DOI 10.15302/J-SSCAE-2021.01.009

能源革命推动珠江三角洲开放发展研究

呼和涛力[1]，骆志刚[2]，袁汝玲[1]，孙富安[1]，陈勇[2]

（1. 常州大学，江苏常州 213164；2. 中国科学院广州能源研究所，广州 510640）

摘要：珠江三角洲是我国改革开放的先行地区，在新形势下因地制宜地推进能源革命，对推动珠江三角洲地区的经济、能源与生态环境的协调可持续发展具有重要意义。本文综合分析珠江三角洲地区各类能源供给与消费特点，深入探讨能源革命推动珠江三角洲开放发展所面临的挑战，结合珠江三角洲地区能源转型发展需求，提出了能源革命推动珠江三角洲的开放发展所采取的相关措施及建议。研究得出珠江三角洲需要依托“一带一路”与粤港澳大湾区建设，打造国家油气储备基地和可再生能源基地，实施能源消费总量与强度“双控”，增强能源技术开发与科技创新，以能源革命推动珠江三角洲地区进入绿色低碳高质量发展阶段。

关键词：能源革命；开放发展；珠江三角洲；粤港澳大湾区

中图分类号：TK01　　**文献标识码：**A

Energy Revolution Promoting Open Development of the Pearl River Delta

Huhe Taoli[1], Luo Zhigang[2], Yuan Ruling[1], Sun Fuan[1], Chen Yong[2]

(1. Changzhou University, Changzhou, Jiangsu 213164, China; 2. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The Pearl River Delta (PRD) region is the leading area of China’s reforms and opening-up. Promoting energy revolution in the PRD based on its local conditions is important for achieving the coordinated and sustainable development of economy, energy, and ecological environment in that region. This study analyzes the characteristics of energy supply and consumption in the PRD and discusses the challenges faced by the energy revolution in the PRD. Based on the requirements for energy transformation in the region, we propose some measures to promote the energy revolution and open development of the PRD. The PRD region should be built as a national base for oil and gas reserves and renewable energies by relying on the Belt and Road construction and the development of the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area. Both the total quantity and intensity of energy consumption should be controlled in this region and energy technology innovation should be encouraged, thereby promoting the PRD development into a green, low-carbon, and high-quality stage through the energy revolution.

Keywords: energy revolution; open development; the Pearl River Delta region; the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area

收稿日期：2020-11-18；**修回日期：**2020-12-16

通讯作者：陈勇，中国科学院广州能源研究所研究员，中国工程院院士，主要从事能源与环境工程技术研究；E-mail: chenyong@ms.giec.ac.cn

资助项目：中国工程院咨询项目“推进能源生产和消费革命（2035）——能源革命推动经济社会发展和生态环境保护”(2018-ZD-11)

本刊网址：www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

珠江三角洲地区（以下简称珠三角）是我国“一带一路”经济发展战略与粤港澳大湾区建设的核心地带 [1]。继续深入珠三角的开放发展对推动区域经济新一轮发展、带动周边地区协同发展、融合粤港澳大湾区建设、服务“一带一路”倡议以及助力区域生态文明建设等都赋予了新的使命及时代内涵。同时，珠三角在我国能源生产和消费革命战略中扮演着重要角色。能源革命推动珠三角开放发展对提高区域能源发展质量变革、效率变革、动力变革，增强能源安全与保障能力，推进新时期能源绿色低碳发展，促进能源与生态环保协调发展以及推动经济社会的高质量发展具有十分重要的意义。本文立足区域资源禀赋与发展阶段的实际，综合分析珠三角地区各类能源供给与消费特点，深入探讨能源革命推动珠三角开放发展所面临的挑战，结合珠三角地区能源未来发展需求，提出了新形势下能源革命推动珠三角开放发展与生态环境可持续发展的相关措施及建议。

二、珠三角地区能源发展的特点

（一）珠三角能源供应特点

珠三角煤炭供给主要依赖省外调入与进口。自 2005 年广东省关闭韶关的煤矿产业以来，区域煤炭供给形成了国内资源和进口的供应局面。国内资源主要来自北方港口下水的秦晋蒙三地的优混系列煤，进口主要来源于印度尼西亚、澳大利亚，少量来自越南、俄罗斯等国家。距离国际主要煤炭出口国运输航线短的地理优势，导致进口煤炭价格一般低于国内煤价，已成为煤炭市场的重要供应来源。

