

苑
舜
韩
水
编
著

P
EIDIANWANGWUGONGYOUHUA
WUGONGBUCHANGZHUANGZHI

配电网无功优化及 无功补偿装置



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



人民邮电出版社

POST & TELECOM PRESS

北京市丰台区成寿寺路1号

100071 邮政编码

010-67606588 电话

010-67606208 传真

http://www.ptpress.com.cn 网址

应用光学与像质评价

无功孙信编著



ISBN 7-113-07111-3



P
EIDIANWANGWUGONGYOUHUA
WEIYONGYANZHONGYUAN. PEIDIANZHONGYUAN

配电网无功优化及 无功补偿装置

苑舜 韩水 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书从配电网规划入手,讲述了无功的重要性及配电网无功的优化分布。同时,通过对无功补偿装置的分析,阐明了无功补偿装置的应用前景和对配电网节能降耗的意义;并通过对现有无功补偿装置结构和原理的叙述,提出无功补偿装置的设计方法和优化原则。本书对无功补偿装置的试验和调试在现场应用、性能检验和安装进行了介绍,最后从经济角度进行比较并提出无功补偿量的节能效果。

本书共分六章,包括绪论、电力系统无功补偿基本概念、配电网无功补偿优化、配电网无功补偿装置的种类、配电网无功补偿装置的设计与优化、无功补偿装置的现场安装与装置测试等内容。

本书可供电力系统配电工作技术人员、配电系统设计和管理人员、设备管理人员参考,也可作为高等院校相关专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

配电网无功优化及无功补偿装置/苑舜,韩水编著.-北京:中国电力出版社,2003

ISBN 7-5083-1668-1

I. 配… II. ①苑…②韩… III. 配电系统-无功补偿-装置 IV. TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 056274 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

北京通天印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003年10月第一版 2003年10月北京第一次印刷
850毫米×1168毫米 32开本 9.625印张 255千字
印数 0001—3000册 定价 19.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

随着我国经济发展和国际化能源紧张局势的加剧，加强电能质量和节能降耗管理已成为国家政策中的重要内容。配电网无功的合理分布对提高电网的电能质量和节能降耗的影响十分重要，这其中采取无功补偿方法提高功率因数、降低线损等都是行之有效的措施。

按电网无功补偿方式可分为串联补偿和并联补偿，配电网采用并联补偿。并联补偿方法又分电容器组补偿、调电感补偿、调相机补偿和移相补偿等。

本书从六个方面对无功补偿优化及无功补偿装置的设计优化进行分析。第一章对配电网的结构、网络规划、技术原则以及运行电压现状进行了全面分析和论述，从而可以使读者对无功补偿及其装置在深入了解之前，对配电网情况有个基本了解。第二章对配电网无功补偿基本概念进行介绍，其中重点对系统稳定、电能质量和经济运行方面进行论述。第三章对无功优化理论进行全面阐述，并对无功优化的具体参数确定方法进行介绍，同时对矢量控制的应用进行了分析。第四章介绍了现有无功补偿装置的种类和技术，重点介绍了静止无功补偿装置的工作原理和结构。第五章对无功补偿装置的设计进行全面的论述，本章不但对同种类的无功补偿装置进行了对比分析，而且从配电网的角度阐明如何设计和优化无功补偿装置，并对多种无功补偿装置的设计进行全面的分析。第六章对无功补偿装置安装前后的试验及调试进行介绍。第六章对无功补偿装置安装后的效果从经济分析角度进行评估。目的是希望致力于电力节能工作的科技工作者及无功补偿设备开发人员能对配电网无功补偿的需求和无功补偿装置全面了解，并能由此推动我国无功补偿装置的研究向实用化发展的进

