

第 7 篇

保护继电器与 继电保护装置

第 7 篇

变 电

主编单位 电力工业部西北电力设计院

编写单位 电力工业部西北电力设计院
电力工业部华东电力设计院

主 编 冯宗蕴

副 主 编 姚成开

编 写 人 冯宗蕴 陈学庸 姚成开 林永生
陈梓权

主 审 孙 林 丁顺安

第 1 章 变电所的构成、分类及主接线

1 变电所的构成

1.1 交流变电所

交流变电所是交流电力系统中的主要组成部分，也是连接电力系统的中间环节，用以汇集电源、升降电压和分配电力。变电所通常由高低压配电装置、主变压器、主控制楼（室）和相应的控制保护设施以及辅助生产建筑物等组成。根据我国电力网远景发展规划，负荷容量和新建电厂的容量及配置情况，以及设备的经济指标等，变电所的额定运行电压为 500/220/110kV 和 (750) /330/110kV 两个系列（750kV 为待发展的等级）。

1.2 换流站

换流站是直流输电系统的主要组成部分。换流站主要包括安装在同一地点的一个或多个换流单元及其建筑物，直流电抗器，交流滤波器，直流滤波器，无功补偿装置，控制、保护和测量装置，远动通信装置和其他辅助设备。对单向高压直流系统，主要设备基本相同的换流站，按运行状态分为整流站及逆变站。前者将交流电能转换为直流电能，后者再把直流电能转换为交流电能。双向高压直流系统中的换流站，由于其换流桥具有可逆的功能，既可作为整流站运行，又可作为逆变站运行。此外，还有两个换流站合建在一起运行的非同步联络站。

目前，我国已有±500kV 换流站投入运行，国外则已有±750kV 换流站投入运行。

1.3 牵引变电所^[1]

牵引变电所是电力牵引供电系统中牵引网的供电中心。牵引电流是从牵引变电所的馈电线经接触网供给电力机车，然后沿钢轨和大地（或回流线）返回。

牵引变电所分直流牵引变电所和交流牵引变电所两类。直流牵引变电所在我国目前用于工矿企业、城市电车和地铁。其运行电压，地下矿井大多采用直流 550V，城市电车为直流 600V，地铁大多为直流 750V。直流牵引变电所通常由交流断路器、整流变压器、硅整流器、直流快速断路器及其他相应设施组成。交流牵引变电所目前多用于电气化铁道系统，我国电气化铁道采用的是单相工频交流电力牵引系统，供电电压为 27500V。这种系统的单相牵引负荷，能造成电力系统的不对称运行，使系统中出现较大的负序分量，从而增加发电机定子及转子回路的附加损耗及发热，因而使其出力降低，损坏电机绝缘，同时可能引起发电机振动。为了尽量减少单相工频牵引负荷的不平衡对电力系统的影响，牵引变电所及接触网的连接方式应该使各相负荷趋近平衡。交流牵引变电所的构成同一般交流变电所的基本相同。

2 变电所的分类（表 7-1-1）

表 7-1-1 一般交流变电所的分类

类 型		作 用 与 特 点
按作用性质分	升压变电所	一般位于发电厂内或电厂附近，将电厂发电机发出的电能经升压后送至电力系统
	降压变电所	一般分布于负荷中心或网络中心，一方面连接电力系统各个部分，同时将系统电压降低，分配给地区用电。对超高压电力网（330kV 及以上），一般需经过两级降压才能将电能电压降到配电网的电压，以供用户用电
	开关站（开闭所）	是为系统稳定性要求而设的，其主要作用是将长距离输电线分段，以降低工频过电压，减少线路故障面和提高系统运行稳定度，并有可能设置串联补偿装置等，以提高供电能力和送电质量。有时开关站中也设置降压变压器，使其具有双重功能

(续)

类 型	作 用 与 特 点
按在系统中所处地位分	枢纽变电所 汇集多个大电源和大容量联络线, 在系统中处于枢纽地位, 其高压侧交换系统间巨大功率潮流并向中压侧输送大量电能; 电压等级高(我国一般为 500kV 及 330kV), 变电容量大, 出线回路较多, 所址在系统中的地理位置适中。全所停电后, 将使系统稳定破坏, 电力网瓦解, 造成大面积停电
	地区变电所 位于地区网络的枢纽点上, 是一个地区或中等城市的主要变电所, 高压侧以交换或接受功率为主, 供电给地区的中压侧和附近的低压侧负荷。全所停电后将引起地区电力网瓦解, 影响整个地区供电。电压等级一般为 220kV, 也有 330kV 者, 容量多超过 200MVA
	企业(用户)变电所 是工矿企业的专用变电所, 降压供电给一个企业或一个用户单位。全所停电后, 只影响一个企业及专用用户的供电。大型联合企业的总降压变电所电压多为 220kV, 一般企业的变电所的电压多为 110kV, 也有 35kV (或 63kV) 的
	终端(分支)变电所 处于电力网的终端或线路分支接入的降压变电所, 接线较简单, 一般进线仅 1 或 2 回路, 所址位置接近负荷点, 全所停电只影响附近用户, 电压等级多为 35~110kV
按值班方式分	有人值班变电所 变电所主控制室内常驻值班人员, 昼夜 24h 分班对全所电气设备的运行情况进行监视、调控及必要的操作, 我国 110kV 及以上的变电所一般均为有人值班, 值班方式及人员配备随变电所的重要性而有所不同
	无人值班变电所 变电所内无人值班, 由地区调度所或地区变电所对其进行遥控、遥信和遥测(遥调)。这种变电所具有节约用地及投资、节省人力的优点。由于集中控制, 操作的安全性也可提高。我国部分地区的 110kV 和 35kV 变电所已推广采用, 国外已有 500kV 无人值班变电所
	在家值班变电所 不在主控制室值班, 而在所内或邻近变电所的福利区内驻有少量值班人员, 在值班人员的住所设有变电所的主要信号设施, 平时人员可进行不离所的其他工作, 有信号时或需进行操作及记录时才去变电所。目前仅在很少的 35~110kV 变电所中实行
按布置形式分	户外变电所① 变电所中各级电压配电装置除低压侧设备置于户内外, 高中压侧配电装置均为户外设置, 故变电所一般占地较大, 耐污秽能力较差, 但投资较少, 安装检修也较方便。330kV 及以上的超高压变电所均为户外型(采用 GIS 除外), 220kV 及以下的, 条件允许时一般亦较多采用户外变电所
	户内变电所① 各级电压的配电装置均为户内型的变电所, 具有占地少、便于运行维护、耐污秽能力强等优点, 但投资较同电压等级的户外变电所贵, 电压越高, 投资越多, 故户内变电所一般在 220kV 及以下电压时采用(采用 GIS 除外)。市区用地困难以及污秽地区, 一般可推广采用户内变电所
	地下(洞内)变电所 位于狭窄的水电站及大城市中心地区, 因用地特别困难而采用的布置形式, 这种变电所设计时要特别注意通风及防潮, 并要加强消防措施
	组合式变电所 又称箱式变电所, 目前高压侧仅限于 10~35kV 等级, 将主变压器, 高、低压开关设备等全部装于一金属箱柜内(也有将主变压器设置于箱外), 高、低压侧进出线一般用电缆。这种组合式变电所占地很少, 安装方便, 可作为小区的配电用

