

# 三次产业用电特性及负荷结构研究

任志超 张全明 杜新伟 王海燕 曹开江

( 国网四川省电力公司经济技术研究院 四川 成都 610094)

**摘要:** 全社会用电负荷曲线由三次产业用电负荷曲线及居民生活用电负荷曲线组成。通过大用户负荷曲线叠加, 测算了典型行业及居民生活的用电负荷曲线, 研究了用电特性及其发展规律, 并以类似方法估算了三次产业的最大用电负荷, 揭示了负荷结构与产业结构的关系。结果表明, 四川地区三次产业典型行业均具有明显的季节特征; 第一产业用电负荷比重极小, 第二产业用电负荷比重较大, 第三产业用电负荷迅速发展, 居民生活质量不断改善。

**关键词:** 三次产业; 用电特性; 负荷结构; 产业结构

**Abstract:** Power consumption curve of the whole society is composed of three industries' electricity load curve and residential electricity load curve. Through the superposition of electricity load curve of large customers, the electricity load curve of typical trade and residents is calculated. The characteristics of electricity loads and its law of development are studied. The maximum electricity load of three industries is also evaluated in a similar way, and the relationship between load structure and industrial structure is investigated. The results show that the electricity load of the typical trade in three industries presents obvious seasonal characteristics in Sichuan area. The electricity load proportion of primary industry is relatively small, and the load proportion of second industry is relatively large. Particularly, the electricity load of third industry develops rapidly, and the quality of residential life is being improved continuously.

**Key words:** three industries; electricity load characteristics; load structure; industrial structure

中图分类号: TM716 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)03-0077-05

## 0 引言

准确把握电网负荷特性及其发展变化趋势是做好电力规划、计划、生产运行工作的重要基础。近年来, 世界经济复苏明显放缓, 国内经济下行压力不断加大, 四川坚持把经济结构战略性调整作为加快转变经济发展方式的主攻方向, 提升产业层次和核心竞争力, 促进三次产业协调发展<sup>[1]</sup>。电力工业作为国民经济发展的晴雨表, 对产业结构的调整既具有较大的调节性, 又具有较强的依赖性<sup>[2]</sup>。

在前人工作的基础上<sup>[3-5]</sup>, 利用负控采集的大用户历史负荷数据, 通过叠加估算以及用电量校核, 描绘了四川地区三次产业典型行业及居民生活的用电负荷曲线, 研究了用电特性及其发展规律, 并进一步估算了三次产业的最大用电负荷, 分析了全社会用电负荷的具体结构, 探讨了负荷结构变化与产业结构调整的内生联系, 研究成果为电网发展规划及用电市场拓展提供了一定的科学依据。

## 1 负荷曲线测算

### 1.1 典型日选取

各地气候条件不同, 四季对应的月份存在差异。一般情况下, 春季为 3 至 5 月、夏季为 6 至 8 月、秋季为 9 至 11 月和冬季 12 至次年 2 月。目前典型日的选取没有统一的规定, 主要有以下 3 种方法。

第 1 种: 选取日负荷率与期间(季节、月)平均日负荷率最接近、且负荷曲线无异常畸变的日负荷曲线作为该期间(季节、月)的典型日负荷曲线。

① 当月各工作日的平均日负荷曲线为

$$L(h) = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N L(d, h) \quad h=0, 1, 2, 3, \dots, 23 \quad (1)$$

其中  $L(h)$  为当月各工作日负荷曲线的平均, 即平均日负荷曲线;  $L(d, h)$  为各工作日的负荷曲线;  $h$  为每日 24 个整点;  $N$  为当月工作日的天数。

② 从当月所有工作日负荷曲线  $L(d, h)$  中找出与上述平均日负荷曲线  $L(h)$  最“相似”(接近)的某

一日负荷曲线  $L(d^* h)$  作为典型日负荷曲线。

这里的“相似”(接近)的定义是如下的距离(偏差)最小。

$$\sum_{h=0}^{23} |L(d^* h) - L(h)|^2 = \min_{1 \leq d \leq N_h=0} \sum_{h=0}^{23} |L(d h) - L(h)|^2 \quad (2)$$

