

架空电力线路运行 管理与检修

JIAKONG DIANLI XIANLU YUNXING
GUANLI YU JIANXIU

陈 蕾 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

架空电力线路运行 管理与检修

JIAKONG DIANLI XIANLU YUNXING
GUANLI YU JIANXIU

陈 蕾 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要介绍架空电力线路运行管理及维修技术,全书共九章,分别介绍了电力系统基本知识,架空电力线路的组成及要求、运行管理及维护、运行检测技术,运行异常及故障预防措施、故障异常处理及实例分析,架空电力线路的检修技术、改造及新建的施工技术和电力线路施工常用工器具等内容。

本书内容丰富,系统全面,可作为从事电力架空线路相关工作的技术人员及一线职工的培训学习用书,也可作为电力院校电气专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

架空电力线路运行、管理与检修 / 陈蕾主编. —北京:中国电力出版社, 2017.5

ISBN 978-7-5198-0099-4

I. ①架… II. ①陈… III. ①架空线路—输电线路—电力系统运行②架空线路—输电线路—管理③架空线路—输电线路—检修 IV. ①TM726.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第296043号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:马淑范

责任校对:太兴华

装帧设计:左 铭

责任印制:蔺义舟

印 刷:北京市同江印刷厂

版 次:2017年5月第一版

印 次:2017年5月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:30.5

字 数:732千字

印 数:0001—2000册

定 价:88.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

《架空电力线路运行、管理与检修》

编写人员名单

主 编	马 伟	陈 蕾		
副主编	吕 源	陈 静	李强友	易芊羽
	张光明	雷 鸣		
编 委	孟凡钟	殷俊河	杨怀洲	王云浩
	王 璞	冯 越	贾建军	王 东
	张俊鹏	刘 伟	段冬东	林 琅
	叶频波	何朋朋	郭 立	吕晓博
	吕 森	郝坤峰	周俊武	常 超
	郭 勇	郭 栋	孙睿贞	胡 可
	刘锋锋	杨 巍	张建村	阙东阳
	郭益都	曹 俊	康 巍	谭 坤
	陈 钊	卞志强	王佳佳	韩 冰
	禹 威	李明超	陈 军	冀鹏飞
	李志前	王志刚	杨 凯	薛 洁



前言

架空电力线路运行、管理与检修

随着全国各行各业的迅速发展和人民生活水平的不断提高,电力工业也得到了迅猛发展。特别是近十几年,国家加大了城乡电网的建设和改造力度,成为电力工业有史以来发展最快、投资最多的时期。为确保电网安全、稳定、科学、经济地运行,需要有一支业务素质过硬的电力职工队伍,这样才能管好、用好电气设备,提高电力线路的安装、运行维护与检修质量。为满足电力线路专业技术人员及职工岗位工作、学习与培训的需要,我们组织一些有实际经验的专业技术人员编写了本书。

本书严格按照国家现行标准、规程、规范进行编写,本书内容丰富、系统全面、简明扼要、通俗易懂、便于自学,既有专业理论知识,又有岗位应知应会的基本技能知识。

本书特点如下:①覆盖面较宽、较为系统全面,对 220kV 及以下的电力架空线路的安装、运行维护、故障检测、修理及生产工作中的安全技术等知识进行了介绍;②内容简明扼要,通俗易懂,深入浅出,简洁直观,易于操作;③实用性强,全书以实际应用为出发点,结合技术标准和现场人员的应知应会要求进行选材编写。

本书作者是多年从事电力生产的一线专家,有着极其丰富的实践经验。本书强调突出岗位实用的特点,深入浅出地介绍了本专业岗位应知应会的技术知识,重点是实际操作技能,力使初学者能达到“一学就会,拿来就用,立竿见影”的效果。本书的出版必将对电力行业职工提高业务水平起到积极的促进作用。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2016 年 3 月

目 录

架空电力线路运行、管理与检修

前言

第一章 电力系统基本知识	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	12
第四节 电力系统额定电压	22
第五节 电力系统负荷和供电可靠性	31
第六节 电力网功率损耗及降低电能损耗的措施	34
第二章 架空电力线路的组成及要求	38
第一节 电力线路分类	38
第二节 杆塔基础类型及要求	42
第三节 电力线路混凝土电杆及类型	49
第四节 电力线路铁塔及类型	53
第五节 导线与钢绞线	60
第六节 绝缘子	63
第七节 金具	66
第八节 拉线	71
第九节 架空电力线路的基本要求	75
第三章 架空电力线路运行管理及维护	86
第一节 架空电力线路的运行要求及标准	86
第二节 架空电力线路的运行环境及要求	91

