

110kV 锥山变电站光伏并网发电系统研究

刘同旭^{1,2}

(1.上海交通大学 中国 上海 200000;2.蚌埠供电公司 安徽 蚌埠 233000)

【摘要】对 110kV 锥山变电站光伏并网发电系统的结构进行了介绍,对光伏并网发电系统相关技术进行了研究,分析了该太阳能光伏系统的效益,从太阳能发电量和节能减排效益的角度认为该太阳能光伏发电系统不仅解决了变电站自用电,对城市电力也是一个补充,同时降低了能耗污染。

【关键词】变电站;光伏并网发电系统;太阳能;研究

Research on the Solar Energy PV Generation System in 110kV Zhuishan Substation

LIU Tong-xu

(1.Shanghai Jiaotong University,Shanghai,200000,China;2.Bengbu Electric Power Company ,Bengbu Anhui,233000)

【Abstract】The structure of the solar energy PV generation system in 110kV Zhuishan substation is introduced. The related techniques of the solar energy PV generation system are studied. The efficacy of the PV system is analysed. Considering the power generation capacity of the solar energy and the energy saving exhaust reduction feature, the PV system not only serves as part of self supply power source, but also helps to add up to urban power source , while the pollution is reduced at the same time.

【Key words】Substation; PV grid connected power generation system; Solar energy ; Research

0 引言

太阳能是资源最丰富的可再生能源,具有独特的优势和巨大的开发利用潜力。充分利用太阳能有利于保持人与自然的和谐相处及能源与环境的协调发展。21 世纪以来,世界太阳能光伏发电产业快速发展,市场应用规模迅速扩大。为了研究光伏并网发电应用技术,蚌埠供电公司申报了一个科技项目,在锥山变电站建立了光伏并网发电系统。

1 系统构成

锥山变电站光伏系统设计总容量为 30kW,主要包括光伏组件、并网逆变器、交直流防雷配电柜等部分。光伏组件在光生伏打效应下将太阳能转换成直流电能,直流电经交直流防雷配电柜流入并网逆变器,并网逆变器将其逆变成符合电网电能质量要求的交流电,经过交直流防雷配电柜接入 AC380V/50Hz 三相交流电网进行并网发电。该系统采用大功率单晶硅太阳能电池组件,光伏组件有效总面积 220m²,占地约 470m²。

每个太阳能电池串列按照 8 块电池组件进行串联设计,系统可分成 21 个太阳能电池串列。为了减少电池组件与逆变器之间连接线,以及日后的维护方便,在直流侧配置了 4 台光伏方阵防雷汇流箱,其直流输出通过电缆线输送到二次室,经交直流防雷配电柜直流单元汇流成一条直流母线输入到 SG30K3 并网逆变器,再通过交直流防雷配电柜交流单元接入 AC380V/50Hz 三相交流低压电网。

整个光伏并网发电系统配置 1 套监控装置,通过 RS485 或 Ethernet(以太网)通讯接口将系统的工作状态和运行数据以及环境参数提供给专业技术人员进行实时监测。

系统原理图如下

电量馈入电网。在晚上或阴雨天发电量不足时,由市电给站用电负荷供电。

2.2 要求系统具备最大功率点跟踪控制功能,使系统获得最大的功率输出;

2.3 要求系统具备过/欠压保护、过/欠频保护、短路保护、防孤岛效应等并网保护功能;

