

日本实现“双碳”目标的实践与路径研究

——兼论对中国的启示与借鉴

张季风

【内容摘要】 本文在系统分析日本实现“双碳”目标历程与路径的基础上，提出日本经验对中国的启示与借鉴建议。20世纪70年代初期日本从治理公害入手，通过调整产业结构，着力开发新能源，推广节能技术等措施为实现碳达峰目标奠定了良好基础。20世纪90年代，日本加入《联合国气候变化框架公约》后，积极推动《京都议定书》落地生效。进入21世纪，日本遵循可持续发展理念，大力发展循环经济，构筑低碳社会，最大限度减少排放。2013年实现碳达峰后，继续采取严控措施，确保碳排放逐年稳定下降。2020年日本正式宣布在2050年实现碳中和目标，通过《2050年碳中和绿色增长战略》进一步明确了重点发展海上风电、氢能以及氨燃料等清洁能源的供给侧改革方案，积极推进碳中和目标的实现。中国应借鉴日本经验，完善“双碳”法制、优化产业结构、降低煤炭比重、提高能效、提高创新能力，着眼未来，立足现实，循序渐进，如期圆满实现“双碳”目标。

【关键词】 碳达峰 碳中和 日本路径 全球气候变化

【中图分类号】 F13/17

【文章编号】 1003-4048(2023)04-0022-33

【文献标识码】 A

【DOI】 10.16496/j.cnki.rbyj.2023.04.003

【作者简介】 张季风，中国社会科学院日本研究所研究员、博士生导师（北京 100007）

目前，走向碳中和已经成为全球的共识。截至2023年底，全球有50多个国家和地区已实现碳达峰，中国已经向国际社会承诺在2030年和2060年分别实现碳达峰和碳中和目标。实现“双碳”目标是一场广泛而深刻的变革，中国是拥有14亿多人口的最大发展中国家，面临着发展经济、改善民生、污染治理、生态保护等一系列艰巨任务。^[1]同时兼顾发展和减排的双重任务，其艰巨性可想而知。

经济增长与碳排放之间的动态相关关系，可用环境库兹涅茨曲线来解释，即二氧化碳排放量

随着GDP增长呈先增加后减少的倒U形趋势。换言之，当一个国家的发展水平较低时，碳排放较少、环境污染程度较轻，随着人均收入的增加，碳排放由低趋高，环境恶化程度随经济的增长而加剧；当经济发展到达某个临界点或称“拐点”以后，随着人均收入的进一步增加，排放又由高趋低，其环境污染的程度逐渐减缓，环境质量逐渐得到改善。基于这一假说，一国的过程将必然经历碳达峰，进而通过绿色科技不断提高与普及应用，最终迈进碳中和时代。包括英国、欧盟和日本在内的部分发达经济体的发展历程均

验证了环境库兹涅茨曲线假说。因此学习和借鉴发达国家在“双碳”目标驱动下的实践经验，对中国而言具有重大的现实意义。

我们的邻国日本在低碳发展方面相较于英国、欧盟算不上是“优等生”，但是从各国的发展历程与碳排放量走势来看，日本碳排放的绝对量一直处于较低水平，即使在20世纪80年代GDP总量接近美国约70%之际，日本的碳排放量总体依然不大。这种“异常”现象能够反映出日本在低碳发展中隐藏的实力。当前，中国是全球碳排放量最大的国家，排放量约占全球的31%，而日本的碳排放量仅占3.2%，中国GDP总量是日本的3倍，但碳排放量是其10倍。^[2]日本已于2013年实现碳达峰，目前正在为实现碳中和目标而积极努力。中日两国经济发展历程相似，经济体量巨大，人口结构也有相似之处，与其他发达国家相比，日本实现碳达峰目标的战略与实践，更值得留意和深入研究。截至目前，国内学者对有关日本碳中和方面的论著较多，^①但着眼于长时间区间的日本实现“双碳”目标的系统性研究成果并不多见，而关于日本碳达峰方面的研究成果更是凤毛麟角。中国正处于碳达峰的关键阶段，本文拟围绕日本实现“双碳”目标的实践、路径、主要经验进行系统分析，以期对中国有所启示和借鉴。

一、日本实现碳达峰的实践与历程

截至目前，日本未提出过要实现碳达峰的目标，也未曾使用过“碳达峰”这个名词，但是在经济发展实践中，其在实现节能减排、低碳社会和碳达峰目标方面做出了努力。回顾日本实现碳达峰的历程，大体可分为准备期（20世纪70年代—80年代）、启动期（20世纪90年代初—2007年）和冲刺期（2007—2013年）三个阶段。

（一）第一阶段：准备期（20世纪70年代—80年代）

1. 治理公害

日本实现碳达峰的努力是从治理公害和保护环境开始入手的。由于长年过度追求经济上的高

速增长，作为其惨重的代价，日本的环境在20世纪60年代末至70年代初遭到了严重破坏，水质污染、土壤污染和地基下沉等公害同时爆发，震惊世界的“四大公害诉讼”事件将日本的公害问题推向风口浪尖。迫于形势，政府不得不痛下决心治理公害，恢复和保护生态环境。在1970年的临时国会上一举通过包括《公害对策基本法》和《水质污染防治法》在内的14部公害与环境相关法律，次年设立环境厅，统一管理全国的公害治理和环境保护事宜。在国民、企业和政府的共同努力下，日本的公害问题于20世纪80年代初期取得有效治理，此后成为生态环境保护先进国家之一。在治理公害这一过程中，日本构建了以环境法规、环境制度和环境机构为组成要素的环境管理体系，步入了现代化环境法治阶段。^[3]公害的有效治理与生态环境的改善为碳达峰的实现扫清了障碍。

