

太阳能光伏发电系统容量计算分析

张金花

(中铁第一勘察设计院集团有限公司 电化处, 陕西 西安 710043)

摘要:通过阐述独立型和并网型光伏发电系统的构成及特点以及对光伏电池的主要特性、选择的分析、比较, 根据理论研究并结合工程实际, 提出了更符合工程实际的光伏电池方阵、蓄电池组、逆变器容量的计算及选择。

关键词:太阳能; 光伏发电系统; 蓄电池组; 逆变器; 储能装置

中图分类号: TM912

关于太阳能光伏发电系统容量计算,《太阳能光伏电源系统安装工程设计规范》(CECS 84:96)、《民用建筑太阳能光伏系统设计规范》(征求意见稿)、太阳能产品生产制造厂家以及一些关于太阳能光伏发电技术的书籍,提供的方法各不相同、不统一,不便于工程设计。现经理论分析总结,并结合设备的特性以及工程实际应用,提出太阳能光伏发电系统容量的计算方法,供工程设计参考使用。

1 光伏发电系统构成

太阳能光伏发电系统(简称 PV 系统)是利用光伏组件半导体材料的“光伏效应”将太阳光辐射能直接转换为电能的一种直接发电系统,是由光伏电池板、控制器、电能存储和变换环节构成的发电与电能变换系统^[1]。按照与电力系统关系分为两类,即:独立型光伏发电系统(又称离网型光伏发电系统)和并网型光伏发电系统(又称联网型光伏发电系统)。

1.1 独立型光伏发电系统

未与公共电网相联接的光伏发电系统称为独立型光伏发电系统。它主要用于远离公共电网的边远及人口分散的无电地区和一些特殊场所。

独立型光伏发电系统根据用电负载的特点,可分为直流系统、交流系统和交直流混合系统等几种。其主要区别是系统中是否带有逆变器。一般独立型光伏发电系统主要由光伏电池方阵、控制器、蓄电池组、直流/交流逆变器等部分组成,系统结构如图 1 所示。由于系统需要配置蓄电池储能装置,所以整个系统的造价比较高。

1.2 并网型光伏发电系统

与公共电网相联接的光伏发电系统称为并网型光伏发电系统。在有公共电网的地区,一般采用并

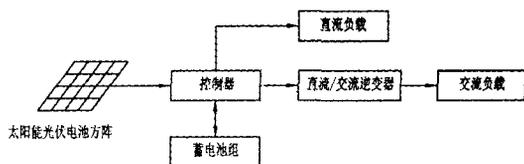


图 1 独立型光伏发电系统框图

网型光伏发电系统。根据系统是否具备向当地电网反送剩余电力的功能,分为可逆流(又称为逆潮流^[2])和不可逆流(又称为非逆潮流)两种;根据系统是否配置储能装置,分为有储能装置和无储能装置两种。

并网型光伏发电系统主要由光伏电池方阵、联网逆变器和控制器等组成,其结构框图如图 2 所示。该系统的优点是可以省去蓄电池,而将电网作为自己的储能单元。由于减少了蓄电池的投资与损耗,减少了报废的蓄电池对环境造成的污染,也间接减少了处理废旧蓄电池产生的污染,降低了系统运行成本,并网是光伏发电系统发展的合理和经济的方向。

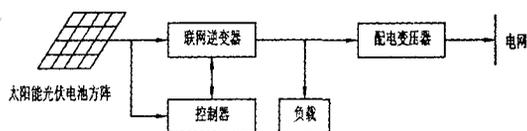


图 2 并网型光伏发电系统框图

当并网光伏发电系统与建筑相结合时,进而构成建筑光伏一体化,目前主要有两种形式:

1.2.1 建筑与光伏发电系统相结合

将光伏电池组件安装在建筑物的屋顶等处,引出端经过逆变和控制装置与电网联接,由光伏发电系统和电网并联向设备供电,多余电力向电网反馈,不足电力向电网取用。

1.2.2 建筑与光伏组件相结合

将光伏器件与建筑材料集成化。把屋顶、向阳

外墙、遮阳板甚至窗户等的材料用光伏器件代替。这就要求光伏器件应具有建筑材料所要求的隔热保温、电气绝缘、防火阻燃、防水防潮、抗风耐雪、重量较轻、具有一定强度和刚度且不易破裂等性能,还应具有寿命与建材同步、安全可靠、美观大方、便于施工等特点。如果作为窗户材料,还要能够透光。

