

建筑电气设计 计算手册

第①分册

供配电系统

郭建林 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

建筑电气设计计算手册

第一分册 供配电系统

主编 郭建林

参编 张 蕾 杜 晗

逢凌滨 白雅君



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



前言

本书在编写中注重理论与实践紧密结合,论述清晰准确,知识点由浅入深,通俗易懂,结合例题进行讲解,便于读者的学习和理解,并且尽量贯彻我国现行的标准规范,力求体现现代化供配电技术的新知识。全书共分为九章,并在书末附有常用设备的主要技术数据。

第一章绪论重点介绍供配电系统的基本概念、电力系统的表达、电力系统的电压、电力系统中性点运行方式及供配电系统设计概述。

第二章负荷计算重点介绍负荷计算的目与意义、负荷分级及供电要求、负荷曲线、用电设备的工作制与设备容量、电力负荷计算方法、尖峰电流的计算供配电系统功率损耗与电能损耗的计算、无功功率补偿的计算。

第三章短路电流计算重点介绍短路电流概述、无限大容量电力系统中三相短路的分析、无限大容量电力系统中三相短路电流计算、不对称短路电流的计算、低压电网短路电流计算、短路电流的效应。

第四章电气设备及其选择重点介绍电气设备概述、开关电器的电弧及灭弧、高压电气设备、低压电气设备、电力变压器、互感器、电气设备的选择与校验。

第五章导线和电缆选择重点介绍电缆的分类、导线和电缆型号的选择、导线和电缆截面积的选择。

第六章配变电所重点介绍配变电所位置和型式的选择、配变电所主接线、配变电所的总体布置、组合式成套变电站的位置、配电所对有关专业的要求。

第七章供配电网络重点介绍供配电线路的接线方式、供配电线路结构与敷设。

第八章供配电系统的继电保护重点介绍继电保护的基本知识、常用的电磁式继电器、线路的继电保护、电力变压器的继电保护、高压

电动机的继电保护、微机继电保护。

第九章供配电系统的二次回路与自动装置重点介绍二次回路的概念及其分类、二次回路的操作电源、断路器的控制和信号回路、中央信号系统、备用电源自动投入装置和自动重合闸装置、变电站综合自动化。

本书在编写过程中，马林、温晓杰、刘建华、张青青、孙博、张晓华、孙莉、孙健、李伟、于欣等协助做了大量的工作，在这里一并表示感谢。

限于时间和作者水平，谬误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2010年7月



目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 供配电系统基本概念.....	1
第二节 电力系统表达.....	5
第三节 电力系统电压.....	9
第四节 电力系统中性点运行方式	15
第五节 供配电系统设计概述	20
第二章 负荷计算	23
第一节 负荷计算目的与意义	23
第二节 负荷分级及供电要求	24
第三节 负荷曲线	30
第四节 用电设备工作制与设备容量	34
第五节 电力负荷计算方法	37
第六节 尖峰电流计算	51
第七节 供配电系统功率损耗与电能损耗计算	53
第八节 无功功率补偿计算	57
第三章 短路电流计算	73
第一节 概述	73
第二节 无限大容量电力系统中三相短路分析	78
第三节 无限大容量电力系统中三相短路电流计算	84
第四节 不对称短路电流计算	96
第五节 低压电网短路电流计算.....	112
第六节 短路电流效应.....	118
第四章 电气设备及其选择	130
第一节 概述.....	130
第二节 开关电器电弧及灭弧.....	131

