

普通高等院校教材

电工与工业电子学

沈增熙 编



电子工业出版社

内 容 简 介

本书分上、下两篇，共八章。上篇为电路原理，主要内容有：直流电路、交流电路、磁路、变压器、交流异步电动机及其控制电路；下篇为电子电路，主要内容有：放大电路、脉冲数字电路、整流和稳压电路。每章均附有小结、思考题、练习题、综合题。

本书是《电工与工业电子学》方面的一本中等程度的课本，内容丰富、着重概念和对比的分析，由浅入深，使初学者易于掌握。

本书的读者对象是中等专业学校机械类专业的学生，也可供具有中等文化程度的工人和技术人员自学用书。

电 工 与 工 业 电 子 学

沈增熙 编

责任编辑：焦桐顺

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

山东电子工业印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/16 印张：22 字数：499千字

1986年4月第1版 1986年4月第1次印刷

印数：20000册 定价：3.20元

统一书号：15290·215

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材159种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构，并制定了一九八二~一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共217种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

这本教材系中等专业学校无线电机械专业统编教材之一。也可作为其他非电类《电工与工业电子学》课程的教材。

本教材电路部分重点放在与电子电路有关概念的分析，加强基本定律和定理的运用；而工业电子学部分以集成电路为主，讲述集成运算放大器、TTL 电路、集成稳压电路等内容。标有星号的内容，可根据教学的需要取舍。

本书前七章由北京无线电工业学校沈增熙执笔，第八章由张桂凤执笔并为验算全书习题提供了部分资料，沈增熙统编全书。

本书由成都无线电机械学校杨先忠同志主审。

由于编者水平所限，本书存在的缺点和错误，诚恳地希望广大读者给予批评指正。

绪 论

电工与工业电子学是研究电能和技术领域中应用的技术基础课。

由于电能便于转换、输送、控制，已越来越广泛地被应用到各个生产部门、科学技术部门以及日常生活中，成为现代化生产和文化生活不可缺少的物质技术基础。

电子技术特别是电子计算机和微电子技术的发展和广泛应用，对于社会生产力的发展起着变革性的推动作用，电子水准是现代化水平的一个重要标志。电子计算机的高度发展及其在生产领域中的广泛应用，为我们提供了崭新的生产手段、先进的科学实验和有效的组织管理方法，把生产自动化提高到一个新的水平。目前，世界上运算速度最快的电子计算机，可以达到每秒十三亿次。我国已经独立设计和研制成功每秒亿次集成电路电子计算机，这标志着我国的电子计算机研制工作已经跨入世界先进行列。

早在六十年代，我国已能制造三十万千瓦双水内冷发电机。1984年4月8日我国成功地发射了同步通讯卫星，使我国成为世界上少数几个能够独立研制、发射同步卫星的国家之一。但是，我国科学技术同世界先进水平相比，还是比较落后的。我们要发挥中国人民的聪明才智，加快步伐，努力发展电子技术，赶超世界先进水平，把我国建设成为一个现代化的社会主义强国。

电工与工业电子学是一门机械类专业技术基础课。它包括电工和工业电子学两大部分，前一部分主要学习电路理论、变压器和三相鼠笼式异步电动机，偏重于强电；而后部分主要学习晶体管放大电路、脉冲数字电路、属于电子技术的基础知识，以集成电路为主，偏重于弱电。

随着生产的不断发展，对生产机械提出了越来越高的要求。从单机自动化到生产线自动化，从断续控制到连续控制，进而应用数控技术和电子计算机控制。因此，机械类专业人员，必须掌握有关电气和简单控制的基本知识。

本课程的任务和目的是使学生获得必要的电工基础知识；了解机床中常用电机、电器的结构及工作原理，并能阅读简单机床的电气线路图；了解常用电子器件的性能、用途和简单电子线路的工作原理，并能一般地了解电工和电子技术在机械工业中的应用。