2. 调整产业结构

1973年第一次石油危机爆发后，油价上涨，企业生产成本上升，迫使日本加速产业结构调整。高速增长时期遗留下来的以重化工业为主的产业结构，是耗能和污染的源头。淘汰“双高”产业，节能减排，就是要减少对石油的依赖，从源头上解决公害和减排问题。为此，日本首先对钢铁、石化、水泥、造纸、电力、化肥等耗能产业制定了严格的节能目标，进行合理化改造。其次，工业化发展的重点从基础材料型产业向附加价值高且劳动力吸纳能力强的汽车、机械、电子加工等组装型产业转移。^[4]到20世纪90年代初期，日本产业结构不断“软化”，既减少了能耗和碳排放，又增加了附加价值，不仅实现了产业结构升级的目标，还扩大了就业机会，可谓“一石多鸟”。可以说，优化产业结构是日本为实现碳达峰迈出的最关键的一步。

3. 推广节能技术，开发新能源

在强力推进产业结构升级的同时，日本还大力开发节能技术、新能源和石油替代技术。1974年和1978年分别提出了“阳光计划”和“月光计划”。前者是新能源开发计划，后者是节能技术与

① 李东坡，周慧，霍增辉. 日本实现“碳中和”目标的战略选择与政策启示. 经济学家 [J], 2022(05):117-128; 刘军红，汤祺. 日本碳中和战略及其前景. 现代国际关系 [J], 2022(04):18-25+60-61.

提高能效的研究计划。1989年，日本政府又提出“环境保护技术开发计划”，并于1993年将上述三个计划合并成为规模庞大的“新阳光计划”。企业响应政府号召，积极开发如太阳能发电、风力发电、潮汐发电、节能汽车等新能源与新能源产品，一方面提高了产品质量，一方面也提高了企业的国际竞争能力。20世纪70年代以来，新能源的开发与节能技术的推广和创新能力的提高，为日本实现碳达峰打下了坚实的基础。

(二) 第二阶段：推进期（20世纪90年代初—2007年）

1. 推动《京都议定书》落地生效

1993年，日本加入联合国气候变化框架公约，将应对气候变化纳入政府的议事日程，日本为实现“双碳”目标的系统性工程正式启动。90年代中后期，日本更加积极参与应对气候变化的国际合作，推动《京都议定书》的谈判与生效。1997年12月在京都举办的《联合国气候变化框架公约》第三次缔约方会议上，《京都议定书》正式签署。2005年2月，《京都议定书》正式生效，这是人类历史上首次以法规的形式限制温室气体排放。作为《京都议定书》的发起者与倡导者，日本赢得了国际社会的瞩目与赞誉，“环境大国”的国际形象得以确立。同时，日本也加强了国内应对气候变化的组织建设和法治建设。1997年12月，日本政府设立了全球气候变暖对策推进本部，1998年10月制定《全球气候变暖对策推进法》，1999年4月颁布实施《全球气候变暖对策基本方针》，自此日本应对全球气候变暖问题的对策框架基本形成。

2. 循环经济社会与可持续发展

随着日本社会环保意识的提高，对环境问题的认识由单纯防治污染转为环境的可持续发展。2000年日本颁布《循环型社会形成推进基本法》，2003年又制定了《循环经济社会基本计划》。所谓循环经济，从其本质来讲是一种生态经济，是一种强调经济发展与生态环境良性互动、协调运行的新经济模式，其核心内涵是减量化（Reduce）、再使用（Reuse）、再生循环（Recycled），即所谓的“3R”原则。发展循环经济、构建循环型社会，就是要摒弃“大量生产、大量消费、大量废弃”

的传统发展方式，开辟一种新的发展方式，控制对天然资源的消费，减少环境负荷、减少排放，实现可持续发展。这一转型意味着日本社会的生产方式、生活方式和价值理念等的全方位变革。循环经济的核心是开展以低能耗、低污染、低排放为标志的绿色革命，实现社会经济的可持续发展，^[5]也是日本实现碳达峰和碳中和必不可少的重要环节。

(三) 第三阶段：冲刺期（2007—2013年）

1. 推进低碳社会的形成

《京都议定书》生效后，日本的减排效果并不尽如人意，不仅未完成议定书确定的减排指标，反而出现了排放不断增加的局面。日本承诺在1990年的基础上减排6%，但2007年的碳排放量反而比1990年增加了11.2%（见表1）。这一背景下，日本政府又推出了构建“低碳社会”的战略构想。

