

韩守梅 刘蕴络 编著

电工电子技术 实验教程

DIANGONGDIANZIJI
SHIYANJIAOCHENG

兵器工业出版社

电工电子技术实验教程

韩守梅 刘蕴络 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本教程是在近几年来实验教学的基础上编写而成的。教程包括绪论和三章：第一章电工技术实验概论；第二章电工技术实验；第三章电子技术实验。电工技术实验内容包括：基本实验技能训练、基本电路元件伏安特性的测绘、基尔霍夫定律、电压源与电流源的等效变换、叠加原理、戴维宁定理、一阶 RC 电路的暂态响应、正弦交流电路等效参数的测量、日光灯电路功率因数的提高、三相交流电路及其功率测量、三相异步电动机、三相异步电动机继电器接触控制、三相异步电动机可编程控制器控制。电子技术实验包括：电子示波器原理及常用电子仪器使用练习、单管交流放大电路的研究、差动放大电路的研究、基本运算放大电路的研究、集成运放的积分电路、电压比较电路的研究、波形发生器、直流稳压电源实验、门电路与组合逻辑电路的分析与设计、采用中规模集成器件组成的组合逻辑电路、触发器及其应用、时序逻辑电路的研究、四人优先判决电路、数字电路的设计与实践、定时电路—集成定时器 555 的实验、DAC 与 ADC 的使用与实验。

本教程可作为高等学校的非电类专业的本、专科学生的基础实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术实验教程/韩守梅,刘蕴络编著. —北京:兵器工业出版社, 2006. 1

ISBN 7-80172-624-3

I. 电... II. ①韩... ②刘... III. ①电工技术—实验—高等学校—教材
②电子技术—实验—高等学校—教材 IV. ① TM—33 ② TN—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 003521 号

出版发行: 兵器工业出版社

发行电话: 010-68962596, 68962591

邮 编: 100089

社 址: 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市艺辉印刷厂

版 次: 2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1—3550

责任编辑: 王 强

封面设计: 李 晖

责任校对: 郭 芳

责任印制: 赵春云

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11

字 数: 224 千字

定 价: 17.50 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

实验的目的是通过实验巩固并加深理解电工学课程的基本理论,培养学生理论联系实际的能力,提高学生的动手能力、设计能力、分析问题和解决问题的能力。通过规范的实验训练,使学生学会常用的电工与电子仪器,掌握基本的电路测量方法和调试的基本技能,加深对电路工作原理的理解和研究。

本教材的特点之一是通俗易懂实用性强。实验内容由浅入深,学生可根据书上的方法独立完成每个实验的基本内容。特点之二是综合性强。实验内容丰富多样,除了基本实验外,还有综合性实验、设计性实验。通过实验课的学习,学生的综合分析问题、解决问题的能力、电路设计能力能得到很好的锻炼和提高。

本教程编入电工技术实验 13 个,电子技术实验 16 个,除了传统的实验内容,还增加了若干新的实验内容,以适应电工电子技术实验更新的需要。

本教程的绪论、第一章、第二章的内容由刘蕴络编写;第三章的内容由韩守梅编写;附录由姜燕钢编写。韩守梅负责全书的统稿。

北京科技大学钟家桢教授审阅了全书并提出了许多宝贵的意见,对保证本教程的质量起了很大的作用。郭秀荣教授对本教程也给予了许多帮助。在此,对给予我们帮助的老师表示最衷心的感谢。

由于我们的水平有限,教材中不妥之处在所难免,衷心希望使用该教程的老师和同学们批评指正。

编者

2005 年 11 月于北京

目 录

绪 论	(1)
一、课程的性质与内容	(1)
二、课程的教学目标与要求	(2)
三、实验课要求	(2)
附件一:学生实验守则	(3)
附件二:实验报告要求	(3)
第一章 电工技术实验概论	(5)
第一节 如何上好电工技术实验课	(5)
第二节 电气测量指示仪表的一般常识	(9)
第三节 安全用电常识	(11)
第二章 电工技术实验	(15)
实验一 基本实验技能训练	(15)
实验二 基本电路元件伏安特性的测绘	(17)
实验三 基尔霍夫定律	(20)
实验四 电压源与电流源的等效变换	(23)
实验五 叠加原理	(27)
实验六 戴维宁定理	(30)
实验七 一阶 RC 电路的暂态响应	(34)
实验八 正弦交流电路等效参数的测量	(38)
实验九 日光灯电路功率因数的提高	(43)
实验十 三相交流电路及其功率测量	(48)
实验十一 三相异步电动机	(53)
实验十二 三相异步电动机继电接触控制	(58)
实验十三 三相异步电动机可编程控制器控制	(62)
第三章 电子技术实验	(73)
实验一 电子示波器原理及常用电子仪器使用练习	(73)
实验二 单管交流放大电路的研究	(83)
实验三 差动放大电路的研究	(88)

