

21世纪高等院校教材

GAO DENG XUE XIAO DIAN GONG DIAN ZI
SHI YAN JIAO XUE XI LIE JIAO CAI

高等学校电工电子实验教学系列教材

电 工 学

白雪峰 孙志诚 编著

DIAN GONG XU

内蒙古大学出版社

Inner Mongolia University Press

21世纪高等院校教材

GAO DENG XUE XIAO DIAN GONG DIAN ZI
SHI YAN JIAO XUE XI LIE JIAO CAI

高等学校电工电子实验教学系列教材

电 工 学

白雪峰 孙志诚 编著

DIAN GONG XU

江苏工业学院图书馆
藏书章

内蒙古大学出版社
Inner Mongolia University Press

内容简介

本书是参照教育部（前国家教委）1995年颁发的高等工科学校“电工技术（电工学Ⅰ）”、“电子技术（电工学Ⅱ）”及“电路与电子技术”三门课程的教学基本要求和有关的教学大纲编写的，是与面向21世纪课程教材和教育部工科电工学“九五”规划教材的教学相配合的实验教材。

全书包括实验和附录两个部分。实验部分包括电工技术、电子技术两类，共二十个实验内容，着重培养学生的实验方法及实践与动手能力；附录部分介绍了与实验内容相应的实验手段、仪器仪表的使用方法及技术指标。

本书可作为高等学校工科电工学实验课程的教材或实验指导书，也可供其它工科专业师生阅读。

图书在版编目（CIP）数据

电工学 / 白雪峰, 孙志诚编著, 一呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 2004.3
ISBN 7-81074-632-4/TM·2

I. 电... II. ①白...②孙... III. 电工学—高等学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字（2004）第014022号

书 名	电工学
编 著	白雪峰 孙志诚
责任编辑	王志平
封面设计	张燕红
出 版	内 蒙 古 大 学 出 版 社 呼和浩特市昭乌达路88号(010010)
发 行	内蒙古新华书店
印 刷	内蒙古自治区政府机关印刷厂
开 本	787 × 1092/16
印 张	11
字 数	250千字
版 次	2004年3月第1版
印 次	2004年3月第1次印刷
书 号	ISBN 7-81074-632-4/TM·2
定 价	17.00元

本书如有印装质量问题, 请直接与出版社联系

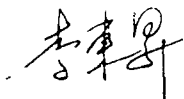
序

内蒙古自治区的高等教育事业起步于20世纪50年代初。经过近50年的发展,我区的高等教育无论从规模上,还是质量上都取得了长足的发展。特别是近些年来,全区高等院校的招生数量成倍增长,部分院校的合并使得一些高校的办学规模迅速壮大,形成了几所万人大学。与此同时,各高校对各自的专业及课程设置都做了较大的调整,以适应当今日益发展变化的高等教育事业。面向21世纪,在科学技术日新月异,社会对人才的知识结构、层次要求越来越高的新形势下,我们的高等教育的教学水平,特别是教材建设都应有一个更新更高的要求。

回顾50年来的发展,虽然我区高等教育的教学科研水平有了较大的提高,但与之相应的教材建设的现状还不尽如人意,绝大多数主干课程的教材还沿用一些传统教材,有些甚至是20世纪七八十年代的版本。有些院校的教材选用则有一定的随机性,在几种版本的教材之中换来换去。其间,虽然部分院校也组织力量编写了一些基础课及专业课教材,但大都是各成体系,缺乏院校间的协作与交流,形不成规模,质量亦无法保证,常常滞后于学科的发展与课程的变化。这都与我区高等教育的发展极不协调。诚然,区外部分地区高校的教学科研水平比我们要高,一些教材的质量好,我们可以直接利用,但这并不能成为我们不搞教材建设的理由。好的教材还需要相应的教育资源条件与之相对应才能取得良好的教学效果,从而达到促进教学质量提高之目的。应当承认,由于经济发展的相对落后,我区高校所招学生的基础和学校的教学条件比起全国重点名牌大学相对要差一些。因而,我们高校的教材也应从实际出发,结合自己学校和学生特点,逐步探索、建立一套适合自治区教育资源条件的教材体系,促进自治区高校教学科研水平的提高,多出人才,出好人才。

