

中等專業學校教學用書



# 理 論 電 工 學

H. H. 曼 苏 罗 夫 著  
B. C. 波 波 夫

張 冠 生 等 譯

高 等 教 育 出 版 社



本書原来是根据苏联国立动力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 1954年出版的曼苏罗夫(Н. Н. Мансуров) 和波波夫 (В. С. Попов) 合著的“理論电工学”(Теоретическая электротехника) 第五版譯出的。現又由原譯者根据原書 1956年第六版加以修訂。原書經苏联电气工业部教育司审定为各类电工專業的中等技术学校用的教科書。

書中敘述了电場和磁場以及交流和直流的綫性和非綫性电路中产生的物理現象。敘述了在电工中被采用的主要計算方法。給出了实验的說明,并且还介紹了丰富的例題及解答。

本書由哈尔滨工业大学張冠生、吳展允和成都電訊工程學院鍾祥禮譯出。

## 理 論 电 工 学

Н. Н. 曼苏罗夫 В. С. 波波夫 著

張冠生等譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可證出字第051号)

外文印刷厂印刷 新华書店發行

統一書号15010·106 開本850×116<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印張16<sup>4</sup>/<sub>16</sub> 插頁4

字數465,000 印數70,001—80,000 定價(10)¥2.30

1955年12月初版 1958年12月第2版(修訂本)

