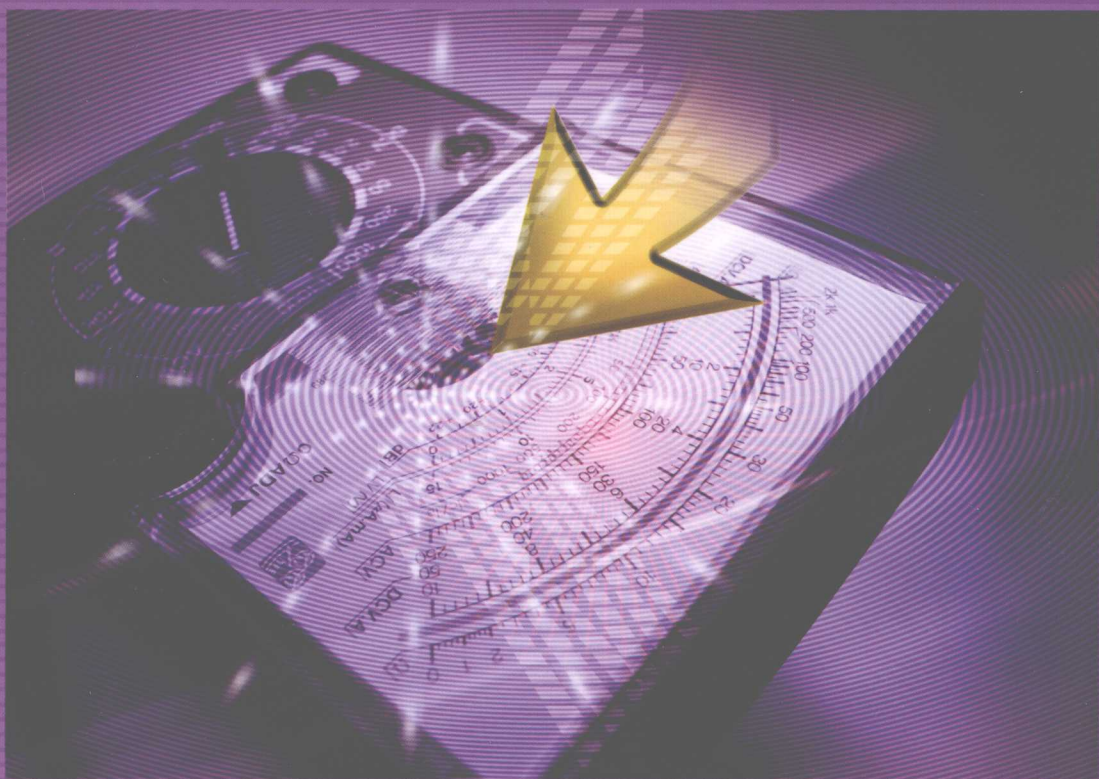


电气安全四十讲

戴绍基 编著



电气安全四十讲

戴绍基 编著

陈才俊 主审

图例 (CIP) 目录

中国版本图书馆CIP数据核字 (2008) 第163950号

ISBN 978-7-111-32401-0

I. 电… II. 戴… III. 电… IV. TM08

中国版本图书馆CIP数据核字 (2008) 第163950号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑: 张晶 封面设计: 张永明 责任校对: 张永明

封面设计: 张永明 责任编辑: 张永明

北京双青印刷厂印刷

2009年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17印张·412千字

书号: ISBN 978-7-111-32401-0

定价: 32.00元

凡购本书, 如蒙函索, 请寄: 010 88379633



010 88379633 88379641 88379643

010 88379633 88379641 88379643

机械工业出版社

本书以“电气安全四十讲”的形式，分别介绍了电气安全的基本知识、直接接触电击防护、间接接触电击防护、电气防火与防爆、雷电的防护、电气安全措施的综合应用实例、电工用具与电气绝缘试验等有关电气安全的内容。书中全面采用了最新的国家标准和设计规范，理论与实际密切结合，较全面地介绍了电气安全方面的知识，具有较强的针对性与实用性。

本书可供从事电气设计、施工和运行的电气技术人员培训和参考，也可作为大、专院校相关专业的教材和辅导书。

审主 刘永刚

图书在版编目 (CIP) 数据

电气安全四十讲/戴绍基编著. —北京: 机械工业出版社, 2008. 10
ISBN 978-7-111-25401-0

I. 电… II. 戴… III. 电气设备-安全技术 IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 162920 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 张 晶 版式设计: 霍永明 责任校对: 张玉琴

封面设计: 赵颖哲 责任印制: 邓 博

北京双青印刷厂印刷

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17 印张 · 415 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-25401-0

定价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 68327259

封面无防伪标均为盗版

机械工业出版社

前言

电气安全是安全领域内与电气有关的科学技术与管理工程。电气安全主要包括人身安全和电气设备安全两个方面。电气安全是一个基础性、综合性极强的技术领域。安全的本质应是关爱生命、以人为本。

电能是现代化的基础,电能已经广泛应用于国民经济的各个部门并深入人们的日常生活之中。“电”既被人们用作能源,又被用作信息的载体。因而电气安全是电力、通信、计算机等诸多领域共同面临的问题,具有广泛性的特征。同时,电气安全又涉及到材料选用、设备制造、设计施工和运行维护等诸多环节,具有综合性的特征。再者,电气安全的问题往往发生在人们预期以外的电磁过程,具有随机性和统计规律的特征。电气安全问题具有丰富的学术内涵和广阔的应用范围,应该得到足够的关注。

由于历史的原因,我国以前在电气安全方面偏重于电气设备的安全和生产过程中的劳动保护,而对一般民用场所中的电气安全问题重视不够。在我国,人身遭受电击和电气火灾等事故的发生率长期居高不下;单位用电量的电击伤亡人数也比发达国家高出很多;而电气火灾占火灾总数的比例也高达40%左右,此值也比发达国家高出较多。而且,绝大多数的电气火灾发生在非专业场所,造成的损失也极为巨大。改革开放以来,我国在学习国际先进技术、等效或等同采用国际先进标准等方面做了大量工作,在电气安全的工程实践上也有了长足的进步,但与发达国家相比,差距仍然较大。

