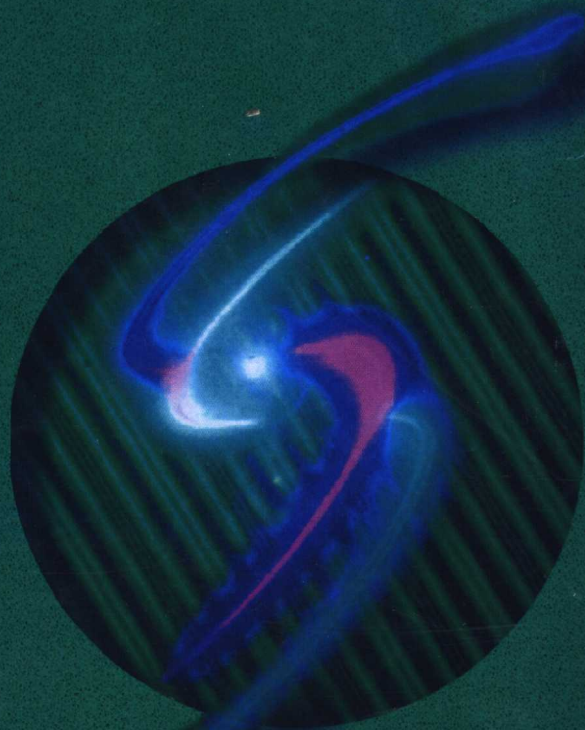




国家工科教学基地
21世纪电工电子系列教材

电子技术工艺实习

主 编 罗小华
副主编 朱 旗



华中科技大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS
E-mail: hustpp@wuhan.cnghb.com

国家工科教学基地

21 世纪电工电子系列教材

电子技术工艺实习

主 编	罗小华	
副主编	朱 旗	
编 著	罗小华	朱 旗
	郝广震	何文才
	黄 恩	陈宁安
	黄新宇	宋素芳

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术工艺实习/罗小华 主编
武汉:华中科技大学出版社, 2003年9月
ISBN 7-5609-3032-8

I. 电…
II. ①罗… ②朱…
III. 电子技术-工艺
IV. TN

电子技术工艺实习

罗小华 主编

责任编辑:李 德
责任校对:吴 晗

封面设计:潘 群
责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华大文印中心
印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司

开本:787×960 1/16 印张:19.75 字数:369 000
版次:2003年9月第1版 印次:2003年9月第1次印刷 定价:22.00元
ISBN 7-5609-3032-8/TN·75

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书较全面地介绍了安全用电基本常识、常用电子元器件基本知识、焊接技术、表面贴装技术和微组装技术、手工印制板电路设计及计算机印制板辅助设计、电子技术文件的编制以及常用仪器仪表的使用等内容,具有一定的先进性,资料性和实用性。

本书注重教与学相结合,理论与实践相结合。每章节有思考题与习题,用以巩固和拓宽书本中的内容。本书不仅介绍了传统电子技术工艺的基本知识,也介绍了本领域的新产品,新工艺。

本书可作为高等学校理工科及相关专业学生电子工艺实习教材,也可作为电子科技创新实践、课程设计、毕业设计的参考书,也可供职业教育、技术培训和有关工程技术人员参考。

前 言

“电子工艺实习”课程是高校电类、近电类及相关专业的必修课。它是将电子技术基础理论与电子技术工艺密切结合,模拟电子产品生产实际主要过程的一个实践基础平台。通过这门课的学习,使学生明白电子工艺在电子产品生产过程中的重要性。

本书的内容安排有如下特点。

内容新:通过对新器件、新工艺、新测试设备的介绍,让学生了解到本领域最新动态。

重实用:在本书教学过程中,安排了相应的电子产品制作实习内容,以加深对理论知识的理解和操作技能的运用,使学生得到工程训练,从而锻炼和提高学生的动手能力和实际操作技能。

