

GONGPEIDIAN XITONG DE
SHIGONG
YUNXING HE WEIHU

供配电系统的 施工、运行和维护

芮静康 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

供配电系统的 施工、运行和维护

芮静康 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共分七章,包括概述,供配电系统的施工要点,架空线路和电缆的敷设,变压器安装及变配电室的施工,电气设备的安装和施工,防雷与接地装置的安装和施工,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。

本书可供电工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实践教学中参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

供配电系统的施工、运行和维护/芮静康主编. —北京:中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-7066-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 060973 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 9 月第一版 2008 年 9 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 14.5 印张 368 千字

印数 0001—3000 册 定价 30.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

编 审 委 员 会

主 任	芮静康			
副主任	余发山	王福忠	王海星	
委 员	曾慎聪	周铁英	席德熊	路云坡
	车振兰	周德明	姜燕燕	谭炳华
	童启明	方 酋	李欣荣	周玉凤
	王 梅	胡渝珏	邵佳依	

主 编	芮静康			
副主编	张燕杰	耿 立		
编 者	张燕杰	耿 立	杨晓玲	陈晓峰
	王海星	郑 征	王少华	谭炳华
主 审	余发山	王福忠		



供配电系统的施工、运行和维护是实际操作的问题，需要有一定的理论知识和丰富的实际经验。施工、运行和维护，施工是关键，施工质量不好，给运行带来后患；施工质量不好，故障率就高，也给维护带来麻烦。所以，保证施工质量是非常重要的。

随着电工队伍的扩大，加入了许多年轻同志，其中相当多的同志尚缺乏经验，操作技能水平不很高，为了帮助这些同志尽快地胜任工作，特编写这本书，有助于年轻同志操作技能水平的提高。实际经验告诉我们：会维修的往往不一定会施工，而施工技能高的同志，一般来说都能胜任维修工作，可见施工操作技能提高的重要性。当然施工和维修技能也各有其特殊性。所以，希望年轻同志刻苦学习和锻炼，使施工、运行和维护的技能水平得到全面的提高。

本书内容实用、可操作性强、文字通俗易懂、没有难懂的计算公式、没有复杂的电路图。全书共分七章：第一章绪论，第二章供配电系统的施工要点，第三章架空线路和电缆的敷设，第四章变压器安装及变配电室的施工，第五章电气设备的安装和施工，第六章防雷与接地装置的安装和施工，第七章供配电系统的运行和维护。第一、二章是属于综述性质的，第三、四、五、六章叙述的都是施工，可见已把“施工”放在了重要位置，以主要的篇幅谈施工。叙述的内容，相当部分是根据“规范”来编写的，“规范”和国家标准起同等效力，不符合标准和规范的产品，为不合格产品，不准出厂；不符合标准和规范的施工工程项目，为不合格的工程项目，不予验收通过；施工时凡规范规定的，必须遵照执行。第七章，以一定的篇幅介绍了变压器、输配电线路、变配电室、高低压配电装置、电动机、接触

器、继电器、照明系统的运行和维护。

本书由芮静康任编审委员会主任、并兼任主编，由余发山、王福忠、王海星任副主任，由张燕杰、耿立任副主编，由余发山、王福忠担任主审，其他编作者、详见编审委员会名单。

本书在出版过程中得到出版社的领导和编辑同志的大力支持，在编写过程中得到许多专家、教授和工人师傅的大力帮助，在此一并表示深深的谢意。

由于作者水平有限、书中错漏之处在所难免，请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2008年5月1日于北京

目 录

CONTENTS



前言

第一章 概述	1
一、动力系统、电力系统、电力网、配电系统	1
二、电力负荷	2
三、功率因数的提高	4
四、名词术语	9
第二章 供配电系统的施工要点	17
第一节 供配电系统的施工内容	17
一、架空线路和电缆敷设施工内容	17
二、变压器的安装和变配电室的施工内容	18
三、低压配电系统的施工和用电设备的安装施工内容	19
四、防雷接地装置的施工内容	21
第二节 供配电系统的施工控制要点	21
一、架空线路及变压器安装的施工控制要点	21
二、配电柜的安装、电缆敷设、母线安装的施工控制要点	23
三、照明系统的施工控制要点	29
四、用电设备安装的施工控制要点	35
五、防雷、接地装置安装的施工控制要点	40
第三章 架空线路和电缆的敷设	42
第一节 架空配电线路的敷设	42
一、架空线路的一般要求及规定	42
二、电杆基坑的施工	56
三、电杆组立施工	59
四、拉线安装	63
五、导线架设	68
六、导线连接	71
七、接户线安装	72