2.4 要求系统具备远程通讯功能,以实现系统运行情况的远程监视。

3 太阳能电池组件方阵的设计

3.1 太阳能电池发电原理和分类

太阳能电池组件方阵在有光照情况下,电池吸收光能,电池两端出现异号电荷的积累,即产生“光生电压”,这就是“光生伏打效应”。在光生伏打效应的作用下,太阳能电池的两端产生电动势,将光能转换成电能,太阳能电池是能量转换的器件。当太阳光照射到半导体 P-N 结时,会在 P-N 结两边产生电压,使 P-N 结短路,就会产生电流。这个电流随着光的强度的加大而增大,当接受的光的强度一定时,就可以将太阳能电池看成恒流源。太阳能电池主要有以下几种类型:单晶硅电池、多晶硅电池、非晶硅电池、碲化镉电池、铜铟硒电池等。目前在研究的还有纳米氧化钛敏化电池、多晶硅薄膜以及有机太阳电池等。但实际应用的主要还是单晶硅电池和多晶硅电池。其中单晶硅电池的转换效率最高,因此锥山变电站光伏并网发电系统选用了单晶硅电池。

3.2 光伏组件方阵的设计

采用 180W 单晶硅光伏电池组件共 168 块,分为 21 个单元,每个单元阵列支架可放置 8 块太阳能电池组件。组件正面朝南放置,阵列共 5 行,其中靠北 4 行每行包含 5 个单元阵列,靠南单独一单元阵列为 1 行。根据蚌埠纬度,优化设计支架与水平地面倾角为 27.4°。

系统原理图如下：

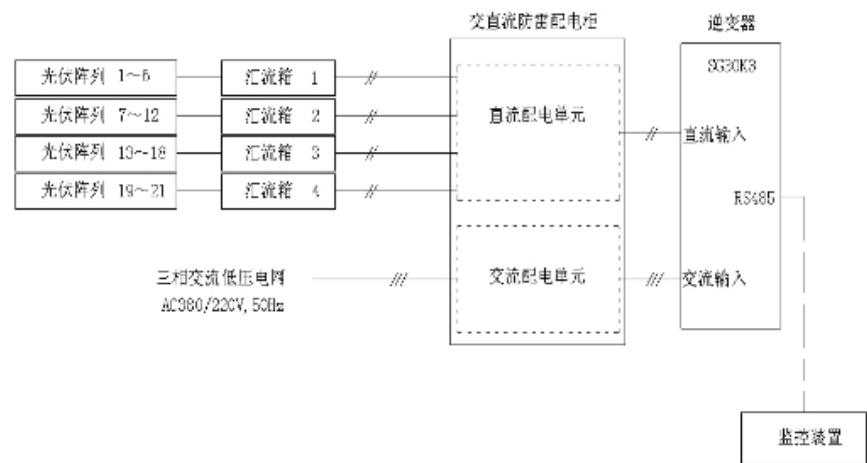


图 1 系统原理框图

2 系统技术要求

2.1 要求光伏并网,在白天由光伏发电给站用电负荷供电,并将多余

整个发电系统采用 8 块组件串联为一单元，一共 21 支路并联的方式,输入 4 个汇流箱,其中的 3 个汇流箱每个接 5 路输入,另一个汇流箱接 6 路输入。经汇流后电缆经过电缆沟进入主控室交直流配电柜,通过交直流配电柜直流单元接入 SG30K3 并网逆变器,最后由并网逆变器经交直流配电柜交流单元至 380V 低压电网。

4 光伏并网逆变器的研究

4.1 性能特点

光伏并网逆变器采用美国 TI 公司 DSP 控制芯片，主电路采用日本最先进的智能功率 IPM 模块组装,运用电流控制型 PWM 有源逆变技术和优质进口高效隔离变压器,可靠性高,保护功能齐全,且具有电网侧高功率因数正弦波电流、无谐波污染供电等优点。其结构图 2 所示。

并网逆变器通过三相逆变器,将光伏阵列的直流电压变换为高频的三相交流电压,并经过滤波器滤波变成正弦波电压接着通过三相变压器隔离升压后并入电网发电。为了使光伏阵列以最大功率发电,在直流侧采用了先进的 MPPT(Maximum Power Point Tracking))算法。