资料全:在学习本书内容及电子产品制作和其他实习过程中所遇到的技术规范、器件标识、规格型号等主要参数基本上能在书本中快速查到。

因此,本课程的学习为后续的课程设计、生产实习、毕业设计和科技创新活动打下一个坚实的基础。

本书编写内容力求与实际应用相结合,每章之后均附有思考题与习题,以巩固和深化所学的理论和实践知识。第一章:三相交流电和安全用电,主要介绍生产和生活实际中用电的基本知识。第二章:焊接技术,主要培养学生基本焊接方法和技能。第三章:表面贴装技术和微组装技术,介绍当前最新的电子安装技术。第四章、第五章:印制电路板从传统的手工设计到计算机辅助设计,使学生全面了解印制电路板的设计制作工艺,以及计算机印制电路板辅助设计发展过程,并学会运用新的应用软件。第六章:常用电子元器件,主要使学生掌握电子元器件的命名方法、主要参数识别以及如何借助有关资料、手册正确选用电子元器件。第七章:电子技术文件,使学生了解和熟悉电子产品在设计、生产、管理过程中所需要的技术文件,它是电子产品生产的重要组成部分。第八章:常用电子仪器仪表的使用,主要是让学生在实践中学会怎样正确使用这些常用仪表来检测电子元器件的主要参数和性能。

本书不仅参考了其他学校同类教材,还收集了一些相关的资料。参加编写的有罗小华、朱旗、陈宁安、黄恩、黄新宇、郝广震、何文才、宋素芳,全书由罗小华主编。由黄力元教授主审。

由于作者水平有限,编写时间仓促,搜集资料还不够充分,书中肯定会有不足之处,欢迎读者批评指正。

编 者
2003 年 5 月

序

《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》中指出：“实施素质教育，就是全面贯彻党的教育方针，以提高国民素质为根本宗旨，以培养学生的创新精神和实践能力为重点，造就‘有理想、有文化、有纪律’的、德智体美等全面发展的社会主义事业建设者和接班人。”

最近，教育部《关于加强高等学校本科教学工作提高教学质量的若干意见》中指出：“进一步加强实践教学，注意学生创新精神和实践能力的培养。实践教学对于提高学生综合素质、培养学生的创新精神和实践能力具有特殊作用。高等学校要重视本科教学的实践环节，……。”

近些年来，一些经济发达国家在反思高等工程教育的发展趋势中，提出了“回归工程”的教育观。所谓“回归工程”教育，其重要论点之一就是从比较重视理论教育到加强工程实践能力的培养。因为他们发现理工院校教师和学生工程实践经验太少，难以满足社会的需要。因此，一些经济发达国家的许多理工院校，这些年来正在采取多种措施，以加强对工程实践能力的培养。

最近美国工程院教育委员会对 21 世纪工程教育走向的研究报告《工程教育适应系统设计》一文中明确提出：应把培养工程师作为大学工科类本科的培养目标。因此，其毕业生应获得工程学士学位，以适应 21 世纪工程技术和工业发展的需要。

可见，各国对培养学生创新精神和实践能力有举足轻重的实践性教学环节都是极其重视的。认为是高等工程教育人才培养计划中必不可少的组成部分。在高等工程教育人才培养过程中有其特殊的不可替代的地位和作用。

“电工实习”一直是我校理工科学生培养计划中，作为通识教育基础的实践教学性环节的重要组成部分，根据专业的不同要求，一般在低年级作为必修的实践性环节，教学时间安排 80 学时。该实践环节的目的是通过对电工、电子材料与器件的识别和性能测试，常用电工、电子仪器的操作使用，电工、电子系统研制过程的基本工艺技能的训练，以及通过简单电子产品的装

配与调试,对学生进行工程实践能力的初步培训,以便为学生今后实验能力、工程设计能力和科学研究能力的提高打下坚实的基础。

《电子技术工艺实习》一书是罗小华等同志为我校理工科本、专科学生进行“电工实习”所写的一本教材。编者长期从事电子工艺实践性教学和科研工作,这本教材是主编及其同事们多年来教学研究与改革的成果,同时也借鉴了兄弟院校在该教学环节方面教学改革的有益经验。

应作者所邀,写了这个序言,作为自己对“电工实习”这一实践性教学环节在高等工程教育过程中的地位和作用的认识,以表示对《电子技术工艺实习》教材出版的支持。

王 筠
于华中科技大学
2003. 5

目 录

第一章 三相交流电及安全用电	1
1.1 三相电源	1
1.1.1 三相对称电动势的产生	1
1.1.2 三相电源的星形(Y)联接	2
1.1.3 供电系统简介	3
1.2 安全用电	6
1.2.1 电流对人体的危害	7
1.2.2 人体触电方式	7
1.2.3 防止触电	9
1.2.4 用电安全技术简介	10
1.2.5 触电急救与电器消防	12
思考与习题	14
第二章 锡焊技术	16
2.1 锡焊机理与特点	16
2.1.1 锡焊机理	16
2.1.2 锡焊特点	16
2.2 锡焊条件	17
2.3 锡焊材料与工具	17
2.3.1 焊料	17
2.3.2 焊剂	19
2.3.3 锡焊常用工具——电烙铁	20
2.3.4 其他工具	23
2.4 手工锡焊技术	24
2.5 锡焊中的要点	26
2.6 锡焊质量及要求	29
2.7 锡焊缺陷及产生的原因	30
2.8 实用焊接技艺	32
2.8.1 元器件在印制电路板上的焊装	32
2.8.2 导线在各类端子上的焊接	34
2.8.3 导线与导线的连接	37