学习本课程以掌握基本概念、基本定律、定理及基本分析方法为主，配合一定数量的习题，并注意理论联系实际，重视实验。

由于有些内容在物理课中已经学过，为了避免不必要的重复，所以本课程起点较高。对电源只引出电压，而不引用电动势概念，有利于计算和掌握基本定律。

目 录

绪 论

上 篇

第一章 直流电路

第一节 电路的基本知识	1
一、电路的组成	1
二、电路图	2
第二节 电路中的物理量和电源	2
一、电流及其正方向	2
二、电压及其正方向	4
三、电功率	6
四、电源	6
第三节 电路的工作状态	11
一、通路	11
二、断路	11
三、短路	11
思考题与练习题	16
第四节 电路中各点电位的计算	16
思考题与练习题	20
第五节 克希荷夫定律	20
一、克希荷夫第一定律	21
二、克希荷夫第二定律	23
思考题与练习题	25
第六节 支路电流法	25
思考题与练习题	28
第七节 迭加原理	28
思考题与练习题	31
第八节 等效电源定理	32
一、等效电压源定理(戴文宁定理)	32
二、等效电流源定理(诺顿定理)	35
思考题与练习题	36
第九节 电压源和电流源	36
思考题与练习题	38
习题一	39
本章小结	44

第二章 正弦交流电路

第一节 交流电的基本概念	45
--------------------	----

一、电流的波形	45
二、交流电的应用	46
第二节 正弦电动势的产生	47
一、交流发电机的简单结构	47
二、正弦电动势的产生	47
第三节 正弦量的特征	49
一、幅值(最大值)	49
二、频率、周期与角频率	49
三、初相位和相位差	50
思考题与练习题	52
第四节 正弦交流电的有效值和平均值	54
一、交流电的有效值	54
二、交流电的平均值	55
第五节 正弦量的旋转矢量表示法	56
思考题与练习题	59
第六节 正弦量的复数表示法	60
思考题与练习题	63
第七节 纯电阻电路	63
一、电压与电流的关系	63
二、功率关系	64
思考题与练习题	65
第八节 纯电感电路	65
一、电感与电感电压	65
二、纯电感电路	67
思考题与练习题	70
第九节 纯电容电路	70
一、电压与电流的关系	71
二、功率关系	72
思考题与练习题	74
第十节 电阻、电感串联电路	74
思考题与练习题	77
第十一节 电阻、电感、电容串联电路及串联谐振	77
一、RLC串联电路	77
二、串联谐振(电压谐振)	79
思考题与练习题	83
第十二节 感性负载与电容器并联	84
第十三节 功率因数的补偿	86
思考题与练习题	88
第十四节 三相交流电源	88
一、三相交流电的产生	89
二、三相电源的联接	89
思考题与练习题	91
第十五节 三相负载的星形和三角形联接	91

一、三相负载的星形接法	92
二、三相负载的三角形接法	94
三、功率比较	95
思考题与练习题	97
习题二	98
本章小结	100
第三章 磁路与变压器	
第一节 磁路及其物理量	102
一、磁路	102
二、物理量	102
思考题与练习题	105
第二节 铁磁物质	105
一、高磁导率	105
二、磁饱和性	105
三、磁滞性	106
思考题与练习题	107
第三节 无分支磁路计算	107
思考题与练习题	108
第四节 电磁铁及其吸力计算	109
一、结构和原理	109
二、按线圈电压分类	110
思考题与练习题	111
第五节 变压器	111
一、单相变压器	111
二、自耦变压器	116
三、多绕组变压器	117
四、三相变压器	118
思考题与练习题	119
习题三	120
本章小结	121
第四章 三相交流异步电动机及其控制电路	
第一节 三相异步电动机的结构	122
一、定子	122
二、转子	123
第二节 三相异步电动机的工作原理	123
一、旋转磁场	123
思考题与练习题	126
二、异步电动机的工作原理	126
思考题与练习题	127
第三节 三相异步电动机的工作特性	128
一、转子电路	128
二、电磁转矩	129
三、机械特性曲线	132

