

④ 16-20

利用 Edgeworth 级数制定 典型日负荷曲线的新方法

A New Method for Determining the Typical Daily Load Curves

杨秀苔
Yang Xiutai

张宗益[✓]
Zhang Zongyi
(重庆大学)

徐国禹
Xu Guoyu

TM715

摘 要 通过对某省共10年实际负荷的分析处理,利用 Edgeworth 级数提出了新的典型日负荷曲线制定方法,该方法避免了现有方法的随机偶然性及主观因素的影响。

关键词 负荷;级数;样本问题[✓]

中国图书资料分类法分类号 TM715

电力系统规划[✓]

ABSTRACT After analyzing the ten-year load data of a real power system, a novel method, with the help of Edgeworth progression has been developed to determine the representative daily load curve, which is useful in power generation planning. The method is successful to avoid the random and subjective factors in the existing method of curve-making.

KEYWORDS loading; progression; sample problems

0 概 述

典型日负荷曲线是指系统中最具代表意义的一天24小时的负荷变动情况,其特征参数为日负荷率 γ 与日最小负荷率 β 。典型日负荷曲线对系统的运行方式、电力电量平衡、水电站的装机容量、季节性电能利用等影响极大^{*}。现有的典型日负荷曲线的制定方法主要有以下两种:

- 1) 选择最大负荷日的日负荷曲线作为典型日负荷曲线;
- 2) 按某规律选择一定天数的日负荷曲线相加取平均作为典型日负荷曲线。

前一种方法确定的典型日负荷曲线不仅缺乏“典型”的意义,而且还可能使某些随机因素的影响得到不恰当的体现。后一种方法虽然可在一定程度上消除随机因素的影响,但由于“平均化”的影响,使得日负荷曲线上最小负荷变大,最大负荷变小,从而造成日负荷率及日最小负荷率增大,整条曲线的变化幅度减小。此外,用算术平均法制定典型日负荷曲线时,用以确定典型日负荷曲线的二个特征参数 γ 、 β 依赖于参加平均的天数的多少及日期,参加平均的天数不同或日期不同,便会得出不同的特征参数值及不同的典型日负荷曲线。

* 收文日期 1993-01-05

** 洪祖兰,设计日负荷方式的一种新方法,水能技术经济,1985

为了避免随机因素及主观因素的影响,尽可能作到以科学的方法来选择制定典型日负荷曲线,本文将采用概率数理统计的方法来编制典型日负荷曲线。

1 典型日负荷曲线特征参数 γ 、 β 的确定

据某省1981年至1990年每月5、10、15、20、25、30日的日负荷率及日最小负荷率,可绘出它们的变化图,如图1所示。由于影响日负荷率及日最小负荷率的因素极多,先假设日负荷率及日最小负荷率均为独立随机变量。为了求出日负荷率及日最小负荷率的分布情况,先计算出它们的数字特征,如表1所示。为了进一步研究 γ 、 β 的分布情况,分析它们的分布规律,还必须计算它们的经验分布,绘出直方图。为了便于研究,选用等距直方图,取组间间隔 Δ 为

$$\Delta = (b-a)/K$$

其中 a 为最小数据值, b 为最大数据值, K 为区间数目。对正态总体,样本量 N 和分类区间数 K 存在以下的渐近最优关系:

$$K = 1.87(N - 1)^{2/5}$$

因为 γ 与 β 的样本数 N 均为 720, 故有 $K \approx 26$ 。为了便于分类,同时合并频数太小的区间,对日负荷率 γ , K 取为 27, 而对日最小负荷率 β , K 取为 23。

表 1 日负荷率及日最小负荷率的数字特征

	均值	标准差
日负荷率 γ	0.8656	0.02544
日最小负荷率 β	0.7360	0.04425

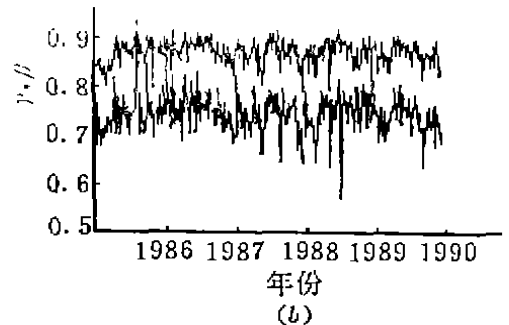
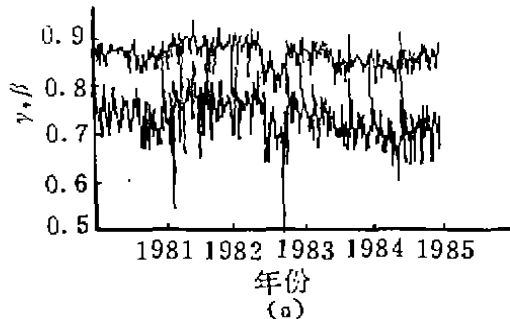