第三节	影响架空电力线路安全运行的主要因素	96
第四节	架空电力线路的巡视检查	99
第五节	线路的技术管理	108
第六节	线路设备的评级	111
第四章	架空电力线路的运行检测技术	114
第一节	电力线路的检测要求及方法	114
第二节	绝缘子的绝缘电阻及耐压试验	116
第三节	绝缘子附盐密度的测量	121
第四节	带电测量零值绝缘子	124
第五节	高压电力线路绝缘子的在线检测	130
第六节	导线连接器的检验	135
第七节	线路运行中的导线间距及弧垂测量	139
第八节	接地电阻的测量	142
第九节	线路杆塔的测量	147
第十节	线路元件的机械拉力试验	152
第十一节	沿线路空间环境的测量	154
第五章	架空电力线路运行异常及故障预防措施	170
第一节	架空电力线路雷击故障防护措施	170
第二节	架空电力线路的防污闪措施	173
第三节	防覆冰措施	179
第四节	架空电力线路防冻措施	186
第五节	电力线路导线的防振措施	188
第六节	架空电力线路防暑过夏工作	193
第七节	防舞动措施	197
第八节	电力线路的防风措施	201
第九节	防外力破坏电力线路的措施	204
第十节	防鸟害措施	209
第十一节	电力线路的防腐蚀措施	213
第六章	架空电力线路故障异常处理及实例分析	217
第一节	架空电力线路故障类型及原因	217

第二节	架空电力线路的故障处理方法	220
第三节	某电力线路雷电绕击事故分析及防止措施	226
第四节	杆塔接地装置引下线接触电阻对防雷的影响分析及改造措施	229
第五节	某线路合成绝缘子闪络故障的分析	231
第六节	某线路导线舞动故障分析与防止措施	233
第七节	某线路导线振动磨损原因分析及防止措施	239
第八节	某线路悬垂线夹磨损的分析及防止措施	241
第九节	某线路风偏放电跳闸分析及防止措施	243
第十节	某线路光纤复合地线雷击造成断股的原因分析及防止措施	245
第十一节	电力线路接地网腐蚀原因分析及防护措施	247
第十二节	电力线路杆塔接地降阻措施	249
第十三节	电力线路引流线接头过热断股的原因分析及防止措施	253
第十四节	线路导线接头劣化原因分析和防止措施	255
第十五节	某线路架空避雷线严重断股的原因分析及防止措施	257

第七章 架空电力线路的检修技术 260

第一节	架空电力线路检修项目及周期	260
第二节	电力线路检修的准备工作	263
第三节	电力线路检修安全工作	265
第四节	导线与避雷线的检修	268
第五节	杆塔的检修	276
第六节	杆塔的更换	279
第七节	杆塔构件损坏的修补	285
第八节	杆塔检修施工中的带电作业	291
第九节	旧杆塔的拆除	293
第十节	拉线、叉梁和横担的更换	296
第十一节	绝缘子、金具的更换	298
第十二节	杆塔接地装置及基础检修	303
第十三节	线路防护设施修建技术	306

第八章 架空电力线路改造及新建的施工技术 309

第一节	架空电力线路施工准备工作	309
第二节	杆塔基础施工	321

第三节	杆塔基础的操平找正	341
第四节	排杆焊接	345
第五节	钢筋混凝土电杆的组立	351
第六节	铁塔的组立	360
第七节	杆塔拉线制作与安装	369
第八节	放线	372
第九节	紧线挂线	381
第十节	弧垂的观测与调整	400
第十一节	架空导线的连接	402
第十二节	附件的安装	409
第十三节	接地装置的施工	419
第十四节	竣工验收	424
第九章	电力线路施工常用工器具	429
第一节	绞磨	429
第二节	抱杆	431
第三节	钢丝绳	438
第四节	麻绳	446
第五节	滑轮与滑轮组	447
第六节	卸扣	455
第七节	双钩紧线器	457
第八节	牵引机及张力机	458
第九节	导地线的压接机具	460
第十节	卡线器	464
第十一节	钢丝绳及导线的连接器	467
第十二节	绝缘绳	470
第十三节	地锚和桩锚	473

电力系统基本知识

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。现在,大部分国家的动力资源和电力负荷中心往往不是一致的。例如,水力资源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、变电站、电力输电线、配电网以及用户组成的发、供、用的一个整体。图 1-1 所示为动力系统电力系统与电网关系示意图。通常将发电厂、变电站、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 是一个电力系统、电力网示意图。

