

电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书

10/0.4kV供配电 系统的施工、 运行和维护

10/0.4kV GONGPEIDIAN XITONG DE SHIGONG
YUNXING HE WEIHU

芮静康 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电气工程 安装调试
运行维护 实用技术技能丛书

10/0.4kV 供配电系统的 施工、运行和维护

芮静康 主编

机械工业出版社

本书共分七章,包括 10/0.4kV 供配电系统概述,10/0.4kV 供配电系统的施工要点,架空线和电缆的敷设,电力变压器及变配电室的施工,电气设备的安装和施工,防雷与接地装置的安装和施工,10/0.4kV 供配电系统的运行和维护。本书内容广泛实用,可操作性强,文字通俗易懂。本书可供电气技术人员在从事电气设备的施工、运行、维护中阅读使用,也可供有关职业院校师生在教学实践中参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

10/0.4kV 供配电系统的施工、运行和维护/芮静康主编. —北京:机械工业出版社, 2016.3

(电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书)

ISBN 978-7-111-53261-3

I. ①1… II. ①芮… III. ①供电—电力系统—基本知识 ②配电系统—基本知识 IV. ①TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 056523 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:张俊红

责任校对:刘怡丹 封面设计:马精明

责任印制:常天培

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2016 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13 印张·321 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-53261-3

定价:39.90 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

当前,我们的国家正处于改革开放、经济腾飞的伟大转折时代。在这样的大好形势下,我们可以看到电工技术突飞猛进的发展,新技术、新材料、新设备、新工艺层出不穷、日新月异。电子技术、计算机技术以及通信、信息、自动化、控制工程、电力电子、传感器、机器人、机电一体化、遥测遥控等技术及装置已与电力、机械、化工、冶金、交通、航天、建筑、医疗、农业、金融、教育、科研、国防等行业技术及管理融为一体,并成为推动工业发展的核心动力。特别是电气系统,一旦出现故障将会造成不可估量的损失。2003年8月美国、加拿大大面积停电,几乎使整个北美瘫痪。我国2008年南方雪灾,引起大面积停电,造成1110亿元人民币的经济损失,这些都是非常惨痛的教训。

电气系统的先进性、稳定性、可靠性、灵敏性、安全性是缺一不可的,因此电气工作人员必须稳步提高,具有精湛高超的技术技能,崇高的职业道德以及对专业工作认真负责、兢兢业业、精益求精的执业作风。

随着技术的进步、经济体制的改革、用人机制的变革及市场需求的不断变化,对电气工作人员的要求越来越高,技术全面、强(电)弱(电)精通、精通技术的管理型电气工作人员成为用人单位的第一需求,为此,我们组织编写了《电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书》。

编写本丛书的目的,首先是帮助读者在较短的时间里掌握电气工程的各项实际工作技术技能,使院校毕业的学生尽快地在工程中能够解决工程实际设计、安装、调试、运行、维护、检修以及工程质量管理、监督、安全生产、成本核算、施工组织等技术问题;其次是为工科院校电气工程及自动化专业提供一套实践读物,亦可供学生自学及今后就业参考;第三是技术公开,做好电气工程技术技能的传、帮、带的交接工作,每个作者都是将个人几十年从事电气技术工作的经验、技术、技能毫无保留,公之于众,造福社会;第四是为刚刚走上工作岗位的电气工程及自动化专业的大学生尽快适应岗位要求提供一个自学教程,以便尽快完成从大学生到工程师的过渡。

本丛书汇集了众多实践经验极为丰富、理论知识精通扎实、能够将科研成果转化为实践、能够解决工程实践难题的资深高工、教授、技师承担编写工作,他们分别来自设计单位、安装单位、工矿企业、高等院校、通信单位、供电公司、生产现场、监理单位、技术监督部门等。他们将电气工程及自动化工程中设计、安装、调试、运行、维护、检修、保养和安全技术、读图技能、施工组织、预算编制、质量管理监督、计算机应用等实践技术技能,以及实践经验、绝活窍门,由浅入深、由易至难、由简单到复杂、由强电到弱电进行了详细的论述,供广大读者特别是青年工人和电气工程及自动化专业的学生们学习、模仿、参考,以期在技术技能上取得更大的成绩和进步。

本丛书的特点是实用性强,可操作性强,通用性强。但需要说明,本丛书讲述的技术技能及方法不是唯一的,也可能不是最先进、最科学的,然而按照本丛书讲述的方法,一定能将各种工程,包括复杂且难度大的工程顺利圆满地完成。读者及青年朋友们在遇到技术难题

时,只需翻阅相关分册的内容便可找到解决难题的办法。

从事电气工作这个特殊的职业,从前述分析可以得知电气工程及自动化工程的特点,主要是:安全性强,这是万万不容忽视的;专业理论性强,涉及自动控制、通信网络、自动检测及复杂的控制系统;从业人员文化层次较高;技术技能难度较大,理论与实践联系紧密;工程现场条件局限性大,环境特殊,如易燃、易爆等;涉及相关专业广,如机、钳、焊、铆、吊装、运输等;节能指标要求严格;系统性、严密性、可靠性、稳定性要求严密,从始至终不得放松;最后一条是法令性强,规程、规范、标准多,有150多种。电气工作人员除了技术技能的要求外,最重要的一条则是职业道德和敬业精神。只有高超的技术技能与高尚的职业道德、崇高的敬业精神结合起来,才能保证电力系统及自动化系统的安全运行及其先进性、稳定性、可靠性、灵敏性和安全性。

因此,作为电气工作人员,特别是刚刚进入这个行业的年轻人,应该加强电工技术技能的学习和锻炼,深入实践,不怕吃苦、不怕受累;同时应加强电工理论知识的学习,并与实践紧密结合,提高技术水平,在工程实践中加强职业道德的修养,加强和规范作业执业行为,才能成为电气行业的技术高手。