第三节	高压电气设备	136
第四节	低压电气设备	155
第五节	电力变压器	176
第六节	互感器	188
第七节	电气设备选择与校验	201
第五章	导线和电缆选择	244
第一节	电缆分类	244
第二节	导线和电缆型号选择	247
第三节	导线和电缆截面积的选择	249
第六章	配变电所	269
第一节	配变电所位置和型式的选择	269
第二节	配变电所主接线	273
第三节	配变电所总体布置	283
第四节	组合式成套变电站布置	299
第五节	配电所对有关专业的要求	306
第七章	供配电网络	313
第一节	供配电线路的接线方式	313
第二节	供配电线路结构与敷设	319
第八章	供配电系统的继电保护	331
第一节	继电保护的基本知识	331
第二节	常用的电磁式继电器	338
第三节	线路的继电保护	342
第四节	电力变压器的继电保护	361
第五节	高压电动机的继电保护	373
第六节	微机继电保护	377
第九章	供配电系统的二次回路与自动装置	383
第一节	二次回路的概念及其分类	383
第二节	二次回路的操作电源	383
第三节	断路器的控制和信号回路	389
第四节	中央信号系统	396

第五节	备用电源自动投入装置及自动重合闸装置·····	401
第六节	变电站综合自动化·····	406
附录	·····	415
参考文献	·····	450



绪 论

第一节 供配电系统基本概念

供配电系统是电能的用户，也是电力系统的重要组成部分，它包括工业企业供配电系统和民用建筑供配电系统。电能是现代工业生产和社会生活的动力和主要能源，它产生于人们有控制地使用电能的需求。现代电力系统虽然庞大而复杂，但建立电力系统的目的却非常简单，即给用电设备提供其所需要的电能。在详细介绍供配电系统之前，先对电力系统做一简单介绍。

一、电力系统简介

(一) 电力系统的构成

由发电、输电、变电、配电和用电等环节所构成的系统叫做电力系统。典型电力系统示意如图 1-1 所示。它们分别完成电能的生产、传输、分配和消费等任务。

1. 发电厂

发电厂是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能（二次能源）的工厂，一般以其所使用的一次能源冠名，可分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、太阳能发电厂、地热发电厂、风力发电厂和潮汐发电厂等类型。目前，我国以火力发电和水力发电为主，并大力发展核电及可再生能源发电。

2. 电力网

电力系统中各级电压的电力线路及其联系的变电所，称为电力网，简称电网。电网是联系发电厂和用户的中间环节，其作用是将电能集中地从一处输送到另一处。习惯上常用电压等级来区分电网，如 10kV 电网、110kV 电网等。

电网根据电压高低和供电范围大小分为地方电网和区域电网。地方电网的范围小，最高电压一般不超过 110kV；区域电网的范围

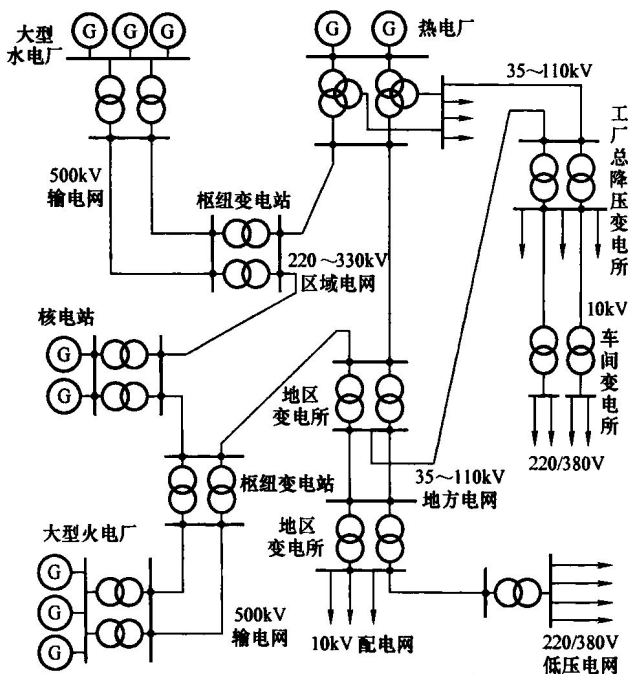


图 1-1 典型电力系统示意

大，电压一般在 220kV 及以上。用户供配电系统属于地方电网的一种。

另外，电网也可按其作用分为输电网和配电网。220kV 及以上的电网称为输电网，110kV 及以下的由配电线路和配电变压器所组成的电网称为配电网。输电网的作用是将电能输送到各个地区或直接输送给大型用户。配电网的作用是将电能分配给各类不同的用户。

