

547513

科學圖書大庫

高壓電工技術叢書(上)

譯者 羅國杰

44

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

高壓電工技術叢書(上)

譯者 羅國杰

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

# 科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員  
編輯人 林碧鏗 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十七年六月九日初版

## 高壓電工技術叢書(上)

基本定價 2.80

譯者 羅國杰 國立成功大學電機工程系畢業

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號  
7815250 號  
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥帳戶第 15795 號  
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

## 我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成爲事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤爲社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能爲蔚爲大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員林碧經氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。爲欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

**自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；**

**旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；**

**大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者**

主動地精選最新、最佳外文學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

**徐氏基金會 敬啓**

**中華民國六十四年九月**

# 原 序

如衆所知，電工事士法被先公佈施行，受此衝盪，掀起法規的電工程技術者體制之整備；雖說已全盤的整頓了一番，但由於技術演進是不斷的，故並不能以此滿足。現在電工程技術者受各界喊催需要更提高一層技能水準之聲正殷，因此日本電氣協會在有關當局之指導下，以其有電工事士資格者爲對象，以更提高其技能水準爲目標，決定實施高壓電工程技術者檢定考試，並且已繼去年十一月之第一屆檢定考試之後，將於本年十月舉辦第二屆檢定考試。

起初電氣工事教育委員會爲檢定講習而編集電工事士教科書，幸蒙衆衆好評歡迎，現爲高壓電工程技術者應試，仍本此目標而致行。不過教科書之編集並非爲單一應試人員，而應爲衆多欲修習高壓電工程技術之諸君而多多考慮便益。不巧的在編集進行中，電的工作物規程修改，加以執筆諸先生的日常業務繁忙，拖延良久，好在終已脫稿，付梓之中。

由於爲趕上本年度的檢定考試，早些送到應試的諸位手中，或將有推戴不盡之處，此等缺漏，必於再版時補足，但願本書能被有志於高壓電工程的技術者利用，有助於其修習養成。

末後，對於編集本書執筆的各位先生之辛勞，及賜予種種指導及鞭撻的瀨川顧問及參與的各位先生、委員的熱誠，表示十分的謝忱。

1963年8月

社團法人日本電氣協會內  
電氣工事士教育委員會  
委員長 深尾榮四郎

## 改訂序

本書如初版之序提及，係為有志於高壓電工程技術的人們而編著的教科書，於昭和38年初版發行，其後隨著新的電業法為根據而修正的電設備技術基準，及由日本電氣協會內電氣技術基準調查委員會之手制定完成之全國統一的內線規程或電工事業法之公佈施行，已加予合適必要的改訂，而被高壓電工程技術者檢察考試之準備上所利用至今。

不過本年1月又見電設備技術基準大幅地修改，決定自2月起施行之外，隨著內線規程的修改亦須予修正，乃有本書此次之改訂。於此將修改點均加於編入，改訂發行

除對於百忙中分勞執筆改訂的各位先生深表謝忱外，並願本書更廣被欲修習高壓電工程技術之諸君所利用，有助於技能之修習。謹誌之為改版之序。

1972年6月

社團法人日本電氣協會內  
電氣工事士教育委員會  
委員長 深尾榮四郎

## 電工事士教育委員會名簿

順 參	問 與	能源資源廳長官官房審議官……………	井上力
		能源資源廳公益事業部技術課長……………	中村守孝
		札幌通商產業局公益事業部長……………	早川正彥
		仙台通商產業局公益事業部長……………	山田俊英
		東京通商產業局公益事業部長……………	富士原智
		名古屋通商產業局公益事業部長……………	西田誠次
		名古屋通商產業局公益事業富山支局長……………	山下常太郎
		大阪通商產業局公益事業部長……………	石田齊
		廣島通商產業局公益事業部長……………	山野澤輝夫
		四國通商產業局公益事業部長……………	岩崎出
		福岡通商產業局公益事業部長……………	香田昭
		自治省消防廳預防課長……………	永瀨章
		北海道電力株式會社營業部長……………	戶田一夫
		東北海道電力株式會社配電部長……………	遠藤市彌
		東京道電力株式會社營業部長……………	西尾祥雄
		中部道電力株式會社配電室長……………	倉岡澄
		北陸道電力株式會社營業部長……………	南日寬
		關西道電力株式會社配電部長……………	東松孝臣
		中國道電力株式會社營業部長……………	才木彌太郎
		四國道電力株式會社配電部長……………	今村晶正
	九州道電力株式會社配電部長……………	河野敏男	
	東京理科學大學……………	田邊隆治	
	電氣工事會社連絡協議會會長……………	永野勇	
	全日本電氣工業業工業組合連合會會長……………	米澤外秋	
	日本電設工業協會技術委員會委員長……………	池田榮一	
	日本電氣用品試驗所理事長……………	深尾榮四郎	
委 員 長		東海大學教授……………	巽良知
副 委 員 長		日本電氣協會專務理事……………	大島五郎
委 員		能源資源廳公益事業部技術課運營班長……………	長田喜八郎
		北海道電力株式會社營業部配電課長……………	熱田博司
		東北電力株式會社配電部配電課長……………	遠藤文夫