实验四	基本运算放大电路的研究·····	(92)
实验五	集成运放的积分电路·····	(96)
实验六	电压比较电路的研究·····	(98)
实验七	波形发生器·····	(101)
实验八	直流稳压电源实验·····	(104)
实验九	门电路与组合逻辑电路的分析与设计·····	(109)
实验十	采用中规模集成器件组成的组合逻辑电路·····	(114)
实验十一	触发器及其应用·····	(119)
实验十二	时序逻辑电路的研究·····	(124)
实验十三	四人优先判决电路·····	(128)
实验十四	数字电路的设计与实践·····	(131)
实验十五	定时电路—集成定时器 555 的实验·····	(134)
实验十六	DAC 与 ADC 的使用与实验·····	(138)
附录一	模拟电子技术基本元器件介绍·····	(143)
附录二	电子电路实验方法及误差分析·····	(159)
参考文献	·····	(168)

绪 论

一、课程的性质与内容

《电工电子技术实验教程》是与电工技术、电子技术课程相配合的实验课，为整个教学环节中的一个重要组成部分，它具有很强的实践性。其实，理论课教学与实验课是相辅相成的，前者强调理论性，后者更强调实践性，两者缺一不可。《电工电子技术实验教程》也介绍一些理性知识，如电工仪表的构成原理及使用方法，电子仪器的工作原理及使用方法等。

《电工电子技术实验教程》是培养学生理论联系实际，分析问题、解决问题，训练其实际动手能力的一门课程。通过本课程的学习与实践，可使非电专业学生掌握电工技术、电子技术的基本实验技能，增强其实践能力，加深其对理论知识的理解，提高其分析问题和解决问题的能力，培养学生实事求是的工作作风，树立严谨的科学作风。

本课程由两部分实验内容组成：电工技术实验与电子技术实验。

（一）电工技术实验

电工技术实验中，涉及电路理论方面的实验主要包含直流电路、单相交流电路、三相交流电路实验。通过学习，学生应掌握正确使用电工仪表测量电压、电流、功率的方法。通过三相异步电动机及继电器接触器控制实验，学生应初步掌握电动机、常用电器的使用方法和简单控制电路的设计方法。

（二）电子技术实验

在电子技术实验中，介绍了常用电子仪器（电子示波器、低频信号发生器、交流毫伏表、直流稳压电源等）的工作原理和使用方法。通过电子技术实验，学生应学会常用电子仪器的使用，掌握利用常用电子仪器测量某些电量参数的方法，如：电压频率、周期、振幅、相位及其波形的观察、测量。电子技术实验包括两方面内容：模拟电子实验和数字电子实验。通过实验，使学生认识各种常见电子元件：电阻器、电容器、晶体管、集成电路，掌握它们的型号、参数及其意义，并初步掌握如何判断好坏的方法。

二、课程的教学目标与要求

通过本课程学习,每个学生都应掌握最必要、最基本的实验技能与操作技能,并逐步培养和树立严谨的科学作风。如下是一些最基本的教学要求,希望同学们在实验课中自觉地加以训练,并逐步达到。

1. 通过本课程学习,应能正确连接电路,进行相应的实验操作,并能做到安全用电;包括人身安全与设备安全。
2. 学会常用电气测量仪表的正确使用方法,尤其是万用表,必须熟练掌握。
3. 学会常用电子仪器的正确使用方法,如示波器、低频信号发生器、晶体管毫伏表、直流稳压电源以及其他仪器等。
4. 掌握交流电压、电流的频率、周期、振幅、相位的测量方法。初步掌握电动机、变压器及常用电器的使用方法。
5. 通过实验训练,学生应具备初步的分析问题、解决问题的能力。学生应根据实验现象分析实验原理的正确性,特别是应根据实验出现的故障现象,进而分析、判断出故障原因,正确找出故障点,并排除之。
6. 通过本课程学习,学生应逐渐具备独立完成电工电子实验的能力,即:学生应根据实际要求设计出合理、正确的实验电路,选择合适的仪表或仪器,正确测量、读取数据,并对实验现象和实验结果进行科学分析,写出实验总结报告。
7. 通过本课程学习,逐步培养和树立严谨的科学作风。

