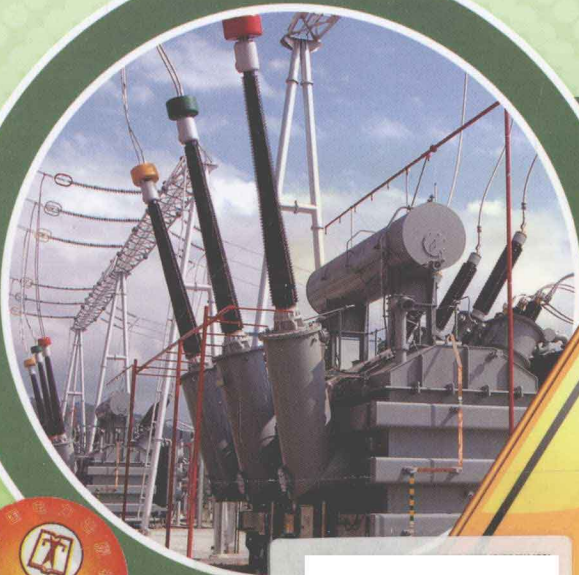


电气安全作业

培训教材

曹孟州 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电气安全作业

培训教材



曹孟肇 编著



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书对电气安全的基本概念、基本规定、接地保护、电击、电气火灾、电磁辐射、电气工作管理、保证安全的组织和技术措施、触电急救常识、反习惯性违章、各种触电案例等做了深入浅出的阐述,补充了电气技术管理的新措施、新信息、新要求,如杂散电流的消除、接地与等电位联结的关系和异同、用电电能质量和供电电能质量的不同及提高,以及在电气安全和电气功能上的正确应用等。

本书可供中、低压电气装置设计、安装、检验和管理人员及供电部门用电管理人员、供电所及变电站员工和农电工、工矿企事业电气工作者培训和使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气安全作业培训教材 / 曹孟州编著. —北京: 中国电力出版社, 2012. 5

ISBN 978 - 7 - 5123 - 3080 - 1

I. ①电… II. ①曹… III. ①电气安全 - 技术培训 - 教材 IV. ①TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 103888 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 7 月第一版 2012 年 7 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 9 印张 227 千字

印数 0001—3000 册 定价 25.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

电气安全是电力系统乃至全社会安全领域内与电气有关的科学技术及管理的系统工程。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。

随着我国电力工业迅速发展,电力企业、厂矿企事业和人们的日常生活及生产过程中,离不开电器、用电设备和电力设施,电气设备随之不断地改进、更新,但由于用电设备和电力设施在运行过程中,事故时有发生,每年因为电击伤人甚至致人死亡和损毁电气设备所带来的损失惨重,因此电气安全问题成为关系到供用电安全、人身安全和设备安全的头等大事。

本书对电气安全的基本概念、基本规定、接地保护、电击、电气火灾、电磁辐射、电气工作管理、保证安全的组织和技术措施、触电急救常识、反习惯性违章、各种触电案例做了深入浅出的阐述,补充了电气技术管理的新措施、新信息、新要求,如杂散电流的消除、接地与等电位联结的关系和异同、用电电能质量和供电电能质量的不同及提高,以及在电气安全和电气功能上的正确应用等。本书在编写过程中,参考、查阅了大量的文献资料和触电事故案例,在此向参考文献中所示的作者表示诚挚的感谢!

