

贵州统调电网典型日负荷特性分析与预测

唐学用 李庆生 钟以林 万会江 叶航超

(贵州电网公司 电网规划研究中心; 贵州电网公司 电力调度控制中心)

摘要: 电力负荷特性分析与预测是电力市场分析预测的重要基础, 是进行电力规划、设计、生产、运行的重要依据, 也是制定相关政策的重要参考。分别对贵州统调电网工作日及周末历史日负荷特性相关指标进行了统计, 得出了日负荷率与日最小负荷率具有较强的正相关、日负荷率与日峰谷差率具有较强的负相关等结论。运用协同分析, 对日负荷率与日最小负荷率、日负荷率与日峰谷差率之间的关系分别采用线性、二次函数、三次函数进行拟合, 采用历史年正常工作日和周末负荷数据进行验证。计算结果表明, 线性数学模型拟合效果最好, 能够正确、合理地反应相关指标之间的关系。运用该模型对贵州中长期负荷特性进行了预测。

关键词: 电网, 负荷特性, 负荷预测, 负荷率, 最小负荷率, 峰谷差率, 协同分析

0 引言

近年来, 随着贵州加快实施工业强省、推动产业升级、实现跨越发展战略的实施, 电网负荷特性已发生了很大变化。此外, 随着电网规模的不断扩大和具有反调峰能力的风电的大量接入, 贵州电网的调峰问题也将日益突出, 这给电网的安全稳定运行带来较大风险。因此, 很有必要对贵州电网的负荷特性进行深入分析与研究。

电力负荷特性分析与预测是电力市场分析预测工作的重要基础, 是进行电力规划、设计、生产、运行的重要依据, 也是制定相关政策的重要参考[1-4]。本文主要对统调电网的历史负荷数据进行分析, 并分别对工作日和周末的典型日负荷曲线进行了研究, 统计分析了日负荷率、日最小负荷率和日峰谷差率等关键指标及其变化规律, 以此为基础预测了贵州中长期年日负荷特性的相关指标, 可为贵州电网规划与运行提供一定参考。

1 基础数据与计算说明

基础数据采用贵州统调电网数据, 即贵州调度 OPEN3000 系统 2006—2013 年 5 min 数据, 包括全网总出力、外送总出力、送重庆国网及湖南国网负荷、地调直调机组出力、外送周边负荷(送怀化、涪陵及秀山负荷), 通过整理得到省内统调发电负荷。

统计分析采用 Microsoft Office Excel 2010 软件, 建模分析采用 Matlab (7.8 版) 软件。分析计算时对数据进行了甄别和筛选, 剔除了一些由于系统采集和其他外部因素造成的坏数据。

2 典型日负荷特性分析

影响负荷特性的因素较多, 仅仅分析年最大最小负荷日的日负荷特性数据过于粗线条, 由此来安排运行方式可能引起较大偏差, 甚至带来严重的电力安全生产事故。因此, 在生产实际中电力工作者往往会对日负荷特性作更加深入的分析, 如, 根据气候变化对负荷的影响分为冬、夏季典型日负荷曲线[5-6]; 根据人们的工作方式改变对负荷的影响分为工作日和周末典型日负荷曲线等[7]。本文仅对后者进行分析与研究。

2.1 工作日日负荷特性指标分析

通过剔除部分坏数据等数据预处理后, 整理得到 2006—2013 年工作日统调日负荷曲线样本集, 计算得到的日负荷特性指标见表 1, 2006—2013 年各指标最大波动情况和平均值波动情况见表 2。

表 1 历年工作日统调负荷特性指标
Table 1 Weekday's load characteristics indexes from 2006-2013

年份/年		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2006—2013
日负荷率	最大	0.892	0.896	0.906	0.907	0.900	0.901	0.871	0.873	0.907
	平均	0.844	0.863	0.861	0.845	0.856	0.851	0.834	0.837	0.848
	最小	0.785	0.823	0.807	0.791	0.811	0.805	0.800	0.808	0.785
日最小负荷率	最大	0.790	0.794	0.805	0.791	0.758	0.798	0.704	0.722	0.805
	平均	0.696	0.735	0.726	0.683	0.702	0.683	0.646	0.649	0.688
	最小	0.620	0.674	0.606	0.589	0.640	0.616	0.589	0.585	0.585
日峰谷差率	最大	0.380	0.326	0.394	0.411	0.360	0.384	0.411	0.415	0.415
	平均	0.304	0.265	0.274	0.317	0.298	0.317	0.354	0.351	0.312
	最小	0.210	0.206	0.195	0.209	0.242	0.202	0.296	0.278	0.195

表 2 2006—2013 工作日日负荷特性各指标波动情况

Table 2 Fluctuations of each weekday's load characteristics index from 2006-2013

项目	日负荷率		日最小负荷率		日峰谷差率	
	最大	平均	最大	平均	最大	平均
上限	0.907	0.863	0.805	0.735	0.415	0.354
下限	0.785	0.834	0.585	0.646	0.195	0.265
幅度	0.122	0.029	0.220	0.089	0.216	0.089

(1) 分布规律分析。为使数据更具代表性, 对样本整体特征作进一步统计分析。利用 Matlab 工具分别对日负荷率、日最小负荷率和日峰谷差率进行各种概率分布模型拟合, 拟合结果见图 1~图 3。

