

# ⑮ 生产模拟中两种不同负荷处理方法的比较

106-110

## THE COMPARISON OF TWO METHODS FOR LOAD EXPRESSION IN PRODUCTION SIMULATION

张宗益  
Zhang Zongyi

徐国禹  
Xu Guoyu

杨秀苔  
Yang Xiutai

TM715

(重庆大学)

**摘要** 讨论了进行生产模拟时的两种负荷处理方法,对两种方法用于随机生产模拟直接算法时的误差作了分析比较。

**关键词** 正态分布;负荷;随机生产模拟, 电源规划  
中国图书资料分类法分类号 TM715

**ABSTRACT** Two methods for load expression in production simulation are studied, and the errors are analyzed and compared when the two methods are used in the direct method of probabilistic production simulation.

**KEY WORDS** normal distribution; loads; /probabilistic production simulation.

### 0 引 言

电源规划中要反复进行生产模拟计算,这使得设计快速、高效、准确的生产模拟算法成为一个重要的研究课题。如何表示负荷,是生产模拟的核心问题之一。进行生产模拟时,通常是把时间序列负荷曲线转换成负荷持续曲线,然后用不同的函数来近似负荷持续曲线。R. T. Jenkins 等曾用付氏级数来表示负荷持续曲线, N. S. Rau 等用 Gram-Charlier 级数来表示,利用独立随机变量和的累积量等于各随机变量累积量的和,将卷积、反卷积运算变成了加减运算,使计算速度加快了数倍到数十倍。同样基于累积量的思想,文献<sup>[2]</sup>中用多正态分布来表示负荷的概率密度函数。以上各种方法的共同点是:将负荷与发电机的故障容量组合起来得到等值负荷持续曲线,然后求出生产模拟的各项指标。

本文对负荷的多正态分布表示方法进行了研究。针对实际生产部门提供的常常是时间序列负荷数据,提出了直接对时间序列负荷按时间与按大小进行分类的两种负荷表示方法,并对两种方法用于随机生产模拟直接算法<sup>[1]</sup>时的误差情况作了分析比较,给出了对 IEEE RTS 系统<sup>[3]</sup>和我国某省实际系统的计算结果。为简单起见,下面把按时间分类的负荷表示方

\* 收文日期 1991-09-28

国家自然科学基金资助课题

法称为方法1,把按负荷大小分类的表示方法称为方法2。

## 1 按时间分类的负荷表示方法

已知某系统的时间序列负荷如图1所示,负荷值是离散的,每一小时给定一数值。通常可认为各小时的负荷是随机、独立变量,年、月、周及日负荷各有一定的重复性(周期性),可假定负荷持续期各天中的负荷服从正态分布<sup>[1]</sup>,但计算结果表明单一正态分布不够准确,尤其是可能给系统的总装机造成较大误差。考虑到负荷有峰荷与低谷之分,我们设想将一天分为若干个时间段,将负荷持续期所有各天相同时间段的负荷组合成一组,认为该组负荷服从正态分布,各组负荷正态分布的加权和即为负荷的多正态分布表示。

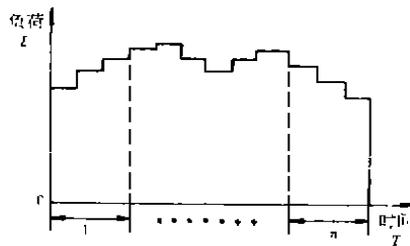


图1 负荷按时间分类

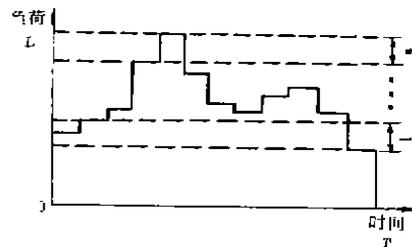


图2 负荷按大小分类

例如,可将一天分为6个时间段,各时间段可短可长,也可平均划分。假若认为每天的用电高峰期8、9、10、11小时为一段,负荷持续期所有各天该四小时的负荷服从正态分布,根据已知的负荷数据,即可求出负荷均值、方差及该段正态分布的权值,一般可表示成:

