

220kV 变电站一次系统设计 ——以某变电站为例

Primary System Design of 220kV Substation ——Taking A Substation as An Example

任磊

Lei Ren

北京环球国际度假区有限公司
中国 北京 100000
Beijing Global International Resort Co., Ltd.,
Beijing, 100000, China

【摘要】以某变电站为例,从电气主接线、负荷计算、短路电流计算、无功补偿、电气设备选择以及系统保护 6 方面对变电站一次系统设计进行分析阐述,以期能够为业内人士提供理论参考。

【Abstract】Taking a substation as an example, this paper analyzes the substation primary system design, from 6 aspects of the main electrical wiring, load calculation, short circuit current calculation, reactive power compensation, electrical equipment selection and system protection, in order to provide theoretical reference for the industry.

【关键词】220kV 变电站;一次系统设计;电气设计

【Keywords】220kV substation; primary system design; electrical design

【DOI】10.36012/peti.v2i2.1731

1 工程概况

某变电站位于中国北京市丰台区,为全户内型 220kV 变电站,电气综合楼建设层数为地上四层,地下一层,总占地面积为 6973.0m²,实际用电面积约为 6805.6m²,该变电站除向市区进行供电以外,还会向大工业区用户进行供电。另外,变电站的 220kV 出现规模为本期 6 回,远期 12 回;66kV 出现规模为本期 8 回,远期 16 回。

2 设计原则

2.1 安全原则

变电站一次系统设计将会直接影响到变电站后续供电的安全性因素,所以为保障变电站的供电安全,需要从设备、系统、建筑等多方面内容进行综合考虑,绝不能够马虎大意。

2.2 可靠性原则

确保企业后续供电电源及供电质量的稳定可靠性。

2.3 合理性原则

企业供配电设计不仅要满足当今中国现行相关规范、规程及行业标准,还需要考虑到变电站的后续运行维护及扩展发展等内容。

2.4 先进性原则

在设计中,需要尽可能使用具有先进科学技术的技术及

设备,不能够使用不符合标准要求的技术及设备,并且在设计中还需要充分考虑到后续的整体设计效果与运行维护效果。

2.5 实用性原则

在设计中,不仅需要对设计中所设计的技术及设备的性价比进行考虑,还需要考虑到能源消耗、环境保护、综合利用等因素,从而在控制设计成本的同时,落实可持续发展的大目标。

3 变电站一次系统设计

3.1 电气主接线设计

3.1.1 220kV 侧主接线设计

本工程的 220kV 侧的出线为 6 回路路线,结合现有的变电站设计规定来看,当 220kV 出线回路的数量达到或超过 4 回路以上的时候,应采用双母线接线方式。相比较其他接线方式来说,双母线接线方式有着以下几点优点。其一,双母线接线方式可以确保当任一母线发生故障的时候,可以通过操作母线隔离开关的倒闸操作来促使另一母线的正常运行,确保变电站运行的可靠性。其二,同母线接线发生故障情况一样,在进行设备接入、检修的时候,可以确保关闭相应母线线路后,其他母线的正常运行。并且在进行母线线路检修的时候,也可以对个别回路的母线进行单独隔离检验,提高线路检验效果^[1]。基于以上优点,在同本工程的实际情况进行综合考虑以后,最终在 220kV 侧主接线方式选择了双母线接线方式。

3.1.2 66kV 侧主接线设计

本工程的 66kV 侧出现为 8 回，其在进行主接线设计选择的时候，结合变电站设计原则以及本工程项目的实际情况，最终基于双母线主接线方式的实际优点，最终选择了双母线主接线方式。

3.2 负荷计算

3.2.1 变压器的类型选择

所谓变压器的类型选择，就是指对变压器的相数、调压方式、绕组形式、绝缘及冷却方式等内容进行选择分析，并且在实际选择过程中，应遵循先进性原则，尽可能选用技术先进、性能优秀的新型变压器产品。①在变压器相数方面，如今变压器通常分为单相变压器和三相变压器两种，由于本设计为变电站设计，所以将会采用三相变压器。②在变压器调压方式方面，现有的变压器主要分为无载调压和有载调压两种。③在变压器绕组形式方面，现有的变压器主要分为双绕组变压器、上绕组变压器、多绕组变压器以及自耦变压器等。④在变压器绝缘及冷却方式方面，现有的变压器主要分为干式、油浸式、充气式(SF6)等。

3.2.2 变压器台数及容量选择

变压器台数分析：为确保变压器后续供电的实际效果，不仅需要对其供电条件、符合性能、供电负荷大小、供电可靠性等变压器台数选择的主要影响因素进行考虑，还需要确保变压器的后续检修效果以及检修过程中的容量备用情况等。在对所有因素进行综合考虑以后，最终再进行 220kV 变电站一次系统设计的释放，选择了 2 台主变压器。