程。

本书中所列许多无功补偿装置的设计思路来自苑文叔教授的一些研究项目，此书也是为缅怀他生前在此领域做出的成绩和为实现他生前想写此书的宿愿而撰写的。

此书撰写过程中得到多方帮助和支持，在审稿过程中，许多老师和同仁提出过许多宝贵意见，作者在此一并表示感谢。

编者

2003.5

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 配电网的基本概念	1
第二节 无功补偿及电压调整原则	5
第三节 我国城市电网运行电压现状分析	7
第二章 配电网无功补偿的理论基础	10
第一节 配电网运行时的功率因数	10
第二节 无功补偿	20
第三节 无功补偿的经济效益	32
第三章 配电网无功优化理论基础	37
第一节 无功补偿容量的确定	37
第二节 补偿容量和位置的优化	56
第三节 无功补偿的矢量控制	83
第四章 配电网静止无功补偿	99
第一节 电容器无功补偿	99
第二节 静止无功补偿装置	109
第三节 采用全控型器件的静止无功发生器 (SVG)	128
第五章 配电网无功补偿装置的设计与优化	143
第一节 配电网高压无功调节装置设计与优化	143
第二节 配电网低压无功补偿装置的设计与优化	217
第三节 配电网低压用户网的无功补偿	249

第六章	无功补偿装置的有关试验	278
第一节	试验和检验项目	278
第二节	无功补偿装置试验设备	287
第三节	现场试验仪表简介	290
第四节	以 JBJK 型监测保护节能控制装置为例 介绍具体环境考核试验	293
第五节	配电网无功补偿的最佳配置	296
参考文献	300

第一章 绪论

第一节 配电网的基本概念

一、配电网的分类

电力系统中电源来自发电厂，并通过高压或超高压输电网络传送到负荷侧，然后由电压等级较低的网络把电能分配到不同电压等级的用户。这种在电力网中主要起分配电能作用的网络就称为配电网，如图 1-1 所示。

配电网按电压等级可分为高压配电网（35 ~ 110kV）、中压配

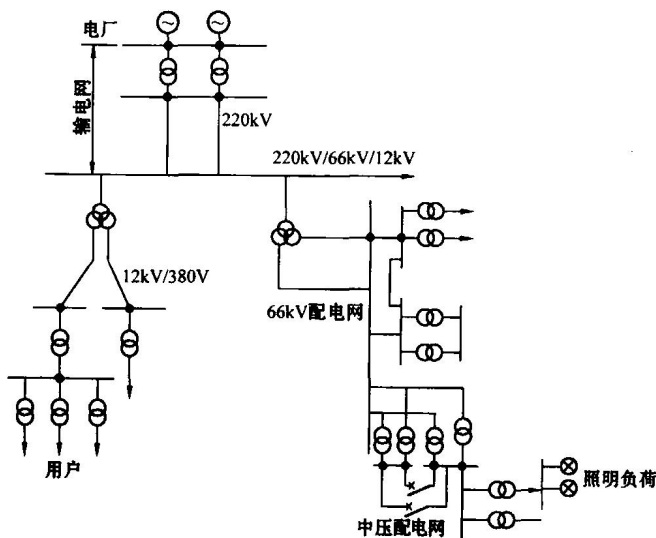


图 1-1 输电网与配电网网络图

电网（6~10kV）和低压配电网（220~380V）；按供电区的功能可分为城市配电网、农村配电网和工厂配电网。

从投资角度看，我国与国外先进国家的发电、输电、配电投资比率差异很大，国外基本上是电网投资大于电厂投资，输电投资小于配电投资。我国刚从重发电轻供电状态中转变过来，而在供电投资中，输电投资大于配电投资。从我国城网改造之后，将逐渐从输电投资转入以配网建设为主。

二、配电网的接线方式

这里主要介绍 10kV、6kV 的配电网。配电网一次接线图可采用放射式接线、树干式接线及环网式接线方式，其形式主要取决于对供电可靠性的要求。

1. 放射式接线

(1) 单回路放射线式接线。如图 1-2 所示，这种接线方式的优点是线路敷设简单，操作维护方便，缺点是可靠性较低，某段线路故障时，该段线路上的设备都要停电，影响面较大。

