

扬州智能电网输变电状态监测系统应用研究

吴晨曦

(扬州供电公司,江苏扬州 225000)

摘要:目前,国内设计风光互补系统配置一般采用经验来估算,这往往会造成系统装机容量严重不足或者过剩现象。风光互补独立供电系统的优化配置可看作一个多目标优化问题,2个冲突的目标是极大化供电可靠性和极小化成本。文中供电可靠性采用计算机软件模拟蓄电池组一年的每日的荷电状态值(SOC)来验算保证;成本的优化可采用遗传算法动态搜索模式,搜索计算出最小化系统配置花费。结合扬州智能电网输变电状态监测系统的具体建设,将风光互补前端供电技术在该项目中的成功应用进行了详细介绍。

关键词:智能电网;输变电状态监测;风光互补储供电;遗传算法(GA)

中图分类号: TM72

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)06-0043-04

智能电网是对电网未来发展的一种愿景,即以包括发电、输电、配电、储能和用电的电力系统为对象,应用数字信息技术和自动控制技术,实现从发电到用电所有环节信息的双向交流,系统地优化电力的生产、输送和使用。输变电状态监测系统是智能电网建设中的一个重要子项,而其前端供电技术的研究,是关乎整个系统顺利运作的核心环节之一。

1 风光互补储供电系统基本原理

风光互补发电系统是对风能和太阳能的综合利用,由于太阳能与风能的时间上和地域上都有很强的互补性。白天太阳光最强时,风很小,晚上太阳落山后,光照很弱,但因地表温差变化大而风能加强。在夏季,太阳光强度大而风小,冬季,太阳光弱而风大。太阳能和风能的时间上的互补性使风光互补发电系统在资源上具有最佳的匹配性,风光互补发电系统是资源条件最好的独立电源系统。

风光互补联合供电装置的组成如图1所示。主要由大功率的太阳能电池板、轻便高效的低风速启动型碳纤维叶片风力发电机、大储存容量的胶体电池组、先进的太阳能充电控制器及逆变器等组成。

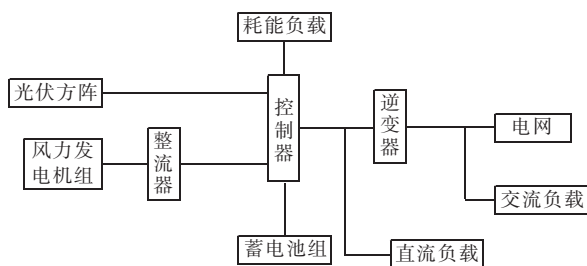


图1 风光互补发电系统组成示意图

在风力达到一定风速时,风力发电机组将风能转换为交流形式的电能,但由于所产生的交流电压不很

稳定,所以必须通过整流器整流,给蓄电池充电。而光伏方阵由若干太阳能电池板串联和并联构成,其作用是把太阳能直接转换为直流形式的电能,也向蓄电池充电。蓄电池起着储存和调节电能的作用,当日照充足或风力很大导致产生的电能过剩时,蓄电池将多余的电能储存起来;当系统发电量不足时或负荷用电量增加时,则由蓄电池向负荷补充电能,并保持供电电压的稳定。为此需要设计专门的控制器,根据日照的强弱、风力的大小及负荷的变化,不断对蓄电池的工作状态进行切换和调节,使其在充电、放电或浮充电等多种工况下交替运行^[1-3]。

2 风光互补储供电系统的优化

目前风光互补发电系统的部件价格比较贵,据估算,在上兆瓦级的大型风光互补系统中,科学合理地配制可以比一般的估算配制要节省1/3左右的成本。所以,科学合理的系统配置设计是风光互补系统推广应用所亟待解决的问题。

2.1 优化设计步骤

以蓄电池为主储能装置的风光独立发电系统,希望尽量做到全年各月都能均衡发电,这样配置的蓄电池容量可以减小,也可以减少系统的无效能量损失,提高系统的整体效率。但是对于风光发电系统,采用传统的算法,对于大多数地区而言,太阳能和风能资源的互补性总是不很理想。本文优化设计中提出一种建立各个部件的数学模型,以时间为步长进行系统性能的模拟,并以此为基础试图找出联系有限个气象特征参数和系统配置关系的公式。在优化配置计算中,要考虑到光伏组件和风力发电机的发电量在随季节变化而变化。优化配置的主要步骤:(1) 建立模型算法的参数输入数据库,包括各种部件单体的商业性质的特性参数和年维护费用等数据。(2) 建立系统各部件的数学模型,并采用计算机模拟来检验一个系统的配置包括必

