

## 500 kV 标准配送式智能变电站站用电系统优化设计

陈斌, 李海峰, 刘苏琴  
(江苏省电力设计院, 江苏 南京 211102)

**摘要:**针对标准配送式智能变电站的建设特点,对全站的站用系统进行优化设计。合理配置站内照明及动力负荷,减小站用变压器选用容量,备用站用变压器选用非晶合金变压器,降低站用变压器的投资和损耗。结合二次设备舱的布置,采用辐射式供电,优化电缆敷设路径,减小电缆截面,减低施工难度。

**关键词:**标准配送式;智能变电站;站用电负荷;非晶合金变压器;辐射式供电

**中图分类号:** TM63

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-0665(2015)01-0030-03

站用电系统是变电站的重要组成部分,负责给站内的主变冷却、照明、检修等供电,是保证变电站安全、可靠运行的重要环节。标准配送式智能化变电站采用分散布置的二次预制舱代替常规的二次设备室,采用与视频监控系统相结合的智能照明系统,其站用电系统出现了一些新的特点。结合山西太原南 500 kV 变电站,对配送式变电站站用电系统进行了优化设计。

## 1 站用电负荷优化

### 1.1 站用电负荷分析

参照 DL/T 5155—2002<sup>[1]</sup>,根据负荷运行的使用机会多少,站用电负荷可以分为经常类、不经常类负荷。根据负荷每次运行的时间长短,负荷可以分为短时类、连续类、断续类负荷。计算全站站用电负荷总量时,连续运行及经常短时运行的设备予以计算,不经常短时和不经常断续的运行设备不予计算。

变电站内的站用电负荷主要包括主变通风冷却负荷、配电装置操作负荷、照明负荷、暖通负荷、配电装置加热负荷、通信电源负荷、检修电源负荷、水泵类负荷等。以太原南 500 kV 无人值守标准配送式智能变电站为例,对站内的主要负荷性质进行分析。该站远景建设 4 台主变,500 kV 采用 3/2 接线,共 6 回出线;220 kV 采用双母线双分段接线,共 18 回出线。

#### 1.1.1 主变通风冷却负荷

主变通风冷却负荷负责给主变冷却风机供电,该负荷也是站用电负荷中最重要的负荷,需保证连续、可靠的供电。此处考虑远景 4 台主变同时运行,所有风机全开。该负荷属于经常、连续性负荷。

#### 1.1.2 配电装置操作负荷

配电装置操作负荷负责给开关设备操作机构供电,提供分合闸所需要的能量,属于经常、断续类负荷。为计算开关设备操作所需最大负荷,考虑极端情况下同时动作的断路器最大台数。

500 kV 采用 3/2 接线,考虑 1 条 500 kV 母线故障,同时与该母线相连的主变进线断路器拒动,此时该主变 500 kV 进线串内的中间断路器需跳开,该台主变对侧 220 kV 主变进线断路器也需跳开,总共动作 1 台 220 kV 断路器、6 台 500 kV 断路器,所需负荷总量为:

$$P_{1总} = N_{11}P_1 + N_{12}P_2 \quad (1)$$

式中: $P_{1总}$ 为此故障下所需的最大操作负荷, $N_{11}$ 为此时动作的 500 kV 断路器台数, $N_{11}=6$ ; $N_{12}$ 为动作的 220 kV 断路器台数, $N_{12}=1$ ; $P_1$ 为 1 台 500 kV 断路器的操作负荷, $P_1=3.3\text{kW}$ ; $P_2$ 为 1 台 220 kV 断路器的操作负荷, $P_2=2.25\text{kW}$ 。计算可得: $P_{1总}$ 为 22.05 kW。

220 kV 考虑 2 条母线并列运行,分段开关断开,1 条母线故障,同时母联断路器拒动,则与该母线相连的所用断路器均需断开,总共动作 9 台 220 kV 断路器,所需的负荷总量为:

$$P_{2总} = N_{22}P_2 \quad (2)$$

式中: $P_{2总}$ 为此故障下所需的最大操作负荷; $N_{22}$ 为此时动作 220 kV 断路器台数, $N_{22}=12$ 。计算可得: $P_{2总}$ 为 27 kW。变电内部所有断路器同时断开的可能性基本不存在,配电装置最大操作负荷非所有断路器操作负荷的简单叠加,站用电负荷总量统计时取 27 kW。