在国家经济高速发展的过程中,作为一名电气工作者肩负着非常重要的责任。国家宏观调控的重要目标就是要全面贯彻落实科学发展观,加快建设资源节约型、环境友好型社会,把节能减排作为调整经济结构、转变增长方式的突破口。在电气工程、自动化工程及其系统的每个环节和细节里,每个电气工作者只要能够尽心尽责,兢兢业业,确保安装调试的质量,做好运行维护工作,就能够减少工程费用,减小事故频率,降低运行成本,削减维护开支;就能确保电气系统的安全、稳定、可靠运行。电气工作人员便为节能减排、促进低碳经济发展,保增长、保民生、促稳定做出巨大的贡献。

在这中华民族腾飞的时代里,每个人都有发展和取得成功的机遇,倘若这套《电气工程安装调试运行维护实用技术技能丛书》能为您提供有益的帮助和支持,我们全体作者将会感到万分欣慰和满足。祝本丛书的所有读者,在通往电工技术技能职业高峰的道路上,乘风破浪、一帆风顺、马到成功。

本书由芮静康先生担任主编,中国石化工程建设公司副总工程师、电气高级工程师袁学群,北京海博智能电气防火科技有限公司总工程师张燕杰教授和邬川京担任副主编。参加编写的有黄旭、王财、张白帆、关肇、李恒、杨龙山、师省委、贾淑兰、陈晓峰、陈洁、屠姝姝、呼志华、杨晓玲、刘彦彬、田慧君、刘学俭、王梅、李志展等。

本书提供的图纸和数据可在设计、安装、施工、运行、维修时参考,但产品生产和工程施工应以设计图样为准,特向读者表示歉意。

由于作者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者和专业同仁批评指正。

作者于北京
2016年4月

目 录

前言

第一章 10/0.4kV 供配电系统概述 1

第一节 10kV 配电系统变配电所主接线 1

第二节 低压供配电系统 2

一、接地方式的概况 2

二、供配电系统的方式 4

第二章 10/0.4kV 供配电系统的施工

要点 12

第一节 供配电系统的施工内容 12

一、架空线路和电缆敷设的施工内容 12

二、变压器的安装和变配电室的施工 内容 12

三、低压配电系统的施工和用电设备的 安装施工内容 13

四、防雷、接地装置的施工内容 14

第二节 供配电系统的施工控制要点 14

一、架空线路及变压器安装的施工控制 要点 14

二、配电柜的安装、电缆敷设、母线 安装的施工控制要点 16

三、照明系统的施工控制要点 19

四、用电设备安装的施工控制要点 24

五、防雷、接地装置安装的施工控制 要点 27

第三章 架空线和电缆的敷设 28

第一节 架空配电线路的敷设 28

一、架空线路的一般要求及规定 28

二、电杆基坑的施工 39

三、电杆组立的施工 40

四、拉线安装 43

五、导线架设 46

六、导线连接 48

七、接户线安装 49

第二节 电缆的敷设 51

一、电缆敷设前的准备 51

二、电缆敷设 52

三、电缆终端和接头的制作 63

第四章 电力变压器及变配电室的

施工 70

第一节 变压器的安装 70

一、安装电力变压器的基本要求 70

二、变压器安装前的准备工作 70

三、电力变压器的安装 74

第二节 变配电室的施工 77

一、电站的施工 77

二、配电室的施工 81

第五章 电气设备的安装和施工 95

第一节 高压电器的安装和施工 95

一、断路器的安装和施工 95

二、其他高压电器的安装和施工 102

第二节 低压电器的安装和施工 106

第三节 电机的安装和施工 111

第四节 照明系统的安装和施工 116

第六章 防雷与接地装置的安装和

施工 121

第一节 防雷装置的安装和施工 121

一、建筑防雷 121

二、防雷装置 128

三、防雷击电磁脉冲 130

第二节 接地装置的安装和施工 132

一、电气装置的接地 132

二、特殊接地 137

三、智能建筑的接地 142

第三节 接零 154

一、接零的定义	154	四、变压器的故障和修理	164
二、接零的有关要求	154	五、干式电力变压器的设备检验及安装 验收	169
三、低压配电系统的接地形式	155	六、干式电力变压器的运行及维护	172
四、低压配电系统接地故障保护的 要求	156	第二节 输配电线路的运行和维护	180
五、零线 (N)、保护线 (PE) 及保护 中性线 (PEN) 的选择	156	一、输配电线路的运行	180
六、接地、接零保护中应注意的问题	158	二、输配电线路的故障和检修	183
第七章 10/0.4kV 供配电系统的运行和 维护	159	第三节 变配电室、高低压配电装置的运行和 维护	188
第一节 变压器的运行和维护	159	一、变配电室的运行和值班	189
一、变压器的检查周期	159	二、高低压配电装置的运行	191
二、变压器巡视检查内容	159	三、高低压配电装置的故障与检修	195
三、变压器的运行	160	参考文献	202

第一章 10/0.4kV 供配电系统概述

第一节 10kV 配电系统变配电所主接线

1. 10kV 一路配电系统

一路电源供电的系统，一般只适用 3 类负荷的用户。这种供电方式，一次接线简单，设备费用低，可用电缆进线，也可用架空进线，如图 1-1 所示。图中是手车柜式一路电源供电系统图。

一路配电系统维护简单，操作方便，但检修需要全部停电。因此不适宜重要负荷。

2. 10kV 两路配电系统

10kV 两路电源配电系统分为单母线不分段配电系统、单母线用隔离开关分段的配电系统、单母线用断路器分段的配电系统。

两路电源配电系统，一般适用于 1 类、2 类负荷或用电量超过 10000kVA 的用户。

图 1-2 是手车柜式 10kV 两路配电系统图。这种配电系统容量大，适用于配电回路多的变电站。其供电经济、合理，可靠性高，运行操作灵活性大；但投资较高，操作步骤复杂，占地面积较大。

