

双碳、双区背景下深圳电力需求预测

苏步芸[✉], 张英杰, 熊晓晟

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的] 为了适应“双碳”和“双区”新背景下深圳未来用电特征的研究, 反映新形势下诸多新因素的影响, 需要在传统电力需求预测方法上进行修正, 建立新的预测体系。[方法] 在电量预测上, 一方面以碳强度控制为导向, 结合对全社会电气化水平的要求, 提出“自上而下”的预测方法; 另一方面以改进的细分部门法和新型负荷修正法, 进行“自下而上”预测, 相互佐证; 在负荷预测上, 充分考虑需求侧管理、相关削峰手段的影响。[结果] 通过量化分析“双碳”目标下能源供应及消费结构调整, “双区”驱动下新基建、产业结构调整 and 转移等重要因素的影响, 对深圳“十四五”及中远期全社会用电量进行预测, 并对深圳未来最高负荷和负荷特性发展趋势进行预判。[结论] 所提方法为其他地区进行新形势下电力需求预测提供了新思路, 预测结果也为深圳后续电源和电网规划及调度运行等提供了重要参考。

关键词: 双碳; 双区; 用电特征; 电量预测; 最高负荷和负荷特性

中图分类号: TM756.2; F426.61 **文献标志码:** A

文章编号: 2095-8676(2022)04-0127-08

开放科学(资源服务)二维码:



Power Demand Forecast for Shenzhen Under Carbon Peak and Neutrality and Greater Bay Area and Pilot Demonstration Area of Socialism with Chinese Characteristics

SU Buyun[✉], ZHANG Yingjie, XIONG Xiaosheng

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] The research aims to establish a new forecasting methodology to study the future electricity consumption features in Shenzhen based on the correction of traditional power demand forecasting methods. The new methodology could reflect the influence of the recently issued policies, such as the "carbon peak and neutrality" and "construction of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and pilot demonstration area of socialism with Chinese characteristics." [Method] For electricity consumption forecast, a "top-down" forecasting method guided by carbon intensity control and considering social electrification level was proposed, and "bottom-up" forecasting was made using the improved multi-sectoral method and new load correction method to validate the forecasting results. For load characteristics forecasting, the impact of demand side management and peak shaving means was fully considered. [Result] Through quantitative analysis of the energy supply and consumption mix adjustment under key impact factors, including "carbon peak and neutrality," new infrastructure, industrial structure adjustment and transfer under "construction of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and pilot demonstration area of socialism with Chinese characteristics," the total electricity consumption in Shenzhen during the "14th Five-Year Plan" period and in the middle to long term, as well the development trend of the future peak load and load characteristics in Shenzhen were forecasted. [Conclusion] The proposed forecasting methodology provides new idea for other regions in power demand forecast under new policies, and the results provide an important reference for guiding Shenzhen's subsequent power source and grid planning, dispatch and operation, etc.

Key words: carbon peak and neutrality; construction of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and pilot demonstration area of socialism with Chinese characteristics; electricity consumption features; electricity consumption forecast; peak load and load

收稿日期: 2021-12-30 修回日期: 2022-04-17

基金项目: 中国能建广东院科技项目“新型电力系统生产模拟计算软件开发”(ER10431W)

characteristics forecast

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

2020年9月22日,习近平总书记在第七十五届联合国大会庄严宣告,中国力争二氧化碳于2030年前达到峰值,2060年前实现碳中和。“双碳”正引起一场广泛而深刻的经济社会变革^[1],其影响将渗透到产业、能源、电力的各个方面^[2]。中共中央、国务院于2019年先后印发实施《粤港澳大湾区发展规划纲要》和《中共中央国务院关于支持深圳建设中国特色社会主义先行示范区的意见》。在“双区”驱动^[3]下,差异化产业发展策略也将对深圳未来用电特性产生深远影响。

深圳地处广东南部、珠江口东岸,是典型的受端能源系统。科学的电力需求预测是电网规划、建设和运行的重要依据,对提升电力安全保障能力具有重要意义。电量预测常用方法中,神经网络、灰色理论、回归分析^[4-6]等方法能够建立预测结果与影响因素的数学关系,较适合于周期较短的负荷预测;弹性系数、人均用电量法、产值单耗法^[7-8]侧重于对宏观趋势的判断,但预测过程较难量化体现“双碳”“双区”下重要因素对预测结果的影响。传统负荷预测一般在分析产业用电结构影响基础上,对历史曲线进行宏观修正^[9-10],未量化反映电动汽车充电、电价响应、用户侧储能等因素的影响。

文章充分考虑深圳在“双碳”“双区”背景下经济社会、能源电力发展新特征,运用新的预测体系对深圳“十四五”及中长期全社会用电量及用电结构进行预测;结合新基建、需求侧响应等新因素,给出深圳未来最高负荷和负荷特性趋势预测,描绘了新背景下深圳未来的用电特征。