3. 变配电所

变配电所的作用是将集中的电能分配给散布的用户，不同的是变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能，而配电所的任务是接受电能和分配电能，但不改变电压。

变电所可分为升压变电所和降压变电所两大类。升压变电所一般建在发电厂，其主要任务是将低电压变换为高电压；降压变电所一般建在靠近负荷中心的地点，其主要任务是将高电压变换到一个合理的

电压等级。降压变电所按其在电力系统中的地位和作用的不同，又可分为枢纽变电所、地区变电所和用户变配电所。

用户变配电所又可分为（35～110）/10kV 总降压变电所（HSS）、10kV 配电所（HDS）、10/0.38kV 变电所和 35/0.38kV 直降变电所。10/0.38kV 变电所在工业企业内又称为车间变电所（STS），10kV 配电所通常和某个 10/0.38kV 变电所合建又称为配变电所。

4. 电能用户和电力负荷

所有消费电能的单位均称为电能用户，他们可将电能转化为其他形式的能，如机械能、光能、声能等。从大的方面可分为工业电能用户和民用电能用户，从供配电系统的构成上两者并无本质的区别。

电能用户中的用电设备称为电力负荷或电力负载，电力负荷有时也指电能用户本身，如重要负荷、不重要负荷、照明负荷及动力负荷等；电力负荷还可指用电设备或用电单位所耗用的电功率或电流的大小，如轻负荷（轻载）、重负荷（重载）、空负荷（空载）及满负荷（满载）等。电力负荷的具体含义应视具体情况而定。

（二）电力系统联网运行

在实际的电力系统中，一般不会只有一个电源，而是将分布在不同地点的多个电源组成一个网络，共同服务于所有用户，这就叫电力系统的联网运行。如图 1-2 所示，除了有由电源向负荷供电的单向功率传输通道外，各电源之间还有功率可双向传输的电气通道。从工程的角度看，联网运行好处如下：

1. 提高发电设备利用率

用电负荷并不会一直维持在一个恒定量的值，而是随时间而变化的，其最大值（峰值）和最小值（谷值）之间有一定的落差，称为峰谷差。为了在峰值时能够满足供电需求，发电设备必须具有不小于峰值负荷的发电能力，但这些发电能力在负荷非峰值期间会有部分处于闲置状态，使得设备利用率降低。联网运行，相当于扩大了用户的样本数量和分布区域，由于不同类别负荷（如生活照明负荷与生产动力负荷）峰、谷值出现时间不一致，不同地区间负荷峰、谷值出现的时间也可能有差异，使得总的负荷峰、谷差趋于减小，有利于提高设备

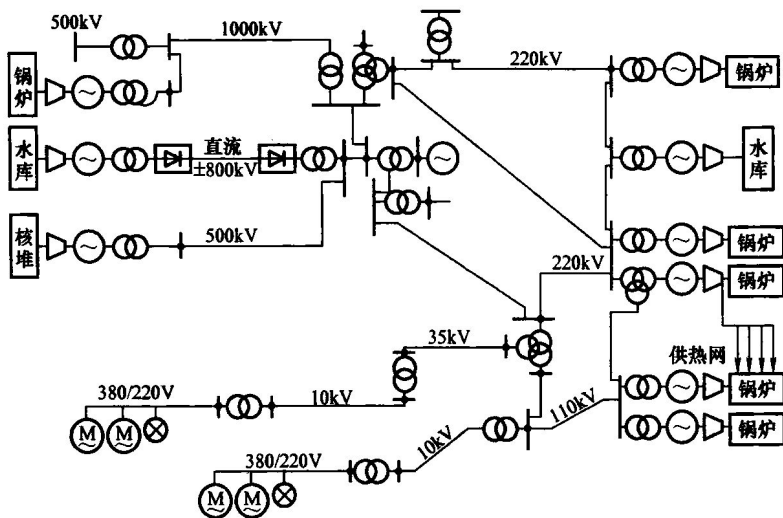


图 1-2 联网运行的电力系统

的利用率。

2. 优化一次能源的利用

这一点主要体现在两方面。一方面，联网会使总的负荷量值增大，使得采用大容量发电机组成为可能（大容量发电机组的效率一般要高于小容量发电机组）；另一方面，联网可合理地调配可再生能源与不可再生能源，如可充分利用季节优势，在丰水期多发廉价的水电，以减少石油、煤等资源的消耗。