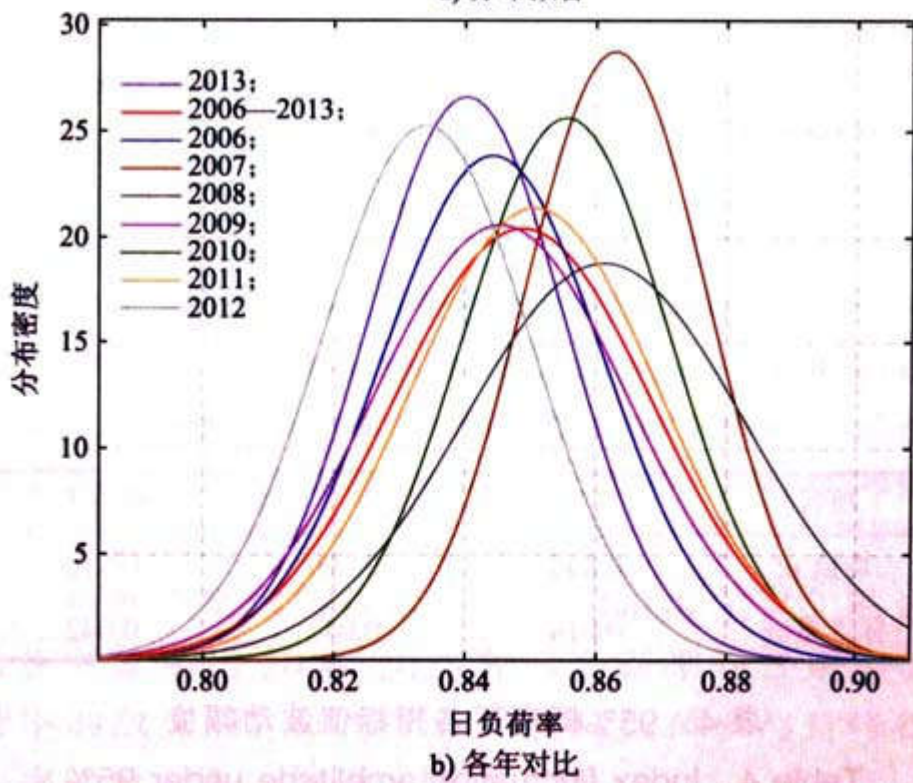
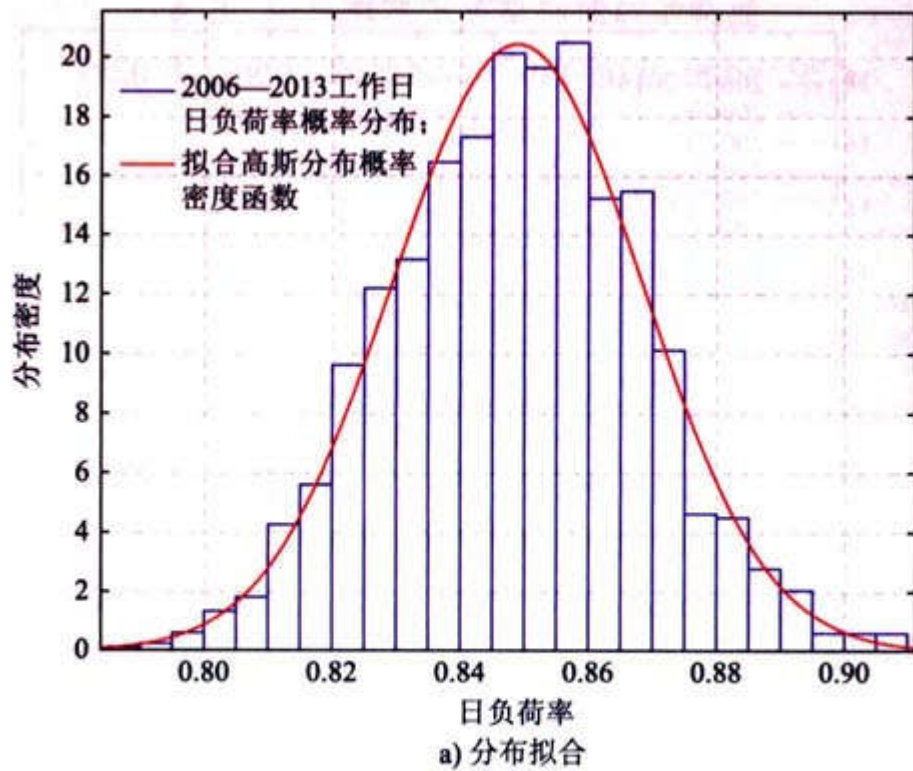