表1 1990—2013年日本国内二氧化碳排放量变化

年份	二氧化碳排放量（百万吨）	比前期	比1990年
1990	1164		
1995	1244	0.97%	106.87%
2000	1269	1.85%	109.02%
2005	1294	0.62%	111.17%
2006	1271	-1.78%	109.19%
2007	1306	2.75%	112.20%
2008	1235	-5.44%	106.10%
2009	1166	-5.59%	100.17%
2010	1217	4.37%	104.55%
2011	1267	4.11%	108.85%
2012	1308	3.24%	112.37%
2013	1318	0.76%	113.23%

资料来源：環境庁. 2020年度（令和2年度）の温室効果ガス排出量（速報値）について [EB/OL]. (2021-12-10)[2023-10-23]. <https://www.env.go.jp/content/900518252.pdf>

2008年日本经济产业省公布《清凉地球——能源创新技术计划》，同年6月，福田康夫首相提出“福田蓝图”，明确了2050年日本温室气体排

放量减少 60%—80% 的减排目标及具体减排措施,表明了日本引领世界低碳革命的决心和信心。同年 7 月,日本内阁会议通过了“实现低碳社会行动计划”,实现低碳社会正式成为国家战略。2009 年日本国会通过《推进低碳社会建设基本法案》,并提出如下具体制度与措施:其一,实行碳排放权交易制度;其二,实行“领跑者”(Top Runner)制度;其三,推行节能标识制度和环保积分制度;其四,推广“碳足迹”(Carbon foot print)制度。2009 年,时任首相鸠山由纪夫力排众议,在产业界强烈反对的压力下向国际社会承诺日本到 2020 年比 1990 年削减 25% 的中期减排目标。

正当日本大力推进循环经济和低碳经济之际,2011 年发生的“3.11”东日本大地震引发核电站泄露事故,导致日本关闭绝大多数核电机组,转而大量使用煤炭、石油和天然气等化石燃料生产电力,使日本“减排”压力增大。如表 1 所示,2009 年日本的碳排放量已降低至 11.66 亿吨,比 2005 年减少了 9.9%,但 2011 年以后不降反升,直至 2013 年才实现碳达峰(碳排放量为 13.18 亿吨)。地震之后,在化石燃料使用有所增加的情况下,碳排放并未出现大幅度反弹,这得益于日本循环经济和低碳经济战略的推行。

2. 新设环境税与“固定价格收购可再生能源的制度”

2012 年 3 月,日本决定新设环境税,从同年 10 月 1 日起开征,环境税源主要用于节能环保产品补助、可再生能源普及等,日本低碳经济进一步迈进。为了促进太阳能、风能等新能源的发展,又于同年 7 月开始实施“固定价格收购可再生能源的制度”(简称 FIT 制度),其核心内容是:电力公司有义务对经国家认证的家庭、民间的太阳能发电站、风力发电站、生物质能发电站或中小型水力发电站等生产的可再生能源电力以政府规定的固定价格购买,以法律形式确保和推动可再生能源的发展。^[6]环境税和 FIT 制度的实施,确保了碳达峰后的排放不再反弹,也为实现碳中和奠定了基础。

二、日本实现碳中和目标的战略与举措

(一)日本碳中和目标设定的理论探索

1. 碳中和目标的提出

日本实现碳达峰的目标后,依然继续发展循环经济、低碳经济以及绿色经济路线,碳排放量一直保持下降趋势,在 2013 年至 2020 年期间排放量从 13.18 亿吨下降至 11.49 亿吨,每年平均减少约 0.32 亿吨,8 年间累计下降 12.8%。受新冠疫情影响,经济减速,碳排放量的下降速度明显加快,2020 年同比下降 5.1%。基于良好的发展势头,菅义伟首相于 2020 年 10 月宣布日本将在 2050 年实现碳中和的目标和决心。2021 年 4 月,日本政府确定了具体目标:2030 年总碳排放量比 2018 年减少 46%—50%,届时碳排放量将从 11.46 亿吨下降至 6.19 亿吨,到 2050 年要使碳排放总量降低至能够完全被吸收的水平,最终实现碳中和目标。同年 5 月,日本国会正式通过修订后的《全球变暖对策推进法》(2022 年 4 月施行),以立法的形式确定到 2050 年实现碳中和的目标,也是日本首次将减排目标写进法律,为实现碳中和目标奠定了法律基础。

2023 年 2 月 10 日,日本内阁会议通过《实现绿色转型(GX, Green Transformation)的基本方针——展望今后 10 年的路线图》,^①描绘了 2030 年温室气体减排目标和 2050 年碳中和目标的实现路径。该基本计划勾勒出日本通过绿色转型实现应对气候变化并兼顾经济发展等相关目标与路径。

2. 实现碳中和的模型结构

实现碳中和是一个系统工程,涉及的因素十分广泛,但是对于日本而言,进一步推动低碳发展进程的核心在于继续降低煤炭、石油在各个生产过程(特别是电力生产部门)应用的绝对量,同时提高其能源转换的环保效率。日本国立环境研究所通过最终能源消费与供给两个不同维度的模型对各部门的碳排放量降至碳中和水平进行了理论探析。^[7]

在能源需求模型中,需求侧是人们在维持经

^① 経済産業省.GX 実現に向けた基本方針—今後 10 年を見据えたロードマップ [EB/OL].(2023-02)[2023-08-23].https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002_1.pdf.

