

目 录

第一章 电力系统基本概念	2
一、电力系统的基本概念与组成、分类.....	2
二、电能的生产.....	3
三、电能的输送与分配.....	3
四、电能的使用.....	4
五、电力系统运行的基本要求.....	4
第二章 电力系统的电压与电能	5
一、电力系统的电压等级.....	5
二、电能的质量.....	6
三、电能损耗.....	7
四、降低电能损耗的措施.....	7
第三章 电力系统继电保护的基本概念和作用	8
一、电力系统继电保护的概念.....	8
二、继电保护的基本原理和保护装置的组成.....	9
三、对继电保护的基本要求.....	10
四、继电保护的作用.....	11
第四章 高压电气设备的主要类型和作用	11
一、高压断路器.....	11
二、高压隔离开关.....	12
三、熔断器.....	13
四、高压负荷开关.....	13
五、互感器.....	13
第五章 电力系统过电压及防护措施	14
一、电力系统过电压.....	14
二、雷电过电压.....	14
三、工频电压升高.....	16
四、谐振过电压.....	16
五、电力系统操作过电压.....	17

第一章 电力系统基本概念

一、电力系统的基本概念与组成、分类

1. 基本概念

(1) 电力用户：在各行各业中所应用的各类用电设备和部门统称为电力用户。

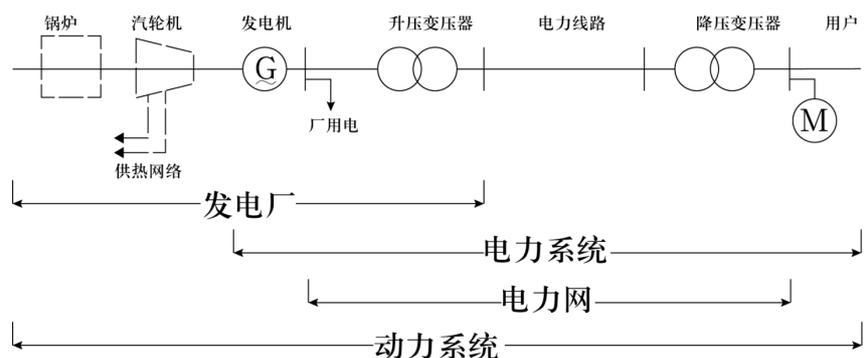
(2) 发电厂：发电厂是生产电能的工矿企业，其作用就是把非电形式的能转换为电能。

(3) 变电所：是变换电压和交换电能的场所，由电力变压器和配电装置组成。

(4) 电力网：是将发电厂生产的电能输送、交换和分配电能的网络，由变电所和各種不同电压等级的电力线路组成。是联系发电厂和用户的中间环节。

2. 组成部分

电力系统就是由大量的发电机、变压器、电力线路和负荷组成的旨在生产、传输、分配和消费电能的各种电气设备按一定方式连成的整体。



3. 分类

(1) 根据结构的不同,可分为:

一次系统：发电机、变压器、电力线路和负荷。

二次系统：继电保护、通信和调度控制系统。

(2) 根据功能的不同,可分为:

输电网：将发电厂发出的电能传输到负荷中心。

配电网：将电能分配给用户。

二、电能的生产

电能是由发电厂产生的，根据发电厂使用的一次能源的不同，可以将发电厂分为：火力发电厂、水力发电厂、抽水蓄能电站、核电厂、新能源电厂等。

火力发电厂是我国当前的主要能源来源，但随着环保要求的提高和资源储备量的减少，这类电厂逐步向大型化、智能化发展。

水力发电厂是将水的位能和动能转换成电能的工厂，也称为水电站。根据水利枢纽布置的不同，水电站的类型可以分为堤坝式水电站、引水式水电站。

抽水蓄能电站建有上水库和下水库，装设有“水轮机—发电机”和“电动机—水泵”两种可逆工作方式的机组。

在夜晚或者负荷低谷期间，电站作为“电动机—水泵”方式运行，利用电力系统富裕的电能将下水库的水抽到上水库，以位能的形式将电能存储起来，这是目前可以人工大量储蓄能量的重要方式。

