

年

卷

期

2

4

第

第

Vol. 2 No. 4

August 1931

JOURNAL OF  
ELECTRICAL ENGINEERING  
CHINA

電  
工

第二卷第四號  
民國二十年八月

中華郵政特准掛  
號認爲新聞紙類

## 第二卷 第四期

### 目 錄

	頁數
*Asynchronous Operation of Synchronous Machines Y. H. Ku (顧毓琇)	279
*The New York Edison System Alfred T. Nih (倪 俊)	285
—————	
*五萬伏高壓試驗變壓器之構造及應用	周 琦 297
*高壓絕緣試驗之結果	楊耀德 309
*乾電池製造及其試驗	孔祥鵝 322
*國民會議議場之電氣設備	單基乾 楊簡初 334
—————	
電力行船	陳煜麟 345
介紹一個模範公營電氣事業	恽 震 吳承宗 348
—————	
傳記 (八) 麥司威	顧毓琇 352
—————	
直流電機原理 (第一章完)	A.S. Langsdorf 原著 顧毓琇校譯

## 本期投稿者

顧毓琇 美國麻省理工大學科學博士,浙江大學工學院電機科主任,浙江省電氣局顧問工程師,現任中央大學工學院院長。

倪俊 美國康奈爾電機碩士,紐約愛迪生公司工程師,浙江大學電機科教授。

周琦 美國西屋電機公司實習工程師,上海益中機器公司總工程師兼交通大學電機設計教授。

楊耀德 美國屋海屋電機碩士,嘉興緯成公司工程師,現任浙江大學工學院電機科教授。

孔祥鵠 美國普渡大學電機碩士,湖北建設廳技正,現任實業部中央工業試驗所技師。

單基乾 楊簡初 美國普渡大學電機碩士,中央大學電機科教授。

恽震 美國韋斯康辛大學電機碩士,東南大學教授,建設委員會電氣處副處長,電氣室主任。

## 下期要目預告

1. The Fundamental Design of Long Distance Telephones.
2. The New York Edison System.
3. 最近之中國電信事業。
4. 浙江省長途電話之概況。
5. 渦輪發電機電銜之平衡法。

## ASYNCHRONOUS OPERATION OF SYNCHRONOUS MACHINES

Yu H. Ku, Sc. D.

*Synopsis: The general behaviour of synchronous machines operating at synchronous speed is analyzed. The same analysis applies to the study of induction motors with uniaxial rotor, and the slip torque curves thus obtained check with the famous experimental results of Arnold.*

In a paper<sup>1</sup> presented before the A.I.E.E. early in 1929, the author has first given an exact analysis of the transient behaviour of synchronous machines. Last summer this analysis was further extended by the author to include the effects of salient-poles. The extended analysis<sup>2</sup> is now being published in America, and, therefore, only the final results will be given here as the basis of further extension which will comprise the main body of the present paper.

### GENERAL EXPRESSION FOR THE TRANSIENT CURRENTS OF SALIENT-POLE MACHINES

For salient-pole machines under balanced operation, the armature currents, given in terms of symmetrical components, will be:

$$i_{\pm} = \frac{V_m}{2} e^{\pm j(nt + \theta + \alpha - \frac{\pi}{2})} \frac{1}{\zeta_s L_1 D_s(p)} \left[ (G_{\pm} + H_{\pm}) e^{\mp j\alpha} + (H_{\mp} + S_{\mp}) e^{\pm j\alpha} \right] \quad (1)$$

This is eq. (18) in the extended analysis and reduces to equations (35) and (36) in the early A.I.E.E. paper for round-rotor cases. The notations are all defined in the other papers and will be explained in Appendix I.

The results already given assume that the applied voltage has a frequ-

1. Yu H. Ku, "Transient Analysis of A. C. Machinery", A.I.E.E. Quarterly Trans. July, 1929, p. 770.

2. Yu H. Ku, "Transient Analysis of A.C. Machinery-II Extension to Salient-Pole Machines", being published elsewhere.

ency exactly equal to the synchronous frequency of the machine. This of course characterizes the synchronous nature of a synchronous machine.

#### EXTENSION TO ASYNCHRONOUS OPERATION

Under special operating conditions or in the process of synchronizing, however, the voltage applied may have a frequency, which gives an angular velocity  $m$ , differing from the rotating angular velocity  $n$ , by an amount,  $s' = (m-n)$ . That is,

$$v_{\pm} = \frac{V_m}{\pm 2j} e^{\pm j(mt + \theta)} \quad (2)$$

Then it is evident that eq. (1) should be modified as

$$i_{\pm} = \frac{V_m}{2} e^{\pm j(nt + \theta + \alpha - \frac{\pi}{2})} \frac{1}{\sigma_s L_1^0 D_s(p)} \left[ (G_{\pm} + H_{\pm}) e^{\mp j\alpha'} + (H_{\mp} + S_{\mp}) e^{\pm j\alpha'} \right] \quad (3)$$

where  $\alpha' = \alpha - s't = \alpha - (m-n)t$  (4)

Notice that eq. (3) differs from eq. (1) only in changing  $\alpha$  to  $\alpha'$  in the operand. For synchronous operation,  $m=n$ , hence  $s'=0$  and  $\alpha'=\alpha$ .

Similarly, the field current will be modified as

$$i_2 = \frac{3}{2} \frac{M}{L_1^0 L_2} \frac{V_m}{\sigma_s} \frac{p}{D_s(p)} \left[ (1-k_s)n \cos\alpha' + \{(1-k_s)p + h_1\} \sin\alpha' \right] \quad (5)$$

#### SAMPLE CALCULATIONS

Take the synchronous machine as used in the experiments of the early A.I.E.E. paper, the transient currents under various conditions of asynchronous operation can then be easily calculated. In the extended analysis published elsewhere, salient-pole features are added to obtain 'equivalent' machines for the purpose of ready comparison. Sample calculations for each give the transient currents as shown in the accompanying figures. (figs. 1-8). The constants of the round-rotor machine and the salient-pole machine will be given in Appendix II. The equations of curves are given in Appendix III. In the calculations,  $m$  is taken as 377, equal to the synchronous angular velocity of the machine.

It may be mentioned that in the author's analysis of salient-pole machines under synchronous operation, all the results given in Messrs. Doherty

and Nickle's paper<sup>3</sup> have been recalculated and rechecked with their experiments. Under asynchronous operating conditions, the transient behaviour of their machines can now also be readily predicted. It would be of interest to obtain experimental results thereafter for comparative studies.

#### APPLICATION TO INDUCTION MOTORS WITH UNIAXIAL ROTOR

Exactly the same analysis as above applies to the case of induction motors with single-phase or uniaxial rotor.

Using the constants of the round rotor machine as well as the 'equivalent' salient pole machine as given in Appendix II, calculations for the respective slip-torque curves give results as shown in figures 9 and 10. These check exactly in shape with that given by Arnold's classical experiment. Figure 11 is taken from Dr. Behrend's book<sup>4</sup>, and figure 12 shows Mr. Edgerton's recent verification.<sup>5</sup>

It may be mentioned that the author did also experiment on a small induction motor with a single-phase rotor and have verified to his own satisfaction that if such a motor is overloaded and released, it will run at half speed, and then if further loading is applied, the machine will reach another critical point before totally breaking down. The accompanying curve (figure 13) shows the author's own experimental result. However, there seems to be some difficulty in getting the exact values in the negative loop in ordinary experiments.

The above application to induction motor analysis holds true for transient conditions as well. No calculations are here presented. However, this can easily be done for different slips, and experimental verifications may also be obtained through oscillographic records.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The author appreciates the suggestions of Mr. J. T. Hu. He is greatly indebted to his assistant, Mr. Z. V. Van, for the many calculations and curves presented in this paper.

---

3. Doherty and Nickle, "Synchronous Machines-V. Three-Phase Short Circuit", A.I.E.E. Quarterly Trans., April, 1930, p. 700.

4. B. A. Behrend, "The Induction Motor", 2nd. edition, p. 174, McGraw-Hill.

5. Discussion. H. E. Edgerton, "A.I.E.E. Quarterly Trans., July, 1930, p. 1024.

## APPENDIX I. NOTATIONS.

$$D_s(p) = p^3 + \left[ \frac{h_1(1 + \sigma_0) + h_2(1 - k_s^2)}{\sigma_s} \right] p^2 + \left[ n^2 + \frac{h_1}{\sigma_s} (h_1 + 2h_2) \right] p + \frac{h_2}{\sigma_s} [n^2(1 - k_s^2) + h_1^2]$$

$$\sigma_s = (\sigma_0 + k_s)(1 - k_s)$$

$$\sigma_0 = 1 - \frac{3}{2} \frac{M^2}{L_1^0 L_2}$$

$$k_s = L_1'' / L_1^0$$

$$h_1 = R_1 / L_1^0$$

$$h_2 = R_2 / L_2$$

$$G_{\pm} = (p + h_2)(p + h_1 \mp jn)$$

$$H_{\pm} = \frac{1}{2}(\sigma_0 - 1)p(p \mp jn)$$

$$S_{\pm} = k_s(p + h_2)(p \mp jn)$$

$R_1$  = resistance of stator, or armature per phase.

$R_2$  = resistance of rotor or field.

$L_1^0$  = constant part of the synchronous self-inductance of stator, per phase.

It is the constant self-inductance part of one phase, plus the constant mutual effect of each of the other phases.

$L_1''$  = 3/2 of the maximum value of the second harmonic of the self-inductance of each stator phase, this is also equal to the second harmonic of armature mutual inductance with respect to other phases.

$L_2$  = self-inductance of field.

$M$  = maximum value of the mutual inductance between one phase of the stator and the field winding.

$n$  = relative angular velocity between windings of stator and field

$m$  = angular velocity of applied voltage, i.e.,  $2\pi$  times the voltage frequency

$s'$  =  $(m - n)$  or slip in terms of angular velocity difference.

$\theta$  = angle of applied voltage (refer to eq. 2).

$\alpha$  = angle between the terminal voltage and the induced excitation e.m.f.

$\alpha' = (\alpha - s't)$  or  $[\alpha - (m - n)t]$ .

$p = d/dt$ , the time differential operator.

$1 =$  unit function, or, more properly, 'Heaviside's Unity Notation.' It denotes that the given time function starts at  $t=0$ , being non-existent before, and effective thereafter.

#### APPENDIX II. MACHINE CONSTANTS.

Machine KR: (round-rotor)

$$R_1 = 0.0232$$

$$R_2 = 0.138$$

$$M = 8.34 \times 10^{-3}$$

$$L_{11} = 5.69 \times 10^{-3}$$

$$L_{22} = 19.3 \times 10^{-3}$$

$$m \text{ or } n = 377$$

$$h_1 = 4.10$$

$$h_2 = 7.13$$

$$\sigma = 0.046$$

$$\frac{1}{\sigma L_1} = 3840$$

Machine KS: (salient-pole)

$$R_1 = 0.0232$$

$$R_2 = 0.138$$

$$M = 8.34 \times 10^{-3}$$

$$L_{11}^0 = 4.04 \times 10^{-3}$$

$$L_{22} = 19.3 \times 10^{-3}$$

$$m \text{ or } n = 377$$

$$L''_{11} = 1.62 \times 10^{-3}$$

$$h_2 = 7.13$$

$$\sigma_o = -0.337$$

$$h_1 = 5.74$$

$$\sigma_s = 0.0386$$

$$k_o = 0.714$$

$$\frac{1}{\sigma_s L_{11}^0} = 6425$$

$$k_s = 0.4$$

#### APPENDIX III. EQUATIONS OF CURVES.

Equation for FIG.1.

$$i_a = 148 \cos(377t + 157) + 110 \cos(339.3t + 11.7)$$

$$+ 2020 e^{-169t} \cos(358.15t + 109.3)$$

$$+ 1108 e^{-36.5t} \cos(717.3t - 48.1)$$

$$+ 1250 e^{-39.5t} \cos(39.7t - 92.2)$$

Equation for FIG.2.

$$i_2 = 150 \cos(18.85t + 12.2) + 1180 e^{-169t} - 1530 e^{-39.5t} \cos(318.5t + 10.5)$$

Equation for FIG 3.

$$i_a = 190 \cos(377t + 143.1) + 120 \cos(339.3t - 3.8)$$

$$+ 1730 e^{-172.6t} \cos(358.15t + 110.7) + 926 e^{-40.45t} \cos(687.75t - 46.5)$$

$$+ 1030 e^{-40.45t} \cos(28.55t - 88)$$

Equation for FIG.4.

$$i_2 = 151 \cos(18.85t + 11.8) + 1195 e^{-172.6t} - 1400 e^{-40.45t} \cos(32.6t - 32.5)$$

Equation for FIG.5.

$$\begin{aligned} i_a = & 602 \cos(377t + 155.2) - 542 \cos(-75.4t - 127.1) \\ & - 436 e^{-211.5t} \cos(150.8t + 111.5) - 450 e^{-18.25t} \cos(278.4t - 180.3) \\ & + 490 e^{-18.25t} \cos(23.2t - 139.7) \end{aligned}$$

Equation for FIG.6.

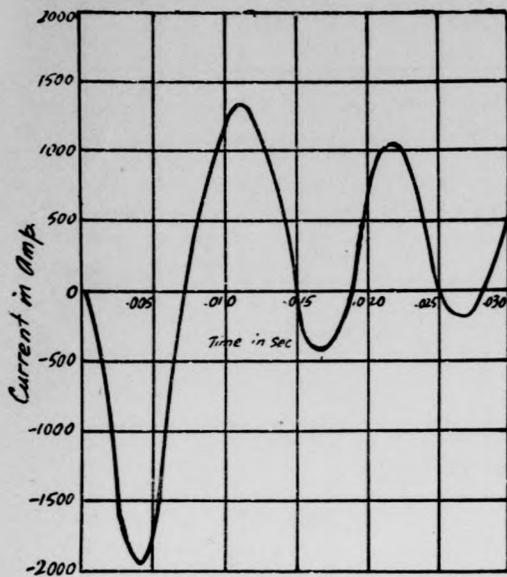
$$i_2 = 740 \cos(226.2t - 15.5) - 1660 e^{-211.5t} - 1250 e^{-18.25t} \cos(127.6t + 46.3)$$

Equation for FIG.7.

$$\begin{aligned} i_2 = & 654 \cos(377t + 155.5) - 509 \cos(-75.4t + 163) \\ & + 384 e^{-216t} \cos(150.8t - 91.2) - 455 e^{-21.25t} \cos(277.8t - 177) \\ & + 430 e^{21.25t} \cos(23.8t - 132.3) \end{aligned}$$

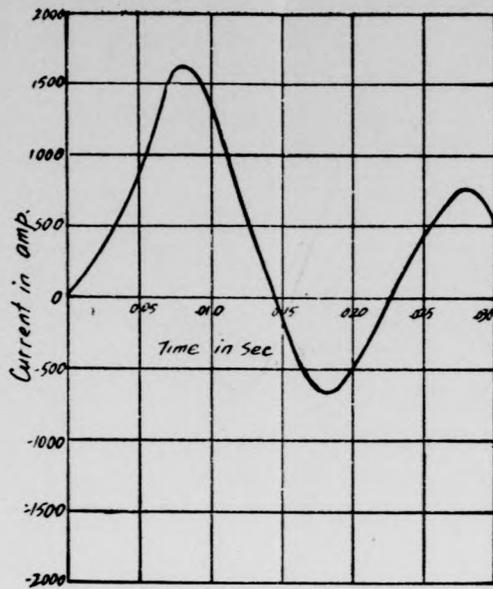
Equation for FIG.8.

$$i_2 = 735 \cos(226.2t - 18.1) - 1610 e^{-216t} + 1340 e^{-21.28t} \cos(127t + 47.2)$$



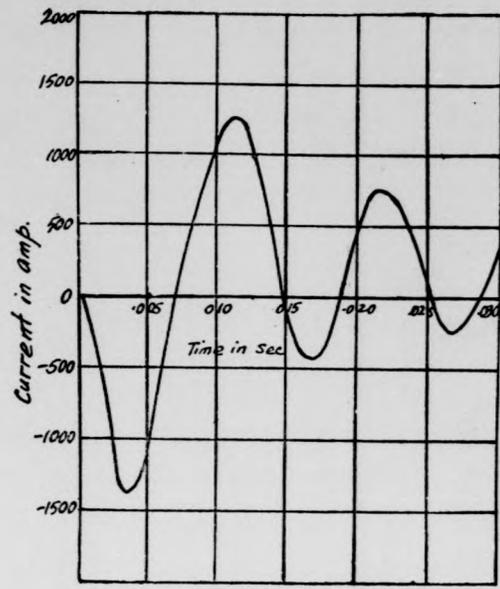
Machine KR (Round-rotor)  
5 % Slip Stator Current

第一圖



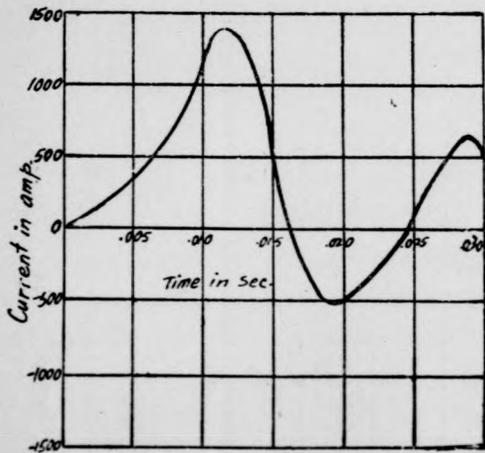
Machine KR (Round-rotor)  
5 % Slip Rotor Current

第二圖



Machine KS (Salient-pole)  
5 % Slip Stator Current

第三圖



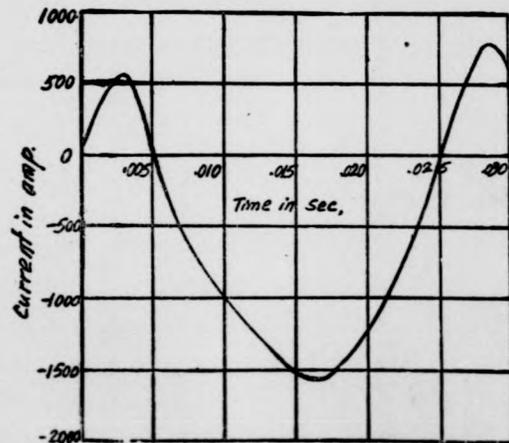
Machine KS (Salient-pole)  
5 % Slip Rotor Current

第四圖



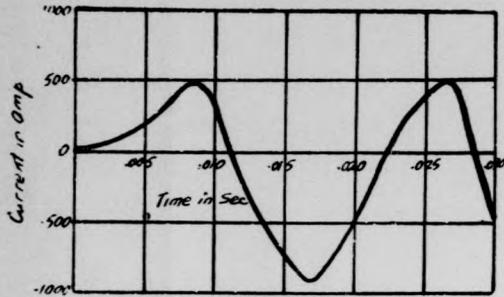
Machine KR (Round-rotor)  
60 % Slip Stator Current

第五圖



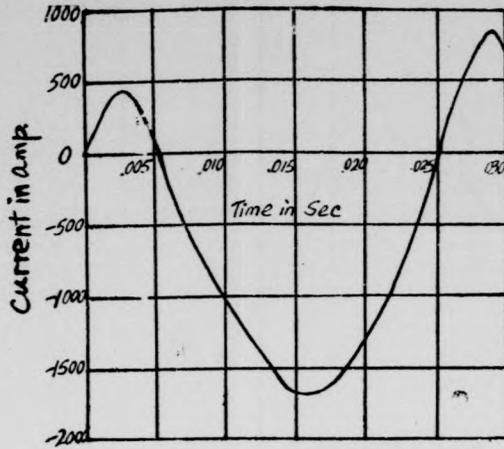
Machine KR (Round-rotor)  
60 % Slip Rotor Current

第六圖



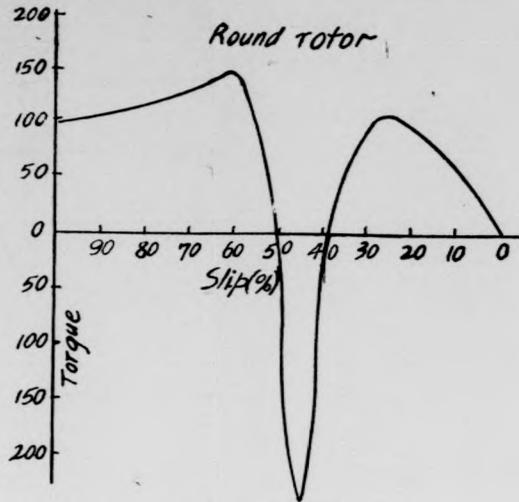
Machine KS (Salient-pole)  
60% Slip Stator Current

第七圖

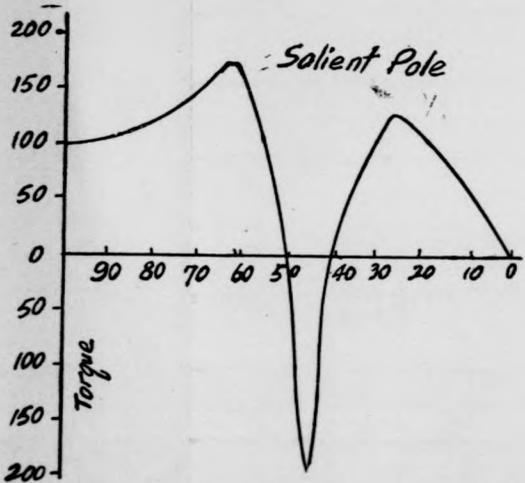


Machine KS (Salient-pole)  
60% Slip Rotor Current

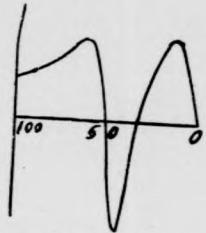
第八圖



第九圖

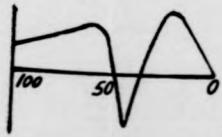


第十圖



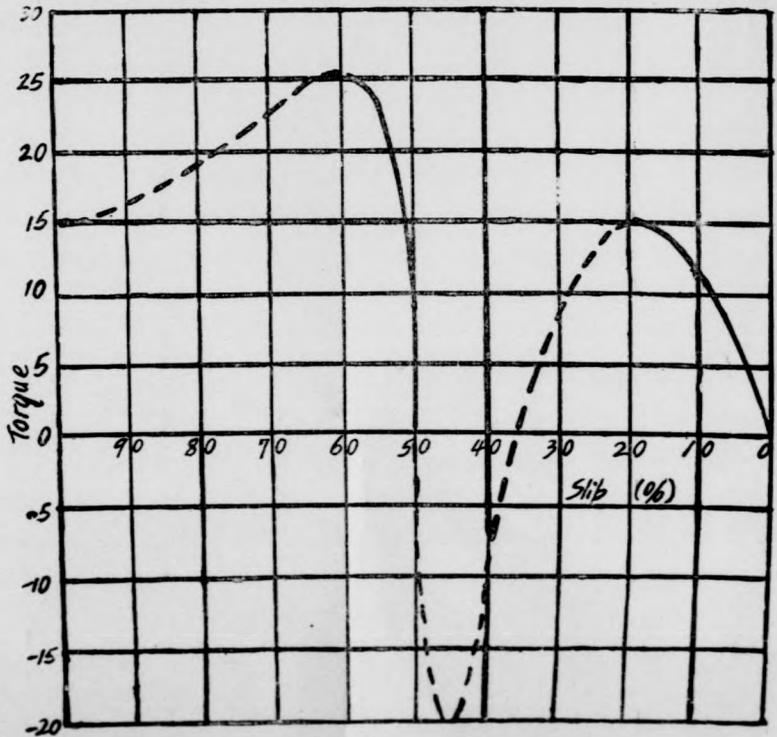
From Behrends Book (Text)

第十一圖



From Edgerton's Paper (Discussion)

第十二圖



第十三圖

## EDISON AND PIONEER ELECTRIC-LIGHTING SYSTEM

### THE NEW YORK EDISON SYSTEM

Alfred T. Nih

Department of Electrical Engineering, University of Chekiang.

*Synopsis: The present stage of the electrical industry lies in the foundation laid by Edison a little over 50 years ago by his invention and development of the incandescent lamp as well as the distribution system. Subsequent progress in the industry was made possible by further advancement in the art of central station and distribution engineering. Part 1 sets forth the brief history of the early Edison system. Part 2 sets forth the evolution of a particular pioneer Edison system, the New York Edison System. The former serves to show the achievement of Edison alone and the latter that of his successors.*

**INTRODUCTION:** Every one in the electrical engineering profession and indeed many others have heard of Thomas Elva Edison as the inventor of the incandescent lamp but few know the extent of his research and investigation in connection with the electric lighting system. He is the sort of person who is not quite accessible to the public either through utterances or through writings and teachings. He never went to any school for his education. His mother taught him. He has not made public speeches to discuss his work. To the best of my information, the only article he has ever written was the description of his "Jumbo" dynamo unit presented before the American Society of Mechanical Engineers, dated April 20, 1882, and having as its joint author, Charles T. Porter. With this background one is apt to form a vague and mysterious impression of him. Many have considered him as the greatest man of all times, yet many held him as the embodiment of the cut-and-try, hap-hazard method of research and investigation.

The writer through his previous connection with Edison's pioneer system, the New York Edison System, learned of Edison not only as a great thinker but also as a great builder of many things connected with the com-

mercial application of electric lighting. It is true that he did not always choose to follow the paths beaten by his predecessors. He often sought out lines of investigation and experiment which were original and untried. He looked for the solution of the problem before him not in the obvious, but in the unexpected. The intensity of application, indomitable perseverance and joy in accomplishment that were necessary to achieve his result, it is difficult now to appreciate.

When in May, 1880, Mr. Edison announced the consummation of his labors by the demonstration on the steamship Columbia of his "paper filament" lamp representing the second stage of the development of the Edison filament, so doubtful an innovation was this that the marine underwriters refused to insure the boat for fear that the electric system would set fire to the ship. The lamps were carried aboard in a market basket and the ship sailed without any insurance. Following this Mr. Edison improved his lamps and invented innumerable devices necessary to produce and distribute electric light on a commercially successful basis. Until Sept 4, 1882, when he put into operation the Pearl Street Station in New York City, the public were still doubters and clamored for some tangible evidence of the arrival of the much heralded rival of gas.

The famous Pearl Street Station represented the result of Mr. Edison's three years of indefatigable labor, an absurdly short time for the carrying out of a stupendous program, almost single handed. It was a success at the start and formed the embryo of the present giant system, the greatest concentration of power under one management. As Mr. Edison had predicted, electric light sounded the death knell of the gas lamp and virtually forced the gas company to seek consoliataion with the electric illuminating company. That is how came about the present huge public utility combination, the Consolidated Gas-New-York Edison System under one ownership. The New York Edison system started with six of Edison's "Jumbo" dynamos, has grown from a few hundred kw. capacity in 1882 to over 3 million kw. plant capacity. in 1930; and with two additional large stations under proposal, may reach the five million kw. mark within the next decade. It is of particular interest to note that this large system is devoted solely to the power supply enterprise of New York City and vicinity. To a true de-

gree, it represents the growth and progress of the city within the last half century.

Of course, the Pearl Street Station as well as many of her sister stations have been or are in the course of being scrapped, and large a. c. generating stations have been installed instead. Even some of the stations built after 1900 and considered wonders at the time have grown out of date and are only good enough to serve as peak load stations of the system. Machine size has grown from the tiny "Jumbo" dynamo to the largest single-shaft turbo-generator unit ever built up to date. Distribution systems have changed from a few feeders and mains in 1882 to thousands of miles of networks and lines. General equipment has changed from the obsolete type, some of which are still in the company's premises, to the latest type. The inventory of the company reveals the rapid advancement of science and engineering during the last fifty years. If Edison ever tries to make an inspection tour through the company's property today he may feel very small himself. Nevertheless, it must be to his credit that it took him only a few years to perfect the incandescent lamp and design the Pearl Street Station without any contemporaries in the line while it took the brains of many scientists and engineers for many years to render his work obsolete. I think Mr. Edison must be glad that all this is possible because, just as he was not, so other human beings are not always creatures of their environment but continually crave new experiences and better things and this leads them on to the unknown. It is this that makes progress, or is at least largely responsible for it.

#### Part I--Edison and His Pioneer System

##### The Incandescent Lamp

When in September, 1877, Edison began his first experiments in the production of light through rendering conductors incandescent by the passage of an electric current, he had not yet developed his bold conception of a complete system of electric lighting. He had been occupied with experiments with carbon in various forms for application in his carbon transmitter. After completing the sale of his telephone invention to the Western Union Telegraph Company, he turned his attention to electric lighting by incandescence.

His early experiments were made with carbon conductors in the form of strips of carbonized paper, employed first in the open air then in a crudely produced vacuum, followed by tests with metallic conductors of various kinds in the shape of thin rods or wires, sometimes bare and again coated with more or less refractory substances to prevent oxidation of the incandescent conductor. The sale of his telephone patents at this time gave him resources which enabled him to pursue several other lines of investigation, among others telegraphic recording devices resulting finally in the invention of the phonograph toward the end of 1877.

The experiments on electric lighting were laid aside for the phonograph and also were interrupted by his joining an expedition to Wyoming in July 1877, to observe a solar eclipse. Upon his return home he determined to take up the research on electric lighting again and continue it. The results of this research for the commercially successful incandescent lamp can be best summed by quoting from Mr. Edison's patent specification, which was the outgrowth of the successful experiment of October 21, 1879, the date universally recognized as the birthday of the commercial incandescent lamp.

"The object of this invention is to produce electric lamps giving light by incandescence, which lamps shall have resistance, so as to allow of the practical sub-division of the electric light. The invention consists in a light giving body of carbon wire coiled or arranged in such a manner as to offer great resistance to the passage of electric current and, at the same time, presenting but a slight surface from which radiation can take place. The invention further consists in placing such burner of great resistance in a nearly perfect vacuum to prevent oxidation and injury to the conductor by the atmosphere. The current so conducted into the vacuum bulb through platina wires sealed into the glass. The invention further consists in the method of manufacturing carbon conductors of high resistance, so as to be suitable for giving light by incandescence.

"*Heretofore*, light by incandescence has been obtained from rods of one to four ohms resistance and placed in closed vessels, in which the atmospheric air been replaced by gases that do not combine chemically. The leading-in wires have always been large, so that their resistance shall be many

times less than the burner, and, in general, the attempts of previous workers have been to reduce the resistance of the carbon rod. The disadvantages of following this practice are that a lamp having but one to four ohms resistance cannot be worked in great number in multiple arc without the employment of main conductors of enormous dimension; that, owing to the low resistance of the lamp, the leading wires must be of large dimensions and good conductors, and glass bulb can not be kept tight at the place where the wires pass in and are cemented; hence the carbon is consumed, because there must always be a perfect vacuum to render the carbon stable, especially when such carbon is small in mass and high in electrical resistance."

"The use of gas in the receiver at the atmospheric pressure, although not attacking the carbon, serves to destroy it in time by 'air washing' or the attrition produced by the rapid passage of the gas over the slightly coherent, highly heated surface of the carbon. I have revised this practice. I have discovered that even a cotton thread properly carbonized and placed in a sealed glass bulb exhausted to one millionth of an atmosphere, offers from 100-500 ohms resistance to the passage of the current, and that it is absolutely stable at a very high temperature; that if the thread be coiled as a spiral and carbonized, or if any fibrous vegetable substances which will have a carbon residue after heating in a closed chamber be so coiled, as much as 200 ohms resistance can be obtained without presenting a radiating surface greater than three-sixteenths of an inch. I have carbonized and used cotton and linen thread, wood-splints, paper coiled in various ways, also lamp black, plumbago, and carbon in various forms mixed with tar and rolled out into wires of various lengths and diameters."

It should be noted that in Mr. Edison's patent description he used the word "filament" —the first appearance in the art of that useful term. It is interesting to note that the filament of Mr. Edison was a structure more threadlike than of any of his predecessors—a diameter of only  $\frac{1}{16}$  inch—whereas the prior art shows structures many times that size. So also the resistance of the "filament" was very many times the resistance common to the prior art.

It is also interesting to note that a search covering every part of the

globe, was made to find the special type of bamboo, in order to furnish material for the bamboo filament which for a number of years was such a prominent feature of the Edison lamp and contributed in no small measure to its early success. The extraordinary uniformity and exactitude with which filament in great number and of a given size could be produced from the bamboo fibre, both before and after carbonization, made it practicable, by assignment of different voltages to various central stations to dispose of the entire factory product without recourse to the flashing process. The latter, an early development in the art was applied only in the later years to the bamboo filament, and became of capital importance only with the advent of the cellulose filament. Incidentally it may be mentioned here that in early days when speaking of distribution voltage of 110, some voltage any where in the range from 104 to 130 volts was employed, Exactly 110 volts was rarely used, but the voltages of distribution systems in America were distributed over the whole range as a result of the close cooperation between the illuminating companies and the manufacturers of incandescent lamps, so as to secure the best economy of these lamps. In recent years, the art of manufacturing the incandescent lamps has improved and consequently they can be produced with uniformity in quality between the voltage range of 110 to 120 volts with 115 v. predominating and distribution voltage has accordingly narrowed down to the same range.

The extent to which auxiliary apparatus developed or improved by Mr. Edison was contributory to the successful solution of the problem is illustrated by the notable improvements which he made in the apparatus for producing very high vacua, first by improvements in the means of obtaining the Torricellian Vacuum, then by modification of the Geissler and Sprengel pumps, to which notable additions were applied, making it possible to obtain the highest vacua on the commercial scale that was necessary for exhausting incandescent lamp globes.

Such, then, was the Edison lamp, the keystone of the complete electric-lighting system devised by him and worked out and developed along such permanently practical lines, forming the foundation of one of the most wonderful industrial development the world has ever seen. It is indeed befitting, that among all his inventions he considered the incandescent lamp the

most important and beneficial to mankind. Incidentally, when working on the incandescent lamp in 1884, he noticed what we now call the Edison effect. Were he not wrapped up in the development of the incandescent illumination and had he exploited the discovery of the by-product of his main research, he would be not only the father of the incandescent lamp but might also be the father of the thermionic vacuum tube which has proved so indispensable in the present field of electrical communication.

