

碳达峰碳中和背景下广东省电力行业降碳路径研究

张佳奎^{1,2}, 王增栩¹, 田中华³

(1. 广东省技术经济研究发展中心, 广州 510070; 2. 广东省能源研究会, 广州 510070; 3. 广东省节能中心, 广州 510030)

摘要:电是现代能源系统的中心,能源电力绿色低碳发展对实现碳达峰、碳中和目标至关重要。分别从碳排放总量、碳排放强度、单位供电平均二氧化碳排放量等方面对广东电力行业碳排放情况进行多角度剖析。在此基础上,研判碳达峰目标和碳中和愿景对电力行业发展提出的新要求。最后从优化电源结构,构建新型电力系统,构建电力科技自主创新体系,推动电力产业集聚发展,统筹推进电力交易、碳排放权交易、用能权交易市场建设等 5 个方面提出广东电力行业降碳路径,助力广东碳达峰目标和碳中和愿景的实现。

关键词:碳排放总量;碳排放强度;单位供电平均二氧化碳排放量;绿色低碳

中图分类号:F273.1;G301 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)08-0061-07

2020 年 9 月 22 日,国家主席习近平首次在第七十五届联合国大会一般性辩论会上宣布:中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值,努力争取 2060 年前实现碳中和。

中国“3060”双碳目标的提出,为能源转型提供了更为紧迫明晰的时间表。广东作为国家低碳试点省,始终坚持立足经济发展新常态,充分发挥绿色低碳引领生态文明建设和增强可持续发展能力的作用,积极探索低碳发展体制机制,“十二五”“十三五”均顺利完成了国家下达的单位地区生产总值二氧化碳排放量(简称“碳强度”)下降约束性指标,连续多年在国家碳强度考核中被评为“优秀”,在全国应对气候变化工作中发挥了先锋模范作用,成为推动绿色发展和生活的先行地。

虽然低碳试点省工作为广东奠定了良好的达峰基础,但是广东要在 2030 年前实现碳达峰仍有一定挑战和压力。其中,电力是能源转型的中心环节和碳减排的关键领域^[1]。广东电力行业碳排放量占全省碳排放量的比重接近一半,是碳排放占比最大的单一行业,经济增长和终端用能结构变化也将继续拉升广东的用电量。电力低碳转型对实现碳达峰、碳中和目标具有全局性意义。因此,研究发电行业如何在确保安全平稳供应的同时深度降碳,对

于助力广东尽早实现碳达峰,进而减轻广东资源环境瓶颈约束,提高经济发展质量意义重大。

1 广东省电力行业碳排放情况

1.1 电力行业碳排放量

根据《国民经济行业分类》(GB/T 4754—2017),电力行业包括电力生产和电力供应。其中,电力生产包括火力发电、热电联产、水力发电、核力发电、风力发电、太阳能发电、生物质能发电等;电力供应指利用电网出售给用户电能的输送与分配活动,以及供电局的供电活动。由于电力供应侧的碳排放量相对较小,本文的电力行业碳排放情况指电力生产侧的碳排放情况。2015 年以来,广东省电力行业碳排放量呈波动上升趋势,由 2015 年的 21 198 万 t 增加到 2019 年的 23 746 万 t,占全省碳排放量的比重介于 40%~45%,年均增速约为 2.88%(图 1)。

《中华人民共和国 2016 年国民经济和社会发展统计公报》指出六大高耗能行业包括石油加工、炼焦和核燃料加工业,化学原料和化学制品制造业,非金属矿物制品业,黑色金属冶炼和压延加工业,有色金属冶炼和压延加工业,电力、热力生产和供应业。从 2019 年广东六大高耗能行业的碳排放总量来看(图 2),电力行业的二氧化碳排放总量最高。在六大高耗能行业中,电力行业的二氧化碳排放量

收稿日期:2022-03-19

基金项目:广东省省级生态环境专项资金项目(STQH-2021-050)。

作者简介:张佳奎(1993—),女,广东揭阳人,广东省技术经济研究发展中心,经济师,助理研究员,研究方向为能源、低碳、节能科技管理与规划;王增栩(1992—),男,福建沙县人,广东省技术经济研究发展中心,经济师,助理研究员,研究方向为科技管理、科技政策;田中华(1980—),女,河南洛阳人,广东省节能中心,高级工程师,研究方向为能源、低碳、节能规划政策标准。

