



21 世纪精品教材系列

电力系统分析

DIANLIXITONGFENXI

主编◎任思璟

 吉林大学出版社

21 世纪精品规划教材系列

电力系统分析

主 编 任思璟
副主编 苏勋文 郑爽
参 编 董金波 刘付刚
主 审 郭明良

 吉林大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电力系统分析 / 任思璟主编. — 长春 : 吉林大学出版社, 2016.1

ISBN 978-7-5677-5622-9

I. ①电… II. ①任… III. ①电力系统—系统分析
IV. ①TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 016250 号

书 名: 电力系统分析
作 者: 任思璟 主编

责任编辑: 李伟华 责任校对: 甄志忠

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 17.5 字数: 410 千字

ISBN 978-7-5677-5622-9

封面设计: 可可工作室

北京楠海印刷厂印刷

2016 年 1 月第 1 版

2016 年 1 月第 1 次印刷

定价: 38.00 元

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-89580028/29

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

前 言

电力系统分析课程是电气工程及其自动化专业的主干课程,同时又是学习其他专业的重要专业基础,因此学习好该课程对电气工程及其自动化专业的学生非常重要。电力系统分析课程理论性强,有一定深度,因此本书在内容上作了一定的取舍,合理把握本课程最基本的理论知识,以够用为主,精减了许多繁琐公式推导。本书对各章节内容的阐述简明,重点突出,对难点进行解释说明,着重启发学生创新思维和自主学习。

本书共分 13 章,阐述了电力系统的基本理论知识,主要内容包括电力系统的基本概念、电力系统各元件的数学模型和等值电路、简单电力系统的潮流计算、复杂电力系统潮流的计算机算法、电力系统有功功率平衡和频率调整、电力系统的无功功率平衡及电压调整、同步电机的基本方程、电力系统对称故障分析与实用计算、对称分量法及电力系统元件的各序参数和等值电路、不对称短路的分析计算、电力系统稳定性问题概述及各元件机电特性、电力系统静态稳定、电力系统暂态稳定。

全书由黑龙江科技大学负责主要编写工作,其中由任思璟担任主编,苏勋文、郑爽担任副主编,郭明良教授担任主审,参加编写工作的还有董金波、刘付刚。编写分工如下:任思璟编写了第 1、2、3、4 章,郑爽编写了 5、6、7、8 章,苏勋文编写了 9、10、11、12、13 章。在本书的编写过程中,参考、引用了国内外许多专家、学者的著作文献,董金波和刘付刚参加了部分章节的编写工作,在此一并表示衷心感谢。

本书可以作为电气工程及其自动化专业的本科教材,也可以供从事电力系统规划、设计运行和研究的工程技术人员参考。

由于编者水平和实践经验有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2015 年 10 月



目 录

第一章 电力系统概述和基础概念	(1)
第一节 电力系统概述	(1)
第二节 电力系统的负荷	(3)
第三节 电力系统的接线方式和电压等级	(6)
第四节 电力系统中性点的接地方式	(10)
第二章 电力系统各元件的数学模型和等值电路	(14)
第一节 电力线路的参数及等值电路	(14)
第二节 变压器的等值电路和参数	(20)
第三节 发电机和负荷的参数及等值电路	(27)
第四节 电力网络的等值网络	(30)
第三章 简单电力系统的潮流计算	(41)
第一节 电力线路和变压器的功率损耗和电压降落	(41)
第二节 辐射形网络潮流分布的计算	(47)
第三节 环形网络的潮流分布计算	(55)
第四节 电力网络潮流的调整控制	(61)
第四章 复杂电力系统潮流的计算机算法	(64)
第一节 节点电压方程与节点导纳矩阵及阻抗矩阵	(64)
第二节 功率方程和节点分类	(71)
第三节 牛顿-拉夫逊法	(73)
第四节 PQ 解耦法	(85)
第五节 最优潮流简介	(87)
第五章 电力系统有功功率平衡和频率调整	(89)
第一节 电力系统的有功功率平衡和最优分配	(89)
第二节 电力系统的频率调整	(97)
第六章 电力系统的无功功率平衡及电压调整	(111)