#### The Electric Lighting System

In the late part of 1878, professor Barker of the University of Pennsylvania suggested to Mr. Edison that he (Edison) should go to work and see if he could subdivide the electric light so it could be made in small units like gas. Though it was not a new suggestion, because he had made a number of experiments on electric lighting a year before, he started the course of collecting every data about gas; bought all the transactions of the gas engineering societies, all the back volumes of the Gas Journal, etc. Having obtained all the data, and investigated gas-jet distribution in New York by actual observations, he made up his mind that the problem of the subdivision of the electric current could be solved and made commercial.

Here, then we have the foundation on which Edison, even before he had produced an incandescent lamp, proceeded to evolve his concept of a complete electric light system, using the eminently practical gas system as a parallel. The problem as he saw it and as he himself has put it, was therefore, "to effect exact imitation of all done by gas, so as to replace lighting by gas, by lighting by electricity; to improve the illumination to such an extent as to meet all requirements of natural, artificial and commercial conditions."

He pursued relentlessly and industriously his fundamental idea of finding the complete electrical analogue of the gas lighting system. He considered a general system of distribution is the only possible means of economical illumination. Competition with gas lighting, characteristics of gas demand, unit cost of different kinds of light, lamp and dynamo efficiencies, metering of electric energy, diversity between light and power demand, weight of copper required for different distances and investment cost, etc

were studied.

Truly he had a stupendous program, easily enough understood by us who have become accustomed to consider electricity as the most flexible and convenient agent for our modern civilization and now used for every conceivable purpose and application, as heat, light and power, but what a bold concept for that time; what a flight of imagination, without even the very first element of such a system available—a commercially successful lamp. Let us again quote Mr. Edison and follow out in detail the development of his idea of a complete Electric lighting system:

“A complete system of distribution for electricity to be evolved, and as I had to compete with the gas system, this must be commercially efficient and economical, and the network of conductors must be capable of being fed from many different points. A commercially sound network of distribution had to permit of being placed under or above ground, and must be accessible at all points and be capable of being tapped any where.”

“I had to devise a system of metering electricity in the same way as gas was metered, so that I could measure the amount of electricity used by each consumer. These meters must be accurate so that we could charge correctly for the current used, and also they must be cheap to make, and easy to read and keep in working order.”

“Ways and means had also to be devised for maintaining an even voltage every where in the system. The lamps nearest the dynamo had to receive the same current as the lamps farthest away. The burning out or breaking of lamps must not effect those remaining in the circuit, and method to be provided to prevent violent fluctuations of current.

“One of the largest problems of all was that I had to build dynamos more efficient and larger than any then made. Many electrical people stated that the internal resistance of the armature should be equal to the external resistance; but I made up my mind that I wanted to sell all the electricity I made and not waste half in the machine, so I made my resistance small, and got out 90% of salable energy.”

“Over and above all these things, many other devices had to be invented and perfected, such as devices to prevent excessive currents, proper switching gear, lamp holders, chandeliers, and all manner of details that

were necessary to make a complete system of electric lighting that could compete successfully with the gas system. Such was the work to be done in the early part of 1878. The task was enormous, but we put our shoulders to the wheel, and in a year and half we had a system of electric lighting that was a success. During this period, I had upwards of one hundred energetic men working hard on all the details." We will recall that Edison got hundreds of patents dealing with the electric lighting system.

"One question concerning this early system has often been asked, namely: 'why did you fix 110 volts as a standard pressure for the carbon filament lamp?' The answer to this is that I based my judgment on the best I thought I could do in the matter of reducing the cost of copper and the difficulties we had in making filaments stable at high voltages. I thought that 110 volts would be sufficient to insure the commercial introduction of the system, and 110 volts is still the standard." Of course other countries use lamps of higher voltage standard, but they turn out to be inherently less efficient in producing light than the 110v. lamps, though with better copper economy and efficiency in the distribution system, and taking all into consideration the 110 volt standard was a wise choice.

To have conceived and reduced to practical operative form, the innumerable elements which constituted such a broadly conceived plan was indeed a colossal undertaking. The inquiry has sometimes been made as to what single element of all this splendid aggregation of units called the Edison system can be considered to have been the factor to which its success is largely attributable.

The keystone of it all can be said to be in the very early recognition by Mr. Edison of the practical importance of the "multiple arc principle." The plan by which large sources of light could be split up into small lighting units constituted the problem popularly known at the time as the "Subdivision of the electric light."

The earlier conceptions of electric lamps, as exemplified in the existing powerful arc-light system, almost without exception involved the use of the series system, the lamps being connected one after another, not independent of one another but all dependent on the integrity and continuity of the circuit. At the outset, Mr Edison proceeded on different lines, provid-

ing for absolute independence not only of the individual lamp but almost every other element of the system, from the boiler in the station to the interior wiring on the customer's premises; and whether the apparatus be mechanical, protected by stop waves, ring steam mains, by-passes, or apparatus in duplicate, or electrical, by providing alternate paths and parallel supply circuits- in other words, the system was not dependent for its operation on any single one of its elements, every feature was practically in duplicate, and means were provided so that any defective element could be instantly segregated and eliminated, where practicable, automatically.

This principle of operating every thing in "multiple arc" a simple and efficient method of securing duplication of every important working part is absolutely essential to regularity and continuity of electric service of the highest standard, and this had always been a conspicuous feature of the Edison system and the cornerstone of its commercial success. The operation of the extensive electric transmission and distribution systems in some great cities in some cases involves the supply of energy amounting to over a billion kilowatt-hours annually supplied from half a dozen generating stations, and covering vast areas with thousands of miles of high and low tension feeders and mains and serving many hundreds of thousands of customers, who utilize the energy for every conceivable use through which electric energy for heat, light and power purposes can be applied, and in installation units from a few lamps to thousands of horse power. The operators of these plants are most appreciative of the extraordinary flexibility, simplicity and safety, in the broadest adoption of the "multiple arc" principle as applied to every element of such a system from the coal handling apparatus to the ultimate translating device, and it is generally recognized that any departure from it involves a distinct risk to the regularity and continuity of service. This multiple principle is the broad foundation of safety and reliability on which the Edison system was projected.

With the commercial incandescent lamp perfected, Edison directed his attention to the facilities for the production and distribution of electric power. He first attacked the problem of generation, the heart of the electric system, and there soon resulted the appearance of those typical tall magnet, bipolar machines of the "E", "Z", "L" and "K" types,

having respectively 2, 2, 4 and 6 field magnets which were a familiar feature of the very early installations. These machines were rated as 15, 60, 125 and 250 lamps each of the "A" or 16 candle power, 110 volt type or twice as many of the "B" or 8- candle power, 55 volt lamps. Strenuous study was also given to the disc machines and armatures with disc cross connections, of which the "jumbo" machines were typical. The short-magnetic class that was subsequently developed showed a much better utilization of material and higher efficiencies, and these machines are still today much appreciated for their excellent qualities as balancers and boosters.

The art of building dynamo-electric machines was at this time in the embryonic stage. Electricians at the time regarded the dynamo the equivalent of a primary battery and they considered that, like the battery, to obtain the maximum amount of work from a dynamo, its internal resistance must be equal to the resistance of the external circuit. Edison recognized that to secure the highest efficiency from the dynamo, its internal resistance must be reduced as much as possible, and a maximum amount of energy should be spent in useful work in the external circuit. Hence his efforts to produce a dynamo of low internal resistance and the greatest possible elimination of hysteresis and core loss by laminating, japanning and separating with paper the iron core discs.

The early Edison dynamo had many admirable features of design, particularly in the details of armature-core construction, although some parts were excessively crude. Mica insulation was first used for commutator insulation on the "Jumbo" machines. The "Jumbo" machines of which there were six installed in the Pearl street station, had a rated capacity, helped along a bit by a blower circulating air around the armature, of 1,200 16-candle power lamps of 110 volts and consuming each 0.75 amperes. These dynamos were direct driven at 350 revolutions per minute by engines rated at 125 horse-power indicating a maximum of about 200 horse-power, the unit weighing about 30 tons.

Having briefly reviewed the part Edison played in developing the electric light system, we may now conclude by mentioning some of the pioneer plants. The first *experimental marine* plant on the Edison system was installed on the ill-fated arctic ship, the "Jeannette", which left San Fran-

cisco with the De Long expedition in July, 1846. The pioneer *commercial* application of Edison incandescent lighting appeared about May, 1880, on the steamship "Columbia" plying between San Francisco and Portland, Oregon. The first *isolated* plant was installed on the premises of Hinds, Ketcham & Co., Printers, New York City, in January 1881. The first *mill* lighted by the Edison system was the James Harrison Woolen Mill, in Newburgh, N. Y. started September 15, 1881; the first *hotel*, the Prospect House, Blue Mountain Lake, Adirondacks, went into service October, 1881; the first *private* residence, that of Mr. J. P. Morgan, a director of the Edison Electric Illuminating Co. of New York; the first *theatre*, the Bijou theatre, Boston, started December, 1889. The first *Hydro-electric Commercial* station was at Appleton, Wis., started August 15, 1882. The first *steam-electric commercial* station was the Pearl street station in New City, started in September 4, 1882. The first *village* plant was started in Roselle, N. J., in February, 1883. The first *3-wire* station was started at Sunbury, Pa., July 4, 1883. and the first 3 wire station with *underground* conductors was started in Brockton, Mass. October, 1883. The Lawrence, Mass., station went into service in November, 1883, followed by the Fall River, Mass., station in December, 1883. The first "Jumbo" dynamo was sent abroad at the international electrical exposition, in October, 1881. The second "Jumbo" was started at the Holborm Viaduct station, London, England, January, 1882, and a second machine on April 8, 1882, the station inaugurating regular operation on April 11, 1882.

(To be continued on next issue)

## 五萬伏高壓試驗變壓器之構造及應用

周 琦

摘要：本篇首先略述高壓變壓器絕緣之各問題，繼述五萬伏試驗變壓器之構造與應用，末附表圖多種，供讀者之參考。

今日之談交流電者，變壓器(Transformer)幾成不可須臾或缺之一物。蓋充乎變壓器之應用，可以保護其他機械，可以調整各種需要，可以將巨量電流化為微數以供測度，可以將危險之高壓降為低壓以供公用，其他設施不勝枚舉。依工程上、經濟上論之，變壓器終居必要之地位也。

“工程”二字之本義，即利用天然之物力，憑最小之費用，獲最大之功效，以供人類幸福需要之謂。工程與經濟殆息息相關。變壓器一物足當之而無愧。蓋變壓器之原料及構造，較之任何同工率(Power in kva or kw)機械為低廉簡單。至其應用範圍之廣，控御之便，又迥非他種機械所能及也。

變壓器於經濟上最大之貢獻，係使低電壓升高，以傳電至相當地點，更降低以供用。今日電工之突飛猛進，駸駸乎百業皆有電化之勢(Electrification of all Industries)，雖謂由此種貢獻造其端，亦無不可。

變壓器所升電壓愈高，則其於經濟上貢獻愈大。電工發達史上影響愈宏。現歐美各國傳電用變壓器所發最高之電壓(註一)已達三十三萬伏。試驗用變壓器所發最高之電壓已達一百萬伏，其勢尚有增無已。十年之後，或將倍之。吾人執業電工，對於高壓變壓器，誠有不得不研究之勢。

變壓器略同他種電機，其構造部份可分為三種場路，即

1. 電場(Electric Field or Electric Circuit)專指線圈即銅綫部份。
2. 磁場(Magnetic Field or Magnetic Circuit)專指磁心即鋼片部份。
3. 通感場(Dielectric Field or Dielectric Circuit)指上兩部外即絕緣質油氣部份。

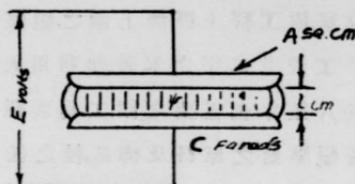
電壓一萬伏以下之變壓器，設計頗易，即將電磁兩場配置得宜而應用

普通絕緣質可保無虞（查考第二表）。較高之電壓時，對於通感場之佈置設計必須細加研究。

通感場中實際狀況普通書籍均略焉而不詳，今以本文之關係不得不撮要如下，幸其性質與電場磁場多處相仿，物以比較而易明，因求說明上之便利，特附“三種場路比較表”〔見(I)表〕於後，彼此對照，不難明瞭。

如第一圖，設有金屬板兩塊，其面積各為  $A$  平方呎相距  $l$  呎，中間通感體 (Dielectric Material) 滿佈空氣。(空氣之通感率為 1) 板之兩邊均銼圓勢，以防磁流綫 (Flux Line) 之集

合，今連接各板至一  $E$  伏之來源當有平均分佈 ( $A$  較  $l$  必極大) 之磁流綫在兩板中間，命其量為  $\Psi$  庫，并命空氣之電容為  $C$  法，則得以下之關係。



● 第一圖

$$\Psi = CE \dots\dots\dots (1)$$

$$D = \Psi/A \dots\dots\dots (2)$$

$$J = E/L \dots\dots\dots (3)$$

查空氣之決裂電壓 (Breakdown Voltage) 為 31 伏/呎〔見(III)表〕故電位強度之  $J$  值小於 31 伏時， $E$  電壓不致跳過空氣隙而成短路 (Short circuit)，否則即須決裂。

兩種或兩種以上之電容分佈於此金屬板間時情況則異，此際各電容係串連接。(Capacity in Series) 其總電容  $C_T$  之求法，與求並連電阻或磁阻相同，(Resistance or Reluctance in Parallel) 式如下。

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots} \dots\dots\dots (4)$$

同時各電位強度  $J$  與其電位率成反比例即

$$D = Kk_1(\text{註二})J_1 = Kk_2J_2 = Kk_3J_3 = \dots\dots\dots (5)$$

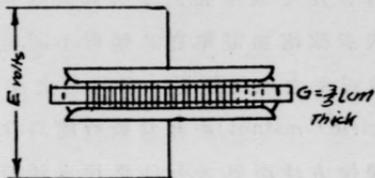
或  $\frac{J_1}{J_2} = \frac{k_2}{k_1}; \quad \frac{J_2}{J_3} = \frac{k_3}{k_2} \dots\dots\dots (6)$

任一電位強度超過其決裂電壓時，即足發生衝破(Puncture)之危險，例如第二圖與第一圖相同，惟於金屬板間加入  $\frac{3}{5}$  吋厚之玻璃一片。

設空氣之通感強度為  $J_a$ 。

玻璃之通感強度為  $J_g$

自表中(第三表)查得空氣之通感率為 1。



第二圖

玻璃之通感率為 7。

則引用第(6)式  $\frac{J_a}{J_g} = 7 \quad \therefore J_a = 7J_g$

如  $l = \frac{1}{2}$  吋,  $E = 10,000$  伏, 則於第一圖狀況下。

$$J = 10,000 / 0.5 = 20,000 = 20 \text{ 伏/吋}$$

較小於 31 伏決裂電壓，並無衝破之危險而於第二圖狀況下

$$E = 10,000 = 0.2J_a + 0.3J_g = 1.7J_g \quad \therefore J_g = 5.880 \text{ 伏/吋}$$

故  $J_a = 7J_g = 41.160 \text{ 伏/吋}$

較 31 伏之決裂電壓超過甚多，空氣層必為衝破，雖有玻璃抵擋不致短路而決裂，然玻璃兩面發生藍色火花甚屬危險，善於設計者必當避免之，使不妨礙金屬面及某種絕緣質也。

上例既屬明顯，則變壓器線圈與鋼片或其外桶，彷彿金屬版之兩塊，線圈與鋼片間或外桶間之絕緣物質及油氣層，彷彿兩金屬板間之玻璃與空氣層，其相同點不難想像而得之。

惟變壓器之通感場，實際設計上決不如上例之簡單其原因凡三

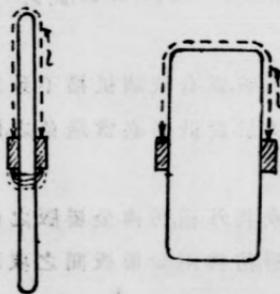
甲. 通感場之彈性抵抗：通感場與電場及磁場不同之點，即在其彈

性作用。通感體或絕緣質可想像為一種感電性之彈簧。變壓器線圈未接電時，此種物質毫無異狀。接電後即感受電性，似成為彎曲之彈簧條。常處於一種勢力威逼之下，而流通其靜電量 $\Psi$ 。迨線圈電路一開，勢力即撤， $\Psi$ 停止，無異彈片之復原。如接電中，其威逼之勢力超過彈性限度 (Elastic Limit) 時，即致決裂而彈條折斷。如其威逼之勢力逐漸增加而終在彈性限度相近之下，則彈條仍可暫用。(惟不能久) 又如其威逼之勢力忽然驟加至限度相近之下，亦致決裂。故增加電壓實際情形不同，絕緣質之存毀亦異。

乙. 通感率之理化變更：各物質之通感率 (Specific Inductive Capacity or Dielectric Constant) 並非常數，恆隨理化狀況之不同而變更。試細玩第三表，有隨製煉方法而異者，如印度橡皮純製為 2.12，硬性則升至 3.0。有視溫度高低而異者，如水在攝氏 14 度時 83.8，在攝氏 25 度則降至 75.7。有視物體之狀態而異者，如輕綠養淡各氣在 76 呎大氣壓時為極近 1 之數，在液狀時則升至 1-2 各數。設計應用時不可不注意及之。

丙. 決裂電壓之理化變更：各物質之決裂電壓更非確定之數，可自第三表考之。如瓷器在 100°C. 時決裂電壓為 220 叢/呎，在 250°C. 時則為 20 叢/呎

黑膠質簿層疊起試驗時為 270 叢/呎，澆成一塊時則為 90 叢/呎。表中大多數物質因試驗狀況影響太多，其決裂電壓均捨之而不列，以免誤會。又物質之決裂電壓恆視其應用物品之狀況而定。此種表面蔓延 (Surface leakage) 不僅須視表面之清、濁、乾、濕，且須視所用電極 (Electrode) 之大、小、尖、圓而定。例如第三圖及第四圖所示。



第三圖 第四圖

前者爲一薄瓷版或其他物質隔開兩電極，後者爲同樣物質加厚之板。兩圖此極至彼極之路徑均等長爲 1。然第四圖之決裂電壓較第三圖高過遠甚，蓋因第三圖兩極過近，靜電線流已成集中，(Electro Static Flux Concentration) 先衝破各極周圍之空氣層，稍加電壓，即足衝破其餘之空氣層而蔓延至全路也。

### 高壓變壓器絕緣之切要定律

準前所論，高壓變壓器通感場或絕緣之設計，須注重實驗，不能憑諸理想，彰彰甚明。昔人以便於設計起見，曾假定四種絕緣距離計算法如下（下式係變壓器發電壓最高之係數；各距離均以呎計）

$$\text{在空氣中，線圈至鋼片或桶表面距離} \\ = 1.25 + 1.25 \text{ 呎} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{在變壓器油中，表面距離} \\ = 1.25 + 0.25 \text{ 呎} \dots\dots\dots (8)$$

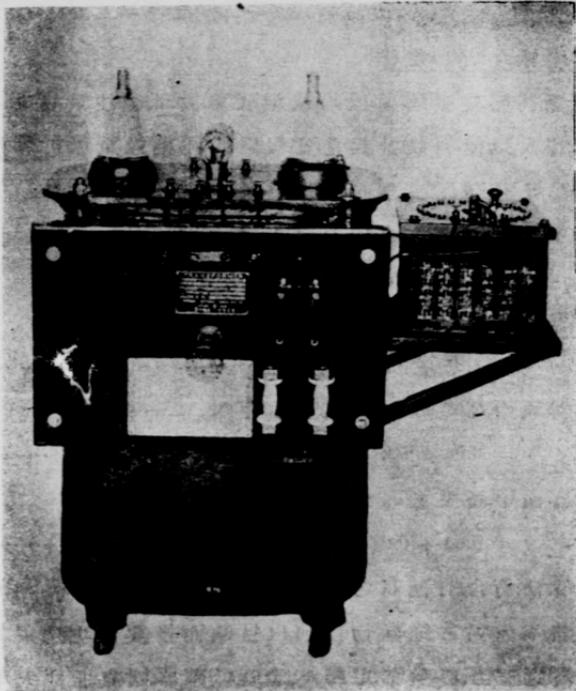
$$\text{在變壓器油中，高壓底圈至桶全油距離} \\ = 0.64 + 0.2 \text{ 呎} \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{在變壓器油中，高壓底圈至桶半油半絕緣質距離} \\ = 0.64 + 0.08 \text{ 呎} \dots\dots\dots (10)$$

此種計算法，均含有極高之保安因數 (High Factor of Safety) 頗可引用。惟失之簡略，不如對於絕緣物質加以實驗而後設計，更屬妥適經濟。實驗各種絕緣物質之器具，莫如應用高壓試驗變壓器。國立浙江大學工學院鑒於高壓試驗設備之重要，因向上海益中機器公司訂造五萬伏高壓試驗器一具。此機已於民國二十年一月造成頗堪供用。著者曾從事於其設計及監造，請得略述其構造梗概於後，執業電工者或有所取焉。

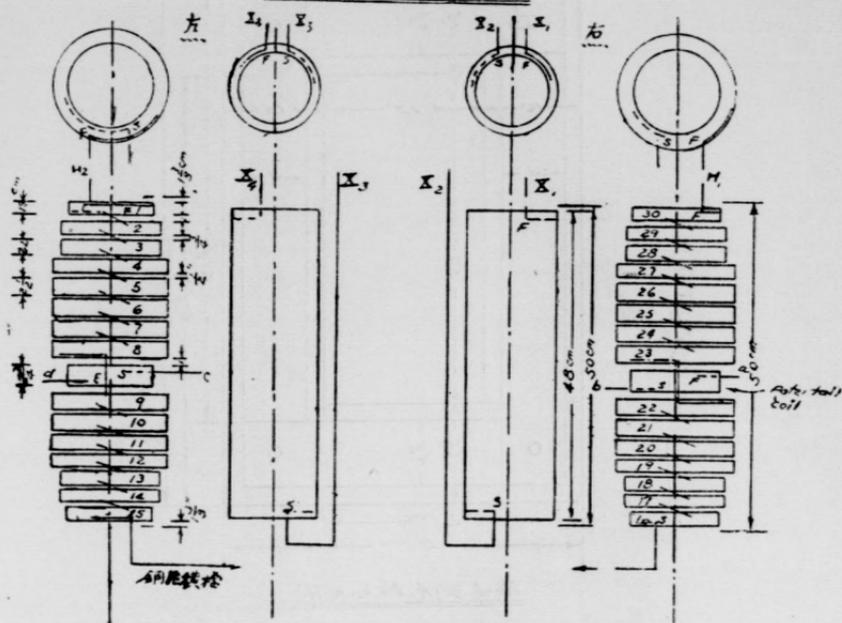
### 五萬伏高壓試驗變壓器之構造

此變壓器（參攷第五圖），除低壓輸送 220/110 伏而高壓供給五萬伏最高電壓以應一般之試驗外，其構造方面，更須有三種特點。

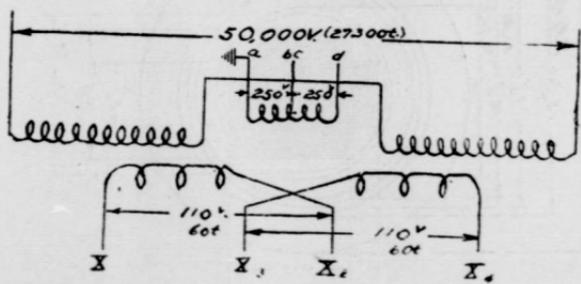


第五圖

高壓邊立視線卷圖



線卷連接圖





1. 高壓電壓須逐級漸升至五萬伏，其級數至少二十級以上足以試驗各種薄塊（其厚度在1公厘以下者）絕緣質之決裂電壓。

欲達此點，低壓或進電方面（Primary Side）須直連一電壓調整器（Potential Regulator）或多頭電阻器（Multitap Rheostat）前者須視大批定貨而為之，後者則易製備，皆足以任意改變高壓伏。

2. 高壓電壓可由電壓表準確量之

此則於變壓器中必須加一降壓綫圈，其繞線捲數必與高壓全線圈捲數成一正數之比，應用時此圈成一電壓變壓器（Potential Transformer），而使電壓表得指示高壓伏之正確分數。（實用者為 $\frac{1}{100}$ ）

3. 最高電壓舉行短路試驗而不致損壞線圈

此種變壓器於試驗過程中，易經衝破狀況（Puncture Condition），而使高線圈短路，預防損壞，其道有三。

（甲）高壓線圈，銅線加粗，使其電流密度極低，足任一瞬時短路之強電流。

（乙）低壓進電方面加入一自動斷路器（Automatic Circuit Breaker）器上較正在滿載電流，短路時電流稍大，立可跳開。

（丙）低壓進電方面之電阻器，恆在供給一部份進電壓耗量（RI Drop）其量與電流成正比例，短路時電流忽大，耗量隨之而大進，電壓及高壓立刻驟降，而自行減低其電流。

變壓器各部份之構造及設計均詳列於以下各圖表。

第六圖變壓器線圈之展開及俯視（Winding Diagram）

第七圖鋼片之裝配（Assembling of Punchings）

第（IV）表線圈銅線捲數之設計（Winding Data）

第（V）表結線圖及電壓詳表（Connecting and Operating Data）

第（VI）表試驗成績表（Technical Data）

第（VII）表構造式樣量數表（Constructional Data）

茲就其構造中特點更加說明之

### 1. 電阻器之設計與構造

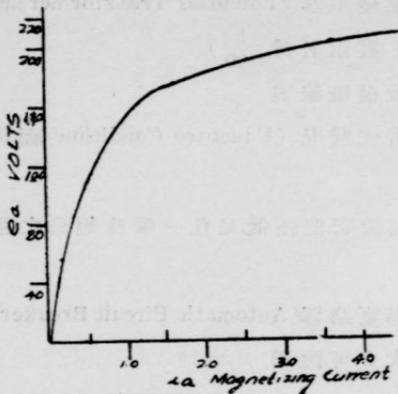
先假定高壓遞變之等級為31級分配如次。

$$\text{每級 } 1,000 \text{ 伏} \times 6 \text{ 級} = 6,000 \text{ 伏}$$

$$\text{每級 } 1,500 \text{ 伏} \times 12 \text{ 級} = 18,000 \text{ 伏}$$

$$\text{每級 } 2,000 \text{ 伏} \times 18 \text{ 級} = 36,000 \text{ 伏}$$

$$\text{共 數 } \quad \quad \quad 31 \text{ 級} = 50,000 \text{ 伏}$$



第八圖

則每級所用之電阻可自下式求得之。

$$r_a = \frac{220 - e_a}{I_a} \dots \dots \dots (12)$$

第(VIII)表即示其計算之結果而電阻器實際依此製造者。

### 2. 高壓線圈之保護

高壓線圈除前述自動斷路器及電阻器保護外所用銅線為#23號B. & S.表,其切面積為0.00257平方吋以通滿載電流0.07安,其電流密度僅27安/平方吋,較之尋常變壓器用至190-310(見第二表)為極微數,足當瞬時

次以任意標準電阻  $r$  接入變壓器之低壓方面,進以 220 伏 50 週波之電,同時以電表測低壓之激磁電流  $i_a$ ,則此際低壓實受電壓為

$$e = 220 - i_a r \dots \dots \dots (11)$$

乃就  $i$  與  $e$  之值定第八圖弧線上之一點,依此變更  $r$  之值,可得弧線上之若干點,而繪成之。

然後就此弧線,查得所分 31 級每級低壓方面之激磁電流  $i_a$ ,

間十倍之強電流而無虞。

高壓且分爲30小圈，每小圈最高電壓未有超過2,000伏，隔層電壓 (Layer Stress) 亦未有超過 121 伏者。一掃重壓 (Overstrain) 之患。

每小圈於裝配前烘漆後，俱經過一特製小變壓器之加倍電壓 (Over-Potential) 試驗，即每 2,000伏 之小圈使其感應 4000伏 之電壓歷十分鐘不生變化，始經認可而裝配以保障絕緣質之安全。

### 五萬伏高壓試驗變壓器之應用

五萬伏雖非極高之電壓，實用試驗種類頗多，今舉其犖犖大端如下，因限於篇幅，各試驗法，恕不詳述。

#### 1. 通感體之決裂電壓試驗

已詳如第三表，惟大部每吋厚物質之決裂電壓過高，祇能就其每吋厚或更薄者試驗之。

#### 2. 變壓器油之衝破試驗

此變壓器附有特別器具，可接於高壓兩端，器中設圓徑2吋（約1吋）之銅板2電極，兩極距離可任意調整，盛器以變壓器油，通電逐漸升高，以衝破之，最後電壓之高低，足辨其油之良否。上好之變壓油於兩極距離 $\frac{1}{4}$ 吋足當 25,000 伏之試驗。（註三）當 22,500 伏者列優等，當 20,000 伏者列中等，不及 16,500 伏者則不合用。

#### 3. 球體間空氣放電試驗

球體間試驗空氣放電 (Sphere Gap for Sparking Over Voltage) 較針

附註 (註一) 各國標準所發各種高電壓詳見民國十九年建設委員會刊佈之電氣事業電壓週率標準規則中。

(註二) K 爲計算電容於法單位時之常數。

$$C = \left[ \frac{10^9}{4\pi\epsilon(3 \times 10^{10})^2} \right] \frac{kA}{L} = \frac{8.84}{10^{12}} \frac{kA}{L} \quad \therefore K = \frac{8.84}{10^{12}}$$

(註三) 此節所列係美國通用標準，英國制則用 $\frac{1}{2}$ 吋銅球中距15吋而上好之變壓器油須達30號以上。

端間 (Needle Gap) 所量為正確。惟試驗時球之距離與溫度氣壓及球之對徑大小均有關係，詳列於第(1X)表。

#### 4. 各電機之絕緣試驗

變壓器之高壓至低壓或鋼片均須通過 2 倍高壓伏數 + 1000 伏之絕緣試驗。低壓在 600 伏以下者，其與鋼片間或鐵桶間，須通過 1,000 伏電壓試驗。其他發電機電動機之絕緣物亦均須經相當試驗，始可保其於正式應用時不致決裂。此試驗變壓器於茲，用處甚多。

(I) 變壓器三種場路比較表  
ANALOGY AMONG THREE DISTINCT CIRCUITS FOR TRANSFORMERS

電場 ELECTRIC FIELD OR CIRCUIT				磁場 MAGNETIC FIELD OR CIRCUIT				通感場 DIELECTRIC FIELD OR CIRCUIT			
條目	單位	記號	公式	條目	單位	記號	公式	條目	單位	記號	公式
電動力	E.M.F.	伏	E = IR	磁動力	M.M.F.	吉	F = $\Sigma$ S	電壓差	Potential Difference	伏	E = $\psi/C$
電流	current	安	I = E./R	磁流	Magnetic Flux	麥	$\Sigma$ = F/S	靜電量	Quantity of Electrostatic E.	庫	$\psi$ = CE
電阻	Resistance	歐	R = $\frac{\Sigma}{I} = \rho \frac{L}{A}$	磁阻	Reluctance	奧	S = $\frac{r}{\Sigma} = \frac{L}{\mu A}$	彈抵抗	Elastance	達	$\epsilon$ = $\frac{1}{C} = \frac{1}{Kk} \frac{L}{A}$
電導	Conductance	謨	G = $\frac{1}{R}$	磁導	Permeance	—	P = $\frac{1}{S}$	電容	Permittance or Capacity	法	C = $\frac{\psi}{E} = Kk \frac{A}{L}$
電阻率	Resistivity	歐/立方呎	$\rho = R \frac{A}{L}$	磁阻率	Reluctivity	奧/立方呎	$\frac{1}{\mu} = S \frac{A}{L}$	彈抗率	Elastivity	—	$\frac{1}{Kk} = \epsilon \frac{H}{L}$
電導率	Conductivity	謨/立方呎	$\frac{1}{\rho} = G \frac{A}{L}$	磁導率	Permeability	—	$\mu = P \frac{L}{A}$	通感率	Permittivity	—	$Kk^{\wedge} = C \frac{1}{A}$
並連電阻	Resistance in parallel	歐	$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}$	並連磁阻	Reluctance in parallel	奧	$S_T = \frac{1}{\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \dots}$	串連電容	Capacity in series	法	$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots}$
電流密度	Current Density	安/平方呎	Q = I/A	磁流密度	M. Flux Density	高	B = $\Sigma/A$	密度	Electrostatic Flux Density		D = $\psi/A$
電場強度	Electrifying Force	伏/呎	B = $\frac{E}{L} = \rho g$	磁場強度	Magnetizing Force	吉/呎	H = $\frac{r}{L} = \frac{B}{\mu}$	電位強度	Electrostatic Poten. Gradient	伏/呎	J = $\frac{E}{L} = \frac{D}{Kk}$
電路長	Length along conductor	呎	L	磁路長	Length along Flux	呎	L	場長	Length along Flux	呎	L
電路切面	Section of conductor	平方呎	A	磁路切面	Section Normal to Flux	平方呎	A	場切面	Section Normal to Flux	平方呎	A

☆ K = 常數 =  $8.84 \times 10^{-14}$  : k = 通感率. (Specific Inductive Capacity or Dielectric Constant) 詳見第(III)表

(II) 變壓器三種場路設計狀況表

DESIGN CONDITIONS AMONG THREE DISTICT CIRCUITS FOR TRANSFORMER

	電 場		磁 場		通 感 場	
設 計 狀 况	ELECTRIC FIELD		MAGNETIC FIELD		DIELECTRIC FIELD	
	條 目	說 明	條 目	說 明	條 目	說 明
	變壓器容量	KVA	週 波	F	電 壓 差	E
(甲) 預知數	電 動 力	$E = \frac{kva}{I}$				
	電 流	$I = \frac{kva}{E}$				
(乙) 設計常數	電 流 密 度	$q < \frac{190-310}{\text{Amp/cm}^2}$	磁 流 密 度	$B = 10000-14000$ 高	通感磁流密度	D. 不 確 定
	電 阻 率	$\rho$ 自銅源表查	磁 導 率	U 自磁代線圖	通 感 率	Kk 自第二表查
(丙) 溫度極限	線圈最熱處	不得超過100°C.	鋼片磁化飽和	在 110°C T.	高 溫 絕 緣 質	不得超過 $\frac{115^\circ\text{C}}{105^\circ\text{C}}$ .
					普 通 絕 緣 質	
	電 路 切 面	$A = \frac{1}{q}$	磁 路 切 面	$A = \frac{\Phi}{B}$	通 感 場 切 面	$A = \frac{\psi}{Kk_j}$
(丁) 求算數值	電 路 長	$L = \frac{E}{b}$	磁 路 長	$L = \frac{F}{H}$	通 感 場 長	$L = \frac{E}{J}$
	電 阻	$R = \rho \frac{L}{A}$	磁 阻	$S = \frac{I}{\mu} \frac{L}{A}$	電 容	$C = Kk \frac{A}{L}$
	電流密度太高	銅線熱至110°C上	磁流密度太高	鋼片飽和而過熱	通感磁流集中過量	強 度 過 高 而 致 衝 破
(戊) 損壞主因	線圈太厚	熱點溫度過高	鋼片加漆剪裝未妥	盛增漏電損耗	同處異通感體之 物質配用未當	某 一 物 質 過 壓 而 損 壞
	線圈裝配受損	隔捲隔層致跳電	鋼片夾板路 螺絲短	鐵耗過多	油槽太小且絕緣 質含有濕空氣	輕 則 發 熱 重 則 發 裂