1 深圳电力需求历史特征分析

从用电总量来看,改革开放以来,经济飞速发展,深圳市用电量呈现出体量大、增速快、增速降低的特征。2020年深圳全市用电量达98.3 TWh,40年间增幅超过2500倍。2021年12月6日,深圳全社会用电量、供电量双双突破100 TWh,成为继北京、上

海、苏州、重庆之后国内第五个供用电量均突破千亿的城市。从用电量增速来看,2010年之后降至10%以下,“十二五”和“十三五”年均增速分别为4.2%和3.8%。深圳近三十年全社会用电量及增速情况如图1所示。

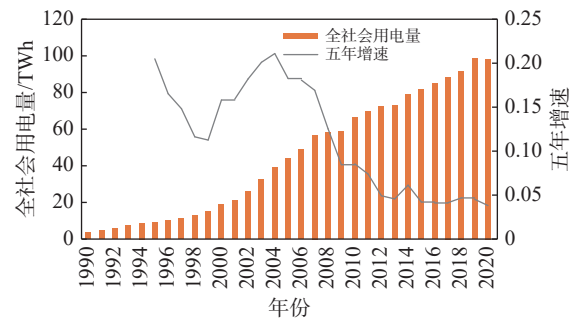


图1 深圳全社会用电量与增速情况

Fig. 1 The historical electricity consumption and growth rate of Shenzhen

从用电结构来看,第二产业用电比重下降,但仍占主导地位;用电效率显著提升,在国内处于领先水平;近年受新基建等影响,用电量增长驱动力已经发生变化。2005—2020年,深圳第一产业、第二产业、第三产业及居民用电比重从5.7:57.8:24.3:12.2调整至0.2:51.6:32.5:15.7。用电综合产值单耗呈下降趋势,由2005年的0.065 kWh/元下降至2020年的0.038 kWh/元。从分产业产值单耗来看,第二产业产值单耗呈波动下降趋势;第三产业产值单耗在“十一五”和“十二五”持续下降,但“十三五”期间受交通行业电气化率提升、信息技术行业发展等的影响,呈上升趋势,年均增速2.3%。深圳第二和第三产业产值单耗变化趋势如图2所示。

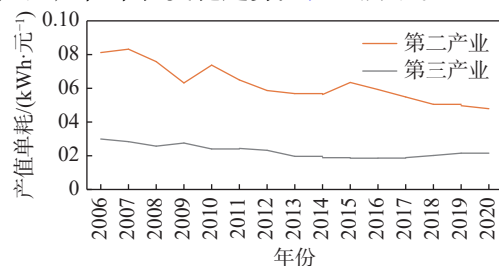


图2 第二和第三产业产值单耗变化

Fig. 2 Changes of electricity consumption per unit output value of the secondary and tertiary industries

从最高负荷来看,深圳呈现出日最小负荷率较低,峰谷差大,尖峰负荷持续时间短等典型特征,电网调峰压力大。2020年深圳全社会最高负荷19.18 GW,“十三五”年均增速为4%。深圳电网日负荷特性曲线呈现三峰态势,受工业负荷影响,日峰较晚峰大。近年来夏季典型日的日平均负荷率在80%左右波动;最小负荷率变化较大,在47%~64%范围内波动。整体来看,深圳电网夏季典型日的日负荷率和日最小负荷率振荡下降。2020年深圳电网3%的尖峰负荷累计时间约23 h,尖峰负荷持续时间短、频次低的特征明显。

2 “双碳”“双区”对深圳电力需求预测影响分析

2.1 “双碳”目标对电力需求的影响

1) “双碳”促使产业结构加速优化升级,战略新兴产业加快发展,高耗能产业加速低碳转型;新基建等新业态层出不穷。产业结构变化将带来用电结构的深刻变化;新基建等新型负荷也会带来电力需求新的增长点,影响未来负荷特性。

2) 为实现“双碳”目标,一方面在能源结构优化时,需不断提升终端用能中电能比重,进而促使各行业新电气化步伐加速;另一方面碳强度约束下,节能减排和能效管理加强,用电效率不断提升。在上述双重因素相互作用下,电力需求增长将呈现新特征。

3) 高比例新能源电力系统成为实现“双碳”目标的必经之路,对电力系统灵活性要求升级,需求侧管理实施进程加快,电动汽车有序充电、分布式能源、多元化储能、冰蓄冷等迅速发展,均将对电力负荷特性产生深远影响。

2.2 “双区”建设对电力需求的影响

1) “双区”驱动下,深圳发展定位、经济及产业发展等出现新的变化,粤港澳大湾区、深圳都市圈各城市之间的融合和协作效益更加凸显,产业转移和合作发展进一步加深,制造业高端化发展,现代服务业进一步优化升级,将引起未来深圳用电结构和负荷特性发生变化。

2) “双区”驱动下,深圳科技创新迈上新台阶,作为国家级创新型城市,将助力具有全球影响力的国际科技创新中心建设,推动虚拟电厂、分布式能源、能效提升、需求侧响应^[11]和能源综合利用等技术快