变压器容量分析：在进行主变压器的容量选择时，需要对变电站 5~10 年的区域供电情况进行综合考虑，之后预估出区域供电符合情况，并以此为基础来确定变压器的实际容量，确保变压器的过负荷能力能够满足区域供电的实际需求。除此之外，在进行变压器的容量选择的时候，还要确保在任一主变压器检修、故障的时候，另一主变压器能够承担起区域用电需求的至少 70% 输送功率，在进行综合计算分析后，最终选择了额定容量为 120MV·A 的变压器为主变压器。变压器容量见表 1。

表 1 变压器容量

变压器编号	高压侧容量/(MV·A)	低压侧容量/(MV·A)
1	120	120
2	120	120
变压器总容量	240	240

变压器型号选择：在结合变压器的容量选择后，对于本设计中的两台主变压器，最终选择了特变电工保定天威集团集团有限公司的 SFPSZ10-120000/220 型的变压器。该型号的变压器为油浸式三项上绕组强迫油循环分有载调压人变压器，

为确保变压器的实际使用效果，应确保变压器的使用区域不应有蒸汽、给水、化学沉淀、会场、污垢以及其他具有爆炸或腐蚀性价值，并且在进行变压器安装的时候，还要确保变压器安装的稳定性。

站用变压器选择：对于站用变压器，在结合实际情况以后，最终选用了两台 500kV·A 容量的 66kV 干式占用工作变压器，两个变压器分别接在 66kV 母线上和电源线路上。

接地方式选择：在设计中，对于变压器的接地方式将会采用中性点接地方式，可以有效避免设备运行中所造成的损坏情况，延长设备的使用寿命。

3.3 短路电流计算

3.3.1 短路电流计算的目的

短路故障作为变电站运行中常见的故障问题，其产生的缘由有很多，常见的短路故障主要由人为因素、设备因素、自然因素等因素造成，但无论是何种因素所引发的短路故障，其都可能会引起设备损坏、电压下降，甚至出现区域性停电等情况。而通过短路电流计算，则可以有效地确定电气设备和载流导体运行过程中是否会发生短路故障问题，若是有则及时进行处理解决，避免变电站后续运行过程中发生安全性及稳定性问题。

3.3.2 短路电流计算步骤

①计算各电器设备和载流导体运行中的电抗标么值，并将其折算为统一标准容量下；②为系统制定等值网络图；③选择短路计算点；④对电力系统网络进行简化，将供电系统视作无限大系统，在不考虑短路电流周期分量衰减的情况下，求得电流对短路计算点的电抗标么值，进而计算出短路点的电流标么值和有名值；⑤计算短路容量，短路电流冲击值；⑥总结计算结果。

3.3.3 短路电流计算

对本工程相关数据进行归纳汇总，最终确定以下初始条件：

变压器容量：120MV·A；短路电压百分比： $U_d\%=12.46\%$ ；确定高低压侧短路， $S_d=100MV·A$ ， $U_d=U_n$ ；短路为非电源侧， $K_d=1.8$ ，电力系统网络图如图 1 所示。

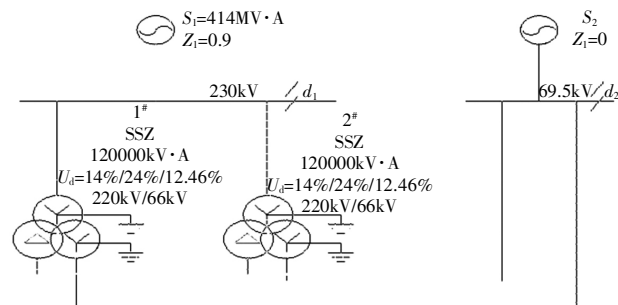


图 1 电力系统网络图

基准值确定：

基准容量: $S_d=100\text{MV}\cdot\text{A}$

基准电压: $U_d=U_{av}=1.05U_N$

式中, U_d 为基准电压, kV; U_{av} 为平均电压, kV; U_N 为额定电压, kV。

在本设计中,

①220kV 侧基准电压确定: $U_d=230\text{kV}$

基准电流确定: $I_d=\frac{100}{\sqrt{3}\times 220}=0.262\text{kA}$

②66kV 侧基准电压确定: $U_d=69.5\text{kV}$

基准电流确定: $I_d=\frac{100}{\sqrt{3}\times 66}=0.87\text{kA}$

系统 S_1 电抗计算: $X'_2=0.9\times\frac{100}{414}=0.22$

变压器电抗计算: $U_k\%=12.46\%$

$X'_3=X'_4=\frac{U_k\%}{100}\frac{S_d}{S_T}=\frac{12.46}{100}\times\frac{100}{120}=0.1038$

③220kV 侧短路计算:

