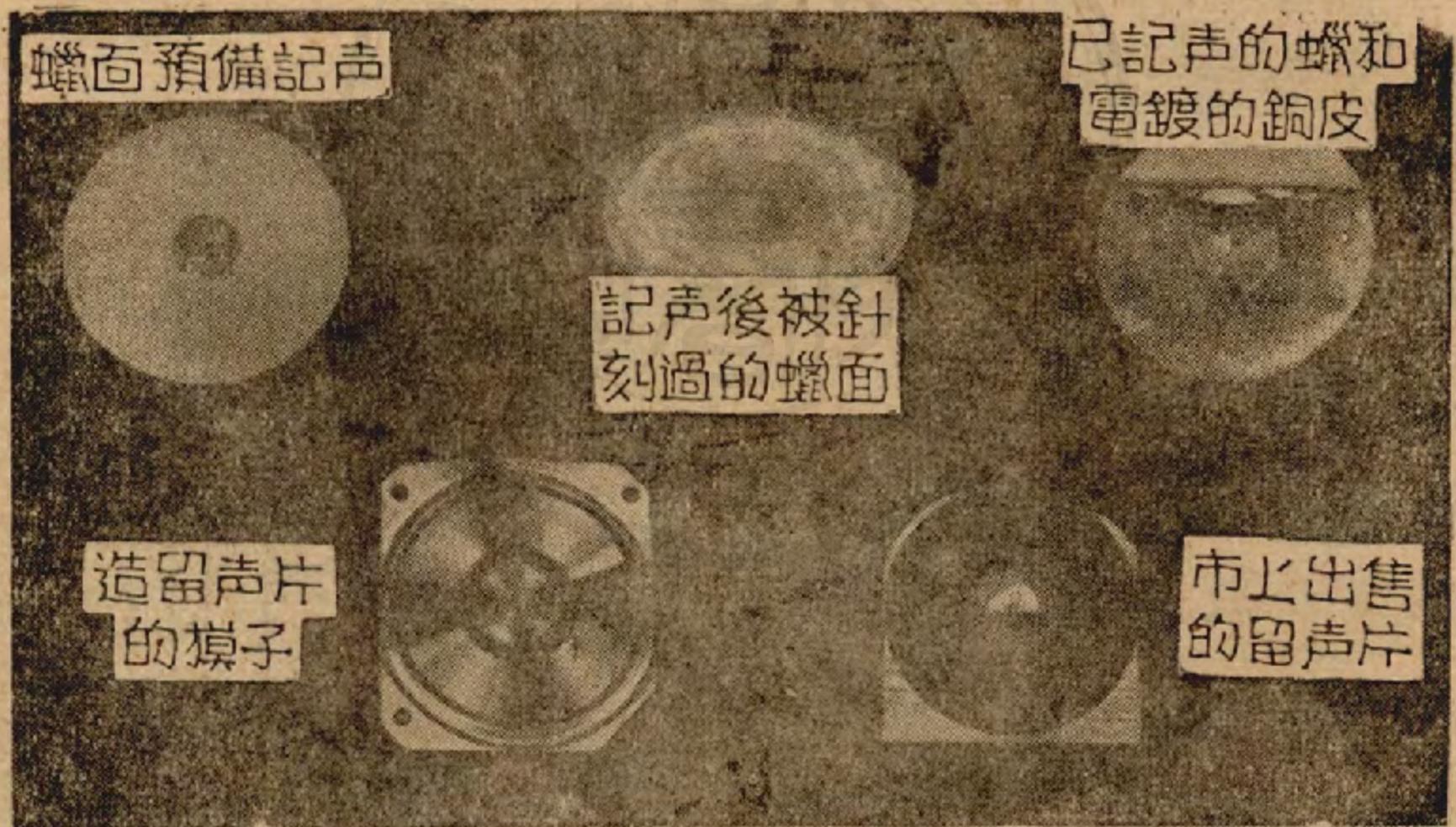
圖八,九,十。一只電池能夠發生電流歷許久時間:因為有電子不斷地從鋅版流到銅版。



圖十一 電鍍 把銀板和湯匙接到一組電池,能使電子流入湯匙中。電子與溶液中的銀原子結合,因此在湯匙面上塗着一層銀。(關於電鍍法請參閱科學畫報第三卷十期388頁)

的電子從鋅中被洩而出，從電池的一極遷移到另一極上去了。

要湯匙或其他賤金屬物件鍍銀，可將它們放在一種銀鹽溶液中（圖十一）。電流領導電子送入湯匙內。那電子就從溶液中吸引銀原子而在湯匙面上塗着一層金屬銀。接在陽電極上的銀板懸在溶液中而漸漸被蝕去，因此溶液內的銀量能保持不變。留聲機唱片的電鍍手續亦在此用繪圖表出（圖十二）。

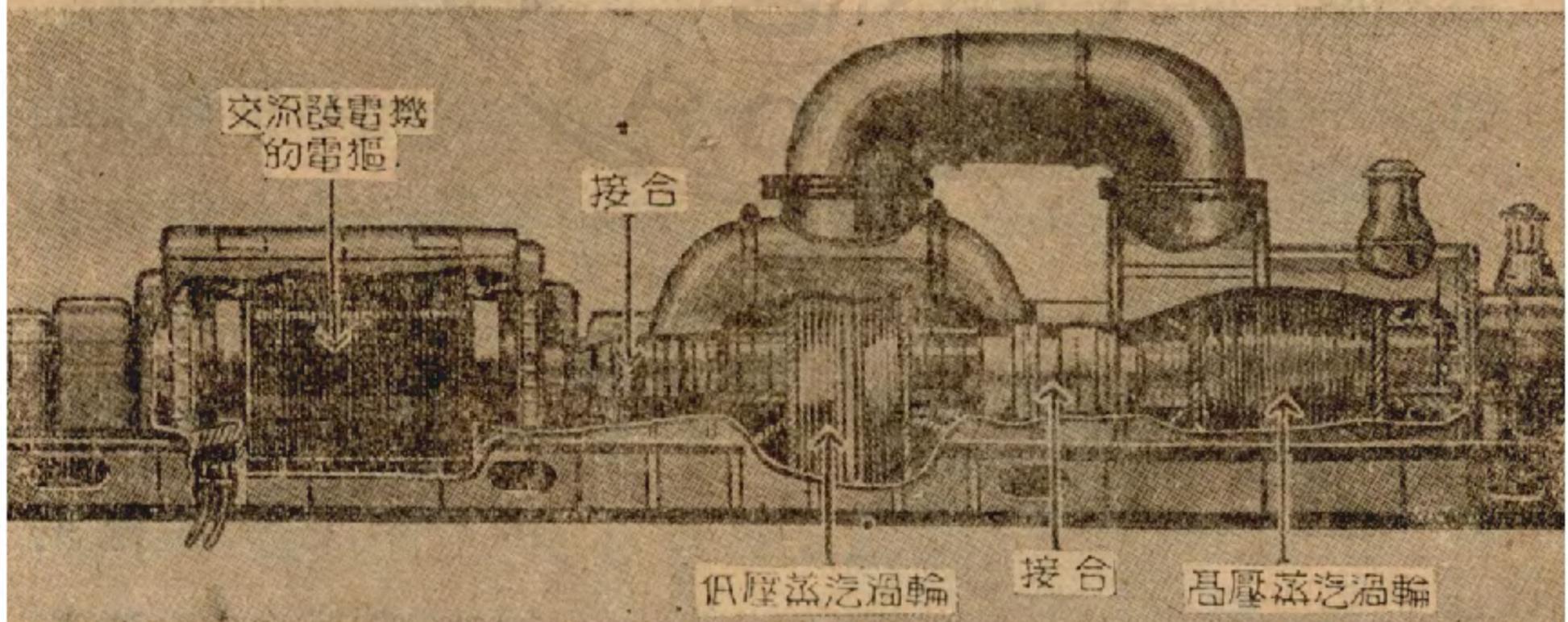


圖十二 製造留聲機唱片，電鍍佔重要部分。（欲知唱片製法，請參閱科學畫報一卷十五期588頁。）

第三講 電動機和發電機

前二講說明電荷和電流的行爲；我們已明瞭了在一根導線中的電流是帶電的小質點，即電子，沿着這線的行動。用了一種叫做『電池』的裝置，能使此種電子不斷地在線內流過，由電池內的一組金屬板放出，驅向另一組金屬板走去。

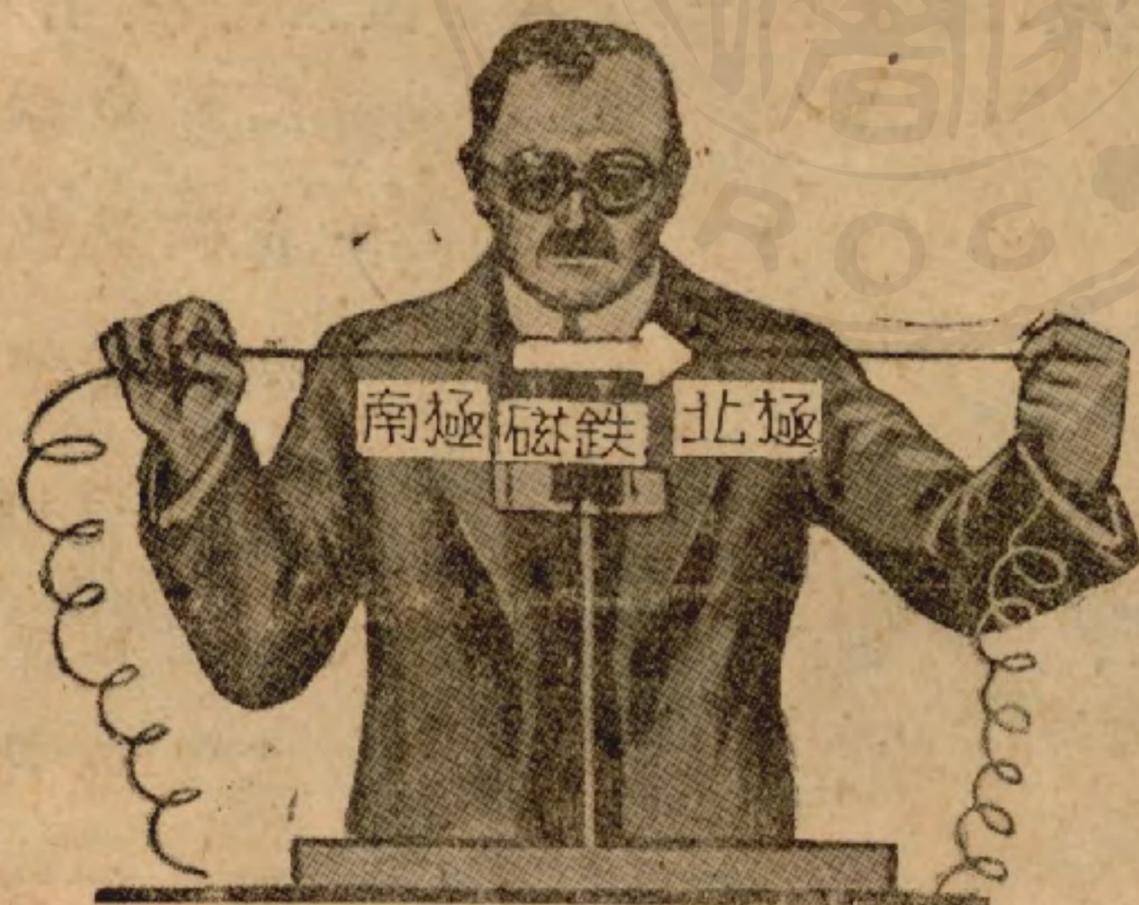
電池產生的電流雖是用處很多，因為電池是方便而簡單的；可是事實上凡發光，發熱和發動所需的巨量電流是用另一種方法來產生的。一只發電機是一具有



圖一 靠蒸汽渦輪來轉動的發電機：法國郵船『諾曼地』號所裝的一座龐大的33,400 仟瓦特汽渦輪傳動交流發電機。從船上汽鍋中出來的蒸汽先入高壓渦輪，再入低壓渦輪。它們與交流發電機直接相連，轉動其電樞而發電，用以動四隻電動機，每只電動機傳動一只推進器。

抽水機同樣作用的機器，使電子環流於一個金屬週路中。它需靠某種力源來傳動，例如蒸汽機或水渦輪。大規模發電廠裏的發電機藉傳遞電纜把電流送出，經過較小的分佈線路，達到家屋中或工廠中的電線網，終於循着同樣的路徑回去而完成其週路。一只發電機好比吾人的心臟，驅使血液經過全身的動脈和較小的血管，再由靜脈回去。

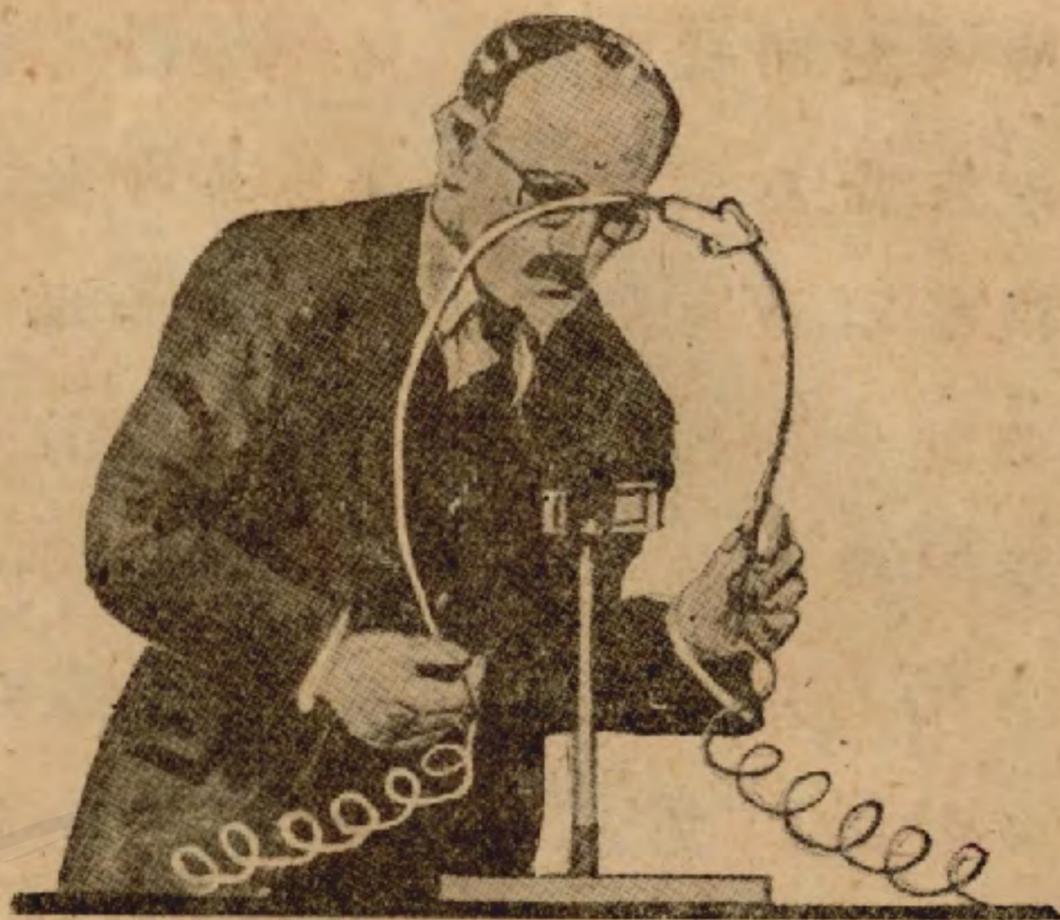
在發電廠裏輸入於發電機的機械能力，可以在電線的他一端用來發動電動機，所以電是一個使我們把能力從一處傳到別處的最有效的方法。在這一講中，我們要說明發電機和電動機如何動作。



圖二 一個電流所生的磁場，因此引起電磁鐵的發明。這個實驗表示流過一根線的電流施力于一個磁鐵上而使它偏轉。

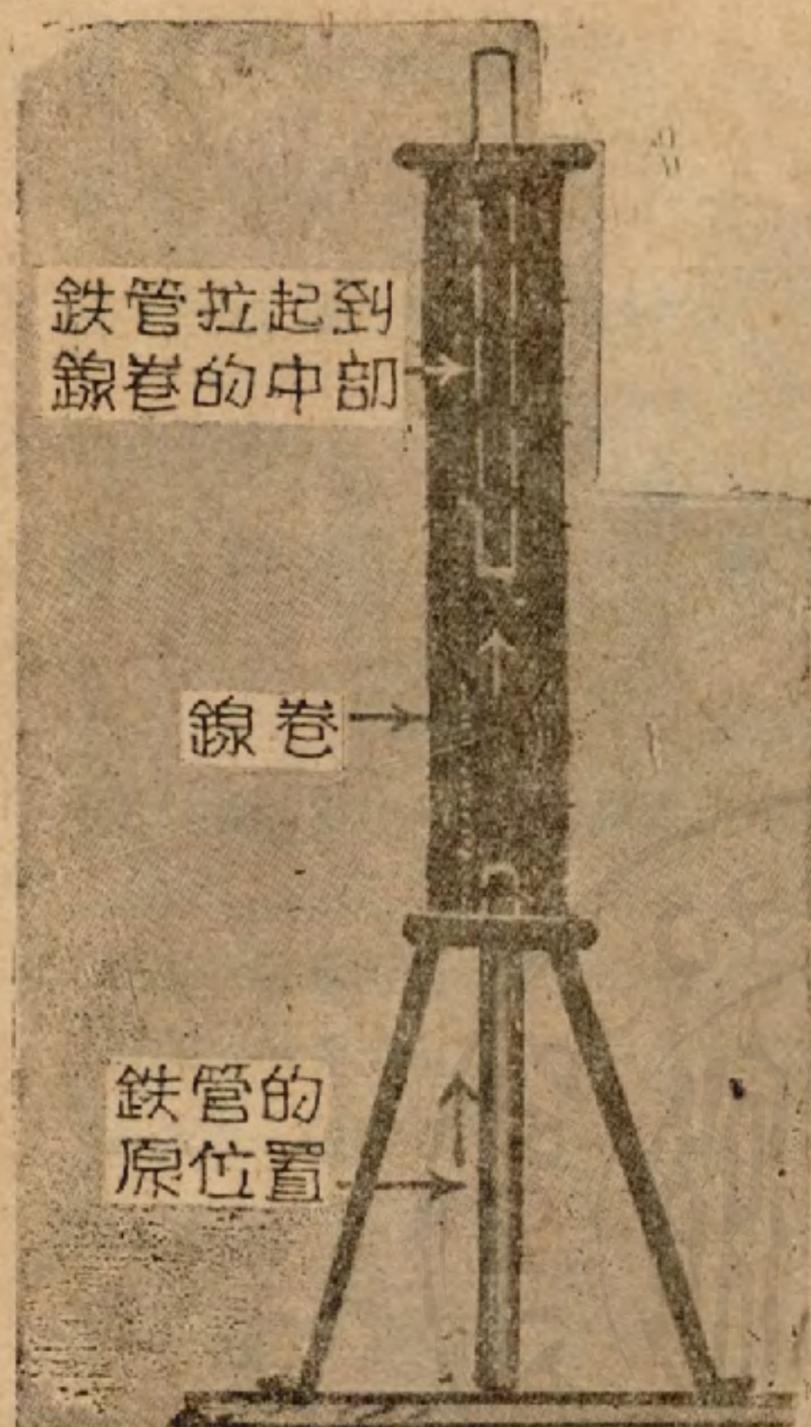
一只電動機的發動，全靠由電流所造成的電磁鐵。一個電流流在一根線中的時候，它就在線的周圍造成一個磁場，放在這線下的一只羅盤針就要被偏轉

到正交於這錄的位置,恰如它在地磁場內時要指向南北一樣.在第二圖中,一個強電流在一根錄中流於箭頭所示的方向,錄下的磁針就被偏轉,以它的北極向着試驗者.若把那根錄繞磁針而彎成一



圖三 把錄彎成一圈,加于磁鐵上的力乃增大,這磁鐵被轉到與錄成正交的位置而停止。從這簡單的發現,才造出強力的電磁鐵。

圈如圖三所示,則錄圈在每一部分的電流,都以同一的方向作用於磁針,磁力因此而增大.顯見得若把那根錄一圈一圈連續繞成一個螺錄管而通以電流,我們就能夠使這磁力更加增大.第四圖表示這樣的一個螺錄管繞在一個圓筒上.用架子把它托起,底下直立着一根約三尺長的鐵管,一端着地,一端恰好納在錄卷裏.把強電流通入錄卷時,那鐵管就神奇地被磁場所吸起,全部停留於錄卷中,雖重而不落下.在電流通通的時期內,這鐵管本身會變成一個很强的磁鐵,但電流一斷,即失其磁性而落下.倘使在這錄卷內放的是一塊鋼,則雖在電流