• 2 • 电子技术工艺实习

2.9 拆焊技术·····	38
2.10 电子产品生产中的锡焊技术·····	40
思考与习题·····	42
第三章 表面贴装技术 ·····	43
3.1 表面贴装技术概述·····	43
3.2 SMT与通孔基板式PCB安装的区别·····	44
3.3 表面贴装元器件·····	45
3.3.1 表面贴装元器件的特点·····	45
3.3.2 表面贴装元器件的种类、规格及封装·····	45
3.4 表面贴装印制电路板SMB的设计·····	51
3.4.1 表面贴装印制电路板的基板及选用·····	51
3.4.2 表面贴装印制电路板上的元器件布局·····	51
3.4.3 表面贴装印制电路板上元器件之间的间距·····	53
3.4.4 表面贴装印制电路板上的焊盘图形设计·····	54
3.5 表面贴装材料·····	58
3.6 表面贴装设备·····	60
3.6.1 涂布设备·····	60
3.6.2 贴片设备·····	61
3.6.3 焊接设备·····	62
3.7 表面贴装工艺·····	65
3.7.1 表面贴装手工焊接工艺·····	65
3.7.2 表面贴装波峰焊接工艺·····	66
3.7.3 表面贴装再流焊工艺·····	66
思考与习题·····	67
第四章 印制电路板的设计与制作 ·····	69
4.1 印制电路板及其连接·····	69
4.1.1 概述·····	69
4.1.2 敷铜板材料及其技术指标·····	71
4.1.3 印制电路板互连·····	73
4.2 印制电路板设计·····	75
4.2.1 印制电路板设计基础·····	76
4.2.2 印制电路板的布局设计·····	79
4.2.3 元器件安装及排列·····	81
4.2.4 印制电路板上的焊盘及导线·····	83
4.3 印制电路板设计的干扰和屏蔽·····	88

4.3.1	地线布置引起的干扰·····	88
4.3.2	电源产生的干扰与抑制对策·····	91
4.3.3	磁场的干扰与抑制对策·····	92
4.3.4	热干扰与抑制对策·····	94
4.4	印制电路板设计过程与方法·····	94
4.4.1	设计准备及外形结构图·····	95
4.4.2	印制电路板草图设计·····	96
4.4.3	制版底图绘制及制版工艺文件·····	98
4.4.4	印制板加工工艺文件·····	101
4.5	印制电路板制造工艺·····	101
4.5.1	印制电路板制造过程的基本环节·····	101
4.5.2	印制电路板生产工艺·····	108
4.5.3	多层印制电路板·····	109
4.5.4	挠性印制电路板·····	111
4.6	手工自制印制电路板·····	112
4.6.1	漆图法·····	112
4.6.2	贴图法·····	114
4.6.3	铜箔粘贴法·····	115
4.6.4	刀刻法·····	115
	思考与习题·····	116
第五章	电子线路及印制电路板计算机辅助设计·····	117
5.1	Protel 99SE 系统简介·····	117
5.1.1	Protel 99SE 系统发展及特点·····	117
5.1.2	Protel 99SE 系统要求及安装·····	118
5.1.3	Protel 99SE 工作界面及管理·····	119
5.2	电子线路原理图(SCH)设计·····	121
5.2.1	启动 Protel 99SE 原理图编辑软件·····	122
5.2.2	Protel 99SE-SCH 主要菜单命令·····	122
5.2.3	Protel 99SE-SCH 原理图工具按钮命令·····	133
5.2.4	原理图(SCH)设计步骤·····	138
5.3	印制电路板(PCB)设计·····	146
5.3.1	启动 Protel 99SE 印制板编辑软件·····	146
5.3.2	Protel 99SE-PCB 主要菜单命令·····	146
5.3.3	印制电路板 PCB 设计步骤·····	160
5.3.4	PCB 设计常用快捷键·····	168

