

风电场与抽水蓄能电站联合供电 的系统规划初探

⑦
28-31

顾圣平 索丽生

(河海大学 南京 210098)

TM 715

摘要 阐述风电场出力过程随风速变化的特性以及抽水蓄能电站可根据电力系统的需要选择抽水工况或发电工况运行的灵活性,对风电场与抽水蓄能电站联合供电方式的系统规划问题进行探讨,提出将风电场及抽水蓄能电站装机规模选择与系统总体经济性分析相结合的系统规划模型。使得风电场与抽水蓄能电站联合供电成为一种较为理想的供电方式。

关键词 风力发电 抽水蓄能电站 系统规划 数学模型 装机容量 优化

由于煤炭、石油等非再生性能源的开发利用不可避免地要受到自然资源储量的限制;同时,以煤炭、石油等为燃料的火电厂(我国目前的主力电源)的建设还要受到环境保护要求等方面的制约,因此,大力加强包括风能资源在内的洁净的可再生新能源的开发利用,发展风电等新能源发电事业是非常必要的。

据估算,我国风能总储量约为 2.23×10^{13} kW·h,年风功率储量 4.8×10^9 kW,可开发风能资源 2.53 亿 kW。而我国 1994 年底风电总装机仅 30145 kW。现在,国家已制定了到本世纪末全国风电总装机达到 100 万 kW 的目标,并已列入全国电力发展规划。可见,我国风能资源的开发利用是很有前途的。

天然风能资源本身具有随机性较强、稳定性较差等特点。为了利用天然风能资源,生产并提供较为稳定的电力,国内外已研制了多种类型的风/柴联合供电系统,如风/柴交替供电系统,风/柴/蓄联合供电系统等,而这些系统一般适合于中小型风力发电机。目

前,一般是通过限制风电容量在系统中的比重(如不超过 5%)来保证系统的可靠性,这就使大量洁净的、可再生的天然风能资源难以得到充分的开发利用,为了大规模地充分开发利用天然风能资源,必须针对风能资源不稳定的特点,解决大规模能量储存与转换设施选择与建设问题。将风力发电与水电能源建设结合起来,尤其是在有条件时,采用风电场与抽水蓄能电站联合供电,可望成为一种理想的供电方式。本文旨在探讨这种风电场与抽水蓄能电站联合供电方式的系统规划问题。

1 风电场的工作特性

风力发电是利用天然风能推动风力机带动发电机发电的。如果风力机的工作风速以 v 表示,空气密度以 ρ 表示,风轮旋转面积以 A 表示,风力发电机的效率以 ξ 表示,(一般可取 0.4~0.45),则风力发电机的输出功率为:

$$N = \frac{1}{2} \xi \rho A v^3 \quad (1)$$

式(1)表明,风力发电机的出力与风速的立方成正比。而天然风速的随机性决定了风

第一作者简介:顾圣平,男,副教授,从事水电能源系统规划研究,曾发表《水电站群装机容量选择的双层优化数学模型》等论文。

电场工作的不稳定性,在风电场装机规模一定的条件下,其出力过程随风速的变化而变化,往往与电力用户的负荷需求变化不一致。因而当风电场并网运行时,一般不能承担电力系统的调峰任务。

2 抽水蓄能电站的工作特性

抽水蓄能电站实质上是一种能量储存与转换的设施,它利用电力系统负荷低谷时的多余电能将水从下水库抽至上水库,将吸收的电能以水能形式储存起来,待负荷高峰时,利用上水库所蓄水量发电,将水能转变为电能。抽水蓄能电站的这种工作方式,使电力系统内火电站及其它电站可以保持较高的运行效率,降低单位电能燃料消耗,并因其运行灵活、可靠而可较好地承担系统调峰、备用任务,从而使系统供电稳定可靠。