石油储运与加工能力得到提升。珠三角地区加工的原油主要来源于南海油田、进口和外省调入，主要通过输油管道和海运到港口供应。珠三角地区工业体系发达，石油加工企业共有 96 家，其中 98% 左右从事精炼石油产品的制造，石油储运能力正在不断提升。大型炼油化工企业有广州石油化工总厂和中海油惠州石化有限公司，生产汽油、柴油、煤油等燃料及化工原料，原油加工能力达到 3.52×10^{7} t/a [2]。

天然气基本形成内外环网供气格局。截至 2017 年，珠三角地区形成进口液化天然气（LNG）、跨省长输管道天然气和海上天然气等“多源互补、就近供应”的供气格局 [3]。在深圳大鹏湾、中海油深圳迭福、中海珠海金湾、中石油二线广东段、珠海横琴岛、高栏港和东莞九丰等建成 7 个天然气供应项目，供应能力每年可达到 4.01×10^{10} m^3。珠三角天然气主干管网长度达到 2200 km，依次由西部珠海、江门至肇庆，过清远和从化连接广州，至中东部的东莞和惠州，初步形成珠三角内外环网，连接粤西北地区的输气网络格局。

电力对外依存度约占五成。珠三角地区除珠海以外的所有城市的电力都需要外供，来源为省外西电以及由粤东西北地区调入。2017 年，珠三角地区全社会用电量为 4.423×10^{11} kW·h，本地自供电为 2.209×10^{11} kW·h，自给率仅为 49.9%。珠三角地区电力总装机容量为 5.232×10^{7} kW，其中煤电占 49.8%、气电占 31.3%、核电占 11.7%、可再生能源发电量占 7.3%。珠三角电力发展的总体趋势是降低煤电比重，气电、核电以及可再生能源发电量和供应能力将会进一步提高。

（二）珠三角能源消费特点

能源消费总量以及第三产业和生活能源消费占比不断提高。珠三角地区 9 市的能源消费总量一直保持增长，2010—2018 年，年均增长 6.8%，2018 年达到 2.2×10^{8} tce，分别占粤港澳大湾区、广东省以及全国能源消费总量的 94.7%、66.1% 和 4.74%。从各市的对比中可以看出广州、深圳和东莞一直保持前三位，2018 年的能源消费量分别达到 6.13×10^{7} tce、4.405×10^{7} tce 和 3.066×10^{7} tce（见图 1）。从全省能源消费结构数据来看，在一次能源消费结构中天然气及非化石能源消费占比增幅较为明显，2018 年分别占到 8.3% 和 26.4%。而在产业能源消费结构中第三产业及生活用能占比也得到了提升，2018 年占比分别达到 23.2% 和 15.7%（见图 2）。

能源利用强度逐渐降低。2010—2018 年，全国、广东省以及珠三角的单位 GDP 能耗平均增长速度分别为 –6.6%、–5.6% 和 –5.8%，珠三角地区 2018 年的单位 GDP 能耗为 0.27 tce/ 万元，分别比全国和广东省低 46.0% 和 20.6%（见图 3）。然而珠