一般来说,一门学科在发展初期,大多以研究并利用其规律为人类造福为主攻方向;而当与此学科相关的工程技术高度发展和广泛应用之后,由于负面效应日益凸显,则如何抑制其危害又成为研究的重点之一。这一规律在煤矿、汽车、石油化工和电气等行业都得到了验证。

我国经济持续快速的发展,促使城市化进程加快;城市居民家庭的电气化水平迅速提高,使得电气安全问题显得更为迫切。因此,将电气安全问题作为电气工程一个重要的专业方向进行研究,消除长期以来对电气安全问题的一些模糊认识,以科学的态度去认识它,用工程的手段去应对它,是一项十分有意义的工作。

本书讨论的电气安全包括了以下两方面的内容:其一是专业人员(例如电工)在专业场所中(例如工厂)的电气安全;其二是非专业人员在非专业场所(例如民用建筑中的居民)的电气安全。前者主要应依靠专业知识和一些安全规章制度来保障人身和设备的安全;后者则主要应依靠一些技术措施来保障人身的安全。电气安全问题涉及面很广,本书尚未包括防静电以及电磁兼容等方面的内容,对电气作业的安全规定等内容亦未详细介绍。

本书以“电气安全四十讲”的形式,分别介绍了电气安全的基本知识、直接接触电击防护、间接接触电击防护、电气防火与防爆、雷电的防护、电气安全措施的综合应用实例、

电工用具与电气绝缘试验等有关电气安全的内容。

书中全面采用了最新的国家标准和设计规范,理论与实际密切结合,较全面地介绍了电气安全方面的知识,具有较强的针对性与实用性。可供从事电气设计、施工和运行的电气技术人员培训和参考,也可作为大、专院校建筑电气及智能化、楼宇智能化、电气工程及自动化以及建筑设备等相关专业的教材和参考书。

本书由河南工业职业技术学院戴绍基教授编著。在编写过程中,得到了河南工业职业技术学院和机械工业出版社的大力支持。全稿完成后,承蒙机械工业第四设计研究院研究员级高级工程师陈才俊先生精心审阅,提出了不少宝贵意见。在此一并表示诚挚的谢意。

本书参考了中国航空工业规划设计研究院研究员级高级工程师王厚余先生的有关技术论著,参考了机械工业深圳设计研究院研究员级高级工程师潘天任先生的有关技术资料。此外,还参考了其他一些有关书籍和资料,除在书末的参考文献中列出外,并在此表示诚挚的谢意。

本书尽可能收集最新资料,努力反映最新的主流技术,但限于水平,书中难免还有一些缺点和错误,恳切希望使用本书的读者批评指正。意见可发往以下 E-mail 地址: nydsj2004@yahoo.com.cn。

河南工业职业技术学院 戴绍基

目 录

前言

1 电气安全的基础知识	1
第一讲 低压系统按接地形式分类	1
第二讲 低压系统按带电导体分类	6
第三讲 电气设备按电击防护方式分类	7
第四讲 电气设备外壳的防护等级	9
第五讲 电力系统的中性点运行方式	12
第六讲 接地与等电位联结	15
第七讲 电流对人体的作用	28
第八讲 触电急救	31
2 直接接触电击防护	42
第九讲 绝缘	42
第十讲 加强绝缘	52
第十一讲 屏护和间距	55
第十二讲 安全特低电压	61
第十三讲 电气隔离	64
第十四讲 剩余电流保护	66
3 间接接触电击防护	78
第十五讲 TN 系统内自动切断电源的防 电击措施	79
第十六讲 TT 系统内自动切断电源的防 电击措施	85
第十七讲 IT 系统内自动切断电源的防 电击措施	87
4 电气防火与防爆	90
第十八讲 电气火灾与爆炸的成因与 条件	90
第十九讲 电气防火与防爆的一般要求	94
第二十讲 电气火灾与爆炸的预防措施	108

第二十一讲 防爆电气设备及其选择	111
5 雷电的防护	123
第二十二讲 雷电的基本知识	123
第二十三讲 防直击雷	130
第二十四讲 防雷电感应过电压	148
第二十五讲 高层建筑的防雷	163
6 电气安全措施的综合应用实例	170
第二十六讲 住宅的电击防护措施	170
第二十七讲 浴室的电击防护措施	176
第二十八讲 游泳池的电击防护措施	180
第二十九讲 医院的电击防护措施	185
第三十讲 喷水池的电击防护措施	190
第三十一讲 施工场地的电击防护措施	191
第三十二讲 高层建筑的供电安全	196
7 电工用具与电气绝缘试验	217
第三十三讲 电工用具的正确使用	217
第三十四讲 绝缘电阻和吸收比的测量	229
第三十五讲 介质损耗角正切的测量	235
第三十六讲 直流泄漏电流及直流耐压 试验	242
第三十七讲 工频交流耐压试验	245
第三十八讲 绝缘电阻和吸收比测量的 操作	254
第三十九讲 介质损耗角正切测量的 操作	255
第四十讲 直流泄漏电流及直流耐压试验 的操作	257
参考文献	260

电气安全的基础知识

1

。电气安全的基础知识，是电气安全工作的基础。（参 N）参书中（2）
：电气安全的基础知识，是电气安全工作的基础。（参 3P）参书中（3）

：电气安全的基础知识，是电气安全工作的基础。（参 3P）参书中（3）
：电气安全的基础知识，是电气安全工作的基础。（参 3P）参书中（3）

本部分介绍与电气安全有关的一些基础知识，以便更好地理解后面各部分的内容。

第一讲 低压系统按接地形式分类

置立一般供配电系统都有两个接地问题：其一是系统内电源侧带电导体的接地；其二是负荷侧电气设备外露可导电部分的接地。就低压供配电系统而言，前者通常是指发电机、变压器等之中性点的接地，称为系统接地；后者通常是指电气设备的金属外壳、布线用金属管槽等外露可导电部分的接地，称为保护接地。系统接地的主要作用是保证供电系统的正常工作，因此也叫工作接地。保护接地则对电气安全十分重要。

