

第 8 篇

配 电

第 8 篇

配 电

主编单位 电力工业部华北电业管理局

编写单位 北京供电局

主 编 陈鼎瑞

副 主 编 施更生 张凤鹏 吕 千

编 写 人 吕 千 牛益民 刘 峰 杨书全
王宝忠 李广平 段佩涵 胡培生
汪延宗 杨 超 陈光华

主 审 谢绍雄 胡纪安

第 1 章 配电网概论^[1]

1 概述

1.1 配电网在电力系统中的作用

配电网是电力系统的重要组成部分。将电力系统中的电能通过配电网分配送至用电负荷点称为配电。配电网在电力系统中的位置,如图 8-1-1 所示。

配电网是指从电力系统中送电网内的降压变压器二次侧(包括第三绕组)接受电能处起,中间经过配电、变压、控制及接户等环节,将电能送至用电负荷点所形成的电力网,统称为配电网。

配电网直接担负着向工、农业生产,城市及乡镇建设和人民生活提供质量合格、安全可靠的电能的任务。

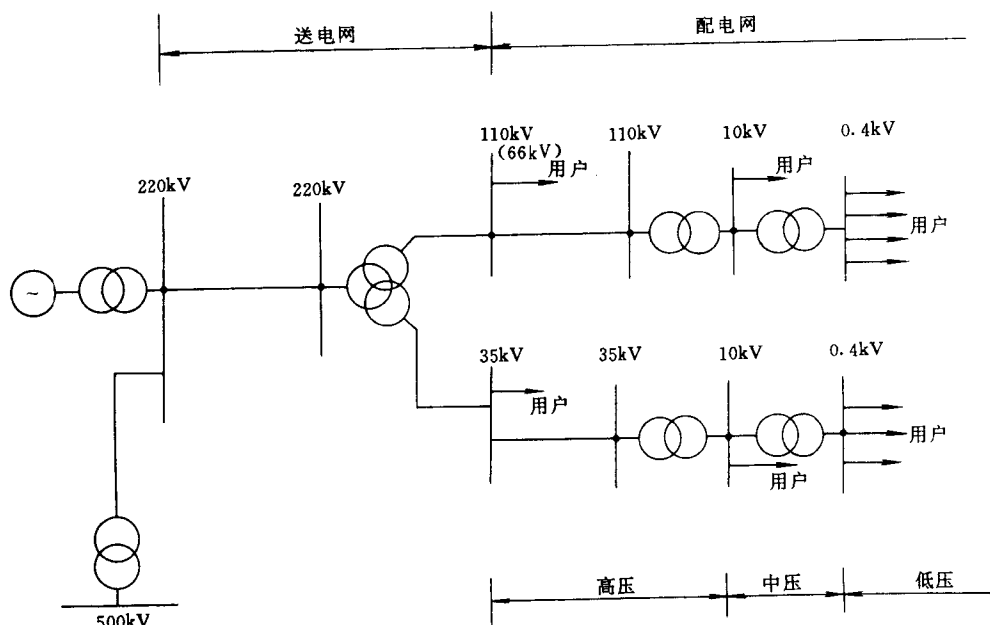


图 8-1-1 电力系统中配电网示意图

配电网按电压等级,可分为高压配电网、中压配电网和低压配电网。

配电网按配电地区地理位置的不同及用户类别的性质差异,可分为城市配电网和农村配电网。

城镇道路照明是城镇市政建设的重要设施,它是由城市配电网供电的,所以城镇道路照明供电系统也是配电网的组成部分。

配电网的建设和改造是城乡建设的重要内容之一。因此,必须与城镇总体规划协调配合,做好配电网的规划设计。在配电网的建设和改造过程中,应优先采用新技术、新设备、新材料,将配电网建成为结构合理、运行灵活、保护完善、自动化水平高、调压手段强、电

能损耗小、管理先进和安全经济的现代化电力网。

1.2 配电网的特征

(1) 配电网直接联系着千家万户,供电质量的好坏,供电安全可靠的程度,以及供电能力的大小均将通过配电网集中地反映出来。

(2) 配电网的管理工作水平,不仅关系着供电、销售、利润等经济指标能否按计划完成,而且它还是直接反映服务质量水平的一个重要窗口。

(3) 配电网遍布城乡各个角落。由于用户负荷性质的不同,供电容量有差异,加之其发展快、变化大,因此,在配电网的运行维修和管理等方面,具有一定的

复杂性和艰巨性。

(4) 由于配电网分布的特点,它不仅关系到城乡建设和各项社会活动及社会环境的安定,而且与其他市政设施的关系也非常密切。因此,配电网在规划、设计、施工和运行管理等方面都有其特殊要求。

2 配电网电压

根据《城市电力网规划设计导则》,配电网按电压等级,可分为高压配电网、中压配电网和低压配电网。

2.1 高压配电网

运行电压在 35kV 及以上,供给负荷的变电所及为其供电的高压线路,称为高压配电网。我国现有的高压配电网的电压有 110, 66, 35kV。随着城市用电负荷密度的增长,高压配电网的电压将有进一步提高的趋势。在我国大城市的高负荷密度区,已开始建设 220kV 的变电所及输电线路。国外城市高压配电网的电压还有 275, (230), 138, (132) 及 60kV 等几种。

2.2 中压配电网

运行电压为 10 (20, 6) kV 的配电网称为中压配电网。随着城市建设的发展,用电负荷密度的增加,中压配电网有发展为 20kV 的趋势。20kV 中压配电网可以增加供电能力,降低损耗。国外 20 (22) kV 电压的城市中压配电网已运行多年。

2.3 低压配电网

运行电压在 1kV 及以下的配电网称为低压配电网。低压配电网是由配电变压器供电的线路构成的。我国通用的低压配电电压和制式为单相 220V 和三相 380V。特殊用户根据其设备条件,也有采用 600V 作为配电电压的。国外有些城市也有采用 110V 作为低压配电电压。

本篇论述的配电网为 10kV 及以下的中、低压配电网。但在城市电力网规划设计的内容方面,将涉及 35kV 及以上的电力网。有关 35kV 及以上配电网的内容,参见本卷第 6 篇、第 7 篇。

3 配电网的基本结构与接线方式

3.1 配电网的基本结构

配电网由架空线路、电缆线路、开关站和配电站或杆架式变压器、各种开关设备、保护装置及自动控制设

备等构成。

3.2 配电网的网络接线方式

3.2.1 架空线路配电网的接线方式

1. 干线式(又称树枝式) 如图 8-1-2 所示,线路由主干线、次干线及分支线组成。一个地区多个用户共用一条线路。干线式线路节约路径,需要设备少,线路投资少。但由于线路分布广,故障概率高,一旦发生故障或停电检修时,整条线路的用户都将停电,供电可靠性较低。