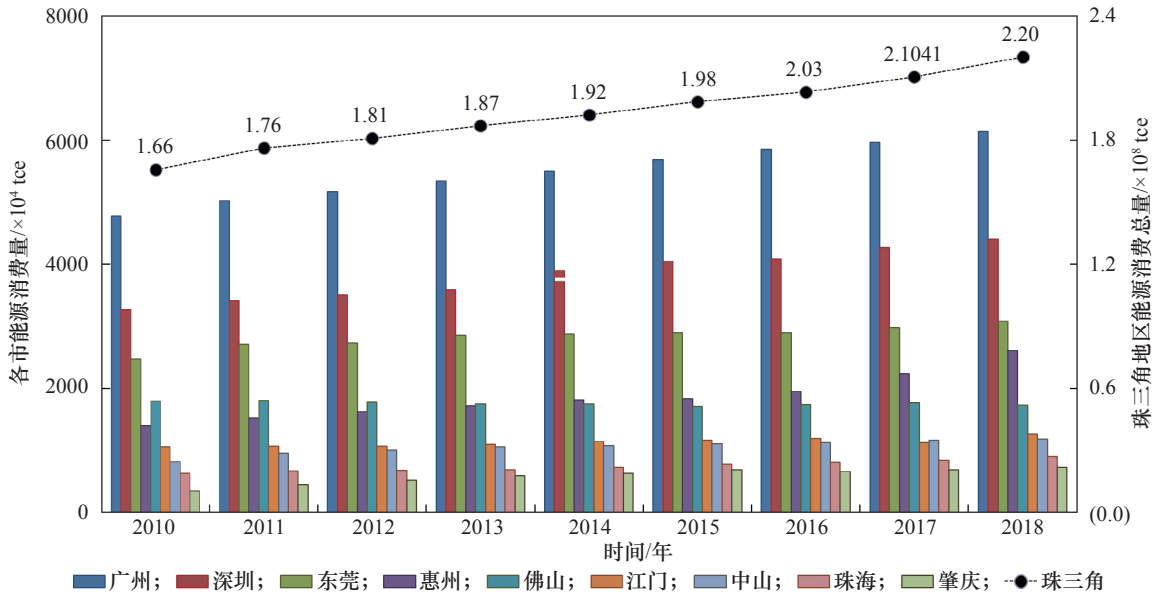
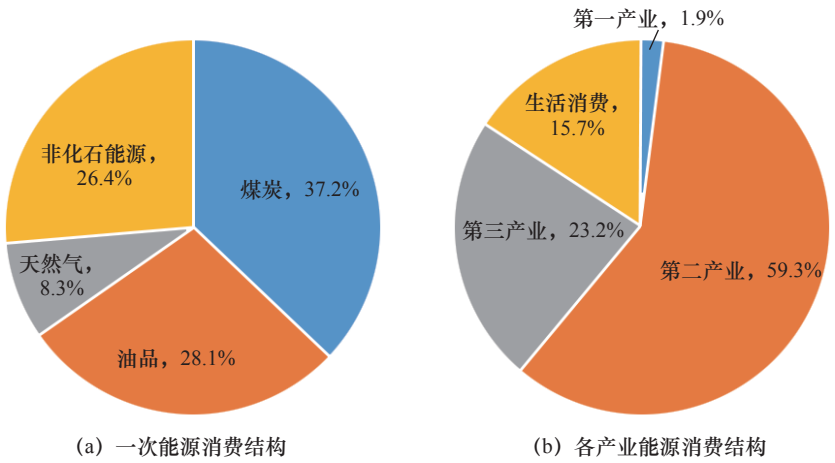


图 1　2010—2018 年珠三角地区的能源消费量 [4]



(a) 一次能源消费结构　　(b) 各产业能源消费结构

图 2　2018 年广东省能源消费结构 [4]

三角地区这一水平约是东京湾区、旧金山湾区和纽约湾区的 2~3 倍 [5]，因此，珠三角地区的能源强度仍然有巨大的提升空间。

人均耗能及人均用电量保持逐年增长。2010—2018 年，全国、广东省以及珠三角地区人均能耗均呈现出增长趋势，2018 年珠三角地区人均能耗达到 3.49 tce/ 人，相比广东省和全国水平高 18.7% 和 4.8%（见图 4）。这也体现出珠三角地区比粤东西北地区经济发达，生活水平也较为富裕。在此期间，珠三角地区总电力消费从 3.066×10^{11} kW·h 增长到 4.673×10^{11} kW·h，增长了 52.4%。人均用电量从 5459 kW·h/ 人增长至 7416 kW·h/ 人，增长了 35.8%（见图 5）。可以看出，珠三角全社会用电总量增长高于能源消费总量，电气化趋势明显，预计未来人均用电量仍将保持增长。

（三）珠三角能源供需平衡分析

图 6 为 1990—2018 年广东省能源供需变化情况。能源外调量（包括国内外省调入量和国外进口量）从 1990 年的 3.429×10^{7} tce 增加到 2018 年的 3.64×10^{8} tce，增加了近 11 倍。能源净入量（外省调入量和进口量减去调出和出口量）从 1990 年的 3.162×10^{7} tce 增加到 2018 年的 $2.654\ 4\times10^{8}$ tce，增加了 8.4 倍，平均增长率为 6.5%。在此期间，广东省净入能源占可供能源消费比重，除 1995—2005 年期间偏低以外，其他年份均与平均值（77.9%）相当，