图 1 某省1981—1990年日负荷率 γ 、日最小负荷率 β 变化图
(a) 1981~1985年 (b) 1986~1990年

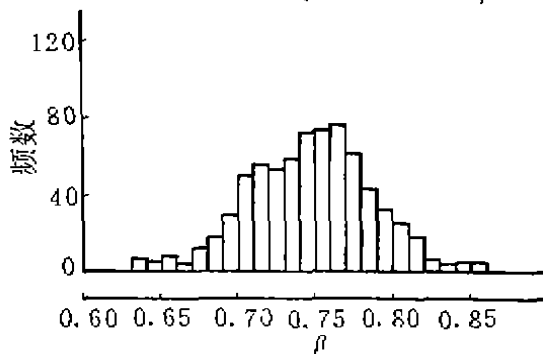


图 2 日最小负荷率 β 的分布直方图

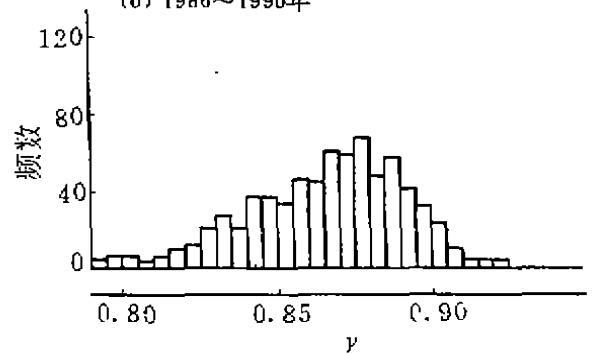


图 3 日负荷率 γ 的分布直方图

表 2 对 β 进行正态分布检验的有关数据

编号 K	分组情况	实际频数	正态分布	冬季典型日负荷	夏季典型日负荷
			期望频数	曲线的 β 概率值	曲线的 β 概率值
1	≤ 0.63	6	5.97	0.00793	0.00840
2	0.63 ~ 0.64	5	4.83	0.00673	0.00661
3	0.64 ~ 0.65	8	7.90	0.01120	0.01065
4	0.65 ~ 0.66	4	12.21	0.01757	0.01629
5	0.66 ~ 0.67	12	17.98	0.02615	0.02377
6	0.67 ~ 0.68	28	25.15	0.03687	0.03307
7	0.68 ~ 0.69	29	33.43	0.04923	0.04384
8	0.69 ~ 0.70	49	42.25	0.06228	0.05539
9	0.70 ~ 0.71	55	50.73	0.07463	0.06670
10	0.71 ~ 0.72	53	57.91	0.08471	0.07653
11	0.72 ~ 0.73	58	62.81	0.09109	0.08370
12	0.73 ~ 0.74	72	64.76	0.09278	0.08724
13	0.74 ~ 0.75	73	63.46	0.08952	0.08665
14	0.75 ~ 0.76	76	59.09	0.08182	0.08202
15	0.76 ~ 0.77	61	52.30	0.07085	0.07400
16	0.77 ~ 0.78	43	44.00	0.05811	0.05362
17	0.78 ~ 0.79	32	35.18	0.04515	0.05213
18	0.79 ~ 0.80	25	26.73	0.03323	0.04071
19	0.80 ~ 0.81	18	19.30	0.02316	0.03030
20	0.81 ~ 0.82	6	13.25	0.01534	0.02149
21	0.82 ~ 0.83	4	8.66	0.00954	0.01457
22	0.83 ~ 0.84	5	5.35	0.00567	0.00932
23	> 0.84	5	6.75	0.00645	0.01291