第2种:选取期间(季节、月)某一固定工作日,比如取某月第3周第3个工作日作为典型日。

第3种:选取最大负荷日作为典型日。

### 1.2 负荷曲线测算

第1步 按照上述方法选取典型日日期。第2步 通过负控采集等渠道获取典型行业用电量较大的用户在典型日的负荷曲线。第3步 这些用户的负荷曲线的叠加(记为  $L_1$ ),可以代表本地区典型行业的负荷曲线形状。根据  $L_1$  可以得到这些用户当日的合计用电量( $C_1$ )。第4步 根据典型行业的当月用电量除以天数 得到日用电量( $C$ )。第5步 计算所选用用户用电量占该行业用电量的比重,  $M = C / C_1$ 。第6步 将  $L_1$  各点负荷放大  $M$  倍即为典型日负荷曲线。

## 2 用电负荷特性研究

### 2.1 产业典型行业负荷特性

#### (1) 第一产业典型行业负荷特性分析

第一产业选取排灌行业作为研究对象。本行业春季无用电早高峰,夏、秋、冬季用电早高峰一般出现在6~7点;春、冬季用电午高峰一般出现在11~12点,夏、秋季用电午高峰一般出现在12~13点;春季用电晚高峰一般出现在20~21点,夏季晚用电高峰一般出现在21~22点,秋、冬季用电晚高峰一般出现在19~20点。

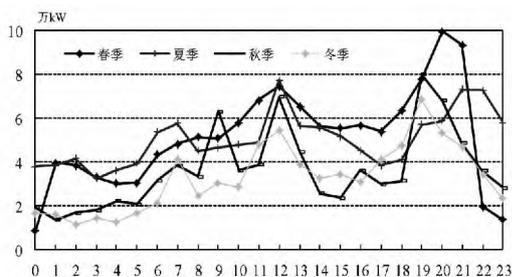


图1 四川排灌业四季典型日负荷曲线

2010—2012年,四川地区排灌业典型日负荷特性如表1所示。典型日负荷率夏季较大、秋季较小,逐年下降趋势明显;典型日最小负荷率夏季较大,春

季较小,逐年下降趋势明显;典型日峰谷差率春季较大,夏季较小,逐年上升趋势明显。

表1 2010—2012年四川排灌业典型日负荷特性

年份	季节	日期	最大负荷 /MW	峰谷差	负荷率	最小负荷率	峰谷差率
2010	春	4/21	95.6	8.72	0.521	0.087	0.913
	夏	8/18	76.7	4.30	0.662	0.439	0.561
	秋	10/20	76.3	6.21	0.462	0.186	0.814
	冬	12/15	84.4	6.88	0.487	0.185	0.815
2011	春	4/20	111.0	10.05	0.520	0.096	0.904
	夏	8/17	77.9	4.37	0.662	0.439	0.561
	秋	10/19	110.0	9.06	0.461	0.172	0.828
	冬	12/21	71.8	5.93	0.488	0.173	0.827
2012	春	4/18	99.6	9.10	0.515	0.086	0.914
	夏	8/15	77.3	4.48	0.654	0.421	0.579
	秋	10/17	79.9	6.63	0.456	0.171	0.829
	冬	12/19	68.5	5.68	0.481	0.171	0.829

#### (2) 第二产业典型行业负荷特性分析

第二产业选取化学纤维业作为研究对象。本行业春季用电早高峰一般出现在5~6点,秋季用电早高峰一般出现在6~7点,夏、冬季用电早高峰一般出现在7~8点;春季用电午高峰一般出现在14~15点,夏季用电午高峰一般出现在11~12点,秋、冬季用电午高峰一般出现在10~11点;春季晚用电高峰一般出现在21~22点,夏季用电晚高峰一般出现在17~18点,秋、冬季用电晚高峰一般出现在18~19点。