值得欣喜的是,随着自治区教育科学水平的提高,我区高校教育领域的一些有识之士逐渐认识到,面向21世纪,未来高校之间的竞争就是学校的产品——学生质量的竞争。要想培养出高水平、高素质的学生,使我区的高校在这种竞争中立于不败之地,除各高校应努力提高自身的教学组织管理水平、提高教师的素质外,还应积极主动地加强与区内外高校的协作、交流,取长补短,走联合发展的道路,使我区高等教育的整体水平能够在较短的时间内得到提高。为此,在有利于规范高校教材体系,促进高校教育质量的提高,加强各高校教学科研人员之间的协作与交流的原则下,由自治区教育厅牵头,内蒙古大学出版社组办、资助,联合全区高等院校的有关专家、学者共同组建成立一些相关专业的教材编委会,以求编写适合我区高等教育特点的教材,逐步建立、完善自治区高等教育的教学、教材体系,并开展一些与教学相关的科研工作。我们希望,通过教材编委会这种工作模式,建设一批高质量的教材,带出一支高水平的师资队伍,培养出大批高素质的人才。

我坚信,在自治区教育厅的指导下,在编委会各位专家、学者的辛勤工作下,在各院校的相互理解、相互协作、相互支持下,我们一定能够克服发展过程中的困难,逐步推出一批高质量、高水平的教材,为推进内蒙古自治区高等教育事业做出重要的贡献。



2002年3月19日

前 言

实验是学习电工电子技术的一个重要环节,对巩固和加深对课堂教学内容的理解,提高学生实际工作技能,树立严谨的科学作风,并为学习后续课程和从事实践技术工作奠定基础具有重要作用。为适应电工电子技术的发展和面向二十一世纪的高等教育改革,提高学生实验技能和培养学生独立分析问题、解决问题的能力,结合实验室建设的需要,在内蒙古工业大学信息工程学院电工学教研组多年教学经验的基础上,编著了此书。

编者参照了新修订的《电工学》教学大纲,努力做到既保留教学基本要求中所规定的基本实验,又体现教学改革的精神,尽可能地反映工程中常用电气测量仪器仪表的原理、构造及使用方法的内容,反映当前电气工程的新技术和新的测试手段。

本书内容包括二大部分:第一部分为电工电子实验内容二十个;第二部分为附录。其中,实验1-7和实验11-20由白雪峰老师编写,并绘制了相应的实验插图和表格;实验8-10和附录部分由孙志诚老师编写,并绘制了相应的实验插图和表格。

本书是内蒙古工业大学信息工程学院电工学教研组多年理论教学和实验教学的总结。考虑到不同层次需要,实验内容的安排既有测试、验证的内容,也有设计、研究的内容。部分实验内容要求学生自己完成方案选择、实验步骤及记录表格等,充分发挥学生的创造性和主动性。

内蒙古工业大学信息工程学院齐国胜副教授和李春明教授担任了本书的主审,并提出了许多宝贵意见;同时,在本书编著过程中,也得到了内蒙古工业大学信息工程学院电工电子教学中心的同事及电工实验室老师们的热情帮助,提出了许多宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心地感谢。

书中难免存在错误和不妥之处,恳请使用本书的老师 and 同学批评指正。

编 者

二〇〇四年二月

目 录

电工及电子技术实验导论	(1)
实验报告要求	(4)

实 验 篇

实验一	简单电气测量及叠加原理	(7)
实验二	戴维宁定理的验证	(14)
实验三	正弦交流电路的研究	(18)
实验四	功率因数的提高	(25)
实验五	三相交流电路中电压、电流的测量	(29)
实验六	三相异步电动机的直接起动与正反转控制	(34)
实验七	三相异步电动机的行程/时间控制	(38)
实验八	可编程控制器 (PLC) 基本逻辑指令实验	(42)
实验九	用 PLC 实现三相异步电动机的 Y- Δ 起动	(48)
实验十	PLC 对十字路口交通信号灯的自动控制	(52)
实验十一	常用电子仪器的使用练习	(55)
实验十二	单级低频放大电路的测试	(61)
实验十三	直流差动放大电路	(69)
实验十四	集成运算放大器的线性应用	(74)
实验十五	RC 振荡电路	(80)
实验十六	直流稳压电源	(85)

实验十七	门电路与组合逻辑电路	(91)
实验十八	双稳态触发器	(100)
实验十九	时序逻辑电路的研究	(107)
实验二十	555 定时器的应用	(113)

