

贵州电网负荷特性影响因素分析

徐常¹, 贺墨琳¹, 杨成¹, 张英杰^{2,✉}, 熊晓晟²

(1. 贵州电网有限责任公司电网规划研究中心, 贵阳 550003;
2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 为准确把握贵州电网的负荷特性及其变化规律, 需要对贵州电网负荷特性的影响因素进行分析。[方法] 根据贵州省近年来收集到的历史负荷、宏观经济及气温数据等相关信息, 首先总结分析贵州电网的负荷特性变化规律, 并进一步从宏观经济、大工业用户、气温变化等方面分析影响贵州电网负荷特性变化因素。[结果] 研究结果表明宏观经济中的经济发展水平及产业结构调整、大工业用电、气温变化等因素对贵州用电负荷特性的影响程度较大, 其他因素电力需求侧管理、电价政策等对负荷特性的影响程度较小。[结论] 最后根据分析结果对贵州的负荷预测、负荷特性改善等方面提出了建议。

关键词: 贵州电网; 负荷特性; 影响因素; 产业结构; 气温变化

中图分类号: TM7; TM727

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)S1-0036-06

开放科学(资源服务)二维码:



Analysis of Influence Factors of Load Characteristics in Guizhou

XU Chang¹, HE Molin¹, YANG Cheng¹, ZHANG Yingjie^{2,✉}, XIONG Xiaosheng²

(1. Power Grid Planning Research Center, Guizhou Power Grid Corporation, Guiyang 550003, China;
2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] In order to accurately understand the situation of load characteristics and grasp the change regularity of load, it is necessary to analyze the influence factors of the load characteristics of Guizhou power grid. [Method] Based on the data collected from the historical load, macro-economic, weather and temperature and so on, we first analyzed and summarized the change regularity of load characteristics of Guizhou power grid, and further analyzed the influencing factors of load characteristics from several aspects such as macro economy, large industrial users and temperature changes. [Result] The results showed that economic development level and industrial structure adjustment, large industrial users and temperature changes had a greater impact on the load characteristics of Guizhou power grid, while other factors, such as power demand side management and electricity price policy had a smaller impact on the Guizhou load characteristics. [Conclusion] According to the analysis results, this paper puts forward some suggestions on load prediction and load characteristic improvement in Guizhou.

Key words: Guizhou Power Grid; load characteristics; influence factors; industrial structure; temperature change

负荷特性研究作为电力系统研究领域的一项重要内容, 能有效地提高电网运行的经济性及科学性^[1]。随着贵州经济结构的转型及发展方式的转变, 未来贵州电网的电力供需形势、用电消费结构等将有较大变化, 这必然会对贵州电网的负荷特性产生一定的影响^[2]。此外, 气温气候、电价政策等因素也会影响着贵州电网的负荷特性^[3]。为了适应贵州电网未来的发展需求以及准确把握贵州电

网的负荷特性及其变化规律, 本文将对影响贵州电网负荷特性的因素进行分析并给出相应的结论及建议。

1 贵州电网负荷特性分析

1.1 贵州电网用电现状

近年来, 贵州经济的迅速发展推动了其电力消费的增长, 年用电负荷量逐年上升, 年用电负荷增长率也出现了大幅增长。其中, 2016—2017年的用

电负荷增长率达到11.5%，接近往年的两倍^[10]。2017年，贵州全社会用电量为138.49 TWh，全社会最高负荷为25.9 GW，发电装机总容量为55.65 GW，同比增长5.6%。其中，水电装机容量为18.8 GW，同比增长1.6%；火电装机容量为31.6 GW，同比增长4.8%；风电装机容量为36.9 GW，同比增长1.2%。贵州有丰富的矿产资源，这促进电解铝、化工、铁合金和工业硅等高耗能工业产业迅速发展，贵州电网逐渐形成了以高耗能为主的用电结构。2017年，各行业的用电量较往年都有所增长，工业用电量达到93.521 TWh，占67.5%，同比增长6.9%；居民生活用电量达26.171 TWh，占18.9%，同比增长20%，所占比重在逐步增大，可见其对负荷特性的影响也将越来越大。