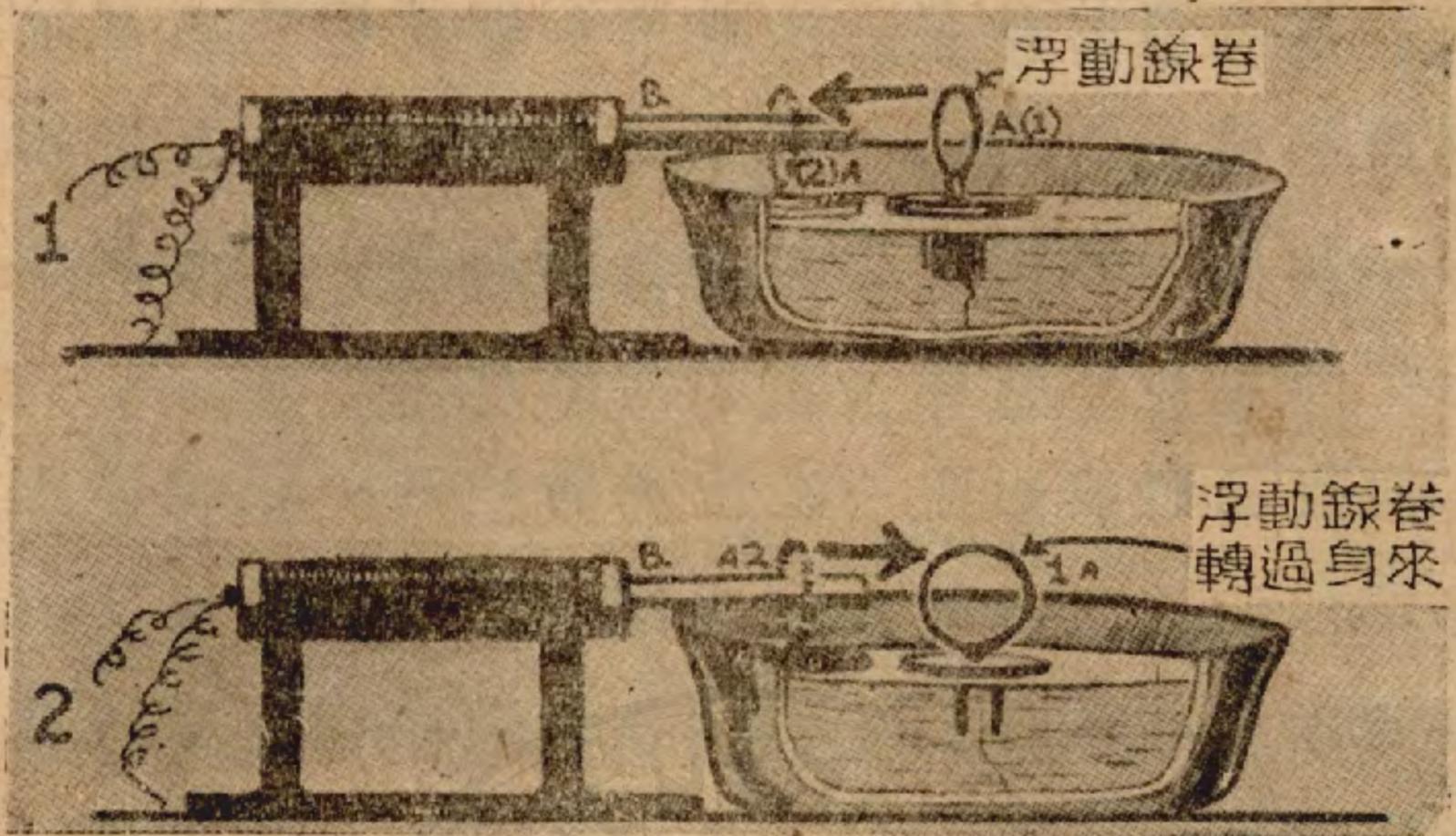
圖四 使電流流過繞成螺線管的連續線圈，管內的磁場乃大為增強，能夠把一段鐵管吸入線卷內。

斷絕之後，它仍舊為一個磁鐵；永久磁鐵和羅盤針都是如此造成的。

把一條磁鐵懸起，使能轉動，則其一端必指北而他一端向南，因為地球本身有一個近乎南北向的磁場。我們稱那磁鐵的指北的一端做「北極」，稱指南的一端做「南極」。一磁鐵的北極吸引他一磁鐵的南極，但北極和北極相斥，南極和南極相斥。倘使把一個電磁鐵的線卷裏的電流反向，那麼它的以前的北極就變做南極，以前

的南極變做北極。

用第五圖中一個電磁鐵和一只浮動電池來表演磁的吸引和推斥作用，很可動人。在螺線管內插一根軟鐵棒，使它的磁極伸出，恰好在一盆水面之上。水中滴入一些硫酸。用一塊圓木板，底下釘着一塊銅和一块鋅，上面裝一個線卷，線卷的一端與銅相接，他一端與鋅相接。



圖五 在一個線卷的磁場和一根固定磁鐵間之力。

- (1) 浮動線卷“A”會自己飄過去套在磁鐵B上。
 (2) 把固定線卷中的電流反向時，浮動線卷會飄開，翻一轉身，又飄回去套在磁鐵上。

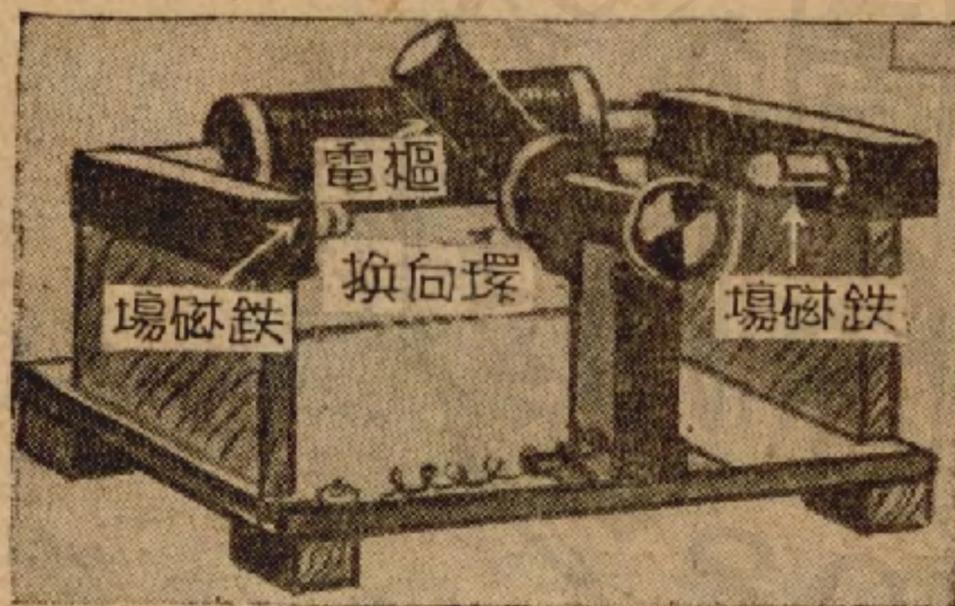
把這圓木板浮在這溶酸的水面上時，底下的二金屬板即成一個電池，送電流流過上面的線卷中而發生一個磁場。磁鐵和浮動線卷之間的吸引力使這線卷飄浮過水面而自行套在磁鐵棒上。倘使把固定線卷中的電流反向，浮動線卷就會堂皇地飄開，轉過身來，背向着磁鐵，再飄回來套在那磁鐵上。這種配置非常靈敏，在我們試驗時，水中竟無需加



圖六 現在我們有很小的磁鐵，小到可以藏在衣袋裏，然而它能夠吸起56磅的重。

酸,用倫敦市內的自來水,已足夠不純潔而使這電池發生電流,真使我們驚奇不置.很強的磁鐵可用電流來製成.第六圖中,一人手中所執的那個磁鐵小得可以放在衣袋裏,然而它能提起五十六磅的重量.

倘使我們能記住:一電流流過繞在一根鐵棒上的線卷時,即能使這鐵棒變成磁鐵,又若把那電流反向,這磁鐵的兩極亦被反,則我們就能知道一個電動機發動的道理了.第七圖是一只極不合實用而效率極低的簡單電動機,但是我們特地用它來說明電動機的原理.它有一個具南北兩極的固定的磁鐵,叫做『場磁鐵』(譯者按,



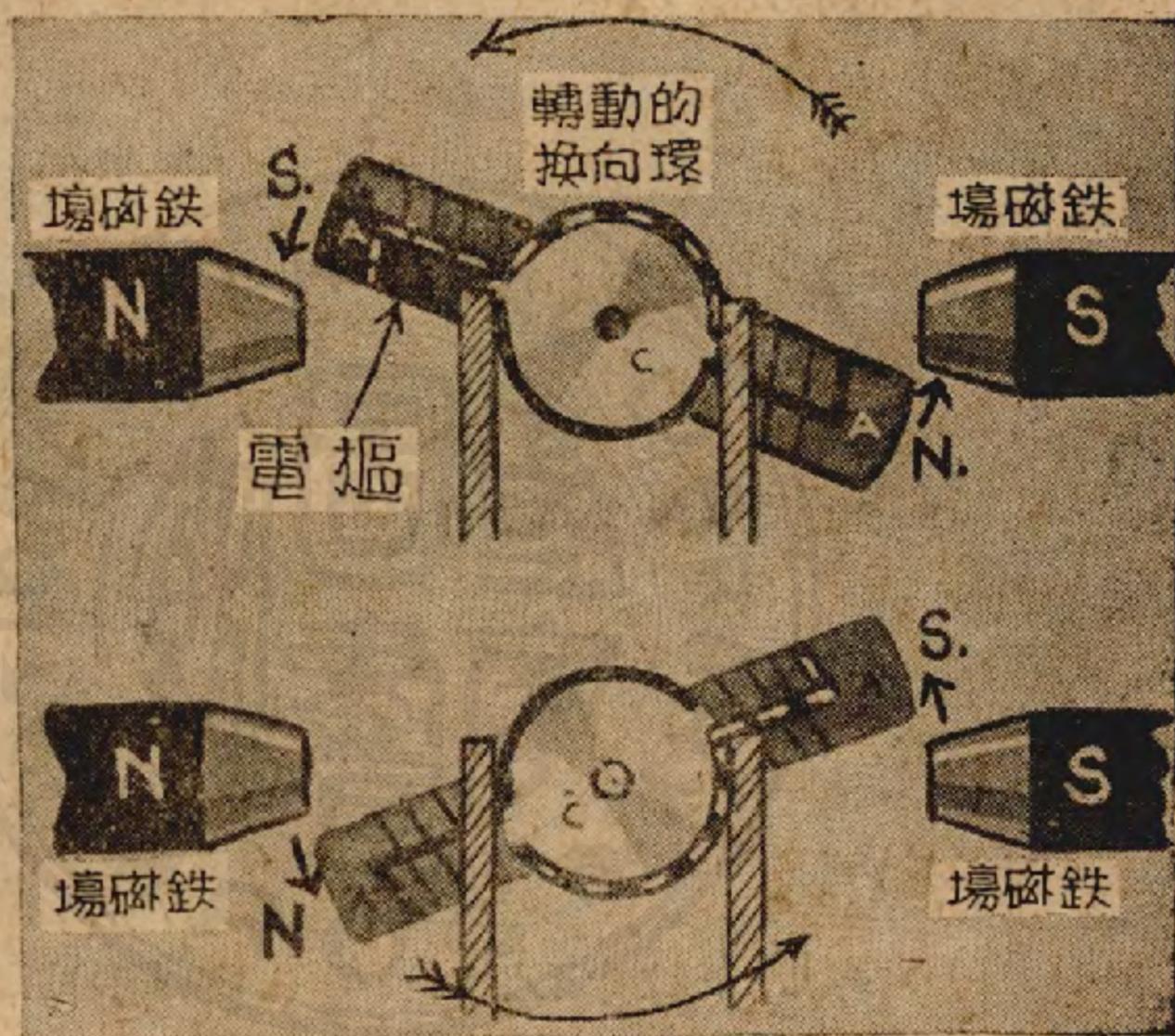
圖七 這具簡單的電動機,表演電樞交番地被磁場極所吸引和推斥,而使它連續轉動。

單電動機,但是我們特地用它來說明電動機的原理.它有一個具南北兩極的固定的磁鐵,叫做『場磁鐵』(譯者按,即裝在木框三邊頂上相連的三條鐵,中間一

條鐵上繞有一個線卷,我們稱它做磁場線卷,故圖中所示的場磁鐵是一個電磁鐵),和中間一個轉動的磁鐵(也是一個電磁鐵)叫做『電樞』.若使電流同時流過這二個線卷,則二磁鐵的南北兩磁極間的引力即把電樞拉轉,電樞中的電流是由一個『換向環』餵入的.這換向環

構造甚巧,在電樞轉到場磁鐵兩極的一直線內時,即把電流反向,(場磁鐵線卷中之電流老不反向).電樞的兩磁極,以前是被兩磁場極所吸引的,現在是變為被推斥了;它繼續轉過去,轉到相反的位置時,電樞電流又被換向環所反向.

第八圖幫助我們尋出這電樞中電流改變的路徑,我們就可知道那電樞必連續轉動.像這樣的一只簡單的電動機,轉起來必跳動而不穩



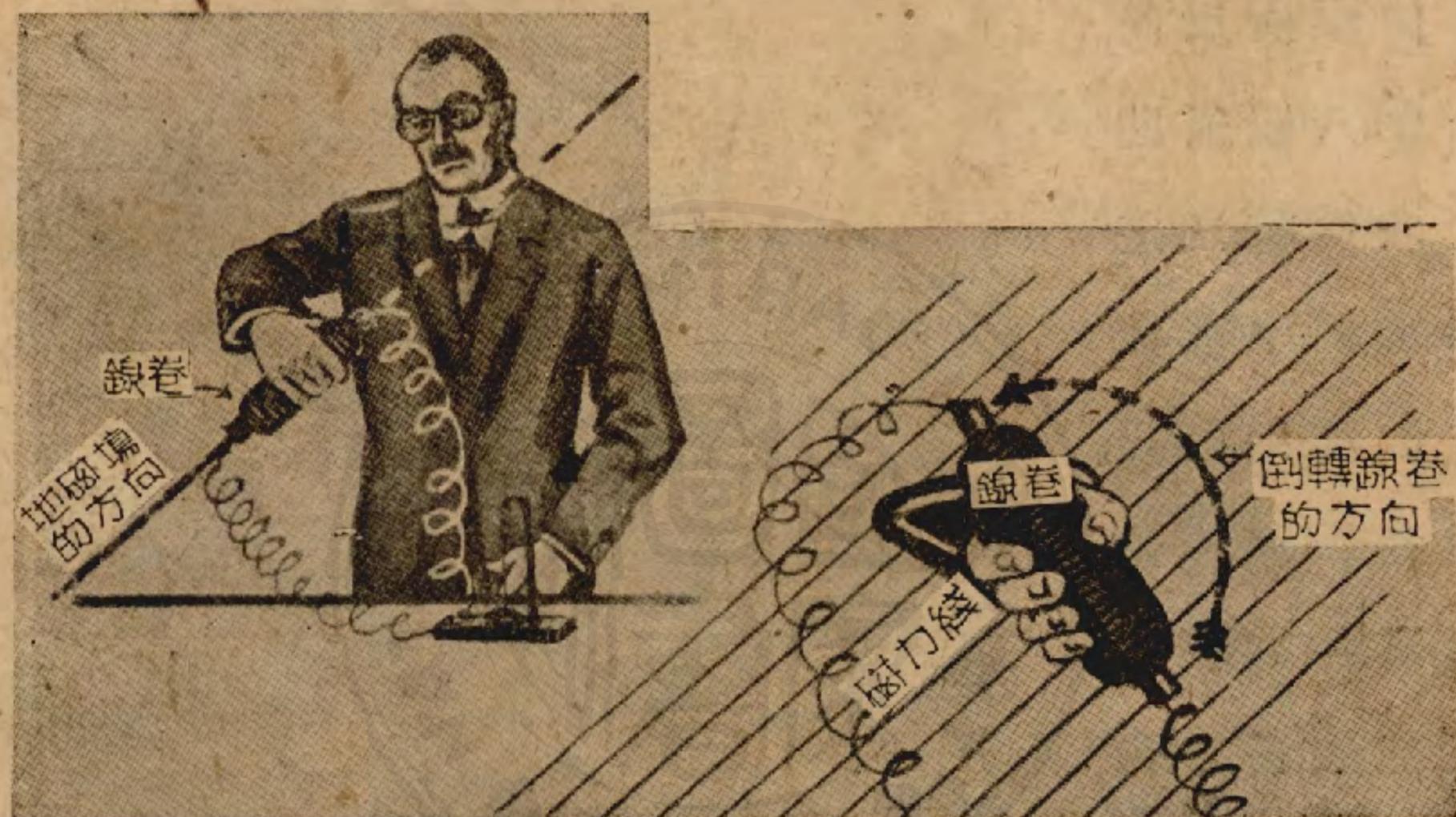
圖八 電動機的原理

(上)兩極“A”被場磁極所吸引,

(下)于是換向環“C”把電樞線卷中的電流反向,在“A”極一經過場磁極後,即被場磁極所推斥。

定,因為電樞的兩極在移近場磁鐵的兩極時,引力為最大.實用的電動機有幾對磁極,且換向環的構造更複雜.它們轉動得很平順,恰如八汽筒汽車走動起來比早時的一汽筒汽車要平穩多了.

發電機的作用是一百餘年前法拉第所發見。他的發見是今日電工上大量發展的基礎。他實驗得如何不用任何電池而使一圈連通的線內能發生電流。第九圖所示是法拉第的原本實驗。把繞在一根鐵棒上的線卷



圖九 法拉第發見不必用電池而用機械的方法來產電。

(左)他把一個線卷放在地磁場方向裏。

(右)扭轉手腕把線卷倒轉，使磁力綫割截線卷于反對方向，線卷中感生的暫時電流，可用電流計來測出。

接到一只電流計，即測量電流的儀器，先用手握這線卷，使它恰在地磁場的方向內。若把它倒轉頭來，那電流計的指針即被偏轉，表示有片時的電流流過。每把這線卷倒轉一次，其電路中即發生一次片時電流。倘使我們現在回到前述的電動機的構造，我們就可知道也能把它

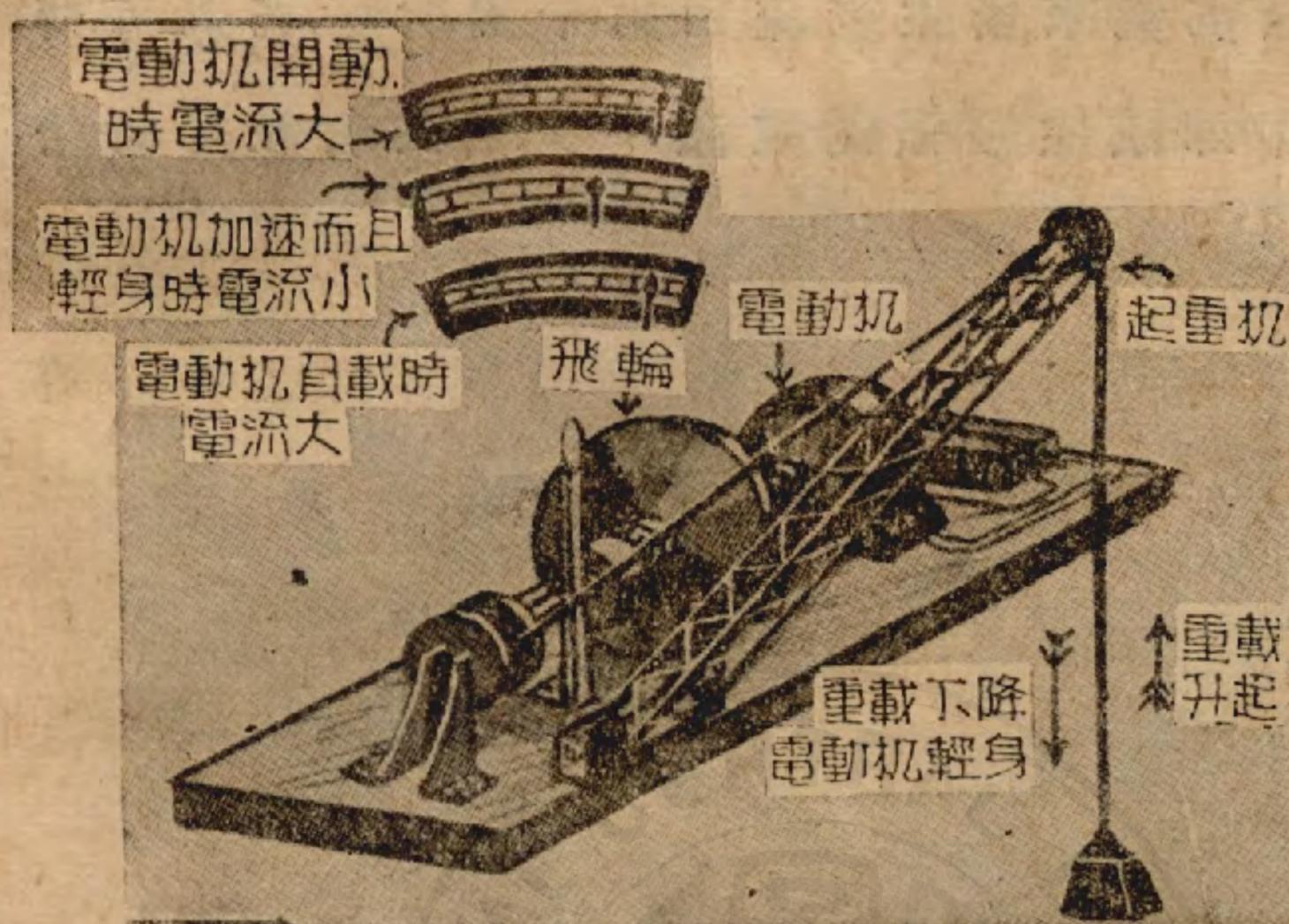
用做一只發電機來發生電流。如第十圖所示，電樞每轉成半周，其中即感生頗強的電流一次，因為它在那時恰