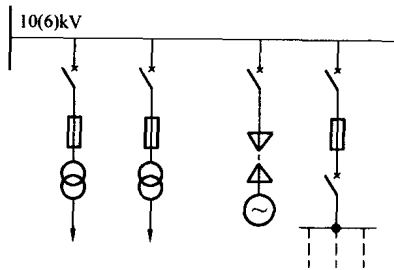


图 1-2 单回路放射式

(2) 有公共备用干线的放射式接线。如图 1-3 所示，如果为了提高单回路放射式接线的供电可靠性，可采用有公共备用干线的放射式接线方式。这样，除了具备单回路放射线式接线的优点，另外因有了备用线路，还能保证在电源发生故障时对负荷供电，因而一般可供二级负荷，若备用电源可靠也可供给一级负荷。

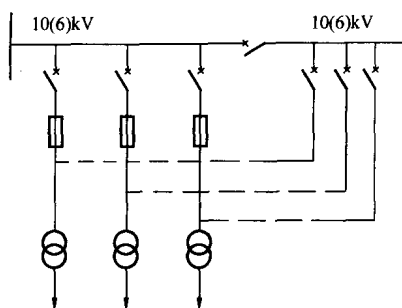


图 1-3 具有公共备用干线的放射式

2. 树干式接线

(1) 单回路树干式接线。如图 1-4 所示从总降压变电所引出干线，所有的负荷都从该干线接出的分支线直接得到供电。由于总的引出线少，可以减少设备的数量及投资，线路架设简单。其缺点是供电可靠性较差，且当干线故障，全干线上的负荷全部停电，一般仅用于对三级负荷供电。每条干线引出的分支（变压器的台数）约 6 条，总容量不超过 2000kVA。

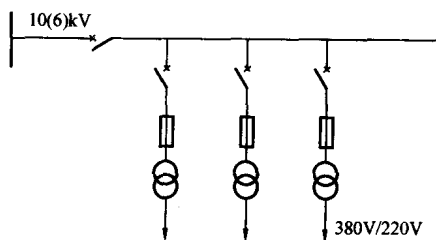


图 1-4 单回路树干式

(2) 双回路树干式接线。双回路树干式接线可分为单侧供电双回路树干式（图 1-5）和双侧供电双回路树干式（图 1-6）两种。双回路树干式供电的可靠性比单回路树干式供电的可靠性要高，但投资要增加，接线方式更复杂些。对于双侧供电双回路树干式，由于多增加一组电源，供电可靠性更高，可以满足负荷的

要求。

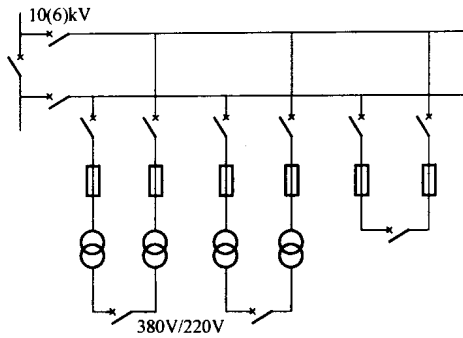


图 1-5 单侧供电双回路树干式

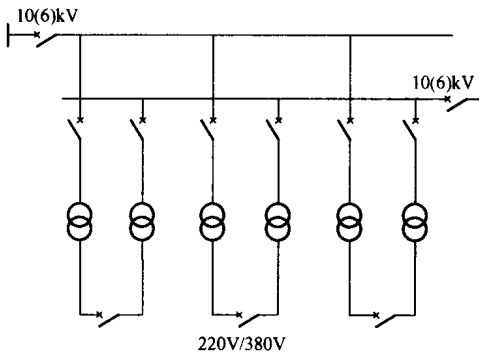


图 1-6 双侧供电双回路树干式

3. 环网供电方式

如图 1-7 所示，在几种接线方式里，环网供电方式可靠性最高。它可以工作在开环或闭环的状态，不论哪一段出现故障，都可以保证非故障段不停电而继续运行，但接线方式、保护装置及整定配合比较复杂。

具体采用哪种接线方式必须根据实际情况来确定。长期以来，我国的配电网接线形式大多数采用以架空线路为主的放射式供电方式，这种方式一旦某线段故障，影响面较大，且这种网络