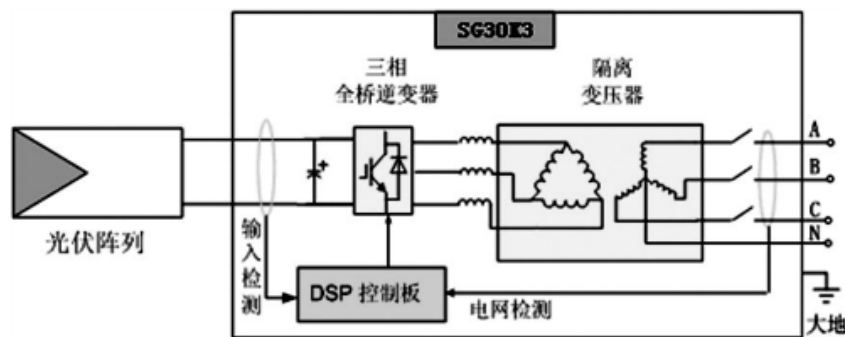


图 2 光伏并网逆变器电路结构图

4.2 基于模糊控制的太阳电池最大功率点跟踪控制算法

4.2.1 太阳电池特性

日照强度在极大的程度上影响太阳电池阵列的输出电流。图 3 给出了不同日照强度下典型的 I-V 和 P-V 特性。

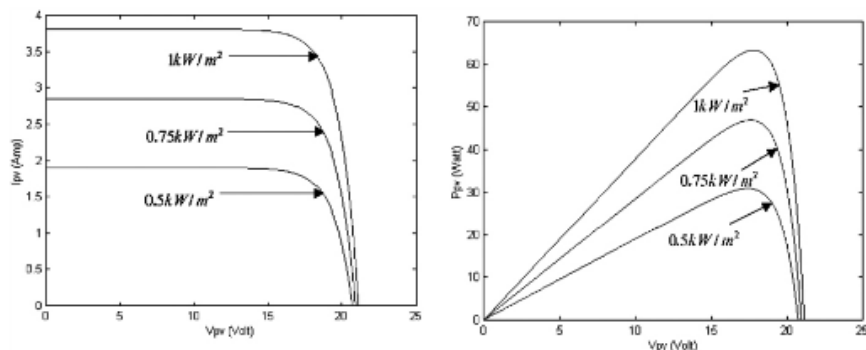


图 3 不同日照量下的 I-V 和 P-V 特性曲线

实现 MPPT 的模糊逻辑控制器构成如图 5 所示。

4.2.3 模糊推理算法

在模糊理论中,模糊控制的推理方法很多,但在模糊控制中应用较多有 Mamdani 推理、Larsen 推理、Tsukamoto 推理和 Takagi-Sugeno 推理。本文采用 Mamdani 推理举例说明控制算法,推理规则采用“if ……then…”的语句格式进行定义。

举例说明:“if (dP/dI is PB) and ($\Delta dP/dI$ is PB) and ($\Delta U_{DC}(k-1)$ is P) then ($\Delta U_{DC}(k)$ is PB)”。如图 6 所示,“ dP/dI is PB”意味着目前太阳电池阵列的工作点位于 P-I 曲线的左半部分斜率较大的部分,所以大致上 FLC 的输出 $\Delta U_{DC}(k)$ 应该为正。考虑“ $\Delta U_{DC}(k-1)$ is P”意味着上次 FLC 的输出 $\Delta U_{DC}(k)$ 为正,即并网输出功率加大;接着考虑“ $\Delta dP/dI$ is PB”,意味着的斜率变化为正,即当前的斜率比上次的斜率有较明显的加大。从 P-I 曲线可以看出,如果日照不变,在曲线左半段, P 增加,则斜率 dP/dI 是下降的,而目前斜率 dP/dI 反而上升,意味着当前的日照有较大幅度的增加。为此, FLC 的输出 $\Delta U_{DC}(k)$ 也应较大的正值。所以 $\Delta U_{DC}(k)$ is PB。