1959年2月北京第8次印刷

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 原作者为理論电工学中文版作的序 .....         | ix |
| 原 序 .....                     | x  |
| 緒 論 .....                     | 1  |
| 第一章 电場 .....                  | 5  |
| § 1-1. 电場强度 .....             | 5  |
| § 1-2. 点电荷的电場 .....           | 7  |
| § 1-3. 电位·电压 .....            | 10 |
| § 1-4. 均匀电場 .....             | 13 |
| § 1-5. 等位面 .....              | 15 |
| § 1-6. 导体和电介質 .....           | 16 |
| § 1-7. 电介質的極化 .....           | 18 |
| § 1-8. 电介質的击穿电場强度 .....       | 18 |
| 第二章 直流电路 .....                | 20 |
| § 2-1. 电路 .....               | 20 |
| § 2-2. 电流 .....               | 21 |
| § 2-3. 电动势 .....              | 23 |
| § 2-4. 电势源 .....              | 24 |
| § 2-5. 欧姆定律 .....             | 31 |
| § 2-6. 电阻 .....               | 33 |
| § 2-7. 电阻与溫度的关系 .....         | 37 |
| § 2-8. 电功与电功率 .....           | 38 |
| § 2-9. 电能轉变为热能 .....          | 41 |
| § 2-10. 具有几个电势的电路 .....       | 44 |
| § 2-11. 电位圖 .....             | 46 |
| 第三章 直流电路的計算 .....             | 50 |
| § 3-1. 克希荷夫定律 .....           | 50 |
| § 3-2. 电阻的串联 .....            | 52 |
| § 3-3. 电阻的并联 .....            | 53 |
| § 3-4. 电阻的混联 .....            | 55 |
| § 3-5. 原电池及蓄電池的串联、并联与組联 ..... | 57 |
| § 3-6. 具有可变电阻的不分支电路 .....     | 58 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| § 3-7. 导线上的电压损失               | 61         |
| § 3-8. 电流、电压与电阻的测量            | 64         |
| § 3-9. 用节点及迴路方程式法计算复杂电路       | 67         |
| § 3-10. 节点电压法                 | 71         |
| § 3-11. 发电机的并联                | 73         |
| § 3-12. 叠加原理                  | 75         |
| § 3-13. 开路及短路法                | 76         |
| § 3-14. 变形法                   | 79         |
| § 3-15. 四端网络                  | 83         |
| § 3-16. 四端网络的常数               | 85         |
| § 3-17. 四端网络常数的求法             | 86         |
| § 3-18. 四端网络的试验               | 87         |
| § 3-19. 实验 导电媒质中电场的研究         | 89         |
| § 3-20. 实验 导线电阻系数的测量          | 89         |
| § 3-21. 实验 电路中各点电位的测量         | 90         |
| § 3-22. 实验 通电流后线圈的受热过程的研究     | 91         |
| § 3-23. 实验 电阻的串联及并联           | 93         |
| § 3-24. 实验 有一个变动电阻的不分支电路的研究   | 94         |
| § 3-25. 实验 导线上电压损失的测量         | 95         |
| § 3-26. 实验 电流及电压量程的扩大         | 96         |
| § 3-27. 实验 用补偿法测量电势           | 99         |
| § 3-28. 实验 用测量电桥测量电阻          | 99         |
| § 3-29. 实验 叠加原理的实验验证          | 100        |
| § 3-30. 实验 四端网络的试验            | 101        |
| <b>第四章 非直线性直流电路</b>           | <b>103</b> |
| § 4-1. 基本概念                   | 103        |
| § 4-2. 二极电子管                  | 104        |
| § 4-3. 三极电子管                  | 106        |
| § 4-4. 气体中的电流                 | 110        |
| § 4-5. 半导体中的电流                | 115        |
| § 4-6. 非直线性电路的计算              | 121        |
| § 4-7. 镇流电阻                   | 123        |
| § 4-8. 电流及电压稳定器               | 125        |
| § 4-9. 实验 二极管及三极管的静态特性曲线的测繪   | 126        |
| § 4-10. 实验 半导体整流器的特性曲线的测繪     | 127        |
| § 4-11. 实验 元件串联及并联时的非直线性电路的研究 | 129        |
| <b>第五章 电磁</b>                 | <b>131</b> |
| § 5-1. 电流的磁场                  | 131        |
| § 5-2. 磁感应强度                  | 133        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| § 5-3. 磁通                       | 135 |
| § 5-4. 畢奧-薩伐尔定律                 | 137 |
| § 5-5. 磁导系数                     | 139 |