达 23 746 万 t,分别是有色金属冶炼及压延加工业的 70 倍,黑色金属冶炼及压延加工业的 7.4 倍,非金属矿物制品业的 4.6 倍,化学原料和化学制品制造业的 9.5 倍,石油、煤炭及其他燃料加工业的 1.3 倍。

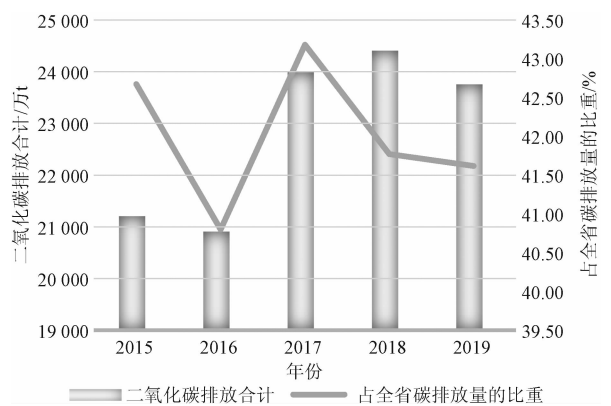


图 1 2015—2019 年广东省电力行业二氧化碳排放总量和占全省碳排放量比重

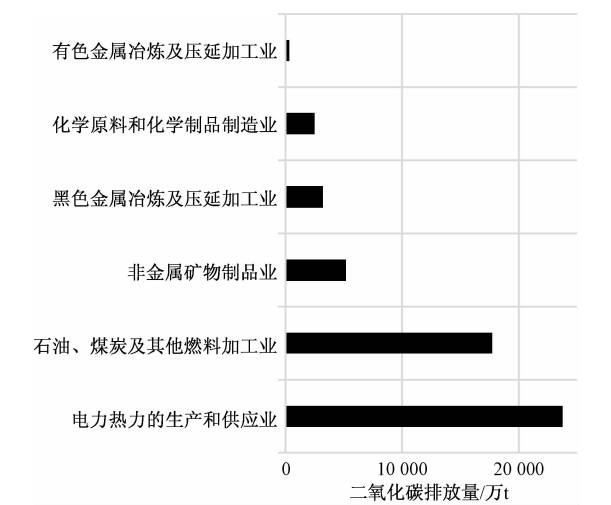


图 2 2019 年广东六大高耗能行业二氧化碳排放量

1.2 电力行业碳排放强度

广东电力行业的碳强度约为全省平均水平的 2 倍,在广东六大高耗能行业及全省规模以上工业行业中均居第 2 高位,仅次于石油、煤炭及其他燃料加工业。这意味着,除了石油、煤炭及其他燃料加工业,在全省规模以上工业行业中,各行业产生每单位国民生产总值,电力行业的二氧化碳排放量最高。2019 年,电力行业的二氧化碳强度约为 11.278 t/万元(2010 年价)(表 1),比有色金属冶炼及压延加工业高 18 倍,比化学原料和化学制品制造

业高 5 倍,比非金属矿物制品业高 2.8 倍,比黑色金属冶炼及压延加工业高 0.6 倍。

表 1 2019 年六大高耗能行业二氧化碳排放强度

高耗能行业	二氧化碳排放强度/ (2010 年价)/tCO ₂ /万元
石油、煤炭及其他燃料加工业	19.578
化学原料和化学制品制造业	1.851
非金属矿物制品业	2.986
黑色金属冶炼及压延加工业	7.149
有色金属冶炼及压延加工业	0.592
电力热力的生产和供应业	11.278

1.3 单位供电平均二氧化碳排放量

从全国各省市来看,2016 年,广东省省级电网平均二氧化碳排放因子^①约为 451.2 gCO₂/(kW·h)(表 2)。在全国 31 个省市中,广东单位供电平均二氧化碳排放量处于第 9 位,低于浙江、上海、北京、江苏、山东等经济发达地区,高于云南、四川、青海、贵州等可再生能源资源丰富的地区。与其他国家和地区相比,目前广东电力行业单位供电平均二氧化碳排放量处于中等排放水平,与全球平均水平(约 450 gCO₂/(kW·h)相当。