我国的 380/220V 配电系统占了低压配电系统的绝大多数，只有在一些特殊工业场所，如矿井等处，有 660V 或 1140V 低压配电系统。选择低压配电系统的接地形式，主要从供电可靠性和电击防护等方面考虑。低压配电系统是电力系统的末端，分布广泛，几乎遍及现代工业与民用建筑的每一角落，而低压配电系统所面对的人绝大多数是非电气专业人员，因此电击事故的发生率大大高于高压系统。在向国际标准靠拢的过程中，我国电气工程界对低压配电系统从表述到认识都发生了很大的变化，但长期以来形成的一些认识和不规范的表述往往使概念不能被准确地掌握，从而影响对系统形式及其分析计算的正确理解，下面的介绍就从名词解释开始。

一、名词解释

(1) 系统中性点。发电机、变压器、电动机和电器的绕组以及串联电路中有一点，它与外部各接线端之间的电压绝对值相等，这一点就称为中性点。在正常情况下，系统中性点一般在电路接线的中间点处，比如星形接线的中心点，但在故障时，系统中性点有时会从电路接线的中间点处移走，这种情况称为中性点位移。

(2) 外露可导电部分。电气装置的能被触及的导电部分，它在正常时不带电，但在故障情况下可能带电。例如电动机、变压器和开关柜的金属外壳等。并不是所有的电气设备都有外露可导电部分，如塑壳电视机等家用电器就没有外露可导电部分。

(3) 装置外可导电部分。给定场所中不属于电气装置组成部分的可导电部分。例如场所中的金属管道（水管、暖气管等），它可能引入高电位。

(4) 等电位联结。使各个外露可导电部分之间及装置外可导电部分之间电位基本相等的电气连接。在此特别指出，等电位联结采用“联结”（Bonding）一词而非“连接”（Connection）一词，是因为等电位联结的作用主要是通过电气连通来均衡电位，而不是通过电气连通来构造电流通道。

- (5) 中性线 (N 线)。与电源的中性点连接,并能起传输电能作用的导线。
- (6) 保护线 (PE 线)。为防止触电危害而用来与下列任一部位作电气连接的导线:
- 1) 外露可导电部分;
 - 2) 装置外可导电部分;
 - 3) 总接地线或总等电位联结端子;
 - 4) 接地极;
 - 5) 电源接地点或人工中性点。

在正常情况下, PE 线上是没有电流的, 它不承担传输电能的任务, 但在故障情况下, 它可能有电流通过, 因此其截面选择也是有条件的。

- (7) 保护中性线 (PEN 线)。兼有 PE 线和 N 线功能的导线。
- (8) 移动式设备。工作时移动的设备, 或在接有电源时能容易地从一处移至另一处的设备。
- (9) 手握式设备。正常使用时要用手握住的移动式设备。

(10) 固定式设备。牢固安装在支座 (支架) 上的设备, 或用其他方式固定在一定位置上的设备。

二、接地系统分类

低压接地系统按接地形式可分为 TN、TT 和 IT 三种类型, 这些接地系统的文字符号的含义是:

第一个字母说明电力系统与大地的关系。

T: 电力系统与大地有直接连接 (T 是“大地”一词法文 Terre 的第一个字母)。

I: 电力系统与大地隔离或电源的一点经高阻抗 (例如 1000Ω) 而与大地直接连接 (I 是“隔离”一词法文 Isolation 的第一个字母)。

第二个字母说明电气装置的外露可导电部分与大地的关系。

T: 外露可导电部分直接接大地, 此接地与电力系统的接地相互独立, 无直接电气连接。

N: 外露可导电部分通过与接地的电力系统中性点的连接而接地 (N 是“中性点”一词法文 Neutre 的第一个字母)。

其中, TN 系统按 N 线与 PE 线的不同组合又分为以下三种类型:

TN-C 系统: 在此系统内 N 线和 PE 线是合一的 (C 是“合一”一词法文 Combine 的第一个字母), 亦即利用 N 线兼作 PE 线, 合称为 PEN 线。

TN-S 系统: 在此系统内 N 线和 PE 线是分开的 (S 是“分开”一词法文 Separe 的第一个字母)。N 线引出后应对地绝缘; PE 线引出后可多次重复接地。

TN-C-S 系统: 在此系统内, 仅在电气装置电源进线点前 N 线和 PE 线是合一的, 在电源进线点后即分为 N 线和 PE 线。

需要特别说明, TN-S 系统 N 线和 PE 线的分开是从变电所或发电站的低压配电盘出线处开始算起的。因为从变压器或发电机到低压配电盘的一段线路很短, 可以将它们看成一个电源点。只要此电源点的中性点是直接接地的, 则从电源点的低压配电盘可同时引出相线、中性线、PEN 线和 PE 线。换言之, 可同时引出除 IT 系统外的 TN-S、TN-C、TN-C-S 以至 TT 等不同接地系统的供电线路。

各种类型的接地系统如图 1-1~图 1-5 所示。

上述接地系统各有其特点和优缺点, 需对其有一了解, 以便正确地予以选用, 下面将作

一简述。

1. IT 系统

IT 系统就是电源中性点不接地、用电设备外露可导电部分直接接地的系统,如图 1-1 所示。IT 系统可以有中性线(N 线),但国际电工委员会(IEC)强烈建议不设置中性线。因为 IT 系统多用于易发生单相接地的场合,而中性线引自系统中性点,一旦发生中性线接地,也就相当于系统中性点发生了接地,此时 IT 系统就变成了 TT 系统,即系统的接地形式发生了质的变化。