干线式配电网适用于城市中一般负荷的供电和农村供电。

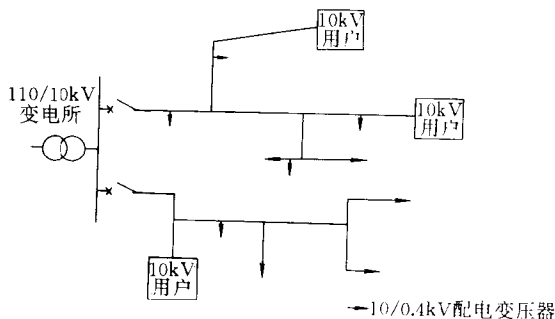


图 8-1-2 干线式架空线路配电网示意图

2. 辐射式(又称专用线式) 如图 8-1-3 所示,自电源点至用户为一条独立的线路,与其他线路互不相连,运行中互不影响。当线路发生故障或需要停电检修时,所带负荷都将中断供电。与干线式相比,辐射式供电线路投资大。采用辐射式供电的用户,为获得更高的供电可靠性,均需设置第二电源(又称备用电源)。

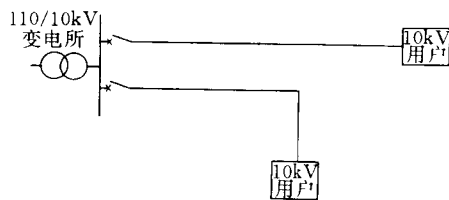


图 8-1-3 辐射式架空线路配电网示意图

辐射式供电适用于负荷性质特殊、对供电质量要求较高的用户。这种供电方式要严格控制,一般不宜发展。

3. 多分段联络式 在干线式架空配电网中,将一条线路分为几个区段,每个区段分别与相邻的线路相连,在连接点装设开关设备。连在一起的线路可能为来

自同一座变电所,也可能来自不同的变电所,使线路组成环网,如图8-1-4所示。

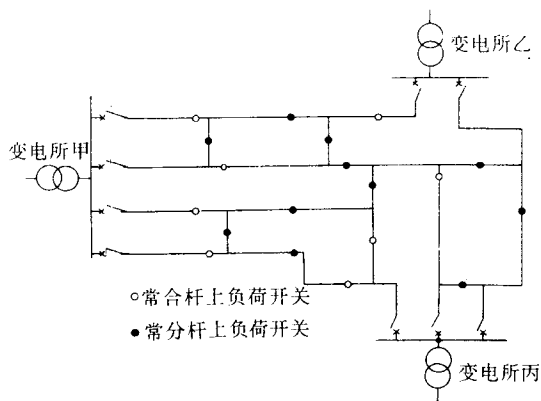


图 8-1-4 多分段联络式架空线路配电网示意图

在正常情况下,各条线路与相邻线路的联络点的断路设备断开,网络开式运行。当线路发生故障时,或线路需要检修停电时,通过操作网络联络点和分段的断路设备,调整各条线路的供电范围,使停电范围缩小,提高供电可靠性。

3.2.2 电缆线路配电网的接线方式

1. 环网式 在电缆线路配电网中,通过各负荷节点,将电缆线路连成环网。每一线段均有来自两个方向的电源。整个环网连接在变电所同一母线上的,称为单电源环网;连接在不同变电所或同一变电所不同母线上的,称为双电源环网,如图8-1-5和图8-1-6所示。

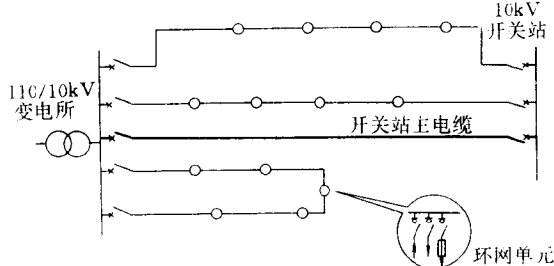


图 8-1-5 电缆线路单电源环网示意图

在正常情况下,环网开式运行。当发生故障或检修电缆时,可通过倒闸操作,切断故障线段或检修线段,恢复供电。为提高供电可靠性,可采用双环网供电,如图8-1-7所示。

环网式电缆线路设备利用率高,供电可靠性高,总体经济效益好。

2. 辐射式 与架空线路辐射式网相似,一条电缆

只给一个用户供电,即所谓专用线式。辐射式电缆线路配电网占用设备多、投资大、经济效益差。一旦发生故障,处理时间长。除现有的辐射式电缆线路继续运行 and 特殊供电的用户要求外,一般不宜采用。

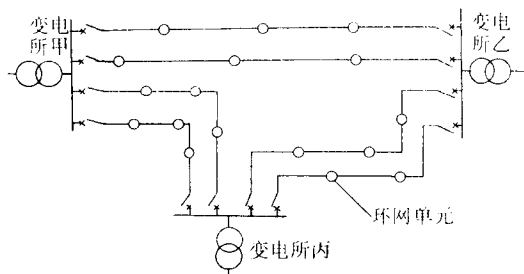


图 8-1-6 电缆线路双电源环网示意图

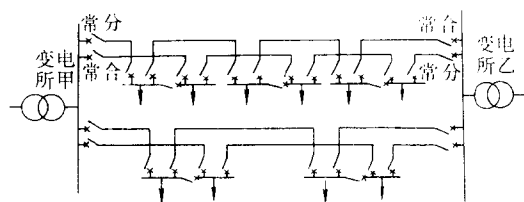


图 8-1-7 电缆线路双环网示意图

3.2.3 架空线路与电缆线路混合配电网接线方式

当地区内架空线路和电缆线路同时存在时,两者之间可以设联络点,在正常情况下,联络点断路设备断开;当发生事故时,可互作备用电源,如图8-1-8所示。

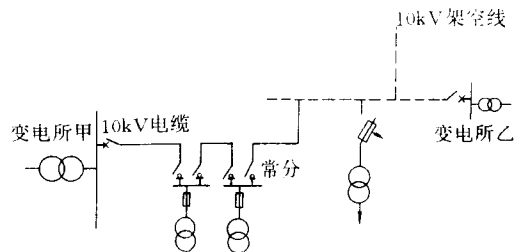


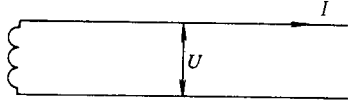
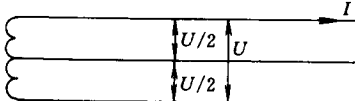
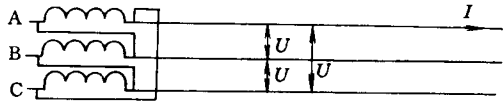
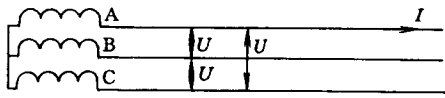
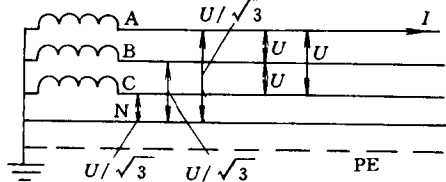
图 8-1-8 架空线路与电缆线路混合网示意图