思考与习题	170
第六章 电子元器件	171
6.1 电阻器、电容器、电感器的基本知识	171
6.1.1 电阻器	171
6.1.2 电位器	178
6.1.3 电容器	182
6.1.4 电感器	190
6.1.5 变压器	202
6.2 开关、连接器、保险元器件和继电器	210
6.2.1 开关	210
6.2.2 连接器	216
6.2.3 保险元器件	220
6.2.4 继电器	223
6.3 半导体分立器件	225
6.3.1 半导体分立器件的命名方法	225
6.3.2 半导体分立器件的分类	230
6.4 集成电路	231
6.4.1 集成电路的命名方法	231
6.4.2 集成电路的分类	234
6.5 电子元器件的检查、筛选及选用	236
6.5.1 元器件的外观质量检查	236
6.5.2 元器件的电气性能的筛选	236
6.5.3 电子元器件的选用和使用注意事项	237
思考与习题	249
第七章 电子技术文件	251
7.1 电子技术文件	251
7.1.1 电子技术图的分类	251
7.1.2 产品技术文件	252
7.2 电气图简介	254
7.2.1 系统图(方框图)	254
7.2.2 电路图	256
7.2.3 逻辑图	258
7.2.4 功能表图	259
7.3 工艺图分类	264
7.3.1 印刷电路板图	264

7.3.2 导线扎线图	265
7.3.3 元器件的技术数据	267
思考与习题	269
第八章 常用电子仪器仪表的使用	272
8.1 模拟万用表	272
8.1.1 模拟万用表的结构及功能	272
8.1.2 模拟万用表的使用	273
8.2 数字万用表	276
8.2.1 数字万用表的性能简介	276
8.2.2 数字万用表的结构原理	276
8.2.3 数字万用表使用方法	278
8.3 RLC 电桥	280
8.3.1 RLC 电桥的结构功能	280
8.3.2 ELC-131D 型 RLC 电桥的使用方法	282
8.4 直流稳压电源	286
8.4.1 直流稳压电源性能简介	286
8.4.2 直流稳压电源结构功能	287
8.4.3 直流稳压电源的使用方法	289
8.5 数字钳形表	290
8.5.1 数字钳形表的性能简介	290
8.5.2 数字钳形表的结构功能	290
8.5.3 M288 型系列数字钳形表的使用方法	291
思考与习题	293
附录 1 电气图形符号国家标准	294
附录 2 电气图形常用文字符号	299
参考文献	301

第一章 三相交流电及安全用电

在生产实践中,三相电路应用很广,例如,在发电、输电和动力用电方面,一般都采用三相电路,应用最广的三相异步电动机就是由三相电源供电的。三相电源由三相交流发电机提供。三相电路是由三个频率相同,幅值相等,相位差为 120° 的正弦交流电动势为电源所构成的供电电路。若用电仅取三相电路中的一相,就称为单相电路。

本章着重介绍三相交流电的产生、三相交流电路的基本知识以及安全用电的基本知识。

1.1 三相电源

1.1.1 三相对称电动势的产生

三相交流发电机的原理示意如图 1.1(a) 所示。在它的定子上均匀分布着三个相绕组 AX、BY、CZ, 其中设 A、B、C 三端为绕组的首端, X、Y、Z 三端为绕组的末端。这三个绕组具有相同的匝数及绕向, 并在定子上按空间相互间隔 120° 放置。每个绕组的形式如图 1.1(b) 所示。

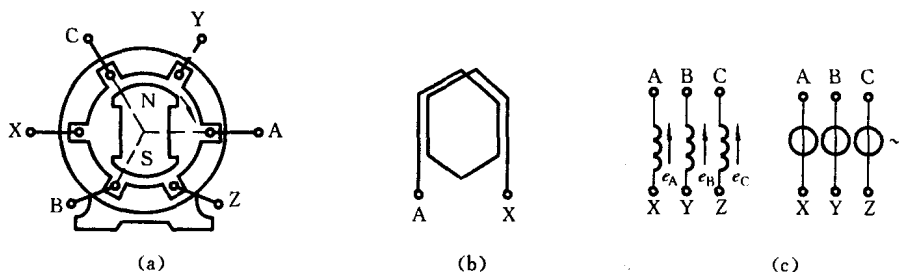


图 1.1 三相发电机原理图

(a) 原理图; (b) 一相绕组; (c) 电源绕组表示法

发电机的转子上装有励磁绕组,通直流电来建立磁场,转子在制造中使之产生的磁场按正弦规律分布。当转子由原动机拖动并做匀速旋转时,转子磁场也随着做匀速旋转并切割定子导体,在各个绕组里产生感应电动势,这些电动势按正弦规律作周期性变化。它们的正方向规定为从末端指向首端,如图 1.1(c) 所示。在三个绕组中产生的振幅相同、频率相同、相互间相位差均为 120° 的感应电动势称为对称三相电动势。每个绕组叫做电源的一相,AX、BY、CZ 分别被称为 A 相、B 相和 C 相。

