



配电网概述

第一节 配电网基本知识

一、配电网的定义及作用

完整的电力系统由发电、输电网、配电网和用电四部分组成。由此可见，配电网是电力网中的重要组成部分，是输电网或发电厂与用户之间不可缺少的重要环节，是保证电力系统整体供电质量的关键部分。按其功能来定义，配电网（power distribution network）是指从输电网或地区发电厂接受电能，通过配电设施就地分配或按电压逐级分配给各类用户的电力网。其主要作用是将电能从输电网或发电厂配送到电力用户处。

输电网与配电网划分如图 1-1 所示。

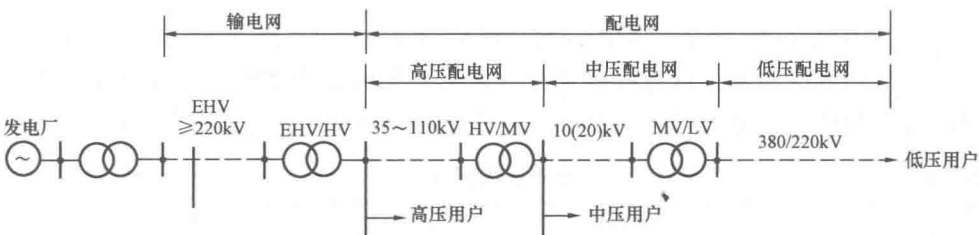


图 1-1 输电网与配电网划分示意图

输电网与配电网之间的分界点是超高压/高压（EHV/HV）变电站的低压侧母线，而配电网与用户的分界点是用户进线处（产权分界点）。发电厂发出的电力由输电网送到超高压/高压（EHV/HV）变电站，超高压变电站给高压配电网供电；连接在高压配电网的高压/中压（HV/MV）变电站分别向中压配电网供电。大用户（企业）可由高压配电网或中压配电网直接供电，大量的居民、商业等普通用户连接到低压配电网，并由连接在中压配电网上的中压/低压（MV/LV）配电所供电。

结合我国电力系统，输电网及各级配电网的电压等级的划分一般如下：输电网的电压等级，220~500kV 及以上；高压配电网的电压等级，35~110kV；中压配电网的电压等级，10~20kV；低压配电网的电压等级，0.4kV。

我国各级配电网在电力系统中的作用如表 1-1 所示。

从表 1-1 中可以看出，配电网承载着向 100% 的用户供电的任务，其中高中压配电网用户数占 30%，低压配电网用户数占 70%；但从用电量的角度来看，高中压配电网用户的用电量占总用电量的 80%，而低压配电网用户的用电量仅占 20%。因此，我国低压配电网的作用在电力系统中还未得到充分发挥。

表 1-1 各级配电网在电力系统中的作用

电压等级	电网类别	用户数比例 (%)	用电量比例 (%)	变电容量比例 (%)
220kV 及以上	超高压输电网			30
35~110kV	高压配电网	10	30	40
10~20kV	中压配电网	20	50	30
0.4kV	低压配电网	70	20	

二、配电网的分类

根据 GB 50613《城市配电网规划设计规范》，电压等级为 35、66、110kV 的电力网为高压配电网，电压等级为 10kV 和 20kV 的电力网为中压配电网，电压等级为 380/220V 的电力网为低压配电网。220kV 及以上的电力网为输电网。但是，随着城市供电容量及供电范围的不断扩大，一些特大城市，如北京、上海等地，目前已将 220kV 的电压引入市区进行配电。而与此同时，却仍然存在着 35、110、220kV 电压的输电网，因此，配电网一般很难简单地从电压等级上与输电网划分或定义，而主要是以其功能和作用来定义和区分。

配电网按供电区域的特点及功能划分，可分为 A+、A、B、C、D、E 类供电区域配电网。供电区域划分主要依据行政级别或规划水平年的负荷密度，也可参考经济发达程度、用户重要程度、用电水平、GDP 等因素确定，其划分标准如表 1-2 所示。

表 1-2 供电区域划分表

供电区域		A+	A	B	C	D	E
行政级别	直辖市	市中心区 或 $\sigma \geq 30$	市区 或 $15 \leq \sigma < 30$	市区 或 $6 \leq \sigma < 15$	城镇 或 $1 \leq \sigma < 6$	农村 或 $0.1 \leq \sigma < 1$	—
	省会城市、 计划单列市	$\sigma \geq 30$	市中心区 或 $15 \leq \sigma < 30$	市区 或 $6 \leq \sigma < 15$	城镇 或 $1 \leq \sigma < 6$	农村 或 $0.1 \leq \sigma < 1$	—
	地级市 (自治州、盟)	—	$\sigma \geq 15$	市中心区 或 $6 \leq \sigma < 15$	市区、城镇 或 $1 \leq \sigma < 6$	农村 或 $0.1 \leq \sigma < 1$	农牧区
	县 (县级市、旗)	—	—	$\sigma \geq 6$	城镇 或 $1 \leq \sigma < 6$	农村 或 $0.1 \leq \sigma < 1$	农牧区

- 注 1. σ 为供电区域的负荷密度 (MW/km²)。
2. 供电区域面积一般不小于 5km²。
3. 计算负荷密度时，应扣除 110(66) kV 专线负荷，以及高山、戈壁、荒漠、水域、森林等无效供电面积。

在日常工作中，也常将配电网粗略分为城市配电网、农村配电网、工厂配电网等。

配电网根据配电线路类型划分，可分为架空配电网与电缆配电网。

随着配电网技术的发展，根据配电网的智能化水平，可将配电网分为普通配电网和智能配电网。智能配电网是配电网的发展方向，它使配电网从传统的供方主导、单向供电、

基本依赖人工管理的运营模式向用户参与、潮流双向流动、高度自动化的方向转变,可大大提高配电网的供电质量和运行经济性,改善服务和提高工作效率。

三、配电网二次部分

配电网二次部分也是配电网重要的组成部分,它完成配电网的保护、测量、调节、控制功能。配电网二次部分与配电网一次设备配合,保证配电网安全、可靠、经济地运行,保证供电质量满足电力使用的要求。

配电网二次部分主要包括继电保护与自动控制系统、远程监控与管理信息系统、计量系统等。

1. 继电保护与自动控制系统

继电保护的作用是在配电网出现不正常运行状态时(如非有效接地系统的单相接地故障),发出指示信号通知运行人员,以便及时采取应对措施;在配电网发生故障时发出跳闸信号,快速切除故障元件,减少短路电流对故障设备及配电网的危害。自动控制是指备用电源自投、重合闸、电压无功自动控制、自动低频低压减载等功能,其作用是避免不必要的供电中断,并且保证电力系统的频率、电压合格和稳定运行。在传统的变电站二次部分设计中,各种继电保护装置、自动装置各自独立设置。随着变电站综合自动化技术的发展,现已广泛使用集继电保护、自动控制、测量、通信功能等于一体的微机保护监控装置,使二次回路的设计更为简单、优化,功能也更为完善。