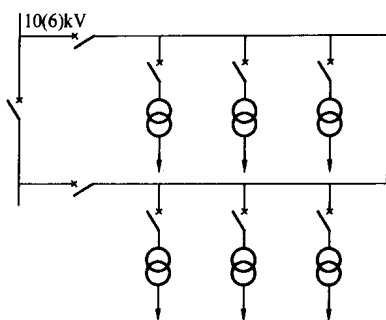


图 1-7 环网供电方式

结构的应变能力差，不适合自动化发展的要求。现不少地方已逐步改为电缆线路与环网的供电方式，这种方式可以提供实现配网自动化的条件，提高供电可靠性。当然，对于一些变电所，还应根据对供电可靠性的要求、地理环境、造价合理等条件选择其他接线方式。

第二节 无功补偿及电压 调整原则



1. 配电网无功补偿的原则

配电网无功补偿的原则为：

(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，可采用分散和集中补偿相结合的方式，接近用户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处的电容器应能自动投切。

2. 电压调整

配电网电压调整的综合措施为：

(1) 无功就地平衡；

(2) 充分利用改变发电机的端电压和变压器分接头进行调压；

(3) 在高峰和低谷负荷时，保证线路末端电压偏移在允许范围内。我国国家标准 GB 12325—1990《电能质量——供电电压允许偏差》中规定：

1) 35kV 及以上供电电压正负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 10%；

2) 10kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$ ；

3) 220V 单相供电电压允许偏差为 $+7\%$ 与 -10% 。

GB 12325 是我国 1990 年颁布的国标。随着高新技术的发展，城市电网电能用户对电压允许偏差的要求越来越高，因此，在城网规划时，电压允许偏差取值往往高于上述要求。农村用电一般相对要求较低，可参照上述最低要求执行。

为了了解配电网整体规划及无功调节的作用，下面介绍配电网规划内容。一般配电网规划应包括以下主要内容：

(1) 分析配电网布局与负荷分布的现状；

(2) 负荷预测（包括电量与功率预测）；

(3) 确定规划各期的目标及电网结构原则和供电设施的标准
化；

(4) 进行电量和电力（含有功、无功功率）平衡，提出对供电电源点的建设要求；

(5) 确定变电所的布点和容量；

(6) 分期对配电网结构进行整体规划，确定分期建设的工程
项目；

(7) 确定无功补偿容量及其布局；

(8) 确定调整度、通信及自动化等方面的规模和要求；

(9) 估算各规划期需要的投资、主要设备的规格和数量；

(10) 估算各规划期末将取得的经济效益和扩大供电能力后的
的社会经济效益；

(11) 绘制各规划期末配电网规划地理接线图(包括现状图)；

(12) 编制规划说明书。

电能从发电厂送到用户要经过输电、变电和配电等环节，当电流通过这些环节时要产生有功功率和无功功率损耗。有功功率和无功功率损耗与用户的有功及无功负荷之和即为电网总负荷。电网必须有相等的有功电源和无功电源来与电网总负荷平衡。有功电源只能集中在发电厂，而无功电源既可由发电厂供给，也可根据就地平衡原则装设在电网各负荷点。但是，如何确定无功电源是个重要而复杂的问题，它跟电网的电压质量、网损和投资直接相关。

目前我国城市电网的电压质量不高，原因是多方面的，现列举如下：

(1) 因为电力负荷中异步电动机和中小容量变压器占有很大比重，它们消耗的无功功率约占全国无功负荷的 80% ~ 90%；同时，架空线也消耗一定的无功功率；

(2) 由于管理上欠严格，有些电网自然功率因数过低，而有些电网的功率因数又过高；

(3) 电网结构不合理、导线截面太小和无功潮流不合理等。

总之，无功电源不足（或过剩）和分配不合理是造成电压质量低的根本原因。因此，在编制电网远景规划时，应重视无功电源规划。本章着重讨论无功装置及补偿方式。

第三节 我国城市电网运行

电压现状分析

一、运行电压现状

目前，我国城市电网供电能力不足，网架薄弱，可靠性较差，不能适应当前的经济发展，同样，电网的电压指标也不能令人满意。全国电网线损率居高不下，城网线损率高（1994 年达 8.7%）是其重要原因。有相当数量的城网电压没有达到部颁标准，个别城市 220V 电网用户电压甚至不到 180V，严重影响家用电器的安全。因为负荷中最多的是异步电动机，它对电压变化十分敏感。当电动机输出功率一定时，其定子电流、功率因数和效

