

DIANLI XITONG FENXI

电力系统分析

于永源 杨绮雯 编



水利电力出版社

内 容 提 要

本书包括电力系统稳态分析和电力系统暂态分析两大部分,后一部分又包括电力系统故障分析和电力系统稳定性分析两方面内容。

电力系统稳态分析部分共八章(第一章至第八章)。第一、二章介绍了电力系统的基本知识及电力系统各元件正序参数的计算和电力系统的等值网络;第三、四章讨论了电力系统潮流分析与计算及其计算机算法;第五、六章中讨论了电力系统中有功功率和无功功率的平衡、控制与调整问题;第七、八章介绍了电力网的经济运行和电力线路导线截面的选择。

电力系统暂态分析部分共六章(第九章至第十四章)。前三章内容为电力系统故障分析,后三章为电力系统稳定性分析。第九章讨论了同步发电机三相短路电磁暂态过程;第十章介绍了电力系统的振荡数和等值电路;第十一章比较全面详细地讨论了电力系统故障分析和实用计算。第十二章介绍了电力系统各元件的机电特性;第十三、十四章分析了电力系统的静态稳定性和暂态稳定性问题及其提高稳定性的措施。

全书各章后均附有适量的习题,以便于读者加深对各章内容的理解。

本书由浅入深,便于自学。可供发电厂及电力系统专业或电力系统及其自动化专业的工程技术人员、大专院校的学生、教师使用,也适合于电视大学、职工大学、函授大学、在职人员培训及夜大学有关专业师生的使用。

电力系统分析

于永源 杨峰奎 编

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

长沙铁道学院火车头印刷厂印刷

• • •

开本787×1092 1/16 29.5印张 720千字

1987年9月长沙第一次印刷

印数0001—6000册 定价6.95元

• • •

统一书号 15143·6555

15143·6555



前 言

本书在着重阐明电力系统基本理论和基本概念的基础上,又突出了电力系统的三大基本计算:潮流计算、短路计算和稳定计算。

本书采用了最易接受的方法对问题进行讨论和说明,使读者易于理解,并注意应用心理学及教育学的理论和方法,选用最新资料,对工程实际需要的问题作了较为详细地阐述,从而形成了该书的主要特点:由浅入深、便于自学、逻辑性强、重点突出、层次分明、便于记忆、易于讲授、实用性强等。

本书把电力系统的基本理论和计算、分析方法与数字电子计算机的应用、数值计算方法等新的知识比较协调、自然地结合在一起,这样便于该专业原有科技人员的知识更新。

书中内容比较复杂的是第九章即同步发电机三相短路的电磁暂态过程。为清楚阐明这一章内容,首先介绍了同步发电机的基本方程式,然后在比较确切地阐述了综合相量的概念和定义基础上,进行坐标的派克变换,最后重点讨论同步发电机的暂态、次暂态参数、等值电路和正常运行时的相量图。这样为电力系统故障分析和计算,以及电力系统稳定性的分析和计算打下了必要的基础。书中没有介绍繁杂的短路电流表达式(因为实际中很少用到),而重点对短路电流的实用计算进行了比较详细和全面的介绍。

对于电力系统静态稳定性的分析,重点定性分析了励磁不变化对静态稳定性的影响。而对于电力系统暂态稳定性的分析和计算一定要考虑励磁变化的影响。

本书经湖南大学杨毅刚教授、杨期余副教授、云南工学院何大章教授,天津大学宋文南副教授等审阅,并提出了宝贵意见,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中如有错误和不妥之处请读者批评指正。

编者 1987年3月于长沙

目 录

电力系统稳态分析 (1~8章)

第一章 电力系统概述

第一节 电力系统	1
一、电力系统的几个基本概念	1
二、电力系统概况	1
三、对电力系统运行的基本要求	3
四、研究电力系统的几种工具	3
第二节 电力系统的结线方式和电压等级	4
一、电力系统的结线方式	4
二、电力系统的电压等级	5
三、电力系统中性点的接地方式	6
第三节 电力系统的负荷	9
一、电力系统的负荷	9
二、负荷曲线	9
三、负荷特性	11
第四节 电力线路的结构	11
一、电力线路的分类及其结构	11
二、架空电力线路的导线和避雷线	12
三、架空电力线路的杆塔	12
四、架空电力线路的绝缘子和金具	14
五、电缆电力线路	16

