

空港经济开发区 220kV 变电站 电气部分一次设计

李兆鑫 董晟怡
(山西能源学院)

摘要：变电站在电力网络中扮演着非常关键的角色，它直接联系着各级电力系统，在设计时必须高度重视变电站的运行稳定性，既要兼容并蓄，又要面向未来。本次设计主要完成了空港经济开发区 220kV 变电站电气部分一次设计，通过分析空港经济开发区目前具体负荷数据、负荷性质、地理位置并进行负荷计算，确定主变压器的具体选型，依据负荷大小以及主变压器型号对变电站的主接线形式进行合理的分析，以便选择最适合的布局方式。完成上述工作后对电气一次设备进行选型，这一过程中主要涉及到为各电压等级挑选适配的断路器、互感器等一次设备。此外根据当地天气特点等条件对变电站的防雷保护进行具体分析，确定最佳防雷方案。本次设计综合考虑生产与建设之间的矛盾，对开发区未来的电力网络规划发展具有较为重要的参考价值。

关键词：变电站；电气主接线；短路电流；防雷保护

2025.08.DQGV
79

0 引言

电力系统的设计和规划对国家能源安全和经济增长至关重要。在电力系统发、输、变、配、用五大环节中，变电站为关键节点。一个好的设计对整个电力系统的稳定运行有着至关重要的作用，同时也可以减少能源消耗和环境污染，具有较大的社会效益。

1 空港经济开发区变电站原始资料

空港经济开发区位于山西省运城市盐湖区和夏县交界处，开发区中工业企业 53 家，省市级研发机构 22 家，高新技术企业 18 家。开发区主要包括汽车装备制造、绿色建材、电子信息、食品医药基地等，其各类负荷如表 1、表 2 所示。

表 1 110kV 侧用户负荷统计资料

电压等级	用电单位	最大负荷/MW	回路数	功率因数	距离/km	负荷性质
110kV	炼钢厂	42	2	0.95	45	I

表 2 35kV 侧用户负荷统计资料

电压等级	用电单位	最大负荷/MW	回路数	功率因数	距离/km	负荷性质
35kV	化工厂	15	2	0.95	20	II
	材料厂	10	1	0.95	30	II
	机械厂	10	1	0.95	25	III
	电子厂	10	1	0.95	25	III
	其他产业	3	1	0.95	10	III
	总计	48		0.95		

2 电气一次部分主要设计

2.1 负荷计算和主变压器选择

2.1.1 变电站 110kV 侧负荷计算



PRODUCT AND TECHNIC

|| 产品与技术 ||

110kV 侧有功负荷计算由式 (1) 可见：

$$P_{c_{max110}} = K_{d1} \sum P_{c110} \quad (1)$$

式中， $P_{c_{max110}}$ 为 110kV 侧总有功负荷，MW； K_{d1} 为有功功率同时系数，110kV 侧最大负荷取 $K_{d1}=1$ ； P_{c110} 为 10kV 侧用电用户负荷，MW。

则 110kV 侧总有功负荷计算为： $P_{c_{max110}}=1 \times 42=42\text{MW}$ 。

变电站 110kV 侧出线无功负荷计算由式 (2) 可见：

$$Q_{c_{max110}} = \sum P_{c110} \tan \varphi \quad (2)$$

式中， $Q_{c_{max110}}$ 为变电站 110kV 侧出线总无功负荷，MVar； $\tan \varphi$ 为有功功率正切值。

则 110kV 侧总无功负荷计算为： $Q_{c_{max110}}=42 \times \tan(\arccos 0.95)=13.86\text{Mvar}$ 。

变电站 110kV 侧出线视在负荷计算如式 (3) 可见：

$$S_{c110} = \sqrt{P_{c_{max110}}^2 + Q_{c_{max110}}^2} \quad (3)$$

则 110kV 侧总视在负荷计算为： $S_{c110}=\sqrt{42^2 + 13.86^2}=44.22\text{MVA}$ 。

2.1.2 变电站 35kV 侧负荷计算

同样的方法可以计算出 35kV 侧总有功负荷为：

$$P_{c_{max35}} = K_{d2} P_{c35} = 1 \times 48 = 48 \text{ MW} \quad (4)$$

式中， $P_{c_{max35}}$ 为 35kV 侧总有功负荷，MW； K_{d2} 为有功功率同时系数，取最大负荷，35kV 侧取 $K_{d2}=1$ ； P_{c35} 为 35kV 侧用电用户负荷，MW。