3. 提高供电可靠性

联网不仅使发电机的数量增加，而且使可供选择的供电路径增多，系统对发电机或供电回路故障的代偿能力因此相应提高，供电可靠性更加可靠。

4. 提高电能质量

由于联网使负荷波动相对减小，以及系统对局部故障的代偿能力增强，电压波动、频率稳定性等电能质量指标相对得到提高。

当然，联网运行也有其弱点，当大电网一旦发生稳定性故障导致系统崩溃，则会造成一个很大的区域、一个国家甚至若干个国家停电，产生严重的混乱和巨大的损失。

二、电力系统运行特点

电能既是电力系统的产品，又是电力系统的消费品。与一般工业产品相比，它有其自身的特点，这些特点最终反映在对系统运行的要求上。电力系统运行的特点主要有以下几个方面：

1. 可靠性要求较高

由于电能突出的优点，使其成为大多数生产和生活活动中的首选能源，使用上的广泛性决定了它的基础性和重要性特征。电能供应的中断或不足，不仅会产生比较大的经济损失，还会造成诸多不便、引起混乱，甚至造成严重的事故和灾难。因此，电力系统的运行，需要有很高的可靠性。

2. 生产和消费需要实时平衡

以目前现有的技术，电能尚不能大量存储，因此需要生产与消费同时完成。但是电能的消费是由庞大的用户群来共同确定的，用电量的大小有一定的随机性，电力系统必须具有应对这种随机性的技术措施。

3. 暂态过程非常短暂

所谓暂态，是指电力系统从一种稳定的运行状态转变到另一种稳定的运行状态之间的过渡过程，这种转变一般是由系统的扰动所产生的。电力系统对扰动的响应若不及时，常常会产生比较严重的后果。因此电力系统需要有完善的自动控制手段。

三、供配电系统概念

供配电系统是电力系统的重要组成部分。从技术角度来看，供配电系统是指电力系统中以使用电能为主要任务的那一部分电力网络，它处于电力系统的末端，一般只是单向接受电力系统的电能，不参与电力系统的潮流调度。城网中从区域变电所到用电设备之间的电力网络都可称为供配电系统；从工程实际的角度来看，供配电系统更多的是针对电力用户而言。

第二节 电力系统表达

所谓表达研究对象是指用约定的方式传达出关于对象的有用信



息。就电力系统而言，所研究的问题不同，信息表达的方式和内容就可能有所差异，但从一般意义上来讲，对内容的表达主要可分为结构描述和运行状态描述两个方面。

一、结构描述

结构描述所要表达的信息，主要包括网络拓扑、设备与线缆的设置和结构参数三大类。

1. 一次系统与二次系统

在电力系统中，电作为能源通过的部分称为一次系统；对一次系统进行测量、保护、监控的部分称为二次系统。从控制系统的角度来看，一次系统相当于受控对象，二次系统相当于控制环节，受控量主要有开关电器的开、闭等数字量和电压、功率、频率、发电机功率角等模拟量。

2. 单线接线图

表达电力系统网络拓扑和元件设置最有效的方式就是电气图。电力系统的单线接线图属于简图的范畴。所谓简图就是指通过以图形符号表示项目及它们之间关系的图示形式来表达信息的一种图。电力系统是三相系统，当重点关注系统中各组成部分之间的相互关系而不是具体的电路接线时，就可以用一根线来表示三相线路、用图形符号的单线形式来表示系统中的设备或设施来构成简图，习惯上将这种简图称为单线接线图，简称接线图。按照所表达信息的侧重点不同，单线接线图又可分为位置接线图和电气接线图。