第二章 电力系统的等值网络

第一节 电力线路的参数和等值电路	18
一、单位长度电力线路的参数	18
二、电力线路的等值电路	23
第二节 变压器、电抗器的参数和等值电路	34
一、双绕组变压器的参数和等值电路	34
二、三绕组变压器的参数和等值电路	36
三、自耦变压器的参数和等值电路	38
四、电抗器的参数和等值电路	42
第三节 发电机、负荷的参数和等值电路	42

一、发电机的电抗和电势	42
二、负荷的功率、阻抗和导纳	44
第四节 电力系统的等值网络	46
一、电压级的归算	46
二、标么制	52
三、电力系统等值网络的使用和简化	61
第三章 电力系统潮流的分析与计算	
第一节 电力网元件的功率损耗和电压降落	64
一、电力线路的功率损耗和电压降落	64
二、变压器的功率损耗和电压降落	68
三、电源和负荷功率	69
第二节 开式网络的潮流计算	69
一、简单开式网络的潮流计算	69
二、变电所较多的开式网络的潮流计算	70
第三节 环形网络的潮流计算	76
一、环形网络中的功率分布	76
二、两端供电网络中的功率分布	80
三、环形网络的潮流计算	81
第四节 网络变换法	87
一、等值电源法	87
二、负荷移置法	90
三、星-网变换法	94
第四章 电力系统潮流的计算机算法	
第一节 电力网络的数学模型	104
一、节点电压方程	104
二、回路电流方程	108
第二节 变压器为非标准变比时的等值电路	110
一、变压器为非标准变比时的修正	110
二、变压器为非标准变比时的等值电路	111
第三节 节点导纳矩阵的形成	113
一、节点导纳矩阵的计算	113
二、节点导纳矩阵的修改	114
第四节 用节点导纳矩阵求节点阻抗矩阵	117
第五节 功率方程和高斯-塞德尔法潮流计算	120
一、功率方程和变量及节点的分类	120
二、高斯-塞德尔法潮流计算	123
第六节 牛顿-拉夫逊法潮流计算	128
一、牛顿-拉夫逊法简介	128
二、潮流计算时的修正方程式	130

三、牛顿-拉夫逊法的求解过程及框图	132
四、牛顿-拉夫逊法的极坐标形式	133
第七节 P-Q 分解法潮流计算	135
一、P-Q 分解法的修正方程式	136
二、P-Q 分解法潮流计算的基本步骤	138
第五章 电力系统的有功功率及频率调整	
第一节 概述	140
第二节 电力系统中有功功率的平衡	140
一、有功功率负荷的变动及其调整	140
二、有功功率的平衡和备用容量	141
第三节 电力系统中有功功率的最优分配	142
一、各类发电厂的特点和合理组合	142
二、最优分配负荷时的目标函数和约束条件	143
三、最优分配负荷时等微增率的基本概念	146
四、最优分配负荷时等微增率准则	147
五、最优分配负荷的计算问题	149
第四节 电力系统的频率调整	152
一、电力系统负荷的有功功率-频率静态特性	152
二、发电机组的有功功率-频率静态特性	153
三、电力系统的有功功率-频率静态特性及频率的一次调整	156
四、频率的二次调整	159
五、互联系统的频率调整	160
六、频率调整厂的选择	163
第六章 电力系统的无功功率和电压调整	
第一节 概述	165
一、电压变动对用户的影响	165
二、有功及无功功率对节点电压的影响	165
第二节 电力系统中无功功率的平衡	167
一、无功功率负荷和无功功率损耗	167
二、无功功率电源	168
三、无功功率的平衡	169
第三节 电力系统的电压管理	173
一、中节点电压管理	173
二、电压调整的基本原理	175
第四节 电力系统的几种主要调压措施	175
一、改变发电机端电压调压	175
二、改变变压器变比调压	176
三、改变网络中无功功率分布调压	181
四、改换电力线路参数——串联电容器调压	187

第七章 电力网的经济运行

第一节 电力网的电能损耗	193
一、电力线路上的电能损耗	193
二、变压器中的电能损耗	195
三、电力网的网损率或线损率	195
第二节 降低网损的技术措施	196
一、降低网损的意义	196
二、降低网损的技术措施	196
第三节 电力网的年运行费	200
一、电力网中设备的折旧费	200
二、电力网中设备的小修费	200
三、电力网设备的维护管理费	201
四、电力网中的电能损耗费	201