35kV 侧总无功负荷为：

$$Q_{c_{max35}} = \sum P_{c35} \tan \varphi = 48 \times \tan(\arccos 0.95) = 15.84\text{Mvar} \quad (5)$$

式中， $Q_{c_{max35}}$ 为变电站 35kV 侧出线总无功负荷，Mvar； $\tan \varphi$ 为有功功率正切值。

则 35kV 侧总视在负荷为： $S_{c35}=\sqrt{48^2 + 15.84^2}=50.54\text{MVA}$ 。

2.1.3 主变压器台数、容量、型号的确定

按照国家标准规定，电力变压器的台数一般根据地区电力系统现状、负荷规模、用电量和运行方式等条件综合确定^[1-4]。本次设计应选用 2 台主变压器。

主变压器容量的选择应符合当前负荷需求以及未来近几年负荷发展需求，并且城郊变电站或科技发展新区主变压器容量的选择，应与城市电网规划相配合。每台变压器容量 S_N 取值范围计算，主变压器容量计算由式 (6) 可见：

$$S_N = \frac{S_{max}}{(70\% \sim 80\%)} \quad (6)$$

将负荷计算数据代入式 (6)，可得一台主变压器容量为： $S_N = \frac{S_{max}}{(70\% \sim 80\%)} = (124.3 \sim 142.1) \text{ MVA}$ 。

选择的主变额定容量应不小 142.1MVA，本变电站选择两台额定容量为 $S_N=150\text{MVA}$ 的主变压器。

本设计采用型号为 SFPSZ10-150000/220kV 的三相三绕组变压器。该电力变压器的详细技术参数可见表 3。

表 3 SFPSZ10-150000/220 电力变压器技术参数表

型号	SFPSZ10-150000/220		
额定容量/kVA	150000		
额定电压/kV	高压: 230±8×1.25%	中压: 121	低压: 10.5
联结组别	YN/yn0/d11		
冷却方式	强迫油循环导向冷却		
空载损耗/kW	69		
负载损耗/kW	333		
空载电流/%	0.49		
短路阻抗/%	高中: 12~14	高低: 22~24	中低: 7~9
外形尺寸/mm	长: 7500	宽: 6400	高: 7800

2.2 主接线方式的选择

2.2.1 220kV 侧主接线方式的选择

该变电站有 4 条 220kV 线路，其中包括两条进线两条出线，是系统中重要的配电形式。由于主变压器容量较大，220kV 侧停电会导致 220kV 以下的电压等级全部停电。因此，此次变电站 220kV 侧电气主



接线为满足上述条件要求必须采用双母线旁路母线接线方式^[5-6]。

2.2.2 110kV 侧主接线方式的选择

该变电站 110kV 侧有 1 个出线口，其余 3 条备用电路。根据原始数据需求，满足开发和扩展的灵活性。根据相关变电站设计规程，当 110kV 电压等级最终输出回路在 6 回路及以下时，可采用单母线或单母线分段接线。本设计中 110kV 侧采用单母线分段接线。

2.2.3 35kV 侧主接线方式的选择

35kV 侧变电站最终规模为 6 回，本期出线为 6 回。本设计在 35kV 电压等级侧采用单母线分段接法为不同分段的关键用户供电，保证空港经济开发区的供电可靠性。此外，在母线发生损坏或者断线的情况下，分段断路器会自动切断受损的部分线路，从而防止正常母线与之相连通，保障系统其余部分能够继续稳定运行。

综上所述，此次空港经济开发区 220kV 变电站 220kV 侧采用双母线带旁路母线接线方式，110kV 侧和 35kV 均采用单母线分段接线。电气主接线设计方案图如图 1 所示。