2. 远程监控与管理信息系统

远程监控系统又称远动系统,由安装在现场的远方终端(remote terminal unit, RTU)、通信网络、主站三部分组成。它采集、显示配电网电压、电流、功率、频率等电气量和各种开关状态并下发各种控制、调节命令,供控制中心的值班人员实时监视观察配电网运行状态,及时发现问题并尽快采取相应的处理措施。近年来,随着计算机及通信技术的发展,配电网远程监控系统的面貌发生了根本性的变化,在高级应用功能方面,开发出馈线自动化系统,以 SCADA (supervisory control and data acquisition) 系统为基础,实现中压线路故障点的自动定位、隔离以及非故障区段的恢复供电。在配电管理应用中,以计算机技术为基础的地理信息系统 (geographic information system, GIS) 技术取得迅速发展,实现配电网规划设计、生产管理、用电管理的信息化,逐渐形成更加直观、功能更强的自动绘图 (automated mapping, AM)/设备管理 (facilities management, FM)/地理信息系统 GIS, 简称配电 GIS。配电 GIS 也是为配电网的运行及管理服务的,它与 SCADA 系统、馈线自动化系统、变电站自动化系统集成,构成配电管理系统 (distribution management system, DMS), 实现配电网运行及管理的综合自动化。

3. 计量系统

计量系统是指电能计量、计费系统。近年来,随着电子技术的发展,出现了全电子式多功能电能表,具有分时段计费、失压自动计时等功能。远程计量系统由安装在电能表箱的电能量采集终端、通信通道(如无线电、电力线载波、光纤等)和安装在供电企业电力营销管理部门的电能量管理主站三部分组成,除完成远方读表、自动计费等功能外,还具有数据统计、分析、汇总、报表打印等功能,并可通过通信通道与银行接口,实现电子结算。自动抄表与电能量管理是实现配电自动化的一项重要内容。

四、配电网负荷特性及分类

1. 配电网负荷特性

配电网负荷特性是指配电网负荷的固有性质和变化规律。由于配电网是由众多不同类型的用电负荷综合组成的，故配电网负荷的特性是各类用电负荷性质的总体反映，直接与各类用电负荷的性质及其所占比重有关。研究和掌握配电网负荷特性，有利于掌握地区负荷的增长规律及其对供电质量和安全可靠性的要求，正确选择配电网网络接线，合理配置配电设施的容量和型式，安排合适的供电方式，不断提高配电网经济效益和安全性。

2. 配电网负荷的分类

配电网负荷特性中主要涉及负荷的幅值大小、波动情况、集中程度、季节性变化等，通常以随时间变化的数据来描述，为方便分析，一般以曲线表示，这些数据可通过现场测量得出。由于配电网分布面广，都从现场实测数据不切实际，因此可将负荷归类，通过有选择的典型实测，经统计分析推论计算，得出各种类型的负荷特性数据，再按配电网地区内负荷类型综合成代表该地区的负荷特性。

配电网负荷的类别，可以按用户性质分类，也可按对配电网或其他用户所产生的影响、负荷的重要性等进行分类。

(1) 按用户性质分类。通常以用户所属的国民经济中的门类来分类，可概括分为第一产业农业负荷、第二产业工业负荷、第三产业服务业负荷和生活用电负荷等四大类，同一类型用电负荷有基本相似的负荷特性。

1) 第一产业农业负荷包括农村生活用电、生产与排灌用电和农村工业用电。发达国家的农业经济高度发展，农业用电的构成已与城市用电的构成差别不大。我国的农业用电负荷受气候、季节影响很大，特别是排灌用电，有时会骤增骤减。20 世纪 80 年代以来，我国农村工业发展较快，负荷增长较大，受气候及季节影响的波动性有所减少，在以后一段时期内，农业负荷的增长将继续遵循这一规律。

2) 第二产业工业负荷基本上呈现负荷集中、连续性强的特点。负荷情况与行业性质及用户工作方式有关（特别是不同班制的工厂）。工业用电负荷虽也随外界环境、季节性气温、产品计划等影响，但除少数特种用户外，一般对负荷规律性的影响相对较小，全年负荷比较稳定。发达国家工业负荷占配电网负荷的比重较少（ $1/3$ 或 $1/2$ ）。我国 20 世纪 90 年代末的工业负荷约占配电网负荷的 74%，随着经济的发展和人民生活水平的提高，工业负荷比例将有减少的趋势。

3) 第三产业服务业负荷是指工农业以外的产业，主要是商业、金融、科教文化、交通邮电等服务行业。这类负荷在全年内一般变化不大，但商业和金融负荷受市场经济的影响，有时会有一定的波动。从 20 世纪 80 年代以来的情况看，我国第三产业负荷增长较快，年平均增长率在 25% 以上，是四大类用电中增长最快的，而且仍将保持较快增长的趋势，但其所占比重仅 9% 左右，与发达国家相比差距较大。

4) 生活用电负荷包括城市和乡村居民生活用电。这类负荷受季节性影响极为明显，波动性较大，有时影响到配电网峰值负荷的季节性变化。影响程度取决于这类负荷所占的比重。在发达国家，家用电器应用广泛，特别是空调等对气温敏感的电器，影响更明显。

生活用电在配电网负荷中占比重很大,有的国家可达40%~60%。我国目前所占只有10%左右,但20世纪80年代以来发展很快,年平均增长率在13%左右,仅次于第三产业的增长速度,而且仍将在相当长一段时期以较高速度增长。

(2) 按负荷重要性分类。电力负荷可根据对供电可靠性的要求及中断供电在对人身安全、经济损失上所造成的影响程度进行分类(级),但应符合下列规定:

1) 符合下列情况之一时,应视为一类(级)负荷:①中断供电将造成人身伤害时。②中断供电将在经济上造成重大损失时。③中断供电将影响重要用电单位的正常工作。在一类(级)负荷中,当中断供电将造成人员伤亡或重大设备损坏或发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷,以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷,应视为一类(级)负荷中特别重要的负荷。

2) 符合下列情况之一时,应视为二类(级)负荷:①中断供电将在经济上造成较大损失时;②中断供电将影响较重要用电单位的正常工作。

3) 不属于一类(级)和二类(级)负荷为三类(级)负荷。

3. 负荷特性的主要指标

配电网的负荷特性常以负荷电气量(如电流、视在功率、有功功率、无功功率、功率因数、谐波分量等)随时间变化的规律来反映,可用曲线表示,更常用的是用指标数据来表示特性。

(1) 负荷曲线。负荷曲线是负荷与时间的关系曲线,反映一定时间段负荷随时间变化的特性。按测定点不同可分为全配电网的、某配电所的、某配电馈线的负荷曲线等;按所用时间段不同,可有日、周、月、年等不同的负荷曲线。

