

BIANDIAN YUNXING YU GUANLI JISHU

变电运行与管理技术

(第二版)

陈 蕾 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

变电运行与管理技术

(第二版)

陈 蕾 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要介绍了电力系统及变电所,变电设备投入运行的标准,变电运行管理技术,变电设备运行条件及维护技术,变电运行安全管理技术,变电设备倒闸操作技术,变电设备运行异常及事故处理,电力系统调度控制管理技术等内容。

本书内容系统全面,面向岗位,适用于广大变电运行人员、电力调度人员、电气技术管理人员阅读使用,也可供大中专电气专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

变电运行与管理技术/陈蕾主编. —2版. —北京:中国电力出版社,2017.1

ISBN 978-7-5123-9051-5

I. ①变… II. ①陈… III. ①变电所—电力系统运行—管理 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第046180号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004年5月第一版

2017年1月第二版 2017年1月北京第五次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 33印张 895千字

11001—13000册 定价132.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

编写人员名单

主 编 陈 蕾

副主编 陈 静 吕 源

编 委	李 锰	王 坚	任卫华	张少博
	吴俊锡	单丽丽	王 锋	李彭涛
	刘贺丽	余 可	段奕帆	刘佳女
	刘 丽	王佳佳	韩 冰	禹 威
	杜 军	杨 光	杨 旭	张晓华
	吕晓博	郭 立	何朋朋	王 寅
	张建村	王世威	吕 森	吴 江
	徐艳锦	李明超	张 亮	陈家斌

前 言

《变电运行与管理技术》第一版自 2004 年 5 月出版以来,得到广大读者的热情支持和肯定,进行了多次重印,满足了广大读者的需要,这对我们作者是一个很大的鼓励。近年来,随着科技迅速发展,各种新技术规程陆续发布,为了适应这种新形势,也为了满足广大读者的岗位工作新的需要,我们对第一版进行了修订,主要体现在以下方面:

一是作者根据近年来国家颁布的新规程、规范,对相关内容做了修改和补充,使本书内容与最新规程、新标准保持一致。二是更新了已经过时的知识,增加了目前已广泛应用的新技术、新设备等内容,使本书内容除保持文字叙述通俗易懂、紧密结合实际工作的特点外,力求内容更集中、更紧凑,紧扣新技术的发展。三是增加变电设备投入运行的标准一章。四是对本书“电力系统及变电所”、“变电运行管理技术”等章节做了具体修订充实,以职工现场岗位实用技术为主,同时增加了一些新的技术内容。此外,还更正了原书中出现的错误,并删除了部分陈旧的内容。

本书第二版的内容更符合现阶段读者的工作实际需要,更能满足读者所需的知识、技能和能力的要求,能够有效地满足广大读者提高岗位技能的要求。

由于作者水平及实际经验所限,书中难免存在疏漏之处,请读者批评指正。

编 者

2016 年 3 月

第一版前言

电力工业随着各行各业的迅速发展和人民生活水平不断提高,也得到了迅猛的发展。特别是进入新世纪以来,国家加大了城乡电网的建设与改造力度,是电力工业有史以来发展最快,建设变电所最多的时期,因而从事变电专业的人员不断增加,很多新从事变电专业的人员对变电运行技术管理经验需要提高,为了适应新时期变电运行人员岗位工作和学习培训需要,我们组织一些有实际工作经验的专业技术人员编写了《变电运行与管理技术》一书,这部书的出版必将对变电运行专业的职工提高业务水平起到了积极的促进作用。

本书编写的目的:一是使读者在较短的时间里掌握变电运行技术,尽快胜任本职工作;二是提高变电运行管理技术水平,熟练掌握处理各种电气事故的能力及缩短处理事故的时间;三是确保变电设备安全运行,执行各种规程制度,控制工作中危险点,避免事故的发生。

本书编写的特点以岗位实用为主:一是涵盖面较宽,较为系统全面,220kV 及以下变电所设备运行维护、运行管理、事故处理等方面内容;二是内容简明扼要,简单实用,通俗易懂,查找方便;三是实用性强,全书以实际应用为出发点和归宿的原则,结合技术标准、规程和运行人员的应知应会要求进行选材组稿。