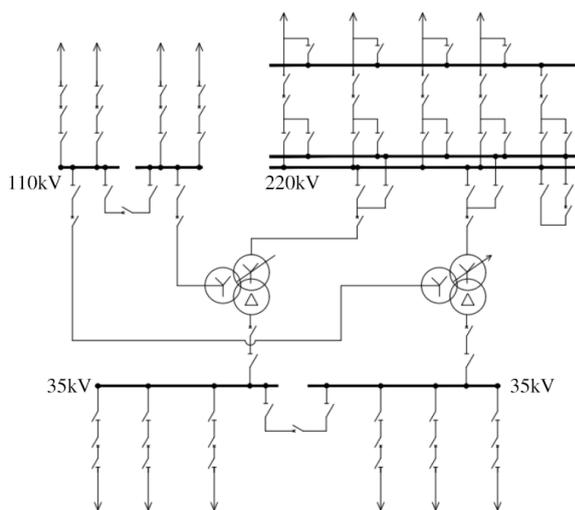


图 1 电气主接线设计方案图

3 电气设备的选择

3.1 断路器的选择

通过对各电压等级下短路电流以及最大持续工作电流的计算^[7-8]，220kV 侧、110kV 侧、35kV 侧分别选择 LW25-252/1000 高压六氟化硫断路器、LW36-126/1000 高压断路器、ZN63VS1-38/4000A 高压真空断路器，其技术参数如表 4 所示。

表 4 不同电压等级侧断路器参数

电压等级 /kV	型号	额定电压 /kV	额定电流 /kA	额定开断电流/kA	动稳定电流/kA	4s 热稳定电流/kA	固有分闸时间/s
220	LW25-252/1000	252	300	50	80	21	0.04
110	LW36-126/1000	126	1000	40	100	20	0.08
35	ZN63VS-38/4000	38	4000	120	120	31.5	0.08

3.2 母线的选择

结合导体长期发热允许电流、山西地区气象信息以及变电站各电压等级侧最大持续工作电流选定 220kV、110kV、35kV 侧母线型号分别为 LGJQ-500 钢芯铝绞线、LGJQ-300 钢芯铝绞线、LGJQ-700 钢芯铝绞线，其技术参数如表 5 所示。

表 5 各电压等级下母线技术参数

电压等级 /kV	母线型号	最大持续工作电流/A	36.6℃ 允许电流/A
220	LGJQ-500 钢芯铝绞线	614.56	812.7
110	LGJQ-300 钢芯铝绞线	243.7	584.8
35	LGJQ-700 钢芯铝绞线	875.4	1049.2

3.3 互感器的配置

3.3.1 电流互感器的选择

电流互感器受励磁损耗和磁饱和现象的限制导致测量结果存在一定误差，所以在选取电流互感器时应考虑大小误差和相位误差的影响，为确保准确性和可靠性，其一次额定电流的选择应稍大于实际回路中的工作电流，大约超出 1/3 的幅度^[9-10]。本变电站各电压侧电流互感器选型表如表 6 所示。

表 6 电压互感器选型表

型号	额定电流/A	准确级次	1s 热稳定倍数	动稳定倍数
LCW-220	4×300/5	D/0.5	60	60
LCZ-110	2×300/5	0.2/0.5/10P25/10P25	28.5	71.3
LBJ-35	10×300/5	0.2/5P10/0.5/5P10	25	37.5

3.3.2 电压互感器的选择

电压互感器本身由于工艺问题会出现有励磁电流和内阻抗，励磁电流和内阻抗的存在就导致测量结果一定存在大小误差和相位误差，为保证电压互感器安全和在规定的准确级下运行，本变电站各电压侧电流互感器选型表如表 7 所示。

表 7 电压互感器选型表

型号	额定电压/kV		
	一次	二次	二次保护
JDZJ-220	220	0.1	0.1
JDJ-110	110/√3	0.1/√3	0.1/√3
JSJB-35	35	0.1/√3	0.1/√3

4 变电站防雷保护

由于雷雨天气、雷电风暴可能对电气设备和变电站造成严重损坏，变电站和电力线路需要建立一套行之有效的防雷措施，以确保电气设备的安全。

经过数据收集与分析可以了解到，空港经济开发区内的 220kV 变电站围墙内占地面积为 7183m²，其具体尺寸为长 73m、宽 71m。被保护物体的高度达到 11m。为了满足设计要求，选择了四根高度相同的避雷针来进行保护，每根避雷针的高度均为 30m。这些避雷针包括两根构架避雷针和两根独立避雷针，它们被分别安装在各个电压等级的母线与主控室相邻的角落位置。为了便于管理，这四根避雷针分别被标记为 #1 号、#2 号、#3 号和 #4 号。避雷针平面布置图如图 2 所示。