济活动过程中基于产业、民生以及运输对能源的供热消耗。使用模型（AIM/Enduse），^①其逻辑是在连续时间内成本最小化的条件下确定能源设备的选择，以满足外生的服务量。同时，按照部门能源类型预测该地区到某个时间的技术积累以及能源消耗（该模型涵盖整个温室气体）。通过能源设备的选择决定对电力与热能的具体需求量，进而计算出能源的消费量与二氧化碳的排放量（参见图1）。

在电源供给中，海上风能、太阳能、陆地风能、液化天然气（LNG）等能源在发电设备驱动下产生的电力数量决定了电力总供给量。通过利用电力供应模型，确保每个地区（10大供电地区）每小时有相同电量的条件下使用区域间的灵活性和存储等手段，同时考虑到发电设备的成本、存储成本、加强互联线路的成本以及可再生能源的输出削减量（分离）的变化预测出发电所需的能源消费量。

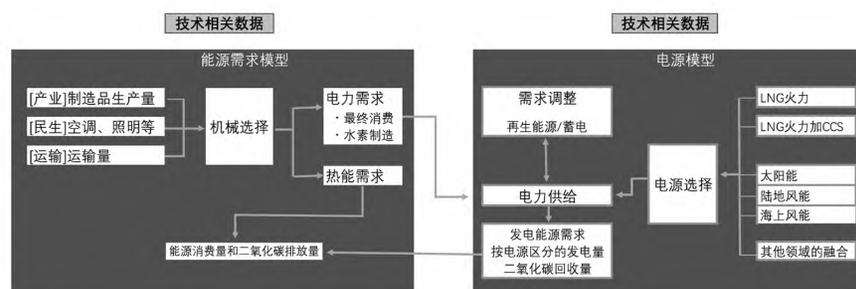


图1 能源需求模型与电源需求模型

资料来源：日本国立环境研究所 AIM 资料。

在理论模型中，能源需求模型揭示了决定能源需求规模的路径。相对之下，电源模型则揭示了电力供给的构成要素。两个模型恰好显示了实现碳中和的均衡目标过程中能源供需两侧的关系以及碳排放的情况。

3. 现状分析与碳中和模型验算结果

据日本国立环境研究所公布的统计资料显示，从过去30年的发展情况来看，如图2所示，能源、制造业及建筑业、运输与其他四大碳排放部门呈现出不同的变化趋势。首先，运输业和其他部门（业务、家庭、农林渔业）均在20世纪

90年代后呈现先增加后下降的趋势，截至2019年，运输业碳排放占比为19%，其他部门碳排放占比为13.4%，两个部门的碳排放比重较1990年的碳排放水平稍有下降。其次，1990年碳排放占比接近总排放量三成的制造业及建筑业部门的碳排放量呈现稳步下降趋势，从1990年的32.4%下降至2019年的24.8%，下降了约8个百分点，是日本碳减排最成功的部门。最后，能源产业的碳排放占比从1990年的34.2%增加至2019年的42.8%，不降反升，成为减排路上最大的难点。

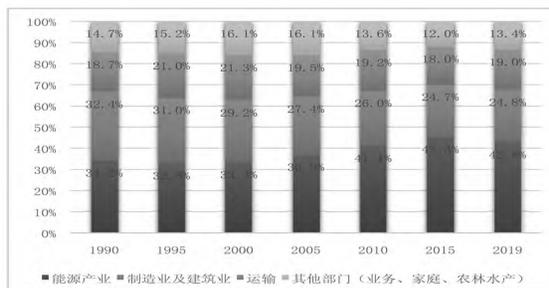


图2 日本需求侧主要部门的排放

资料来源：根据日本国立环境研究所「日本国温室効果ガスインベントリ報告書（NIR）時系列データ」制作。

^① 亚太综合评估模型（AIM）是由日本国立环境研究所、京都大学、瑞穗 R&T 共同开发，并在亚太地区其他研究机构的帮助下不断得以完善的大型模拟演算模型。AIM 被用来研究旨在减少温室气体排放和避免气候变化影响的政策。

日本一次能源供给结构中,石油仍在第一位,约占38%,但是在二次能源的电力结构中,由于受福岛核电站事故的影响,核电站大量关闭,核电仅占2.5%,化石燃料的火力发电占到76.3%。其中,石油占6.3%,煤炭占31.0%,液化天然气占39.0%。可见,未来日本要实现碳中和,关键在于降低石油和煤炭的比重,并用可再生能源替代。

通过以上分析可知,日本实现碳中和目标在需求侧的难点在于减少能源部门的排放,供给侧的难点在于降低石油和煤炭在电力结构中的比重。在做好供需两方面具体对策的条件下,使用碳中和模型对日本实现碳中和目标的测算结果如下:

需求方面:①2050年家庭部门的能源消耗比2018年低53%。由于推动空调和热水供应的电气化,电力的份额将从2018年的51%大幅增加到2050年的74%。供暖、热水和照明的能源消耗将大幅减少。②2050年商业部门的能源消耗比2018年减少51%。由于促进空调和热水供应的电气化,电力的份额将从2018年的54%大幅增加到2050年的93%。采暖和制冷、热水供应和照明的能源消耗将大幅减少。③2050年交通部门的能源消耗比2018年减少74%—79%。由于电动和燃料电池汽车的大幅扩张,电力和氢气的份额将从2018年的2%大幅增加到2050年的62%—63%。④2050年工业部门的能源消耗比2018年降低22%—33%。电力用量的份额将从2018年的20%大幅增加到2050年的34%。基于以上四个部门的结果,2050年的最终能源消耗将比2018年降低42%—49%。电力用量将由2018年的26%大幅增加至2050年的49%—51%。

供给方面:模型的预测显示,从2030年起,日本电力需求将大幅增加,与2018年相比,2050年将增加30%—46%。最终消费部门(家庭+商业+工业+运输)的需求将保持平稳或下降趋势,但对新燃料生产(主要用于电解制氢)的需求将急剧增加。到2050年,非碳化来源的发电量份额将达到100%,而2018年为25%;可再生能源发电量占发电量的比例将从2018年的17%上升到2050年的73%—76%。其中太阳能和风能在发电量中的占比较大,2050年太阳能发电量预计为

4030亿—4050亿千瓦时,陆上风力发电量预计为1330亿—2260亿千瓦时,海上风力发电量预计为2050亿—2760亿千瓦时。

(二)日本为实现碳中和所采取的措施

1.需求侧的对策措施

(1)“地域循环共生圈”与“脱碳化先行区”

2018年日本出台的《第五次基本环境计划》按照联合国可持续发展目标(SDG)和《巴黎协定》基本要求,提出了“地域循环共生圈”概念,其宗旨是以环境、经济和社会效益的综合提升为目标,有效整合地域资源,促进生态与经济良性循环发展。^[8]“地域循环共生圈”鼓励各地加强政府、企业、学界和民间团体之间的协作,提倡资源的循环利用,减少废弃物的最终处置量,推动循环产业发展,从节能低碳、资源循环和生物多样性保护等多角度挖掘地域资源潜力,对其进行优化整合,强化协同效应。

在“2050年碳中和”的目标确定以后,2021年日本政府又出台“脱碳化先行区”战略,并于同年6月和10月先后制定了“地区脱碳化路线图”和《全球变暖行动计划》,在“脱碳化先行区”进行试点,具体要求如下:

在2050年实现消费部门(家庭、企业及其他部门)电力消费的碳排放量几乎为零,同时减少其他温室气体排放。先行区可根据当地的地理特征、气候等特点以及发电设备的数量与规模自主进行“由点到面”的减排安排。依据地区特点,先行区根据当地可再生能源的潜力,最大限度地安装可再生能源设备,与脱碳化计划相结合解决当地各种民生问题。在2030年前,减少本地地区和民生领域的碳排放和其他温室气体排放,最终达到电力部门和商业及其他部门的电力消费排放几乎为零的目标。^[9]分阶段目标是在2025财政年度之前,根据区域特点在先行区内为实现去碳化铺平道路,并在2030财年把先行区的先进经验向全国推广。

(2)“零碳行动30”倡议

日本居民消费占GDP总量的60%,若从社会总消费的角度看,家庭部门的居住、饮食、交通移动、消费品购买与享受服务等合计在内的碳排放不可小觑,改变国民生活方式对实现碳中和的

重要性不言而喻。为此,2021年9月,日本政府制定了“零碳行动30”倡议,倡导国民向脱碳化生活方式转变。^[10]“零碳行动30”倡议分为八个部分,共30条,涵盖了国民衣食住行各个方面:号召国民日常出行尽量利用地铁、巴士等公共交通或者新能源车;在饮食上不铺张浪费,注重食物的保存;在穿着上尽量选择能够长期使用的衣物,避免频繁更换,尽可能选择可回收的衣物;积极使用节能家电,推广太阳能在住宅、浴室的应用等。倡议的相关规定的内容具体且可操作性强,据统计,目前已约有1392万人愿意响应“零碳行动30”倡议,参与活动。^[11]

2. 供给侧的对策措施

在供给方面,如何降低一次能源中石油的比重和改变当前发电部门过度依赖煤炭的困境,提高可再生能源的比重,是日本实现碳中和目标的关键问题。对此,日本政府在2020年12月出台的《2050年碳中和绿色增长战略》(以下简称《绿色增长战略》,2022年6月修订)确定了要在14个重点领域推进减排,强调要重点在供给侧发展海上风电、氢能源和氨燃料,到2050年日本发电量的50%—60%将来自可再生能源。

(1) 积极发展海上风电

海上风能发电被定位为日本清洁能源发电的主要增长目标。日本作为岛国,海上风能资源得天独厚,同时依托较强的海上风电相关零部件制造能力,在海上风能的知识产权竞争力排名中位居全球第二位,^[12]优势明显。日本计划大幅增加海上风能发电建设的投资,构建韧性国内供应链,扩大生产规模,到2030年形成1000万千瓦规模的项目,到2040年形成3000万至4500万千瓦规模的项目(包括浮动项目)。同时还计划向海外市场扩张,进一步降低生产成本,最终实现具有强大国际竞争力的可持续发展良性循环。此外,日本政府还将致力于发展下一代技术和国际合作,创造具有国际竞争力的下一代风电产业,各级政府要从初始阶段开始参与,通过启动示范项目等加以推进和促进。同时,日本计划建立一个中央系统,以便更快速更有效地调查风况,及时保障电网等信息。