速发展,对深圳未来用能特性产生深刻影响。

3 新背景下深圳未来电量预测

为充分体现“双碳”“双区”下重要因素对电力需求的影响,文章提出一套适用于新背景下的电量预测体系,从不同角度和侧面得出深圳未来电力需求的趋势和变化范围。

3.1 碳强度约束下电能占终端能源比重法

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中指出,实施以碳强度控制为主、碳排放总量控制为辅的制度。

文章提出一种以碳强度下降率为控制目标的“自上而下”的预测方法,以反映不同碳强度目标下,对全社会电气化水平的要求,具体如图3所示。第一步,参照历史趋势,结合碳达峰预期时间,预测深圳能源消费总量值;第二步,根据国家及省对碳强度控制的要求,结合深圳能源发展的不同路径,设定各阶段碳强度目标;第三步,预测各路径下终端用煤、终端用气、石油消费量,从而判断各路径下终端能源消费量及结构;第四步,得到不同路径下电能占终端能源消费比重;第五步,得到终端用电量,加上损耗后得出全社会用电量预测值。

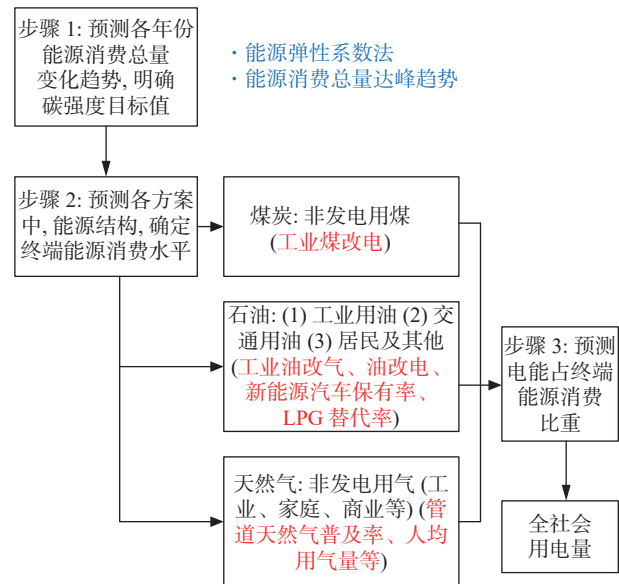


图3 用电需求预测流程图

Fig. 3 Flow chart of electricity demand forecast

为以先行示范的标准实现碳达峰、碳中和,未来深圳将因地制宜开发可再生能源及核电,压减煤炭油品消费量,发挥天然气支撑作用,构建新型电力系

统,推进工业、交通、建筑等重点领域的清洁能源及电能替代。拟定三种不同的发展情景,如图4和图5所示。在相同的能源消费总量下,碳强度下降越快,对应于终端用能结构越清洁,电气化水平越高,全社会用电量水平越高,预测结果如表1所示。

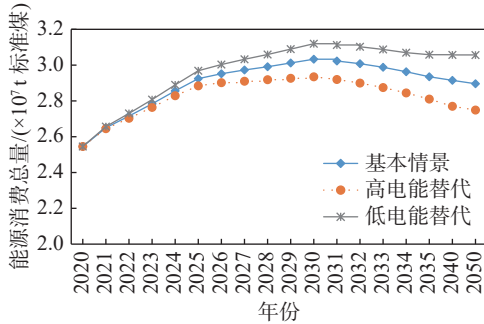


图4 不同转型路径下深圳终端能源消费总量预测

Fig. 4 Forecasting of Shenzhen's total final energy consumption under different transition paths

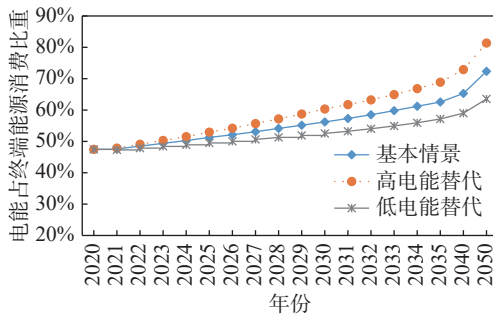


图5 不同转型路径下电能占终端能源消费比重预测

Fig. 5 Forecasting of the proportion of electric energy to the final energy consumption under different transition paths

表1 预测结果

Tab. 1 Forecasting results of the carbon emissions per unit of GDP limit method

| 年份 | 基本情景 | | 高电能替代情景 | | 低电能替代情景 | |
|------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | 用电量/ TWh | 增长率/% | 用电量/ TWh | 增长率/% | 用电量/ TWh | 增长率/% |
| 2025 | 122.0 | 4.4 | 124.3 | 4.8 | 119.5 | 4.0 |
| 2030 | 138.7 | 2.6 | 144.1 | 3.0 | 133.3 | 2.2 |
| 2035 | 149.4 | 1.5 | 157.5 | 1.8 | 142.2 | 1.3 |
| 2050 | 170.5 | 0.9 | 182.0 | 1.0 | 158.0 | 0.7 |