$$\mu = \frac{1}{T_i} \sum_{t \in T_i} L_t$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{T_i} \sum_{t \in T_i} L_t^2 - \mu^2$$

$$\alpha_i = T_i/T$$

其中  $T_i$  为负荷持续期各天时间段  $i$  的小时总数,  $T$  为负荷持续期的总小时数,  $L_t$  为时间段  $i$  上的负荷,  $\mu$ 、 $\sigma^2$ 、 $\alpha_i$  分别为时间段  $i$  上正态分布的均值、方差、权值。接下来即可得到负荷多正态分布的密度表达式  $f_L(x)$  为

$$f_L(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i}} \text{EXP} \left( -\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2} \right) \right] \quad (1)$$

其中  $n$  为正态分布个数。

## 2 按大小分类的负荷表示方法

除了按方法1表示负荷之外,我们还设想了对负荷按大小进行分类(如图2所示),即将负荷从小到大分成  $n$  个组,认为每一组的负荷呈正态分布。很明显,由于负荷按大小分组,相近大小的负荷将处于同一组中,各负荷与本组负荷均值差异较小,从而使得方差较小。同样, $n$

组负荷正态分布的加权和即为负荷多正态分布表达式。例如,设某一季度3个月共有 $3 \times 30 \times 24 = 2160$ 个小时(负荷)中,最小负荷为 $2000MW$ ,最大负荷为 $4500MW$ 。若把所有负荷分为5组,则 $\Delta L = (4500 - 2000)/5 = 500MW$ 。于是位于区间 $[2000, 2500)$ ,  $[2500, 3000)$ ,  $[3000, 3500)$ ,  $[3500, 4000)$ ,  $[4000, 4500]$ 上的负荷构成了五组负荷。根据位于每一区间上的所有负荷可求出其均值、方差、权值,一般表达式为:

$$\begin{aligned}\mu_j &= \frac{1}{N_j} \sum_{i \in N_j} L_i \\ \sigma_j^2 &= \frac{1}{N_j} \sum_{i \in N_j} L_i^2 - \mu_j^2 \\ \alpha_j &= N_j/N\end{aligned}$$

其中 $N_j$ 为第 $j$ 区间的负荷总数(亦即 $j$ 区间负荷的持续小时数), $N$ 为总负荷数(亦即总小时数)。于是可得到按负荷大小分类的多正态分布负荷表达式,其形式与(1)相似。

### 3 计算方法

在文献[1]中,用多正态分布来表示负荷与发电机,发电机模型为可用概率模型,在不计算等值负荷持续曲线的情况下,通过发电机出力之和与负荷直接导出了各机组的发电量等指标的表达式。该方法是一种快速的解析算法。为了比较前述二种负荷表示方法的误差情况,以下的计算比较统一采用此算法。算法的主要表达式为:

$$\begin{aligned}SE_m &= T \left\{ \sum_{i=1}^r \alpha_i \mu_i + \sum_{l=0}^m \pi_{ml} \mu_{ml} - \sum_{i=1}^r \sum_{l=1}^r \alpha_i \pi_{ml} \left[ \mu_{ml} + \sqrt{\frac{\sigma_i^2 + \sigma_{ml}^2}{2\pi}} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \cdot \exp \left\{ -\frac{(\mu_i - \mu_{ml})^2}{2(\sigma_i^2 + \sigma_{ml}^2)} \right\} + (\mu_i - \mu_{ml}) \cdot \Phi \left( \frac{\mu_i - \mu_{ml}}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_{ml}^2}} \right) \right] \right\} \\ E_m &= SE_m - SE_{m-1} \\ LOLP &= \sum_{i=1}^r \sum_{l=0}^m \alpha_i \pi_{ml} \Phi \left( \frac{\mu_i - \mu_{ml}}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_{ml}^2}} \right)\end{aligned}$$