表 2 2016 年省级电网平均二氧化碳排放因子

省级电网	二氧化碳排放因子/ [gCO ₂ /(kW·h)]	省级电网	二氧化碳排放因子/ [gCO ₂ /(kW·h)]
北京	616.8	河南	790.6
天津	811.9	湖北	357.4
河北	902.9	湖南	498.7
山西	739.9	重庆	440.5
内蒙古	753.3	四川	103.1
山东	860.6	广东	451.2
辽宁	721.9	广西	393.8
吉林	614.7	贵州	427.5
黑龙江	663.4	云南	92.1
上海	564.1	海南	514.7
江苏	682.9	陕西	767.3
浙江	524.6	甘肃	491.2
安徽	775.9	青海	260.2
福建	391.0	宁夏	619.5
江西	633.9	新疆	622.0

2 碳达峰碳中和背景下对电力行业发展提出的新要求

2.1 “双碳”目标的内涵解读

碳排放达峰是指碳排放量在某个时间点达到峰值,即一个经济体(地区)二氧化碳的最大年排放

注:①由于国家尚未对省级电网平均二氧化碳排放因子进行更新,因此本文所提及的国内各省份的单位供电平均二氧化碳排放量数据均为 2016 年省级电网平均二氧化碳排放因子。

值,碳排放达峰的核心是碳排放增速持续降低直至负增长。碳中和指在一定时间内直接或间接产生的温室气体排放总量,通过植树造林、节能减排等措施,以抵消自身产生的二氧化碳排放量,实现二氧化碳“净零排放”^[2]。碳中和的核心是二氧化碳的排放量与吸收量相等。碳达峰是碳中和的前置条件,只有实现碳达峰,才能实现碳中和。碳达峰的时间和峰值水平直接影响碳中和实现的时间和难度。达峰时间越早,实现碳中和的压力越小;峰值越高,实现碳中和所要求的技术进步和发展模式转变的难度就越大。

2.2 “双碳”目标对电力行业发展提出的新要求

“碳达峰、碳中和”目标对中国当前和今后一个时期的应对气候变化工作、绿色低碳发展和生态文明建设提出了更高的要求,有利于促进能源结构、产业结构、经济结构加快转型升级,催生新技术、新模式、新业态,显著提升经济发展效率。电力作为重要的能源基础产业,既是能源供应侧也是最大的能源消费领域。双碳目标对电源结构、电力系统、电力科技、电力产业及市场机制等均提出了新要求^[3]。需多措并举、多管齐下、多方合力,加快电源结构绿色低碳转型,提升能源供应安全保障能力,构建以新能源为主体的新型电力系统,建成安全、可靠、绿色、高效、智能的现代化电网,逐步形成源网荷储灵活高效互动的电力运行与市场体系,加快构建电力科技自主创新体系,促进电力产业成为全省现代产业体系的重要产业,推动电力市场、碳市场的融合发展,探索用能权交易,为保障电力供应和构建新型电力系统提供体制机制支撑。

2.2.1 电源结构

近年来,广东以扩大天然气利用、安全发展核电为主要抓手,以发展海上风电等可再生能源、推进煤炭清洁高效利用为重要补充,推动电源结构向清洁化发展。要实现碳中和的愿景,电源结构低碳化是关键路径。

目前,全球主要国家的单位供电平均二氧化碳排放量从低到高大致分成近零排放(100 g 以下)、超低排放(100~200 g)、低排放(200~300 g)、中排放(300~500 g)、高排放(500 g 以上)^[4]。从全球范围来看,世界各国供电碳排放水平差异较大,从挪威的 1 kW·h 接近零到南非的 1 kW·h 超过 800 g,这主要是由各个国家不同的经济和技术发展环境下电力生产结构的特点所致,反映了各国发电工业

