

供用电节能 实用技术

刘金声 编著

Technique of
Energy Saving in
Electric Power Supply and Consumption



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

要 容 内

供用电节能 实用技术

刘金声 编著

Technique of
Energy Saving in
Electric Power Supply and Consumption



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书结合实际应用,围绕科学节约电能与安全防范的主题,对供用电环节的降损节电、经济运行、可靠供电、无功补偿、负荷预测、总体运营及建筑电气等范畴进行了详细的论述。介绍了供用电节能的新概念、计算方法、具体措施与实例项目,系统诠释了供用电工作中一些常用、又易混淆的技术概念及运行方面的相关知识。为了方便理解、记忆和应用,给出了节电、网损、变损、接地和过电压等概念的纲目图,使读者对相关概念一目了然。

本书内容通俗易懂,实用性强,适合城市电力网、农村电力网、企业变配电所及企业供用电专业的行政管理人员、技术人员、现场运行人员、监理人员、各级节电机构的工作人员,包括对节电感兴趣的非专业人士阅读,也可作为大中专院校电力类专业师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

供用电节能实用技术/刘金声编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2009

ISBN 978 - 7 - 5084 - 5480 - 1

I. 供… II. 刘… III. ①供电—节能②用电管理—节能
IV. TM72 TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 047222 号

书 名	供用电节能实用技术
作 者	Technique of Energy Saving in Electric Power Supply and Consumption 刘金声 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 14.75 印张 350 千字
版 次	2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	39.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

电能是现代化生产的主要动力来源，电能的供应是保证实现社会现代化的必要条件，我国的电能消耗量与日俱增。从我国国情出发，供用电环节的“节能降耗”是实现“节能减排”国策的基础，它必将成为我国转变经济方式、使国民经济有可持续发展的重要手段之一。因此，优化运行管理，减小电能损耗，做好节电工作，保证电能质量，降低运行成本，应该是管理者和工程技术人员的工作重点和首选课题。

作者是一位在生产第一线从事电力运营管理的高级工程技术人员，尤其在中、低压电力网管理方面，有着比较丰富的实践经验。工夫不负有心人，从相关理论出发，在实践基础上，遵循梳理、归纳、分类的集合原则，紧紧围绕运行节能的主题，对降损节电、经济运行、可靠供电等内容，进行了系统地论述，撰写出有特色的实用性读物。并且融会了电力供应侧与需求侧管理的内容，根据市场机制的作用，运用科学理论，对供用电节能方面，提出了有参考价值的技术措施与管理方法。本书中定义了一些新的概念，还给出了接近实际运行状态的、新颖的节电量计算方法与负荷预测法，具有很强的可读性和可操作性，是电力工作者的有益参考书。

张余昌

2008年11月

前言

电能是当今世界最便捷且清洁的能源，是由常规能源转变的二次能源，是社会生产的主要动力，是发展国民经济的物质基础。国民经济工业化水平愈高，对电能的需求量和依靠程度就愈大。电力工业是国民经济的先行产业，供用电管理水平，直接关系到电网的运行状态与对用户的供电状态，直接关系到社会生产效益与国民生活质量。所以，供用电管理就锁定了科学节约电能，可靠、优质、安全与经济供用电能的目标。供用电环节的工作种类繁多，形式千变万化，每位供用电工作者，无论身居何职，概括起来都是围绕这“来无影，去无踪，终不见其形”的“电”的“安全、合格、节省”六个字，奉献着自己的精力。

在市场经济条件下，现代管理与集约经营是相随相伴的一个整体，它是促进企业获得最佳效益的必要条件。集约经营需要依靠现代管理的手段；实施现代管理要有集约经营的机制。这是现代管理工作的精髓。

所谓供用电现代管理，就是在不增加设备投资或增加极少量投资的条件下，运用科学管理技法、调整运行参量、优化运行条件等手段，使供用电处于高质量接近最佳的状态。以较低的网损，供应较多电能，这是节约电能的主流。所以，作为供用电管理人员，除了熟悉供用电设备性能与负荷结构特征外，还应了解运行理论，掌握现代管理方法，不断提高运行管理的水平。