第八章 电力线路导线截面的选择

第一节 按经济电流密度选择导线截面	203
一、经济电流密度	203
二、按经济电流密度选择导线截面	205
第二节 按机械强度的要求选择导线最小允许截面	205
第三节 按导线的长期发热选择导线截面	206
第四节 按电晕临界电压选择导线截面	207
第五节 按容许电压损耗选择导线截面	208
第六节 选择导线截面的基本方法	210

电力系统暂态分析 (9~14章)

第九章 同步发电机的基本方程式及暂态过程中的参数

第一节 同步发电机的基本方程式	213
一、同步发电机的磁链方程式	213
二、派克变换	218
三、同步发电机的电压方程式	227
第二节 同步发电机的暂态参数和等值电路	230
一、同步发电机正常运行时定子回路电压方程式	230
二、无阻尼绕组同步发电机三相短路的物理过程	232
三、同步发电机的暂态电势和暂态电抗	233
四、无阻尼绕组同步发电机自由分量电流衰减的时间常数	235
第三节 同步发电机的次暂态参数和等值电路	237
一、同步发电机的次暂态电势和次暂态电抗	237
二、有阻尼绕组同步发电机自由分量电流衰减的时间常数	242
三、同步发电机各电抗、电势大小的比较	244

第十章 电力系统各元件的序参数和等值电路

第一节	对称分量法	249
第二节	同步发电机的负序和零序电抗	251
一、	同步发电机的负序电抗	251
二、	同步发电机的零序电抗	251
第三节	异步电动机的参数和等值电路	252
一、	异步电动机的次暂态参数和等值电路	252
二、	异步电动机的负序和零序参数	254
第四节	变压器的零序参数和等值电路	255
一、	双绕组变压器的零序参数和等值电路	255
二、	三绕组变压器的零序参数和等值电路	258
三、	自耦变压器的零序参数和等值电路	260
第五节	电力线路的零序阻抗和等值电路	266
一、	“导线-大地”回路的阻抗	266
二、	单回路无避雷线三相架空电力线路的零序阻抗	269
三、	双回路无避雷线三相架空电力线路的零序阻抗	270
四、	单回路有避雷线三相架空电力线路的零序阻抗	271
五、	双回路有避雷线三相架空电力线路的零序阻抗	273
六、	电缆线路的零序阻抗	275
第六节	电力系统故障运行时的等值网络	276
一、	短路故障时的等值网络	276
二、	非全相运行时的等值网络	277
第十一章 电力系统故障的分析与实用计算		
第一节	由无限大容量电源供电的三相短路的分析与计算	281
一、	无限大容量电源	281
二、	无限大容量电源供电的三相短路暂态过程的分析	282
三、	短路的冲击电流、短路电流的最大有效值和短路功率	284
四、	无限大容量电源供电的三相短路电流周期分量有效值的计算	287
第二节	电力系统三相短路的实用计算	289
一、	三相短路电流 I'' 等的计算	289
二、	电流分布系数和转移阻抗	305
三、	应用运算曲线求任意时刻短路电流周期分量的有效值	307
四、	三相短路电流的计算机算法	317
第三节	电力系统不对称短路的分析与计算	321
一、	单相接地短路	322
二、	两相短路	325
三、	两相接地短路	327
四、	正序等效定则	332
五、	不对称短路时运算曲线的应用	337
六、	变压器两侧电压、电流对称分量的相位关系	341

七、不对称短路时网络中电流和电压计算	345
第四节 电力系统非全相运行的分析	350
一、单相断线	351
二、两相断线	352
第十二章 电力系统中各元件的机电特性	
第一节 同步发电机机轴的转动方程式	359
第二节 发电机的功-角特性方程	364
一、隐极式发电机的功-角特性方程式	364
二、凸极式发电机的功-角特性方程式	367
三、计及与发电机相联网络时的功-角特性方程式	370
四、网络结线及参数对有功功率功-角特性的影响	372
五、关于同步发电机的等值电路	376
第三节 异步电动机组的机电特性	384
一、异步电动机组的运动方程式	384
二、被驱动机械的机械转矩	385
三、电动机的电磁转矩	385
第四节 自动调节励磁系统对功-角特性的影响	387
一、无自动调节励磁时发电机端电压的变化	387
二、自动调节励磁系统对功-角特性的影响	388
第十三章 电力系统的静态稳定性	
第一节 电力系统静态稳定的基本概念	390
第二节 小扰动法的基本原理和在分析电力系统静态稳定性中的应用	392
一、小扰动法的基本原理	392
二、用小扰动法分析简单电力系统的静态稳定性	393
三、代数判据	396
四、加速面积与减速面积	398
五、系统阻尼作用对静态稳定性的影响	398
第三节 调节励磁对电力系统静态稳定性的影响	399
一、不连续调节励磁对静态稳定性的影响	400
二、对电力系统静态稳定的简单综述	403
第四节 电力系统负荷的稳定性	404
一、电源的静态电压特性	404
二、负荷的静态电压特性	406
三、电力系统的电压稳定性	406
四、电源的静态频率特性	408
五、负荷的静态频率特性	408
六、电力系统频率的稳定性	408
七、应用异步电动机转矩-转差率特性分析负荷的静态稳定性	409
第五节 保证和提高静态稳定性的措施	409