3.2 细分产业法

本研究将电力需求分为第一产业、第二产业、第三产业用电和居民生活用电,同时综合考虑“双碳”“双区”下所需研究的重点领域,以及基础数据的可获取性,进一步将第二产业划分为工业、建筑业;将

第三产业划分为批发和零售业、住宿和餐饮业,交通运输、仓储和邮政业,信息传输、软件和信息技术服务业,其他服务业四个部分,如图6所示。

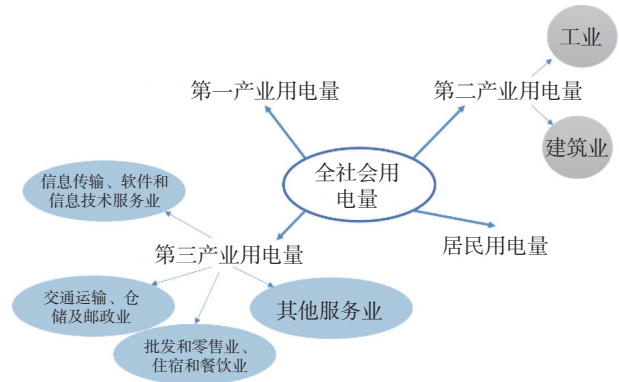


图6 分部门电力需求预测模型示意图

Fig. 6 Illustration of the multi-sectoral forecasting model of electricity consumption

本研究以产值单耗法为基础进行修正。各行业增加值预测,主要依据历史发展规律,结合“双碳”下经济发展目标、“双区”下产业发展方向等进行趋势外推;各行业产值单耗,结合不同行业的特点、电气化水平提升,以及出现的新基建等新业态,引入不同的影响因素指标,利用计量经济工具寻找指标和影响因素之间的量化关系,以体现“双碳”“双区”下经济社会和电力发展之间的相关性,相关性判断结果如图7所示。本研究将量化关系应用到回归方程或者系统动力学^[12-13]中,从而建立预测模型,对深圳未来电力需求进行合理预测。

以工业单耗为例,判断未来内部产业结构的优化调整、电气化率是重要影响因素。所以本研究选取先进制造业占比、高技术制造业占比,以及工业能耗中电能占比作为主要指标。公式如下:

$$Q_1 = GDP_1 \times E_1 \quad (1)$$

$$\ln E_1 = a_1 x_1 + b_1 y_1 + c_1 z_1 + d_1 \quad (2)$$

式中:

- Q_1 ——工业用电量(kWh);
- GDP_1 ——工业增加值(元);
- E_1 ——工业用电单耗(kWh/元);
- x_1 ——高技术制造业占比;
- y_1 ——先进制造业占比;
- z_1 ——工业电耗占工业总能耗的比重;
- a_1, b_1, c_1 ——相关性系数;
- d_1 ——常数。