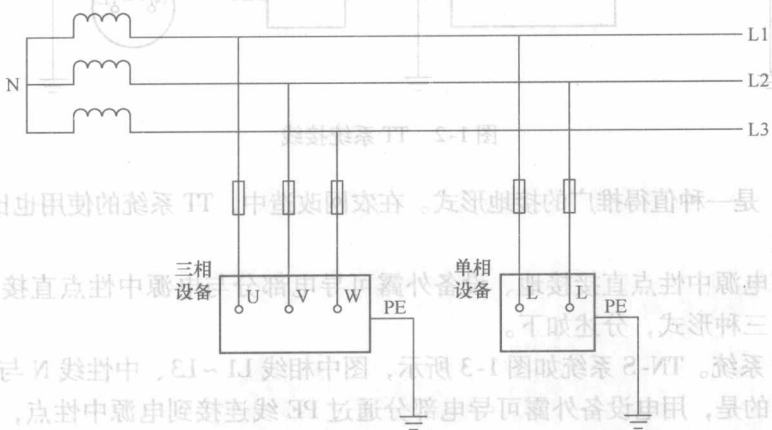


图 1-1 IT 系统接线

在 IT 系统中,连接设备外露可导电部分和接地体的导线,就是 PE 线。

IT 系统在发生一个接地故障时,由于不具备故障电流返回电源的通路,其故障电流仅为非故障相的对地电容电流,其值甚小,因此对地故障电压很低,不致引发事故。所以 IT 系统在发生一个接地故障时不需切断电源而使供电中断。

IT 系统可用于对供电连续性要求较高的配电系统,或用于对电击防护要求较高的场所,前者如矿山的巷道供电,后者如医院手术室的配电等。

2. TT 系统

TT 系统就是电源中性点直接接地、用电设备外露可导电部分也直接接地的系统,如图 1-2 所示。通常将电源中性点的接地叫做工作接地,而设备外露可导电部分的接地叫做保护接地。TT 系统中,这两个接地必须是相互独立的。设备接地可以是每一设备都有各自独立的接地装置,也可以若干设备共用一个接地装置,图 1-2 中单相设备和单相插座就是共用接地装置的。

TT 系统的电气装置各有自己的接地极,正常时装置内的外露可导电部分为地电位,电源侧和各装置出现的故障电压不会互窜。但当发生接地故障时,因故障回路内包含工作接地和保护接地两个接地电阻,故障回路阻抗较大,故障电流较小,一般不能用过电流防护兼作接地故障防护,为此必须装用剩余电流保护装置(RCD)来切断电源。

在一些经济发达国家中,TT 系统的应用十分广泛,工业与民用的配电系统都大量采用 TT 系统。在我国,TT 系统主要用于城市公共配电网和农用电网,现在也有一些大城市如上海等在住宅配电系统中采用 TT 系统。在实施剩余电流保护(后面将详细介绍)的基础上,TT 系统

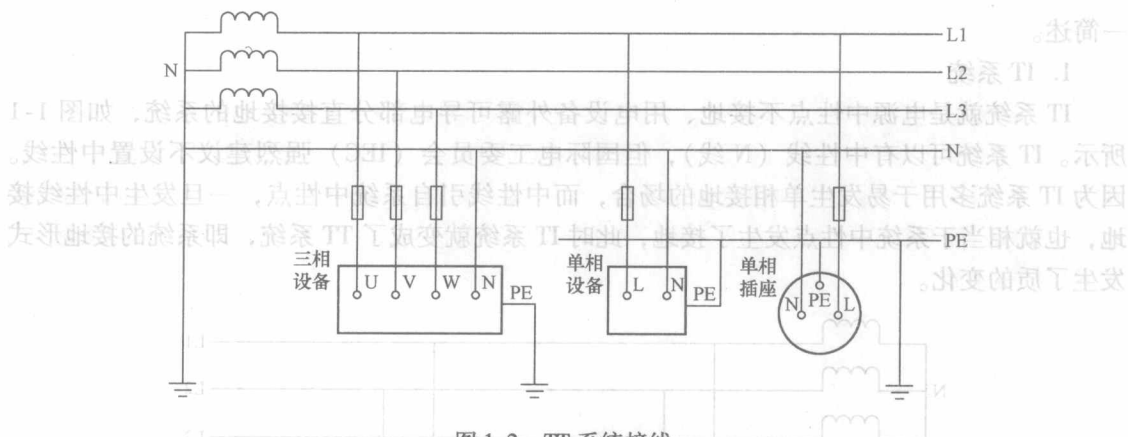


图 1-2 TT 系统接线

有很多的优点，是一种值得推广的接地形式。在农网改造中，TT 系统的使用也比较普遍。

3. TN 系统

TN 系统即电源中性点直接接地、设备外露可导电部分与电源中性点直接电气连接的系统。TN 系统有三种形式，分述如下。

(1) TN-S 系统。TN-S 系统如图 1-3 所示，图中相线 L1~L3、中性线 N 与 TT 系统相同；与 TT 系统不同的是，用电设备外露可导电部分通过 PE 线连接到电源中性点，与系统中性点共用接地体，而不是连接到自己专用的接地体。在这种系统中，中性线 (N 线) 和保护线 (PE 线) 是分开的，这就是 TN-S 中“S”的含义。TN-S 系统的最大特征是 N 线与 PE 线在系统中性点分开后，不能再有任何电气连接，这一条件一旦破坏，TN-S 系统便不复成立。