三个电动势达到最大值或零值的先后次序称为相序。如图 1.1(a)所示,当转子顺时针旋转时,各相电动势达到最大值的次序是先 A 相,其次 B 相,最后 C 相,按 A—B—C 相序的称为顺序。若转子逆时针旋转,相序变为 A—C—B,称为逆序。通常无特别说明,三相电动势的相序默认为顺序。

设三相电动势的相序为顺序,取 A 相为参考正弦量,其初相为零,则三相对称电动势的三角函数式表示为

$$\begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t = \sqrt{2} E \sin \omega t \\ e_B &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ e_C &= E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (1.1)$$

用相量表示为

$$\begin{aligned} \dot{E}_A &= E \angle 0^\circ \\ \dot{E}_B &= E \angle -120^\circ \\ \dot{E}_C &= E \angle 120^\circ \end{aligned} \quad (1.2)$$

如果用正弦波形图和相量图来表示,则如图 1.2(a)、(b)所示。

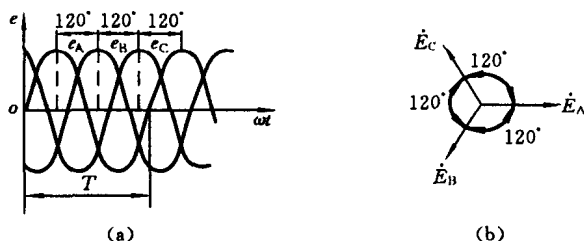


图 1.2 三相电动势的波形图和相量图

可以证明,三相对称电动势在任意时刻的瞬时值之和为零,或三相电动势的相量和为零。

1.1.2 三相电源的星形(Y)联接

三相电源有两种对称联接方法,即星形(Y)接法和三角形(Δ)接法。三角形接法主要用于高压输电系统。工厂及民用电的低压系统主要采用的是星形接法。

星形联接法的电源如图 1.3 所示。

将发电机的三个绕组的末端 X、Y、Z 接在一个公共点 O 上,这个公共端点 O 称为电源的中点或零点。由各绕组的首端 A、B、C 和公共点 O 引出导线与外电路联接,这就构成了电源的星形接法,简称 Y 形联接。

从电源的三个首端 A、B、C 引出到负载的导线,称为相线或端线,俗称火线。由公共端点 O 点引出的导线,称中线或零线。因公共点 O 在电厂是接地的,又俗称地线。

配电线上用黄、绿、红三种颜色分别表示 A、B、C 三相相线,用黑色表示中线。电源向负载供电,若只引出 A、B、C 三根相线的电路称为三相三线制电路。若引出 A、B、C、O 四根线的电路称三相四线制电路。

下面介绍两个名词:

(1) 相电压——火线与中线之间的电压称为电源的相电压,其正方向规定为火线指向中线。如图 1.3 所示的 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ 。一般用 U_p 表示。

(2) 线电压——火线与火线之间的电压称为电源的线电压,其正方向规定由 A 指向 B, B 指向 C, C 指向 A, 如图 1.3 中 $\dot{U}_{AB}$ 、 $\dot{U}_{BC}$ 、 $\dot{U}_{CA}$, 一般用 U_l 表示。

用相量分析法可知

$$U_l = \sqrt{3}U_p$$

在我国,低压供电系统为三相四线制,规定相电压为 220V,线电压为 380V,电源频率为 50Hz。

三相四线制供电的优点在于既可提供线电压为 380V 的对称三相交流电压,又可提供 380V 和 220V 的单相交流电压。若需 380V 的单相交流电压,只需接两根火线即可;若需 220V 的单相交流电压,只需接一根火线和一根中线就可以了。通常,工厂车间的动力用电为 380V 三相交流电,普通照明、家用电器、电子仪器等一般采用 220V 的单相交流电。