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正,编者将不胜感激。

编 者

2012 年 4 月



目 录

前言

第一章 电气安全的基本概念	1
第一节 保证用电安全的基本要素	1
第二节 电力低压系统按接地形式分类	2
第三节 电力低压系统按带电导体分类	9
第四节 电气设备按电击防护方式分类	11
第五节 电气设备外壳的防护等级	14
第六节 电力系统的中性点运行方式	19
第七节 接地与等电位联结	24
思考题	44
第二章 电气安全的基本规定	45
第一节 严格执行“两票”制度	46
第二节 反习惯性违章	47
第三节 保证电网安全稳定运行的基本条件	55
第四节 施工现场存在的安全隐患及对策	56
第五节 安全生产管理	59
第六节 安全供电——优质服务紧相连	63
第七节 电力法规《电力安全事故应急处置和 调查处理条例》颁布实施	64
思考题	68
第三章 电磁辐射防护	69
第一节 电磁辐射及其危害	69
第二节 电磁屏蔽	70
第三节 高频接地	71

第四节	谐波的危害及应对措施	72
第五节	绿色家居生活 预防家电辐射	74
思考题		76
第四章	手持式电动工具及移动式电气设备安全管理	77
第一节	基本分类与结构	77
第二节	合理选用	79
第三节	安全性能要求	80
第四节	交流弧焊机的安全要求	81
第五节	机械防护装置	82
第六节	电力安全工器具管理	84
第七节	电气安全用具使用	86
第八节	电气安全工器具试验项目、周期和要求	93
思考题		97
第五章	电气工作安全管理措施	98
第一节	电气安全工作基本要求	98
第二节	保证安全的组织措施	101
第三节	供电所安全管理存在的问题及对策	113
第四节	电气设备检修安装时应注意的安全事项	117
第五节	电力安全工作步入法制时代	120
第六节	坚持开展安全性评价	123
思考题		128
第六章	电气工作现场安全实施防护技术	129
第一节	电击	129
第二节	防止电击事故的措施	136
第三节	防止误电击措施	142
第四节	保证安全的技术措施	146
第五节	电气倒闸操作安全技术	151
第六节	防止双电源及自发电用户倒送电措施	159
第七节	配电变压器运行中安全保护措施	165

第八节 配电线路安全运行的防范措施	169
思考题	178
第七章 电气工作防火防爆	179
第一节 电气火灾与爆炸的原因	179
第二节 电气装置的防火措施	184
第三节 扑灭电气火灾的方法	193
第四节 防爆电气设备	198
第五节 常见的电气火灾隐患及防范措施	206
思考题	211
第八章 触电急救	212
第一节 电流对人体的危害	212
第二节 触电救护	224
第三节 杆上或高处触电急救	231
思考题	232
第九章 触电事故分析及案例	233
第一节 触电事故概述	233
第二节 触电事故的原因及规律分析	234
第三节 触电事故案例	236
 附录 A 低压第一种工作票（停电作业）	 274
附录 B 低压第二种工作票（不停电作业）	276
附录 C 低压操作票	278
 参考文献	 279



电气安全的基本概念

当前，国家强调的“科学发展，以人为本，把人的生命放在第一位”，“安全第一、预防为主、综合治理、平安永伴、事故远离”，这是全国各级电力系统，尤其是各级供电企业一贯遵循的永恒主题。各级电力企业依照《安全生产法》、《电力法》、《电力安全工作规程》等法律法规，采取安规培训考试、反事故演习、事故分析调研、安全性评价、安全工作例会、安全警示教育、安全常识进田间校园等多种措施，对用电安全提出了更高的要求。

第一节 保证用电安全的基本要素

一、电气绝缘

保持配电线路和电气设备的绝缘良好是保证人身安全和电气设备正常运行的最基本要素。电气绝缘的性能是否良好，可通过测量其绝缘电阻、耐压强度、泄漏电流和介质损耗等参数来衡量。

二、电气安全距离

电气安全距离是指人体、物体等接近带电体而不发生危险的安全可靠距离。如带电体与地面之间、带电体与带电体之间、带电体与人体之间、带电体与其他设施和设备之间，均应保持一定距离。通常，在配电线路和变、配电装置附近工作时，应考虑线路安全距离，变、配电装置安全距离，检修安全距离和操作安全距离等。