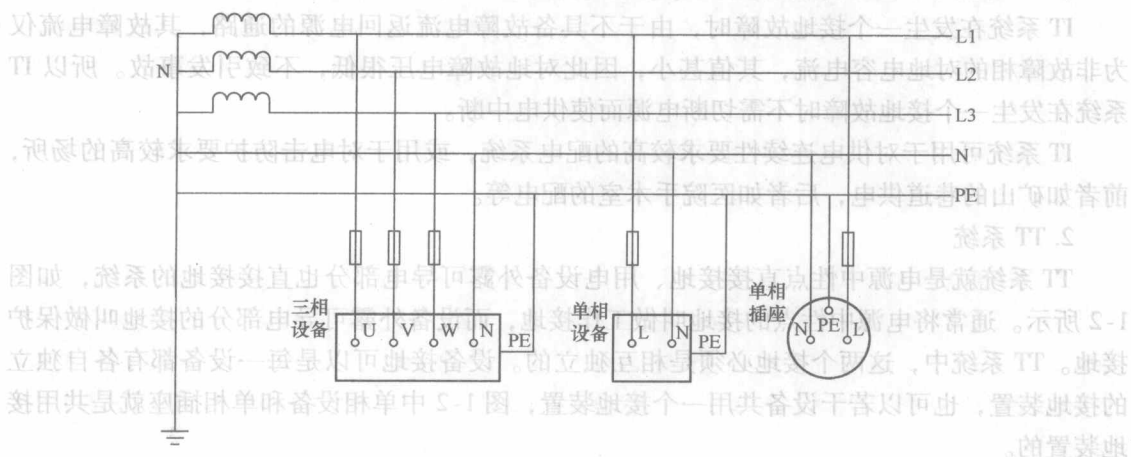


图 1-3 TN-S 系统接线

在施工安装无误的前提下，除很小的对地泄漏电流外，PE 线平时不通过电流，也不带电位。它只在发生接地故障时通过故障电流，因此电气装置的外露可导电部分对地平时不带电位，比较安全；但它需在回路的全长多数用一根导线。

TN-S 系统是我国现在应用最为广泛的一种系统，在自带变配电所的建筑物中几乎无一例外地采用了 TN-S 系统，在建筑小区中，也有一些采用了 TN-S 系统。

(2) TN-C 系统。TN-C 系统如图 1-4 所示, 它将 PE 线和 N 线的功能综合起来, 由一根称为 PEN 线(保护中性线)的导体来同时承担两者的功能。在用电设备处, PEN 线既连接到负荷中性点上, 又连接到设备外露可导电部分。

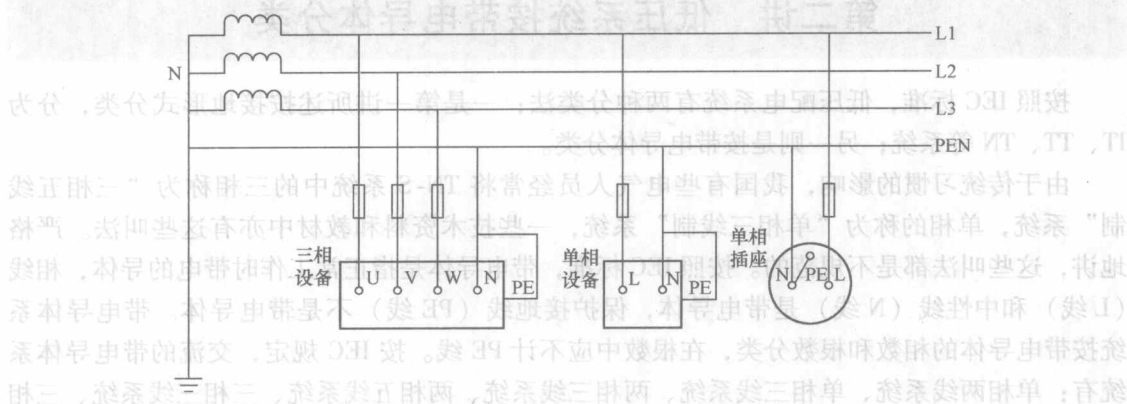


图 1-4 TN-C 系统接线

PE 线和 N 线的功能本来不同, 用一根 PEN 线来同时承担两者的功能, 必然带来一些技术上固有的弊端。例如, 某一设备外壳上的故障电压可能经 PEN 线窜到其他设备外壳; 当 PEN 线断线时, 设备外壳上可能带上危险的故障电压; 正常工作时, PEN 线因通过三相不平衡电流和 $3n$ 次谐波电流而产生电压降, 从而使所接设备的金属外壳对地带电位。

TN-C 系统曾在我国广泛应用, 但由于上述技术上固有的一些弊端, 现在已很少采用。尤其是在民用配电系统中已不允许采用 TN-C 系统。

(3) TN-C-S 系统。TN-C-S 系统是 TN-C 系统和 TN-S 系统的结合形式, 如图 1-5 所示。

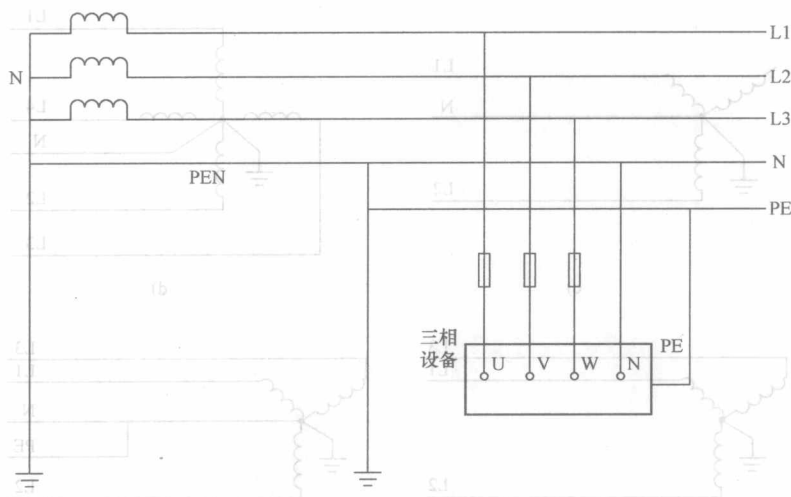


图 1-5 TN-C-S 系统的接线

TN-C-S 系统中, 从电源出来的那一段采用 TN-C 系统, 在这一段中无用电设备, 只起电能传输的作用。到用电负荷附近某一点处, 将 PEN 线分开为 N 线(应对地绝缘)和 PE 线(可多次重复接地), 且此后 N 线和 PE 线一直分开, 从这点以后, 即相当于 TN-S 系统。

由 TN-C-S 系统在我国当前应用比较广泛。应注意：采用 TN-C-S 系统时，在系统由 TN-C 变为 TN-C-S 处，应将 PEN 线重复接地或采取等电位联结，以提高系统的安全性。