| § 5-6. 磁場强度·磁压                  | 140 |
| § 5-7. 全电流定律                    | 141 |
| § 5-8. 通有电流的直綫导綫的磁場             | 143 |
| § 5-9. 两根平行載流导綫的磁場              | 145 |
| § 5-10. 同軸電纜                    | 148 |
| § 5-11. 环形綫圈的磁場                 | 149 |
| § 5-12. 鉄磁性材料的磁化                | 151 |
| § 5-13. 循环交变磁化                  | 154 |
| § 5-14. 在磁导系数不同的两种物体的分界面上的磁場    | 155 |
| § 5-15. 磁路                      | 157 |
| § 5-16. 磁路的計算                   | 160 |
| § 5-17. 永久磁鉄                    | 163 |
| § 5-18. 磁电式測量机构                 | 166 |
| <b>第六章 电磁感应</b>                 | 167 |
| § 6-1. 作用于在磁場中移动的电子的力           | 167 |
| § 6-2. 电磁感应的电势                  | 167 |
| § 6-3. 机械能轉变为电能                 | 170 |
| § 6-4. 發电机                      | 171 |
| § 6-5. 电能轉变为机械能                 | 174 |
| § 6-6. 电动机                      | 175 |
| § 6-7. 在迴路中的电磁感应电势              | 176 |
| § 6-8. 磁場力所作的功                  | 181 |
| § 6-9. 渦流                       | 185 |
| § 6-10. 磁通、磁感应强度和磁压的測量          | 186 |
| § 6-11. 电感                      | 190 |
| § 6-12. 自感电势                    | 193 |
| § 6-13. 具有电阻及电感的电路接通恒定电势源时的过渡过程 | 193 |
| § 6-14. 磁能                      | 198 |
| § 6-15. 电磁鉄                     | 200 |
| § 6-16. 互感                      | 202 |
| § 6-17. 电感耦合迴路的磁能               | 203 |
| § 6-18. 互感电势                    | 204 |
| § 6-19. 迴路的磁耦合                  | 205 |
| § 6-20. 实验 磁感应强度的測量             | 206 |
| § 6-21. 实验 磁压的測量(磁帶)            | 208 |
| § 6-22. 实验 磁滯的研究                | 209 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第七章 电容·电场能量 .....                    | 212 |
| § 7-1. 电场强度向量的通量·奥斯特罗格拉茨基-高斯定理 ..... | 212 |
| § 7-2. 电容 .....                      | 213 |
| § 7-3. 电容器的联接 .....                  | 214 |
| § 7-4. 平板电容器 .....                   | 216 |
| § 7-5. 具有两層电介质的平板电容器 .....           | 217 |
| § 7-6. 圆柱形电容器 .....                  | 219 |
| § 7-7. 二線线路的电容 .....                 | 221 |
| § 7-8. 电容器的充电电流 .....                | 223 |
| § 7-9. 电场的能量 .....                   | 226 |
| § 7-10. 电容器对电阻的放电 .....              | 228 |
| § 7-11. 电容器对线圈的放电(振荡迴路) .....        | 230 |
| § 7-12. 实验 电容器的充电和放电的研究 .....        | 234 |
| 第八章 交流的基本概念和定义 .....                 | 236 |
| § 8-1. 交流的周期和频率 .....                | 236 |
| § 8-2. 交流的频率对发电机的转速与磁极对数的关系 .....    | 239 |
| § 8-3. 相·相位差 .....                   | 241 |
| § 8-4. 正弦量的图示法 .....                 | 244 |
| § 8-5. 正弦量的加法 .....                  | 246 |
| § 8-6. 电流、电压及电势的平均值 .....            | 250 |
| § 8-7. 感应电势的平均值 .....                | 253 |
| § 8-8. 电流、电压及电势的有效值 .....            | 253 |
| § 8-9. 波形因数和波幅因数 .....               | 255 |
| 第九章 交流电路 .....                       | 257 |
| § 9-1. 总論 .....                      | 257 |
| § 9-2. 电阻电路 .....                    | 258 |
| § 9-3. 电感电路 .....                    | 260 |
| § 9-4. 具有电阻和电感的电路 .....              | 263 |
| § 9-5. 趋肤效应和邻近效应 .....               | 273 |
| § 9-6. 电容电路 .....                    | 275 |
| § 9-7. 具有电阻和电容的电路 .....              | 279 |
| § 9-8. 具有电阻、电感和电容的不分支电路 .....        | 284 |
| § 9-9. 电压谐振 .....                    | 294 |
| § 9-10. 具有电阻和电抗的分支电路 .....           | 299 |
| § 9-11. 有损失的电容器 .....                | 305 |
| § 9-12. 电流谐振 .....                   | 307 |
| § 9-13. 功率因数和它的意义 .....              | 315 |
| § 9-14. 阻抗混合联接的电路 .....              | 320 |