率随供电电压而变。电压下降时，定子电流急剧增加，这是由于异步电动机的最大转矩与供电电压的平方成正比，比如电压下降 $1/2$ ，则电动机转矩只有 $1/4$ 。所以当电压下降时，电动机转差率增大，而使定子、转子电流都急剧增大，从而使电动机温度上升、效率降低和功率因数变坏，严重时烧坏电动机。反之，当供电电压升高时，电动机、变压器等有铁芯的电气设备，铁芯中的磁通密度增大，逐渐趋于饱和，从而导致激磁电流与铁芯损耗大大增加，使设备过热，效率下降。

对于照明设备（如白炽灯），当电压下降时，发光效率将下降；当电压升高时，其寿命将缩短。对于电热设备，电压过高会烧坏设备，电压过低则会达不到所需温度。

可见，由于电压不合格而产生的后果是严重的，对社会和居民都将带来经济损失。随着科技的发展，人民生活水平的提高，家用电器的数量越来越多，档次越来越高，对电能质量的要求也越来越高。同时，随着我国《电力法》的实施和电力市场的逐步形成，将会有力地促进电力企业采取有效措施来提高电能质量。

降低网损的意义十分重大，我国现在装机容量已超过2亿kW，它的1%就是一座200万kW的巨型发电厂。对于一个城市而言，这座电厂所创造的财富、对城市的发展和进步所起的作用是不言而喻的。可是，目前以几倍于这个电厂容量的电能白白地消耗在全国各级电网中（其中一部分是必不可少的），不但不能创造财富，而且造成环境污染。

目前存在的电压质量问题是多种多样的，因此，必须多方采取措施进行“综合治理”，做好城网无功电源配置规划，在规划基础上实现无功—电压优化控制，并制定严格的管理制度等，从规划到运行管理，层层重视，电压质量必定会大大改观，城市用户则不必再自装稳压器。

二、城市电网电压调整及其措施

1. 电压调整

由负荷的电压静态特性研究可知，无功负荷变化引起的电压

波动远较有功负荷的影响大。城市电网普遍存在电压偏低或过高问题，其原因除了电网结构不合理和导线过细外，主要是由于无功电源不足或过剩，所以必须采取有效的调压措施，以提高电压水准。调压措施包括无功补偿和无功的合理分配。

2. 其他调压措施

(1) 带负荷调压变压器调压。在正常运行条件下切换变压器分接头，即改变变压器的变比，达到升高或降低二次侧母线电压的目的。但是当电网无功电源不足或过剩时，不能靠改变变压器分接头来使电压符合要求，因为它既不能产生无功又不能吸收无功，只能改变系统中的无功潮流。

用带负荷调压变压器调压是普遍采用的方法，随着调压开关制造技术的提高，使用会更广泛。

(2) 无功补偿和调压变压器综合调压。这类补偿装置已经在配电网中得到应用。根据电压和功率因数两个参数作综合分析后，判断是投切电容还是调变压器分接头，还是两者都需调整，就可以取得较满意的结果。

(3) 适当增大导线线径。不少老城网都因导线线径小而“卡脖子”，所以，加大线径是城网改造的重要内容之一。对于新架设的线路的导线线径要考虑一定的裕度，尤其对中、低压线路，因其承受能力小，容易出现过负荷。

(4) 装设并联电抗器。城网的送配电线路不很长，不会像远距离输电线路那样出现严重的电压升高。但是，城网中电缆线路多、充电电流大，而且有并联电容器补偿的用户可能向电网送出无功。因此，在低负荷时因城网电压升高而烧坏用电设备的亦不少见。经过分析计算，确有必要时采用并联电抗器补偿，吸收电网中的剩余无功。