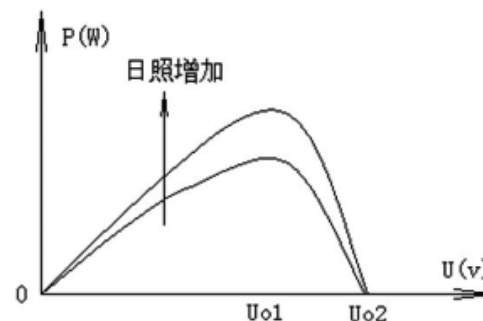


图 6 模糊逻辑控制规则设计例图

图 4 为太阳能电池阵列的输出功率特性 P-V 曲线，由图可知当阵列工作电压小于最大功率点电压 V_{max} 时，阵列输出功率随太阳能电池端电压 V_{pv} 上升而增加；当阵列工作电压大于最大功率点电压 V_{max} 时，阵列输出功率随 V_{pv} 上升而减少。MPPT 的实现实质上是一个自寻优过程，即通过控制阵列端电压 V_{pv} ，使阵列能在各种不同的日照和温度环境下智能化地输出最大功率。

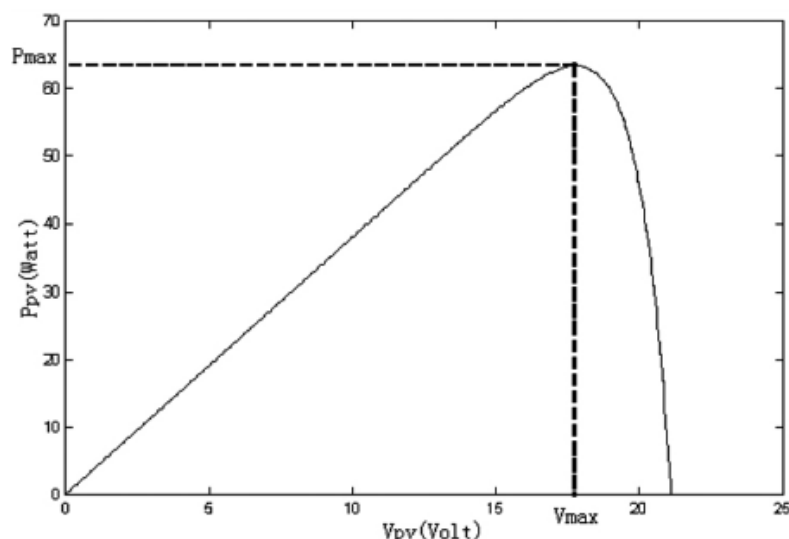


图 4 太阳能电池阵列的输出功率特性

$\Delta U_{dc}(K)$

4.2.4 精确输出量的反模糊化

反模糊化的目的就是必须求出能代表所有模糊输出量的作用的精确值。即在推理得到的模糊集合中取出最能代表这个模糊集合的单值。对于本文来说，FLC 的输出应该是一个确定具体的 $\Delta U_{DC}(k)$ 提供给后级的直流电压外环控制程序。

反模糊判决可以采用不同的方法，用不同的方法所得的结果也是不同的。常用的方法有最大隶属度法，重心法，系数加权平均法和隶属度限幅元素平均法。本文采用重心法。其计算表达式如下：

$$\Delta U_{DC}(k) = \frac{\sum_{i=1}^n [\mu(D_i) \cdot D_i]}{\sum_{i=1}^n \mu(D_i)}$$

上式中 $\mu(D_i)$ 为第 i 个模糊输出量的隶属度，即模糊推理的结果； D_i 为第 i 个模糊输出量单点位置或中心元素的位置； n 为所定义的系统输出模糊量的个数，本项目中 n 为 5。