母线三相短路电流: $I_d=U_d\frac{1}{X}=0.262\times\frac{1}{0.0452}=5.80\text{kA}$

三相短路冲击电流: $I_{ch}=\sqrt{2}K_m I_d=2.55I_d=14.79\text{kA}$

三相短路全电流: $I_{ch}=I_d\sqrt{1+2(K_m-1)^2}=8.76\text{kA}$

④66kV 侧短路计算:

母线三相短路电流: $I_d=I_d\frac{1}{X}=0.874\times\frac{1}{0.0971}=9.0010\text{kA}$

三相短路冲击电流: $I_{ch}=\sqrt{2}K_m I_d=2.55I_d=22.9516\text{kA}$

三相短路全电流: $I_{ch}=I_d\sqrt{1+2(K_m-1)^2}=13.59\text{kA}$

3.4 无功补偿设备选择

在电力系统中,若是无功功率比较小,那么将会导致电力系统的实际电压降低,进而引发电力系统供电性能下降,无法满足正常供电需求等问题,甚至还可能会引发电力系统的大范围停电。在进行综合考虑以后,最终选用了上海永锦电气集团有限公司的 $\text{BAM}12/\sqrt{3}-334-1\text{WF}$ 型电容器,此电容器中的电容器和电抗并未分组,在实际应用中符合本设计的实际情况。

3.5 电气设备的选择

3.5.1 电气设备的选择原则

在进行电气设备选择的时候,应遵循以下几方面原则:①电气设备的额定电压不能低于电网运行中的额定电压,由于本设计中电压运行中的额定电压为 220kV,所以电气设备的额定电压也不应低于 220kV;②电气设备的长期允许电流不应低于电网运行中最大持续工作电流;③电气设备的额定开关电流不应低于全电流开关中的最大有效值;④电气设备的动稳定电流应高于电流的冲击值;⑤电气设备应能够承受电网运行中,电流流过时所产生的热效应。

3.5.2 组合电器的选择

在本设计中,220kV 侧的组合电器将会选用上海思源高压开关公司出产的 SF6 组合电器;66kV 侧则会选用泰安高压开关公司所出产的 SF6 组合电器。两类组合电器均包括断路器、隔离开关、接地刀闸、电流/电压互感器、电缆终端头、母线等电器设备,可以完美符合本设计的实际需求。

3.5.3 母线选择

在进行母线选择的时候,应在确保母线能够满足变电站设计的实际需求的条件下,对母线的后期维护、设计布局、建设成本等方面内容进行综合考虑,在进行综合计算分析后,确认本设计中所选择的组合电器中的母线能够符合本设计的实际需求,因此,不再对母线进行另行选择。

3.5.4 其他电力设备选择

在进行其他电力设备选择的时候,不仅要确保电力设备能够符合相应的选择原则,还要在电力设备选择完成后,结合本设计的实际情况,对电力设备能够满足本设计的实际需求进行确定性计算,最终确定本设计中的其他电力设备的实际选择工作。

3.6 系统保护

3.6.1 主变压器保护

在设计中,主变压器的保护将会分为差动保护、瓦斯保护、后备保护三部分。其中,差动保护为本设计中变压器的主保护内容,其无需同其他保护相互配合,而且还可以正确区分变压器的内外故障,并实现切除故障区域的效果;在变压器运行过程中,其内部的变压器油将会受热分解,并产生大量的气体,而通过该些气体来实现对变压器保护的装置,便是瓦斯保护。在设计中,瓦斯保护设备主要采用气体继电器,并将其安置在油箱和油枕之间的连接管道上,实现在设备因为故障而产生了大量气体以后,继电器能够瞬间跳闸,切除变压器,防止故障问题的进一步扩大。后备保护主要是为预防变压器应外部故障所引起的变压器绕组过电流问题。在本设计中,后备保护主要分为过电流保护、低电压、复合电压启动的过电流保护以及阻抗保护等内容。

3.6.2 母线保护

结合现今如今变电站运行中母线短路故障情况来看,大多数的母线短路故障都是各种类型的接地或者相间短路故障,所以在设计过程中将不会对母线进行专门保护,而是利用供电元件保护装置来实现母线故障区域的切除效果。

3.6.3 防雷保护

本设计中的防雷保护将会以避雷针为主,以避雷器以及其他方式为辅。其中,避雷针作为防止雷电直击中最为常用的

(下转第 48 页)

甲、乙变电站主变及各出线负荷。

4 事故后保护动作分析

现场检查母差保护报文为：该变电站 110kV I 母 B 相差动保护启动，110kV 母差保护 B 相 I 母差动动作，动作时间为 10ms，大差电流为 10.81A，I 母差流为 10.81A，I 母母差动作，跳 100 母联开关及 I 母所带元件（111 线、112 线、1 号主变 101 开关）。经过事故后分析，事故系该变电站 110kV I 母 11-9 隔离开关 B 相母线侧支柱瓷瓶沿面放电闪络接地，造成 110kV I 母母差保护动作。