本书编写依据电力行业的技术标准和管理规程、制度。重点突出了变电设备的管理、安全管理及设备异常和事故处理方面的内容。可供广大的变电运行人员岗位工作查找、学习、参考,从而维护和管理好变电设备,缩短处理变电设备故障的时间,提高工作效率,增大本企业和社会效益。

由于编者水平有限,书中可能存在不当或错误,敬请广大读者批评指正。

编 者

2003 年 5 月

目 录

前言	
第一版前言	
第一章 电力系统及变电所	1
第一节 电力系统组成及要求	1
第二节 电力系统短路及接地方式	7
第三节 电力系统过电压及绝缘配合	11
第四节 电力系统额定电压	21
第五节 电力系统负荷和供电可靠性	28
第六节 电力网功率损耗及降低电能损耗的措施	31
第七节 变电所的类型及电气主接线	34
第八节 变电主要设备	37
第二章 变电设备投入运行的标准	48
第一节 变电设备安装相关建筑工程应具备的标准	48
第二节 变压器类设备安装应具备的标准	50
第三节 开关类设备安装应具备的标准	54
第四节 电容器、避雷器、绝缘子安装应具备的标准	61
第五节 母线安装应具备的标准	63
第六节 盘、柜及二次回路安装应具备的标准	72
第七节 蓄电池安装应具备的标准	75
第八节 电缆安装应具备的标准	76
第九节 变电所接地安装应具备的标准	81
第十节 变电设备投入前应做的试验项目	84
第三章 变电运行管理技术	89
第一节 变电运行管理工作	89
第二节 变电设备管理	103
第三节 变电运行技术管理	119
第四节 变电设备巡视检查	124
第五节 变电设备检修许可与验收	131
第六节 无人值班变电所的运行管理	142
第七节 变电所文明生产管理	150
第八节 变电运行工培训教育	153
第四章 变电设备运行条件及维护技术	161
第一节 变压器的运行条件	161
第二节 变压器的带负荷能力	165

第三节	变压器的并列运行	168
第四节	变压器运行中的维护	171
第五节	干式变压器的运行维护	176
第六节	变压器分接开关的维护	178
第七节	断路器的运行条件	184
第八节	油断路器的运行维护	187
第九节	SF ₆ 断路器及 GIS 配电装置的运行维护	195
第十节	真空断路器的运行维护	199
第十一节	隔离开关的运行维护	202
第十二节	高压配电装置的运行维护	203
第十三节	互感器的运行条件及维护	209
第十四节	消弧线圈的运行条件及维护	216
第十五节	并联电容器的运行条件及维护	218
第十六节	防雷设备的运行维护	222
第十七节	接地装置的要求及运行维护	224
第十八节	绝缘子、套管的要求及运行维护	228
第十九节	铅酸蓄电池的运行维护	231
第二十节	镉镍蓄电池的运行维护	239
第二十一节	二次回路的运行条件及维护	244
第二十二节	继电保护及自动装置的运行条件及维护	248
第二十三节	电工仪表的要求及运行维护	263
第五章	变电运行安全管理技术	270
第一节	变电所运行安全管理工作	270
第二节	变电所运行工作中的安全组织措施	271
第三节	变电所运行工作中的安全技术措施	273
第四节	电气设备检修试验工作票执行程序	276
第五节	变电所防火防爆管理	284
第六节	二次设备维护安全规定	301
第七节	变电设备安全性评价	302
第八节	变电运行工作中的危险点预控	306
第九节	防止电气设备误操作闭锁装置管理	310
第十节	变电所防小动物管理	311
第十一节	安全用具的使用与管理	312
第十二节	安全保障及触电急救	317
第十三节	变电运行工作中发生的事故实例	321
第六章	变电设备倒闸操作技术	327
第一节	电气设备倒闸操作的任务及要求	327
第二节	对电气设备操作人员及运行设备的要求	329
第三节	电气设备倒闸操作步骤	331
第四节	电气设备倒闸操作票的填写	335
第五节	验电及装设接地线的操作技术	338