## (III) 通 感 率 及 決 裂 電 壓

## SPECIFIC INDUCTIVE CAPACITY AND BREAKDOWN VOLTAGE

物 質		通感率	決 裂 電 壓		物 質		通感率	決 裂 電 壓	
中 名	英 名		狀 况	kv/cm.	狀 况	中 名		英 名	狀 况
固 體 :					固 體 :				
瀝青炭	Asphalt		2.5		絲	Silk		4.6-4.9	
黑膠質	Bakelite		4-6	270-450 90-400	薄層 澆塊	矽 鹽	Silica		3.5-3.8
炭	Carbon		5.5		石 板	Slate		6.5-7.5	3.9-7.9
	Cambric	已加漆膠	4.5-5.5	280	膠漆布黃	Varnish Cloth		5.5	145 油中 100°C.
賽 珞 瑪	Celluloid		1-16	100-276	20°C.	膠漆布黑	..	4.5	略高
含硫樟皮	Ebonite		2-3.5	276	乾 木	Wood	烘燥	3-3.5	71 油中 100°C.
燐 筋	Fibre	乾製	2.5	90-160	液 體 :				
"	"	油煉	1.5-5.5		酒 精	Alcohol, methyl		35.4	
玻 璃	Glass	普通	3-3.25	90	盆 純	Benzine	20°C.	2.28	
"	"	火晶	6-7	110	二硫化炭	Bisulphide of Carbon	11°C.	1.9-2.2	
"	"	厚版	5-8			Choloroform		5.2	
	Gutta Percha	普通	4.2		以 太	Ethyl, Ether		4.4	
	"	高週波	2.46		蜜 糖	Glycerine		39	
石 膏	Gypsum		3.3		各斯得油	Castor Oil		4.8	144-170
冰	Ice	-2°C.	93.9		冰 西 油	Linseed Oil		3.5	130-160
印度橡皮	India Rubber	純製	2.12	276	橄 欖 油	Olive Oil		3.2	
"	"	烘焙	2.6-2.9		變壓器油	Transformer Oil		2-2.25	80-
"	"	硬性	3		石 油 精	Petroleum Spirit		2.1	
象 牙	Ivory		6.9		松 香 水	Turpentine	普通	2.3	
大 理 石	Marble		8.3	24	意 大 利 產	水	Water	14°C.	83.8
千 層 紙	Mica	含鉀,紅色	7	720	"	"		25°C.	75.7
"	"	含鎂,黃棕	6	500	氣 體 :				
"	"	含鎂,銀白	5	200	空 氣	Air	76cm.氣壓	1.00058	31
絕緣紙張	Insu. Paper	乾製	2-2.8	148	真 空	Vacuum		1.000	31 誘導 標準
"	"	加暗	3.7	168	二 養 化 炭	Carbon Dioxide	76cm.氣壓	1.000989	
"	"	油煉	4		綠 氣	Chlorine	(液狀)	1.97	
瓷 器	Porcelain		4.4-6.8	220 20	100°C. 250°C.	Helium	76cm.氣壓	1.000074	
硬 紙 板	Pressboard	乾或加膠	2.5-4	140	100°C.	輕 氣	Hydrogen	..	1.000282
"	"	油煉	4.7-7	258	"	"	(液狀)	1.21	
泥 石	Quartz		3.5-4.5		淡 氣	Nitrogen	76cm.氣壓	1.000606	
松 香 質	Resin		2.5	157-236	"	"	(液狀)	1.42	
岩 鹽	Rock Salt		5.6		養 氣	Oxygen	76cm.氣壓	1.00547	
黃 乾 漆	Shellac		2.75-3.73	140-236	"	"	(液狀)	1.46	

註(一) 通感率之英文名昔觀各書如 Permittivity, Dielectric Constant, Dielectric Coefficient and Specific Inductive Capacity 實均指一事

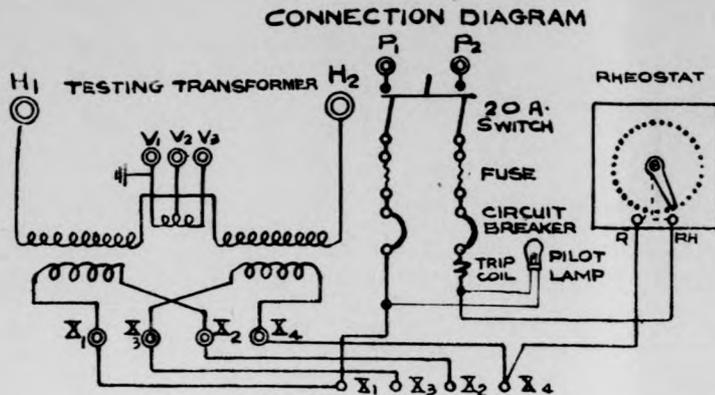
(二) 此表各數摘錄自英國 E. R. A. and 美國 Bureau of Standards 各報告專刊

(IV) 線圈銅線捲數之設計表

## WINDING DATA

高壓：		電壓	50,000伏	電流	0.07安	捲數	27,300	總圈數	1×2	分圈數	15×2
低壓：		電壓	220/110伏	電流	15.9安	捲數	120	總圈數	1×2	分圈數	—
線圈	線模形體	銅線	捲數	層數	每層捲數	繞向	電流密度				
內低壓圈	11½吋圓徑×48吋高	72mil×258mil	60	1	60	從“左”	137安/平方吋				
外高壓圈 共小圈三十只	#1, 15 16, 30	15½吋圓徑×1.9吋高	#23號B.&S. 22.6mil對徑	546	22 <sup>18</sup> / <sub>24</sub>	24	從均“右”	27安/平方吋 每小圈1,000伏			
	#2, 14 17, 29	同上	同上	691	23 <sup>19</sup> / <sub>24</sub>	24	同上	每小圈1,250伏			
	#3, 13 18, 28	15½吋圓徑×2.2吋高	同上	834	28 <sup>22</sup> / <sub>29</sub>	29	同上	每小圈1,500伏			
	#4, 12 19, 27	同上	同上	953	32 <sup>25</sup> / <sub>29</sub>	29	同上	每小圈1,750伏			
	#5, 11 20, 26	15½吋圓徑×2.5吋高	同上	1086	32 <sup>30</sup> / <sub>33</sub>	33	同上	每小圈2,000伏			
電壓表線圈	16½吋圓徑×2.75吋高	#21號B.&S. 28.5mil對徑	136	4 <sup>24</sup> / <sub>28</sub>	28	1從“右” 1從“左”	每小圈250伏				

(V) CONNETING AND OPERATING DATA FOR 3½ KVA 50,000 VOLTS TESTING TRANSFORMER



**NOTES**

(1) THE PRIMARY SUPPLY VOLTAGE SHOULD IN CASE BE HIGHER OR LOWER THAN THE TABULAR VALUE, THE SECONDARY HIGH VOLTAGE WILL VARY IN THE SAME RATIO. BUT THE INCREASE OF SHE VOLTAGE SHOULD NOT BE MORE THAN PER CENT OF THE RATED VALUE.

(2) THE FREQUENCY OF SUPPLY SOURCE SHOULD BE AT CYCLES PER SECOND OTHERWISE THE ACCURACY OF THE TABULAR VALUE WILL BE EFFECTED.

(3) THE TANK SHOULD BE FILLED WITH TRANSFORMER OIL OF THE BEST APPROVED QUALITY UNTIL IT REACHES INCHES ABOVE PORCELAIN BUSHINGS.

**CONNECTION TABLE**

PRIMARY LINES ON	PRIMARY VOLTS	CONNECTION	SECONDARY LINES ON	SECONDARY HIGH V.	VOLTMETER DONNECTION		PERMANENT CONNECTION
					HIGH VOLTAGE	V-READING	
P <sub>1</sub> &- R <sub>2</sub>	220	X <sub>2</sub> to X <sub>3</sub>	H <sub>1</sub> & H <sub>2</sub>	50,000	25,000	V <sub>1</sub> & V <sub>3</sub> 250	P <sub>1</sub> to X <sub>1</sub>
P <sub>1</sub> &- P <sub>2</sub>	110	X <sub>1</sub> to X <sub>3</sub>	H <sub>1</sub> & H <sub>2</sub>	50,000	50,000	V <sub>1</sub> & V <sub>2</sub> 250	P <sub>2</sub> to R.HANDLE
		X <sub>2</sub> to X <sub>1</sub>				V <sub>1</sub> & V <sub>3</sub> 500	

**VOLTAGE TABLE AT 200 V. 50 SUPPLY**

RHEOSTAT STEP NO.	VOLTMETER READINGS	TESTING HIGH VOLTS	RHEOSTAT STEP NO.	VOLTMETER READINGS	TESTING HIGH VOLTS	RHEOSTAT STEP ON.	VOLTMETER READINGS	TESTING HIGH VOLTS
1	0	0	11	120	12,000	22	300	30,000
2	10	1,000	12	135	13,500	23	320	32,000
3	20	2,000	13	150	15,000	24	340	34,000
4	30	3,000	14	165	16,500	25	360	36,000
5	40	4,000	15	180	18,000	26	380	38,000
6	50	5,000	16	195	19,500	27	400	40,000
7	60	6,000	17	210	21,000	28	420	42,000
8	75	7,500	18	225	22,500	29	440	44,000
9	90	9,000	19	240	24,000	30	460	46,000
10	105	10,500	20	260	26,000	31	480	48,000
			21	280	28,000	32	500	50,000

JAN.15.1931

## TECHNICAL DATA

Continuous Output, KVA	... ..	3-1/2 KVA
Normal Primary Line Voltage	.. ...	220/110 Volts
Normal Secondary Line Voltage at no load	... ..	50,000 Volts Mar.
Number of Phases	... ..	Single Phase
Frequency	... ..	50 Cycles/Second
Series-Parallel Connection on	... ..	Primary Side
Double or Auto Wound	... ..	Double Wound
Core Loss at Normal Primary Voltage,	... .. Watts	231 Watts
Copper Loss at Normal F. L. & U. P. F.,	... .. Watts	25
Regulation at Normal F. L. & U. P. F.,	... .. %	0.718 per per cent
Regulation at Normal F. L. & 0.8 P. F.,	... .. %	0.996
Impedance Voltage at Normal F. L. Ratio	... .. %	1.000
Reactance Voltage at Normal F. L. Ratio	... .. %	0.706 per cent
Efficiency at U. P. F. Full Load	... .. %	93.18
3/4 "	... .. %	91.44
1/2 "	... .. %	88.06
1/4 "	... .. %	79.07
Performance Reference Temperature °C.	... .. %	55 °C.
*Normal Maximum F. L. Temperature Rise by Thermometer	... ..	25 °C.
Maximum Ambient Temperature	... ..	35 °C.
Polarity	Temperature Rise by Resistance is 5°C. greater	Subtractive

## CONSTRUCTIONAL DATA

FITTINGS						
Continuous Output, KVA	...	...	...	...	...	...
Type of Transformer Core	...	...	...	...	...	...
Type of Tank	...	...	...	...	...	...
Method of Cooling	...	...	...	...	...	...
Rollers, Fitted or not	...	...	...	...	...	...
Indoor, Outdoor, Weatherproof, Waterproof or Mining Type	...	...	...	...	...	...
Terminal through Tank Cover or Side	...	...	...	...	...	...
Type of Terminals	...	...	...	...	...	...
Earthing Device, Supplied or not	...	...	...	...	...	...
WEIGHTS						
Transformer Core, Windings & Terminals	...	...	...	...	...	...
Tank	...	...	...	...	...	lbs.
Oil	...	...	...	...	...	lbs.
Total Weight (with Oil)	...	...	...	...	...	lbs.
Total Nett Weight (without Oil)	...	...	...	...	...	lbs.
Quantity of Oil	...	...	...	...	...	galls.
Quality of Oil	...	...	...	...	...	...
DIMENSIONS						
Approximate Overall Length	...	...	...	...	...	ins.
Approximate Overall Width	...	...	...	...	...	ins.
Approximate Overall Height over Terminals	...	...	...	...	...	ins.

3-1/2 KVA

Two Leg Cruciform Core

Sheet Metal welded Tank

oil Insulated self Cooling

Fitted

Portable Indoor Type

Through Tank Cover

Brass studs & Brass posts

Potential Coil earthed

320 Pounds

80

290

730

440

40 U. S.Gallons

Secony "Besa B"

38-1/2 Inches

20-1/4

47-1/2

(VⅢ) 電阻器分級計算表

MULTISTEP RHEOSTAT DESIGN AT 220V. 50CYCLE SUPPLY FOR TESTING TRANSFORMER

電阻器分級	高壓伏電表量出	低壓進電出	$i_a r_a$ 耗量出	維磁電 $i_a$ 孤線來	應加電阻 $r_a$ 出	電阻器分級	高壓伏電表量出	低壓進電出	$i_a r_a$ 耗量出	維磁電 $i_a$ 孤線來	應加電阻 $r_a$ 出
1	0	0	0	0	0	17	210	92.4	127.6	0.532	240
2	10	4.4	215.6	0.076	2,820	18	225	99.0	121.0	0.557	217
3	20	8.8	211.2	0.107	1,970	19	240	105.5	114.5	0.603	190
4	30	13.2	206.8	0.148	1,395	20	260	114.4	105.6	0.641	165
5	40	17.6	202.4	0.185	1,095	21	280	123.2	96.8	0.692	140
6	50	22.0	198.0	0.216	915	22	300	132.0	88.0	0.752	117
7	60	26.4	193.6	0.252	770	23	320	140.8	79.2	0.825	96
8	75	33.0	187.0	0.290	645	24	340	149.6	70.4	0.927	76
9	90	39.6	180.4	0.331	545	25	360	158.4	61.6	1.08	57
10	105	46.2	173.8	0.358	485	26	380	167.2	52.8	1.32	40
11	120	52.8	167.2	0.393	425	27	400	176.0	44.0	1.76	25
12	135	59.4	160.6	0.417	385	28	420	184.8	35.2	2.20	16
13	150	66.0	154.0	0.447	345	29	440	193.6	26.4	2.93	9
14	165	72.6	147.4	0.468	315	30	460	202.4	17.6	3.52	5
15	180	79.2	140.8	0.494	285	31	480	211.2	8.8	4.40	2
16	195	85.8	134.2	0.506	265	32	500	220.0	0.0		0

(IX) 球體間試驗空氣中放電距離表

SPARKING DISTANCE FOR SPHERE SPARK GAP AT 25°C. &amp; 76 CM. B. P.

跳過電壓 Kilovolts	625 釐 球 徑		125 釐 球 徑		250 釐 球 徑		500 釐 球 徑	
	一球通地	兩球絕緣	一球通地	兩球絕緣	一球通地	兩球絕緣	一球通地	兩球絕緣
10	4.2	4.2	—	—	—	—	—	—
20	8.6	8.6	—	—	—	—	—	—
30	14.1	14.1	14.1	14.1	—	—	—	—
40	19.2	19.2	19.1	19.1	—	—	—	—
50	25.5	25	24.4	24.4	—	—	—	—
60	34.5	32	30	30	29	29	—	—
70	46	39.5	36	36	35	35	—	—
80	62	49	42	42	41	41	41	41
90		60.5	49	49	46	45	46	43
100			56	55	52	51	52	51
120			79.7	71	64	63	63	62
140			108	88	78	77	74	73
160			150	110	92	90	85	83
180				138	109	106	91	95
200					128	123	108	106
220					150	141	120	117
240					177	160	133	130
260					210	180	148	144
280					250	203	163	158
300						231	177	171
320						265	194	187
340							214	204
360							234	221
380							255	239
400							276	257

(註) 球體間較針端間試驗空氣中放電更為精確故用以為量高壓之一法。試驗時可通以一定不變之電壓而徐徐移近任一球或固定兩球而徐徐升其電壓均可得其跳電而量其距離。不可任其于球距間暢放火花致妨其精確。

## 高壓絕緣試驗之結果

楊耀德 孫潮洲

摘要：一 本篇先述絕緣破裂之理論及其試驗之方法，次述各種國產植物油類及桐油、生漆等塗浸物品試驗之結果，以資與變壓器油及黃漆布、彈性紙等相互比較。

### 一. 絕緣體與導電體

所謂絕緣體者，指物質在電壓下並不耗損絲毫之電能者也。嚴格言之，世間任何物質，不能稱為完全之絕緣體，蓋各種物質在電壓下，皆耗損若干電能，雖所耗之量，有時極微，故絕緣體者通常為相對導電體之稱也。

絕緣體在電場間之現象或性質，稱為通感性，而此物體同時又謂之通感體 (Dielectric)。依麥克斯維耳 (Maxwell) 理論，通感體在電場間時，其分子感受遷移 (Displacement)，遷移程度與電場強度或電壓降度 (Voltage gradient) 成正比；設  $D$  為遷移量， $G$  為電壓降度，則

$$D = \frac{kG}{4\pi} \text{ (靜電單位)}$$

$$= \frac{kG}{36\pi \times 10^{11}} \text{ (實用單位)}$$

$D$  之實用單位為庫/方呎， $G$  之實用單位為伏/呎， $k$  為通感常數 (Dielectric Constant)。

通感體遷移量  $D$  之改變為遷移電流，設  $i$  為遷移電流，安/方呎，則

$$i = \frac{dD}{dt}$$

$$k = \frac{kG}{dt}, \quad (K = \frac{k}{36\pi \times 10^{11}})$$

令  $G = G_m \sin \omega t,$

則  $i = \omega K G_m \cos \omega t,$

觀上式知遷移電流與週率成正比，與電壓相差 (Phase difference)  $90^\circ$  起，故電能之耗量等於零。但各種物質在電壓下，必耗損若干電能，其相角不能恰等於  $90^\circ$ ，而小於  $90^\circ$ 。設通感體之工率因數，等於  $\cos \phi$  (圖一)，則

$$W = GI \cos \phi$$

$W$  為工率耗量，瓦/立方呎； $I$  為總電流，(安/方呎)。又設

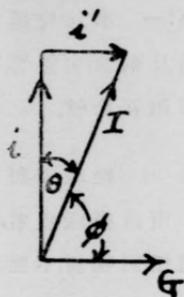
$$\theta = 90^\circ - \phi$$

於是 
$$W = Gi \tan \theta$$

$$= \omega k G^2 \tan \theta$$

或 
$$W_t = \omega C V^2 \tan \theta$$

式中  $W_t$  為工率總耗，瓦， $C$  為通感體之電容，法， $V$  為電壓，伏。若  $\theta$  之角度極小，則  $\tan \theta \doteq \sin \theta \doteq \cos \phi$ 。



圖一

## 二. 絕緣體之破裂 (Breakdown)

絕緣體在電場間之現象，如上節所述。但一指定之絕緣體，置於兩電極間，施以電壓，當電壓加高至某數量時，使物質發生劇烈之變態，失去其絕緣之性質，於是此絕緣體稱為破裂。破裂電壓之數量，因絕緣體之品類，其幾何形式之大小，試驗時之濕度與溫度，施加電壓之時間與速，電壓之為直流或交流，波形與週率，電極之物質形式大小與接觸面等而適異。絕緣破裂所受影響之關係，異常複雜，極難作有系統之分析。其內容真相，迄今尚未澈底明瞭。關於絕緣破裂之理論，比較的有根據者，有三。曰機械的理論，曰離子的理論，曰熱的理論。

機械的理論——此理論根據於物質受機械力而破裂之相似現象。當絕緣體抵抗電場強度，超過定限，即發生破裂；故絕緣體所受電場強度為定絕緣破裂之主因。但瓦格諾 (K.W. Wagner) 在 1905 年時，已實驗證明，電纜絕緣所能任受電場強度，若導線徑與絕緣外徑之比小於  $\frac{1}{e} = \frac{1}{2.718}$  時，超過於定限甚大，而絲毫未受破損。故此理論之不圓滿，已無疑義。

離子的理論——此理論為各種物質內，皆含離子 (Ion)，絕緣體內所

含離子之數量及其動率 (Mobility) 均低,故傳導電流極微,若絕緣體所受電場度強過高,則離子之動能增大,衝撞於中和原子,而產生多量之離子,失去其絕緣之性質,於是破裂。此理論對於氣體破裂之解說甚善,但對於固體及液體之破裂,則未能適用。

熱的理論——瓦格諾考察絕緣體破裂之際,有數點之溫度甚高,而他處則否,絕緣破裂,恆在溫度最高之點,若溫度增高,絕緣質之電導增加甚速,故絕緣體在電場間,溫度較高之點將吸受多量之電能,而溫度乃愈高,此不平衡之境况成立後,於是溫度最高之點,終至破裂。瓦格諾假定絕緣質之電阻與溫度變化之關係,依下列公式。

$$R = R_0 \left( \frac{T}{T + \theta} \right)^\alpha \dots \dots \dots (A)$$

式中  $T$  為初時溫度,  $R_0$  為初時電阻,  $\theta$  為溫度升,  $\alpha$  為常數,設絕緣溫度最高之點所吸受之電能,等於傳散之熱,故

$$VI = \beta \theta^n \dots \dots \dots (B)$$

式中  $\theta$  為溫度升,  $\beta$  與  $n$  皆為常數。

設  $n=1$ , 聯合 (A) (B) 兩式, 得

$$V(\beta T + VI)^\alpha - R_0 (\beta T)^\alpha I = 0 \dots \dots \dots (C)$$

$$\frac{d(C)}{dI} = V \alpha (\beta T + VI)^{\alpha-1} - R_0 (\beta T)^\alpha = 0 \dots \dots \dots (D)$$

聯合 (C) 與 (D) 式, 得

$$V_m = \frac{(\alpha-1)^{\frac{\alpha-1}{2}}}{\alpha^{\frac{\alpha}{2}}} \sqrt{R_0 \beta T}$$

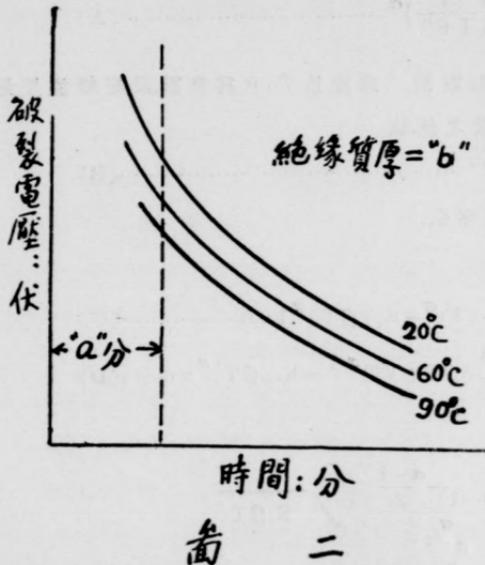
$$I_m = \frac{\alpha^{\frac{\alpha}{2}}}{(\alpha-1)^{\frac{\alpha+1}{2}}} \sqrt{\frac{\beta T}{R_0}}$$

$V_m$  為絕緣體之破裂電壓,  $I_m$  為破裂時之電流,  $V_m$  因初時電阻, 傳熱係數

$\beta$ ，絕緣體之厚(R。與 $\beta$ 與絕緣體厚成正比)而變。瓦格諾理論所得絕緣質之電壓與電流間關係，與實驗相符，但電壓與絕緣體厚之關係，未能與事實恰合。

### 三. 絕緣油類及薄層絕緣質之試驗法

試驗絕緣油類之破裂電壓，取清潔之樣油，注入火花隙試油盅內，火花隙之標準大小，英制為 $\frac{1}{2}$ 吋徑球，0.15吋隙，破裂電壓40000伏；美制為1.0吋徑圓板，0.1吋隙，破裂電壓22000伏。絕緣油苟含有水份及塵垢，對於絕緣性質所起不良之影響甚大。欲保持其標準絕緣力量，油中所含濕份不得超過0.001%之容積。油中含有塵垢或纖維等雜質，將集中於電極間，而易於破裂。



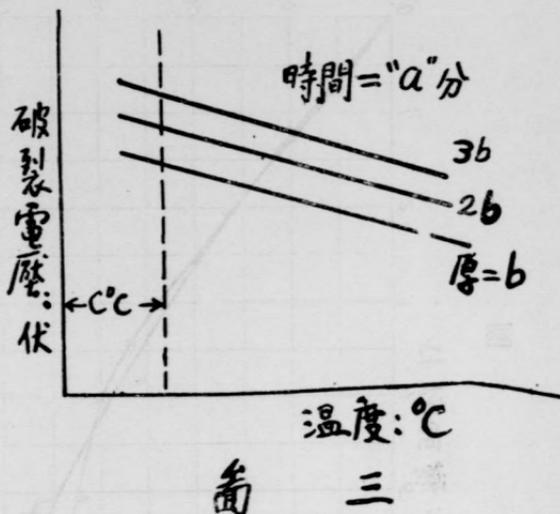
試驗薄層絕緣質之破裂電壓，置絕緣質於兩電極間，定出其時間與破裂電壓之關係曲綫，約自0.5分鐘起至較長時間之影響於破裂電壓頗微而止。時間電壓曲綫在不同溫度之形式，如圖二所示。圖三表示溫度電壓曲綫在不同絕緣質厚之形式。薄層絕緣質之強度，以一分時間之破裂電壓降度表明之，即所謂“1 minute value”也。

### 四. 本試驗之標的及步驟

本章所述絕緣試驗之目的，為測定桐油生漆及各種植物油之絕緣強度。試驗進行，可分二步。第一步為校準五萬伏高壓試驗變壓器之電壓指量，

該變壓器為上海益中機器公司製造（見本期周琦君：五萬伏高壓試驗變壓器之構造及應用）。高壓方面之電壓用伏計圈（Voltmeter Coil）接至伏計測出，伏計指量以

Westinghouse 攝波器（4-element power osiso）照出高壓邊電流波形，計算高壓電壓較準之（參觀一卷四期 John H. H. Tsui: Oscillographic Records for High Voltage Measurement）；更用一針隙安放在已知隙距，得出其標準正弦波形



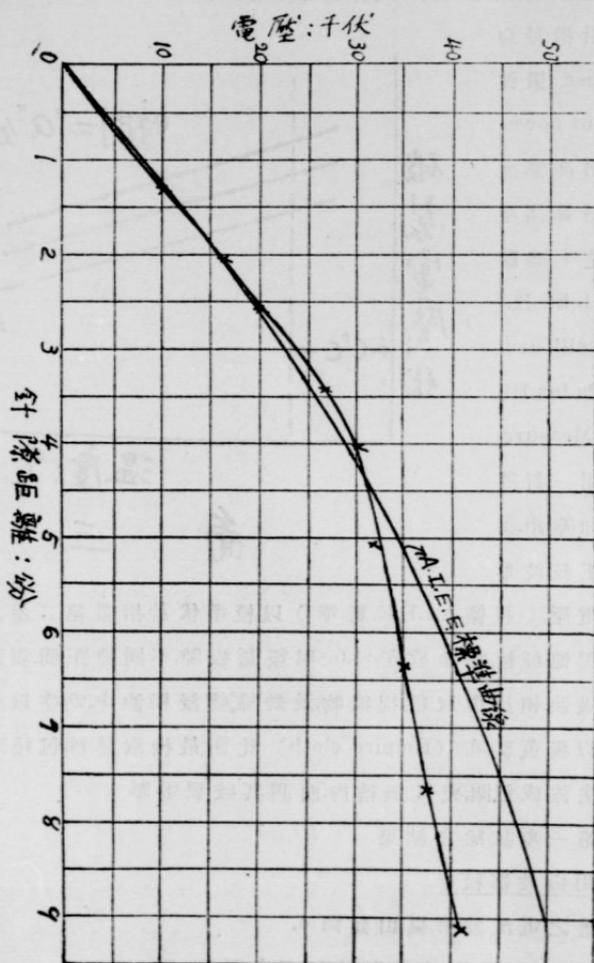
火花穿越電壓，（根據 A.I.E.E. 標準）以校準伏計指量。第二步為試驗絕緣強度，桐油與他種植物油放在 1.0 吋徑圓板隙，不同隙距間，測出其破裂電壓，以與絕緣油相比；復取紙，棉織物，及絲織物浸桐油中，或塗以生漆，測定其破裂電壓，以與黃漆布（Empire cloth）比衡；最後取雙紗包綫圈，以上述各種絕緣質塗漆或包圍，夾置鐵槽內，而測其破裂電壓。

#### 五. 第一步試驗之結果

##### (A) 用攝波器校準

高壓邊之電流波形攝出如圖 4。

由此波形可校準伏計之指量如下表所示



圖

四

電 壓 由伏計圈讀得	電 流 波 之 大 小	取 波 後 之 水 阻			電壓由攝波器量	
		(有效值)	(安)	(歐)	最高值	有效值
38.2 (祿)	4.1 (瓩)	149.8 <sup>伏</sup>	$80 \times 10^{-6} \epsilon$	$18.7 \times 10^5 \Omega$	53.2 祿	37.6 祿
43.2 ”	4.8 ”			”	62.2 ”	44.0 ”
27.2 ”	2.9 ”			”	37.6 ”	26.6 ”

附註：攝波器所攝電流之比例尺為每安 3.6 瓩。

電流比為 1:40

(B) 用針隙校準

茲將結果列表如下

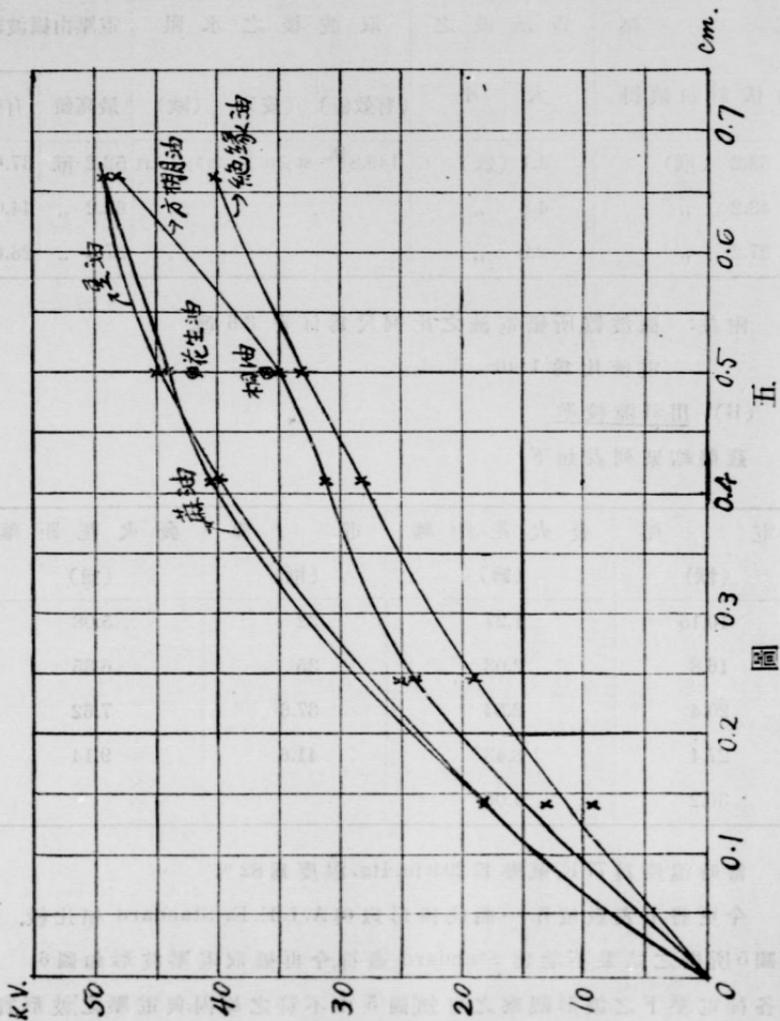
電 壓 (祿)	發 火 花 距 離 (磅)	電 壓 (祿)	發 火 花 距 離 (磅)
10.15	1.27	32	5.08
16.8	2.03	35	6.35
20.4	2.54	37.6	7.62
27.4	3.43	41.6	9.14
30.2	4.06		

當時溫度為 77°F, 氣壓為 29.9 in. Hg. 濕度為 82%

今更將上表數值作一曲綫圖形以與 A. I. E. E. Standard 相比較。

但圖 5 所得之結果不能與 Standard 盡符, 今再攝取電壓波形如圖 6

就各種電壓下之波形觀察之, 可知圖 5 中不符之原因, 與電壓之波形實有關係也。



一 萬伏 波形

$$e = 12.93 \sin(\alpha + 10^\circ 50') - 2.4 \sin(3\alpha + 130^\circ) - 0.15 \sin(5\alpha + 153^\circ)$$

$$E \text{ (有效值)} = 9.3 \text{ 瓩}$$

$$E_m \text{ (最高值)} = 13.3 \text{ ,,}$$

$$\sqrt{2} \times E = 13.15 \text{ ,,}$$

二 萬伏 波形

$$e = 14.2 \sin(\alpha + 10^\circ 15') - 2.33 \sin(3\alpha + 127^\circ 45') - 0.24 \sin(5\alpha + 141^\circ 40')$$

$$E = 10.17 \text{ 瓩}$$

$$E_m = 14.0 \text{ ,,}$$

$$\sqrt{2} \times E = 14.39 \text{ ,,}$$

四 萬伏 波形

$$e = 12.82 \sin(\alpha + 14^\circ) - 2.8 \sin(3\alpha + 124^\circ 30') - 0.14 \sin(5\alpha + 150^\circ 15')$$

$$E = 9.28 \text{ 瓩}$$

$$E_m = 14.0 \text{ ,,}$$

$$\sqrt{2} \times E = 13.13 \text{ ,,}$$

六 第二步試驗之結果

(A) 油類之試驗

類 別	距離 (吋)				
	0.14	0.245	0.41	0.5	0.66
豆油	18	25	40	45	48.8
麻油	18	25	40.6	44	49
茶油				40-46	
花生油				42	
洪江桐油				36	
變壓器油	13	24	31	35.2	48
油鑰用絕緣油	9	19	28	33	40

