

电工基础讲义

(初稿)

第一册

天津大学电机工程系
基本电工教研室編

高等教育出版社

本書內容包括電工的物理基礎，電場及磁場概念，直流電路，磁路及交流電路。第一冊包括靜電場和直流電路兩章。靜電場一章主要介紹電場概念，並介紹了米·公斤·秒·安單位制及關於導體和電介質的一些知識。直流電路一章主要講解有關電路的各種定理和定律，簡單和複雜電路的各種計算方法。每章都附有例題和習題。

本書是天津市廣播函授大學的講義，是根據天津大學電機工程系基本電工教研室擬定的廣播函授大學電工基礎大綱（草案），並以波波夫和曼蘇羅夫合著的理論電工學（高等教育出版社出版）為主要參考書進行編寫的。本書照顧到廣播教學的特點，某些地方講解比較詳細，圖示較多，因而也適於中級技術人員自修參考之用。

電 工 基 礎 講 義

（初 稿）

第 一 冊

天津大學電機工程系基本電工教研室編

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7號

（北京市書刊出版業營業許可證出字第064號）

人民教育印刷廠印裝 新華書店發行

統一書號15010·841 開本850×1168¹/₃₂ 印張8 10/16

字數97,000 印數3,001—14,000 定價(7) 羊0.41

1960年1月第1版 1960年1月北京第2次印刷

第一册 目录

緒論	1
----------	---

第一篇 电工的物理基础

第一章 靜电場	7
1-1. 电荷与带电体	7
1-2. 庫侖定律	10
1-3. 米·公斤·秒·安培(MKSA)单位制	11
1-4. 电場	15
1-5. 电位与电場	18
1-6. 导体与电介質	25
习题	29
附录	30
第二章 直流电路	33
2-1. 电路、电路元件与电路图	33
2-2. 欧姆定律	40
2-3. 电阻与电导·电阻与温度的关系	42
2-4. 电能轉变成热能——楞次焦耳定律	46
2-5. 含有几个电势的电路·电路的电位图	49
2-6. 基尔霍夫定律	55
2-7. 电阻的串联、并联及混联	59
2-8. 有可变电阻的无分支电路	64
2-9. 两綫輸送电能时,导綫上的电压損失	67
2-10. 电流、电压及电阻的測定	71
2-11. 复杂电路計算——支路电流法	76
2-12. 迴路电流法	79
2-13. 結点电位法	83
2-14. 重叠原理(叠加原理)	88
2-15. 等效发电机原理	90
2-16. 交換法端网络	93
2-17. 四端网络	97
2-18. 非綫性电路	105
2-19. 电弧	109
习题	112

緒 論

一、電能的優點及應用

从十九世紀下半叶以来，开始了一种新的形态的能量——电能——的蓬勃发展和实际应用的時代。电能有着非常宝贵的性質：其他形态的能（化学能、机械能、光能、热能等）可以很簡便地轉換成电能，反过来，电能也可以很簡便地轉換成其他形态的能；其次，我們能够以很小的損失把大量的电能輸送到很远的地方（距离几百公里甚至几千公里的地方）。这样，我們就可以利用儲藏在自然界中最便宜的能量（水能）或廉价的燃料（煤等）发电，然后再把电能輸送到原料产地、便于于原料加工的城市和工厂以及其他需要电能的地方。

现在，电力是动力中最主要的一种，无论在工业上、农业上、交通运输和通訊方面以及日常生活方面都极其广泛地应用着。为数众多和种类繁杂的各种机械都采用电力拖动。金屬的冶炼和加工、电热和电焊、电视、无线电广播和电报电话、电車和电气火車、照明以及各种各样的家庭电器都要用到电能。在农业方面，电力可以作为灌溉和农业机械的动力。电力的应用是越来越广泛，成为推动技术发展和改善生活的最重要的因素。

电在生产自动化的过程中，起着极其重要的作用，它不但是动力的来源，而且机械的控制和調整也都离不开它。在生产自动化、提高劳动生产率和产品的質量、把人类从繁重的体力劳动中解放出来等方面，电也将作出更大的贡献。此外，在原子能的应用、航空、航海、軍事，以及很多新的技术部門中（包括火箭和人造卫星），电都是必不可少的。