1.2 年负荷曲线及特性指标分析

随着贵州经济的逐步发展，其电力消费能力也在逐年上升。2017年贵州统调年负荷量较2013年有较大提升，增幅达20%。贵州省地处中国西南内陆地区腹地，属于亚热带季风气候，一般最冷月为1月而最热月为7月，冬季采暖负荷通常高于夏季降温负荷。2013—2017年贵州统调的年负荷曲线如图1所示。观察曲线图可以发现，2013—2017年贵州省统调最大负荷逐年增长，年负荷曲线变化趋势基本相似，呈现“V”形，全年最大用电负荷主要在冬季的12月或1月出现。可见全省统调年负荷曲线受气候影响明显。

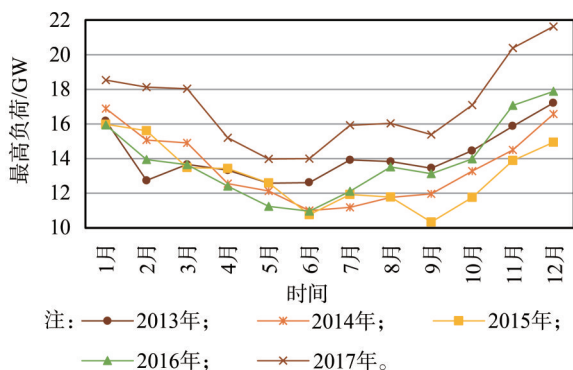


图1 2013—2017年贵州统调年负荷曲线

Fig. 1 Guizhou unified annual load curve in 2013-2017

表1为贵州2013—2017年年负荷特性指标表。在2013—2017年间，贵州电网的负荷峰谷差呈现逐年增大的趋势，但峰谷差率呈现出“先升后降”的趋势；年负荷曲线不平衡程度有增大趋势，电网季

不平衡系数、年负荷率与年最大负荷利用小时数呈“先降后升”的趋势，主要是受贵州“十三五”初期大力推动产业转型升级，淘汰大量的落后高耗能企业，特别是2016年，受全球经济放缓、市场萎缩、国内政策等因素的影响，省内大批的电解铝、水泥等高耗能企业关停或减产，导致2014—2016年峰谷差率逐年上升，季不平衡系数、年负荷率与最大负荷利用小时数下降较为明显，2017年起市场开始回暖，工业用户中连续生产型大工业用户增多，从而保障了最低用电负荷，季不平衡系数、年负荷率与最大负荷利用小时数又有一定程度的回升，整体负荷趋于平稳。同时年平均日负荷率、年平均日最小负荷率呈现出“先降后升”的趋势，但指标变化不明显，虽然近年来贵州大力推动产业结构转型升级，关停淘汰一批高耗能产业，但贵州经济仍以工业为主，并随着大数据等新兴高耗能产业发展，第二产业其用电量仍占绝对主导地位，从而年平均日负荷率处在较高水平，且变化幅度较小。

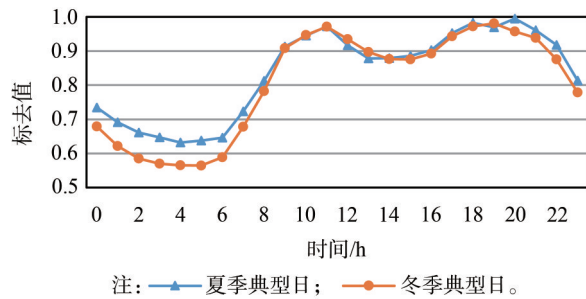
表1 2013—2017年年负荷特性指标

Tab. 1 Annual load characteristic index in 2013-2017

年份	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
年最大日峰谷差/h	7 046	7 236	7 400	8 153	9 589
年最大日峰谷差率	0.421	0.490	0.549	0.550	0.487
季不平衡系数	0.822	0.799	0.816	0.773	0.787
年平均日负荷率	0.833	0.812	0.800	0.798	0.815
年平均日最小负荷率	0.633	0.577	0.551	0.537	0.582
年平均月负荷率	0.944	0.916	0.899	0.908	0.925
年负荷率	0.647	0.594	0.587	0.561	0.594
最大负荷利用小时数/h	5 671	5 201	5 144	4 929	5 200