体系构成的多样性。根据 IPCC 数据,在各类电源中,发电平均二氧化碳排放强度最高的为煤电,排放强度为 1 001 gCO₂/(kW·h),最低的为水电,排放强度为 4 gCO₂/(kW·h)。气电的发电平均二氧化碳排放强度为 469 gCO₂/(kW·h),仅为煤电排放强度水平的 47%。光伏、核电、风电、水电等非化石能源的发电平均二氧化碳排放强度则分别为 48、16、12、4 gCO₂/(kW·h)^[5]。因此,拥有丰富水力资源或核电资源的国家,单位供电平均二氧化碳排放量几乎为零;使用煤炭、天然气和低碳电源混合发电的国家,度电碳排放约为 300~500 g/(kW·h);而严重依赖煤电的国家,单位供电平均二氧化碳排放量可高达全球平均水平的 2 倍。2018 年,法国核电装机占比 47.5%,发电量占比达到了 71.6%,确保了法国发电的低碳水平,同年法国度电碳排放为 61 g/(kW·h);德国是欧盟最大的煤炭消费国,2016 年煤炭在德国所有发电电源中占比 42.2%,同年,德国度电碳排放为 560 g/(kW·h)。预计大部分发达国家在全社会实现碳中和目标的情境下,电力行业都要基本实现近零排放,即单位供电平均二氧化碳排放量低于 100 g 以下。比如欧盟 2050 绿色新政实现碳中和的情景下,预计电力行业 80%以上的装机都将是可再生能源装机,部分国家甚至是 100%。当前全球主要国家单位供电平均二氧化碳排放量水平见表 3。

表 3 当前全球主要国家单位供电平均二氧化碳排放量水平

类型	主要国家
近零排放梯队[100 gCO ₂ /(kW·h)以下]	挪威、瑞典、瑞士、法国等
超低排放梯队[100~200 gCO ₂ /(kW·h)]	新西兰、加拿大、奥地利、芬兰、丹麦、比利时等
低排放梯队[200~300 gCO ₂ /(kW·h)]	英国、匈牙利、西班牙、葡萄牙、意大利等
中排放梯队[300~500 gCO ₂ /(kW·h)]	德国、荷兰、智利、美国、捷克、土耳其、墨西哥、以色列、日本等
高排放梯队[500 gCO ₂ /(kW·h)以上]	韩国、希腊、爱沙尼亚、印度、南非、澳大利亚等

当前广东省的发电结构中,煤电仍占绝对主导地位,但煤电发电装机容量占比已逐步降低,天然气发电、核电和可再生能源发电装机容量及发电量占比则呈逐步扩大的趋势。2020 年底,广东省内电力装机容量约 1.4 亿 kW,其中非化石能源装机占比 34.6%,比 2015 年提高了 8.1 个百分点,煤电占总装机容量比重从 2015 年底的 59.0%下降至

2020 年底的 45.4%。2020 年,广东省本地电源发电量为 5 048.44 亿 kW·h,电源发电仍以煤电为主,煤电发电量 2 524.87 亿 kW·h,占省内电源发电量的 50%;核电发电量 1 160.78 亿 kW·h,排第 2 位,约占 23%,气电发电量随着装机规模的增大而提高到 737.76 亿 kW·h,占比约 14.6%,非化石能源发电量占比 32.1%。2015、2020 年广东省电源装机结构见表 4。

表 4 2015、2020 年广东省电源装机结构 %

年份	煤电	气电	核电	可再生能源及其他
2015	59.0	14.5	8.4	18.1
2020	45.4	20.0	11.4	23.2

将 2019 年广东的电力装机结构与山东、江苏、浙江等省份对比(表 5)。山东作为煤电装机占比达 70.5%的省份,其单位供电平均二氧化碳排放量达到 860.6 g/(kW·h);其次是江苏,煤电装机占比约 60.4%,其单位供电平均二氧化碳排放量达到 682.9 g/(kW·h);浙江煤电装机占比 47.5%,气电装机占比 12.9%,核电装机占比 9.3%,可再生能源(含抽蓄)占比 29.2%,其单位供电平均二氧化碳排放量为 524.5 g/(kW·h);广东煤电装机占比 46.9%,气电装机占比 17.4%,核电装机占比 12.5%,可再生能源(含抽蓄)占比 23%,同时,全省每年 30%左右的用电量来自西电东送电量,其中清洁能源占比达 80%以上,使得广东单位供电平均二氧化碳排放量进一步降低,为 451.2 g/(kW·h)。

表 5 2019 年粤苏浙鲁电源装机结构及单位供电平均二氧化碳排放量指标对比

省份	煤电/ %	气电/ %	核电/ %	可再生能源 (含抽蓄)/%	单位供电平均 二氧化碳排放 量/[g/(kW·h)]
广东	46.9	17.4	12.5	23	451.2
山东	70.5	2.1	1.8	25.6	860.6
江苏	60.4	12.1	3.3	22.6	682.9
浙江	47.5	12.9	9.3	29.2	524.6