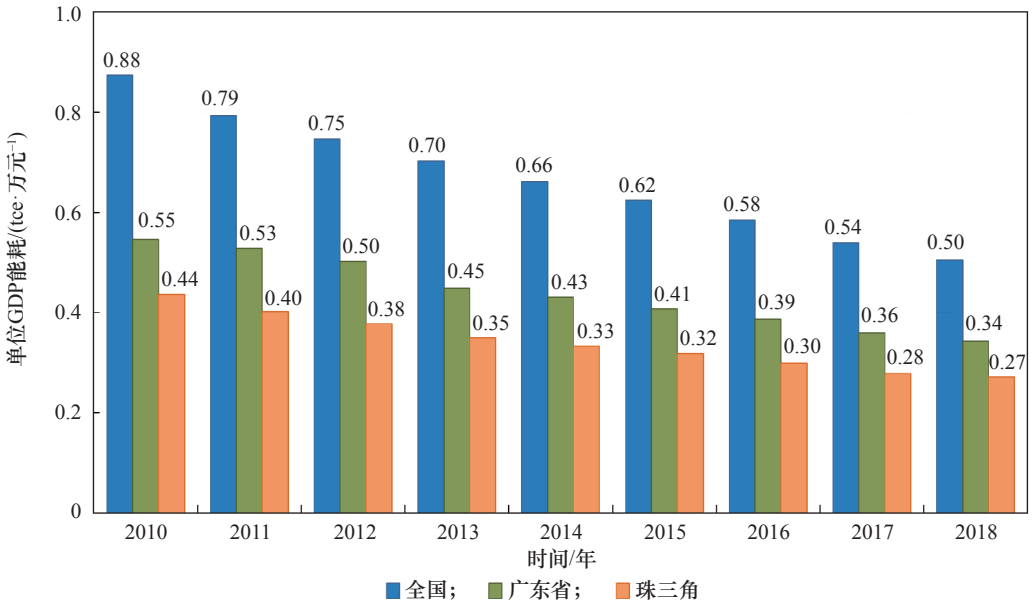


图 3　2010—2018 年单位 GDP 能耗比较 [4]

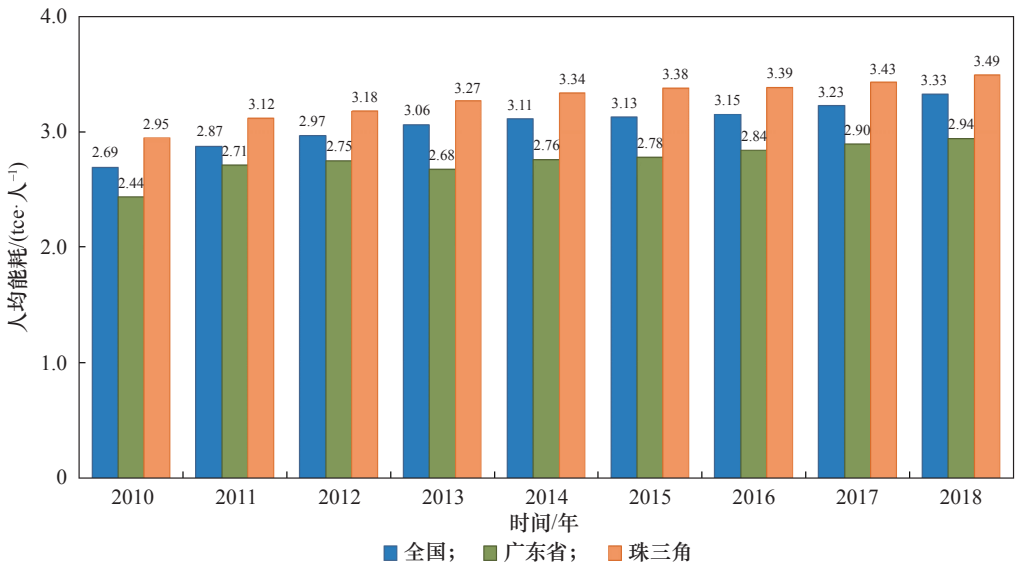


图 4　2010—2018 年人均能耗的变化 [4]