#### 1.1.3 户内照明

该站为无人值班变电站,户(舱)内的灯具一般不会同时全部开启。在统计全站站用电负荷总量时,考虑同时工作的户(舱)照明,户内照明总负荷乘以一定的修正系数,此处暂取 0.75。

#### 1.1.4 户外照明

常规变电站中在户外设置草坪灯和低位投光灯,用于夜间的照明需求,属于经常、连续类负荷。无人值班变电站中只有在夜间出现特殊故障抢修或夜间巡视时,才可能需要户外照明。夜间故障抢修时可通过站内的照明控制箱开启户外灯具。夜间巡视可配合视频监控系

实现对户外照明灯具的远程控制。根据视频监控需要开启相应灯具,作为夜间摄像的光线补偿<sup>[2-4]</sup>。鉴于无人值守变电站中夜间事故抢修和夜间巡视并非常态化,且每次户外灯具开启的时间也不长,户外照明可视作为不经常短时负荷,不计入全站站用电负荷总量统计。

### 1.1.5 暖通负荷

暖通负荷主要指为站内的空调、风机等供电,调节室内的温度,保证空气的流通。在无人值班变电站中该负荷则主要是保证二次设备的正常运行,属于经常、连续类负荷。

### 1.1.6 其他负荷

其他负荷包括配电装置加热负荷、检修电源、通信电源、UPS 电源、充电机、交流分电柜、逆变器、雨水泵等。配电装置加热电源负责给端子箱、汇控柜加热装置供电,在气温过低时保持端子箱、汇控柜内的温度,保证二次设备正常运行,属于经常、连续类负荷。

检修电源负责在设备检修时给电焊机等检修设备供电,属于不经常、短时类负荷,不计入全站用电总负荷统计。雨水泵主要用于下雨天排除站内积水,属于不经常、短时负荷。

通信电源、UPS 电源、充电机、逆变器等属于通信及二次专业的负荷需求,为经常、连续类负荷。

## 1.2 全站站用电负荷统计

经优化分析,全站设置 4 m 预制舱 5 个,每个舱内风机负荷 2 kW,加热负荷 2.5 kW,照明负荷 2 kW;6 m 预制舱 4 个,每个舱内风机负荷 2.5 kW,加热负荷 3.5 kW,照明负荷 2 kW;9 m 预制舱 2 个,每个舱内风机负荷 2.95 kW,加热负荷 5 kW,照明负荷 2 kW。全站站交流用电负荷统计见表 1。站用变压器总负荷为:

$$S = 0.85P_1 + P_2 + 0.75P_3 \quad (3)$$

式中: $S$  为站用变压器总负荷; $P_1$  为站用动力负荷之和; $P_2$  为站用电热负荷之和; $P_3$  为站用动力负荷之和。计算得: $S$  为 458.27 kW。考虑一定的裕度,站用变压器容量选择 500 kV·A。

国网通用设计以及常规工程 500 kV 变电站中站用变压器容量均为 800 kV·A,经过优化后只需 500 kV·A,减少了投资和造价,降低了能源损耗。

## 2 站用变压器的选择

该站设 3 台站用变压器,1 号和 2 号站用变为工作变压器,0 号为备用变压器。正常情况下全站负荷由工作变压器供电,备用变压器处于热备用状态,绝大部分时间内处于空载状态,推荐采用非晶合金变压器。

非晶合金变压器铁心采用非晶合金材料代替传统硅钢片,其单位损耗和励磁特性大大降低,具有损耗

表 1 站用电负荷统计

序号	名称	负荷容量/kW	负荷类型
动力负荷			
1	通信电源	30	经常、连续
2	配电装置操作负荷	27	经常、断续
3	主变冷却负荷	240	经常、连续
4	充电柜	66	不经常、连续
5	UPS 电源	20	不经常、连续
6	逆变器	10	经常、连续
7	站用变有载调压	6	经常、断续
8	4 m 预制舱风机暖通	8	经常、断续
9	6 m 预制舱风机暖通	10	经常、断续
10	9 m 预制舱风机暖通	5.9	经常、断续
小计	$P_1$	422.9	
加热负荷			
1	500 kV 配电装置加热	10.8	经常、断续
2	220 kV 配电装置加热	27	经常、断续
3	35 kV 配电装置加热	8	经常、断续
4	4 m 预制舱加热	12.5	经常、断续
5	6 m 预制舱加热	14	经常、断续
6	9 m 预制舱加热	10	经常、断续
小计	$P_2$	82.3	
照明负荷			
1	预制舱照明	22	
小计	$P_3$	22	