表中茶油、桐油及花生油因覆試結果未能符合僅載其距離為 0.5 吋 (0.2 吋) 時之一點以資比較茲更作曲線如圖 7。

(B) 塗浸物品之試驗

類 別	瞬間破裂電壓(伏)	一分鐘破裂電壓(伏)	原厚(吋)	製過厚(吋)
白桐油麻紗	2	1.75	0.11	0.17
白桐油紡綢	3	2.75	0.16	0.18
白桐油小紡	2	1.75	—	0.12
洪江麻紗	2.1	1.95	0.11	0.17
洪江紡綢	5	3.9	0.2	0.22
漆布	2.4	2	0.11	0.22
漆牛皮紙	2.4	2	0.1	0.14
白桐牛皮紙	2	1.75	0.1	0.12
洪江牛皮紙	2.1	1.85	0.1	0.12
黃漆布	5.5	4.8	—	0.25

(C) 二十號雙紗銅綫圈之試驗

包 圍 物	破裂電壓 (伏)
黃漆布一層	3.9
黃漆布二層	6.6
黃漆布一層漆牛皮紙一層	4.1
黃漆布一層彈性紙一層	5
黃漆布一層桐油紙一層	5.4
白桐油紡綢一層	2.2
白桐油紡綢一層彈性紙一層	2.2

洪江紡綢一層彈性紙一層	3.3
洪江紡綢一層	3.3
白桐油小紡一層	1.9
白桐油小紡二層	3.2
白桐小紡一層彈性紙一層	2
白桐油布二層	2.8
白桐油布一層彈性紙一層	2.6
洪江桐油布一層	2
洪江桐油布二層	3.75
洪江桐油布一層彈性紙一層	2.85
桐油紙一層彈性紙一層	2.9
桐油牛皮紙一層	1.9
漆牛皮紙一層彈性紙一層	2.3
漆洋紗一層彈性紙一層	2.9
漆塗綫圈再用彈性紙一層	—
洪江桐油塗綫圈再用彈性紙一層	2.4
白桐油塗綫圈再用彈性紙一層	2.5

附註：彈性紙 (fish paper) 厚 0.32 釐

### 七. 結論

從高壓方面電流波形算出電壓，校正五萬伏變壓器伏計圈電壓指量，結果尚稱符合，但針隙穿越電壓，與從伏計圈所得電壓相較，則在三萬伏以下之數量，頗為相符，三萬伏以上，則相差漸遠，其不能相符之原因，則電壓波形之非正弦，亦為一端，惟用針隙測定電壓，本難準確，A. I. E. E. 並不介紹採用此法，故伏計圈電壓指量，當較可靠。

油類試樣之擇取及準備，對於破裂電壓，關係甚大，本試驗所取樣油，皆

經加熱，惟因設備所限，未經濾清手續，故所得結果，有未能覆試符合者，均闕而不載，但據所列結果，可見麻油與荳油之絕緣強度甚高，且勝桐油所試變壓器油之強度，較低於標準數量，恐樣油不清之故，油鑰用絕緣油之強度，並不見高。

桐油浸紙布，綢等之絕緣強度，雖不及黃漆布之高，然其油膜之厚，亦不若黃漆布。本試驗所得破裂電壓，為短速的及一分時的兩項，至於改變溫度濕度，週率等與破裂電壓之關係，亦因設備之限制，今皆從闕。生漆塗紙布之絕緣強度，尚不若桐油浸者為佳。

桐油浸線圈，放置槽內，亦具絕緣強度，較普通絕緣油漆為勝，惟不易乾燥耳。生漆塗線圈較桐油浸亦遜，用桐油浸紙包綫圈外表，較彈性紙絕緣更佳。蓋彈性紙祇富機械的力量，而絕緣之功用甚弱。

以絕緣之性質論之，桐油實備具許多優點，雖乾燥尚嫌太緩，但可用乾燥劑助之。至於本篇所述，限於絕緣之強度，而未及其他物理的及化學的性質，其通感性質若通感常數及通感耗損 (Dielectric loss) 等，亦未涉及也。

Osiso Record For High Voltage Transformer  
H.T. Side Voltage Wave Form (100 kV)



Osiso Record For High Voltage Transformer  
H.T. Side Voltage Wave Form (100 kV)

→ 20 kV 70 kV



Osiso Record For High Voltage Transformer  
H.T. Side Voltage Wave Form (40 kV)



Osiso Record For High Voltage Transformer  
Current Thru H<sub>2</sub>O Resistance (At 272 kV)



Osiso Record For High Voltage Transformer  
Current Thru H<sub>2</sub>O Resistance (At 38.2 kV)



Wires needed for High Voltage Transformer  
H.T. side Voltage = Wave Form (approximate)

→ 20KV → 10KV

Osiso Record for High Voltage Transformer  
H.T. side Voltage Wave Form (approx.)

Osiso Record for High Voltage Transformer  
Current Thru H<sub>2</sub>O Resistance (At 27.2 KV)

Osiso Record for High Voltage Transformer  
Current Thru H<sub>2</sub>O Resistance (At 38.2 KV)

Osiso Record for High Voltage Transformer  
Current Thru H<sub>2</sub>O Resistance (At 43.2 KV)

## 乾電製造與試驗的研究

孔 祥 鵝

摘要 本文討論乾電池構造,種類,及試驗規定,並報告實業部中央工業試驗所半年來製造的成績,現該所製造乾電,連續試驗的時間可達三百五十分鐘。

### (一)這篇論文的動機

在上月廿九號,首都各報從實業部方面採登一段新聞,說是中央工業試驗所新近『發明』一種乾電,可以連續燃用三百五十分鐘,比外國永備乾電還要好,這一來,惹動了許多朋友,要問我所研究的乾電,到底是怎麼一個結果。

却好中國工程學會今年是在南京開年會,因此我到不妨順便做個報告。

製造乾電,是很容易的一件事,所以上海有兩三個學社,教授生徒,能在兩小時內教完,並且『保證成功』,同時乾電製造,在電氣,化學工程中,又沒有獨成一科的資格,所以這個研究是無足輕重的問題,而且我們所做的乾電,也不是報紙上所說的『發明』,因為我們所做的乾電雖是比國貨略為好些,然而缺點尚多,還待繼續研究的,我可以把研究的過程報告一下,還希望各位指教。

### (二)乾電的構造及種類

乾電的構造,普通分做二種:一種是用吃水紙吸收電解液的,叫做『紙板乾電』;一種是用澱粉和電解液配成漿糊的,叫做『漿糊乾電』。用鋅皮做成鋅筒,代表陰極,在鋅筒裏面套幾層能夠吸收液體的厚紙,用炭素棒代表陽極,放在筒的中心,再把二養化錫粉和黑鉛粉,配合均勻填入鋅筒,用心

子把抽壓得堅實。再把錄化鋅和錄化亞歷尼亞的活液，注入鋅筒，使他浸濕。最後炭素棒上裝一只銅帽，用火漆或其他封口物封使嚴密，便是一只『紙板乾電』。

假如用澱粉代替吃水紙，構造雖差不多，但製造方法，大有不同。做漿糊乾電時，要先把錳粉和鉛粉，普通叫做『填料』，放入模樣裏，壓成圓柱體，普通叫做『填料柱』。另把錄化鋅和錄化亞的溶液，配合妥當，加入澱粉少許，拌攪成糊，注入鋅筒與填料柱之間。再行封口，便成一只『漿糊乾電』。

乾電的種類可分七種如左：

1. 普通用第六號乾電類。
2. 電話用第六號乾電類。
3. 拼合第六號乾電類。
4. 手燈乾電類。
5. 無線電A種第六號乾電類。
6. 無線電B種電池類。
7. 無線電C種電池類。

實地來講，前三項可以歸拼作一類，算是第六號乾電類。後三項歸拼一類，叫做無線電用乾電類。中間手電筒用的乾電，獨算一類。前後共分作三類，也可以的。

### (三)試驗乾電的規定

乾電試驗的規定，通常分作七類如左：

1. 電路啓斷電壓。
2. 電路關合電壓。
3. 連續使用之有效期間。
4. 間歇使用之有效期間。
5. 放置壽命試驗。

6. 內阻力。
7. 分極及抗極作用。
8. 震動及受熱的影響。
9. 化學試驗。

美國政府為檢驗乾電商品起見，曾經訂出一種標規，照他的規定，乾電試驗，約分兩種。一種叫電壓試驗，就是每只壓電，最低的電壓，有一個規定的數目。比如電鈴電話等所用的第六號乾電，最低要有一、五伏的電壓。

第二種是電量試驗，就是要看一只乾電能夠使用多久或放置多久，細分起來，約如左列：

#### 電量試驗

##### (甲)間歇試驗

1. 輕便間歇試驗。
2. 過量間歇試驗。
3. 手燈乾電間歇試驗。
4. 無線電 A 種電池過量使用試驗。
5. 無線電 B 種電池輕便使用試驗。
6. 無線電 B 種電池五千歐電阻之間歇試驗。
7. 無線電 B 種電池一千二百五十歐電阻之間歇試驗。

##### (乙)連續放電試驗

1. 無線電 B 種電池五千歐電阻之連續試驗。
2. 第六號乾電十歐電阻之連續試驗。
3. 手燈乾電四歐電阻之連續試驗。

##### (丙)放置試驗

##### (丁)無線電 C 種電池試驗。

上述種種試驗的手續，都有詳細的規定，這裏限於時間及篇幅，不能一一說明，單把手燈乾電四歐之連續試驗，敘述如下：

『手燈乾電應使每節乾電通過四歐的電路，連續放電。下列測驗，應行記錄：

最初電路開啓時之電壓。

最初電路關合時之電壓。

嗣後電路關合電壓，應於每半小時測驗一次，俟其電壓跌至〇、八〇以下時，應改為每十五分鐘測驗一次。直至每節乾電的電壓跌至〇、七五以下時，即稱試驗完竣。其結果應按照實際放電之分鐘總數報告之。』

普通頭號手燈乾電，高二又四分之一吋，直徑一又四分之一吋，其連續放電試驗，應在三百三十分鐘以上。其放置試驗的需要，則在三個月以後，應能連燃三百分鐘，六個月以後，應為二百七十分，九個月以後應為二百五十分。

現在我們做的手燈乾電，普通可以連燃三百五十分鐘，實已超過規定數，算是及格的了。

#### (四)我們試驗乾電的過程

最初我們不曉得怎樣製造乾電。從來中央工業試驗所，設立一個電氣試驗室之後，覺得輕而易舉的試驗，只有乾電一種，自經決定之後，便派我到上海調查乾電廠狀況，便道採購乾電材料，以供試驗。上海乾電廠也曾參觀了幾處，大半是做『紙板電』的，幾個乾電學社，也曾去過，但他們是『認錢不認人』的，我因為要參攷他們的方法，所以自備的交了『學費』，算把他們『祕方』學得來了，順便把乾電材料我買了些，回到試驗所試造。起初電液糊做不成功，造出乾電不能發光，一連做了六七天，纔漸漸發些紅光，並不是上海那幾個學社騙人，實是因為乾電製造，不但是要懂得原理，曉得用什麼材料，也須要熟練的手藝，纔能奏効。

##### (1)初步試驗

自從本年三月起，至六月底止，我們平均每兩日做一個試驗，共做六十個試驗，前二十個試驗，完全是填料比例試驗，因為乾電是由錳粉和黑鉛粉

混合成的，我們要求出怎麼樣的混合比例，最爲適用。後四十個試驗是電解液（簡稱電液）試驗，因爲電液是選用氯化鋅，氯化鋁，明礬及紅礬等，溶解於水，以作電液的，我們要求出一個適當的配合。

那時候我們訂購的儀器，還沒有運到，所以電壓電流等數值，無法測量。我們不得不採用一個權宜辦法，我們製出的乾電，只能放在手電筒裏連續燃用，直至燈光變紅時爲止。後來因爲手電筒拆裝不便，又特別做成一個試驗器，鑲一只小電泡上去，以便試驗。按二、五伏的小燈泡，其內阻約爲八歐有奇，和規定的電路也差不多。

起初我們做的乾電，僅能勉強發光，漸漸能燃六十分鐘，後來能延長至二百分以上，最好的結果是第五十一次試驗，共燃用四小時又四十五分。那次配製的方法，填料是用錳粉五份，黑鉛粉三份，電液是拾五度紅礬液中，加氯化鋁至飽和，再加氯化鋅至波氏三十二度。

從六十次試驗的經驗，我們可以得到下邊幾個結果：

第一，錳粉與鉛粉配合比例，以兩者體積相同時所得之結果爲最好。

第二，電液的密度以在波美氏二十七度至三十二度之間爲較適用。

## (2) 化學分析

永備牌手燈乾電，在我國銷售極廣，因爲牠可以「經久耐用」，所以我們決定把永備乾電做番研究。

我們先商得試驗所化學處張主任澤堯的同意，由侯技術員國昌，張技術員國維，及張技術員恩賜等，各担任一部份工作，由王技正箴負責指導，所得結果如左：

(甲) 依定性分析得知永備乾電的填料柱體，含有下列物品：

1. 二氧化錳(多)
2. 黑鉛(多)
3. 氯化亞砷尼亞(多)
4. 氯化鋅(少)

5. 砂土 ( 鉀, 鈉, 鋁, 鈣 ) ( 少 )
6. 鹽酸不溶解物 ( 少 )
7. 氯化鐵 ( 微量 )
8. 二氯化錫 ( 微量 )
9. 硫酸鎂 ( 微量 )
10. 磷酸鎂 ( 微量 )
11. 有機物 ( 微量 )

(乙) 依定量分析得知永備乾電的填料柱體的成分比例如下:

二氧化錳平均佔百分之四六、七四。

黑鉛平均佔百分之三〇、二二。

水分佔百分之一一、二二。

水溶解物佔百分之九、八九。

灰分佔百分之一、九三。

水分及水溶解物多半是由電液糊浸入填料柱體裏的。實際上, 錳粉與黑鉛的配合比例, 係錳粉佔百分之六〇、七五, 鉛粉佔百分之三九、二五; 約為六與四之比。

(丙) 電液糊之分析, 共做兩種: 一為永備乾電, 一為美國明星乾電。

A 永備乾電的電液糊, 含有下列物品:

1. 澱粉 ( 多 )
2. 錳化亞 ( 多 )
3. 錳化鋅 ( 少 )
4. 硫酸鎂 ( 微量 )
5. 錳化鉀, 鈉, 鈣等 ( 均各微量 )
6. 有機物 ( 微量 )
7. 還原劑 ( 微量 )

B 明星乾電的電液糊分析如下:

1. 澱粉 (多)
2. 錄化亞 (最多)
3. 錄化鋅 (多)
4. 錄化鈣 (少)
5. 錄化鈉及鉀 (各微量)
6. 有機物 (微量)
7. 還原劑 (微量)

經過這番分析,我們認定填料比例,約為澱粉六份,鉛粉四份;電液糊係由錄化亞,錄化鋅及澱粉等配成。其他微量物品,或係不純粹關係,不一定是特別加進去的。

### (3) 填料研究

我們六十次以前的試驗,錳粉和鉛粉,各只有一種原料,都是由日本來的。後來我們向廣東廣西江西樂平及湖南湘潭及其他產地,搜集了各種不同的原料,分別試驗,又把各地的錳粉照預定的比例,特別攪和,又把各地的鉛粉,亦特別攪和起來,最後得到混合錳粉四種,名叫元亨利貞,混合鉛粉亦四種,各叫天地玄黃,用這八種人工攪和的原料,共作十六個配合,所得結果,竟有出乎我們意料之外的,茲列表如下:

號別	項別	錳粉	鉛粉	電壓 (伏)	燃時間 (分)
1		天	天	1.53	215
2		元	地	1.53	195
3		元	玄	1.566	250
4		元	黃	1.57	135
5		亨	天	1.58	225
6		亨	地	1.59	195
7		亨	玄	1.60	190
8		亨	黃	1.60	195
9		利	天	1.65	275
10		利	地	1.65	325
11		利	玄	1.593	26
12		利	黃	1.64	320
13		貞	天	1.66	60
14		貞	地	1.676	300

15	貞	玄	1.676	265
16	貞	黃	1.663	315
備 考			每三均。 種節如 量，上 取平數	第因路甚極 十試電故少 三驗流燃。 種每滿時

由上表可知第十種配合，連燃三百二十五分鐘，在這十六種之中，連燃時間最長。事實上，突破我們的試驗記錄；因為我們從前所造的乾電，普通都在二百五十分左右從沒有超過三百分鐘的。這次第十種配合，不單是超過三百分鐘，而且和三百三十分的規定連續外間，相差只五分鐘。因此我們決定根據這種配合，再繼續研究。

#### (4) 精密試驗

上述那種試驗，是第七十一次。這時候試驗儀器，早已運到，我們也做了一種設備，所以自六十一次起，可以按照美國乾電標格的規定，試驗每只乾電的連燃時間了。

填充柱的體積，當然和燃用時間有關係，所以在七十三次試驗，我們按照永備乾電填充柱體的尺碼，極用心的做出十二節乾電。這次連燃時間竟達三百五十五分，較規定時間，還多二十五分鐘。這時候，我們幾個做試驗的人們越發有興趣了。

平常我們配製乾電，是由王君頌容負責，連燃試驗，是由張君文豹擔任，時常請蔣君軼凡分別合作，王君配製乾電，已極其熟練的。前項那個突破規定的試驗，或係偶然之事，換人去配製，就許不能達到規定的。因此我便請他們，每人獨自配製兩節，以觀其差別。結果：

王君製兩節：一燃三百五十五分，一燃三百三十分。

張君製兩節：一燃二百九十五分，一燃三百六十五分。

蔣君製兩節：一燃二百八十分；一燃三百七十五分。

據上述結果，可知連燃三百七十五分的乾電，也可以造到，王君製兩節，連燃時間雖不太多，但二節相差只二十餘分。比較上，王君製的兩節，較為均

勻。於此可知倘用手工製造乾電，手術熟練與否，和出品是否均勻，很有關係。

我們每次試驗，都有一份紀錄。自六十一次以後，紀錄更加詳細了。如附表所示，可見關於電液的配合，要記載所用材料的名稱，溶解於水的密度溫度，以及各項溶液配用的多少。填料欄裏，要記載牠的各稱，質量，及配用多少。

等乾電做成之後，我們先量牠的電壓，好和規定應有的電壓相比較。然後按照試驗手燈乾電的手續，做一次連續試驗。因為二、五伏的手電燈泡約有八、三歐的阻力，如以兩節電相連接，則每節電適分得四、一五歐的阻力，與試驗規定應通過一副四歐的電路相差只有〇、一五。

每次試驗完畢之後，要畫一個連續放電特性曲線，以資比較。如果乾電做得多，短路電流，也要測驗的，乾電內阻，不是直接量出，是依照下邊的公式計算的。

$$\text{乾電內阻} = \left[ \frac{\text{開啓電壓} - \text{關合電壓}}{\text{關合電壓}} \right] \text{電路阻力。}$$

#### (五)各種乾電的比較

我們既是研究乾電，自應把各種都比較一下，現在先比較國貨乾電。

國內乾電廠，不下四五十家，所出乾電，也有四五十種，這裏祇就我們買得到的，或要得到的，作個比較。下表是國貨乾電的比較。

牌 號	製法	電 壓 (伏)	連燃時間 (分)	製 造 廠	備 考
黑 貓	漿糊	一、五二	二一〇	上海亞民電池廠	係送部試驗之製品
永 豐	紙板	一、五九	二一五	南京化奇電池廠	係新製出者
五 三	漿糊	一、五六	一七〇	上海中國蓄電池廠	係由亞氏廠送部以資比較者
大無畏	漿糊	一、四五	一六〇	上海匯明電池廠	全 上
金 龍	漿糊	一、五八	一、六五	上海振華電器廠	由該廠南京分莊送來
逸 仙	紙板	一、五四	一三五	南京中山電池廠	由電料行購來
寶 光	紙板	一、五〇	一一〇	上海振華電池公司	全 上
常 用	漿糊	一、五五	三五〇	中央工業試驗所試製品	

由上表可見我們試製的常用牌乾電,平均可連續燃用三百五十分鐘,比較國貨乾電略為長些,現在再和外國貨比較一下。

牌 號	製法	電 壓 (伏)	連燃時間 (分)	製 造 廠	備 考
永 備	漿糊	一、五四	二八〇	美國永備電池廠	在我區極為盛銷
保 久	漿糊	一、五四	二九〇	美國保久電池廠	Burgess
常 用	漿糊	一 五五	三五〇	中央工柔試驗所	試驗室製品

照上邊的比較看來,我們在試驗室製的乾電,要算是最好了,但是祇是片面的觀察,因為乾電試驗共分三種,如同前面一節所講,連續試驗,間歇試驗和放置試驗,現在祇就連續試驗的結果,互相比較,不能算是完全對的,因為紙板乾電在剛剛造出的時候,去試驗牠,結果大半都很好,不過一經放置兩三個月,內部起了分極作用,內阻增大,電壓低降,有效壽命,因之減少,所以我們試造的乾電,要等再過九個月以後,纔能夠斷定牠的放置壽命。

#### (六)今後我們試驗的方針

我們造的乾電,尚有許多缺點,第一,原料不能完全自給,要仰給於外國。第二,乾電封口物,永備廠是用柏油,我們用火漆,仿用柏油的試驗,還沒有做完。第三,外國製造乾電,儘量採用機器,我們幾乎完全是用手工。第四,因為封口不好,或鋅筒有縫隙,我們造的乾電,間或因受潮濕,電液有溢出的毛病,所以我們以後的試驗,就是要設法彌補這幾種缺點。

手燈乾電試驗記錄

乾電牌名 \_\_\_\_\_ 直徑 \_\_\_\_\_ 高 \_\_\_\_\_  
 製造日期 \_\_\_\_\_ 試驗日期 \_\_\_\_\_  
 製造廠名及所在地 \_\_\_\_\_

電液配合	材料名稱	液體密度	溫度	配用量	配合後之測驗			
	清水				密度			
	明礬				溫度			
	錳化鋅				室內溫度			
填料配合	材料名稱	質	量	配	用	量	電液糊之配合	
	錳粉						電液	
	鉛粉						澱粉	
電壓試驗	與最低應有之電壓					較	伏	

電量試驗

(乙) 連續試驗

說明 此項試驗應按每節乾電通過一副四歐電阻之電路連續放電直至其關合電路時之電壓跌至〇、七五伏以下時即稱試驗完竣應行之記錄如下：

- (1) 最初電路開啓時之電壓 \_\_\_\_\_ 伏
- (2) 最初電路關合時之電壓 \_\_\_\_\_ 伏
- (3) 每半小時測驗一次之電路關合電壓 \_\_\_\_\_

測驗時間	電 壓	測驗時刻	電 壓	測驗時刻	電 壓

(4) 電壓跌至0.80伏以下時每十五分鐘測驗一次：

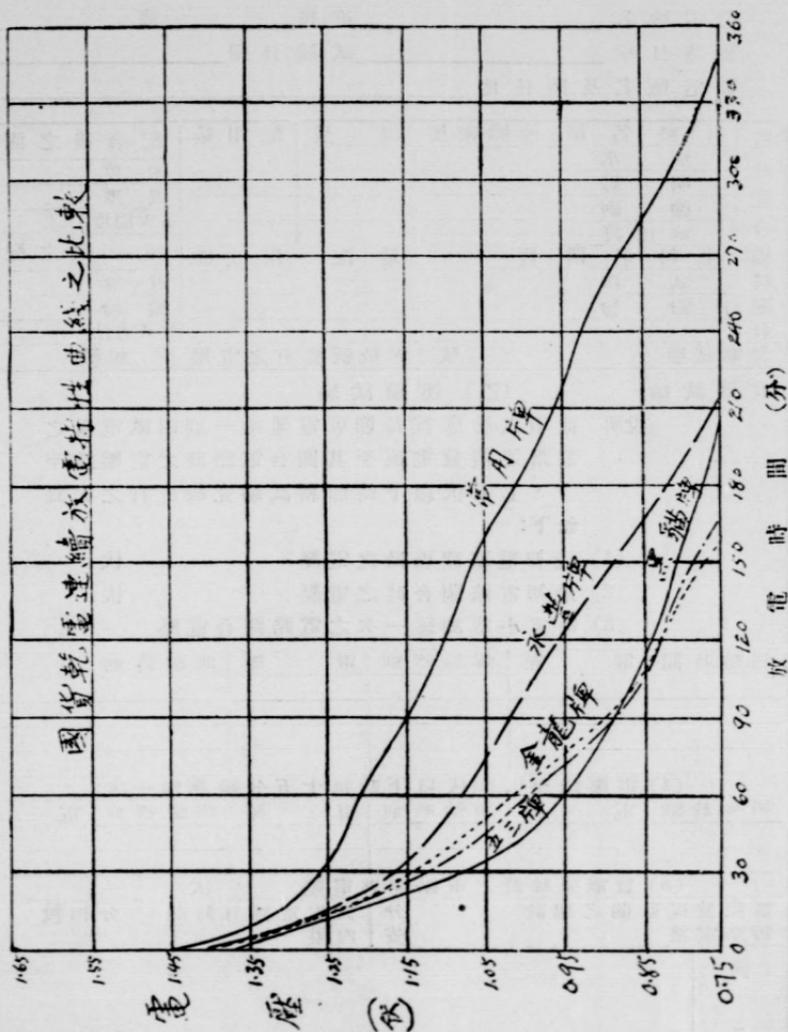
測驗時刻	電 壓	測驗時刻	電 壓	測驗時刻	電 壓

(d) 放電完竣時之電路開啓電壓 \_\_\_\_\_ 伏

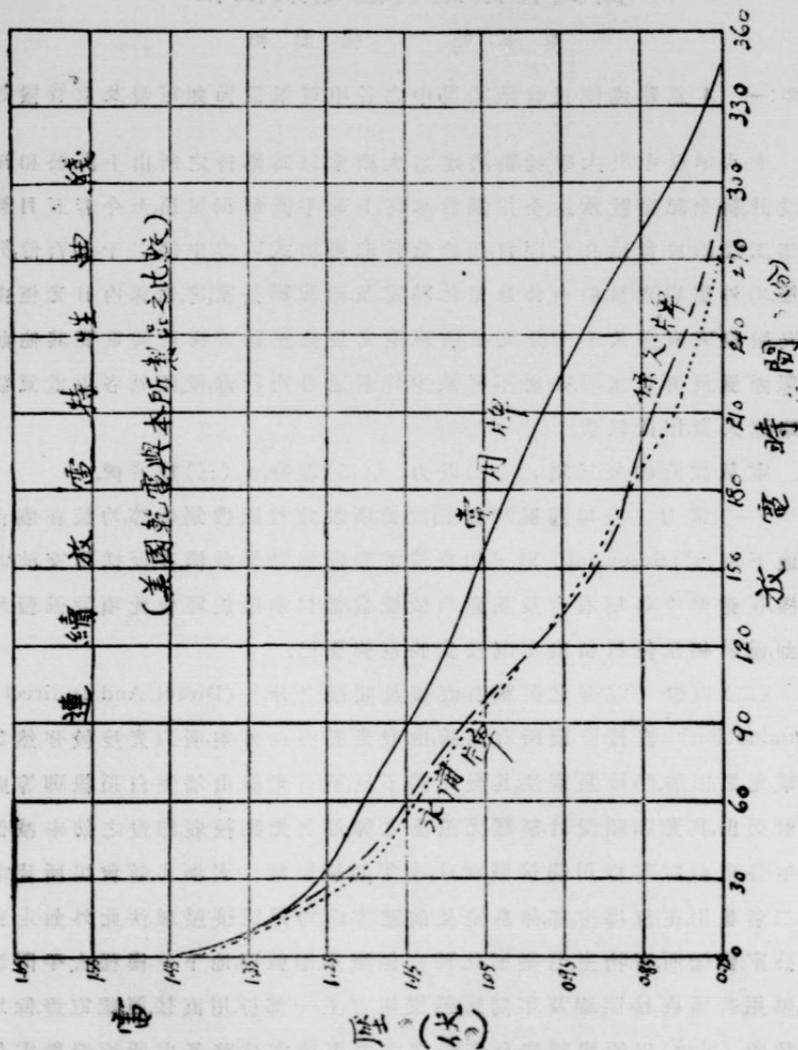
實際放電時間之總計	分	與規定應有時間	分	較	分
短路電路	安	內阻			歐

備  
考

年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 試驗員 \_\_\_\_\_



美國乾電與本所製之比較圖



## 國民會議議場之電氣設備

單 基 乾      楊 簡 初

摘要：一 本篇略述國民會議議場中之各項電氣設備如電燈及放音機等。

十八年秋中央大學始動議建造大禮堂，以爲集會之所。由上海公和洋行設計，新金記康號承造。全用鋼骨水泥，上蓋半圓形銅屋頂，至今春五月初大部工竣。國民會議在此開會，該禮堂採取劇場式，可容坐位二千七百餘，分三層，場外環以走廊，併有休息室，化粧室，及兩翼辦公室等。惟場內日光僅由中央屋頂天窗透入，不十分充足，所以電光設備，無論晝夜，均甚重要。其他如暖氣通風及傳音諸項，亦屬不可缺少。作者乏專門計錄，僅能就各項電氣設備，略述大概，作此報告。

電氣設備約分三項。（一）電力，（二）電燈，（三）放音機。

（一）電力 全場通風及暖氣設備，所須之打風機鍋爐等，均裝在劇台旁地下室內（Basement）用三相交流電動機，拖動影戲機，亦擬採用交流電動機。在禮堂內，各層看台及正廳均裝風扇，惟目前限於經費，此項設備，暫付缺如，僅於相當位置留出空洞及安裝電線而已。

（二）電燈 電燈之照耀有直接及間接之分，（Direct And Indirect Illumination）直接照耀所有光線，由發光體直向外射，所以光度較強，然每多耀光黑影等。間接照耀法，其發光體不見，所有光線由牆壁白頂線腳等處折射而出，其光和順悅目，無耀光黑影之弊。惟其光亮較弱，即燈之效率減低。近年各處戲院等採用間接照耀法，或半間接照耀法者漸多。該會場所裝電燈，二者並用，在會場內部，休息室及前廳等處，均用間接照耀法。此外如走廊，辦公室，盥洗所，寄物室，音樂室，化粧室，儲藏室，影戲間，地下室，樓梯，太平門等處，俱用普通直接照耀及半間接照耀法。台上一部份，用直接照耀電燈，餘均裝插頭（plug）以便視劇情及佈景之需要更換之。茲將各處所須燈數電量及位置等，列表如下：

## (A) 會場全部均用間接照耀法。

位 置	燈 數	每只電量	附 註
天窗內燈	8	300 瓦	在花玻璃天窗之上,玻璃頂內用洋磁罩,使其光線向下射。
大頂下線腳內燈	300	40 瓦	Strip lights 沿牆一圈
三層看台口	150	40 瓦	Strip lights 沿三層看台口一圈
二層平頂線腳內	200	40 瓦	Strip lights 沿牆一圈在三層看台下
二層看台口	150	40 瓦	Strip lights 沿看台口一圈
頭層平頂線腳內	200	40 瓦	Strip lights 沿牆一圈在二層觀台下
台前	100	40 瓦	Strip lights 台幕外上左右三面線腳內

## (B) 劇台燈,俱用插頭。

位 置	插頭只數	每只電量	附 註
台邊燈	6	200 瓦	為幻光燈 (Spot light) 及台口邊燈之用
台頂燈	6	200 瓦	為第一,第二,第三,第四,第五等排彩燈用
台面插頭	5	200 瓦	為佈景燈彩用
台口腳燈	6	200 瓦	可分紅綠白三色用

## (C) 化粧間燈

6 盞 100 瓦燈每間一盞

- |                  |             |
|------------------|-------------|
| (D) 盥洗室燈         | 6 盞 60 瓦燈   |
| (E) 台頂及台左右儲藏室    | 4 盞 60 瓦燈   |
| (F) 台前奏樂所        | 6 盞 60 瓦插頭  |
| (G) 鍋爐及儲藏間(即地下屋) | 8 盞 60 瓦燈   |
| (H) 走廊           |             |
| 第一層樓             | 11 盞 100 瓦燈 |
| 第二層樓             | 11 盞 100 瓦燈 |
| 第三層樓             | 11 盞 100 瓦燈 |
| (I) 太平門燈         |             |
| 第一層              | 10 盞 60 瓦燈  |
| 第二層              | 5 盞 60 瓦燈   |
| 第三層              | 4 盞 60 瓦燈   |
| (J) 休息室          |             |

二層樓休息室 用 130 盞 40 瓦 Strip lights 裝在屋內平頂四週  
(間接照耀法) 并有 150 瓦電扇二盞。

三層樓休息室 用三盞 100 瓦燈, 六個插頭, 并有 150 瓦電扇二盞。

- (K) 前廳(Entrance Foyer) 用 130 盞 40 瓦 Strip lights 裝在平頂四週  
(間接照耀法) 并有 150 瓦電扇二盞。

- (L) 樓梯上下用六盞 100 瓦燈

- (M) 盥洗室(門口前廳旁) 用四盞 100 瓦燈每間二盞。

- (N) 影戲間用一盞 100 瓦燈。

- (O) 大門燈用四盞鐵柱燈, 每盞 300 或 400 瓦, 此外尚有 1000 瓦插頭一盞以備門口燈彩之用。

上項裝置均用鋼皮管暗綫頭號皮線, (Rust Proof Wire And Cable)  
其綫路由校內發電所達大禮堂, 總分電板(見附圖一)再由此通至各路。  
(見附圖二)該項電板裝在台之右側, 以便視劇情及佈景之需要, 控制全

場電燈電扇此外尚有一部低電燈電扇另有各電鈴在影戲間內（見附圖三），電板上用兩刀電鈴及分路保險絲將各路分開，可隨意啓閉，並留出地位，爲將來裝 dimmer Switch 之用。