(2) 年最大负荷。年最大负荷是指一年中在某一时刻出现的最大负荷,是选择配电网设备容量的重要依据。年用电量与年最大负荷之比称为年最大负荷利用小时数。

(3) 日负荷率。日负荷率是配电网日平均负荷与日最大负荷之比。日负荷率取决于各类负荷的组成和所占比,一般均小于1。当数值接近1时,表示负荷曲线平坦;当数据远小于1时,表明负荷曲线波动很大。

(4) 负荷同时率。由于配电网各级用户或各地区的最大负荷一般不在同一时刻出现,配电网负荷的最大值通常小于各用户或各地区负荷最大值之和,两者的比值为负荷同时率(通常小于1)。同时率的倒数为分散系数。确定同时率是一项复杂的工作,一般通过实测并做统计分析才能得出。同时率越小,设备的配电容量就越小。

(5) 负荷利用系数。负荷利用系数是用户的实际最大负荷功率与用户用电设备额定容量之比,表明用电设备容量的利用程度。

4. 负荷特性的实际应用

配电网负荷特性可作为合理规划配电网、选择供电设备容量、安排电网运行方式等工作的基本依据。例如:

(1) 负荷特性的数据可用于配电网规划的负荷预测。

(2) 有功和无功电流可用于配电网供电设备、无功补偿设备的选择和电压降计算。

(3) 负荷曲线用来估算配电网中设备承载负荷的能力,制订电网改造和发展规划。

(4) 负荷特性的一些数据可用于进行负荷管理,制订调度计划,安排运行方式等工作。

五、配电网的基本要求

1. 尽量满足用户的用电需求

配电网应满足国民经济各部门及人民生活不断增长的用电需求,保障供给是供电企业的重要任务。电力工业的发展速度,应超前于其他部门的发展速度,起到先行作用。应竭力避免由于缺电而使工业企业不能充分发挥其生产能力的情况。

2. 安全可靠的供电

电力生产应坚持安全第一、预防为主、综合治理的方针,这就要求加强电力系统各元件设备的管理,经常进行监测、维护,并定期进行预防性试验和检修,定期更新设备,使设备处于完好的运行状态;要求提高工作人员素质,严格执行各项规章制度,不断提高运行水平,防止事故的发生。配电网发生事故时,应能迅速和妥善处理,防止事故扩大,做到迅速恢复供电。因为,供电中断将使工农业生产停顿,人们生活秩序混乱,甚至危及人身和设备的安全,造成十分严重的后果。突然停电给国民经济造成的损失远远超过电网本身的损失。因此,配电网要确保安全可靠的供电。

电力系统中发生事故是导致供电中断的主要原因,但要杜绝事故的发生是非常困难的,而各种用户对供电可靠性的要求都是不一样的。通常,对一类用电负荷应设置两个或两个以上独立电源,电源间应能自动切换,以便在任一电源发生故障时,使这类用户的供电不致中断;对二类用电负荷也应设置两个独立电源,手动切换可以满足要求,可能造成短时停电;对三类用电负荷一般采用单电源供电,但也不能随意停电。

3. 保证良好的电能质量

为了保证用户用电设备正常工作,除保证供电不间断外,还要使供电电压幅值与波形符合要求。电能质量是指供应到用户端电能的品质,通常指供电电压幅值及其波形的质量。配电网用电设备一般都是按照额定频率(我国规定是50Hz)和额定电压的标准正弦波设计的,并且要求三相电压和电流对称,即各相电压、电流幅值相等,相位相差 120° 。如果供电电压幅值、波形以及三相对称性出现偏差,将影响用电设备的运行性能和效率,缩短用电设备寿命,同时也会影响由这些设备所生产产品的质量和数量,在严重情况下可能造成停工停产、危害人身安全、影响社会秩序等严重后果。电能质量是由一系列指标来量度的。按照我国颁布的电能质量标准,电能质量指标包含电压偏差、频率、电压波动与闪变、谐波、三相不平衡五个方面。研究电能质量问题,要把用户感受到的电能质量不合格,或者说电能质量扰动是否会给用户带来不良影响,作为考虑电能质量问题的重要方面。例如,电压骤降或供电瞬时中断极易使一些高科技用电设备出现异常,引起严重后果,应该重视并予以解决。

4. 满足建设节约型社会的需要

建设节约型社会,实现可持续发展,是党中央、国务院总结现代化建设经验,从我国的国情出发而提出的重大决策。我国政府明确提创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念,就是要在社会生产、建设、流通、消费的各个领域,在经济和社会发展的各个方面,切实保护和合理利用各种资源,提高资源利用效率。这是关系到我国社会经济发展和中华民族兴衰的、具有全局性和战略性的重大决策。

节能、节水、节材、节地和资源综合利用是建设资源节约型社会的重点。在电网建设

的全过程,要树立和落实科学发展观,要建设节约型电网,要按照建设资源节约型社会的要求和思路来思考问题。当前我国的综合线损率为 7.5%,比发达国家高出 1~2 个百分点,相当于每年多损失 200 亿 kWh 以上的电量。据统计,我国的中低压网损占电网整体综合网损的近 50%,只有合理配置中压电网,尤其是中压电压等级,才有可能改变电网网损持续居高不下的局面。提高中压电压等级可以使电网整体综合网损降低 10%~20%,使我国的综合线损率降低约 1~2 个百分点,与目前发达国家综合线损率相当。通过简化电压等级序列、优化电压配置,不仅可以节能降耗,还可以达到减少占用土地资源的目的。

第二节 配电网常用典型电网结构

配电网由高压配电网、中压配电网和低压配电网组成,覆盖城市市区和广大农村。配电网的电网结构是指配送电能(包括电压变换)的各电压等级配电线路、变压器和相应配电装置的连接或接线方式。电网结构通常以电压等级进行分层。配电网正常运行时,要保证电能质量合格、损耗低;在设备检修时,应尽可能不影响对用户正常供电或减少对用户正常供电的影响。配电网任何一个元件退出运行或发生故障导致断路器跳闸时,要仍能保证其他正常设备持续稳定运行和主要用户的正常供电。也就是说,配电网的电网结构必须满足安全可靠、运行灵活性和经济性三项基本要求。

一、高压配电网典型电网结构

高压配电网的功能主要是承接输电网受端网架(即供电网架)和本地电源送入的电力,并分配至中压配电网或高压用户,起到承接、转供及分配电力等功能,支撑整个配电网运行。高压配电网一般由 110、66、35kV 高压配电线路和变电站构成。

高压配电网的电网结构取决于连接电源数量、变电站的变压器数量、地理位置、可靠性等因素,常见的典型电网结构有辐射状、链式和环网三种结构。

(一) 辐射状电网结构

辐射状电网结构是一种最简单的电网结构,线路末端没有其他能够联络的电源,运行调度和控制最为方便。其优点是结构简单、投资少、维护控制方便;缺点是供电可靠性较低。辐射状电网结构进一步又可细分为单辐射电网结构和双辐射电网结构。