5 运行效益

蚌埠供电公司 110kV 锥山变电站光伏系统总功率为 30kW，系统直流部分效率按 90% 计，交流部分效率按 90% 计，蚌埠地区平均每天峰值日照时间按 3 小时，理论系统年发电量为： $30 \times 3 \times 365 \times 90\% \times 90\% = 26608 \text{ kWh}$ 。2009 年实际发电量为 25818 kWh。

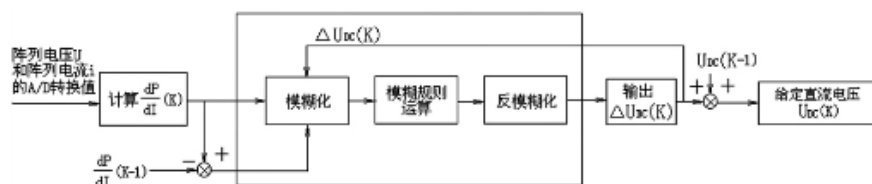


图5 光伏并网系统 MPPT 模糊逻辑控制器构成图

本项目采用基于模糊逻辑的 MPPT 控制算法,取得了良好地动态响应速度和精度。

4.2.2 基于模糊逻辑控制器的 MPPT

基于模糊集合和模糊算法的模糊理论可以得出系列模糊控制规则,可以由 DSP 十分简明的执行。模糊逻辑控制器的设计主要包括以下几项内容:

- 1)确定模糊控制器的输入变量和输出变量;
- 2)归纳和总结模糊控制器的控制规则;
- 3)确定模糊化和反模糊化的方法;
- 4)选择论域并确定有关参数。

26608 kWh。2009 年实际发电量为 25818 kWh。

传统的火力发电多以煤炭为燃料且产生大量污染,主要为粉尘、二氧化碳、二氧化硫、热污染和化学药品污染等。每年需要一大批污染处理和环保费用。太阳能发电无需消耗燃料,没有空气污染,可以节约标煤和实现减排温室气体(包括 CO₂,NO_x 等)的作用,实现能源的清洁利用,对保护环境,节省能源作出很大贡献。以每发 1 度电消耗 374g 标煤计算,发 2.6 万 kWh 电消耗耗标煤 9.724 吨。以每发 1 度电可以少排放 170gCO₂,7.68gSO₂ 计算,光伏发电 2.6 万 kWh 可减少 CO₂ 排放量 4.42 吨,减少 SO₂ 排放量 199.68kg。

6 结语

变电站光伏并网发电系统使用了太阳能这一绿色、环保无污染的清洁能源,节能、环保,而且增加了变电站站用电系统的可靠性。在夜晚或阴雨天发电量不足时,由电网给站用电负荷供电,总体上实现站用电负荷全年对于市电的“零消耗”。尽管目前太阳能光伏发电系统的造价相对偏高,相比其它发电形式来说,其经济效益并不明显,但随着光伏发电的产业化及常规能源的稀有化,其投资造价(下转第 575 页)

太阳能在 110 kV 封周变电站的设计应用

张 勇, 张勤裕, 郁志良

(上海市电力公司 嘉定供电分公司, 上海 201800)

