

CONCEPT

供配电

设计手册

SHEJI SHOUCHE

焦留成 主编

芮静康 主审

中国计划出版社



供 配 电 设 计 手 册

焦留成 主编

芮静康 主审

3790/19

北方交通大学

藏

书

图书馆

中国计划出版社

1999 北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

供配电设计手册/焦留成主编. -北京: 中国计划出版社, 1999.5

ISBN 7-80058-703-7

I. 供… II. 焦… III. 配电系统-设计 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 37903 号

供 配 电 设 计 手 册

焦留成 主编

芮静康 主审

☆

中国计划出版社出版

(地址: 北京市西城区月坛北小街 2 号 3 号楼)

(邮政编码: 100837 电话: 68030048)

新华书店北京发行所发行

海丰印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 31.5 印张 764 千字

1999 年 7 月第一版 1999 年 7 月第一次印刷

印数 1—6000 册

☆

ISBN 7-80058-703-7/TU·99

定价: 55.00 元

编审委员会

顾 问：陈汤铭 清华大学教授、电机学奠基人之一
翟中和 北京大学教授、中国科学院院士
芮静安 教授、博士生导师、世界名人获得者
扎德善 原北京市电机总厂党委书记
周中一 北京市供电局副总工程师
赵双驹 华北电管局高压局局长
王得亮 电机专家、教授级高级工程师
郑国基 北京建筑工程学院教授
刘复清 清华大学教授
胡素英 北京科技大学副教授
席德熊 原国家计量局计量研究所处长、研究员
姜建国 清华大学教授、副系主任
杨有启 北京经济学院教授
张俊谟 北京工业大学教授

主 任：芮静康

副主任：焦留成

委 员：郑国基

武钦韬	周德铭	童启明			
胡素英	席德熊	姜建国	杨有启	张俊谟	
李和娣	芮国忠	葛阳生	张 蓓	徐赞京	宋景喜
刘桂芳	胡晓和	陈希令	闫秉纲	王 群	刘 俊
方 铭	蔡碧濂	陈松年	徐子宏	刘立夫	焦留成
武钦韬	刘思源	刘宝林	芮静康	周德铭	童启明
贝学盛	刘学俭				

编写人员

主 编：焦留成

副 主 编：杜友勤 曾安国

编写人员：焦留成 杜友勤 曾安国 田 书

柳春生 王福忠 王玉梅 艾永乐

主 审：芮静康

前 言

工矿企业及高层建筑供配电系统设计是十分重要而且技术性强的工作，从事这方面工作的同志急需一本实用的设计手册。

随着我国建设事业的蓬勃发展，供电领域涌现出了许多新技术、新设备；国家也相应制定了一系列新的技术政策和设计规范：在各大、中城市和旅游胜地兴建了一批高层宾馆、住宅、贸易中心和综合大楼。这些现代高层建筑的特点是设备复杂、功能齐全、装饰豪华、经营管理的自动化水平高，而反映高层建筑电气设计新技术、新设备的工具书甚少。因此，更新现有设计手册陈旧内容，编写更加新颖实用、具有时代特色的工矿企业及民用供配电设计手册已是十分迫切的任务。本手册就是为此目的编写的，以期对提高设计速度、保证设计质量有所帮助。

本设计手册介绍 35 kV 及以下的变配电所、供配电系统设计原则、设计思想、设计程序、设计内容和设计方法。书中还介绍了最新国家标准和设计规范，大量可供选择的新技术、新设备以及提高供电质量、改善用电参数的节能措施。

全书共分十二章，第一、第六章由田书编写；第二、第十二章由柳春生编写；第三、第八章由王福忠编写；第四、第十一章由曾安国编写；第五章由王玉梅编写；第七章由杜友勤编写；第九章由焦留成编写；第十章由艾永乐编写。全书由焦留成教授任主编，曾安国副教授和杜友勤高工任副主编，芮静康教授为主审。