思考题与练习题	133
第四节 三相异步电动机的启动、调速、反转、制动	133
一、启动	133
二、调速	134
三、反转	135
四、制动	135
思考题与练习题	136
第五节 电动机铭牌及电动机选择	137
思考题与练习题	139
第六节 单相异步电动机	139
一、电容启动电动机	141
二、电容电动机	142
三、罩极式电动机	142
思考题与练习题	143
第七节 常用控制电器和保护电器	143
一、常用低压手动开关	143
二、熔断器	146
三、自动电器	146
四、图形符号及基本控制环节	149
第八节 三相异步电动机控制电路	151
一、异步电动机正转电路	151
二、异步电动机的正反转启动电路	151
三、异步电动机的能耗制动	152
思考题与练习题	153
第九节 常用机床控制电路	153
一、C620型车床的电气线路	153
二、M7120型平面磨床电气线路	154
三、Z35型摇臂钻床电气线路	156
第十节 安全用电知识	158
一、概述	158
二、保护接地和保护接中线	158
三、安全用电常识	159
思考题与练习题	160
习题四	160
本章小结	161

下 篇

第五章 晶体二极管和三极管	
第一节 半导体的载流子	165
第二节 P型半导体和N型半导体	166
第三节 PN结及其单向导电性	168
思考题与练习题	169
第四节 晶体二极管	170

一、晶体二极管的结构及表示符号	170
二、晶体二极管的特性和参数	171
思考题与练习题	174
第五节 晶体三极管	174
一、晶体三极管的结构	174
二、晶体三极管的放大作用	175
三、晶体三极管的特性曲线	176
四、晶体三极管的简易测试	180
思考题与练习题	182
习题五	183
本章小结	183
第六章 放大电路	
第一节 用算法分析放大电路	186
一、单管放大器的基本线路	186
二、近似条件	187
三、静态值的计算	187
四、用输入电阻的概念进行动态分析	188
五、分贝	194
思考题与练习题	194
第二节 放大器的图解法	195
一、静态工作情况	195
二、动态工作情况——输出不接负载 R_L	196
三、输出接有负载 R_L 的动态工作情况	197
四、用图解法分析失真现象	198
思考题与练习题	199
第三节 静态工作点的稳定	201
一、电路组成	201
二、稳定过程	201
三、估算方法	202
思考题与练习题	202
第四节 负反馈放大电路	203
一、发射极串电阻的负反馈电路	203
二、射极输出器	206
思考题与练习题	209
第五节 功率放大器	209
一、从交流负载线上分析	209
二、单管甲类功率放大器	211
三、推挽功率放大器	214
四、无变压器推挽电路	216
五、复合互补对称电路	217
六、OTL扩音机电路	217
思考题与练习题	219
第六节 正弦波振荡器	220

一、LC振荡回路	220
二、反馈放大器产生振荡的条件	221
三、自激振荡器的应用举例——电子接近开关	223
思考题与练习题	224
第七节 直流放大器	225
一、单端式直接耦合放大器	225
二、直流差动式放大器	226
思考题与练习题	231
第八节 运算放大器	231
一、运算放大器的组成	231
二、BG305组件的内部电路	232
三、运算放大器的基本功能	235
四、线性组件(运算放大器)的主要参数	239
五、线性组件的应用举例	239
思考题与练习题	241
习题六	241
本章小结	242
第七章 脉冲数字电路	
第一节 脉冲波形和参数	244
一、脉冲波形	244
二、脉冲波的主要参数	245
第二节 基本脉冲变换电路	245
一、RC串联电路的充、放电	245
思考题与练习题	250
二、微分电路	251
三、积分电路	252
四、构成微分和积分电路的条件	252
思考题与练习题	253
第三节 晶体管的开关电路	254
一、饱和区	254
二、截止区	255
三、反相器	255
思考题与练习题	256
第四节 TTL门电路	257
一、门电路的逻辑关系	257
二、逻辑表达式的化简	261
三、晶体管-晶体管逻辑电路(TTL)	265
思考题与练习题	267
第五节 触发器	268
一、双稳态触发器	268
思考题与练习题	274
二、R-S触发器	575
三、可控R-S触发器	576