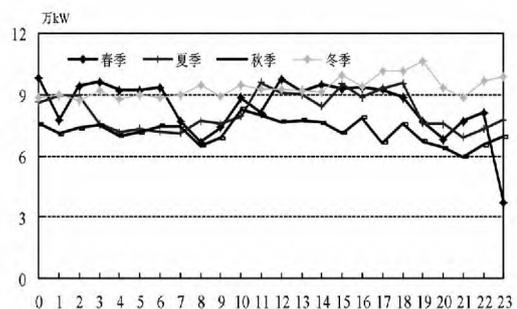


图2 四川化学纤维业典型日负荷曲线

2010—2012年,四川地区化学纤维业典型日负荷特性如表2所示。行业典型日最大负荷逐年加大;典型日负荷率冬季较大、夏季较小,逐年上升趋势明显;典型日最小负荷率冬季较大,春季较小,逐年上升趋势明显;典型日峰谷差率春季较大,冬季较小,逐年下降趋势明显。受国际金融危机影响,东部地区一些劳动密集型和能源、资源消耗量大的传统产业,因成本上升,生产难以为继,开始大量向西部地区转移,导致四川地区个别高耗能企业过热发展。

表2 2010~2012年四川化学纤维业典型日负荷特性

年份	季节	日期	最大负荷 /MW	峰谷差	负荷率	最小负荷率	峰谷差率
2010	春	4/21	62.1	3.91	0.857	0.371	0.629
	夏	8/18	78.2	2.23	0.851	0.714	0.286
	秋	10/20	75.8	2.18	0.867	0.712	0.288
	冬	12/15	66.9	1.28	0.871	0.808	0.192
2011	春	4/20	84.8	5.31	0.859	0.374	0.626
	夏	8/17	87.7	2.48	0.852	0.717	0.283
	秋	10/19	84.8	2.42	0.868	0.715	0.285
	冬	12/21	65.4	1.24	0.872	0.811	0.189
2012	春	4/18	98.0	6.10	0.861	0.378	0.622
	夏	8/15	96.1	2.68	0.854	0.721	0.279
	秋	10/17	83.0	2.33	0.870	0.719	0.281
	冬	12/19	107.0	1.96	0.875	0.816	0.184

(3) 第三产业典型行业负荷特性分析

第三产业选取住宿餐饮业作为研究对象。本行业春季用电早高峰一般出现在7~8点,夏季无用电早高峰,秋季用电早高峰一般出现在8~9点,冬季用电早高峰一般出现在6~7点;春、冬季用电午高峰一般出现在11~12点,夏季用电午高峰一般出现在16~17点,秋季用电午高峰一般出现在12~13点;春季用电晚高峰一般出现在20~21点,夏季用电晚高峰一般出现在22~23点,秋、冬季用电晚高峰一般出现在21~22点。

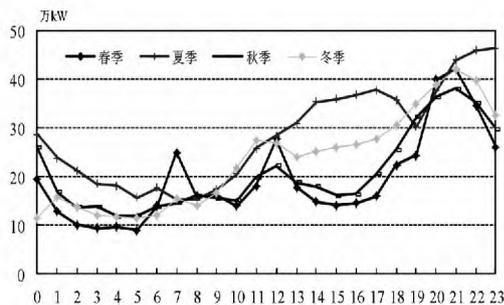


图3 四川住宿餐饮业典型日负荷曲线

2010—2012年,四川地区住宿餐饮业典型日负荷特性如表3所示。行业典型日最大负荷逐年加大;典型日负荷率及最小负荷率夏季较大、春季较小,逐年上升趋势明显;典型日峰谷差率春季较大,夏季较小,逐年下降趋势明显。

2.2 居民生活负荷特性

居民用电负荷主要由基本负荷和季节性负荷两部分组成。基本负荷主要由电冰箱、电炊具、照明等组成,季节性负荷则是指夏季降温负荷(由空调、电扇等组成)和冬季取暖负荷(由空调、油汀等组成)。