在编写过程，得到了不少设计研究单位和建设、施工部门的大力支持，提供了许多宝贵资料，许多同志给予热情帮助，在此致以衷心感谢！

由于编者水平有限、时间仓促，错误和不当之处在所难免，请同行专家和读者批评指正。

编者
1998. 10

目 录

前 言

第一章 供配电系统	(1)
第一节 供用电设计的主要内容和原始资料	(1)
一、主要内容	(1)
二、原始资料	(1)
第二节 电力负荷种类及供电要求	(3)
一、电力负荷种类	(3)
二、电力负荷对供电的要求	(3)
第三节 高压配电系统	(4)
一、供、配电系统的设计原则	(4)
二、供电电压的确定	(5)
三、配电方式	(6)
第四节 10~35 kV 变电站	(8)
一、变电所位置的确定	(8)
二、主变压器选择原则	(8)
三、变电所主接线	(9)
第五节 低压配电系统	(13)
一、系统接地方式选择	(13)
二、低压电力配电系统	(13)
第六节 设计方案的技术、经济分析	(18)
一、技术指标	(18)
二、经济计算	(19)
三、有色金属消耗量的计算	(20)
四、技术比较与方案确定	(20)
第二章 负荷计算	(21)
第一节 概述	(21)
一、负荷计算的目的	(21)
二、负荷计算的方法	(21)
第二节 设备容量的确定	(21)
一、三相电动机	(21)
二、电焊机及电焊变压器	(22)
三、电炉变压器	(22)

四、其他设备	(22)
第三节 单相负荷的计算	(22)
一、单相设备接于相电压时的等效三相设备容量	(23)
二、单相设备接于同一线电压时的等效三相设备容量	(23)
三、单相设备接于不同线电压时的等效三相设备容量	(23)
四、单相设备分别接于不同线电压和相电压时总的等效三相设备容量	(24)
第四节 用需用系数法确定计算负荷	(24)
一、单台用电设备的计算负荷	(24)
二、用电设备组的计算负荷	(24)
三、多组用电设备组的总计算负荷	(29)
四、负荷计算中的特殊问题	(31)
第五节 用利用系数法确定计算负荷	(31)
第六节 尖峰电流计算	(36)
一、单台设备	(36)
二、多台用电设备	(36)
三、自起动的电动机组	(37)
第七节 无功功率补偿	(37)
一、概述	(37)
二、功率因数计算	(38)
三、提高功率因数的方法	(38)
四、静电电容器补偿	(39)
五、同步电动机的补偿能力计算	(41)
六、无功补偿的效益分析	(43)
第八节 功率损耗计算	(44)
一、三相线路中有功及无功功率损耗	(44)
二、电力变压器的有功及无功功率损耗	(46)
三、电抗器的有功及无功功率损耗	(47)
四、高压电动机的有功及无功功率损耗	(48)
第九节 供电系统中电能损耗量计算	(49)
一、供电线路年有功电能损耗	(49)
二、变压器年有功电能损耗	(49)
三、电抗器年有功电能损耗	(49)
第十节 主变压器选择	(50)
一、变电所主变压器台数的选择	(50)
二、变电所主变压器容量的选择	(50)
第十一节 负荷计算示例	(51)
第三章 改善运行参数的方法	(55)
第一节 有载自动调压	(55)
一、概述	(55)