在发电和抽水两种工况下,蓄能电站生产电能与吸收电能之间的关系为

$$E_{\text{发}} = \eta_{\text{综}} E_{\text{抽}} \quad (2)$$

式中 $E_{\text{抽}}$ 为蓄能电站抽水所耗电能; $E_{\text{发}}$ 为蓄能电站发出的电能; $\eta_{\text{综}}$ 为抽水蓄能电站的综合效率,一般为 0.67~0.75。

当蓄能电站采用可逆式机组时,发电容量 $N_{\text{发}}$ 与抽水容量 $N_{\text{抽}}$ 之间的关系为

$$N_{\text{抽}} = 1.12 N_{\text{发}} \quad (3)$$

抽水蓄能电站的装机容量要根据系统负荷资料、系统内火电站工作特性等因素,并利用式(2)和式(3)加以确定。

抽水蓄能电站的水系统基本上是一个循环系统,除要求补充运行过程中一定的水量损失外,几乎不需要天然径流;又因其一般具有较高的工作水头,其土建工程量通常比常规水电站小;在沿海地区或在海岛上,抽水蓄能电站还可利用海洋、港湾作下水库,海水发电。由于抽水蓄能电站具有这些特性,因而,只要地形条件合适,抽水蓄能电站可建于风电场附近,与风电场联合运行。

当风电场与抽水蓄能电站联合供电且并入大电网运行时,抽水蓄能电站的运行状态

既与系统负荷大小有关,又与风电场出力大小有关。夜间负荷低谷时,抽水蓄能电站自然可利用系统多余电能抽水储能,如果夜间风速较大,风电场出力较大,蓄能电站将可利用更多的多余电能抽水储能;而在非夜间负荷低谷时间,也可能因风速较大,风电场出力较大,使系统出现多余电能,这时,蓄能电站也会出现抽水工况。由于在这样的系统中,蓄能电站可以利用更多的系统多余电能来抽水储能,因此,当风速较小,风电场出力较小,而系统负荷较大,抽水蓄能电站出现发电工况时,蓄能电站可以承担的系统峰荷就更大,从而减轻其它电站的调峰压力,并保证供电可靠性和提高系统经济性。

3 系统规划模型

假定电力系统中仅包括风电场、抽水蓄能电站及火电站,它们共同满足一定的系统负荷需求。根据上面的分析,在风电场与抽水蓄能电站联合供电且并入大电网运行时,只要系统负荷给定,风电场装机容量越大,其所发电能也越多,则系统的可供抽水电能 $E_{\text{抽}}$ 数值就越大。相应地,抽水蓄能电站发电工况下能够发出的峰荷电能 $E_{\text{发}}$ 也就越大,进而,抽水蓄能电站的装机容量亦可随之增大,而火电站的装机容量可相应减小。如果风电场的装机容量有一改变,蓄能电站及火电站的装机容量也将随之变化。由于电站的投资、年运行费用都与装机容量有关,火电站的燃料费用还与系统装机容量组合方案对应的运行方式有关,因此,风电场装机容量的变化不仅会导致自身的费用变化,还将引起系统总费用发生变化。系统规划的目标应当是寻求使电力系统总费用最低的风电场及蓄能电站和火电站装机容量的最优组合。故有目标函数式

$$\begin{aligned} \text{O.F. Min } C &= \sum_{i=1}^3 C_i = \\ &= \sum_{i=1}^3 [K_i(N_i) + U_i(N_i)] + F(N_1, N_2, N_3) \end{aligned} \quad (4)$$

式中 K, U, F 分别表示电站投资、年运行费及火电站的燃料费,均为考虑资金时间价值后的折算值; N 为电站装机容量; $i = 1, 2, 3$, 分别代表风电场、蓄能电站及火电站; C 为电力系统总费用的年值; C_i 为第 i 电站费用的年值。