特别是到 2018 年，国外的能源进口量接近总调入量的一半。这表明广东省特别是珠三角地区能源资源的贫乏短缺与对外依赖性较强的特点，因此继续坚持能源的开放与合作是推动区域能源革命的重要任务。

三、能源革命推动珠三角开放发展所面临的挑战

能源供应安全保障能力有待提升。2018 年广东省能源自给率仅为 23.5%，其中原煤、原油、天然气对外依存度分别达到 100%、76.5%、45.4%，珠三角地区的能源对外依存度更是高于 80%。广东省全社会用电量为 $6.323\ 4\times10^{11}$ kW·h，自给率为 72.3%，而珠三角地区供电自给率不足 50%，低于广东省平均水平，严重依赖外部供电。能源对外依存度偏高，缺乏能源储备等，这将对满足珠三角新一轮经济建设与社会发展的巨大需求带来挑战。

能源供给结构仍需进一步优化。2018 年广东省天然气消费占比仅为 8.3%，省内非水可再生能源占

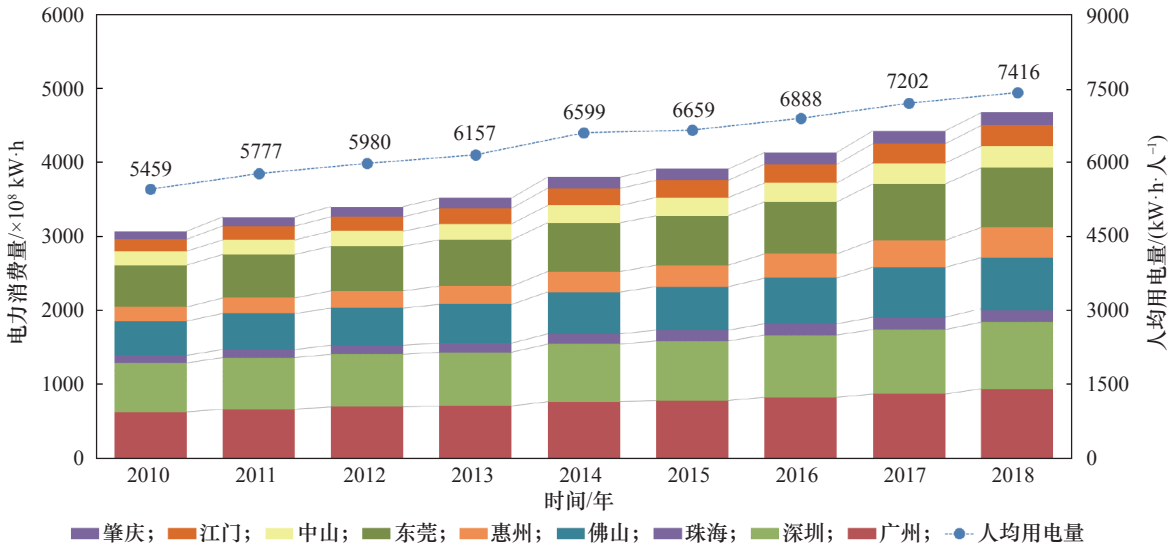


图 5　2010—2018 年珠三角各市电力消费情况 [4]