图 1 2006—2013 年工作日日负荷率分布

Fig.1 Distribution of weekday's load rate from 2006-2013

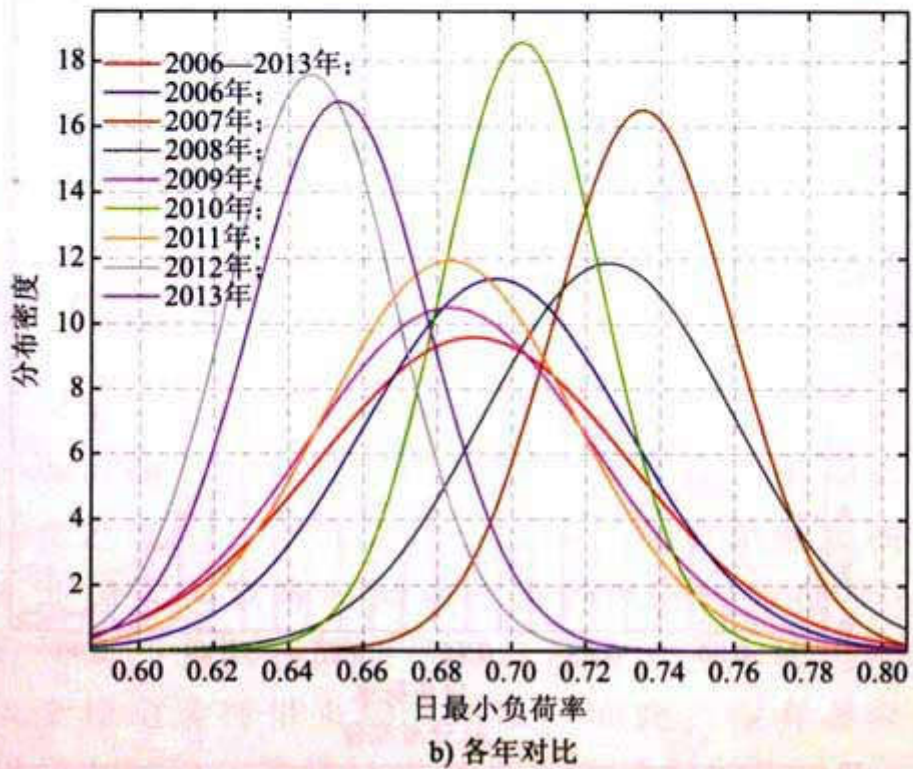
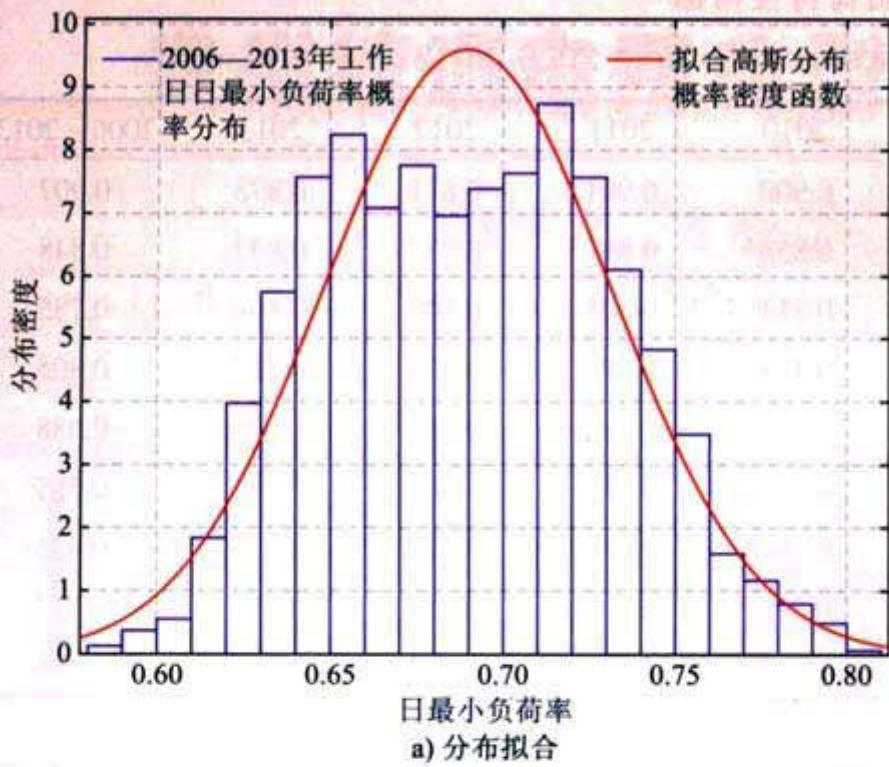


图 2 2006—2013 年工作日日最小负荷率分布

Fig.2 Distribution of minimum weekday's load rate from 2006-2013

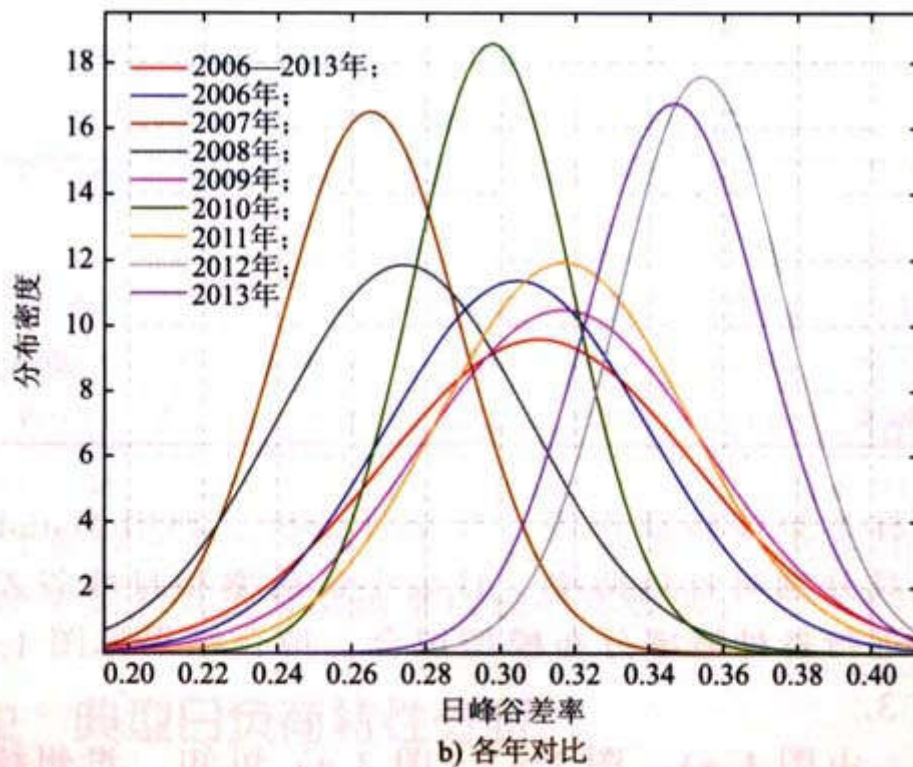
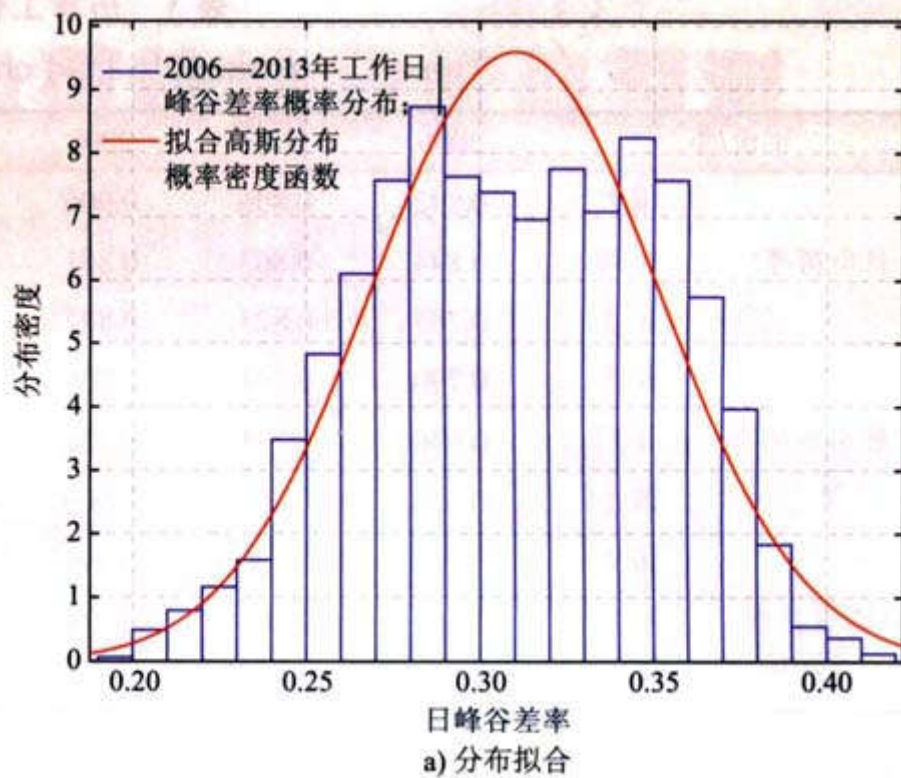