本书从实际出发，结合作者近年在国内、国外学术期刊上发表的相关学术论文所提出针对供用电技术管理方面的一些浮浅见解与实践经验，围绕节约电能、安全防范的主题，比较系统地论述了常用的技术经济指标、运行参量、负荷预测、经济运行、无功补偿、网损管理、降损节电、可靠供电、总体运营质量评价以及建筑电气等内容的供用电节能实用技术。对于经济运行节电量计算，给出了“平均系数法”与“逐点系数法”两种计算方法；给出了变配电所的经济变电率及变电率的经济运行区间与非经济运行区间；在“节电”定义“三效益”原则的基础上，对节约电能概念进行了分析、归纳，分别论述了各类节电的相关措施；给出了新颖、独特、简便、易行的电力负荷预测方法；在见仁见智的网损构成方面，给出了较为完整的构成纲目及相

应的降损节电途径；对“接地”这个应用广、范围大、形式多、易混淆，却关系着人员与设备安危的技术概念进行了论述；对于总体运营质量的评估，提出了“轩轻积”概念，给出了综合评价运营质量优劣的数学计算方法等，形成了较为完整的、有实用性的供用电技术管理理论雏形。

以上本书给出的这些概念及定义，为促进供用电节能范畴的现代管理，在技术上提供了数学依据，为供用电技术的进一步研究提供了基础。

本书在撰写过程中得到了我的老师，中国铁道出版社高级工程师（电力专业教授级）、原副总编辑张余昌编审的支持与帮助，在百忙之中为本书稿进行了缜密的审校，并热情为本书作序，在此深致谢意。

在本书出版之际，谨向在我启学、从业时代，对我传道、授业、解惑的诸师尊长鞠躬。

还要感谢我的夫人，于广瑄女士。她是我完成写作的桥梁。

由于笔者学识所限，讹谬在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

刘星

2008年12月于北京

目录

序

前言

第一章 概论	1
第一节 电力系统	1
第二节 城乡电力网	2
一、城市电力网	2
二、农村电力网	2
第三节 变配电所	3
一、概述	3
二、类型	3
三、结线	4
第四节 相关概念	7
一、设备	7
二、运行	8
三、关于“额定”	9
四、其他	10
本章小结	11
第二章 技术经济指标与运行参量	12
第一节 技术经济指标	12
一、供电量	12
二、用电量	13
三、功率	14
四、网损	15
五、自用电	18
第二节 运行参量	19
一、运行设备参量	20
二、运行技术参量	24
本章小结	33

第三章 负荷预测	34
第一节 概念与原理	34
一、一般概念	34
二、基本原理	34
第二节 负荷构成与特征	35
一、负荷构成	35
二、负荷特征	36
第三节 预测内容与分类	36
一、预测内容	36
二、预测分类	37
第四节 预测过程	37
一、数据调查	37
二、资料处理	37
三、建立模型	38
第五节 预测方法	38
一、经典预测法	38
二、现代预测法	40
三、刘氏预测法	42
本章小结	52
第四章 无功补偿与电压调整	53
第一节 无功补偿	53
一、无功功率	53
二、补偿方式	58
第二节 最佳补偿	62
一、复合补偿	62
二、补偿效益	64
第三节 电压调整	67
一、电压波动	67
二、电压管理	68
本章小结	72
第五章 可靠供电与事故防范	73
第一节 综述	73
第二节 供电质量	73
一、电能质量	73
二、供电可靠性	79

三、减少对用户停电的途径	83
第三节 可靠供电	86
一、继电保护及自动装置	86
二、中央信号与二次回路	93
第四节 事故防范	95
一、绝缘与泄漏	95
二、接地	108
三、防雷	119
四、过电压	123
五、过电流	126
第五节 建筑电气防雷接地	128
一、防雷	128
二、接地	129
第六节 接地纲目	136
本章小结	137
第六章 网损构成与降损途径	138
第一节 综述	138
第二节 网损构成	138
一、技术网损	138
二、管理网损	142
三、网损构成纲目	147
第三节 降损途径	148
一、降低固定网损	148
二、降低可变网损	151
第四节 无功网损	156
一、变压器无功损耗	156
二、电力线路无功损耗	157
本章小结	157
第七章 电能节约与计算方法	158
第一节 节电综述	158
第二节 节电构成	159
一、节电种类	159
二、节电纲目	161
三、运行参量节电比率	162
第三节 计算方法	166