光伏建筑一体化系统的关键技术之一,是设计良好的冷却通风,提高光伏组件的输出效率。

2 光伏电池特性及选择

2.1 光伏电池的主要特性

2.1.1 电流-电压特性

光伏电池的电流-电压关系曲线(I-U曲线),如图3所示。

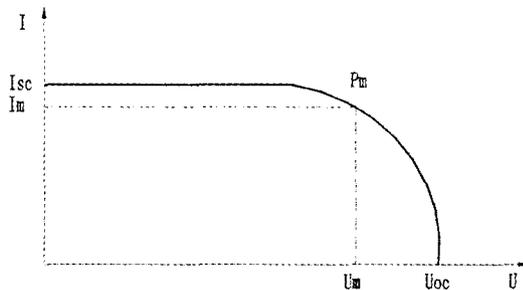


图3 常用的光伏电池电流-电压特性曲线

注:I——电流;Isc——短路电流;Im——最大工作电流;U——电压;Uoc——开路电压;Um——最大工作电压;Pm——最大功率。

① 光伏电池组件的输出功率等于流经该电池组件的电流与电压的乘积,即 $P = IU$ 。

② 当光伏电池组件的电压上升时,电池组件的输出功率亦开始增加;当电压达到一定值时,功率可达到最大(称为最大功率点);当电阻值继续增加时,功率将逐渐减少至0,电压达到开路电压 U_{oc} 。最大功率点所对应的电压为最大工作电压 U_m ,所对应的电流为最大工作电流 I_m ,该点功率为最大功率 P_m 。

③ 光伏电池组件的输出功率取决于太阳辐照度、太阳光谱分布和电池组件的工作温度。在光谱辐照度 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 、光谱 AM1.5、电池温度 25°C 的标准条件下,光伏电池组件所输出的最大功率被称为峰值功率 P_{\max} 。

2.1.2 填充因子

又称曲线因子(FF),系指光伏电池最大功率(P_{\max})与开路电压(U_{oc})和短路电流(I_{sc})乘积的比值,关系如式(1)所示。它是评价光伏电池输出特性好坏的一个重要参数,它的值越高,表明光伏电池

输出特性越趋近于矩形,电池的光电转换效率越高。

$$FF = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{U_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{P_{\max}}{U_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (1)$$

2.1.3 光电转换效率

光伏电池的光电转换效率 η 是指电池受光照时的最大输出功率 P_m 与照射到电池上的入射光的功率 P_{in} 的比值,如式(2)所示。它是衡量电池质量和技术水平的重要参数,它与电池的结构、结特性、材料性质、工作温度、放射性粒子辐射损伤和环境变化等有关,其中与制造电池半导体材料禁带宽度的关系最为直接。

$$\eta = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \quad (2)$$

2.1.4 温度对输出性能的影响

温度的变化会显著改变光伏电池的输出性能。当温度升高时,I-U曲线形态改变,填充因子下降,故光电转换效率随温度的增加而下降。

2.2 光伏电池的选择

2.2.1 光伏电池方阵

光伏电池单体是光电转化的最小单元,将光伏电池单体进行串并联并封装后,就成为光伏电池组件。光伏电池组件再经过串并联并装在支架上,就构成了光伏电池方阵,满足负载所要求的输出功率。

2.2.2 光伏电池性能比较

光伏电池按照材料可分为:硅光伏电池(单晶硅光伏电池、多晶硅光伏电池等)、化合物半导体光伏电池、有机半导体光伏电池、薄膜光伏电池(主要有非晶硅薄膜光伏电池)。

工艺成熟的晶体硅光伏电池具有相对较高的转换效率,但成本较高,而且制作全过程中要消耗很多能源。基于薄膜技术的非晶硅光伏电池,大大减小了半导体材料的消耗,降低了成本^[3],但受到光的照射以后,材料的性能会退化,电池的性能变差,特别是转换效率将降低。

非晶硅光伏电池与晶体硅光伏电池性能比较如表1所示。

2.3 光伏电池方阵容量的计算

光伏发电系统的设计应与远期发展规划相结合,光伏电池方阵容量宜以近期设备负荷容量为主,土建设施等方面宜与远期规划相结合^[4]。

2.3.1 独立型光伏发电系统

首先根据当地气象地理条件,确定光伏电池方阵面上的年总辐射量、日辐射量、峰值日照时数(应考虑最差月);然后计算负载的数量、功率、日工作

表 1 非晶硅光伏电池与晶体硅光伏电池性能对照表

电池类型	非晶硅薄膜电池		晶体硅电池	
电池名称	非晶硅(a-Si)		多晶硅	单晶硅
制造成本	低		较高	高
光电转换效率(%)	6~8		10~14	14~17
原材料来源	广泛		较缺	紧缺
发电性能	弱光发电		强光	强光
日发电时间(h)	10~13		8~10	8~10
透光度	半透明、透明		不透明	不透明
使用寿命(年)	20~25		20~25	20~25