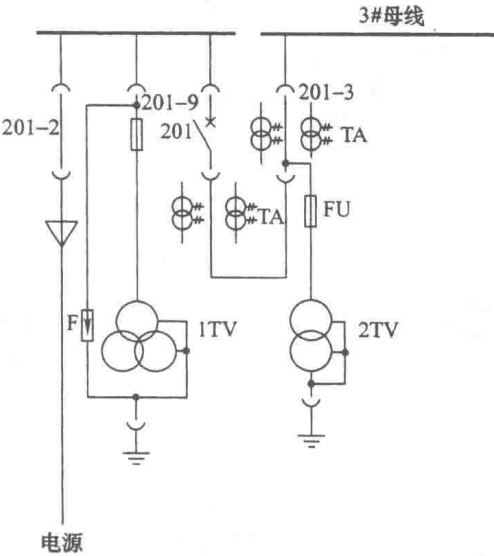


图 1-1 10kV 一路电源配电系统

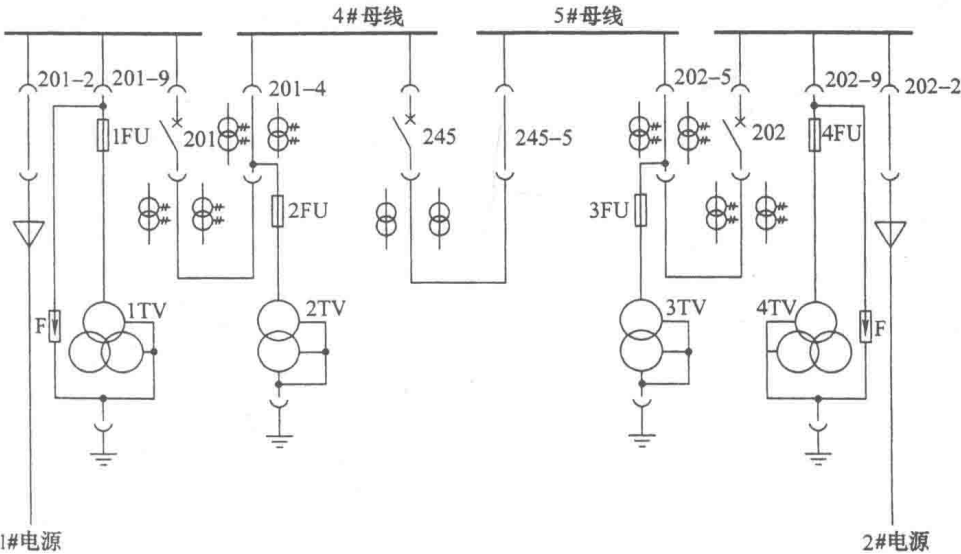


图 1-2 10kV 两路电源配电系统

3. 10kV 三路配电系统

图 1-3 为 10kV 三路配电系统。这种配电系统适用于 1 类、2 类负荷的大用户。可满足

供电经济、可靠、安全、合理的要求；运行操作灵活，可根据负荷情况，改变运行方案。但投资大，操作步骤复杂，占地面积和建设面积大。给 1 类负荷供电时，还应配备备用发电机或大容量 UPS（不间断电源装置）。

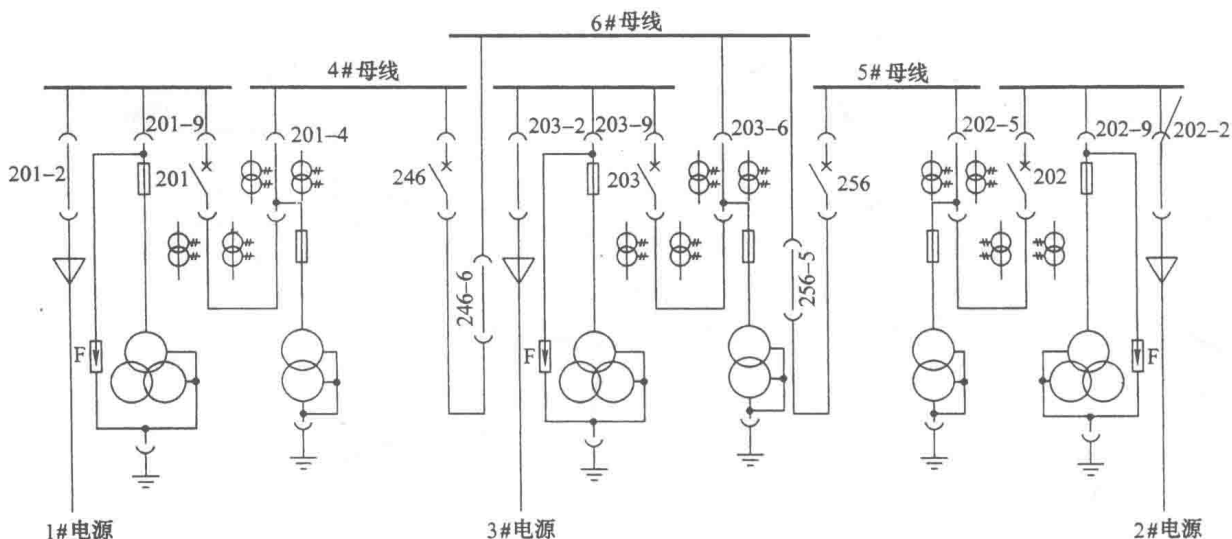


图 1-3 10kV 三路电源配电系统

第二节 低压供配电系统

一、接地方式的概况

根据 IEC（国际电工委员会）标准，供配电系统的方式有 IT 系统、TT 系统、TN 系统。根据中性导体（工作零线）与保护导体（保护零线）连接的方式不同，TN 系统又分为三种形式，即 TN—C 系统、TN—S 系统、TN—C—S 系统。

按照 IEC 规定，接地方式一般由两个字母组成，必要时可加后续字母。因为 IEC 以法文作为正式文件，因此，所用的字母为相应法文的首字母。

第一个字母“T”（法文 Terre 的首字母），表示电源系统中的一点（或中性点）直接接地；“I”（法文 Isolant 的首字母），表示不接地（包括所有带电部分与地绝缘）或通过阻抗与大地连接。