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| § 9-15. 具有电阻和电感的电路接通正弦电压时的过渡过程 .....       | 324        |
| § 9-16. 具有电阻和电容的电路接通正弦电压时的过渡过程 .....       | 329        |
| § 9-17. 交流电路中电流和电压的测量 .....                | 334        |
| § 9-18. 频率的测量 .....                        | 334        |
| § 9-19. 功率的测量 .....                        | 335        |
| § 9-20. 相位差的测量 .....                       | 337        |
| § 9-21. 实验 正弦电压的相加 .....                   | 338        |
| § 9-22. 实验 交变电流和电压瞬时值曲线的测绘 .....           | 340        |
| § 9-23. 实验 不分支交流电路的研究 .....                | 343        |
| § 9-24. 实验 串联谐振 .....                      | 344        |
| § 9-25. 实验 交流分支电路的研究 .....                 | 345        |
| § 9-26. 实验 并联谐振 .....                      | 347        |
| <b>第十章, 符号法</b> .....                      | <b>349</b> |
| § 10-1. 基本概念 .....                         | 349        |
| § 10-2. 复数的加法和减法 .....                     | 352        |
| § 10-3. 复数的乘法和除法 .....                     | 354        |
| § 10-4. 用符号形式表示的电流、电压和阻抗 .....             | 357        |
| § 10-5. 功率 .....                           | 361        |
| § 10-6. 克希荷夫定律 .....                       | 361        |
| § 10-7. 阻抗串联与并联的电路 .....                   | 363        |
| § 10-8. 阻抗混联的电路·复杂电路 .....                 | 366        |
| § 10-9. 电流与电压间 $90^\circ$ 相位差的获得 .....     | 367        |
| § 10-10. 电感耦合电路 .....                      | 369        |
| § 10-11. 实验 电压与电流间 $90^\circ$ 相位差的获得 ..... | 374        |
| § 10-12. 实验 电感及互感的测量 .....                 | 376        |
| <b>第十一章 圆图</b> .....                       | <b>379</b> |
| § 11-1. 基本概念与定义 .....                      | 379        |
| § 11-2. 互逆的轨迹 .....                        | 380        |
| § 11-3. 电阻固定而电抗变动的不分支电路的圆图 .....           | 380        |
| § 11-4. 电抗固定而电阻变动的不分支电路的圆图 .....           | 386        |
| § 11-5. 由线圈与变动电阻所组成的不分支电路的圆图 .....         | 389        |
| § 11-6. 电阻和容抗固定而感抗变动的不分支电路的圆图 .....        | 392        |
| § 11-7. 具有变动电阻的分支电路的圆图 .....               | 395        |
| § 11-8. 具有变动感抗的分支电路的圆图 .....               | 398        |
| § 11-9. 实验 交流不分支电路的圆图的作法 .....             | 400        |
| § 11-10. 实验 交流分支电路的圆图的作法 .....             | 401        |
| § 11-11. 实验 功率因数的测量, 功率因数的提高 .....         | 402        |
| <b>第十二章 三相电流</b> .....                     | <b>404</b> |
| § 12-1. 三相制 .....                          | 404        |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| § 12-2. 三相發電機繞組的星形接法               | 406 |
| § 12-3. 三相發電機繞組的三角形接法              | 408 |
| § 12-4. 負載的星形接法                    | 409 |
| § 12-5. 位形圖                        | 414 |
| § 12-6. 負載的三角形接法                   | 417 |
| § 12-7. 三相電路綫電流之和與綫電壓之和的性質         | 421 |
| § 12-8. 三角形變換成星形                   | 422 |
| § 12-9. 三相電流的功率                    | 425 |
| § 12-10. 三相電路內功率的測量                | 427 |
| § 12-11. 在三相電流下的旋轉磁通               | 430 |
| § 12-12. 在二相電流下的旋轉磁通               | 434 |
| § 12-13. 相序                        | 435 |
| § 12-14. 不對稱三相制的對稱分量               | 437 |
| § 12-15. 實驗 負載联接成星形時的四綫及三綫三相電路的研究  | 441 |
| § 12-16. 實驗 負載联接成三角形時的三綫三相電路的研究    | 442 |
| § 12-17. 實驗 相負載不相等時的三相電路的研究・位形圖的作法 | 443 |
| § 12-18. 實驗 旋轉磁通的研究                | 445 |
| 第十三章 非正弦電流                         | 448 |
| § 13-1. 基本概念                       | 448 |
| § 13-2. 周期曲綫的種類                    | 450 |
| § 13-3. 分解周期曲綫為各次諧波                | 454 |
| § 13-4. 電路中的非正弦電流和電壓               | 456 |
| § 13-5. 非正弦電流與電壓的有效值               | 461 |
| § 13-6. 非正弦電流的功率                   | 463 |
| § 13-7. 濾波器                        | 465 |
| § 13-8. 三相制中的高次諧波                  | 466 |
| 第十四章 具有鐵心的交流電路                     | 473 |
| § 14-1. 在具有鐵心的電路內的電流、電壓和磁通         | 473 |
| § 14-2. 磁滯的影響                      | 477 |
| § 14-3. 磁滯的能量損失                    | 480 |
| § 14-4. 渦流的能量損失                    | 483 |
| § 14-5. 電阻的影響                      | 485 |
| § 14-6. 磁漏的影響                      | 487 |
| § 14-7. 鐵心綫圈的等值電路                  | 488 |
| § 14-8. 鐵心綫圈接通交變電壓時的情形             | 489 |
| § 14-9. 電容器與鐵心綫圈的串聯                | 492 |
| § 14-10. 變壓器的構造和工作原理               | 495 |
| § 14-11. 自耦變壓器                     | 498 |
| 附錄 進行實驗的安排及方法指示                    | 500 |
| 縮寫符號對照表                            | 502 |
| 索引                                 | 503 |