2.2.2 电力系统

“双碳”目标背景下,发展高比例电源侧可再生能源是大势所趋。过去 30 年,中国电力系统一直保持高速增长,目前在电力装机、发电总量、电力输送系统建设和规模,以及常规发电技术、电网运行技术和可靠性等方面均位居世界前列。但要从这种大规模集中型的、以化石燃料为基础的电力系统转

化成零碳电力系统,过去的很多优势在某种程度上也成为一种阻力。广东也面临着同样的挑战。但在“双碳”目标带动的巨大转型下,广东的电力系统也有其优势。在核电、水电、新能源发电技术,以及新能源消纳等方面,广东现在处于国际先进地位。同时,由于光伏、风电以及储能系统技术的快速进步和大规模制造能力,广东具备了低碳转型的巨大潜力。因此,在“双碳”目标背景下,持续推动电源结构低碳绿色转型,需从电源、电网、负荷、储能等方面多措并举,增强电力系统灵活性、适应性,提高电网安全运行水平,提升电力需求侧智能响应调节能力,解决清洁能源消纳过程中电网波动性等问题,建立绿色低碳、灵活高效、多元互动、高度市场化的新型电力系统。

2.2.3 科技

力争 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和,是一场任务艰巨的世纪大考,也是前所未有的科技挑战。2020 年,广东电力装机容量 1.4 亿 kW,煤电占比达 45.4%,煤电发电量仍占全省发电量的 50%。在碳达峰碳中和的目标背景下,大规模减少电力行业的温室气体排放、建立近零碳排放电力系统的任务艰巨,离不开强有力的科技支撑,需更好发挥科技创新的引领支撑作用,系统构建电力行业绿色低碳技术创新体系,推动广东省电力行业实现碳达峰、碳中和目标。

2.2.4 产业

碳达峰碳中和的背景下,在实施绿色低碳核心科技攻关的基础上,还需统筹电力全链条的技术与产业布局,从而促进电力行业高质量、可持续发展,高质量支撑引领广东实现碳达峰碳中和。结合广东的优势领域,以加快海上风电、太阳能、先进核能、储能、氢能的开发利用为基础,以强化关键技术攻关为核心,以布局重大工程建设为支撑,以推动产业协同集聚发展的手段,不断提升广东电力产业整体发展水平。

2.2.5 市场机制

实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革,是党中央统筹推动生态文明建设和经济高质量发展作出的重大战略决策。需通过政策、技术、机制协同,推动中长期广东电力低碳转型的高质量发展。通过统筹推进碳排放权、用能权、电力交易等市场建设,发挥市场在资源配置方面的决定性作用,以市场化手段解决新能源系统利用成本显著提高等问题^[6]。

3 碳达峰碳中和背景下广东电力行业降碳路径

3.1 大力优化电源结构

碳达峰碳中和背景下,电力系统要力争提前实现碳达峰,势必要提高气电、核电、光伏、风电等发电平均二氧化碳排放强度较低的电源比例。广东省内化石能源资源总体匮乏,缺煤、少油、乏气,化石能源供应主要依靠外省及其他国家送入。未来广东电源的主要增长点来源于气电、核电和可再生能源发电。随着电源结构优化、新旧机组更替,广东省内综合发电煤耗将进一步下降,从而降低电力行业的碳排放水平。

3.1.1 大力发展海上风电

海上风电是清洁低碳的可再生能源,不产生碳排放。相比陆上风电,具有发电功率较大、稳定性较好等优点。广东拥有 4 114 km 海岸线和 41.93 万 km² 海域,同时,沿海平均风速较大,风功率密度和风能利用小时数较高,风能资源丰富、品质较好,发展海上风电具有得天独厚的优势。全省近海海域风能资源理论总储量约 1 亿 kW,2019 年底,广东省并网海上风电装机容量 23.6 万 kW。近年来,随着海上风电开发技术进步和成本逐步下降,相关产业也得到进一步发展,世界海上风电已形成规模化发展的态势。未来全球海上风电进一步加快发展也将为广东省带来难得的发展机遇。