2010—2012年,四川地区居民生活用电具有明

表3 2010—2012年四川住宿餐饮业典型日负荷特性

年份	季节	日期	最大负荷 /MW	峰谷差	负荷率	最小负荷率	峰谷差率
2010	春	4/21	312	24.9	0.460	0.202	0.798
	夏	8/18	376	25.6	0.609	0.318	0.682
	秋	10/20	319	22.4	0.541	0.300	0.700
	冬	12/15	319	23.6	0.549	0.260	0.740
2011	春	4/20	411	32.6	0.462	0.207	0.793
	夏	8/17	393	26.6	0.611	0.322	0.678
	秋	10/19	335	23.3	0.543	0.304	0.696
	冬	12/21	332	24.4	0.551	0.264	0.736
2012	春	4/18	421	33.1	0.464	0.213	0.787
	夏	8/15	465	31.2	0.614	0.329	0.671
	秋	10/17	381	26.2	0.546	0.312	0.688
	冬	12/19	421	30.7	0.554	0.272	0.728

显的季节特征。春季用电早高峰一般出现在6~7点,夏季无用电早高峰,秋季用电早高峰一般出现在7~8点,冬季用电早高峰;春、秋季用电午高峰一般出现在11~12点,夏季用电午高峰一般出现在15~16点,冬季用电午高峰一般出现在12~13点;春秋冬三季用电晚高峰一般出现在18~19点,夏季用电晚高峰一般出现在21~22点。

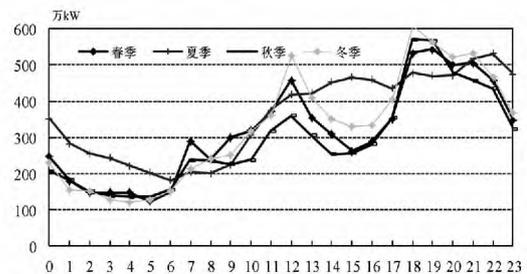


图4 四川居民生活用电典型日负荷曲线

2010—2012年,四川地区居民生活典型日负荷特性如表4所示。居民生活典型日最大负荷逐年加大;典型日负荷率及最小负荷率夏季较大、秋季较小,基本呈下降趋势;典型日峰谷差率冬季较大,夏季较小,基本呈上升趋势。

3 用电负荷结构研究

3.1 用电负荷结构分析

第一产业用电负荷比重极小。四川地区第一产业的代表性用电行业是排灌业,依据第一产业与排灌业用电量的关系,可以得到第一产业用电负荷近似曲线。以春季为例,2012年四川地区第一产业最大用电负荷约为255 MW,同比减少1.16%。

第二产业用电负荷比重较大。四川地区第二产

表 4 2010—2012 年四川居民生活典型日负荷特性

年份	季节	日期	最大负荷 /MW	峰谷差	负荷率	最小负荷率	峰谷差率
2010	春	4/21	4 670	362	0.580	0.224	0.776
	夏	8/18	4 400	291	0.678	0.339	0.661
	秋	10/20	5 190	394	0.515	0.242	0.758
	冬	12/15	4 720	375	0.542	0.205	0.795
2011	春	4/20	5 150	394	0.584	0.234	0.766
	夏	8/17	4 600	301	0.683	0.347	0.653
	秋	10/19	5 740	437	0.514	0.239	0.761
	冬	12/21	5 080	403	0.544	0.207	0.793
2012	春	4/18	5 430	420	0.581	0.227	0.773
	夏	8/15	5 310	350	0.678	0.340	0.660
	秋	10/17	5 710	436	0.512	0.236	0.764
	冬	12/19	6 080	488	0.539	0.198	0.802

业的代表性用电行业是钢铁、氯碱、化学纤维、水泥制造、肥料制造以及黄磷等,依据典型大工业用户用电实际情况,可以得到第二产业用电负荷近似曲线。以春季为例,2012 年四川地区第二产业最大用电负荷约为 21 490 MW,同比仅增长 1.56%。

