

[美] V.D. 托罗 著

# 电工学基础

上册

上海交通大学电工学教研室 译

人民教育出版社

本书是根据美国纽约大学 V. D 托罗教授所著的《电工学基础》一书译出。原书是一本美国的参考教材，全书共有四部分。一、电路原理(电工基本定律、电路参数、基本网络理论、电路的微分方程运算形式与解法、电路的动态响应与强制响应、电路的正弦稳态响应。)，二、电子学(电子控制器件——半导体类、电子控制器件——真空管类、电子电路——半导体类 电子电路——真空管类 专题与应用。)，三、机电能量转换(磁的理论与磁路、变压器、机电能量转换、三相感应电动机、三相同步电机、直流电机、单相感应电动机、直接能量转换法。)，四、控制系统与计算机(自动控制原理、控制系统的动态特性、频率响应法的动态特性分析、电子模拟计算机。)。译本分上、下二册，上册包括一、二部分，下册包括三、四部分，各部分自成系统，内容叙述都较详细，也可作为四门独立的课程。它们反映了电工技术在上述四个主要领域的应用和发展。

本书可供高等工业院校师生及科技人员参考。

## 电工学基础

上册

[美] V D 托罗 著

上海交通大学电工学教研室译

\*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷三厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 17.5 字数 420,000

1981年12月第1版 1983年5月第1次印刷

印数 00,001—20,000

书号 15012·0390 定价 2.65 元

## 译者说明

《电工学基础》原是美国纽约大学 V. D. 托罗教授所著的电工教材,其内容包括电路原理、电子学、机电能量转换及控制系统和计算机共四部,各部自成系统,叙述详细,可作为四门独立的课程,它是非电类学生学习电工学的一本参考读物,又是电类学生的电工导论教材。译本可供我们的课程改革与有关科技人员参考。

本书内容丰富,取材适当,物理概念清晰,叙述深入浅出,详尽易懂,特别是精选了大量新颖的例题和习题 580 多道,且有较多联系生产实际的内容,以供读者复习和巩固基本概念,锻炼解题技巧和培养计算能力。原书为一册,译本分上、下二册。

本书在翻译过程中,尽量使译文保持原意。原文各章内容除小标题之外,一般均用英文正体字母,而少数关键性字句使用斜体,以使读者醒目。为了在译文中也体现这一点,我们采用了相应的加黑点以资区别。原文中的印刷错误,我们均一一予以改正。考虑到原作者所著的《电工学原理》再版中只有第四章——求解线性微分方程的拉氏变换法与本书不同,我们也一起加以翻译,附于上册书末,以便读者参考使用。原书末对各部均附有参考书目,考虑到国内这些参考读物,不一定有中译本,所以仍按原文刊出。

本书由史淦森主译及翻译(前言、第二部),参加翻译的还有孙文卿(第一章、第一部),顾石华(第三部)和薛瑞福(第四部)。全书由张钟俊、顾石华校阅。

由于我们水平有限,译文中一定有不少错误和不当之处,欢迎读者批评指正。

## 前 言

七十年代的社会问题已经多得惊人，不堪重负。它将使政治家、工程师、技术员和许多其他专业人员在未来的岁月中不胜繁忙。其中比较严重的社会问题是那些涉及环境、市政(运输、住房、管理等等)和公共卫生的问题。人们普遍认为只有通过适当地将许多有关的学科和所包含的人力物力和谐地协调起来，才有可能解决这些问题。当然，我们有理由期待，电工学这门学科在解决这些问题方面将能发挥越来越重要的作用，这点在以往的许多领域和无数方面中已获得了证实。

本书目的是为电专业与非电专业在学习电工学方面同样提供一个扎实的基础知识。为对电工学求得真正的理解并掌握到一定的深度，本书对电工学的四个主要领域的每个方面都作了深入的阐述，而不是概括的研究。对于电专业的学生来说，本书的阐述将使他们更好地决定其更感兴趣的领域，以便今后能继续学习后续的课程。对于非电专业的人员来说，书中的阐述不仅使他们在解决涉及与跨学科有关的课题上能与电气工程师有更好的共同语言，而且能使他们在处理涉及电工技术的日常事务中具有独立工作的能力。