低,运行温度低,性能稳定,使用寿命长,节能环保等特点。虽然初期投资大于传统变压器,但由于其损耗低,运营成本低,综合使用成本低于传统变压器<sup>[5-8]</sup>。

该工程 0 号站用变引自站外电源,采用非晶合金箱式变压器,布置灵活,损耗低,而且符合工程配送式的建设理念。

## 3 配电装置场地供电方式优化

配电装置场地的断路器、隔离开关的操作及加热负荷可采取 2 种供电方式:(1) 采用环形供电网络,并在环网中间设置刀开关以开环运行。(2) 采用辐射供电,各配电装置场地设置专用配电箱,配电箱电源进线一路运行,一路备用。辐射式供电需要在各场地配置专用配电箱,因此传统变电站中大多数采用环形供电网络。随着变电站规模的扩大,配电装置面积大大增加,为保证环形供电网络末端短路时断路器的灵敏性,需要增大电缆截面,电缆敷设施工极为不方便。

该工程采用分散布置的二次预制舱,配电装置的用电可由二次预制舱内引出,不需要采用专用配电箱,适合采用辐射供电方式。

以 500 kV 配电装置场地为例,对 2 种供电方式进行对比。断路器每相电机负荷取 1000 W/220 V,隔离开关、接地开关每相电机负荷 150 W/380 V;断路器加热

负荷 640 W/220 V, TV 端子箱加热负荷 40 W/220 V。

(1) 环形供电。该站远景共 5 个完整串, 组成 2 个环形供电网络。第 1、2、3 串组成 1 个环形供电网络, 第 4、5 串组成 1 个环形供电网络。其供电如图 1 所示。

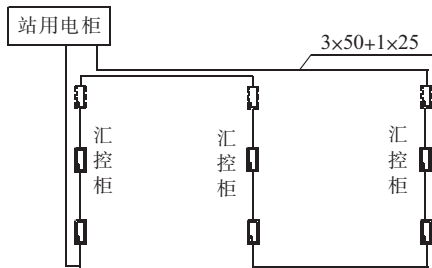


图 1 环形供电示意图

考虑 1 条母线故障时, 跳开与此母线相连的 3 台断路器。再考虑断路器及 PT 端子箱的加热负荷, 总共所需的负荷为 17.7 kW, 1、2、3 串的环形供电网络的长度约为 400 m。

$$I = P / \sqrt{3} U \quad (4)$$

$$S = 1.2 \frac{IL}{U} \quad (5)$$

式中:  $P$  为总的操作负荷;  $U$  为额定电压,  $U=380$  V;  $I$  为负荷电流;  $L$  为电缆长度,  $L=400$  m;  $S$  为电缆截面积。由式(4)、式(5)计算得:  $S=33.88$  mm<sup>2</sup>。选择电缆 3x35+1x16, 考虑 0.75 的校正系数, 电缆载流量  $I_{xu}$  为 85.5 A > 30.09 A。

脱扣器灵敏系数校验需满足:

$$I_d \geq 1.5 I_z \quad (6)$$

式中:  $I_d$  为电缆的末端短路电流;  $I_z$  为过电流脱扣器整定值。选择断路器额定电流  $I_e=32$  A,  $I_z=5I_e$ ,  $I_z=160$  A。热脱扣器:  $I_z=3I_e$  时, 6 s 跳, 查表得到末端短路时,  $I_d$  为 232 A, 此时  $I_d < 1.5 I_z$ , 脱扣器灵敏性系数无法满足, 即末端短路时断路器可能不动作, 无法断开短路回路。