要数量的系统部件和安装的细节是否满足一年中负载的需求。(3) 对第二步骤符合要求的各种配制,使用遗传算法的动态搜索模式,搜索计算出最小化系统配置花费。

系统的控制目标就是在最大限度利用光伏发电量和满足负载需求的前提下,使蓄电池工作在优化的充放电状态中,并使其充放电循环次数尽可能少。优化配置算法将主要针对光伏电池,风力发电机和蓄电池的尺寸及数量来进行优化配置。在优化配置计算中,要考虑到光伏组件和风力发电机的发电量在随季节变化而变化。优化的光伏组件和风机的大小可以被定义为:

$$\text{最小化系统费用} = c_s \times a_s + c_w \times a_w \quad (1)$$

约束条件:

$$d(t) \leq W(t) \times a_w + S(t) \times a_s \quad (2)$$

式(1,2)中: a_w 和 a_s 分别为风机和光伏的尺寸, m^2 ; c_w 和 c_s 分别代表相应的单位费用,元/ m^2 ; $d(t)$ 为每天负载的平均日需求量, $\text{kW}\cdot\text{h}$; $W(t)$ 和 $S(t)$ 分别为风机和光伏电池的单位面积发电功率, $(\text{kW}\cdot\text{h})/\text{m}^2$ 。

为了长期可靠地满足负荷需要,本文采用了Hybrid2应用软件,该软件根据输入的联合发电系统结构、负载特性以及安装地点的风速、太阳辐射数据获得一年8760h的模拟运行结果。为了精确确定系统每小时的运行状态,采用了更精确地表征组件特性及评估实际获得的风光资源的数学模型。每24h为一段,用每小时的平均风速,太阳辐射度和负载大小的数据来计算发电和负载需求量的差值 ΔP 。使用一种模拟多次不同的风机和光伏组件的数量,使 ΔP 的值为近似为0的迭代方法来确定最终优化后的风机和光伏组件的数量。通过计算每种配置的年费用,最后选择出最低费用的为最优配置。此算法的流程框图如图2所示。

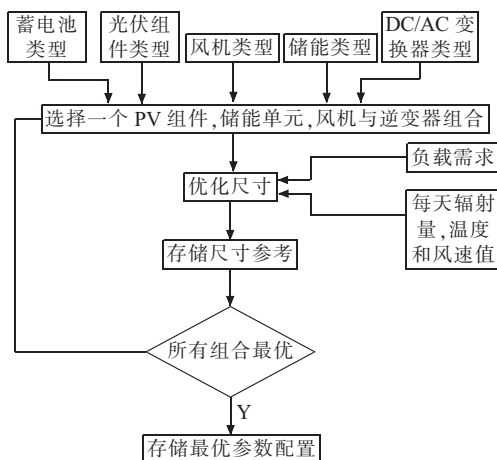


图2 优化算法流程图

2.2 优化指标

2.2.1 蓄电池组的荷电状态(SOC)

SOC是描述蓄电池状态的一个重要参数,通常把

一定温度下蓄电池充电到不能再吸收能量的状态定义为SOC 100%,而将蓄电池再不能放出能量的状态定义为SOC。采用电量累积法来验算SOC,即通过累积蓄电池在充电或放电时的电量来估计电池的SOC,并根据安装当地的气象条件(日照度和平均风速),利用Hybrid2工具软件在计算机上模拟一年中蓄电池的充放电电量。

2.2.2 系统首期投资

各组件的价格对优化配置的数量起到很大的影响,设计者应该对各组件的各方面价格情况有详细地了解。(1) 风力发电系统:风力发电部分除风轮、齿轮箱及发电机外,还要添加相应的控制器。另外,还需要较高的塔架以安装风轮。对于较大型的风力机,还要在安装之前修筑运输道路。(2) 光伏发电系统:光伏模板需配备整流器等调节设备,另外还有固定方阵所需的支架。(3) 蓄电池:需视容量配备相应的充放电控制器,还需配备相应的直流/交流转换器。