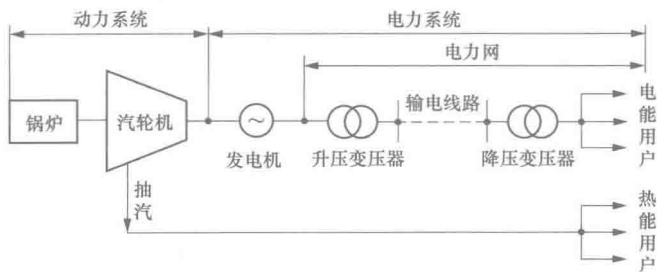


图 1-1 动力系统、电力系统与电力网关系示意图

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

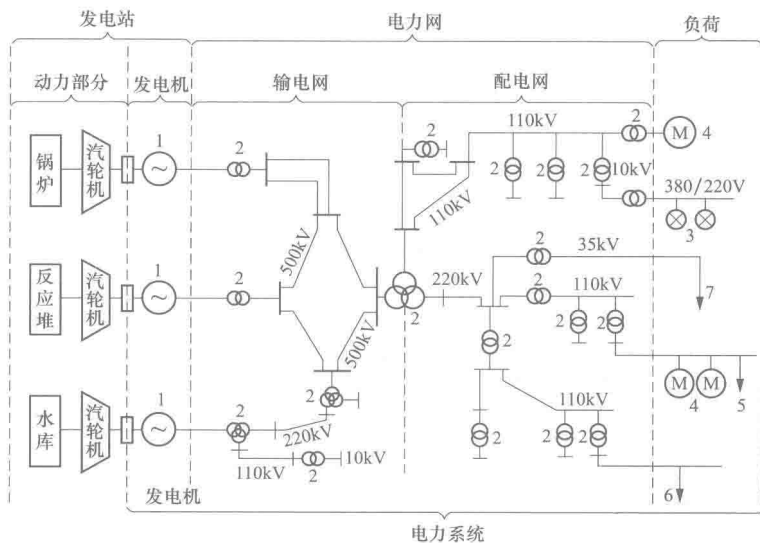


图 1-2 电力系统及电力网示意图

1—发电机；2—变压器；3—电灯；4—电动机；5、6、7—其他电力负荷

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；对于电压在 10kV 及以下的电力网，称为配电网。但这种划分，其间也不存在严格的界限。

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。

根据电压等级的高低，一般可将电力网分为低压、高压、超高压和特高压几种。电压在 1kV 以下的电力网称为低压电网；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 以上的电力网称为特高压电网。

2. 发电厂

和其他产品不同，电是发电厂的产品，发、供、用一瞬间完成，不易储存。发电厂是把其他形式的能量转变成电能的工厂。根据发电厂利用的能源不同，可以分为以下几类：

（1）火力发电厂。利用煤、石油、大燃气等燃料来发电的称为火力发电厂，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（化学能转换成热能），蒸汽推动汽轮机（热能转换成机械能），使其带动与其联轴的发电机旋转来发出电能（机械能转换成电能）。

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。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（将机械能转换成电能）。建在坝后面的水电站，叫作坝后式水电站。另一种提高水位的方法，是



在具有一定落差坡度的弯曲河段上游筑一堤坝，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，这种水电站叫作引水式水电站。还有一种方法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，这种水电站叫作混合式水电站。

（3）原子能发电厂。它的生产过程与凝汽式火电厂相仿，所不同的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、太阳能发电厂等。

3. 变电站

发电机的电压一般为 6.3kV、10.5kV、13.8kV、15.75kV、18kV 等，而用户的电压一般为 380/220V。所以，发电机一般都不直接向用户供电，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，如升高到 110kV、220kV、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，不能大量储存，因此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，不仅要搞好发电工作，而且要搞好供电和用电工作。这不仅是国民经济的需要、用户的需要，而且是搞好发电工作的需要。

（2）集中性。电力生产是高度集中的、统一的。在一个电网里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、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,有如下几个方面。

(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,当有的机组检修,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,即可建立足够的备用容量,备用机组的台数较多。这样,个别机组发生故障对系统的影响较小,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,东西有时差,南北有季节差,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。系统中最高负荷的降低可以相应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,则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 $10\%\sim 15\%$,且不小于一台最大机组的容量。但是,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。系统中火电机组的经济装机容量与电力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,最经济的机组容量为系统容量的 20% 左右。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,而大型机组每千瓦设备的投资和生产每度($1\text{度}=1\text{kW}\cdot\text{h}$)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，从而降低了电能成本，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. 保证供电的可靠性

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连，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，也不能看成绝对不容许停电的，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，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. 保证电能的良好质量

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（例如，频率的降低使电动机转速下降，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。根据傅里叶变换时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（频率为基波的整数倍）。总谐波电压是所有高次谐波电压的方均根值。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. 保证电力系统运行的经济性

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,主要反映三个经济指标。

(1) 标准耗煤量:即生产 1 度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,cal 为非法定计量单位)。

(2) 厂用电率: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:电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。