三、安全载流量

安全载流量是指允许持续通过导体内部的电流量。持续通过



导体的电流如果超过安全载流量，导体的发热将超过允许值，导致绝缘损坏，甚至引起漏电和发生火灾。因此，根据导体的安全载流量确定导体截面积和选择设备是十分重要的。

四、标志

明显、准确、统一的标志是保证用电安全的重要因素。标志一般有颜色标志、标示牌标志和型号标志等。颜色标志表示不同性质、不同用途的导线；标示牌标志一般作为危险场所的标志；型号标志作为设备特殊结构的标志。

第二节 电力低压系统按接地形式分类

一般供配电系统都有两个接地问题：一是系统内电源侧带电导体的接地；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，因此也称为工作接地。保护接地则对电气安全十分重要。

我国的 380/220V 配电系统占据了低压供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 中低压配电系统。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个角落。在向国际标准靠拢的过程中，我国电力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) 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，中性点一般在电路接线的中间点处，如星形接线的中心点，但在故障时，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。是指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。是指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），可能会引入高电位。

(4) 等电位联结。是指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”而非“连接”，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路。

(5) 中性线（N线）。是指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）。是指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)。是指兼有 PE 线和 N 线功能的导线。

(8) 移动式设备。是指工作时移动的设备,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。是指正常使用时要用手握住的移动式设备。

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

二、低压接地系统分类

低压接地系统按接地形式可分为 IT、TT 和 TN 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”)。

I: 电力系统与大地隔离或电源的一点经高阻抗 (如 1000Ω) 与大地直接连接 (I 是“隔离”)。

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连接大地,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连接而接地 (N 是“中性点”)。

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:

(1) TN - C 系统。在此系统内, N 线和 PE 线是合一的 (C 是“合一”)。N 线引出后应对地绝缘, PE 线引出后可多次重复接地。

(2) 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。

(3) TN-S 系统。在此系统内, N 线和 PE 线的分开是从变电站或发电厂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优缺点, 需对其有一定了解, 以便正确地予以选用, 下面将逐一简述。

1. IT 系统

IT 系统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。

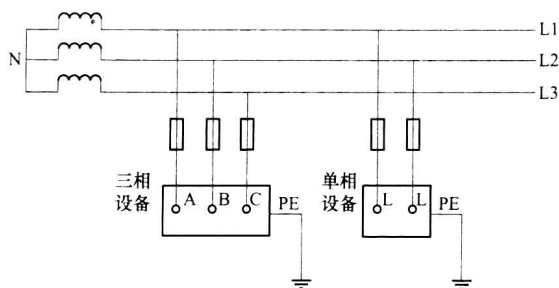


图 1-1 IT 系统接线

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, 不需要切断电源使供电中断。

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。

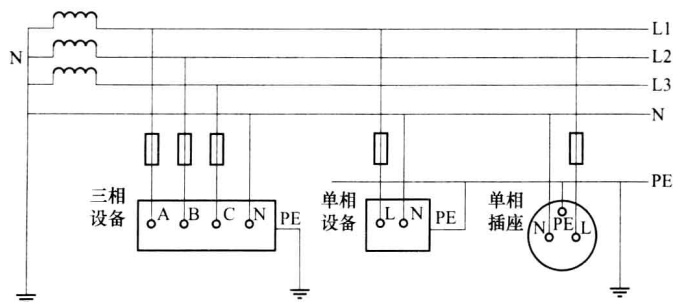


图 1-2 TT 系统接线

通常将电源中性点直接接地叫做工作接地, 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, 也可以是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, 一般不能用电流防护兼作接地故障防护, 为此必须装设剩余电流保护装

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村电网, 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的基础上, TT 系统有很多的优点, 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 系统是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 系统接线如图 1-3 所示。