在电力系统负荷峰值时，机组作为“水轮机—发电机”方式运行，将上水库的水放下来发电，用以承担电力系统负荷中的尖峰部分，起到调峰和调频作用。

三、电能的输送与分配

电能的输送与分配靠电力网完成，由变电所和各种不同电压等级的电力线路组成。其中电力线路可以分为输电线路和配电线路。

输电线路和变电所构成了输电网，它是电力系统的主网，其电压等级一般在35KV以上。配电线路和配电变压器构成了配电网，其电压等级一般在10KV以下。

发电机的发电电压一般在6~10KV，经由升压变压器后进入电网传输。到达负荷点后再经降压变压器和配电线路将电能配送给对应的用户。

变电所是联系发电厂和用户的一个重要中间环节，根据变电所在电力系统中的地位、作用与供电范围，可将其分为以下几类：枢纽变电所、中间变电所、地区变电所、终端变电所、开关站。

四、电能的使用

根据电能用户的重要程度和对供电的可靠性的要求不同,可将用户的负荷分为以下三类:

(1) 第一类负荷

指中断供电后将造成人身伤亡、重大政治影响、重大经济损失或公共场所秩序严重混乱的负荷。对于这一类负荷应该有两个或者两个以上的独立供电电源,当其中一个电源发生故障时,另一个电源能自动投入运行,同时还必须增设应急电源。

(2) 第二类负荷

指中断供电后将造成较大经济损失并对国民生活产生一定影响的负荷,这类负荷尽量使用两个独立电源。

(3) 第三类负荷

不属于第一类和第二类的负荷即为第三类负荷,其停电的影响较小。

总结来说,第一类负荷不能断电,第二类负荷尽量不要断电,第三类负荷可根据实际情况进行断电。

五、电力系统运行的基本要求

1. 电力系统与别的工业系统相比较,具有如下的特点:

(1) 电能与国民经济各部门及人民的日常生活关系密切,大规模停电将产生很严重的影响。

(2) 电能不能大量的储存。电能的生产、输送、分配和消费几乎是同时进行的,各个环节紧密相连,任何一个环节出问题,整个系统都要受到影响。

(3) 电力系统暂态过程非常短暂。正常操作和故障时,从一种运行状态变到另一种运行状态的过渡极为迅速。

(4) 对电能质量的要求颇为严格,质量不合格的电能将严重威胁整个系统的正常运行。

2. 一般来说,电力系统运行的基本要求如下:

(1) 保证安全可靠的供电(安全):对系统的运行进行安全监控,认真维修,

设备配备足够的有功电源和无功电源，完善的电力系统结构。

(2) 要有合乎要求的电能质量(优质)，比如电压偏移一般不超过用电设备额定电压的 $\pm 5\%$ ，频率偏移一般不超过 $\pm (0.2\sim 0.5)$ Hz。

(3) 要有良好的经济性(经济)。

(4) 尽可能减小对生态环境的有害影响(环保)。

总体来说,电力系统运行的基本要求是安全、优质、经济、环保。

第二章 电力系统的电压与电能

一、电力系统的电压等级

电气设备都是按照规定的电压与频率设计的，这就是所谓的额定电压与额定频率。设备在该电压和频率工作将获得最佳的技术性能和经济效果。

我国规定的额定线电压一般有：3kV、6kV、10kV、35kV、60kV、110kV、220kV、330kV、500kV、750kV、1000kV。电力网的额定电压即为线路的额定电压。