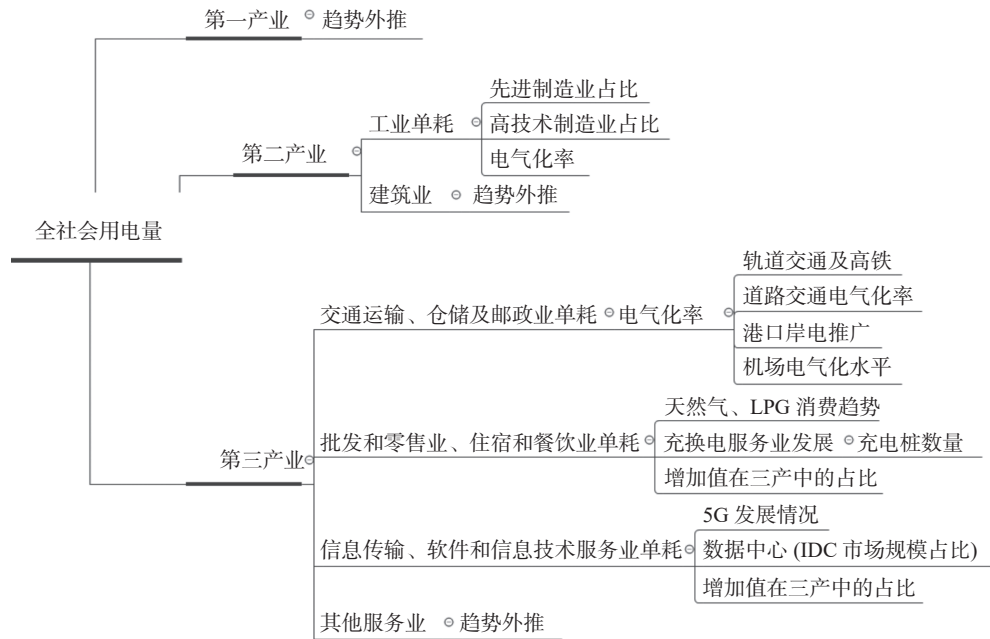


图 7 各行业单耗预测主要影响因素

Fig. 7 Main impact factors of electricity consumption in various industries

以此类推, 可得到其他部门用电量 Q_2, Q_3, \dots, Q_n 。

根据上述方法, 预计深圳“十四五”及中长期第一产业产值单耗呈缓慢下降趋势; “双碳”“双区”背景下, 深圳工业结构进一步优化, 高新技术产业、先进制造业比重不断提高, 节能降耗措施广泛应用, 工业领域煤、石油等高碳能源的应用逐步减少, 近中期工业产值单耗持续较快下降, 2035 年之后降速逐步放缓。第三产业中, 交通运输业单耗受轨道交通和高铁、电动汽车发展, 港口岸电推广等影响; 批发和零售业、住宿和餐饮业单耗受充换电服务业电量快速增长影响; 信息传输、软件和信息技术服务业单耗主要受 5G、数据中心等快速发展的影响, 预计第三产业近中期用电单耗上升, 中远期随着技术进步、节能影响等, 呈逐步下降趋势。预测结果如表 2 所示。

表 2 细分产业法预测结果

Tab. 2 Multi-sectoral electricity consumption forecasting results

| 年份 | 基本方案 | | 高方案 | | 低方案 | |
|------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | 用电量/ TWh | 增长率/% | 用电量/ TWh | 增长率/% | 用电量/ TWh | 增长率/% |
| 2025 | 122.0 | 4.4 | 123.4 | 4.7 | 120.2 | 4.1 |
| 2030 | 141.4 | 3.0 | 144.2 | 3.2 | 138.1 | 2.8 |
| 2035 | 151.6 | 1.4 | 155.9 | 1.6 | 146.6 | 1.2 |
| 2050 | 170.3 | 0.8 | 178.3 | 0.9 | 162.8 | 0.7 |

3.3 新型负荷修正法

本方法中, 把对深圳未来用电量增加贡献较大的重要因素单列, 重点研究新基建对电量预测的影响, 主要包括大数据中心、5G 基站、新能源汽车、轨道交通等新型负荷用电特性。

1) 5G 基站

2020 年深圳 5G 基站数量达到 4.65 万个, 根据《深圳市基础设施专项规划(2019—2035 年)》, 深圳 5G 基站按“确保信号全覆盖”为原则进行建设, 2025 年 5G 基站达到 5 万个。5G 基站点多, 面广, 功耗大, 平均耗能是 4G 基站的 3~5 倍^[14]。按独立式宏基站总功耗 7.2 kW, 微基站 4.6 kW, 微微基站 20~50W 测算, “十四五”期间, 5G 基站方面新增用电量 1.2 TWh~2.1 TWh 左右。

2) 数据中心

2020 年深圳数据中心机架数量达到 9.7 万个, 根据《深圳市数据中心发展规划(2021—2025 年)》(征求意见稿), 预计 2025 年达到 36 万个。新建数据中心平均机架设计功率按 6 kW, PUE 值按 1.3 测算, 且考虑数据中心上架率、需用系数、高时延及低能耗数据中心迁移情况, 预计“十四五”期间数据中心新增用电量 3.6 TWh~5.9 TWh。

3) 新能源汽车

2020 年深圳新能源汽车数量达到 39.6 万辆, 根

据《深圳市新能源汽车推广应用工作方案(2021—2025年)》,2025年达到100万辆,其中私家车78万辆。根据各类电动汽车的平均百公里电耗、年行驶公里数等数据,预计“十四五”期间深圳各类电动汽车新增用电量约2.0 TWh~4.7 TWh。

4) 轨道交通

深圳近中期规划建成城际高速铁路7条;调整或新建城市轨道交通共有26条,“十四五”期间新增约200 km。根据高铁牵引站利用小时数、城市轨道交通车公里电耗、年行车公里等^[15]测算,预计“十四五”轨道交通新增用电量约0.85 TWh~1.35 TWh。

随着电动汽车数量和保有率的提升,电动汽车充电带来的晚高峰负荷增量效应明显,有必要进行有序充电管理;数据中心由于最高负荷利用小时数高,“十四五”期间规划数量多,电量增量效应最为明显,耗电量最大,具体如图8和图9所示。

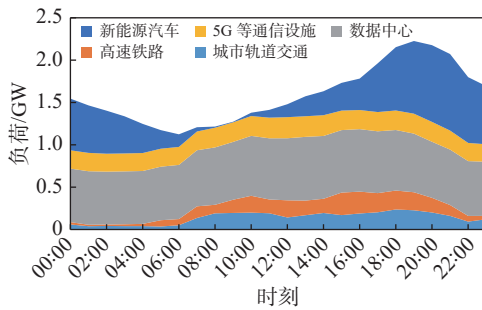


图8 “十四五”期间新基建负荷增量图

Fig. 8 Load increment of new infrastructure during the “14th Five-Year Plan” period