二、电工技术的发展簡史

我国古代在电磁方面的贡献:在公元前数百年,我国最早发现了磁的现象,并首先应用了这种现象。指南针的发明是我们祖先在科学上的一个重大贡献。

吕氏春秋的精通篇中有“慈石引铁,或引之也”一句。汉高诱注云:“石,铁之母也,以有慈石,故能引其子,石之不慈者亦不能引也。”管子地数篇中有,“上有慈石者,下有铜金。”由此可见,在很久以前我国不但知道了天然磁石的吸力,而且懂得了各种矿藏的联系。

王充论衡乱龙篇中有“顿牟掇芥,磁石引针”,郭璞山海经图赞中有“磁石引铁,瑇瑁取芥”。两文都同时指出电的作用力和磁的作用力。

韩非子有度篇中有“故先王立司南,以端朝夕”;王充论衡是应篇中有“司南之杓,投之于地,其柢指南”。在这两篇中已明确了磁铁的定向作用。

由此可见,我国在汉代以前对磁和电的作用已经有了相当的認識,并且应用了磁铁。在汉代以后,磁铁的应用更为广泛,尤其应用在航海方面。

电工理论和电工技术的发展簡史:关于磁和电的作用,希腊学者也于公元前数百年发现,但电工技术的发展却是一百多年前的事。下面我们列举一些重要的事例:

1785年庫侖(法国人)首先公布电荷間的作用力和距离的关系及磁极間的作用力和距离的关系。

1805年伏特(意大利人)发现伏打电池。

1819年奥斯特(德国人)发现电流对磁针的作用力。

1820年安培(法国人)证实载流线圈的作用力。

1826年欧姆(德国人)发现欧姆定律。

1831 年法拉第(英国人)发现电磁感应现象。

1833 年俄国科学院士楞次发现楞次定律, 确定感应电流的方向, 表明了电磁惯性原理。

1834 年俄国科学家亚可比发明直流电流机。

1845 年德国科学家基尔霍夫表述了有分支电路的基本定律。

1873 年英国科学家麦克斯韦创立了严密和完整的电磁理论。

1876 年俄国科学家亚布洛奇科夫发明电烛和变压器。

1887—1889 年赫兹(德国人)实验成功电磁波的产生和传播, 证实了麦克斯韦的理论。

1889—1891 年俄国科学家多利沃-多布罗沃尔斯基研究了交流三相制, 1889 年制出了第一部三相发电机, 1891 年他用三相电流将电能输送 175 公里的距离。

1895 年俄国科学家 A.C. 波波夫创制了第一架无线电发射器和接收器。

到这时期(19 世纪末)电工技术已奠定了初步基础, 以后的发展极为迅速, 无需再多列举事实了。

三、苏联电气工业的发展概况

虽然俄国杰出的学者和发明家们在电工技术上作出了卓越的贡献, 但在十月革命前, 俄国在沙皇的反动统治下, 经济是落后的, 电气工业并没有得到应有的发展。在帝俄时期, 发电量只到达十九亿度, 发电设备的容量只不过 110 万千瓦。我们知道, 1955 年苏联新建的古比雪夫水电站的容量是 210 万千瓦, 差不多比帝俄时期发电设备总容量多一倍。只有在十月革命之后, 在党和政府的领导下才能建立强大的电气工业。早在 1920 年, 帝国主义的干涉刚被打退的时候, 根据列宁的指示, 成立了俄罗斯电气化全国委员会, 拟定了全国电气化计划, 列宁把这个计划称为“党的第二纲领”。列宁并提出了有名的公式: “共产主义——这就是苏维埃政

权加上全国电气化”。这个电气计划早已提前实现了。苏联的电力发展极为迅速，还在 1937 年发电量就已由帝俄时期的世界第十五位一跃而为世界第三位。在第二次世界大战期间，苏联受到了最严重的破坏，但战后不久，电气工业不仅恢复了，而且发展了。1950 年发电量约为 900 亿度，为帝俄时期的 47 倍多。1958 年发电量增加到 2330 亿度，发电设备容量接近 5300 万千瓦。这个速度在资本主义国家是不可能实现的。根据最近通过的七年计划，到 1965 年，发电量将达到 5000 万千瓦。以后还要增加更快，预计到 1970—1972 年发电量将达到 9000 亿度。