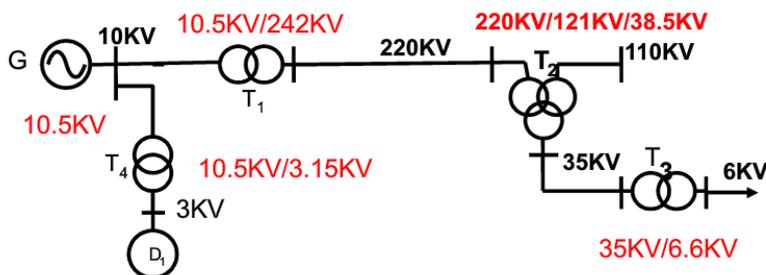
(1) 发电机的额定电压

为了抵消线路的电压损耗，发电机的额定电压一般为线路额定电压的1.05倍。

(2) 变压器的额定电压

一次绕组额定电压：一般情况下为线路的额定电压；直接与发电机相连的变压器取发电机额定电压。

二次绕组额定电压：一般情况下为1.1倍的线路额定电压，供电线路很短的变压器为1.05倍线路额定电压。



在求取相关变压器的变比时要注意变压器的一二次侧分别接的设备。

从低到高，我国的额定电压可以分为三类：

(1) 第一类额定电压

第一类额定电压是 100V 及以下的电压等级，主要用于安全照明、蓄电池及开关设备的直接操作电压。直流为 6、12、24、48V；交流单相为 12V 和 36V，三相线电压为 36V。

(2) 第二类额定电压

第二类额定电压是 100~1000V 之间的电压等级。这类额定电压应用最广、数量最多，如动力、照明、家用电器和控制设备等。

(3) 第三类额定电压

第三类额定电压是 1000V 及以上的高电压等级，多出现在电能的生产与配送环节，部分工业企业使用 3KV、6KV 级别的电压。大致分布情况如下：

3、6kV：工业企业内部使用；

10kV：配电网络；

35kV：大城市或大工业企业内部配电网络、农村电力网络；

110kV：小电力系统的主干线；

220、330、500、750、1000kV：用于大电力系统的主干线。

二、电能的质量

电能的质量对电力系统的运行影响很大，为了电力系统的稳定运行，必须保障电能质量。大体上，可以从频率偏差，电压偏差和电压谐波畸变率去衡量。

$$\text{频率偏差: } \Delta f = f - f_N$$

f 为实际频率， f_N 为额定频率。我国的额定频率为 50Hz，也称为工频。正常运行时允许的偏移为 $\pm(0.2\sim0.5)$ Hz。 ± 0.2 Hz 适用于大型电力系统； ± 0.5 Hz 适用于小型电力系统。

$$\text{电压偏差: } \Delta U(\%) = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100$$

U 为实际电压， U_N 为电网标称电压，电压偏差一般取百分数。我国规定 35kV 及以上电压等级允许的偏移范围为电压额定值的 $\pm 5\%$ ；10kV 及以下电压等级允许的偏移范围为电压额定值的 $\pm 7\%$ ；220V 单相供电电压允许偏差为电压额定值

的+7%~-10%。

在理想状况下，电压波形应是周期性标准正弦波，但由于电力系统中存在有大量非线性阻抗特性的设备。这些设备在电网中产生谐波电压，使得实际的电压波形偏离正弦波，这种现象称为电压正弦波形畸变。通常以谐波来表征。电压波形畸变的程度用电压正弦波畸变率来衡量，也称电压谐波畸变率，表达式为：

$$\text{电压谐波畸变率 (\%)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n u_i^2}}{u_1} \times 100$$

三、电能损耗

电能输送和分配过程中，电力系统中各个部件会产生一定的能源损耗。损耗的电量占供电量的百分比称为线路损失率，简称线损率。按损失产生的原因，可分为技术损耗和管理损耗。

1. 技术损耗

技术损耗又称为理论线损，它是各元件损耗电能的总称，可通过理论计算来预测。它又包括了与电网传输功率有关的可变损耗和电网传输功率无关的不变损耗。

(1) 可变损耗（负载损耗）与系统的负荷（电流）有关，包括了：变压器的铜损、输配电线路的铜损、互感器等设备的铜损、电能表电流线圈的损耗等。

(2) 不变损耗（空载损耗）与设备的电压有关，而与负荷电流无关。主要有：变压器及互感器等设备的铁损、电缆和电容的介质损耗、电能表电压线圈损耗、电晕损耗等。

2. 管理损耗

管理损耗是指由于管理、制度不健全或执行不力，以及其他不明因素等造成的损失，可称为不明线损。它主要由计量装置本身的误差和故障、营业工作中的失误、客户的违章用电、理论计算误差等原因造成。