第二个字母“N”（法文 Neutre 的首字母），表示电气设备正常运行情况下不带电的外露可导电部分的接地在电气上有无关联。“N”表示直接与电源系统接地点或与该点引出的导体相连接。

后续字母，表示中性线与保护线之间的关系，其中“C”（法文 Combinaison 的首字母）表示中性线 N 与保护 PE 合并为 PEN 线；“S”（法文 Separateur 的首字母）表示中性线与保护线分开；C—S 表示在电源侧（变压器二次侧）为 PEN 线，以后从某点（某一配电柜）分开为 N 和 PE 线。

在几个工业发达的国家内，完全按照 IEC 标准，划分接地方式，并制定相应的规程，如德国电气工程师协会 VDE 规程、法国电工联合会（UTE）规程、英国电气工程师学会

(IEE) 规程、美国国家电气规程 (NEC)、日本电气学会 (JEAC) 法规和瑞典电工委员会 (SEN) 法规, 分为接地系统 (主要为 TT 系统, 但也述及 TN 系统) 和不接地系统 (IT 系统)。

我国供配电系统的接地制式, 已与 IEC 接轨。

保护接地线 PE 线的颜色, 我国过去生产的电工产品, 都以黑色为标志, 这种标志已作废。现在已执行 IEC 标准, 采用的黄、绿双色绝缘线即黄绿相间色。但目前也有部分国家, 如日本、西欧一些国家的公司, 采用单一绿色作为保护接地线 PE。

保护接地线 PE 截面积的选择, 据 JGJ/T 16—2008 《民用建筑电气设计规范》中规定, 最小截面积见表 1-1。

GB 50168—2006 《电路线缆施工及验收规范》中规定见表 1-2。

表 1-1 PE 线的最小截面积 (mm²)

装置的相线截面积 S_{ϕ}	PE 线的最小截面积 S_{PE}
$S_{\phi} \leq 16$	$S_{PE} \leq 16$
$16 < S_{\phi} \leq 35$	16
$S_{\phi} > 35$	$S_{\phi}/2$

表 1-2 电缆终端接地线截面积 (mm²)

电缆截面积	接地线截面积
≤ 120	16
≥ 150	25

从表 1-2 来看, 比表 1-1 值要小, 即《施工规范》比《设计规范》所取的接地线截面积要小, 如何把两者统一起来? 可参考德国标准 DIN VDE 0100 第 540 部分, 对此说明见表 1-3。

表 1-3 保护线或 PEN 线和单独敷设的保护线截面积的选取 (mm²)

相线截面积	保护线或 PEN 线		单独敷设的保护线截面积	
	绝缘电力导线	0.6kV/1kV 四芯电缆	防护式 (Cu)	非防护式
35	16	16	16	16
50	25	25	25	25
70	35	35	35	35
95	50	50	50	50
120	70	70	50	50
150	70	70	50	50
185	95	95	50	50
240	—	120	50	50
300	—	150	50	50
400	—	185	50	50

从表 1-3 可看出, 对 0.6kV/1kV 电缆及绝缘导线, 截面积在 35mm² 及以上, PE 线的截面积为相线截面积的 1/2。当相线为 35 ~ 70mm² 时单独敷设的 PE 线的截面积为相线的 1/2; 相线截面积为 95mm² 及以上时, PE 线截面积为 50mm²。

根据德国标准, 并对照我国标准, 可理解为, 表 1-1 适用于电缆的 PE 芯线的截面积选取; 表 1-2 适用于单独敷设的 PE 线 (表 1-2 与德国标准相比小一档, 实际施工时, 可适当向德国标准靠拢)。

选取 PE 线的截面积时, 必须考虑机械强度、热稳定, 在地下部分还要考虑腐蚀。选取 PE 线截面积时应注意:

(1) 当 PE 线是不与相线在同一电缆中的芯线或是不与相线在同一外护物 (例如钢管) 内的绝缘线时, 其 PE 线的最小截面积应不小于: 有机械保护的为 2.5mm^2 (铜线); 没有机械保护的为 4mm^2 (铜线)。

(2) 当 PE 线与截面积不大于 2.5mm^2 的相线安装在同一电缆、护套内时, 其截面积与相线截面积相等。

(3) 对于架空和悬挂的 PE 线, 可根据其类型及敷设跨度截面积应适当加大。在有冰雪和大风的环境内, 截面积相应增大。

(4) PE 线一般不需要绝缘, 只有用于电压故障保护的接地线必须绝缘, 避免与其他 PE 线任何外露可导电部分及外部可导电部分相接触而使电压敏感元件遭受到难以发现的短路。

二、供配电系统的方式

(一) TN—S 系统

TN—S 系统, 即通常所说的三相五线制系统, 如图 1-4 所示。该系统规定中性线 N 与保护接地零线 PE 分开, N 线仅在供电变压器二次绕组中性点处接地, 其接地电阻小于 4Ω , 此外 N 线对地是绝缘的。保护接地零线 PE 是为满足某些防护需要, 而用来与外露可导电部分、外界可导电部分、接地端子、接地极、电源接地点或人工接地点, 作电气连接的导体。中性线 N 中, 仅流过系统中的不平衡电流及 L 线与 N 线短路时的单相短路电流, 而对于设备金属外壳及地短路时的故障电流, 则流经 PE 线。