1.3 典型日负荷特性

图2为2017年贵州冬季及夏季的典型负荷日曲线(标么值)图。从图中可以发现，贵州地区2017年冬夏两季的典型日负荷曲线走势基本一致，一天均有早、晚两个高峰。其中，两季的早高峰均在上午11点左右出现，冬季晚高峰一般出现在晚上7点而夏季晚高峰则出现稍早或稍晚于晚上7点。2017年贵州冬夏季的最低负荷均出现在凌晨2-5点期间，这时人们普遍处于睡眠状态，人类活动较少，居民用电量相对小，早上7点后，负荷量伴随着人们的活动迅速攀升。



注：—▲— 夏季典型日；—●— 冬季典型日。

图2 贵州冬夏季典型日负荷曲线(标么值)

Fig. 2 Guizhou typical daily load curves in winter and summer (per unit)

2 影响贵州电网负荷特性因素分析

2.1 宏观经济因素的影响

经济发展水平及产业结构调整是影响电力负荷及负荷特性的重要因素^[4]。2013—2017年贵州用电量、GDP增长情况见表2。近年来,贵州经济实现了跨越式增长,2013—2017年间的GDP年增长率均超过10%。2013—2017年间(2015年除外),贵州用电量基本保持稳定的增长水平且与GDP增长率呈现正相关。自2015年起,贵州省大力推动传统产业转型升级和新兴产业发展壮大,淘汰部分落后和过剩产能,涉及水泥、炼钢(铁)、造纸、电力等行业,影响了用电量增长速率。2017年,随着产业结构不断调整及创新,经济平稳较快发展,贵州全社会用电量超过130 TWh且电量增长达到了11.5%^[10]。由此可见,稳定的经济发展水平能有效地带动用电量增长,可作为负荷预测的重要参考。

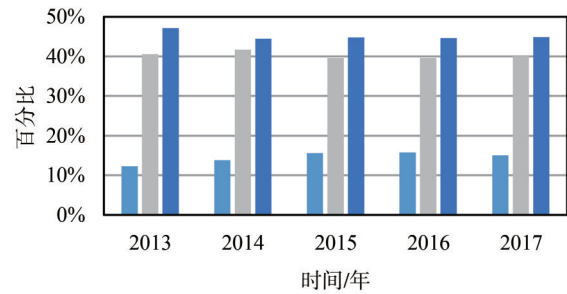
表2 2013—2017年贵州用电量、GDP增长情况

Tab. 2 Guizhou electricity consumption and GDP growth in 2013-2017

年份/年	全社会用电量/ TWh	电量增长 率/%	GDP /亿元	GDP增长 率/%
2013	1 128.02	7.6	8 116	12.5
2014	1 173.73	4.1	9 300	10.8
2015	1 174.21	0.04	10 541	10.7
2016	1 241.77	5.8	11 792	10.5
2017	1 384.89	11.5	13 540	10.2

2013—2017年贵州产业结构变化如图3所示。

贵州产业结构以第二及第三产业为主,第一产业占比低。近年来,贵州大力推进产业结构调整 and 转型升级以促进三次产业协同发展。其中,农业生



注：■ 第一产业比重；■ 第二产业比重；■ 第三产业比重。

图3 2013—2017年贵州产业结构变化

Fig. 3 Guizhou Industrial Structure Change in 2013-2017

产稳定向好,第一产业占比有些许上升;工业经济平稳增长,第二产业占比基本保持在40%;现代服务业集群、集聚发展,尤其是旅游业呈现“井喷”势头,第三产业基本保持稳定,占45%。