增大电缆截面, 选择 3x50+1x25 电缆, 末端短路电流  $I_d=356$  A >  $1.5 I_z$ , 满足脱扣器灵敏性系数要求。环形供电共需 3x50+1x25 电缆 700 m。

由上述计算过程可以看出, 随着负荷和电缆长度的增加, 为保证脱扣器灵敏性系数, 需增加电缆截面。

若全站 500 kV 配电装置场地采用 1 个环形供电网络, 电缆截面需采用 3x95+1x50, 如此大截面的电缆敷设施工难度极大。

(2) 辐射供电。由每串配电装置内的二次预制舱的交流分电柜引至场地汇控柜, 此时每个回路只需负责给 1 台断路器供电, 总负荷约为 5.37 kW, 最大供电长度取 60 m。由式(4—6)计算可知, 电缆截面仅需选择 3x16+1x10 电缆, 长度为 10 到 60 m 不等, 共需 1200 m。其供电如图 2 所示。

虽然辐射供电电缆长度增加, 但电缆截面减小, 施

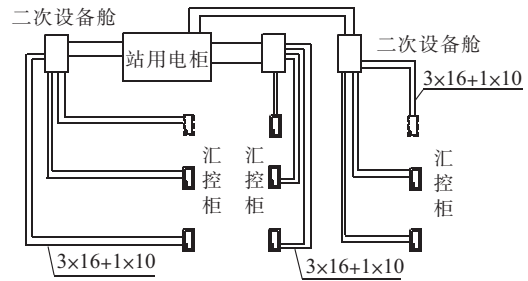


图 2 辐射供电示意图

工方便。考虑采用辐射供电后汇控柜的电源均来自二次设备舱, 二次设备舱负荷增加, 站用电柜至二次设备舱的电缆需加粗, 会增加部分费用, 但综合造价依然低于环形供电。

辐射供电方式, 每个回路只给 1 个汇控柜供电, 而环形供电网络中串接了多个汇控柜, 供电可靠性不如辐射供电。

#### 4 结束语

山西太原南 500 kV 标准配送式变电站的站用系统优化设计后, 简化了交流负荷回路, 减小了站用变容量, 站用变容量由常规的 800 kV·A 减至 500 kV·A。针对备用站用变压器空载运行时间长的特点, 备用站用变选用空载损耗低、节能环保的非晶合金变压器。结合二次预制舱的布置, 配电装置场地的断路器、隔离开关、汇控柜等负荷采用辐射供电方式, 较大程度地减小电缆截面和工程造价, 降低了施工难度。

#### 参考文献:

- [1] 华东电力设计院. DL/T 5155—2002 220 kV~500 kV 变电所所用电设计技术规程 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [2] 陈维莉. 智能变电站辅助控制系统研究 [J]. 湖北电力, 2011, 35(1): 113-116.
- [3] 唐华南. 智能照明系统在智能变电站的设计应用 [J]. 中国电力教育, 2013(26): 223-224.
- [4] 杨光. 智能照明控制系统及其应用 [J]. 福建科技建筑, 2007(2): 49-50.
- [5] 肖欣, 周渝慧, 唐鑫, 等. 基于全寿命周期理论的配电变压器可靠性和节能减排综合评估方法 [J]. 华东电力, 2013, 41(8): 1643-1646.
- [6] 吴鹏, 陆云才, 陈铭明, 等. 江苏电网非晶合金变压器综合评估 [J]. 江苏电机工程, 2013, 32(3): 1-5.
- [7] 郑国华. 非晶合金变压器节能经济效益分析 [J]. 上海电力学院学报, 2009, 11(6): 44-46.
- [8] 郑国培, 刘忠, 陈星, 等. SH15 型非晶合金铁心配电变压器的技术经济分析 [J]. 变压器, 2005, 42(6): 1-5.