① GB50060—92《高压配电装置设计规范》中用屋内、屋外。

3 变电所的主接线

变电所的主接线是根据变电所的性质、地位和要求, 将其主要电气设备和母线用导线有机地连接起来, 在主接线的母线上进行电能的汇集、分配及交换。

3.1 决定主接线的原则^[3]及可靠性要求

(1) 变电所的电气主接线应根据该变电所在电力系统中的地位、变电所的规划容量、负荷性质、线路及变压器的连接元件总数、设备特点等条件确定, 并应综

合考虑供电可靠、运行灵活、操作检修方便、节约投资及便于过渡或扩建等要求。

(2) 供电可靠性是电力生产和分配的首要要求,主接线首先应满足这个要求。主接线的可靠性,在很大程度上取决于设备的可靠程度。主接线可靠性的具体要求为:

- 1) 检修断路器时,不宜影响对系统的供电。
- 2) 断路器或母线故障以及检修母线时,尽量减少停运的回路数和停运时间,并要保证对一级负荷及全部或大部分二级负荷的供电。
- 3) 应避免变电所全部停运的可能性。
- (3) 主接线应满足在调度、检修及扩建时的灵活性。具体要求为:

- 1) 调度时应能灵活地倒闸操作变压器和线路,调配电源和负荷,满足系统在事故运行方式及检修运行方式下的系统调度要求。
- 2) 检修时可以方便停运断路器、母线等,而不致影响电力网的运行和对用户的供电。
- 3) 扩建时可以容易地从初期接线过渡到最终接线,使停电时间最短,并尽量减少一次及二次部分的改建工作量。
- (4) 主接线在满足可靠性、灵活性要求的前提下,

- 应做到经济合理。具体要求为:
- 1) 尽量节省投资,如接线力求简单,以节省断路器等设备;能限制短路电流,以采用价廉的电气设备;继电保护不宜过于复杂等。
 - 2) 主接线要为配电装置布置创造条件,尽量使占地面积减少。
 - (5) 对主接线的可靠性要求除上述定性原则外,尚可根据概率论和数理统计方法为基础的可靠性理论对各种接线方案进行定量分析。分析的目标就是比较增加元件时所付出的代价与获得的可靠性增益是否合理。一般主接线的可靠性分析可归纳为以下步骤:1)定义系统的范围,并列出它所包括的元件;2)给出每个元件的故障率、修复率、计划检修率和停运时间;3)定义系统故障的判据,选择要计算的可靠性指标;4)建立数学模型;5)对选定的系统状态进行故障后果分析;6)计算系统的可靠性指标。目前国外已在工程中进行主接线选择时参考使用,而我国则正在研究试用。

3.2 各级电压的主接线^{[4][5]}

各级电压的主接线方式较多,表 7.1-2 所列常用的主接线。

表 7.1-2 各级电压常用的主接线方式

接线类型	接线示意图 (未表示隔离开关)	断路器数 (<i>n</i> 为出线回路数)	适用范围
桥形接线	内桥	<i>n</i> -1	适用于较小容量的变电所,且变压器不经常切换或线路较长、故障率较高的情况
	外桥	<i>n</i> -1	适用于较小容量的变电所,且变压器的切换较频繁或线路较短、故障率较少的情况。此外,线路有穿越功率时,也宜采用本接线

(续)

接线类型	接线示意图 (未表示隔离开关)	断路器数 (n 为出线回路数)	适用范围
角形接线	三角形	n	适用于进出线回路数不多(3~5回路),而远景发展比较明确的110kV及以上配电装置,不宜用于有再扩建可能的变电所,本接线亦可作为发展成一个半断路器接线的过渡接线
	四角形	n	
单母线		n	一般只适用于一台主变压器的以下三种情况 1. 6~10kV 配电装置的出线回路数不超过5回 2. 35~63kV 配电装置的出线回路数不超过3回 3. 110~220kV 配电装置的出线回路数不超过2回
单母线分段接线		$n+1$	变电所装有两台主变压器时,6~10kV 配电装置宜采用本接线,35~63kV 配电装置出线回路数为4~8回时或110~220kV 配电装置出线回路数为3~4回时,可采用本接线
单母线分段加旁路		$n+1$	在110~220kV 配电装置中,当断路器为少油型时,除断路器有条件检修外,应设置旁路母线 当110kV 出线回路为6回及以上,220kV 出线回路为4回及以上时,可设专用旁路断路器 在35~63kV 主接线中,当不允许停电检修断路器时,亦可设置旁路母线,出线回路为8回及以上时可设置专用旁路断路器,6~10kV 配电装置一般不设旁路母线

(续)