3.1.2 积极发展光伏发电

太阳能是可再生能源,光伏发电是零碳电力。广东省各类工业园区众多,集中连片屋顶资源丰富,为分布式光伏开发提供了有利的基本条件。“十三五”期间,受益于光伏组件的技术发展,地面光伏和分布式光伏在广东省部分太阳能资源良好,环保、接入等限制条件较少的区域得到了有序开发和利用。据普查,广东省光伏的最大潜能约 4 270 万 kW,2019 年底,广东省光伏装机规模约为 610 万 kW。在“双碳”目标推动下,全国掀起了光伏热潮。由于光伏发电已实现了平价上网,且广东省燃煤基准电价位于全国前列,广东省对企业投资光伏发电项目也具有较大的吸引力。

3.1.3 安全高效发展核电

核电是清洁能源,不排放二氧化碳和烟尘。相较于其他可再生能源,核电具有稳定、高效且受自然环境影响较小的客观优势,每年可利用小时数达 7 000 h 以上,远高于光伏发电及风电的平均利用小时(光伏发电约 1 100 h,风电约 2 000 h),是低碳的

清洁能源中唯一可大规模替代化石能源的重要基荷电源,因此,发展核电是电力减碳的有效途径。核电站的厂址在地质、水文、气象、地形等方面的要求高,是一种珍贵和稀缺的资源。与国内其他地区相比,广东开展核电厂址的开发保护工作较早,并已取得了阶段性成果^[7]。2020 年底,广东省拥有在运核电机组 14 台,装机容量 1 614 万 kW。广东省现有在建核电项目为惠州太平岭一期项目(1、2 号机组),分别于 2019 年 12 月、2020 年 10 月开工建设,预计到 2025 年最大新增潜能 300 万 kW。

3.1.4 适度发展天然气发电

天然气发电是广东省多元电力供应的重要组成部分,其具有能源转换效率高、排放污染小的特点。相比煤电,气电减碳优势明显,单位度电二氧化碳排放水平仅为燃煤电厂的 47%。相比风电、光伏,气电更加稳定灵活,具有优秀的调峰性能。将气电调峰作为构建以新能源为主体的新型电力系统的重要组成部分,是助力电力碳达峰,构建清洁低碳、安全高效能源体系的重要实现途径之一。

3.2 积极构建新型电力系统

电网连接电力生产和消费,是重要的网络平台,是能源转型的中心环节,是电力系统碳减排的核心枢纽。随着碳达峰、碳中和工作的推进,新能源将大规模并网,给电网带来高比例可再生能源、高比例电力电子设备的“双高”挑战。以助力新能源发展,提高零碳能源供应为目标,构建以新能源为主体的新型电力系统,将进一步保障电网安全稳定运行,提高新能源并网质量和效率。因此,为了实现新能源大规模、高比例、多元化发展,推动新能源成为新的主体能源,需着力构建纵向源网荷储、横向多能互补、灵活高效智能互动的新型电力体系。分别从电源、电网、负荷、储能侧等方面着手,精准控制社会可中断的用电负荷和储能资源,提高电网安全运行水平,解决清洁能源消纳过程中电网波动性等问题。一是增强电源侧灵活调节能力,合理配置应急备用和调峰电源。有序发展抽水蓄能等调节性电源,综合考虑调峰需求和建设条件,在珠三角等负荷中心合理规划调峰气电布局建设。引导新建气电机组配置 FCB 功能、孤网运行能力和黑启动功能,成为抗灾保障电源,强化重要用户自备应急电源配置,切实提高电力供应和应急调峰储备能力。二是充分发挥电网侧的平台和枢纽作用,提升可再生能源并网消纳的水平。利用跨区跨省电网,进行新能源电力的远距离传输,同时,用电网

实现跨区域的互补和相互支援、互为备用,提高系统安全水平。三是改变负荷侧电力负荷刚性增长方式,让负荷变得“有弹性”“可调节”。鼓励发展能源互联网,以综合能源服务的形式满足用户的能源电力需求。四是在储能侧,推动储能合理配置与高效运营。加强储能与源网荷协调规划研究,引导储能合理布局与有序发展,并推动互联网+储能建设,创新储能运营的体制机制,最大限度地发挥储能对可再生能源的消纳能力。五是坚持以电为中心,促进电、氢、气、热、冷等多能互补、高效配置、综合利用。不断提升网荷互动能力和电力需求侧响应能力,提高电能 in 终端能源消费中的比例。六是积极推动电网数字化转型和智能化调控,加快构建以数据为关键生产要素,以现代电力能源网络与新一代信息网络为基础的数字电网,建设新能源可观、可测、可控的数字化平台,大力实施清洁调度,加大风光水火储联合优化调度,最大限度消纳清洁能源。