1954 年 6 月 27 日苏联的原子能发电站发电了。这是世界上第一座原子能发电站。在这方面苏联一直是最先进的。

除了电力之外，在电气工业的其他部门苏联也是站在世界的最前列。人造卫星和人造行星的发射也表明苏联在电子学方面到达极高的水平。

四、我国电气工业的发展情况

在解放以前的一百多年中，我国一直受着帝国主义的侵略和封建主义的束缚，经济十分落后，电气工业当然得不到应有的发展。从 1882 年帝国主义者在上海建立第一个发电厂起，至 1949 年全国解放止，发电设备的容量只有 185 万千瓦（1944 年曾达到 235 万千瓦，外国资本占 80%，其中日本占 68.8%，美国占 7%）。

解放前发电量最高水平为 59.1 亿度（1941 年），每人平均 10 度左右，这个数字小的可怜。目前某些电力发达的国家，如加拿大，每人每年平均用电 7980 度，挪威 6730 度，连日本也到达 770 度。解放后在党和政府的领导下，在苏联和其他人民民主国家的帮助下，中国人民进行了巨大的经济恢复工作，电力事业也有了根本的变化。我们看一下具体数字：

1949 年 43.2 亿度

1952年 72.6 亿度

从 1953 年开始了第一个五年计划，我国进入大规模建设阶段。电力工业有了很大的发展，超额完成了计划规定数字。1957 年发电量为 193 亿度。在 1958 年，党制定了鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线和一整套两条腿走路的方针，生产上出现了特大跃进，电力这个先行工业跃进很大，发电量增加到 275 亿度。解放前不能制造的发电设备，汽轮机、锅炉、发电机、水轮机等，解放后陆续试制成功，并开始大批生产。1958 年我国生产发电设备 80 万千瓦（1957 年为 19.8 万千瓦）。1959 年我国在生产上继续跃进，预定在今年内要超过、达到或接近第二个五年计划所规定的在 1962 年达到的指标。今年计划生产发电量 390 亿度，接近第二个五年计划所规定的在 1962 年达到的指标（400—430 亿度），生产发电设备 180 万千瓦，大大超过了第二个五年计划的指标（140—150 万千瓦）。

今后我国电力工业要以水电为主，火电为辅。这是由于：1) 我国水力资源极为丰富；2) 许多河流洪水灾害严重，建设水电站，可以综合利用河流的水利；3) 水电成本低，只有火电的 $\frac{1}{5}$ 。别的国家也有以水电为主的，如加拿大（水电占 96%）、挪威（水电占 99%）等国。目前的黄河三门峡水电站正在建设中，长江三峡水电站也在准备修建中。长江的水利资源很丰富，约 1.2 亿千瓦，超过美国全国的水利资源（约 8800 万千瓦）。

电气工业的其他方面，解放后在党和政府的领导下，也得到了迅速发展，例如电子管在解放前根本不能制造，在苏联的无私援助下，建立了北京电子管厂，已能成批生产质量高的，各种各样的电子管。半导体晶体管也制造成功了。华东还试制成了电视接收管。例子不胜枚举。

五、課程內容和學習方法

电工基础这一課程的对象是从定性和定量两方面研究发生在各种电气設備中的电磁現象和过程。它是基础技术課，以物理数学作为先修課程，又为后續专业課和基础技术課打基础。

本課程的主要内容包括电路的物理基础、直流电路、磁路、交流电路等。此外，还要学习发生在电路、磁路和电磁場中的現象和过程的分析方法、計算方法和实验研究方法。希望學員同志們在学习过程中，着重理解各种現象和过程的物理概念，而不是死記公式，通过計算(例题和习题)和实验加深理解和熟練計算方法与实验方法。