第1章的中心内容强调了电工学的基本定律，这些基本定律在本书以后各章中时有涉及且有所发展。本章目的是着重阐明：全部电工学这门学科是建立在一些由实验方法证实的基本定律的基础之上的。一旦掌握并理解了这些原理，就能够很方便地对电工学各个不同范围的研究奠定了基础。电路理论就是从下列五个基本定律自然地发展而成的：库仑定律导出电容的概念，欧姆定律

导出电阻的概念,法拉第定律导出电感的概念,克希荷夫电压定律和电流定律二者把前述三个定律的原理系统地加以综合。机电能量转换亦是用相似的方式由法拉第定律和安培定律这样两个基本定律推导出来的。电子学虽然有必要被分成两个部分,但是情况也是一样的。在真空管电子学中,理查逊-达斯曼方程和兰米尔-蔡尔德定律在描述真空器件的特点和性能方面是基本的。另一方面,在半导体电子学中,玻尔兹曼关系式是重要的。

值得注意的第二点是:一切动态分析都是通过经典方法——使用微分算子来完成的,而没有引用拉普拉斯变换,因此在寻求暂态解时,读者必须从物理方面来考虑储能元件的初始条件。

本书的四个主要部分是:电路理论、电子学、机电能量转换以及控制系统和计算机。第一部分阐述电路原理。从第2章开始讨论根据基本定律推导出来的电路参数。

第2章的特点是每个参数都是从电路、能量和几何形状尺寸三种观点来加以论述的,这样就可以得到一个完整的而不是部分的面貌。学生往往知道怎样从电流和电压关系(电路观点)来确定电感,但是对于如何去改变它的数值(几何观点)却一无所知。第3章讨论基本网络定理。为了强调网络定理,使用了只含有电阻器的网络,以便避免处理复数的麻烦。本章内容是按下列合乎逻辑的步骤而发展的。在求网络的响应时,开始是用较麻烦的网络简化法和迭加法求出的,然后通过应用网孔电流和节点电压来改进解题方法。在某种情况下,还可引用戴维南定理和诺顿定理,对解题过程作进一步简化。在本章中还充分地举例来说明。第4章描述的是线性微分方程采用微分算子的经典解法。这一章的论述广泛并为以后的章节研究电路和系统的动态特性时概括出容易应用的方法。本章着重于加深理解为什么动态解会呈现各种形式。第5章是第4章的方法被应用于电工技术中时常会遇到的一些电

路。最后第6章是综合阐述电路的正弦稳态响应这一重要的课题。

本书第二部分的内容是电子学。由于今天电子学在各行各业中的显著地位，这部分的首要重点是讲述半导体器件与集成电路。虽然电子管的章节也包括在内，但这(8与10章)两章可以删去不讲，并不会影响内容的连贯性。第11章中所论述的电子器件的一切应用，只限于专门包括半导体器件的电子电路。这一情况与以上计划是一致的。因此，如果教师要把学习电子学的内容只限于半导体器件，那就只要指定第7、9、11章，就可得出连贯性的效果。如果为了完整性和由于某些原因，仍愿讲授电子管技术而感到方便的话，那可以把8、10两章的内容包括进去。

这一内容被分成三个部分：器件描述[7与(或)8章]；电子电路[9与(或)10章]与一般应用(11章)。第7、8两章叙述二极管和三极管的外部特性曲线与控制性能。一旦完成了理论的解释，就可用适当的电路参数与(或)电源来表示器件，并可使电路分析这一有力工具能应用于电路中去。9、10两章包括了必需理解的电子电路的一些主要课题。为了研究控制和放大，必须理解二极管和三极管的性能与特性的电路计算。此外，还须在合适条件下推导出电流增益和电压增益的一般表示式。同时也须包括晶体管放大系数、晶体管放大器增益和放大级增益之间的差异。电子电路这一课题须按系统概念来进行阐述。我们不仅为了放大器本身而加以讨论，同时也要作为完整的系统中的一部分加以讨论。于是我们在分析二级放大器后即可分析三级放大器并作为一个内部通话系统来分析四级放大器。我们还尽力阐述一些最新内容，对结型场效应晶体管与金属氧化物半导体晶体管器件以及集成电路也给予相当的篇幅。