1. 单辐射电网结构

单辐射电网结构是指由单电源(常见的是 220kV 变电站)馈线向一个 110kV 变电站(或用户)或多个终端变电站供电的接线,如图 1-2 所示。



图 1-2 单辐射
电网结构

2. 双辐射电网结构

双辐射电网结构是指由同一电源(变电站)不同母线的 2 条馈线向一个及以上终端变电站供电的多“T”接接线,如图 1-3 所示。

(二) 链式电网结构

链式电网结构是辐射状结构的扩展。它与辐射状结构的不同点在于每个变电站的一回或多回主干线都和另一个变电站的一回或多回主干线连通,形成一个两端都有电源、环式

设计、开环运行的主干线，任何一端都可以供给全线负荷。当其中一个变电站停电时，配电线路都可改由另一端电源供电，不影响对用户供电。但变电站的备用容量要适当增加，以承担其他变电站的负荷。

链式电网结构又可细分为单链、双链、三链三种，如图 1-4~图 1-6 所示。

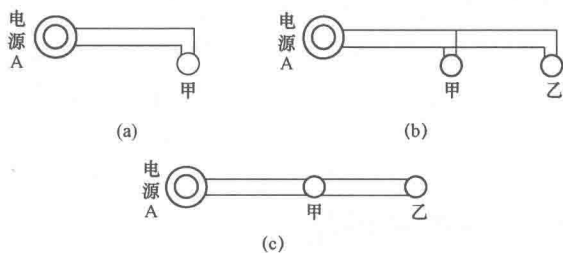


图 1-3 双辐射电网结构

(a) 向一个终端变电站供电；

(b)、(c) 向两个终端变电站供电



图 1-4 单链电网结构

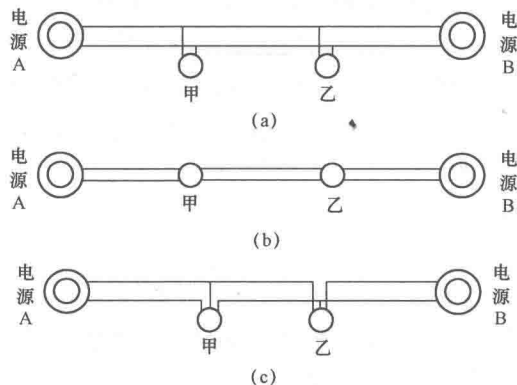


图 1-5 双链电网结构

(a) T 接；(b) π 接；(c) T、 π 混合

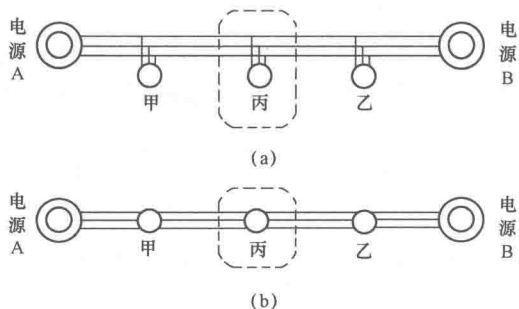


图 1-6 三链电网结构

(a) T 接；(b) π 接

(三) 环网结构

环网结构是将变电站不同的两回配电线路的末端或中部连接起来构成环网。其优点是配电线路检修可分段进行，供电可靠性高；缺点是投资较大。环网结构进一步可分为单环网结构（见图 1-7）、双环网结构（见图 1-8）、不完全双环网结构等。

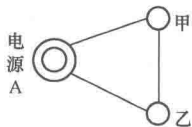


图 1-7 单环网结构

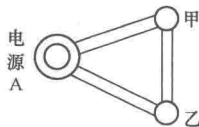


图 1-8 双环网结构

(四) 各类供电区域高压配电网结构选择

高压配电网的各种接线都有其特点和适用性。对不同的供电区域，根据其供电安全水平要求可选择不同的电网结构，但同一地区同一供电区域的配电网络结构应尽量统一。

A+、A、B 类供电区域供电安全水平要求高，其 110~35kV 配电网宜采用链式结

构, 上级电源点不足时可采用双环网结构, 在上级电网较为坚强且 10kV 具有较强的站间转供能力时, 也可采用双辐射结构。该类供电区域的 110~35kV 变电站宜采用双侧电源供电, 条件不具备或电网发展的过渡阶段, 也可同杆架设双电源供电, 但应加强 10kV 配电网的联络。

C 类供电区域供电安全水平要求较高, 其 110~35kV 配电网宜采用链式、环网结构, 也可采用双辐射结构。

D 类供电区域 110~35kV 配电网可采用单辐射结构, 有条件的地区也可采用双辐射或环网结构。

E 类供电区域 110~35kV 电网一般可采用单辐射结构。

同时, 根据电网建设阶段, 供电安全水平要求和实际情况, 发展初期及过渡期可采用过渡电网结构, 通过建设与改造, 逐步实现推荐的目标电网结构。

二、中压配电网典型电网结构

中压配电网主要由中压配电线路和配电设备组成, 向区域内中压大用户或低压配电网分配电力。目前, 我国绝大多数地区的中压配电网的电压等级是 10kV。有些新开发的工业园区, 如苏州新加坡工业园区的中压配电网采用 20kV 供电; 一些大工业企业的中压配电网也有采用 6kV 电压供电的。

根据负荷对可靠性、供电质量和区域环境协调等要求的不同, 中压配电网以电缆线路、绝缘导线或裸导线架空线路组成辐射型接线、环型、多分段适度联络等多种电网结构。

(一) 辐射型接线电网结构

在负荷密度不高、用户分布较分散或供电用户属一般用户的地区, 例如一般的居民区、小型城市近郊、农村地区, 采用单辐射型接线电网结构。它的特点是配电线可根据用户的发展随时扩展, 就近接电, 但存在供电可靠性和电压质量不高的问题, 如图 1-9(a) 所示。对重要用户可采用双辐射型接线电网结构以提高供电可靠性, 如图 1-9(b) 所示。

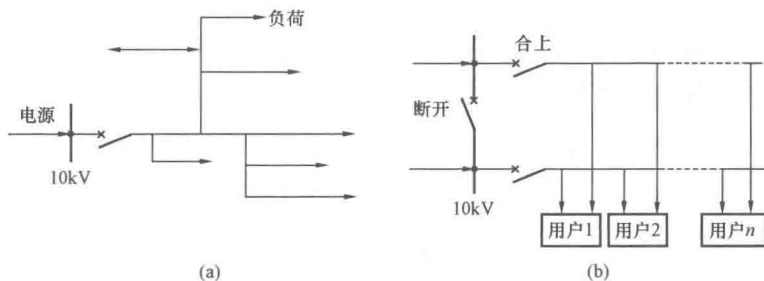


图 1-9 辐射型中压配电网接线电网结构

(a) 单辐射型接线; (b) 双辐射型接线

(二) 环型 (或链式) 接线电网结构

环型 (或链式) 接线可以较好地适应现代城市发展对供电可靠性提出的更高要求。该接线由同一变电站的不同母线或不同变电站的母线馈线连接形成配电环网, 给沿线用户配电, 正常运行时, 选择适当的地点采用断路器或负荷开关开环运行, 且环路中某区段发生