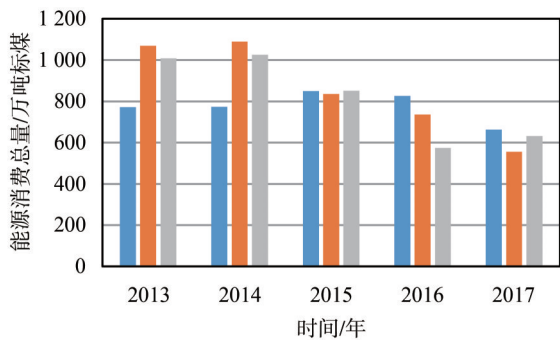
2013—2017年各产业用电结构如表3所示^[9]。从用电量结构上看,贵州以第二产业为主,但近年来有下降趋势。居民用电量、第一产业、第三产业用电量则不断上升,所占比重逐渐增大。2017年,贵州第二产业用电量为96.833 TWh时,约为全社会用电量的70%;居民用电量为26.171 TWh时,占18.9%;第三产业用电量为14.716 TWh时,占10.63%;第一产业用电量为769 GWh时,占0.56%。

贵州第二产业用电量占全社会比重最大,将对负荷特性产生主要影响,其中电解铝、化工、铁合金、建材是贵州的支柱产业,这些工业多为连续性生产企业,用电稳定,一般不受时间、季节等因素的影响,对基础负荷影响较高但对峰值影响较小,其用电比重与季不均衡系数、年平均月负荷率、年平均日负荷率呈正相关^[5]。贵州2013—2017年主要高耗能行业能源消费总量如图4所示^[10],可以看出近年来贵州推动产业转型升级,高耗能产业呈疲缓之势,其中化学原料和化学制品制造业(贵州主要为化工行业)、黑色金属冶炼和压延加工业(主要为钢铁、铁合金行业)、有色金属冶炼和压延加工业(主要为电解铝、工业硅行业)能源消费总量整体呈逐年下降趋势,进而影响第二产业用电量比重逐年下降,但2017年第二产业用电量比重仍占69.92%,工业用户用电仍占据主导地位,因此全社会用电年最大负荷利用小时数、年均日负荷率、季不均衡系数等负荷特性指标仍将保持在较高水平,但整体将呈下降趋势。

表3 2013—2017年贵州各产业用电量及所占比重

Tab. 3 Guizhou's electricity consumption and proportion of various industries in 2013—2017

年份/年	第一产业		第二产业		第三产业		居民生活	
	用电量 /TWh	所占比例/%	用电量 /TWh	所占比例/%	用电量 /TWh	所占比例/%	用电量 /TWh	所占比例/%
2013	4.51	0.40	866.92	76.97	80.12	7.11	174.72	15.51
2014	4.84	0.41	884.73	75.38	92.79	7.91	191.38	16.31
2015	5.24	0.45	870.27	74.12	101.16	8.62	197.54	16.82
2016	7.07	0.57	898.81	72.38	118.00	9.50	217.91	17.55
2017	7.69	0.56	968.33	69.92	147.16	10.63	261.71	18.90



注: ■化学原料和化学制品制造业; ■黑色金属冶炼和压延加工业; ■有色金属冶炼和压延加工业。

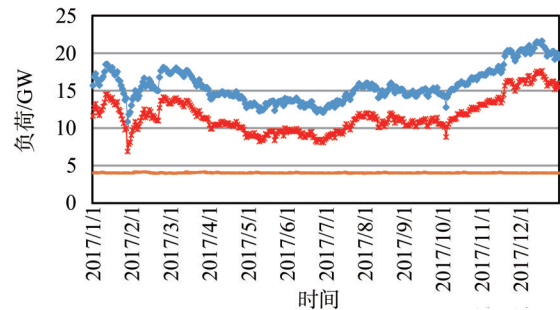
图4 2013—2017年贵州主要高耗能行业能源消费总量
Fig. 4 Total energy consumption of energy-intensive industries in Guizhou (2013-2017)