接线类型	接线示意图 (未表示隔离开关)	断路器数 (n 为进出线回路数)	适用范围
双母线		$n+1$	出线带电抗器的 6~10kV 配电装置可采用双母线 6~10kV 配电装置出线为 12 回及以上时也可采用 35~63kV 配电装置, 出线回路为 8 回及以上时采用本接线 110kV 配电装置, 出线为 6 回及以上时或 220kV 配电装置, 当出线为 4 回及以上时均可采用本接线
双母线分段		$n+3$ $n+4$	330~500kV 配电装置进出线回路数为 6~7 回时, 一般采用单分段, 8 回及以上时宜采用双分段 220kV 配电装置, 进出线回路数为 10~14 回时, 采用单分段, 15 回及以上时, 则应采用双分段 为了限制 220kV 母线短路电流或系统解列运行的要求, 可根据需要将母线分段
双母线(分段)加旁路		$n+2$	110kV 配电装置采用双母线时, 除断路器有条件停电检修以及部分户内配电装置等外, 应设置旁路母线 220kV 配电装置采用双母线时, 一般均可设置旁路母线, 当进出线回路为 4 回及以上时, 可设专用旁路断路器 330~500kV 配电装置采用双母线时, 均设置旁路母线
一个半断路器接线		$\frac{3}{2}n$	750~1150kV 配电装置一般可采用本接线 330~500kV 配电装置进出线回路数在 6 回及以上时可采用, 并宜把电源回路与负荷回路配对成串, 同名回路配置在不同串内, 重要变电所的 220kV 配电装置进出线在 6 回以上时也可采用
母线-变压器组接线		$n+1$	330~500kV 配电装置最终出线回路为 3~4 回时, 宜采用本接线, 若出线超过 4 回时, 条件合适也可采用 750kV 配电装置也有采用一个半断路器与母线-变压器相结合的接线 本接线也可作为发展成一个半断路器接线的过渡接线

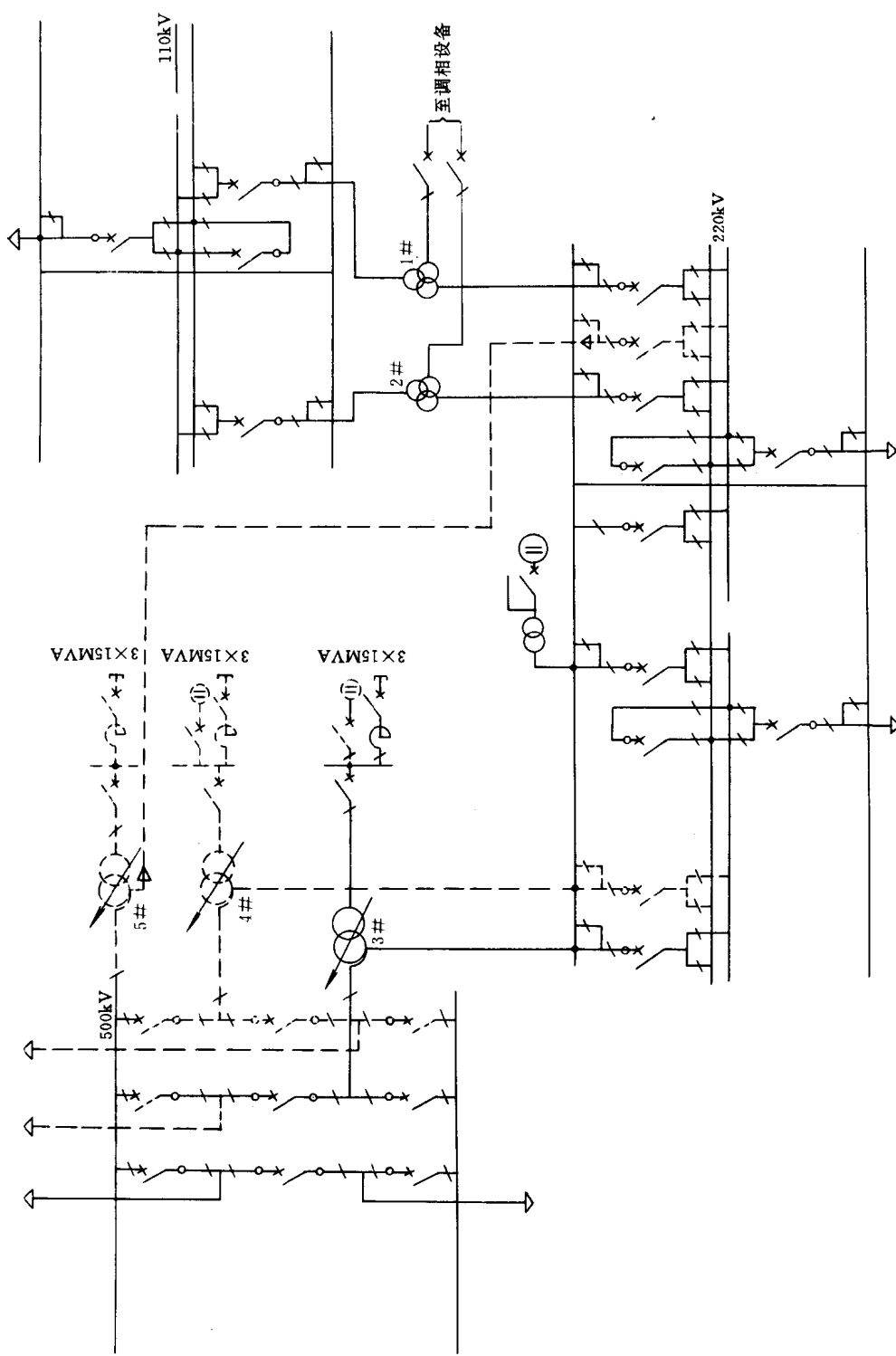


图 7-1-1 500kV 变电所主接线简图

除上述各级电压的常用接线方式外,在超高压变电所中,也有少数采用环形母线多分段接线(日本采用)以及 $1\frac{1}{3}$ 台断路器接线,这种接线方式在加拿大及美国的500kV及735kV配电装置中有所采用,主要是可节省价格较贵的断路器。对220kV及以下的终端变电所,当能满足运行要求时,可采用断路器较少或不用断路器的接线,如线路变压器组或线路分支接线等。

