

发电系统中多蓄能电站的建模

宋云亭, 郭永基

(清华大学电机工程系, 北京 100084)

摘要: 针对电力系统中蓄能电站数目不断增多的情况, 在单个抽水蓄能电站建模的基础上, 建立了发电系统中多蓄能电站的随机生产模拟模型。该模型考虑了各蓄能电站的个体特征, 因而与通常的将多个蓄能电站合并为一个蓄能电站的方法相比, 文中提出的新模型有利于更细致地模拟系统运行状况, 程序可确定各蓄能电站的最优发电量和发电位置, 从而能够更精确地评估电力系统的可靠性和经济性。通过算例验证了模型的有效性。利用该算法开发的软件可用于包含多个蓄能电站的实际电力系统的效益评估, 亦可用于多蓄能电站的优化运行调度。

关键词: 多蓄能电站; 随机生产模拟; 电力系统

中图分类号: TM712

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2002)02-0010-03

随着电力系统调峰问题的日益突出, 许多电网都已建成或拟再建新的抽水蓄能电站。但当系统中有多个蓄能电站时, 如何调度这些蓄能电站, 使其能在系统中发挥最大的经济效益和社会效益。这是运行规划调度人员十分关注的问题。

尽管模拟单个蓄能电站的经济运行国内外已有不少算法^[1], 但因为多个蓄能电站的概率模拟甚为复杂, 其经济运行或最优发电量的确定仍是一个尚待解决的问题。一种办法是将多个蓄能电站合并为一个蓄能电站^[2], 但这种方法的主要问题是不能反映每个蓄能电站固有特征, 模拟所带来的误差很大。为了更精确地模拟多个蓄能电站的运行, 本文对各个蓄能电站分别进行考虑, 提出了一种新的关于多个蓄能电站运行模拟的算法, 可减少计算量和程序的复杂性, 并以算例对算法和模型进行了验证。因为除蓄能电站以外, 其它机组的概率模拟在系统有无多个蓄能电站两种情况下是相同的, 它们的随机生产模拟见参考文献[3-4]。

1 火电机组的模拟

在模拟中, 火电机组的容量分为基荷容量和峰荷容量两段, 并分别用基荷煤耗微增率和峰荷煤耗微增率来描述。火电机组基荷段的带负荷顺序就是电厂的启动顺序, 按基荷煤耗率的大小, 由小到大排列, 就得到了机组的启动顺序, 对于峰荷段的带负荷顺序, 按照峰荷煤耗微增率的大小, 由小到大排列, 就得到了峰荷段的带负荷顺序。

2 水电机组的模拟

在等效持续负荷曲线下作一矩形, 其底等于水

电机组的运行容量 C_H , 其高为水电机组在模拟周期内的利用小时数 T_H , 令 $T_H = E_A / C_H$ 。当把特征矩形向右移动, 使等效持续负荷曲线在相应的区间内的面积等于该矩形面积时, 就找到了水电机组的最佳运行位置。

3 多个抽水蓄能电站的概率模拟

3.1 电量增量函数 $E_k^n(x)$

借助文献[1]提出的等效电量函数, 可推导出电量增量函数 $E_k^n(x)$ 。该函数用来描述火电机组的第 K 分段由于提供抽水功率所增发的供给第 n 台蓄能机组的电量。如图1所示。

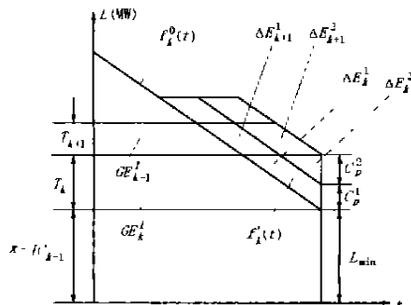


图1 电量增量函数

在投运顺序表中第 $k-1$ 台机组投运后, 等值负荷 x 处所对应的等效电量函数为

$$E_k^0(x) = T \int_x^{x+x} f_k^0(t) dt \quad (1)$$

式(1)中:

T 为研究时段的小时数;

x 为等值负荷的步长;

$f_k^0(t)$ 为第 k 台机组投运后等值负荷曲线的概率分布;上标 0 表示已投运的蓄能电站序号。同样可定义第 k 台机组为第 1 台蓄能机组提供抽水功率后的等效电量函数:

$$E_k^1(x) = T \int_x^{x+x} f_k^1(t) dt \quad (2)$$

式(2)中, $f_k^1(t)$ 为考虑第 1 台蓄能机组抽水后等值负荷曲线的概率分布;定义第 1 台蓄能机组的电量增量函数 $E_k^1(x)$ 为:

$$E_k^1(x) = E_k^0(x) - E_k^0(x) \quad (3)$$

同理可得:第 k 台机组为第 n 台蓄能机组提供抽水功率后的等效电量函数

$$E_k^n(x) = T \int_x^{x+x} f_k^n(t) dt \quad (4)$$

式(4)中, $f_k^n(t)$ 为考虑第 n 台蓄能机组抽水后等值负荷曲线的概率分布;