附 录 篇

附录一	测量结果及实验数据的表示法	(121)
附录二	电气测量指示仪表简介	(127)
附录三	实验室常用电子仪器简介	(148)
附录四	GPP 软件简介	(160)
附录五	实验规程和安全用电知识	(165)
附录六	电气测量仪表刻度盘上标志及端纽符号的意义	(166)
参考文献		(167)

电工及电子技术实验导论

实验课是高等学校理工科教育的一个重要环节，是一门独立的必修基础课程。实验教学程序由课前预习、课内操作与辅导、课后作业(实验报告)三个环节组成，它是对《电工学》理论课学习的有力配合。

一、实验的目的

1. 培养学生通过观察实验现象和处理实验数据来研究基本电磁现象及规律的能力，巩固和加深理解所学到的理论知识，并提高学生用理论知识分析与解决实际问题的能力。

2. 培养学生实事求是、一丝不苟、严格、严密的科学态度，树立辩证唯物主义观。

3. 训练学生的基本实验技能，如正确使用常见的电工仪表、电子仪器及常用的电机、电器等设备，掌握安全用电知识及一些基本的电工测试技术、试验方法和数据的分析处理方法等。

4. 培养并提高学生的科学实验素养，主动研究的探索精神和遵守纪律，爱护公共财产的优良品德。

二、实验课的要求

1. 实验课的预习(课前):

学生在每次实验课前必须认真预习实验，复习相关理论知识。否则，实验的进行将事倍功半，而且有损坏仪器和发生人身事故的危險。凡没有达到预习要求的学生，均不得参加本次实验。

(1) 明确实验内容，掌握与实验有关的基本理论，了解实验仪器和设备的使用方法，知道实验的操作程序以及注意事项等。

(2) 简要写出实验预习报告。内容包括：实验目的、实验电路、数据记录表、预习思考题的解答等。

(3) 记住操作上需特别注意的问题和预习中尚欠理解，需在实验中弄清的问题。

2. 实验的进行(上课):

良好的上课习惯、工作方法和正确的操作程序是实验顺利进行的有效保证。为此，可参照下列程序进行实验。

(1) 学生上实验课时不得无故迟到。以二人或一人为一个小组，分组对号入座。为了便于管理，要求小组成员及其实验台号在整个《电工学》实验中保持不变(为便于检查和临时计算实验数据，实验时应自带计算器)。同组合作者要团结协作、共同探讨，认真仔细地进行实验。

(2) 接线前，应先按设备清单清点设备，并了解各仪器设备和元器件的额定值、类型、使用方法和电源设备情况。

(3) 实验中所用的仪器、仪表、实验板以及开关等，应根据连线清晰，调节顺手和

读数观察方便的原则合理布局。

(4) 接线应遵循“先串联后并联”、“先接主电路后接辅助电路”的原则(检查电路时,也应按这样的顺序进行),先接无源部分再接有源部分。不得带电接线,因而接线前,应先将所有电源开关断开;为避免过电流、过电压损坏设备和元件,接线前应将可调设备的旋钮、手柄置于最安全的位置。

(5) 接线时电路的走线位置要合理,导线的粗细长短要合适,接线柱要接触良好并避免联接三根以上的导线(可将其中的导线分散到等电位的其它接线柱上)。接好线路后,应先自行检查,再经教师复查后才能接通电源。闭合电源开关时,要告知同组同学,并注意各仪表的偏转是否正常。改接线路时,必须先断开电源。

(6) 实验中要胆大心细,一丝不苟,认真观察现象,同时分析研究实验现象的合理性。若发现异常现象,应及时查找原因。如果需要绘制曲线,则至少要读取5组数据,而且在曲线的弯曲部分应多读几组数据,这样得出的曲线就比较平滑准确。

(7) 实验完毕,先切断电源,再根据实验要求核对实验数据,然后请指导教师审核、签字,通过后再拆线,整理好导线并将仪器设备摆放整齐,做好值日工作。

(8) 要爱护公物,注意仪器设备及人身安全。

3. 实验数据的整理工作(课后):

数据整理工作主要是实验报告的编写(续预习报告),其内容应包括:

(1) 数据处理:实验数据及计算结果的整理、分析,并找出误差原因。

(2) 曲线绘制:选择适当大小的坐标纸,分度应使图纸上任一点的坐标容易读数,且使所得曲线占满全幅坐标纸而不偏集于某一小块地方。描出的曲线应当光滑匀称,不必强使曲线通过所有的实验数据点,但应使曲线未经过的点大致均匀分布在曲线的两侧。在每个曲线图的下面,应将曲线所代表的意义清楚明确地标出,使阅读能一目了然。

(3) 完善预习思考题。

(4) 了解主要仪器设备的型号、参数、额定值等。

三、故障的检查

实验中常会遇到因断线、接错线、接触不良等原因造成故障,使电路工作状态异常,严重时还会损坏设备,甚至危及人身安全。

实验所用电源一般都是可调的,实验时电压应从零缓慢上升,同时注意仪表指示是否正常,有无冒烟、焦臭味、异常声及设备发烫等异常现象。一旦发生上述异常现象,应立即切断电源。然后找老师一起分析原因,查找故障。

四、安全及注意事项

实验证明,人体触电时,通过的电流超过50mA就有生命危险,超过100mA则在极短的时间内就能致人于死地。电工学实验经常使用220V和380V电源,而人体电阻在1000 Ω 左右,实验中如有不慎,就可能发生触电和损坏仪器设备的严重事故。因此,在实验中切忌麻痹大意,必须严格遵守安全操作规程,以确保实验过程中的人身安全和设备安全。

1. 不擅自接通电源;不触及带电部分。严格遵守“先接线后通电”,“先断电后拆线”

的操作顺序。

2. 使用电子仪器时应先熟悉仪器使用方法，了解各种旋钮的作用；使用仪表时应选择适当量程；使用电机与电器设备时应符合其铭牌上的额定值。

3. 分压器、调压器等可调设备的起始位置要放在最安全位置，仪表档位、量程、指零应先调好。

4. 接通电源或起动电机时，应先告知全组人员。

5. 发现异常现象(设备发热，发出焦味，电机转动声音不正常，以及电源短路保险丝熔断发出响声等)应立即断开电源，保持现场，报告指导教师。造成仪器设备损坏者，需如实填写事故报告单。

6. 注意仪器设备的规格、量程和操作规程。不了解性能和用法时，不得使用该设备。

7. 搬动仪器设备时，必须双手轻拿轻放。

总之，实验中应当认真细致，反应灵敏。因此，不得大声喧哗，要保持实验室应有的和谐与宁静的气氛。

实验报告要求

实验前必须认真预习，明确实验目的，了解实验原理和内容，熟悉所需仪器的使用，掌握实验步骤及应注意的问题。

预习报告包括：

一、实验目的、实验线路。

二、原始数据记录表格。

三、必要的计算和预习思考题的回答。

实验报告格式

封面：

实验名称_____

班号_____ 组别_____

实验者_____ 同组人_____

实验日期_____ 交报告日期_____

内容：

一、实验目的、实验线路。

二、原始数据记录表格(即附教师签字的预习报告)。

三、实验数据整理、曲线绘制等。

四、对实验中出现的现象所作的分析与讨论，有何体会。

五、预习思考题的解答。

注：内容的前二部分应在预习报告时完成，后三部分在实验后完成。实验报告要用规定的实验报告纸书写，要求页面整洁、语言通顺、图表清晰、分析合理、讨论深入，由课代表收齐，于下一次实验前统一交到实验室的指定地点。

实 验 篇

突

印

編

实验一 简单电气测量及叠加原理

一、实验目的

1. 熟悉电气测量仪表的分类及表示符号，并学习使用电压表、电流表、万用表及所用电工技术实验箱等几种常用电气仪表与仪器。
2. 在熟悉仪表使用的基础上，验证并加深理解用叠加原理计算线性电路的电流、电压的正确性。
3. 熟悉电气测量仪表误差的计算方法。

二、预习要求

1. 阅读“电工及电子技术实验导论”、“实验报告要求”，了解如何进行电工实验、安全规程及应注意的问题。
2. 参见附录及本次实验的原理与说明，了解本次实验中所用的电气仪表的工作原理、特性及使用方法。
3. 求出图 1—3 中的电流、电压值及用叠加原理计算出图 1—4 中各支路的电流值，并分别填入表 1—4 及表 1—5 中。

三、实验原理与说明

电气测量是电工实验中不可缺少的一个重要部分，它的主要任务是测量电流、电压、电功率和电阻等各种电气量。而正确使用各种电气测量仪表是完成全部实验的基础。本次实验首先熟悉几种常用电气仪表的使用，然后验证叠加原理。