日本政府还将系统地促进如电网、港口等基

础设施建设,拥有一个将海上风电从产区输送到大型需求地区的输电网络至关重要。为此,日本政府在2021年3月成立“长距离海底直流输电系统研究小组”,编制具体计划,进行海上风能发电相关技术的开发,以便在全国范围内部署推广。另外,还将加大力度提升输电系统以及电网智能化水平,既要保证更多的海上风电接入电网,又要保证电网的安全。

(2) 推行氢能源发展战略

日本对于氢能的重视由来已久,于20世纪90年代起步研发,目前在制氢以及推广氢能源应用等方面居世界领先水平。2018年,在神户的港口岛建成了世界第一个使用氢气作为能源向城市街区供电、供热的示范项目,推动了氢气发电的商业化。同年10月,日本政府出台了发展氢能源的国家战略,明确了氢气作为一种“无碳”新能源的地位,将其与其他可再生能源并列,整合纳入创新技术发展以及各类基础设施建设的政策之中。

在《绿色增长战略》中,日本政府进一步明确了氢能的定位,除了应用以外,对氢能的运输和制取也做了更详细的规定。

在应用方面,日本长期以来把氢能源局限在汽车领域和制造业,未来使用范围将进一步扩大到船舶等其他运输部门以及炼铁等重工业产业领域。在运输方面,日本已对多种海上氢气运输技术和基建项目进行了支持,并建造了世界第一艘液氢运输船。日本希望通过完善港口基建和国际合作来打造标准化、商用化的氢气运输产业。在制氢方面,日本拥有诸多氢能相关知识产权,日本企业在世界最大级别的水电解装置建设和要素技术方面具有优势,包括在开发控制氢气涡轮机燃烧的技术方面处于领先地位。^[13]凭借这些优势,下一步就是解决降低氢能生产成本的问题。目前,日本的氢能源成本是每Nm³(气体体积单位)100日元,通过增加供给量,有望将其成本压低至30日元/Nm³(合人民币17元/kg);到2050年,实现氢气发电成本目标是低于天然气火电成本(<20日元/Nm³,合人民币11.5元/kg)。降低氢气成本的具体思路有如下三点:

其一使用廉价的原材料生产氢气。日本正在积极着手建立使用澳大利亚廉价“褐煤”与文

莱的廉价天然气生产氢气的供应链，并将进行示范和技术开发。^[14] 其二是建立一个能够大规模生产和运输氢气的供应链。其三是进一步挖掘潜力，在燃料电池汽车（FCV）、发电和工业应用中大量使用氢气，通过增大需求、扩大产量来降低单位生产成本。

（3）积极扩大氨燃料应用比例

氨燃料价格低廉且不产生二氧化碳，在脱碳化过程中占有重要地位。日本具备先进的氨燃料开发与应用技术，氨燃料的知识产权竞争力仅落后于美国和中国。^[15] 《绿色增长战略》提出要进一步完善氨燃料供应环境，优化氨燃料的供给链和安全配套，通过多管齐下的方式推广氨燃料的普及以助力实现碳中和目标。日本政府会与日本国际协力银行、日本贸易保险以及日本石油天然气和金属矿物资源机构（JOGMEC）等加强对低成本氨燃料供应的财政支持。在完善氨燃料供需环境方面则通过研究机构与私营企业联合投资的方式带动风险资金投入和实际技术的支持。在优化供应安全方面，将致力于构建生产国（北美、澳大利亚和中东地区）与消费国（包括日本在内的亚洲）之间的有机联系，建立一个日本可以控制的采购供应链。在多元绿色金融配套方案的支持下，各行业对引入氨燃料的使用有望进一步加快。

当前，日本已经完成在煤炭中掺入 20% 氨燃料发电的技术开发，计划在 2021—2023 年开展实机试验，2020 年代后半期进入实用化阶段。^[16] 通过以上措施扩大氨供应的规模，有望将氨的价格从每 Nm³（热值的氢气当量）20 日元降低至每 Nm³（热值的氢气当量）10 日元的低位供应氨。在这样的情形下，预计 2030 年日本国内氨的需求将达到每年 300 万吨（约 50 万吨氢当量），2050 年将达到每年 3000 万吨（约 500 万吨氢当量）。

为充分发挥和利用氢、氨能源的价值，2023 年 2 月通过的“GX 基本方针”提出推进战略性制度建设和基础设施建设的方针。首先，在日本国内外建立大规模且稳定的氢、氨能源供应链。在完善制度的同时，促进需求扩大和产业集聚，瞄准化石燃料的混合燃烧及专烧技术的开发，扩大汽车产业的商业应用导入，加快推进措施实施。

其次，基于能源安全保障，为建立氢气和氨气的国内生产和供应体系提供支持，以尽早实现在日本国内大规模生产和供应绿色氢气，同时强化与氢气资源国的关系，以期获得上游权益。最后，计划在 2025 年大阪·关西世博会上进行氢气、氨气在社会应用方面的实证，借鉴各国案例，以确保安全为前提，推进能源的国际标准化和包括促进管制合理化、正当化的氢气安全战略的制定。^[17]