圖十 從這個起點，就逐步發生了現代的龐大發電機。在這只電動機上，加上一個手搖輪和皮帶使它急速轉動，它就發生電流足以點亮旁邊一盞小電燈。

好轉過場磁鐵的最強磁場。那個換向環會照料着它，使電樞裏所生的脈動電流都向同一方向流出去。用輪盤和皮帶把電樞急速搖轉，即可發出足量的電流使旁邊的一盞小電燈發光。我們實在是已經把皮帶傳動電樞的「機械能」轉變為電流所代表的「電能」了，這就是發電機的原理。

第十一圖更說明用一只電動機來載重是何等有用而有伸縮性。講一個譬喻，它好比是一輛汽車裏的引擎，每遇到驅車上山，需要額外的用力時，它會自動的發



圖十一 一隻電動機最適宜于載重工作，因為在輕身轉動時，它有發電機的作用，會發生一個反對方向的電壓，而使輸入電流的消耗量減至極低；在重載之下時，它會緩慢下來，因此自己發生的反電壓較低。而能從電纜取用較大的電流，來做它的工作。

生較多能力。倘使我們把總電線的全伏特數加在一隻停止的電動機上，它在開動的時候費力甚大，會取用極大的電流。

漸漸加快，電流漸小。倘使沒有載重，在它達到滿速度時，其電流會降落至極小量。若我們忽而叫它作功，例如連在起重機上叫它升起一個重物，它會立刻取用較多電流，以供給它所需要的能力。

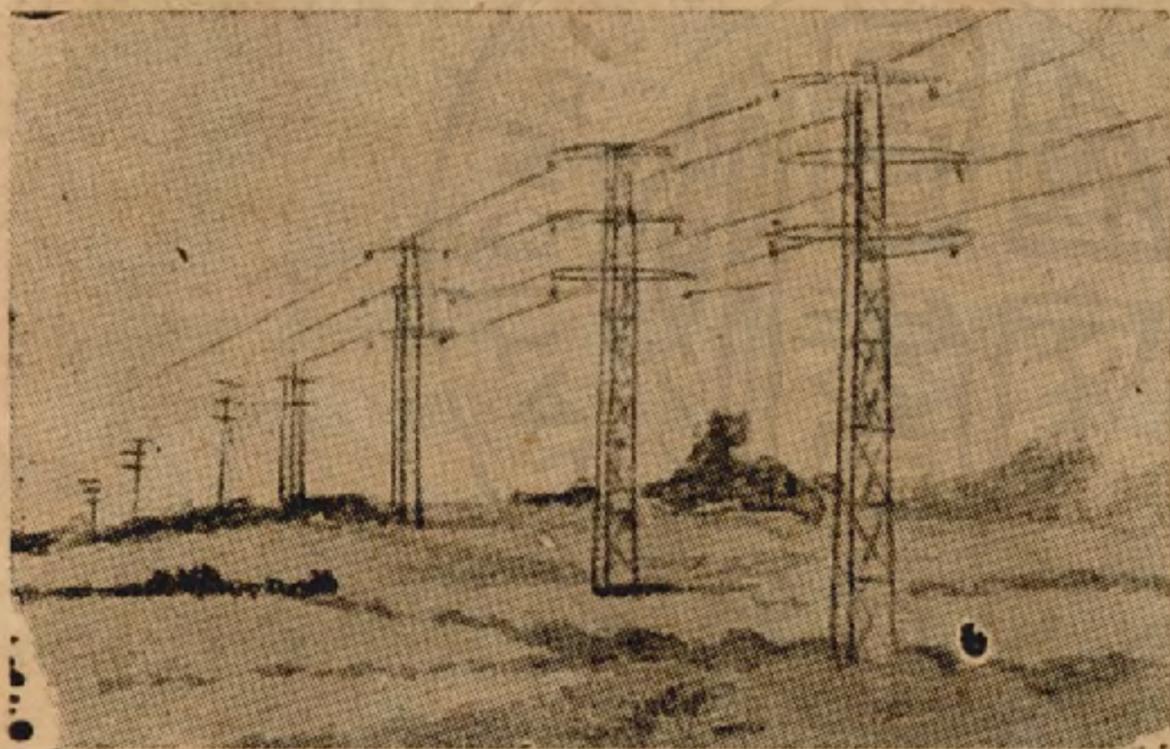
它能如此動作，因為電動機和發電機實在是同一件東西。當電動機轉動加快時，它即開始作用如一只發電機，將本身電流驅送於反對電流輸入的方向。倘使它不作功（就是毫無負擔），它將動得甚快而阻止任何電

流經過它,只需微量電流以制勝摩擦而已.一經開始起重機的工作,它的速度即被降低,再不能抵制總電線上的全電壓,因此容許大量電流流入,以捲轉繩索而提升重物.現代的電動機和發電機效率甚高,實際上從一端輸入的[能]即在他一端變為有用的[功].



第四講 電的供給

第三講中已說明發電機如何發電。一百年前法拉第發見了感應作用，因此才能用機械的方法來產生週流於電路中的電流。現代的發電廠中都裝置着龐大的發電機，其發出的電流經地下電纜或高架電纜（圖一）



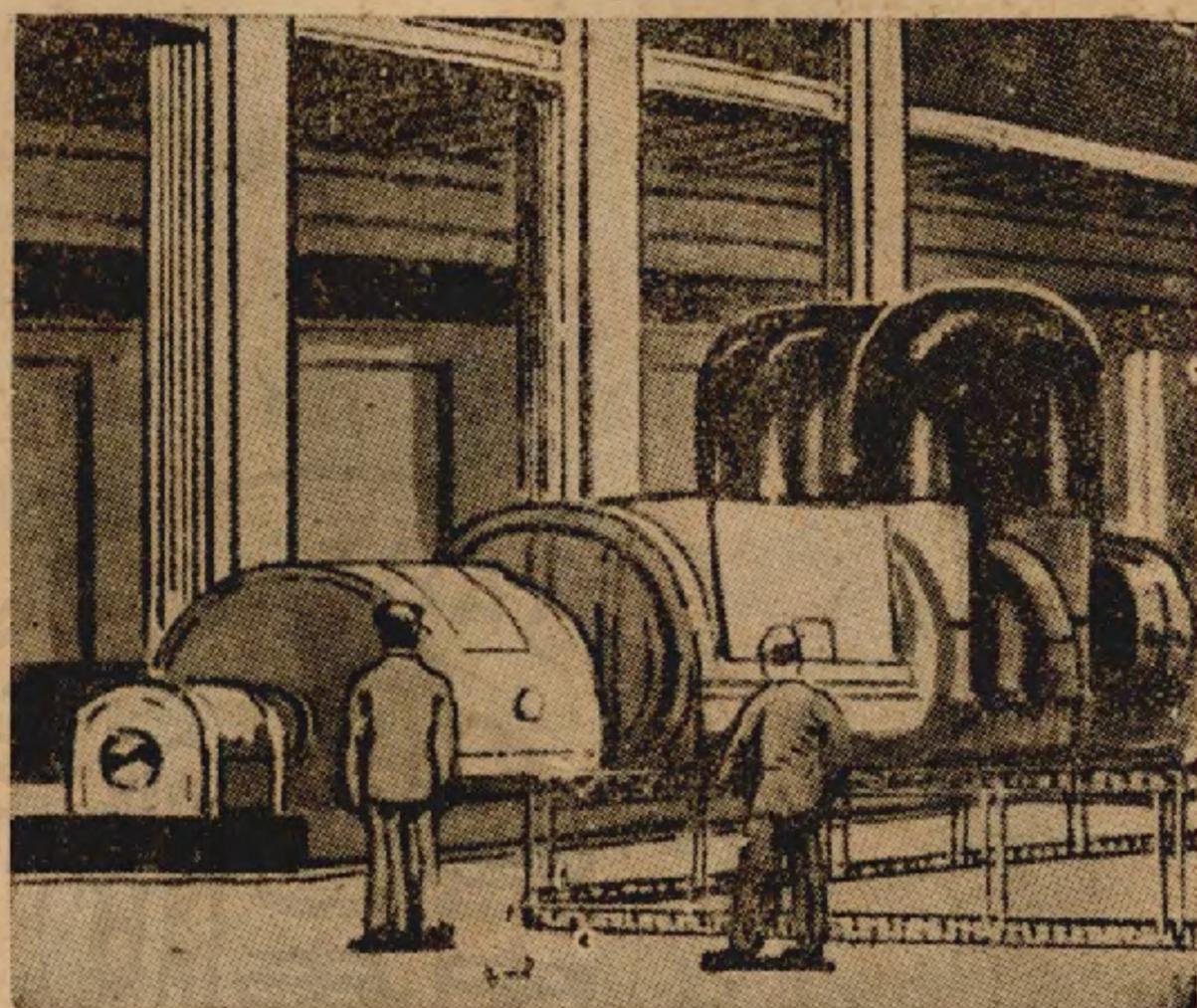
圖一 長途傳遞線以 132,000 伏特的電壓傳電，但電流比較甚小。

而流到分電廠，再從各個分電廠分布到各廠周圍的城市和鄉鎮，最後達於工廠和家屋。我們在製造廠中常見一個引擎用皮帶來傳動一根

裝在頭上的總軸，再從總軸掛下許多皮帶來傳動車床和其他機械。在電的供給情形之下，經過每條電線的電流正如一條傳動皮帶，從一處傳遞能力到另一處。像在英國『統制電線網』制度（“Grid” system）已經發達，可說是全國已設有若干巨大的頭上總軸，由全國的電廠共

同幫助傳動，人們所需要的能力即從它們取用。

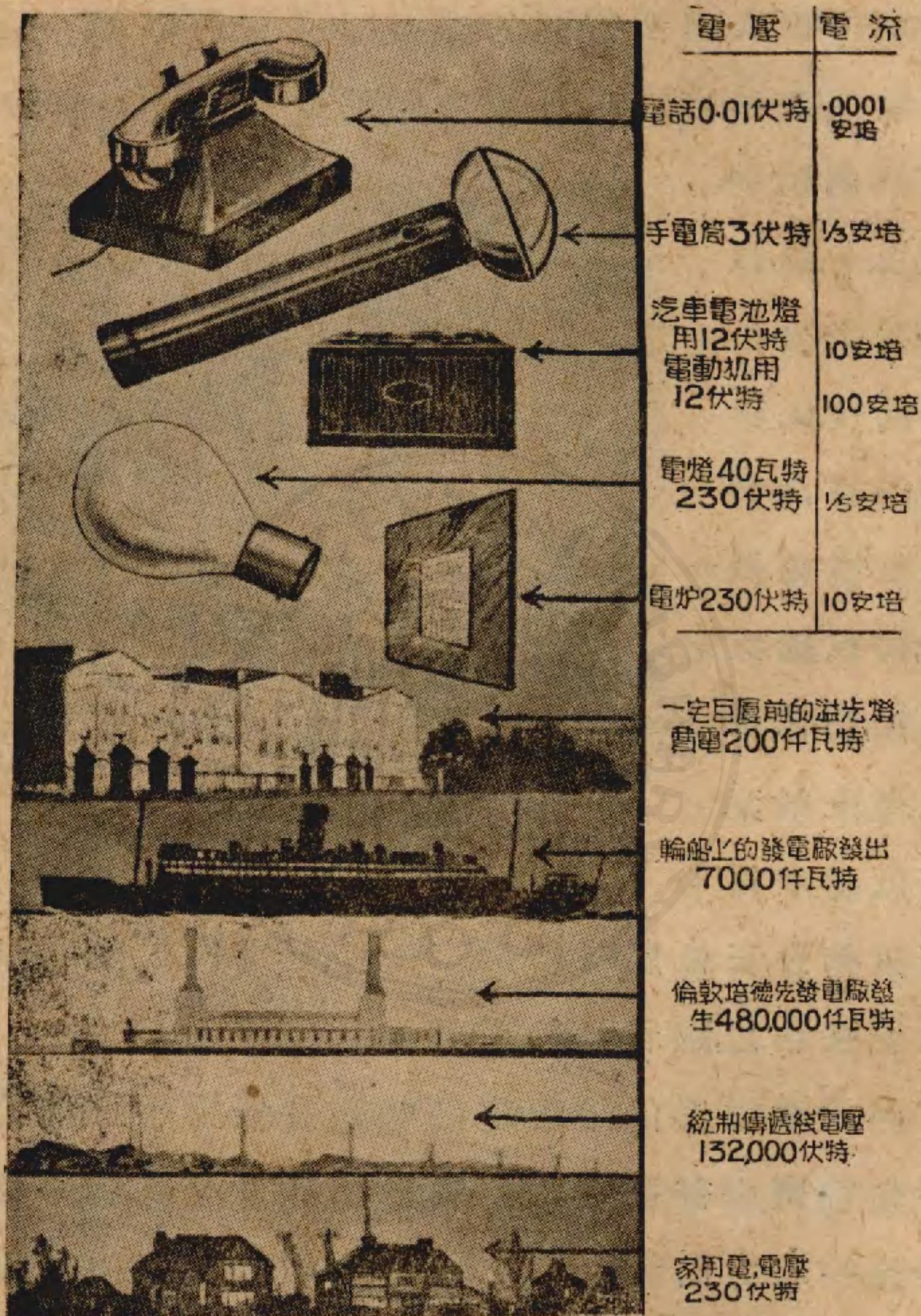
圖二表示英國最近建造的培德先 (Battersea) 電廠中汽渦輪發電機之一。蒸汽從汽鍋中發出，流入渦輪。此種渦輪的轉動鼓上裝有數萬個小瓣，列成適宜的角度，彷彿像鐵風車上的葉板。蒸汽射在瓣



圖二 倫敦培德先發電廠中的一具蒸汽渦輪交流發電機。

上使鼓轉動，正像風吹轉風車一樣。發電機的軸和渦輪的軸直接相連，跟着渦輪而轉動。

渦輪發電機的最顯著的特點是機器小而能力大。培德先電廠全部發電時，能輸出 480,000 仟瓦特，一個仟瓦特比一馬力略大(=1.34 馬力)。只須有像圖中所示的幾個機器即可日夜發出五十萬馬力，倘使真是用馬來工作，那麼除它們吃草和休息時間而外，每天須有二百萬匹馬才能相當這幾個機器的能力。像這樣的數目可

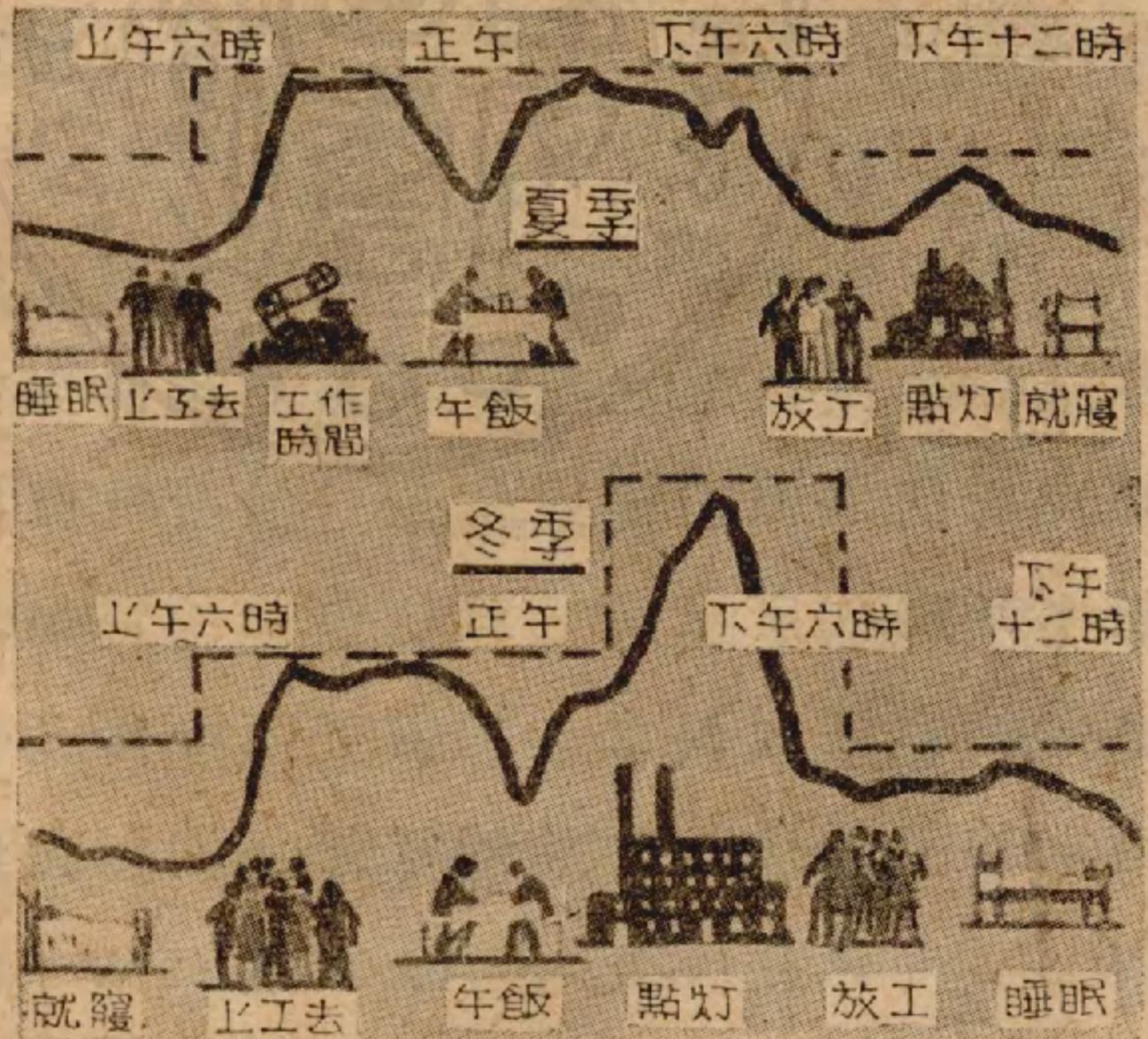


圖三 日常所見的電器和設備,說明它們的電壓(以伏特數計),電流(以安培數計),和電功率(以瓦特數計,等於伏特數乘安培數)。買賣電能的單位是每小時1000瓦特,叫做一「仟瓦特小時」,(就是我國俗稱「火表」上所走的「一度」)

給我們一點觀念，對於機器代替肌力有如何的利益。電廠售電所用的『單位』是每小時供給一個仟瓦特（按即我國俗稱的一度，科學上稱為一個『仟瓦特小時』）。普通一隻電爐需電四分之三馬力。雖然人們有時要計較電費，但是倘使他能夠體會到所買得的『電能』有這麼多，也就不覺得費用之過大了。一個 390,000 仟瓦特的發電廠，每天用煤約一千一百噸。

這種發電廠的負載，在一年中和一日中的各時期大不相同。圖四中的二個曲線表示孟却斯德 (Manchester)

發電廠供給『電能』的情形。上邊一條是夏季中一天的負載情況。在清早的幾小時用電甚少，只有路燈、電車和全夜開工的機器用到，各



圖四 一個發電廠怎能配置它的設備，以適合于用電變動的情形。圖中粗線表示用電，虛線表示發電廠的輸出功率。

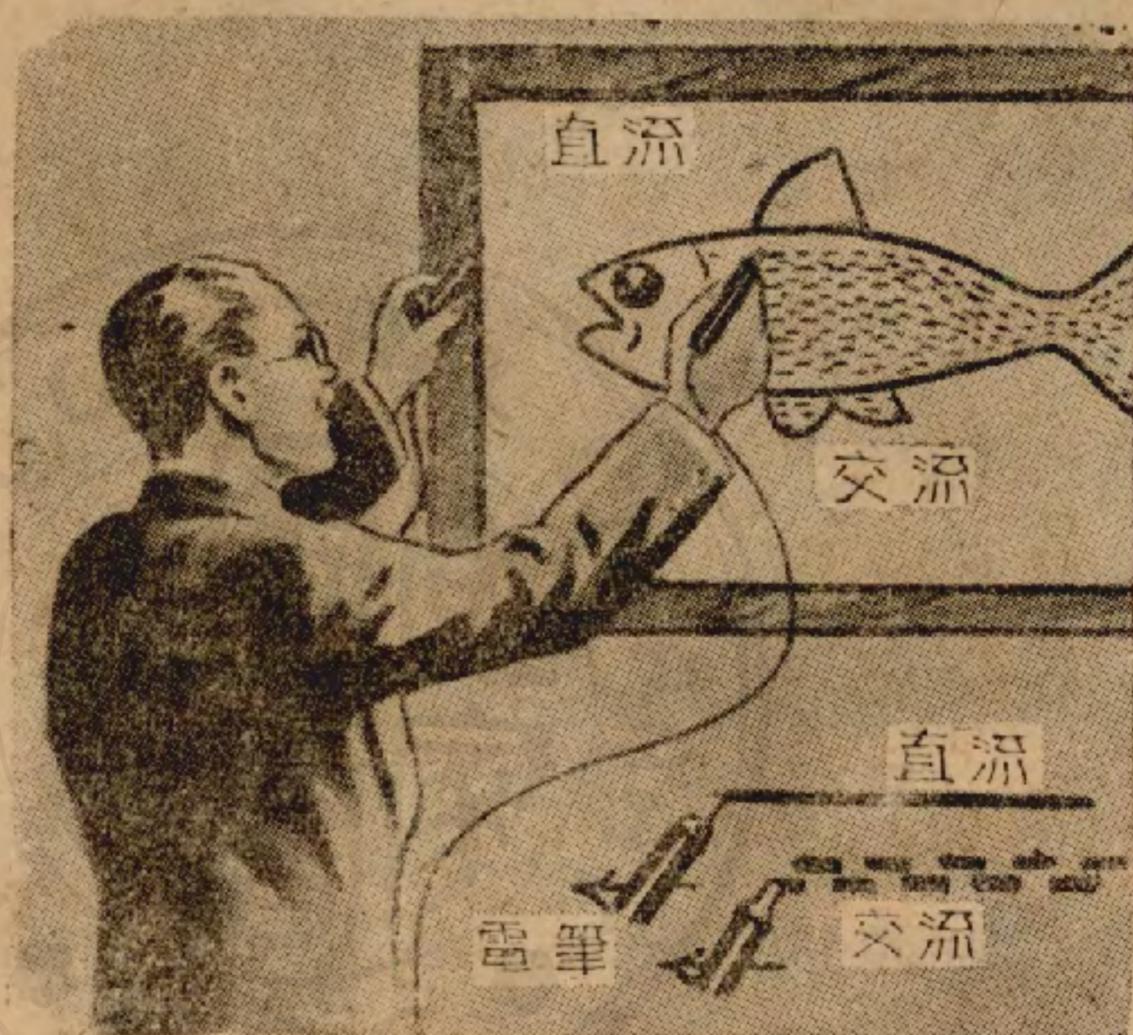
工廠在上午六時開工時，用電增加，於是負載曲線就一躍升起，直到正午沒有變動。在十二點鐘工廠放工，工人午飯，機器大都停止，故負載曲線突然降落。至下午一點鐘工人回復工作，機器又發動，那時曲線又逐漸升高。到六點鐘工廠放工，工人歸家，需電甚少，直至十點鐘（指英國）太陽落山，那曲線又現小高峯，代表路燈及家戶電燈的用電。再後人人睡覺，那曲線又降下去了。冬天的負載曲線大致相同，不過下午四點鐘天就黑暗（指英國），所以曲線突然達到最高峯，因為不但工廠正在工作，且路燈及家戶電燈也同時開亮。那時電燈用電的負載連續很重，直到睡覺時才降低。