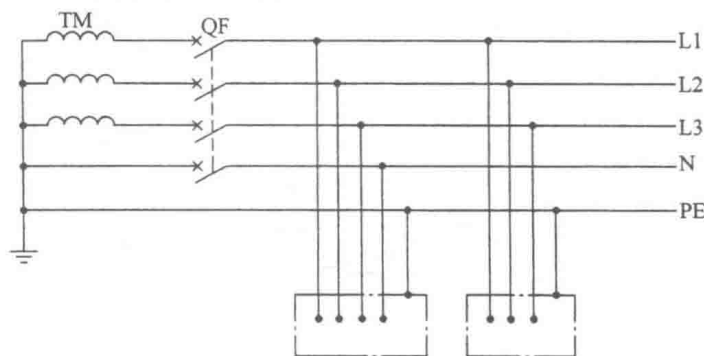


图 1-4 TN—S 系统

由于 TN—S 系统的 PE 线和建筑物处于等电位连接, 因此, 可减少杂散电流、谐波电流等, 以及这些电流产生的压降对电子设备的干扰。TN—S 系统适用于数据处理和精密电子仪器设备的供电, 也可用于防爆危险的环境中, 装有漏电开关的用电设备。在民用建筑内部, 家用电器大都有单独接地点的插头, 采用 TN—S 系统供电, 既方便又安全。但 TN—S 系统不能解决相线对大地短路引起电压升高和对地故障电压蔓延问题。

目前我国 380V/220V 供配电系统中, 特别是在计算机设备、大型晶闸管设备、通信网络负荷中, TN—S 供配电系统被广泛应用。但在应用中, 由于设计、安装不规范, 则在运行中出现了一些问题。

1. TN—S 的接线

TN—S 系统正确的接线如图 1-4 所示。

国家标准 (GB 14050) 规定 TN—S 系统接地方式中: T—电源端有一点直接接地; N—电气装置的外露可导电部分与电源端接地点有直接电气连接; S—中性导体和保护导体是分开的。从规定中可知: PE 线和 N 线应直接接变压器中性点再接地。在 TN—S 系统中, 只有在此处, PE 线和 N 线是接在一起的, 其他无论在任何地方, PE 线和 N 线都应是绝缘的。因此, 要求竣工验收时, 应把该点解开, 测量 PE 线和 N 线间的绝缘, 其绝缘电阻值应和其他相间绝缘电阻值一样, 合格后, 再把该点接上。如绝缘不合格, 就把该点接上, 那就又形成了 TN—C 系统了。这其中也是漏电开关合不上闸的原因之一。

甚至有人在安装时, 把变压器的中性点接入接地极的接地网 E 上, 而把配电屏中的 PE 主母线排也单独接入接地极的接地网 E 上, 使 PE 主母线通过接地扁钢和变压器中性点连接。实际上, 这已形成了 TT 系统, 而不是 TN—S 系统了, 如图 1-5 所示。

因此, 建议设计、安装订货时, 应要求配电屏生产厂家, 把主电源开关配电屏内 PE 主母线排和 N 主母线排用可拆卸的连接母线连接起来。连接母线的材料、截面积应和 N 母线排一样。如主电源开关是 4 极开关, PE 母线排应接在主电源开关的上口, 与 N 母线排处连接如图 1-6 所示。

以上所述情况, 往往都是设计图交代不清, 该画详图的没画详图, 形成安装者自作主张随意安装造成的。再者, 由于技术人员对 IT、TT、TN—C、TN—S、TN—C—S 各种接地方式的认识、理解不一致, 造成技术上的混乱。

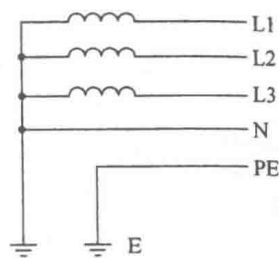


图 1-5 TN—S 的错误接线

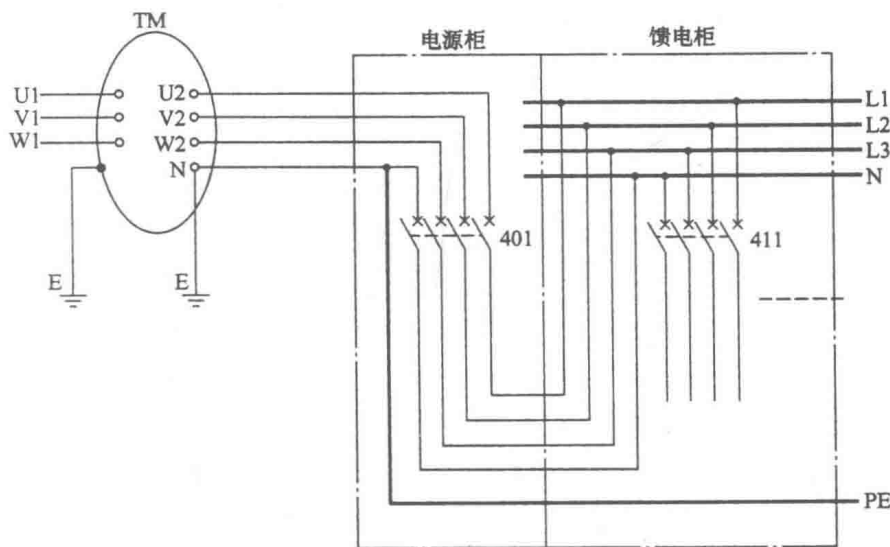


图 1-6 TN—S 接地制式 PE 主母线的接法

2. 关于 4 极开关

4 极开关在 IEC 和国家标准中, 没有明确规定在什么情况下必须使用, 在什么情况下可以不用。因此, 在设计、安装、竣工验收中, 众说不一。甚至应该使用时, 有人也不同意使用, 理由是怕产生断零问题。当然, 断零问题同断相问题同样重要, 甚至在单相负荷中, 特

别是照明负荷中，断零比断相还严重。但断零问题并不是因为使用了4极开关造成的，而是因为使用不合理造成的。至于4极开关本身，生产厂家既然能保证3极开关不会产生断相问题，就一定能保证4极开关也不会产生断零问题。过去曾经发生过的断零问题，是由于使用不当造成的，例如：有的单位在TN—S系统中，用3极开关控制L1、L2、L3三相电源，而用交流接触器控制N母线，这当然有可能产生断零问题了。