第一节 电力系统的无功功率平衡	(111)
第二节 电压调整的基本概念	(119)
第三节 电压调整的措施	(122)
第七章 同步电机的基本方程	(130)
第一节 abc 坐标下的同步电机方程	(130)
第二节 派克变换及 $dq0$ 坐标下的同步电机方程	(135)
第三节 同步电机的稳态方程式和相量图	(141)
第八章 电力系统对称故障分析与实用计算	(146)
第一节 电力系统故障概述	(146)
第二节 无限大功率电源供电的三相短路电流分析	(148)
第三节 同步电机的突然三相短路分析	(154)
第四节 电力系统三相短路的实用计算	(158)
第九章 对称分量法及电力系统元件的各序参数和等值电路	(166)
第一节 对称分量法	(166)
第二节 对称分量法在不对称故障分析中的应用	(169)
第三节 同步发电机的负序和零序阻抗	(172)
第四节 异步电动机的负序和零序电抗	(173)
第五节 变压器的零序电抗和等值电路	(174)
第六节 输电线路的零序电抗和电纳	(177)
第七节 零序网络的构成	(179)
第十章 不对称短路的分析计算	(181)
第一节 各种不对称短路故障处的电流和电压	(181)
第二节 非短路点电流、电压计算	(196)
第十一章 电力系统稳定性问题概述及各元件机电特性	(201)
第一节 概述	(201)
第二节 同步发电机转子运动方程	(204)
第三节 自动调节励磁系统的作用原理和数学模型	(206)
第四节 负荷特性	(210)
第五节 高压直流输电技术	(213)
第六节 发电机电磁功率	(219)
第十二章 电力系统静态稳定	(231)
第一节 简单电力系统静态稳定	(231)



第二节	小干扰法分析简单电力系统静态稳定	(235)
第三节	多机系统的静态稳定近似分析	(240)
第四节	提高静态稳定性的措施	(242)
第十三章	电力系统暂态稳定	(244)
第一节	电力系统暂态稳定概述	(244)
第二节	简单系统的暂态稳定分析	(246)
第三节	自动调节系统对暂态稳定的影响	(261)
第四节	复杂电力系统的暂态稳定计算	(263)
第五节	提高暂态稳定的措施	(265)

第一章 电力系统概述和基础概念

第一节 电力系统概述

一、电力系统简介和发展

1. 电力系统的基本概念

电能的生产、输出、分配、使用是同时进行的,所用设备构成一个整体。通常将生产、变换、输送、分配电能的设备如发电机、变压器、输配电力线路等,使用电能的设备如电动机、电炉、电灯等,以及测量、继电保护、控制装置乃至能量管理系统所组成的统一整体,称为电力系统。电力系统中,各种电压等级的输配电力路线及升降压变压器所组成的部分称为电力网络,见图 1-1 所示,电力系统又加上动力设备,如锅炉、发电机(G)、电动机(M)、水轮机等统称动力系统。

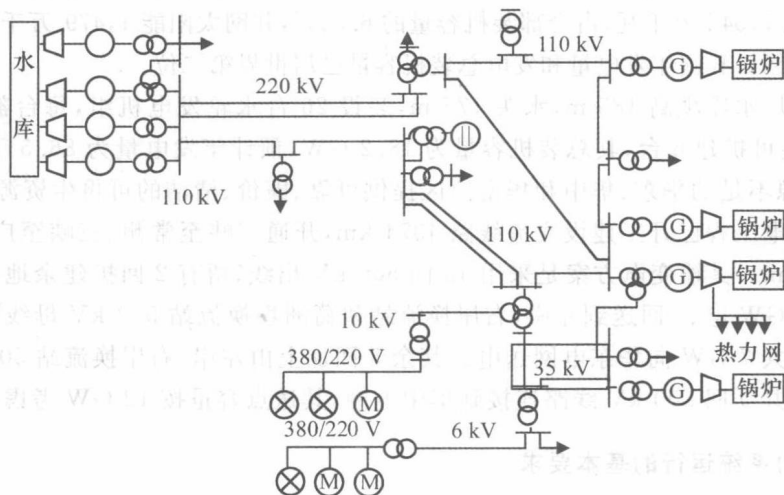


图 1-1 动力系统、电力系统及电力网络示意图

2. 电力系统的发展概况

在法拉第发现电磁感应定律的基础上出现了交流发电机、直流发电机、直流电动机,可将其其他形式的能转变为电能。到 1882 年,第一座的、发电厂在英国伦敦建成,原始的电力线路输送的是 100 V 和 400 V 的低压直流电,同年法国人德普列茨提高了直流输电电压,使之达到 1500 V 至 2000 V,输送功率约 2 kW,输出距离为 57 km,一般认为这是世界上第一个电力系统。

随着生产的发展对输送功率和输送距离的提出了进一步的要求,直流输电已不能适应,到 1885 年出现了变压器,接着实现了单相交流输电。1891 年在制造出三相变压器和三相异步电动机基础上,实现了三相交流输电。第一条三相交流输电线路于 1891 年在德国运行,电压为 12 kV,线路长度达 180 多千米。从此三相交流制的优越性很快显示出来,使输送功



率、输电电压、输电距离日益增大。数十年间,大电力系统不断涌现,在一些国家甚至出现全国性和国际性电力系统,直流输电逐渐被淘汰。当前世界上已建成 1200 kV 的交流输电线路,并在研究 1500 kV 交流输电,输送距离已超过 1000 km,输送功率已超过 5000 MW。而个别跨国电力系统发电设备总容量则超过 400 GW。

由于电力系统日益增大,会出现同步发电机并列运行的稳定性问题,因此直流输电重新被起用。目前直流输电电压已达 800KV,输电距离超过 2000KM,输送功率已超过 8000MW。