图7-1-1为变电所主接线简图。

3.3 主接线中的设备配置

1. 隔离开关的配置

(1) 接在母线上的避雷器和电压互感器,宜合用一组隔离开关,330~500kV避雷器不应装设隔离开关。

(2) 安装在出线上的耦合电容器、电压互感器以及接在变压器引出线或中性点上的避雷器,不应装设隔离开关。

(3) 在一个半断路器接线中,前两串的线路和变压器出口处应装设隔离开关。

(4) 多角形接线中的进出线应装设隔离开关,以便在进出线检修时,保证闭环运行。

(5) 断路器的两侧均应配置隔离开关,以便在断路器检修时隔离电源。

(6) 中性点直接接地的普通变压器均应通过隔离开关接地,自耦变压器的中性点则不必装设隔离开关。

2. 接地刀闸或接地器的配置

(1) 为保证电器和母线的检修安全,35kV及以上每段母线宜装设接地刀闸或接地器。

(2) 63kV及以上配电装置的断路器两侧、隔离开关的断路器侧和线路隔离开关的线路侧,宜配置接地刀闸。

(3) 旁路母线一般装设一组接地刀闸,设在旁路回路隔离开关的旁路母线侧。

(4) 63kV及以上主变压器进线隔离开关的主变压器侧宜装设一组接地刀闸。

3. 电压互感器的配置

(1) 电压互感器的数量和配置与主接线方式有关,并应满足测量、保护、同期和自动装置的要求。

(2) 6~220kV电压等级的每组主母线的三相上,

应装设电压互感器。

旁路母线上是否需要装设电压互感器,应视各回出线外侧装设电压互感器的情况和需要确定。

(3) 当需要监视和检测线路侧有无电压时,出线侧的一相上应装电压互感器。

(4) 500kV电压互感器按下述原则配置(330及750kV等级也可参照采用):

1) 对双母线接线,宜在每回出线和每组母线的三相上装设电压互感器。

2) 对一个半断路器接线,应在每回出线的三相上装设电压互感器,在主变压器进线和每组母线上,应根据继电保护、自动装置及测量等要求,在一相或三相上装设电压互感器,线路和母线的电压互感器二次回路间不切换。

4. 电流互感器的配置

(1) 凡装有断路器的回路均应装设电流互感器,其数量应满足继电保护、自动装置和测量仪表的要求。

(2) 变压器中性点以及未装断路器的变压器出口应装设电流互感器。

(3) 对大接地短路电流系统,可按三相配置电流互感器;对小接地短路电流系统,根据具体要求,可按两相或三相配置。

(4) 采用一个半断路器接线时,每串宜配置三相电流互感器。

5. 避雷器的配置

(1) 每组母线上应装设避雷器,但进出线都装避雷器时除外。

(2) 旁路母线是否装设避雷器,应视旁路母线投入运行时,避雷器对被保护设备的电气距离是否满足要求而定。

(3) 330kV及以上变压器和并联电抗器处,必须装设避雷器,并应尽可能靠近设备本体。

(4) 220kV及以下变压器到避雷器的电气距离超过允许值时,应在变压器附近增设一组。

(5) 三绕组变压器低压侧的三相出线上宜装设避雷器。

(6) 自耦变压器必须在其两个自耦合的绕组出线上装设避雷器,并应接在变压器与断路器之间。

(7) 变压器中性点避雷器的配置原则参见本篇第2章14节。

第2章 变电所的主要电器及导体

变电所的电器及导体是变电所的主要组成部分, 电器主要包括主变压器、断路器、隔离开关、电抗器、互感器、避雷器、阻波器和接地装置等。导体则主要为各级电压的母线及设备间的连接线。电器及导体的选用是否合适, 将直接影响变电所的安全经济运行, 以及能否满足检修、短路和过电压情况下的各种要求。

1 电器和导体的一般选择条件

1.1 选择电器和导体的主要技术条件

1. 电压 选用的电器允许最高工作电压不得低于该回路的最高运行电压。

2. 电流 选用的导体和电器, 其长期允许电流不得小于该回路的最大持续工作电流。

3. 机械载荷 电器机械荷载的安全系数, 由制造部门在产品制造中统一考虑, 电器端子的允许荷载以及导体和绝缘子的安全系数参见本章相应各节。

4. 短路稳定条件 导体和电器的动、热稳定以及电器的开断电流, 可按三相短路验算, 当单相、两相接地短路较三相短路严重时, 应按严重情况验算。

5. 绝缘水平 在工作电压和过电压的作用下, 电器的内外绝缘应保证必要的可靠性。电器的绝缘水平应符合现行国标 GB311—83《高压输变电设备的绝缘配合》的规定。

1.2 校验电器和导体的环境条件^[6]

1. 温度 选择电器和裸导体用的环境温度按表 7-2-1 选取。普通高压电器在环境最高温度为 +40℃ 时, 允许按额定电流长期工作; 当安装点环境温度超过 +40℃ 时, 需降低额定电流, 一般为每增高 1℃, 额定电流减少 1.8%^[6]。

2. 日照 户外导体和电器在日照影响下将产生附加温升, 其额定载流量的下降数值应由制造部门提出。在计算日照的附加温升时, 日照强度取 0.1W/cm², 风速取 0.5m/s。

3. 风速 选择导体和电器时的最大风速, 可采用离地 10m 高, 30a 一遇 10min 平均最大风速。对 500kV

及以上的电器, 则宜采用离地 10m 高, 50a 一遇 10min 平均最大风速。

一般高压电器可在风速不大于 35m/s 的环境下使用。

表 7-2-1 选择电器和裸导体的环境温度 (℃)

类别	安装场所	环境温度	
		最高	最低
裸导体	户外	最热月平均最高温度	
	户内	该处通风设计温度	
电器	户外	年最高温度	年最低温度
	户内电抗器	该处通风设计最高排风温度	
	户内其他	该处通风设计温度	

注: 1. 年最高 (或最低) 温度为一年中所测得的最高 (或最低) 温度的多年平均值。

2. 最热月平均最高温度为最热月每日最高温度的月平均值, 取多年平均值。

3. 选择户内裸导体及其他电器的环境温度, 若该处无通风设计温度时, 可取最热月平均最高温度加 5℃。

4. 冰雪 在积雪和覆冰严重的地区, 应采取措施, 防止冰串引起瓷件绝缘对地闪络。

隔离开关的破冰厚度, 不应小于设计最大覆冰厚度。

5. 相对湿度 选择导体和电器的相对湿度, 应采用当地湿度最高月份的平均相对湿度。在湿热带地区应采用湿热带型电器产品。在亚湿热带地区, 可采用普通电器产品, 但应根据当地运行经验采取防护措施。