其中 $E_m$ 为第 $m$ 台机组的发电量, $SE_m$ 为前 $m$ 台机组的发电量之和, $SE_{m-1}$ 为前 $m-1$ 台机组发电量之和, $T$ 为负荷持续期(小时), $\mu_i$ 、 $\sigma_i^2$ 、 $\alpha_i$ 分别系负荷组 $i$ 的正态分布均值、方差和权值, $\mu_{ml}$ 、 $\sigma_{ml}^2$ 、 $\pi_{ml}$ 分别为 $m$ 台机组中有 $l$ 台强迫停运时出力正态分布的均值、方差和权值, $r$ 为机组出力正态分布的个数减一, $\Phi(\cdot)$ 为正态分布函数,LOLP为电力不足概率值。

### 4 算例结果

我们对 IEEE Reliability Test System<sup>[3]</sup>以及某省1990年实际的装机及负荷情况进行了计算。为了表明以上两个系统负荷的一些特性,给出了图3和图4的负荷持续曲线。IEEE RTS系统负荷持续时间为 $2184h$ ,峰荷为 $2850MW$ 。某省1990年的负荷持续时间取为 $8736h$ ,峰荷为

1327MW。显然,某省系统的负荷率较 IEEE RTS 系统大得多。

对 IEEE RTS 系统,两种负荷表示法各取6个正态分布时各组的均值、方差与权值如表1

表 1 负荷正态分布的均值、方差与权值

负荷组号	方 法 1			方 法 2			
	均 值 (10 <sup>3</sup> MW)	方 差 (10 <sup>4</sup> MW <sup>2</sup> )	权 值	均 值 (10 <sup>3</sup> MW)	方 差 (10 <sup>4</sup> MW <sup>2</sup> )	权 值	
IEEE RTS 系统	1	1.4596	4.3446	0.16667	1.2984	0.52169	0.11310
	2	2.0800	13.3790	0.16667	1.5431	0.72528	0.26053
	3	2.1404	9.3724	0.16667	1.8140	0.69955	0.18040
	4	2.2348	9.8551	0.16667	2.1497	0.65075	0.20467
	5	2.0070	7.2326	0.16667	2.3969	0.67805	0.19368
	6	1.5163	1.8246	0.16667	2.6464	0.44680	0.04762
某省 系 统	1	0.91416	0.3826	0.16667	0.8515	0.0525	0.0897
	2	1.0756	0.7624	0.2083	0.9466	0.1021	0.2663
	3	1.0473	0.4589	0.1667	1.0501	0.0998	0.3510
	4	1.1332	0.6840	0.2500	1.1542	0.0923	0.2319
	5	0.9932	0.9632	0.2083	1.2522	0.0630	0.0611

表 2 计算结果

		方 法 1	方 法 2	基准值
IEEE	期望总发电量(GWh)	4161.977	4162.685	4162.617
RTS	LOLP(10 <sup>-2</sup> )	0.4877	0.2675	0.2886
系统	总运行费(10 <sup>8</sup> \$)	41.7997	41.8980	41.894
某省	期望总发电量(GWh)	9092.858	9092.853	9087.392
系	LOLP(10 <sup>-2</sup> )	0.3371	0.3380	0.7047
统	总运行费	152.8208	152.8313	153.7589