一、供电节电量	166
二、用电节电量	175
三、年度节电量	176
第四节 节能减排小型更改项目实例	177
一、高寒山区轻柴油输送虹吸管路	177
二、电力贯通线机械化养路电源	181
本章小结	183
第八章 运行方式与经济运行	184
第一节 运行方式	184
一、按短路阻抗值	184
二、按系统状态	184
三、按需要功能	184
四、按结线方式	185
第二节 经济运行	185
一、配变经济运行	186
二、配变无功经济运行	191
三、配变综合功率经济运行	194
四、并列变压器经济运行	194
第三节 总体运营质量评价	195
一、运营综述	195
二、评价方法	196
本章小结	199
附图	200
附图 1 抽样电网有功年均负荷曲线(虚线为回归曲线)	200
附表	201
附表 1 交联聚乙烯绝缘/聚氯乙烯护套(XLPE/PVC)(阻燃)电力电缆技术 参数之一	201
附表 2 交联聚乙烯绝缘/聚氯乙烯护套(阻燃)电力电缆技术参数之二	202
附表 3 交联聚乙烯绝缘/聚氯乙烯护套(阻燃)电力电缆技术参数之三	203
附表 4 交联聚乙烯绝缘/聚氯乙烯护套(阻燃)电力电缆技术参数之四	204
附表 5 通用橡套软电缆额定电流	205
附表 6 交联聚乙烯绝缘/聚氯乙烯护套(0.6/1)kV 铜单芯电力电缆技术参数	205
附表 7 架空硬铝绞线技术参数	206
附表 8 各级电网允许电压降	206
附表 9 功率因数速算	207

附表 10	对附图 1 正态回归效果的检验	207
附表 11	年均负荷曲线分布系数	209
附表 12	年总供电量相等的有功年均预测负荷曲线、计划负荷曲线分别对实际 负荷曲线的相容性	210
附表 13	无功补偿率	211
附表 14	并联补偿电容器技术参数	211
附表 15	串联补偿电容器技术数据	212
附表 16	常用自然对数	212
附表 17	常用水平敷设接地体接地电阻速查	213
附表 18	架空导线经济电流密度	213
附表 19	10kV 及以下电力电缆经济电流密度	213
附表 20	三相架空线路功率损失系数和电压损失系数	214
附表 21	(10/0.4)kV 新旧系列配变技术参数	215
附表 22	平均节电系数	216
附表 23	逐点节电系数	217
附录		218
附录 1	电力网计算常用公式	218
附录 2	变配电所运行计算常用公式	219
参考文献		220
跋		221

第一章 概 论

第一节 电 力 系 统

由发电站、电力网与用电设备组成的供用电联合整体，称为电力系统，简称电网。电力系统中发电站生产的电能，通过升压、输送、降压与分配各环节输送到电力用户（简称用户）。电力网是电力系统的组成部分，是包括所有变电、配电（以下简称变配电）所的电力设备和各种电压等级的电线路所组成的统一体，其作用是对电能的转变、输送与分配。

电力系统中发电站生产的电能，首先在变电站经主变压器（以下简称主变）升压到 110 千伏（以 kV 表示）或 110kV 以上。通过高压输电线路将电能送到大行政区的一级降压变电站，在变电站经主变降压至 (35~60)kV，这一阶段称为区域电力网。之后，通过高压输电线路将电能送到较大行政区的二级降压变电所，在变电所经主变降压至 (3~10)kV，这一阶段称为地方电力网。在地方电力网之后有两种形式：一种是经过 (3~10)kV 高压配电线路，将电能直接分送至配电变压器（以下简称配变）供用户使用；另一种是经过 (3~10)kV 高压供电线路将电能送至配电所，由配电所分配到各支线上的配变，再经过低压配电线路将电能供给用户使用。在各配电所之前供电线路组成的网络称为供电网。配电所及之后的高压、低压（以下简称高低压）配电线路和配变组成的网络称为配电网。地方电力网的二级降压阶段，在特殊负荷环境，也有不经过 (3~10)kV 等级，由 (35~60)kV 供电线路直接供至配变，再由低压配电线路将电能供给用户使用的越级变电设置。