我国电力系统随着改革开放的不断深入也迅速的发展。至今,我国已建成的跨省电力系统有六个,即华东系统、东北系统、华中系统、华北系统、西北系统、和华南系统。而且华南系统的省际联系已延伸至贵州、云南两省。独立的省属电力系统尚有山东、福建、海南、四川和台湾系统。

随着我国国民经济的发展,电力系统也将继续发展,跨省系统之间出现了互联,如华中、华北、系统之间经 500 kV 直流输电线路的互联。由于我国原煤、石油和水利自然资源分布不平衡,决定多年来我国的能源供应策略是:“北煤南运、西电东运”。近年来又因运输困难,改成了“北电南送、西电东送”。因此跨省电力系统之间必须互联,建立全国性联合电力系统。我国电力工业的迅猛发展,取得的成就举世瞩目,截至 2013 年底,全国发电设备装机容量 124,738 万千瓦,比上年增长 9.25%,其中,水电 28,002 万千瓦,占全部装机容量的 22.45%;火电 86,238 万千瓦(含煤电、气电),占全部装机容量的 69.13%;核电 1,461 万千瓦,占全部装机容量的 1.17%,并网风电 7,548 万千瓦,占全部装机容量的 6.05%,并网太阳能 1,479 万千瓦,占全部装机容量的 1.19%。我国年发电量和发电总装机容量已居世界第二位。

三峡水电厂水库坝高 185 m,水头 175 m,装设 26 台水轮发电机组,每台额定容量 700 MW,必要时还可扩建 6 台,其总装机容量为 18.2 GW,预计年发电量为 86.5 TWh。将为经济发达、能源不足的华东、华中和华南地区提供可靠、廉价、清洁的可再生资源。

三峡输变电工程已开工建设交流线路 4374 km,开通三峡至常州、三峡至广东的直流线路两条 1822 km。其输变电方案是采用 15 回 500 kV 出线、留有 2 回扩建余地,其中 2 回向川渝电网送 2 GW 电,8 回送到左岸,右岸换流站和葛洲坝换流站 500 kV 母线上,从换流站通过 3 回直流共 7 GW 向华东电网送电。其余 5 回加上由左岸、右岸换流站 500 kV 交流母线出来的 4 回共 9 回 500 kV 线路连接到华中电网,其送点容量按 12 GW 考虑。

二、对电力系统运行的基本要求

根据电能生产、输送、消费的特殊性,对电力系统运行有如下三点基本要求。

1. 保证可靠地持续供电

电力系统供电的中断将使生产停顿,生活混乱,甚至危及人身和设备的安全,会造成十分严重的后果,给国民经济带来严重的损失。因此对电力系统的运行首先要保证供电的可靠性。但并非所有负荷都绝对不能终端供电。因此根据用户对供电可靠性的要求将负荷分为以下三级:

第一级负荷:由于中断供电会造成人身事故、设备损坏、产品报废、生产秩序长期不能恢复、人民生活混乱及政治影响大等的用户负荷,一般化为第一级负荷,这是重要负荷。

第二级负荷:由于供电中断会造成大量减产、人民生活受到较大严重的用户负荷划为第二级负荷,这是比较重要的负荷。



第三级负荷:第一、第二级负荷以外的一般用户负荷属于第三级负荷。

电力系统供电的可靠性,首先是保证第一级负荷,然后保证第二级负荷,第三级负荷也应有相应的保证措施。

2. 保证良好的电能质量

良好的电能质量有三个指标:①电压偏移一般不超过用电设备额定电压的 $\pm 5\%$;②频率偏移一般不超过 $\pm 0.2 \sim 0.5 \text{ Hz}$ (电压、频率两个指标是根据我国目前生产力发展水平而确定的。电压和频率偏移过大,会引起大量减产、产品报废、严重时危及系统的安全运行而造成设备损坏、人身事故);③波形质量指标是以畸变率不超过给定值限定的。所谓畸变率是指各次谐波有效值平方和的方根值与基波有效值的百分比。给定的允许畸变率又因供电电压等级不同而不同。谐波超过标准会影响系统中电气设备的安全运行。

3. 提高系统运行的经济性

电能生产的规模很大,消耗的能源在国民经济能源总消耗中占的比重很大,而且电能在生产、输送、分配时损耗的绝对值是相当可观的。因此,提高电力系统运行的经济性具有极其重要的经济意义。电力系统的经济指标一般是指火电厂的煤耗以及电厂的厂用电率和电力网的网损率等。

此外,环境保护问题日益为人们所关注,对电能生产过程中的污染物质——飞灰、灰渣、废水、二氧化硫、氧化氮等的排放量的限制,也将成为对电力系统运行的基本要求。

将若干单一系统互联组成联合电力系统,就容易满足对电力系统运行的基本要求。因此电力系统的发展趋势总是由小到大。但容量过大,电力系统的稳定性问题有比较突出,应在技术上采取相应的措施。