3.3 构建电力科技自主创新体系

当前,可再生能源正逐步成为新增电力重要来源,电网结构和运行模式都将发生重大变化。新一轮能源技术革命正在孕育,新的能源科学技术不断涌现。风电技术逐渐向深海、远海和更大兆瓦级别机组方向发展,太阳能电池组件效率不断提高,核能技术多元化发展,小堆已成为全球核能大国的竞争焦点。广东是电力需求大省,新能源利用全国领先,新能源发电一直是全额保障消纳,非化石能源比重位于全国前列,应结合广东实际资源条件,立足广东能源利用和发展的重点,紧跟全球科技发展趋势,加快重点领域前瞻性技术研发和科技创新,有效促进海上风电、核电、光伏发电等领域关键核心技术实现突破,力争形成电力科技自主创新体系。海上风电方面,重点围绕大容量风机的永磁发电机、海上风电主控、直流输送、并网消纳等系列技术难点开展科研攻关。核电方面,重点突破当前小型反应堆面临的卡脖子技术,安全高效推动小堆发展。光伏发电方面,主要支持高效晶体硅电池关键设备研发,提升电池制备关键装备及材料国产化率,研究制备大面积高效率 CdTe 太阳电池。

3.4 推动电力产业集聚发展

以电力领域产业链关键核心技术自主安全可控为导向,积极开展关键技术装备创新试验示范,充分发挥电网平台作用,推进上下游产业互动对接,建立产学研创新联合体,建立健全相关标准和

检测认证体系,打造“龙头企业牵头、上下游产业链协同发展”新型电力系统产业格局,推动电力产业集聚发展。一是打造海上风电全产业链。经过近年海上风电规划引导和项目建设带动,广东省海上风电相关产业发展较快,在基础研究、整机设计研发、零部件生产制造、海上风电工程施工、项目建设运营等方面已具备了一定基础条件,整个产业链正逐步形成和完善。随着碳达峰、碳中和工作的推进,海上风电将是广东可再生能源的重要增长点,应以广东省海上风电装备制造骨干企业为龙头,带动广东风电研发水平提高和装备制造及服务业发展,做大做强海上风电装备制造业,加快形成集海上风电机组研发、整机制造、工程设计、施工安全、运营维护于一体的风电全产业链,推进风电机组向大容量、智能化、抗台风方向发展。同时,统筹做好全省海上风电运维,推进运维服务专业化。鼓励项目开发企业、风机制造企业、施工安装及运维企业深度合作,整合上下游产业链,共同推动海上风电成本下降。二是优化太阳能产业布局。引导并支持太阳能集热器、光伏设备、逆变器、封装、浆料等省内细分龙头企业加快产业布局。积极引进太阳能电池片环节优势企业、扶持壮本地组件优质企业。三是推动先进核能产业布局。依托加速器驱动嬗变研究装置、强流重离子加速器装置、先进能源科学与技术广东省实验室和江门中微子实验站等先进科研平台,持续推进先进核能产业发展。四是推动先进储能产业集聚发展。依托宁德时代、比亚迪、亿纬锂能等国内电芯制造龙头企业,推动“大容量、低成本、长寿命、高安全、易回收”储能电池制造,探索开展储热及其他创新储能技术研究和示范应用;提升新材料、电池电芯、逆变器、系统集成和能量管理等产业集聚化程度。五是培育氢能产业链。聚焦氢能核心技术研发和先进设备制造,加快培育从氢气制储、加运、燃料电池电堆、关键零部件和动力系统集成的全产业链。

3.5 统筹推进碳排放权、用能权、电力交易等市场建设

积极稳妥推进适应碳达峰目标下的电力现货市场,优化容量市场、辅助服务等交易机制,促进低碳电力资源在更大的范围内配置消纳,充分发挥市场在保障电力供应、加强能源储备和促进新型电力系统建设方面的积极作用。优化创新碳市场交易机制,推动电力市场与碳市场的衔接,为保障电力供应和构建新型电力系统提供体制机制支撑。建