圖四中的虛線表示電廠內如何把發電機增開或停減以調劑負載之變動。英國各地的大的發電廠現在都與統制電線網接通。倘使一個發電廠所輸出的電多於本地局部所求的，它就把多餘的電能『售』給於電線網。倘使本地遇到大量的需要而一廠不能負擔時，即向那電線網『購』入額外的電能。這個電線網由中央電局（Central electricity Board）統制，正如一所規模宏大的電的國家銀行。

我們在購買電器的時候，例如買電力冰箱或其他

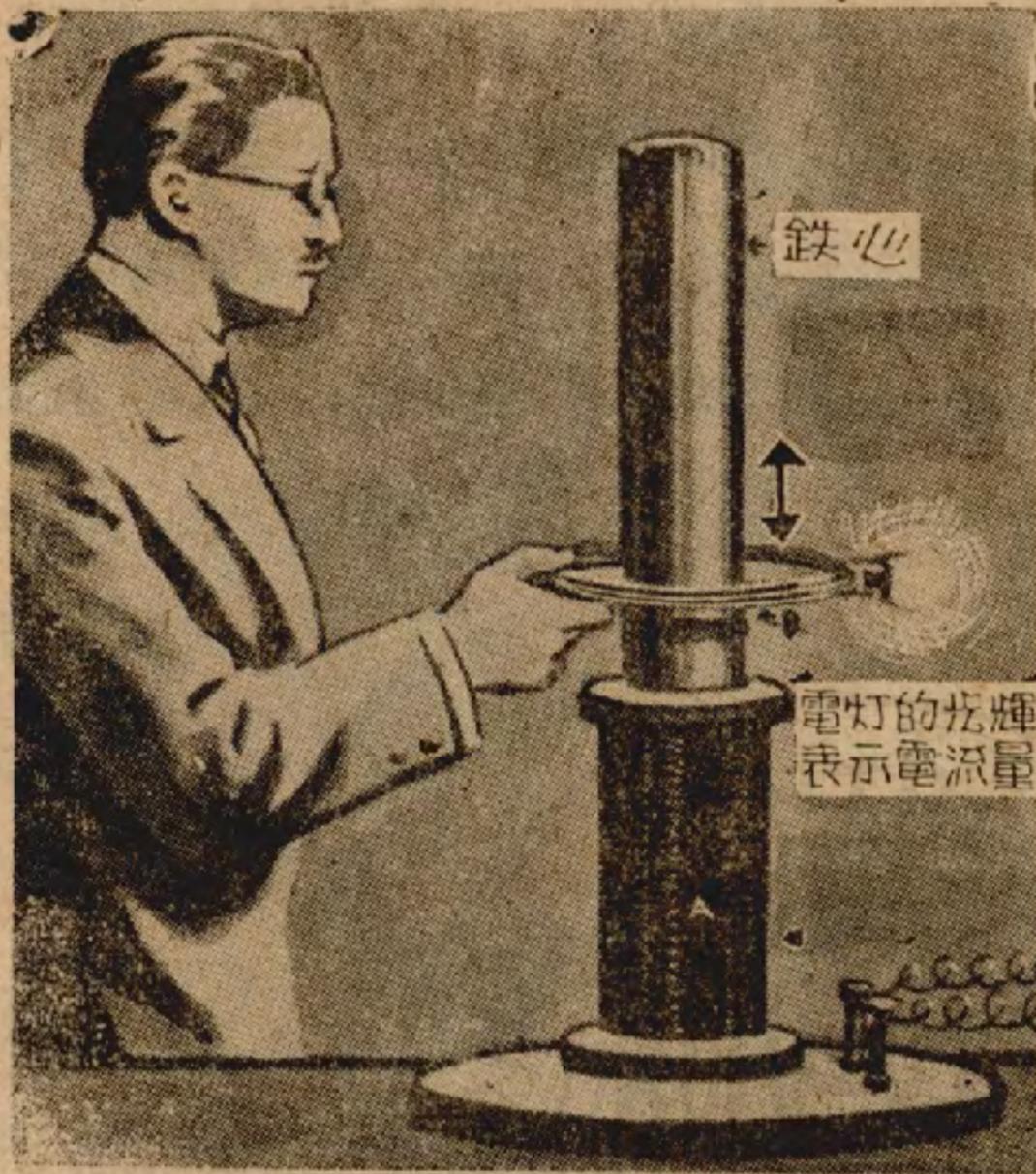
電動的器具,舖子裏的人常要問我們住處的電是『直流』呢還是『交流』。直流電是連續流於同一方向的電流,像一條河;交流電則在電線內往返衝動,像海口裏的潮汐。在這演講中,我用繪圖來說明這個區別(圖五)。

我把兩根棒接到電總線上,再把一幅布先浸漬於碘化鉀和澱粉中,攤到一張金屬板上,而後用棒在布上繪圖。若用直流電時,一手把陰極棒觸在金屬板上,一手執陽極棒在布



圖五 用電流繪圖法來說明直流和交流。這繪法是引電流于一塊在碘化鉀和澱粉中浸過的布上。

上繪圖,則可繪出一條美麗的紫色線,這是因電流而起的化學作用。若接在交流電線上時,因為交流使每根棒交番地變陽變陰,故二根棒均繪出虛線(每秒鐘五十點)。在英國,正常的電供給是交流,每秒鐘來回五十次,通入家屋內的電壓是320伏特。圖六表示變壓器的原理,說明我們為什麼用交流而不用直流,雖然人們總以為直流



圖六 變壓器的原理（該器只能應用於交流電）。把交流饋入線卷“A”，線卷“B”中即感生交流。

是比較上容易見的一類電流。

用二個線卷，叫做原線卷和次線卷，繞在同一根鐵棒上（圖六）。把原線卷接於交流電路。在次線卷上接一電燈，不過這線卷和電燈由試驗者所握起，並不觸着鐵棒和原線卷。交流流過原線卷時，那

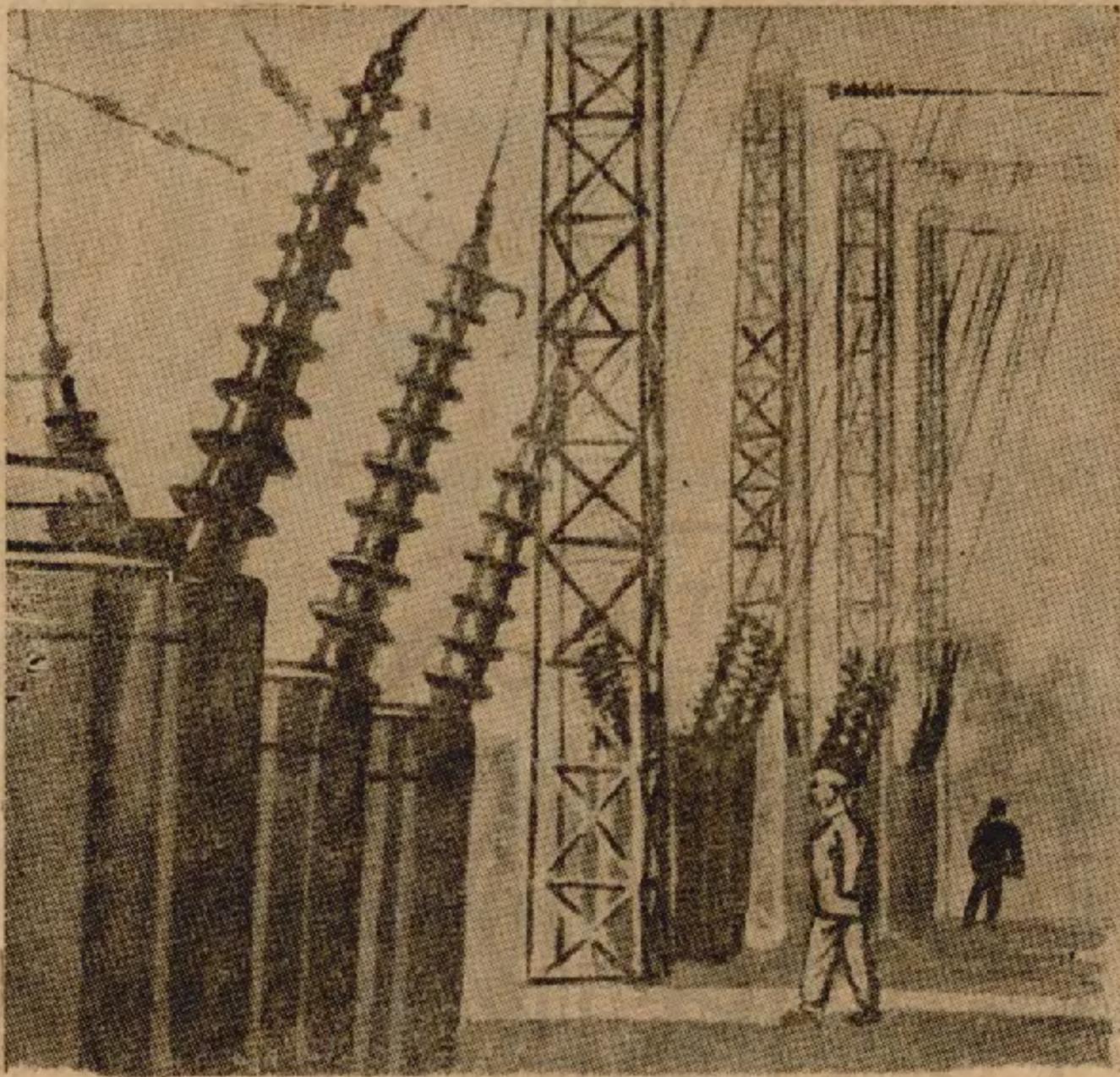
盞電燈就會點亮。試驗者把線卷提出鐵棒之外時，燈即熄滅。把它再套上鐵棒時，燈復點亮。這是前一講中所述法拉第發見的感應作用的另一個例子。那根鐵棒的磁性被原電流所反復，每秒鐘達數十次，因此在次線卷中感生交流，像在一隻發電機中一樣。

這個裝置叫做變壓器。以上述的實驗而論，我們只看到耗費了一電流以取得另一電流，而還沒有說到一具變壓器的最有用的特性。倘使那個次線卷的線圈數

比原線卷的線圈數多得甚大，那麼在次線卷裏的電流甚小而其電壓則甚高，這叫做用壓器把電壓『變高』。反過來說，倘使次線卷的圈數比原線卷的少，那麼電壓減低而其電流則增大，這叫做把電壓『變低』。實際上，在一隻變壓器中沒有『電能』損失，這是一種變低壓的大電流為高壓的小電流，或變高壓的小電流為低壓的大電流的巧妙方法。

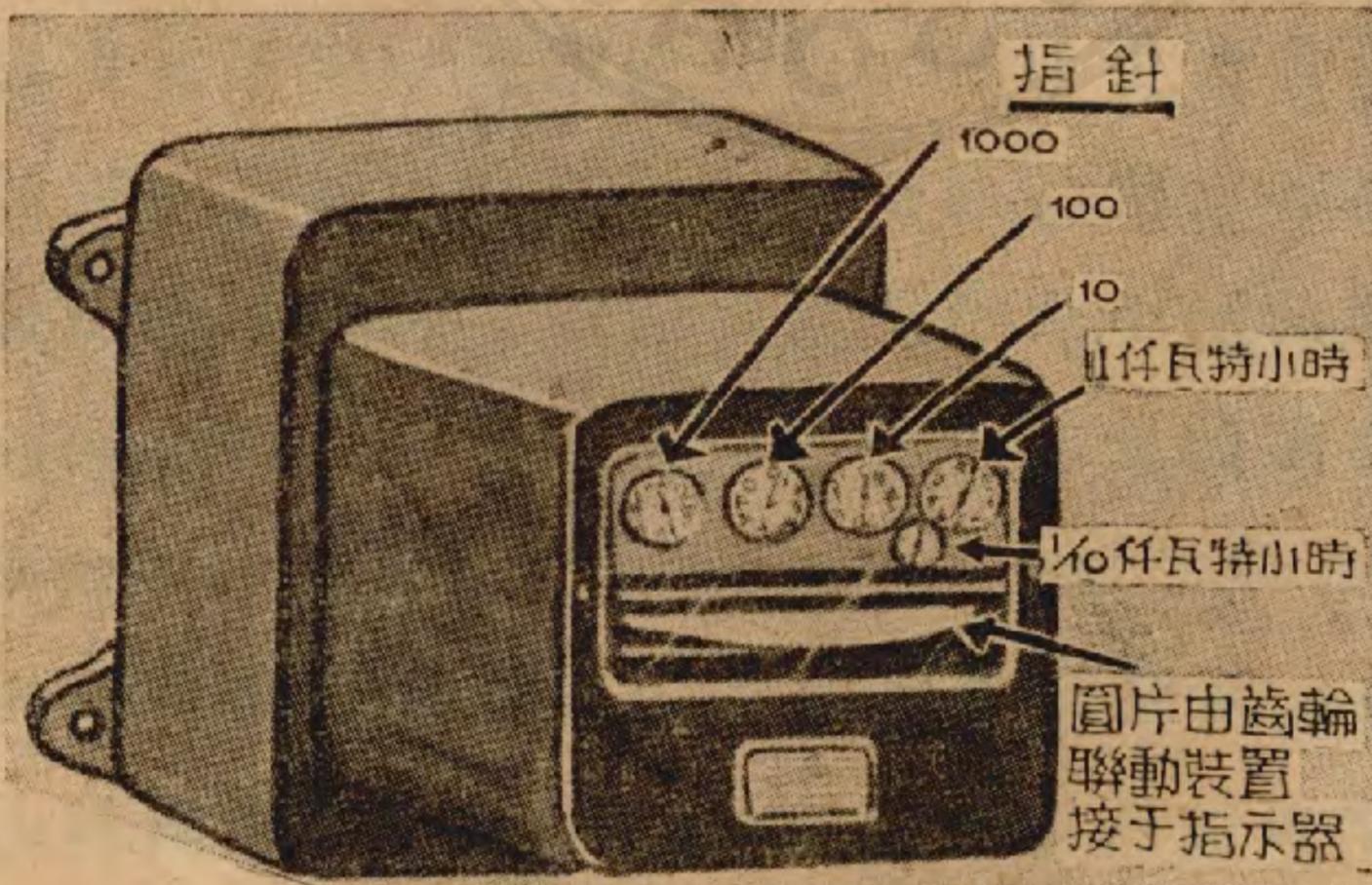
要傳遞一大電流於長距離是一件很浪費的事，因為要使『電能』不被電阻所消耗，必需用很粗的電纜才行。倘使倫敦的培德先電廠把它所有的『電能』都用家屋中所用的230伏特的電流來傳布出去，它必需用好幾呎直徑的傳電銅線才能勝任。它實際所用的傳電方法是這樣的：發電機先發生11,000伏特的電壓，用變壓器把它『變高』到132,000伏特而接到傳遞線。在這樣高的電壓下，電流比例的減小，故能用輕細的電纜來傳遞。電流傳到各個遠距離的分布中心後，即用變壓器『變低』到33,000伏特，於是再把它傳遞到各個副分布站，更『變低』到1,100伏特，最後傳遞到各個局部分布中心，變成230伏特的電供給，才可通入家屋而不生危險。我們回到銀行的比喻，可以說發電廠造出銀圓，換取十元鈔票以便利運

輸,再把鈔票售換現金,仍還復為銀圓,銀角和銅元。



圖七 一個變壓所,把長途傳遞線的高電壓變低,以供家用。

在英國到處可以看見一種神秘的封禁地,裏頭所容着的看去像是許多鐵桶,及高高張羅着的纜索和瓷瓶,那就是變壓所和電能的分布中心(圖七)。在那兒把電流克服到較低的電

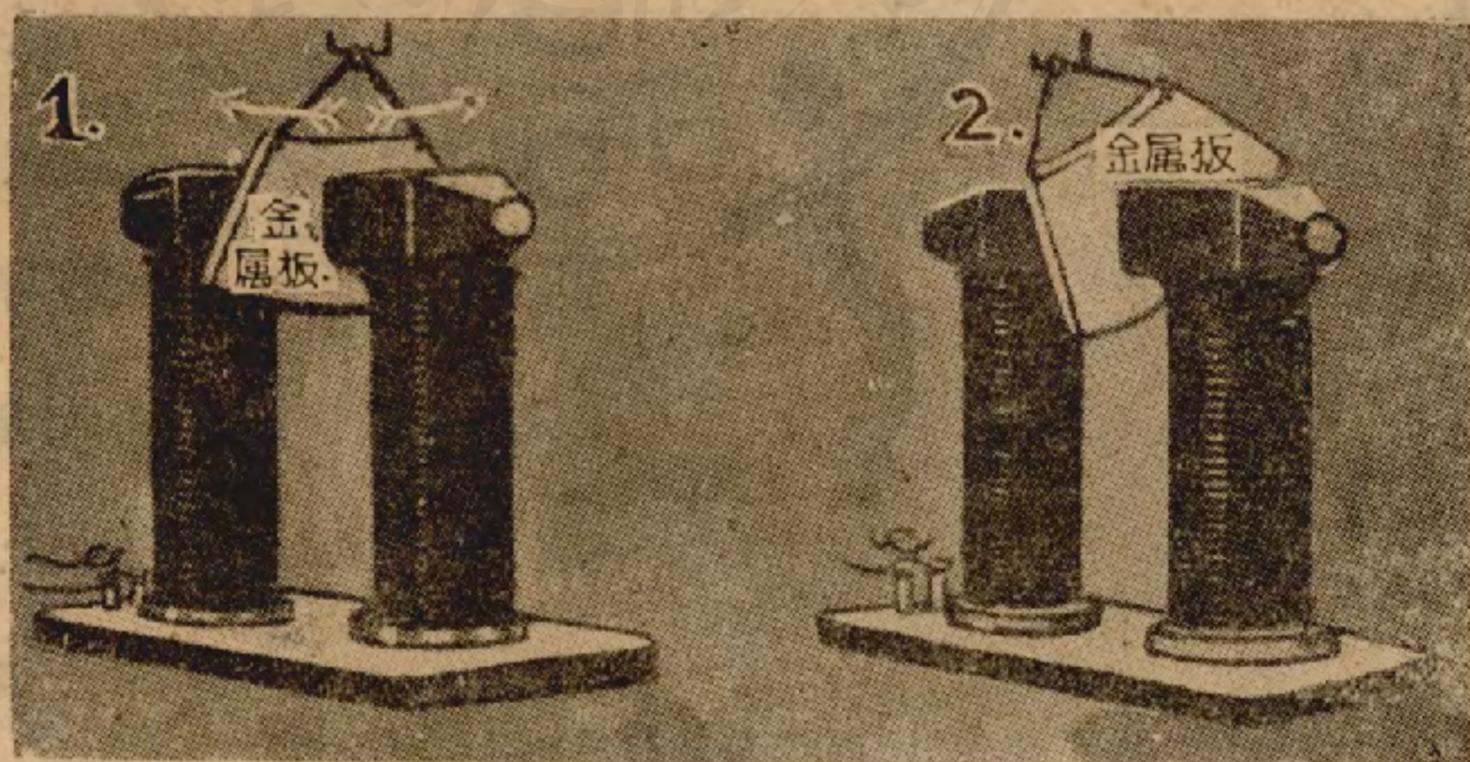


圖八 家用電能計,開燈愈多,圓片轉動愈快。

壓,並可把「電能」從一條路線轉輸到別一條路線。我們大可以在那兒張掛一塊招牌,寫着「兌換電能」四字。

圖八是一具裝在家屋中量計用電數目的「電能計」(我國俗稱「火表」,亦稱「電表」,在工程上應稱為瓦特小時計)。我應當誠實地在那圖中標明「只供高級學生參考字樣」,因為誰能夠看懂一只「電表」如何走動,他是已經了解電磁感應的原理了。電磁感應的主要原理是這樣的,倘使一個在電路內的磁場有變動時,這電路中就會感生一個電流。今若以一塊金屬動於一個磁場內,則在這金屬之任何部分內的磁場是在不斷地變動,因此這金屬內發生旋渦狀的電流。這種電流叫做「渦流」。圖