TN—S系统的应用如图1-7所示（图中：TA01为装于PE主母线上的零序电流互感器，将流过三相不平衡电流和接地故障电流；TA02为装于N主母线上的零序电流互感器，将流过三相不平衡电流；TA03为装于PE主母线上的零序电流互感器，将流过接地故障电流；TA04为装于馈电线路N线上的零序电流互感器，将流过该馈电线路的三相不平衡电流；TA05为装于馈电线路PE线上的零序电流互感器，将流过该馈电线路的接地故障电流）。图中401、402、445开关应考虑装4极开关。如不装4极开关，例如：当445母联开关为断开状态，1TM、2TM分列运行时，如4#母线的馈电线路K点发生单相接地故障时，由于接地故障电流未足以使412开关跳闸，则将使5#母线系统装于PE主母线的TA03或装于N主母线的TA02的零序保护误动作，使402开关跳闸，造成大面积停电。如445母联开关装了4极开关，在断开状态下，同时也断开了4#母线和5#母线的主母线N，以上现象就不会发生了。如果PE主母线或N主母线都没有装零序保护，以上故障将使5#母线供配电系统的用电设备的金属外露可导电部分存有危险的电压。在TN—S系统中，为了电源主开关（如401、402开关）起到漏电保护作用，因此，在1TM、2TM配电变压器二次出口PE主母线上都装有零序电流保护（如图1-7中的TA03）。也有的装于N主母线上的（如图1-7中的TA02），但此时漏电电流 $I_{\Delta n}$ 不好整定，因为正常的三相不平衡电流不好确定。

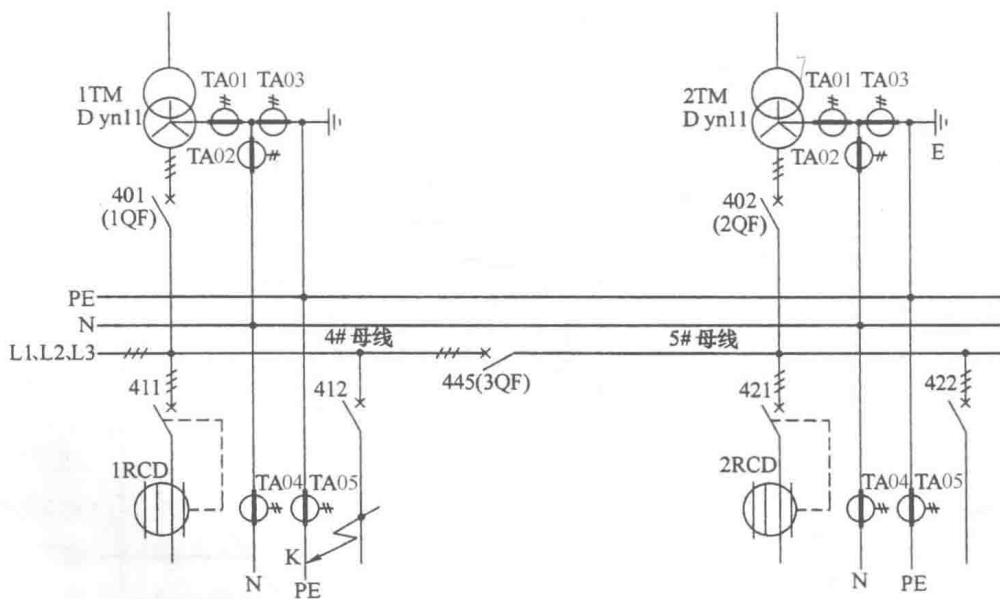


图 1-7 TN—S 系统的应用

3. TN—S 系统的保护

IT、TT、TN—C、TN—S、TN—C—S 供电系统的速断保护（短路保护）、过电流保护（过载保护）基本都是一样的，一般都是由断路器内所装的电磁脱扣器、热脱扣器来完成

的。所不一样的是接地故障保护不同,而接地故障又是 380V/220V 供电系统的用电设备与人接触机会最多,将直接影响人身生命安全和设备安全,所以,这部分安全是不容忽视的。

(1) TN—S 供配电系统中,能够最大发挥 TN—S 系统的特点的,是在 PE 主母线上装设零序电流互感器作为主电源开关的漏电保护装置,在小容量的馈电线路装设漏电开关,也只有这样,TN—S 系统才能发挥最大作用。但目前有些供配电系统中,采用的是 TN—S 系统,既不装零序电流保护,也不装漏电保护装置,这在接地故障保护方面几乎和 TN—C 系统没什么两样了。

当其中有一相对设备外壳发生单相接地时,则在故障相和 PE 线之间形成一个较大的短路电流,促使电源开关的速断或过电流保护装置动作,使开关跳闸,达到接地故障保护的目。

但是,无论 TN—C 系统,还是 TN—S 系统,单相接地故障保护如采取不装零序电流保护和 RCD 的保护形式,则接地故障保护特性应符合下式要求:

$$Z_s I_a \leq U_0$$

式中 Z_s ——接地故障回路的阻抗 (Ω);

I_a ——保证保护电器在规定的时间内,切断故障回路的电流 (A);

U_0 ——相线对地标称电压 (V)。

《低压配电设计规范》中规定:当过电流保护能满足切断故障回路的时间要求时,即配电线路或仅供给固定式电气设备用电的末端线路不宜大于 5s;供电给手握式和移动式电气设备的末端线路或插座回路不应大于 0.4s 时,宜采用过电流保护兼作接地故障保护。

根据上述情况,接地故障保护,采用短延时过电流脱扣器的断路器作保护比较适宜。

如把 TN—S 系统接成图 1-5 的接线形式,使 PE 主母线通过扁钢去连接变压器中性点,则扁钢较铜母排电阻大得多,发生接地故障时,呈现高的阻抗,使设备外壳呈现危险的电压,而断路器又不易跳闸。