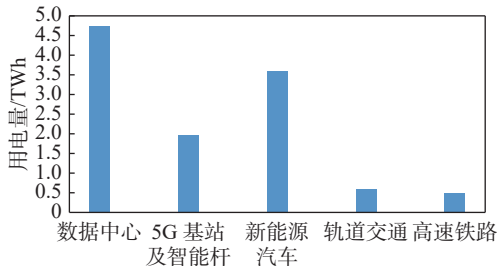


图9 “十四五”期间新基建电量增量效应

Fig. 9 Electricity consumption increment of new infrastructure during the “14th Five-Year Plan” period

除去上述新基建重点项目用电量增长,对“十四五”及中长期用于其他行业等发展的用电量自然增长率进行预测,最终得到全社会用电量预测结果,具体如表3所示。

表3 新型负荷修正法预测结果

Tab. 3 Forecasting results of the proposed new demand adjustment method

| 年份 | 基本方案 | | 高方案 | | 低方案 | |
|------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | 用电量/TWh | 增长率/% | 用电量/TWh | 增长率/% | 用电量/TWh | 增长率/% |
| 2025 | 122.1 | 4.4 | 126.6 | 5.2 | 118.0 | 3.7 |
| 2030 | 139.4 | 2.7 | 147.3 | 3.1 | 132.5 | 2.3 |
| 2035 | 151.0 | 1.6 | 161.4 | 1.8 | 141.4 | 1.3 |
| 2050 | 169.6 | 0.8 | 183.8 | 0.9 | 157.6 | 0.7 |

需要指出的是,新能源汽车、数据中心等相关规划时间跨度一般为“十四五”,远景规划不明确,所以本方法近中期预测结果相对更为准确;对于远景预测,本研究主要结合国家整体行业规划、汽车千人保有量、新能源汽车渗透率等,进行趋势性判断,预测结果仅作为参考。

3.4 综合比较推荐

采用上述三种方法,相互验证、相互支撑得到最终电量预测区间值。综合考虑电量增长存在的不确定性因素,得到深圳全社会用电量推荐方案,具体见表4。可以看出,“十四五”“十五五”“十六五”及“2035—2050年”期间,深圳全社会用电量年均增速区间分别为4.0%~4.8%、2.4%~3.0%、1.2%~1.7%和0.7%~0.9%。

表4 全社会用电量预测结果

Tab. 4 Forecasting results of the total electricity consumption

| 年份 | 全社会用电量/TWh | 增长率/% |
|------|-------------|---------|
| 2025 | 120.0~124.5 | 4.0~4.8 |
| 2030 | 135.5~145.5 | 2.4~3.0 |
| 2035 | 144.0~157.5 | 1.2~1.7 |
| 2050 | 160.0~181.5 | 0.7~0.9 |

4 最大负荷及特性展望

4.1 最高负荷利用小时数趋势预测

预计深圳近中期最高负荷利用小时数 t_{\max} 受产业用电结构影响较大。 t_{\max} 与第二产业用电比重正相关,与第三产业和居民用电比重负相关,且相关系数较大。未来深圳第二产业用电占比持续下降,第三产业和居民用电占比上升,且深圳属亚热带季风气候,长夏短冬,空调负荷占比较大,所以预计近中期峰谷差进一步增大, t_{\max} 呈下降趋势,最小负荷率呈下降趋势。

中远期需求侧各类手段削峰填谷效果更为凸显。受到需求侧管理措施影响, t_{\max} 将一定程度增大。可考虑电动汽车有序充电、用户侧储能、冰蓄冷调峰以及峰谷电价机制等的影响。文章首先研究上述各因素对应的典型出力或者负荷曲线, 在不考虑需求侧响应曲线基础上, 结合未来规划量, 对曲线进行修正, 进而得到考虑需求侧响应等因素之后的最高负荷, 日负荷曲线趋势如图 10 所示。综合来看, 随着产业结构调整, 近中期最大负荷利用小时数逐步降低; 远期电动汽车有序充电等因素影响更为显著, 最大负荷利用小时数略微上升, 预计保持在 4850 h 左右。

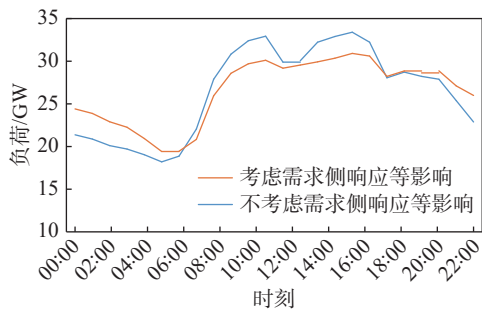


图 10 深圳典型日负荷曲线变化趋势示意图

Fig. 10 Schematic diagram of the development trend of Shenzhen's typical daily load curve

4.2 最高负荷初步预测

根据 2025—2050 年最高负荷利用小时数预测结果, 先初步预测深圳“十四五”及中长期最高负荷; 考虑各类削峰手段后进行修正, 得到修正后的最高负荷; 对比修正前后的最高负荷值, 得到削峰比例, 如表 5 所示。