综上所述，日本在实现碳达峰目标后，正在为实现碳中和目标而努力。笔者认为后疫情时代，随着经济的短暂复苏，碳排放量可能也会有所增加，但低碳社会、绿色发展的方向不会轻易逆转，重回高碳排放模式的可能性极小。以供需、全方位的措施为依据，结合模型演算结果，可初步判断：除不可抗力因素外，日本能够在 2050 年如期实现碳中和目标。

三、日本实现“双碳”目标的路径与启示

（一）路径分析

综合以上分析，可对日本实现“双碳”目标的路径作如下归纳：

日本首先从治理公害入手，为进入碳达峰启动期扫清障碍，然后对高能耗、高污染、高排放产业结构进行调整，产业结构不断软化、高附加价值化，从源头解决高排放问题，为实现碳达峰目标迈出了最关键的一步；积极开发新能源和推广节能技术，为碳达峰和碳中和目标的实现打下良好基础；通过积极参与应对气候变动的国际合作、推动《京都议定书》的落地生效，打造了日本“环境大国”形象；通过构筑循环经济社会和低碳社会战略的实施，在 2013 年实现了碳达峰目标。

实现碳达峰后，日本不失时机地顺应世界潮流提出碳中和目标，制定《绿色增长战略》，从能源需求和供给两个方面同时发力，相继出台“地域循环共生圈”“脱碳化先行区”“零碳行动 30”“GX 基本方针”等具体措施、方针，并结合国情确立重点发展海上风能发电、氢能源和氨燃料的战略，扎实地向碳中和目标迈进。截至目前，日本政府在实现“双碳”的过程中，不断进行制度创新，先后实施了公害治理政策、可持续发展政策、环境政策、循环经济政策、低碳经济政策

和绿色经济政策，上述六大政策特别是后五项政策在时间上有所重叠，但在不同时期又有所侧重，

多种政策的有机配合与无缝衔接构成了日本实现“双碳”目标的主要政策路径。

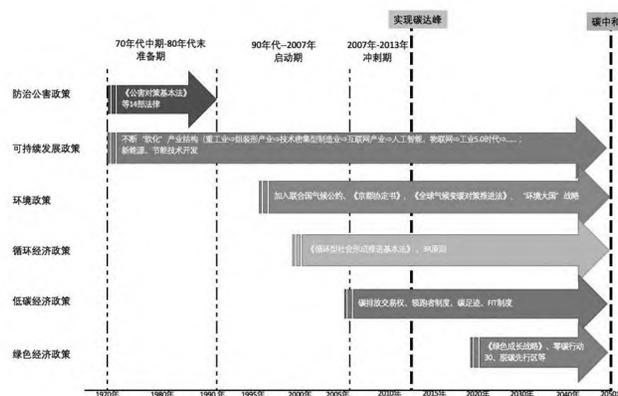


图3 日本实现双碳目标的路径

资料来源：作者制作。

（二）启示与借鉴

半个世纪以来，日本在实现“双碳”目标的实践中积累了丰富的经验。下面就“双碳”法治建设、优化产业结构、调整能源结构、提高能效、科技创新等问题加以简单阐述。

1. 政府主导、法律当先

日本是市场国家中较为偏重中央集权的国家，政府通过制定法律、政策、规划、税收制度以及各种补贴等手段引导企业节能减排，在推进“双碳”目标中发挥了重要的作用。日本尤其注重“双碳”相关的法治建设，从20世纪70年代以来，先后制定了以《节能法》（1979年）、《环境基本法》（1993年）、《新能源法》（1997年）、《循环型社会形成推进基本法》（2000年）和《推进低碳社会建设基本法案》（2009年）为主体的数十部相关法律法规，特别是2021年通过的《全球变暖对策推进法》更是关于碳中和的专项法。法治当先、规划先行是日本的重要经验，值得借鉴。中国各级政府也十分重视顶层设计，例如，2021年10月底，出台了《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030年前碳达峰行动方案》两个重要文件，构建了“组织领导、统筹协调、地方责任、监督考核”的组织框架。但是，在立法方面相对滞后，目前尚未有国家层面的“双碳”立法。^[18]现有的《中华人民共和国大气污染防治法》《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国可再生

能源法》等虽涉及双碳内容，但较为分散。实现“双碳”目标，法治是重要保障，应尽快构建国家层面的相关法规体系，在落实上下功夫。

2. 优化产业结构

中国实现“双碳”目标的一个重要难题是产业结构偏重。化工、金属、有色、冶金、钢铁等五大高耗能产业，排放了80%以上的二氧化碳，今后应重点关注高耗能产业的碳排放，优化产业结构。半个世纪之前日本的产业结构与当今中国的状况十分类似，彼时的日本利用政策引导产业和企业，淘汰“双高”产业，成功地实现了产业结构分阶段优化升级，加速社会向低碳转型，从源头解决了减排难题，从而保证了碳达峰目标的实现，也为实现碳中和目标奠定了基础。