第三产业用电负荷迅速发展。四川地区第三产业的代表性用电行业为住宿餐饮业,采用类似于上述的方法,可以得出第三产业用电负荷近似曲线。以春季为例,2012 年四川地区第三产业最大用电负荷约为 21 490 MW,同比增长 7.64%。随着第三产业的迅速发展以及居民生活质量的不断改善,第三产业用电负荷及居民用电负荷同比增速逐年提升,在一定程度上,降低了全网的负荷率水平。

表 5 2010—2012 年四川三次产业负荷结构

年份	季节	日期	第一产业最大负荷 /MW	第二产业最大负荷 /MW	第三产业最大负荷 /MW	居民生活最大负荷 /MW
2010	春	4/21	330	17 180	4 480	4 670
	夏	8/18	189	17 220	4 310	4 400
	秋	10/20	208	18 250	3 900	5 190
	冬	12/15	240	16 650	4 100	4 720
2011	春	4/20	258	21 160	5 370	5 150
	夏	8/17	187	22 140	4 940	4 600
	秋	10/19	275	21 100	4 650	5 740
	冬	12/21	248	20 400	4 670	5 080
2012	春	4/18	255	21 490	5 780	5 430
	夏	8/15	211	22 790	5 550	5 310
	秋	10/17	252	21 750	5 140	5 710
	冬	12/19	249	21 570	5 630	6 080

### 3.2 产业结构调整及其影响

“十一五”以来,四川省产业结构比例由 2005 年的 20.1:41.5:38.4 调整到 2010 年的 14.4:50.5:

35.1,2011 年调整至 14.2:52.4:33.4,2012 年进一步调整至 13.8:52.8:33.4。四川产业结构的变化趋势为第一产业比重平稳下降,第二产业比重大幅上升,第三产业比重趋于稳定。产业结构的变化,使得第一产业和第三产业的最高负荷增幅均低于第二产业最大负荷增幅。第三产业发展在一定程度上增大了负荷峰谷差,降低了全社会最大负荷利用小时数。

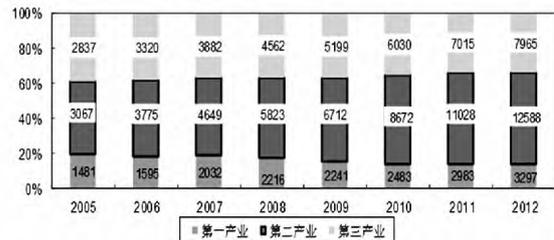


图 5 2005—2012 年四川产业结构变化(按当年价)

四川坚持走新型工业化道路,着力在扩大增量中调整结构,在加快发展中转变方式,工业效益走在全国前列,初步探索出一条创新驱动、绿色低碳、高端切入、开放合作、加速推进的工业化路子。

从总量上看,2012 年,四川工业用电占到整个电力消耗的 70.3% 左右,工业负荷也占四川电网总负荷较大的比例。“十一五”以来,由于产业结构的调整,工业增加值占省内生产总值的比重由 34.2% 上升到 42.0%,工业总量保持快速增长,以工业为主的第二产业最大用电负荷持续增加。

从工业结构看,2012 年规模以上工业中,重工业增加值增长 16.0%,轻工业增加值增长 16.4%,重轻工业的比为 66.8:33.2,自 2005 年以来,呈上升趋势。走新型工业化道路,调整工业内部结构,必将抑制一批高耗能、高污染企业的发展,造成其用电负荷增幅减小。新型的工业产业,以 IT 业、电子信息、新材料、新能源等为代表的新型工业产业的用电负荷逐年稳步上升。

预计到 2015 年,三次产业结构由“十一五”的 14.4:50.5:35.1 调整为 10.2:50.8:39。第二产业继续充当“火车头”,但其前进的动力会更多来自自主创新和升级。