在电力系统外，还有诸多电压等级较低、与系统联网和不联网、小型自管的地方电力系统或企业电力系统，行使着独立供电功能。

电力系统中，电能的生产、升压、传输、降压、分配、使用等阶段过程，如图 1-1。

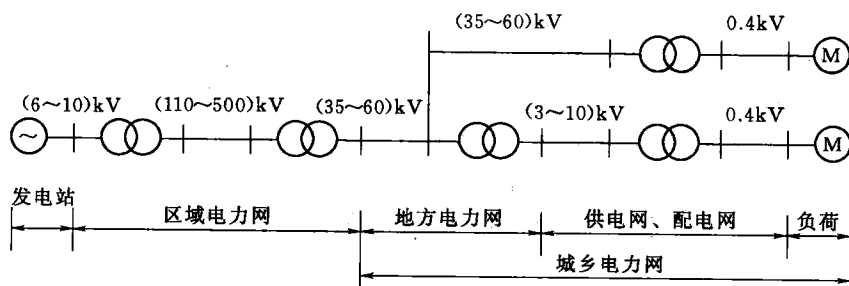


图 1-1 电力系统结构

电能是电力系统向社会生产、生活提供的一种特殊商品。电能生产的显著特点是生产、传输、使用这三大部分的发生与完成是同步的。在电力系统运行中，这三大部分始终是保持着相对的平衡，这也是电能生产的特殊性质。

近年发展起来的超高压直流输电技术,在升压变电站和降压变电所分别增加了整流和逆变设备。使电力系统超常规大功率、低损耗、远距离输电成为现实。随着科学技术的进步,大功率的零损超导输电技术与大功率的无线输电技术亦在试验之中。

第二节 城乡电力网

为了适应社会经济的发展,作为国家先行行业的电力工业,首先得到了迅速发展,使得国民经济的发展有了一个坚实的基础。随着国民经济的蓬勃发展与现代化建设的深入,用电负荷大幅度增长。由于国家产业结构比例的变化,使负荷结构也发生了根本的变化;由于电力设备的制造技术与制作工艺的进步,使电力网的一些主要设备无论是功能结构还是几何形状都发生了显著的变化;再加上管理机制的变革,使经典文献所称的地方电力网与供电、配电(以下简称供配电)网在管理限界方面愈发交融。根据实际运用和具体讨论的需要,本书将地方电力网、供电网、配电网合称为城乡电力网。按照总体供电结构、负荷性质与负荷密度的不同,城乡电力网有城市电力网(简称城网)与农村电力网(简称农网)两种形式。

一、城市电力网

城市电力网是指在一个以非农业用电为主要负荷的城市行政辖区或部分辖区内,对所有(35~60)kV及以下有电气联结的高低压供配电线路以及与其相关变配电设施总和的统称。

国家工业化进程速度的加快,使第二产业和第三产业的产值大幅度增长,也使农村城市化进程加快。随着国民生活水平的提高,生活用电量大幅度增加。这样就促进了城市电力网变配电所数量和容量的扩大。一个城市电力网,一般有十几座、几十座甚至百余座变配电所。城市电力网变配电所,相对农村电力网变配电所而言,具有装机容量大、供电半径短、负荷密度大、用电负荷季节变化幅度小、用电负荷等级高的特点,这就决定了其运行的特殊性。

二、农村电力网

农村电力网是指某级以农业用电为主要负荷的非城市行政辖区内,对所有(35~60)kV及以下有电气联结的高低压供配电线路以及与其相关的变配电设施总和的统称。

随着国家工业化进程速度的加快,农业现代化速度必然加快,第一产业产值大幅度增加,农村生产和生活水平也相应随之提高。这样就使农业用电量有了大幅度的增加。为了适应这种用电形势,农村电力网在规模和结构上也得到了扩大和加强。

农村电力网变配电所与城市电力网变配电所相比,具有规模较小、容量较小、负荷密度较小、供电半径大与用电季节性强的特征。

电力系统的运行质量取决于城乡电力网,城乡电力网的运行质量则取决于变配电所,变配电所的运行质量就是供用电质量,供用电质量直接关系着节能状态。所以,变配电所的运行质量是电力网运行质量的基础。鉴于电能生产的特殊性质,就使变配电所的运行显得格外重要。