一、采用自动调节励磁装置	410
二、减小线路电抗	410
三、提高线路的额定电压	410
四、采用串联电容器补偿	410
五、改善电力系统的结构	411
第十四章 电力系统的暂态稳定性	
第一节 电力系统暂态稳定性概述	413
第二节 简单电力系统暂态稳定的定性分析	415
一、各种运行情况下的功-角特性	415
二、对简单电力系统暂态稳定性的定性分析	417
第三节 简单电力系统暂态稳定性的定量分析	418
一、等面积定则	418
二、极限切除角	419
第四节 发电机转子运动方程式的数值解法	420
一、分段计算法	420
二、改进欧拉法	427
第五节 简单电力系统的暂态稳定性——计及自动调节系统的作用	433
一、计及自动调节系统的必要性	433
二、计及自动调节励磁系统作用时的暂态稳定性	435
第六节 提高电力系统暂态稳定性的措施	445
一、故障的快速切除和自动重合闸	445
二、强行励磁和快速关闭汽门	447
三、电气制动和变压器中性点经小电阻接地	449
四、采用单元结线方式	451
五、连锁切机和切除部分负荷	452
六、系统解列、异步运行和再同步	453
附录 I 裸导线的计算外径(mm)	456
附录 II 高压电力线路的电晕临界电压	456

第一章 电力系统概述

第一节 电力系统

一、电力系统的几个基本概念

1. 电力系统

由于电力电能的重要特点是不能储存,因此电力电能的生产、输送、分配和使用是同时进行的,于是电力电能从生产到使用就构成一个整体,而由电力电能的生产、输送、分配和使用的发电机、变压器、电力线路及各种用电设备联系在一起组成的统一整体就称为电力系统。

2. 动力系统

电力系统与其动力能源部分的总和称为动力系统。电力系统的动力能源部分包括:

- ①火电厂的锅炉、汽轮机、燃气轮机、热网等;
- ②水电厂的水库、水轮机;
- ③原子能电厂的反应堆、锅炉、汽轮机和燃气轮机等。

3. 电力网

各种电压等级的输配电力线路及升降压变电所组成了电力网。即电力系统中除去发电机和用户部分。

图1-1为动力系统、电力系统和电力网的示意图。

二、电力系统概况

1. 电力系统的发展

①直流电力系统。1831年法拉第发现了电磁感应定律,在此基础上才出现了交流发电机、直流发电机,于是可将其它形式的能转变为电能。原始的电力线路是100V至400V的低压直流线路。由于输电电压低,输电功率不可能大,输电距离也不远。1882年法国人德普勒,进一步提高了直流输电电压,使之达到1500V至2000V,输电功率为2kW,输电距离为57km,这是世界上第一个电力系统。

②交流电力系统。生产的发展对输电功率和距离提出了进一步的要求,以至直流输电不能满足要求。于是,1885年实现了单相交流输电,1891年实现了三相交流输电。从此三相交流输电的优越性很快显示出来,使输电功率、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,在一些国家中甚至出现了全国性和国际性的电力系统。直流输电曾一度淘汰。目前世界上已建设成1200kV的交流输电线路,并在研究1500~2500kV交流输电。最远输电