第二节 电力系统的负荷

一、负荷组成

电力系统中所有电力用户的用电设备所消耗的电功率就是电力系统的负荷,又称为综合用电负荷。综合用电负荷在电网中传输会引起网络损耗,综合用电负荷加上电网的网络损耗就是各发电厂向外输送的功率,称为系统的供电负荷。发电厂内,为了保证发电机及其辅助设备的正常运行,设置了大量的电动机拖动的机械设备以及运行、操作、试验、照明等设备,它们所消耗的功率总和称为厂用电。供电负荷加上发电厂厂用电消耗的功率就是电力系统的发电负荷,它们之间的关系如图 1-2 所示。

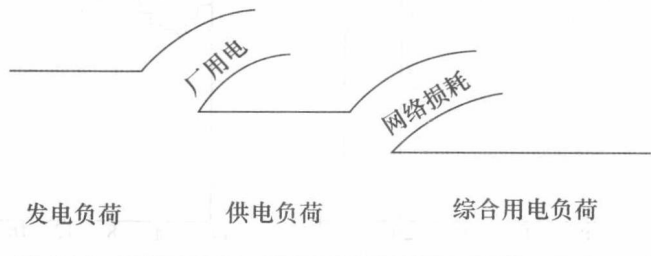


图 1-2 电力系统负荷间的关系



电力用户的用电设备主要为异步电动机、同步电动机、电热装置和照明设备等。根据用户的性质,用电负荷又可分为工业负荷、农业负荷、交通运输业负荷和人民生活用电负荷等。用户性质不同,各种用电设备消耗功率所占比重也不同,如表 1-1 中列出了几个工业部门各类用电设备消耗功率的分配比例。

表 1-1 几个工业部门用电设备比重的统计(%)

用电设备	综合性中小工业	纺织工业	化学工业(化肥厂、焦化厂)	化学工业(电化厂)	大型机械加工工业	钢铁工业
异步电动机	79.1	99.8	56.0	13.0	82.5	20.0
同步电动机	3.2		44.0		1.3	10.0
电热装置	17.7	0.2			15.0	70.0
整流装置				87.0	1.2	
合计	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

二、负荷曲线

电力系统个用户的用电情况不同,并且经常发生变化,因此实际系统的负荷是随时间变化的。描述负荷随时间变化规律的曲线就称为负荷曲线。按负荷种类可分为有功负荷曲线和无功负荷曲线;按时间的长短可分为日负荷曲线和年负荷曲线;也可按计量地点分为个别用户、电力线路、变电所、发电厂、电力系统的负荷曲线。将以上三种特征相结合,就确定了某一种特定的负荷曲线,如电力系统的有功日负荷曲线。

常用的负荷曲线有如下几种:

1. 日负荷曲线

描述系统负荷在一天 24h 内所需功率的变化情况,分为有功日负荷曲线和无功日负荷曲线。它是调度部门制订各发电厂发电负荷计划的依据。图 1-3(a)为某系统的日负荷曲线,实线为有功日负荷曲线,虚线为无功日负荷曲线。为了方便计算,常把负荷曲线汇成阶梯形,如图 1-3(b)所示。负荷曲线中的最大值称为日最大负荷 $P_{\max}$ (峰荷),最小值称为日最小负荷 $P_{\min}$ (谷荷)。从图 1-3(a)可见,有功率和无功率最大负荷不一定同时出现,低谷负荷时功率因数较低,高峰负荷时功率因数较高。

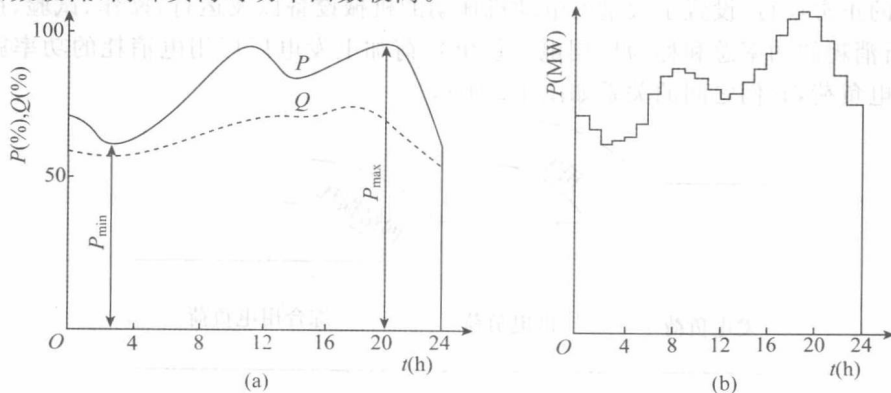


图 1-3 日负荷曲线

根据日负荷曲线可估算负荷的日耗电量,即

$$W_d = \int_0^{24} P dt \quad (1-1)$$

在数值上 W_d 就是有功日负荷曲线 P 包含的曲边梯形的面积。

不同行业、不同季节的日负荷曲线差别很大,如图 1-4 所示几种行业在冬季的有功日负荷曲线。钢铁工业属三班制生产,其负荷曲线[图 1-4(a)]很平坦,最小负荷达最大负荷的 85%;食品工业属一班制生产,其负荷曲线[图 1-4(b)]变化幅度较大,最小负荷仅达最大负荷的 13%;农村加工负荷每天仅用电 12h[图 1-4(c)];市政生活用电有明显的用电高峰[图 1-4(d)]。由图 1-4 可见,各行业的最大负荷不可能同时出现,因此系统负荷曲线上的最大值恒小于各行业负荷曲线上最大值之和。