首都電廠所供給之電流，爲 380 伏 Y 接法，而校內發電機所發之電，爲 220 伏 Y 接法，雙方電壓不同，惟欲保證電力供給不致中斷，及電費減省計，最好雙方併用（自機發電，每頓時價較賤）所以自發電所至禮堂，總電板用三相六綫，在發電所另加一電板，用三只單相兩面兩刀電鈴，一面接至首都電廠之三相四綫 380 伏，一面接至校內機之三相三綫 220 伏，如此雙方電流可以隨意應用，至於電力則全用電廠來之 380 伏三相電。

場內各處所用之 Strip light 俱係 220 伏 40 瓦長燈泡（即普通商店櫥窗內所用者〔〕）連接裝在木條之上，然後再放入線腳內用釘釘牢，線腳內外部份，及附近牆壁平頂，均刷白色，使其光線易於反射向外，其他各處電燈，均用普通燈泡，燈罩視各室需要而定。

全會場電燈需電 71.12 瓩尚有兩翼辦公室及電扇電動機等，用電不在其內，僅就場內間接照耀之燈，計需電 46.4 瓩，倘全用直接或半間接照耀法，用電當可減省不少，加以長燈泡價值較昂，且易損壞，所以電費及損失兩項，均較直接照耀者爲巨，然其光度之和順悅目遠勝他種。

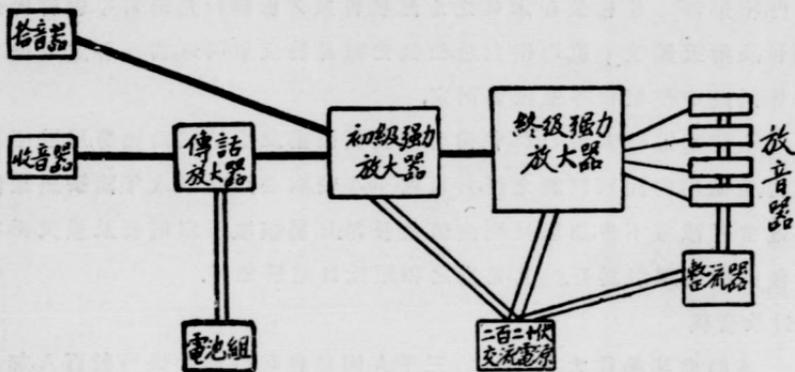
### （三）收音機

該禮堂建築偉大，全場可容三千人，國民會議時參加議員數百人，加以旁聽者共數千人，人數既多，面積又廣，坐於偏僻處者，對於發言者之聲音，每不能聆悉清楚，當時主其事者，決定裝置擴音機，用西門子 30 瓦者，凡會議議程中之准許廣播者，則經此機放大後再用有綫電話傳達至中央黨部廣播無線電台，廣播全國，會期凡十日，幾無日不用之，中央廣播無線電台派人管理，并隨時借用收音器及各種另件賴此，該機得以維持，繼續使用，此機構造不甚複雜，線路內容亦屬普通者，惟其線路圖曾向西門子洋行屢次函索，迄未寄來，目下此機尙未經過正式接收手續，故作者未便將此機拆卸，加以研

究，僅就觀察所得其線路組織大概如以下數圖，內中與原機不同處在所不免，倘得原圖寄到，再行更正，在本刊發表，作者草此文時，參考材料，既不易得，簡括之處，是所難免，以下所述者，實無甚價值，僅可作一簡單之報告而已。

該機係集合西門子所造各種收音器而成，其主要部份可分為下列五部，其全機佈置可參閱第四圖。

- (A) 收音器 (Band Microphone)
- (B) 傳話放大器 (Microphone Input Amplifier)
- (C) 初級強力放大器 (2.5 Watt Mains Power Stage)
- (D) 終級強力放大器 (30 Watt Mains Power Stage)
- (E) 收音器 (Dynamic Speakers and Rectifiers)



第 四 圖

(A) 收音器

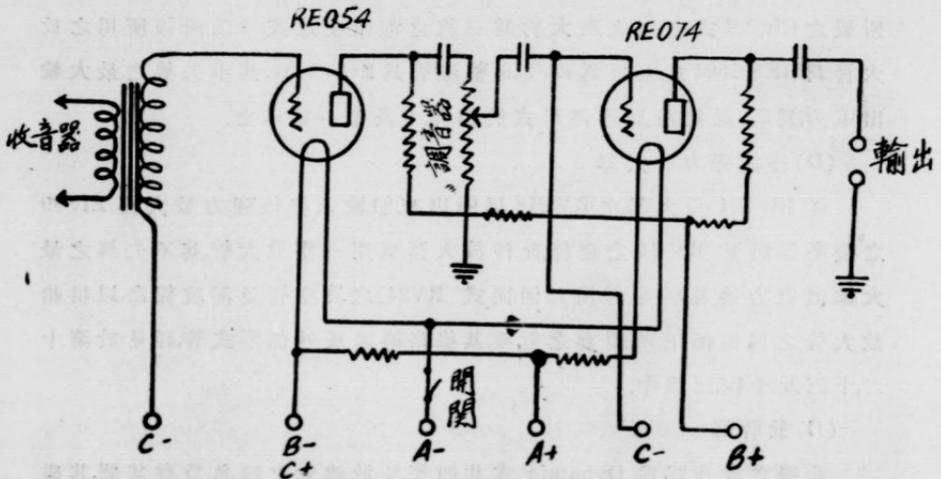
本機所用者為鉛條傳話器 (Aluminum Band Microphone) 電力雖微，而所傳之音尚覺準確清晰，其外部形式可閱第五圖。



第五圖

(B) 傳話放大器

鉛條傳話器所輸電力甚微,不能直接連於初級強力放大器,必經過傳話放大器擴大後,然後再接連於初級強力放大器,此傳話放大器為西門子式(Elv34)內部線路大為電阻交連式,擴大級數凡二,此器之真空管為西門子式RE054及RE074另有一電池組供給此器之電力,其線路略圖及其外部



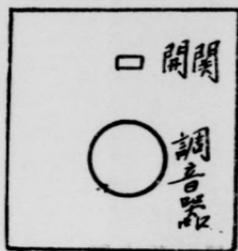
傳話放大器線路略圖

第六圖

形式可參閱第六、七及八圖。



第 七 圖



第 八 圖

#### (C) 初級強力放大器

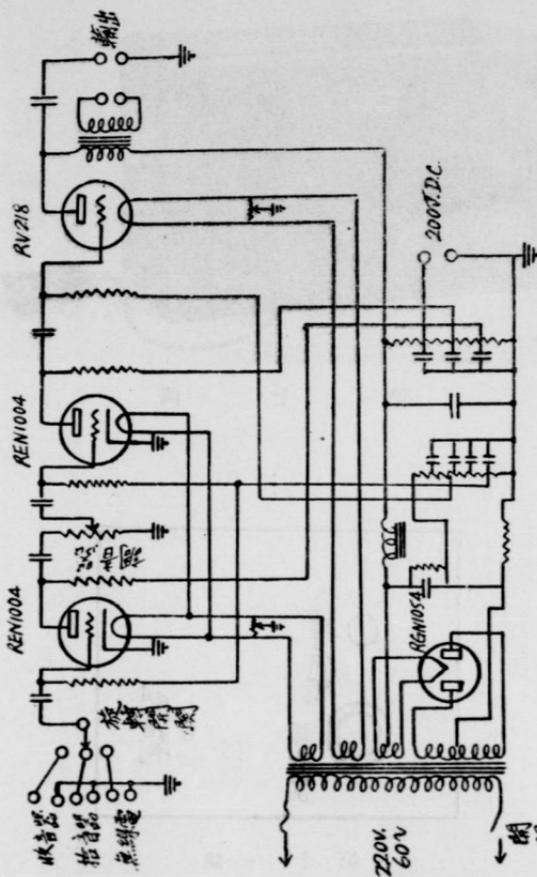
音波經過傳話放大器擴大後，再接於初級強力放大器，此器為西門子所製之 Elv 821 式，內部線路大約為三級之電阻交連式，一二兩級所用之放大管為 REN 1004 式，末級為 RV 218。整流管為 RGN 1054，其不失真之最大輸出電力，為 2.5 瓦。線路及外部形式於第九、十及十一圖示之。

#### (D) 終級強力放大器

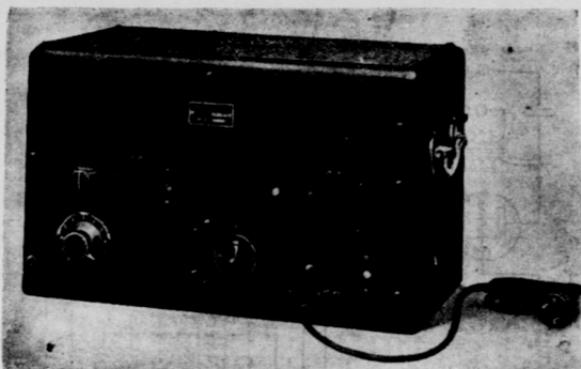
從 Elv 821 放大器之 RV 218 屏極出來，即輸入終級強力放大器 Elv 89 之變壓器，而至 RV 24 之柵極。此種放大器，祇用一隻放大管，其不失真之最大輸出電力將及 30 瓦，再用二個同式 RV 24 之真空管及漏玻璃路，以供給放大管之屏柵極上所須要之電壓，其線路略圖及外部形式等，詳見於第十二、十三及十四、三圖中。

#### (E) 收音器

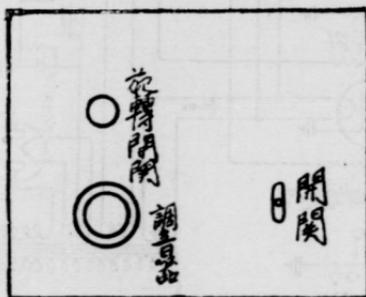
此機之收音器為 Dynamic 式共四隻，裝於禮堂之四角，放聲甚強，其磁場重力則以另一整流器供給之，此整流器之線路圖大約如第十五圖示之。



初級強力放大器線路器圖



第 十 圖

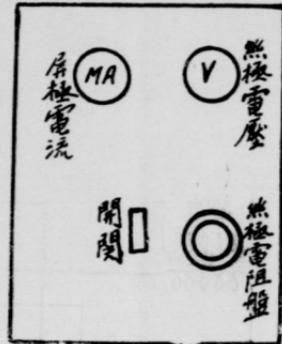


第 十 一 圖

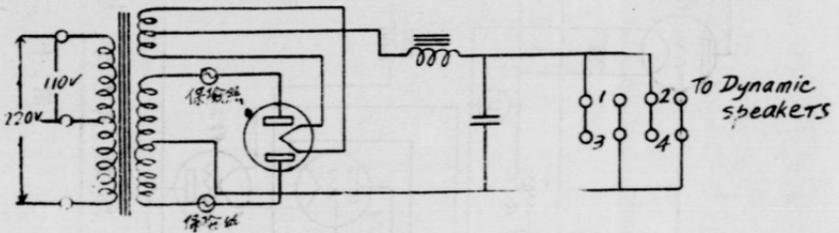




第 十 三 圖



第 十 四 圖



第 十 五 圖

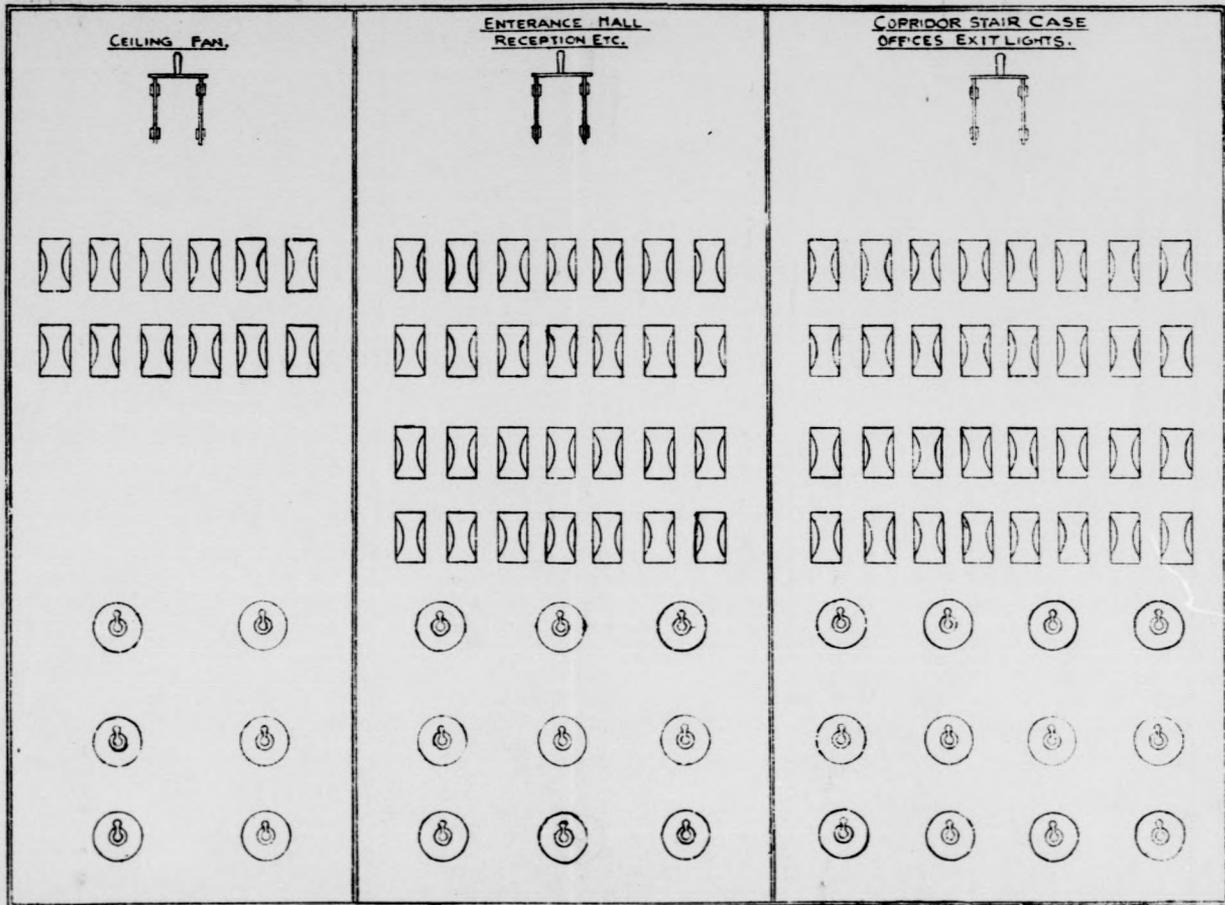


第 十 六 圖





# PROJECTION ROOM SUB MAIN DISTRIBUTION BOARD



第 三 圖

## 電力行船

陳煜麟

摘要：— 本篇報告電力行船之優點及各種電力行船之原動機及高壓蒸汽粉煤等之適合于電力行船之用。

近數年來，海運輸船，多崇用電力，據英國路易特氏航業學會 1930年年报 (Lloyds Register Annual Report)，謂歐戰初發生時，全世界用電力之輪船僅約二十五萬噸，而目前 (1930年末) 已有八百萬噸以上，誠為此十六年中航運變遷中之最顯著者。誠然，吾人若一細審電力輪船之利益，自知其所以能蒸蒸日上者，良有以也。

所謂電輪船者，即輪船之用電動機以轉運其鼓進器者也。電動機之電力，發自船上原動室，故電力行船者即在船上之動力自原動至鼓進器 (Propeller) 間插入電力之傳送而已。其詳細銷碎組織，茲從略。茲編僅以最近之效果論輪船用電力傳送之利益。

吾人欲比較輪船之利弊，須注意經濟及安全兩大要素。經濟方面須注重資本、經常費用及折舊費等；安全方面須注重輪船之振動及反向之難易徐疾等，茲略言之。

為減輕燃料之載重及佔位起見，輪船上常好用油以為燃料。但油之價值遠貴以煤，而同時尤須多用滑油，經常支出殊大。最新式之提士機 (船用) 在足負載時之用油消耗量為每軸馬力小時 (Shaft horse power hour) 0.35 磅至 0.44 磅，滑油在外。若用蒸汽渦輪者，用煤約 0.65 磅至 0.8 磅。以上所述之原動機，在用電力傳送之船上方得稱用。尤以汽輪機，其速度之高，必藉電力傳送至直以低速之鼓進器，方能得到最經濟之效果。

在用提士機之電輪船上，其重心可以位置較低，故電力提士輪較直接提士轉動者為優 (電動機位置可以自如)。

在用汽渦輪之電力船上，其鍋爐可以圍繞汽渦輪，而電動機乃裝於船

尾，以減少高壓汽管之佔位。八百尺長之船其高壓汽管可自 530 尺減至 200 尺，而熱漲灣節等均得省去。機件之佔位既省，同時即多增一部分之營業地位也。

振動為行船之一大弊害，而免除之法常用重底板 (Bed plates) 以鎮之。在齒輪渦輪 (Geared turbine) 船上，渦輪機與鼓進軸間常須 30 噸重之齒輪。但渦輪發電機 (Turbo-generator) 既為渦輪機與發電機密切之聯合者，其間可免去排列之困難，而振動之害，可以減少。同時尤可免去移向 (Deflection)，旋振 (Torsional Oscillation)，及抵抗風潮之危險。且使鼓進器可在任何速度行駛，不受原動牽制，減速比率可至極大，即 30 : 1 亦常易得。

新式航用渦輪機均用齒輪減速。齒輪之效率約為 97%，而軸間消耗約自 2% 至 5%。設後者為 3%，則傳送總效率為 94%。觀電船 California 號之傳送效率為 94.3%，極相近似，且為永久不變者，不如齒輪傳送效率之隨其年齡而減，可知電船之利益矣。況齒輪渦輪機之反向 (Astern)，頗為不易，應備越道管 (Cross over piping) 等，均極易引入漏汽等損失，尚有齒輪之折舊甚大，而所需之滑油，亦頗不資，同時其轉動部分之大動量便反向多費時間。凡此，用電力者均得免去者也。

用渦輪發電機者，可用一座大號渦輪機以代二座之小者，而同時可使其常在最佳速度轉動，以增高效率。28% 至 29% 之熱能效率常可得到。主動機可永遠以一定方向轉動，當反向時可僅在電動機上行之。發電機及電動機之效率既易測知，則指示馬力 (I. H. P.) 及軸馬力 (S. H. P.) 均易求得，電力助動機之應用，可無需另置設備，此皆電力行船之所長也。

電船原動之選擇，須視其所需能力之大小而定。低速及小容量之船，如江運貨船等，直流電力較為合宜，因其速度調節較敏故也。較大輪船當以交流者為宜，因高壓電力可使每馬力之機重減低。在直流電力制中可將電機相串聯以得高壓電力，則 500 伏之設備中，即可得 1000 伏者。甚易用分激勵磁機，以為各電動機之勵磁者，則可將此發電機之磁場阻力更變，以為速度

之調節。若求反向便利，則可用雙柄循環式變阻器以調節勵磁機之磁場阻力。Brunswick 油船為用提士電力制者，其調節方法均用各種電力中繼 (relay) 以為之。

若用交流電力，則可分為三類，即用變極感應電動機者，用同步電動機者，及用同步感應電動機者。

用感應電動機者，速度之變更可以磁極之變更及原動速度之改變行之。為開動時開動轉力之需，常須加一籠式線圈，此圈可以改善開動時之工率因數。(Power factor)，此類之船有 180,000 軸馬力之戰船 Lexington 及 Saratoga，其中各有十六座 Babcock 及 Wilcox 超等 (Express) 鍋爐，供給四座 40,000 瓩安可變速度的渦輪機。船有四鼓進軸，以八座 22,500 馬力感應電動機轉動之。其發電情形為 5000 伏三相，用昇壓機 (Booster) 以節制磁場中斷時對於鼓進方面之關係。

同步感應電動機作感應電動機開動後，將直流電通至轉子而使之同步，然後此機乃依同步電動機轉動。速度更變全在原動方面，而高壓配電設備，可以省去。反向時可以電動機及發電機之勵磁調節行之。最新兩大商船 California 及 Victory of India 皆為是式。California 號為 32,000 噸，有兩座 5250 瓩，3150 伏，三相發電機。3110 轉/分其電動機為 8500 馬力；109 轉/分。當開動時及反向時渦輪發電機可以五分之一速度轉動。用一座發電機單開時，速度為  $16\frac{1}{2}$  哩 (海里 Knot)，用兩座並聯時，速度為 19 哩。

以蒸汽引擎之廢汽使之轉動低壓渦輪發電機，而以所發電力轉動一與軸相接之電動機，可使其經濟情形大加增進，例如香港號之成績，竟省得蒸汽消耗 23% 之鉅！

縱上所述，可知高壓蒸汽、粉煤及電力傳變等均已成為目前航務工程之重要問題，以此三者合併，可使燃料日愈節省，佔位日愈減少，而航海安全同形穩固。此皆航海工程師與電機工程師過去之成績及未來之努力可以致之耳。

## 介紹一個模範公營電氣事業

恽 震 吳承宗

**摘要** 本篇報告北美加拿大安泰利奧省公營電氣事業，其組織、歷史、管理方法及業務上之發展，洵足為吾國公營電氣事業之借鏡。

各國電氣事業，類皆起源於少數人之單獨經營，各設一廠，各限一區，供電既難普遍，發電亦不經濟。近二十年來，各國多採用發電集中、輸電集中以及管理集中之制度，廣建大規模之水力及熱力發電廠，敷設長途高壓輸電綫，以資各廠之互相聯絡，而成電氣網，成本低廉，工農各業，城市鄉村，均享其利。加拿大安泰利奧省 (Ontario) 之公營水力發電事業，其著者也。

安泰利奧省屬加拿大，工商繁盛，農田肥沃，林礦各產，亦均富有，足供工業之需。惟煤礦極少，電氣事業，備受障礙。彼都人士，渴望電氣建設之發展，對尼格拉河 (Niagava River) 等處水力之利用，相率提倡，不遺餘力。加以報紙之宣傳，專家之報告，遂於一九一〇年請得省政府之正式批准，而有安泰利奧省水力發電委員會 (The Hydro-electric Power Commission of Ontario) 之組織。會中委員凡三人，由省政府就民衆中之資望素孚、熱心公益者委派充任。論其權責，則依據公營事業原則，以商業化、科學化之精神，主持業務。省政府特予保障，不使受政治上之影響，而得作久遠之圖。至該會對於訂購電力之各城市，無論工程財政，均盡心監督指導，以期民間之實受其惠。

委員會管理業務之方法要點如下：(1)發電權及輸電權屬於該會，各市區內之配電權，則屬於該市縣內之公用局。(2)發電及輸電之資本，該會正式向省政府商借，同時與各用電市縣政府訂立合同，規定該項本息，由該市縣政府於四十年內，在電費內分任清償。(3)各市區之配電設備費用，由各該市府發行市公債，規定二十年內或三十年內，即以電費收入分期償還本利。(4)該會發售電流與市區，其電費依據發電及輸電之成本計算，按月估收，每屆年終則照確實費用而增減之。(5)各市區收取用戶電費，按照該會所定價格，

以補償該會輸電發電及各該市區配電之兩種費用為準。(6)該會對於市縣公用局售給自來水廠電車以及公共路燈之電流成本，每歲清算一次，如有浮收，則發還之。

委員會成立之始，一方面與十三市區訂立售電合同，一方面向尼格拉河附近之民營電氣公司，購買十萬匹馬力之電量，以資供給。至一九一五年，市區之訂用電量者，多至一百三十處。一九二〇年增至兩百六十三處。一九二八年竟達至五百五十處。其中屬城市者，三百二十五處，屬鄉鎮者，二百二十五處。以負荷言，最初僅一千匹馬力，現已增至一百萬有奇。該會且正繼續擴充，俾達一百四十萬匹馬力之總機量，以應需要焉。

委員會為輸電經濟聯絡便利起見，分營業範圍為八區。第一區採用二十五週波，餘均六十週波。總計水力發電廠，二十有二所。新建者有之，購自民營而加以擴充者亦有之。其間奎士頓 (Queenston) 一所最大，有五十五萬匹馬力總機量，水頭高至二百九十四呎，建設費約值七千六百萬金元。八區之首要輸電綫路，共長三千八百英里。其為二十二萬伏高壓者，二百三十英里。又為鋼桿所支架之十一萬伏綫者，約六百英里。其中自尼格拉至韋特沙一段之長距離綫路，計二百五十英里。至於首要電綫路之用於農村者，共長三千一百五十英里。其他各市縣公用局所建者，不勝枚舉。

城市之售電價格，計分三種：(一)家庭燈價，每度平均美金一分九釐至七分。(二)商業燈價，每度平均美金二分九釐至八分。(三)電力價，每匹馬力平均年費美金二十五元至四十元。其每種最低價之度數或匹數，約佔該種售電總量百分之七十八至百分之九十。近年每度之最低價格，有減至九釐者。至電費計算之標準有四：(一)電源之遠近。(二)發電廠情況之異同。(三)需電區域之廣狹，及其用戶之稀密。(四)需電之多寡及其用途。總計營業區域之內，每戶平均用電在六百度左右者，共有一百二十市區。在一千度左右者，五十市區。在一千五百度左右者，二十三市區。在二千度左右者，九市區。據報告所得，每戶平均月費美金一元，足敷燈扇爐灶及其他

洗掃用電之需，可謂至廉。

農村方面，雖因增加桿綫設備之負擔，致電價略較城市為高，然亦非為過甚。其電費係將農舍電燈電具及農作所用電力混合，而分基本與流動二部份計算。凡農村用戶於電燈電具之外並有電力至三匹馬力者，每月基本部份電費美金三元六角五分至四元五角五分，其用電力至五匹馬力者，每月三元八角至四元七角五分，其用電力至十匹馬力者，每月五元九角至七元三角五分，而於電化進步之農村，基本部份電費，有按九折至八折收取者，至流動部份電費，則於基本部份電費之外，按照實用度數收取，其價目每度美金二分至五分不等，而以每度二分為最普通。

以言資產，該委員會初僅美金三百六十萬元。迨至一九二七年，關於電力及其他等等，委員會及各市區共有美金二八六，一六四，七四五·一八元。其一年之總收入為美金三四，〇五六，七〇七·八八元。以用戶電費為最多數。至於歲出項下，屬於各市區者，則為配電費用，屬於委員會者，則為（一）自辦電廠之修理維持費，及一切業務費，佔該會歲出總額百分之二十四，（二）資本利息佔百分之五十，（三）添換機器準備金，佔百分之六，（四）意外費用準備金，佔百分之七，（五）還本基金佔百分之十（六）購自民營公司之電費，佔百分之三，準是以觀，將來債務清償，歲出驟少，用戶負擔，自更可減輕也。

總上所述，其營業範圍之廣闊，資產之雄厚，工程之浩大，管理之嚴密，經費之週轉，機量之充足，收入之豐富，無不令人咋舌。該會負責人員，計委員三，秘書一，總工程師一。資本來源，全出諸債券，乃成績竟能若此，殊堪驚異。吾人細考其成功原因，約有六事：（1）全省民衆咸有需用電流之願望，（2）民衆中之有才能者，不惜犧牲，負責承辦，（3）工程專家主持，不受政治影響，（4）經濟方面，民衆樂予贊助，（5）業務實況，時時披露，民衆增信仰，（6）委員會與各市區分工合作。其他如辦事人員，努力從公，不圖私利，猶其餘事。又該委員會除經營全省電氣事業外，安泰利與省政府于一九一二年授該委員會以監督指導全

省民營電廠之權。如安全規則，機器裝置規則等，均由該會訂定執行。該會設有試驗部，檢察各項電料。其不及格者不准在省境內販賣。加拿大各省辦理監督指導民營電業之成績，以安泰利奧省為最，是亦可注意也。

利用尼加拉瀑布之發電廠一覽表

加拿大方面	美國紐約省方面
1. <u>奎士頓</u> 電站 <u>安泰利奧</u> 省水力發電委員會 水頭高 305 呎 豎式機 10 具 總量：562,000 馬力	1. <u>蕭各夫</u> (Schoellkopf) 電站 <u>尼格拉瀑</u> 電力公司 水頭高 210-213.5 呎 豎式及橫式機共 19 具 總量：452,500 馬力
2. <u>安泰利奧</u> 電站 <u>安泰利奧</u> 電力公司 水頭高 180 呎 橫式機 15 具 總量：205,350 馬力	2. <u>蘭金</u> (Rankine) 電站 <u>尼格拉瀑</u> 電力公司 水頭高 135 呎 豎式機 11 具 總量：121,000 馬力
3. <u>托倫他</u> (Toronto) 電站 <u>托倫他</u> 電力公司 水頭高 135 呎 豎式機 11 具 總量：152,000 馬力	3. <u>Edward Dean Adams</u> 電站 <u>尼格拉瀑</u> 電力公司 水頭高 135 呎 豎式機 21 具 總量：105,000 馬力

附註：1910年美加雙方議定發電用水總量每秒鐘祇 56,000 立方呎  
 六廠發力總量為 1,605,850 匹馬力  
 倘有水量每秒鐘為 40,000 立方呎可用而不妨礙天然風景  
 故尚可增加馬力約 1,400,000 匹

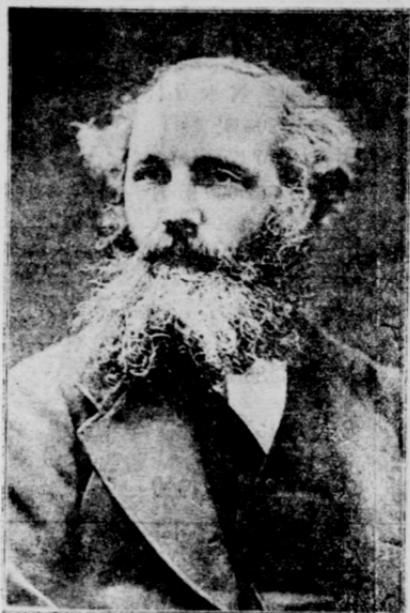
## 傳 記

## 麥司威(J.C. Maxwell)小傳

顧毓琇

曩遊英倫，既訪法拉台 (Faraday) 故居及誦海佛仙 (Heaviside) 遺書，乃赴劍橋追尋“電界之聖”麥司威之故跡。至卡文迪希 (Cavendish) 實驗館，果見圖書室內陳列麥氏遺物，徘徊而不忍去。室中一老者立而觀書，岸然道貌，高冠而杖，稍頃離去，蓋卽劍橋接傳麥氏衣鉢而創電子論之湯姆生 (J.J. Thomson) 氏也。

今年適逢麥氏百歲之期，世界學者將於十月一日在劍橋集會，舉行慶祝盛典，以紀念其偉大之貢獻，忝在末學，敬略記其一生大事，聊誌欽仰之忱云耳。



麥 司 威

1831年6月13日——麥司威 (James Clerk Maxwell) 誕生於蘇格蘭之愛丁堡城，較電學實驗始祖卡文迪希 (1731-1810) 逾後百年生；麥氏生時，卡氏已棄養二十年餘，而其可貴之研究結果，仍多為世界之秘密。

“ ”年8月29日——麥氏生後二月有半，法拉台 (1791-1867) 始發現

‘感應生電’與二十年前奧司特(Oersted)及安培(Ampere)所發現之‘感應生磁’同為電磁學之兩大柱石而有待於麥氏之天才以創建空前之電磁論。

1841年——十歲入愛丁堡中學(Academy)。英文考第一，詩及算學均得獎。

1845年——十四歲時，對於科學即作第一次之貢獻，在愛丁堡皇家學會發表關於橢圓曲線之論文，為其師福勃司(J.D. Forbes)教授所贊賞。

1846年——十五歲始研究化學，磁學及光學。當時同學有推脫(P.G. Tait)，常相切磋。推氏後與蓋爾文(Lord Kelvin)共同講學及著作，‘自然哲學’等書。

1847年——十六歲入愛丁堡大學，從漢密爾頓(Sir William Hamilton)讀邏輯。漢氏為大算學家，創Quaternions之新算術，後海佛仙大肆攻擊，主張改用‘矢算法’(Vector Analysis)，漢氏之法至今不傳。是時麥氏又研究算學，力學，光學及熱學。

1850年10月——十九歲改赴劍橋大學。先入彼得好(Peterhouse)學院，後轉入三一學院(Trinity College)。

1854年——二十三歲劍橋算學會試，洛思(Routh)冠軍，麥氏居亞軍。

„ „年10月——得三一學院特約研究員(Fellow)之榮譽。

1855年——二十四歲升講師，授液體靜力學及光學。此時始研究法拉台之‘力線’觀念。

1856年——二十五歲應馬力夏(Marischal)學院教授之聘。

1858年——二十七歲結婚，娶馬力夏學院院長之女。

1860年——二十九歲改赴倫敦，就國王學院(King's College)物理教授之職。是時法拉台年已七十，過從甚相得。

1864年——三十三歲，發表論文‘電磁場之動力論’。

1865年——三十四歲因病辭職，回其故鄉阿菩提 (Aberdeen)，離愛丁堡約一日之遙。於此養病期間，麥氏始從事於其不朽傑作‘電與磁’ (Electricity and Magnetism)。是時海底電線，經十五年之經營，已頗成功，更增電學之興趣。

1866年——三十五歲回劍橋，任算學考試主試官 (Moderator in the Mathematical Tripos)。

1871年3月8日——四十歲，被聘為劍橋大學實驗物理教授，較牛頓講學劍橋 (1669) 約後二百年，遙相輝映，科學界之奇蹟也。是項實驗物理教授之職，為杜望省侯爵 (Duke of Devonshire) 所捐贈，同時捐建物理實驗館，由麥氏悉心計劃，即現今世界聞名之卡文迪希實驗館也。

„ „ 年——著作‘熱論’ (Theory of Heat)。

1873年——四十二歲，‘電與磁’著完出版，分上下兩冊，序文二月一日作。序中推崇法拉台之實驗，為麥氏研究電學之出發點，又感謝蓋爾文之論文，為麥氏最得益之參考，是書付印前，蓋爾文及推脫均有不少建議，可見麥氏與二氏均常過往與討論也。