第二节 电缆的敷设	75
一、电缆敷设前的准备	76
二、电缆敷设	78
三、电缆终端和接头的制作	95
第四章 变压器安装及变配电室的施工	105
第一节 变压器的安装	105
一、变压器的种类及典型技术数据	105
二、变压器安装前的准备工作	116
三、电力变压器的安装	123
第二节 变配电室的施工	126
一、电站的施工	127
二、配电室的施工	134
第五章 电气设备的安装和施工	156
第一节 高压电器安装和施工	156
一、高压电器的技术数据	156
二、断路器的安装和施工	173
三、其他高压电器的安装和施工	184
第二节 低压电器安装和施工	191
一、低压电器的技术数据	191
二、低压电器的安装和施工	217
第三节 旋转电机的安装和施工	226
一、旋转电机的技术数据	226
二、电机的安装和施工	281
第四节 照明系统的安装和施工	288
一、照明系统的技术数据	288
二、照明系统的安装和施工	301
第六章 防雷与接地装置的安装和施工	309
第一节 防雷装置的安装和施工	309
一、建筑防雷	309
二、防雷装置	321
三、防雷击电磁脉冲	324
第二节 接地装置的安装和施工	328

一、电气装置的接地	328
二、特殊接地	337
三、智能建筑的接地	345
第三节 接零	366
一、接零的定义	366
二、接零的有关要求	366
三、低压配电系统的接地形式	368
四、低压配电系统接地故障保护的要求	369
五、零线 (N)、保护线 (PE) 及保护中性线 (PEN) 的 选择	370
六、接地、接零保护中应注意的问题	373
第七章 供配电系统的运行和维护	374
第一节 变压器的运行和维护	374
一、变压器的检查周期	374
二、变压器巡视检查内容	375
三、变压器的运行	376
四、变压器的故障和修理	383
第二节 输配电线路的运行和维护	390
一、输配电线路的运行	390
二、输配电线路的故障和检修	394
第三节 变配电室、高低压配电装置的运行和维护	404
一、变配电室的运行和值班	404
二、高低压配电装置的运行	408
三、高低压配电装置的故障与检修	415
第四节 用电设备的运行和维护	426
一、电动机的运行和维护	426
二、接触器、继电器的运行和维护	441
三、电气照明的常见故障与维护	448
参考文献	452



概 述

“供配电”是一个热门的话题，它是属于强电范畴的，所以对其技术的复杂性有不同的看法，但是，对其重要性看法是比较一致的。无论是盖楼房、建工厂、新建车站、扩建机场……，也就是说无论是什么工程，“供配电”都必须先行，也就是常说的“电力先行”。

供配电系统的建设必须贯彻执行国家的技术经济政策，做到保障人身安全，供电可靠，技术先进和经济合理。必须从全局出发，统筹兼顾，按照负荷性质、用电容量、工程特点和地区供电条件，合理确定系统方案。应根据工程特点、规模和发展规划、做到远近期结合，以近期为主。应采用符合国家现行有关标准的效率高、能耗低、性能先进的电气产品。并且应符合国家现行的有关标准和规范的规定。

一、动力系统、电力系统、电力网、配电系统

电力系统和动力部分的总和称为动力系统。它包括发电机、变压器、电力线路、用电设备连在一起的电力系统和锅炉、汽轮机、热力网和用热设备、水库、水轮机以及原子能电厂的反应堆、风力发电机等组成的动力部分。

动力系统也可看成由以下两类元件连接而成：

(1) 变换元件。其主要任务是将一种形态的能量变换为另一种形态的能量，如锅炉、汽轮机、水轮机、发电机、变压器、电动机、工作机械（水泵、风机、机床等）、照明及家用电器、整流器、逆变器和变频器等。

(2) 输送元件。其主要任务是输送能量，如架空电力线路、电缆线路、发电厂或变电站的配电装置、管道及燃料输送设备等。

电力系统中除发电机和用电设备外的一部分称电力网。它由所有变电站的电气设备和各种不同电压等级的线路组成，通

过它将电能输送和分配到各用电单位。

配电系统是由配电区域内的配电线及配电装置组成。

电能的分配是通过把大容量馈线分支和再分支成容量越来越小的馈线的办法来实现的。在电力系统中电路容量的每一改变处都设有一个配置着电路保护和开关装置的分配中心。一般来说，从发电机到负荷，整个电力系统都是这样。工作电压 600V 及以下的电路用低压装置；600V 以上的电路用高压装置。