二、变压器有载调压装置	(56)
三、有载自动调压控制器工作原理	(58)
四、选用有载调压装置的注意事项	(62)
第二节 单片机功率因素自动补偿装置	(63)
一、单片机简介	(63)
二、功率因素测量	(65)
三、功率因数自动调节的实施方案	(68)
四、SG-91 型相控式无功功率自动补偿装置简介	(69)
五、看门狗电路和 LED 数码管控制电路	(70)
六、其他功率因数自动补偿装置	(71)
第三节 供、配电系统高次谐波的抑制措施	(72)
一、概述	(72)
二、高次谐波的测量及监视	(74)
三、高次谐波及其危害的抑制措施	(79)
第四章 短路电流计算	(86)
第一节 概述	(86)
一、短路种类	(86)
二、短路电流的危害	(87)
三、计算短路电流的目的	(87)
四、一般规定	(87)
五、必须的原始资料	(88)
第二节 电路各元件阻抗的计算	(88)
一、基准值计算	(88)
二、各元件标么值的计算	(89)
三、标么值相互变换的方法	(89)
四、电路中各种元件的电抗标么值	(89)
第三节 网络变换	(100)
一、网络变换的基本公式	(100)
二、网络的简化	(100)
第四节 三相短路电流的计算	(104)
一、无限大电源供给的短路电流计算	(104)
二、电源为有限容量时的短路电流计算	(105)
三、短路冲击电流及全电流最大有效值的计算	(108)
四、大容量电动机对短路电流的影响及其计算	(108)
第五节 示例	(112)
第六节 短路电流“效应”的计算	(119)
一、短路电流的电动力计算	(119)
二、短路电流的热效应	(119)
第七节 低压网络短路电流计算	(121)

一、高压侧系统阻抗	(121)
二、短路回路中各元件阻抗计算	(121)
三、低压网络短路电流计算	(125)
四、示例	(126)
第五章 高压电气设备选择	(129)
第一节 电气设备选择的基本原则	(129)
一、一般原则	(129)
二、使用环境条件	(129)
三、使用技术条件 (或额定参数)	(131)
第二节 6~35 kV 高压开关柜	(134)
第三节 高压断路器的选择	(173)
一、断路器种类和型式选择	(173)
二、参数选择	(174)
三、性能选择	(175)
第四节 高压隔离开关、负荷开关和熔断器的选择	(179)
一、高压隔离开关的选择	(179)
二、负荷开关的选择	(181)
三、高压熔断器的选择	(183)
第五节 限流电抗器和消弧线圈的选择	(186)
一、限流电抗器的选择	(186)
二、消弧线圈的选择	(187)
第六节 互感器的选择	(192)
一、电流互感器的选择	(192)
二、电压互感器的选择	(201)
第七节 母线的选择	(208)
一、型式选择	(208)
二、母线截面的选择与校验	(209)
第六章 电力系统继电保护装置	(216)
第一节 概述	(216)
一、保护装置的装设原则	(216)
二、保护装置的电源	(217)
第二节 输配电线路保护	(217)
一、35 kV 线路保护	(217)
二、6~10 kV 线路保护	(225)
第三节 变压器保护	(236)
一、变压器保护的配置	(236)
二、变压器保护整定计算	(244)
第四节 10 kV 电力电容器的保护	(260)
一、电力电容器组保护装置的装设原则	(260)

二、保护原理及整定计算	(260)
第五节 10 kV 电动机的保护	(264)
一、概述	(264)
二、保护配置	(264)
三、整定计算	(265)
第七章 供电系统的自动化装置	(269)
第一节 备用电源自动投入装置	(269)
一、概述	(269)
二、对 APD 装置的基本要求	(270)
三、采用直流操作电源的 APD 装置	(271)
四、采用交流操作电源的 APD 装置	(275)
五、快速动作的 APD 装置	(276)
六、ISA-1 型微机备用电源自投装置 (BZT2)	(278)
第二节 架空供电线路的自动重合闸	(279)
一、概述	(279)
二、自动重合闸的配置原则	(279)
三、对自动重合闸的基本要求	(282)
四、单端电源一次动作的 ARD 装置	(283)
五、综合自动重合闸	(288)
第三节 电力系统远动装置的功能	(288)
一、远动装置的主要功能	(288)
二、发电厂和变电所的远动化范围	(289)
三、远动信息的传送	(290)
四、调度自动化功能规范	(290)
第四节 微机远动装置	(296)
一、概述	(296)
二、微型远动装置介绍	(297)
第八章 低压配电线路保护和低压电器选择	(310)
第一节 低压电器选择的一般原则	(310)
一、按正常工作条件选择	(310)
二、按使用环境条件选择	(310)
三、按短路条件校验	(310)
第二节 低压电器选择	(315)
一、刀开关和隔离器	(315)
二、交流接触器	(318)
三、刀开关和熔断器组合电器	(323)
第三节 低压柜——多米诺 (DOMINO) 组合式开关柜的应用	(327)
一、多米诺组合式开关柜的结构特点	(327)
二、多米诺的技术参数	(328)