## 緒 論

从十九世紀下半叶以来，开始了能量的一种新形态——电——的蓬勃發展与实际应用的時代。电能具有非常宝贵的性質：它可以簡便地从其他形态的能量(机械能、化学能等)轉变而来；它能够以很小的損失輸送很远的距离(几百公里)而到城市和工厂。在使用能量的地方，电能的分配和轉变成所需要的能量形态，如机械能、热能、化学能等，都非常簡便。这样，电就使我們能够应用和輸送儲藏在自然界最便宜的能量(水能)，或减低能量的使用价格(泥炭、劣等煤)。

在应用新的——原子核的——能量的时候，电能的优越性質将获得更广泛的用途。

在偉大的十月社会主义革命以后，在共产党的领导下，产生了一个先进的强国——苏維埃社会主义共和国联盟。

苏联正在規模宏大地进行着电气化。列宁在1920年所提出的偉大号召：“共产主义——这就是苏維埃政权加上全国电气化”，正在胜利地在生活中体现出来。

在国内战争困难的环境中，苏联政府和共产党不断地关怀着新发电站的建設，首先是对于利用当地动力資源的基地。1918年开始了伏尔霍夫水电站的建造。1919年扩大了利用莫斯科附近的煤而工作的喀希尔发电站的建設。1920年在夏吐耳装置了一个用泥炭工作的发电站。

在1920年国内战争时期，在列宁亲自指导下，全俄国家电气化委员会开始工作，同时制訂出全俄国家电气化計劃(план ГОЭЛРО)。

大家都知道，电气化的第一个計劃不仅已經完成，而且超額完成。1934年，苏联发电站的容量几乎超过沙皇俄国发电站容量的六倍，而

且電能的產量超過 1913 年的十倍還要多。到了全俄國家電氣化的十五周年(1935 年)時，這計劃已經超額完成了兩倍半多。

從 1929 年起，全國電氣化按照偉大的五年計劃施行了。歷史從來不知道有過如我們祖國在五年計劃的年代里所實行的那樣規模宏大和那樣高速度的發電站建設。在第一個五年計劃時期，全歐洲最大的第聶泊水电站燃起了燈火，車里雅賓斯克、茹也夫斯克、庫茲涅次克和其他的火力發電站也都開工了。

在歷史上很短的時期內，我國電能的生產已經達到世界上第一流的地位。

動力基地的成長成為準備積極保衛我們祖國的重要因素之一。在衛國戰爭前夕，在 1940 年，蘇聯的發電站生產出將近 500 億千瓦小時的電能，就是說，比 1913 年俄國發電站的產量多出 25 倍多。

在五年計劃的年代里，在蘇聯幾乎是從新建立起電氣製造工業。掌握了巨大的透平與發電機、容量極大的高壓變壓器以及普通的和特殊的電動機的生產，掌握了各種各樣的導和電纜、精確的電磁測量儀表以及電器的製造。老的電機製造工廠：如“迪納莫”(Динамо)，"電力"(Электросила)等都經過改造而變成了實質上是完全嶄新的企業。

雖然在偉大的衛國戰爭時期曾經遭受到大規模的破壞，可是我們祖國的動力工程在戰後變得比戰前更強大了。

國民經濟的勝利恢復和發展結果，就在 1950 年已經生產出約 920 億千瓦小時的電能，超過了 1940 年的 87%，在這同一年，發電站的容量與 1940 年的容量 1100 萬千瓦加在一起達到 2500 萬千瓦。1955 年電能生產增加到 1700 億千瓦小時。

在蘇共第二十次代表大會的歷史性決議中，制訂了從 1956 年至 1960 年、按照蘇聯第六個五年發展計劃、繼續電氣化的偉大方案。

在第六個五年計劃中，為了充分滿足國民經濟對於電能的日益需要，發電站的容量將飛速地增長，同時將建造後備容量。渦輪發電站的

容量將增加 1.2 倍左右，水力發電站的容量將增加 1.7 倍左右。

1960 年的電能產量將達到 3200 億千瓦小時。

我們祖國有豐富的水力資源，水力發電站的有利在於：它既不需要燃料，又能生產廉價的電能。

在第六個五年計劃中，將完成古比雪夫、斯大林格勒（在伏爾加河上）及沃特金斯克（在卡馬河上）水電站的建設，並興建容量 100 萬千瓦的薩拉托夫水電站，容量約 90 萬千瓦的下卡馬水電站，以及容量約 80 萬千瓦，在伏爾加河上的契博克薩雷水電站。