1. 电气仪表的一般介绍

由于电气仪表具有构造简单、使用方便、准确可靠、能作远距离测量等许多优点，故电气测量在测量技术中占有重要的地位。下面以电气仪表的分类来简介一下电气仪表。

表 1—1

型 式	符 号	测 量 对 象
磁电式		直流（电流、电压、电阻）
电磁式		直流及工频交流（电流、电压）
电动式		交、直流（电流、电压、电功率、电能、功率因数）
整流式		交流（电流、电压）

根据测量方法的不同，电气仪表可分为两大类，即直读式仪表和比较式仪表。利用指针的偏转直接读出被测量大小的仪表，称为直读式仪表。它构造比较简单，使用方便，应用较广，缺点是测量准确度较差。将被测量与相应标准量进行比较的装置，称为比较式仪表。它价格较高，操作复杂，故只在精密测量时才使用。

常用的直读式仪表种类很多，一般按下列几个方面来分类：

- (1) 按被测量的种类可分为：电流表、电压表、功率表、功率因数表、频率表等。
- (2) 按工作原理可分为：磁电式、电磁式、电动式、整流式等。其表示符号如表 1—1 所示。
- (3) 按工作电流可分为：直流表、交流表、交直流两用表。几种常见电气测量仪表上的符号如表 1—2 所示。

表 1—2

符 号	意 义
—	直流
~	交流
≈	交直流
3~或≈	三相交流
⚡2kV	仪表绝缘试验电压 2000V
↑	仪表直立放置
→	仪表水平放置
∠60°	仪表倾斜 60° 放置

- (4) 按准确度条块等级可分为：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5，共七级。

通常，0.1 级和 0.2 级的仪表用作标准仪表并进行精密测量；0.5 级至 1.5 级的仪表用于实验测量；1.5 级至 5.0 级的仪表用于工程测量。

仪表的准确度是根据仪表的相对额定误差 γ 来分级的。所谓相对额定误差，是指仪表在正常工作条件下进行测量可能产生的最大基本误差（绝对误差） ΔA （ $\Delta A = A_x - A_o$ ， A_x 为仪表的指示值； A_o 为被测量的实际值）与仪表的最大量程（满标值） A_m 之比，如以百分数表示，则为

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\%$$

在正常工作条件下，可以认为最大基本误差（绝对误差）是不变的，这样实际值 A_o 的相对误差 γ_A 为

$$\gamma_A = \frac{\Delta A_m}{A_o} \times 100\% = \frac{\pm \gamma \cdot A_m}{A_o} \times 100\%$$

可见, 实际值 A_0 较满标值 A_m 愈小, 则相对误差愈大。因此, 在选用仪表的量程时, 被测量的值愈接近满标值愈好。一般应使被测量的值超过仪表满标值的一半以上。

以上介绍的直读式仪表的几种分类方法, 实际上是通过几个不同的角度反映了仪表的技术性能。通常在直读式仪表的标度盘上都标有相应符号来说明上述各种技术性能, 供使用者选择。

2. 电压表、电流表的使用说明

根据被测量的大小, 电压表可分为毫伏表、伏特表和千伏表; 电流表可分为微安表、毫安表和安培表。

(1) 型式的选择: 测量直流电压、电流时, 可使用磁电式、电磁式或电动式仪表。由于磁电式的灵敏度和准确度高, 所以使用最为广泛; 测量交流电压、电流(有效值)时, 则只能选用电磁式或电动式的仪表, 其中电磁式仪表较为常用。可见电磁式或电动式可以交、直流两用。整流式仪表用以测量周期电压、电流的平均值。

(2) 接线方法: 电压表必须并接在被测电压的两端; 电流表必须串接到被测量的电路中。使用磁电系仪表测量直流量时, 还应注意仪表接线端钮上的“+”、“-”极性标记, 应和被测两点的高低电位相一致, 不能接错, 否则指针会反转, 并会损坏仪表。

(3) 量程的选择: 选择电压表、电流表量程时, 应使所选量程大于被测电压的值, 以免损坏仪表。此外, 在选择量程时还应注意使指针尽可能接近满标值, 最好让仪表工作在不小于满标值的三分之二的区域, 以提高测量的准确度。