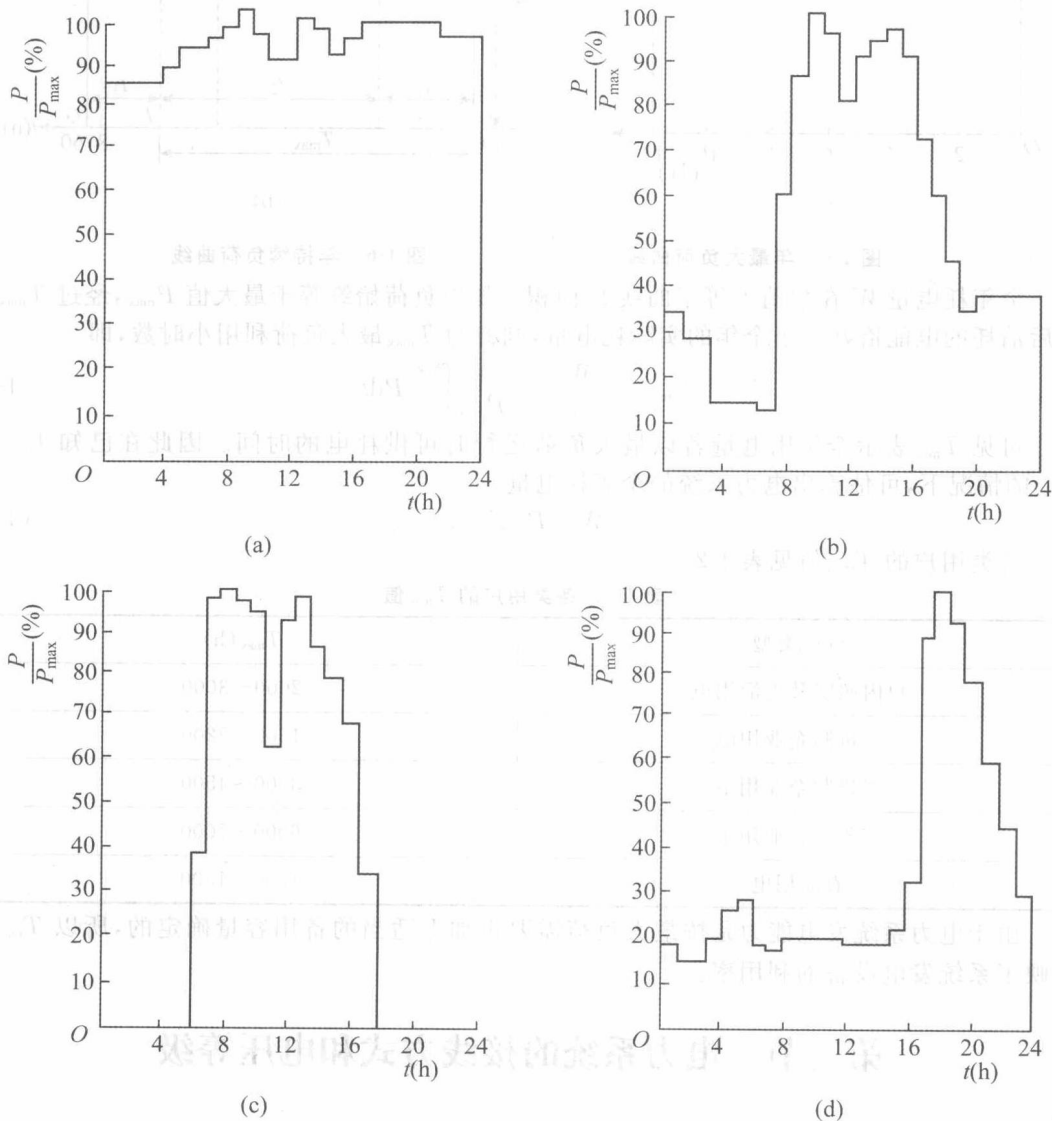


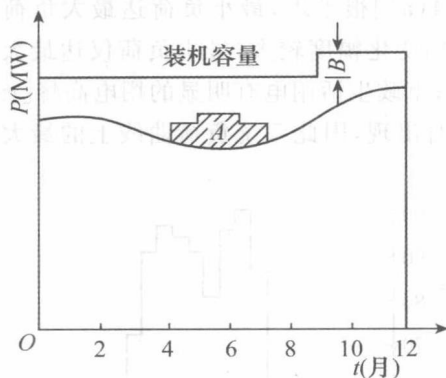
图 1-4 几种行业的有功功率日负荷曲线(冬季)