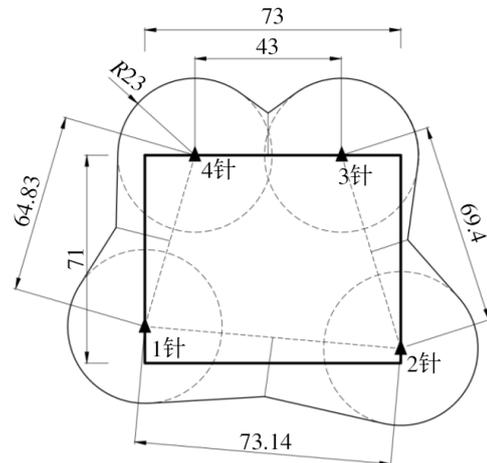


图 2 避雷针平面布置图

5 结束语

本设计深入研究空港经济开发区 220kV 变电站电气一次设计的关键方面。细致地分析变电站电气主接线的设计理念、选用设备的标准、短路电流的计算技术以及电气设备的配置等关键点。目标是确保变电站运行的高效性和安全性。总结如下：首先，解决了当地电力需求紧张的问题；其次，通过精确计算并综合考虑多种因素，对系统接线、断路器、母线尺寸、避雷针等进行精心挑选，确保系统稳定运行；最后，通过研究空港经济开发区 220kV 变电站电气一次设计，制定一套详尽的设计方案。该方案为实际工程提供了宝贵的参考，有助于提升变电站的运行效率和安全性。

参考文献

- [1] 李宁. 220kV 变电站中的电气参数设计 [J]. 集成电路应用, 2022, 39 (3): 288-289.
- [2] 黄志庆. 220 kV 变电站防雷设施设计探讨 [J].



- 科技与创新, 2021 (20): 180-181.
- [3] 邹彬彬. 220kV 智能变电站设计 [D]. 广州: 广东工业大学, 2021.
- [4] 李钻钻. 山西晋中介休 220kV 智能变电站设计 [D]. 太原: 太原理工大学, 2020.
- [5] 欧阳明浩. 考虑多因素的 220kV 变电站保护系统可靠性研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2023.
- [6] 李佳林. 220kV 变电站电气一次改造技术方案研究 [J]. 电器工业, 2023 (2): 52-55.
- [7] Jiang W, Xiong C, Zhai W, et al. The application of 3D design technology in the design of 220kV substation in Miluo Western [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021.
- [8] Tianyu J, Jiping Q, Fengfeng G. Research and Design of Substation Positioning System Based on Ultra-wide Band [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2023.
- [9] Dewen Z, Xianfeng L, Geng S, et al. Analysis on burning failure of main transformer in 220kV substation [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021 (2): 022015.
- [10] Minxin L, Lingzi L, Weigao L, et al. Intelligentization helps the green and energy-saving transformation of power industry—evidence from substation engineering in China [J]. Scientific Reports, 2024.

(收稿日期: 2024-10-31)

2025.08.dqgy
83

(上接第 78 页)

5 结束语

安全作为电力工作的重中之重, 本文提出的人员攀登铁塔防坠落装置借助铁塔独有的脚钉结构, 为登塔提供了安全保障。脚钉结构存在于当今 80% 的输电铁塔及大部分通讯铁塔上, 因此该装置不仅可在电力行业内进行使用, 也可广泛应用于通讯行业等领域。

参考文献

- [1] 郝艳捧, 梁苇, 潘锐健, 等. 输电线路智能带电检修关键技术研究综述 [J]. 电力自动化设备, 2022, 42 (2): 163-175.
- [2] 廖邢军, 辜良雨, 李钟, 等. 500 kV 输电线路杆塔全刚性防坠落导轨布置探讨 [J]. 电力勘测设计, 2022 (10): 48-53.
- [3] 何宇, 王鑫, 寇玺, 等. 一种登高装置的结构特性研究 [J]. 科学技术创新, 2020 (16): 21-22.
- [4] 杨绍骥, 王小兵. 防坠落装置安全锁试验装置设计研究 [J]. 建筑科技, 2024, 8 (10): 61-65.
- [5] 冯侃, 吴兆彬, 张成杨, 等. 输电线路杆塔登高作业柔性后背防坠落保护装置设计及应用 [J]. 电气应用, 2024, 43 (7): 40-45.
- [6] 崔浩, 陈育淦, 宋凯歌, 等. 输电线路杆塔脚钉专用防坠器的研制 [J]. 电气技术, 2024, 25 (9): 76-79, 84.

(收稿日期: 2024-11-12)