6. 污秽 参见本篇第 9 章 1 节。

7. 海拔 电器的一般使用条件为海拔不超过 1000m。对安装在海拔超过 1000m 地区的电器外绝缘一般应予加强。当海拔在 4000m 以下时, 其试验电压应乘以系数 K, 系数 K 的计算公式如下:

$$K = \frac{1}{1.1 - \frac{H}{10000}}$$

式中 H——安装地点的海拔 (m)。

对安装在海拔超过 1000m 地区的电器, 可选用高原型电器或选用外绝缘提高一级的产品。由于现有

110kV 及以下大多数电器的外绝缘有一定裕度,故可使用在海拔 2000m 以下的地区。

8. 地震烈度 参见本篇第 9 章 6 节。

9. 雨 高压电器外绝缘的湿放电电压随降雨强度的增大而下降;但当降雨强度增大到 30mm/10min 以上时,湿放电电压趋向一个稳定值。在污秽地区,毛毛雨使产品表面形成污染水层,易造成外绝缘闪络。因此,户外电器应进行淋雨下的外绝缘特性试验。

2 主变压器

2.1 变电所主变压器的选择原则^[4]

(1) 主变压器的台数和容量,应根据地区供电条件、负荷性质、用电容量和运行方式等条件综合考虑确定。在有一、二级负荷的变电所中,宜装设两台主变压器;若变电所可由中、低压侧电力网取得足够容量的备用电源时,可装设一台主变压器;当技术经济合理时,也可装设三台或四台主变压器。

(2) 在装有两台及以上主变压器的变电所中,当断开一台时,其余主变压器的容量应不小于 60%~70% 的全部负荷,并应保证用户的一、二级负荷。

(3) 330kV 及以下的主变压器,若不受运输条件限制,应选用三相变压器。500kV 主变压器选用三相或单相时,应根据变电所在系统中的地位、作用和运输等条件,综合考虑确定。主变压器容量一般按变电所投运后 5~10 年的预期负荷选择。

(4) 在具有三种电压的变电所中,如果通过主变压器各侧绕组的功率均达到该变压器额定容量的 15% 以上,或第三绕组需装设无功补偿设备时,均宜采用三绕组变压器。

(5) 有两种电压并与 110kV 以上中性点直接接地的电力系统连接的变电所,在条件许可时,应优先选用自耦变压器。

(6) 电力潮流变化大和电压偏移大的变电所,如果经计算普通变压器不能满足调压要求时,可选用有载调压变压器。但 330kV 及以上的降压变压器一般不推荐有载调压。当采用时必须经过详细的技术经济论证。

2.2 对主变压器性能的主要要求

1. 结构性能

a. 结构型式 按电力系统的需要及运输条件,可选用普通或自耦、单相或三相、双绕组、三绕组或分裂

绕组、升压或降压变压器等以及联结组别的接法。变压器绕组的联结方式必须和系统电压相位一致,否则不能并联运行。我国 110kV 及以上电压,变压器绕组都采用 Y 联结。35kV 采用 Y 联结,其中性点一般通过消弧线圈接地。对于 330kV 及以上变压器,35kV 绕组一般为 Δ 联结。对于 35kV 以下电压,变压器绕组都采用 Δ 联结。

b. 调压方式 按运行要求选用有载调压或无载调压。无载调压的调整范围通常在 $\pm 5\%$ 以内,而有载调压的调整范围可达 30%。

自耦变压器有载调压方式有公共绕组中性点调压、串联绕组末端调压及中压侧线端调压等三种。中性点调压方式适用于容量较小、电压较高、变比较大的自耦变压器。串联绕组末端调压适用于大容量自耦变压器,而高压侧电压变化又较大的情况。中压侧线端调压则适用于中压侧电压变化较大的情况。

c. 阻抗 按电力系统的短路容量、系统稳定、继电保护、供电电压水平等要求以及变压器具体结构条件确定,对双绕组的普通变压器,一般按标准规定值选择,优先采用节能型系列产品。对 500kV 变压器,由于低压侧负荷很小,为限制短路电流,便于断路器选择,故高低压线圈间一般为高阻抗。

2. 运行特性

a. 过负荷能力 需满足正常运行允许的过负荷以及事故时允许的过负荷要求。

b. 游离及防晕 运行中局部放电量及电晕放电量不超过规定。变压器的局部放电量不大于 300pC。

c. 振动及噪声 按标准规定,距离变压器箱体 2m 处的噪声水平不应大于 85dB。

d. 运输要求 质量及运输(外形)尺寸均应适应我国铁路及公路等的运输条件,变压器并应保证具有耐运输过程中产生冲撞的能力。

3. 中性点接地方式 根据电力系统的要求,可选用中性点直接接地与中性点非直接接地(中性点不接地或经消弧线圈接地)两种方式,一般要引出中性线,其绝缘水平应按实际要求确定,并需符合国家标准 GB311—83 的有关规定。

3 并联电抗器

3.1 超高压并联电抗器的作用

(1) 削弱空载或轻载线路中的电容效应,降低工频过电压。

(2) 改善沿线电压分布, 增加系统稳定性及输电能力。

(3) 改善轻负载线路中的无功分布, 降低有功损耗, 提高输电效率。

(4) 有利于消除同步电机带空载长线时可能出现的自励磁谐振现象。

(5) 利用其中性点经小电抗接地来补偿潜供电流, 加速潜供电弧的熄灭。

3.2 并联电抗器的选择原则及要求

(1) 并联电抗器的容量及台数, 应首先考虑限制工频过电压的需要, 并结合限制潜供电流, 防止自励磁, 同期并列及无功平衡方面的要求, 经过技术经济综合论证后确定。

(2) 安装地点亦需经过计算比较后确定。通常单电源系统, 并联电抗器设置在线路的末端变电所内。

(3) 并联电抗器可采用三相或单相电抗器, 采用三相较三个单相经济, 但选用三相时应综合考虑制造、运输及安装等条件, 且应选用三相五柱结构, 而不宜采用三相三柱结构。

(4) 并联电抗器的伏安特性应按工作特性要求选择, 但需避免与电力系统参数组合不当而产生谐振的条件。合理地选择伏安特性饱和点的高低和斜率大小, 有助于消除自励条件。

(5) 并联电抗器应在设备安全运行允许范围内, 长期振动时零部件不位移、不损坏; 验收试验时, 可用在额定电压及额定频率下, 外壳振动峰对峰最大幅值平均小于 $100 \times 10^{-6} \text{m}$ 或 $200 \times 10^{-6} \text{m}$ 。其噪声要求与变压器的相同, 也要满足运输条件的要求。