1876年——四十五歲，‘物與動’ (Matter and Motion) 著完出版，是年美國培耳 (Bell) 發明電話。

1878年——四十七歲，在劍橋末次演講時，告聽衆注意電話為人類知識無窮之一象徵。

1879年11月——四十八歲卒，距愛迪生 (Edison) 發明電燈 (10月21日) 僅後十餘日，麥氏中年謝世，較之牛頓壽至八十五，實多遺憾也。

1881年——歿後二年，麥氏所著‘初步電學’ (Elementary Treatise on Electricity) 由加納脫 (Garnett) 教授續完出版。

1885年——歿後六年，其私淑大弟子海佛仙起始在電氣雜誌 (The Electrician) 上發表‘電磁感應及傳送’之長篇論文，1887後，論文中斷

發表，海氏改編‘電磁論’凡三集，第一集1893年出版，較‘電與磁’出版期適後二十年。

1887年——歿後八年，德物理學家赫志(Hertz)用實驗證明電磁波。同時英國洛着爵士(Sir Oliver Lodge)亦得同樣結果，為電磁論實驗上最重要之證明。

1890年——歿後十一年，尼文(W. D. Niven)編訂麥氏‘科學論文集’由劍橋大學出版。

1891年——歿後十二年，湯姆生重訂‘電與磁’三版至今傳誦不絕。

麥氏高僅中人，體強健，眼深色，鬚髮俱黑。為人誠懇，有耐心，尤能貫注精神於事物之研究，此蓋得力於其父之遺傳。麥氏好文學，能詩，1857年為大西洋電報公司撰一詩，每節之首行為‘Under The Sea’（‘在海底’）二疊句，但麥氏簡寫2(U)，而以(U)代表全句，可見寫詩亦科學化。又當簽已名作 $\frac{dp}{dt}$ ，人不知何解，蓋

$$\frac{dp}{dt} = JCM \quad (\text{熱學第二定律})^1$$

而JCM則麥氏姓名之第一字也。

麥氏學術上之貢獻，不待介紹，其成功固由其天才及努力，但從歷史眼光而言，則實驗上受卡文迪希及法拉台之遺產，而算學上得漢密爾頓及蓋爾文之傳授。哈佛大學勃立支曼教授(Prof Bridgman)謂麥氏實集法拉台實驗技能蓋爾文算學天才之大成，洵名言也。

當代大哲學家懷悌黑教授(Prof Whitehead)嘗謂余曰：“麥司威之電磁方程式為界世最美麗之譜樂，”懿歎盛哉！

1. 按熱學中

J= 焦爾相等值 (Joule's Equivalent)

C= 卡諾函數 (Carnot's Function)

M= 固定溫度下增加每單位容量所需之熱量

# 直流電機原理

A. S. Langsdorf 原著

顧毓琇博士校譯

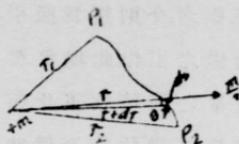
浙江大學工學院電機科

民二十級初譯

民國二十年八月

極與另一極  $m$  相距  $r$  吋時之位能;或即磁極  $m$  於  $r$  吋距離之位。

在磁場內,將一單位磁極自一點移至另一點,其所需之工作,可計算之如下:



第 十 八 圖

設第 18 圖中,  $P_1$  為單位磁極之始點,  $P_2$  為其終點,二點間之途徑,為一任意曲綫,則在曲綫上之任一點,略與  $m$  相距  $r$  吋,其力必為  $\frac{m}{r^2}$ 。此力之方向與  $ds$  所成之角度為  $\theta$ , 故經過  $ds$  距離所做之工作為

$$dU = \frac{m}{r^2} ds \cos \theta = \frac{m}{r^2} dr$$

故自  $P_1$  至  $P_2$  所需之總工作必為

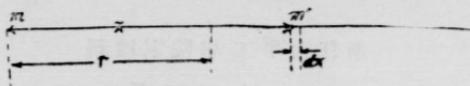
$$U_{1-2} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{m}{r^2} dr = \frac{m}{r_1} - \frac{m}{r_2} \quad (27)$$

但  $\frac{m}{r_1}$  為  $P_1$  之位能,  $\frac{m}{r_2}$  為  $P_2$  之位能。故將一單位磁極自一點移至另一點,其間所需之工作,即二點間之位能差,至其所經之途徑若何,實無關係。

若將磁極自低磁位移至高磁位,則所做之工作,當係

17. 磁位 (Magnetic Potential) —— 設第17圖為磁強  $m$  與  $m'$  單位之二磁極, 相距  $x$  吋, 則兩極間之拒力  $\frac{m m'}{x^2}$  達, 設  $m'$  磁極, 在此力之影響下移動  $dx$  距離, 則所做之工作當為

$$dU = \frac{m m'}{x^2} dx \text{ 爾}$$



第 十 七 圖

將二極自  $r$  吋分開至無窮遠時, 其間所需之工作總量為

$$U = \int_r^{\infty} \frac{m m'}{x^2} dx = \frac{m m'}{r} \text{ 爾} \quad (26)$$

因此中所做之工作, 並非外加力所致, 則  $\frac{m m'}{r}$  所代表之工作, 常係取自磁極之本身, 故此工作即為二極間之儲藏能或位能 (Potential Energy). 亦即代表將一磁極自無窮遠移至與另一極相距  $r$  吋所需之工作, 因上式亦可寫作

$$U = \int_{\infty}^r \frac{m m'}{x^2} (-dx) = \frac{m m'}{r}$$

而結果與前相同, 若  $m' = 1$ , 則  $U = \frac{m}{r}$ , 為一單位磁

外力加入後，方可使磁極移動，而此工作即為增加磁位能之用。若二極可自由移動，且具有上述之位能，此潛藏之能力必將漸次消失，而用於彼此分離之距力中。

以上所叙，若  $+m$  以  $-m$  代之，則磁力與磁位各式之符號俱相反。前之推拒者，今則變為吸引，對於磁極所做之工作，轉而為磁極所做之工作，此現象與二物體間之吸力同，其相吸之力與重量之乘積成正比，而與距離之平方成反比。彼此相吸之磁極，其磁位能乃係將一磁極移至與離另一極無窮遠時所需之工作，彼此相吸之物體，亦復如是，其地性位能 (Gravitational potential energy) 係將一物體移至離另一物體無窮遠時所需之工作。換言之，即前者所做之工作，乃在磁場內將磁極移動；後者在地球上將物體移動。

由前式觀之，一點上之磁位其值與方向無關，故磁位為一數量 (Scalar quantity)，而非如場強、力等之為矢量 (Vector quantity) 但磁位與場強間之關係，甚為有趣，可叙之如下：

一點與一磁極相距  $r$  處，其磁強為  $m$ ，則此點之磁位為

$$U = -\frac{m}{r}$$

將  $U$  對  $r$  取微分，則得

$$\frac{dU}{dr} = -\frac{m}{r^2}$$

但  $\frac{m}{r^2}$  乃由磁極  $m$  在此點所生之場強  $H$ , 故

$$H = - \frac{dU}{dr} \quad (28)$$

通常如  $U$  為一點之磁極, 而以此點坐標之函數表之, 則此函數之第一次微分, 無論其對於任何方向  $\rho$ , 即等於沿方向  $\rho$  變一符號之場強分力; 此即

$$H_{\rho} = - \frac{\delta U}{\delta \rho} \quad (29)$$

18 等位綫與等位面——磁場內磁位相等之各點之軌跡, 謂之等位面, 在一面上之直綫或曲綫, 若由連接磁位相等之各點所組成者, 即謂之等位綫, 在等位面或綫上, 將磁極自一點移至另一點, 可不須外加工作, 因此, 磁力綫必與等位面直交, 否則將有一分力沿交點之切綫作用, 欲將磁極沿此面移動, 必需外加之工作, 但此乃違反最之假定, 故不可能。

19 圓圈之場強——第 19 圖中, 設  $P$  代表單位磁極, 在一  $N$  匝之平面圓圈軸上, 其圓圈之半徑為  $r$  釐,  $P$  與此圈之平面之距離為  $x$  釐, 圈內之電流為  $\bar{i}$  安, 故作用於圈上  $dl$  之力為

$$df = \frac{1}{r^2 + x^2} N \bar{i} dl$$

其作用之方向如圖所示; 同時此極即為一相等而相反之力所作用, 將此力力作二分力, 其一與圈軸平行, 其一垂直,

垂直分力之和必等於零，因圈之每段皆有一垂直分力，彼此相等而相反。

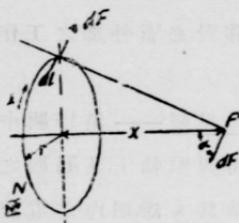
df 之軸向分力為

$$dH = \frac{N\bar{I}dl}{r^2+x^2} \cos\alpha = \frac{Nr\bar{I}dl}{(r^2+x^2)^{3/2}}$$

$$\begin{aligned} \text{於是 } H &= \frac{N\bar{I}r}{(r^2+x^2)^{3/2}} \int_0^{2\pi r} dl = \frac{2\pi N\bar{I}r^2}{(r^2+x^2)^{3/2}} \\ &= \frac{2\pi N\bar{I}r^2}{10(r^2+x^2)^{3/2}} \end{aligned} \quad (30)$$

若  $\rho$  點在圈之中心； $X=0$

$$H = H_0 = \frac{2\pi N\bar{I}}{r} = \frac{2\pi NI}{10r} \quad (31)$$



第 十 九 圖

由此可得一電流之絕對單位（達）之定義：一達之電流，當其流過一匝半徑一公分之圓圈時，其對於在中心之一單位磁極所作用之力為  $2\pi$  達。

20 螺管軸上之場強——第20圖代表一N匝勻捲之螺管，其長度為  $l$  筵。說 P 點在螺管軸上而距螺管中心 D 筵求此點之場強。

在螺管上任取一段  $dx$  與 P 點相距  $x$  筵。此段可視為  $-\frac{N}{l}dx$  匝之平面圓圈，由方程式 (30)，得 P 點之場強

$$\text{爲 } dH = \frac{2\pi \left( \frac{N}{l} dx \right) I r^2}{10(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

則總場必為

$$\begin{aligned} H &= \frac{2\pi}{10} \frac{NIr^2}{l} \left[ \frac{\frac{l}{2} + D}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2} + D\right)^2}} - \frac{\frac{l}{2} - D}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2} - D\right)^2}} \right] \\ &= \frac{2\pi}{10} \frac{NI}{l} \left[ \frac{\frac{l}{2} + D}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2} + D\right)^2}} + \frac{\frac{l}{2} - D}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2} - D\right)^2}} \right] \quad (32) \end{aligned}$$

若 P 點在螺管之中心，則  $D=0$ ，此方程式即化為

$$H_0 = \frac{2\pi NI}{10 \sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}}$$

若  $l$  較  $r$  甚大即可寫作

$$H_0 = \frac{4\pi NI}{10 l} \quad (33)$$

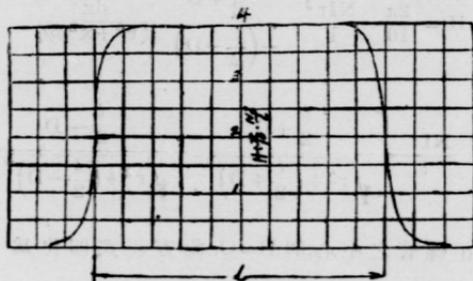


第 二 十 圖

在螺管之兩端,  $D = \frac{l}{2}$ ,

$$H = H_e = \frac{2\pi NI}{10l}$$

若  $l$  較  $r$  甚大, 則兩端之場強遂為中心之半。



第 二 十 一 圖

第21圖表示沿螺管軸上之  $H$  之變動, 螺管軸長為其

半徑之二十五倍, 即  $\frac{r}{l} = 0.04$ .  $H_0$  之真值為  $\frac{3.9872\pi NI}{10l}$ ;

僅稍小於  $\frac{4\pi NI}{10l}$  而  $H_e = \frac{1.9984\pi NI}{10l}$  亦近  $\frac{2\pi NI}{10l}$  由

此可見在管軸上之  $H$  大部分均無變動，惟於兩端降落甚突然。

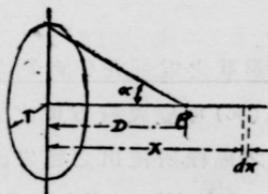
沿軸  $H$  變動之物理意義，可釋之如下：螺管捲內之磁力綫，與中心相近者，類皆互相並行，故其中之磁場頗近勻等，而  $H$  幾為一常數；近螺管兩端之磁綫其發散之情狀與第一圖同，發散 (divergence) 愈大，則  $H$  之降減亦愈速。

21 圓圈軸上之磁位——第 19 節曾論及圓圈軸上距圈面  $x$  處之場強為

$$H = \frac{2\pi N \bar{I} r^2}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

此乃作用於  $P$  點單位磁極之力，力之單位為達。第 22 圖中，設電流方向如矢頭所示，則單位磁極（正極）必受一向左（即向圈）拖曳之力。即向圈而轉，故欲使此極向右移  $dx$  之距離，當需

$$dU = Hdx = \frac{2\pi N \bar{I} r^2 dx}{(r^2 + x^2)^{3/2}} \text{ 爾}$$



第二十二圖

之工作，欲將此極自距圈面  $D$  處移至無窮遠時，則所需之總工作必為

$$\begin{aligned} U &= 2\pi N\bar{I}r^2 \int_D^{\infty} \frac{dx}{(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}} \\ &= 2\pi N\bar{I} \left(1 - \frac{D}{\sqrt{r^2+D^2}}\right) \\ &= 2\pi N\bar{I} (1 - \cos \alpha) \end{aligned} \quad (34)$$

其中  $\alpha$  為圓圈對  $P$  點所成之圓錐之半角但  $2\pi (1 - \cos \alpha) = \omega$  為圓錐體頂點之立體角 (Solid angle)，於是

$$U = \omega N\bar{I} \quad (35)$$

若試極之磁強為  $m$  單位，則所需之工作當為上叙值量之  $m$  倍，或

$$U_m = \omega m N\bar{I} \quad (36)$$

方程式 (35) 乃圈軸上任一點之磁位，若電流按圖中所示，此磁位即代表將一單位磁極移至無窮時所需之工作，若電流方向相反則  $U$  為將單位磁極自無窮遠移至定點所需之工作。

22 任何形狀之電圈在任何點之磁位之一般方程式——方程式 (36) 可變成較方便之方式如下：

自  $m$  單位強之磁極，所流出之總磁流為

$$\Phi = 4\pi m \text{ 麥 (Maxwells)}$$

因磁極若在空氣中，則相距  $r$  處之磁強為  $H = \frac{m}{r^2}$ ，而

其磁流密度為  $B=H=\frac{m}{r^2}$  高 (gausses)。距  $m$  極  $r$  處各點之軌跡為一圓球面，其面積為  $4\pi r^2$  方呎。故知經過此球面之總磁流為

$$\Phi = B \times \text{面積} = \frac{m}{r^2} \times 4\pi r^2 = 4\pi m$$

磁流至既勻佈于全球面，故在立體角  $\omega$  內之磁流  $\phi$  對於全部磁流之比，等於  $\omega$  比  $4\pi$ ，即

$$\frac{\phi}{\Phi} = \frac{\omega}{4\pi}$$

或

$$\phi = \omega m$$

故

$$U_m = \phi N \bar{l} = \lambda \bar{l} \quad (37)$$

此中  $\lambda = \phi N$ ，為磁流與磁流所鏈串之匝數之乘積，謂之磁鏈 (Plux linkage)。換言之，電流在磁場中所生之磁位能等於電流 (安數) 與磁鏈之相乘積。

以上所述磁極之磁位能，對於電流之關係，係假定一圓形電圈而以磁極在其軸上行動，以推求得之者，吾人更



第二十三圖

可明瞭，程式 (35) 及 (36) 尤為普及，蓋若第二十三圖之電圈，不論如何形狀，且設  $\omega$  為任何處點極 (point pole)  $m$  與此圈所成之立體角則自  $m$  流出之磁流穿入電圈者，為

$$\phi = \omega m \text{ 麥}$$

今若使磁極移動，在  $dt$  之時間內，其立體角之變動為  $d\omega$  則與電圈相鏈磁流之變更為

$$d\phi = m d\omega$$

而電圈中所感應之電勢為

$$\bar{E} = -N \frac{d\phi}{dt} \text{ 述,}$$

若此磁流變化時，其流過線圈之電流為  $\bar{I}$  安則其所做之工作為

$$d\omega = -\bar{E} \bar{I} dt = N \bar{I} d\phi = m N \bar{I} d\omega \text{ 爾}$$

至若將此磁極自無窮遠處 ( $\omega = 0$ ) 移至一點與線圈相近處 ( $\omega = \omega' S_n$ ) 則其間所需之工作為

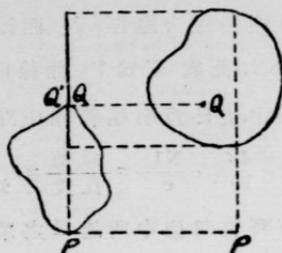
$$\omega = m N \bar{I} \int_0^{\omega'} d\phi = m \omega' N \bar{I} = \phi N \bar{I} = \lambda \bar{I}$$

以上二式與方程式 (36) 及 (37) 全同

### 23 磁勢. (Magnetomotive force) —— 第二十四圖.

表示一任何形狀之平面線圈之側面圖及正面圖，此線圈中載有  $\bar{I}$  安之電流，設在  $P$  點有一單位磁極位於線圈之平面上，而在線圈邊境之外，自磁極射出之磁流，均不能穿過線圈，故在  $P$  點之磁位為零。

今設將此單位磁極繞任何途徑而至與線圈之平面相距甚近之一點Q,則Q與線圈所得之立體角為 $2\pi$ .故Q點之磁位當為 $2\pi N\bar{I}$ ,而P與Q間之磁位差(即將此極自



第二十四圖

P點移至Q點所需之工作)為 $2\pi N\bar{I}$ 爾。若將此極再依任何途徑P而移回至P點,使此極完全穿過其線圈,如Q'P。此時必須更耗 $2\pi N\bar{I}$ 爾之工作。故使一單位磁極穿過電圈,而成一閉合途徑,所需之總工作為 $4\pi N\bar{I}$ 爾,此之謂電圈之磁勢(Magnetomotive force, — m.m.f.) 磁勢之單位為吉爾勃(Gilbert)或簡作吉。

但在此處必須特別注意者,磁勢與電勢相同,亦非一種之力,磁勢之定義為每單位磁極之工作,猶之電勢之定義為每單位電量之工作也(見前第十四節)。

以上導求得 $4\pi N\bar{I}$ 之結果,雖係假定N匝之線圈皆在一平面上,但此理論,亦得適用於任何形狀之線圈,如第一

圖之螺管，設使一單位磁極，沿連合途徑  $P_1$  而繞行一匝，其所需之工作為

$$4\pi N\bar{I} = \frac{4\pi}{10} NI$$

同理，若使單位磁極沿連合途徑  $P_2$  而繞行一匝，其所需之工作為  $\frac{4\pi}{10} N'I$ ，此處  $N'$  為  $P_2$  曲線所包含之匝數。

在第二十節中，業已證明螺管軸中點之磁場強度為

$$H_0 = \frac{4\pi}{10} \frac{NI}{e} = \frac{\text{磁勢}}{\text{長度}} = \frac{\text{吉}}{\text{姆}}$$

此式可以解釋第四節中所述  $H$  之單位，何以為每姆之吉數。

$$\text{從上程式得 } H_{0l} = \frac{4\pi}{10} N\bar{I} = \text{磁勢 (m.m.f.)}$$

此方程式即指若在螺管軸之磁場強度不變，而常等于  $H_0$ ，則將單位磁極自螺管之一端移至彼端所需之工作必為

$$\text{力} \times \text{距離} = H_{0l} = \frac{4\pi}{10} NI$$

若沿螺管軸上各點之磁場強度不等，則經過連合途徑  $P_1$  所需之工作為

$$\frac{4\pi}{10} NI = \int H dl \quad (38)$$

即謂磁勢實為磁力之線積分 (Line integral)

尤有一極有趣味之點，值得吾人注意者，即第二十一

圖 1 範圍內之曲線以下之面積，係代表一單位磁極，經此螺管，自一端移至他端所需之工作；而在同範圍內，此曲線所包含之長方形面積，則代表使一單位磁極，穿過全數線匝而成一連合途徑所需之工作。由此可知，在此長方形內，曲線上部之面積，必係代表使磁極在螺管外，自一端移至他端所需之工作。

24 B-H曲線—磁滯 (Hysteresis) —— 在第二十圖螺管之中心，其磁場強度為

$$H = \frac{4\pi}{10} \frac{NI}{l} \text{ 高}$$

若所有之磁力線皆直接經過螺管而與其軸相並行，且勻佈于全截面 A，則在任何截面所經過之磁流為（假設圈為空心）

$$\phi = AH = \frac{4\pi}{10} \frac{NI}{l} A \text{ 麥}$$

今設螺管中易以鐵心，鐵心之長為 l，橫截面積為 A，如第三圖；則在此鐵心之兩端必各感有 +m 及 -m 強之磁極，而每極將於螺管中心各發生  $\frac{m}{(l/2)^2}$  之磁強，但方向與 H 相反，故結果，中心所得之磁場強度等于

$$H = \frac{4\pi}{10} \frac{NI}{l} - \frac{2m}{(l/2)^2} = \frac{4\pi}{10} \frac{NI}{l} - \frac{8m}{l^2} \quad (39)$$

換言之，即因磁場而感應之磁極，對於原來磁場生一祛磁作用 (Demagnetizing effect)，或稱「端作用」(Endeffect)

若螺管及鐵心甚長，則此作用極微而可不計，故本書以後當不復討論及之。

自  $+m$  極發出  $4\pi m$  磁線均各覓其相當途徑，經過空氣而回至  $-m$  極。此種磁綫可假定為連續之磁線，經過鐵心而復回至其起點，故在鐵心內之總共磁流，含有  $H A$  磁力線及  $4\pi m$  感應線，即

$$\Phi = AH + 4\pi m$$

設此磁流皆勻佈於全截面  $A$ ，則磁流密度當為

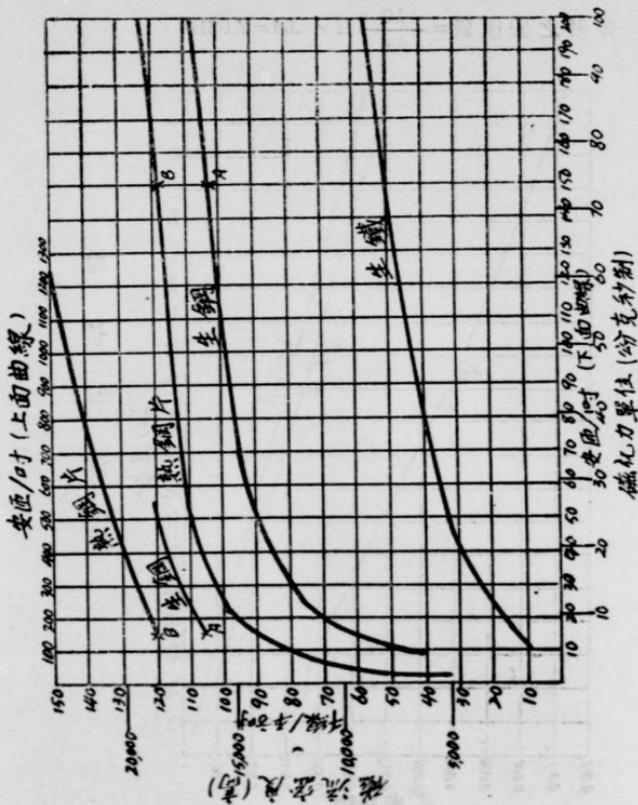
$$B = \frac{\Phi}{A} = H + 4\pi \frac{m}{A} = H \left( + 4\pi \frac{m}{AH} \right) = \mu H \quad (40)$$

$$\text{其中} \quad \mu = \frac{B}{H} = 1 + 4\pi \frac{m}{AH} \quad (41)$$

為鐵心之磁導性 (Permeability) 故磁導性為一物質之磁流密度與其所感應之磁場強度之比例，而所以量此物質之‘比磁導’ (Specific magnetic conductance) 者，此數之大小須依  $\frac{m}{AH}$  或  $\frac{m}{H}$  之比例而定，換言之，即視其所感應之磁極強度與其感應磁場強度間之比例而定。在磁學立場上言，物質愈好（即感磁愈易）者，則在一定之磁場內，其所感應之磁極強度亦愈大，故  $\frac{m}{AH}$  之比例，可呼之曰磁納性 (Susceptibility)。

關於  $m$  與  $H$  間之關係，吾人尙未能決定，故  $\mu$  或  $B$  之對  $H$ ，亦不能有較簡的方程式以表示之，通常僅能將各類物

質分別試驗後，而將其結果繪一曲線，以表示B與H之關係，此線通常稱之為B-H曲線或磁化曲線(Magnetization curves.) 第二十五圖所示，為數種常用之鉄與鋼之曲線，第二十六圖所示，為磁阻性 $\frac{1}{\mu}$ (Reluctivity)對於每時所需磁激(Excitation)安匝數之關係，此圖中所示之物質，即



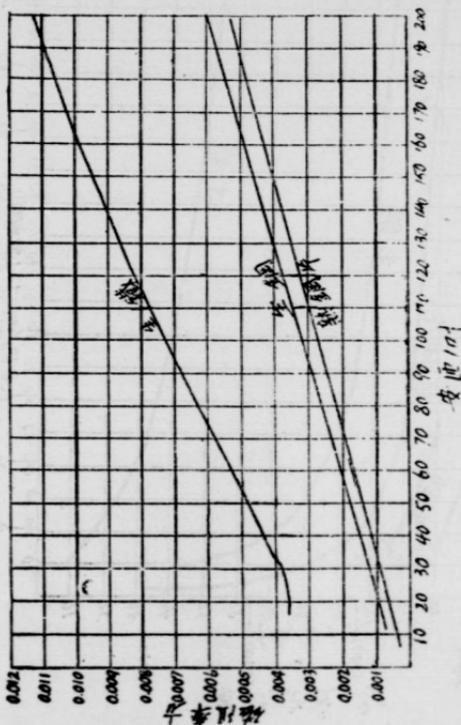
第 二 十 五 圖

第二十五圖 B-H 曲線中所示者。

在  $H = \frac{4\pi}{10} \frac{NI}{l}$  方程式中, NI 項表示磁激安匝數, NI l 表示每齒之安匝數。故知

$$\text{每齒之安匝數} = \frac{NI}{l} = \frac{10}{4\pi} H = 0.8H$$

$$\text{而 每吋之安匝數} = \frac{10}{4\pi} H \times 2.54 = 2.02H$$



第 二 十 六 圖

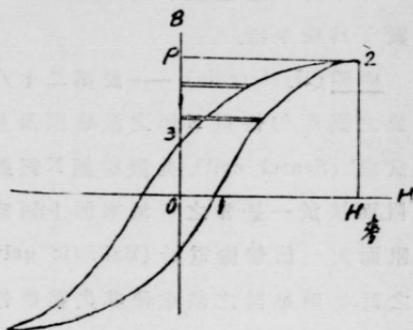
在實用上，爲便利計，常不用  $H$ ，而用每呎之安匝數（或每吋之安匝數）蓋若自曲線中覓得相當于  $B$  值之每呎（或吋）安匝數後，則總磁激安匝數，即等於此數與磁路之長（呎或吋）相乘之積。故普通磁化曲線之構造，恆用  $B$ （每平方呎之磁線）爲直坐標，而以  $0.8H$ （每呎之安匝數）爲橫坐標；若用英單位制，則以  $B \times (2.54)^2$ （= 每平方吋之磁線）爲直坐標， $2.02H$ （= 每吋之安匝數）爲橫坐標。

磁滯 (Hysteresis). — 設第二十八圖代表一鐵製或銅製之圓環，勻捲以  $N$  匝之激磁圈及具有  $n$  匝細銅絲之‘探試圈’ (Search coil)。此激磁圈  $N$  經過一電鑰及一可調電阻，而接於一適當之電流來源上；同時探試圈亦經過一電阻而與一衝擊檢電計 (Ballistic galvanometer) 連結。試驗之時，先將欲試之鐵環使其失盡磁性而開斷其激磁電路，然後調變電阻，使電路閉合時，僅微弱之電流可以通過。此電流使鐵心中生一磁流，穿過探試圈，而感應一瞬息電勢 (Transient e. m. f.)。結果此一瞬之電流遂經過衝擊檢電計而示一指角 (Deflection) 此檢電計之指角係與所試樣品中之磁流變化成比例，故若將此檢電計經過相當之校準 (Calibration)，則磁流之大小即可以直接決定之。又因鐵環之橫截面積已知，故同時相當於磁化力  $H \left( = \frac{4\pi}{10} \frac{NI}{l} \right)$  之磁流密度  $B$  亦可算得。今若將與激磁圈  $N$  串聯

之電阻短接其一部分俾激磁電流猝然增加，則此增加之電流必使鐵環中磁流增加其所增加之量，可以檢電計之新指角求得，如此使電流步步增加，則可得多組之  $B$  及  $H$  值，按值繪圖，即得  $B-H$  曲線。

若如上法漸漸做去，中途不使電流減降，直至  $H$  已達最高點（二十七圖）然後將激磁電流逐漸減少，使至於

零。在此試驗  $B$  及  $H$  回下時之曲線不與原曲線相重合，而略在其上，如圖所示，當激磁電流已減至零值後反易線圈  $N$  與



第 二 十 七 圖

電源之連接，再如上法，使電流漸漸增加（此時電流之增作為負號，因其方向與前述相反）直至  $H$  達最高之值，然後又將電流步步減下，以至於零，再將電源與  $N$  圈之接連反換，徐徐增加電流，待磁化力又至  $H$  最高值而止，在此完全一循環間， $B$  與  $H$  之關係有如第二十七圖之線環所示。

此線環之形狀，表示鐵心中，磁流之變化，乃較磁化力變化為落後，此現象謂之磁滯（西名 Hysteresis 自希臘文而來，即落後之意。）磁滯之現象乃由于分子間之磨擦，故表示能力之耗失，若磁化力之變化甚速，如交流激磁然，則分子之磨擦，可使鐵心之溫度上昇。

在一完全循環中所發出之熱量，可證明與磁滯線環之面積成比例，如在第二十七圖，設磁化力自  $H$  增加至  $(H+dH)$  時其所生之磁流密度自  $B$  增至  $(B+dB)$ 。故與激磁圈（或稱磁化圈）鏈串之磁流，將有  $d\phi = AdB$  之變更，其中  $A$  為鐵心之切斷面積，故在線圈中所感應之電勢為

$$E = -N \frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} = AN \frac{dB}{dt} \times 10^{-8} \text{ 伏}$$

線圈中之電流既為

$$I = \frac{10}{4\pi} \frac{Hl}{N}$$

在  $dt$  之時間內此路中所吸收之能力為

$$dW = -EIdt \times 10^7 = \frac{Hl}{4\pi} HdB \text{ 爾}$$

但  $HdB$  為二十七圖中之原分面積 (Elementary area) 故自 1 至 2 間所消耗之能力為

$$W = \frac{Al}{4\pi} \int HdB$$

此間  $\int AdB$  為  $0.12P'$  之面積

在 2 至 3 間，磁流漸漸減低而電流之方向如故，故磁

路中放出能力,而不如前之吸收,放回之能爲

$$W' = \frac{Al}{4\pi} \int_{B=\text{最高值}}^{B=0} \text{HdB}$$

其中之積分值即 23 P 之面積,是故在此一部週環 (Cycle), 間之淨能耗與 0123 環之面積爲比例。此線環之他半,亦同是理,故其總能耗爲

$$W = \frac{Al}{4\pi} \int_{\text{最高值}}^{\text{最高值}} \text{HdB}$$

其中  $Al$  爲鐵心之體積,而其積分值與線環之面積成比例。

以上所述諸積分式,均不能求解,蓋因  $B$  與  $H$  之關係尙未知曉,但斯坦梅茲氏 (Steinmetz) 已發現每立方呎在每一線環中之磁滯能耗與最高磁流密度之關係爲

$$W = \text{常數} \times (B \text{最高值})^{1.6} \quad (42)$$

其中之常數須視鐵心之物質而變 (參觀第十章一百七十二節)

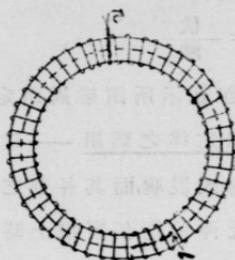
25 磁周路之定律 (The Law of the Magnetic Circuit). — 磁阻 (Magnetic reluctance). — 第三圖中鐵心兩端之祛磁作用 (demagnetizing effect) (參看上節中方程式 39) 可以使之減去,其法將鐵心環繞成圈如 28 圖然,則  $H$  值在線圈之圓軸各部均等,乃等于

$$H = \frac{4\pi}{10} \frac{NI}{l}$$

此中  $l$  為鐵心之平均長度,以姆計,經過鐵心之總磁流將

為 
$$\Phi = AB = A\mu H = \frac{4\pi}{10} \frac{NI}{l} \mu A$$

或 
$$\Phi = \frac{\frac{4\pi}{10} NI}{\frac{l}{\mu A}} \quad (43)$$



第二十八圖

方程式(43)之分子為螺管之磁勢而其分母為磁路之磁阻,尤可注意者磁阻性質與電路中之電阻相同,蓋磁阻亦與長度成正比而與其切斷面積成反比例也。且磁導性之對於磁阻關係與電導性之對於電阻完全相似,故第二十四節稱之為'比磁導'磁阻之單位為奧司特(Oersted),或簡作奧,磁阻之倒數  $\frac{\mu A}{l}$  謂之磁導 (Permeance)。

方程式第(43)可寫成爲

$$\text{磁流} = \frac{\text{磁勢}}{\text{磁阻}}$$

或變成單位式則

$$\text{麥} = \frac{\text{吉}}{\text{奧}}$$

此方程式與歐氏電周路定律相似，即

$$\text{電流} = \frac{\text{電勢}}{\text{電阻}}$$

或

$$\text{安} = \frac{\text{伏}}{\text{歐}}$$

方程式 (43) 即表示所謂磁周路定律。

26. 磁周路定律之應用。——磁周路與電周路同，亦能接成並聯、串聯或混聯，而其各部之計算，亦與電路中之方法完全相同。此種習題，在實用上時常遇到者有下列二類：

即在一磁路中，求其所需之安匝值，以維持一定之磁流，或反之，有已知之安匝值，而求其所生之磁流。

磁路之式樣有如第二十九圖所示，a 為一簡單之串聯磁路，b 為兩磁路相並聯者，其各該相似之電路，示于圖之左方。

以下諸例，乃表示計算簡易習題時之應用方法，其他詳細方法則在第四章計算發電機與電動機之特性時再申述之。

1. 串聯磁周路——在磁周路中有數磁阻相串聯者，其總磁阻如下式

$$\frac{l_1}{\mu_1 A_1} + \frac{l_2}{\mu_2 A_2} + \dots + \frac{l_n}{\mu_n A_n}$$