应该指出,为保证所有的系统装机容量组合方案全面满足系统的负荷要求,式(4)中的 $N_i (i = 1, 2, 3)$ 应满足一系列约束条件,主要有

a. 系统容量平衡约束。

$$\sum_{i=1}^3 N_i \geq P^*(1 + \beta) \quad (5)$$

式中 P^* 为系统年最大负荷; β 为系统备用容量系数,一般考虑系统规模大小等因素确定。

b. 电站装机容量上、下限约束。

$$\underline{N}_i \leq N_i \leq \bar{N}_i \quad (6)$$

式中 $\underline{N}_i, \bar{N}_i$ 分别为电站可能的最小、最大装机容量,可以考虑电站的地形及其它自然条件等因素分析确定。对抽水蓄能电站,发电容量还应满足式(3)。

c. 系统运行约束。当系统日负荷曲线给定时,若 $P_t (t = 1, 2, \dots, 24)$ 表示第 t 小时的系统负荷值, $N_{it} (i = 1, 2, 3)$ 分别表示风电场、蓄能电站及火电站第 t 小时的出力, $N_{抽t}$ 表示蓄能电站第 t 小时的抽水负荷,则对应于蓄能电站抽水工况期间 ($t \in T_{抽}$) 应有

$$N_{抽t} = N_{1t} + N_{3t} - P_t \quad t \in T_{抽} \quad (7)$$

对非抽水工况期间,有

$$\sum_{i=1}^3 N_{it} = P_t \quad t \in \bar{T}_{抽} \quad (8)$$

于是,对蓄能电站有

$$E_{抽} = \sum_{t \in T_{抽}} N_{抽t} \quad (9)$$

$$E_{发} = \sum_{t \in \bar{T}_{抽}} N_{2t} \quad (10)$$

且 $E_{抽}, E_{发}$ 应满足式(2)。对风电场,其出力过程由风速变化过程确定,见式(1)。

此外,各电站在任一时间 t 的出力 $N_{it} (i = 1, 2, 3)$ 必须满足各电站自身技术条件约束

$$N'_i \leq N_{it} \leq N_i \quad \forall i, t \quad (11)$$

式中 N'_i 表示第 i 电站的允许最小出力,如火电机组的技术最小出力。

d. 其它约束。包括所有变量非负约束,系统投资能力约束等等。

应当指出,上述系统规划模型的目标函数式(4)中,火电站燃料费与火电站的运行方式有关,当系统日负荷曲线给定时,当日火电站燃料费为

$$F = f_1(N_{33}^m \cdot 24) + \sum_{t=1}^{24} f_2(N_{3t} - N_{33}^m) \quad (12)$$

$$N_{33}^m = \min_{1 \leq t \leq 24} (N_{3t}) \quad (13)$$

式中 f_1 为相应于火电站以最小出力 N_{33}^m 稳定工作时的单位电能煤耗费; f_2 为相应于火电站担任变动负荷的单位电能煤耗费,且一般有 $f_2 > f_1$ 。

对于电力系统任一可行的装机容量组合,均可根据式(1)、式(2)和式(7)~(11)分析确定 $N_{it} (i = 1, 2, 3; t = 1, 2, \dots, 24)$,从而由式(12)、式(13)求出火电站的煤耗费用。

此外,上述模型中的式(7)表明,在抽水蓄能电站抽水工况下,系统可供抽水功率等于风电场出力与系统在没有风电场情形下的可供抽水功率之和,亦即风电场此时所发电能将由于蓄能电站的作用得以以水能形式储存起来,再根据式(2)及式(9)~(10)可知,蓄能电站发电工况下的出力将较系统在没有风电场情况下的发电出力要大,即在风电场与抽水蓄能电站联合供电的情况下,原本不稳定的风电电能是可以转化为较为可靠的峰荷电能的。这种转化是通过抽水蓄能电站来实现的。正因如此,虽然风电场装机容量不能直接替代火电容量,但却可通过蓄能电站容量的增大而使火电容量有所减小。诚然,这时系统总装机容量可能大于系统必需容量,如式(5)中用的是“ $\geq$ ”而不是“ $=$ ”,但从系统长期效益来看,这一“偏大”的总装机值仍然可能是有利的,若再考虑系统节约煤炭、石油等非再生性能源资源及环境保护效益,将更