四、计数触发器(T触发器)	278
五、J-K触发器	579
思考题与练习题	281
六、D触发器	283
第六节 单稳态触发器、多谐振荡器和施密特触发器	285
一、单稳态触发器	285
二、多谐振荡器	287
三、施密特触发器	287
第七节 数字电路的应用	288
一、二进制	289
二、同步二进制加法计数器	290
三、二十进制计数器	261
思考题与练习题	292
第八节 译码器和数字显示	292
一、二进制译码器	292
二、8421十进制编码的译码器	293
三、数字显示	294
思考题与练习题	296
第九节 MOS电路	296
一、MOS管的输出特性	296
二、场效应单管放大电路	298
三、MOS管构成的集成电路	300
思考题与练习题	303
第十节 数模转换举例	303
一、权电阻网络	304
二、晶体管开关电路	305
习题七	305
本章小结	306
第八章 整流与稳压电路	
第一节 整流电路	307
一、单相半波整流电路	307
二、单相全波整流电路	309
三、单相桥式整流电路	310
第二节 滤波电路	311
一、电容滤波器	311
二、电感滤波器	313
三、复式滤波器	313
思考题与练习题	314
第三节 直流稳压电路	315
一、硅稳压管稳压电路	315
二、串联式晶体三极管稳压电路	317
三、带有直流放大器的串联式稳压电路	318
四、稳压电路的改进	319

五、集成稳压电路	320
思考题与练习题	321
第四节 可控硅整流电源	321
一、可控硅元件的简单结构	321
二、可控硅元件的工作特点	322
三、可控硅元件的工作原理	323
四、主电路接交流电源情况	324
五、可控硅的伏安特性和主要参数	324
六、单相桥式可控硅整流电路	326
七、触发控制电路	328
八、可控硅的保护电路	330
九、可控硅应用实例	331
思考题与练习题	332
习题八	333
本章小结	334

第一章 直流电路

随着科学技术的发展，电在日常生活、工农业生产、科研以及国防等各个方面都有广泛的应用。尽管目前使用的电气设备种类繁多，但大部分的设备仍是由各式各样的基本电路所组成。它们是由电阻器、电容器、半导体管，变压器、电感线圈等元器件，以不同的功能要求组合而成。为了能对电路进行计算和分析，必须把实际的电阻器、电感线圈、电容器等元器件加以理想化、近似化，用一个理想的纯电阻代替电阻器、纯电感代替电感线圈、纯电容代替电容器。这样，我们就可以作出由这些理想元件构成的电路，然后根据电路的基本定律进行分析和计算。

所谓电路分析，就是已知电路的连接方式，元件参数和电源电压，计算该电路各部分的电流、电压和功率。

直流电路，就是其中的电流、电压等物理量的大小和方向都不随时间变化的电路。

本章主要讨论电路的基本定律、电路的基本联接方式、电路的工作状态及电路中电位的计算等。在学习欧姆定律和克希荷夫定律的基础上，导出了计算复杂电路的各种方法：支路电流法是这两个定律的直接应用；迭加原理是线性电路的基本原理，也是解复杂电路的一种方法；等效电源定理提供了分析复杂电路中某一特定支路电流的捷径；电流源和电压源的互换又能简化解题的步骤。