在蘇聯的東部地區，將開展最大水電站的宏偉建設，這就是安加拉河上的布拉茨克水電站及葉尼塞河上的克拉斯諾雅爾斯克水電站，它們每一個的容量為 320 萬千瓦。

除此以外，還要着手建設鄂畢河上容量約 50 萬千瓦的卡門斯克水電站及其他。

在第六個五年計劃內，要增加區域火力發電站的發電能力，將依靠在燃料產區建設 10 萬、15 萬及 20 萬的安裝聯動機的大型發電站來達到這個目的。尤其是將建設容量為 45 萬千瓦的克列門楚克水電站及容量為 25 萬千瓦的第聶伯羅捷爾任斯基水電站，並使它們發電。

電壓為 35—220 千伏的電站部的電力網，將增加其長度到原來的 2.2 倍。

要把古比雪夫水電站和斯大林格勒水電站同中部的、南部的和烏拉爾的動力系統聯接起來，以建立蘇聯歐洲部分的統一動力系統，並將為此而建設 400 千伏電壓的輸電綫。要開展建設西伯利亞中部統一動力系統的工作。這個系統要把安加拉河與葉尼塞河的水電站與庫茲巴斯、新西伯利亞、伊爾庫茨克及克拉斯諾雅爾斯克等的電站聯接起來。

為要實現直流高壓輸電，將建造從斯大林格勒水電站到頓巴斯的直流輸電綫。

第六個五年計劃的輝煌表現，將是廣泛地建設及應用原子能發電

站。依照指示草案的規定，將建造几个原子能發電站，其總發電能力為 200 至 250 萬千瓦。

全體蘇聯人民，包括我們蘇維埃電工技術工作者在內，正在完成和將要完成我們國家電氣化的巨大工作。在蘇聯，對於技術革新者的工作創設了格外順利的條件——我們的電工技術工作者不是孤立的。在我們建造了几十个科學研究所，在那里，強大的科學家集體正在工作，建造了裝備優良的巨大的生產企業，建立了廣闊的高等和中等電工技術學校網。蘇聯共產黨和蘇聯政府象慈父般地關懷着蘇聯的電工技術工作者。在蘇聯，卓越的電工技術工作者的發明得到更進一步的發展和廣泛的應用。

電工学——是引人入勝的和極有興趣的科學。然而研究電工学却需要強勁、意志和毅力。蘇聯學校里的學生應該時時刻刻記住自己作為一個共產主義社會的建設者所面臨着的偉大任務，記住在蘇聯人民面前對自己工作所負的重大責任。

# 第一章 電場

## § 1-1. 電場強度

由實驗確知，在一切物體內部含有大量的極微小的(微觀的)帶電質點。這些質點，或者是分子的組成部分；或者是“自由的”(不是分子的組成部分)。通常，在足夠大的物體體積元內，平均地存在着數量相等的正負帶電質點，或者簡單地說，存在着數量相等的正負電荷，這物體便認為是中性的。這裡所謂“平均地”的意思，是指：我們並不考慮到在已知體積內由於分子的热運動及“自由的”帶電質點所引起的小量的與迅速的電荷數目的變化。在帶電體(或它的一部分)內，由於某種原因，可以形成正電荷或負電荷占優勢的情形。

帶電體及帶電質點都是被電場所包圍的。實物的帶電質點和電場是物質的兩種不可分割的形式。電場具有一定的能量，稱為電能。如果在一個包圍帶電質點的電場內放入另一個帶電質點(試驗電荷)，那末後者就會受到電場力的作用，這電場力與試驗電荷的電量成正比。但是當試驗電荷不變時，在各種不同電場內或在同一電場的各點，電場力可以有不同的數值。因此，試驗電荷被放在某處(點)的電場力不僅與試驗電荷的量有關，而且與電場的強度有關。表示電場的強度的量稱為電場強度。

令  $F$  代表力， $q$  代表試驗電荷量， $\mathcal{E}$  代表電場強度，根據電場的已知性質，我們可以寫出

$$F = \mathcal{E} \cdot q. \quad (1-1)$$

利用關係式(1-1)，可以求出電場強度

$$\mathcal{E} = \frac{F}{q}. \quad (1-2)$$

以上我們指出了電場力  $F$  與試驗電荷  $q$  成正比; 因此, 如果  $q$  減小至  $\frac{1}{n}$  倍 (或增大至  $n$  倍), 則  $F$  也減小 (或增大) 這樣多倍, 但它們之比保持不變。從而電場強度與試驗電荷無關。否則我們就不可能用這個量來表示電場的特性之一, 即它的強度。