第三节 变 配 电 所

一、概述

城乡电力网中一组集中设置并有电气联结的供电设备，具备相关变配电整体功能，使馈电质量达到相关标准，作为商品电力可直接供给用户使用的一个交流电能供应设施环境，统称为变配电所。通俗而言，变配电所就是一处将电力半成品加工为合格成品并销售给用户使用的生产企业。其中，主结线图上有两个或两个以上标称电压等级的供电设施环境称为变电所；主结线图上只有一个标称电压等级，即母线上无主变的供电设施环境称为配电所。在城乡电力网，有的变配单立，即变电与配电单独设立；有的变配兼立，即变电与配电共同设立，在本书中也统称为变配电所。

变配电所不但是一个供电设施环境的名称，也有电力基层生产企业机构的含义，尚有供电所管辖数座变配电所的行政设置。当作为电力基层生产企业机构时，也是一处包括其供电辖区内，有电气联结的高低电压配电线路以及与其相关的变配电设施总和的统称。在城乡电力网内，一般设有 $(35\sim 60)\text{ kV}/(3\sim 10)\text{ kV}/0.4\text{ kV}$ 电压等级供电设施环境的是变电所，设有 $(3\sim 10)\text{ kV}/0.4\text{ kV}$ 电压等级供电设施环境的是配电所。城乡电力网变配电所的结线结构，如图 1-2。

在一个城乡电力网内，还包含有相当数量的企业自管型变配电所，如钢铁、化工、交通运输及特种行业的变配电所。

二、类型

变配电所按结构形式可分为室外式、室内式、地下式和移动式四种类型。按值班方式可分为无人值班与有人值班两种类型。无人值班变电所一种是自动化水平较高，调度人员可通过远动装置对变电所实施“三遥”（遥测、遥信、遥控）操作的变电所；另一种是设备量少，结线简单，无需设值班人员的小型变电所。

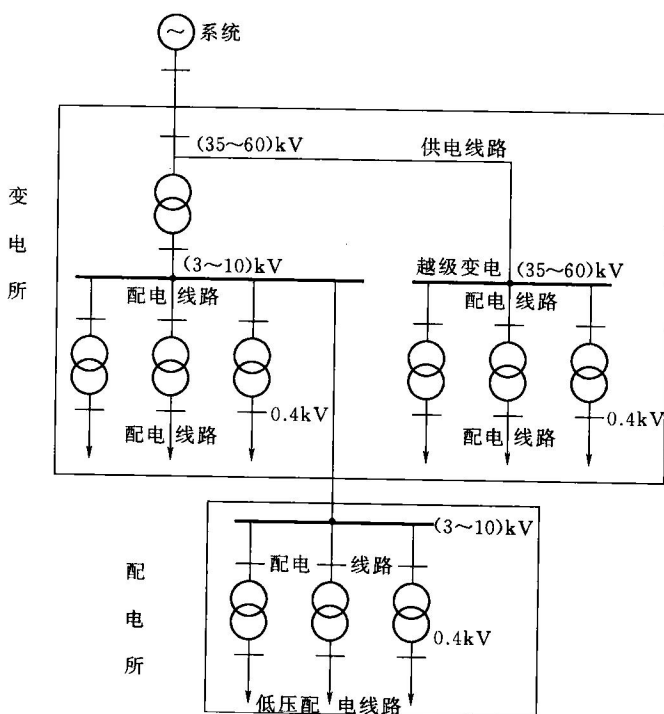


图 1-2 变配电所结线结构

1. 室外式

变压器、断路器、互感器等主要高压设备均安装于室外，仪表、继电保护装置、直流电源及部分低压配电装置装于室内的变电所。其特点是占地面积大，但建筑面积小，受环境污染影响较严重。由于空间充裕，在无特殊情况的条件下，电压等级较高的变电所大都采用室外式设计。这也是变电所的常规设置。

2. 室内式

变压器、断路器、互感器等主要高压设备均采用室内型，连同所有其他电力设备，均安装于室内的变电所。其特点是占地面积及占用空间都较小，但建设投资大，不受环境污染的影响。适用于城市负荷密集与易受污染的地区。由于受空间距离的限制，室内变电所的电压一般不超过 110kV。

3. 地下式

高压设备均采用全封闭型，变压器为干式树脂绝缘型。电力设备安装在大型建筑物地下室内的变电所。其特点是不占用地面空间，不受自然环境的影响，但建设投资很高。适用于建筑物密布、人口密集、负荷量大的城区。