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

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

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi} \quad (1-2)$$

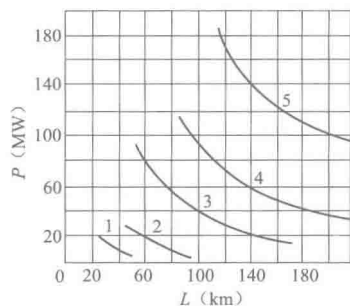


图 1-3 输送容量与距离的关系

1—35kV; 2—60kV; 3—110kV;

4—154kV; 5—220kV

式(1-2)表明,当输送容量(电力线路在正常情况下允许输送的最大功率)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,线路的绝缘就越要加强,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,如图 1-3 所示。

表 1-1 列出了由实际经验所得到的各级电压送电线路的输送容量和输送距离。

表 1-1

各级电压线路的输送容量和输送距离

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、电压损失即可从表 1-2 中算出输送距离。

表 1-2

线路电压损失为 10%时的负荷距

(MW · km)

cosφ 导线型号	1.0	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
U _N =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
U _N =110kV							
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 =220kV							
LGJ-240	—	18200	14680	12500	11000	—	—
LGJ-300	—	—	15930	13500	11730		
LGJ-400	—	—	17600	14570	12500		

例如，当额定电压为 110kV，导线 LGJ-70，功率因数 $\cos\varphi=0.85$ 时，在线路电压损失为 10%的条件下，从表 1-2 中便可查得负荷距为 1650MW · km，故若线路长 $L=40\text{km}$ ，则可以输送的容量为 $1650/40=41.25(\text{MW})=41250\text{kW}$

若线路允许电压损失为 80%，则可输送的容量为

$$41250\text{kW} \times 0.8 = 33000\text{kW}$$

对于 35~220kV 的各电压级，当电压损失为 10%，功率因数 $\cos\varphi=0.9$ ，导线电流密度为 $1\text{A}/\text{mm}^2$ 时，不同输送距离下的输送容量也可直接从图 1-3 查得。

第二节 电力系统短路及接地方式

一、电力系统短路介绍

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。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。在中性点接地的电力系统中，以单相接地的短路故障最多，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：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生误操作；⑧误将低电压设备接入较高电压的电路中；⑨电力线路发生断线和倒杆事故；⑩鸟兽跨越在裸露的相线之间或相线与接地物体之间，或者咬坏设备导线的绝缘等。各种短路情况如图 1-4 所示。

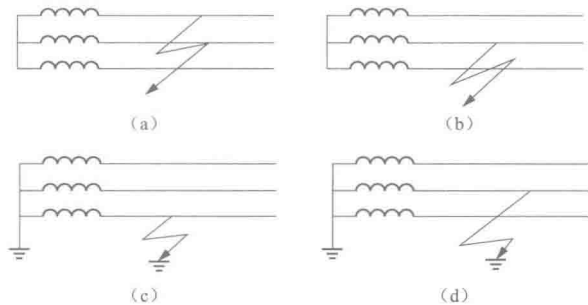


图 1-4 短路故障示意图

(a) 三相短路；(b) 两相短路；
(c) 单相接地短路；(d) 两相接地短路

（二）短路的危害

当发生短路时，电力系统从正常的稳定状态过渡到短路的稳定状态，一般需要 3~5s。在这一暂态过程中，短路电流的变化很复杂。它有多种分量，需采用电子计算机计算。在短路后约半个周波（0.01s）时将出现短路电流的最大瞬时值，称为冲击电流。它会产生很大的电动力，其大小可用来校验电气设备在发生短路时的动稳定性。短路电流的分析、计算是电力系统分析的重要内容之一，它为电力系统的规划设计和选择电气设备、整定继电保护、分析事故提供了有效手段。

电力系统发生三相短路时，由于短路回路阻抗很小，所以短路电流很大，可以达到几万甚至几十万安。短路电流由电源流到短路点，巨大的短路电流会对电力系统和电气设备安全运行产生严重的影响。

短路电流的危害主要有以下几个方面：

（1）短路电流通过导体时，使导体大量发热，温度急剧升高，从而破坏设备绝缘；同时，通过短路电流的导体会受到很大的电动力作用，可能使导体变形甚至损坏。

（2）短路点的电弧可能烧毁电气设备的载流部分。

（3）短路电流通过线路，要产生很大的电压降，使系统的电压水平骤降，引起电动机转速突然下降，甚至损坏，严重影响电气设备的正常运行。

（4）短路可造成停电，而且越靠近电源，停电范围越大，给国民经济造成的损失也越大。

（5）严重的短路故障若发生在靠近电源的地方，且维持时间较长，可使并联运行的发电机组失去同步，严重的可能造成系统解列。

（6）不对称的接地短路，其不平衡电流将产生较强的不平衡磁场，对附近的通信线路、