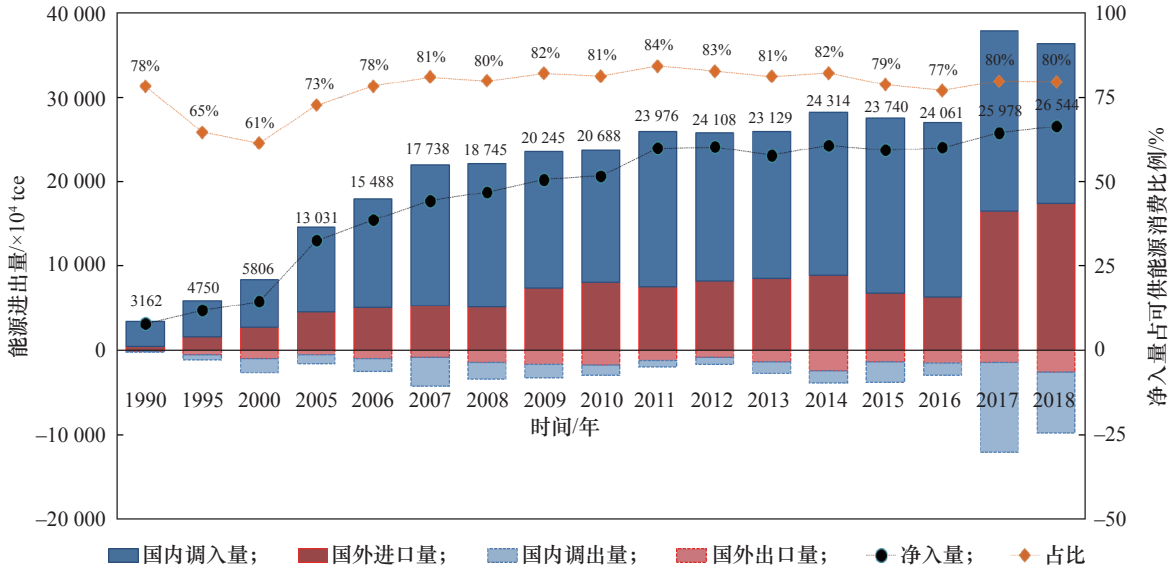


图 6　1990—2018 年广东省能源进出口量情况 [4]

比仅为 1.2%。天然气及非水可再生能源占比均远低于经济合作与发展组织（OECD）成员国及美国、日本等国家。供电结构仍以煤炭发电为主，清洁能源供电装机比例不高，尤其是光伏、风电等可再生能源装机比例还有待提高。尽管光伏、风电由于能量密度较低、发电小时数不多等问题备受诟病，但在珠三角土地集约、局部供电薄弱、配网负载过高地区开发新能源潜力较大。

能源需求增长与消费总量控制的矛盾突出。“十三五”时期广东省实施能源消费总量和强度双控政策，并将控制指标分解到地市进行考核，目前除东莞造纸厂自备电厂煤改气措施落实后可完成能源消费总量控制目标外，珠三角其他城市都存在难以完成能源消费总量控制目标的问题。由于能源消费总量指标不够用，导致限制总量指标，即限制了发展权，需要依据实际情况进行调整。

生态环境质量与国际大湾区差距明显。2018 年珠三角地区 $PM_{2.5}$ 年均浓度为 34 μg/m^3，是东京湾区、纽约湾区和旧金山湾区的 2~3 倍 [6]。尽管珠三角地区今年来能源供给结构有所优化，能源效率不断提高，清洁能源占比在持续提升，但能源消费总量的增加以及产业结构不合理等，能源利用引

起的环境污染问题仍然严重，对标国际三大湾区的环境质量差距明显。珠三角城市群碳排放又承诺要在全国及广东省率先达到峰值，可见生态环保压力之艰巨。

有效落实和推动能源体制机制改革。珠三角目前能源消费总量控制、能源双控、节能减排指标政策有待进一步完善，有必要制定科学的对标体系，在地区范围内对不同等级的城市在量化考核方面有所区分，在注重数量考核同时兼顾质量考核，推动现代能源体系建设。需要通过顶层设计，有效落实推动能源管理体制机制的进一步市场化改革。

四、珠三角开放发展对能源转型的需求

（一）解决传统能源供需平衡时期的经济新增长动力

珠三角是全国新一轮改革开放先行地，正在主动适应和积极引领经济发展新常态，加快推进能源生产和消费革命，率先在新能源技术与装备方面实现突破，进一步扩大国际能源合作，持续激发改革开放发展潜力，形成可复制、可推广的新经验和新模式，建设成为开放先行地，对全国社会经济发展起到推动作用。随着经济发展进入新常态，传统能源的供需之间能够实现平衡，未来能源转型重点在清洁的可再生能源。2017 年全球可再生能源投资总额中中国占比近三分之一。根据相关预测，到 2030 年广东省新能源产业对经济增长的贡献率可达到 10% 以上 [7]，形成新的经济增长动力。