小时数,根据负载功率确定系统的直流电压(即蓄电池的电压);再根据峰值日照时数计算出光伏组件的容量,最后根据光伏组件的容量确定光伏组件串并联情况,确定光伏组件方阵的总功率。同时根据蓄电池容量的计算结果,将光伏电池组件、蓄电池用量之间进行相互匹配优化。

① 光伏电池组件串联数

$$N_s = V/V_f \quad (3)$$

式中: N_s ——光伏电池组件串联数(个),取整数;

V ——直流系统电压(蓄电池的电压)(V);

V_f ——蓄电池组充电电压(V)。

② 光伏电池组件并联数

$N_p =$

$$\frac{P_l \cdot H}{V \cdot H_p \cdot I_{mp} \cdot K_{p1} \cdot K_{p2} \cdot K_{p3} \cdot K_{p4} \cdot K_{p5} \cdot K_{p6}} \quad (4)$$

$$H_p = Q \cdot r \quad (5)$$

式中: N_p ——光伏电池组件并联数(个),取整数;

P_l ——设备负载功率(W);

H ——日工作小时数(h);

V ——系统直流电压(V);

H_p ——峰值日照小时数(h);

I_{mp} ——光伏电池组件最大工作电流(A);

K_{p1} ——蓄电池充电效率,可取 0.8~0.9;

K_{p2} ——逆变器转换效率,可取 0.8~0.9;

K_{p3} ——配电损失系数,可取 0.95~0.98;

K_{p4} ——方阵组合损失系数,可取 0.95~0.98;

K_{p5} ——尘埃遮挡损失系数,可取 0.9~0.95;

K_{p6} ——温度补偿系数,可取 0.9~0.98;

Q ——光伏电池方阵面上的日辐射量(cal/cm^2), $1\text{cal}/\text{cm}^2 = 4.1868\text{J}/\text{cm}^2$;

r ——换算系数,取 0.0116。

上述各系数取值可根据安装场所的实际情况和厂家资料进行选择和调整。

③ 光伏电池方阵的总功率

$$P = N_s \cdot N_p \cdot P_{max} \quad (6)$$

式中: P ——光伏电池方阵的总功率(W_p);

N_s ——光伏电池组件串联数(个);

N_p ——光伏电池组件并联数(个);

P_{max} ——单块光伏电池组件峰值功率(W_p)。

2.3.2 并网型光伏发电系统

并网型太阳能光伏发电系统光伏电池组件或阵列的计算不同于独立型,光伏电池组件或阵列的选择和计算可借鉴《民用建筑太阳能光伏系统设计规范》(征求意见稿)进行。

① 首先根据建筑设计的要求确定光伏电池的形式、规格、安装位置及安装面积^[5];

② 其次根据光伏电池组件规格及安装面积确定并网光伏发电系统标准面积;

③ 根据系统容量、负荷性质及并网电压确定并网调节器(逆变器)的形式和数量;

④ 根据功率调节器额定直流工作电压及最大功率跟踪控制范围,以及单块电池组件的最大工作电压(即峰值电压)确定电池组件的串联数:

$$N_s = V/U_{mp} \quad (7)$$

式中: N_s ——光伏电池组件串联数(个),取整数;

V ——功率调节器(逆变器)直流工作电压(V);

U_{mp} ——单块光伏电池组件峰值电压(V)。

应注意,计算所得的电池组件串联数乘以单块光伏电池组件的开路电压不应超过光伏电池的系统电压,同时还应考虑温度对光伏电池组件的影响。

⑤ 根据功率调节器的额定容量及串联电池组件的容量确定光伏电池组件的并联数:

$$N_p = \frac{P_o}{P_{max} \cdot N_s} \quad (8)$$

式中: N_p ——光伏电池组件并联数(个),取整数;

N_s ——光伏电池组件串联数(个);

P_o ——功率调节器额定容量(W);

P_{max} ——单块光伏电池组件峰值功率(W_p)。

⑥ 根据已确定的光伏系统标准总容量及单台功率调节器额定容量确定功率调节器的个数:

$$N = P/P_g \quad (9)$$

式中: N ——功率调节器的数量(个),取整数;