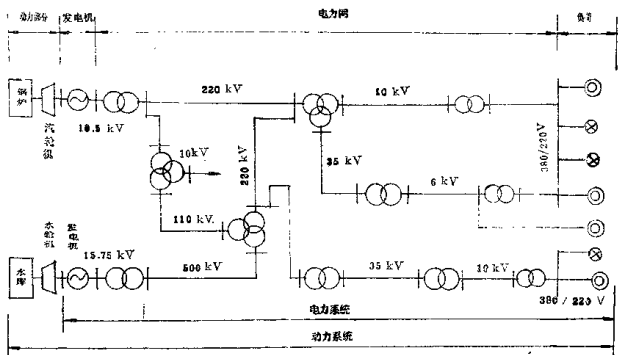


图1—1 动力系统、电力系统及电力网示意图

距离已超过1000km，最大电力系统容量已超过了10000万kW。

③超高压直流输电电力系统。由于电力系统日益增大，电力系统的稳定性问题又突出了，因此又出现了超高压直流输电电力系统，目前直流输电电压已达 $\pm 750\text{kV}$ ，输电距离超过1000km，输电功率超过100万kW。

2. 我国电力系统的情况

①从1882年上海建立第一个发电厂至1949年，我国电力工业及电力系统的发展非常缓慢。1949年全国总装机容量为185万kW，年发电量为43亿kW·h。110kV以上电压等级的电力系统仅东北有两个，总容量为72万kW。

②解放后，我国电力系统的发展比较迅速。1982年我国总装机容量(500kW以上的电厂)为6639万kW，其中水电为1945万kW，火电为4694万kW，其中水电占总装机的29.3%，装机容量居世界第八位。

1982年我国总发电量为3277亿kW·h，其中水电为744亿kW·h，火电为2533亿kW·h，其中水电占总装机的22.7%，发电量居世界第六位。

1980年我国已形成五个跨省的大的电力系统：东北电力系统装机容量为753万kW；华东电力系统装机容量为863万kW；华中电力系统装机容量为521万kW；华北电力系统装机容量为498万kW；西北电力系统装机容量为374万kW。还有若干个容量为140~350万kW的电力系统。

1953年我国东北电力系统自行设计建设了第一条220kV的高压输电线路，1972年刘家峡出现了第一条330kV的超高压输电线路，1981年我国第一条500kV的超高压输电线路投入运行，目前正在研究葛洲坝至华东的第一条 $\pm 500\text{kV}$ 的超高压直流输电线路。

三、对电力系统运行的基本要求

1. 保证供电的可靠性

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, 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。根据用户本身的重要程度可将负荷分为三类:

第一类负荷: 将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, 政治影响大等的用户以及军工系统划属为第一类负荷, 这是重要负荷;

第二类负荷: 将中断供电会造成大量减产, 人民生活受到影响的户划属为第二类负荷, 这是比较重要负荷;

第三类负荷: 除一、二类负荷以外的一般用户属于第三类负荷。

电力系统供电的可靠性, 首先是保证第一类负荷, 然后才保证第二类负荷, 最后才是第三类负荷。

2. 保证良好的电能质量

良好的电能质量有两个指标:

其一, 电压偏移一般不超过用电设备额定电压的 $\pm 5\%$;

其二, 频率偏移不超过 $\pm 0.2 \sim 0.5\text{Hz}$ 。

电压和频率偏移过大, 会引起大量减产、产品报废, 严重时会造成人身事故、设备损坏。

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, 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是有极重要的经济意义的。

电力系统的经济指标一般是指火电厂的煤耗及电厂的厂用电率和网损率等。

一般在组成联合电力系统时, 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是由小到大的。但系统容量过大时, 系统的稳定性问题又比较突出了, 应引起足够的重视。

四、研究电力系统的几种工具

由于电力系统及其暂态过程的复杂, 因此研究电力系统时常需要借助于一些研究工具, 主要有电力系统数学模拟和物理模拟两类。

1. 数学模拟方法

①用直流计算台进行短路电流和近似功率分布的计算。

②用交流计算台进行电力系统中的功率分布、短路电流及系统的稳定性的计算。

③采用通用模拟式电子计算机的方法。按描述发电机、电动机、自动调节装置等的方程式组将它的积分元件、加法元件、乘法元件组合为系统各元件, 组成整个电力系统的模拟, 然后就可运用示波器观察以电压表示的、连续变化的、表征系统运行状态的各个变量。因此这种模拟计算机适合于分析系统的暂态过程, 尤其是有自动调节装置的暂态过程。它的缺点是可供使用的元件数量有限, 以致待研究的系统不能过于复杂。