4. 移动式

主要设备安装在可移动的车辆上，通常容量不大，设备简单，使用灵活。多用于为重要用户的临时供电。

还有，根据使用规模，将发电机组、变压器、配电装置安装于列车或拖车上的发电车，其设备比较简单，但功能较为齐全，使用灵活性大。多用于设备检修、事故现场、灾害救援、大型社会活动及工地施工等临时供电。

三、结线

(一) 单线系统结线

为便于变配电所设备的运行、检修与安全操作，根据电力设备的实际设置，以一次设备为主，将所内高压设备之间的电气联系，按标准符号以单线形式绘制，并对主要设备做功能及运行编号标识的结线图，称为单线系统结线图。也称一次单线系统结线图，简称一次系统图。它实际就是变配电所的主结线图。

随着科学技术的发展，一般将一次系统图制成可模拟操作，以立体符号表示或光电联锁形式的大型图板。这样更有助于设备的运筹与安全的检修。实际运行中，通常称为模拟系统图。它已是变配电所运行不可缺少的一项技术设施。

(二) 主结线

变配电所主要一次设备组成的变配电系统电路，称为变配电所的主结线。包括高压母线、主变、断路器、隔离开关、互感器以及电线路的连接方式。变配电所的主结线根据供电性质及用途有不同的形式。

1. 单母线式

单母线式结线有单母线不分段与单母线分段两种形式。单母线不分段式结线，如图 1-3 (a)。其特点是设备少、结线简单清晰、操作方便、投资费用低，但运行可靠性较差。当母线和母线侧隔离开关检修或母线上隔离开关发生故障时，会造成大面积停电。这种结线方式适用于对用电可靠性要求不高，容量不大的配电所。

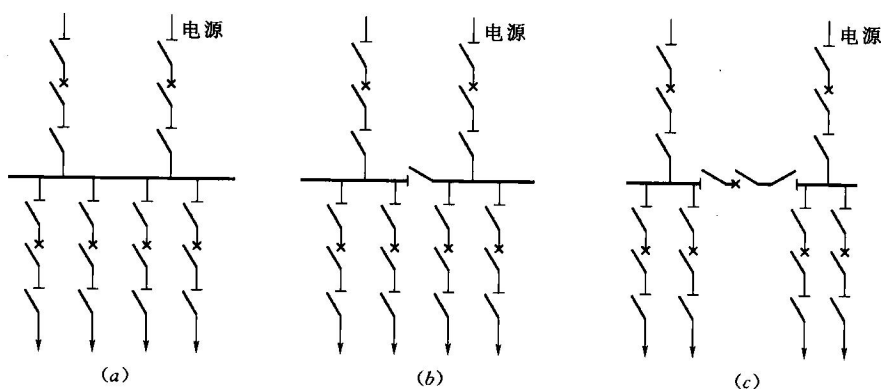


图 1-3 单母线式接线

(a) 单母线不分段式；(b) 单母线分段式；(c) 单母线分段式

单母线分段式接线克服了单母线不分段式接线的缺点。这种接线包括以隔离开关分段的单母线式，如图 1-3 (b) 和以高压断路器分段的单母线式，如图 1-3 (c)。这两种形式的单母线分段接线，适用于容量较大、对供电可靠性要求较高的配电所。

2. 单母线加旁路母线式

单母线加旁路母线式接线适用于进出线回路较多的变电所，如图 1-4。这种接线投资费用较高，但供电灵活性优于单母线式接线。当线路断路器故障或检修时，可通过母线侧其他线路断路器，经旁路隔离开关向用户供电。