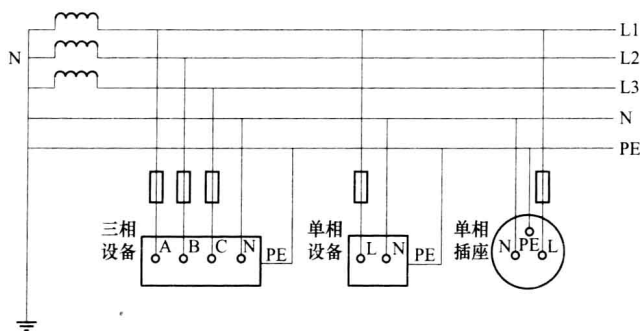


图 1-3 TN-S 系统接线

图 1-3 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 系统便不再成立。

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，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广泛的一种系统，在自带变配电所的建筑物中几乎都采用了 TN-S 系统，在建筑小区中也有些采用了 TN-S 系统。

(2) TN-C 系统。TN-C 系统接线如图 1-4 所示。

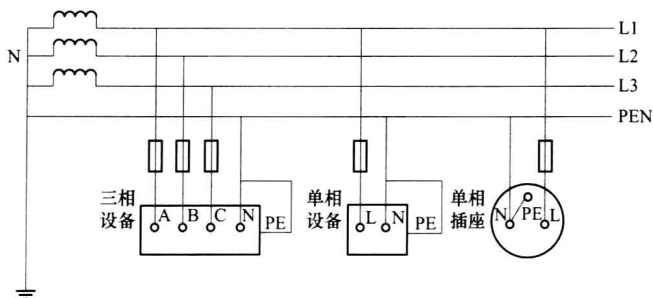


图 1-4 TN-C 系统接线

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。

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三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。

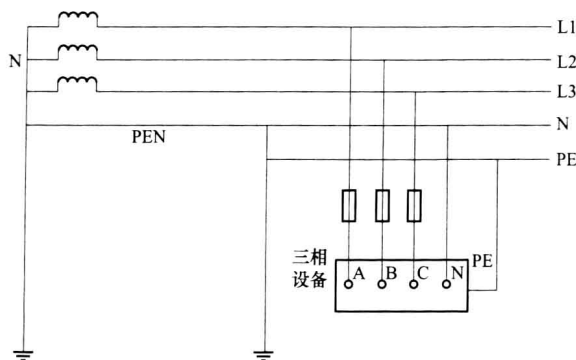


图 1-5 TN-C-S 系统接线

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，从这一点后，即相当于 TN-S 系统。

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。

第三节 电力低压系统按带电导体分类

低压配电系统有两种分类法：一是按第二节所述的接地形式分类，分为 IT、TT、TN 等系统；二是按带电导体分类。

由于传统习惯的影响，我国电力系统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 教材中也有这些叫法。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。按照 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 1-6 所示。

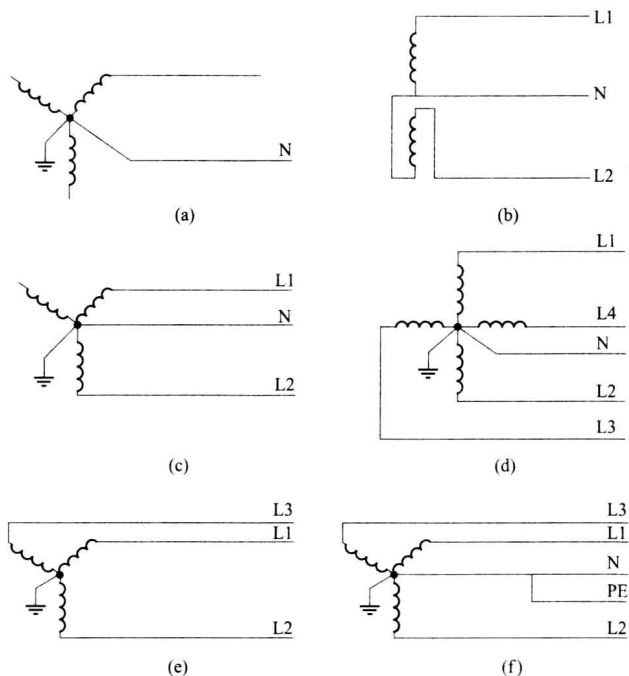


图 1-6 交流的带电导体系统的形式

- (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。