3.3 中性点接地电抗器及其绝缘水平的选择原则

(1) 中性点接地电抗器应按加速潜供电弧熄灭的要求和抑制谐振过电压的要求来选择。

(2) 由于安装条件和电力网结构及使用所需, 中性点接地电抗器要具有以下特性: 长时间额定电流值、网络故障时的短时 (如 10s、两次故障时间间隔小于 2h) 额定电流值和机械应力的短时电流峰值。

(3) 中性点接地电抗器的额定电流按下列条件选择:

1) 按 IEC 标准, 潜供电流不应大于 20A;

2) 输电线路三相不平衡引起的零序电流, 一般取线路最大工作电流的 0.2%;

3) 并联电抗器三相电抗不平衡引起的中性点电流, 可取电抗器额定电流的 5%~8%。

(4) 中性点和中性点接地电抗器的绝缘水平。并联电抗器中性点直接接地时, 其绝缘水平同对变压器的要求。经中性点接地电抗器接地时, 其中性点和中性点接地电抗器的绝缘水平见表 7-2-2。

表 7-2-2 并联电抗器中性点和中性点接地电抗器的绝缘水平

补 偿 度 K_1	并联电抗器电压 (kV)	
	330	500
<40%	110	220
50%	110	154
>60%	63	110

4 高压断路器

4.1 高压断路器的选择原则

(1) 断路器型式的选择, 除应满足各项技术条件和环境条件外, 还应考虑便于施工调试和运行维护, 并经技术经济比较确定。

(2) 6~35kV 电压时, 根据使用要求, 可选用少油或 SF₆ 断路器, 设置在户外时, 亦可选用多油断路器; 63~220kV 电压时, 一般选用少油断路器, 当不能满足使用要求时, 可选用 SF₆ 断路器; 330~500kV 电压时, 一般选用 SF₆ 断路器; 750kV 及以上的, 则选用 SF₆ 断路器或空气断路器。

(3) 用于切合 3~35kV 并联补偿电容器组的断路器, 宜用真空断路器或 SF₆ 断路器。

(4) 用开断电流校核断路器的断流能力时, 一般取断路器实际开断时间 (继电保护动作时间与断路器固有分闸时间之和) 的短路电流作为校核条件。如有快速保护的快速断路器和装有自动重合闸时, 还应考虑其对开断电流的影响。

(5) 断路器的额定关合电流, 不应小于短路电流的最大冲击值。

(6) 对于 110kV 以上的电力网, 当电力系统稳定要求快速切合故障时, 应选用分闸时间不大于 0.04s 的断路器。

(7) 用于为提高系统动稳定装设的断路器, 其合闸时间不宜大于 0.04~0.06s。

(8) 在变压器中性点绝缘等级低于相电压的系统中, 宜选用分合闸操作不同期, 时间不大于 10ms 的断

路器。

(9) 在中性点直接接地或经小阻抗接地的系统中选择断路器时,其首相开断系数,应根据系统的接线、运行方式及故障点的位置进行具体计算后确定,一般可取 1.3 及 1.5。在 110kV 及以下的中性点非直接接地的系统中,则首相开断系数应为 1.5 的额定开断电流^[7]。

4.2 对高压断路器性能的主要要求

1. 开断关合性能

(1) 开断关合正常负荷和短路故障线路,要求快速可靠地开断关合,有重合要求时,应保证开断次数及开断能力。

(2) 要求可靠开断关合空载变压器、并联电抗器、空载长线路和电容器组等,不发生重击穿,不引起超过规定的过电压。超高压断路器应装设并联电阻以限制操作过电压,但对 500kV SF₆ 断路器(含 GIS 中的断路器)是否装设并联电阻,应在不同回路中经计算确定。

(3) 开断反相故障时,要求在两个连接着的独立系统失步时的最不利情况下,可靠地开断解列,过电压不超过规定值。

(4) 开断近区故障时,视系统结构不同,当故障距断路器数百到数千米而恢复电压起始部分特别快时,要求能可靠地开断。

(5) 开断发展性故障时,要求在分断小电流的过程中尚未终了,突然转变为大短路电流时能顺利开断。

(6) 在一个半断路器、多角形、桥形和双断路器等的接线中,有两台断路器同时切断一个故障的可能。此时,应校验断路器的并联开断性能,并要求配置能满足并联开断条件的断路器。

2. 机械动作性能

(1) 固有分闸时间应能满足快速切除故障及系统稳定的条件。

(2) 三相不同期性应满足系统继电保护及变压器中性点避雷器不误动作、操作过电压不增加的要求。

(3) 应满足系统快速自动重合闸的要求,并可调整。

(4) 对 SF₆ 断路器的年漏气率不应大于 1%,气体水分含量标准参见本篇第 9 章 4 节,使用在严寒地区的 SF₆ 断路器,应向制造部门提出防止 SF₆ 气体液化的要求。

(5) 断路器接线端子允许的水平机械载荷见表

7-2-3。

表 7-2-3 断路器接线端子允许的水平机械载荷

额定电压 (kV)	10 及以下	35~63	110	220~330	500
水平机械载荷 (N)	250	500	750	1000	1500

5 隔离开关

隔离开关有单柱或双柱垂直开启式,单柱、双柱或三柱水平开启式等型式,选用时应根据配电装置的布置特点和使用要求等因素,综合比较后确定。

5.1 结构性能要求

(1) 结构简单可靠,能适应不同布置要求。对单柱垂直开启式隔离开关,在分闸状态下,其动静触头间的最小电气距离不应小于配电装置的最小安全净距 B_1 值,其静触头的额定接触区^[8]要考虑不同方向的风荷载引起的导线水平、垂直和沿导线轴向方向的位移。户外隔离开关的破冰厚度应大于安装场所最大覆冰厚度。

(2) 应根据型式及检修接地的需要,在一侧或两侧配置接地刀闸。接地刀闸应根据其安装处的短路电流进行动、热稳定校验。

(3) 220kV 及以下隔离开关,宜采用手动操作机构;220kV 高位布置的隔离开关和 330kV 及以上的隔离开关,宜采用就地电动机构或液压机构,当有压缩空气系统时,也可采用气动机构。

(4) 户外隔离开关接线端的机械载荷应考虑母线(或引下线)的自质量、张力、风力和冰雪等施加于接线端的最大水平静拉力。接线端允许的水平机械载荷见表 7-2-4。

表 7-2-4 户外隔离开关接线端允许的水平机械载荷 (N)