居民用电及第三产业用电则与人的生活规律息息相关, 负荷高峰一般出现在白天, 具有季节性和时间性, 对日负荷曲线的峰值影响较大, 其比重的提升对季不平衡系数、年平均日负荷率、年平均月负荷率等具有反向影响^[6]。随着贵州经济的快速发展, 人民生活水平不断提高, 居民用电比重也在不断上升, 其对负荷特性指标的影响也将不断增大。第一产业用电量具有很强的季节性, 对月不平衡系数等影响较大, 但因贵州第一产业用电量较低, 其对负荷特性指标的影响几乎可以忽略不计。

2.2 大工业用户用电的影响

目前贵州用电结构仍以第二产业为主, 其中高耗能的大工业行业占主导地位。贵州主要大工业行业有电解铝、铁合金、钢铁、建材、化工、黄磷、工业硅、电石和磨料等, 此外近年来大数据、新型建材、医疗制造等新兴产业也得到了快速发展。2017年全社会和工业大用户的年负荷曲线和年负荷特性指标对比如图5和表4所示。从图中可以发现, 工业用户的年负荷曲线趋近于一条直线, 这是由于工业大用户基本保持全年全时段不间断生产, 对年

负荷曲线的波动影响不大, 而对应的季不平衡系数、月不平衡系数数值相对较高。由表中数据可知, 全省统调负荷在扣除工业大用户后年最大负荷利用小时数下降772 h, 季不平衡系数下降0.033, 年负荷率下降0.089。日负荷曲线在扣除工业用户负荷后, 晚上用电负荷下降, 导致日负荷率减小, 峰谷差加大, 日最小负荷率也减小。



注: —贵州全省统调负荷; —工业用户负荷; —全省统调扣除工业用户负荷。

图5 2017年全省统调和工业大用户的年负荷曲线
Fig. 5 Annual load curve of whole social and industrial users in 2017

由此可见, 工业大用户用电量占比越高, 年负荷曲线和日负荷曲线波动越小, 峰谷差减小, 季不平衡系数、日负荷率和日最小负荷率都将得到提高。大用户的存在有利于改善负荷特性, 但同时也应该看到它潜在的不利的一面。贵州近年来大力推进产业转型升级政策将对贵州的高耗能企业造成较大不利影响, 它们的减产或关停将一定程度改变电网的负荷特性。

2.3 气温的影响

贵州地处中国西南的东南部, 属于亚热带季风气候, 全省大部分地区气候温和, 各地区年平均气温在 13~17℃之间, 冬无严寒, 夏无酷暑, 四季

表4 2017年全省统调和工业大用户年负荷特性指标对比

Tab. 4 Comparison of annual load characteristics of the Guizhou power grid and industrial users in 2017

负荷特性指标	全省统调	扣除工业大用户	指标变化量
年最大负荷利用小时数/h	5 200	4 428	-772
季不均衡系数	0.787	0.754	-0.033
年平均日负荷率	0.815	0.621	-0.194
年平均日最小负荷率	0.582	0.367	-0.215
年平均月负荷率	0.925	0.902	-0.023
年负荷率日负荷率	0.594	0.505	-0.089
冬季典型日日负荷率	0.833	0.782	-0.051
冬季典型日日最小负荷率	0.596	0.472	-0.124
夏季典型日日负荷率	0.847	0.787	-0.06
夏季典型日日最小负荷率	0.629	0.485	-0.144