三、实验课要求

《电工电子技术实验教程》课程是一门技术基础实验课,具有很强的实践性。通过本课程学习,需培养学生具备一定的电工技术实验与电子技术实验的技能。因此,学生必须以严肃、认真的态度对待本课程学习的每一个环节。

在上课前,学生必须作好充分的预习。在指导教师讲课时,学生一定要认真听讲,尤其要注意指导教师提出的实验操作要点,以防损坏设备或发生人身安全事故。在做实验时,学生要正确使用电工或电子设备(或仪器),不清楚的应向指导教师虚心请教。在实验完成后,学生要认真做总结报告,正确对待实验数据或实验波形,必须实事求是,不要修改数据,不要搪塞,对实验中出现的与理论不符的数据(或波形)进行实事求是的讨论,培养严谨的科学作风。

鉴于此,特制定学生实验规则,详细内容见其后的附件一。同学们应经常阅读学生实验规则,熟记于心,以上好每一节实验课。

为使实验报告形式一致,特制定实验报告要求,详细内容见其后的附件二。写预

习报告时,应先写好如下部分:实验名称、实验目的、主要实验设备、实验原理图、注意事项(摘要)、预习中需计算的理论数据(应有简单计算过程)、所需数据表格等。实验完毕后,应整理实验数据,并绘制图形或实验波形,按照每个实验教程所规定的“实验报告要求”回答问题。

附件一: 学生实验守则

一、在实验室内不许喧哗,不许随地吐痰,不许乱扔纸屑,不许吸烟。实验前,不许乱动实验桌上的仪器。

二、实验前必须做好预习报告,不做预习报告者不得做实验。

三、因病或其他原因没做实验者,必须事先与实验课指导教师联系,按指定时间补做实验。

四、电路接好后,经检查无误,方可通电。若发生事故,应立即断电,分析原因,并向指导教师报告,待查明原因后,方可继续做实验。

五、若有仪器设备损坏,当事人必须向指导教师报告,指导教师视具体情况处理,可对当事人进行批评教育,或要求当事人写书面检查,或要求当事人赔偿。

六、实验完成后,必须将仪器设备复位,整理好导线,交还工具或元件,并在打扫场地后,方可离开实验室。

七、实验课后,按照《电工电子技术实验教程》教程或指导教师要求,做好实验报告,并按时上交给指导教师。

附件二: 实验报告要求

一、实验报告封面格式

实验名称:

班级: 姓名:

实验日期: 年 月 日

二、实验报告

1. 实验内容(题目)
2. 实验目的
3. 实验设备

4. 实验电路

5. 课前预习内容：包括预习中需计算的理论数据（要有计算过程），元件或熔断器选择，仪表量程选择，波形分析等。

6. 实验结果：包括实验中，实测的数据、计算结果、图形等。

7. 实验总结：对本次实验的收获、体会和建议等。

第一章 电工技术实验概论

第一节 如何上好电工技术实验课

电工学是一门实践性很强的技术基础课,实验是教学环节的重要组成部分,它是培养学生的实际操作技能和提高分析问题、解决问题能力的一个重要环节。实验课教学不但可以进一步培养和提高学生的科学素养、实验技能和创造性,而且还有助于学生树立严谨的科学研究态度、掌握科学的研究方法,所以必须重视本课程的学习。

一、实验课前的准备工作

实验课能否顺利进行,能否达到满意的预期效果,在很大程度上取决于准备工作是否充分。因此,学生在每次上实验课之前,必须认真阅读相应的实验课教材,复习相关理论,明确本次实验课的目的和任务,了解本次实验课的实验原理和操作方法,阅读教材中有关本次实验所用仪表和设备的原理及使用方法,必要时可在实验室开放时间到现场对照学习,拟定实验所需记录表格以及设计实验线路(对于已给出的实验线路应看懂其实验原理),选择相关测量仪表的量程,选择保险丝的规格,并按实验所规定的内容写出预习报告(用16开纸张认真书写,其格式见本教材的“绪论”附件二部分)。预习报告应于实验课前经老师检查合格才能进行实验。