为了保证接地故障时故障回路的阻抗值不致过大,设计变电站内供电主母线时,应考虑 PE 主母线截面积不应过小。根据 JGJ/T 16—2008《民用建筑电气设计规范》规定:在三相四线或二相三线的配电线路中,当用电负荷大部分为单相用电设备时,其 N 线或 PE 线的截面积不宜小于相线截面积;以气体放电灯为主要负荷的回路中,N 线截面积不应小于相线截面积;采用晶闸管调光的三相四线或二相三线配电线路,其 N 线或 PE 线的截面积不应小于相线截面积的 2 倍。

接地干线的截流量不应小于相线载流量的 50%。

大容量晶闸管设备,照明负荷容量大的供电系统的电力变压器,宜采用 D yn11 联结,因较之采用 Y yn0 联结的变压器,具有零序阻抗小、更有利于低压侧单相接地故障的切除和抑制高次谐波电流等优点。

(2) 关于零序保护和 RCD 图 1-7 中 TA01 零序电流互感器装于 PE 主母线上。当 L1、L2、L3 某一相对地时,TA01 将流过故障电流,则 TA01 保护装置动作,但是正常运行时,TA01 又流过了中性线 N 电流。当三相不平衡时,将使 TA01 误动作,因此,整定值不好确定。

TA02 装于 N 主母线上。TA02 的零序继电器的保护动作值应躲开正常的三相不平衡电流,但动作灵敏度低。TA02 和 TA01 一样,两台以上变压器的供配电系统,在母联开关 445

断开情况下, 两台变压器独立运行时, 如 445 是三极开关, 没有断 N, 如一台 TA01 或 TA02, 因接地故障动作时, 则将使没有故障的一台变压器的 TA01 或 TA02 的保护装置误动作。

所以, TA01、TA02、TA03 的安装方式必须和 4 极开关配合使用, 才不致于使另一台变压器的 TA01 或 TA02、TA03 误动作。

TA03 装于 PE 主母线上, TA03 保护装置动作灵敏度和 TA01 一样。

4. 结束语

(1) 为了充分发挥 TN—S 系统的特点, 设计时, 应充分考虑系统的供电情况和负荷性质, 选择不同的接地故障保护形式。

(2) 在 TN—S 系统中, 接地故障的理想保护必须是零序保护、RCD、4 极开关配合使用。

(3) 为了确保供电可靠, 图 1-7 中的 TA01、TA02、TA03 只能作接地故障的后备保护, 主保护应依靠各馈电回路的 RCD 或零序保护装置。

(4) 接地故障的后备保护, 应采用 TA03 的接线位置。

(5) 在没有等电位联结措施的情况下, 无论是采用 TN—S, 还是 TN—S 加零序保护、加 RCD 都不可能完全排除安全隐患。

(6) 在 TN—C—S 系统, 漏电开关下端负荷端的 N 线上不要做重复接地。

(二) TN—C 系统

TN—C 系统, 即通常所说的三相四线制保护接零接地系统, 如图 1-8 所示。

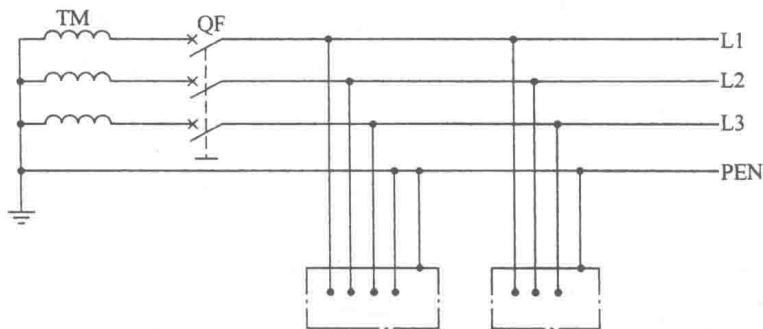


图 1-8 TN—C 系统

在 TN—C 系统中, 保护接地线 PE 与中性线 N 合并为 PE 线, 具有简单、经济的优点。当发生接地短路故障时, 故障电流大, 可采用一般过电流继电器切断电源, 保证设备、线路安全。但对于单相负荷或三相不平衡负荷以及有谐波电流负荷的线路中, PEN 线有电流流过, 所产生的压降呈现在电气设备的金属外壳和线路的金属套管上, 对敏感的电子设备有干扰。另外, PEN 线上的微弱电流在爆炸危险环境中也可能引起爆炸。因此, 我国《爆炸和火灾危险环境电力设计规范》中明确规定: 在爆炸危险环境中, 不能采用 TN—C 系统。同时, 由于 PEN 线在同一建筑物内往往相互有电气连接, 因此, 当 PEN 线断线或相线直接与大地短路时, 都将呈现相当高的对地故障电压, 这时, 可能扩大事故范围。

如果采用 TN—C 系统, 应做到供电变压器二次绕组中性点必须直接接地, 接地电阻不应大于 4Ω ; 并按规定将零线做重复接地; 在 TN—C 系统中, 不允许其中任一设备再单独采用保护接地; 零线上不得装设开关或断路器; 零线的截面积选择, 除考虑机械强度外, 还必

须保证在发生短路故障时，短路电流能达到使保护电器动作的水平。

(三) TN—C—S 系统

TN—C—S 系统如图 1-9 所示。此系统为三相四线制和三相五线制的混用。从供电变压器二次侧送出为三相四线制，PEN 线自 A 点起（A 点一般为供电单位总配电柜的电源进线处），分为中性线 N 和保护地线 PE。N 线和 PE 线分开以后，N 线不可以再次直接接地，也绝对不可以将 N 线与 PE 线直接连接，否则会造成漏电保护装置错误动作。为了防止 PE 线与 N 线混淆，应按国家标准 GB 7947—2010 的规定，PE 线是涂以黄绿相间的色标或黄绿相间的绝缘导线，N 线是涂以浅蓝色色标或浅蓝色的绝缘导线。可见，该系统是由 TN—C 系统到 TN—S 系统的一种过渡系统。