四、降低电能损耗的措施

降低电能的损耗能够提高供电企业的经济效益，根据损耗产生的原因可从技术降损和管理降损两个方面出发。

1. 技术降损

无功补偿是一种常用的提高功率因素的方法，它不仅能改善电压质量，也能够降低电网损耗，提高电网的运行经济性。无功补偿主要有集中补偿、分散补偿、个别补偿三种方法。变电站以集中补偿为主，正常运行的负载采用分散补偿和个别补偿的方法相结合。

减少电力负荷的无功需求量也常用来降低线路损耗。比如不要让异步电机空载和轻载运行，以及利用同步电机代替异步电机。

调整变压器和电网的运行方式，使其运行在经济条件下也能够降低线路损耗。同时，对于一些老旧、技术标准低的线路可以进行线路改造以降低线路损耗。

2. 管理降损

随着电网负荷的不断增加，合理的管理制度与高素质的工作人员能够大幅降低管理损耗。相应的管理降损措施可以从提高计量的准确性、提高线路损耗的理论计算水平，以及加强用电营业管理等方面出发。

第三章 电力系统继电保护的基本概念和作用

一、电力系统继电保护的概念

1. 电力系统继电保护的概念

故障和异常运行状态都可能在电力系统中引起事故，使发电厂、电力系统中的一部分供电中断或正常运行遭到破坏。甚至造成人身伤亡和电气设备损坏，除应采取积极措施预防发生故障，还应在一旦发生故障时，能迅速而有选择地切除故障元件，使非故障部分继续工作。这种通过快速选择切除故障元件而处理故障和消除异常运行的自动化技术及其装备称为“继电保护”。

2. 电力系统继电保护的任務

发生故障时，自动、迅速、有选择地切除故障元件，使故障元件避免继续遭到破坏，使无故障部分的元件恢复正常运行。

出现异常运行状态时,及时向值班人员发出不正常运行的警告信号、减负荷或跳闸,使不正常运行状态得以消除。

二、继电保护的基本原理和保护装置的组成

1. 继电保护的基本原理

利用被保护线路或设备故障前后某些突变的物理量为信号量,当突变量达到一定值时,启动逻辑控制环节,发出相应的跳闸脉冲或信号。即利用正常运行与故障状态下电气参数变化的特征构成保护的判据,根据不同的判据就构成不同原理的继电保护。例如:

(1) 电流增加(过电流保护):故障点与电源直接连接的电气设备上的电流会增大。

(2) 电压降低(低电压保护):短路时,母线上的电压也将在不同程度上有很大的降低,短路点的电压降低到零。

(3) 电流电压间的相位角会发生变化(方向保护):正常 20° 左右,短路时 $60^\circ \sim 85^\circ$ 。

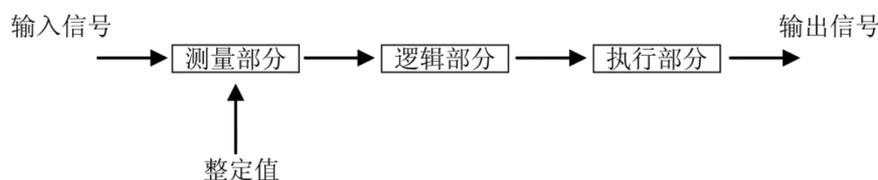
(4) 电压与电流的比值会发生变化(距离保护也称阻抗保护):系统正常运行是负荷阻抗,其值较大,系统短路时保护安装处到短路点之间的阻抗值较小。

(5) 电流差动保护:正常运行时 $I_{\lambda} = I_{\text{出}}$,短路时 $I_{\lambda} \neq I_{\text{出}}$ 。