三、多米诺的柜体尺寸	(328)
第四节 低压配电线路的保护	(329)
一、短路保护	(329)
二、过负载保护	(330)
三、接地故障保护	(331)
第五节 保护电器的选择	(331)
一、熔断器	(331)
二、低压断路器 (自动空气开关)	(348)
三、漏电保护器	(354)
第九章 高压架空配电线路和电缆线路	(364)
第一节 导线和避雷线的选择	(364)
一、型式选择	(364)
二、截面选择	(364)
第二节 导线的力学计算	(368)
一、力学计算气象条件	(368)
二、导线和避雷线的力学计算	(370)
第三节 电力电缆的选择	(379)
一、电缆型号选择	(379)
二、电缆截面选择	(382)
第十章 防雷和接地	(398)
第一节 建筑物的防雷	(398)
一、建筑物的防雷分类	(398)
二、建筑物的防雷措施	(399)
三、其他防雷措施	(404)
第二节 特殊建筑物的防雷	(405)
一、水塔的防雷	(405)
二、烟囱的防雷	(405)
三、微波站、电视台的防雷	(405)
四、卫星地面站的防雷	(407)
五、雷达站的防雷	(407)
六、广播发射台的防雷	(408)
七、建筑物的防雷装置	(408)
第三节 变电所的防雷保护	(410)
一、直击雷保护	(410)
二、侵入雷电波保护	(417)
第四节 电气装置接地	(428)
一、接地电阻最大允许值	(428)
二、保护接地的范围	(431)
三、电气装置接地要求	(432)

第五节 接地系统	(435)
一、接地系统的构成	(435)
二、接地系统的要求	(435)
第六节 接地电阻计算	(437)
一、工频接地电阻的计算	(437)
二、冲击接地电阻的计算	(445)
第七节 特殊接地	(449)
一、电子计算机接地	(449)
二、屏蔽接地	(450)
三、电气试验设备接地	(451)
四、防静电接地	(452)
第十一章 用电安全	(454)
第一节 概述	(454)
一、电流对人体作用的机理	(454)
二、防电击保护	(456)
第二节 防触电措施	(457)
一、基本要求	(457)
二、TN、TT、IT 系统	(458)
三、漏电保护器	(461)
第三节 特殊环境下的电气安全	(465)
一、浴室	(465)
二、农畜设施	(467)
三、狭窄导电场所	(467)
四、医院	(467)
第十二章 高层建筑供、配电设计	(471)
第一节 变、配电所主接线及设备选型	(471)
一、变、配电所电气主接线	(471)
二、变、配电所的主要电气设备及选型	(473)
第二节 负荷计算及变压器选择	(476)
一、高层建筑的负荷特征	(476)
二、负荷计算方法	(477)
三、供电系统总计算负荷的确定	(482)
四、变电所变压器容量和台数的确定	(483)
第三节 高层建筑低压配电系统	(484)
一、电气竖井	(484)
二、低压配电方式	(485)
参考文献	(488)

第一章 供配电系统

第一节 供用电设计的主要内容和原始资料

供配电系统的设计应符合国家标准《供配电系统设计规范》和有关国家标准、规范的规定。

一、主要内容

供用电系统的设计为电力系统的发展提出实施方案：为用户供、配电系统制定出具体方案。设计中一定要贯彻国家的各项方针政策，遵照有关的设计技术规定，从整体出发，深入论证电源及负荷布局的合理性，提出网络设计方案，并论证其安全可靠性和经济性，为此需进行必要的计算；同时需注意近期与远期的关系，以及同发电、输电、变电工程的协调，并为电力系统继电保护、安全自动装置以及下一级电压的系统设计创造条件。