图3 2006—2013年工作日日峰谷差率分布
 Fig.3 Distribution of the weekday's peak-valley difference ratio from 2006-2013

由图 1a)、图 2a)、图 3a) 可知, 贵州统调工作日日负荷率、日最小负荷率和日峰谷差率都较好地服从正态分布(大数定律及中心极限定理可以说明日负荷率较好地服从正态分布的合理性, 此略), 拟合得到的均值和标准差见表 3。

表 3 统调工作日负荷特性各指标均值及标准差

Table 3 Mean and standard deviation of each weekday's load characteristics index

项目	日负荷率	日最小负荷率	日峰谷差率
均值 μ	0.849	0.690	0.310
标准差 σ	0.019	0.042	0.042

95%概率下各指标变动情况见表 4。将其与表 2 中的数据对比可知, 在 95%概率下各指标的波动幅度已大为缩小, 牺牲 5%的样本数据将分别使日负荷率、日最小负荷率和日峰谷差率波动幅度分别下降 18.9%、18.2%和 16.2%, 这主要是因为样本值中存在一些坏数据。这也说明本文采用的概率统计方法是合理的, 得到的数据能够比较准确地反映真实情况。

表 4 95%概率下各指标值波动幅度

Table 4 Index fluctuation amplitude under 95% probability

项目	日负荷率	日最小负荷率	日峰谷差率
幅度	0.099	0.180	0.181
与样本值比	缩幅	0.023	0.040
	缩幅比/%	18.9	18.2

由图 1b)、图 2b)、图 3b) 可知, 贵州统调工作日日负荷率、日最小负荷率 2007 年值整体偏高, 2012 年整体偏低, 其他年份居中。不难得出对应的日峰谷差率, 则 2007 年值整体偏低, 2012 年整体偏高, 其他年份居中。

(2)变化趋势分析。为把握不同年份日负荷特性指标的变化规律, 将贵州 2006—2013 年统调工作日日负荷特性相关指标平均值绘制在同一图中, 如图 4。由图 4 可知: ①日负荷率平均值维持在 0.83~0.87, 呈略微下降趋势, 变化趋势不明显, 保持相对稳定; ②日最小负荷率平均值在 0.64~0.74 波动, 总体呈缓慢下降趋势; ③日峰谷差率平均值在 0.27~0.36 波动, 总体呈缓慢上升趋势。

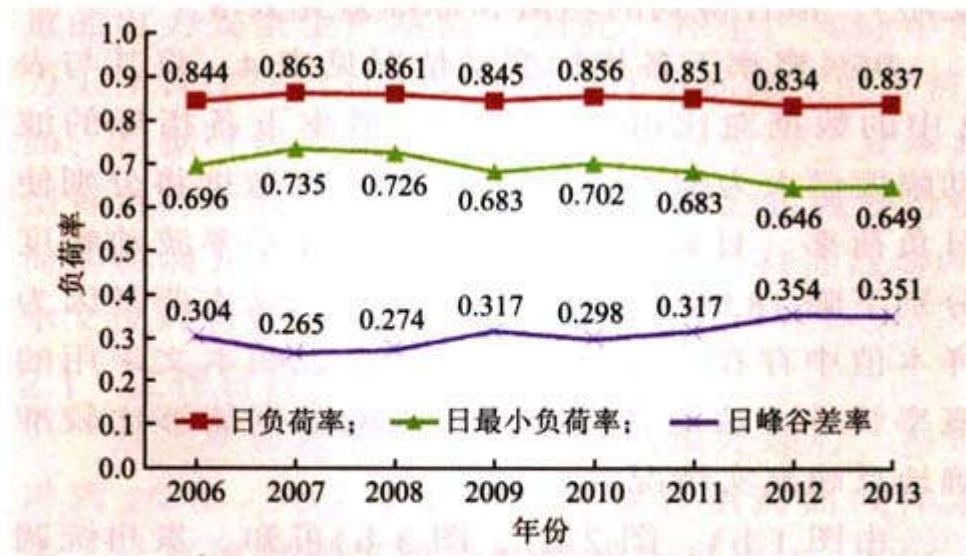


图 4 2006—2013 年工作日日负荷特性相关指标变化趋势

Fig.4 Trends of the related indicators of the weekday daily load characteristic from 2006-2013

随着贵州统调负荷的不断增大，峰谷差也随之逐渐增大，而峰谷差率的缓慢上升造成峰谷差的增长率高于最大负荷增长率，这给调峰带来更大困难。

2.2 周末日负荷特性指标分析

与分析工作日日负荷特性指标的方法类似，由于规律相似，为简化，仅对分布规律进行拟合，而不再对各年曲线作对比分析。计算分析得到历年贵州统调周末日负荷特性指标值，见表 5，2006—2013 年各指标最大波动情况和平均值波动情况见表 6。