4 配电网的供电制式

配电网的供电制式见表8-1-1。

在农村配电网中,为节约器材、降低造价,在50、60年代,10kV系统曾采用“二线一地”方式供电。但由于“二线一地”供电方式对通信线路干扰大,安全水平低,一般应因地制宜控制使用,不宜发展。单相“一线一地”式供电方式,国外农村供电虽有应用,但我国不宜发展。

表 8-1-1 配电网供电制式

配电方式	接线方式示意图	输电功率	适用范围
单相二线式		$UI\cos\varphi$	一般单相负荷用电
单相三线式		$UI\cos\varphi$	单相负荷供电
三相三线式		$\sqrt{3} UI\cos\varphi$	1. 中压配电网 2. 特殊负荷低压配电 3. 三相电动机专用配电线
			
三相四线式 (三相五线式)		$\sqrt{3} UI\cos\varphi$	一般低压配电网, 三相负荷与单相负荷混合供电的配电网。中性点与接地保护线合用, 亦可单独设保护线

第 2 章 城市电力网规划设计^[2]

1 概述

城市电力网的供电区包括城市的全部地区。城市电力网规划包括配电网规划和向城市供电的电源点(包括城市内的电厂及送电网)。城市电力网规划设计原则及编制方法也适用于农村配电网。

城市电力网规划的编制, 首先应分析电力网的现状, 根据需要与可能, 从改造和加强现有城市电力网入手, 研究负荷增长规律, 做到新建与改造相结合, 逐步扩大城市电力网的供电能力, 有步骤地加强城市电力网的结构布局和设施标准化, 提高供电可靠性, 做到远近结合、技术经济合理。城市电力网规划应与城市的各项发展规划紧密配合, 同步实施。城市电力网规划还应根据各阶段的负荷预测和电力平衡关系, 对电力系统

规划提出需求, 以保证配电网与电力系统之间的衔接, 从而确定切合本地区的规划目标。各阶段规划实施后, 城市电力网应达到如下水平:

- (1) 城市电力网具有充足的供电能力, 可满足城市各类用电的需要。
- (2) 根据电力先行的方针, 城市电力网建设速度应高于城市用电增长的速度。
- (3) 城市电力网的供电质量、供电可靠性和经济运行应达到较高的水平。
- (4) 建设资金和建设时间都应取得较好的经济效益。
- (5) 城市电力网设备逐步得到更新, 网络日趋完善合理, 技术水平和管理手段达到较先进的现代化程度。

2 城市电力网规划设计总则

2.1 城市电力网规划设计的内容

- (1) 城市电力网现状分析。
- (2) 长、中、短期规划的全区和分区的负荷预测。
- (3) 系统有功功率、无功功率电力平衡方案及对城市电力网供电电源点的建设要求。
- (4) 各规划期城市电力网结构的整体设计。
- (5) 确定变电所的地理位置和线路路径,并确定分期建设的工程项目,其中包括中、低压配电网的改造项目。
- (6) 确定调度、通信、自动化等项目的规模和要求。
- (7) 估算各规划期需要的投资。
- (8) 估算规划期末所取得的经济效益和社会效益。
- (9) 提出各规划期末的城市电力网地理位置接线图。
- (10) 编写规划说明书。

2.2 经济分析

经济分析是城市电力网规划设计的重要内容。经济分析包括经济计算和财务计算。经济计算一般用于论证方案和选择参数,财务计算一般用于阐明建设方案的财务现实可能性。城市电力网规划的经济计算主要为寻求综合费用最小的方案。综合费用包括:

- (1) 电力网建设和改造的工程投资;
- (2) 电力网运行费用;
- (3) 停电引起的少供电损失的费用。

城市电力网规划的经济分析应在设定相同的可比条件下,选取最佳方案,以取得供电部门及社会的最大经济效益。

2.3 规划年限

城市电力网规划年限应与国民经济发展规划和城市总体规划的年限一致,一般规定为近期(5a)、中期(10a)、远期(20a)三个阶段。城市电力网远期规划应与城市总体规划阶段相结合;城市电力网中近期规划应与城市详细规划阶段相结合。城市电力网规划应根据发展的具体情况交叉滚动修订,并经有关主管部门批准。

3 配电网的负荷及负荷预测

3.1 配电网的负荷

3.1.1 配电网的负荷分类

配电网的负荷按负荷性质可分为以下几类:

1. 工业负荷 工业负荷在城市电力网负荷中占的比例最大。工业负荷利用率高,对供电质量及供电可靠性要求高。

2. 农业负荷 农业负荷季节性强,平均负荷利用率低。

3. 科研、文教类负荷 科研、文教类负荷要求供电质量及供电可靠性高,但其负荷量所占比例不大。

4. 市政、生活类负荷 市政、生活类负荷(包括市政、交通及市民生活用电)随着经济的发展及人民生活水平的提高,这类负荷在城市电力网负荷中所占比例将日益增加,对供电可靠性的要求也越来越高。

3.1.2 负荷分级

各类负荷按其供电可靠性的要求程度,可分为以下三级:

- (1) 一级负荷;
- (2) 二级负荷;
- (3) 三级负荷。

各类负荷分级原则参见本卷第9篇第2章2.2节。

3.1.3 各级负荷的供电方式

各级负荷按其供电可靠性的要求,决定供电方式。

1. 一级负荷供电方式 一级负荷应设置两个独立电源供电。供给一级负荷的两个独立电源应来自不同的电源点。独立电源是指在若干电源中,任一电源发生故障或停止供电时,不影响其他电源继续供电。有特殊要求的一级负荷,也可设置两个以上的独立电源。

2. 二级负荷供电方式 二级负荷一般由两回线路供电或由一回专用线路供电。对重要的二级负荷,其两回电源线路应来自两个不同的母线段。

3. 三级负荷供电方式 三级负荷对供电电源无特殊要求。

3.2 负荷预测

3.2.1 负荷预测的一般规定

(1) 负荷预测是城市电力网规划设计的基础。预测要有科学性。负荷预测应在经常调查分析的基础上,收集城市建设和各行各业发展的信息,充分研究本地区用电量和负荷的历史数据与发展趋势,并适当参考国内外同类型城市、地区的负荷资料进行校核,使预测结果具有较高的准确度,以适应社会经济技术的发展。

(2) 负荷预测的数据应按规划目标年限,按近、中、远期分列。中期和远期可只列期末数据,近期预测数据应按年分列。

(3) 负荷预测应按用电性质分类,按地理区域分块,并按电压层次分别进行。

(4) 负荷预测应收集的资料包括:

1) 城市建设规划中有关人口、用地、能源、产值、居民收入和消费水平等规划资料以及各功能区的改造和发展规划。

2) 计划、统计部门以及气象部门等提供的有关历史数据和预测信息。

3) 电力系统规划中电力、电量的平衡,电源布局等有关资料。

4) 全市及分区、分块、分电压等级按用户性质分类统计的历年用电量、高峰日用电量和负荷、典型日负荷曲线及潮流图。

5) 各级电压变电所、大用户变电所及配电站的负荷记录,典型负荷曲线及功率因数资料。

6) 大用户的历年用电量、负荷、装接容量、合同电力需量、主要产品产量和用电单耗。

7) 大用户及其上级主管部门提供的发展规划,计划新增和待建的项目、容量、合同电力需量。国家和地方建设发展中的重点项目及用电的发展资料。

8) 由于电源及供电电力网能力的不足,造成过负荷、限电的情况,并由此估算出潜在负荷的情况。

3.2.2 负荷预测的方法

做好负荷预测,首先要对负荷,用电量的现状进行分析处理,得出分类、分块、分电压等级的时间序列的数据,作为预测的依据。负荷预测工作可从全面和局部两方面入手,一是对整个城市总的用电需要量进行全面的宏观预测;二是对每个分块区的用电需要量进行