無論是研究电路和磁路中的物理过程或者是研究各种設備中的电磁过程，唯一的科学的認識方法是辯証的方法，正如列宁所說：“从活的观察到抽象的思維，再从抽象的思維到实践，这就是認識的真理，認識客观事实的辯証方法。”也就是毛主席在实践論中所說的：“認識从实践始，經過实践得到了理論的認識，还須再回到实践中去。”希望同志們掌握这种方法，并能熟練地应用这种方法。

第一篇 电工的物理基础

第一章 靜电場

1-1. 电荷与带电体

摩擦生电这种现象发现很早，希腊哲学家退利斯大約在紀元前七世紀就发现了这种现象。我国汉代哲学家王充在論衡中有“頓牟取芥”的記載，也是指这种现象。

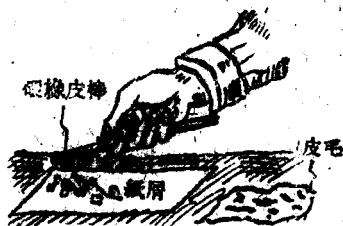
当我们把两种不同質料的物体(如玻璃和絲織品，硬橡皮和皮毛)相互摩擦之后，能够吸引紙屑等輕微物体。处于这种状态中的物体称为带电体。用以度量物体带电程度的量称为电荷或电量。实验証明，物体所带的电有两种，而且只有两种：一种是正电，另一种是負电。实验証明，带同号电的物体互相排斥，带异号电的物体互相吸引。



(a) 用硬橡皮棒



b) 用玻璃棒



(c) 摩擦生电后的棒能吸起紙屑

图 1-1. 摩擦荷电。

我們可以由帶電體之間的相互作用力確定物體的帶電程度，即確定物體所帶的電量。一種最簡單的測量電量的儀器稱為驗電器，構造如圖 1-2 所示。圖中 C 是一個金屬球，它和金屬杆 D 相連接。把兩片極薄的金箔 E_1 和 E_2 裝在金屬杆 D 的下端，再用絕緣體 B 把金屬杆固定在金屬容器里。當帶電體和金屬球 C 接觸時，就有一部分電荷傳到兩片金箔上，它們就帶了同號電荷，故互相排斥而分离開來。這樣就可以確定物體是否帶電，並可以从金屬箔張開的角度的大小，來判斷帶電體所帶電荷的多寡。



圖 1-2. 金屬驗電器。

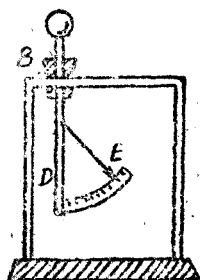


圖 1-3. 靜電計。

如果在驗電器上裝置適當標度，就可以較準確地測定物體所帶電荷的數量。這種儀器稱為靜電計（圖 1-3）。

下面我們用原子物理學理論來說明物體的帶電現象。我們知道，各種元素的物體都是由原子組成，而原子則是由電子和原子核組成。原子核主要由質子和中子組成，比較穩固，呈正電性。核外繞有分層運行的電子，電子的數目等於核內質子的數目。質子帶正電，電子帶負電，二者的電量相等，但符號相反；中子不帶電。這是正常原子的組織。圖 1-4a), b) 是金屬鈉和銅的原子構造圖。各元素的化學性質，基本上決定於最外層的電子數。