表 5 历年周末统调日负荷特性指标

Table 5 Weekend load characteristics indexes from 2006-2013

年份/年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2006—2013	
日负荷率	最大	0.876	0.884	0.905	0.914	0.896	0.923	0.868	0.872	0.923
	平均	0.846	0.864	0.850	0.853	0.859	0.858	0.834	0.839	0.850
	最小	0.812	0.836	0.784	0.811	0.828	0.807	0.810	0.810	0.784
日最小负荷率	最大	0.762	0.770	0.802	0.801	0.755	0.823	0.700	0.713	0.823
	平均	0.702	0.739	0.710	0.700	0.709	0.701	0.652	0.654	0.692
	最小	0.625	0.702	0.578	0.624	0.663	0.634	0.615	0.592	0.578
日峰谷差率	最大	0.375	0.298	0.422	0.376	0.337	0.366	0.385	0.408	0.422
	平均	0.298	0.261	0.290	0.300	0.291	0.299	0.348	0.346	0.308
	最小	0.238	0.230	0.198	0.199	0.245	0.177	0.300	0.287	0.177

表 6 2006—2013 周末日负荷特性各指标波动情况

Table 6 Fluctuations of each weekend daily load characteristics index from 2006–2013

项目	日负荷率		日最小负荷率		日峰谷差率	
	最大	平均	最大	平均	最大	平均
上限	0.923	0.864	0.823	0.739	0.422	0.348
下限	0.784	0.834	0.578	0.652	0.177	0.261
幅度	0.139	0.030	0.245	0.087	0.245	0.087

(1) 分布规律分析。拟合得到的周末日负荷率、日最小负荷率和日峰谷差率分布曲线见图 5。由图 5 可知，周末日负荷特性相关指标分布规律与工作日的相似，均服从正态分布。拟合得到的均值和标准差见表 7。

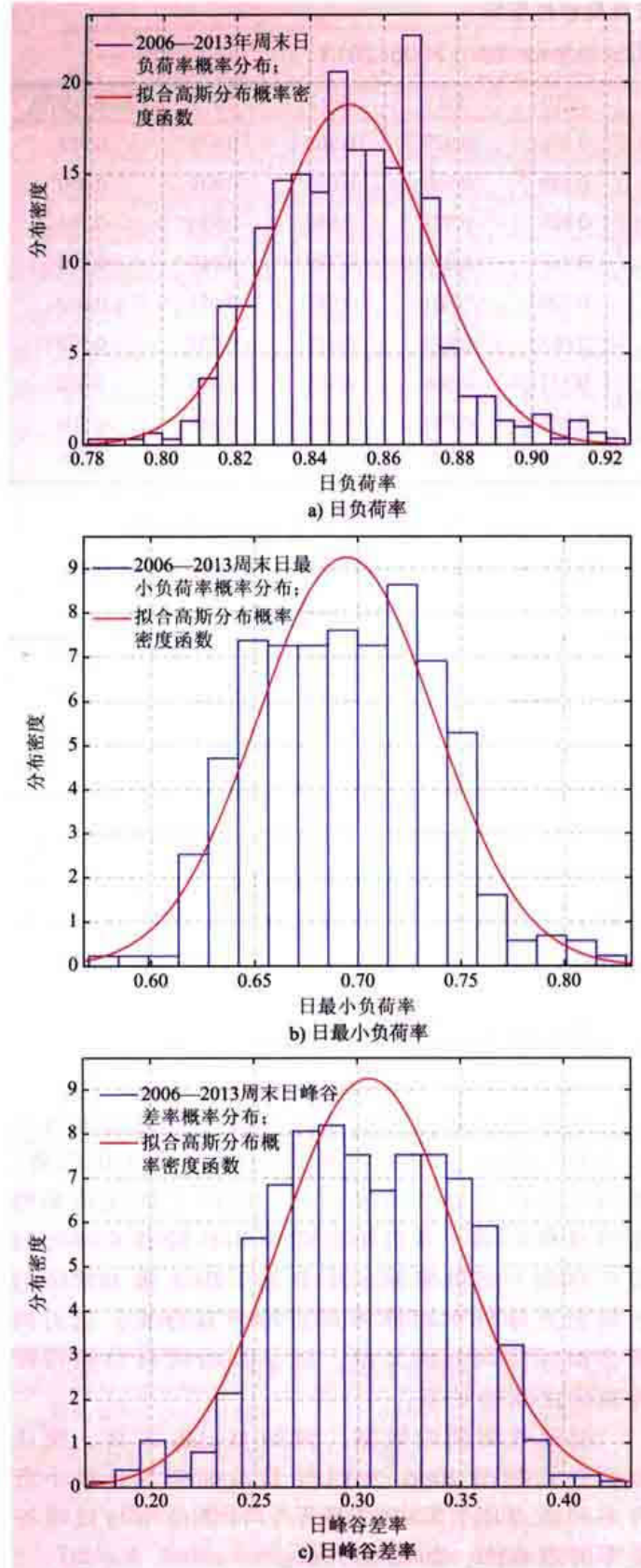


图 5 2006—2013 年周末日负荷特性指标分布

Fig.5 Distribution of weekend daily load characteristics index from 2006-2013

表 7 统调周末日负荷特性各指标均值及标准差

Table 7 Mean and standard deviation of each weekend daily load characteristics index

项目	日负荷率	日最小负荷率	日峰谷差率
均值 μ	0.851	0.694	0.306
标准差 σ	0.021	0.043	0.043

95%概率下各指标变动情况见表 8。将其与表 6 中的数据对比可知，在 95%概率下各指标的波动幅度已大为缩小，缩小幅度大约在 35%~40%。与工作日情况相比，周末的缩小效应更为明显，这主要是由于周末样本数据相对要小，坏数据对整体的影响就显得更大。