第三部分专门阐述机电能量转换，开始一章就讨论有关磁学理论和磁路，以便为学习电机学提供必需的基础知识。接下来的

第13章是研究变压器的原理和运行情况。这是学习交流电机的先决条件：第14章专门分析了由安培定律导出的电磁转矩的一般表达式，和从法拉第定律导出的感应电压。尽量概括地着重于论述为学习交直流电机的工作情况所需的相同的基本定律。同时讨论了各种不同类型电机的构造特点以及转矩和电压公式的实用形式。在此需要指出：在课程安排中，如果分配给学习机电能量转换的时间相对很少的话，第12—14章正好提供了一个适当内容纲要。对于时间有富裕的情况来说，第15—18章可适当地接在第14章之后讲述，在这些章节中，着眼点在于阐明下列各种电机的操作、运行、特性和应用。这些电机是三相感应电动机，三相同步电动机，直流电机和单相感应电动机。为了使电机这部分的阐述对非电专业人员也尽可能有所帮助起见，对电动机的定额和应用部分须给予特别注意，并用合适的表格加以简便的概述。对这些电动机的控制电器也广泛地加以讨论。最后，在第19章中讨论了直接能量转换法，包括：太阳能电池、温差电池、燃料电池及磁流体发电机。

第四部分研究控制系统与计算机。第20章对自动控制的基本原理作了详细的解释和阐述，并附有各种工程领域的实例。接着在第21章概括阐述了控制系统的动态特性。学生在此可以直接用微分方程法，也可以用传递函数法来进行系统分析。本书中对误差变化率控制，输出变化率控制与积分误差控制等方法的优点与实现步骤也均予以叙述。如果课程时间有限，第20章与21章合在一起已对控制系统理论提供了一个足够扎实的基础。第22章是为了更广泛地阐述这一专题内容。其中叙述了用正弦稳态频率响应来描述的系统动态特性的技术。最后讨论用模拟计算机来解线性或非线性微分方程的方法，结束了本书的第四部分。

本教材内容可根据要达到的目的及可能的总时间在许多方面加以应用。此外,由于内容涉及面广,可灵活地进行调整。下面所列举的建议拟作为使用教材的参考。

1 一季度电路理论课程 1—6章	1—7章 9章
2 一季度电子学课程 7—11章	11章 第二半学年(电机和系 统课程)
3 一季度机电能量转换课 程 12—19章	12—21章 23章
4 一季度控制系统课程 20—23章	7 半学年电路和能量转换 课程
5 半学年电工学课程 1—3章 6章(时间允许的 选题)	1—3章 4章(4-1到4-6节) 5章(5-1,5-2,5-4 节)
7章 9章(时间允许的选 题)	6章 12-19章
12—14章	8 半学年电路和系统课程 1—5章
6 一年电工学课程 第一半学年(电路和电 子学课程)	6章(6-1到6-10 节) 20—23章

第1到4号的选课进度应该放慢,以便可以有更多的时间用于附加题的求解与讨论。第5号的选课是更详尽的计划,其进度是很容易控制的。第6、7与8号选课的要求更高。除非学生们对于这些课程已具有非常坚实的基础,否则就需要精简几章的内容。假如还要进行习题的大班讨论,那么精简内容更显得特别必要了。



# 上册目录

前言 .....	6
1. 电工学的基本定律 .....	1
1-1 单位 .....	2
1-2 电流 .....	4
1-3 库仑定律 .....	6
1-4 欧姆定律 .....	12
1-5 法拉第电磁感应定律 .....	15
1-6 克希荷夫定律 .....	17
1-7 安培定律 .....	21
第 I 部 电路理论 .....	27
2. 电路参数 .....	29
2-1 能量与功率 .....	30
2-2 电阻参数 .....	31
2-3 电感参数 .....	36
2-4 电容参数 .....	42
3. 基本网络理论 .....	53
3-1 电阻的串联与并联 .....	53
3-2 电容的串联与并联 .....	56
3-3 电感的串联与并联 .....	59
3-4 串-并联电路 .....	61
3-5 迭加原理 .....	67
3-6 应用网孔电流法的网络分析 .....	71
3-7 节点电压法 .....	77
3-8 戴维南定理 .....	83
3-9 诺顿定理·电压源转换成电流源 .....	88
3-10 应用 $\Delta$ -Y 转换的网络简化法 .....	93
4. 电路的微分方程运算形式与解法 .....	105