供配电系统，从广义的理解，它可以包含发电机在内的整个电力系统。但本书只涉及 35kV 以下的内容，又以 10kV 以下为主，因为它应用最为广泛，也就是通常人们讨论的供配电系统。

二、电力负荷

在电力系统中，电气设备所需用的电功率，称为负荷或电力。由于电功率分为视在功率、有功功率和无功功率，一般用电流表示的负荷，实际上是对应视在功率 S 而言，它们的关系为 $S = \sqrt{3}UI$ 。目前供电部门所规定的负荷指标，主要是指小时平均的有功负荷指标，而不是视在功率和无功功率。对于变、配电所中规定的负荷指标，主要是指电功率 S 的限额。

由于电力负荷的大小是随时间而变化的，因此在某个时间间隔内必然会出现一个最大值，称为最高负荷或最大负荷。在 0~24h 内出现的最高负荷称为日最高负荷，最高有功负荷以符号 $P_{\max}$ 表示，单位是 kW 或 MW。

在某一时间范围内电力负荷的平均值称为平均负荷，平均有功负荷以符号 P_p 表示，单位是 kW 或 MW。即报告期用电平均负荷等于报告期实际用电量除以报告期日历小时数。

根据供电的重要性、用电设备、生产性质及突然中断供电所引起的损失程度等对供电可靠性的要求，用电负荷可分为以下三类：

1. 一类负荷。也称一级负荷，是指突然中断供电将会造成人身伤亡或会引起对周围环境严重污染的负荷；突然中断供电将会造成经济上的巨大损失的负荷，如重要的大型设备损坏，

重要产品或用重要原材料生产的产品大量报废，连续生产过程被打乱且需长时间才能恢复生产；突然中断供电将会造成社会秩序严重混乱或产生政治上的严重影响的负荷，如重要的交通与通信枢纽、国际社交场所等的用电负荷。此类用电应由两个独立电源供电，当任一电源因故障停电时，另一电源继续供电。一级负荷不大的单位或车间也可采用柴油发电机、内燃机等作备用电源，也可将附近独立电源作为供电电源引入低压备用电源。

2. 二类负荷。也称二级负荷，是指突然中断供电，不致危及生命、设备严重损坏，但将造成较大的经济损失的负荷，如产品大量报废或减产，连续生产过程需较长时间才能恢复；突然中断供电将会造成社会秩序混乱或在政治上产生较大影响的负荷，如交通与通信枢纽、城市主要水源、广播电视、贸易中心等用电负荷。此类负荷是否需要备用电源，应根据用户对国民经济的重要程度、经济技术比较确定。一般考虑架设专线供电，如采用电缆供电时，则不得少于两根，如负荷较大，当地电源允许，也可从两处供电。

3. 三类负荷。也称三级负荷，是指不属于上述一类和二类负荷的其他负荷，对这类负荷，突然中断供电不会发生大的危险和后果，其所造成的损失不大或不会造成直接损失。可根据负荷大小，采用专线或接用公用线供电。

用电负荷的这种分类方法，其主要目的是为确定供电工程设计和建设的标准，保证使建成投入运行的供电工程的供电可靠性能满足生产、安全、社会稳定的需要。

为了合理设计和选择工、企业供电系统中的电气设备和导线，需要根据用电设备的容量对有关的电力负荷进行统计计算，所得到的负荷称为“计算负荷”。计算负荷可按式确定：

$$S_{js} = K_x K_\Sigma P_s$$

式中 S_{js} ——计算负荷，kVA 或 kW；

K_x ——需要系数，是与用电设备台数、效率、工作性质

等多种因数有关的计算系数，可从电工手册查出；

K_{Σ} ——同时系数，对变、配电所来说一般取 0.95~1；

P_s ——计算需要的设备容量，kVA 或 kW。

计算负荷确定得是否合理，直接关系到电气设备的选择是否合理。如果计算负荷确定过大，会增加投资和造成有色金属的浪费；而计算负荷确定得过小，又会造成电气设备和导线长期过热，这不仅增加了电能损耗，而且影响它的使用寿命和用电安全。因此，正确地确定计算负荷是非常重要的。负荷计算的方法有需要系数法、二项式法、利用系数法、单位产品耗电法、单位面积功率法、变值系数法、ABC 法等，应用较多的是需要系数法和二项式法。