局部的预测。在具体进行预测时,还可将每块中的一般负荷作为均布负荷,大用户作为点负荷分别预测,然后再将这两部分进行综合,并与宏观预测结果相互校核。

一般负荷预测的方法有:

1. **单耗法** 根据产品(或产值)用电单耗和产品(或产值)数量来推算用电量,是预测有单耗指标的工业和部分农业用电量的一种直接有效的方法。按产值计算用电单耗时,应注意产品结构的变化。总的工业用电量可按主要产品分类预测或以分行业预测后再进行汇总。由于我国城市中,工业用电还占较大比重,因此,单耗法是负荷预测中的一个主要方法。单耗法比较适用于近期和中期规划预测。

2. **弹性系数法** 电力弹性系数是地区总用电量的平均年增长率与工农业总产值或国民生产总值的平均年增长率之比值。城市电力网的电力弹性系数应根据地区工业结构、用电性质,并对历史资料及各类性质负荷用电比重发展趋势加以分析后确定。弹性系数法一般用于校核中期和远期城市电力总需要量的预测。

3. **外推法(外延法)** 运用历年的时间系列数据加以延伸,由此推测出各目标年的用电量。一般是以用电性质的各个分类用电量作为因变量,与此分类用电量的相关因素(如人口、工农业产值、人均收入、居住面积等)作为自变量,用回归分析法建立数学模型,反复测算进行预测。

4. **综合用电水平法** 根据用电单耗来推算各分类用户的用电量。如城市生活用电量,可按每户或每人平均用电量来推算;工业和非工业等分类用户的用电量,可按每单位设备装接容量的平均用电量来推算。现在和历史的综合用电水平可通过资料分析和典型调查取得。将来各目标年的人口、户数、设备装接容量的预测值,可通过城市规划部门和用户的信息资料或用外推法测算。综合用电水平法适用于分块负荷中的一般负荷和点负荷的预测。一般用于中期或近期预测。

5. **负荷密度法** 负荷密度是每平方千米的平均负荷值。一般不直接预测整个城市的负荷密度,而是按城市区划分块测算,首先计算现状和历史的分块负荷密度,然后根据地区发展规划,按各分块负荷发展的特点,推算出各分块、各目标年的负荷密度预测值,从而计算出负荷预测值。负荷密度法是一种比较直观的方法。分块中的大用户在预测中按点负荷单独计算。

在进行负荷预测时,应根据具体条件运用不同的

方法进行预测,然后将预测结果进行综合比较,相互校核,还可以参考对照国内外同类型城市的数据加以分析对比,使预测结果更为理想。

4 城市电力网规划设计的技术原则

4.1 电压等级

城市电力网的标称电压应符合 GB156—93《标准电压》的规定。

城市电力网应尽量简化变压层次,一般不宜多于四个变压层次,对城市电力网中现有的非标准电压,应限制其发展,并分期分批进行改造。

4.2 供电可靠性

城市电力网规划考虑的供电可靠性是指电力网设备停运时,对用户连续供电的可靠程度,应满足下列两个目标中的具体规定:

- (1) 电力网供电安全准则;
- (2) 满足用户用电的程度。

4.2.1 电力网供电安全准则

城市电力网的供电安全采用 N-1 准则,即:

(1) 二次变电所中失去任何一回进线或一组降压变压器时,必须保证向下一级配电网的供电。

(2) 高压配电网中的一条架空线路,或一条电缆线路,或变电所中一组降压变压器发生故障停运时:

1) 在正常情况下,除故障段外不停电,不得发生电压过低和设备不允许的过负荷。

2) 在计划停运情况下,又发生故障停运时允许短时停电。

(3) 在中压配电网中线路发生故障时,允许短时停电,但应尽快将完好的区段切换至邻近的电力网,恢复供电;当配电变压器或低压配电网发生故障时,允许停电,但应尽快安排处理,及早恢复供电。

4.2.2 满足用户用电的程度

在规划中必须考虑电力网接线、容量、自动化装置等能在用户遇到电力网故障停电时,恢复供电的时间不超过规定的目标时间。其原则是:

- (1) 双回路供电的用户失去一回落后,应不停电。
- (2) 三回路供电的用户失去一回落后,应不停电,再失去一回落后,应满足 50%~70% 用电负荷。

(3) 单回路供电的用户和多回路供电的用户电源全停时,恢复供电的目标时间为一回路故障处理的时间。

(4) 开式运行环网供电的用户,环网发生故障时,通过操作恢复供电的目标时间为操作所需的时间。

考虑具体目标时间的原则是,负荷越大的用户,目标时间应越短,可分阶段规定目标时间。随着电力网的改造和完善,目标时间应逐步缩短。若配置自动化装置,故障后负荷应能自动切换。

上述可靠性准则应按《城市电力网规划设计导则》严格执行。供电可靠性的具体要求参见本篇第 8 章。

4.3 城市电力网的结构及接线原则

4.3.1 对城市电力网接线的基本要求

- (1) 各级电压电力网的接线应标准化;
- (2) 电力网接线力求简化;
- (3) 下一级电力网应能支持上一级电力网。

4.3.2 对高压配电网基本结构的要求

(1) 高压配电网线路应由两条及以上回路组成系统,当一条回路停运时,其他回路应能供全部负荷,而不超过其允许过载容量。

(2) 变电所应设置两台或以上变压器。当一台变压器停运时,其负荷自动转移至正常运行的其他变压器。此时,变压器的负荷不应超过其短时允许过载容量。

4.3.3 中压配电网的基本结构及接线原则

(1) 中压配电网依据变电所的位置和负荷分布分成若干相对独立的分区。分区的配电网应有明确的供电范围,一般不交错重叠。分区配电网的供电范围将随负荷增长及新增加的变电所而进行调整。

(2) 变电所之间和分区中压配电网之间应有足够的联络容量。变电所中压线路出现停用时,应能通过中压电力网转移负荷,对用户不停电或缩小停电范围。

(3) 根据分区负荷的预测,确定变电所供电范围及中压出线数,确定每条架空线的分布、区段、负荷及馈入点位置。每条架空线路可分为两段或多段。线路分段是为了在电源停电时,可由各分段与邻近线路的联络点供电。