式(1-2)用來建立電場強度的計量單位。在電工中, 採用實用單位制  $MKSA$ 。在這個單位制中, 力用牛頓( $n$ )來計量, 電荷(電量)用庫倫( $\kappa$ )來計量, 長度用米( $m$ ), 質量用千克( $kg$ ), 時間用秒( $сек$ )來計量。

使 1 千克的質量產生 1 米/秒<sup>2</sup> 的加速度, 便是 1 牛頓所施的力: 1 牛頓 = 1 千克 · 1 米/秒<sup>2</sup>。1 牛頓的力在 1 米路徑上所作的功為 1 焦耳( $дж$ ): 1 焦耳 = 1 牛頓 · 1 米。

將力用功及路徑來表示, 我們可得出電場強度的單位為:

$$[E] = \left[ \frac{F}{q} \right] = \frac{\text{牛頓}}{\text{庫倫}} = \frac{\text{焦耳}}{\text{米} \cdot \text{庫倫}}$$

後面我們將提到電壓, 它的單位是伏特( $v$ ), 1 伏特 = 1 焦耳/1 庫倫。因此, 電場強度的單位可簡寫為:

$$[E] = \frac{\text{伏特}}{\text{米}}$$

再來看式(1-2)。當  $q$  為 1 單位時,  $E$  在數值上就等於  $F$ , 這就是說, 場內某一點的電場強度在數值上等於作用在該點單位試驗電荷的電場力。

電場強度是向量。電場強度向量的方向為作用在場內某點的正電荷上的力的方向。

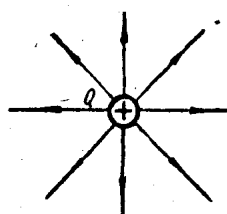


圖 1-1. 帶電球體的電場。

電場可用電力綫來作圖形表示。

電力綫在電場內是這樣畫出的: 在電力綫上每一點的切綫方向與這點的電場強度向量的方向相同。電力綫不是封閉的, 它是從帶正電荷的物體上出發, 而止於帶負電荷的

物体上。作出电力綫来，可以使它的密度表示电場强度的大小。因此，在某点与电場强度向量垂直的單位面积内，其所穿过的电力綫数目，在数值上应与該点电場强度的数值成正比。

圖(1-1)画出了孤立的带正电荷球体周围的电力綫(在这种情况下，电力綫应看成是止于无限远处)。

### § 1-2. 点电荷的电場

我們来研究在靠近带电小球的任意一点  $A$  的电場强度(圖 1-2)。

这带电小球的大小和距离  $R$  比起来是很小的，所以可認為分布在这球体上的电荷是集中在一点上，这样的带电小球叫做点电荷。庫倫的實驗指出：点电荷  $Q_1$  的电場作用于在  $A$  点的点电荷  $Q_2$  上的力，和两个电荷的电量成正比，和它們之

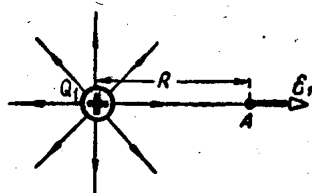


圖 1-2. 点电荷的电場。

間的距离  $R$  的平方成反比，此外，还与二电荷所在处周圍的媒質有关。因此， $A$  点的电場强度可以用下式表示：

$$E_1 = \frac{F}{Q_2} = \frac{Q_1}{4\pi R^2 \epsilon_c},$$

这里  $\epsilon_c$  是計算受媒質影响的量，叫做介电系数，而且，分母不用距离  $R$  的平方，而用与  $R^2$  成比例、經過  $A$  点、以  $Q_1$  点为中心的球面积。在  $A$  点电場强度向量的方向和通过点电荷与  $A$  点的直綫方向相同。

很明显地，在所有与点电荷相隔同一距离  $R$  的各点上，就是說，在以  $R$  为半径的球面上的各点上，电場强度的大小是相等的(但方向不同)。

变换电場强度的表示式，求出介电系数的計量單位为：

$$[\epsilon_c] = \left[ \frac{Q}{4\pi R^2 E} \right] = \frac{\text{庫倫} \cdot \text{米}}{\text{米}^2 \text{伏特}} = \frac{\text{庫倫}}{\text{伏特} \cdot \text{米}}.$$

不同的媒質与物質具有不同的介电系数。根据实验，真空与空气的介电系数是：

$$\varepsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \frac{\text{庫倫}}{\text{伏特} \cdot \text{米}}。$$