注:基准值为 Baleriaux-Booth 方法值。

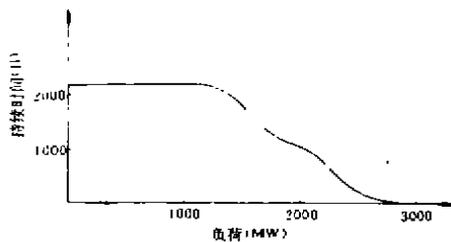


图 3 IEEE RTS 负荷持续曲线

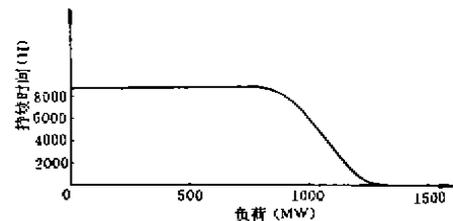


图 4 某省1990年负荷持续曲线

所示,可以发现方法2的方差较方法1小一个数量级。对表1中的某省系统,方法2的方差也较

方法1小约一个数量级。对两个系统按二种负荷表示方法计算出的各机组发电量的误差情况分别示于图5与图6中。两个系统的总发电量、总运行费用和 LOLP 值示于表2中。从计算结果看,方法2得到的各项指标都要较方法1准确一些。另外,由于 IEEE RTS 系统负荷率较低,负荷值的变化范围较大,用方法2进行分类时方差较方法1大为减小,各指标的改善程度较大。对某省系统而言,由于系统负荷率很高,负荷值变化范围相对较小,方法2与方法1的方差相对较为接近,方法2得到的各指标较方法1有所改善,但不象 IEEE RTS 系统那样显著。有改善的原因是因为方差的下降,而仍然存在的误差则可能是存在较大系统误差所致。计算经验表明方差在较大程度上影响着计算结果。为此,我们建议以方法2表示负荷更为恰当。对以上两个系统,分类时的组数不一样,得出的指标也不一样。一般情况下方法2都较方法1准确。

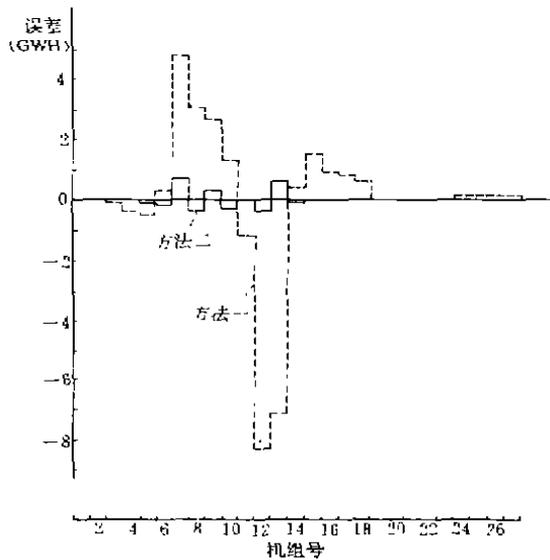


图5 IEEE RTS 系统各机组发电量误差曲线

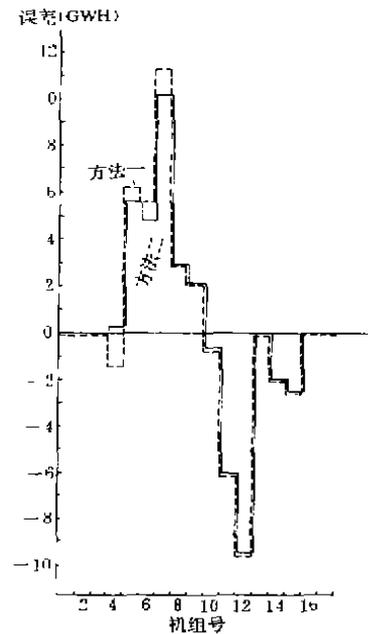


图6 某省系统各机组发电量误差曲线

## 5 结 论

研究表明,负荷按大小分类时,可在不增加计算量及内存量的情况下,较负荷按时间分类得到更为准确的指标值。

### 参 考 文 献

- 1 张宗益等.基于多正态分布的随机生产模拟直接算法.重庆大学学报,1991,14(4)
- 2 N. S. RAU, C. NECSULESCU. An Investigation of two Methods for the Probabilistic Energy Production Simulation, IEEE T-PAS, 1983, 102(8)
- 3 IEEE Committee Report IEEE Reliability Test System, IEEE T-PAS, 1979, 98(6)
- 4 Y. M. Park, K. Y. Lee, L. T. O. Youn. New Analytical Approach for Long Term Generation Expansion Planning Based on Maximum Principle and Gaussian Distribution Function IEEE T-PAS, 1985, 104(2)