2.3 优化系统数学模型

在这种算法中,系统的运行是一年中以1h为间隔来进行模拟。而在这个间隔内,假定风机和光伏阵列产生的电能是一个恒值。因此,这些组件在这个间隔(1h)内产生的能量可以用数学公式来表示。根据光伏阵列的 $I-V$ 特性及负载要求,光伏阵列有 N_p 个组件的并联和 N_s 个组件的串联。光伏阵列在第 i 天($1 \leq i \leq 365$)的 t 小时($1 \leq t \leq 24$)内的最大功率输出点:

$$P_M^i(t, \beta) = N_s \cdot N_p \cdot V_{OC}^i(t) \cdot I_{SC}^i(t, \beta) \cdot FF^i(t) \quad (3)$$

$$I_{SC}^i(t, \beta) = \left\{ I_{SC,STC} + K_I [T_C^i(t) - 25] \right\} \frac{G^i(t, \beta)}{1000} \quad (4)$$

$$V_{OC}^i(t) = V_{OC,STC} - K_V T_C^i(t) \quad (5)$$

$$T_C^i(t) = T_A^i(t) + \frac{T_{NOCOT} - 20}{800} G^i(t, \beta) \quad (6)$$

式(3—6)中: $I_{SC}^i(t, \beta)$ 为光伏组件的短路电流值,A; $I_{SC,STC}$ 为在标准状态下的短路电流值,A; $G^i(t, \beta)$ 为光伏电池板在 β 度的倾斜面所接受到的总辐射度, W/m^2 ; K_I 为短路电流的温度系数, $\text{A}/^\circ\text{C}$; $V_{OC}^i(t)$ 为开路电压值,V; $V_{OC,STC}$ 为标准状态下的开路电压值; K_V 为开路电压的温度系数, $\text{V}/^\circ\text{C}$; $T_A^i(t)$ 为环境温度, $^\circ\text{C}$; T_{NOCOT} 为制造商提供的太阳能电池的正常工作温度, $^\circ\text{C}$; $FF^i(t)$ 为填充因子,它可以由组件制造商提供。

$G^i(t, \beta)$ 由每天水平面上的日照度来计算。太阳能方阵的倾角选择在使冬天和夏天辐射量差异尽可能小,而全年总辐射量尽可能大,二者应兼顾。光伏阵列中太阳能组件的串联数量由蓄电池最大输入电压 V_{DC}^m

和单个光伏组件的最大开路工作电压 V_{OC}^m 来确定:

$$N_s = \frac{V_{DC}^m}{V_{OC}^m} \quad (7)$$

在实际工程计算中, N_s = 系统直流电压 (蓄电池电压) / 单个组件的工作电压。在 i 天内, 光伏组件电量实际给储能部件充的电量值 $P_{PV}^i(t, \beta)$ 与光伏阵列最大输出功率 $P_M^i(t, \beta)$ 的比值定义为电池的转换因数:

$$n_s = \frac{P_{PV}^i(t, \beta)}{P_M^i(t, \beta)} = n_1 \times n_2 \quad (8)$$

式(8)中: n_1 为由制造商提供蓄电池的工作效率, %; n_2 为转换因子, 它取决于电池的充电模型算法, 并表示实际光伏组件的发电和相对应的最大功率输出点之间的差异。如按照理想的光伏最大功率点跟踪(MPPT)原则运行, 则 $n_2 \approx 1$, 其他情况下它是一个小于 1 的变值。根据目前测量得到, 大部分地区太阳辐射度的值在 $0 \sim 900 \text{ W/m}^2$ 变化, 所以转换因子的平均值在 70% 左右。光伏电池变换器(DC/DC)的数量可由下式确定:

$$N_{ch}^{PV} = \frac{N_{PV} \times P_{PV}^m}{P_{ch}^m} \quad (9)$$

式(9)中: P_{PV}^m 为单位光伏组件在标准能量下的最大功率输出, W; P_{ch}^m 为所选的 DC/DC 变换器容量等级, W。这 2 个参数都是由产品制造商提供。

风机的风速和输出功率之间关系图是由风机制造商标定, 该关系可以表示出风能转换为电能的趋势。如果知道准确的风机功率特性就可以通过调节风机发电电流的大小, 实现 MPPT, 使风机的换能效率提高^[4]。在能量平衡优化过程中, 安装高度为 h 米的风机在 i 天 t 小时发电转化到储能元件后的值记作 $P_{WG}^i(t, h)$, 可以由以下的线性关系式确定:

$$P_{WG}^i(t, h) = p_1 + [v^i(t, h) - v_1] \frac{P_2 - P_1}{v_2 - v_1} \quad (10)$$