東京電力株式會社營業部配電管理課長	鶴田善二
中部電力株式會社配電室課長	鈴木哲
北陸電力株式會社營業部課長	大谷清夫
關西電力株式會社配電部配電課長	上山清治
中國電力株式會社營業部課長	旭爪由一
四國電力株式會社配電部配電課長	秋山喜由
九州電力株式會社配電部配電計劃課長	川津清
關東電氣工事株式會社開發室長代理	岩田幸雄
關東電氣保安協會	廣瀬義男
日本電氣協會通信教育部長	古屋武夫

# 目 錄

## 第一篇 電的基礎理論及測定

### 第一章 電的基礎理論

- 第一節 單位…………… 1
- 第二節 靜電…………… 4
- 第三節 直流回路…………… 18
- 第四節 磁…………… 33
- 第五節 電流與磁性…………… 38
- 第六節 交流基礎知識…………… 48
- 第七節 單相交流電路…………… 60
- 第八節 三相交流電路…………… 81

### 第二章 測 定

- 第一節 總論…………… 102
- 第二節 指示電表的種類…………… 108
- 第三節 指示電表的誤差與規格…………… 109
- 第四節 可動線圈型電表…………… 115
- 第五節 可動鐵片型電表…………… 116
- 第六節 感應型電表…………… 117
- 第七節 整流型電表…………… 120
- 第八節 電流力測型電表…………… 121
- 第九節 靜電型電表…………… 123
- 第十節 熱型電表…………… 125

- 第十一節 其他電表…………… 126
- 第十二節 電阻的測定…………… 134
- 第十三節 電壓、電流測定範圍的擴大…………… 146
- 第十四節 交流電力的測定…………… 155
- 第十五節 功率因素的測定…………… 168
- 第十六節 頻率的測定…………… 170
- 第十七節 其他測定…………… 171

## 第二篇 電的機器與電力應用

### 第一章 電的機器

- 第一節 變壓器…………… 174
- 第二節 特殊變壓器…………… 188
- 第三節 感應電動機…………… 196
- 第四節 直流機…………… 210
- 第五節 同步機…………… 217
- 第六節 交流整流子電動機…………… 222
- 第七節 斷路器…………… 224
- 第八節 電容器…………… 226
- 第九節 整流器…………… 228
- 第十節 蓄電池…………… 231

### 第二章 電力應用

- 第一節 照明…………… 234

第二節 電熱.....	245	第四節 設備的保養維護.....	256
第三節 電動力利用.....	249	<b>習題的解說與答</b>	

# 第一篇 電的基礎理論及測定

## 第一章 電的基礎理論

### 第一節 單位

電與磁的現象，如按理論計算說明，則不論用什麼方式，皆會用到「單位」。「單位」者，量度方面的基準也。在長度方面有米（m），千米（km），厘米（cm），呎（ft），哩等，質量方面有克（g），千克（kg）等，時間方面有時、分、秒等。

長度、質量、時間為一切單位的基礎，故長度、質量、時間合稱為基本單位。其他單位，則大多由此三種導出，例如

$$〔速度〕 = 〔長度〕 \div 〔時間〕 = 〔長度 / 時間〕 \cdots \cdots (1-1)$$

$$〔面積〕 = 〔縱 \times 橫〕 = 〔長度〕 \times 〔長度〕 = 〔長度〕^2 \cdots (1-2)$$

#### 1-1 MKS 單位

處理電的理論或電機問題，通常採用科學的，且合理的MKS單位系。MKS三字，實為長度、質量、時間的單位頭一個英文字母：長度單位米（Meter）的M，質量單位千克（Kilogram）的K，及時間單位秒（Second）的S併成的單位系。