故障时，利用分段隔离装置将故障区段隔离后，其他区段可继续供电，如图 1-10 所示，图中负荷开关 QL 正常运行时处于断开状态。

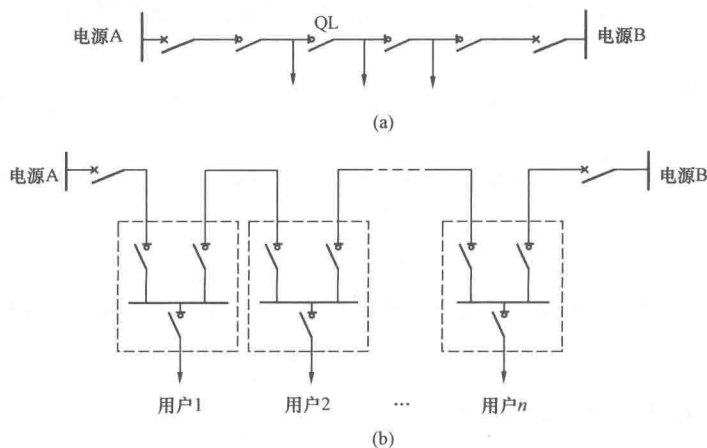


图 1-10 环型（双电源）接线电网结构
(a) 架空线路环网；(b) 电缆线路环网

根据供电需要，以辐射型、环型接线为基础，又发展演化出以下接线：

(1) 大环套小环接线。可将一个居民小区的多台配电变压器接成一个小环型接线，小环的两个电源接入环型中压配电网，形成大环套小环的接线方式，如图 1-11 所示。有的小型工厂将几个车间变电站接成环型接线，形成类似大环套小环的环型中压配电网。

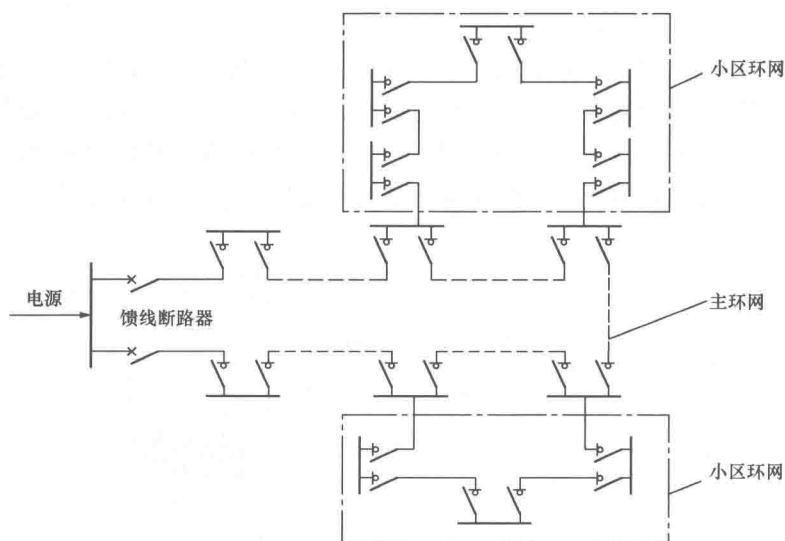


图 1-11 大环套小环接线

(2) 多电源环网接线。对一些要求有双电源或多电源的配电变电站或用户配电站，可采用如图 1-12 所示的多电源环网接线，也可叫双环式电网结构。图中备用电源柜的负荷开关正常运行时为断开状态。

在配电网建设中，辐射状接线的中压配电网具有随时可以自由扩展、用户能就近接电

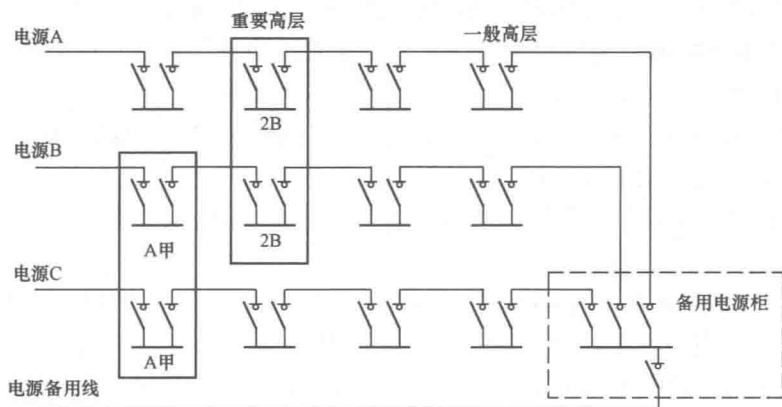


图 1-12 多电源环网接线

的优点，但从配电网的长远发展出发，辐射状接线中压配电网也还需要对每个馈线的供电区域和供电最终容量有事先的规划，以利于在负荷发展后对配电网的进行改进。环型中压配电网是逐步形成的，应结合地方建设规划事先做好线路走向规划，先形成主干线路，然后根据用户接电需要开断环入，最后形成完整的环网。

（三）多分段适度联络电网结构

多分段适度联络电网结构如图 1-13 所示。

中压配电网应创造条件，满足“N-1”准则。辐射形线路也应根据规划设立互连点、分段点，一般将一条馈线分割为几个分段并与不同电源连接，一般不超过五段，并装设分段开关，重要的分支线路首端也可安装分段开关，例如形成三分段三连接。过多的分段和连接，线路负荷率增加不多，反而会增加调度操作复杂性。

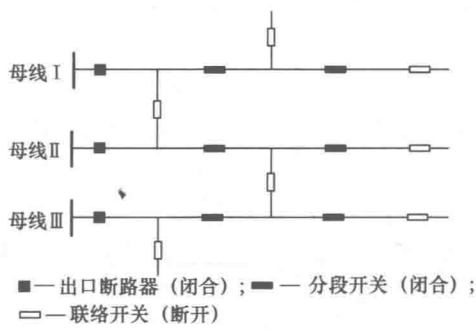


图 1-13 多分段适度联络电网结构

（四）各类供电区域中压配电网结构推荐

中压配电网一般采用分区域供电的方式，依据变电站位置、负荷密度和运行管理的需要，划分为若干个相对独立的供电区域。每个供电区域应有大致明确的供电范围，正常运行时一般不交叉、不重叠，供电区域的供电范围应随新增加的变电站及负荷的增长而进行相应调整。对供电可靠性要求较高的供电区域，应加强中压干线之间的联络，构建负荷转移的通道。