九表示一片銅板動於一個電磁鐵的兩極之間。倘使把電磁鐵的電流截斷,銅板能自由動

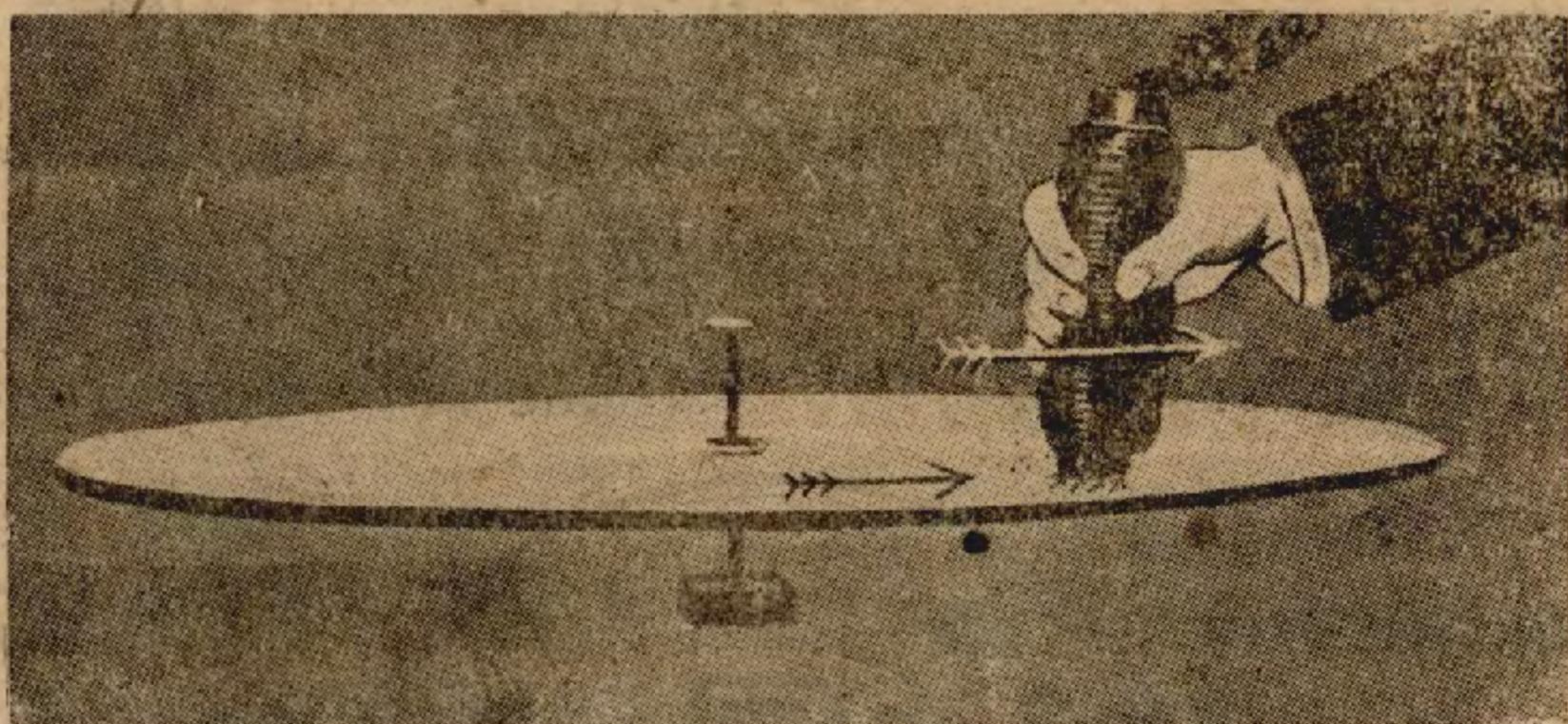


圖九 一塊金屬在兩磁極間動盪,就感生一種暫時電流,叫做「渦流」。此種渦流有使金屬黏滯的作用。

(1)電流未通過電磁鐵時,金屬板自由動盪。

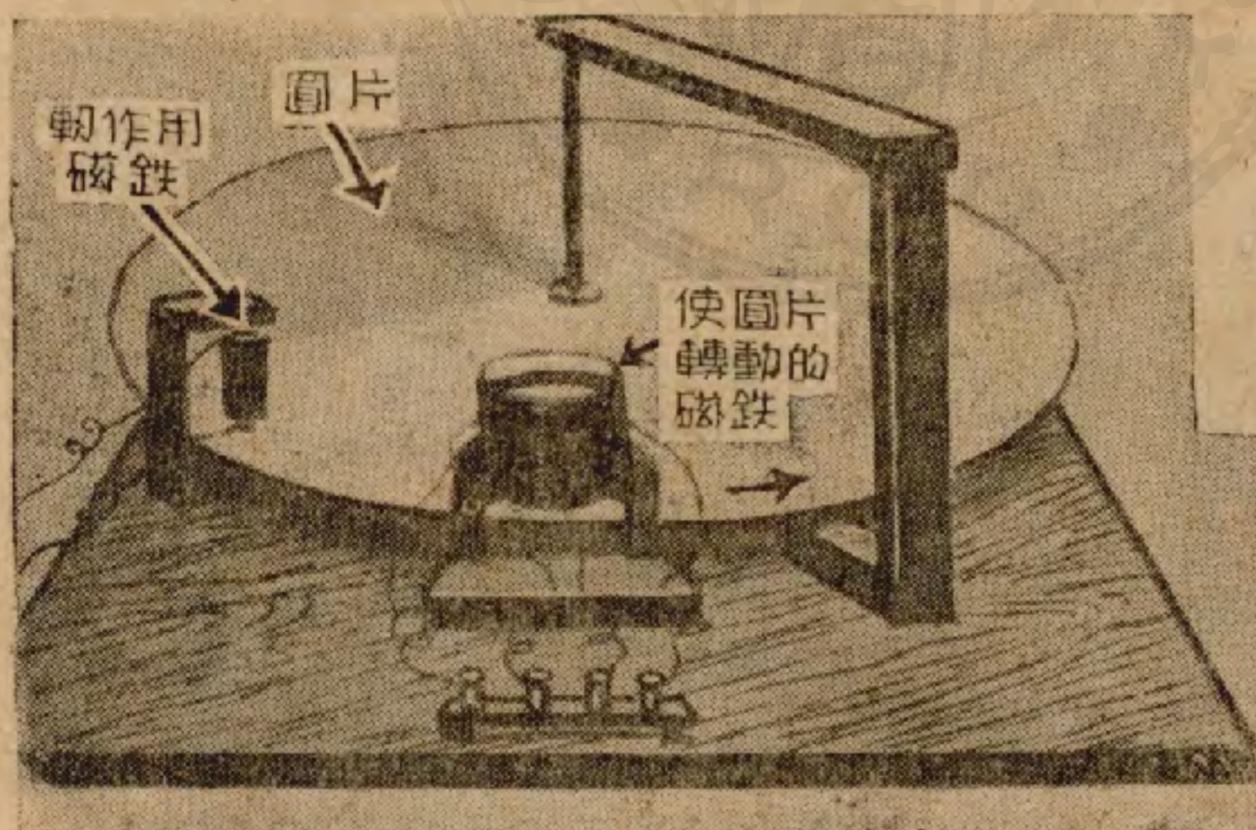
(2)電流一通,金屬板中即發生渦流而停止動盪。

盪,但若使電流一通,那動盪銅片的「能」,立即耗費於發生渦流,銅板就緩慢下來,好像動在糖漿中似的.倘使我



圖十 金屬板中渦流的作用,更可用一磁鐵在金屬板上方來往運動而加以觀察。磁鐵在這樣運動時,渦流即把金屬板拉轉。

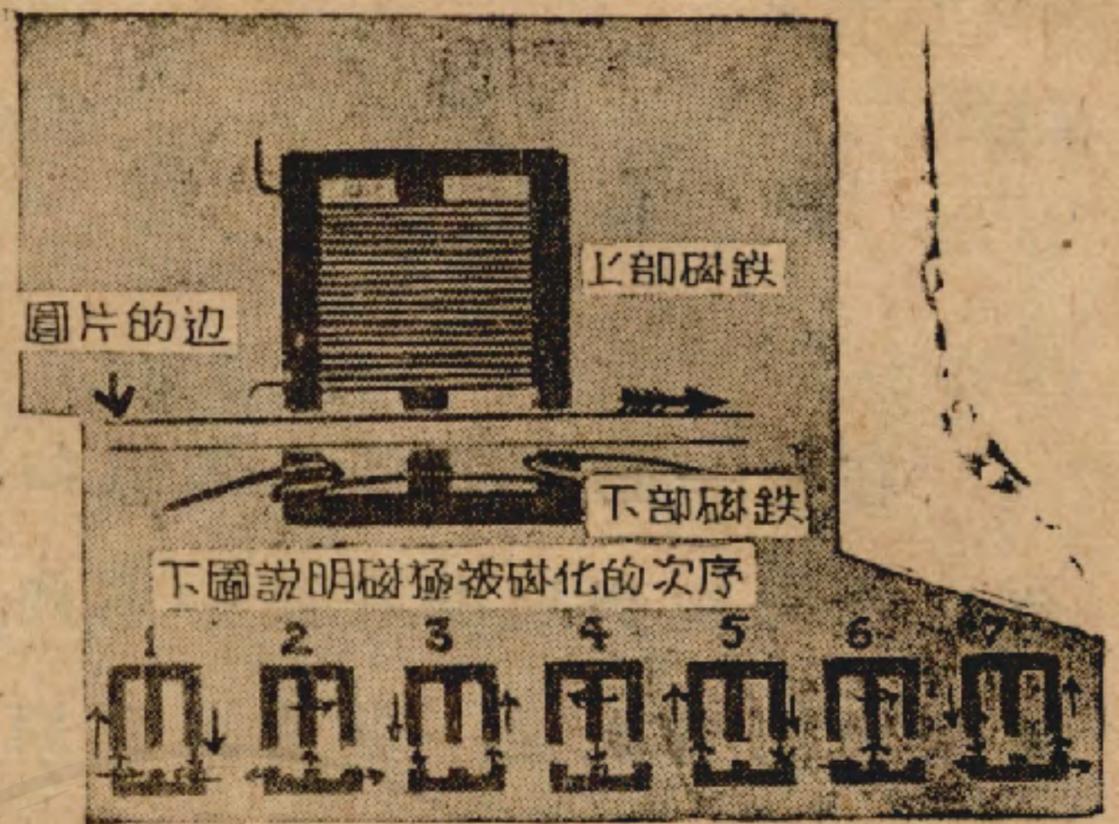
們用手執住這銅板,就覺得它好像在和什麼東西用力



圖十一 我們應用此種渦流的粘滯拉力來運用我們的電能計(瓦特小時計),藉以量出所用去的電能量。上圖是一具瓦特小時計中轉動圓片的簡單模型。

摩擦一樣,雖然它並不觸到磁鐵.同樣,若用一個磁鐵在金屬板上面往來移動,好像摩擦它而却不使觸着它,如圖十所示,就能使這圓片

轉動.倘使你在家中把電燈開亮,向你的電能計(圖八和十一)內觀察一下,你就可看見一塊圓片在轉動,和一個轉數計在記出轉數來.這時那一塊圓片正在被三個小電磁鐵(圖十二)“擦”轉,由於交流電把這些電磁鐵依1—2—3—1—2—3的次序而磁化.倘使你能懂得感應的意義,這圖就可給你說明如何發生感應作用.



圖十二 磁鐵如何轉動這金屬圓片：
上部磁鐵的線卷有較多匝的線，故比下部磁鐵被磁化得慢些。因此發生一種作用，好像這磁鐵在不斷地從左向右移動。

第五講 電報和電話

在前一講中，我們已知道如何利用電流來把能力從一處傳送到別處。在這一講內，我們可以明瞭如何用電流來把音訊從一處傳送到別處，所用的方法是依照預定的電碼把電流斷續或變更其強度。電報以單個電碼傳信，再從電碼譯出字來。在電話中，則由說話改變發話器中電流的強度，而此種變動仍由受話器變回為聲音。

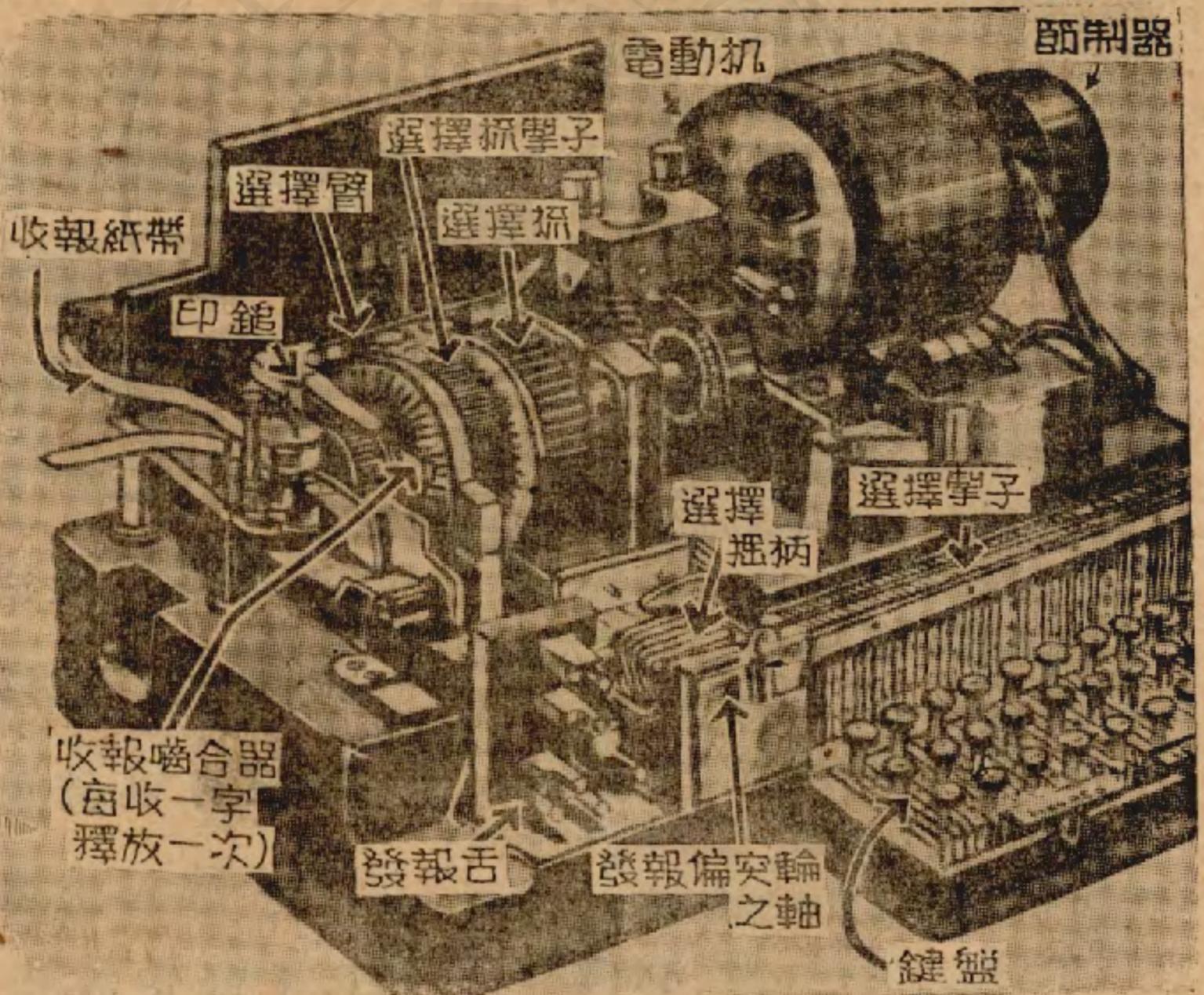
廣義地說，電力的傳遞和電訊的傳遞為電工上之二大部份，彼此所遇的問題很不相同。電力問題的主要目的在傳送「電能」時不使有過多的消耗；工程師計畫他的傳遞線只許有很小百分率的「電能」損失。在電訊的問題，只要音訊通暢，「電能」有多大消耗，比較的無關重要，事實上，除用到極微的一部份外，其餘一切「電能」都在途中損失掉，正如二人對話，每個人都丟掉數百人所能聽到的「聲能」。

發送電報向來用一種非常方便的組織，是一位美國人叫模斯 (Morse) 的所發明，每個字母用一組“點”和

“畫”來代表，一點是電流的一個短衝動，一畫比點的衝動約長三倍。電流的衝動由一個按鑰送出，到了電線的他一端，乃經過一個電磁鐵而使它的銜鐵上下移動作啲啞聲。我們如果到電報局裏，就可聽到報務員拍出的點和畫的聲音。

但是現在已有另一種組織代替模斯的了。在大的電報局裏，有一排儀器，看去好像一排複雜的打字機，如圖一所示。每具儀器由電線接到另一電報局中的相似

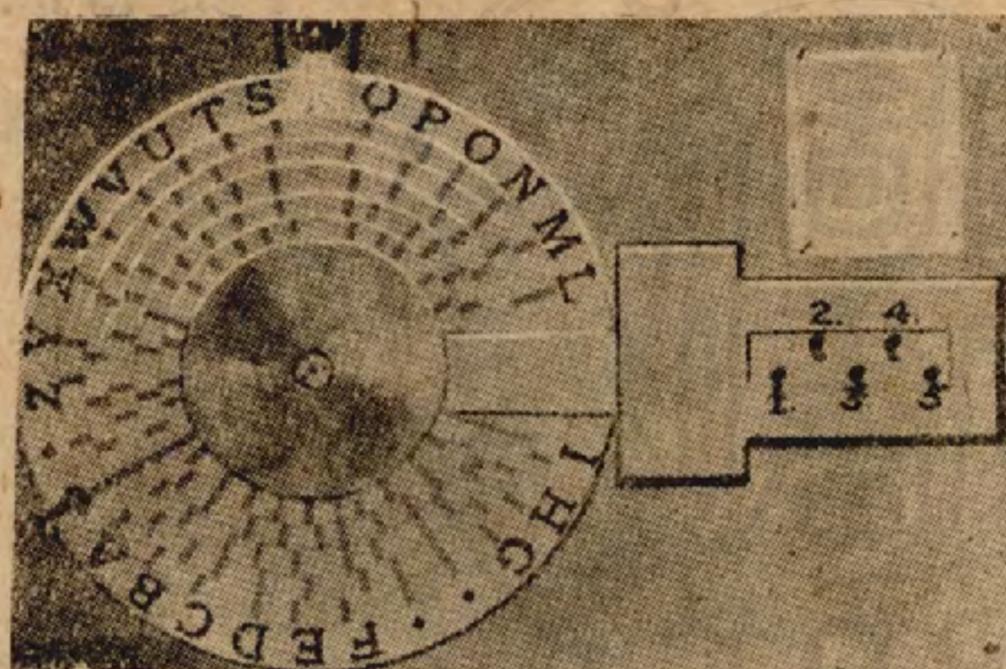
的一具，其間相隔可遠到數百哩。倘使在發報機上把一個記「A」字的電鑰按下，即有一個



圖一 印字電報機。在發報方，把任何一個指定字母的鍵按下時，就送出五個信號組成的一個電碼，使收報方的一具印字電報機選出，而印下那個相同的字母。

『A』字印在收報機的一條紙帶上；所以一個司機生僅需把電報用打字的方法發給另一司機生。圖中那具克利特印字電報機 (Creed Teleprinter) 是一具極複雜的機械，但是其中有一個主要而極有趣的機巧，我可用一個模型來把它說明。

第二圖中所示的模型為一組圓片，沿每片邊緣上各有許多不規則地列置的黑條。每個圓片的右邊有一個臂，臂上各有一珠。把



圖二 在收報處。這個模型代表一具印字電報機的主要的收報方法。它說明如何用五個信號的組合來印出一個字母。假如我們接收一個字母“R”，則1,3和5三個臂留在下邊不動，而2和4則升起。這樣一個組合把各個圓片轉動而使某幾條凹槽在箭示處列成一直線。於是外邊一圈字母轉動，至一個掣子落入那五條槽內而止。這時有一個打字鎚打在紙帶上，印出“R”一字母。

個臂，臂上各有一珠。把臂移上或移下，能使圓片略轉。現在請你想像有五根線從發報機接到收報機，在第一根線裏的電流使最內一圓片的臂向上動，其他線和圓片照此次序類推，凡線有電流，即使其圓片的臂向上動。字母『R』的電碼信號為1,3,5三線「無電流」，2,4二線「有電流」。這電碼是

由發報機上『R』電鑰的接觸而發出。所以發『R』一字時，2和4二臂即向上躍起，而1,3,5三臂留在下面，如圖二中五粒珠所示。這個圓片的動作把五條黑條(實在是圓片中的凹槽)對某一點列成一直線，雖然圓周上任何處的線條很是參差不齊的。全組圓片之外為一環，環上列着字母。這環轉到箭頭處即被一個掣子所阻止，這掣子隨即落在列成一直線的五個凹槽內。這環停止時，有一個打字鎚打着列在環上最上處的一個字母，此時所印之字即是『R』。第三圖表示此種號碼的組織。這器具的最巧妙處在用一組五個信號能夠送出任何字母或數字等。每個電碼信號只在使圓片中的凹槽移到一處而列成一直線。