式(10)中: $v^i(t, h)$ 为高度是 h 米的风速(m/s)功率和风速对, $v_1 < v^i(t, h) < v_2$ 。可以根据以下的关系来计算 h 米处的风速:

$$v^i(t, h) = v_{ref}^i(t) \cdot \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^a \quad (11)$$

式(11)中: $v_{ref}^i(t)$ 为在参考高度 h_{ref} 米试验风速的输入参数, a 幂指数的取值范围在 $1/7 \sim 1/4$ 之间, 在这里取 $\alpha = 1/4$ ^[5]。

蓄电池单元主要参数为容量, 用符号 C_n 表示, 通常在 C 的下角处标明放电时率, 如 C_{10} 表明 10 h 放电

率, C_{120} 表明 120 h 率放电。蓄电池的放电深度(DOD), 在优化过程开始的时候由设计者确定:

$$C_{min} = D_{DOD} \times C_n \quad (12)$$

式(12)中: C_{min} 为蓄电池在放电过程中的最低电量值, A·h; D_{DOD} 为蓄电池的放电深度, %。

根据光伏组件和风机产品及负载实际需求, 蓄电池充放电过程可以在数学上模拟成以下公式:

$$C^i(t) = C^i(t-1) + n_B \frac{P_B^i}{V_{BUS}} \Delta t \quad (13)$$

$$C^i(24) = C^{i+1}(0) \quad (14)$$

式(13, 14)中: $C^i(t)$, $C^i(t-1)$ 蓄电池在 i 天内 t 和 $t-1$ 小时的容量, A·h; n_B 是蓄电池在充放电过程中的效率; V_{BUS} 为直流母线电压; P_B^i 为电池充/放电能量 (在放电时 $P_B^i < 0$, 在充电时候 $P_B^i > 0$); Δt 为模拟的时间段, 在这里令 $\Delta t = 1 \text{ h}$ 。蓄电池的串联数量 n_B^s 由直流母线电压和各个单体电池的工作电压来确定:

$$n_B^s = \frac{V_{BUS}}{V_B} \quad (15)$$

蓄电池单元的容量与总的电池数量, 串联数和每个单体电池的容量有关:

$$C_n = \frac{N_{BAT}}{n_B^s} \quad (16)$$

利用以上源于模拟算法的模型方程来检验基于能量算法的成本函数的最小化方法, 是否满足整个一年当中负载容量的需求。目前国内设计风光互补系统配置一般采用经验来估算, 这往往会造成系统装机容量严重不足或过剩现象。风光互补独立供电系统的优化配置可看作一个多目标优化问题, 2 个冲突的目标是极大化供电可靠性和极小化成本。早期对这问题的研究有非线性规划、整数规划、二次规划、动态规划等。其研究较为成熟, 并取得了一定的效果。但这些方法也有明显的局限性。现代风光互补系统规模越来越大。控制量越来越多, 其解空间是多维、复杂的, 这些方法不容易实现全局最优。多数情况下只能找到局部最优解。

遗传算法(GA)是一种崭新的全局优化算法, GA 的搜索过程是从一群初始点开始搜索, 而不是从单一的初始点开始搜索, 这种机制意味着搜索过程可以有效地跳出局部极值点。GA 在形式上简单明了, 不仅便于与其他方法的相结合, 而且非常适合于大规模并行计算机运算, 因此可以有效地用于解决复杂的风光互补系统模拟和优化问题。

3 风光互补储供电系统为本项目前端装置供电

在本项目中, 前端设备(包括: 高清视频装置、微气

象装置、全工况装置、无线通信终端装置等)均采用了高效的经特别设计的风光互补联合供电装置进行供电,确保高清视频装置、全工况装置能 3×24 h 不间断运行,微气象装置能 15×24 h 不间断运行。

考虑到扬州市属于微风地区,常年风力不大(如表 1 所示),而且 110 kV 输电线路铁塔及杆塔承受力有限,经过对多款风机发电特性的对比试验,最后选择了启动风速仅为 2.68 m/s、重量不超过 6 kg、额定功率可达 200 W 的自带内置控制器的免维护型碳纤维叶片风力发电机。在扬州现场将近 16 个月的实际运行情况表明,该款风力发电机组安装方便、运行稳定、性能优异,在阴雨天气和夜间对太阳能发电形成了有力补充,从而确保了蓄电池中始终有比较充足的电量,支持前端设备安全渡过连续无风无太阳极端天气。