额定电压 (kV)	双柱、三柱式	单柱式
10 及以下	250	
35~63	500	
110	750	1000
220	1000	1500
330	1500	2000
500	2000	3000

5.2 开断关合性能要求

(1) 隔离开关应具有一定的切合电感、电容性小电流的能力,并能可靠切断断路器的旁路电流及母线环流。

(2) 用隔离开关切合空载母线或短线, 将产生较高过电压, 或引起避雷器多次动作, 设计时应注意避免这种操作或采取相应保护措施。

(3) 隔离开关一般可以开断其额定电流下的环流, 但在开断过程中, 断口间的恢复电压不得大于 450V。

6 电流互感器

6.1 对电流互感器结构性能的选择要求

(1) 3~20kV 户内配电装置的电流互感器, 根据使用条件, 可采用瓷绝缘结构或树脂浇注绝缘结构。35kV 及以上的配电装置, 宜采用油浸瓷箱式绝缘结构的独立式电流互感器, 有条件时应采用套管式电流互感器。

(2) 当继电保护装置有特殊要求时, 应采用专用的电流互感器, 如系统继电保护中的快速保护, 应选用瞬变响应特性好的互感器^[9]。在超高压变电所中, 如主变压器高压侧因线路保护要求, 其电流互感器二次绕组为 TPY 级时, 则主变压器中、低压侧的电流互感器二次绕组也应配置 TPY 级。

(3) 电流互感器的额定二次电流有 5A 和 1A 两种, 一般弱电系统用 1A, 强电系统用 5A, 当配电装置离控制室较远时, 亦可考虑用 1A。

(4) 电流互感器的二次侧容量应满足测量表计、继电保护及其连接负载的要求。

(5) 二次绕组的数量取决于测量表计、保护和自动装置的要求。一般情况下, 测量表计与保护装置宜分接于不同的二次绕组, 否则应采取措施, 避免互相影响。

6.2 对电流互感器工作性能的选择要求

(1) 电流互感器用于测量时, 其额定一次电流应尽量选择比回路中正常工作电流大 1/3 左右。

(2) 变压器中性点电流互感器的一次侧额定电流应大于变压器允许的不平衡电流, 一般可按变压器额定电流的 1/3 左右进行选择。

(3) 供自耦变压器零序差动保护用的电流互感器, 其各侧变比均应一致, 一般按中压侧的额定电流选择。

(4) 在自耦变压器公共绕组上供过负荷保护和测量用的电流互感器, 按公共绕组的允许负荷电流选择。

(5) 中性点非直接接地系统中的零序电流互感器, 应按下列条件选择和校验:

(1) 由二次电流及保护灵敏度确定一次回路起动作电流;

(2) 按电缆根数及外径选择电缆式零序电流互感器窗口直径;

(3) 按额定一次电流选择母线式零序电流互感器母线截面。

(6) 用于电度计量的电流互感器, 准确度不应低于 0.5 级, 500kV 的宜用 0.2 级; 用于电流测量, 准确度不应低于 1 级, 非重要回路可用 3 级; 用于继电保护, 应用 P 级, 同时应校验准确限值系数, 以保证过电流时的误差不超过规定值。

7 电压互感器

7.1 对电压互感器结构性能的选择要求

(1) 6~20kV 配电装置一般采用树脂绝缘结构或油浸绝缘结构。当需要零序电压时, 一般采用三相五柱电压互感器。35~110kV 配电装置一般采用油浸绝缘结构电磁式电压互感器。220kV 及以上, 当容量和准确度等级满足要求时, 可采用电容式电压互感器。

(2) 用于中性点直接接地系统的电压互感器, 其第三绕组电压应为 100V; 用于中性点非直接接地系统, 则其第三绕组电压应为 100/3V。

(3) 由于超高压线路要求双套主保护, 并考虑到后备保护、自动装置和测量仪表的要求, 电压互感器一般应具有三个二次绕组, 即两个星形联结绕组, 一个开口三角形绕组, 其中一个主二次绕组的准确度不应低于 0.5 级。

(4) 对超高压电力网快速保护用的电容式电压互感器, 应有良好的瞬变响应特性^[9]。

(5) 当电容式电压互感器由于开口三角绕组的不平衡电压较高, 影响零序保护装置的灵敏度时, 应要求制造部门装设高次谐波过滤器。电容式电压互感器还应考虑其额定电容量能满足系统通信用高频通频带的宽度要求。

7.2 对电压互感器工作性能的选择要求

(1) 电压互感器用于电度计量时, 其准确度不应低于 0.5 级; 用于电压测量时, 不应低于 1 级; 用于继电保护, 不应低于 3 级。各准确级应符合比值差及相位差的规定要求。

(2) 电容式电压互感器具有带铁心的非线性电感和电容器, 在一次电压或二次电流剧变时, 将产生暂态

过电压和非工频铁磁谐振。因此,要求采取抑制措施(如装设谐振式阻尼器),保证铁磁谐振特性满足规定要求。

(3) 电磁式电压互感器安装在中性点非直接接地系统中,当系统运行状态发生突变时,有可能发生并联谐振。为防止此类型铁磁谐振发生,可在电压互感器上装设消谐器,亦可在开口三角端子上接入电阻或白炽灯泡。

8 消弧线圈

8.1 消弧线圈的选择原则

(1) 一般选用油浸式,装设于户内相对湿度小于60%的场所也可采用干式。

(2) 消弧线圈的补偿容量 Q 可按下式计算:

$$Q = KI_c \frac{U_c}{\sqrt{3}} \quad (\text{kVA})$$

式中 K ——补偿系数,过补偿取1.5,欠补偿按脱谐度确定;

I_c ——电力网的电容电流(A);

U_c ——电力网额定线电压(kV)。

(3) 消弧线圈应避免在谐振点运行。为了便于运行调谐,选用的容量宜接近于计算值。

(4) 装在电力网变压器中性点的消弧线圈应采用过补偿方式。

(5) 中性点经消弧线圈接地的电力网,在正常情况下,长时间中性点位移电压不应超过额定相电压的15%,脱谐度一般不大于10%,消弧线圈分接头宜选用五个。

中性点位移电压可按下式计算:

$$U_0 = \frac{U_{bd}}{\sqrt{d^2 + v^2}} \quad (\text{kV})$$

$$v = \frac{I_c - I_L}{I_c}$$

式中 U_0 ——中性点位移电压(kV);