为有利。

显而易见,上述系统规划模型为非线性规划模型,根据实际情况选择合适的求解方法进行优化运算,如采用线性逼近法、罚函数法等进行求解,即可得到电力系统最优的装机容量组合方案。

4 结 语

对风电场和抽水蓄能电站工作特性的分析,可以看出风电场与抽水蓄能电站联合供电和联网运行方式,对于大规模开发利用风能资源,加快发展风电事业,不仅是必要的,而且是可行的。基于系统分析的原理,将风电场和抽水蓄能电站装机规模选择与系统总体经济性分析结合起来,提出了风电场与蓄

能电站联合供电方式的系统规划模型。由于目前国内风电规模还很小,缺乏风电场与抽水蓄能电站联合供电的实例,因此,系统规划模型有待实例验证。

参考文献

- 1 毛荷馨,侯俊娜,苑晓微.中国风能资源应用分析研究.风力发电,1990(4):1~8
- 2 全国风电场建设前期工作会议纪要.风力发电,1995(3):1~4
- 3 陆佑楣,潘家铮.抽水蓄能电站.北京:水利电力出版社,1992
- 4 肖占峻.风/柴联合供电系统的实用性及运行模式评介.风力发电,1993(4):10~15

(收稿日期:1996-10-04 编辑:许宇鹏)

·简讯·

未来灌溉技术展望

有关资料显示,未来灌溉技术将更大程度地受益于科技领域内的各种有关新技术的发展,使之更为完善,更为科学。这将包括在灌溉设备、生物技术、计算机辅助管理系统以及其它诸多技术领域内的革新等;其发展趋势已见端倪:

①未来会出现一种有效用水灌溉系统。这种系统将依靠一个计算机管理系统自动地对灌溉水量及时间进行科学的计划管理;该计算机管理系统可以通过设在田间的土壤含水量传感系统和气象资料估算出土壤的蒸发量及受监测作物对周围环境的反应。这种灌溉系统也可用来对农作物进行施肥和杀虫。

②全球定位系统(GPS)将与监测诸如土壤含水量、盐分、作物肥力及杂草虫害发生情况的各种传感系统配合作业,可以生成可用地理信息系统(GIS)处理的作物生长状况监测图;据此,可制定出具休区域内的农业生产管理方案。这类方案还将自动地传输到有关计算机控制的设备,对灌溉系统进行科学控制,及时灌水并施用化肥、农药。

③全球定位系统(GPS)将在作物成熟监测设备上应用,以便提供有关作物收割管理图;该图可以与其它实时信息参照使用,去确定作物成熟程度在空间上的差异,并向用于作物后期收割管理的管理信息系统提供额外的管理信息。

④未来的喷灌和微灌系统将可精确地控制浇水、施肥、喷药等作业;它将提供最佳生产模式并将会把农业生产对环境的危害降到最低程度。那时,农业灌溉技术将真正迈入信息时代。

新型管道插入式流量计

TH7-X

① ✓ 美国的一生产厂家 Globa Water 公司最近推出了一种新型的管道插入式流量计,可以准确测量通过管道的单位时间的流量和某一时段内的总量,可适用的管径为 50 ~ 750 mm。测量流速和流量的感应部分为可防止污物堵塞的转叶螺旋桨,使用中不会被污物堵塞,因此特别适用于农田灌溉、地下水机井、工业废水、生活污水等流量测量。这种流量计采用以电池为电源的计算机进行计算并显示所测流量,且运输方便、安装简单,不仅可以用于定点检测,也可用于野外的监测,该流量计的型号为 Global Water LF200 流量计。

(1998年2月5日《水信息》)