相应的第 n 台蓄能机组的电量增量函数 $E_k^n(x)$ 为:

$$E_k^n(x) = E_k^n(x) - E_k^{n-1}(x) \quad (5)$$

再注意到水泵抽水相当于电力负荷的增加,令 c_{pm}, q_{pm} 分别为第 n 台蓄能机组水泵的容量和故障概

率,可知 $f_k^n(t)$ 和 $f_k^{n-1}(t)$ 之间存在下述关系:

$$f_k^n(t) = f_k^{n-1}(t) q_{pm} + f_k^{n-1}(t - c_{pm}) (1 - q_{pm}) \quad (6)$$

将(3)、(4)、(6)式代入(5)式,可得:

$$E_k^n(x) = (1 - q_{pm}) [E_k^{n-1}(x - c_{pm}) - E_k^{n-1}(x)] \quad (7)$$

可以证明,当第 $k+1$ 台发电机组追加到系统中去时, $E_{k+1}^n(x)$ 同样可以用递推公式修正:

$$E_{k+1}^n(x) = \prod_{i=1}^{N_g} E_k^n(x - x_i) q_i \quad (8)$$

式(8)中, N_g 为第 $k+1$ 台发电机组的状态数; x_i, q_i 分别为该机第 i 个状态的停运容量和概率。

3.2 抽水电量函数 $\ddot{E}_k^n(x)$

抽水电量函数 $\ddot{E}_k^n(x)$ 定义为:

$$\ddot{E}_k^n(x) = \int_{x_1 > x} E_k^n(x) \quad (9)$$

处在第 k 负荷位置,容量为 C_k ,停运概率 q_k 的火电机组所提供第 n 台蓄能机组的抽水电量为:

$$PE_k^n = \ddot{E}_k^n(IC_k) - \ddot{E}_{k+1}^n(IC_{k+1}) \quad (10)$$

式(10)中, IC_k, IC_{k+1} 分别为第 k 和第 $k+1$ 台发电机组投运后的总容量。注意到第 k 台机组投运

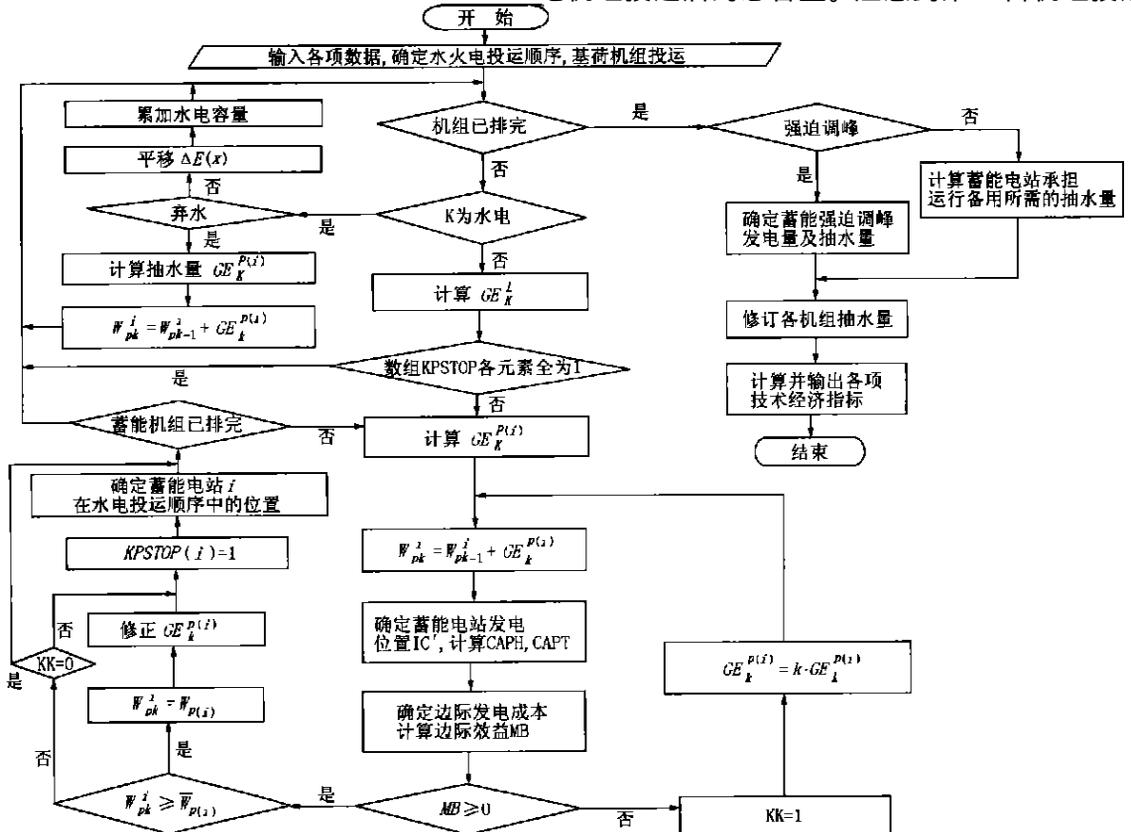


图 2 多蓄能电站系统随机生产模拟流程图

后系统尚未满足的电量(或系统停电电量期望值)

$EENS_k^n(IC_k)$ 与 $E_k^n(x)$ 有下述关系:

$$EENS_k^n(IC_k) = \int_{x > IC_k} E_k^n(x) dx \quad (11)$$

3.3 多蓄能电站概率生产模拟的算法流程

在求得第 i 台蓄能机组的经济抽水量后,该台蓄能机组的抽水过程即停止,该台蓄能机组即转化为常规水电机组,其模拟完全与常规水电相同。转化为常规水电机组后,该台蓄能机组即从蓄能机组序列中退出,进入水电机组序列。这时只要根据蓄能机组的发电小时数将其插入常规水电的投运顺序中。若 $T_g < T_{IN}$,则蓄能电站发电工况排在第 N 个水电站之前投运。如此循环,直至所有的蓄能电站全部转化为水电机组来进行模拟。

多蓄能电站电力系统的整个生产模拟流程如图2所示。

图2中: $KPSTOP(i)$ 是开关变量:当 $KPSTOP(i) = 0$ 时,表示第 i 台蓄能电站可继续抽水;当 $KPSTOP(i) = 1$ 时,表示第 i 台蓄能电站停止经济抽水;

N_G 为发电机组总台数; N_P 为蓄能电站个数。

4 计算结果分析

本文通过例系统对算法和程序的正确性进行了验证。限于篇幅,本文只列出例系统中蓄能电站的数据如表1所示(为便于比较,两蓄能电站的参数取为一致)。

表1 各蓄能电站的参数

参数	蓄能电站的最大下库容量 (10^4 kWh)	循环效率 (%)	抽水容量 (10^4 kW)	发电容量 (10^4 kW)
蓄能电站1	436	75	82.4	80
蓄能电站2	436	75	82.4	80

将多个蓄能电站合并为一个等值电站^[2],将合并和合并两种情况下计算结果中相同的数据略去,仅将不同点列出如表2所示。

由表2可看出,各蓄能电站分别考虑后,相对于合并情况而言总燃料成本产生了显著的减少,计算结果表明将各蓄能电站分别考虑能更精确地模拟各蓄能电站的运行。

表2 例系统合并和合并两种情况下计算结果比较

例系统(蓄能总容量 160×10^4 kW) 各项计算指标	合并为一个蓄能电站	各蓄能电站分别考虑	变化量
年总燃料成本 (10^4 元)	1233616	1230588	- 3028
蓄能电站经济发电量 (10^4 kWh)	122008	139325	+ 17317
年停电电量 (万 kWh)	45755	59284	+ 13529
年停电小时数 (h/年)	276.1	324.5	+ 48.4
停电持续时间 (小时/次)	0.4	0.5	+ 0.1
均次停电功率 (10^4 kW)	165.7	182.7	+ 17
均次停电电量 (10^4 kWh)	71.6	91.9	+ 20.3
频率合格率 (%)	97.2	97.9	+ 0.7

5 结论

1) 本文提出的新模型有利于更细致地模拟系统运行状况,该模型考虑了各蓄能电站的个体特征,可以确定各蓄能电站的最优发电量和发电位置,从而能更准确地评估系统可靠性和经济性。

2) 利用该算法开发的软件解决了包含多个蓄能电站电力系统的效益评估问题,同时还可用于多蓄能电站的优化运行调度。

3) 依据该模型研制的软件已应用于实际电网规划调度。计算结果对于电力系统规划、调度、运行具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 王锡凡. 电力系统优化规划[M]. 北京:水利电力出版社,1990.
- [2] 丁明,王俊. 多个蓄能电站模拟方法的比较研究[J]. 水电能源科学,1996,14(1):15-21.
- [3] 罗正远,丁明. 概率模拟中蓄能电站经济运行的判据[J]. 中国电机工程学报,1993,13(2):43-48.
- [4] 丁明,罗正远. 抽水蓄能电站经济运行的概率模拟[J]. 水电能源科学,1993,11(3):145-151.