表 8 95%概率下各指标值波动幅度

Table 8 Index fluctuation amplitude under 95% probability

项目	日负荷率	日最小负荷率	日峰谷差率
幅度	0.084	0.156	0.157
与样本值比	缩幅	0.055	0.089
	缩幅比/%	39.7	36.3

(2)变化趋势分析。将贵州 2006—2013 年统调周末日负荷特性相关指标平均值绘制在同一图中，如图 6 所示。与工作日的变化趋势一致，即日负荷率平均值保持相对稳定，日最小负荷平均值呈缓慢下降趋势，日峰谷差率呈缓慢上升趋势。与工作日相比，日负荷率和日最小负荷率略高，日峰谷差率略低，负荷特性相对较好，调峰难度略低。

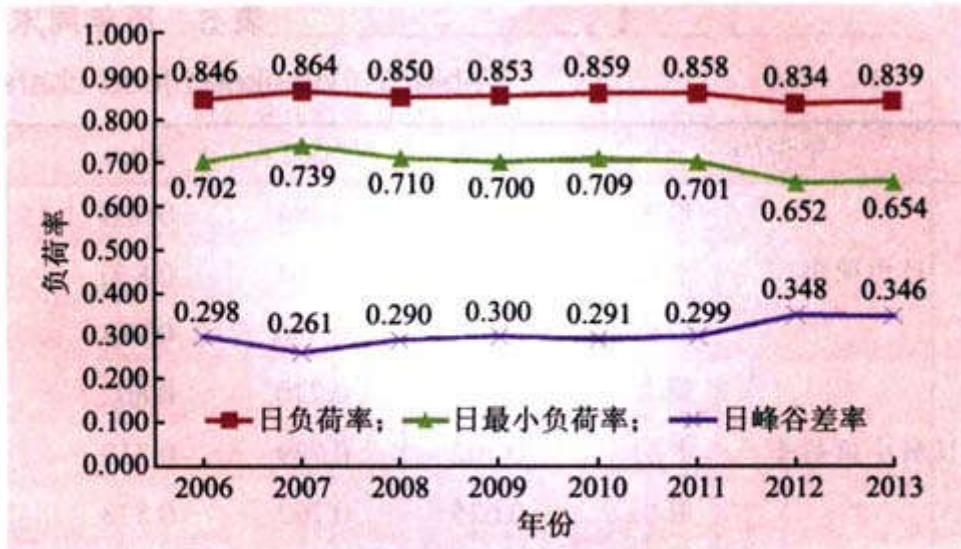


图 6 2006—2013 年周末日负荷特性相关指标变化趋势

Fig.6 Trends of the related indicators of the weekend daily load characteristic from 2006–2013

3 多指标协同分析

前文对日负荷特性曲线的几个关键指标进行了分析与研究，模拟计算出各指标的变化趋势。不同的指标反应的角度不同，但同是描述负荷特性的日负荷率、日最小负荷率和日峰谷差率之间势必存在一定的联系。本节先采用工程上常用的模糊聚类分析[8]对样本点进行大致分类，然后借助多指标协同分析方法，进一步研究日负荷特性各指标之间的关系。

根据收集到的数据，借助 Matlab 工具，统计分析并绘制出 2006-2013 年日负荷率与日最小负荷率的散点图，如图 7 所示，日负荷率与日峰谷差率的散点图，如图 8 所示。