第六节	电气设备倒闸操作时对保护及系统的要求	343
第七节	防止电气设备误操作措施	345
第八节	常用设备的操作要求	350
第九节	新设备投入的操作要求	357
第十节	断路器的投停操作要求及操作	361
第十一节	隔离开关的操作要求及操作	364
第十二节	变压器的投退要求及操作	368
第十三节	电压、电流互感器的投退要求及操作	373
第十四节	消弧线圈的投退要求及操作	374
第十五节	电容器的投退要求及操作	377
第七章	变电设备运行异常及事故处理	381
第一节	变电事故类型及处理原则	381
第二节	变电所所用电源中断事故处理	384
第三节	变电所母线失压事故处理	386
第四节	全所失压事故处理	389
第五节	线路保护动作跳闸事故处理	393
第六节	小电流接地系统单相接地故障处理	396
第七节	误操作事故处理	400
第八节	变压器运行异常处理	401
第九节	变压器自动跳闸后的处理	404
第十节	变压器气体继电器动作处理	405
第十一节	变压器差动保护动作跳闸处理	413
第十二节	变压器后备保护动作跳闸处理	416
第十三节	变压器冷却系统故障处理	418
第十四节	变压器运行中温度过高处理	421
第十五节	变压器运行中缺油、喷油故障处理	422
第十六节	变压器过负荷处理	423
第十七节	变压器油温、油色、油位不正常处理	423
第十八节	变压器着火事故处理	424
第十九节	配电变压器运行中熔丝熔断故障处理	425
第二十节	变压器输出电压异常处理	426
第二十一节	变压器有载调压分接开关的故障处理	428
第二十二节	油断路器严重缺油故障处理	432
第二十三节	少油断路器跳闸时喷油处理	433
第二十四节	断路器运行中发热处理	434
第二十五节	油断路器着火处理	435
第二十六节	断路器合闸失灵处理	438
第二十七节	断路器跳闸失灵处理	441
第二十八节	断路器误跳闸处理	444
第二十九节	SF ₆ 断路器气压降低处理	446
第三十节	隔离开关运行中故障处理	447

第三十一节	电压互感器故障处理	452
第三十二节	电流互感器故障处理	459
第三十三节	消弧线圈故障处理	461
第三十四节	避雷器故障处理	463
第三十五节	电容器故障处理	464
第三十六节	二次回路故障处理	472
第三十七节	直流系统运行故障处理	475
第三十八节	驻军变电所事故处理实例	485
第八章	电力系统调度控制管理技术	498
第一节	电力调度管理任务	498
第二节	电力系统运行方式编制	503
第三节	电力系统频率调整	506
第四节	电力系统电压、负荷管理	509
第五节	电网运行设备操作管理及事故处理	510
第六节	电力系统频率降低事故处理	511
第七节	电力系统电压降低事故处理	512
第八节	电力系统发生振荡事故处理	513
第九节	电力系统出现谐振过电压事故处理	514
第十节	电力系统解列事故处理	515
参考文献		517

第一章

电力系统及变电所

第一节 电力系统组成及要求

一、电力系统和电力网的组成

在电力工业发展初期，发电厂是建设在工厂或城市等用电地区附近，它们之间没有用电力线连接起来，多半是孤立运行的电厂。在现代，大部分国家的动力资源和电力负荷中心往往不一致的，如水力资源是集中在江河流域水位落差较大的地方，热力资源又集中在煤、石油和其他热源的产地，而大的电力负荷中心则多集中在工业区和大城市。因此发电厂和负荷中心之间往往相距很远，为了保证供电可靠、经济合理就必须用输电线路将电能输送到很远的用户，并将孤立运行的发电厂用电力线路连接起来。即首先在一个地区内互相连接，再发展到地区和地区之间相互连接，以组成统一的电力系统。

1. 电力系统、电力网组成

电力系统是由两个以上的发电厂、变电所、输电线、配电网以及用户组成的发、供、用的一个整体。图 1-1 所示为动力系统与电力系统、电力网关系。通常将发电厂、变电所、电力线路以及用电设备所组成的部分，就叫作电力系统。电力系统中，由送变电设备及各种不同电压等级的电力线路所组成的部分，叫作电力网。图 1-2 是电力系统示意图。