三、功率因数的提高

无功补偿，提高功率因数是日前节能降耗的重要手段，有着极其重大的意义。

除白炽灯、电阻电热器等设备负荷的功率因数接近于 1 外，其他如三相异步电动机、三相变压器、电焊机、电抗器、架空线等的功率因数均小于 1，特别是三相异步电动机，在轻载情况下，功率因数很低。

用电设备功率因数降低之后，将带来以下许多不良的后果：

(1) 使电力系统内的电气设备容量不能得到充分利用。

因为发电机或变压器都有一定的额定电流和额定电压，在正常情况下是不容许超过的，根据 $P=\sqrt{3}UI\cos\phi$ 关系式，倘若功率因数降低，则有功出力也将随之降低，使设备容量不能得到充分利用。

(2) 增加电力网中输电线路上的有功功率损耗和电能损耗。

若设备的功率因数降低，在保证输送同样的有功功率时，势必就要在输电线路中流过更大的电流，而输电线路上的有功功率的损耗也就愈大。

(3) 影响用电设备正常运行。

功率因数过低，还将使线路的电压损失增大，结果在负荷

端的电压就要下降，有时甚至低于容许值，严重影响异步电动机及其他用电设备的正常运行。特别在用电高峰季节，功率因数太低，会出现大面积地区的电压偏低，这给工农业生产带来很大的损失。

电力系统的功率因数的高低，已成为电力工业中的一个重要课题。因此，必须设法提高电力网中各个组成部分的功率因数，以充分利用电力系统内各发电变电设备的容量，增加其输电能力，减少供电线路导线的截面，节约有色金属，减少电力网中的功率损耗和电能损耗，并降低线路中的电压损失与电压波动，以达到提高供电质量和实现电力系统经济运行的目的。

提高功率因数的途径主要在于如何减少电力系统中各个部分所需的无功功率，特别是减少负载取用的无功功率，使电力系统在输送一定有功功率的同时降低其中通过的无功电流。

提高功率因数的方法很多，但可分为下列两大类：

1. 提高自然功率因数的方法

自然功率因数，就是指用电设备在没有安装专门的人工补偿装置（移相电容器、调相机等）的情况下的功率因数。自然功率因数的高低，取决于负荷的性质。对于电阻性负荷（电阻炉、电弧炉等）较多的用户，其自然功率因数较高；而电感性负荷（电焊机、感应电机等）较多的用户，其自然功率因数就较低。

采用降低各用电设备所需的无功功率以改善其功率因数的措施，称为提高自然功率因数的方法，主要有：

（1）正确选用异步电动机的型号和容量。各工业企业中所取用的无功功率中，异步电动机约占 70% 以上。因为异步电动机的功率因数和效率在 70% 至满载运行时较高，在额定负荷时的 $\cos\phi$ 约为 0.85~0.89；而在空载或轻载运行时的功率因数只有 0.2~0.3。因此，正确选用异步电动机使其额定容量与它所带的负荷相配合，并避免“大马拉小车”的不合理运行方式，最好是配用适用容量的电动机。有时对于用于精车的立车，原设

计Y接启动，△接运行，可改成Y接启动、Y接运行。

(2) 电力变压器不宜轻载运行。电力变压器一次侧功率因数不仅与负荷的功率因数有关，而且与负荷率有关。若变压器满载运行，一次侧功率因数仅比二次侧降低 3%~5% 左右，若变压器轻载运行，当负荷率（是指平均有功负荷与最高有功负荷的比率）小于 0.6 时，一次侧的功率因数就显著下降，可达 11%~18%。所以，电力变压器在负荷率为 0.6 以上运行时才较经济，一般应在 75%~80% 比较合适。为了充分利用设备和提高功率因数，电力变压器不作轻载运行。变压器负荷率小于 30% 时应更换容量较小的变压器。

(3) 合理安排和调整工艺流程，改善电机设备的运行状况，限制电焊机和机床电动机的空载运转（可采用空载自动延时断电装置）。

(4) 异步电动机同步化运行。对于负荷率不大于 0.7 及最大负荷不大于 90% 的绕线转子异步电动机，必要时可使其同步化。即当绕线转子异步电动机在启动完毕后，向转子三相绕组中送入直流励磁，即产生转矩把异步电动机牵入同步运行，其运转状态与同步电动机相似，在过励磁的情况下，电动机可向电力网送出无功功率，从而达到改善功率因数的目的。