二、实验课的进行程序

(一) 检查预习报告

学生在进行实验之前,应将事先写好的预习报告交给指导老师检查并接受必要的提问,通过以后方可进行实验操作。

(二) 检查设备

学生在进行实验操作之前,首先应按实验课教材中给出的设备清单检查实验台上

的设备是否齐全、完好,然后检查万用表是否完好(通常完好且电量充足的万用表,当波段开关拨在电阻挡的各量程时,若测试笔短接,则其表针均应能指向 $0\ \Omega$ 处,且其调零电位器均能起作用,对数字万用表而言,则应显示0),并把万用表的编号登记在实验卡片上。若经检查有设备、仪表缺少或损坏的,应该申明,以便及时调整,以保证实验课的顺利进行。学生对于不懂其使用方法的仪表、设备,必须请教教师以后才能使用,以防仪表、设备损坏或造成触电等事故。

(三) 连接线路

1. 在接线之前,首先应对实验台上各种仪器设备进行合理的布局。布局原则是:既要便于操作,更要保证操作中的安全。测量仪表应尽量摆在靠近身边处,以便正确读数。

2. 接线时一定要在**断电的情况下**按图接线,严禁带电接线。接线顺序:应从电源开关下方的一端开始,沿着电路图中主要回路一个一个元件串接起来,再接回到电源的另一端。注意不要从电路中任意一处开始接线,否则容易造成错误。在完成一个串联回路接线以后,再从电路的分叉点(即结点)连接并联回路。这种接线方法称为“先串后并”。

3. 接线时要注意走线合理,接线牢靠。尽量采用短导线,并减少导线用量,因导线太长易增加混乱从而导致故障。同时要注意避免导线跨越测量仪表上方、刀闸上方、需操作部位上方,以免妨碍正常操作和读数,还要尽量避免在一个接线柱上出现三个或更多的接头(如此易造成接头松动或脱落)。图1-1a为多接头的正确接法,图1-1b则为多接头的错误接法,不可取。

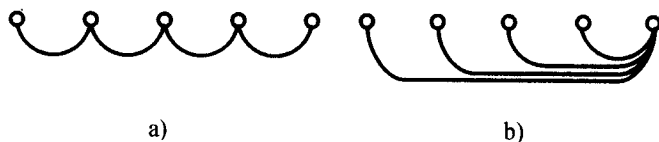


图1-1 多接线头的接法

a) 多接头的正确接法 b) 多接头的错误接法

4. 接线完毕后,必须认真检查接线有无错误,在确认无误后方能通电实验。通常情况下,指导教师强调和讲解接线原则和接线方法,但不负责检查学生的接线情况,若由于实验操作者不认真或不按规程操作而发生的事故,其责任完全由操作者自负。

(四) 通电检查线路工作状态是否正常

接线正确,并不等同于线路就能正常工作。通常由于元件的损坏或导线折断,或

接点不牢等因素,将会引起各种故障。为此,要求学生在正式测试前应先做下述检查:

1. 在合闸通电之时,一定要同时注意观察各实验设备有无异常现象出现。若合闸以后,出现异常的光亮、声响、烟雾或焦糊味,都应该立即拉闸断电,再进行分析。此时应暂不改动原接线,维持电路现状,以便查找故障点。同时报告指导教师及时处理,以保证实验课的顺利进行。待查明故障点,并排除故障点后,再重新合闸通电。

2. 若合闸后,发现电路不通,则可能是出现了断路故障(元件损坏、导线折断或接点不牢固等)。为此,应先拉闸,再重新检查接线有无错误,并拧紧各接线柱。经确认无误后,可用电压检查法查找故障点,其方法介绍如下:

假设线路断开点在图 1-2 所示电路中标注叉处,则合闸后灯不亮,表明电路出现断路故障。此时若电源已接通,则断开处两端可能会出现与电源相等的电压,而其他各元件两端不会有电压。据此原理,可按以下步骤排查故障点:首先选用合适量程的电压表,测量①、⑥两点的电压,若为 220 V,说明电源供电正常(若无电压,应查明是否已合闸),然后将电压表的一支测试笔(如⑥端)固定不动,令另一支测试笔沿①—②—③逐点移动至负载接线端,若电压表均指示为 220 V,说明这些点之间无断线。此时,固定此测试笔在③端(即负载的一端),令另一测试笔沿⑥—⑤—④逐点移动至负载另一端进行测量。如果发现③、⑤间有电压 220 V,而③、④之间却不出现电压指示,那么可移动测试笔测量④、⑤之间电压,若为 220 V,说明是开路电压(等于电源电压),则可断定④、⑤间导线是断线(一般是哪儿出现电压突变,哪儿即为故障点——断点),应拉闸后,再更换此导线。这种由电源开始直至故障点的检查方法称为逐点逼近法。