(4) 中压配电网应有较强的适应性。线路导线截

面不宜超过2~3种,并应按长远规划选定,一次建成。在负荷发展不能满足需要时,可增加新的电源馈入点或布置新的变电所,调整运行方式,而其基本结构不变。

(5) 架空配电网的供电能力有一定限度。当负荷大量增加时,中压配电网必将由架空配电网逐步过渡为电缆配电网。

(6) 严格控制专用线路和不带负荷的联络线,以节约走廊和提高设备利用率。

4.3.4 低压配电网的基本结构及接线原则

(1) 城市低压配电网与负荷分布、用户建筑结构及进户装表方式有关。低压负荷分散,进户点多,为节省投资,应以架空线为主,并可与中压架空线合杆架设。根据需要可采用架空绝缘导线或架空电缆。

(2) 城市住宅小区的供电方式应根据用电负荷水平、建筑布局及结构确定。一般可建小区配电站。配电站为户内型,至少有两回进线,两台配电变压器,有条件时可并列运行。

(3) 规划低压电力网时,必须考虑配电变压器的容量及其供电范围和低压线路的导线截面,使低压电力网能适应日益增长的电力负荷,而不需要多次调换导线。低压电力网的接线原则为:

1) 供电半径一般不超过400m;

2) 线路末端的电压降在最大负荷时,不超过允许值。

(4) 城市中心繁华地区、新开发区、高层建筑住宅区及城市的主要道路街区的低压配电网可采用电缆网。其接线方式为:自配电站低压侧的大截面电缆将电源引入分支箱,分别接到负荷点,按需要组成主线、备线或环网供电方式。

4.4 中性点接地方式

(1) 中压配电网采用中性点不接地或经消弧线圈接地,或经电阻接地。

(2) 低压配电网采用中性点直接接地。

(3) 以电缆或绝缘导线为主的中压配电网采用中性点经电阻接地。但应:

1) 满足供电可靠性要求;

2) 单相接地时的短路故障电流应限制在对信息通道的干扰影响允许范围之内;

3) 单相接地时,各级继电保护应有足够的灵敏度和选择性。

4.5 无功补偿和电压调整 (参见本篇第8章)

4.5.1 无功补偿的原则

(1) 无功补偿应根据就地平衡和便于调整电压的原则进行配置,采用分散补偿与集中补偿相结合的方式。负荷端的分散补偿可取得较好的经济效益,集中安装在变电所内,便于维护,并有利于控制电压水平。

(2) 无功补偿设施应便于投切。装设在变电所和大用户的电容器应能自动分组投切。

4.5.2 中、低压配电网无功补偿设施的安装

(1) 配电站中安装无功补偿设施时,应安装在低压侧母线上。电容器能分散安装在低压用户的用电设备上时,配电站可不装电容器。

(2) 在供电距离远、功率因数低的10kV架空线路上,也可适当安装电容器。其容量(包括用户)一般可按线路上配电变压器总容量的7%~10%计,但不应在低谷负荷时,使功率因数超前或电压偏移超过规定值。

(3) 用户安装的电容器可以集中安装,亦可分散安装。前者必须能按运行需要自动投切;后者安装在用户设备旁,与用电设备同时投切。还要提倡在低功率因数的用电设备上装电容器。

4.5.3 调节电压提高电压质量的综合措施

(1) 无功功率就地平衡;

(2) 具有足够的调压手段;

(3) 线路高峰负荷时,使线路末端电压降控制在允许范围之内。

4.5.4 城市电力网调节电压的手段

1. 发电厂调压

2. 变电所调压

(1) 投切电容器;

(2) 调节变压器分接开关的位置;

(3) 调节调相机的出力。

3. 线路调节电压 对中压或低压架空线路,可用大截面导线,改变配电变压器电压分接头,调整供电半径及平衡三相负荷等措施来防止过大的电压降。

4. 每一用户至少要经过电力系统中一级有载调压 对负荷变化大、降低层次多、线路距离长而电压波动和偏离过大的用户,可能需经二级有载调压变压器,

但应经计算确定。

4.6 城市电力网系统短路容量

4.6.1 对电力网短路容量的要求

为了取得合理的经济效益,城市电力网各级电压系统的短路容量应该从网络的设计、电压等方面进行控制。使各级电压断路器的分断电流以及其他设备的动、热稳定电流满足要求。

4.6.2 限制短路容量的措施

网络的短路容量应在技术经济合理的基础上,采取限制措施,如网络开环分片,母线分段运行,采用高阻抗变压器及加装限流电抗器等。

4.7 电压损失

保证各类用户受电电压质量是确定各级城市电力网允许的最大电压损失的前提。

根据 GB12325《电能质量——供电电压允许偏差》规定:

10kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$;

220V 单相供电电压允许偏差为额定电压的 $+7\%$ 与 -10% 。

有关无功补偿及电压调整具体要求参见本篇第8章。

5 配电网规划设计中应考虑的几个问题

5.1 通信干扰问题

城市电力网规划设计应在城市建设管理部门的统一规划下,尽量减少对通信线的危害及干扰影响,并在规划年限内留有适当裕度。在建设变电所和输电线路时,应与有关通信部门共同研究采取措施。

5.2 城市电力网的调度、通信及自动化

5.2.1 对城市电力网调度及自动化的要求

城市电力网调度及自动化应能满足现代化电气设

备对速度、效能和精度的要求并保证供电安全可靠,提高运行质量,加强负荷管理和实现经济运行。

5.2.2 对城市电力网通信设施的要求

城市电力网通信应与城市电力网规划的要求相适应,建立适用于电力生产需要的专用通信系统。电力网通信设施应满足以下要求:

(1) 调度人员在指挥操作、处理事故时,通道应通畅、语音清晰。

(2) 继电保护、远动、自动装置等各项信息、数据的正确传递与实时记录。

(3) 行政管理等通信需要。

5.2.3 城市电力网自动化系统

城市电力网自动化系统应包括变电所综合自动化、调度自动化、配电网自动化和负荷控制自动化。

城市电力网自动化应在各地现有设备运行可靠的基础上,有计划地逐步开展,并根据需要与可能条件由小到大,由点到面逐步发挥其效能。具体各阶段实现的内容和要求,应在地区城市电力网规划中提出。

配电网自动化具体内容参见本篇第9章。

5.3 特种用户的供电技术要求

对于特种用户的供电方式,应从供电安全和经济出发,根据用户的用电性质、容量和电力网当前的供电条件和各个时期的电力网规划,对具体供电方案进行技术经济比较,与用户协商确定。

特种用户包括:

(1) 重要用户;

(2) 用电负荷可能引起电力网电压及电流畸变的用户;

(3) 可能引起电压波动、闪变的冲击负荷,或不对称的波动负荷的用户;

(4) 不对称的负荷将引起电力网电压不平衡的用户;

(5) 高层建筑用户等。

不同性质用户的特点及要求参见本卷第9篇。

第3章 架空配电线路^{[3][24]}

1 概述

架空配电线路是配电网的主要组成部分，它分布在广大城乡地区，担负着分配电能的任务。

架空配电线路结构比较简单，便于施工，工程造价也较低，但运行维护量大。由于露天架设，受自然环境影响也较大，特别是遇有雷雨大风等恶劣天气时，极易发生外力和自然灾害事故。目前，在城市或农村的配电网中，仍以架空线路为主。