供用电系统的设计水平年，一般取今后 5~10 的某一年，远景水平年取今后 10~15 年的某一年。设计水平年的选取最好与国民经济计划的年份相一致。电源和网络的设计，一般以设计水平年为主，并对设计水平年以前的过渡年份进行研究，同时还要展望到远景水平年。

设计的主要内容有：

1. 电力系统负荷计算和功率的平衡；
2. 电源点和变、配电所位置的确定；
3. 电力网接线方案的技术论证及经济比较；
4. 发电厂、变电所主接线的选择；
5. 设备的选择和校验；
6. 网络潮流计算和电压计算；
7. 电力系统继电保护的设计和整定；
8. 安全自动装置的设置；
9. 提交设计说明书和图纸。

二、原始资料

系统初步设计中需取得如下的原始资料；

(一) 需向电力部门提供的资料

1. 供电区域的总平面图；
2. 供电区域逐年及最终规模的最大负荷、年耗电量、功率因数及用户投产日期；
3. 用户总变电所数量、容量、位置及进线方向的初步意见；
4. 各负荷性质、负荷等级及对供电可靠性的具体要求；
5. 电源电压、供电方式及电源线路回路数的初步意见；

6. 大型同步电动机、电弧炉及整流装置等的特殊要求；

7. 用户总变电所主接线系统图（注明同步电动机的总容量）和标有电源进线方向的总变电所位置平面图；

8. 如果用户总变电所由电力部门设计时，尚须提供每回出线的名称、负荷值、线路结构、对继电保护及自动装置的要求等；

9. 电源线路一般由电力部门设计，此时须提供线路的负荷值及回路数、用户总变电所进出线的平面图、进线门型架坐标及标高等；

10. 供电区域的气象及地质资料，如最大风速，最高及最低温度，土壤允许承载力及电阻系数等。

地区气象与地质资料按表 1-1-1 中项目索取。

索取气象、地质资料表

表 1-1-1

资 料 内 容	用 途
最高年平均温度	选变压器
最热月平均最高温度	选室外裸导线及母线
最热月平均温度	选室内导线和母线
一年中连续三次的最热日昼夜平均温度	选空气中电缆
土壤中 0.7~1.0 m 深处一年中最热月份平均温度	选地下电缆
最热月平均水温	选半导体元件等
年雷电小时数和雷电日数	防雷装置
土壤冻结深度	地下装置

注：有关架空线路用的气象和地质资料见第九章。

（二）需向电力部门取得的资料

1. 向用户供电的区域变电所或发电厂的近期和远期的单相系统图；

2. 向用户供电的线路规格、电压、距离、回路数及进入用户的线路走向；

3. 用户总变电所受电端的电力系统最小运行方式或最大运行方式短路数据（包括近期及远期的数据）；

4. 电力部门对继电保护的要求，包括电源供电端的继电保护方式（有无自动重合闸装置等）及时限配合关系；

5. 区域变电所或发电厂与用户之间的地理图；

6. 电力部门对用户功率因数的要求，对供电方式、大型电动机起动的意见及对自动减负荷的要求等；

7. 电力部门对用户功率因数和高次谐波的限制要求；

8. 计量要求及电费的收取办法（包括计算方法、奖罚规定、地区电价等）；

9. 对通信和调度的要求及管理意见等；

10. 其他（如防雷、转送负荷等）。

根据用户的最大用电负荷，开始供电的日期，协助建设单位与电力部门共同协商确定

有关供电电源及高压电器设备检修和试验的协作关系等主要问题，并签订供电协议书，作为设计依据。

对于改建、扩建工程，除收集上述资料外，尚须向改建、扩建的企业取得如下资料：

- (1) 用户供配电系统图及线路平面布置图；
- (2) 有关变电所和发电厂平面断面图；
- (3) 线路平面布置图；
- (4) 如果要求利用库存设备，则需收集可利用设备的详细型号、规格等。
- (5) 用户最近几年各变电所的最大负荷、年耗电量、功率因数等；