依据各类供电区域供电安全水平要求和实际情况，各类中压配电网供电区域的电网结构推荐选择方式如下：

A+类供电区域负荷密度高、上级电源点较多，且供电安全水平要求很高，10kV 配电网应采用坚强的网架结构（如双环式、多分段适度联络等）。双环式结构的配电变压器接入方式既可采用两个单切开关，也可采用一个双切开关（简称“三双”），以满足双环之间的负荷切换。

A 类供电区域负荷密度高、上级电源点较多，且供电安全水平要求高，10kV 配电网

应采用坚强的网架结构（如双环式、单环式、多分段适度联络等）。

B、C类供电区域因负荷较为集中，供电安全水平要求较高，10kV 配电网应采用较强的网架结构（如多分段适度联络、单环式等）。

D类供电区域因负荷分散、供电距离较远、上级电源点少，10kV 配电网可根据实际情况采用多分段适度联络、辐射状结构。

E类供电区域因负荷极度分散、供电距离远、上级电源点少，10kV 配电网一般可采用辐射状结构。

10kV 电缆线路一般采用环网结构，环网单元通过环进环出方式接入主干网。对于部分地区的电缆网，可根据实际需要采用多分支多联络、 n 供一备（ $n \geq 2$ ）等接线方式。

中压配电网除上述典型电网结构外，还存在双射式、对射式等过渡结构。各类供电区域内的电网可根据电网建设阶段、供电安全水平要求和实际情况，通过建设与改造，分阶段逐步实现推荐采用的电网结构。

三、低压配电网典型接线

1. 开式低压配电网

开式低压配电网由单侧电源采用放射式、干线式或链式供电，它的优点是投资小、接线简单、安装维护方便，但缺点是电能损耗大、电压低、供电可靠性差以及负荷发展较困难。

（1）放射式低压配电网。由变压器低压侧引出多条独立线路供给各个独立的用电设备或集中负荷群的接线方式，称为放射式接线，如图 1-14 所示。

（2）干线式低压配电网。

1) 干线式低压配电网，如图 1-15(a) 所示。这种电网不必在变电站低压侧设置低压配电装置，直接从低压引出线经低压断路器和负荷开关引接，可减少电气设备的需求量。

2) 变压器-干线配电网，如图 1-15(b) 所示，主干线由变电站引出，沿线敷设，再由主干线引出干线对用电设备供电。这种接线方式比一般干线配电网所需配电设备少，配电站结构简化，投资更低。

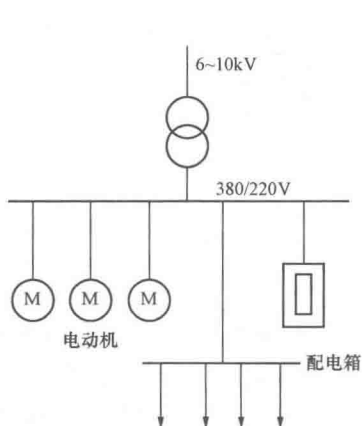


图 1-14 放射式低压配电网

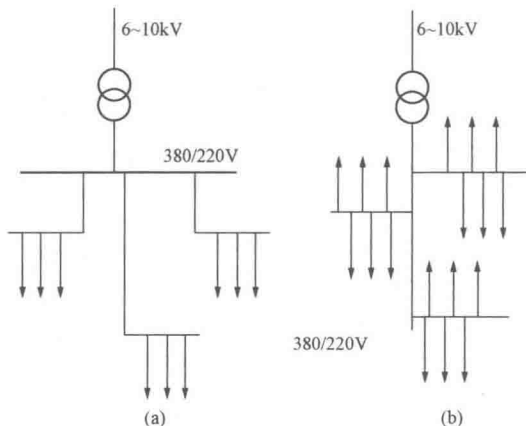


图 1-15 干线式低压配电网

(a) 一般干线式低压配电网；(b) 变压器-干线配电网

(3) 链式低压配电网。链式低压配电网如图 1-16 所示。其特点与干线式基本相同,适用于彼此相距很近、容量较小的用电设备,链式相接的设备一般不宜超过 5 台,链式相连的配电箱不宜超过 3 台,且容量不宜超过 10kW。

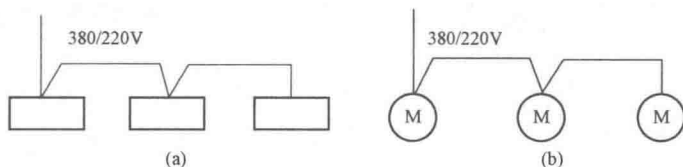


图 1-16 链式低压配电网

(a) 连接配电箱; (b) 连接电动机

2. 闭式低压配电网

简单闭式接线网络有三角形、星形、多边形及其他混合形等几种,如图 1-17 所示。其主要特点是:高压侧由多回路供电,电源可靠性高;充分利用线路和变压器的容量,不必留出很大备用容量;在联络干线端和干线中部都装有熔断器。

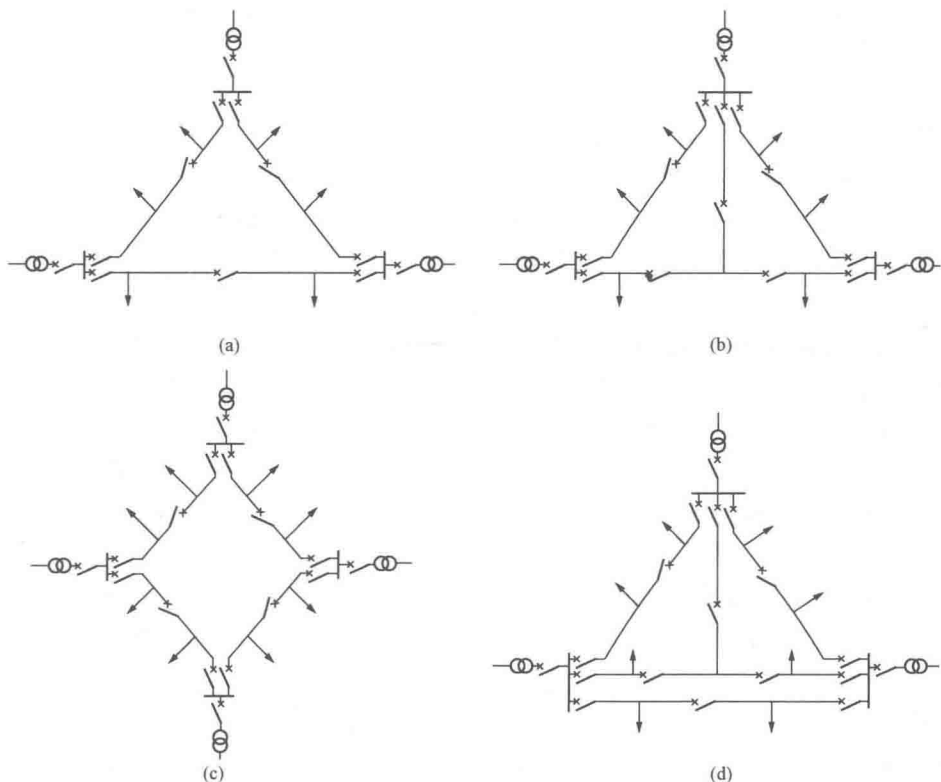


图 1-17 简单闭式接线网络

(a) 三角形; (b) 星形; (c) 多边形; (d) 混合形

对简单闭式接线的特殊要求:①各对应边的阻抗应尽可能相等,以保证熔断器能选择性断开;②连接在一起的变压器容量比,不宜大于 1:2;③短路电压比不宜大于 10%;④从不同的电源引出,须注意相位和相序的关系。