为了准确地测量电路中实际的电压和电流, 必须保证仪表接入电路不改变被测电路的工作状态。这就要求电压表的内阻为无穷大, 电流表的内阻为零。而实际使用的电工仪表都不能满足上述要求。因此, 测量仪表一旦接入电路, 就会改变原有的工作状态, 这就导致仪表的读数与电路原有的实际值之间出现误差, 这种测量误差值的大小与仪表本身内阻值的大小密切相关。

3. 万用表的使用方法

万用表可测量多种电量, 虽然准确度不高, 但是使用简单, 携带方便, 特别适用于检查线路和修理电气设备。万用表有磁电式(指针式)和数字式两种。常用指针式万用表的面板如图 1—1 所示。

(1) 端钮(或插孔)选择要正确:

a. 万用表一般配有红、黑两种颜色的表笔, 面板上也有红、黑两色端钮或标有“+”、“-”极性的插孔。使用时应将红表笔接红色端钮或插入标有“+”号的插孔内, 黑表笔接黑色端钮或插入标有“-”号的插孔内。

b. 测量电流与电压的方法与一般电表相同, 即测电流时串接于电路, 测电压时并接于电路。测量直流时要注意正负极性, 红表笔接正极, 黑表笔接负极。

(2) 转换开关位置选择要正确:

a. 根据测量对象, 将转换开关转至需要的位置上。例如测量电流, 转换开关转至相应的电流档; 测量电压, 转换开关转至相应的电压档。应注意, 严禁在带电测量时旋转转换开关; 严禁带电测电阻。

b. 合理选择量程。测量电压或电流时, 应使被测量的值落在量程的 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 范围内;

测量电阻时，测量值应尽量落在欧姆表中心值的 0.1~10 倍范围内。这样，读数比较准确。

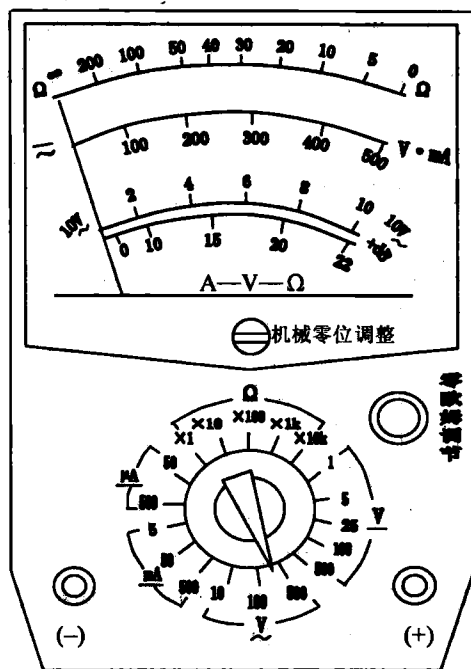


图 1—1 指针式万用表的面板

(3) 进行机械调零和欧姆调零：

用万用表测量前，应通过面板上的调零螺钉进行机械调零，以保证测量的准确性。

在测量电阻时，每转换一次量程时，都要进行欧姆调零。方法是将两根表笔短接，如指针不在 $R=0$ 的位置上，则调整面板上的“零位欧姆调节”旋钮，使指针指零，如果这种方法不能使指针指零，则说明表中所用电池的电压不足，应更换新电池。

(4) 结束测量：

测量完毕，将转换开关转至交流电压档最大量程位置上或旋至“OFF”档。

数字式万用表与磁电式（指针式）万用表比较，测量准确度较高，测量范围较大，此外，还可检查半导体二极管的导电性能，并能测量晶体管的电流放大系数 h_{fe} （即 β ）和检查线路通断。

需要说明的是，万用表面板上的“+”端是接至内部电池的负极上的，而“-”端是接至内部电池的正极上的。

4. 电流插座和插头的使用

实验箱(DICE-DGA)的各实验线路中，提供有多个独立的电流插座，其符号如图 1—2 (a) 所示。它主要用在有多个支路的电流需要测量时，以减少电流表的用量。当需要测量某一支路电流时，可利用串联在被测电流支路上的电流插座，将与一个电流表相联接的电流插头插入电流插座中，亦即将电流表接入了电路中，电流就流经电流表而测得所需支路电流，如图 1—2 (b) 所示。如将电流插头拔出，就将电流表从该支路中取出，而该