（二）解决能源发展不平衡不协调问题

珠三角地区能源消费结构优化任务仍然艰巨，珠三角地区近中期能源结构调整的关键在于提高天然气利用比例。在天然气资源来源、输配储设施、大规模利用模式、价格机制等方面目前都存在发展障碍。珠三角地区远期能源转型的主攻方向是要全面提升新能源质量水平，可积极开发陆上风能资源和海上风能资源，大力开发太阳能和生物质能等清洁能源，促使能源消费结构逐渐合理化。另外，为确保能源消费总量增速与珠三角地区经济发展速度相协调，珠三角地区向东西两翼和山区地区的产业梯度转移，降低珠三角地区单位产值的综合能耗。通过经济和能源交流，利用珠三角地区与广东省东西翼、山区地区优势互补，缩小各区域的差距，促进粤东、粤西和山区地区经济发展，同时也提高珠三角地区能源安全保障。

（三）解决主体功能区合理规划和配置问题

珠三角地区是广东省域范围的优化开发区域，也是城市和工业发展的主要地区。而风电主要分布在沿海地区和粤北、粤西海拔较高山区，光伏发电主要分布在粤东、粤西沿海地区，是主要的能源聚集区。如何使珠三角、东翼、西翼以及山区优势互补，推进能源基础设施一体化建设，促使能源和经济双向流通是今后需要解决的课题。同时，大湾区经济融合发展和人口聚集将带来新的能源需求增量，通过探索大湾区能源互联互通蓝图，建立互利共赢的能源合作新机制。大湾区能源转型将为科技创新和新兴产业发展创造巨大的空间载体和市场，如智能制造与高端装备、零碳建筑、新能源产业等。

（四）解决资源优化配置及供给安全保障

目前我国新能源企业积极出海布局，在水电、光伏、风电、太阳能热利用等领域已与全球 80 多个国家开展了合作 [8]。珠三角地区战略指向是海上丝绸之路始发站，围绕东南亚能源产业合作，同时对内陆西南地区和华南地区发挥引领作用，需开展电力互联互通，通过技术输出参与能源基础设施建设，保障珠三角用能安全。“一带一路”沿线国家能源合作具有很强的互补性，既可解珠三角地区能源匮乏之困，又能打通部分地区制约经济发展的瓶颈。珠三角应发挥在金融、制造业、服务业等方面的优势，将这些资金技术优势转化为务实合作，促进“一带一路”国家经济全面发展。

（五）解决高耗能高污染行业向绿色转型

珠三角地区的空气质量与国际其他湾区还有一定差距，为实现建设生态优美、国际一流的发展目标，未来在经济体量巨量增长的同时，必须坚持能源绿色低碳发展，建立以新能源为主体的供能体系。加速产业结构的优化升级，更加注重在先进材料、高端装备制造、新能源等战略性新兴产业方面的投入，

带动技术改造和革新，提高能源利用效率，降低产品能耗。

五、措施及建议

（一）依托“一带一路”和粤港澳大湾区建设，打造能源储用基地

合理规划天然气接收站和储气调峰库，推动湾区内天然气主干管网多主体融合，推动天然气基础设施向第三方开放，鼓励更多企业到国际市场开拓气源，降低海外购气成本；促进能源区域合作，提高外购清洁能源占比，把粤西、粤东新建核电和海上风电、西部水电作为电力保障的重要组成部分，提高供电安全。开发沿海的清洁能源，依托“一带一路”和粤港澳大湾区建设，打造国家油气储备基地和可再生能源基地，成为国家能源安全保障体系的重要一环。

（二）对标世界一流湾区，实施能源“双控”推动经济社会高质量发展

充分认识未来一段时间内经济保持快速发展与能源需求日益增长的需求，加强研究地区经济产业发展规划与能源发展规划的协调和衔接，实施能源总量与强度“双控”，大力推进煤炭清洁高效利用或减量替代。同时，拓展清洁能源消费市场，加快建材、钢铁、造纸、化工、纺织等行业用煤的燃气替代；实施严格的节能评估审查制度，深入推进重点行业的节能降耗，推动能源产业向绿色集约化发展，能源强度与碳排放强度对标国际先进水平，推动经济高质量发展，实现建设国际一流湾区的发展目标。