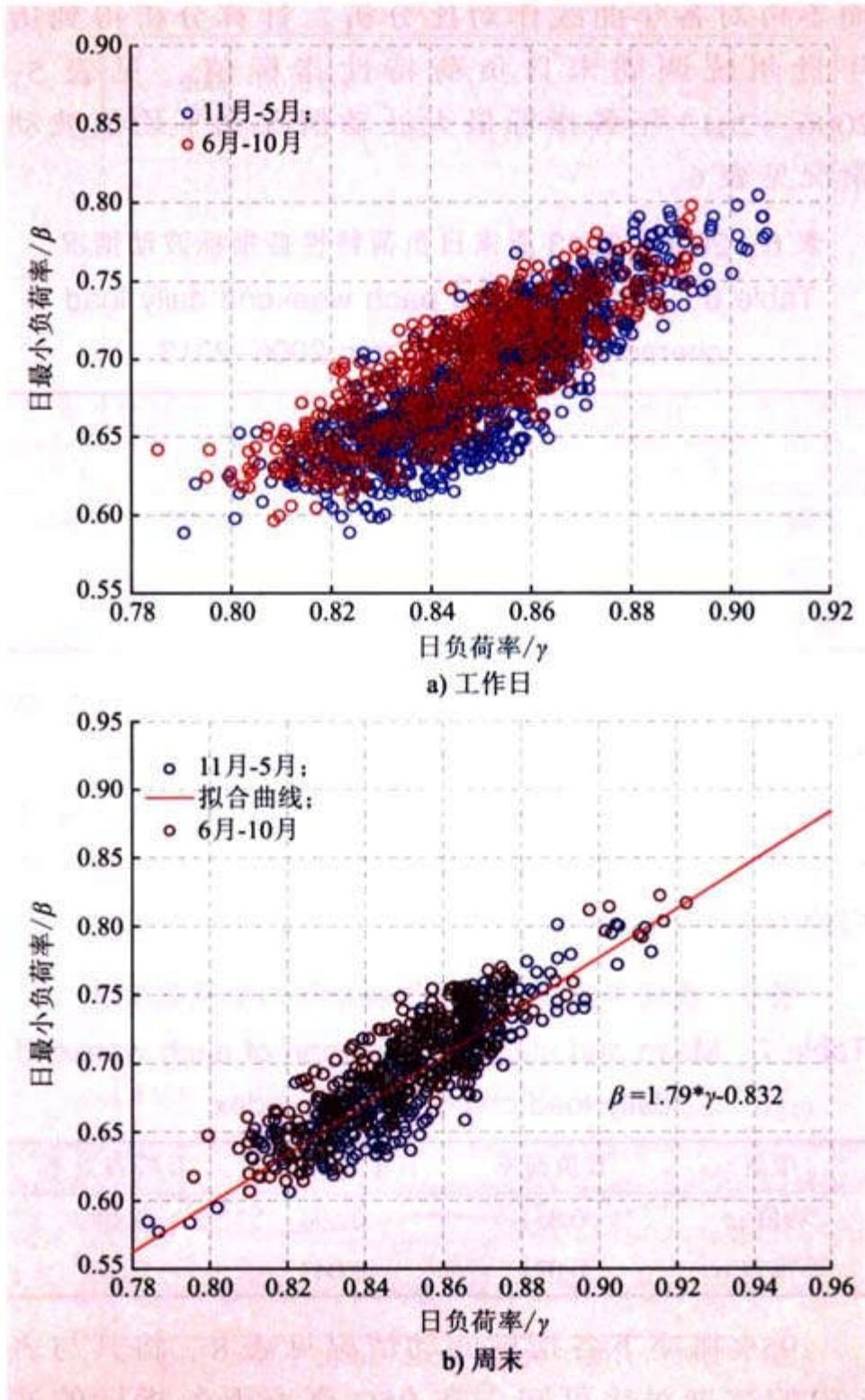


图 7 历年日负荷率-日最小负荷率分布散点图

Fig.7 The scatter of distribution between daily load rate and minimum daily load rate in past years

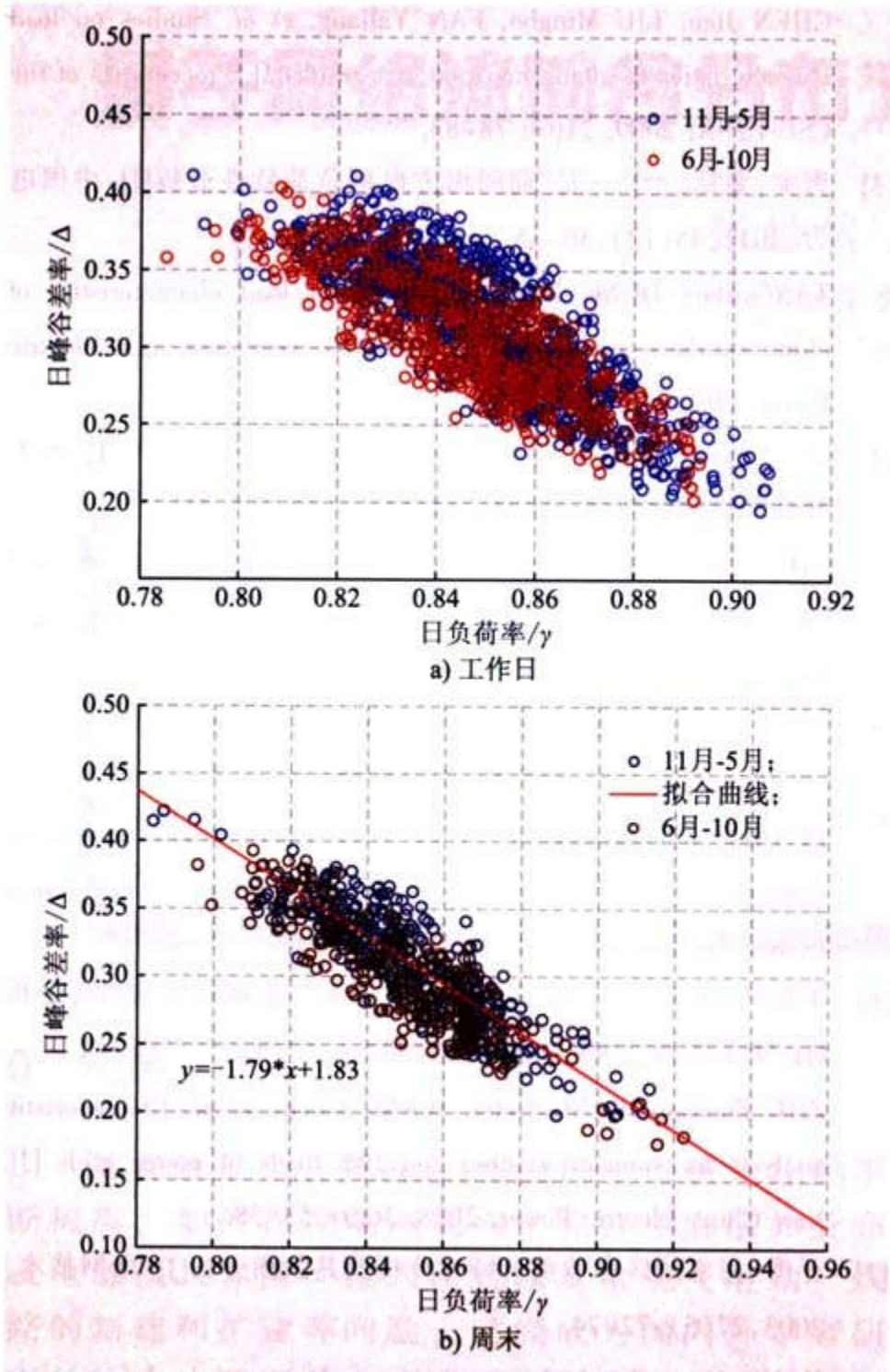


图 8 历年日负荷率-日峰谷差率分布散点图
 Fig.8 The scatter of distribution between daily load rate and peak-valley ratio in past years

由图 8 可知，日负荷率与日最小负荷率之间存在较强的正相关，运用线性函数、二次函数

、三次函数等数学模型分别对上述相关性进行拟合，结果表明，线性函数拟合效果最好，且模型简单，工作日和周末的情况分别如式(1)、式(2)所示。

$$\beta = 1.72 \gamma - 0.768 \quad (1)$$

$$\beta = 1.79 \gamma - 0.832 \quad (2)$$

式中： β 、 γ 分别表示日最小负荷率和日负荷率。

由图7可知，日负荷率与日峰谷差率之间存在较强的负相关，同样，线性函数拟合效果最好，工作日和周末的情况分别如式(3)、式(4)所示。

$$\Delta = -1.72 \gamma + 1.768 \quad (3)$$

$$\Delta = -1.79 \gamma + 1.83 \quad (4)$$

式中： Δ 表示日峰谷差率。

由式(1)、式(3)和式(2)、式(4)可知， $\beta + \Delta \approx 1$ ，这从日峰谷差率、日最小负荷率及日负荷率的定义很容易得到验证。