(1) 位置接线图。位置接线图属于按位置布局的简图，主要表明系统中设备、设施的位置和线路的敷设路径，如图 1-3 所示。

(2) 电气接线图。电气接线图属于按功能布局的简图，主要表明系统中设备与线路的电气联系，但并不考虑它们的实际位置和几何尺寸。工程上常将电气接线图称为系统图或网络接线图。

位置接线图和电气接线图都有不同的表达层次。就位置接线图而言，可以是区域电网的地理接线图，也可以是一栋建筑的照明或动力配电平面图；就电气接线图而言，可以是一个大区域电网的网络接线，也可以是一座变电所的电气主接线，甚至可以是一只配电箱的系统图。

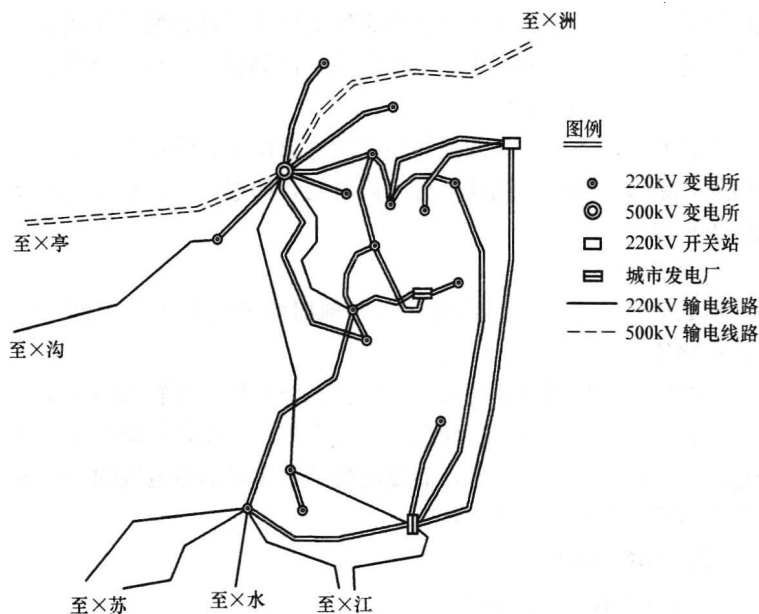


图 1-3 位置接线图

3. 结构参数

结构参数主要有两类，一类是系统中各元件的电气参数，如阻抗、额定电压等；另一类是非电气参数，如体积、质量、尺寸等，这其中又以系统中各元件的位置坐标参数最为重要。位置坐标参数大多数时候为二维平面坐标，有时也会有三维空间坐标，如平原上架空线路的路径，是由杆塔的平面坐标所确定的，但线路的弧垂（表明架空线路高差的一个参数），就是一个竖直方向上的坐标。

二、运行状态描述

(一) 运行状态及其划分

由于各种不可控制因素的存在，电力系统不可能总是运行在我们设定的理想状态之中。根据系统偏离理想状态的后果，人们对系统的运行状态进行如下分类：

1. 正常运行状态

指系统可持续工作，没有中断系统正常工作的迹象出现。应特别



说明的是，正常运行状态并不表明系统就处于最理想的工作状态。如发电机轻负荷并不是最理想的工作状态，但仍属于正常运行状态。

2. 不正常运行状态

指已有中断系统工作或损坏系统的迹象出现，但还不至于立马产生后果，系统仍然可以继续运行一段时间，如过负荷、小接地系统中发生单相接地等。

3. 故障状态

指如果不采取措施，系统就会立刻损坏或发生工作中断，如断线、短路等。

根据状态的持续性，还可将运行状态分为稳态和暂态两大类。但是，稳态不一定是正常运行状态，暂态也不一定就是故障状态。如系统过负荷运行就是一种稳态，而发电机功率角或励磁电流的调整虽然是暂态过程，但仍属正常运行。