本書亦將用MKS單位，長度以米（m），質量以千克（kg），時間以秒（s）為單位，對於電磁理論方面，則再加上安（amp）為基本單位。

**例題** 東海道新幹線飛光號快車，能在約3小時10分（3.166小時）跑完東京大阪間實際距離552千米。平均速度多少？

$$[\text{速度}] = \frac{[\text{距離}]}{[\text{時間}]} = \frac{552}{3.166} \approx 174 [\text{km/h}], \text{此平均時速為 } 174$$

千米, 如以MKS單位系表示此速度, 則應寫為

$$[\text{速度}] = \frac{[\text{米}]}{[\text{秒}]} = \frac{552 \times 10^3}{(3 \times 60 + 10) \times 60} = 48.42 [\text{m/s}] \text{ 秒}$$

速為 48.42 米。

本單位系包括此四個基本單位, 所導出的「導出單位」及常用如瓦(W)的「實用單位」, 再附加厘米(cm), 毫米(mm), 平方毫米(mm<sup>2</sup>), 千米(km), 千瓦(kW)等「補助單位」而成。

國際單位系(SI), 已規定更詳盡合用的單位, 如下:

基本單位: 長度[m], 質量[kg], 時間[s], 電流[A], 熱力學的溫度[K], 物質質量[mol], 光度[cd]。

補助單位: 平面角度[rad], 立體角[sr]。

得選擇併用的單位:

(a) 10的整數倍: M(10<sup>3</sup>), K(10<sup>3</sup>), d(10<sup>2</sup>), c(10<sup>-2</sup>), m(10<sup>-3</sup>), cm<sup>2</sup>, mm<sup>2</sup> 等接頭語。

(b) 慣用語: 質量[噸], 容積[升], 時間[時或分], 角度[度、分、秒], 溫度[°C], 氣壓[巴], 電子伏特[eV]。

表 1

SI 單位與舊行單位關係, 有關電工學部份, 如下:

量	單位	稱呼	說明及換算值
力	N	牛 頓	1N = 1 kg · m/s <sup>2</sup> , SI 採用 kg 為質量單位, 不用 kgf, kgm 為力之單位。1 kgf = 9.80665 N, 1 N = 0.101972 kgf。
力矩	N·m	牛頓·米	1 kgf · m = 9.81665 N · m
壓力	Pa	巴 斯 噶	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> , 1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa, 1 kgf/cm <sup>2</sup> = 9.80665 Pa, 1 kgf/cm <sup>2</sup> = 0.0980665 Pa, 1 atm = 0.76 mHg, 1 atm = 0.101325 MPa (atm = 氣壓)
功 電能量 熱量	J	焦 耳	1 J = 1 N · m, 1 W · s = 1 J, 1 kgf · m = 9.80665 J, 1 Wh = 3600 W · s = 859.845 cal <sub>IT</sub> , 1 cal <sub>IT</sub> = 4.1868 J, 1 cal = 4.18605 J = 1/860 Wh (註: cal <sub>IT</sub> 為國際卡)
電功率	W	瓦 特	1 W = 1 J/S 1 kg f · m/s = 9.80665 W
熱力學溫度	°K	克 耳 文	1 K 為水之三重點溫度的 1/273.16 溫度, t°C = (t + 273.15)°K, 表示溫度或溫度差時, 得以°C代替°K。
電 導	S	西 門 子	又叫姆歐 (Ω <sup>-1</sup> ), 導以 σ 表示。
磁通密度	T	韋 伯 拉	W <sub>b</sub> /m <sup>2</sup> 稱為 T。

## 1-2 MKS單位系與導出單位

長度以〔L〕，質量以〔M〕，時間以〔T〕之記號表示，由此導出之其他量度稱為次元，以此表示前節已提過的速度及面積，則如下：

$$\text{速度的次元式} = \frac{[L]}{[T]} = [L][T]^{-1}$$

$$\text{面積的次元式} = [L] \times [L] = [L]^2$$

速度係將火車移動距離以時間除者，故單位為〔m/s〕，面積為長度相乘，即平方，故平方米為單位。

火車或電車如行走中速度變更，例如說電車由車站出發開始一段時間，速度一直在變化增多，此即速度對時間的變化，稱為加速度。

加速度 = 速度 / 時間，故

$$\text{加速度的次元式} = \frac{[L]}{[T]} \times \frac{1}{[T]} = [L][T]^{-2}，\text{單位為} [m/s^2]。$$