## 4 结 论

(1) 四川地区排灌业春季无用电早高峰,典型

日负荷率夏季较大、秋季较小。化学纤维业冬季负荷曲线较为平滑,典型日负荷率冬季较大、夏季较小。住宿餐饮业夏季无用电早高峰,典型日负荷率夏季较大、春季较小。

(2) 四川地区居民生活用电夏季、冬季无早高峰,典型日负荷率及最小负荷率夏季较大、秋季较小,基本呈下降趋势;典型日峰谷差率冬季较大,夏季较小,基本呈上升趋势。

(3) 四川地区第一产业用电负荷比重极小,第二产业用电负荷比重较大。随着第三产业的迅速发展以及居民生活质量的不断改善,在一定程度上,降低了全网的负荷率水平。

参考文献

[1] 四川省人民政府. 四川省国民经济和社会发展第十二

(上接第13页)

[8] Schwan H. P. . Electrical Properties of Tissue and Cell Suspensions [J]. Advances in Biological and Medical Physics , Weinheim and New York: VCH Publishers , 1957( 5) : 147 - 209.

[9] Schwan H. P. , Takashima , S. . Electrical Conduction and Dielectric Behavior in Biological Systems [J]. Encyclopedia of Applied Physics , Weinheim and New York: VCH Publishers , 1993( 5) : 177 - 200.

[10] A. De Lorenzo , A. Andreoli , J. Matthei , et al. Predicting Body Cell Mass with Bioimpedance by Using Theoretical Methods: A Technological Review [J]. Appl. Physiol , 1997 , 82: 1542 - 1997.

[11] 唐敏. 生物阻抗测量原理与测量技术 [J]. 生物医学工程学杂志 , 1997 , 14( 2) : 152 - 155.

[12] International Electrotechnical Commission. Methods of Measurements of Touch Currents and Protective Conductor Current [S]. IEC 60990 , 1999.

[13] Jean - Louis Damez , Sylvie Clerjon , Said Abouelkaram , et al. Dielectric Behavior of Beef Meat in the 1 ~ 1500

个五年规划纲要 [N]. 四川日报 , 2011 - 1 - 28( 1) .

[2] 康重庆 李顺福 , 夏清 , 等. 用电市场的结构分析及其对市场营销的启示 [J]. 电力系统自动化 , 2003 , 27( 14) : 27 - 31.

[3] 江峰青 郑淮 李荣民. 上海电网负荷结构分析及特性预测 [J]. 华东电力 , 2008 , 36( 9) : 51 - 52.

[4] 陆燕 , 谈健. 江苏电网负荷结构分析 [J]. 华东电力 , 2007 , 35( 7) : 26 - 29.

[5] 霍成军. 电力系统负荷特性分析研究 [D]. 天津: 天津大学 , 2007.

作者简介:

任志超(1980), 博士研究生, 研究方向为电力市场、电网规划等。

(收稿日期: 2014 - 02 - 13)

kHz Range: Simulation with the Fricke/Cole - Cole Model [J]. Meat Science , 2007 , 77: 512 - 519.

[14] White Erick A , Orazem Mark E , Bunge Annette L. Characterization of Damaged Skin by Imedance Spectroscopy: Mechanical Damage [J]. Pharmaceutical Research , 2013 , 30( 8) : 2036 - 2049.

[15] 肖湘宁 , 等. 电能质量分析与控制 [M]. 北京: 中国电力出版社 , 2010.

[16] 孟润泉 梁翼龙 宋建成 , 等. 基于谐波检测的井下高压电网选择性漏电保护系统 [J]. 继电器 , 2001 , 29( 5) : 37 - 40.

[17] 杨黎鹏. 油田电网谐波分析及软件开发研究 [D]. 杭州: 浙江大学 , 2005.

作者简介:

李 浩(1986), 硕士研究生, 主要从事剩余电流保护技术和防止人体触电方面的研究工作;

肖先勇(1968), 博士, 教授, 博士生导师, 从事不确定性理论在电力系统中的应用、电能质量和绿色智能电网方面的教学和研究工作。

(收稿日期: 2014 - 03 - 04)