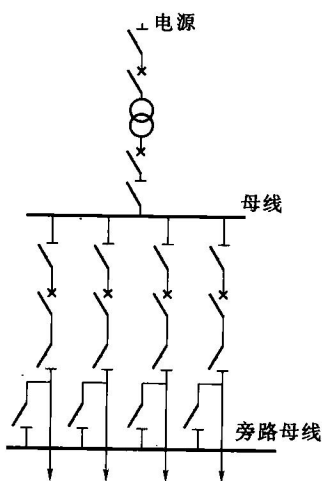


图 1-4 单母线加旁路母线式接线

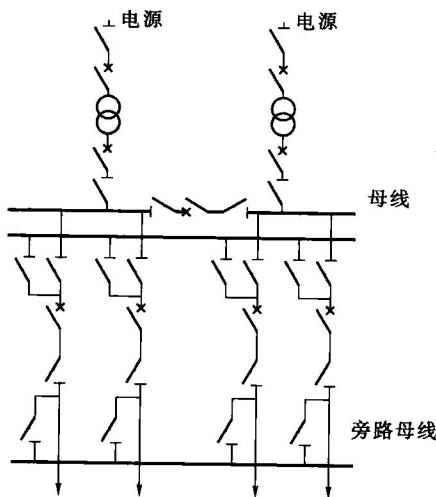


图 1-5 双母线加旁路母线式接线

3. 双母线式

双母线接线有双母线不分段、双母线分段与双母线加旁路母线三种形式。双母线加旁路母线式接线，如图 1-5。双母线接线的供电可靠性较高，适用于进出线回路较多、容量较大、对供电可靠性要求较高的变电所。加旁路母线的接线方式，占地面积与投资较大，操作较复杂。但是与提高供电可靠性的效益相比，还是属于超值投资。

4. 单元结线

所谓单元结线,如图1-6。就是各单元的电气元件串联连接,其间无横向联系的结线。包括线路—变压器单元结线、发电机—变压器单元结线和变压器—线路单元结线。发电机—变压器单元结线、变压器—线路单元结线多用于发电厂与有自备电厂的大宗电力用户;线路—变压器单元结线多用于降压变电所或企业自管变电所。

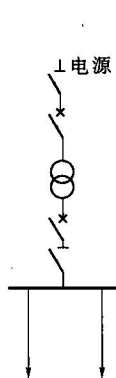


图1-6 单元结线

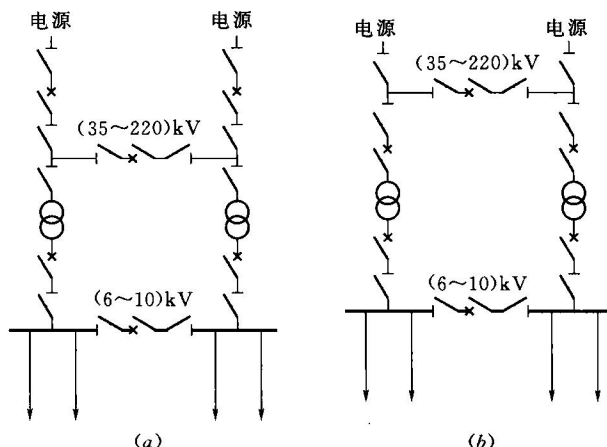


图1-7 桥式结线

(a) 内桥式结线; (b) 外桥式结线

5. 桥式结线

桥式结线是在单元式结线的基础上发展而来。将两个“线路—变压器单元”通过一组开关连在一起称为桥式结线。根据开关的联结位置又有“内桥”与“外桥”两种,即联系桥线位于断路器与内侧隔离开关(相连主变一次侧)之间的结线为内桥式,如图1-7(a);联系桥线位于断路器与外侧隔离开关之间的结线为外桥式,如图1-7(b)。

内桥式结线的优点是设备比较简单,运行的灵活性较好。引出线的切除与投入较方便,还可采用备用电源自动投入装置;缺点是当主变检修或故障时,需要切断一路电源和主变两侧的隔离开关。然后,再根据需要投入线路开关。这样操作步骤较多,继电保护装置也较复杂。所以,内桥式结线一般适用于故障较多的长线路与主变不需经常切换的运行方式。

外桥式结线的优点是在主变检修或故障时的操作比较简便,继电保护装置也较为简单;缺点是当主变开关外侧的电气设备发生故障时,将造成大面积停电。当主变倒换电源操作时,需要先停主变。对系统而言,运行的灵活性较差。所以,外桥式结线一般适用于较短的线路与主变按经济运行需要经常切换的变电所。

(三) 电源引入方式

变配电所的电源引入,按用户用电性质的不同而采取不同的结线方式。它不属于变配电所主结线范畴。

1. “π”形结线

当系统以环路或双回路向用户供电时,把系统的环路打开引入,以用户变电所的母线作为系统环路的一部分,这样,系统的负荷电流通过用户变电所的母线再流向系统。这种