（三）增强能源技术开发与科技创新，为珠三角开放发展增添清洁动能

增强能源领域基础研究水平，发展创新绿色电力技术，开发可再生能源并网及先进储能技术，海上风电场自主创新成套技术，太阳能、风能转换新材料及寿终产品再生利用技术；加快用能领域技术开发，发展工业高效节能技术、交通领域开发绿色能源技术、节能低碳建筑技术；发展智慧能源系统技术，推动互联网与分布式能源技术、储能技术深度融合，加快发展“互联网＋智慧能源”带来的新技术，实现终端绿色用能。以能源新技术与科技创新为珠三角经济新增长提供清洁新动力。

（四）聚焦能源革命对生态环境保护的主动性，深入推动生态文明建设

深入贯彻“四个革命、一个合作”的战略思想，推动珠三角地区生态文明建设进入更高质量的发展阶段。在能源消费方面需打造中高级能源消费结构，鼓励发展低消耗、低污染、低排放的环境友好型产业；在能源供给方面要鼓励清洁能源替代传统化石能源，在市场化与补贴政策方面要进一步优化新能源发展政策；在科技创新方面应支持能源与环境技术的创新、应用与推广，积极推动技术模式、产业模式和商业模式的创新；在能源管理方面需形成要素自由流动的能源市场体系，建立健全能源科学管理模式；在开放与合作方面要着眼于资源配置“全球化”趋势，构建连接与世界的能源合作网，打造国际能源合作的利益共同体。

参考文献

[1] 中共中央 国务院. 粤港澳大湾区发展规划纲要 [R]. 北京: 中共中央 国务院, 2019.
CPC Central Committee and State Council. Outline development plan for the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area [R]. Beijing: CPC Central Committee and State Council, 2019.

[2] 《粤港澳大湾区能源转型中长期情景研究》项目组. 粤港澳大湾区能源转型中长期情景研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2020.
Project Team of Medium- and Long-Term Scenario Analysis of Energy Transition in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area. Medium- and long-term scenario analysis of energy transition in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area [M]. Beijing: Science Press, 2020.

[3] 陈凯, 朱雪飞, 王美. 广东天然气发电发展研究 [J]. 广东科技, 2020, 29(1): 54–57.
Chen K, Zhu X F, Wang M. Research on development of natural gas power generation in Guangdong Province [J]. Science and Technology of Guangdong, 2020, 29(1): 54–57.

[4] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队. 广东省统计年鉴 (2011–2019) [M]. 北京:中国统计出版社, 2011–2019.
Statistics Bureau of Guangdong Province, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Guangdong. Guangdong statistical yearbook (2011–2019) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2011–2019.

[5] 郑敏嘉, 赵静波, 钟式玉, 等. 粤港澳大湾区能源体系建设的国际经验借鉴探讨 [J]. 能源与节能, 2020 (5):24–25.
Zheng M J, Zhao J B, Zhong S Y, et al. Discussion and reference on international experience of energy system construction in GBA

[J]. Energy and Energy Conservation, 2020 (5): 24–25.

[6] 黄报远, 卢显妍, 陈桐生, 等. 粤港澳大湾区协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护的对策研究 [J]. 环境与可持续发展, 2020, 45(3): 86–89.
Huang B Y, Lu X Y, Chen T S, et al. Study on the countermeasures of promoting the high-quality development of economy and high level protection of ecological environment in Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area [J]. Environment and Sustainable Development, 2020, 45(3): 86–89.

[7] 郭贤明, 钟式玉. 广东新能源产业对经济发展的作用与潜力 [J]. 电力与能源, 2015, 36(5): 653–657.
Guo X M, Zhong S Y. Effect and potential of new energy industry on economic development in Guangdong [J]. Electricity and Energy, 2015, 36(5): 653–657.

[8] 齐正平. “一带一路”能源研究报告（2017）[R/OL]. (2020-01-10)[2020-10-20]. http://www.chinapower.com.cn/xw/pyq/20200110/2596.html.
Qi Z P. China’s ‘One Belt, One Road’ energy research report (2017) [R/OL]. (2020-01-10)[2020-10-20]. http://www.chinapower.com.cn/xw/pyq/20200110/2596.html.