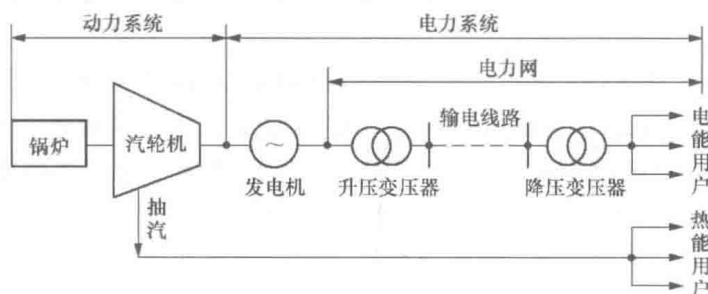


图 1-1 动力系统与电力系统、电力网关系示意图

电力线路是电力系统的重要组成部分，它担负着输送和分配电能的任务。由电源向电力负荷中心输送电能的线路，称为输电线路或送电线路。主要担负分配电能任务的线路，称为配电线路。

为了研究和计算方便，通常将电力网分为地方电力网和区域电力网。一般将电压在 110kV 以上，供电范围较大，输送功率较大的电力网称为区域性电力网；电压在 110kV 及以下，供电距离较短，输送功率较小的电力网称为地方电力网；电压在 10kV 及以下的电力网，则称为配电网。但这种划分，其间并不存在严格的界限。

按电力网本身的结构方式，又可分为开式电力网和闭式电力网。凡用户只能从单方向得到电能的电力网称为开式电力网；凡用户可以从两个及两个以上方向同时得到电能的电力网称为闭式电力网。

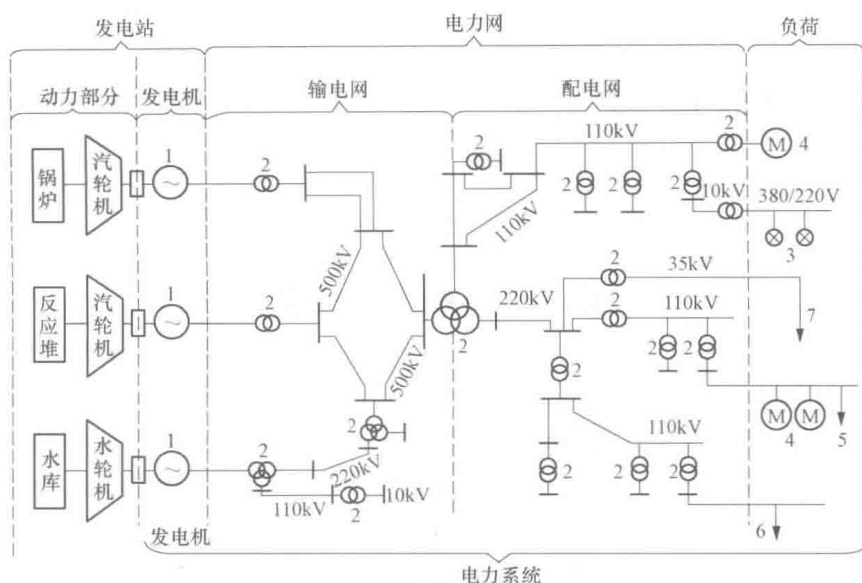


图 1-2 电力系统示意图

1—发电机；2—变压器；3—电灯；4—电动机；5~7—其他电力负荷

根据电压等级的高低，一般可将电力网分为低压、高压、超高压和特高压四种。电压在1kV以下的电力网称低压电力网；电压在1~330kV的电力网称为高压电网；330~1000kV的电力网称为超高压电网；1000kV及以上的电力网称为特高压电网。

2. 发电厂

电是发电厂的产品，与其他产品不同，电是发、供、用一瞬间完成，它不易储存。

发电厂是把其他形式的能量转变成电能的工厂。根据利用的能源不同，发电厂可以分为以下三类。

(1) 火力发电厂。利用煤、石油、天然气等燃料来发电的发电厂称为火力发电厂，简称火电厂。火电厂目前仍以煤为主要燃料。为了提高效率，现代的火电厂都把煤块粉碎成煤粉后燃烧。燃料燃烧，将锅炉内的水烧成高温、高压的蒸汽（化学能转变成热能），蒸汽推动汽轮机（热能转变成机械能），使其带动与其联轴的发电机旋转，发出电能（机械能转变成电能）。

若进入汽轮机的蒸汽做功后流入凝汽器凝结成水，则这种火电厂称为凝汽式火电厂。若从汽轮机中抽出部分蒸汽，或者把汽轮机中做过功的全部蒸汽向发电厂附近的工厂和居民供应蒸汽和热水，就称为热电厂。