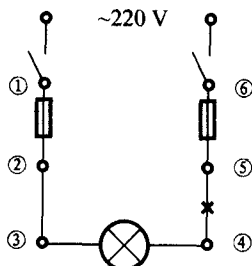


图 1-2 电压检查法
找故障点

对于较复杂的线路,如出现断路故障,应根据故障现象首先初步判断可能的故障点范围,然后再按上述方法检查排除之,此为顺藤摸瓜法。

(五) 正确操作、读数、记录和观察

1. 严格按照实验条件进行操作和测量,凡急剧变化处取点密,缓慢变化处取点疏,读数时应注意仪表的位置是否便于正确读数。要合理选择仪表量程,应力求使指针偏转大于 $2/3$ 满量程时较为合适,同一量程中,指针偏转越大越准确。当仪表量程与表盘刻度一致时,可以直接读取其结果并记录之。当量程与刻度不一致时,应先弄清楚每一格代表多少安培(或伏特等)再读数,读数一般都应取三位有效数字。

2. 测量完所需数据以后,不要着急拆线,要先认真分析各数据的合理性,是否漏测数据,是否有漏观察现象,以适当进行重测或补漏,若自己没有把握,可请教师指导,然后再拆线、整理仪器并复位。注意拆线前应先拉闸断电。

总而言之,在整个实验过程中,应始终将注意用电安全摆在首要位置,无论是人身安全还是设备安全均如此(详见本章第三节)。

三、总结提高

做完实验后,应及时写出实验总结报告,将实验中观察到的现象以及测量的数据加以整理、分析、总结,并于实验后一周内把总结报告交给指导教师批阅。写报告时,对于波形、曲线应用坐标纸认真描绘,并使曲线尽量匀称、圆滑地通过多数数据点,个别误差较大的数据点可予以舍弃。总结时,必须尊重实验测量数据,对其中存在的偏向性误差(例如各数据普遍比理论值偏大或偏小),应能找到理论根据进行分析,决不可用修改数据的方法去满足理论上的规律。例如,白炽灯泡的冷电阻与热电阻存在着明显的差别,当所加电压小于额定电压时,其电流也小于额定值,此时灯丝的电阻值将明显小于在额定电压下的电阻,因而测量出的电流一定要比按额定电阻计算的电流值来得大,这种偏大情况并非偶然误差,在写总结时,就应能用冷热电阻的差别予以说明。

写总结报告时,可按教材中的总结要求写,注意不要写成问答式,而应根据实验结果和自己的体会,用连贯的科学语言来写,但也不宜写成长篇大论,只要能够中肯地总结出应有的规律即可。当然,在其中要充分利用实验中的各种数据来引证你的结论。

四、实验课的考核

考核分为平时考核和期末考试两部分。平时考核采用卡片登记制度。第一次上实验课时,每个学生应领取一张实验卡片,并填写必要的项目。每次上课时,由指导教师根据学生的预习报告、回答提问、操作技能、总结报告各项内容分别登记考核意见,并以此作为评分的依据。注意:此卡片不得丢失,不得私自涂改。

期末考试,采取一人一组抽签实验方式。学生应按所抽考题内容在指定的实验台,于规定时间内独立完成。考题内容及所用仪器设备均为本学期内学习并使用过的。

实验课的总成绩为上述两部分成绩之和。

第二节 电气测量指示仪表的一般常识

一、电气测量指示仪表的分类

1. 按仪表的工作原理划分

仪表可分为：磁电式、电磁式、电动式、整流式和电子式等（为减少篇幅，有关磁电式、电磁式和电动式仪表的结构和工作原理，请参阅秦增煌主编的《电工技术》（第六版）第十三章 13.2 节第 347~351 页）。