5 分析造成污闪的原因

5.1 影响污闪的主要因素

影响污闪的主要因素有污秽性质、积污量、绝缘子串结构以及串长的影响、大气条件的影响等。污物中的阳离子的主要成分有 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 以及少量的 Al^{3+} 、 Mn^{2+} 等，阴离子主要有 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- ，污物中所含的 $CaSO_4$ 比例越高，相应的污闪电压越高。潮湿气象条件是发生污闪的必要条件。包括雾、露、毛毛雨、雾凇、雪凇及雨夹雪等。湿润强度从最小值逐渐增加时，污秽层的受潮程度和导电率都逐渐增加，使得绝缘子的污闪电压相应降低，就可能运行电压下的闪络事故。

5.2 变电站污秽等级

该变电站 110kV 设备外绝缘配置均按 II 级污秽等级配置，满足污秽当地污秽等级要求，根据 2008 年、2009 年盐密测试结果分析，现场实测结果均为 I 级污秽，小于污区分布等级 II 级。

6 防范措施

6.1 预防污闪技术方面应采取的措施

主要采用硅胶绝缘子或硅橡胶增爬距、PRTV 涂料涂刷等技术措施。①由于硅橡胶的主链是由硅氧烷(Si-O)链构成的，键能高，化学稳定性好，因此，其耐热性高；由于分子间的相互作用力弱，所以耐寒性也好。在任何环境中特性稳定。

②憎水性能好。硅橡胶伞裙和 PRTV 涂料都具有极强的憎水性，在这两种材料表面上的水分形成了水滴，污层难湿润，不易形成连续的导电层。③电压分布均匀。由于硅橡胶和 PRTV 涂料都具有很强的憎水性，难以形成连续的导电层，所以不会出现电压分布不均，形成伞裙跳弧现象。④加装伞裙提高污闪电压。通过加装伞裙改变了绝缘子形状，延长了电弧通道。加装防污裙后，其闪络路径是过伞裙呈曲折形状，路径远比直线长，所以污闪电压高。⑤自洁能力强。瓷件上加装大盘径伞裙后，可减少绝缘子上 PRTV 涂层的积污，而伞裙本身有一定的斜度，表面光滑，并且是软质弹性材料，在风力、雨水作用下的自洁能力强。⑥利用硅橡胶的大盘径切断“污水桥”，防止造成“桥络”事故，还可防止绝缘子在覆冰、融冰过程中的冰闪事故。

6.2 预防污闪的管理方面应采取的措施

①做好基础技术工作，做好本地区范围内污秽等级的监测工作，并绘制污秽区分布图，对现有设备进行外绝缘的爬距调整。凡新建线路、变电所均按批准的污秽区分布图分级配置外绝缘。②准确了解输电设备的污秽期和污秽等级。要正确了解所处地区的大气污秽程度和污秽性质，定期进行盐密度试验，以便确定设备应何时进行清扫，为防污闪工作提供可靠依据，及时掌握盐密情况，适时安排清扫维护，实施设备的状态检修。③加强变电站运行维护管理工作，提高运行人员设备巡视水平，增加恶劣天气特巡次数、提高巡视质量，及时、准确地发现问题，做到及时发现、及时汇报、及时采取措施。④在措施到位、人员到位的情况下，使用绝缘杆进行设备外绝缘带电清擦、清扫工作，保证清扫质量。⑤对设备外绝缘没有涂刷“PRTV 涂料”输变电设施，在条件允许的情况下，争取尽早进行涂刷。设备停电后，合理安排涂刷 PRTV 涂料。

7 结语

采用新型材料和先进的管理手段提高输变电设备防污闪能力，大幅度降低电网外绝缘污闪跳闸率，防止大面积污闪停电事故的发生，在提高输变电设施安全可靠运行的同时，也取得了可观的经济效益和社会效益。

(上接第 10 页)

方式，其将会安装在变电站建筑的上方，并与地面相连，从而达到将雷电导入地下的效果，防止建筑及变电站遭受雷电直击。避雷器作为一种专门现状过电压的电气设备，其在设计中将会与母线相连，并在变压器附近增设一组变压器，从而提高避雷器所能够发挥出的实际效果。

4 结语

随着社会经济的不断发展，如今社会对于电力供应的实

际需求性也在不断提升，而变电站作为电力供应安全性和稳定性的重要保障，其需要在设计阶段便做好全方位的计算分析，制定出最科学合理的设计方案，进而促进变电站系统能够更加稳定、高效、安全地运行。

参考文献

[1]段刘洋.关于 220kV 变电站的设计与研究[J].环球市场,2019(13):15-18.