第二讲 低压系统按带电导体分类

按照 IEC 标准，低压配电系统有两种分类法：一是第一讲所述按接地形式分类，分为 IT、TT、TN 等系统；另一则是按带电导体分类。

由于传统习惯的影响，我国有些电气人员经常将 TN-S 系统中的三相称为“三相五线制”系统，单相的称为“单相三线制”系统，一些技术资料 and 教材中亦有这些叫法。严格地讲，这些叫法都是不规范的。按照 IEC 标准，带电导体是指正常工作时带电的导体，相线（L 线）和中性线（N 线）是带电导体，保护接地线（PE 线）不是带电导体。带电导体系统按带电导体的相数和根数分类，在根数中应不计 PE 线。按 IEC 规定，交流的带电导体系统有：单相两线系统、单相三线系统、两相三线系统、两相五线系统、三相三线系统、三相四线系统（注意：不论有无 PE 线都被称作三相四线系统）。

上述交流的带电导体系统的形式如图 2-1 所示。

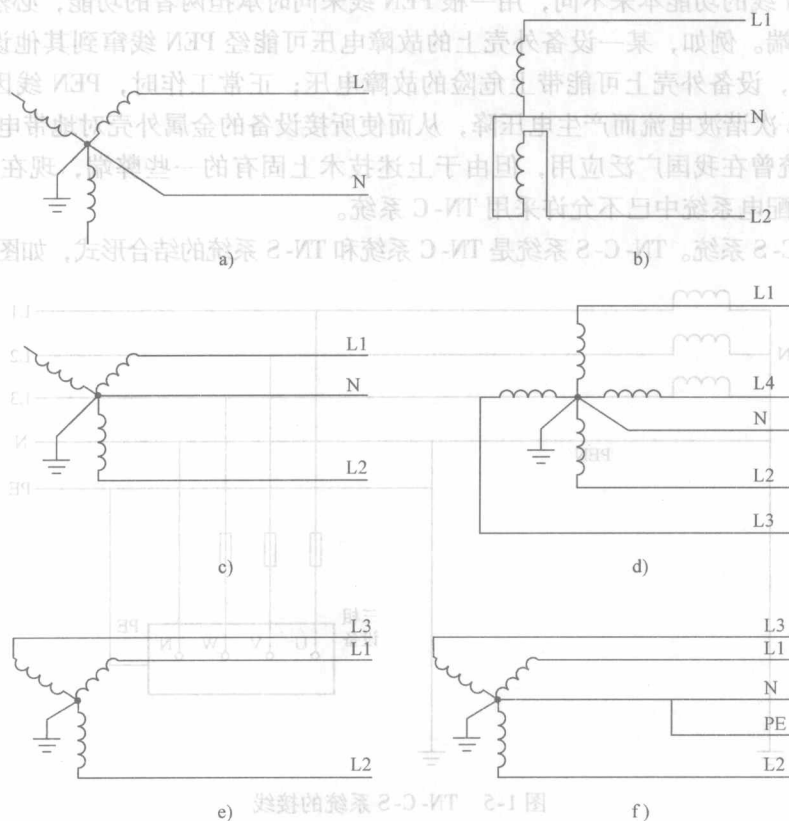


图 2-1 交流的带电导体系统的形式

a) 单相两线系统 b) 单相三线系统 c) 两相三线系统 d) 两相五线系统 e) 三相三线系统 f) 三相四线系统

总之，低压系统按带电导体分类与按接地形式分类，这是两种不同性质的分类方法，不能混为一谈。为了表述的严谨准确，也为了与 IEC 标准取得一致，一般不宜采用“×相×线”来表述系统的接地形式。

第三讲 电气设备按电击防护方式分类

人身遭受电击有直接接触电击和间接接触电击之分。直接接触电击是指电气装置正常工作时（没有发生故障），人体触及（或过分接近，下同）带电体时的电击事故。间接接触电击是指人体触及故障时可带危险电压而正常时不带电的电气设备外露可导电部分时的电击事故。

当电气装置因绝缘破损等发生接地故障时，原本不带电压的电气设备外露可导电部分因此而带对地故障电压。人体接触此故障电压而遭受的电击，就称作间接接触电击。对间接接触电击的防护远比直接接触电击复杂。间接接触电击由接地故障引起，其防护措施亦因接地系统类型不同而异，这部分内容将在本书第三部分介绍。这里先介绍电气设备本身具备的防间接接触电击的措施。

IEC 产品标准将低压电气设备按防间接接触电击的不同要求分为 0、I、II、III 共四类，详见表 3-1。

表 3-1 电气设备按电击防护方式的分类

类别	0 类	I 类	II 类	III 类
设备主要特征	基本绝缘，无保护连接手段	基本绝缘，有保护连接手段	基本绝缘和附加绝缘组成的双重绝缘或相当于双重绝缘的加强绝缘，没有保护接地手段	由安全特低电压供电，设备不会产生高于安全特低电压的电压
安全措施	用于不导电环境	与保护接地相连	不需要	接于安全特低电压
电气设备的防电击标志	无标志			

一、0 类设备
仅依靠基本绝缘作为电击防护的设备，称为 0 类设备。这类设备的基本绝缘一旦失效时，是否会发生电击危险，完全取决于设备所处的场所条件。所谓场所条件，主要是指人操作设备时所站立的地面及人体能触及到的墙面或装置外可导电部分等的情况。

我国过去曾大量使用 0 类设备，它具有较高机械强度的金属外壳，但它仅靠一层基本绝缘来防电击，且不具备经 PE 线接地的手段。例如具有金属外壳但电源插头没有 PE 线插脚的台灯、电风扇等。为保证安全，0 类设备一般只能用于非导电场所，否则就需用隔离变压器供电。

由于 0 类设备的电击防护条件较差，在一些发达国家已逐步被淘汰，有些国家甚至已明令禁止生产该类产品。

不。二、I 类设备 不同不带两呈故，类位先讲此对辩已类位材料中带电体是总，文总
× Ⅰ类设备的电击防护不仅依靠基本绝缘，而且还可采取附加的安全措施，即设备外露可导电部分连接有一根 PE 线，这根线用来与场所中固定布线系统中的保护线（或端子）相连接。