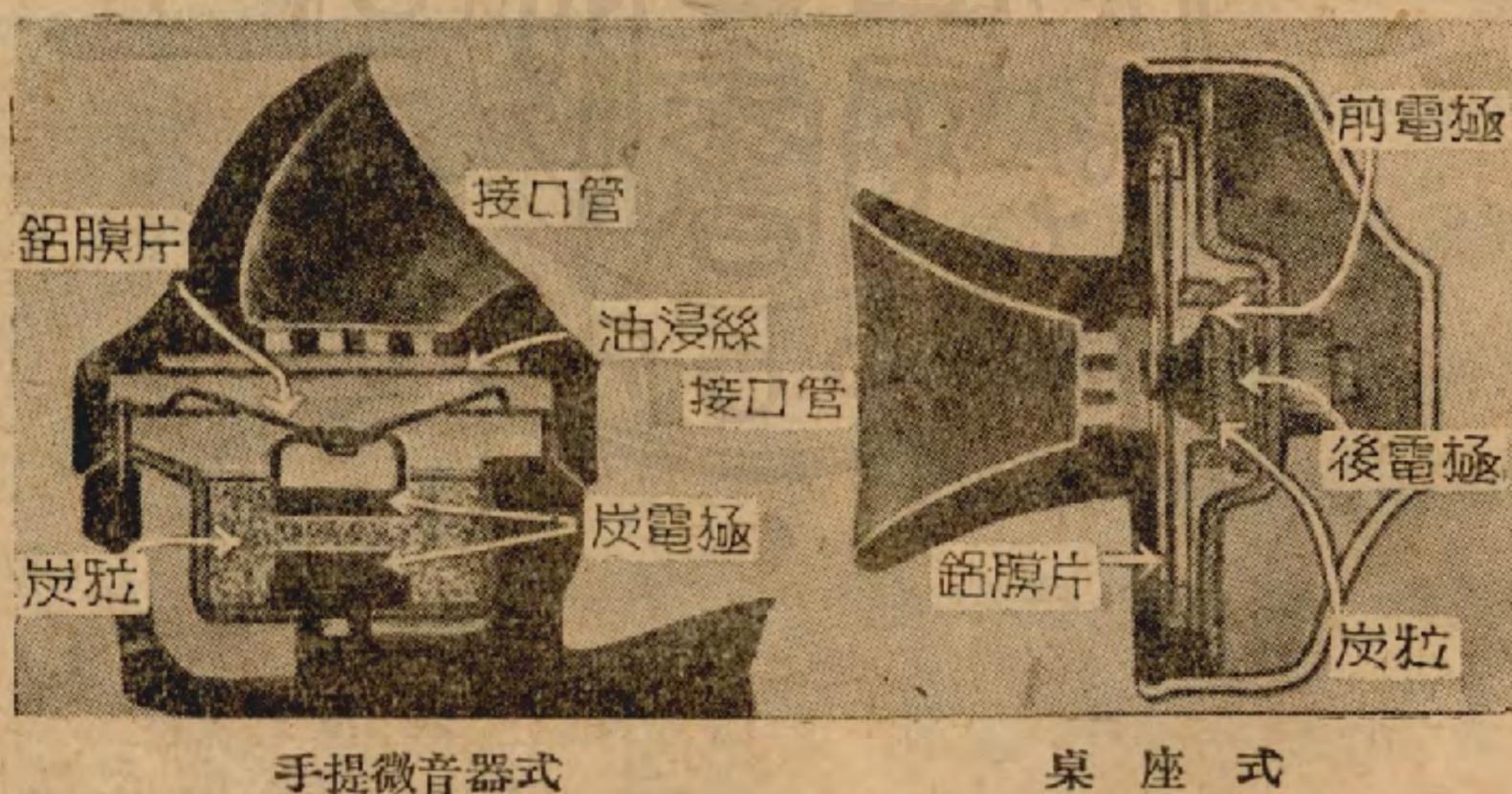
實際的印字電報機却只有一條線路，發出『R』的信號是電流的一組衝動，其第一個記號，警

| 字母 | | 電碼 | | | | | 字母 | | 電碼 | | | | |
|----|----|----|----|-----|----|---|----|----|----|----|-----|----|---|
| | 數號 | I | II | III | IV | V | | 數號 | I | II | III | IV | V |
| A | : | ● | ● | | | | Q | 1 | ● | ● | ● | | ● |
| B | ? | ● | | | ● | ● | R | 4 | | ● | | ● | |
| C | (| | ● | ● | ● | | S | ' | ● | | ● | | |
| D | 2 | ● | | | ● | | T | 5 | | | | | ● |
| E | 3 | ● | | | | | U | 7 | ● | ● | ● | | |
| F | ∕ | ● | | ● | ● | | V |) | | ● | ● | ● | ● |
| G | ∕ | | ● | | ● | ● | W | 2 | ● | ● | | | ● |
| H | ∕ | | | ● | | ● | X | ∟ | ● | | ● | ● | ● |
| I | 8 | | ● | ● | | | Y | 6 | ● | | ● | | ● |
| J | ∕ | ● | | | ● | | Z | . | ● | | | | ● |
| K | ∕ | ● | ● | ● | ● | | / | / | | ● | | | |
| L | | | ● | | | ● | ∞ | ∞ | ● | ● | ● | ● | ● |
| M | ' | | | ● | ● | ● | - | - | | | | ● | ● |
| N | - | | | ● | ● | | + | + | | ● | | | ● |
| O | 9 | | | | ● | ● | | | | | | ● | |
| P | 0 | | ● | ● | ● | | | | ● | ● | ● | ● | ● |

圖三 印字電報機所用的信號電碼表。一組五個信號發送任何所需的字母，數字，或記號。黑點子代表「有電流」。

告收報機準備,最後的一個告訴它傳報已完了,傳達『R』一字的信號是『預備——無電流——電流——無電流——電流——無電流——停止』。現代的電報都是這樣傳送的,都市中的郵政局或電報支局用電話通知總電報局,總局即用印字電報機發送;收報局也用這樣辦法,遇必要時,用電話通知支局。

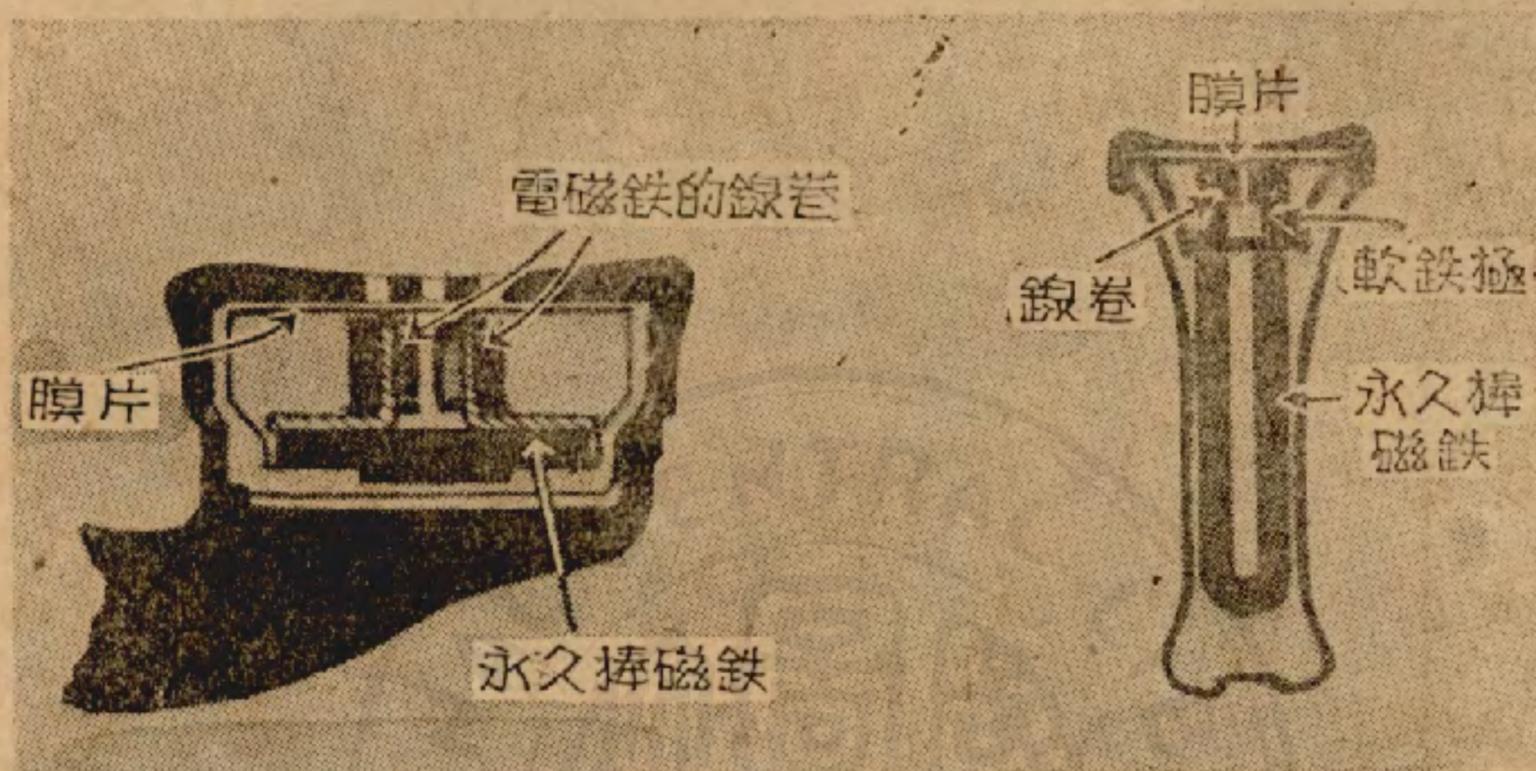
現代的電報機太複雜了,不必細述,我們要一說電話的發話器和受話器(俗稱聽筒)。一只發話器有二塊炭板,炭板之間填着炭粒(圖四)。用一組電池把電流從



圖四 發話器

一炭板送過炭粒而達於他一炭板,我們把說話送入發話器時,聲的振動為一鋁製膜片所接應;膜片向內動時,把炭粒壓緊,向外動則把炭粒放鬆,炭粒被壓時,電阻降

低而電流變大,壓力放鬆則電流變小,所以我們已把聲的振動變化為電流的相符的變動.在電話線的他一端,這變動的電流流過受話器(圖五)中的一個電磁鐵,結果



手提微音器式

桌座式

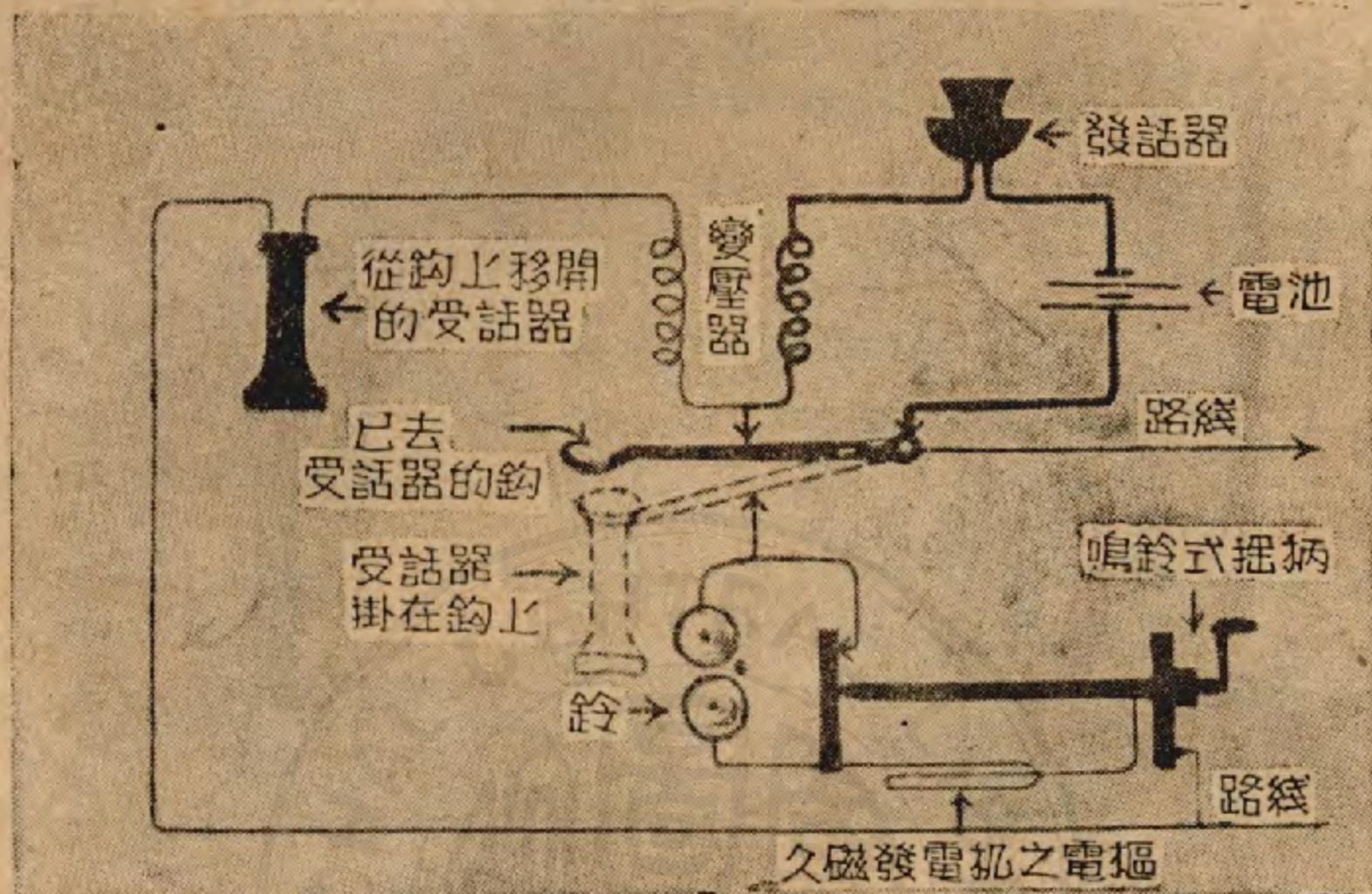
圖五 受話器

在電流強大時把一塊鐵膜拉進,在電流弱小時,膜片彈回.受話器中的膜片在實際上重演出發話器中膜片的動作,故在受話端能發出原來的聲音.

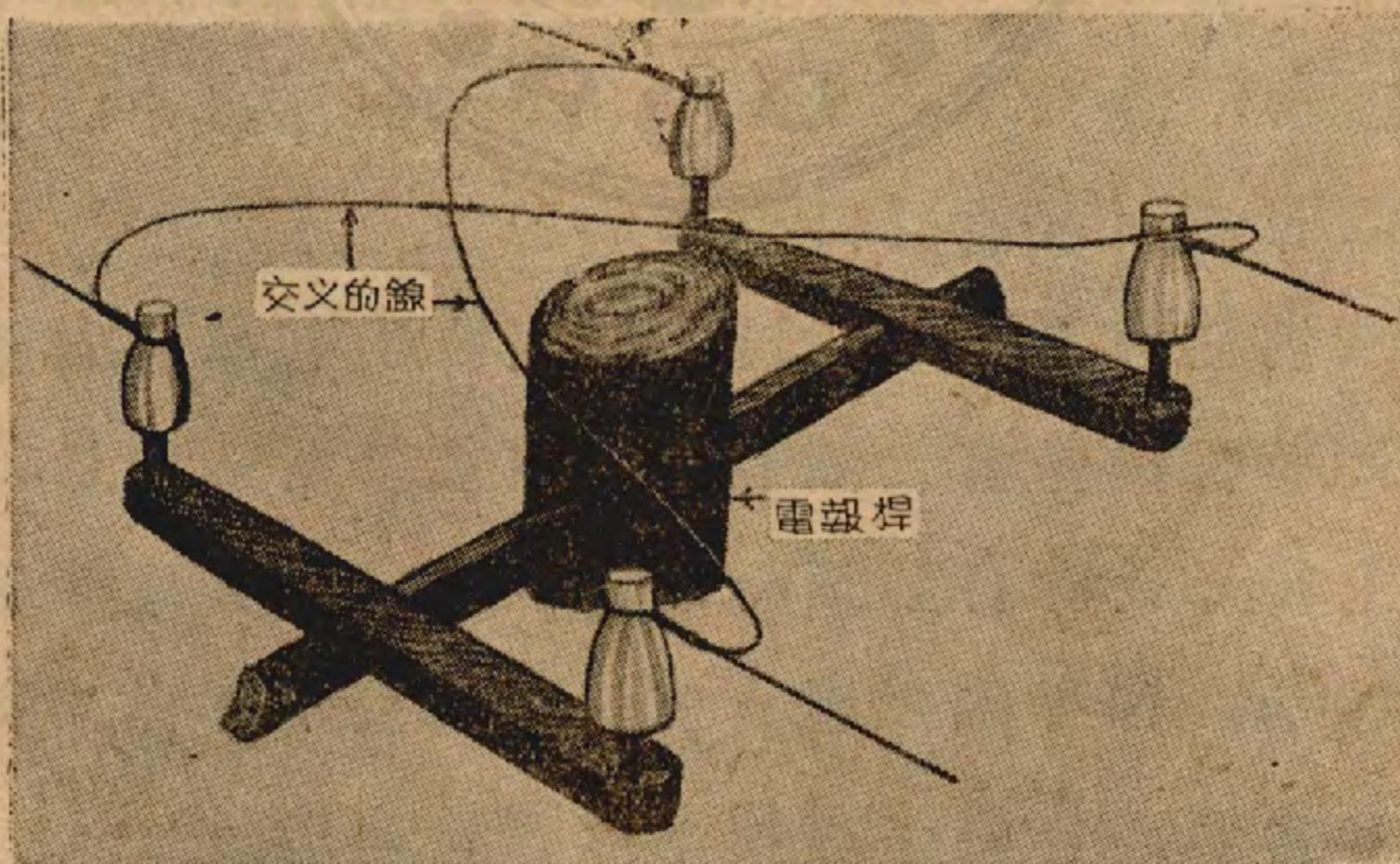
我們從鈎上拾起聽筒來接話時,鈎臂彈起.若把聽筒放回,鈎臂復降.第六圖說明這個裝置的理由.聽筒掛在鈎上時,那鈎臂自動地把路線接通電鈴,在這情形下,凡有『呼喚』即把鈴振響.我們一經把聽筒移開,鈎臂即彈起,而使路線接通我們的聽筒和發話器.