4-1	微分算子	105
4-2	运算阻抗	107
4-3	用算子列出的电路微分方程·等效性	110
4-4	列出电路微分方程的普遍方法	114
4-5	强制解(或称特解)	115
	恒定源的响应	116
	指数源的响应	118
	正弦源的响应	121
	多项式源的响应	123
4-6	自然响应(或瞬态解)	124
4-7	线性二阶情况时的全响应	130
	不相等的实根	130
	复数根	133
<b>5.</b>	<b>电路的动态特性和强制响应</b>	<b>143</b>
5-1	$R-L$ 电路的阶跃响应	144
5-2	$R-C$ 电路的阶跃响应	154
5-3	对偶性	162
5-4	$R-C$ 电路的脉冲响应	166
5-5	冲激响应	169
5-6	二阶系统( $R-L-C$ 电路)的阶跃响应	174
5-7	$R-L$ 电路对正弦输入的全响应	184
5-8	$R-L-C$ 电路对正弦输入的全响应	189
<b>6.</b>	<b>电路的正弦稳态响应</b>	<b>201</b>
6-1	正弦函数——术语	202
6-2	周期性函数的平均值和有效值	205
6-3	瞬时功率和平均功率·功率因数	210
6-4	正弦量的相量表示	215
6-5	单一参数 $R-L-C$ 的正弦稳态响应	225
6-6	$R-L$ 串联电路	233
6-7	$R-C$ 串联电路	242
6-8	$R-L-C$ 电路	244
6-9	网络定理对复阻抗的应用	246

6-10	谐振	253
6-11	平衡三相电路	264
6-12	傅里叶级数	275
<b>第 II 部 电子学</b>		<b>297</b>
<b>7.</b>	<b>电子控制器件——半导体类</b>	<b>299</b>
7-1	玻尔兹曼关系式及半导体中的扩散电流	301
7-2	半导体二极管	315
7-3	晶体管(或半导体三极管)	321
7-4	结型场效应晶体管(JFET)	327
7-5	集成栅场效应管(或 MOSFET)	335
<b>8.</b>	<b>电子控制器件——真空管类</b>	<b>342</b>
8-1	理查逊-达斯曼方程和兰米尔-蔡尔德定律	343
8-2	真空二极管	348
8-3	真空三极管	353
<b>9.</b>	<b>电子电路——半导体类</b>	<b>365</b>
9-1	晶体管放大器图解分析法	365
	共射极接法	365
	实用电压放大器接法: 交流负载线	374
	JFET放大器接法	377
9-2	线性等效电路	379
	晶体管 $h$ 参数等效电路	380
	$h$ 参数的测定	384
	FET 的线性模型	386
	FET 的甚高频等效电路	388
9-3	晶体管放大器的偏置方法	389
9-4	计算放大器特性	399
	电流增益与电压增益的一般表示式	400
	单级晶体管放大器	402
	二级晶体管放大器	406
	三级晶体管放大器	409
	四级晶体管放大器	412
	单级 FET 放大器	415

9-5	阻-容耦合晶体管放大器的频率响应	418
	晶体管阻-容耦合放大器	418
	阻-容耦合 FET 放大器	429
9-6	集成电路	430
	制造方法	431
	扩散的电路元件	434
	集成晶体管放大器	436
<b>10.</b>	<b>电子电路——真空管类</b>	<b>446</b>
10-1	真空三极管放大器图解分析法	446
10-2	真空管等效电路	456
10-3	真空管放大器的偏置	459
10-4	二级真空管放大器	460
10-5	频率响应	464
10-6	四极管和五极管	470
<b>11.</b>	<b>专题与应用</b>	<b>477</b>
11-1	包含二极管的电子电路应用	477
11-2	射极跟随放大器	482
11-3	推挽放大器	486
11-4	调制	487
11-5	振幅解调或检波	493
11-6	晶体管逻辑电路	495
<b>附录 A</b>		<b>507</b>
表 A-1	单位	507
表 A-2	转换因数	508
<b>附录 B:</b>	<b>元素周期表</b>	<b>509</b>
<b>附录 C</b>		<b>510</b>
表 C-1	电阻率和电阻温度系数	510
表 C-2	圆铜线数据	510
<b>附录 D:</b>	<b>精选晶体管与真空管特性曲线</b>	<b>511</b>
<b>附录 E:</b>	<b>求解线性微分方程的拉普拉斯变换法</b>	<b>519</b>
<b>习题选答</b>		<b>543</b>