(6) 分量保护:针对于负序、零序电流的保护。

2. 继电保护装置的组成

继电保护装置一般由测量部分、逻辑部分和执行部分组成。



(1) 测量部分。测量部分是测量从被保护对象输入的输入量,并与已给定的整定值进行比较,根据比较的结果,从而判断保护是否应该启动。

(2) 逻辑部分。逻辑部分是根据测量部分各输出量的大小、性质、输出的逻辑状态、出现的顺序或它们的组合,使保护装置按一定的逻辑关系工作,最后确

定是否应该使断路器跳闸或发出信号, 将有关命令传给执行部分。

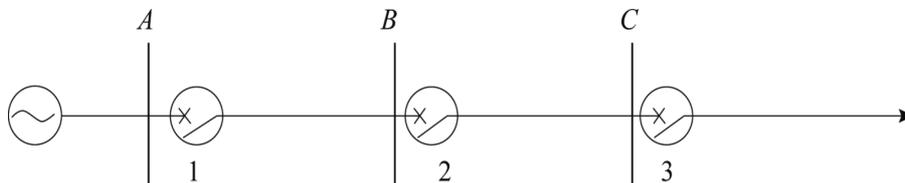
(3) 执行部分。执行部分根据逻辑部分输出的信号, 最后完成保护装置所担负的任务。如故障时, 动作跳闸; 不正常运行时, 发出信号; 正常运行时, 不动作等。

三、对继电保护的基本要求

继电保护要具备一定的标准要求才能起到保护作用, 相关要求如下:

1. 选择性

继电保护动作的选择性是指保护装置动作时, 仅将故障元件从电力系统中切除, 使停电的范围尽量小, 以保证系统中的无故障部分仍能继续工作。



2. 速动性

快速地切除故障可以提高电力系统并联运行的稳定性, 减少用户在电压降低的情况下工作的时间, 以及缩小故障元件的损坏程度。

故障切除的总时间等于保护装置动作时间和断路器动作时间之和。一般的快速保护的动作为 $0.04 \sim 0.08s$, 最快的可达 $0.01 \sim 0.02s$, 一般的断路器的动作为 $0.06 \sim 0.15s$, 最快的可达 $0.02 \sim 0.06s$ 。

3. 灵敏性

继电保护的灵敏性, 是指对于其保护范围内发生故障或不正常运行状态的反应能力。满足灵敏性要求的保护装置应在区内故障时, 不论短路点的位置和短路的类型如何, 都能灵敏地正确反应。

4. 可靠性

保护装置的可靠性是指在该保护装置规定的保护范围内发生了它应该动作的故障时, 它不应该拒绝动作(拒动), 而在任何其他该保护不应该动作的情况下, 则不应该错误动作(误动)。

影响可靠性的因素主要如下:

①内在的: 装置本身的质量, 包括元件好坏、结构设计的合理性、制造工艺水平、内外接线是否简明以及触点多少等。

②外在的：运行维护水平、调试是否正确、安装是否正确等。

提高可靠性的主要措施如下：

①用适当的保护原理,在可能条件下尽量简化接线,减少元器件和触点的数量。

②提高保护装置所选用的器件质量和工艺水平,并有必要的抗干扰措施。

③提高保护装置安装和调试的质量,并加强维护和管理。

④采取保护装置多重化。

四、继电保护的作用

1. 故障时

在电力系统被保护元件发生故障的时候,继电保护装置能自动、有选择性地将发生故障元件从电力系统中切除掉来保证无故障部分恢复正常运行状态,使故障元件避免继续遭到损害,以减少停电的范围。

2. 异常时

如果被保护元件出现异常运行状态时,继电保护装置能及时反应,根据维护条件,发出信号、减少负荷或发出跳闸动作指令。此时,一般不要求保护迅速动作,而是根据对电力系统及其元件危害程度规定一定的延时,以避免不必要的动作。