因为  $\varepsilon_0$  是常数，所以便于把真空<sup>①</sup>的介电系数与物質的介电系数相比较。

表 1-1.

| 物 質  | $\varepsilon$ |
|------|---------------|
| 蜡紙   | 4.3           |
| 蒸馏水  | 80            |
| 空气   | 1.00          |
| 矿物油  | 2.2           |
| 大理石  | 8.3           |
| 人造云母 | 5.2           |
| 橡皮   | 2.7           |
| 云母   | 6-7.5         |
| 玻璃   | 5.5-8         |
| 瓷    | 5.8           |
| 青石   | 6.7           |

某一物質的介电系数  $\varepsilon_c$  与真空的介电系数  $\varepsilon_0$  的比值叫做这物質的相对介电系数，用  $\varepsilon$  代表。因此

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}, \text{ 而 } \varepsilon_c = \varepsilon_0 \varepsilon。$$

相对介电系数是一个无名数。对于空气，实际上可認為  $\varepsilon = 1$ ，即  $\varepsilon_0 = \varepsilon_0$ 。在表 1-1 中列出了几种物質的  $\varepsilon$  值。

在电场强度公式內引入相对介电系数，再去掉下标数字，我們得到：

$$\mathcal{E} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R^2}。 \quad (1-3)$$

将公式(1-3)重写成

$$F = Q_2 \mathcal{E}_1 = Q_1 \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R^2}, \quad (1-4)$$

我們就可正确地作出結論：电荷  $Q_2$  所产生的电场，它的强度为

$$\mathcal{E}_2 = \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R^2},$$

这里  $R$  是距电荷  $Q_2$  的距离。这个电场作用于电荷  $Q_1$  的力为

① 我們把“真空”了解为处在最稀薄状态下的空間。

$$F = Q_1 \mathcal{E}_2 = Q_1 \frac{Q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2},$$

它的大小可由公式(1-4)同样求出。然而,两个相互作用的电荷所施的力,具有相反方向。在相互作用的力的影响下,异号电荷(正的与负的)互相吸引(圖 1-3)而同号电荷(二者同为正或同为负)互相排斥(圖 1-4)。

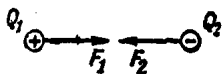


圖 1-3. 异号电荷的相互作用。

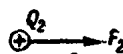
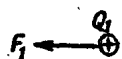


圖 1-4. 同号电荷的相互作用。

式(1-4)的关系叫做庫侖定律,它是由庫侖根据一系列的实验所得到的。电荷的相互作用力称为靜电力。

**例题 1-1.** 有一力  $F=0.1$  牛顿作用于点电荷  $Q_1=2\times 10^{-7}$  庫侖上。試求  $Q_2=4.5\times 10^{-7}$  庫侖与  $Q_1$  间的距离。两电荷都是位于空气中(圖 1-4)。

**【解】** 变化一下庫侖定律的方程式,得到

$$R = \sqrt{\frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 F}}.$$

考虑到

$$4\pi\epsilon\epsilon_0 = 4\pi\epsilon_0 = \frac{1}{9} \times 10^{-9} \text{ 庫侖/伏特}\cdot\text{米},$$

我們求得

$$R = \sqrt{\frac{2 \times 10^{-7} \times 4.5 \times 10^{-7}}{\frac{1}{9} \times 10^{-9} \times 0.1}} = \sqrt{81 \times 10^{-4}} = 9 \text{ 厘米}.$$

假使電場不是由一个,而是由几个点电荷产生的,那么由实验証明,可以运用叠加原理。就是說,两个电荷  $Q_1$  和  $Q_2$  作用于第三个电荷  $q$  的力等于两个力的几何和: 第一个力是当沒有  $Q_2$  时  $Q_1$  作用于  $q$  的力; 第二个力是当沒有  $Q_1$  时  $Q_2$  作用于  $q$  的力。因此作用于电荷  $q$  的力就等于下面两个力的几何

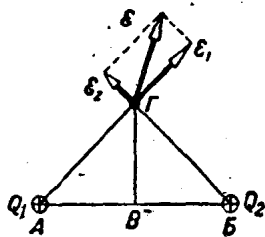


圖 1-5. 例题 1-2 的圖示。