有加速度則運動中物體必受力，例如在火車中，與火車進行方向同向而坐著的人，於起動時背部受力壓向椅背，火車減速時受反向的力，這是常遇的經驗。此力（F）越在加速度（ $\alpha$ ）大時，運動的質量（m）越大時，皆越大。以式表示，則為

$$F = m \alpha \dots\dots\dots (1-3)$$

由此得到力的次元式為〔M〕×〔L〕〔T〕<sup>-2</sup> = 〔M〕〔L〕〔T〕<sup>-2</sup>。在MKS單位系中，力的單位採用牛頓，以〔N〕表示。地球上有質量的物體，皆受向下的重力作用。吾人軀體，經常受有此種重力作用。此可認為同於地球向其重心有加速度之情形。如以（g）表示地球的重力加速度，則物體所受之力，可以與運動中物體所受的力一樣，以F = mg〔N〕表示。

式中g稱為地球的重心加速度，其值為9.8 m/s<sup>2</sup>。人持1 kg重量的物體，所受之力為1〔kg·f〕 = 1 × 9.8〔kg·m/s<sup>2</sup>〕 = 9.8〔N〕

$$1 [N] = \frac{1}{9.8} [kg \cdot f] = 0.102 [kg \cdot f]$$

## 1-3 能量的單位

能量可定義為有做功潛能的能力，更具體的說，則如水力發電所之高處的水，火力發電所用的煤、重油等，皆存藏著能量。汽車運搬貨物時，需要耗費能量。對於物體施予F〔N〕之力，使之移動1 m所做工作（能量）W

$= F [ N ] \cdot \ell [ m ] = F \ell [ N \cdot m ] = F \ell [ J ]$ 。J為焦耳，1焦耳係對於物體施加1N之力，使物體移動1米之功，亦即功之單位。

人出力拖引貨車移動貨車某距離，對人來說係完成某一種工作，做了「功」。

發電機是發生電能的機器，馬達是消費電能而以軸做機械功之機器。電熱器是將電能轉換為熱能的器具。

機器能量對時間的變化為每秒1焦耳時，此功率稱為1瓦（W）。

$$1 [ W ] \times 1 [ s ] = 1 [ J ], 1 [ W ] = 1 [ J/s ]$$

1 [ 瓦·秒 ] 為能量的單位，亦即為1 [ 焦耳 ]。關於1 [ 焦耳 ] 的大小，讓我們由下列數據，得出更深刻印象：

$1 [ W ] \times 1 [ \text{小時} ] = 1 [ W ] \times 60 \times 60 [ s ] = 3600 [ J ]$ ，即1 Wh = 3600 J。Wh為電氣的能量單位，該千倍1000 Wh即為1 kWh 稱為1瓩時，為吾人習以為常，俗稱1度者。

電功率又稱電力量，亦即電度（kWh）與熱（能）量（kcal）皆為能量的單位，故可換算。兩者間猶如稱1 m = 3.38 呎一樣的關係，以式表之，為

$$1 \text{ kWh} \doteq 860 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} \doteq 0.00116 \text{ kWh}$$

1 kcal 者，能將1 kg 昇溫1°C之熱量也，為熱量能之單位。電氣器具係將電能轉換，如馬達為機械力，電熱器為熱能，照明器具為光者，但如將變換中所失能量加入考慮，則得變換前後能量相等，亦即儘管能之形態改變，能量絕不會行方不明與減少，此申論稱為能量不減定律。

### 【本節的整理】

現在廣用的單位是MKS單位系。由米、千克、秒、安四個基礎單位而成。由基礎單位演繹導出種種「導出單位」。本節敘述此種單位，同時亦記述次元式之形成構想，及有關加速度、能量等，在電的理論為最肝要者，已以最短小篇幅予以解釋。

## 第二節 靜 電

凡是電的理論，皆依實驗而做出理論。從求證理論的方法中造出今日的理論體系。研讀節章時，請將現象及理論，同時映入腦海比對思考。

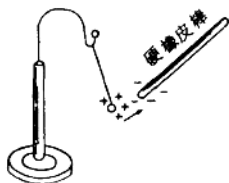
## 2-1 帶電的電荷

乾燥的二樣物體，例如玻璃或橡膠與毛皮或絹布摩擦時，其一會帶正（+）電，另一帶負（-）電。此類電現象的電稱為靜電現象。認為物體表面因有同樣極性的電顆粒結集使然。表示這種荷電量的多少，稱為電荷。