第一节 电路的基本知识

一、电路的组成

电路，简单地说就是电流所经之路。

电路的作用是多种多样的，可能是为了分配电能及实现电能与其他形式能量相转换的目的，也可能是为了传输或转换各种信号或实现控制作用等。电路一般由导线和元器件构成。

图1-1所示为指示灯电路。它包括指示灯、电池和开关，用导线将它们联接起来。当开关合上时指示灯亮，开关断开时指示灯灭。这是一个完整的但又是简单的电路。干电池、灯泡、开关、连接导线是组成这个电路的元器件，它们各有各的作用。干电池是一种电源，在其正负极间能保持一定的电压，对电路提供电能；灯泡实际上是一个电阻器，由电阻丝制成，电流流过时能发热到白炽状态而发光，是用电的器件，称为负载；连接导线可使电流构成通路，把电源的能量传输给负载。任何其他实际电路也都是由一些元器件组成的。

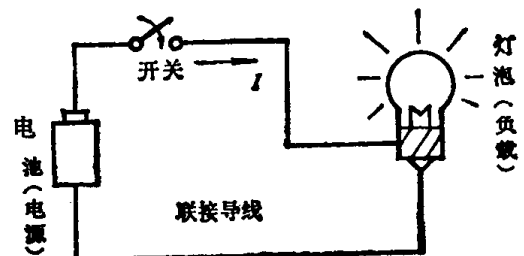


图 1-1 指示灯电路

通常电路由四部分组成：(1)电源，(2)负载，(3)连接导线，(4)控制电器，如

图1-1所示。

电源除常用的电池、发电机、整流器等外，还有各种信号源。它们将非电能（例如化学能、机械能、太阳能、原子能等）转换为电能，也可以将一种形式的电能转换为另一种形式的电能，例如高频电源、整流器等。

负载是取用电能的装置，除电灯外，还有电动机、继电器、数目繁多的各种用电设备。它们将电能转换为其他形式的能量。

控制电器用来控制电路的断开和闭合，以及保护电源和负载不受损坏。开关、熔断器、继电器等都属于控制电器，在电路中起辅助作用。

此外根据需要，电路中还接有测量仪表，如电流表、电压表、功率表等。

二、电路图

上面所举的例子是一个最简单的电路。实际上我们将会遇到一些复杂得多的电路，但也不外乎是由多个电源、负载和导线等组成。工程上用的电气图纸分为原理接线图和装配图两种。原理接线图只表示线路的接法，用一些简略图形来代替各种实物，并标上规定的文字符号，而实际电路的几何尺寸及形状等并不在图形中反映出来。这种图简单清晰，便于分析和计算，以后我们画的都是原理接线图。装配图除了表示电路的实际接法外，还要画出有关部分的装置和结构。电气工人照装配图接线安装和检修。

实际元器件在一定条件下加以理想化、近似化，忽略它的次要性质，用一个理想元件表征其主要性质。譬如说，灯泡有电流流过时还会产生磁场，兼有电感性质，但其电阻性质为主，而电感极其微小，是很次要的性质，把它看成一个理想的电阻元件是完全可以的；一个新的干电池，它的内阻和灯泡电阻相比可以忽略不计，把它看作一个电压恒定的电源也是完全可以的；在连接导线较短的情况下，它的电阻完全可以忽略不计，导线上各点是等电位。

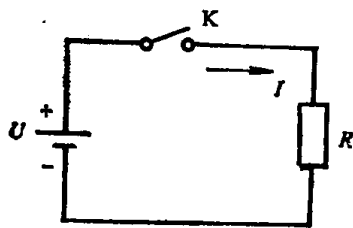


图 1-2 原理图

理想化的实际元器件，就可以画出只由理想元器件组成的原理接线图（又称电路原理图）。图 1-1 的实际电路，可以画成图 1-2 的原理接线图。其中负载电阻用一个小矩形来代表，电源则用一长一短（粗）的两根平行线来代表，这种符号习惯上用于代表干电池或蓄电池。表 1-1 是常用理想元器件的电路符号。

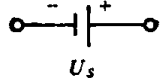

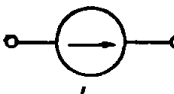
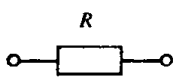
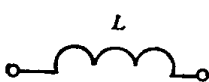
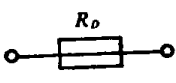
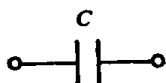
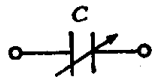