(a) 钢铁工业负荷; (b) 食品工业负荷; (c) 农村加工负荷; (d) 市政生活负荷



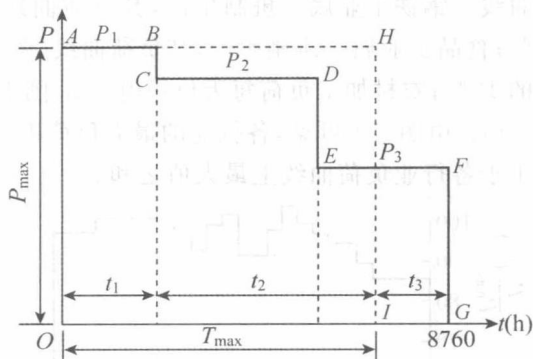
2. 年最大负荷曲线

描述一年内每月电力系统最大综合用电负荷变化规律的曲线,为调度、计划部门有计划的安排发电设备的检修、扩建或新建发电厂提供依据。如图 1-5 所示为某系统的年最大负荷曲线,其中阴影面积 A 为检修机组的容量与检修时间的乘积; B 为系统扩建或新建的机组容量。年持续负荷曲线如图 1-6 所示。



(a)

图 1-5 年最大负荷曲线



(b)

图 1-6 年持续负荷曲线

全年耗电量 W 在数值上等于曲线 P 面积。如果负荷始终等于最大值 $P_{\max}$,经过 $T_{\max}$ 小时后消耗的电能恰好等于全年的实际耗电量,则称为 $T_{\max}$ 最大负荷利用小时数,即

$$T_{\max} = \frac{W}{P_{\max}} = \frac{1}{P_{\max}} \int_0^{8760} P dt \quad (1-2)$$

可见 $T_{\max}$ 表示全年用电量若以最大负荷运行时可供耗电的时间。因此在已知 $P_{\max}$ 和 $T_{\max}$ 的情况下,可估算出电力系统的全年耗电量。

$$W = P_{\max} T_{\max} \quad (1-3)$$

各类用户的 $T_{\max}$ 值见表 1-2。

表 1-2 各类用户的 $T_{\max}$ 值

负荷类型	$T_{\max}$ (h)
户内照明及生活用电	2000~3000
一班制企业用电	1500~2200
二班制企业用电	3000~4500
三班制企业用电	6000~7000
农灌用电	1000~1500

由于电力系统发电能力是按最大负荷需要再加上适当的备用容量确定的,所以 $T_{\max}$ 也反映了系统发电设备的利用率。

第三节 电力系统的接线方式和电压等级

一、电力系统的接线方式

电力系统的接线方式按供电可靠性分为有备用接线方式和无备用接线方式两种。无备



用接线方式是指负荷只能从一条路径获得电能的接线方式。根据形状,它包括单回路的放射式、干线式和链式网络,如图 1-7 所示。有备用接线方式是指负荷至少可以从两条路径获得电能的接线方式。它包括双回路的放射式、干线式、链式、环式和两端供电网络,如图 1-8 所示。

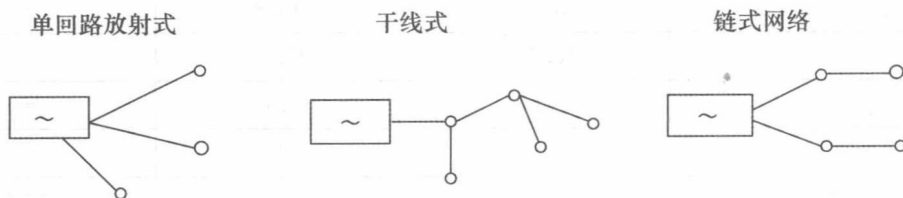


图 1-7 无备用接线方式

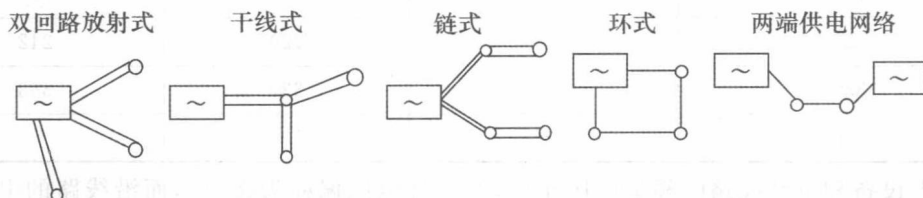


图 1-8 有备用接线方式

无备用接线的主要优点在于简单、经济、运行操作方便,主要缺点是供电可靠性差,并且在线路较长时,线路末端电压往往偏低,因此这种接线方式不适用于一级负荷占很大比重的场合。但一级负荷的比重不大,并可为这些负荷单独设置备用电源时,仍可采用这种接线,这种接线方式广泛应用于二级负荷。