为了发挥架空配电线路的优势，提高其供电的可靠性和安全性，近年来我国很多供电部门，在中低压架空线路上采用架空绝缘导线、架空导线束(ABC线)和架空电缆等新技术。投资虽有所增加，但供电的可靠性和安全性有了很大提高，受到广大供电部门和用户的欢迎。所以导线绝缘化已成为中低压架空配电线路的发展趋势。

2 架空配电线路的基本结构

架空配电线路主要由电杆、导线、横担、拉线、绝缘子及配电变压器台等组成。

2.1 电杆

电杆是架空线路的主要构件，其作用是支持或悬挂导线和其他构件，使导线的相间或对地保持足够的安全距离。

2.1.1 电杆的种类

1. 木杆 木杆的质量较小、安装方便、造价便宜、绝缘性能好、耐雷水平高。缺点是易腐朽、使用寿命短、机械强度差。由于我国木材资源紧张，目前已很少采用。

2. 铁杆 铁杆坚固耐用、机械强度高，但结构复杂、耗用钢材较多、工程造价高、施工不便、维护工作量大。所以在架空配电线路上，多用于大跨距和为地形所限无法装设拉线或撑杆的地方，可作为耐张杆、终端杆或转角杆。

3. 钢筋混凝土杆(水泥杆) 钢筋混凝土杆的特点是坚固耐用、不易腐蚀、美观、便于运行维护。缺点是质量大，搬运和安装不便。使用钢筋混凝土杆，可以

节约大量木材，已被广泛采用。配电线路常用的钢筋混凝土杆，可分为预应力钢筋混凝土杆、非预应力钢筋混凝土杆和部分预应力钢筋混凝土杆。一般为离心浇制的环形截面钢筋混凝土杆，环形杆又可分为等径杆和不等径杆两种。

钢筋混凝土杆的长度标准范围为6~15m，可根据实际需要选用，超过15m的电杆，可采用分段组合式电杆。

2.1.2 电杆高度的确定

电杆的高度应根据电杆的杆型、线路经过地区的特点、导线对地面和被跨越物的最小垂直距离及电杆的埋设深度等因素确定。电杆的埋设深度可按表8-3-1确定。

表 8-3-1 电杆的埋设深度 (m)

杆长	8	9	10	11	12	13	15	18
埋设深度	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.3	2.6~3.0

架空配电线路导线对地面和跨越物最小允许距离见表8-3-2。

表 8-3-2 架空配电线路导线对地面和跨越物的最小允许距离 (m)

线路经过地区及跨越物	中压线路 (10kV)	低压线路 (380V)
居民区	6.5	6.0
非居民区	5.5	5.0
交通困难地区	4.5	4.0
公路及城市路面	7.0	6.0
铁路轨顶	7.5	7.5
有电车行车线的路面	9.0	9.0
通航河流最高水位	6.0	6.0
建筑物	3.0	2.5

在确定电杆高度时，除综合考虑上述因素外，还应考虑架空配电线路与沿线树木的矛盾，为了减少架空配电线路与树木的矛盾，城市供电部门应与园林绿化主管部门协商，线路下方的人行道树选用低矮的慢长树种。另外，还可以考虑适当提高电杆的高度。一般情

况下,在人口密集的繁华街道,10kV 线路采用 15m 电杆,380V 线路采用 12m 电杆。

2.1.3 杆型

电杆的杆型是根据电杆在线路上所处的位置和所起的作用不同而确定的。电杆的杆型结构和型式,一般可分为以下几种:

1. 直线杆 一般装在线路的直线部分,它的作用是支撑导线、绝缘子和金具等的质量,以及导线和电杆本身所受的侧风压,见图 8-3-1。

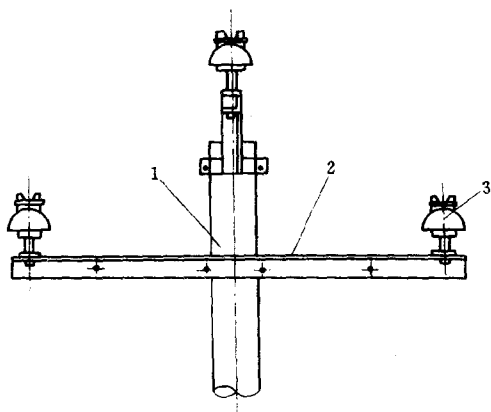


图 8-3-1 10kV 直线杆组装图

1—电杆 2—角铁横担 3—针式绝缘子

2. 耐张杆（承力杆） 能够承受导线的拉力,多用于线路分段、安装断路设备和重要的交叉跨越处,见图 8-3-2。

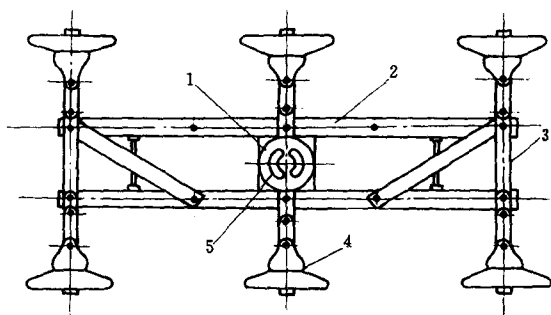


图 8-3-2 耐张杆组装图

1—电杆 2—角铁横担 3—连铁 4—悬式绝缘子 5—针式绝缘子

3. 转角杆 用在线路的改变方向处,它主要承受两侧导线张力的合力,主要用于线路 $45^\circ \sim 90^\circ$ 转角处。转角杆的杆型见图 8-3-3。