而其結果，磁流之經此路者將為

$$\Xi = \frac{\frac{4\pi}{10} NI}{\frac{l_1}{\mu_1 A_1} + \frac{l_2}{\mu_2 A_2} + \dots + \frac{l_n}{\mu_n A_n}}$$

其中 NI 為作用於全周路之安匝數，此方程式可寫為

$$\frac{4\pi}{10} NI = \Xi \frac{l_1}{\mu_1 A_1} + \Xi \frac{l_2}{\mu_2 A_2} + \dots + \Xi \frac{l_n}{\mu_n A_n} \quad (44)$$

如此，則方程式右邊之各項，乃為使磁流存在於各該局部磁路中所需之磁勢，故其總磁勢等于各局部數所需磁勢之和。在同似之電路中

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + \dots + R_n}$$

$$\text{及 } E = IR_1 + IR_2 + \dots + IR_n$$

或使電流存在於電路中所需之電勢，為其各局部電路壓落之和。

上述之安匝數、磁流及磁阻之關係，皆絕對準確，惟如方程式(44)所示之關係，其中含有各部磁路之磁導性 (Permeability)，故不適用於實際應算，蓋磁導性為磁流密度與磁路各部物質之函數，因密度及物質之不同而變，須

先自  $u = \frac{B}{H}$  之關係算得後，方可代入也，在實際上，較簡捷之法，安匝值之計算即自方程式(44)得之，如下：

(44) 方程式右邊各值均有下列之形式

$$\frac{\sum l_x}{\mu_x A_x} = \frac{\sum H_x l_x}{\mu_x A_x} = H_x l_x$$

其中  $H_x$  為  $l_x$  磁路中每呎之吉數，但  $H_x = \frac{4\pi}{10} \frac{(NI)_x}{l_x}$ ，

其中  $(NI)_x$  為使磁流存在於  $l_x$  磁路中所需之安匝數，而

$\frac{(NI)_x}{l_x}$  乃為呎之安匝數（安匝/呎），以之代入方程式

(44) 中，而消去其共因數  $\frac{4\pi}{10}$ ，即得

$$NI = \left(\frac{\text{安匝}}{\text{呎}}\right)_1 l_1 + \left(\frac{\text{安匝}}{\text{呎}}\right)_2 l_2 + \dots + \left(\frac{\text{安匝}}{\text{呎}}\right)_n l_n \quad (45)$$

若用吋為單位則

$$NI = \left(\frac{\text{安匝}}{\text{吋}}\right)_1 l_1'' + \left(\frac{\text{安匝}}{\text{吋}}\right)_2 l_2'' + \dots + \left(\frac{\text{安匝}}{\text{吋}}\right)_n l_n'' \quad (46)$$

某物質之每吋安匝值，若其磁流密度為已知，則自 25 圖可以直接覺得，例如圖 29a，設鉄心為生鑄鐵，欲使其中有 160,000 表之磁流，求其所需之安匝數，假定磁力線之平均路線及經其截面之重心，而于經過邊角時，其平均路徑乃依圓角而行。

$$l_1 = \text{生鉄磁路之長度} = 2(6+4) + 2\pi \cdot 0.125 = 26.15 \text{ 吋}$$

$$l_a = \text{氣隔之長度} = 0.125 \text{ 吋}$$

Ba = 在鉄中及氣隙中之磁流密度

$$= \frac{160000}{4} = 40000 \text{ 力線平方吋}$$

自二十五圖，可覺得生鉄中磁流密度等于每方吋 40000 力線時之磁激值爲每吋長 79 安匝。故鉄心所需之安匝數爲  $79 \times 26.15 = 2060$ 。同時更求此磁流在氣隙中所需之安匝，因其中之  $\mu = 1$ ，故  $B = H = \frac{4\pi}{10} \frac{NI}{l}$  (其中各值均用呎制)。從此關係

$$NI = \frac{10}{4\pi} Bl = 0.8 \frac{\text{每方吋之磁線}}{(2.54)^2} \times (\text{氣隙之長(吋)} \times 2.54) = 0.3133 B'' l''$$

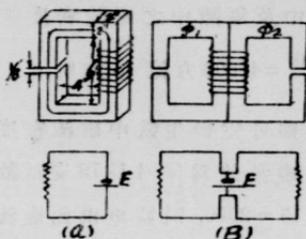
此中  $B''$  = 每平方吋之磁流密度，而  $l''$  爲氣隙長度以吋爲單位。故氣隙所需之安匝爲

$$NI = 0.3133 \times 40000 \times \frac{1}{8} = 1567$$

故全路所需之總激磁爲  $2060 + 1567 = 3627$  安匝

2. 並聯及混聯磁周路——圖 29b 中，磁路相並聯，每路與圖 29a 同式。其中激磁磁勢，作用於各並聯磁路，與電池之電勢作用於各並聯電路同。在圖 29b 之情形，計算每局部之磁流時，其他諸部均可置之不論，若有兩部或數部完全相同者，其磁流亦均相等。

例如，圖 29b 左邊之磁路與圖 29a 完全相同，但右邊之磁路，大小雖似，而其物質則爲生鋼而以代生鉄。假定經



第二十九圖

過左部之磁流仍為 160,000 麥，則激磁固需有 3627 安匝，但在生鋼中之磁流未必為 160,000 麥，蓋因生鋼之磁阻較生鐵為小，此習題為已知有 3627 安匝而求經過此生鋼磁路之磁流，今用下述之試探法以求之：

先假定一總磁流之值，而計算其所需之總安匝數，如此假定數值，而得其相當之安匝數，然後繪成一曲線，則相當於已知安匝數之磁流值，可自此曲線中直接讀得上述習題，用此法求之，則得經過生鋼磁路中之總磁流約為 303,200 麥。

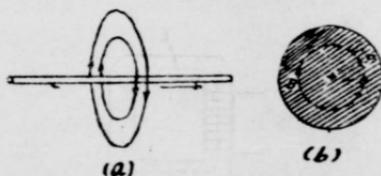
在此種情形，如本習題所述者，因生鋼之磁阻與氣隙之磁阻相比為甚微，故可先假定略去經過生鋼之磁阻，而全部激磁皆為維持磁流通過氣隙之用，據此，每方吋之磁流密度線為

$$3627 = 0.3133 \times B'' \times \frac{1}{8}$$

或  $B'' = 92,800$  線 / 方吋, 及  $\Sigma = 371,200$ . 參照第二十五圖之曲線, 可知使此磁流經過生鋼路需 1635 安匝, 而全路共需  $3627 + 1635 = 5262$  安。較可用之值為大, 故須略減  $B''$  之值, 再照上法計算, 直至所用之安匝值在試得諸值之間而止。

啓爾可夫定律 可用於磁周路, 與用于電周路同。故在磁路之接合點, 感應線 (Line of induction) 之向此點流來者, 等于自此點流去者, 蓋因感應線均為連合線環。此與電路中之啓氏第一定律相合。再在一連合磁路中, 各局部之磁位落之代數和等於零。若連合磁路之任何部中有磁流  $\Sigma$  及磁阻  $R$ , 則其位落為  $\Sigma R$ , 而其全周路各部之位落之和須等于各激磁磁勢之總和, 其正負號依第十六節之規則而定。

27. 自感 (Self-induction). —— 有一導線, 帶有電流, 其方向如圖 30a 所示, 則導線四週有磁力線圍繞之, 如圖所示。當電流自零增至任何值, 磁流亦隨之自零值增加, 此種磁線可設想自導線中心發出而向外擴大, 如池中投

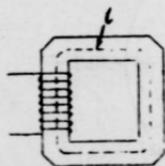


第 三 十 圖

石後之水紋然。圖 30b 表示此磁力線展發時截切導線之情形，此即圖 a 自左面看時之導線截面。磁線 B 展發時在 P 點截切導線之縱長線絲 (Filament)。至於磁力線移動之方向，則依半徑自內向外。此作用，即等于線絲依徑向而向內極速移動；是故應用弗來明右手定則可知其感應電勢，乃自紙面向外而出，換言之乃與電流之方向相反。此作用乃與倫次定律相符；因電流本身之變化，所以變易磁流者，同時即生一相反之電勢，以延阻電流之變化。反之，同理可以證明電流之減低，可感應一相反之電勢，保持固有之電流。此電勢為自感應者，故謂之自感電勢。

設第三十一圖為一線圈，繞於一鐵心，其磁導性  $U$  不變，截面為  $A$  平方呎，磁路平均長度為  $l$  呎。設其均中磁路 (Mean Path) 經過截面之重心，若有  $i$  安之電流經過線圈時，則磁流為

$$\phi = \frac{\frac{4\pi}{10} Ni}{\frac{l}{\mu A}} = \frac{4\pi}{10} \frac{Ni}{l} \mu A$$



第三十一圖

而電流如有  $di$  之變化，磁流之變化將為

$$d\phi = \frac{4\pi}{10} \frac{Ndi}{l} \mu A$$

此磁流變化將感應一電勢

$$\begin{aligned} E &= -N \frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} = -\frac{4\pi}{10} \frac{N^2 \mu A}{l} \frac{di}{dt} \times 10^{-8} \\ &= -L \frac{di}{dt} \end{aligned} \quad (47)$$

$$\text{其中} \quad L = \frac{4\pi}{10} \frac{N^2 \mu A}{l} \times 10^{-8} \quad (48)$$

$L$  謂之自感係數或簡稱自感，其通用單位為亨 (Henry)。自方程式 (48) 乃知自感與磁流相鏈之匝數之平方成正比，且與磁路之形狀、大小及其物質均有關係，其量之大小，于更變電流之電路中甚為重要，例如直流發電機或電動機整流時之線圈受此作用甚鉅（參看第八章）。

自方程式 (47) 中可知一路中之自感係數  $L$  之值，等于電流之變更率為  $l$  安 / 秒時  $\left(\frac{di}{dt} = l\right)$  所感應之電勢；換言之，即若一電路中之電流每秒有一安之變化而能感應一伏之電勢者，此電路中之自感係數為一亨。自感係數之定義，可另述如下：自方程式 (47)

$$L \frac{di}{dt} = N \frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8}$$

$$\text{或} \quad L = N \frac{d\phi}{di} \times 10^{-8} \quad (49)$$

在此方程式中  $\frac{d\phi}{di}$  等于磁流隨電流之變更率，或即每安所生之磁力線數，方程式(49)表明一安所生之磁力線與其所鏈匝數之乘積除以  $10^8$ ，即等于自感係數。每安所生之磁流與其所鏈線圈之積，謂之每安之磁鏈數，簡言之，自感係數，等于每安之磁鏈數除以  $10^8$

28. 互感 (Mutual induction). 若有兩電路各有  $N_1$  及  $N_2$  匝，而其位置可使一電路中所生之磁流，一部或全部與他電路相鏈，則第一電路中有電流變更時，使第二電路中有互感電勢，所感應之電勢須視電路之形式，電路間相對之位置及感應電路中之電流變更率而定。

設第一電路中有  $i_1$  安之電流而生磁流  $\phi_1$ ，則

$$\phi_1 = \frac{4\pi}{10} \frac{N_1 i_1}{l} = C_1 N_1 i_1 \quad (50)$$

$$\text{此磁流之一部， } \varphi_1 = K_1 \phi_1 = K_1 C_1 N_1 i_1 \quad (51)$$

(其中  $K \leq 1$ ) 將與第二電路中  $N_2$  匝相鏈，是故與第二電路之總磁鏈為

$$\lambda_{21} = N_2 \varphi_1 = K_1 C_1 N_1 N_2 i_1 \quad (52)$$

而若第二電路中有  $i_2$  安之電流時，依第二十二節，因第一電路所生之位能，為

$$U_{21} = \lambda_{21} \frac{i_2}{10} = \frac{1}{10} K_1 C_1 N_1 N_2 i_1 i_2 \quad (53)$$

同樣,第二電路中之電流  $i_2$  將生一磁流

$$\phi_2 = \frac{\frac{4\pi}{10} N_2 i_2}{\frac{l_2}{\mu_2 A_2}} = C_2 N_2 i_2 \quad (54)$$

此中之一部磁流

$$\phi_2 = K_2 \phi_2 = K_2 C_2 N_2 i_2 \quad (55)$$

(其中  $K_2 \leq 1$ ) 將與第一電路  $N_1$  匝相鏈,是故與第一電路之總磁鏈為

$$\lambda_{12} = N_1 \phi_2 = K_2 C_2 N_1 N_2 i_2 \quad (56)$$

第一電路中因第二電路而生之位能為

$$U_{12} = \lambda_{12} \frac{i_1}{10} = \frac{1}{10} K_2 C_2 N_1 N_2 i_1 i_2 \quad (57)$$

但因此間僅能有一位能值,故  $U_{21}$  應等于  $U_{12}$

$$\therefore K_1 C_1 N_1 N_2 = K_2 C_2 N_1 N_2 \quad (58)$$

依 (52) 式

$$K_1 C_1 N_1 N_2 = \frac{N_2 \phi_1}{i_1}$$

即第一電路中有單位電流時,第二電路中之磁鏈數而自 (56) 式

$$K_2 C_2 N_1 N_2 = \frac{N_1 \phi_2}{i_2}$$

即第二電路中有單位電流時,在第一電路中所得之磁鏈數,故自方程式 (58) 可知甲電路中有單位安電流,對於乙

電路所生之磁鏈數，與乙電路中有單位安時，所生對於甲之磁鏈數，乃相等。

當第一電路中之電流變更時，第二電路中所感應之電勢為

$$e_2 = -N_2 \frac{d\psi_1}{dt} \times 10^{-8} = -K_1 C_1 N_1 N_2 \frac{di_1}{dt} \times 10^{-8}$$

而當第二電路中之電流變更時，第一電路中將有感應之電勢

$$e_1 = -N_1 \frac{d\psi_2}{dt} \times 10^{-8} = -K_2 C_2 N_1 N_2 \frac{di_2}{dt} \times 10^{-8}$$

依(58)式，此種方程式可寫作

$$\left. \begin{aligned} e_2 &= -M \frac{di_1}{dt} \\ e_1 &= -M \frac{di_2}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

此中

$$M = K_1 C_1 N_1 N_2 \times 10^{-8} = K_2 C_2 N_1 N_2 \times 10^{-8} \quad (60)$$

M為一電路中有單位電流對於另一電路之磁鏈數除以 $10^8$ ，此謂之兩電路之互感係數或互感，互感係數之性質與自感係數相同，其理甚明，亦以亨為單位。依方程式(59)，可知兩電路之互感乃等於一電路中有1安/秒之電流變更率時在其他一電路所感應之電勢。

由方程式(50)，可知第一電路中之自感係數為

$$L_1 = \frac{N_1 \phi_1}{i_1} \times 10^{-8} = C_1 N_1^2 \times 10^{-8} \quad (61)$$

而自方程式(54),得

$$L_2 = \frac{N_2 \phi_2}{i_2} \times 10^{-8} = C_2 N_2^2 \times 10^{-8} \quad (62)$$

故自方程式(60), (61)及(62),得

$$M^2 = K_1 K_2 L_1 L_2 \quad (63)$$

若兩電路之相互位置可使其其中無漏磁現象,即一電路中所生之磁流完全與其他電路之匝數相鏈,則

$$K_1 = K_2 = 1$$

及

$$M = \sqrt{L_1 L_2}$$

或兩完全電周路中之互感為各該自感係數之中比例數 (Mean proportional).  $\sqrt{K_1 K_2}$  有時謂之耦合係數 (Coefficient of coupling).

互感現象常用於感應圈(Induction coil)及交流變壓器中,兩者皆有一鉄心,上捲以相絕緣之線圈,(與鐵心亦絕緣)名曰初捲(Primary)及次捲(Secondary). 初捲圈中有斷續電流或交流時,可生一時時變更之磁流,此磁流使其他線圈中感應一交流電勢 (Alternating e.m.f). 互感係數在直流電機整流順序中亦甚重要。

29. 磁出之儲能——如線圈或電路有自感  $L$  亨通以一變更電流,則感生電勢

$$e = -L \frac{di}{dt} \quad \text{伏}$$

若電流之變更率為  $\frac{di}{dt}$  則在電流為  $i$  安，變更此電流所需之工率力為

$$(-e)i = Li \frac{di}{dt} \quad \text{瓦}$$

而在  $dt$  時間之工作為

$$dW = (-e)idt = Li di \quad \text{喬}$$

使電流自零增至  $i$  值所需之工作當為

$$W = \int_0^i Li di = \frac{1}{2} Li^2 \quad \text{喬} \quad (64)$$

此能力並未耗損，乃儲在磁場中，待磁場降至零值時漸漸放出。如開斷一感應電路 (Inductive circuit) 時之火花或弧光，即此儲能之作用。

試將方程式 (64) 與一行動物體之動能 (Kinetic energy) 方程式相比，若  $m$  為物體之質量，而  $v$  為其速率，則

$$W = \frac{1}{2} mv^2$$

在電路中電流  $i$  為經過一定點每秒間之電量，故與速率相似；自感係數  $L$  因其延阻電流之變更或電流之速率變更，故表示電之惰性 (Electrical inertia)；是以  $\frac{1}{2} Li^2$  之能，可作為電之動能。

若有兩電路各有自感  $L_1$  及  $L_2$ ，而其間之互感為  $M$ ，

則若兩電流之磁化方向相同者,其所儲之能爲

$$W = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M i_1 i_2 \quad \text{喬} \quad (65)$$

此方程式前兩項之導求自方程式(64)可知;至其末項,  $M i_1 i_2$ , 則可用下法推得:

一電路因他電路而生之位能,依方程式(53)及(57)

得 
$$W = \frac{1}{10} K_1 C_1 N_1 N_2 i_1 i_2 = \frac{1}{10} K_2 C_2 N_1 N_2 i_1 i_2 \quad \text{爾}$$

而以(60)方程式之關係可變爲

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{10} (M \times 10^8) i_1 i_2 = M i_1 i_2 \times 10^7 \quad \text{爾} \\ &= M i_1 i_2 \quad \text{喬} \end{aligned}$$

若兩電路之磁性方向相反,則其相互之位能當爲負號,是故其間之儲能爲

$$W = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 - M i_1 i_2 \quad (66)$$

30. 電磁鐵之曳引力——設有一單位磁極置於第三十二圖之 P 點此點在一半徑 r 錐圓柱形棒之軸上,與此棒磁之一端相距 a 錐此棒磁之極設爲 m 單位,並假定在圓柱體端之面積上各點磁場均相等,則每單位面積之極強,或磁化強度爲

$$\sigma = \frac{m}{\pi r^2} = \frac{m}{A} \quad (67)$$

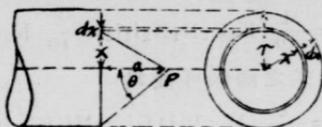
于棒磁石之端,取一半徑 x 及 dx 寬之小面積,則此對於單位磁極 P 之力爲

$$dF = \frac{2\pi\sigma dx}{a^2+x^2} \cdot \frac{a}{\sqrt{a^2+x^2}}$$

而對於電磁極之總力為

$$F = 2\pi\sigma a \int_0^r \frac{xdx}{(a^2+x^2)^{3/2}} = 2\pi\sigma(1 - \cos\theta) \quad (68)$$

此中  $\theta$  為電磁極端在 P 點所伸正錐體之半角。若 a



第三十二圖

與磁極之面積相比為極微， $\cos\theta$  幾近于零，則

$$F = 2\pi\sigma \quad (69)$$

設兩棒磁之兩端相距甚近，而其隣近面之磁化強度為  $+\sigma$  及  $-\sigma$ ，則一磁極對於另一磁極上  $dA$  面積之吸力，將為  $dF = 2\sigma \times \sigma dA$ ；而兩極間之總吸力將為

$$F = 2\sigma^2 A \quad (70)$$

自方程式(67)，得  $\sigma = \frac{m}{A}$ ；又因  $m$  單位磁極所射出之磁流為  $\Phi = 4\pi m$ ，故  $\sigma = \frac{\Phi}{4\pi A}$ ；因此，由方程式(70)

$$F = \frac{\Phi^2}{8\pi A} = \frac{B^2 A}{8\pi} \quad (71)$$

此方程式為設計起重電磁鐵之基本方程式。

## 習 題

1. 有一每邊長30呎之正方形線圈,置在一直立平面上與地磁子午線之面成30角度,若地磁之場強為0.41高,而其傾角為60度,問經此圈之總磁流量為若干?
2. 有二相似之細長磁棒A及B,各長20呎,集中于極端之磁強為150高,其長軸並行相距3呎,而A之北極與B之南極相距5呎,求使A依中點旋轉之偶力及其方向。
3. 一匝寬30呎長60呎之長方形線圈,以其30呎之邊直置在地磁子午線上,另取一小磁針置于與線圈面中心之垂直距離20呎處,若地磁之場強及方向如第一題,當線圈中有10安之電流時,磁針之轉角若干?
4. 試演本章第十節所已解之題,假定每彙線中之電流勻布於經中軸垂直之截面。
5. 一直徑15呎之飛輪,其平面東西向,每分鐘轉100次,設輪軸之直徑為一呎,地磁之場強及方向如第一題,問輪緣與輪軸之電位差若干?
6. 一15匝之集心圓電圈半徑50呎,在東北及西南向之平軸上每秒轉十次,設地磁之場強及方向如第一題,綫圈中所發生之平均電勢若干?線圈在何位置時電勢之值為最大?其最大之值為若干?

7. 一100匝之集心圓電圈半徑15公分，裝有耳式之軸承上其軸與線圈之直徑相印合，而垂直於地磁子午線線圈之平面與地磁之磁力線垂直方向同第一題。若線圈及相連電路之總電阻為200歐，將此圈速轉半轉時，問經此電路放出之電量若干？
8. 一圓絕緣的電線其電阻為250歐，裝在管上，管中有水流過，每分鐘流200立方呎。四週之空氣溫度為 $25^{\circ}\text{C}$ ；而水之原來溫度為 $15^{\circ}\text{C}$ 。今調節其電流使流出之水之溫度恆在 $35^{\circ}\text{C}$ ，問其電流當為若干？若空氣之溫度非 $25^{\circ}\text{C}$ 時，其演解相同否？
9. 一蓄電池有12電池放電後每池有18伏，每池之內阻為0.005歐，其規定充電率為10安。若將電池串聯而用110伏電路充電，問當用若干電阻接入電路，俾得規定電流。在充電將3時，每電池之電勢已升至2.5伏，問此時電流若干？
10. 有A、B、C、及D、四接線柱排列成四邊形之角，A與B與C及C與D間均各接以5歐之電阻，D與A間則接一15歐之電阻，B與D間接一線圈其電阻為10歐，而A與C間，則接一24伏之電池，其內阻為0.02歐，求電路各枝中之電流。
11. 試重演第十題設B、C間除5歐電阻外再加一4伏之電池，其內阻極微，可不計算。此4伏電池之電勢方向為

自 C 至 B; 而 24 伏電池之正極則接在 A 端。

12. 依十四圖, 假定三線制之下環有 110 伏之電動機一座與電阻器 B 並接, 設 A 與 B 之電阻不改, 而電動機上之負載適需 10 安之電流, (a) 試作此電路之電位圖, 及計算三線中每線之電流與電動機兩端之電差, (b) 設將上述之電動機移去而易一 220 伏之電動機接在 X 與 Y 間而需用 5 安電流, 試求 (a) 中各款, 及作位圖。
13. 將第二題之磁棒 A 之兩端互易, 須用工作若干?
14. 有二匝半徑 20 呎之圓形綫圈與第三題所述之長方形綫圈並置, 相距 30 呎。兩圈之中心在一與兩圈平面垂直之直線上。在連接兩中心之線之中途置一小磁針。若長方形綫圈之電流為 5 安, 問圓綫圈須有若干電流俾可使磁針不顯傾側? 兩電流之方向關係又若何?
15. 一細長磁棒 25 呎長有集心磁極磁強 200 高, 其兩端置在兩匝半徑 20 呎圓綫圈之軸上。磁之南極較近綫圈面, 其原來距離為 20 呎。綫圈中有 15 安之電流, 自磁棒一方面看時其方向為順時計向。若欲將磁棒沿軸移動直至南極在綫圈平面時, 問須用若干工作?
16. 有一石轉 100 匝之螺管, 其平均半徑為 5 呎, 長 25 呎。螺管之軸平放且在地磁子午線上。若此圈中有 15 安之電流自南端流向北端, 問欲以螺管就中心直軸轉動 90 度, 須若干工作?

17. 一鐵方環截面一方吋，平均直徑12吋若欲發生36,000麥之磁流，求所需安匝數且計算此環之磁導性及磁阻。當磁流減至20,000麥時，其磁導性當為若干？
18. 有一磁路由鋼片組成大小如圖296，惟其實在厚度僅全厚之百分之九十，因鋼片生銹，且鋼片間有空隙，若繞於中心之電圈發生相當於3500安匝之磁勢，問穿過此圈之磁流當有若干？求每邊之鋼片磁導性及氣隙之磁阻？
19. 試求第十七題中生鐵環之自感係數，設其線圈有100匝，若圈中電流適足生36,000麥之磁流，將電流及其所生磁流在0.001秒內，依平均速率減至零值，問所感應之電勢若干？
20. 兩線圈A及B集心相套，A圈中有電流時其磁流有百分之七十五與B圈相鏈，而B圈中有電流時其磁流有百分之九十五與A圈相鏈。當兩圈相串接而使其磁化方向相同時，兩圈之總自感為0.5亨；當其磁化方向相反時自感為0.06亨。求(a)每圈之自感係數，(b)兩圈之互感係數；(c)若兩圈相串接而有75安之電流，欲將B圈自磁化方向相同時之位置，轉動90度，問所須之工作若干？
21. 將十九題之A圈，繞成 $A_1$ 及 $A_2$ 兩半，完全偶合，B圈亦同樣繞成有完全偶合係數之兩半。假定線圈之平面皆相印合，求此四圈任意合併時所可能得之自感係值。
22. 若第十六題之生鐵環斷成兩半圓部分，每相接處之氣

---

隙為0.001吋,問須若干磅之拉力始可將兩半分開?若  
激磁仍舊,而將兩半分開至相距 $\frac{1}{2}$ 吋時,問其間之拉力  
幾何?

漢·王充《論衡》卷之六《論衡》云：「漢高祖皇帝元年，以十月十日，命呂尚、姜桓楚、黃子、周勃之等，封諸侯，以爲功臣。」

：呂尚

年 月 日

敬啓者茲定閱貴社出版之電工雜誌  
自第 卷第 號起至第 卷第 號止共  
期計大洋 元 角外加郵費 角 分  
一併匯上請將電工雜誌寄到下列地址爲  
荷此致

中國電工雜誌社經理先生

啓

地址：一

年 月 日

敬啓者茲敝 擬在貴電工雜誌上訂登全年  
面廣告一份自第 卷第 號起至第 卷  
第 號止廣告費 元 角 分當於該刊  
出版後寄繳此致

中國電工雜誌社廣告主任

啓

# 廣 告 目 錄

茂生洋行	一
益中機器公司	二
亞洲電器公司	三
萬泰洋行	四
安利洋行	五
工業技術股份有限公司	六
慎昌洋行	七
怡和洋行	八
禪臣洋行	九
古河電器公司 Scatt Harding	十
A. E. G.	十一
東方年紅電光公司	十二
中國電器公司	十三
羅森德洋行	十四
大華儀器公司	十五

M. A. N. Work	十六
天祥洋行	十七
斯可達工廠	十八
新通貿易公司	十九
天利洋行	二〇
中國自動電話公司	廿一
西門子洋行	廿二
通用電器公司 維昌洋行	廿三
孔士洋行	廿四
信昌機器公司	廿五
約克洋行 亞補耳電燈廠	廿六
法商長途電話公司	廿七
惠勒公司	封底內
得力風根	封底

電報

**AMERICAN TRADING CO.**  
OF THE FAR EAST, INC.  
**ENGINEERS-IMPORTERS-EXPORTERS**

電話  
15077  
15078  
15079

A MTRACO"

3 Canton Road, Shanghai



**行 洋 生 茂**



號三路東廣海上

Agents in China for:—

WILLIS-CHALMERS MANUFACTURING Co. Motors, Generators, Pumps, Mining, Saw Mill and Flour Mill Machinery, Engines, Turbines, Crushing and Cement Machinery, etc.  
ARMCO INTERNATIONAL CORP. Pure Ingot Iron Products.  
BAKER PERKINS, LTD. Confectionery and Biscuit Machinery.  
CONTINENTAL-DIAMOND FIBER Co. Vulcanized Fiber and Fibre Sheets, Rcds, Tubes.  
THE DYER COMPANY. Complete Sugar Plants.  
KRIE CITY IRON WORKS, Steam Boilers, Lentz Engines Pulverized Coal Burning Equipment.  
FORGROVE MACHINERY Co., LTD. Wrapping Machines.  
GALION IRON WORKS. Road Building Machinery.  
HANSON-VAN WINKLE-MUNNING Co. Polishing and Plating Equipment and Supplies.  
INGERSOLL-RAND Co. Ammonia Compressors.  
JEFFREY MANUFACTURING Co. Coal Mining Machinery.  
JEWELL EXPORT FILTER Co. Mechanical and Gravity Water Filters.

E. D. JONES BAGLEY AND SEWALL AND ASSOCIATED COMPANIES. Complete Paper and Strawboard Mills.  
EDW. R. LADEW Co. Leather Belting.  
OLIVER UNITED FILTERS, INC. Filtration Equipment.  
PACKAGE MACHINERY COMPANY. Wrapping Machinery.  
PARADON ENGINEERING Co. Water Purification Equipment  
SAVY JEANJEAN & Co. Confectionery Machinery  
STANDARD CONVEYOR Co. Conveying Machinery.  
B. F. STURTEVANT Co. Economizers, Fans, Ventilators, etc.  
SWISS SILK BOLTING CLOTH MFG. Co. (Schindler's).  
W. S. TYLER Co. Woven Wire Screening.  
UNION OIL COMPANY OF CALIF. Petroleum Products.  
WERNER PFEIDERER Co. Bread and Bakery Machinery.  
YORK SAFE AND LOCK Co. Vaults, Safes, etc.

啟行創立已七十餘年專營實業機器及進口出口各種工業原料等茲將所代表美國各廠之機器擇要臚列於下

愛利斯廠 各種發電機 馬達電板開關 自動電站 方棚 蒸氣透平 水力透平 各種

麵粉廠機器 開礦機器 水泥廠機器 各式抽水幫浦 鋸木廠機件 可立斯式引擎 吊

車及拖車等

衣立城鐵工廠 各式鍋爐 粉煤燃燒器等

斯多透文廠 各式風扇 改良調節空氣設備

備換氣暖氣設備 發電廠用之打風吸煤大風扇空氣加熱器等

此外如印刷 造冰 及冷藏 瀘粉造紙造糖

電鍍 各項機器 並有各種地球牌皮帶 紗帶 三紅線縐綉泰勒綢絲布 麵粉廠零件

阿姆可白鐵片 黑鐵片 方棚用鋼片 各種

車油 柴油等

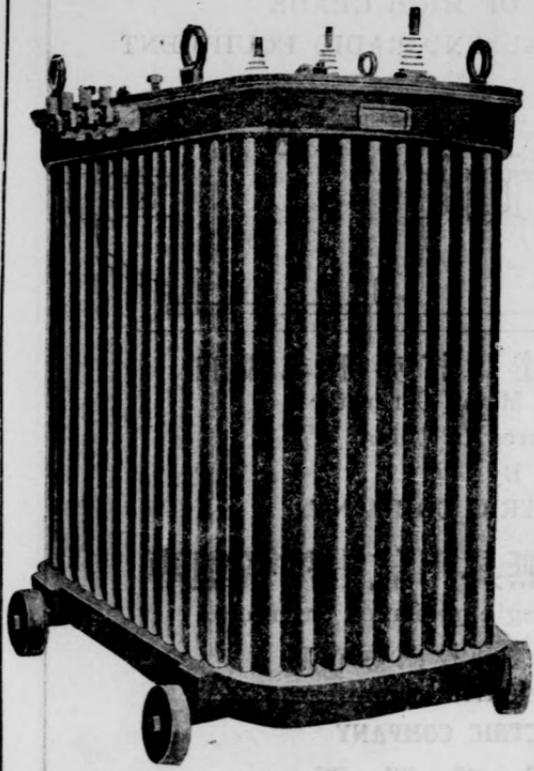
各貨目名繁多 不勝枚舉

事務所  
上海漢口  
路七號

# 益 中 機 器 公 司

## 製 造 變 壓 器

工 廠  
浦 東 洋 涇 港



商辦北水電股份有限公司用牌

運 到 者 誠 實 可 信 宜 購 用	貴 公 司 之 變 壓 器 具 使 用 經 年 成 績 良 好 是 誠	貴 公 司 精 工 製 造 之 國 製 機 械 皆 合 宜	之 購 光 良 用 仰 祈 垂 注 幸 甚 幸 甚	惻 忱 敬 祝	進 步 興 隆	益 中 公 司
---------------------	-------------------------------------	-------------------------------	---------------------------	---------	---------	---------

商辦北水電股份有限公司  
一九二一年七月七日

商辦北水電股份有限公司  
一九二一年七月七日

我國能自製變壓器者。惟本公司所造最為完善。本公司製造大小各種方棚。將近十載。工程之精密可靠。皆出於經驗。非徒恃學識。宜其國內諸大電氣廠一經採用。交相讚譽。本公司且有保單。確能擔保應用。

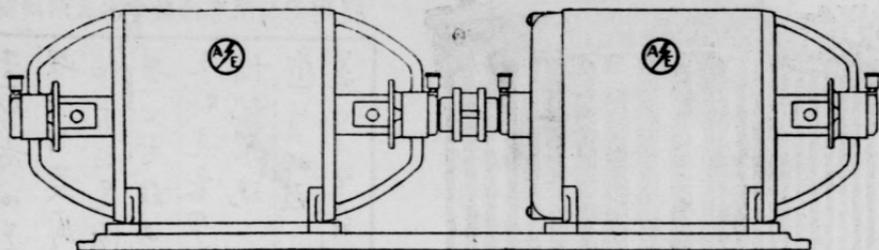
A S I A

ELECTRIC



COMPANY

MANUFACTURERS OF HIGH GRADE  
INDUSTRIAL ELECTRICAL AND RADIO EQUIPMENT



形圖之機電發達馬打弗千式製自

A 2000-Volt Motor Generator

Manufactured in China

By

ASIA ELECTRIC COMPANY

件另其及機電線無具用氣電種各製專

Consult with our long experienced engineers

切一劃計客代師技門專有聘

regarding your electrical requirements

ASIA ELECTRIC COMPANY

司公器電洲亞

Down Town Sales Office: 20 Museum Road

Telephone: 15692

Factory: 269 Baoadway, Phone: 40953

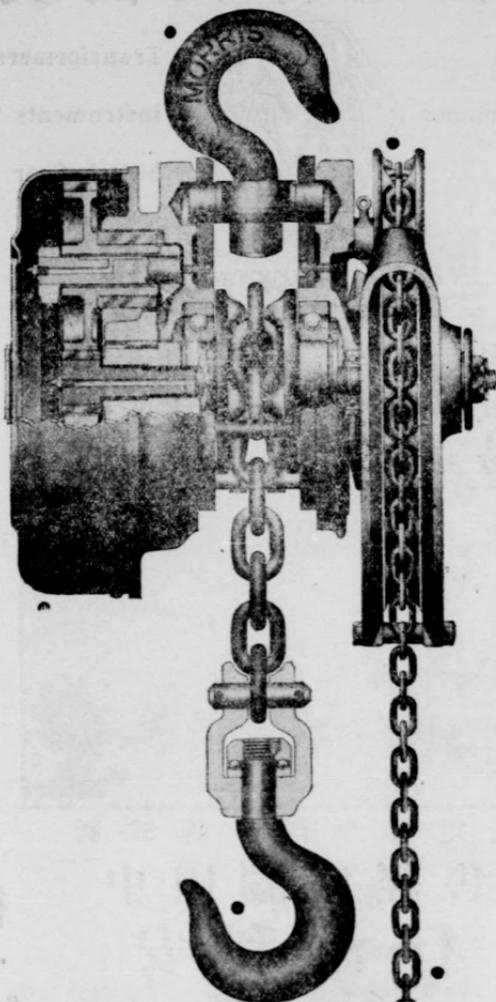
SHANGHAI, CHINA

二九六五一話電號十二路院物博海上  
三五九零四話電號九十六百二路匯老百設廠

# The World's Best Pulley Block

世界上最優良之滑車

英國馬立斯齒輪製造之  
鋼珠承軸三齒輪滑車



# MORRIS

BALL  
BEARING  
TRIPLE  
GEAR  
PULLEY  
BLOCKS.