2. 提高功率因数的补偿法

采用供应无功功率的设备来补偿用电设备所需的无功功率，以提高其功率因数的措施，称为提高功率因数的补偿法。应用人工补偿无功功率的方法通常有以下三种：

- (1) 采用移相电容器；
- (2) 选用同步电动机；
- (3) 采用同步调相机。

在工业企业中，一般采用移相电容器来补偿无功功率，而不采用同步调相机。同步调相机是无功功率发电机，大容量的同步调相机主要是用在电力系统的变电所里，供改进功率因数和调整电力网电压水平之用。工业企业采用同步调相机是很少

的，因为容量小于 5000kVA 的同步调相机，无论在基建投资方面或是在有功功率损耗方面都是不经济的。只有在某些特殊情况下，例如无功功率特别大或者带有频繁冲击时，才采用同步调相机。

同步电动机在过励磁方式运行（0.8~0.9 超前）时，就向电力系统输送无功功率，提高了工业企业的功率因数。一般在满足工艺条件下，采用或不采用同步电动机来提高企业的功率因数，应进行技术经济比较。通常对低速恒速且长期连续工作的容量较大的电动机，宜采用同步电动机，如轧钢机的电动发电机组、球磨机、空压机、鼓风机、水泵等设备。这些设备在采用同步电动机为原动机时，其容量一般在 250kW 以上，环境和启动条件均可满足同步电动机的要求，而且停歇时间较少，因此对改善功率因数能起很大作用。但是，同步电动机结构复杂、并都附有一套起动控制设备，维护工作量大，价格较异步电动机贵，而且目前高压移相电容器价格普遍降低，又由于移相电容器具有没有转动部分、有功功率损耗小、个别电容器损坏不影响系统运行等优点，所以采用异步电动机加移相电容器补偿方案，得到广泛应用，而且采用小容量的高速同步电动机一般是不经济的。

供电部门又要求工业企业的加权功率因数不低于 0.9~0.85。

所谓加权功率因数（ $\cos\phi_j$ ）是指按有功电能和无功电能为参数计算而得到的功率因数，其计算式如下：

$$\cos\phi_j = \frac{W_P}{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_Q}{W_P}\right)^2}}$$

式中 W_P ——有功电能，kWh；

W_Q ——无功电能，kVarh。

补偿前最大负荷时的功率因数 $\cos\phi_1$ ，其计算式如下：

$$\cos\phi_1 = \frac{P_{ca}}{S_{ca}} = \frac{P_{ca}}{\sqrt{P_{ca}^2 + Q_{ca}^2}}$$

补偿后最大负荷时的功率因数 $\cos\phi_2$ ，其计算式如下：

$$\cos\phi_2 = \frac{P_{ca}}{S'_{ca}} = \frac{P_{ca}}{\sqrt{P_{ca}^2 + (Q_{ca} - Q_c)^2}}$$

上两式中 P_{ca} ——有功计算负荷，kW；

Q_{ca} ——无功计算负荷，kVar；

Q_c ——无功补偿容量，kVar；

S_{ca} 、 S'_{ca} ——补偿前、后视在计算负荷（kVA）。

补偿前总平均功率因数 $\cos\phi_{1av}$ ，其计算式如下：

$$\begin{aligned}\cos\phi_{1av} &= \frac{P_{av}}{S_{av}} = \frac{\alpha \cdot P_{ca}}{\sqrt{(\alpha \cdot P_{ca})^2 + (\beta \cdot Q_{ca})^2}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{\beta \cdot Q_{ca}}{\alpha \cdot P_{ca}}\right)^2}}\end{aligned}$$

补偿后总平均功率因数 $\cos\phi_{2av}$ ，其计算式如下：

$$\begin{aligned}\cos\phi_{2av} &= \frac{P_{av}}{S'_{av}} = \frac{\alpha \cdot P_{ca}}{\sqrt{(\alpha \cdot P_{ca})^2 + (\beta \cdot Q_{ca} - Q_c)^2}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{\beta \cdot Q_{ca} - Q_c}{\alpha \cdot P_{ca}}\right)^2}}\end{aligned}$$

上两式中 P_{ca} 、 Q_{ca} 、 Q_c ——所代表的意义同前；

P_{av} ——有功平均计算负荷，kW， $P_{av} = \alpha \cdot P_{ca}$ ；

α 、 β ——有功及无功的月平均负荷系数；

S_{av} 、 S'_{av} ——补偿前、后的视在平均计算负荷（kVA）。

补偿后的总平均功率因数 $\cos\phi_{2av}$ ，它是有功平均计算负荷与视在平均计算负荷之比，如果考虑到一个月实际工作小时数，则 $\cos\phi_{2av}$ 亦可用如下形式来表达：