(2) 水力发电厂。简称水电厂或水电站。一般是在河流中拦河筑坝，提高上游的水位，形成水库，使上下游形成尽可能大的落差，然后从水库引水，利用水的位能冲动水轮机（势能转换成机械能），并使其带动与其同轴的发电机旋转，来产生电能（将机械能转变成电能）。建在坝后面的水电站，称为坝后式水电站。也有的水电站是在具有一定落差坡度的弯曲河段上游筑一低坝，拦住河水，然后利用沟渠或隧道，将水直接引至建设在弯曲河段末端的水电站，这种水电站称为引水式水电站。还有一种水电站是上述两种方式的综合，即由拦河坝和引水渠（或隧道）分别提高一部分水位，这种水电站称为混合式水电站。

(3) 原子能发电厂。它的生产过程与凝汽式火力发电厂相仿，所不同的只是以核反应堆代

替了锅炉。原子核在裂变过程中会产生大量的热能（原子能转换成热能），把水加热成蒸汽，蒸汽冲动汽轮机使其带动发电机旋转发电。

此外，还有潮汐发电厂、地热发电厂、风力发电厂及太阳能发电厂等。

3. 变电所

发电机的电压一般为 6.3、10.5、13.8、15.75、18kV 等，而用户的电压一般为 380/220V。所以，发电机一般不直接向用户供电，需用变压器把发电机电压降低后才能供给用户。另外，为了把电能送到较远的用电地区，通常将发电厂发出的电能经升压变压器把电压升高（例如升高到 110、220、500kV 等），然后通过输电线路送到用电地区，再经变电所的变压器把电压逐渐降低后分配使用。所以，变电所的主要任务是变换电压，其次还有集中和分配电能、控制电能的流向和调整电压的任务。

4. 输电线

输电线的作用是输送电能，并把发电厂、变电所和用户连接起来构成电力系统。

输电线一般是指 35kV 及以上的电力线路，35kV 以下向用户单位或城乡供电的线路称为配电线路。

输电线可以是架空裸导线，也可以是电缆，根据具体情况选择使用。输电线路有阻抗，因此电流通过时要引起电能损耗。输送相同的功率，若采用高压输电，电流就可以减小，输电线上的电能损耗也就减少，故远距离输送强大的电功率时用高压输送。因此，根据不同输送功率和输送距离，宜采用不同等级的电压输电。

二、电力生产特点及组成联合电力系统的优点

1. 电力生产特点

（1）同时性。电能的生产、输送、分配以及转换为其他形态能量的过程，是同时进行的。电能不能大量储存。电力系统中瞬间生产的电力，必须等于同一瞬间取用的电力。

电力生产具有发电、供电、用电在同一时间内完成的特点，决定了发电、供电、用电必须时刻保持平衡，发、供电随用电的瞬时增减而增减。由于具有这个特点，电力系统必须时刻考虑到用户的需要，不仅要做好发电工作，而且要做好供电和用电工作。这不仅是国民经济的需要，用户的需要，而且是做好发电工作的需要。

（2）集中性。电力生产是高度集中的、统一的。在一个电网内不论有多少个发电厂、供电公司，都必须接受电力网的统一调度，并依据统一质量标准、统一管理办法，在电力技术业务上受电网的统一指挥和领导。电能由电网统一分配和销售。电网设备的启动、检修、停运、发电量和电力的增减，都由电网来决定。

（3）适用性。电能使用最方便，适用性最广泛。发电厂、电网经一次投资建成之后，就随时可以运行，电能不受或很少受时间、地点、空间、气温、风雨、场地的限制，与其他能源相比是最清洁、无污染、对人类环境无害的能源。

2. 组成联合电力系统优点

一般将发电厂、电力网和用户组成的整体称为电力系统。若将两个或两个以上的小型电力系统用电网连接起来并联运行，便组成了地区性的电力系统。进一步把这些地区性的电力系统用电网连接起来，就组成了联合电力系统。组成联合电力系统在技术上和经济上都有很大的优越性，归纳起来，有如下四个方面。

（1）提高供电的可靠性和电能质量。由孤立发电厂供电时，在电厂内很难建立起足够的备用容量，因此当有机组检修，另一机组发生故障时，就会影响对用户的连续供电。但在大的电力系统内，备用机组的台数较多，即可建立足够的备用容量。这样，个别机组发生故障对系统