同时,继电保护装置也是电力系统的监控装置,可以及时测量系统电流电压,从而反映系统设备运行状态。

第四章 高压电气设备的主要类型和作用

一、高压断路器

1. 用途: 不仅能通断正常负荷电流,而且能通断一定的短路电流,并能在保护装置作用下自动跳闸,切除短路故障。

2. 基本要求: 绝缘应安全可靠;有足够的动稳定性和热稳定性;有足够的开断能力;动作速度快,熄弧时间短。

3. 油断路器

(1) 多油断路器：油既作为灭弧介质，又作绝缘介质（基本淘汰）；

(2) 少油断路器：油只作为灭弧介质。优点：用油量少、体积小、重量轻、节约油和钢材、占地面积小。用于 6~35kV 配电装置中。

4. 空气断路器（多用于 35KV 以下）

结构复杂（专门的压缩机构），价格高，噪声大。（趋于淘汰）

5. 真空断路器

优点：体积小、重量轻、动作快、寿命长、操作噪声小、安全可靠、便于维护。

缺点：在开断感性小电流时会出现电流截断现象造成较高的过电压。

波纹管决定了真空室的使用寿命。

6. SF6 断路器

优点：断流能力强、灭弧速度快、电绝缘性能好、检修周期长、没有燃烧爆炸危险等。

缺点：要求加工精度高且密封性能好，价格较昂贵。

分闸时间：指断路器从得到分闸命令起，到三相电弧完全熄灭为止的一段时间，它包括断路器的固有分闸时间和燃弧时间两部分。

固有分闸时间：指断路器从得到分闸命令起，到主触头刚分离的一段时间。

二、高压隔离开关

1. 结构特点：没有灭弧装置。

2. 隔离电压：隔离开关断开后在电路中会造成一明显可见的断开点，建立可靠的绝缘间隙，保证检修人员的安全。

3. 倒闸操作：合闸时，先合上隔离开关，后合上断路器；跳闸时，先断开断路器，后断开隔离开关。

4. 分、合小电流：可以接通或断开电流较小的回路（如电压互感器、避雷器、空载母线、励磁电流不超过 2A 的空载变压器、电容电流不超过 5A 的空载线路等）。

三、熔断器

1. 户内式熔断器

特点：灭弧能力强，灭弧速度快，能在短路电流未达到冲击值以前完全熄灭电弧，属于“限流”式熔断器。

2. 户外式熔断器

特点：灭弧能力不强，灭弧速度不高，不能在短路电流达到冲击值以前熄灭电弧，属于“非限流”式熔断器。目前也有部分限流式熔断器。

四、高压负荷开关

1. 结构特点：有简单的灭弧装置。

2. 功能：可以接通或断开正常的负荷电流和小于一定倍数的过载电流，也可以用来断、合比高压负荷开关允许容量更大的空载变压器、更长的空载线路。有时用来断、合大容量的电容器组，但不能切断短路电流；多与高压熔断器配合使用（替代断路器），有明显的断开点，具有隔离开关的作用。

五、互感器

互感器（一次设备）是电力系统中一次系统与二次系统之间的联络元件，用来变换电流和电压，反映设备的运行状况。

1. 互感器的作用：

- （1）将一次回路的高电压和大电流变换成二次侧的标准值。
- （2）使得一次设备与二次设备实现电气隔离，保障人身设备安全。
- （3）取得零序电流、电压分量供反应接地故障的继电保护装置使用。

2. 电流互感器（电磁式）

一次侧绕组少，其电流完全取决于被测电流。

二次侧匝数多，且串联的设备阻抗小，近似短路。（不可开路，不可接熔断器等二次开关）。

由于励磁等原因，电流互感器会产生一定的误差，使所测电流在相位和数值上均有误差。互感器的误差与二次侧负荷以及运行状态有关，尽量使其运行在一

次额定电流下。由于其电流是标准值，所以容量对应了负载，同时对应了准确级。

3. 电压互感器

(1) 电磁式电压互感器

类似于一个降压变压器，二次侧电压取决于一次侧电压。

二次侧并联的设备阻抗大，近似开路。

电压互感器的误差也可以认为是由于励磁等原因导致的，所测电压在相位和数值上均有误差。互感器的误差与二次侧负荷以及运行状态有关，尽量使其运行在一次额定电压下。由于其电压是标准值，所以容量对应了负载，同时对应了准确级。