你或許曾注意過在電話線的電桿上,每隔若干距

離把二根電話線互相交叉一次,如第七圖所示.這個辦法是用來免除漏聽,因為如果有二對線平行經過若干



圖六 上圖表示倘使我們把受話器從鉤上移開, 為什麼我們的鈴就不會振響。倘使那受話器是掛在鉤上, 綫路和我們的鈴即接通, 把它移開時, 綫路即與發話器和受話器接通了。



圖七 保證電話不漏聽的裝置法; 交叉的線設在細心計算出之點。

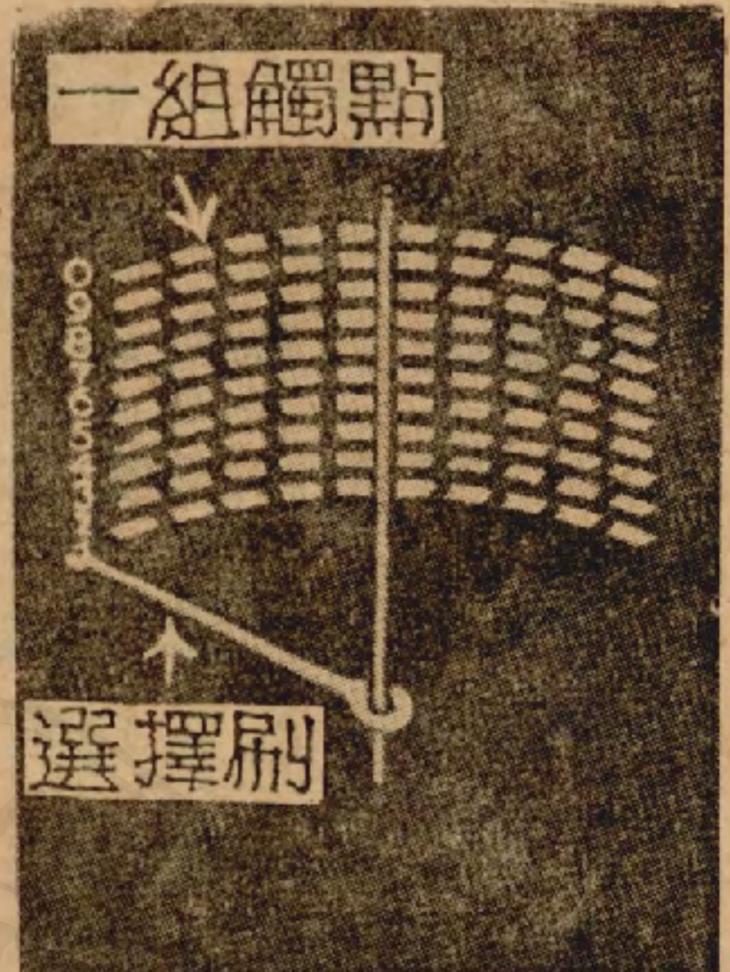
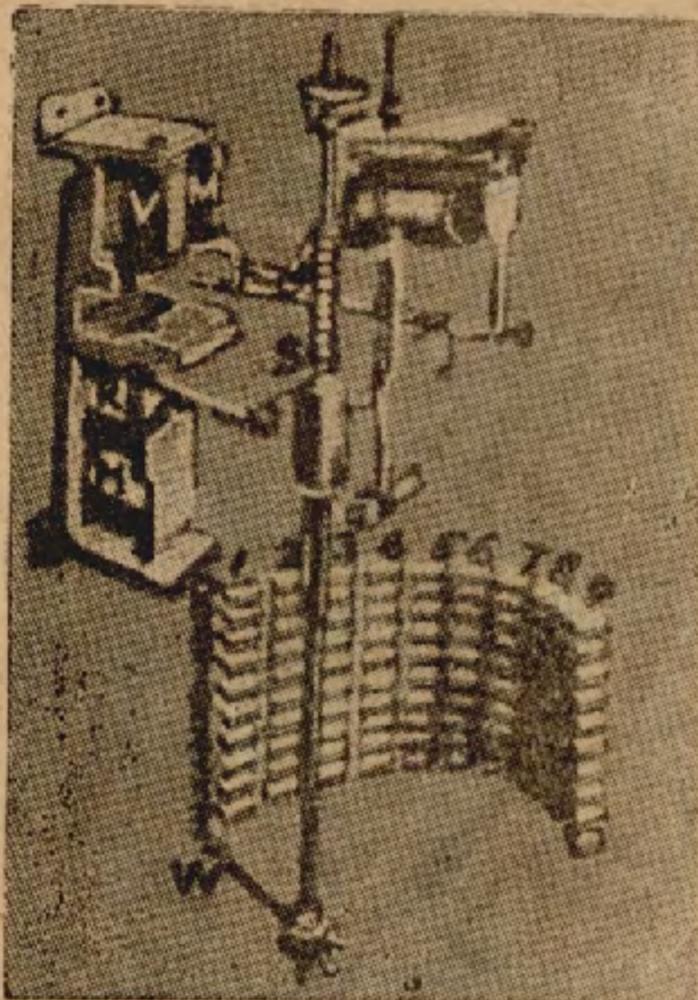
距離，一對中的電流將在另一對中感起電流，而發生漏聽之弊。

電話術中最奇妙的一部是自動電話。本文限於篇幅，不能把它說明，可是它有一個中心原理。譬如我們要打一電話，其號數是2346。我們先把撥盤從『2』上撥轉。當撥盤在轉回的時間內，它將電流連續截斷二下，因此使自動電話交換機中一個選擇器(Selector)將它的臂(即



圖八 這一具小小的標準語聲機(Standard Voice Machine)用時鐘機關來發動。把控制鈕按下時，它會發出喃喃之聲好像有許多同時說話一樣。用它所發各種的人聲。可給工程師們檢驗電話制的效率。

選擇刷)提起二位(圖九)，正對着一排接通凡是由二千號開首的電話線的觸點上，所以這時我們的電話已與二千號開始的電話接着了。那臂再沿着這排觸點上轉動，尋到一個『自由』觸——就是一個與沒有人正在使用的『百號』選擇器相聯的觸。我們再撥轉下一個數目『3』的時候，那『百號』選擇器即給我們接上所要的位置，並且



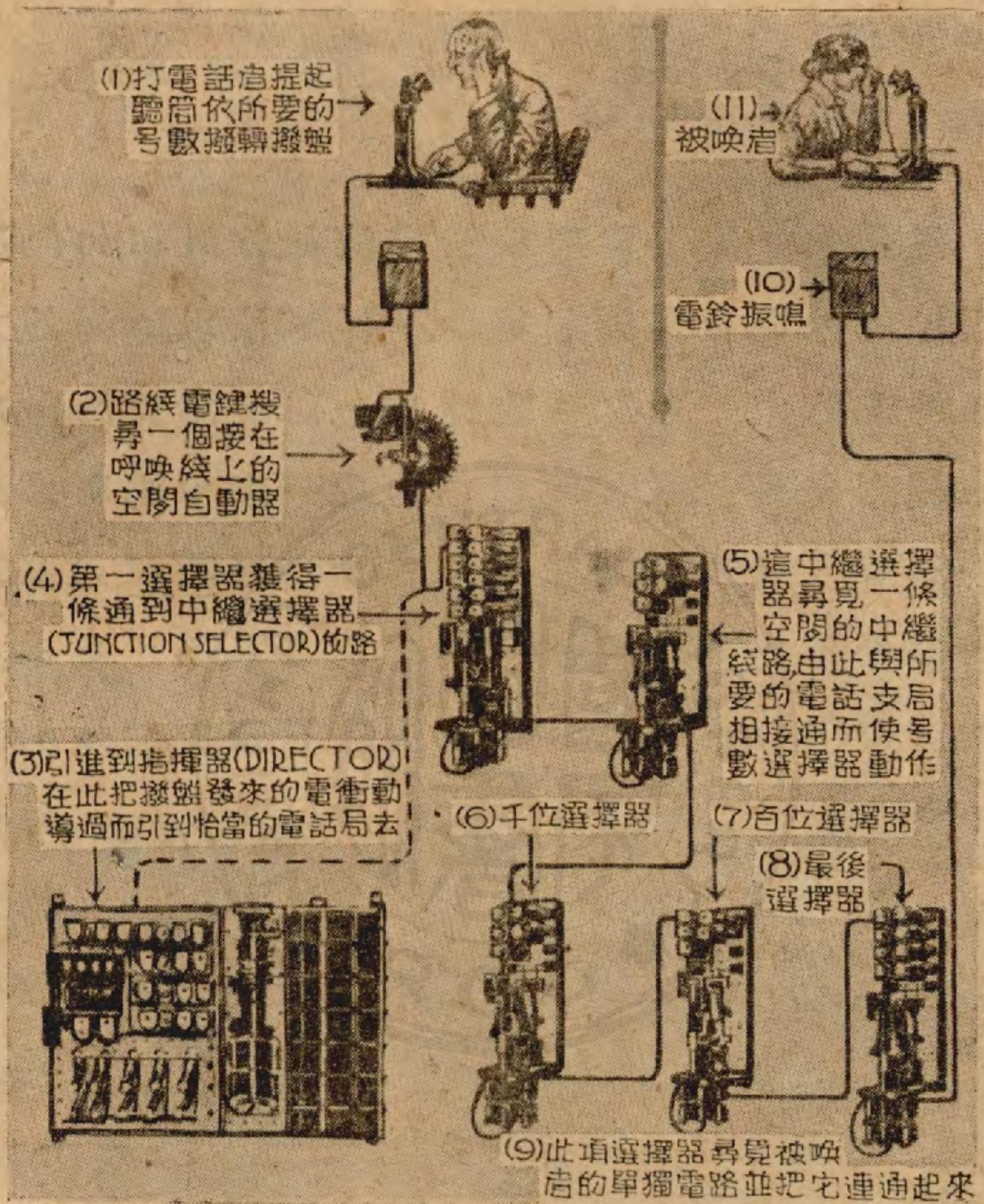
圖九 自動電話交換機中的奇器。

左圖為斯特洛澤“Strowger”式選擇的簡圖。電磁鐵“V.M.”使軸“S”發生上下動，將刷“W”升高到所要的位置；電磁鐵“R.M.”使軸轉動，將刷轉于觸點上。

右圖是各種選擇器中所用的一組觸點，每個觸代表一個數，如所要的數是『2』，那刷子就被升高到『2』的位置，而後在它的一排觸點上轉過，直到尋着一條接通下一個選擇器的空綫。

把我們的呼號傳接到一個最後選擇器。這最後選擇器在它的一百個觸點上有一百個數目，所以自2300至2399號均可接通。所以撥轉『4』的時候，它的選擇刷升起四位，再撥『6』，則這選擇刷又轉過六位，於是給我們接通到2346號電話。

自動電話機的構造和裝置實在是太複雜了，我的畫師在第十圖中已經畫得太詳細，離開我所要講的話

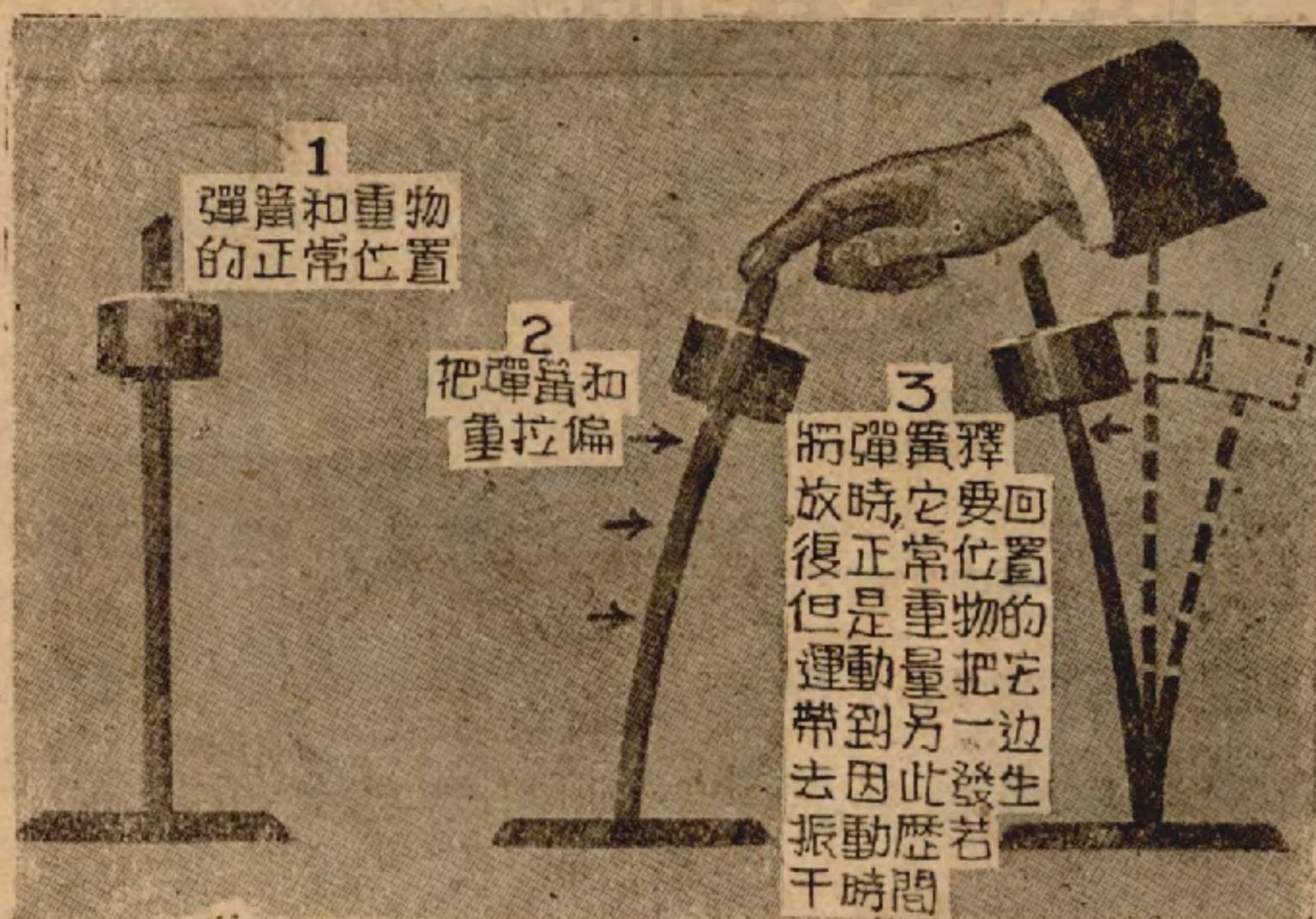


圖十 怎樣一個呼喚電話和一個被喚電話自動地接通。

很遠,我只希望讀者如有機會,請到科學博物館或電話局中去看看活動的模型,定然能引起你莫大的興趣。

第六講 振動電路

這最後一講，要說明振動電流的性質和如何應用它們於無錄電報與無錄電話。一個直流以不變的方向周流於電路中。一個交流先流於一向，再流於反向，每秒鐘改變方向多次。我曾在以前的某一講中說明過如何用一只發電機來發生交流，和爲什麼在英國用交流爲標準制而不用直流。一個振動電流在電路中也是前後反覆流動的，但是我們必須認清它與交流的分別，和了



圖一 高頻率電路或振動電路之說明：振動電流向前向後反復起落，可用圖中所示的重和彈簧的作用來說明它。

解如何使它發生的種種情形。倘使我們置一個重物於一條彈簧的端

上,或一根柔順棒的端上,如圖一所示,我們能使它起振動.把它扳向一邊而後放手時,它即往來搖擺.那棒的彈性要使它回復到直立的位置,但是到了這時它已經加足速度,射過中心位置而使棒向另一邊彎過去.因此它又須彈回來,重演這樣的過程.我們大家都熟悉許多振動的方式.在適當的方向,給一個振動着的物體每一擺動略推一下,

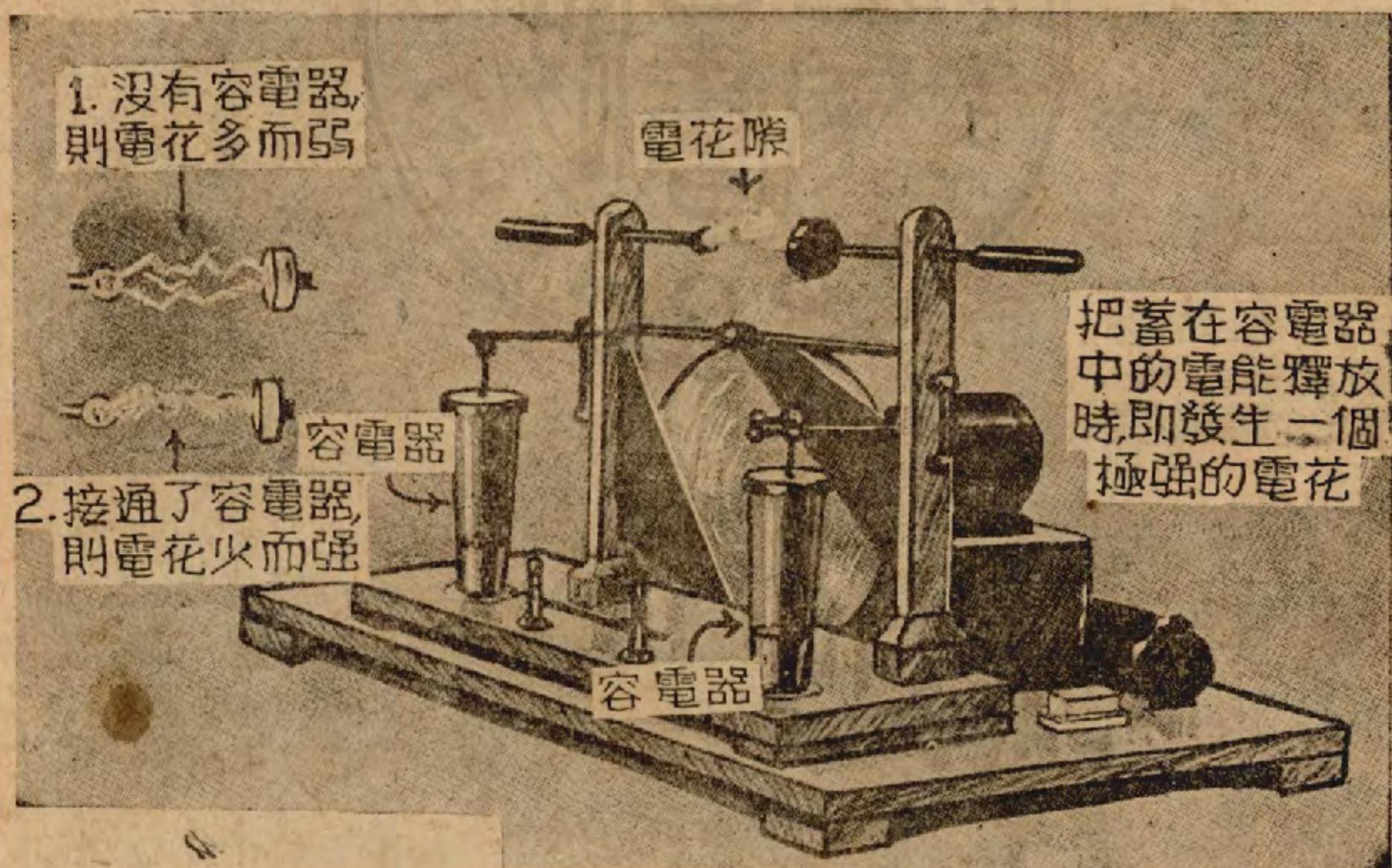
我們能夠使它擺動不息,例如使一個小孩在鞦韆架上盪來盪去.一隻時鐘內的操縱機就是用以使它的擺或平衡輪擺動不息的機件.

一個振動電路 (Os-



圖二 說明振動電路的一個簡單模型:在一個電路中(圖左下角),容電器的放電被導入一個線卷,並維持線卷中的電流流動,因此將容電器起電於反對之方向。

cillating circuit)是由一只容電器(condenser)和一具電感線卷(Inductance coil)所組成。例如,我們有二塊金屬板,兩板面之間隔以空隙,即成一只容電器。把一卷線接於這二板之間,即成一具電感線卷。倘使我們給一電荷於這容電器,就好像把一個彈簧壓縮或拉長一樣。倘使我們現在使這容電器放電,使電流過那線卷,那麼因為感應作用,雖在容電器已經放電之後,這電流仍能繼續流動,而使容電器帶電於相反的方向。於是這容電器又放電回來,因此電流反復衝動,正如一個重物在一根彈性棒上擺動一樣。圖二表示一具機械的擺動模型,其中

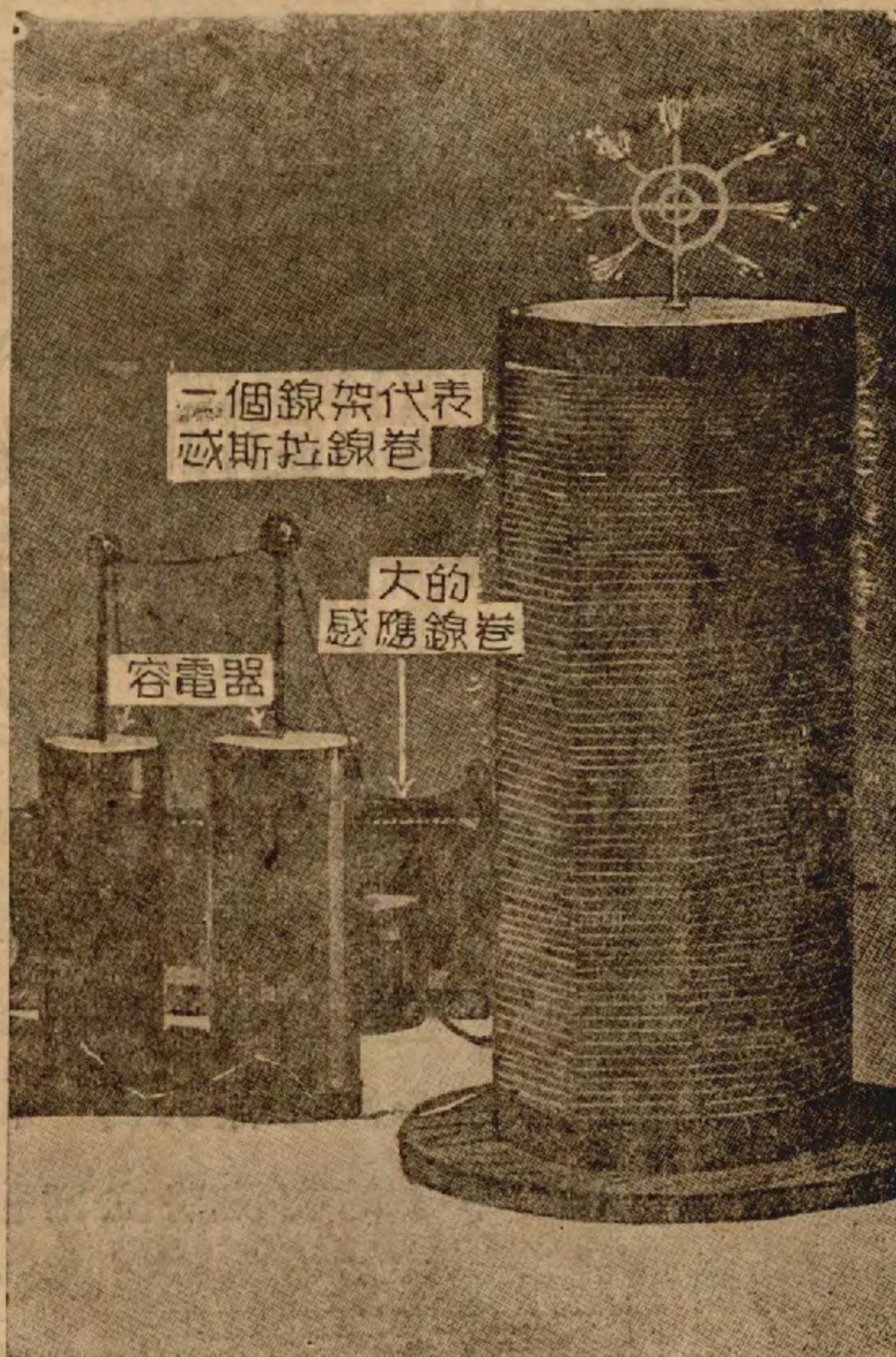


圖三 用彈簧來比喻(圖一和圖二)容電器,將電儲蓄于容電器中,好比彈簧的被壓縮;把已儲蓄的電放出,好比壓縮的彈簧被釋放。

彈簧代表容電器，圓軸代表電感線卷。

圖三是一個實驗，說明如何把「電能」儲於容電器中。搖轉一隻起電機使它的二電端一荷陽電，一荷陰電，電端之間即有劇烈的電花流過。倘使我們在每個電端上接着一隻容電器，每一時間內發電花的次數雖較未接容電器時為少，然而每次電花強亮得多，且爆裂聲也響得多，這是由於在每次電花發出以前，已有許多「電能」儲蓄於容電器內的緣故。