有备用接线的主要优点在于供电可靠性,电压质量好。有备用接线中,双回路的放射式、干线式和链式接线的缺点是不够经济;环形网络的供电可靠性和经济性都不错,但其缺点是运行调速复杂,并且故障时的电压质量差;两端供电网络很常见,供电可靠性高,但采用这种接线的先决条件是必须有两个或两个以上独立电源,并且各电源与各负荷点的相对位置又决定了这种接线的合理性。

可见,接线方式的选择要经技术经济比较后才能确定。所选的接线方式在满足安全、优质、经济的指标外,还应保证运行的灵活和操作方便、安全。

二、电力系统的电压等级

1. 电力系统的额定电压等级

实际电力系统中,各部分的电压等级不同。这是由于电气设备运行时存在一个能使其技术性能和经济效果达到最佳状态的电压。另外,为了保证生产的系统性和电力工业的有序发展,我国国家标准规定的电气设备标准电压(又称额定电压)等级见表 1-3 所示。

表 1-3 额定电压及电力线路的平均额定电压

受电设备与系统额定线 电压/kV	供电设备额定线 电压/kV	变压器额定线电压/kV	
		一次绕组	二次绕组
3	3.15 *	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3 *	6 及 6.3	6.3 及 6.6



受电设备与系统额定线 电压/kV	供电设备额定线 电压/kV	变压器额定线电压/kV	
		一次绕组	二次绕组
10	10.5 *	10 及 10.5	10.5 及 11
	13.8 *	13.8	—
	15.75 *	15.75	—
	18 *	18	—
	20 *	20	—
35	—	35	38.5
110	—	110	121
220	—	220	242
330	—	330	363
500	—	500	—

用电设备和电路线路的额定电压相同,并容许电压偏移为 $\pm 5\%$,而沿线路的电压降落一般为 10% ,这就要求线路始端电压为额定值的 105% ,以使末端电压不低于额定值的 95% 。

如表 1-3 中所列的电力线路平均额定电压,是指电力线路首末端所连接电气设备额定电压的平均值,即

$$U_{av} = (U_N + 1.1U_N)/2 = 1.05U_N$$

式中: U_N ——为电力线路的额定电压。

同步发电机往往接在线路始端,因此,发电机的额定电压比电力线路的额定电压高 5% 。

变压器的额定电压,有一次侧绕组和二次侧绕组的额定电压之分,如表 1-3 所示。由于变压器一次侧绕组接电源,相当于用电设备,因此变压器一次侧额定电压应同于用电设备或电力线路的额定电压,如若直接和发电机相连,侧变压器一次侧额定电压应同于发电机额定电压。变压器二次侧向负荷供电,又相当于发电机,因此二次侧绕组额定电压应较线路额定电压高 5% 。按规定二次侧绕组的额定电压是空载时的电压,而在额定负荷运行时,大中容量变压器内部的电压降落约为 5% ,为使在额定负荷运行时变压器二次侧电压就应较电力线路额定电压高 10% 。只有漏抗较小 $[U_K(\%) < 7]$ 的小容量变压器,或者二次侧直接与用电设备相连的广用变压器,其二次侧绕组的额定电压才较电力线路额定电压高 5% 。终上所述,可以写成如下公式,

① 线路额定电压=电力设备额定电压=网络额定电压

② 3、6、10、35、60、110、220、330、500 kV

③ 发电机额定电压=105%线路额定电压

3.15、6.3、10.5、15.75 kV

④ 降压变压器额定电压:

一次侧额定电压=线路额定电压

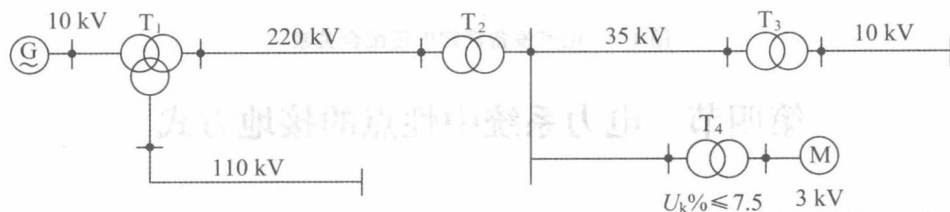
二次侧额定电压=110%(满载)(或 105%(空载))线路额定电压

升压变压器额定电压:

一次侧额定电压=发电机额定电压

二次侧额定电压=110%线路额定电压

例如,确定如下图所示系统中各变压器绕组的额定电压。



解: T1: 高压绕组: 242 kV, 中压绕组: 121 kV, 低压绕组: 10.5 kV;

T2: 高压绕组: 220 kV, 低压绕组: 38.5 kV;

T3: 高压绕组: 35 kV, 低压绕组: 11 kV;

T4: 高压绕组: 35 kV, 低压绕组: 3.15 kV。

不同电压等级的适用范围大致为: 500、330、220 kV 一般用于大电力系统的主干线, 154、60 kV 电压等级不推广, 110 kV 及用于中、小电力系统的主干线, 也用于大电力系统的二次网络; 35 kV 及用于大城市或大工业企业内部网络, 也广泛用于农村网络; 10 kV 则是最常用的低一级配电电压; 只有负荷中高压电动机的比重很大时, 才考虑以 6 kV 配电方案, 3 kV 仅限于工业企业内部采用。