U_{bd} ——消弧线圈投入前电力网中性点不对称电压值,(kV)一般取0.8%相电压;

d ——阻尼率,一般对63~110kV架空线路取3%,对35kV以下架空线路取5%,电缆线路取2%~4%;

v ——脱谐度;

I_c ——电力网的电容电流(A);

I_L ——消弧线圈电感电流(A)。

8.2 消弧线圈安装的位置及台数和容量的选择原则

(1) 在任何运行方式下,大部分电力网不能失去消弧线圈的补偿。不应将多台消弧线圈集中安装在一处,并应尽量避免在电力网中仅装一台消弧线圈。

(2) 在变电所中,消弧线圈一般装在变压器中性点上,6~10kV消弧线圈也可装在调相机中性点上。

(3) 安装在 Y_0/Δ 联结双绕组变压器或 $Y_0/Y_0/\Delta$ 联结三绕组变压器中性点的消弧线圈的容量,不应超过变压器三相总容量的50%,并且不得大于三绕组变压器任一绕组的容量。

(4) 安装在 Y_0/Y 联结的内铁心式变压器中性点上的消弧线圈容量,不应超过变压器三相总容量的20%。

消弧线圈不应装在三相磁路互相独立,零序阻抗很大的 Y_0/Y 联结变压器的中性点(例如单相变压器组)上。

(5) 如变压器无中性点或中性点未引出,应装设容量相当的专用接地变压器,接地变压器可与消弧线圈采用相同的额定工作时间。

9 裸导体

9.1 导体的型式和类别

变电所内常采用的导体形式和类别见表7-2-5。

表7-2-5 变电所常采用的导体型式和类别

类 型	适 用 范 围
铝	一般情况下,均可采用,如钢芯铝绞线,矩形或槽形铝母线
铝合金	由于铝合金管形母线导体强度较纯铝导体的大,故110kV及以上配电装置的管形母线采用铝合金,如铝锰合金、铝镁合金等
钢	由于钢的载流量小,故只在少量小电流回路中采用
铜	污秽对铜腐蚀轻微,而对铝有较严重腐蚀的场所,持续工作电流较大,且位置特别狭窄的变压器出线端部,或采用硬铝导体穿套管有困难时

(续)

类 型		适 用 范 围
按导体的型式分	硬 体	矩 形 20kV 及以下回路的正常工作电流在 4000A 及以下时,宜选用矩形导体,根据载流量的大小,可选用单片、两片、三片及四片四种;也有母线横放及竖放两种安装型式
		槽 形 20kV 及以下回路的正常工作电流在 4000~8000A 时,宜用槽形导体,现一般选用双槽形导体
		管 形 110kV 及以上的配电装置母线可采用,有铝锰合金管、铝镁合金管等;有单管母线(500kV 单管母线直径已达 250mm),也有多根小直径铝管组成的分裂结构管形母线(最多四根)。管形母线安装方式有支柱式及悬挂式两种
		气体绝缘母线 采用 SF ₆ 作为相间绝缘,三相可密封在同一圆筒内,也可分别封闭在三个筒体内,一般为 GIS 或 HGIS 的组成部分
	软 体	铝绞线 铝绞线一般仅用于受力不大,档距较小的场合;钢芯铝绞线在 220kV 及以下配电装置较广泛采用;330kV 可采用空心扩径导线,500kV 母线载流量较大,可采用新型的 LGJK 系列软导线,强度高,耐腐蚀,载流量可提高 20%左右,也可采用 NAHLGJQ 系列的耐热铝合金导线,由于其最高工作温度可达 150℃,故载流量可提高 80%左右,强度高,能节约铝材。对铝有明显腐蚀地区,可采用防腐型铝绞线
	分裂导线	500kV 及以上配电装置采用软导线时,一般单根导线不能满足载流量要求,故采用分裂导线,有双分裂、三分裂和四分裂

9.2 导体的选择及性能要求

(1) 导体的正常最高工作温度不应超过 +70℃,在计及日照影响时,钢芯铝绞线及管形导体可按不超过 +80℃ 考虑。

(2) 在按回路正常工作电流选择导体截面时,导体的长期允许载流量,应按所在地区的海拔及环境温度进行修正。

(3) 110kV 及以上导体的电晕临界电压应大于导体安装处的最高工作电压。

海拔不超过 1000m 的地区,在常用相间距离情况下,如导体型号或外径不小于表 7.2-6 所列数值时,可不进行电晕校验。

表 7.2-6 可不进行电晕校验的最小导体型号及外径

电 压 (kV)	110	220	330
软导线型号	LGJ-70	LGJ-300	LGKK-500/50 2×LGJQ-300
管形导体外径 (mm)	φ20	φ30	φ40

(4) 验算短路热稳定时,导体的最高允许温度,对硬铝及铝锰合金可取 200℃,对硬铜可取 300℃。短路前的导体温度应采用额定负荷下的工作温度。

(5) 验算短路动稳定时,硬导体的最大应力不应大于表 7.2-7 所列数值。

表 7.2-7 硬导体的最大允许应力 (MPa)

导体材料	硬铝	硬铜	LF ₂₁ 型铝锰合金管
最大允许应力	70	140	90

注:1. 对于矩形或槽形铝导体,可能达不到表中所列硬铝数值。

2. 表内所列数值为计及安全系数后的最大允许应力,安全系数一般取 1.7 (对应于材料破坏应力) 或 1.4 (对应于屈服点应力)。

重要回路(主变压器回路及配电装置汇流母线等)的硬导体应力计算,还应计及动力效应的影响。

(6) 户外配电装置的导体,应根据当地气象条件和不同受力状态进行力学计算。其安全系数不应小于表 7.2-8 的规定。

表 7.2-8 导体的安全系数

类 别	荷载长期作用时	荷载短时作用时
软导线	4	2.5
硬导体	2.0	1.67

注:硬导体的安全系数系对应于破坏应力。若对应于屈服点应力,其安全系数应分别为 1.6 和 1.4。

(7) 管形导体在无冰、无风及正常状态下的挠度,支柱式单管不宜大于 (0.5~1.0) D (D 为导体直径),分裂结构宜小于 0.004L (L 为母线跨度)。

(8) 户外管形导体应校验微风振动。当计算风速