經過科學家們的精密測量，我們得到：質子和電子所帶的電量均為 16.0×10^{-20} 庫侖。電子的質量為 9.1127×10^{-31} 公斤，質子

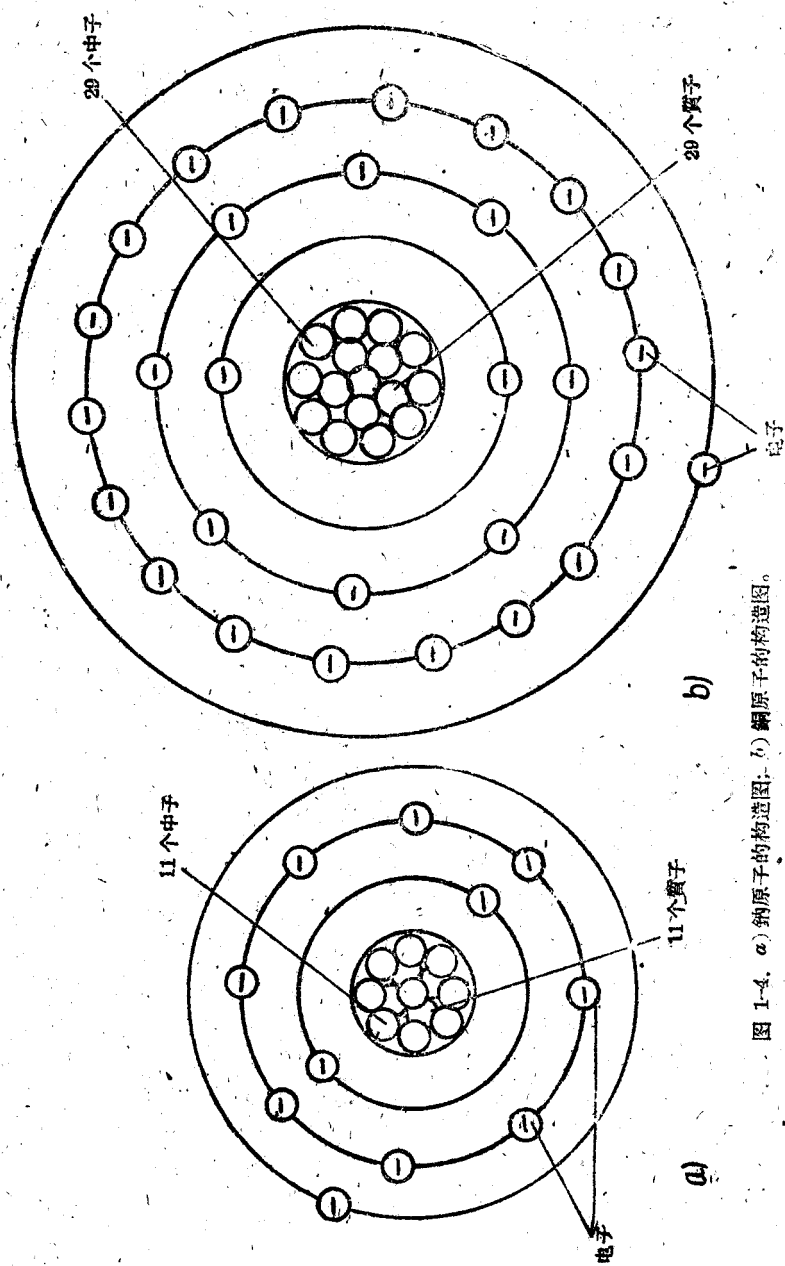


图 1-4. a) 钠原子的构造图; b) 铜原子的构造图。

的質量为 1.6747×10^{-27} 公斤,前者仅为后者的 $\frac{1}{1845}$ 。中子的質量也为 1.6747×10^{-27} 公斤。电子的电量对質量之比是 17.59×10^{10} 庫/公斤,这是一个非常大的数字。

在正常状态下,原子核外圍电子的数目等于原子核內質子的数目,所以原子呈现中性。原子核和外圍电子間的相互作用随物質的不同而有强弱。如果原子或分子由于外来原因,失去一个或若干个电子后,就成为带正电的正离子。反之,如果原子或分子从外界吸收了一个或若干个电子,就成为带负电的负离子。我們所論的带电体,就是指因为它的原子或分子失去了一个或若干个电子(带正电),或从外界得到一个或若干个电子(带负电)而呈现带电現象的物体。

1-2. 庫侖定律

前面已經提到,两个带电体之間存在着相互作用力,同号相斥,异号相吸。1785 年法国科学家庫侖,从实验結果总结出电荷間相互作用的基本規律,称为庫侖定律。实际上这个定律也包括着电荷的量度法則。