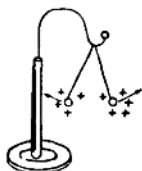
正負電荷皆可單獨地分別取出，茲將絕緣的正電荷金屬球為例，將分取經過及必會發生的現象，說明於下：



圖 2-1 引出於金屬體的電荷



(a) 正負電荷之間的作用力是吸引力



(b) 同符號的電荷之間的作用力是相斥力

圖 2-2 電荷之間的作用力

第 2-1 圖之金屬球支柱如沒有良好絕緣，電荷必即逃離跑入大地。因此雨中無法試驗靜電現象。如支柱絕緣良妥，則末端金屬球會有正負異電荷間的吸引力作用，及正或負同性電荷間的相斥力作用（第 2-2 圖(a), (b)）。此作用力在電荷多時表現強而有力，故知電荷有「量」的性質存在。電荷單位採用庫侖〔C〕。

靜電現象在冬天乾旱季節裡發生，吾人能覺察出它存在。纖維工廠製造過程的靜電現象妨礙製造，令人生厭；精製油工廠或乙醚處理工廠，常因靜電的火花釀成爆炸，故航機外殼帶電。常見運搬汽油的油櫃車後面繫鍊拖地而過，就是為了讓這些電荷逸走（進入大地）。

雷為此種電現象中最大規模，且為大自然現象者。此類生電原因，自古說法紛紜，迄無定論。帶

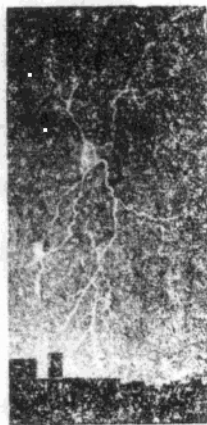


圖 2-3 雷放電

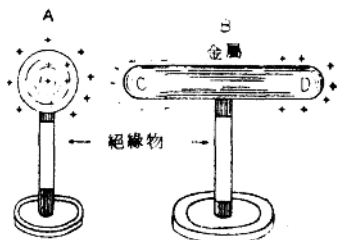


電的雲層與雲層之間，或雲層與大地之間。有時會有幾億伏特程度的電位差。據美國統計，雷擊放電時，高壓輸電線路會流通瞬間最高 20 萬安培電流，極性多為正，大地為負。

## 2-2 靜電感應

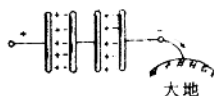
將第 2 - 4 圖中帶電體 A 移近與大地有絕緣物而隔絕之金屬體 B，則原來電的中性（即不呈電性）的 B 體，因靠近 A 之 C 端，必誘生與 A 相反極性的電荷，而於遠離 A 之 D 端感應出與 A 相同極性的電荷，且所生的電荷正負量相等。一旦移遠 A，則 B 上電（荷）自行中和，還歸成原來不呈電性的中性體。此種作用，稱為靜電感應。

又 A 與 C 的電荷靠近，A 與 D 之電荷遠離，故 A 與 B 之間，總體的關係為有電荷的吸引作用。玻璃棒或橡膠棒，吸引輕的物體，亦即淵於此種正負間電吸引力。



電荷 A 靠近 B 時，B 則因靜電感應會有電現象

圖 2 - 4 靜電感應



因靜電感應，平行板會產生正負電荷

圖 2 - 5 平行板靜電感應

如於此種場合，試將 B 接地，則因 B 與地球成一體，受同性排斥的一部分正電負荷能更遠離 A 而逃進地球去。

〔應用例〕

第 2 - 5 圖為間隔狹小的平行金屬板，於其中任一板加電荷，則因感應作用可誘使各平行板產生同性的電。

## 2-3 庫倫定律

二個帶電體間有吸引力的（異性電荷間）或排斥的（同性電荷間）作用力，此力就是庫倫所謂的力。讓我們稍進一步，從理論方面探討。

欲於第 2 - 6 圖，但又為使理論的說明簡單起見，已假設帶電體

大小比距離  $r$  小得多。經精確的實驗結果，二帶電體  $q_1$  及  $q_2$  持有的電荷間作用力的作用力  $F$  之作用方向，必在連結此二帶電體方向沿線上，且作用