表 5 最高负荷预测结果

Tab. 5 Forecasting results of the peak load

| 年份 | 最高负荷/GW | 增长率/% | 削峰比例/% |
|------|-------------|-----------|-----------|
| 2025 | 24.9 ~ 26.0 | 5.4 ~ 6.3 | 3.0 ~ 4.5 |
| 2030 | 27.9 ~ 30.0 | 2.3 ~ 2.9 | 5.5 ~ 6.5 |
| 2035 | 29.4 ~ 32.5 | 1.1 ~ 1.6 | 7 ~ 8 |
| 2050 | 32.8 ~ 37.5 | 0.7 ~ 1.0 | 10 ~ 12 |

5 结论

文章基于“双碳”“双区”背景下, 在传统预测方法基础上提出的电量、负荷预测新方法, 能够合理反映各类新因素对电力需求预测的影响, 为其他地区进行新形势下电力需求预测提供新思路。在“双碳”

“双区”背景下, 深圳“十四五”及中长期电力需求呈现以下特征:

1) 用电总量趋势: “十五五”之前是实现碳达峰的关键时期, 受碳达峰背景下新电气化快速发展、新基建等影响, 预计深圳全社会用电量“十五五”之前仍保持中速增长, 前“十四五”增速与“十三五”基本持平, 2030 年之后电量增速逐步放缓。2035 年后在碳中和目标的约束下, 经济结构更加优化, 绿色发展更加突出, 用电效率有较大幅度提升, 逐步实现和经济发展的解耦, 以更低的电力需求支撑更高质量发展, 预计电量进入饱和增长阶段, 增速降至 1% 以下。

2) 用电结构趋势: 在“双区”“双碳”影响下, 深圳产业向更加高端化、高产值、低能耗的方向发展, 传统制造业向都市圈其他城市转移, 高耗能产业进一步压缩, 预计未来深圳第二产业用电占比持续下降, 第三产业和居民用电占比上升。新基建电量增量在电量总增量中比重逐步上升。

3) 最高负荷及负荷特性趋势: 作为先行示范区和粤港澳大湾区核心城市, 加上前海合作区扩容的新契机, 预计深圳“十四五”期间最大负荷保持较快增长, 2030 年后削峰填谷手段逐步完善, 最高负荷增速趋缓, 2035 年后增速降至 1% 以下。最大负荷利用小时数呈现先降后升的趋势, 系统峰谷差呈近中期增大, 远期变小的趋势。

需求侧各种手段削峰作用显著, 能够有效降低最高负荷, 节省电网投资。建议深圳未来加强需求侧响应顶层设计, 完善价格激励、财政补贴机制; 大力发展自动响应、负荷聚集、节约电力测量与验证、智能负荷控制等需求侧响应关键技术; 鼓励在工业、商业等领域试点需求侧响应管理项目; 加强电化学储能、氢能的发展, 推进电动汽车充放电行为的有序管理, 研究虚拟电厂的商业模式等, 促进需求侧资源的深度挖掘。

参考文献:

- [1] 潘英. 能源战略下的能源电力发展方向和碳排放问题 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(3): 32-39. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.006.
- [2] PAN Y. Energy power development direction and low carbon emission under energy strategy [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(3): 32-39. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.006.
- [2] 蔡绍宽. 双碳目标的挑战与电力结构调整趋势展望 [J]. 南方