的影响较少,而几台机组同时发生故障的机会也很少,因此提高了供电的可靠性。由于联合电力系统容量较大,个别负荷的变动,即使是较大的冲击负荷,也不会造成电压和频率的明显变化,仍能保持稳定,从而保证了电能质量。

(2) 可减少系统的装机容量,提高设备利用率。由于不同地区之间,东西地区有时差,南北地区有季节差,再加上负荷性质的不同,所以电力系统中各个用户的最大负荷出现的时间就不同。因而在联合电力系统中,综合起来的最大负荷,将小于各个用户最大负荷相加的总和。系统中最高负荷降低了,相应就可以减少系统中总的装机容量。

一般为了保证供电的可靠性,必须在发电厂内建立起必要的备用容量。对于孤立运行的电力系统,必须在每个系统中均建立起备用容量,其数值通常应等于该系统总容量的 $10\%\sim 15\%$,且不小于最大一台机组的容量。在联合电力系统中,各电厂的机组可错开时间进行检修,当某些电厂的机组发生故障时,可由系统中其他机组支援,这样系统中的总备用容量比各个孤立系统备用容量的总和可以减少一些。

因此,组成联合电力系统后,在用电量一定时,可以减少总的装机容量。在总的装机容量一定时,可以提高设备的利用率,增加供电量。

(3) 便于安装大型机组,降低造价。电力系统中火电机组的经济装机容量与系统总容量及负荷增长速度等因素有关。一般在 100万kW 以上的电力系统中,最经济的机组容量应为系统容量的 $6\%\sim 10\%$; 1000万kW 以上的电力系统中,最经济的机组容量为系统容量的 $4\%\sim 6\%$;对于容量较小的电力系统,当负荷增长较快时,最经济的机组容量约为系统容量的 20% 。机组容量小于这个比例时不经济,超过这个比例会造成运行和检修的困难。由于联合电力系统容量大,按照比例可装设容量较大的机组,而大型机组每一千瓦设备的投资和生产每一度电能的燃料消耗以及维修费用,都比装设小机组便宜,因而可节约基建投资、减少煤耗、降低成本和提高劳动生产率。

(4) 充分利用各种动力资源,提高运行的经济性,合理分配负荷。有很多能源,如风力、潮汐、太阳能和原子能等都可以用于发电,如果这些发电站与系统连接,将被充分利用。

水力资源取决于河流的水文情况,受气候条件的影响,而河流的天然流量,往往不能与电力用户的需要相配合,在夏季丰水期,水量较多,而用电较少;在冬季枯水期,水力资源较少,但此时电力负荷通常反而增高。若水电站孤立运行,则形成冬季出力不足,夏季却要弃水,使水力资源不能得到充分利用。如果水电站与电力系统连接,由于电力系统有很多火电厂,这样在丰水期可让水电站满发,而减少火电的负荷;在枯水期让火电厂担负基本负荷,而让水电站担负尖峰负荷。此外,火电厂之间还可以经常使高效率 and 运行最经济的发电机组多带负荷;效率很低或燃烧优质煤的机组少带负荷。这样就可以充分利用水力资源,降低火电厂的煤耗,从而降低电能成本,提高运行的经济性。

以上这些优点,说明了建立联合电力系统的必要性。随着我国电力工业的迅速发展,目前已建成东北、华北、华东、华中等较大电力系统,并将逐步建成全国统一的电力系统。

三、电力用户对电力系统的基本要求

1. 供电可靠性高

为了保证电力系统对用户供电的可靠性,首先必须保证电力系统每个设备和元件运行可靠。因此,要求对电力系统中各个设备均要经常进行监视、维护,定期进行试验和检修,使设备处于完好的运行状态,并应在系统中建立必要的备用容量以备急需。

由于电力工业与国民经济各个部门紧密相联,供电的停顿,将会引起生产的停顿和人民生活秩序的破坏,甚至会造成人身和设备的损伤。因此,电力系统应尽可能保证对用户连续不断

的供电。

但是,目前我国电力工业还不能满足国民经济发展的需要,而国民经济所有的电力用户包括日常生活照明在内,还不能做到绝对不停电,因此必须实行计划用电。一般根据用户对供电可靠性的要求,将电力负荷分为三类。