表 3 对 γ 进行正态分布检验的有关数据

编号 K	分组情况	实际频数	正态分布	Edgeworth 级数	冬季典型日负荷	夏季典型日负
			期望频数	分布期望频数	曲线 γ 期望概率	荷曲线 γ 期望概率
1	≤ 0.795	4	1.99	4.80	0.00218	0.01396
2	0.795 ~ 0.800	6	1.58	2.79	0.00220	0.00610
3	0.800 ~ 0.805	6	2.63	4.02	0.00354	0.00800
4	0.805 ~ 0.810	3	4.18	5.62	0.00544	0.01028
5	0.810 ~ 0.815	6	6.44	7.67	0.00804	0.01291
6	0.815 ~ 0.820	10	9.49	10.18	0.01144	0.01598
7	0.820 ~ 0.825	12	13.48	13.26	0.01592	0.01956
8	0.825 ~ 0.830	21	18.43	16.99	0.02140	0.02378
9	0.830 ~ 0.835	28	24.24	21.41	0.02822	0.02875
10	0.835 ~ 0.840	21	30.68	26.55	0.03644	0.03452
11	0.840 ~ 0.845	37	37.37	32.32	0.04602	0.04108
12	0.845 ~ 0.850	37	43.80	38.48	0.05661	0.04820
13	0.850 ~ 0.855	33	49.39	44.63	0.06746	0.05551
14	0.855 ~ 0.860	45	53.59	50.21	0.07743	0.06242
15	0.860 ~ 0.865	44	55.95	54.56	0.08513	0.06822
16	0.865 ~ 0.870	60	56.21	57.07	0.08920	0.07221
17	0.870 ~ 0.875	58	54.33	57.28	0.08871	0.07377
18	0.875 ~ 0.880	67	50.54	55.03	0.08345	0.07258
19	0.880 ~ 0.885	47	45.24	50.49	0.07401	0.06860
20	0.885 ~ 0.890	57	38.96	44.14	0.06170	0.06218
21	0.890 ~ 0.895	41	32.28	36.68	0.04818	0.05393
22	0.895 ~ 0.900	32	25.74	28.90	0.03509	0.04465
23	0.900 ~ 0.905	23	19.75	21.52	0.02370	0.03520
24	0.905 ~ 0.910	10	14.58	15.07	0.01470	0.02631
25	0.910 ~ 0.915	4	10.36	9.85	0.00825	0.01853
26	0.915 ~ 0.920	4	7.09	5.96	0.00404	0.01218
27	> 0.920	4	11.68	4.51	0.00088	0.01059

分别对日最小负荷率及日负荷率进行总体正态分布检验,历史数据绘制的直方图如图 2 和图 3 所示。进行正态分布检验的有关数据列于表 2 与表 3。

根据表 2 可以得到统计量 $\chi^2 = 26.64$, 因为使用了二个估计参数均值与方差, β 的自由度为 $23 - 1 - 2 = 20$, 而查表知 $\chi_{0.05, 20}^2 = 31.41$, 由于 $\chi^2 < \chi_{0.05, 20}^2$, 故在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 时, 接受日最小负荷率 β 服从正态分布的假设。

根据表 3 可求出 γ 的统计量 $\chi^2 = 64.10$, γ 的自由度为 $27 - 1 - 2 = 24$, 查出 $\chi_{0.001, 24}^2 = 51.18$, 由于 $\chi^2 > \chi_{0.001, 24}^2$, 故在显著性水平 $\alpha = 0.001$ 时, 应拒绝 γ 服从正态分布的假设, 即 γ 的分布与正态分布差异十分显著。从图 3 的日负荷率分布直方图可以看到, 该分布与正态分布相比存在较大的偏度。为此计算出表示偏度大小的参数 $g_1 = -0.4127$, 其负号表明经验分布向右偏。以下采用 Edgeworth 级数的前二项来拟合 γ 的经验分布, 即在正态分布的基础上增加一偏度修正项, 其概率密度函数为

$$f(x) = N(x) \cdot \left[1 - \frac{g_1}{3!} (-x^3 + 3x) \right]$$

相应的分布函数为

$$F(x) = \int_{-\infty}^x N(z) dz - \frac{g_1}{3!} (x^2 - 1) \cdot N(x)$$

以上两式中 $N(x)$ 表示标准正态分布, 即

$$N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$$

对以上拟合进行 χ^2 检验, 可得到表 3 中第 5 列的各项数据, 并可进而求出统计量 $\chi^2 = 26.64$, 而查表知 $\chi_{0.05, 23}^2 = 35.17$, 注意由于参数 g_1 的使用, 自由度从 24 降为 23。由于 $\chi^2 < \chi_{0.05, 23}^2$, 在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 时, 接受日负荷率 γ 服从 Edgeworth 级数分布的假设。

日负荷率 γ 不服从正态分布的原因可能在于近年来我国电力供应紧张, 拉闸限电较多, 使得 γ 值普遍偏大, 从而偏离正态分布。经验分布的直方图及偏度系数 g_1 的值从统计意义上证明了 γ 普遍偏大的事实。此外, 正态分布可以视作 Edgeworth 级数分布的特殊情况, 故可以认为 γ, β 均可利用 Edgeworth 级数来加以拟合。