磁电式仪表的优点是：刻度均匀、灵敏度和准确度高、内功耗小；缺点是：过载能力小、价格较高，只适用于直流量的测量。电磁式仪表的优点是：构造简单、价格低廉，可测交流量和直流量，能通过较大的电流且有较大的过载能力；缺点是：准确率低、内功耗大且刻度不均匀。电动式仪表由于没有铁心，故其准确度高，可用于交流和直流电路中测量电压、电流和功率等。

2. 按仪表的用途划分

仪表可分为：电流表、电压表、功率表、欧姆表及多用途仪表（如万用表）等。

3. 按仪表适用的电流种类划分

仪表可分为：直流仪表、交流仪表、功率表、交直流两用仪表等。

4. 按仪表的准确度等级划分

仪表可分为：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 共 7 级。

0.1 级仪表的最大相对误差允许 0.1% 以下，其余类推。通常 0.1 和 0.2 级作为校准表使用，实验室常用仪表为 0.5 级、1.0 级和 1.5 级，而 5.0 级只用于配电盘的指示仪表。

以上各种分类均以符号标明在各仪表的表盘上。表 1-1 列出了常用仪表符号及其含义。

二、电气测量仪表的测量误差及量程选择

任何一个仪表在测量时都会出现误差。仪表在正常条件下使用时，由其结构特点、制作工艺不完善等因素所引起的误差，称为基本误差。若仪表在非规定条件下使

用(如应水平放置的仪表被倾斜放置呈一定角度或周围磁场太强等),还会产生附加误差。

表 1-1 常用仪表符号及其含义

符 号	意 义	符 号	意 义
	磁电式(永磁式)		安培表
	检波式(整流式)		伏特表
	电磁式		瓦特表
	电动式		欧姆表
—	直流		2 级磁场屏蔽
~	交流		2 级电场屏蔽
≡	交直流		仪表绝缘试验 电压 2 000 V
3~	三相交流		工作环境 温度 0~40 ℃ 湿度 85% 以下
↑	仪表垂直放置		工作环境 温度 -20~+50 ℃ 湿度 85% 以下
→ 或	仪表水平放置		准确度等级 0.5 级
∠60°	仪表倾斜 60° 放置		

在实际测量中,可根据仪表的准确度来估计由仪表所引起的基本误差。例如:用量程为 250 V 的 0.5 级电压表分别测量 50 V 和 220 V 的电压时,其最大基本误差为:

$$\text{测量 } 50 \text{ V 时: } \gamma = \pm \frac{0.5\% \times 250}{50} = \pm 2.5\%$$

$$\text{测量 } 220 \text{ V 时: } \gamma = \pm \frac{0.5\% \times 250}{220} = 0.57\%$$

由此可见,所选仪表量程越接近被测量值,其测量结果的误差越小。当仪表指针指在满刻度上时,其测量结果的准确度才等于仪表的准确度。因此,为充分发挥仪表的准确度,在测量时所选仪表量程应尽量使其指针能偏转到满刻度的 2/3 以上为宜。

第三节 安全用电常识

为了更好地上好电工技术实验课,为了今后能更有效地利用电能,每个人都应学会安全用电,并把安全用电摆在首要位置。安全用电包括两方面:人身安全用电和仪器设备安全用电。

一、人身安全用电

1. 电流对人体的危害

人体触电时,电流对人体的危害可分为两大类:一类是电流通过人体时,引起内部器官创伤,称为“电击”;另一类是电流通过人体时,引起外部器官创伤,称为“电灼伤”。

人体遭受电击后的主要病理变化为:引起心室纤维性颤动和呼吸麻痹或呼吸神经中枢衰竭,从而造成昏迷,直至死亡。

触电造成伤害的严重程度与诸多因素有关,主要有以下几种:

(1) 通过人体电流的大小。根据研究和大量的事故统计资料表明,通过人体电流的大小对人体的影响如表 1-2 所示。

表 1-2 电流对人体的作用特征

电流 /mA	作 用 特 征	
	50~60 Hz 交流电	直 流 电
0.6~1.5	开始感到手指麻刺	没有感觉
2~3	手指强烈麻刺	没有感觉
5~7	手的肌肉痉挛	刺痛,感到灼热
8~10	手已难以摆脱带电体,但终能摆脱	灼热感增加
20~25	手迅速麻痹,不能摆脱带电体,剧痛,呼吸困难	灼热更甚,产生不强烈的肌肉痉挛
50~80	呼吸麻痹,持续 3 s 或更长时间,则心脏麻痹并停止跳动	呼吸麻痹