作者简介:

陈斌(1986), 男, 湖北黄冈人, 工程师, 从事输变电工程电气设计工作;

单神经自适应控制算法在 0.05 s 时能跟踪到最大功率点,且在最大功率点处功率波动较小,实现了 PID 控制稳态误差较小的优点。但单神经元自适应控制法由于  $K$  取值的问题,在外界环境变化下存在功率跟踪误差。改进的单神经元自适应方法在 0.02 s 时实现了快速精确的 MPPT,且能够快速精确地响应外界条件的变化,不存在功率跟踪误差。因此将改进的单神经自适应控制算法应用于光伏发电系统 MPPT 中,能解决传统方法扰动步长带来的不能兼顾快速性与精确性的问题,同时可以改善单神经元自适应控制启动慢及外界条件变化下功率跟踪准确性问题。

## 5 结束语

针对传统 MPPT 方法存在的缺陷,提出了一种改进的单神经元自适应控制算法。利用电导增量法能够快速响应外界条件变化,单神经元自适应法可以消除稳态误差的优点实现光伏发电系统的 MPPT。利用 MATLAB 仿真工具对改进单神经自适应控制方法进行了仿真比较,结果表明该方法不仅能够快速响应外界条件的变化,快速跟踪到最大功率点,并在最大功率点处的功率波动小,稳态误差小。

参考文献:

- [1] 张 兴,曹仁贤. 太阳能光伏并网发电及逆变控制[M]. 北京:机械工业出版社,2011:30-35.
- [2] SI C T. Simulation Research on Output Characteristics of Photovoltaic Array and MPPT Control [J]. East China Electric Power, 2010(2):0284-0288.
- [3] 崔 岩,蔡炳煌,李大勇,等. 太阳能光伏系统 MPPT 控制算法的对比研究[J]. 太阳能学报,2006,27(6):535-539.
- [4] 陈爱龙. 光伏发电系统 MPPT 的技术的研究与实现[D]. 成都:电子科技大学,2011.
- [5] 袁晓玲,陈 宇,宋鹏飞,等. 带修正函数的模糊控制在光伏发电 MPPT 中的应用[J]. 可再生能源,2012,30(9):16-20.
- [6] 王长江. 基于 MATLAB 的光伏电池通用数学模型[J]. 电力科学与工程,2009,25(4):11-14.
- [7] 赵争鸣,刘建政. 太阳能光伏发电及其应用[M]. 北京:科学技术出版社,2005:109-117.
- [8] 苏建徽,余世杰,赵 为,等. 硅太阳能电池工程用数学模型[J]. 太阳能学报,2001,22(4):409-412.
- [9] 王永骥,涂 健. 神经网络控制[M]. 北京:机械工业出版社,1998:55-60.
- [10] 王婵娟,王 强,傅承毓. 单神经元模糊 PID 控制在光电跟踪系统中的应用[J]. 光电工程,2006,32(2):33-36.

作者简介:

王 玮(1989),女,江苏南京人,本科,从事用电检查工作;

沈 忱(1989),男,江苏南京人,助理工程师,从事配电运检工作。

## Research on MPPT of PV System Based on the Improved Single Neuron Adaptive Controller

WANG Wei, SHEN Chen

(Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Currently the conversion efficiency of PV cell is poor. The maximum power output tracking for MPPT is needed to improve energy efficiency. To deal with the defects of poor rapidity, low precision and poor adaptability of the conventional MPPT, a method based on improved single neuron adaptive controller is proposed. The simulation results show that the method can track the maximum power point rapidly and accurately and has a strong adaptability to the environment change.

**Key words:** Photovoltaic cell, MPPT, Single neuron adaptive control.

(上接第 32 页)

李海峰(1975),男,江苏南京人,高级工程师,从事输变电工程电气设计工作;

刘苏琴(1980),女,江苏南京人,高级工程师,从事输变电工程电气设计工作。

## The Optimization Design of Station Power System in 500 kV Standard Distribution-mode Smart Substation

CHEN Bin, LI Haifeng, LIU Suqin

(Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102, China)

**Abstract:** According to the characteristics of 500 kV standard distribution-mode smart substation, an optimization design of station power system is proposed. The optimization design includes reasonable allocating the lighting and power load, decreasing the capability of the station transformer, selecting amorphous alloy backup transformer, and decreasing the investment on station transformer. Combining with the re-configuration of the secondary-equipment-chamber, a radiant system is design to reduce the section area of cable and the difficulty of construction.

**Key words:** standard distribution-mode; smart substation; station power; amorphous alloy station transformer, radiant system