在已知 γ, β 服从 Edgeworth 级数分布的情况下, 即可用它们的众数作为 γ, β 的预测值。

$$\text{众数} = L + \frac{(f - f_1) \cdot \Delta}{2f - f_1 - f_2}$$

其中 L 为众数组的下限, f 为众数组的期望频数, f_1 为众数组前一组的期望频数, f_2 为众数组后一组的期望频数, Δ 为组间间距。所求出的典型日负荷曲线的 γ, β 众值分别为:

$$\gamma_1 = 0.8704 \quad \beta_1 = 0.7360$$

2 日负荷曲线形状的确定

为了生成日负荷曲线, 必须先定出曲线的形状, 这可用相应期间各天的负荷曲线相加取平均来完成。假定已确定出典型日负荷曲线的形状, 即已知一天各小时负荷与最大负荷的比值为 d_1, d_2, \dots, d_{24} , 日负荷率和日最小负荷率分别为 γ_0, β_0 。而根据概率数理统计方法确定的典型日负荷率和日最小负荷率分别为 γ_1 和 β_1 。为此必须对“加权平均”定出的负荷曲线形状进行修正。新负荷曲线的最大值仍应为 1.0, 最小值应为 β_1 , 要达到修正要求, 只能对其它 22 个小时的值进行修正。假定修正幅度在 22 个小时中相同, 且修正幅度为 x , 设原负荷曲线最大负荷出现在第 10 小时, 即 $d_{10} = 1.0$, 最小负荷出现在第 4 小时, 即 $d_4 = \beta_0$, 则应有

$$\gamma_0 = \left(\sum_{i=1}^{24} d_i \right) / 24 = \frac{1 + \beta_0}{24} + \frac{1}{24} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 4,10}}^{24} d_i$$

$$\gamma_1 = \left(\sum_{i=1}^{24} d_i \right) / 24 = \frac{1 + \beta_1}{24} + \frac{1}{24} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 4,10}}^{24} d_i = \frac{1 + \beta_1}{24} + \frac{x}{24} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 4,10}}^{24} d_i$$

可得到

$$x = \frac{24\gamma_1 - 1 - \beta_1}{24\gamma_0 - 1 - \beta_0}$$

据此即可求出新日负荷曲线为

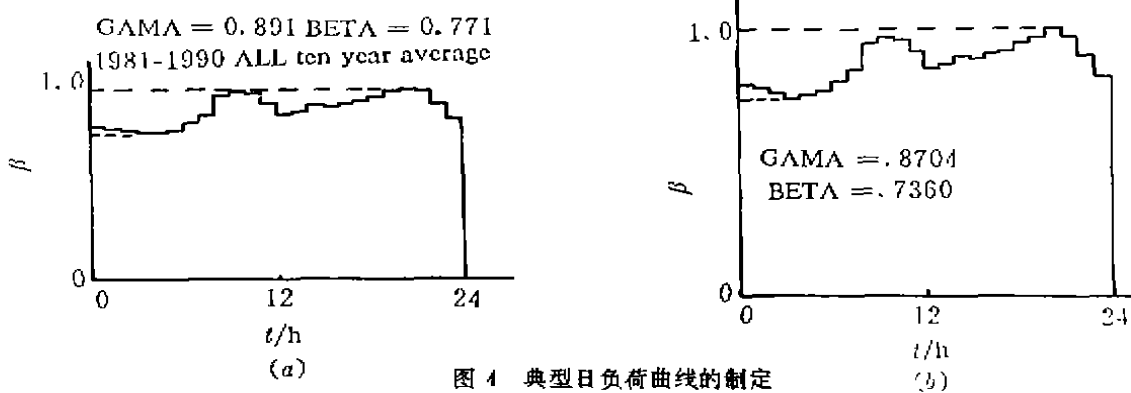
$$d'_i = x d_i, \quad i = 1, 2, \dots, 24 \text{ 但 } i \neq 4, 10$$

$$d'_4 = \beta_1$$

$$d'_{10} = 1.0$$

3 典型日负荷曲线的制定

对某省1981年至1990年的日负荷曲线用加权平均的方法制定出典型日负荷曲线形状如图4(a)。根据众值 γ_1 和 β_1 ，即可制定出图4(b)所示的某省典型日负荷曲线。



(a) 利用加权平均法得出曲线形状

(b) 对曲线形状修正后得到典型日负荷曲线

4 结 论

典型日负荷曲线在很大程度上决定着电力系统的运行方式、电力电量平衡及水电站装机容量等，在电力系统规划中起着重要作用，现有的典型日负荷曲线的制定方法存在着较大的偶然性且受主观因素的影响，难以满足日益发展的电力系统规划的要求。本文根据某省实例作了较为详细的分析论证，用 Edgeworth 级数来拟合 γ 、 β 的分布，提出了确定负荷曲线形状及根据典型日负荷曲线特征参数对其进行修正的新方法，该方法简洁、快速，具有较强的科学性与实用性。

参 考 文 献

- 1 中科院计算中心概率统计组、概率统计计算、北京，科学出版社，1979，16~21
- 2 Kendall M and Stuart A. The Advanced Theory of Statistics (Vol I), New York, MacMillan Publishing Co. 1977