## 电工学的基本定律

电工学这门学科仅是建立在几个由实验方法证实了的基本定律的基础之上。许多工程设备,尽管在外形和结构上千差万别,但作为它们的运行和性能基础的原理和概念却往往相同。为了强调这些基本定律的重要性,我们不但应把注意力集中在理论的体系上,也应把注意力集中在可用极简练的公式来表达的最后的实验工作上,也集中在过去的理论上。人们只要学懂了这些定律,便获得了相当的观察能力,从而便于理解那些以适当定律为基础的工程学科的分支。

举例来说,可以看到电路理论的领域就是从库仑(1785)、欧姆(1827)、法拉第(1831)和克希荷夫(1857)所取得的基本成果引出来的。标注的年份表示今天以他们的名字命名的定律初次发表的年份。同样,在本书第三部分将会看到,关于电磁装置和机电能量转换的整个内容,能够只应用二个基本定律——安培定律(1825)和法拉第感应定律(1831)去分析研究。在电子学方面,虽不甚明确但情况很相似。当进入二十世纪,真空管的发明迎来了电子时代。在这个领域里理查逊和达斯曼作出了重要贡献,他们导致热发射性质与特征的发现。同时兰米尔和蔡尔德在描述这些真空器件中的空间电荷性能方面作了重大努力。我们将在第二部分叙述这一基本工作。由于这些实验家的工作成果才能够容易辨认真空器件的外部特性,从而可把真空器件当做电路元件来处理。然而,近年来由于半导体器件的出现,真空管在电子学中已经退居到次要地位。因为我们遇到了一种全新的概念,即在半导体器件中电流

是由扩散方式产生的。因此，在本书中我们将充分讨论半导体的工作原理。在描述半导体的外部特性时玻尔兹曼的关系式是主要的。

基本定律是一些由实验建立的结论的数学表达式。因此，必须要有可用于进行测量的方法，其先决条件是一个协调一致的单位制。本章内容从讨论单位开始。

## 1-1 单位

工程学是一门处理物理量的应用科学。因此，为了在全世界范围内使工程技术人员与科学家之间进行组织、交流和了解，建立一个通用的单位制是必不可少的。物理量的单位是一种测量标准，是不可分割的整体。单位一旦制定后，把它应用于未知量，只需要决定用多少个单位来组成总量。这样，假使长度的单位是米，则只要找出需要多少米来组成长度的总数，便可测出任何未知长度的米数了。所有的基本单位必须是永久性的，可以复制的，便于使用的，可适用于精确比较的，这样的基本单位才有用。

电气工程师需要关心的各种物理量有三十多个。虽然有可能给每个物理量制定一个标准单位，但是实际上不需要这样，因为这些物理量中有许多单位通过实验、推导和定义是相互关联的。例如，在力学的研究中，无须别的什么说明需要任意宣布选为标准的，仅有三个量的单位。所有其他的量可以通过物理量之间的实验、推导及定义的关系，用这三个任选单位来表达。这三个有关的量叫做基本量；在力学中被确定为长度、质量和时间。给这些量选定的相应单位称为基本单位。

在选择基本单位时需要考虑二个问题：首先，在研究某给定学科中所涉及的各种量之间的基本关系，所含有的常数的数目应为最少；其次，测量的单位应是实际的大小。G. 乔治在 1902 年提出

米-公斤-秒(MKS)单位制最适合上述需要,而现在这种综合单位制被全世界所承认。

在这里值得扼要指出,在力学研究中怎样通过三个基本单位来描述其它的物理量。以速度为例来说,它被认为是一个定义量,因为它可以表示为单位时间的长度,或者按基本单位,用米/秒来表示。加速度可同样处理。力这个物理量可以根据牛顿定律的实验关系,用基本单位来描述。于是

$$F = ma \quad (1-1)$$

这里,  $m$  是质量,以公斤为单位;  $a$  是加速度以米/秒<sup>2</sup>为单位。为了方便起见,在 MKS 制中力的单位称为牛顿。但要注意,用基本单位来表达也完全可以。这样,观察一下式(1-1)的右边,可见力的量纲是  $[MLT^{-2}]$ 。某一物理量的量纲表示它所具有的基本单位的因子和幂数。另一个定义量的例子是功。因为功包含着力与长度的乘积,所以它可依照量纲表示为  $[ML^2T^{-2}]$ 。也应注意,式(1-1)之所以是简单形式,而没有常数的倍增因子,是由于适当选择基本单位的结果。如果选择厘米来代替米作为长度的基本单位,并设其它单位保持不变,那末式(1-1)必然应写成  $F = ma \times 10^{-2}$ 。