这类设备在目前应用最为广泛。

上述第一讲中所介绍的 TT、TN、IT 等系统，设备端的保护连接方式都是针对 I 类设备而言的。I 类设备保护接地线（PE 线）的作用在不同接地形式的系统中有所不同。在 TN 系统中，保护线的作用是提供一个低阻抗通道，使碰壳故障变成短路故障，从而使过电流保护装置迅速动作，消除电击危险。在 TT 系统中，保护接地线连接至设备的接地体，当发生碰壳故障时，可形成故障回路，通过接地电阻的分压作用降低设备外壳接触电压；在设置了剩余电流保护装置（RCD，下面会详细介绍）的 TT 或 TN 系统中，该保护线还具有提供剩余电流通道的作用。

I 类设备的保护线，要求与设备的电源线配置在一起。设备的电源线若采用软电缆或软电线，则保护线应当是其中的一根芯线。我们常用的家用电器的三芯插头，其中有一芯就是 PE 线插头片，它通过插座与室内固定配线系统中的 PE 线相连。

在我国日常使用的电器中，I 类设备占了绝大多数。因此，作好对 I 类设备的电击防护，对降低电击事故的发生率有着十分重大的意义。

三、II 类设备

II 类设备的电击防护不仅依靠基本绝缘，而且还增加了附加绝缘作为辅助安全措施，或者使设备的绝缘能达到加强绝缘的水平。II 类设备不设置 PE 线。

II 类设备一般用绝缘材料做外壳，例如带塑料外壳的家用电器一般都属于 II 类设备。II 类设备也有采用金属外壳的，但其金属外壳与带电部分之间的绝缘必须是双重绝缘或加强绝缘。采用金属外壳的 II 类设备，其外壳也不能与保护线连接，只有在实施不接地的局部等电位联结时，才可考虑将设备的金属外壳与等电位联结线相连。

II 类设备的电击防护全靠设备本身的技术措施，其电击防护不依赖于供电系统，也不依赖于使用场所的环境条件，是一种安全性能很好的设备类别。若排除价格等因素，这是一种值得大力发展的设备类别。但 II 类设备绝缘外壳的机械强度和耐热水平不高，且其外型尺寸和电功率都不宜过大，而且价格较高，致使它的应用范围受到了限制。

四、III 类设备

III 类设备的防间接接触电击原理是降低设备的工作电压，即根据不同的环境条件采用适当的特低电压供电，使发生接地故障或者人体直接接触带电导体时，接触电压都小于安全限值。

III 类设备的电击防护依靠采用 SELV（安全特低电压）供电，这类设备要求在任何情况下，设备内部都不会出现高于安全电压值的电压。

关于安全电压或安全特低电压，在国家标准 GB 3805—1983 和 GB 3805.1—1993 中都有所规定，其中 GB 3805.1—1993 为等效采用的 IEC 标准，用来取代 GB 3805—1983。但由于标准的配套问题，与安全电压相关的一些设备标准还未等效采用 IEC 标准，这就使得在应用上出现一些不能完整衔接的地方，但这种情况并不妨碍我们对 III 类设备的理解。

应当注意，安全（特低）电压并不只是一个电压值，它是包括较低电压值在内的一系

列规定的总称。因此，必须满足对安全（特低）电压的全部要求，Ⅲ类设备的电击防护才是完整有效的。

应该说明，以上四类设备是以罗马数字 0、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ 进行分“类”而不是分“级”。分类的顺序并不说明防电击性能的优劣程度，也并不表明电气设备的安全水平等级，它只是用以区别各类设备防电击的不同措施而已。

由以上介绍可知，在电气设备的产品设计中已为各类设备规定了不同的防间接接触电击措施。不过，仅靠产品上采取的措施尚不一定完全能够满足防电击要求，还需要在电气装置的设计、安装中补充一些必要的防电击措施，并使二者协调配合、相辅相成，臻于完善。

另外，按照 GB/T2681-1981《导体颜色》的规定，交流三相系统中导体的颜色见表 3-2。

表 3-2 交流三相系统中导体的颜色					
导体类别	A 相	B 相	C 相	N 线、PEN 线	PE 线
颜色	黄	绿	红	淡蓝	黄、绿双色

顺便说明，母线涂有色漆除便于区分三相交流母线的相别外，还可以增加辐射能力，便于母线散热；另外，还有防止母线腐蚀的作用。

第四讲 电气设备外壳的防护等级

一、外壳与外壳防护的概念

电气设备的“外壳”是指与电气设备直接相关联的界定设备空间范围的壳体。而那些设置在设备以外的为保证人身安全或防止人员进入的栅栏、围护等的设施，不能被算作是“外壳”。

关于外壳防护问题，我国有 3 个国家标准，一个为 GB 4208—1993《外壳防护等级》，另两个为行业用的国家标准，分别为 GB/T4942.1—2001《电机外壳防护等级》和 GB/T4942.2—1993《低压电器外壳防护等级》，它们都是等效采用的 IEC 标准。

外壳防护是电气安全的一项重要措施，它既是保护人身安全的措施，又是保护设备自身安全的措施，因此标准也规定了外壳的两种防护形式。

第一种防护形式：防止人体触及或接近壳内带电部分和触及壳内的运动部件（光滑的转轴和类似部件除外），防止固体异物进入外壳内部。

第二种防护形式：防止水进入外壳内部而引起有害的影响。

另外，对于机械损坏、易爆、腐蚀性气体或潮湿、霉菌、虫害、应力效应等条件下的防护等级，在以上标准中并未作出规定。对这些有害因素的防护措施，在其他一些相关标准中有专门规定。例如对于防爆电器，就有隔爆型、增安型、充油型、充砂型、本质安全型、正压型、无火花型、浇封型、防爆特殊型、粉尘防爆型等多种形式。在这些形式中，外壳是作为因素之一被考虑进去的，但不是惟一因素。也就是说，这些形式是否成立，不是由外壳因素惟一确定的。而我们这里要讨论的电气设备外壳的这两种防护形式，是完全由外壳的机械结构确定的。