P ——系统标准总容量(W);

P_g ——单台功率调节器额定容量(W)。

3 控制、逆变与保护

3.1 控制器

控制器是光伏发电系统的核心部件之一。控制器一般具备如下功能:信号检测、蓄电池最优充电控

制、蓄电池放电管理、设备保护、故障诊断定位和运行状态指示等。

控制器的选择是根据系统功率、电压、方阵路数、蓄电池组数和用户的特殊要求确定的。控制器容量,采用单台时宜以远期负荷配置,采用多台并联时宜以近期负荷配置。

控制器的系统电压与蓄电池的电压应一致,控制器的最大输入电流取决于光伏电池方阵的电流,小型控制器一般只有一路光伏电池方阵输入,大型控制器通常采用多路输入。控制器的输出电流取决于输出负载的电流。

3.2 逆变器

逆变器是将直流电转换成交流电的设备。按运行方式,可分为独立运行逆变器和并网逆变器。

3.2.1 独立运行逆变器

逆变器一般具备输出电压自动调节功能,一般设以下保护:输出短路、过流、输入欠压、输入过压、输入反接及防雷保护^[6]。

3.2.2 并网逆变器

并网逆变器与独立运行逆变器不同之处是,不仅将光伏电池发出的直流电转换为交流电,并且还转换的交流电的频率、电压、电流、相位、有功无功、同步及电能品质等进行控制,一般设以下保护:过/欠压、过/欠频、防孤岛效应^[7]、恢复并网、直流端过/欠压、防反放电、极性反接、过载、短路及防雷保护。逆变器设置通讯接口,实现自动开关机^[8]、软启动、最大功率点跟踪。

3.2.3 逆变器的选择

根据负载的类型确定逆变器的功率和相数,根据负载的冲击性决定逆变器的功率余量。对于独立光伏发电系统,当负载的种类不可能完全预知时,选用逆变器的时候要有适当的余量,以保证系统的耐冲击性和可靠性。

4 蓄电池的选择与计算

光伏发电系统中蓄电池的功能是储存光伏电池方阵受光照时所发出电能并可随时向负载供电。光伏发电系统对蓄电池的基本要求是:自放电率低、使用寿命长、深放电能力强、充电效率高、少维护和免维护及工作温度范围宽。

目前与光伏发电系统配套使用的蓄电池主要是

铅酸蓄电池,特别是阀控式密封铅酸蓄电池,室外宜选用阀控式密封型蓄电池。

酸蓄电池容量宜按近期设备负荷配置,选用耐过充过放性能好的蓄电池。

蓄电池容量的计算,需要考虑光伏电池方阵功率、负载容量以及逆变器的效率等因素,计算公式为:

$$C = \frac{1000 \cdot D \cdot Pl}{Kb1 \cdot Kb2 \cdot Kb3 \cdot V} \quad (10)$$

式中: C ——蓄电池容量(A·h);

D ——最长连续无日照小时数(h);

Pl ——设备负载功率(kW);

$Kb1$ ——蓄电池的放电深度系数,可取0.5~0.7;

$Kb2$ ——逆变器转换效率系数,可取0.8~0.9;

$Kb3$ ——配线损失系数,可取0.95~0.98;

V ——系统的直流电压(V)。

5 结束语

新建敦煌铁路沿线于小宛、甜水井、瓜洲站设立了3座10kW独立式并同时可实现并网运行的光伏发电站,系统容量均按照上述计算公式设计,目前已建成并投入运营,运行状况良好。关于光伏电池方阵、蓄电池组容量计算中各种系数的取值可根据工程实际情况进行调整,系统容量的计算还将在以后的工程中不断完善,并加以修订。

参考文献:

- [1] 王长贵,王斯成. 太阳能光伏发电实用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 太阳光发电协会[日]编. 刘树民,宏伟译. 太阳能光伏发电系统的设计与施工[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [3] 赵争鸣,刘建政,孙晓瑛,袁立强. 太阳能光伏发电及其应用[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [4] 通信工程委员会. 太阳光伏电源系统安装工程设计规范[G]. CECS 84:96. 福州:1996.
- [5] 中国可再生能源学会太阳能建筑专业委员会. 民用建筑太阳能光伏系统设计规范[G]. 2006.
- [6] GB/T20321.1-2006, 离网型风能、太阳能发电系统用逆变器[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [7] GB/T19939-2005, 光伏系统并网技术要求[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [8] GB/Z19964-2005, 光伏发电站接入电力系统技术规范[S]. 北京:中国标准出版社,2005.