(2) 电容式电压互感器

基本原理为电容分压原理。由于电压来自于电容，因此精准度还与对象频率有关。同时温度对电容的影响也会反映到精度上，输出容量比电磁式的要小。

第五章 电力系统过电压及防护措施

一、电力系统过电压

电力系统中的各种绝缘在运行中除了受长期工作电压的作用外，还会受到比工作电压高的过电压的作用。根据过电压的来源不同可以分为雷电过电压和内部过电压。

雷电过电压包括感应雷过电压和直击雷过电压，内部过电压包括工频过电压、谐振过电压和操作过电压。

工频过电压和谐振过电压属于暂时过电压，相对正常运行时间来讲，它是暂时的。

二、雷电过电压

线路导线在雷电的作用下，导线的表面会聚集与雷电异号的电荷。当雷电产生的电场消失后，这些感应出现的电荷（束缚电荷）迅速释放，从而产生了感应

雷过电压。雷电与导线的距离越近，导线上的电荷越多，释放电荷后产生的感应雷过电压也就越高。

当雷击直击中电气设备后，雷电侵入电力系统，从而产生了直击雷过电压。不论是感应雷过电压还是直击雷过电压，都会促使电力系统的电压迅速升高，从而导致相应的事故。

输电线路的防雷措施：

(1) 架设避雷线

110kV 及以上架空输电线路防雷措施是沿全线架设避雷线；35kV 及以下的线路一般不在全线装设避雷线。

(2) 降低杆塔接地电阻

提高线路耐雷水平和减少反击概率的主要措施。杆塔的工频接地电阻一般为 $10\sim 30\ \Omega$ 。

(3) 加强绝缘

对于高杆塔，可以采取增加绝缘子串片数的办法来提高防雷性能。

(4) 架设耦合地线

作为一种补救措施，具有一定的分流作用和增大导线之间的耦合系数，因而能提高线路的耐雷水平和降低雷击跳闸率。

(5) 采用消弧线圈接地方式

防止雷电过电压所引起的冲击闪络转变成稳定的工频电弧，可以减小建弧率和断路器的跳闸次数。

(6) 使用线路型避雷器

当降低接地电阻有困难时，可以采用线路型避雷器以保护线路。

(7) 采用不平衡绝缘方式

其原则是使两回路的绝缘子串数量不同，雷击时绝缘子少的回路先闪络。

(8) 自动合闸装置

雷击造成的闪络大多能在跳闸后自行恢复绝缘性能，增加自动重合闸装置有利于线路的稳定性。

三、工频电压升高

电力系统中出现的幅值超过最大工作相电压，频率为工频（50Hz）或接近工频的过电压称为工频过电压。这种过电压对系统正常绝缘的电气设备一般没有危险，但在超高压、特高压远距离输电系统确定绝缘水平时起着重要作用。原因如下：

- (1) 工频电压升高将直接影响操作过电压的幅值。
- (2) 工频电压升高将影响保护电气的工作条件和效果。
- (3) 工频电压升高持续时间长，对设备绝缘及其运行性能有重大影响。

1. 空载线路容性效应引起工频电压升高

对于空载线路而言，由于电容效应，线路末端电压大于首段电压。线路越长，线路末端工频电压升高越厉害。为了限制这种工频电压升高现象，大多采用并联电抗器来补偿线路的电容电流以削弱电容效应，效果十分显著。

2. 甩负荷引起的工频过电压

运行途中负荷突然降低也会导致工频电压升高。影响因素很多，跳闸前运送负荷大小，空载长线路的电容效应、发电机励磁系统及电压调节器的特性及原动机调速器及制动设备惰性。一般总时间可达数秒之久。

3. 不对称短路引起工频电压升高

不对称接地短路是输电线路最常见的故障形式。发生故障时，由于相间的电磁耦合，可能使得非故障相的电压升高。在各种不对称接地短路中，单相接地的概率最高，接地时非故障相的电压升高也比较严重。单相接地时的工频电压升高值是确定避雷器额定电压的依据。