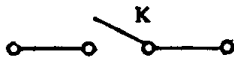
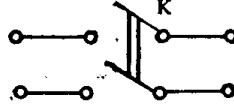
第二节 电路中的物理量和电源

一、电流及其正方向

电子和质子都是带电的粒子，电子带负电荷，质子带正电荷。所带电荷的多少叫电量。在国际单位制（SI）中，电量的单位是库仑（用字母C表示）， 6.24×10^{18} 个电子所具有电量等于1库仑。用符号 q 或 Q 表示电量。带电粒子有秩序的移动，即为电流。

我们把每单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流强度，用以衡量电流的大小。电流强度常简称为电流，用符号 i 表示，即

表1-1 常用(理想)元件符号

元件名称	符 号	说 明
电 源	 <p>U_s</p>	其中“+”、“-”表示电源正、负极
	 <p>U_s</p>	U_s 表示恒压源电压
	 <p>I_s</p>	I_s 表示恒流源电流
电 阻	 <p>R</p>	固定电阻
电 感	 <p>L</p>	
熔 断 器	 <p>R_D</p>	又称保险丝
电 容	 <p>C</p>	固定电容
	 <p>C</p>	可变电容
导 线		圆点表示相交
		不涂圆点表示不相交
开 关	 <p>K</p>	单刀开关
	 <p>K</p>	双刀开关

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

dq ——在极短的时间 dt 内通过导体横截面的微小电量。

习惯上把正电荷运动的方向定为电流的方向。

如果在任一瞬间通过导体横截面的电量都是相等的，而且方向也不随时间变化，则这种电流叫做恒定电流，简称直流，用简写 dc 或 DC 表示。电流用符号 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化，则称为交变电流，简称交流，用简写 ac 或 AC 表示。

电流本身没有一定的空间方向(它不是矢量)，而总是沿着导线流动，但还是有两个可能的方向，即流去或流回。为了计算方便，可任选两个方向中的一个作为电流的正值方向，简称正方向，又叫参考方向。而电流的实际方向却并不一定与电流的参考方向一致。当电流的实际方向与参考方向一致时，则电流的数值计为正；反之，若电流的实际方向与参考方向相反，则电流的数值计为负，如图 1-3 所示。由于电流可能有正值或负值，所以它是一个代数量。应当注意：在未规定参考方向的情况下，电流的正负是没有意义的。



图 1-3 电流的正负

(a) 实际电流为正值;

(b) 实际电流为负值

电流的实际方向是反映客观事实，是一定的。因此若选定的参考方向不相同，同一电流的大小仍相同，但符号相反。

为了不使电流的实际方向与参考方向在图中相混淆，实际方向不必标明在图内，图上标的一律是参考方向。从原则上来说，虽然参考方向是可以任意假定的，但在直流电路中，为了使参考方向与实际方向一致，当电路中电源电压或电流的实际方向已知时，它们的参考方向总是按实际方向画出。除非在分析电路时不能确定实际方向的情况下，参考方向才任意假定。

最后，我们不厌其烦地再重复一遍，图上标明的是参考方向，而不标明实际方向，但计算出来的电流却是实际电流。如 $I = 4$ 安，表示大小为 4 安，方向即参考方向；若 $I = -4$ 安，表示大小为 4 安，方向是与参考方向相反。

在国际单位制(SI)中，电流的单位是安培，简称安，用字母A表示。计算微小的电流时，以毫安(mA)或微安(μA)为单位，即

$$1(A) = 10^3(mA) = 10^6(\mu A) = 10^9(nA)$$

二、电压及其正方向

电荷在电路中流动，就必须有能量的交换发生。电荷在电路中的一些部分(电源处)获得电能，而在另一些部分(如电阻处)失去电能。当然，这种电能的获得或失去是和其他形式能量相互转化的结果。为了衡量做功能力，引入电压这一物理量。电压有时也叫