第二节 电力负荷种类及供电要求

一、电力负荷分类

1. 一类负荷。也称一级负荷，是指突然中断供电将造成人身伤亡或会引起对周围环境严重污染的；突然中断供电将会造成经济上的巨大损失，如重要的大型设备损坏，重要产品或用重要原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的；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，如重要的交通与通信枢纽、国际社交场所、高层建筑的消防、安全照明等用电负荷。

特殊重要的一级负荷通常称为保安负荷。保安负荷必须备有应急电源，从而保证在工作电源失去时对保安负荷的供电，以保证企业安全停产及人员安全转移。

2. 二类负荷。也称二级负荷，是指突然中断供电会造成经济较大的损失，如生产的主要设备损坏，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，如交通与通信枢纽、城市主要水源、广播电视、商贸中心、矿井主提升设备、高层建筑的电梯等用电负荷。

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，突然中断供电所造成的损失不大或不会造成直接损失。

二、电力负荷对供电的要求

对于一级负荷必须有两个独立电源供电⁽¹⁾，且当任何一个电源失去后，能保证对全部一级负荷不间断供电。对特殊重要的一级负荷应由两个独立电源点供电⁽²⁾。

对于二级负荷一般要有两个独立电源供电，且当任何一个电源失去后，能保证全部或大部分二级负荷的供电。

对于三级负荷一般只需一个电源供电。

注：(1) 独立电源是指若干电源中，任一电源因故障而停止供电时，不影响其他电源继续供电。同时具备下列两个条件的发电厂、变电所的不同母线段均属独立电源。

① 每段母线的电源来自不同的发电机；

② 母线段之间无联系；或虽有联系但在其中一段发生故障时，能自动断开联系，不影响其余母线段继续供电。

(2) 独立电源点是指若干独立电源来自不同的地点。任一电源点因故障而停止供电时，不影响其他电源点继续供电。

两个发电厂、一个发电厂和一个地区电网或一个电力系统中的两个区域性变电所都属于两个独立电源点。

第三节 高压配电系统

一、供、配电系统的设计原则

高压配电系统的接线应在满足负荷要求的情况下，选择最经济合理的电源系统接线方案。设计中需考虑以下因素：

1. 电源电压的选择；
2. 变电所的位置与数量的确定；
3. 变压器的容量与台数的确定；
4. 电源的选用；
5. 进线方向；
6. 系统方案设计；
7. 用户总降压变电所距系统接入点的距离；
8. 出线走廊；
9. 每回线输送容量；
10. 技术经济比较。

(一) 对配电系统的要求

1. 安全性：包括人身安全和财产安全。
2. 可靠性：根据用户的性质，保证供电的连续性。对于一级负荷应有两个独立电源；对二级负荷一般要有两个电源。
3. 操作简单：在满足系统要求的前提下，操作应尽可能简单。
4. 维修方便。
5. 灵活性：包括运行的灵活性及发展和扩建的适应性。
6. 基建投资：在保证以上五条都满足的前提下，尽可能压缩基建投资。

(二) 供电系统设计的一般原则

1. 电源一般取自电力系统，也可取自企业自发自用系统。
2. 每一企业一般应有两回独立电源线路，当任一回因发生故障停止供电时，另一回线路应能担负企业的全部一类负荷及部分二类负荷。
3. 对大、中型露天矿应由两个独立电源供电；对大型矿区选煤厂和年产 5 Mt 以上规模的矿区机电修配厂，当由 6~10 kV 电压供电时，一般不少于两回线路；当由 35 kV 以上电压供电时，可只设一回线路。有条件时，对大型矿区选煤厂可另设备用电源，以便在停电时向照明设备和某些由于停电会造成事故的设备供电。其他用电单位，除另有供电要求者外，可设一回线路。
4. 由两回及以上线路供电时，其中一回停止运行，其余线路应保证全部一类负荷的供电，对其他用电负荷应保证其全部负荷的 75%。
5. 企业送电线路的导线均应按经济电流密度选择，按允许电压损失及允许载流量的条件验算。

(三) 配电系统设计中应遵循的一般原则

1. 安全要求。配电装置系统的设计必须使下列一级负荷由两个独立电源供电。