忒斯拉 (Tesla) 感應線卷是一個簡單

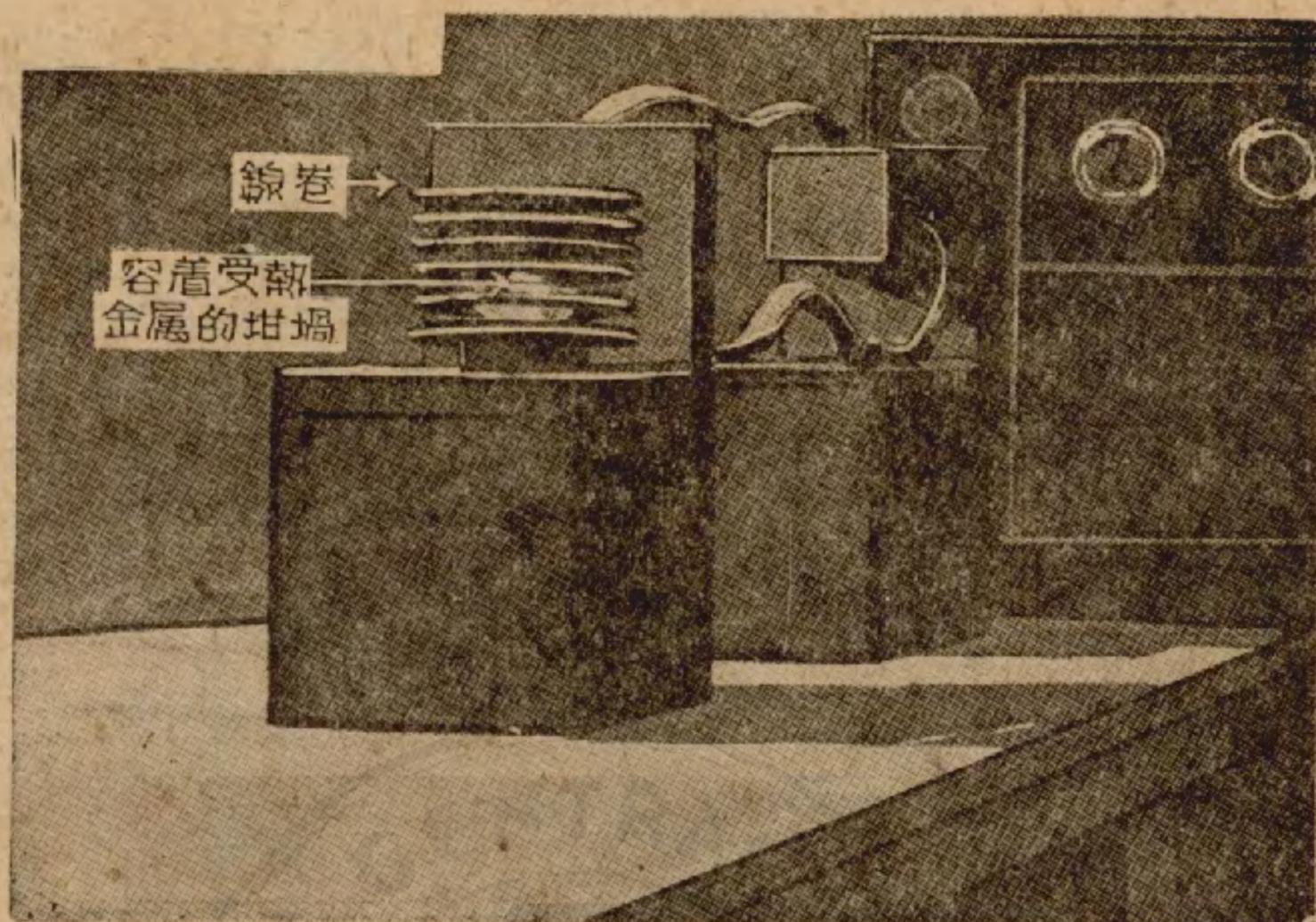


圖四 忒斯拉線卷——振動電路的一個例子：
把容電器放電時，即有高頻率的振動發生，其所達電壓之高，能使電花從線卷架之頂輻射入空氣中。

振動電路的例子在圖四中，放在前面的二個玻璃筒，內外面各粘着一層錫箔，即爲一隻容電器的二塊金屬板。後面的一具感應錄卷把它們起電。容電器得到充分的電荷時，就放電越過一個電花隙，並經過繞在架上的忒斯拉錄卷之下部的幾圈粗錄，如圖所示。被這二個容電器和忒斯拉錄卷下部幾圈錄所發生的電流的急劇振動，乃使上部一切錄圈中激起共振。由這共振作用，我們能得到許多著目的效應。在一間暗室內，可以看到那個忒斯拉錄卷的每一突出部份都有電花的發洩。倘使一個人手執一根金屬棒移近那錄卷時，就有強烈的電花流向這棒上。這種電花並不傷人。通常的放電能使人受到極大的震擊，可是高頻率 (high frequency) 振動動得甚急速 (每秒鐘數百萬次)，其電流只使手臂溫暖而並不與以痛苦。若將普通電燈的一根電錄執在手中，而把它的另一根錄移到忒斯拉錄卷，就有足以點亮一盞燈的電流流過那人的身體。這樣大的一個電流，如果是『直流』或『低頻率』的交流，將立刻傷人致死。高頻率電流在醫療上用途甚廣。

圖五是一具感應電爐。使振動電流發生於前面的那個錄卷中。在這一例中，用一個真空管 (Valve) 來維持

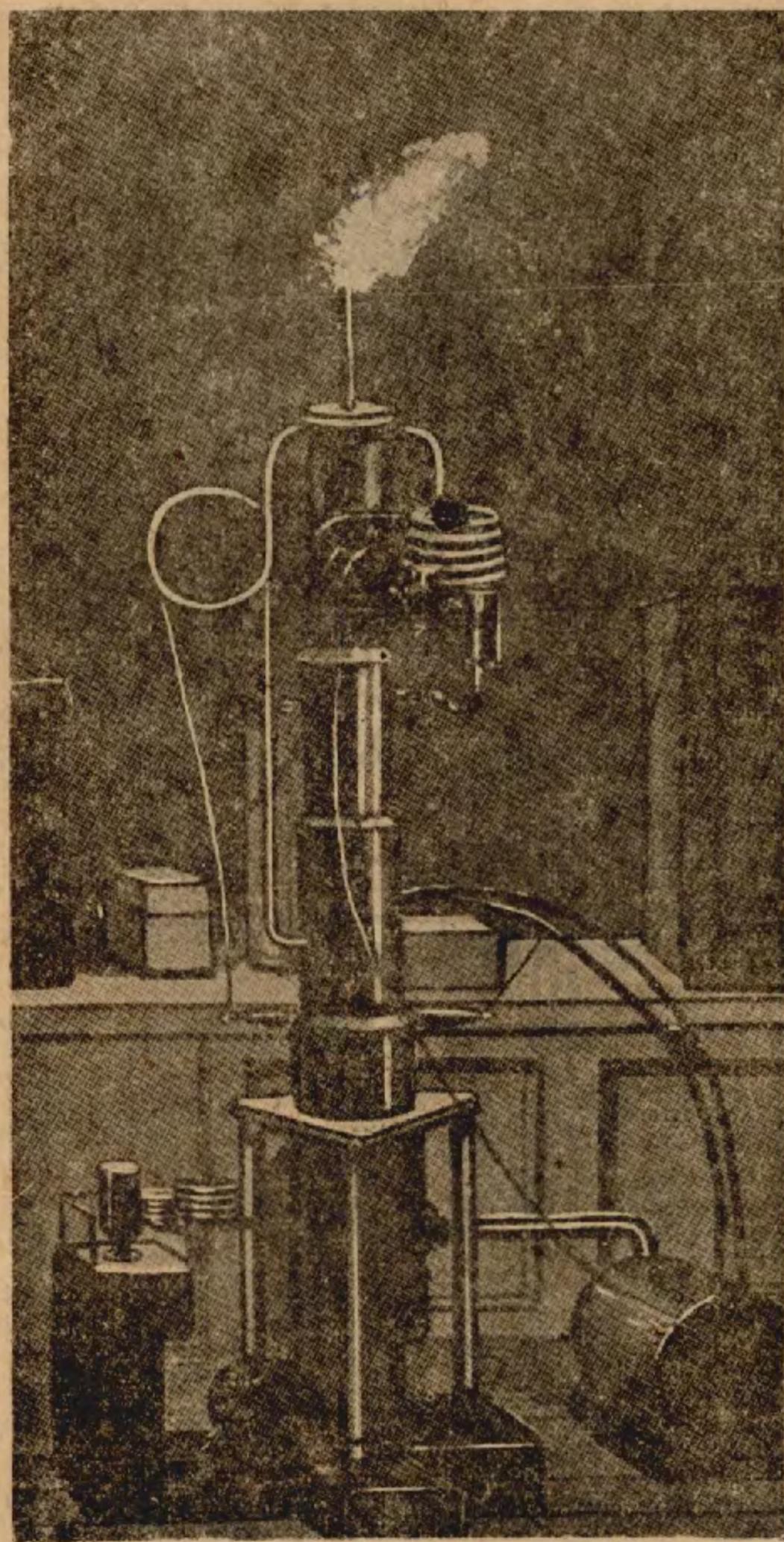
振動這
真空管
與無錄
電裝置
所用的
相似,但
比較地
大得多。
這真空
管對於
電流的



圖五 感應電爐：線卷之內置一坩堝，坩堝內容着金屬。線卷中的高頻率振動使金屬內感生電流。此種電流甚強，能把金屬熱到鎔點。這是鎔解某幾種金屬的便利方法，可不被火焰的氣體所弄污。

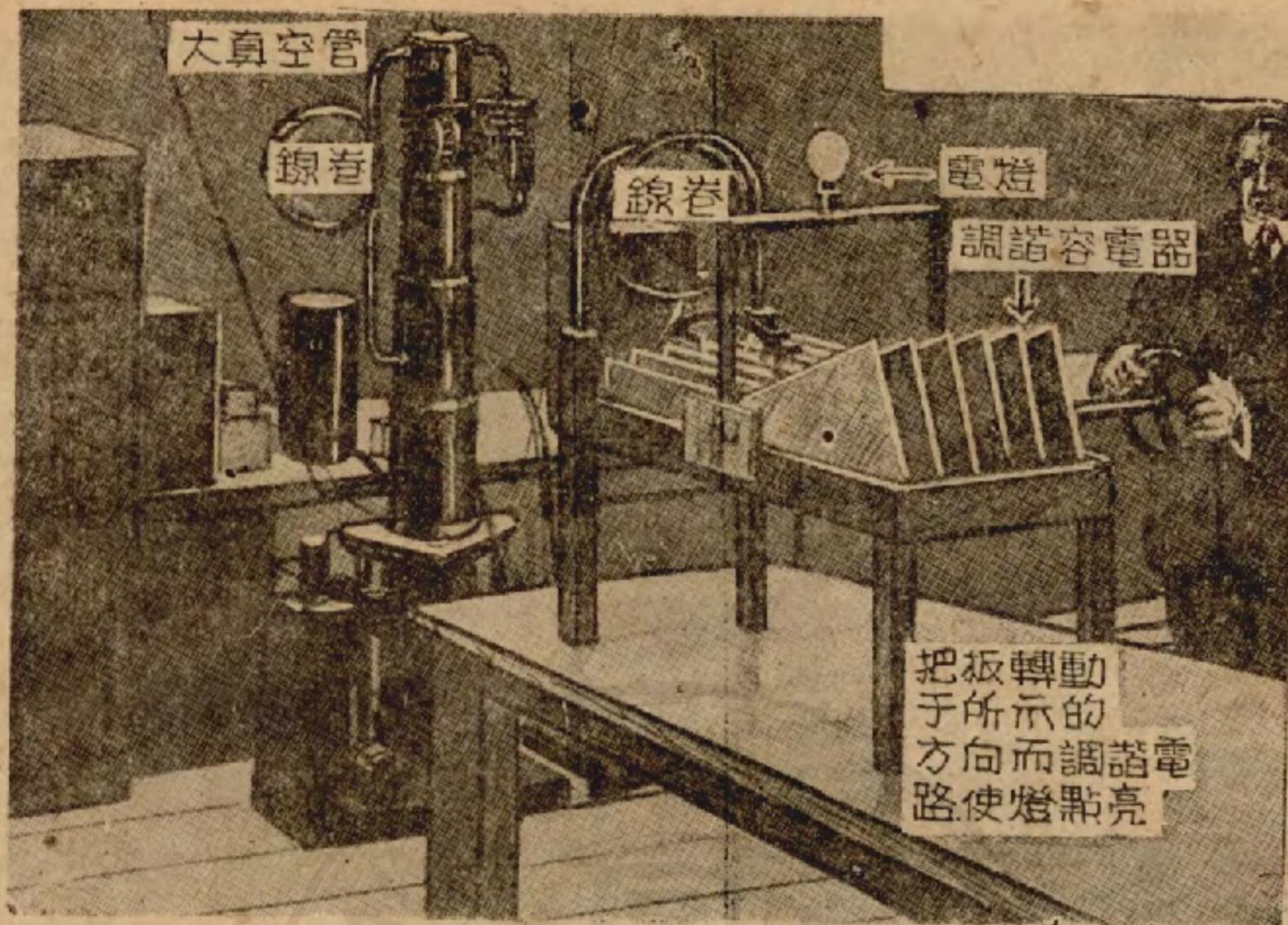
每一擺動，從適當的方向給它推一下，正像一隻時鐘裏的操縱機對於擺的每一擺動給它推一下一樣。倘使放置一塊金屬於那線卷之內，線卷中的電流即在這塊金屬中感起電流（第三講中已說明過）。這種感應電流甚強烈，能使金屬變熱而鎔解。在另一方面，一個非導電體，例如放置金屬的那隻土製坩堝，因為電流不能流過，故不被灼熱。坩堝裏的金屬是從內得熱而非從外得熱，故感應電爐是一種鎔解金屬的方便方法。

圖六是一個大真空管，能使其左邊頂上一單圈錄



圖六 發焰的電弧：這個巨大的真空管維持着線卷中和容電器中的振動。這振動的頻率是每秒鐘三千萬次。此真空管輻射出約十馬力的電能力。若在真空管頂上裝置一根尖端導體，能放電上升入空氣中，好像一個長大的火焰，足見管頂上電壓的交變振動異常急劇。

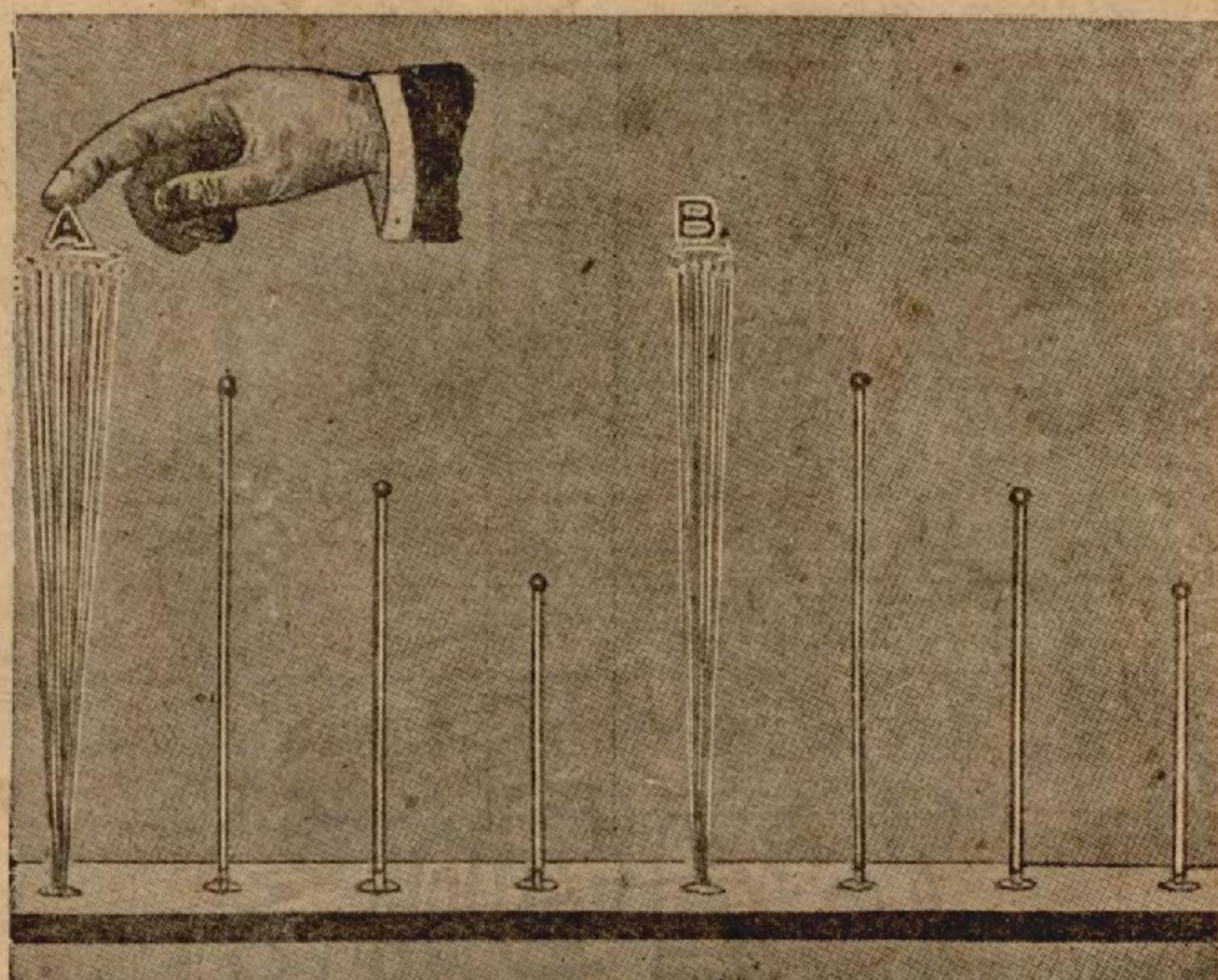
中的電流振動不息。若把一根尖端導體附接於這圈線，其在振動中所達的電壓非常之高，能使其放電的大火焰散佈到空氣中去。這同一真空管示於第七圖中。它所生的電振動，給連在前面容電器上的一圈線所接收。一個實驗者正在搖轉一組容電器的板來調諧（tuning）他的電路。他把板轉到適當位置時，那圈線中的共振非常強烈，能把一盞電燈點亮。這是無線電如何作用的一個說明。這具大真空管輻射出約十馬力的電力，但離開那圈



圖七 大規模的無線電接收：這具巨大的真空管輻射出大量的電能。把附近的電路調諧時，所生的電流足以點亮一盞電燈。

線僅數匝，無怪其能點亮一盞燈。無線電接收器所收的電振動弱得多，但是用真空管來把它放大了，再把它調諧之後，我們也能得到充份的「電能」來運用一具揚聲器。

『調諧』的原理可用第八圖中一組棒來說明。倘使一根棒在振動，附近一根有相同振動率的棒必感應其運動而發生共振。同樣，倘使我們的接收電路有和發送站相同的振動率（頻率），也能感起共振。



圖八 共振原理的表演，應用于調諧：頂上裝有相等重物的棒，只對於等高而同樣的棒的振動起共振。例如，倘把那根最高的棒“*A*”發生振動，只有同高而裝置同重的棒“*B*”和它感應，其餘的棒都屹立不動。在另一方面，倘把任何其他一個棒發生振動，只有和它等高的棒相呼應。

勘 誤 表

| 頁 數 | 誤 | 正 |
|----------|----------|----------|
| 17, 第二行 | 把電池拿「出」 | 把電流拿「出」 |
| 25第11行 | 錄圈在每一部分 | 錄圈內每一部分 |
| 39倒第2行 | 電壓是320伏特 | 電壓是230伏特 |
| 41第2行 | 這叫做用壓器把 | 這叫做用變壓器把 |
| 54圖九下第2行 | 選擇的簡圖 | 選擇刷的簡圖 |
| 63正文第1行 | 錄僅數匝 | 錄僅數呎 |

楊孝述主編

中國科學社科學畫報小叢書

電

◁ 版權所有翻印必究 ▷

每冊定價八角

(自三十年十一月起暫加五成)

| | | | | |
|---|---|---|-------------|---|
| 原 | 著 | 者 | W. L. Bragg | |
| 譯 | 述 | 者 | 楊孝述 | 述 |
| 校 | 閱 | 者 | 楊孝述 | 述 |
| 發 | 行 | 者 | 楊孝述 | 述 |

上海亞爾培路中國科學社

印刷所
發行所

中國科學圖書儀器公司
上海福煦路649號



3125