表 1-4 中列出根据经验确定的, 采用架空线路时与各额定电压等级相适应的输送功率和输送距离, 仅供参考。

表 1-4 电力线路的额定电压与输送功率和输送距离的关系

额定电压(千伏)	输送功率(kw)	输送距离(km)
3	100~1000	1~3
6	100~1200	4~15
10	200~2000	6~20
35	2000~10000	20~50
60	3500~30000	30~100
110	10000~50000	50~150
220	100000~500000	100~300

2. 电气设备额定电压间的配合关系

电气设备额定电压配合关系如图 1-9 所示。变压器一次侧从系统接受电能, 相当于用电设备; 二次侧向负荷供电, 又相当于发电机。因此, 变压器一次侧额定电压应等于所接网络的额定电压, 但直接与发电机相连的变压器, 其一次绕组的额定电压等于发电机的额定电压。变压器二次侧接在线路首段, 这就要求正常运行时其二次侧电压较线路额定电压高 5%, 而变压器二次侧额定电压是空载时的电压, 带额定负荷时, 变压器内部的电压降落约为 5%。为了保证正常运行时变压器二次侧电压比线路额定电压高 5%, 变压器二次侧额定电压应比线路额定电压高 10%。只有短路电压小于 7% 或直接(包络通过短距离线路)与用户连接的变压器, 其二次侧额定电压才比线路额定电压高 5%。

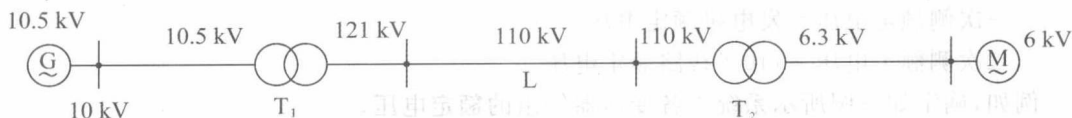


图 1-9 电气设备额定电压配合关系

第四节 电力系统中性点的接地方式

一、电力系统中性点及其接地方式

1. 电力系统中性点及其接地方式

电力系统中性点是指星形接线的变压器或发电机的中性点,这些中性点的接地方式是一个复杂的问题,它关系到系统的绝缘水平、供电可靠性、继电保护、通信干扰、接地保护方式、电压等级、系统结线和系统稳定等很多方面的问题,须经合理的技术经济比较后确定电力系统中性点的接地方式。

电力系统中性点接地方式,从大的方面分为:

大接地电流方式:凡是需要断路器遮断单项接地故障电流者,属与大接地电流方式。

小接地电流方式:凡是单相接地电弧能够瞬间自行熄灭者,属于小接地电流方式。

在大接地电流方式中,主要有:①中性点有效接地方式;②中性点全接地方式,即非常有效的接地方式;③中性点经低电抗、中电阻和低电阻接地方式。

中性点有效接地方式定义为:对于高电压电力系统(110~220 kV),当电力系统发生单相接地故障时,在一个电力系统中不论变压器中性点是直接接地,还是不接地,或者是经低电阻或低电抗接地,只要在指定部分各点满足 $x_0/x_1 \leq 3$ 和 $r_0/x_1 \leq 1$,该系统便属于有效接地方式。

中性点全接地方式定义为:对于 500 kV 及以上超高压电力系统,广泛使用自耦变压器所以全部的变压器中性点都保持直接接地,或特殊需要经低电抗借地方是,称为中性点全接地方式,或称为中性点为非常有效接地方式,有人也称之为中性点死接地方式。

在小接地电流方式中,主要有①中性点不接地方式;②中性点经消弧线圈接地;③中性点经高阻抗接地方式。

此外,还有人将中性点非有效接地系统定义为:在电力系统各中性点接地方式中,除了有效接地和安全接地方式之外,都属于中性点非有效接地的范畴,它包括小接地电流系统中的中性点不接地,经消弧线圈接地(谐振接地)和高电阻接地,以及大接地电流系统中的中性点经中、低电阻,低电抗等接地的系统。

2. 电力系统中性点不同接地方式的优缺点

(1)大接地电流方式的电力系统。对于大接地电流方式的电力系统,其优点:快速切除故障,安全性好。因为系统单相接地时即为单相短路,保护装置可以立即切除故障;其次是经济性好,因中性点直接接地系统在任何情况下,中性点电压不会升高,且不会出现系统单相接地时电弧过电压问题,因此,电力系统的绝缘水平便可按相电压考虑,使其经济性好。其缺点是该系统供电可靠性差,因为系统发生单相接地时由于继电保护作用使故障线路的断路器立即跳闸,所以降低了供电可靠性(为了提高其供电可靠性就得加自动重合闸装置等