一般来講,两个带电体間的相互作用和它們的大小、形状以及周圍电介質的性質都有关系。这种情况很复杂,因此我們先討論两个点电荷之間的相互作用。

所謂点电荷是指那些带电物体,它們的尺寸和它們之間的距离相比时,小到可以忽略的程度。

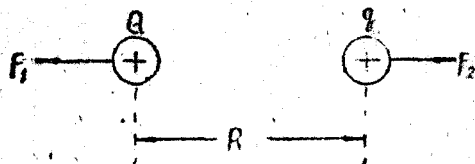


图 1-5. 两个点电荷之間的作用力。

两个点电荷之間的作用力,如图 1-5 所示,方向是沿着它們联綫,大小可用下式表示:

$$F = k \frac{qQ}{R^2} \quad (1-1)$$

其中: $F = F_1 = F_2$ 是点电荷之间的相互作用力[牛顿];

q, Q 分别为两个点电荷的电量[库仑];

R 为两个点电荷之间的距离[米];

$$\text{常数 } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

ϵ 是计算受电介质影响的量,称为介电系数或电容率。根据实验,真空和空气的介电系数为 $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \left[\frac{\text{库仑}}{\text{伏特} \cdot \text{米}} \right]$ 。

关于电介质的问题后面还要讲到。

这里,在方括弧中给出了各个量的单位名称,式中的 4π 是因为单位制关系而加入的。

这样,点电荷的库仑定律可以表达为:两个点电荷之间的相互作用力的方向沿着它们的连线,大小和电荷 Q 与 q 的乘积成正比,和它们之间的距离 R 的平方成反比。

根据同性相斥,异性相吸的原理,可以确定连线上力的方向向内或向外。

1-3. 米·公斤·秒·安(MKSA)单位制

国务院于1959年6月25日发布命令,决定统一我国计量制度,采用国际公制(米突制),也就是我们这里要讲到的单位制。这种制度的优点是十进十退,使用简单,已为世界上多数国家所采用。

在电磁单位方面也出现过和存在着许多单位制,例如绝对静电力制,绝对静磁制等,国际电工委员会和度量衡委员会决定从1948年起改用 MKS 制,也就是国际公制。M 是长度基本单位——米, K 是质量基本单位——公斤, S 是时间基本单位——秒。在电磁学方面还需要用到第四个基本单位,这就是电流的基本单位——安培(简称为安),以 A 表示之,因而可以称为 MKSA 制(MKSA 制

尚有合理与不合理之分,我們采用合理的), 我們来看一下 MKSA 制的几个基本量和主要机械量的单位:

长度的基本单位: 米;

質量或重量的基本单位: 公斤;

時間的基本单位: 秒;

速度的基本单位: 米/秒;

加速度的基本单位: 米/秒²;

力的单位: 牛頓, 1 牛頓 = 1 公斤·米/秒²;

功的单位: 焦耳, 1 焦耳 = 1 牛頓·米;

功率单位: 瓦特, 1 瓦特 = 1 焦耳/秒。

至于每个量的单位的定义和簡写符号請参考表 1-1。各种电磁量的单位, 以后在講到各該量时加以介紹, 在表 1-1 内也列入了这些单位。至于 MKSA 制和其他单位制之間的关系, 請參看本章附录。

绝对靜电制 (CGSE) 和绝对靜磁制 (CGSM) 都是以厘米·克·秒为基本单位。下面举一个靜电制电量单位的例子, 以便于对照。

根据庫倫定律, 两个带电体間的作用力为

$$F = k \frac{qQ}{R^2} \quad (1-1)$$

如果两个等量电荷在真空中 ($k=1$) 相距 1 厘米, 它們之間的作用力是 1 达因 (1 达因 = 10^{-5} 牛頓), 則我們就取其中任何一个电量作为靜电制电量的单位。