分明^[2]。

贵州最大负荷一般出现在冬季的12月或1月份，这是由于冬季采暖负荷高于夏季降温负荷。选取贵州2015—2017年的温度数据与负荷历史数据进行相关性分析，发现冬季日最大负荷与最低温度的具有很强的线性相关度，即最低温度越低，峰荷值越大，反之则越小。其中为了客观研究贵州省冬季最大负荷与温度关系，首先对收集到的全省各地市/地区的温度进行加权处理，加权值为该地市/地区当日负荷占全省9个地市/地区负荷总和的比重，从而得到能够较全面反映全省当日温度的单个虚拟综合温度值^[8]，图6为2015—2017年贵州冬季最大负荷与最低气温相关性分析，其中 x 、 y 和 R^2 分别为最低气温，最大负荷以及拟合决定系数。

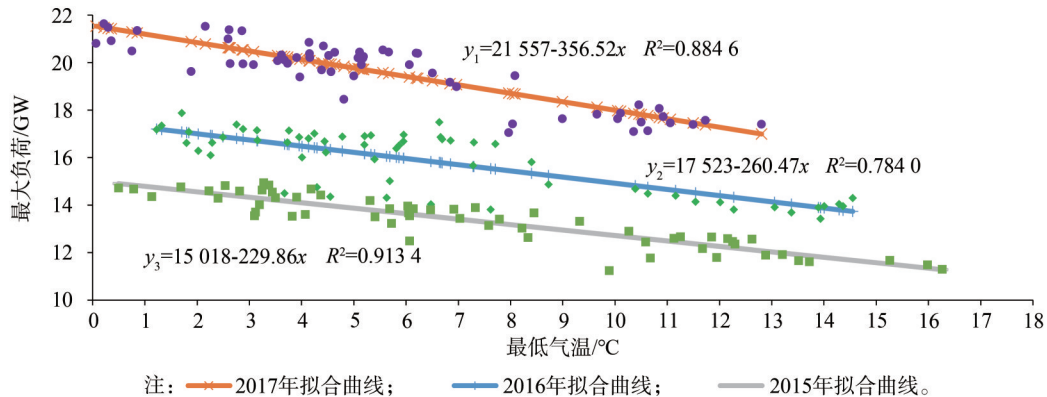


图6 2015—2017年冬季最大负荷与气温相关性分析

Fig. 6 Correlation analysis of winter maximum load and temperature in 2015-2017

从图6可以看出，2015—2017年贵州冬季最大负荷与最低气温呈高度相关关系，并呈现反向性变化，2015—2017年拟合曲线的拟合决定系数分别为0.913 4、0.784和0.884 6，说明曲线拟合效果好。此外，2015—2017年冬季负荷的敏感度随着温度的下降呈递增趋势，初步估算2015年、2016年和2017年冬季日最低温度下降1℃最大负荷分别上升229.86 MW、260.47 MW和356.52 MW。因此随着第三产业和居民用电的进一步上升和空调等取暖电器的普及，冬季日最大负荷与最低气温的灵敏度将进一步增加。

2.4 其他因素的影响

电力需求侧管理通过采取有效的激励措施，引导电力用户改变用电方式以改善电网负荷特性^[7]。近年来贵州采取了差别电价政策、节能宣传等一系

列措施，促进和鼓励电力用户实行改变消费行为和用电方式，有效的降低电网峰荷时段的负荷或增加电网的低谷时段的负荷，减小峰谷差，使负荷曲线趋于平缓，提高日负荷率等相关负荷特性指标。但现阶段电力供应侧及需求侧管理手段对负荷特性的影响虽然有一定的改善作用但不显著，仍需不断推广和完善。贵州的外送负荷涉及西电、省内及周边多方向，其中，送西电的负荷具有季节性，高峰集中在夏秋季，影响季不均衡系数，不过总体占比较小，其对年负荷特性指标和日负荷特性指标的变化不明显，起间接影响作用。