I类:如突然停电,将造成人身伤亡危险和重大设备损坏,给国民经济带来重大损失者。

II类:如突然停电,将产生大量的废品,大量减产者。

III类:所有不属于I、II类负荷的用户。

对于I类负荷,应由两个独立电源供电,以保证供电持续性。如果由于某些原因,电力系统的稳定运行与用户供电持续性发生矛盾时,应根据负荷的性质采取适当措施,将部分不十分重要的负荷加以切除。

2. 电能质量良好

所谓电能质量,主要指电力系统中交流电的电压与频率应保持在一定的容许变动范围内。

所有电力设备都是按一定的额定电压制造的,当电力设备的端电压与其额定电压之差超过允许值时,电气设备的运行就要恶化。我国容许电压偏移的标准为:10~35kV及以上电压供电的和对电压质量有特殊要求的用户为 $\pm 5\%$;10kV及以下高压供电和低压电力用户为 $\pm 7\%$;低压照明用户为 $+5\%$ 、 -10% 。

频率的变化,不仅严重影响电力用户的正常工作(如频率降低,导致电动机转速下降,因而所带动的机器和机械的生产率降低),而且对发电厂和电力系统本身也有严重危害。

根据有关规定,电力系统的频率应经常保持在50Hz,其偏差在300万kW及以上的系统,不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$;在不足300万kW的系统,不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

电能质量标准,除电压和频率外,还有电压波形。由于现代用电设备,如热轧机、电弧炉、电焊机、晶闸管控制的电动机、电解整流装置等,对电网的电能质量影响很大,会造成电压的非正弦性。根据傅里叶变换,非正弦电压可以分解为基波电压(50Hz)和一系列高次谐波电压(频率为基波的整倍数)。总谐波电压是所有高次谐波电压的均方根值。当总谐波电压超过基波电压的5%时,就可能引起继电保护、自动装置、电子计算机以及其他装置的误动作或不正常工作。因此,一般要求任一高次谐波的瞬时值应不超过同相基波电压瞬时值的5%。

3. 电力系统运行经济性好

提高电力系统运行的经济性,就是使电力系统在运行中耗费少、效率高、成本低,主要用以下三个经济指标来反映。

(1) 标准耗煤量,即生产1kWh电能所消耗的标准煤量(按规定发热量为7000cal/kg的煤为标准煤)。

(2) 厂用电率,即发电厂在电力生产过程中耗用的电量与发电量之百分比。

(3) 线路损失率,即电能能在各级电网输送中的线路和变压器的损耗量占供电量之百分比。

在运行中应力争将全电力系统的各项经济指标降低到最小。

为保证向用户提供可靠、优质、经济的电能,首先要做到安全生产和安全用电。

四、输送容量和输送距离的关系

由电工学知道,三相交流电的电流 I 、功率 P 和电压 U 的关系是

$$P = \sqrt{3}UI\cos\varphi \quad (1-1)$$

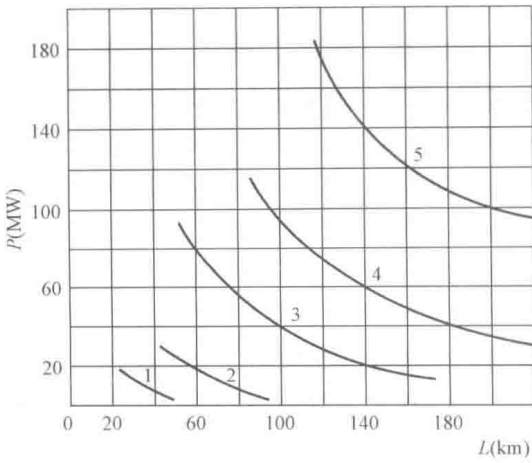


图 1-3 输送功率与线路长度的关系
1—35kV；2—60kV；3—110kV
4—154kV；5—220kV

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi}$$

(1-2)

上两式表明，当输送容量一定时，线路电压越高，电流就越小。电压高不仅可以使使用较小的导线截面，而且能降低线路的功率损耗。这样看来，似乎线路的电压越高就越节省，实际不然，若电压过高，线路的绝缘就要加强，用于绝缘方面的投资也就越大。

因此，在设计电力网时，电压等级的选择是根据输送容量、输送距离以及地区发展规划进行综合比较来决定的。各电压等级输电线路输送功率与线路长度的关系见图 1-3。表 1-1 则列出了由实际经验所得到的各级电压线路的输送容量与输送距离。