HERBERT MORRIS LTD, ENGLAND  
SOLE AGENTS:  
INNISS & RIDDLE (CHINA) LTD.

7 Yuen-sing-Yuen Road, Shanghai,  
中國獨立經理

萬泰有限公司

上海四明園路七號

# 英 國 茂 偉 電 機 廠

Power Plant

Motors & Dynamos

Control Gear



Transformers

Instruments & Meters

Switch Gear

METROPOLITAN  
Vickers  
ELECTRICAL CO. LTD

開  
車  
易

管  
理  
便

裝  
置  
簡

用  
煤  
省

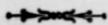
定 發  
價 電  
格 悉  
外 供  
從 外  
廉 用



可 省  
省 建  
無 築  
散 經  
置 費  
零 件

新 式 連 座 透 平 發 電 機

分 行



香 港  
哈 爾 濱  
奉 天

中 國 獨 家 經 售  
安 利 洋 行

總 行

上 海 南 京 路 外 灘 沙 遜 房 子 樓

電 話 一 一 四 三 〇

分 行



天 津  
漢 口  
北 京

# 工業技術股份有限公司

The China Industrial & Engineering Co., Ltd.

494-5 CHAPOO ROAD, SHANGHAI, CHINA.

敝公司專門製造計劃  
承攬代理各種機器材  
料及水電建築工程經  
驗宏富質料精良價目  
克己倚蒙  
賜顧無任歡迎

電話第四二七五八號

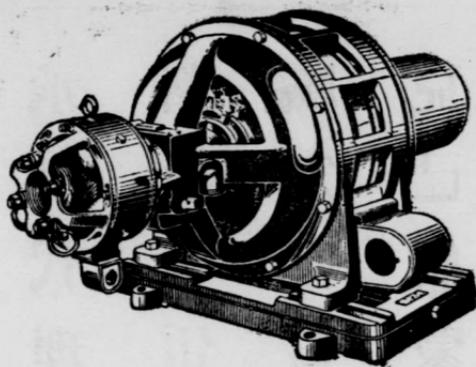
地址上海乍浦路第四九號

# A T B 式 交 流 發 電 機

十五至一百二十個半開維愛  
三相 六十週波

二百四十或二千三百伏而脫  
一千二百或九百轉

**熱度昇高不過攝氏四十度**  
直接勵磁器 皮帶盤及活動底盤俱全



## ◀ 特 色 ▶

電樞心之內疊有氣槽，通氣暢達熱度減低，線圈均係  
機製，整齊劃一。絕緣質不為潮濕 所侵永久安全。  
軸承四面封固，灰塵不能侵入。磁場線圈經過特種絕  
緣手續製成 構造堅實一效率宏大一熱度低平 電燈  
電力均可供給，力率在〇・八與一。〇之間

◀均可安全負載▶

注 意  商 標

駐 華 總 經 理

**美 商 慎 昌 洋 行**

上 海 及 外 埠



# 怡和旗牌離心滂浦

乃理想的抽水機最合於

灌溉及建築工程之用

- 二匹馬力 每分鐘出水二百五十伽倫
- 三匹馬力 每分鐘出水三百廿五伽倫
- 四匹馬力 每分鐘出水四百廿五伽倫
- 六匹馬力 每分鐘出水七百伽倫

輕而易舉 物美價廉

管理簡易無需專門技能

英商怡和機器有限公司

上海圓明園路八號甲





# SIEMSEN & CO.

SHANGHAI

HAMBURG

禪  
臣  
公  
司

專經理德國謫益吉電廠出品  
各種電氣測量器具  
各種電氣應用器具



各種電動機  
蒸汽溜輪機  
發電廠佈置

中國經理上海江西路四百五十一號

THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.,  
32, Jinkee Road, Shanghai.

古河公司廣告

敝公司經營鑛業。開採五金煤炭等鑛。分設工廠。加工製煉。出品精良。名馳內外。製造電線工廠，規模尤為宏大。堪號東洋第一。各種電線電纜，以及特別程式，均可製造。煙滬海底電線。即為敝公司所製。品質優良。為世嘉許。茲列營業項目。倘蒙惠顧。無任歡迎。

營業項目

電線 電纜 電報電話各種材料  
銀塊 銅塊 銅線 銅板 銅管  
銅棒  
電氣機器 蓄電池  
各種油漆  
鉛板 鉛管  
總公司設在東京

上海仁記路三十二號

古河公司啓

電話 一一二二二九〇

SCOTT HARDING & CO. LTD.,

ELECTRICAL ENGINEERS AND CONTRACTORS.

35 PEKING ROAD,

SHANGHAI.

SOLE AGENTS FOR:

BRITISH INSULATED CABLES LTD.,

Power, Light & Telephone, Wires & Cables of all description.

CROMPTON-PARKINSON LTD.,

Transformers, Switchgear, Motors, Alternators, etc.,

W. H. ALLEN SONS & CO. LTD.,

Turbines, Steam and Diesel Engines, Pumps, Condensing Plant, etc.,

RANSOMES & RAPIER LTD.,

Petrol Electric Mobile Cranes.

GUEST, KEEN & PIGGOTT LTD.,

Welded Steel Pipes and Pressed Steel Tanks.

ELLIOTT BROS. (LONDON) LTD.,

Electrical Measuring and Precision Instruments.

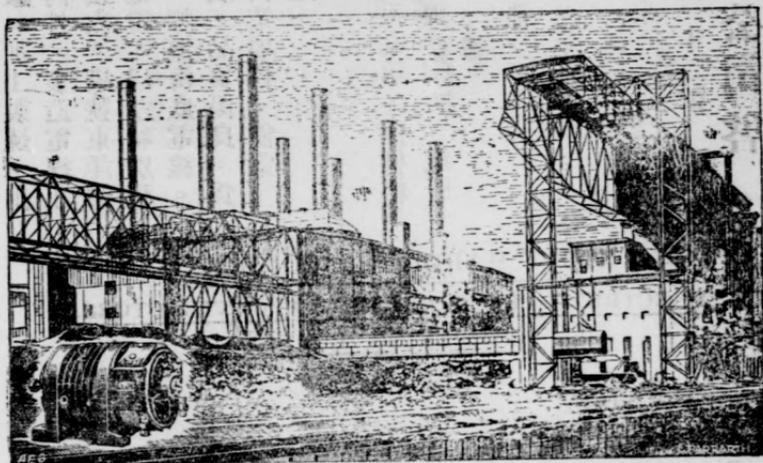
SMITH, MAJOR & STEVENS LTD.,

Passenger and Cargo Lifts.

請聲明由中國電工雜誌社〔電工〕介紹



此種商標為最優等  
電氣機械之標記



製造廠及  
總公司  
德國柏林



分 公 司  
上 天 奉  
海 津 天

藹 益 吉 中 國 電 氣 公 司



# 東方年紅電光公司

## EASTERN NEON LIGHT CO.

### 專製各色紅電光廣告燈

完全華商創辦

國府特許專利

●成績

滬上及各埠大商號所裝年紅電光招牌大半由本公司承裝無不光耀奪目成績優美茲又首先發明活動年紅電光燈裝置于汽車之上沿街遊行萬人注目

●效力

無論屋頂墻壁門額櫥窗店堂廳室皆可隨意裝置壹經裝就即能遠近注目招徠營業具有偉大之效力

●省電

較普通電光招牌可省電五分之四效力既大又經濟異常

●美觀

本公司聘有美術專家書繪各種文字圖案式樣玲瓏雅緻絕倫

●保證

本公司承裝各燈光芒萬丈歷久不變負責包用絕無晦暗不明等事

●優待

本公司一切出品工料精良裝置迅速定價低廉訂有租售及分期付款等優待章程設計打樣概不取費如荷

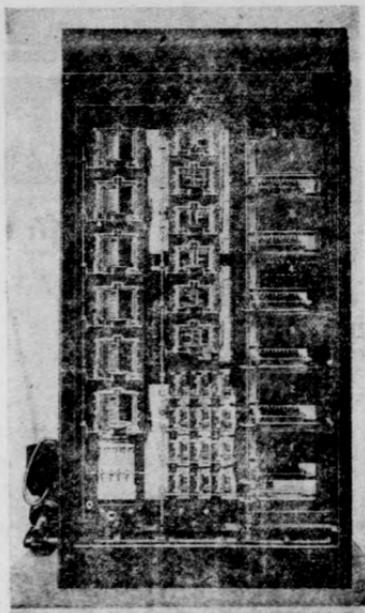
惠顧無論面洽或電詢無不竭誠歡迎並立派專員前來接洽

總公司上海北蘇州路一二七號電話四一七三三  
總廠上海寶山路西寶興里九八號電話開北一〇七四

# 中國電氣股份有限公司

THE CHINA ELECTRIC CO, LTD.

旋轉式自動電話係培爾電話系最新發明價目低廉維護簡易  
 使用尤其便利故已為法比瑞西等國採為標準全國一致裝用  
 即在我國境內上海華洋德律風公司廣州市及杭州等處亦已  
 採用 敝公司 為倍爾電話系中國境內之代表對於設計裝置等  
 一切工程皆富有經驗倘蒙



各界垂詢請 駕臨或 賜函接洽 敝公司 無不竭誠答覆也

總公司 上海江西路二百十二號

電話(四線)一一二二  
 電報掛號 六一一四

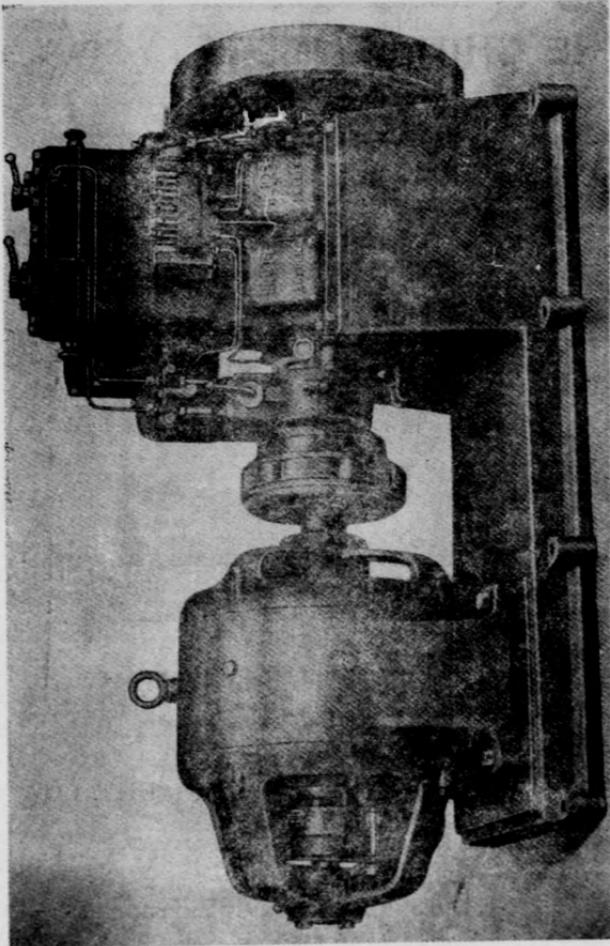
九八七〇

分公司

北平 天津 漢口 廣州  
 香港 奉天 哈爾濱

啟行獨家經理丹國名廠出品各種  
大小馬達電報電話機器電熱電動

DROTT'S Double Cylinder Motordynamo  
[德羅]牌柴油機直接發電機  
最宜用於小城市或電力



器具電線等項一應俱全

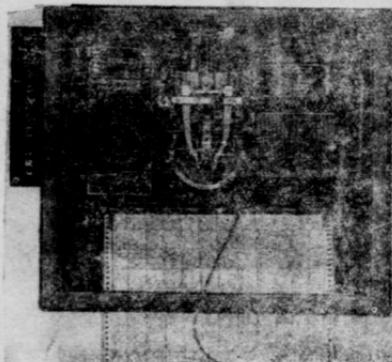
地址 上海愛多亞路四十四號  
電話 一六八三八

Sole Agent  
LARSEN, TROCK & CO.  
44 Avenue Edward VII  
上海羅森德洋行獨家經理

How To Reduce the Losses of  
Electric Plants !!!

USE

Leeds & Northrup Flue Gas Temperatures  
Potentiometer Pyrometer



L. & N. Potentiometer Pyrometer

Sole Agent:

CHINA SCIENTIFIC INSTRUMENT CO.

20 Museum Road Shanghai

Tel. 15692, Cable: Chisincomp

Catalogues Will be sent on request.

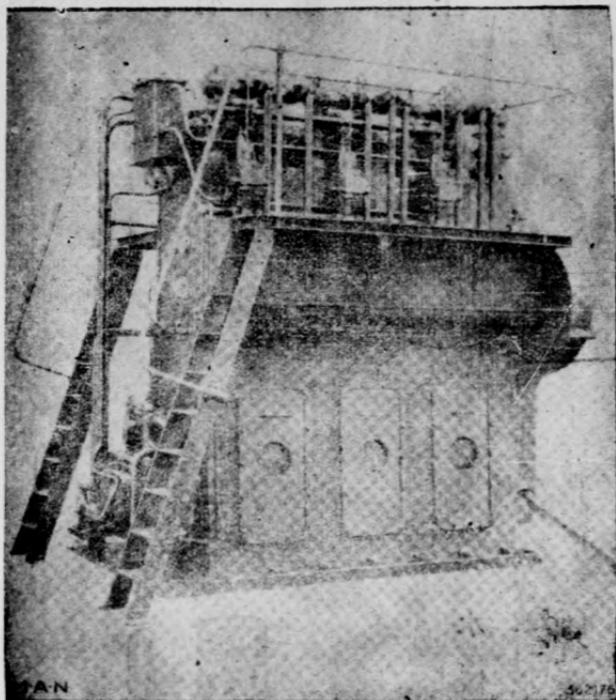
# M · A · N

MASCHINENFABRIK AUGSBURG NUERNBERG A. G.  
MECHANICAL INJECTION  
DIESEL ENGINES

## 孟阿恩無空氣注射帝賽柴油引擎

(一) 世界第一無帝賽柴油引擎出自孟阿恩廠

孟阿恩廠製造柴油引擎之成績



(二) 世界最大帝賽柴油引擎一萬五千匹馬力係孟阿恩式  
(三) 世界最大馬達輪船三萬二千噸載重所用柴油引擎為孟阿恩式

橋梁機器公司

孟阿恩

六隻汽缸一百九十四馬力孟阿恩柴油引擎  
上海分行備有中西文詳細說明書函索即寄  
Gutehoffnungshuette - M.A.N. - Works

China Branch

德商

【上海分行福州路一號】

機器鐵工鑄廠

喜望

# DELCO

LIGHTING  
SETS

WATER  
SYSTEM

## 德爾古

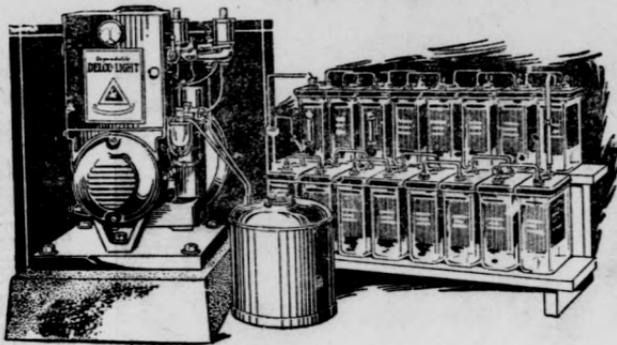
中國中部獨家經理  
上海天祥洋行

發電機

抽水

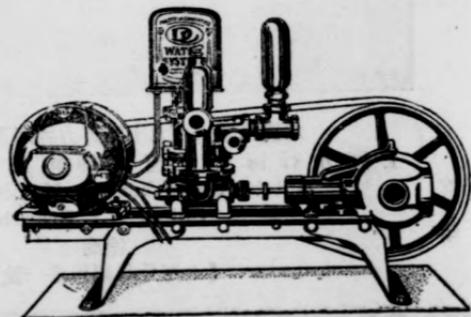
機種類甚多以供選擇備有全套零件專門機匠代為  
水顧客裝置及修理

德爾古電燈機結構精良歷久可靠早已全球著名  
所配電池更為經久耐用自七百五十至三千華特



德爾古抽水機分淺水及深水兩種能量自二百  
加格至八百加格吸水自淺水至三百尺共大小  
二十餘種工作完全自動無須管理用之于學校  
輪船醫院郊外旅館以及小規模之自來水廠等  
最為合宜備有詳細說明樣本函索必寄

天祥洋行機器部謹具



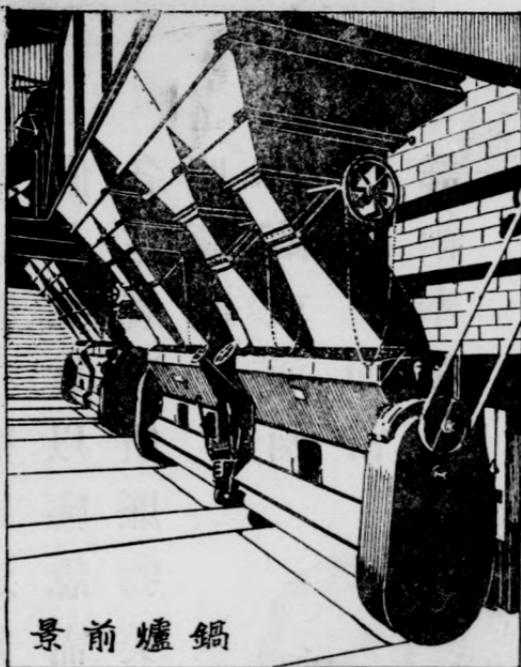
SKODA WORKS  
FAR EAST

斯可達工廠

分辦處

遠東總辦處

哈爾濱  
大連  
香港  
北京



鍋爐前景

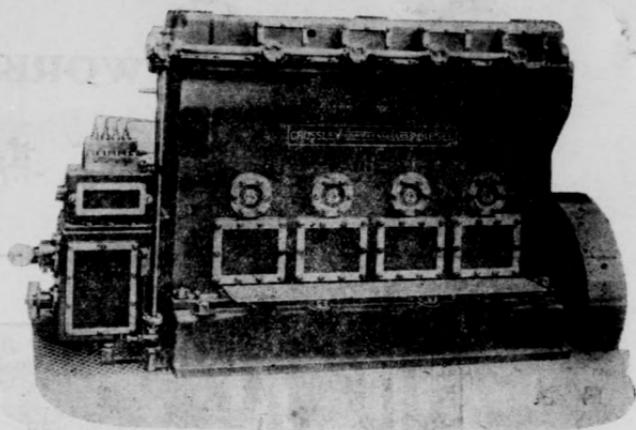
上海  
黃浦灘念四號  
總務部電話 一二九八九  
營業部電話 一〇三一八

本廠鍋爐，推銷於全世界，早著聲譽。駐滬辦事處成立未久，即蒙南方各大電廠紛紛訂購。茲將各公司之採辦本廠大鍋爐者，摘錄如左：

上海開北水電公司  
上海南市華商電氣公司  
福州電氣公司  
蘇州電廠有限公司

四座  
三座  
一座

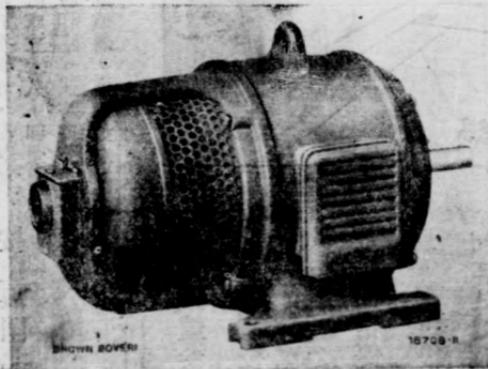
按上海開北水電公司，初向本廠訂購大鍋爐叁座，裝置後正式開車，成績異常優良。最近復向本廠續購壹座，凡此俱足證明本廠所造之鍋爐，深為中國大廠家所樂用也。

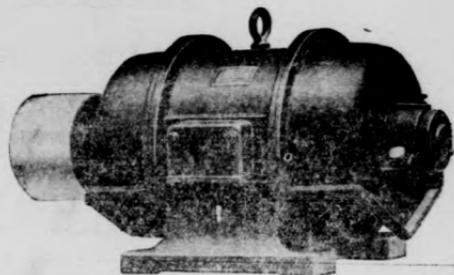


新通貿易公司謹啓

上海九江路二十二號  
天津法租界基泰大樓

本公司經理英國克勞司萊  
廠各式柴油引擎及瑞士卜  
朗比廠各種馬達發電機並  
備有現貨以應急需并承辦  
各電氣廠價廉物美如蒙  
賜顧請  
駕臨或通函  
敝公司即當  
詳細奉覆





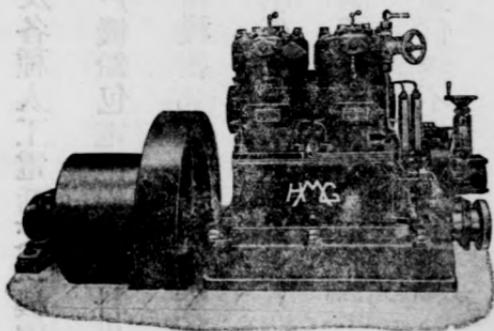
本行經理德國薩克森電機廠各  
 種馬達及大小發電機並承辦各  
 種電汽廠並經售 H M G 水陸笛士  
 爾柴油引擎大小馬力均備有現  
 貨價廉物美如  
 蒙賜顧請駕臨  
 或通函 敝行即  
 當詳細奉復

上海

天利洋行謹啓

江西路四百二十一號

電話一〇八二七號



AUTOMATIC TELEPHONES OF CHINA

FEDERAL INC. U.S.A.

Sole Agent for THE AUTOMATIC ELECTRIC CO LTD.

# 中國自動電話公司

## 獨家經理美國自動電話器公司

製造廠設在美國芝加哥分廠設在英國利物浦及比國愛  
德華浦專門製造自動電話及各種人工電話交換機電話



用戶機鉛包電纜線路材料馬達

發電機蓄電池與其他各種電料

價格低廉材料堅固如蒙

垂詢請 駕臨敝公司面洽或隨

時通信無不竭誠答覆也

總 上海 沙遜大厦二二六號

公 電話 一六一一五號

司 電報掛號 英文 STROWGER  
中文 五二六一號

遼寧分公司 遼寧三經路四九號

## 西門子電機廠

承辦所有一切電氣事業

上海江西路二十四號

天津 北平 遼寧 漢口 香港

廣州 重慶 廈門 哈爾濱

代理處

通用電器有限公司

分公司

漢口 天津

上海寧波路三二至五二號 電話掛號七二七八

大連 香港



啟公司發售之機器  
電器在英國均有專  
廠製造如各種電燈  
機器馬達發電機  
電表方棚電梯  
無線電話水汀  
透平開礦機器  
轉運機器等名目繁  
多不及細載  
並經售各式引擎  
鍋爐皮帶鋼繩  
開井機器抽水機  
器探海燈銅料  
鋸鏈煙絲刀等  
啟公司電器部專  
售馳名G.E.C.木牌  
各種電器並各式  
結緞花罩吊式  
各式木牌電風扇  
各種電線電纜家  
用電爐電熨斗  
以及各種電器附件  
電燈另件無不  
俱備並雇專家代  
客設計各種電氣工  
程如荷賜顧至  
所歡迎

通用電器公司  
出品一覽

SKF

BALL AND ROLLER  
BEARINGS  
TRANSMISSION  
ACCESSORIES  
LINE SHAFTING

品上以羅網  
傳及勒珠各  
動他軸種  
用軸領

THE  
EKMAN  
FOREIGN AGENCIES, LTD.  
SHANGHAI

海上  
行洋昌維

# 愛 林 電 機

奧國最大愛林電機製造廠出品

及 電 發 電 變 水  
 各 種 動 電 電 鉅 銀  
 電 機 機 器 壓 整  
 機 器 器 器 流  
 良 驗 電 梯 蓄 件 壓 一 機 於 造 愛  
 豐 爐 及 電 車 長 切 及 強 各 林  
 富 電 起 池 電 途 器 閘 電 種 電  
 製 鐘 重 電 傳 具 板 方 大 機  
 造 等 機 車 電 高 上 面 小 廠  
 精 經 用 電 機 電 電 電 關 製



愛 林 發 電 機 與 水 輪 機 直 接 相 裝

機 器 壽 命 最 長  
 工 作 安 全 最 大



經 濟 效 率 最 高  
 設 置 成 本 最 低

## KUNST & ALBERS, SHANGHAI

上 海

上海四川路念九號 孔 士 洋 行 電 話 一 八 七 三 九 號

機 器 部

分 經 理 處

漢 口

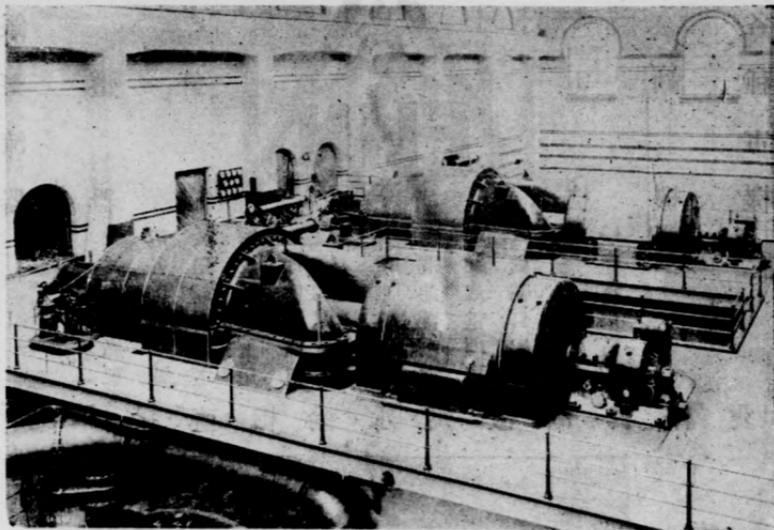
南 京

哈 爾 濱

# The Worlds Most Efficient Turbo Set

## 世界上效率最高之透平機

因此機計劃之適當得此驚奇的效率不但新裝時如與即  
使用多年之後仍然相同



經局外工程師試驗有百分之八〇・四之效率獲世上  
未曾有之最高紀錄

15,000 K. W. PARSONS Turbo Plant

一萬五千啓羅瓦特派生氏透平機

Tested by independent Engineers this plant Showed the remdrkable efficiency of 80.4% - the highest ever recorded.

Owing to the nature of the design this wonderful efficiency is obtained not only when the Plant is new but after years of working.

# C. A. PARSONS & CO., LTD

Sole Agents:

THE CHINA ENGINEERS, LTD.

15 Museum Road, Shanghai Telephone No. 11269

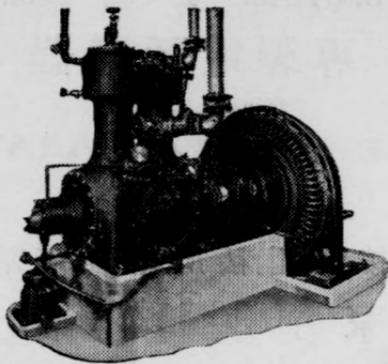
派生氏有限公司

駐華總經理

信昌機器工程有限公司

上海博物院路十五號電話 11269

YORK  
ICE MAKING AND REFRIGERATING MACHINERY

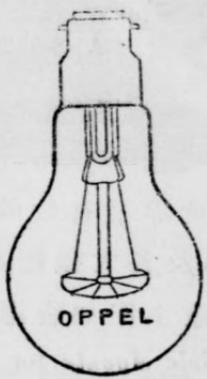


YORK SHIPLEY INC.,  
21 JINKEE ROAD,  
SHANGHAI

美國約克廠造製冰及冷藏機器

上海仁記路二十一號約克洋行

本公司出品老牌亞浦耳國貨  
電燈泡將近拾年久著聲譽近  
更擴充營業添製哈甫燈泡電  
風扇馬達電火爐五彩果子泡  
等以應愛用國貨之需求本公



法不僅精美耐用而且定價低  
廉非舶來品所能與之媲美也

司一切  
出品悉  
本最新  
科學方

中國亞浦耳電器公司

廠址遼陽路十四號

發行所北浙江路八百二十號

# 倫敦先門兄弟有限公司

SIEMENS BROTHERS & CO., LTD., LONDON.

## 專製電話機器

*Manufacturers of*

### TELEPHONE APPARATUS

承裝世界各處

自接,手接,公用,私用,全套電話之設備

獨家創製 “內話風”



為世界最有效的電話機

英國郵電部及各大機關認為標準電話機

一九三〇年之承造工作如香港及遼寧之自接電話局

*Sole Agents for China*

Société Française des Téléphones Interurbains

6, Kiukiang Road, Shanghai,

中國總經理法商長途電話公司

# 中國電工雜誌社

## 贊助機關

建設委員會  
交通部  
中國工程學會  
交通大學  
浙江大學工學院

中央大學工學院  
北平大學工學院  
東北大學理工學院  
浙江省電話局

## 特約撰述

張廷金	裘維裕	李熙謀	潘銘新	鮑國寶	溫毓慶
莊智煥	陸法曾	周琦	吳玉麟	王季同	易鼎新
張百鋼	柴志明	李範一	朱其清	王崇植	張承祐
禔震	趙以塵	俞汝鑫	吳維嶽	郁秉堅	朱物華
陳體榮	倪俊	徐恩第	陳章	沈嗣芳	楊耀德
許琨	謝宅山	金溥	許應期	曾心銘	壽俊良
陳中熙	諸水本	周茲緒	馮簡	洪傳炯	余謙六
胡汝鼎	倪尙達	李開第	章名濤	徐志方	沈昌
包可永	王冠英	金龍章	楊祖植	薛紹清	任之恭
楊簡初	周玉坤	譚翊	顧毅同	王宗澄	楊景燧
薩本棟	湯兆恆	馬執雲	朱纘祖	朱允	潘炳天
陳良輔	宗之發	曹鳳山	鄧福培	于潤生	錢福謙

# 電 工

THE JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING

(ISSUED BI-MONTHLY)

## 編輯及發行者

中國電工雜誌社

## 社址

暫設杭州浙江大學工學院

## 顧問

李熙謀 潘銘新 張貫九  
裘維裕 鮑國寶

## 編輯

顧毓琇 趙曾珏  
杭州浙江大學工學院  
鍾兆琳  
上海交通大學電機工程學院

## 經理

胡瑞祥  
杭州浙江省電話局  
張惠康 徐學禹  
上海北蘇州路一二七號

稿件廣告

請寄浙江大學工學院  
請函上海北蘇州路一二七號張惠康

定報

請函杭州浙江大學工學院轉本社  
胡瑞祥

## 廣告目表

Advertising Rates Per Issue

全 面	三十元
Full Page	\$30.00
半 面	二十元
Half Page	\$20.00

廣告概用白紙，繪圖刻圖工價另議  
• 欲詢詳細情形，請逕函上海北蘇州路一二七號張惠康接洽。

## 本 刊 定

零 售	每冊大洋三角
年 訂	每年大洋一五角

郵 費 國內每冊四分  
國外每冊二角

蒙古新疆及日本照國內  
香港澳門照國外

定刊地址 杭州浙江大學工學院轉本社

印刷者：浙江省立圖書館鉛印部

Printer: The Printing Department of Chekiang  
Provincial Library

中華民國廿四年八月拾四日收到