3 结论

3.1 主要结论

1) 负荷特性受到多方面因素的影响，最直接

的影响因素有经济发展水平、产业结构调整,工业大用户用电等。这些因素对贵州的用电负荷影响明显且带有全局性,值得更深入的研究以更好地预测贵州用电未来走向。

2) 气温气候也对贵州负荷,尤其是贵州冬季采暖负荷有着很大影响。这是由于贵州经济的快速发展提高了居民的生活水平,居民对冬季采暖有了更多的要求,用电量将逐年增长致使冬季用电最高负荷提高。

3) 目前,贵州电力供应侧管理的手段对用电负荷特性的影响仍十分有限,仅在部分时段或地点卓有成效。而需求侧管理的手段对用电负荷特性虽有些许的改善但效果甚微,仍需要不断推广及完善。

4) 其他间接因素例如外送负荷也对贵州省内用电负荷特性有一定的影响。

3.2 相关建议

1) 针对贵州年负荷曲线呈“V”形状这一特性,应从“填谷”的角度出发,通过在夏季丰水期调整电价的方式刺激电力消费以提高年负荷曲线均衡度。也可从“削峰”的角度出发,在冬季大力发展其他供暖形式以代替电取暖负荷。

2) 贵州目前正处于产业转型升级的关键期,工业将朝着高端化、绿色化、集约化的特征发展。但用电结构仍以高耗能企业为主,随着大数据、新型建材、健康医疗等新兴产业的快速发展,传统高耗能企业将逐步减产或关停,这些企业的生产规模出现调整后,用电负荷水平将出现大幅度变动。为减少企业用电大幅变动对负荷特性指标可能产生的不利影响,电力企业应与用电大户保持紧密联系,密切跟踪企业可能出现的生产用电变动,进行相关协调处理,提前做好应对预案。

3) 目前贵州节能用电设备普及率不高,能耗指标低,用电节能潜力巨大。应积极鼓励用电新技术、新产品的发展,加大节能减排力度,减少第三产业及居民用电低负荷率、高峰谷差率特点对全局

负荷特性指标的影响,有助于总体负荷特性指标的改善。

参考文献:

- [1] 赵希正,周小谦,姜绍俊. 中国电力负荷特性分析与预测[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [2] 唐学用,万会江,叶航超,等. 贵州统调电网典型日负荷特性分析与预测[J]. 中国电力,2015,48(9):24-30.
- [3] 宣科. 电网负荷特性影响因素综述[J]. 电力讯息,2016(13):139.
- [4] 杨卓,李波. 广西负荷特性影响因素分析[J]. 广西电力,2014,37(6):47-51.
- [5] 李峰. 广东负荷特性变化趋势及应对策略研究[J]. 广东电力,2011,24(10):29-32.
- [6] 魏磊,张琳,姜宁,等. 西北地区电网负荷特性研究[J]. 电网与清洁能源,2010,26(7):57-62.
- [7] 白宏坤,李干生. 河南省负荷特性研究[J]. 电力需求侧管理,2010,12(3):78-83.
- [8] 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):25-29.
- [9] 贵州省统计局. 贵州省宏观经济数据库[EB/OL]. [2017-08-01] (2020-04-28). <http://hgk.guizhou.gov.cn/index.vhtml>.
- [10] 贵州省人民政府. 贵州年鉴2018 [EB/OL]. [2019-03-15] (2020-04-28). http://www.guizhou.gov.cn/zfsj/gzsj_8211/201903/t20190315_2302806.html.

作者简介:



徐常

徐常

1988-, 女, 贵州贵阳人, 贵州电网有限责任公司电网规划研究中心经济师, 主要从事电网规划研究、综合能源研究相关工作 (e-mail) 61526721@qq.com。

张英杰 (通信作者)

1990-, 男, 江西抚州人, 广东省电力设计研究院有限公司工程师, 注册咨询师, 武汉大学电力系统及其自动化硕士, 主要从事电力系统规划与运行分析等相关工作 (e-mail) zhangyingjie@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)