(二) 运行参数

1. 运行参数与本构参数

运行参数与本构参数是相互对应的两类参数。所谓运行参数，是指对象在工作时某些物理量的实际量值，这些量值关联着对象的工作状态；所谓本构参数，是指由对象的结构、材料、尺寸、制造工艺等所决定的反映对象自身特性的参数。我们前面所说的电力系统的结构参数，实际上就是一系列元件本构参数的集合。

运行参数与本构参数即使是同一个物理量，也具有不同的含义。如电动机工作时实际的输出功率，是电动机的一个运行参数，这一参数主要由电动机拖动的对象而非电动机自身决定；而电动机的额定功率是一个本构参数，它是指我们设定的电动机的最佳输出机械功率，通过正确的设计制造，这一参数成为电动机本身的特性。

一般来说，运行参数和本构参数之间会有一定的关系，这种关系一般表现为要求运行参数尽可能趋近于本构参数，或者要求将运行参数控制在本构参数所确定的范围之内。

2. 运行参数与运行状态之间的关系

运行参数可以准确地反映系统的运行状态。长期的工程实践发现，运行状态的变化，一定伴随着某些运行参数在量值、特征或相互

关系上的变化。因此，为了让系统能够自动识别自身的运行状态，人们总是给某些参数设置临界点，以作为判断的依据。另外，运行参数不仅只是被动地反映系统的运行状态，人们还可以通过对某些运行参数的调节，在一定程度上控制系统的运行状态。

第三节 电力系统电压

电力系统中的所有电气设备都是在一定的电压和频率下工作的。当电气设备工作在额定条件下，才能获得最佳的经济效益。

电压和频率是衡量电能质量的两个基本参数。我国三相交流电的额定频率为 50Hz，此频率通常称为工频。工频频率偏差一般不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。频率主要依靠发电厂来调整。对用户供配电系统来说，提高电能质量主要是提高电压质量的问题。

一、电力系统的额定电压

由于电气设备生成的标准化，电气设备的额定电压必须统一，发电机、变压器、用电设备和输电线路的额定电压必须分成若干等级。所谓额定电压，就是用电设备、发电机、变压器正常运行并具有最经济的工作电压，也就是正常情况下所规定的电压。它是国家根据经济发展的需要、技术经济的合理性、制造能力、产品的系列性和发展趋势等因素，经全面分析研究而制定的标准电压等级。制定标准电压等级的目的是使电力工业和电工制造业的生产标准化、系列化和统一化。我国三相交流系统的标称电压、相关设备最高电压和交流发电机的额定电压见表 1-1。

根据我国标准化政策和加入 WTO 的要求，基础性和安全性标准宜与国际标准一致，GB/T 156—2007《标准电压》即对应 IEC 60038—2002《IEC 标准电压》及其 1994 年、1997 年、2003 年三次修改的内容。我国一直采用 50Hz 的标准电压系列，个别电压等级存在差异：

(1) 根据我国实际将 IEC 标准电压 230/400V 和 400/690V 分别修改为 220/380V 和 380/660V，同时增加了我国煤矿井下使用的 1140V 电压。



(2) 根据我国实际补充了 330kV、500kV、750kV、1000kV 四个等级系统标称电压。

表 1-1 我国三交流系统标称电压、相关设备最高电压
和交流发电机的额定电压

kV

标称系统电压	相关设备最高电压	交流发电机的额定电压
—	—	0.115
0.22/0.38	—	0.23, 0.40
0.36/0.66	—	0.69
1 (1.14)	—	—
3 (3.3)	3.6	3.15
6	7.2	6.3
10	12	10.5
20	24	—
—	—	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26
35	40.5	—
66	72.5	—
110	126 (123)	—
220	252 (245)	—
330	363	—
500	550	—
750	800	—
1000	1100	—

1. 标称系统电压

标称系统电压是指系统设计选定的电压，即通常所说的电网的额定电压，也称电网额定电压。它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。标称系统电压等级是国家根据国民经济发展的需要和电力设备的制造水平等有关因素，经全面的经济技术分析后所确定的。

2. 用电设备的额定电压

用电设备的额定电压通常由制造厂家来确定，用以规定元件、器