四、谐振过电压

谐振是指振荡回路中某一自由振荡频率等于外加强迫频率的一种稳态或准稳态现象。在这种周期性或准周期性的运行状态中，发生谐振的谐波幅值会急剧上升。

谐振回路中包含有电感 L 、电容 C 和电阻 R ，通常认为系统中的 C 和 R （避雷器例外）是线性元件，而电感 L 有三种不同的特性：线性电感、非线性电感和周

周期性变化电感,因此相应的振荡回路就具有三种不同特点的谐振现象:线性谐振、非线性谐振(铁磁谐振)和参数谐振。

1. 线性谐振过电压

电路中的电感 L 与电容 C 、电阻 R 一样,都是线性参数。限制这种过电流和过电压的方法是使回路脱离谐振状态或增加回路的损耗。

2. 非线性谐振

非线性谐振是指发生在包含非线性电感(如铁芯电感元件)的串联振荡回路中的谐振。它与线性谐振有所不同,由于谐振回路中的铁芯电感会因磁饱和程度不同而具有不同的电感量,使得回路中的自振角频率也会发生变化。一般情况下可选用不易饱和的电感元件以降低非线性谐振的影响。

3. 参数谐振过电压

当串联回路含有周期性变化的电感,可能会出现参数谐振。对于发电机可以破坏其产生自励的条件,可有效预防参数谐振的发生。

五、电力系统操作过电压

电力系统中的电容、电感元件均为储能元件。当系统正常操作或故障使其工作状态发生变化时,将产生电磁能量振荡的过渡过程。在设备上将会产生数倍于电源电压的过渡过程过电压,这就是操作过电压。它具有高频振荡、强阻尼、在几毫秒至几十毫秒后衰减消失的特点。

系统的标称电压越高,操作过电压的幅值也就越高。对于 220KV 及以下的系统,正常的电气设备绝缘能承受 3~4 倍过电压。若对于 330KV 及以上的电力系统仍按照 3~4 倍的标准去设计,将大幅增加工程造价。

1. 空载线路分闸过电压

切除空载线路是电力系统中常见的操作之一。产生过电压的原因是断路器分闸过程中的重燃现象。断路器的灭弧能力越差,重燃几率越大,过电压幅值越高。

限制措施:

提高断路器的灭弧性能,减少或避免电弧重燃;

在断路器中加装并联分闸电阻;

装设避雷器。

2. 空载线路合闸过电压

线路电压在合闸前后发生突变，变化的过度过程可能会引发过电压，这就称为空载线路合闸过电压。这种过电压是超、特高压系统中的主要操作过电压。空载线路的合闸分为两种情况，即正常合闸和自动重合闸。自动重合闸过电压是合闸过电压中最严重的一种。过电压的大小与合闸相位、线路残压和线路损耗有关。

限制措施：

在断路器中加装并联合闸电阻，对自由分量起阻尼作用降低过电压幅值；

采用同步合闸，使触头间电位差接近零时完成合闸；

消除和削弱线路残余电压；

装设避雷器。

3. 空载变压器分闸过电压

切除空载变压器就是开断一个小容量电感负荷，会在变压器和断路器上出现很高的过电压。在开断并联电抗器、消弧线圈等电感元件时，也会引起类似的过电压。

过电压产生的原因为截流现象，流过电感的电流在到达自然零点前被断路器强行切断，使得储存在电感中的磁场能量被强迫转化为电场能，导致电压的升高。当被切断的电流较小时，电弧提前熄灭，亦即电流会在过零之前就被强行切断，此时即产生了截流现象。

对于该种过电压，断路器的灭弧能力越强，过电压越严重。变压器的电感越大、电容越小，产生的过电压也越严重。一般利用避雷器来限制此类过电压。

4. 间歇电弧接地过电压

在中性点不接地系统中，发生单相接地时，可以带故障运行一段时间（一般不超过 2 小时）。但是此时的接地电弧如果不稳定，处于时燃时灭状态，它会改变整个系统的运行状态，导致电感电容元件发生振荡以至产生过电压，即间歇电弧接地过电压。相间电容、电网损耗、对地绝缘的泄露电导等对此类过电压有一定的影响。可以使用中性点直接接地或经消弧线圈接地的方式来预防。