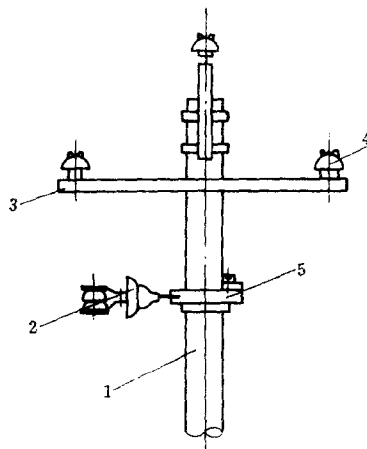


图 8-3-3 转角杆的组装图

1—电杆 2—悬式绝缘子 3—角铁横担 4—针式绝缘子 5—连铁

4. 小角度转角杆 主要用于线路转角小于 45° 角处,它由双横担和针式绝缘子组成,所以又称抱立杆。小角度转角杆的杆型见图 8-3-4。

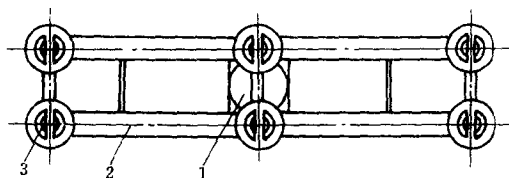


图 8-3-4 小角度转角杆组装图

1—电杆 2—角铁横担 3—针式绝缘子

5. 终端杆 设在线路的末端或首端。只在电杆的一侧安装导线,承受导线的全部拉力,所以在终端杆的另一侧必须加装拉线,以平衡电杆的受力,见图 8-3-5。

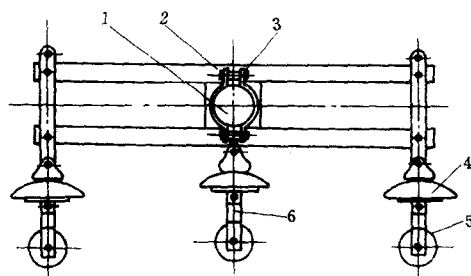


图 8-3-5 终端杆组装图

1—电杆 2—角铁横担 3—抱箍 4—悬式绝缘子 5—蝶式绝缘子 6—连铁

6. 分支杆 主要用于线路的分支处,它是由直线

杆和终端杆两种杆型组合而成的。

2.2 导线

架空线路导线的主要作用是传导负荷电流。由于架设在露天,经常受自然环境的影响,所以要求导线必须具有良好的导电性能和足够的机械强度,耐腐蚀性强,质量小,价格低。

常用的导线有铜绞线(TJ)、铝绞线(LJ)、钢芯铝绞线(LGJ)和各种绝缘线等。各种导线的结构及参数参见输变电、配电设备卷第1篇第2章。

2.2.1 铜绞线

铜绞线(TJ线)具有良好的导电性能和足够的机械强度,并具有良好的耐腐蚀性能。它是架空线路较理想的导线,特别适用于沿海盐碱地区、工业区和化工区。但由于我国铜资源缺乏,价格较高,应用范围受到一定影响,只能在有特殊要求的地区采用。

2.2.2 铝绞线

铝绞线(LJ线)的导电性能仅次于铜绞线,铝的电导率为铜的60%左右,在同一载流量的情况下,铝导线的截面积是铜导线的1.6倍。但铝绞线的质量小,造价较低。其缺点是耐腐蚀性能和机械强度差。由于我国铝资源丰富,因而得到了广泛应用。

2.2.3 钢芯铝绞线

钢芯铝绞线(LGJ线)是一种复合导线,它是由机械强度高的钢导线和导电性能好的铝导线绞合而成。由两种金属组合成的复合导线,力学性能和电气性能均能满足架空线路的要求。因此,钢芯铝绞线广泛应用于台风较多的沿海城市和档距较大的山区。

2.2.4 绝缘导线

架空绝缘导线在国外已被普遍采用,我国近期也在低压架空线路上采用了绝缘导线。运行实践证明其优点较多,线路故障率明显降低,线路与树木的矛盾问题得到改善,降低了维护工作量,提高了线路的安全可靠性。

绝缘导线可分为中压(10kV)绝缘导线和低压(0.6/1.0kV)绝缘导线两种。按其绝缘材料可分为三种,即聚氯乙烯(PVC)绝缘导线、聚乙烯(PE)绝缘导线和交联聚乙烯(XLPE)绝缘导线。

聚氯乙烯绝缘有较高的机械强度和阻燃性能,但

其介电性能和耐热性、耐寒性能差,并易老化。所以只能作为低压导线或低压电缆的绝缘。

聚乙烯绝缘有较好的介电性能,但其机械强度、阻燃性能和耐热性能差。

交联聚乙烯绝缘有优良的介电性能,耐热性好,机械强度高,是较理想的绝缘材料。目前,国内外已普遍采用这种材料作为电线、电缆的绝缘材料。

下面介绍常用的绝缘导线。

1. 低压(0.6/1.0kV)架空绝缘导线 我国生产的低压架空绝缘导线有以下几种:

- (1) 铜芯聚氯乙烯绝缘导线;
- (2) 铝芯聚氯乙烯绝缘导线;
- (3) 铜芯聚乙烯绝缘导线;
- (4) 铝芯聚乙烯绝缘导线;
- (5) 铜芯交联聚乙烯绝缘导线;
- (6) 铝芯交联聚乙烯绝缘导线。

2. 中压(6~10kV)架空绝缘导线 在我国城市配电网中,中压线路采用的绝缘导线多为交联聚乙烯绝缘导线。其应用还不太普遍,主要用于线路与树木矛盾严重的地区、城市中心繁华地区和线路走廊较小的地带。

3. 中压和低压架空导线束(ABC线) 这种导线是将中压或低压单根的绝缘导线,根据所需导线的根数绞合起来。导线绝缘一般采用交联聚乙烯材料。这种导线束在西欧一些国家被广泛使用。它的主要优点是可减少电压损失,占有空间小,供电可靠性高,施工简便,造价较低,可以在森林和沿海地区、工业区使用。我国已开始采用,并收到较好的效果。

2.2.5 架空线路导线的排列方式及线间距离

架空线路导线的排列方式,常见的有三角排列、水平排列和垂直排列三种方式。采用哪种方式,可根据本地区的具体情况选用。三角排列方式用得较为普遍,这种排列方式结构简单,电气性能好,线间距离大,不易混线,安全可靠。水平排列方式的优点是结构简单,便于施工,节约钢材,造价较低。缺点是占空间走廊较大,受自然环境影响大,易发生外力故障,低压配电线路多采用水平排列。垂直排列方式用的地区也比较多,特别适用于线路走廊比较狭窄的地方,能够减少导线与树木及建筑物的矛盾。

架空配电线路导线的线间距离,一般根据电压等级和线路档距的大小而定。配电线路导线的线间距离不应小于表8-3-3所列数值。

为了节省线路走廊,也可采用多回路同杆并架方式。

表 8-3-3 架空配电线路导线最小线间距离 (m)

电压 (kV)	档 距						
	40 及以下	50	60	70	80	90	100
10	0.6	0.65	0.70	0.75	0.85	0.9	1.0
0.38	0.3	0.4	0.45	—	—	—	—

2.2.6 导线截面积的选择

合理地选择导线截面积,对线路安全、经济、合理的运行是非常必要的。导线截面积过大,不仅增加有色金属的消耗,而且增加建设投资;导线截面积过小,会引起电压损失和电能损耗过大,影响供电质量,甚至可能由于导线过热造成事故。合理地选择导线截面积,不但要考虑当前的需要,还要考虑将来的发展。选择导线截面积,应满足以下几方面的要求。

1. 按经济电流密度选择导线截面积 经济电流密度是根据线路投资和年运行费用综合计算的,并考虑了节约有色金属等因素后确定的。因此,用这种方法

表 8-3-5 裸导线载流量温度校正系数

空气温度 (°C)	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45
校正系数	1.29	1.24	1.2	1.15	1.11	1.05	1.0	0.94	0.88	0.81	0.74

3. 按电压损失选择导线截面积 按经济电流密度或允许电流选定的导线截面积,还应计算其电压损失,并按电压损失允许值校核其是否满足有关供电电压质量的规定。关于电压损失的计算方法及其允许值参见本篇第8章。

4. 按机械强度选择导线截面积 当按上述三种方法确定导线截面积后,还应校核其机械强度是否满足要求。有关规程中规定了架空配电线路导线允许最小截面积,见表8-3-6。所选用的导线截面积应分别大于表中所列数值。