摘 要:介绍 110 kV 封周站的太阳能光伏系统安装容量、运行方式、装周站太阳能光伏系统的设计思想、运行的合理性及预期的节能效果, 展念。

关键词:太阳能; 光伏电池; 节能

作者简介:张 勇(1975-), 男, 工程师, 从事配电网变电运行工作。

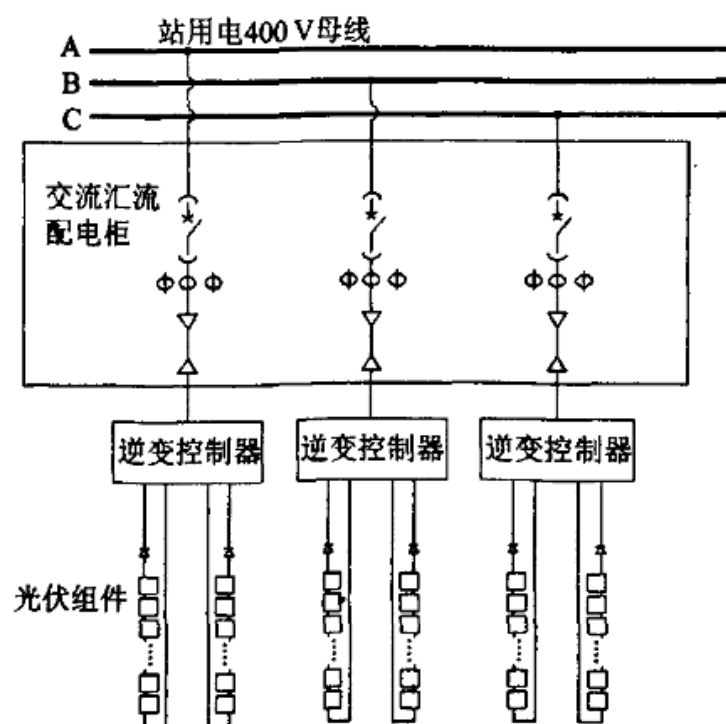
中图分类号:TM63 **文献标志码:**B **文章编号:**1001-9529(2009)08-1321-03

万方数据
WANFANG DATA

1 太阳能光伏系统安装容量

110 kV 变电站站用电设计负荷在 60 kW 左右,站用电负荷随季节变化较大,夏季最大,冬季次之,春、秋季最小。除个别月份以外,大部分月份的用电量在 5 000 kW·h 以上。由于站用电负荷主要是站内暖通空调、照明、加热器等设备,无大型用电设备,且为无人值班,故站用电日负荷曲线变化较小。在缺乏实际统计资料的情况下,各月平均用电负荷可作为站用电实际用电负荷的参考值。根据以上分析,估计 110 kV 变电站站用电实际负荷在夏季约 20 kW,冬季约 8 kW 左右,春、秋季约 7 kW。根据站用电负荷情况,110 kV 封周站站用电太阳能光伏系统电池组件安装总容量拟为 4.8 kW。根据上海地区太阳辐射强度的分布情况,太阳能光伏系统在各季节瞬时最大交流输出功率为:夏季 4.2 kW、冬季 3.8 kW、春秋两季 4.4 kW,与变电站站用电负荷基本匹配。

采用对站用电负荷变化情况较为适应的小型分散逆变系统。整个光伏发电系统由 3 个子系统组成。每个子系统相对独立,分别由光伏组件、并网逆变器等组成;每个子系统有 1 台逆变器,分别输出 A、B、C 三相。各子系统逆变器后交流电分别接至站用电 400 V 母线各相位上,太阳能光伏发电系统见图 1。



2 太阳能光伏系统及运行方式

由于变电站实际站用电负荷随季节性变化较大,而太阳能光伏发电系统安装总容量又较小,故



图1 太阳能光伏发电系统

由于太阳能光伏发电装置的实际输出功率随光照强度的变化而变化,输出功率不稳定,且不受

人为调节;而变电站站用电可靠性要求高,且实际站用电负荷随季节性变化较大的情况,故光伏发电系统采用并网型系统。太阳能光伏发电系统所产生的绿色电力作为部分站用电电源,不足部分由当地电网提供。同时太阳能光伏发电系统容量适宜,不会向当地电网反送电量。

太阳能光伏发电系统采用全自动运行方式。随控制逆变器随机配置一套监测控制器,用以光伏系统数据采集、储存。该监测控制器可以通过RS232、RS-485 等数据传输方式与逆变器、传感器进行数据通信,同时也可以与连接在同一网络上的显示器和计算机进行通信。