380/220V 配电网应采用分区供电的原则,配电网结构应简单、安全可靠,一般采用辐射式结构,线路应有明确的供电范围,其设备选用应标准化、序列化。

第三节 配电系统中性点接地方式及保护接地方式

电力系统中性点是指星形接线的变压器或发电机的中性点。电力系统中性点与大地间电气连接的方式,称为电力系统中性点接地方式,又称为中性点运行方式。电网中性点接地方式与电网的电压等级、单相接地故障电流、过电压水平以及保护装置等有密切关系。不同的中性点接地方式,对电网的绝缘水平、电网供电的可靠性、连续性和运行的安全性、过电压保护的选择、继电保护方式、电网对通信线路及无线电的干扰等会产生不同的影响。针对一个具体的配电系统,选择何种接地方式,要综合考虑多种因素,进行安全、技术及经济比较后确定。

一、配电系统中性点接地方式

配电系统中性点接地方式可分为中性点有效接地和中性点非有效接地两大类。

(一) 中性点有效接地方式

中性点有效接地方式分为中性点直接接地和中性点经小电阻接地两种接地方式。配电系统中性点采用有效接地方式时,单相接地故障的故障电流比较大,因此习惯上将其称为大电流接地方式。

1. 中性点直接接地

中性点直接接地是指配电网中全部或部分变压器中性点没有人为阻抗加入,直接与大地(地网)充分连接。通常该系统的零序电抗与正序电抗的比值 $X_0/X_1 \leq 3$, 零序电阻与正序电抗的比值 $R_0/X_1 \leq 1$ 。中性点直接接地是有效接地之一。

中性点直接接地的配电系统中出现单相接地故障时,短路电流超过三相短路电流的 50%。短路电流会对电气设备造成危害,并干扰邻近的通信线路,可能使电信设备的接地部分产生高电位,以致引发事故。此外,故障点附近容易产生接触电压和跨步电压,可能对人身造成伤害。为避免这些危害,继电保护装置应在发生单相接地故障时立即动作,使断路器跳闸,切除故障线路。

中性点直接接地方式的优点是系统的过电压水平和变配电设备所需的绝缘水平较低,系统的动态电压升高不会超过系统额定电压的 80%,在高压和超高压电网,经济效益显著。其缺点是发生单相接地故障会引起断路器跳闸,降低供电连续性。实际上电网的绝大部分故障是单相接地故障,其中瞬时性故障又占有很大比例,这些故障都会引起供电中断,影响供电可靠性。此外,单相接地电流有时会超过三相短路电流,影响断路器遮断能力的选择,并存在对通信线路产生干扰的危险。

2. 中性点经小电阻接地方式

中性点经小电阻接地方式的中性点与大地之间连接一个电阻,电阻的大小应使流经变压器绕组的故障电流不超过每个绕组的额定值。经小电阻接地的配电系统发生单相接地故障时,非故障相电压可能达到正常值的 $\sqrt{3}$ 倍,这对配电系统设备绝缘不会造成危害。

在 6~35kV 电压等级主要由电缆线路构成的配电系统,单相接地故障电容电流较大

时,可采用低电阻接地方式,电阻阻值一般在 $10\sim 20\Omega$,单相接地故障电流为 $100\sim 1000\text{A}$ 。

中性点经小电阻接地时,接地电流大($100\sim 1000\text{A}$)故障定位容易,可快速切除故障;过电压水平低,可采用绝缘水平较低的电缆和设备。缺点是故障接地电流有 $100\sim 1000\text{A}$,地电位升高比中性点不接地、消弧线圈接地、大电阻接地系统等更高。故障电流仍然较大,同样必须立即切断故障线路,会造成供电中断,供电可靠性降低;选用时需考虑供电可靠性要求和故障时瞬态电压、瞬态电流对电气设备的影响、对通信的影响和对继电保护的技术要求。

该接地方式适用于以电缆线路为主,不容易发生瞬时性单相接地故障且系统电容电流比较大的城市配电网、发电厂厂用电系统及工矿企业配电系统。

(二) 中性点非有效接地方式

中性点非有效接地方式(非直接接地)包括中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点经大电阻接地三种接地方式。这三种接地方式下发生单相接地故障时,流过故障点的电流很小,因此,又称为小电流接地方式。下面介绍现场常用的中性点不接地和经消弧线圈接地两种接地方式。

1. 中性点不接地方式

配电网中性点不接地系统是指中性点没有人造与大地连接(经电位指示装置或量测装置或其他高阻接地除外),实际上它是通过配电网对地电容而接地。

在该系统中,由于中性点对地绝缘,故障点接地电流主要取决于整个系统对地分布电容。在以架空线为主的配电网中,接地电流一般为数安到数十安;在以电缆线路为主的配电网中,接地电流可达到数百安。

中性点不接地系统的优点是单相接地故障电流较小,对电力设备、通信和人身造成的危害较小。同时,虽然三相对地电压发生变化,但三相之间的线电压基本保持不变,不影响对负荷的供电,故障点的电弧可以自熄灭,熄弧后绝缘可以自行恢复,能自动清除单相接地故障而无需线路断开。因此,允许采用中性点不接地的配电网在单相接地的情况下继续运行一段时间,运行人员可以在这段时间内采取措施加以处理,增加了供电可靠性。

配电系统中许多单相接地故障,如雷电过电压引起的绝缘瞬间闪络、大风引起的碰线等是瞬时性接地故障。如果接地电容电流不大,电弧会迅速自行熄灭,配电网即可恢复正常运行。

中性点不接地系统的缺点是发生单相接地故障时,接地电流比较大(30A 以上)时,一般会形成稳定电弧,造成持续性电弧接地,可能烧坏设备并引起相间短路。如果接地电流有一定幅值(大于 5A),但不足以形成稳定电弧,将会出现间歇性电弧,随着工频电压的变化,呈现灭弧与重燃交替出现的状态。这时,由于非故障相电容积累的自由电荷不断增多,位移电压逐步升高,将出现较严重的过电压现象,称为弧光接地过电压,这种过电压会造成电气设备的绝缘损坏或开关柜绝缘子闪络、电缆绝缘击穿,因此对系统绝缘水平要求高。实测数据表明,弧光接地过电压可能达到 3.2 倍相电压,但绝大部分小于 3.0 倍相电压,这个数值对电气设备的正常电气绝缘来说应能承受,但当存在绝缘薄弱环节时,可能发生击穿,从而发生两相两点甚至多点接地故障,造成线路跳闸停电。