至于我們在 MKSA 制中所用的电量单位庫倫和靜电制电量单位的关系是:

$$1 \text{ 庫倫} = 3 \times 10^9 \text{ 靜电制电量单位。}$$

在 MKSA 制中以安培为基本单位, 电量单位庫倫是由安培導出的 (參看表 1-1)。

表 1-1. 米、公斤、秒·安(MKSA)制單位的名称与定义

名 称	簡 写 符 号		定 义
	俄文字母	拉丁字母	
1	2	3	4
I. 基本单位			
长度单位: 米	м	m	米为长度单位, 由铂铱合金制成的标准尺所规定, 国际长度标准现在保存在法国巴黎。
質量单位: 公斤	кг	kg	公斤为質量单位, 由铂铱合金制成的标准器所规定, 国际質量标准现在保存在法国巴黎。
時間单位: 秒	сек	sec	为平均太阳時間的秒, 等于 0.0000116057618 平均恒星日。
电流单位: 安培	а	A	两无限长的极小圆截面的导体置于真空中, 彼此相距 2 米, 当一恒定电流流过两导体时, 如在两导体间每米长度内产生 1×10^{-7} 焦耳/米的相互作用力, 則此电流的强度为 1 安培。
电量单位: 庫侖或安培/秒	к, асек	C, Asec	当恒定电流为 1 安培时, 在 1 秒鐘內流经导綫横截面的电量为一庫侖。
电位差、电压与电势的单位: 伏特	в	V	当电流强度为 1 安培的恒定电流流经导綫时, 如在导綫的两点間消耗功率 1 瓦特, 則此两点間的电位差为 1 伏特。
电阻单位: 欧姆	ом	Ω	如导綫两点間的恒定电压为 1 伏特, 产生强度为 1 安培的电流, 則此两点間的电阻为 1 欧姆。
电容单位: 法拉	ф	F	如电容器极板間的电压为 1 伏特, 电容器所充的电量为 1 庫侖, 則此电容器电容为 1 法拉。
II. 力学单位			
速度单位: 每秒米	м/сек	m/sec	如一点作均匀的直綫运动, 在 1 秒鐘內移动 1 米, 則此点的速度为每秒 1 米。
加速单位: 每秒每秒米	м/сек ²	m/sec ²	如一点作均匀加速的直綫运动, 在 1 秒鐘內其速度的变化为每秒鐘 1 米, 則其加速度为每秒每秒 1 米。

表 1-1. (續)

名 称	簡 写 符 号		定 义
	俄文字母	拉丁字母	
1	2	3	4
力的单位: 牛顿或 每米焦耳	$n, \text{d} \cdot \text{f} / \text{m}$	N, J/m	加于 1 公斤质量使其加速为 1 米/秒 ² 的力为 1 牛顿。
功的单位: 焦耳或 瓦特秒	$\text{d} \cdot \text{f}, \text{cmccx}$	J, Wsec	加 1 牛顿的力于一点, 使其依力的方向移动 1 米, 则此力所作的功为 1 焦耳或 1 瓦特-秒。
功率单位: 瓦特	cm	W	在 1 秒鐘內如平均所作的功为 1 焦耳, 则功率为 1 瓦特。
III. 电与磁的			
单位			
磁通单位: 韦伯	ob	Wb	一电路与磁通相鏈, 其电阻为 1 欧姆。当磁通减至零时, 如流經电路横截面的电量为 1 庫仑, 则此磁通为 1 韦伯。
磁感应强度单位: 每平方米韦伯	ob / m^2	Wb/m ²	1 平方米的面置于均匀磁場中, 且与磁感应綫垂直。若通过此面的磁通为 1 韦伯, 则此磁場的磁感应强度为每平方米 1 韦伯。
磁势与磁位差单位: 安培或安培匝	a, an	A, AW	一闭合迴路与一电路相鏈一次, 如流經电路的电流为 1 安培, 则沿闭合迴路的磁势为 1 安培或 1 安培匝。
电感与互感的单位: 亨利	m	H	若电路的恒定电流为 1 安培, 与电路相鏈的自感磁通为 1 韦伯, 则此电路的电感为 1 亨利。 若有两电路, 当一电路中的恒定电流为 1 安培时与另一电路相鏈的互感磁通为 1 韦伯, 则此两电路的互感为 1 亨利。
磁場强度单位: 每 米安培	a / m	A/m	在均匀与各向同性的媒介質中, 若流經一极小圓截面的无限长直綫导体的电流为 1 安培, 则距离此直綫导体 $\frac{1}{2\pi}$ 米处的磁場强度为每米 1 安培。