表 1 扬州地区年平均风速表 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

月份	1	2	3	4	5	6
扬州	3.7	3.7	3.5	3.3	3.0	2.9
月份	7	8	9	10	11	12
扬州	3.0	2.9	2.9	2.8	3.2	3.4

在太阳能发电组件方面,根据前端设备总的电源功率和容量的不同要求,采用每套视频装置供电系统配置 4 块太阳能电池板(高配)和每套微气象装置供电系统配置 2 块太阳能电池板(低配)的不同的供电配置方案。单块单晶硅太阳能电池组件额定功率 150 W/块,转换率达 15% 以上,使用寿命达 20 年以上。从而尽可能保证在阳光充足的时候有足够的发电用来储存,以供系统夜间及无风天气下运行。根据对供电系统数月的实际运行情况分析,纯粹单靠风力发电或太阳能发电均无法保证系统能做到 3×24 h 不间断运行,只有采用高效的风光互补联合供电技术才能保证系统的 3×24 h 不间断运行。对于蓄电池组容量的选择,一方面要考虑与风光互补供电装置相匹配,另一方面要考虑其理论蓄电量能否支持系统 3×24 h 不间断运行。因在无

风无太阳即系统无法发电的天气下,系统前端设备的不间断运行时间长短就主要取决于蓄电池组蓄电量的大小。在本项目中,选用了大容量高性能免维护专用太阳能胶体电池,单块电池容量达 200 ($\text{A}\cdot\text{h}$)/块,可在 $-40\sim 60\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内使用,使用寿命为 5~7 年。对应于高配情况,配置了 4 块电池,总容量达 800 $\text{A}\cdot\text{h}$;对应于低配情况,配置了 2 块电池,总容量达 400 $\text{A}\cdot\text{h}$ 。

4 结束语

扬州项目前端设备已经过近 16 个月的连续运行考验,到目前为止,视频监控装置、微气象装置、全工况装置及无线通信装置无论白天还是晚上基本未发生由于供电不足而导致前端设备停运的情况。本项目在前端设备采用的风光互补联合供电系统,以及该系统所采用的优化配置方案,具有稳定、可靠地特性,具有一定的推广价值。该系统的稳定运行,是整个智能电网输电线路状态监测系统顺利运行的重要基石。

参考文献:

- [1] 何勇琪,张建成,鲍雪娜. 并网型风光储混合发电系统中储能系统容量优化研究[J]. 华北电力大学学报, 2012, 39(4): 1-5.
- [2] 冬雷,廖晓钟,刘广忱,等. 分布式风光互补发电系统及其多目标优化控制策略研究[J]. 仪器仪表学报, 2005, 08(26): 750-753.
- [3] 丁晓群,陆鹏程,周玲. 智能配电网 AVC 技术探讨[J]. 2011, 30(2): 52-54.
- [4] HABIB M A, SAID S A M, E-I Hadidy M A, et al. Optimization Procedure of Hybrid Photovoltaic Wind Energy System[J]. Energy, 1999, 24(11): 919-929.
- [5] BOROWY B S, SALAMEH Z M. Methodology for Optimally Sizing the Combination of a Battery Bank and PV Array in a Wind/PV Hybrid System [J]. IEEE Transaction on Energy Conversion, 1996, 11(2): 367-375.

作者简介:

吴晨曦(1985),男,江苏扬州人,助理工程师,从事电力基建方面的工作。

Research on State Detection System Application in Yangzhou Smart Grid

WU Chenxi

(Yangzhou power supply company, Yangzhou 225000, China)

Abstract: At present, the design of wind-solar hybrid power supply systems is based on personal experiences which could cause a deficient or excess in installed generation capacity. The design of standalone wind-solar hybrid power supply systems could be taken as a multi-objective optimization problem whose two objectives are maximizing systems' reliability and minimizing cost. The power supply reliability is guaranteed by checking a single year's battery's SOC which is mimicked by computer software, and the minimal cost for designing a wind-solar hybrid power supply system is searched by a dynamic GA. Combing with the concrete construction of Yangzhou smart grid state detection, the successful application of wind-solar hybrid power supply systems technology is introduced in detail.

Key words: smart grid; state detection; wind-solar hybrid power supply; GA