表 1-1 各级电压线路的输送容量与输送距离

线路电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)	线路电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)
0.38	0.1 以下	0.6 以下	35	2.0~10	20~50
3	0.1~1.0	1~3	110	10~50	50~150
6	0.1~1.2	4~15	220	100~500	100~300
10	0.2~2.0	6~20	330	200~1000	200~600

在实际应用中，照明电力网及容量为 50~100kW 的动力设备，其电压采用 380/220V。对于厂矿企业大型动力设备，如 200kW 以上的电动机，可由 6~10kV 电网供电；大城市及矿区电力网采用的电压为 35~110kV。

此外，用负荷距（即线路有功负荷和线路长度乘积）的方法，根据负荷大小、功率因数、导线型号、电压等级、电压损失，可由表 1-2 查出负荷距算出输送距离。

表 1-2 当线路电压损失为 10%时的负荷距 MW·km

功率因数 导线型号	1.0	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
UN=35kV							
LGJ-35	—	—	115.9	109.3	104.1	99.5	94.9
LGJ-50	—	—	143	134	126.5	120	113.2
LGJ-70	—	—	185.7	171	159.0	148.7	139
LGJ-95	—	—	234	212	194.5	179	166
LGJ-120	—	—	265	238	216	198	182.3
LGJ-150	—	—	308	271.5	244.5	222	202
LGJ-160	—	—	346	301.5	260	242.5	219.5
UN=110kV							

续表

功率因数 导线型号	1.0	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
LGJ-70	—	2000	1797	1650	1530	1425	
LGJ-95	—	2570	2250	2025	1855	1705	
LGJ-120	—	2960	2540	2268	2058	1880	
LGJ-150	—	3480	2935	2580	2320	2095	
LGJ-185	—	3960	3285	2860	2540	2275	
LGJ-240	—	—	3705	3180	2800	2495	
$U_N=220\text{kV}$							
LGJ-240	—	18 200	14 680	12 500	11 000		
LGJ-300	—	—	15 930	13 500	11 730		
LGJ-400	—	—	17 600	14 570	12 500		

例如，额定电压为 110kV，导线型号 LGJ-70，功率因数 $\cos\varphi=0.85$ 时，从表 1-2 中便可查得负荷距为 1650MW·km，故若线路长 $L=40\text{km}$ ，则在线路电压损失为 10% 的条件下，可以输送的容量为

$$1650/40 = 41.25(\text{MW}) = 41\,250\text{kW}$$

若线路允许电压损失为 80%，则可输送的容量为

$$41\,250 \times 0.8 = 33\,000(\text{kW})$$

对于 35~220kV 的各电压级，当电压损失为 10%， $\cos\varphi=0.9$ ，导线电流密度为 1A/mm² 时，不同输送距离下的输送容量可直接从图 1-3 查得。

第二节 电力系统短路及接地方式

一、电力系统短路

电力系统正常运行时，各相之间是绝缘的。电力系统中相与相之间或相与地之间（对中性点直接接地系统而言）通过金属导体、电弧或其他较小阻抗连接而形成的非正常状态称为短路。电力系统在运行中，相与相之间或相与地（或中性线）之间发生短路时流过的短路电流，其值可远远大于额定电流。短路电流大小取决于短路点距电源的电气距离。例如，在发电机出口端发生短路时，流过发电机的短路电流最大瞬时值可达额定电流的 10~15 倍。大容量电力系统中，短路电流可达数万安培。这会对电力系统的正常运行造成严重影响和后果。

（一）短路的类型

三相电力系统中发生的短路有三相短路、两相短路、单相接地短路和两相接地短路等基本类型。其中，除三相短路时三相回路依旧对称，因而又称对称短路外，其余三类均属不对称短路。在中性点接地电力系统中，以单相接地短路故障最多，约占全部故障的 90%。在中性点非直接接地的电力系统中，短路故障主要是各种相间短路。

短路的常见原因有：①设备长期运行，绝缘自然老化；②设备本身设计、安装和运行维护不良；③绝缘材料陈旧；④因绝缘强度不够而被工作电压击穿；⑤设备绝缘正常而被过电压（包括雷电过电压）击穿；⑥设备绝缘受到外力损伤；⑦工作人员由于未遵守安全操作规程而发