表 8-3-6 架空配电线路导线允许最小截面积 (mm²)

导线种类	10kV	1kV 以下
铝绞线及钢芯铝绞线	35	25
铜绞线	25	16

2.2.7 导线的连接

导线的连接方法很多,有绞接法、缠绕法、并沟线夹法和钳压法。可根据现场具体情况选用。

1. 绞接法 适用于多股铜绞线在档距中间的连

求出的导线截面积比较合理。具体方法是先求出线路的最大负荷电流*I*,根据线路的负荷性质,确定年最大负荷利用小时数。从表8-3-4查出经济电流密度*J*,再按下式求出导线截面积:

$$S = \frac{I}{J} \text{ (mm}^2\text{)}$$

我国规定的导线经济电流密度,见表8-3-4。

表 8-3-4 导线的经济电流密度 (A/mm²)

线路类别	导线材料	年最大负荷利用小时数 (h)		
		3000 以下	3000~5000	5000 以上
架空线路	铝	1.65	1.15	0.90
	铜	3.00	2.25	1.75

2. 按导线允许电流选择导线截面积 导线实际通过的最大负荷电流,应小于该导线的允许电流。因为导线的允许电流是在周围空气温度为+25℃和导线最高允许温度为+70℃时确定的电流。所以当导线周围空气温度不是+25℃时,导线的允许电流应乘以温度校正系数,见表8-3-5。

接,见图8-3-6。



图 8-3-6 钢绞线绞接接头

2. 缠绕法 仅适用于导线的引流线(跳线)的连接,缠绕法连接的导线只能通过负荷电流,而不能承受拉力,这种方法仅适用于铜导线及截面积较小的铝导线。

3. 并沟线夹法 适用于截面积较大的铝绞线或钢芯铝绞线的引流线(跳线)的连接,见图8-3-7。可根据导线截面积的大小选用适当的并沟线夹进行连接。

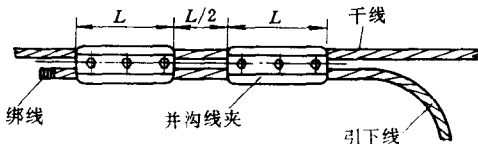


图 8-3-7 并沟线夹连接图

4. 钳压法 钳压法适用于各种导线在档距中间的连接。钳压法需根据导线截面积的大小选用适当的压接管及钳压模具进行钳压。铝绞线和钢芯铝绞线的钳压点的作业次序不同,见图8-3-8。

5. 铜铝过渡线夹法 适用于铜、铝导线在引流线

处的连接和铝导线与电气设备的连接。

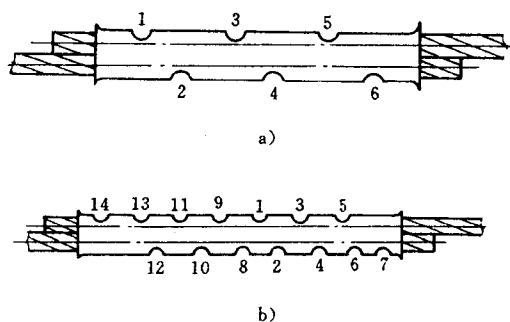


图 8-3-8 铝绞线及钢芯铝绞线钳压

a) 铝绞线钳压次序图 b) 钢芯铝绞线钳压次序图

2.3 横担

横担的主要作用是支撑绝缘子和导线。因此，要求横担具有足够的机械强度，坚固耐用，便于安装，并做到规格化和标准化。配电线路常用的横担有镀锌角铁横担、木横担及陶瓷担等。横担的规范尺寸，应根据线路电压等级、导线的排列方式和电杆的杆型而定。目前，我国普遍采用角铁横担，因为它坚固耐用，便于加工和安装；陶瓷横担在城市郊区和农村用得也比较多，其优点是绝缘水平高、耐雷及防污性能好，但机械强度差些，所以其应用范围受到一定影响；木横担的机械强度差、易腐蚀，而且我国木材资源紧张，目前已很少采用。

2.4 拉线和撑杆

拉线和撑杆的主要作用是平衡电杆的受力，使电杆不倾斜、不弯曲。在架空配电线路中，根据拉线的作用和用途，可分为普通拉线、人字拉线、水平拉线（拉桩）、V形拉线、弓形拉线及撑杆等。拉线所用的材料主要采用镀锌钢绞线或 $\phi 4.0\text{mm}$ 的镀锌铁线。用作拉线的钢绞线截面积不得小于 25mm^2 ，镀锌铁线不得少于三股。拉线与电杆的夹角应为 45° ，如果因地形所限，可适当减小，但不应小于 30° 。各种拉线在穿越导线时，应加装拉线绝缘子。

2.4.1 拉线的结构

拉线主要由拉线抱箍、楔型线夹、镀锌钢绞线、拉线绝缘子、UT线夹和拉线地锚（拉线棒和拉线盘）等组成，见图 8-3-9。

2.4.2 普通拉线

普通拉线用于线路的终端杆、转角杆和分支杆处，

主要用来平衡电杆的不平衡荷载。

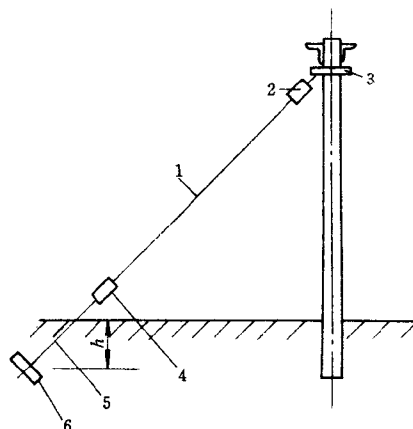


图 8-3-9 拉线结构

1—钢绞线 2—楔型线夹 3—拉线抱箍
4—UT线夹 5—拉线棒 6—拉线盘

2.4.3 人字拉线

人字拉线（也称防风拉线）装于电杆的两侧与线路垂直，是用来加强线路及电杆的抗风能力的。在沿海、山区、平原多风地区及一般郊区的线路，连续直线杆超过10基时宜装设人字拉线。

2.4.4 十字拉线

十字拉线又称四方拉线，一般装在耐张杆的垂直线方向和顺线路方向各两条，以加强耐张杆的稳定性。

2.4.5 弓形拉线

弓形拉线用于受地形和周围环境限制，不能装设普通拉线、水平拉线或撑杆时，可采用弓形拉线，但它的平衡稳定作用比普通拉线的小得多。

2.4.6 V形拉线

V形拉线主要用于架设多层导线的电杆上，增加电杆的抗弯强度，防止电杆的弯曲和倾斜。

2.4.7 水平拉线（拉桩）

当电杆上装设普通拉线妨碍交通或因地形条件不允许，而又不能装设普通拉线时，可装设水平拉线。水平拉线对路面的距离不应小于 5m 。

2.4.8 撑杆

当线路的终端杆、转角杆及分支杆等由于受地形