由于三相交流发电机具有结构简单、维护方便、运行稳定、经济等优点,得到广泛应用。世界各国的电力系统基本采用三相对称交流电源进行供电。但各国的电力系统电源的频率、相电压、线电压采用的标准不同,如:有相电压为 110、127、115、120V,线电压为 200、230、240V 等,频率为 50、60Hz。在使用电器时应特别注意电器对电压与频率额定值的要求,避免损坏电器。

1.1.3 供电系统简介

本节所述供电系统是指电力变压器低压供电的小系统,即电力供电系统的末端(用户端)。系统的起始为电力变压器的副边,作为供电电源。系统具体涉及到一个用电单位,一个车间、一栋大楼,甚至几台用电设备。系统的设立是基于用电安全。

一、TT 方式供电系统

第一个字母 T 是表示电源中性点接地,第二个字母 T 表示用电设备外露的金属部分与大地直接连接,与电源系统接地无关,即设备的金属外壳接地的保护系统,称保护接地系统。要求接地线接地电阻小于 4Ω 。如图 1.4 所示。图中 L 表示相线, N 表示中线。

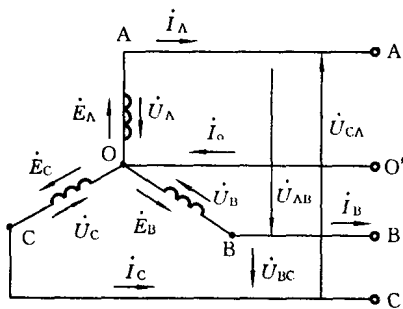


图 1.3 三相电源的星形接法

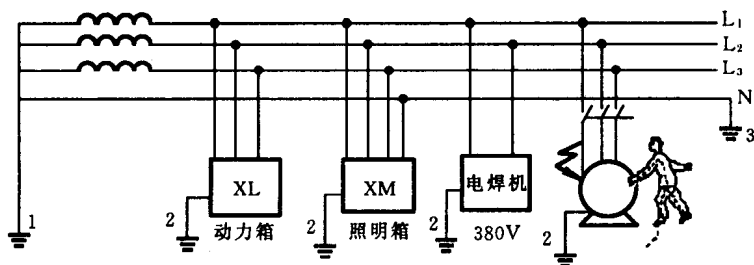


图 1.4 TT 方式供电系统

TT 方式供电系统的特点:

(1) 电气设备采用接地保护,这可以大大减少触电危险性,当相线触碰设备外壳时,人体与接地线为并联关系,由于人体电阻大于接地电阻,则流过人体的电流很小,不至于造成对人体的伤害。

(2) 如果相线碰壳,而自动断路器不一定跳闸或熔断器不一定熔断(因为相线碰壳电流约为 $220\text{V}/8\Omega=27.5\text{A}$,对较大的熔断器不至于达到熔断值)。这时由于相线通过接地线、大地、中线接地形成回路,使设备外壳对地电压高于安全电压(约 110V),因此需要在电路中安装漏电保护器作为保护。

TT 供电系统适合用于接地点相对分散的地方。当用电设备比较集中时,可以共用同一接地保护装置,设置共用接地保护母线,电气设备外壳均用保护线 PE 接于共同保护母线上,以节约接地装置所耗费的钢材。

图 1.5 表示实用的 TT 系统。

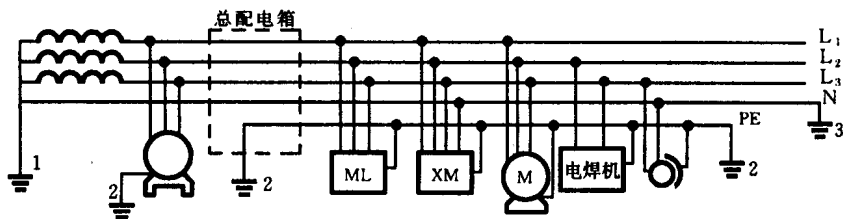


图 1.5 TT 系统在实用中的接法

二、TN-C 方式供电系统

TN 供电系统是指电源中性点接地,设备金属外壳与中性点相接的保护系统,称为接零保护系统。

TN-C 供电系统是指中性线兼做接零保护线的系统,该中性线又称为保护性中性线,用 PEN 表示,如图 1.6 所示。

TN-C 供电系统的特点:

(1) 一旦设备出现相线碰壳(漏电)事故,接零保护系统使得相线与中性线形成回