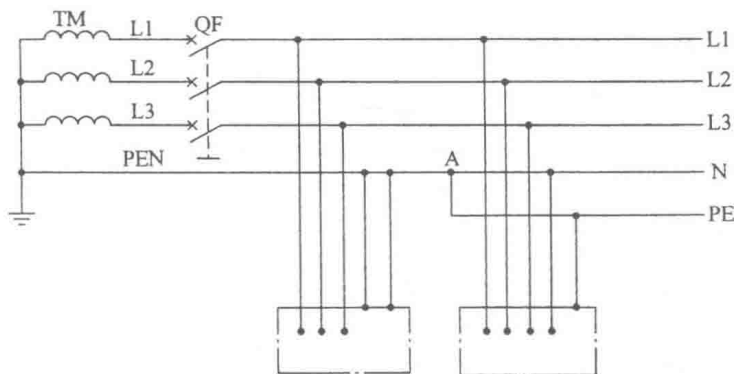


图 1-9 TN—C—S 系统

TN—C—S 是一个广泛采用的供配电系统。在工矿企业中，对电位敏感的电气设备往往设置在线路的末端，而线路前端，大多为固定设备，因此，到了末端改为 TN—S 系统十分有利。

但应注意：TN—C—S 系统的前端不能装有漏电开关，否则漏电开关将误动作。如有漏电开关，PE 线应从漏电开关主触头上端的 PEN 线上取出。在民用建筑中，电源线路采用 TN—C 系统，进入建筑物内，改为 TN—S 系统。这种系统，线路结构简单，又能保证一定的安全水平。在电源侧的 PEN 线上，难免有一定电压降，但对工矿企业的固定设备及作为民用建筑的电源线都没有影响，PEN 分开后，即有了专用保护地线，可以确保 TN—S 系统所具有的优点。

(四) TT 系统

TT 系统（即三相四线制保护接地系统）如图 1-10 所示，TT 系统在供电变压器端必须有一个直接接地点，例如 380V/220V 供配电系统的接地点，一般是供配电变压器二次绕组中性点或发电机的中性点。用电设备端，电气装置内部正常运行情况下不带电的外露可导电部分，和电气设备外部正常运行情况下不带电的可导电部分（即电气设备的金属外壳），也必须接地。

在 TT 供配电系统中，共用同一保护装置保护的所有外露可导电部分，必须用保护线与这些部分共用的接地极相互连接。

TT 系统防止间接电击的具体措施是：当发生单相短路故障时，保证电气设备的外露可导电部分的接触电压不超过安全电压值（即接触电压 $\leq 50V$ ），而且保护设备在适当时间内自动切断电源，确保电气安全。

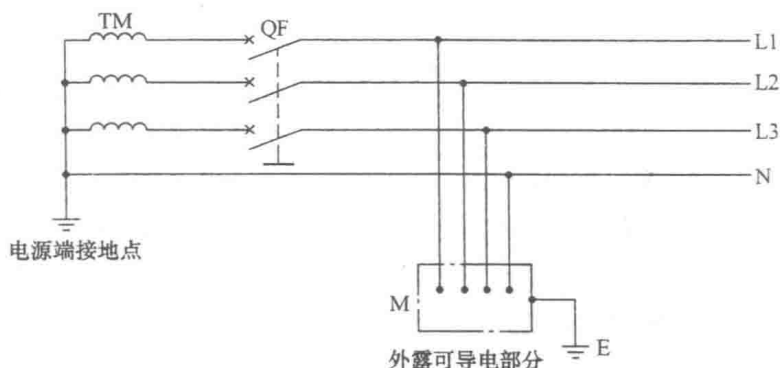


图 1-10 TT 系统

TM—配电变压器 QF—断路器 E—接地线 M—用电设备

在 TT 系统内，电气设备的金属外壳用单独的接地体接地。PE 线也各自独立，不会发生故障时对地故障的蔓延问题。但中性线 N 断裂后，引起相电压的升高等问题和 TN 系统一样，需要采取适当措施。

TT 系统中，当出现对地短路故障时，由于受到电源侧接地电阻和电气设备侧接地电阻的限制，短路电流一般不大，故可减少接地短路时产生的危险性。在大多数情况下，接地故障电流不足以使一般过电流保护设备切断电源。TT 系统特别适用于容量较小分散式供电的电气负荷，例如，对分散式居民平房住宅供电等。此种供电方式必须采用漏电断路器，利用接地故障时的泄漏电流，使漏电断路器动作，切断供电电源以确保人身安全。

（五）IT 系统

IT 系统（即三相三线制中性点不接地系统）如图 1-11 所示。其供配电变压器的中性点不接地或通过 R 接地。用电设备端电气装置内，正常运行情况下，不带电的外露可导电部分和电气设备外，不带电的可导电部分（即设备金属外壳）可直接接地。

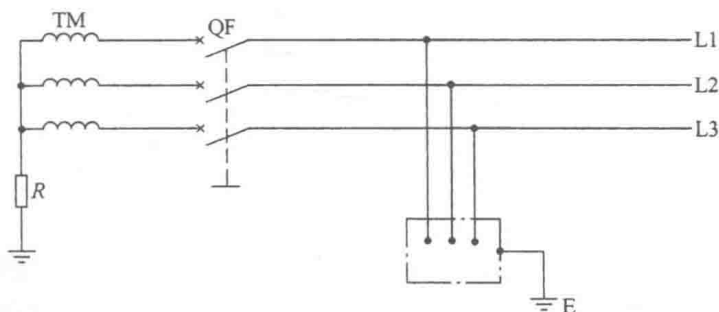


图 1-11 IT 系统

IT 系统防止间接电击的具体措施是：当发生第一次单相接地故障时，保证电气设备的外露可导电部分上的接触电压不应超过安全电压 50V。此时的电力系统仍可继续运行，但应发出声光信号，告知变电所值班人员及时消除故障，以免发生第二次接地故障，否则，将造成电力系统的相间短路。如第一次单相接地故障尚未消除，又发生第二次短路故障时，必须根据不同的接线方式，采用类似 TN 或 TT 系统的防止间接电击的措施，以确保人身和财产安全。