二、外壳防护等级的代号及划分

1. 代号

表示外壳防护等级的代号由表征字母“IP”（IP 为 International Protection 的缩写）和附加在后面的两个表征数字组成，写作 IPXX，其中第一位数字表示第一种防护形式的各个等级，第二位数字则表示第二种防护形式的各个等级，表征数字的含义分别见表 4-1 和表 4-2。

表 4-1 第一位表征数字表示的防护等级

第一位 表征数字	防护等级	
	简 述	含 义
0	无防护	无专门防护
1	防止大于 50mm 的固体异物	能防止人体的某一大面积（如手）偶然或意外地触及壳内带电部分或运动部件，但不能防止有意识地接近这些部分。能防止直径大于 50mm 的固体异物进入壳内
2	防止大于 12mm 的固体异物	能防止手指或长度不大于 80mm 的类似物体触及壳内带电部分或运动部件。能防止直径大于 12mm 的固体异物进入壳内
3	防止大于 2.5mm 的固体异物	能防止直径（或厚度）大于 2.5mm 的工具、金属线等进入壳内。能防止直径大于 2.5mm 的固体异物进入壳内
4	防止大于 1mm 的固体异物	能防止直径（或厚度）大于 1mm 的工具、金属线等进入壳内。能防止直径大于 1mm 的固体异物进入壳内
5	防尘	不能完全防止尘埃进入壳内，但进尘量不足以影响电器正常运行
6	尘密	无尘埃进入

- 注：1. 本表“简述”栏不作为防护形式的规定，只能作为概要介绍。
2. 本表第一位表征数字为 1~4 的电器，所能防止的固体异物系包括形状规则或不规则的物体，其 3 个相互垂直的尺寸均超过“含义”栏中相应规定的数值。
3. 具有泄水孔和通风孔等的电器外壳，必须符合于该电器所属的防护等级“IP”号的要求。

表 4-2 第二位表征数字表示的防护等级

第二位 表征数字	防护等级	
	简 述	含 义
0	无防护	无专门防护
1	防滴	垂直滴水应无有害影响
2	15°防滴	当电器从正常位置的任何方向倾斜至 15°以内任一角度时，垂直滴水应无有害影响
3	防淋水	与垂直线成 60°范围以内的淋水应无有害影响
4	防溅水	承受任何方向的溅水应无有害影响
5	防喷水	承受任何方向的喷水应无有害影响
6	防海浪	承受猛烈的海浪冲击或强烈喷水时，电器的进水量应不致达到有害影响
7	防浸水影响	当电器浸入规定压力的水中经规定时间后，电器的进水量应不致达到有害的影响
8	防潜水影响	电器在规定压力下长时间潜水时，水应不进入壳内

例如，某设备的外壳防护等级为 IP30，就是指该外壳能防止大于 2.5mm 的固体异物进入，但不防水。当只需用一个表征数字表示某一防护等级时，被省略的数字应以字母 X 代替，例如 IPX3、IP2X 等。例如干式变压器的保护外壳一般采用 IP2X，即只要求它能防止手指或长度不大于 80mm 的类似物体触及壳内带电部分或运动部件，并能防止直径大于 12mm 的固体异物进入壳内，这样既满足了安全要求，又利于散热。又如浴室内 2 区要求电气设备的防护等级为 IPX4，则说明它要求防溅水，而对防固体异物进入没有表明要求。

当电器各部分具有不同的防护等级时，应首先标明最低的防护等级，若再需标明其他部分，则按该部分的防护等级分别标志。低压电器的常用外壳防护等级见表 4-3。

表 4-3 低压电器的常用外壳防护等级

第二个特征数字 防护等级 第一个特征数字	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	IP00	—	—	—	—	—	—	—	—
1	IP10	IP11	IP12	—	—	—	—	—	—
2	IP20	IP21	IP22	IP23	—	—	—	—	—
3	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34	—	—	—	—
4	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44	—	—	—	—
5	IP50	—	—	—	IP54	IP55	—	—	—
6	IP60	—	—	—	—	IP65	IP66	IP67	IP68

例如，作建筑物泛光照明的室外灯具的防护等级一般为 IP65，亦即防固体外物等级为“尘密”，能防尘埃进入，并能“防喷水”，能承受任何方向的喷水，故可安全地用于室外场所。

2. 试验

电气设备外壳防护等级的确定是与相关的试验紧密联系的。可以说，没有相关的标准化形式试验，电气设备外壳的防护等级问题就不具备可操作性。因此，在有关电气设备外壳防护等级的标准中，试验方法总是与等级划分关联出现的。我们在理解外壳防护等级的时候，亦应该对相关试验也有所了解。

例如，对第一位表征数字的试验中，对防护等级“2”，规定要进行试球试验和试指试验。所谓试球试验，就是用直径为 $12.0^{+0.05}_{-0}$ mm 的刚性试球对外壳的各开启部分施加 (30 ± 3) N 的力，若试球未能穿过任一开启部分并与电器壳内带电部分或转动部件保持足够的间隙，即认为试验合格。试球试验的目的主要是试验外壳防护设备不受外界固体异物损伤的能力。而所谓试指试验，就是用金属材料模拟人的手指作一个标准的“试验手指”，其金属部分长 80mm，直径 12mm，可模拟人手指的弯曲；用不大于 10N 的力将试指推向外壳各开启部分；如能顺利进入，则应注意活动至各个可能的位置；若试指与壳内带电部分或转动部件保持足够的间隙，即认为试验合格；但试指允许与非危险的光滑转轴及类似部件接触。试指试验的主要目的是试验外壳防护人体通过手指受到电击或机械损伤的能力。只有试球试验和试指试验都通过了，才能确认设备达到第一位表征数字“2”的等级。

需要说明：与电气设备按电击防护的分“类”不同，设备外壳的防护等级是以“级”