收稿日期: 2001-08-06

基金项目: 教育部博士点专项科研项目(1999000347)

作者简介: 宋云亭(1972-),男,博士,主要从事电力系统可靠性和人工智能在电力系统中的应用; 郭永基(1934-),男,教授,博导,主要从事电力系统自动化、电力系统及设备可靠性。

Model of multi-pumped-storage plants in generation system

SONG Yun-ting, GUO Yong-ji

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

(下转第24页)

不同厂站的干扰源、耦合途径、敏感器件要进行监测、管理。如对二次设备屏蔽接地状况检查;微机保护装置附近使用移动通讯设备(如手机)的管理。

4.3 二次设备状态检修与一次设备状态检修的关系

一次设备的检修与二次设备检修不是完全独立的。许多情况下,二次设备检修要在一次设备停电检修时才能进行。在作出二次设备状态检修决策时要考虑一次设备的情况,做好状态检修技术经济分析。既要减少停电检修时间,减少停发(供)电造成的经济损失,减少检修次数,降低检修成本,又要保证二次设备可靠正确的工作状况。

4.4 二次设备状态检修与设备管理信息系统(MIS)的关系

现在许多厂站建立了设备管理信息系统(MIS),对设备的运行情况、缺陷故障情况、历次检修试验记录等实现计算机管理、实现信息共享。这些信息是作出状态检修决策的重要依据之一。要实现二次设备状态检修,需要完善设备管理信息系统(MIS)。

5 结论

电气二次设备实行状态检修是电力系统发展的需要。微机保护和微机自动装置的自诊断技术的广泛使用,电气二次设备的状态监测无论是在技术上还是在经济方面都比较容易做到。随着集成型自动化系统的发展,可大大减少二次设备和电缆的数量,克服目前常规保护状态监测存在的困难。设备管理

信息系统(MIS)在电力系统的广泛使用,为电气二次设备实行状态检修提供了信息支持。电气二次设备的状态监测将有助于变电站综合自动化的发展。

参考文献:

- [1] 黄树红. 火电厂设备状态检修——状态检修体制及发展状况[J]. 湖北电力, 1998, 22(3).
- [2] 陈维荣, 宋永华, 孙锦鑫. 电力系统设备状态监测的概念及现状[J]. 电网技术, 2000, 24(11).
- [3] 周玉兰, 等. 1999年全国电力系统继电保护及安全自动装置运行情况[J]. 电网技术, 2000, 24(7).
- [4] 杨新民, 杨隽琳. 电力系统微机保护培训教材[M]. 中国电力出版社, 2000, 9.
- [5] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 水利电力出版社, 1995, 11.
- [6] 何彬. 电力系统二次设备的电磁兼容问题[J]. 中国电力, 1998, 31(4).
- [7] 程力, 袁德柱, 晏国华. 电站控保设备的电磁兼容[J]. 电站系统工程, 1998, 14(3).
- [8] 曾庆禹. 变电站自动化技术的未来发展(二)——集成分自动化、寿命周期成本[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(20).

收稿日期: 2001-08-16

作者简介: 吴杰余(1965-),男,硕士研究生,主要从事电力系统继电保护的研究;尹项根(1956-),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统继电保护和自动化的研究;张哲(1962-),男,副教授,主要从事电力系统继电保护和自动化的研究。

Study on condition - based maintenance of electrical secondary equipment

WU Jie-yu, Zhang Zhe, Yin Xiang-gen, Hu Wen-ping

(Huazhong University of Science & Technology, WuHan 430074 China)

Abstract: This paper described the evolvement of the condition - based maintenance in simply. The new viewpoint that the condition - based maintenanc of secondary equipment was put forward. This paper discussed the following three aspects: contents of the condition - based maintenance of secondary equipment, methods of it, and several potential problems of it.

Key words: electrical secondary equipment; condition - based maintenance; condition monitoring

(上接第12页)

Abstract: This paper presents the model and algorithm of probabilistic production simulation for power system including multiple pumped - storage plants. Character of individual pumped - storage plant is considered so as to evaluate the system reliability and it's economical efficiency more precisely. Compared to the general mergeing method the algorithm presented can both simulate the system operation mode more accurately and obtain every plant's optimal generation energy and it's generation position in load curve. The software developed is verified by sample system. Results show that the algorithm and software are available. The software can be used to not only evaluate benefits of power system including multiple pumped - storage plants but also optimize operation and dispatching of pumped - storage plants.

Key words: multiple pumped-storage plant; probabilistic production simulation; power system