3 太阳能光伏系统装机方案

3.1 光照条件

110 kV 封周变电站位于上海市嘉定区双单

联数量见表 2,电池组件安装总容量为 4.8 kW。

表 1 单晶硅电池组件技术参数表

项目名称	数据
组件型号	SF160-24
标准功率/W	160
峰值电压/V	35.6
峰值电流/A	4.50

可 -10'	田 万万数据 WANFANG DATA	45
项目名称	数据	
组件型式	单晶硅光伏电池	
组件型号	SF160-24	
电池组件安装总数/块	30	
电池组件并联数/个	3	
电池组件串联数/个	10	
电池组件安装总容量/kW	4.8	

110 kV 封周变电站位于上海市嘉定区双单社区内,变电站周围地形暂无明显的高大障碍物对变电站屋顶的光照有遮挡。变电站主体朝向为南东 26° ,朝向条件对太阳光照的利用较佳。

110 kV 封周变电站主体建筑为地上 2 层混凝土结构建筑。屋面为阶梯状平屋顶结构,东侧 3 跨屋顶顶面标高 10.38 m,西侧 110 kV 配电装置室上方屋顶顶面标高为 8.80 m。其中东侧 3 跨屋顶北部设有通风百叶窗,南部向阳面屋顶上无其他构筑物和设备。屋顶顶面相对标高 10.38 m 比西侧 110 kV 配电装置室上方屋顶高约 1.58 m 左右,故西侧局部屋顶会受遮光影响。

3.2 太阳能光伏系统装机方案

(1) 光伏组件技术参数

110 kV 封周变电站光伏组件选用性价比较高的单晶硅电池,光伏组件的主要技术参数见表 1。

(2) 光伏组件安装

光伏组件按当地最佳安装倾角 27° 设置,以保证电池组件最大发电出力。光伏组件安装方位角为 26° ,朝向与变电站方位一致,与整体建筑协调,该方位角对电池板的总出力影响不大。电池阵列采用单排布置,与光伏阵列前女儿墙之间留有 1.5 m 间隔,可保证全年每天的 9:00 ~ 15:00 时段内女儿墙不会对后排电池板产生遮光影响。

(3) 逆变器选型和安装

并网型逆变器选用性价比较高,且性能、质量有保证的进口设备。逆变器输出的交流电能质量应满足相应的国家标准。选型应考虑具有过/欠电压、过/欠频率、防孤岛效应、短路保护、逆向功率保护等保护功能。

由于 110 kV 封周变电站设计已对室内空间充分利用,逆变控制器选用户外型小容量逆变器,单台逆变器容量为 3 kW 左右,共 3 台。逆变器

(2) 光伏组件安装

110 kV 封周变电站太阳能光伏组件安装场地利用变电站屋顶,光伏组件安装数量为 30 块,总面积在 38 m^2 左右,安装总容量为 4.8 kW 。由于组件安装所需场地面积不大,故考虑利用变电站东侧 3 跨电容器及控制室上方南部向阳面屋顶安装光伏电池组件。该屋顶场地宽裕,便于将来光伏电池组件的施工和维护;同时光照条件较佳,有利于提高光伏发电系统整体出力。光伏电池组件安装在独立的钢支架上,钢支架固定在屋顶混凝土支墩上方,钢支架表面采用使用寿命较长的热浸镀锌防腐处理。电池组件安装容量及串、并

单台逆变器容量为 3 kW 左右,共 3 台。逆变器布置在变电站 5 m 层走廊内,采用挂壁布置。该方案优点:1)户外型小容量逆变器不占用室内空间;2)户外型小容量逆变器在对光照条件适应性强,系统输出效率高,发电量大。

整个光伏系统年利用小时数在 $1\,050 \text{ h}$ 左右,年发电总量在 $5 \text{ MW} \cdot \text{h}$ 左右。

4 预计节能效果

根据 110 kV 封周变电站设计方案,太阳能光伏系统拟安装光伏组件 38 m^2 左右,安装总容量 4.8 kW ,年发电总量在 $5 \text{ MW} \cdot \text{h}$ 左右。与相同发