采用前文的统计数据对建立的模型进行验算，得到误差值，见表9。由表9中数据可知：
 (1)日负荷率与日最小负荷率的拟合模型统计值验算误差百分数：工作日的在[-2.5%，3.5%]之间波动，周末的在[-3.3%，2.4%]之间波动；
 (2)日负荷率与日峰谷差率的拟合模型统计值验算误差百分数：工作日的在[-6.5%，7.0%]之间波动，周末的在[-5.1%，8.6%]之间波动；
 (3)各模型2006—2013年平均统计值验算误差百分数均在±1%内；
 (4)各模型各年统计值验算误差波动幅度较大，最大为8.6%，但多年平均值验算误差波动幅度已大为缩小，最大仅为0.8%。

表9 各模型统计值验算误差百分数

Table 9 Checking error percentage of each model

年份	式(1)	式(2)	式(3)	式(4)
2006	-1.8	-2.8	4.1	5.9
2007	-2.5	-3.3	7.0	8.6
2008	-1.8	-2.9	4.8	6.4
2009	0.4	-0.7	-0.8	1.0
2010	0.3	-0.5	-0.8	0.5
2011	1.9	0.4	-4.0	-1.6
2012	3.2	1.4	-5.8	-3.1
2013	3.5	2.4	-6.5	-5.1
2006—2013	0.4	-0.4	-0.8	0.2

分析与研究结果表明，虽然受外界众多因素影响，贵州统调日负荷曲线不尽相同，甚至存在较大差别，但特性指标间关系却相对稳定。这也在一定程度上说明了贵州在过去几年里用电

(日)特性是比较稳定的。

4 典型日负荷特性指标预测

根据政府相关规划，贵州提出了工业强省战略，并提出将于 2020 年与全国同步实现小康。根据贵州省政府政策研究室研究成果，贵州目前处于工业化中前期，预计到 2020 年将进入工业化中期，2030 年进入工业化后期。由此判断，贵州年平均日负荷率将呈现先升后降趋势，如工作日预计 2015 年上升至 0.845，2020 年回落至 0.835，2030 年进一步下降至 0.826。采用前文建立的模型预测 2015、2020 和 2030 年年平均日最小负荷率、年平均峰谷差率，预测结果见表 10。

表 10 中长期典型日负荷特性预测
Table 10 Long-term typical daily load characteristic forecasting

年份	2013	2015	2020	2030
日负荷率	0.837	0.845	0.835	0.826
工作日				
日最小负荷率	0.649	0.654	0.648	0.641
日峰谷差率	0.351	0.346	0.352	0.359
日负荷率	0.839	0.847	0.837	0.828
周末				
日最小负荷率	0.654	0.659	0.653	0.646
日峰谷差率	0.346	0.341	0.347	0.354

由预测结果可知，年平均日最小负荷率 β 变化趋势与年平均日负荷率 γ 变化趋势基本一致，除此之外，还有自身的变化特点：(1)当 γ 上升时， β 随之上升，但上升速率较 γ 要小，即峰谷差率下降速率较慢；(2)当 γ 下降时， β 随之下降，但下降速率较 γ 要快，即 Δ 上升速率较快。这一变化趋势与贵州历史负荷特性变化规律是吻合的，即当第二产业用电比重上升时， γ 随之上升，但峰谷差并未缩小，调峰压力还可能继续加大；当第三产业用电、居民生活用电上升、第二产业用电下降时， γ 下降，峰谷差增大速率要高于 γ 下降速率，调峰将面临更严峻的压力。

5 结语

本文较为详细地收集了贵州电网历史负荷数据，尤其是在人们的工作习惯对负荷的影响以

及各负荷特性指标之间关系方面做了些工作,较为全面、细致地摸清了贵州统调电网典型日负荷特性的变化规律及各关键指标间的相互关系,可为今后贵州电网电力规划及调度相关部门进行负荷分析预测提供重要参考。分析计算结果表明:

(1)无论是工作日还是周末日负荷率、日最小负荷率和日峰谷差率均服从正态分布,且以较大的速度向中心极值靠近。在95%概率下各指标波动范围大幅缩小,较好地去除了坏数据的影响。

(2)日负荷率、日最小负荷率和日峰谷差率之间存在一定的关系。日负荷率与日最小负荷率存在近似线性正相关,日负荷率与日峰谷差率存在近似线性负相关。

(3)虽然日负荷特性各指标值受外界因素影响较大,但是他们之间的关系却相对稳定,拟合模型多年平均统计值验算误差百分数均在 $\pm 1\%$ 内波动。

运用该模型对贵州中长期负荷特性相关指标进行预测,预测结果能够反映贵州负荷特性发展趋势,可以为中长期负荷预测提供参考。

参考文献:

- [1]杨宗麟. 华东电网负荷特性分析预测[J]. 华东电力, 2008, 36(5): 50-52.
- [2]陈健, 刘明波, 樊亚亮, 等. 广州电网负荷特性分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(6): 78-83.
- [3]唐宝, 董征. “十一五”期间南方电网负荷特性分析[J]. 中国电力, 2012, 45(10): 30-35.
- [4]陈伟, 周峰, 韩新阳, 等. 国家电网负荷特性分析研究[J]. 电力技术经济, 2008, 20(4): 25-29, 37.

[5]李扬, 王治华, 卢毅, 等. 南京市夏季气温—日峰荷特性分析[J]. 电网技术, 2001, 25(7): 63-66, 71.

[6]朱振伟, 方鸽飞, 王国福, 等. 电网夏季气象敏感负荷特性分析[J]. 华东电力. 2008, 36(9): 53-58.

[7]姜勇. 南京地区春节负荷特性分析及其预测方法[J]. 电网技术, 2003, 27(5): 72-74

[8]李培强, 李欣然, 罗安. 基于数理统计和模糊聚类的变电站负荷特性判别比较[J]. 中国电力, 2011, 44(1): 15-18.