立健全用能预算管理,探索用能权交易,统筹推进经济发展和节能减碳。

4 结论

电力是能源转型的中心环节,也是降低碳排放的关键领域。电力行业低碳转型对于实现全社会的碳达峰碳中和目标具有重大意义。广东电力行业碳排放总量大,碳排放强度在全省规模以上工业行业中处于第2位。但是广东始终着力优化电源结构,发展天然气发电、核电和可再生能源发电,促进能源结构调整,使得广东单位供电平均二氧化碳排放量在全国处于较低水平^[8]。然而,在碳达峰目标和碳中和愿景下,广东电力行业距离近零排放还有很大差距。本文分别从碳排放总量、碳排放强度、单位供电平均二氧化碳排放量等多个角度剖析广东电力行业碳排放情况,在此基础上,研判碳达峰目标和碳中和愿景对电力行业发展提出的新要求,从而提出广东电力行业降碳路径。

在电力供给端,结合广东的能源资源禀赋,在确保电力能源供应安全保障的前提下,提出大力发展海上风电,积极发展光伏发电,安全高效发展核电,适度发展天然气发电的建议。

在新型电力系统建设方面,从电源侧、电网侧、负荷侧、储能侧分别提出建议举措,同时,提出以电为中心,促进电、氢、气、热、冷等多能互补,推动电网数字化转型和智能化调控,构建纵向源网荷储、

横向多能互补、灵活高效智能互动的新型电力体系,多措并举推动高比例新能源融入电力系统。

围绕构建电力科技自主创新体系和推动电力产业集聚发展的目标,结合广东的能源资源禀赋和产业发展基础,分别对海上风电、太阳能、核能等核心技术攻关、产业集群发展提出相应路径。

在体制机制改革创新方面,提出统筹推进碳排放权、用能权、电力交易等市场建设。通过政策、技术、机制协同,推动中长期广东电力低碳转型的高质量发展,助力碳达峰目标和碳中和愿景的实现。

参考文献

[1] 舒印彪,张丽英,张运洲,等.我国电力碳达峰、碳中和路径研究[J].中国工程科学,2021,23(6):1-14.
[2] 叶强,胥威汀,汪伟,等.“碳中和”愿景下的四川电力减碳路径构想[J].四川电力技术,2021,44(2):28-32,42.
[3] 赵国涛,钱国明,王盛.“双碳”目标下绿色电力低碳发展的路径分析[J].华电技术,2021,43(6):11-20.
[4] 郭伟,唐人虎.2060碳中和目标下的电力行业[J].能源,2020(11):19-26.
[5] 朱法华,王玉山,徐振,等.中国电力行业碳达峰、碳中和的发展路径研究[J].电力科技与环保,2021,37(3):9-16.
[6] 冷俊,薛禹胜.“双碳”目标下,新型电力系统发展路径的优化思路[J].中国电力企业管理,2021(19):11-13.
[7] 郭贤明,李建华.广东核电发展的优势与前景[J].能源技术,2009,30(3):169-172.
[8] 杨帆,张晶杰.碳达峰碳中和目标下我国电力行业低碳发展现状与展望[J].环境保护,2021,49(S2):9-14.

Research on the Carbon Reduction Path of the Power Industry in Guangdong Province under the Background of Carbon Peak and Carbon Neutrality

ZHANG Jialuan^{1,2}, WANG Zengxu¹, TIAN Zhonghua³

(1. Guangdong Techno-economy Research and Development Center, Guangzhou 510070, China;

2. Guangdong Energy Research Society, Guangzhou 510070, China;

3. Guangdong Energy Conservation Center, Guangzhou 510030, China)

Abstract: Electricity is the center of the modern energy system. Green and low-carbon development of electric power is critical to achieving carbon peak and carbon neutral goals. The carbon emission situation of Guangdong's power industry is analyzed from multiple perspectives in terms of total carbon emissions, carbon emissions intensity, and average carbon dioxide emissions per unit of power supply. On this basis, the new requirements of the carbon peak goal and carbon neutral vision for the development of the power industry are studied and judged. Finally, the carbon reduction path of the Guangdong power industry is proposed to help Guangdong achieve the carbon peak goal and carbon neutrality vision, including optimizing the power supply structure, building a new power system, constructing an independent innovation system of power technology, promoting the agglomeration development of the power industry, coordinating, and promoting the construction of carbon emissions trading markets, energy rights trading markets, and electricity trading markets.

Keywords: total carbon emissions; carbon intensity; carbon emissions per unit of electricity supply; green and low-carbon