④通用数字式电子计算机已广泛应用于电力系统的运行、设计和科学研究各个方面。

2. 物理模拟方法

物理模拟即为电力系统的动态模拟，它是一种具体而又微小的电力系统。

第二节 电力系统的结线方式和电压等级

一、电力系统结线方式

1. 电力系统结线图

(1) 电力系统的电气结线图

表示电力系统各元件之间电气联系的电路图称为电力系统的电气结线图。一般是以单线图表示，但不能表示出各元件的地理位置。如图1—2所示的简单的电力系统结线图。



图1—2 简单电力系统电气结线图

(2) 电力系统的地理结线图

按比例地表示出电力系统中各发电厂和变电所相对地理位置的结线图称为电力系统地理结线图。它不能完全表示出各电力元件之间的连接情况。如图1—3所示。

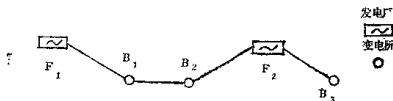


图1—3 简单电力系统地理结线图

2. 电力系统的结线方式及其特点

电力系统的结线方式分为有备用结线和无备用结线两类。

(1) 无备用结线

电力系统的无备用结线方式有以下几种：

①单回路放射式；

②单回路干线式；

③单回路链式。

其电气结线如图1—4所示。

电力系统无备用结线的优点是结线简单，投资少，运行维护方便；其缺点是供电可靠性差。故电力系统的无备用结线方式一般用于二、三类负荷的结线。

(2) 有备用结线

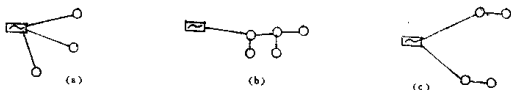


图1—4 无备用结线方式

电力系统有备用结线方式又可分为以下几种：

- ①双回路放射式、干线式和链式结线；
- ②环式结线；
- ③两端供电网结线。

有备用结线方式如图1—5所示。

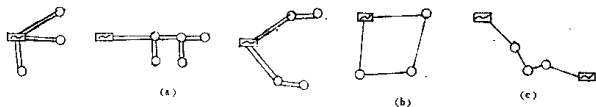


图1—5 有备用结线方式

电力系统有备用结线的优缺点：

对于双回路放射式、干线式和链式结线：其优点为供电可靠性高，最适宜作高压网的网架，电压质量高；其缺点为投资大、经济性差。

对于环式结线：其优点是供电可靠性较高，较为经济。其缺点是运行调度复杂，故障时及检修时电压质量差，特别在系统检修时往往供电处于无备用状态，供电可靠性相对降低。

对于两端供电网：其优点是供电可靠性高、经济、故障检修时电压质量好。但必须具备两个或两个以上的电源时，才能采用这种结线。其缺点是运行复杂。

3. 对电力系统结线方式的总要求

供电可靠，检修或事故时也有良好的电能质量，经济上合理，运行灵活，操作安全。最后要通过技术经济比较选出最优方案。

二、电力系统的电压等级

1. 电力系统的额定电压等级

电力系统额定电压等级的确定，首先是从输送电能的经济性上考虑。由于输电线路的三相输送功率为 $S = \sqrt{3}UI$ ，当 S 一定时，线电压 U 与线电流 I 是成反比的，如果 U 提高， I 就减少，这样导线截面就可以小，导线投资就少；但是当 U 高时，对绝缘要求就高，杆塔、变压器、断路器等绝缘投资大。综合上述两种因素，从输送电能的经济上考虑，对应一定的输电功率和输电距离（受电压质量的限制），就有一个最合理的线路电压。

其次，从设备制造的角度考虑。为保证生产的系列性，又不可能任意确定更多的电压

等级。

考虑了上述原因,根据我国的实际情况,并参考国外的标准,确定在我国电力系统的额定电压等级。

用电设备及电力线路的额定电压(线电压以kV为单位)有:3、6、10、15、35、60、110、154、220、330、500…。

同步发电机的额定电压(一般比电力线路额定电压高5%)有3.15、6.3、10.5、15.75。

变压器的额定电压,分一次绕组额定电压和二次绕组额定电压。

对于升压变压器,其一次绕组的额定电压同于发电机的额定电压,即为:3.15、6.3、10.5、15.75。对于降压变压器,一次绕组的额定电压同于用电设备的额定电压,即为:3、6、10、35、60、110、154、220、330、500…。但是发电厂厂用降压变压器,一次绕组的额定电压却同于发电机的额定电压。