2. 经消弧线圈接地方式

配电网中性点经消弧线圈接地是指配电网一个或多个中性点经消弧线圈与大地连接。该接地方式中，消弧线圈的稳态工频感性电流对电网稳态工频容性电流调谐，因此又称谐振接地。通过选择适当容量的消弧线圈，可获得最小的接地故障残流，使接地故障可能自行清除，中性点经消弧线圈接地系统具有中性点不接系统的优点，同样也具有中性点不接地系统的缺点，但因消弧线圈可降低单相接地故障的建弧率，其出现最大幅值弧光过电压概率更小些。

在 3~66kV 配电系统中，当单相接地电流超过允许值时，广泛采用中性点经消弧线圈接地方式。消弧线圈是一个带铁芯的电抗器，变压器中性点经消弧线圈接地后，当发生单相接地故障时，可形成一个与接地电容电流大小接近相等、方向相反的感性电流相互补偿，使流经接地处的电流接近零，从而消除接地处的电弧以及由它产生的危害。

消弧线圈补偿分为全补偿方式、欠补偿方式、过补偿方式三种状态，一般运行在过补偿状态。中性点经消弧线圈接地系统，与中性点不接地系统一样，同属于小电流接地系统，在发生单相断线接地故障时，线路能继续运行。但单相接地点如发生在人口密集的商业区将会发生严重的群伤事故风险，应绝对避免。

(三) 各种中性点运行方式的适用范围

(1) 110kV 高压配电网应采用有效接地方式，即主变压器中性点直接接地方式（中性点经隔离开关接地）正常运行时，部分变压器中性点直接接地，部分变压器中性点不接地。

(2) 66kV 高压配电网应采用中性点非有效接地系统。当单相接地电流不超过 10A 时，应采用不接地方式；当超过 10A 时，宜采用经消弧线圈接地方式。

(3) 35kV 高压配电网，当单相接地电容电流不超过 10A 时，应采用不接地方式；当单相接地电容电流超过 10A、小于 100A 时，宜采用经消弧线圈接地方式，接地电流宜控制在 10A 以内；当接地电容电流超过 100A 或为全电缆网时，采用低电阻接地方式，即中性点有效接地系统。低电阻接地方式的接地电阻宜按单相接地电流 1000~2000A、接地故障瞬时跳闸方式选择。

(4) 10kV 和 20kV 中压配电网，一般也存在两类接地方式。

1) 采用中性点非有效接地系统。当单相接地电流不超过 10A 时，应采用不接地方式；单相接地电流超过 10A，小于 100~150A 时，宜采用经消弧线圈接地方式，接地电流宜控制在 10A 以内。

2) 采用有效接地系统。当 10kV 和 20kV 配电网单相接地电流超过 100A 时，或对于全电缆网，宜采用低电阻接地系统（低电阻接地属于有效接地系统）。低电阻接地系统的接地电阻宜按接地电流 200~1000A、接地故障瞬时跳闸方式选择。

(5) 220/380V 低压配电网应采用中性点有效接地方式。

二、低压配电网保护接地方式

(一) 低压接地型式的表示方法

根据 GB 9082.2《有管芯热管》和 DL/T 499《农村低压电力技术规程》规定，低压配电系统接地型式分为 TN（TN-C、TN-S、TN-C-S）、TT 及 IT 三类，其含义是：

(1) 第一个字母表示电力系统的电源端对地关系：

T——电源的一点（通常是中性点）与大地直接连接；

I——电源与大地隔离或电源的一点经高阻抗与大地直接连接。

(2) 第二个字母表示电气装置外露可导电部分（设备金属外壳、金属底座等）的对地关系：

T——电气装置的外露导电部分直接接大地，此接地点在电气上独立于电源端的接地点。

N——电气装置的外露导电部分通过与接地的电源中性点的连接而接地。

(3) 横线后的字母用来表示中性导体与保护导体的组合情况：

S——中性导体和保护导体是分开的；

C——中性导体和保护导体是合一的。

(二) TN 系统

TN 系统的电源端中性点直接接地，用电设备金属外壳用保护零线与该中性点连接，这种方式简称保护接零或接零制。按照中性线 N（工作零线）与保护线（保护零线）PE 的组合情况，TN 系统又分以下三种形式：

1. TN-C 系统

在该系统中，工作零线 N 和保护零线 PE 共用（简称 PEN），如图 1-18 所示。此系统习惯称为三相四线制系统。

2. TN-S 系统

在该系统中，工作零线 N 和保护零线 PE 从电源端中性点开始完全分开，示意图如图 1-19 所示。此系统习惯称为三相五线制系统。

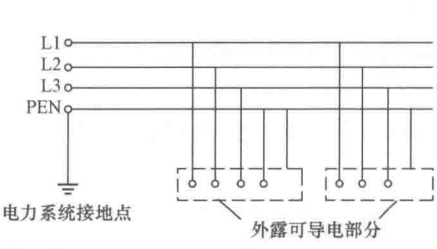


图 1-18 TN-C 系统

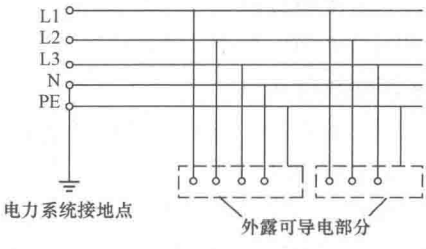


图 1-19 TN-S 系统

3. TN-C-S 系统

在该系统中，工作零线同保护零线是部分共用的，系统示意图如图 1-20 所示。此系统即为局部三相五线制系统。

4. 采用 TN 系统时注意事项

(1) 适用范围。

1) TN-C 系统适用于有专业人员维护管理的一般性工业厂房和场所。

2) TN-S 系统适用于设有变电站的公共建筑、医院、有爆炸和火灾危险的厂房和场所、单相负荷比较集中的场所，数据处理和精密电

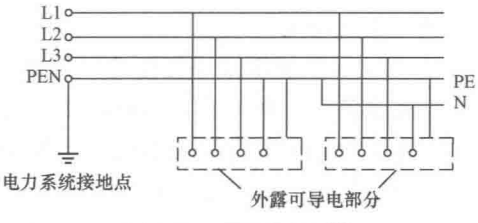


图 1-20 TN-C-S 系统