- 能源建设, 2021, 8(3): 8-17. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.03.002.
- CAI S K. Challenges and prospects for the trends of power structure adjustment under the goal of carbon peak and neutrality [J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(3): 8-17. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.03.002.
- [3] 筱臻. 先行示范充分释放“双区驱动”效应 [J]. 人民之声, 2020(2): 42-44.
- XIAO Z. Demonstration in advance to fully release the "dual zone" effect [J]. *People's Voice*, 2020(2): 42-44.
- [4] 孙金朋. 基于灰色模型对上海市电力需求预测分析研究 [J]. *上海节能*, 2020(3): 208-212. DOI: 10.13770/j.cnki.issn2095-705x.2020.03.007.
- SUN J P. Research on forecast of Shanghai electricity demand based on grey model [J]. *Shanghai Energy Conservation*, 2020(3): 208-212. DOI: 10.13770/j.cnki.issn2095-705x.2020.03.007.
- [5] 张游国, 高岩. 基于灰色关联分析及多元回归的上海市电力需求预测 [J]. *物流科技*, 2021, 44(12): 26-29,35. DOI: 10.13714/j.cnki.1002-3100.2021.12.009.
- ZHANG Y G, GAO Y. Research on Shanghai electric power demand forecast based on grey relational analysis and multiple regression [J]. *Logistics Sci-Tech*, 2021, 44(12): 26-29,35. DOI: 10.13714/j.cnki.1002-3100.2021.12.009.
- [6] 张舒, 廖兴伟, 程远林. 基于特性分析的LSTM神经网络短期电力需求预测方法研究 [J]. *电力大数据*, 2021, 24(5): 9-17. DOI: 10.19317/j.cnki.1008-083x.2021.05.002.
- ZHANG S, LIAO X W, CHENG Y L. Research on short-term power demand forecasting method based on characteristic analysis of LSTM neural network [J]. *Power Systems and Big Data*, 2021, 24(5): 9-17. DOI: 10.19317/j.cnki.1008-083x.2021.05.002.
- [7] 郭挺, 饶建业. “新常态”下广东省中长期电力需求预测 [J]. *广东电力*, 2015, 28(6): 6-11. DOI: 10.3969/j.issn.1007-290X.2015.06.002.
- GUO T, RAO J Y. Medium and long term electric power demand forecasting for Guangdong province under the new normal [J]. *Guangdong Electric Power*, 2015, 28(6): 6-11. DOI: 10.3969/j.issn.1007-290X.2015.06.002.
- [8] 单葆国, 李江涛, 谭显东, 等. 经济转型时期电力弹性系数应用 [J]. *中国电力*, 2017, 50(12): 1-4. DOI: 10.11930/j.issn.1004-9649.201709001.
- SHAN B G, LI J T, TAN X D, et al. The application of electricity elasticity coefficient during economic transition period [J]. *Electric Power*, 2017, 50(12): 1-4. DOI: 10.11930/j.issn.1004-9649.201709001.
- [9] 陈露东, 徐常, 赵星, 等. 贵州典型行业及用户负荷特性分析 [J]. *南方能源建设*, 2020, 7(增刊1): 29-35. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S1.006.
- CHEN L D, XU C, ZHAO X, et al. Analysis on power load characteristics of Guizhou representative consumers [J]. *Southern Energy Construction*, 2020, 7(Supp. 1): 29-35. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S1.006.
- [10] 徐常, 贺墨琳, 杨成, 等. 贵州电网负荷特性影响因素分析 [J]. *南方能源建设*, 2020, 7(增刊1): 36-41. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S1.007.
- XU C, HE M L, YANG C, et al. Analysis of influence factors of load characteristics in Guizhou [J]. *Southern Energy Construction*, 2020, 7(Supp. 1): 36-41. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S1.007.
- [11] 雷翔胜, 伍子东, 董萍, 等. 基于两阶段聚类分析的用电需求响应潜力评估方法 [J]. *南方能源建设*, 2020, 7(增刊2): 1-10. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S2.001.
- LEI X S, WU Z D, DONG P, et al. Method of demand response potential assessment based on two-stage cluster analysis [J]. *Southern Energy Construction*, 2020, 7(Supp. 2): 1-10. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S2.001.
- [12] 夏翔, 谢颖捷, 方建亮, 等. 基于改进评价指标的电力需求预测模型研究 [J]. *电网与清洁能源*, 2021, 37(1): 62-67,76.
- XIA X, XIE Y J, FANG J L, et al. Research on electricity demand forecasting model based on improved evaluation index [J]. *Power System and Clean Energy*, 2021, 37(1): 62-67, 76.
- [13] 张倩, 聂宇本, 张延迟, 等. 基于系统动力学的华东电网电力需求预测 [J]. *电气自动化*, 2020, 42(1): 92-94. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3886.2020.01.026.
- ZHANG Q, NIE Y B, ZHANG Y C, et al. Power demand forecasting of the east China power grid based on system dynamics [J]. *Power System & Automation*, 2020, 42(1): 92-94. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3886.2020.01.026.
- [14] 余潇潇, 宋福龙, 周原冰, 等. “新基建”对中国“十四五”电力需求和电网规划的影响分析 [J]. *中国电力*, 2021, 54(7): 11-17. DOI: 10.11930/j.issn.1004-9649.202010049.
- YU X X, SONG F L, ZHOU Y B, et al. Investigations on the impact of new infrastructure on electricity forecast and power system planning during the 14th five-year plan period [J]. *Electric Power*, 2021, 54(7): 11-17. DOI: 10.11930/j.issn.1004-9649.202010049.
- [15] 高阳, 顾保南. 国内各城市的轨道交通线网电耗统计分析——基于中国城市轨道交通协会数据分析的研究报告之三 [J]. *城市轨道交通研究*, 2019, 22(8): 1-7. DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.08.001.
- GAO Y, GU B N. Statistical analysis of power consumption of rail transit network in China-report 3: data analysis of urban rail transit association of China [J]. *Urban Mass Transit*, 2019, 22(8): 1-7. DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.08.001.

作者简介:



苏步芸

张英杰

1990-, 男, 江西抚州人, 高级工程师, 注册咨询工程师, 硕士, 主要从事电力系统规划研究工作(e-mail)zhangyingjie@gedi.com.cn.

苏步芸 (第一作者, 通信作者)

1992-, 女, 河南平顶山市人, 工程师, 注册咨询工程师, 硕士, 主要从事电力系统规划研究工作(e-mail)subuyun@gedi.com.cn.

(编辑 叶筠英)