虽然研究力学只需三个基本单位,研究电学和磁学则必须引进第四个基本单位。基于实用的原因,被选的另一基本量是电流,相应的基本单位称为安。然而,从纯理论的观点来看,这第四个基本量可以是电荷,以库为基本单位。其中一个可以从另一个推导出来。之所以要选择安,重要的理由在于安能够在电、磁以及力学各量之间起着桥梁作用,并且它便于测量。下面讨论安的定义时,将充分强调这一点。

有了这个基础,现在我们可以着眼于研究电工学所用到的四个基本单位的正式定义如下:

1960年国际委员会把米定义为氪 86 橘红线辐射波长的

1,650,763.73 倍。用光的波长来下定义比以前所用的定义更具有永久性。

公斤是法国塞费尔城的国际度量衡局所保存的一块圆柱形铂铱合金的质量。它近似地等于在  $4^{\circ}\text{C}$  时，每边 0.1 米立方体积纯水的质量。

现在把秒定义为热带年 1900 的  $1/31,556,925.9747$ 。

安是流过二条截面极小且在真空中相距一米的无限长直导线时能产生  $2 \times 10^{-7}$  牛顿/米的力的电流。

最近几年，在电工技术上随着甚高频振荡器的出现，皮和纳这样的术语经常出现于文献中。这些术语和其它术语的解释如下表：

分(d-, $10^{-1}$ )	十(dk-, $10^1$ )
厘(c-, $10^{-2}$ )	百(h-, $10^2$ )
毫(m-, $10^{-3}$ )	千(k-, $10^3$ )
微( $\mu$ -, $10^{-6}$ )	兆(M-, $10^6$ )
纳(n-, $10^{-9}$ )	吉(G-, $10^9$ )
皮(p-, $10^{-12}$ )	太(T-, $10^{12}$ )

于一皮秒等于一秒的百万分之一的百万分之一，一厘米等于一米的百分之一。同样，一兆吨等于一百万吨。稍微想一下就明瞭，MKS 单位制在字首的使用中提供更多的灵敏性，这在使用吋、呎、码的英制的单位制时是不那么容易办到的。

为了方便起见，在附录 A 中列出了一张单位的表格。

## 1-2 电流

人们很早就把电荷和电这个概念联系起来，早在公元前 600 年就发现，如用干燥物质去摩擦化石树脂琥珀，能使它具有吸引象羽毛或稻草这样轻微物质的能力。事实上，“电”这个字（原文



electricity) 是从希腊字 electron 意即“琥珀”演化而来的。在此情况下的琥珀，被描述为由于积聚电荷而具有摩擦电。直到十八世纪末叶，人们还是认为这就是电的唯一形式。然而，在 1799 年 A. 伏打发明了铜锌电池，他所出示的电池能在导线中产生连续流动状态的电。这种形式的电最初为了有别于摩擦电被称为流电。但伏打利用更进一步的实验，能够证明这两种类型的电完全相同，并产生同样的结果。当然我们今天关于物质原子结构的知识证实了伏打的论点是正确的。

根据原子学说，我们知道一切物质都由原子组成，而原子由一个以原子核为中心的物体和许多个称为电子的较小粒子所组成。这些电子循着近似椭圆形轨道围绕着原子核转动。电子是人们所知最小的不可分割的带电粒子。美国物理学家 R. A. 米利肯在他知名的油滴实验中证明，电子的电荷为  $1.602 \times 10^{-19}$  库<sup>①</sup>，并任意命名为负电荷。原子的原子核由两种类型的粒子——质子和中子所组成。质子的质量为电子的 1837 倍，它所带的正电荷等于原子中电子电荷的总数。中子具有与质子相等的质量，但不带电。由此可知，正负电荷在描述物质时起着重要作用。

电流定义为流过特定截面积的电荷的时间变化率。运动电荷可以是正，也可以是负；截面积可以是有电荷流动的导线横截面，或者其它某个适当的空间截面，用数学式表示可写为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

在这个方程中  $i$  表示瞬时电流， $q$  表示净电荷，它可以是正，也可以是负，即

---

① 库仑为电荷的单位（简称库），带有一库相同电荷的粒子，相距一米时受到  $10^{-7}c^2$  的斥力。此处  $c$  为光速，以米/秒为单位。