变压器二次绕组的额定电压,首先看确定变压器二次绕组额定电压的理由,在额定运行时,变压器二次侧电压应较电力线路的额定电压高5%。但又因变压器二次侧电压规定为空载时的电压,而额定负荷下,变压器内部的电压降约为5%。为使正常运行时变压器二次侧电压较电力线路额定电压高5%,因此一般大中容量变压器二次侧额定电压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,或二次侧直接与用电设备相联的变压器(厂用变压器),其二次侧额定电压,才较电力线路额定电压高5%。

那么变压器二次绕组的额定电压,高5%的为:3.15、6.3、10.5。

高10%的为:3.3、6.6、11、38.5、66、121、169、242、363…。

各种电压等级目前在我国的电力系统中的使用情况大致为:

3、6kV一般为发电厂厂用电和配电网电压,配电网广泛采用10kV电压。
35、60kV为大城市、大工业企业内部的配电网及农村的输电网电压。
110、154kV为电力系统主干输电电压,及大电力系统二次网络电压。目前有些城市进线以110kV电力线路代替35kV电力线路。

220、330kV为电力系统的主网网架电压。

500kV为系统之间联络线,及远区大型水电站的主要输电电压。

2. 电力线路平均额定电压

电力线路的平均额定电压为电压线路首末端所接电气设备额定电压的平均值,其表达式为:

$$U_{av} = \frac{U_N + 1.1U_N}{2} = 1.05U_N \quad (1-1)$$

其中 U_N 为电力线路的额定电压。

目前我国电力系统的平均额定电压为3.15、6.3、10.5、15.75、37、66、115、162、220、345kV。

三、电力系统中性点的接地方式

1. 电力系统的中性点及接地方式

电力系统中性点是指星形连接的变压器或发电机的中性点,这些中性点的接地方式是一

个复杂问题，它关系到绝缘水平，通讯干扰，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可分两大类：其一是电力系统中性点直接接地；其二是电力系统中性点不接地，其中又分为电力系统中性点不接地及中性点经消弧线圈接地或经高阻抗接地两种方式。

2. 电力系统中性点不同接地方式的优缺点

(1) 中性点直接接地的电力系统

它的优点：首先是安全性好，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，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，这样使电力系统的绝缘水平可按相电压考虑，使其经济性好。

它的缺点：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线路立即跳闸，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措施。

(2) 中性点不接地电力系统

中性点不接地电力系统供电可靠性高，因为电力系统单相接地时不是单相短路，线路可以不跳闸，只给出接地信号，按规程规定电力系统单相接地后仍可运行两小时，若在两小时内排除了故障，就可以不停电，这样就提高了电力系统供电的可靠性。

但其经济性差，因为电力系统单相接地时，使不接地相对地电压提高了 $\sqrt{3}$ 倍，即以线电压运行，故此系统的绝缘水平应按线电压设计从而提高了 $\sqrt{3}$ 倍，因此对电压高的系统就不宜采用。

此外，中性点不接地电力系统单相接地时，易出现间歇电弧引起的系统谐振过电压。

因此，目前我国110kV及以上电力系统采用中性点直接接地方式；而60kV及以下的电力系统采用中性点不接地方式，其中35~60kV电力系统一般采用中性点经消弧线圈接地，而3~10kV电力系统一般采用中性点不接地方式。一般认为，3~60kV网络，容性电流超过下列数值时，中性点应装消弧线圈：

3~6kV网络	30A
10kV网络	20A
35~60kV网络	10A

3. 消弧线圈的工作原理

中性点不接地电力系统单相接地时，相对地电压的变化及接地电流有以下情况。

正常运行的电力系统为三相对称平衡系统，它只有正序电压分量 $\dot{U}_a$ ， $\dot{U}_b = a^2 \dot{U}_a$ ， $\dot{U}_c = a \dot{U}_a$ ，每相对地电压为相电压数值，中性点N对地电位 $\dot{U}_N = 0$ ，且每相对地电容电流 $I_{c0} = U_{0c0}$ ，当A相单相接地时，中性点电压为 $\dot{U}_N = -\dot{U}_a$ ，则各相对地电压变为：

$$\dot{U}_{a0} = 0$$

$$\dot{U}_{b0} = -\dot{U}_a - \dot{U}_a$$

$$\dot{U}_{c0} = -\dot{U}_a - \dot{U}_a$$