3. 调整能源结构

中国实现“双碳”目标的另一个难题是能源结构偏煤。近十年来，煤炭比重下降幅度较大，从2011年的70.2%降至2020年的56.8%，十年间下降了10.4%，但偏煤结构并未发生根本性改变。日本的能源结构则是偏油，1973年的石油占比曾高达77%。第一次石油危机爆发，日本出台“替代石油战略”以减少对石油的依赖，经过30多年的发展，2010年的石油占比降至44%，2020年降至38.1%（其他能源的占比为：煤炭26.9%，天然气22.1%，核电2.2%，水力4.0%，可再生能源6.6%）。^[19]日本经过近半个世纪的调整，依赖石油的局面依然没有发生根本性转变，特别是可再生

能源的比重远低于欧盟。从日本的经验来看，能源结构调整绝不是短期内能完成的。中国还是发展中国家，工业化和城镇化尚未完成，能源消费还将刚性增长。^[20]因此，我们要立足现实，不可急于求成，把握好降碳的节奏和力度，实事求是、持续发力，循序渐进地做好降煤工作。

4. 提高能源利用效率

能效水平较低也是中国实现“双碳”目标过程中必须解决的难题。以2018年为例，如果将日本单位产值能源消耗量作为1，美国则为1.8，英国为0.9，法国为1.2，德国为1.1，中国为4.8。^[21]日本的能源利用效率是中国的近5倍，差距仍然较大。日本能源效率的提高主要是通过推广节能技术和技术创新两种途径实现的。在20世纪70年代经历了两次石油危机后，日本通过立法大力实施各种鼓励和促进研发节能技术的政策。1979年首部《节能法》颁布实施，1998年修改后的《节能法》规定企业必须以每年1%的速度降低单位产出的能耗，规定政府部门以及各行各业的行为必须符合节能标准。值得一提的是，政府主导的“月光计划”和“新阳光计划”对全国节能技术开发和能效提高产生了极大的导向和推动作用。进入21世纪后，在推动循环经济和低碳经济的过程中，节能技术更是得到飞速发展和普遍应用，国民的节能意识不断增强，能源使用效率进一步提高。从日本的经验来看，要做提高能效的工作，节能可能是最大的潜力所在。利用节能低碳技术改造提升传统产业，强化节能技术、产品装备的推广应用，推动节能产业发展壮大，是削减碳排放的最佳选择。

5. 提高创新能力

实现“双碳”目标的根本动力在于技术进步，日本就是通过从新能源开发、新能源产品研制、节能技术到固碳技术、减排技术开发等不间断的科技创新，从而实现了碳达峰的目标。在实现碳中和的实践中，日本很大程度上考虑了本国当前的技术路径，例如《绿色增长战略》中的14个领域中，在能源领域加大氢能源的投入，在汽车和蓄电池行业加大对氢燃料电池和固态电池的投入等。日本此举不仅可以进一步实现碳中和，还可以扩大日本在相关科技领域的领先优势。中国的

碳中和目标实现期虽然在2060年，但仍需借鉴日本的碳中和规划，提早加大对碳中和技术的投入，要狠抓绿色低碳技术攻关，加快先进适用技术研发和应用推广，越早实现在节能减排和碳循环利用等领域的技术突破和商用化，就越容易冲抵国内节能减排对经济的负面影响。伴随全球碳减排、碳中和趋势带来的新增市场空间，中国可尽早实现新一轮的产业迭代。

四、结语

实现“双碳”目标是事关中华民族永续发展和构建人类命运共同体的一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，将深刻推动中国经济发展和社会进步。“双碳”目标实质是低碳转型，回首半个世纪以来日本实现“双碳”目标的实践和路径，不难发现，走的正是这条路。

目前，中国与日本所处的经济发展阶段并不相同，日本早已进入后工业化时期，加之自身存在的深度老龄化、政府债务负担等难以解决的结构性问题，再次出现高速增长的可能性不大，碳排放量不会增大，客观上有利于实现碳中和目标；中国仍是发展中国家，仍需要发展，能源的刚性需求依然较大，实现“双碳”目标的难度要大于日本。然而，若进行错时比较，中日之间在实现“双碳”目标方面存在诸多相似之处。例如，日本从1973年至2013年用40年时间实现了碳达峰，这一时期日本经济恰巧是从高速增长转为中低速增长的转型期，而中国实现“双碳”目标的准备期若从2012年算起，到2030年实现碳达峰大体需要18年。时间上虽然短于日本，但这一时期也正是中国经济从高速增长转为中高速增长换挡期。中国正在努力实现碳达峰目标，时间紧、任务重，内外压力大，目前面临的主要挑战是产业结构偏重、能源结构偏煤、能源利用效率低、技术创新能力需要提升、市场机制不完善等问题。

碳中和方面，日本宣布要在2050年实现碳中和目标，从2013年算起需要37年，而中国从碳达峰目标年的2030年到2060年实现碳中和需要30年，所需时间短于日本。在实现碳中和目标的时段内，中日之间的相似点更多，其中最突出的是“少子老龄化”的人口结构趋同。目前日本的

(65岁以上人口占比)老龄化率为29.4%，而中国为14.2%，^[22]到2030年将达到16.9%，总数超过2.46亿人，^[23]中日两国都要应对人口老龄化带来的一系列经济社会问题。中日两国在保护生态、绿色低碳发展、推动经济社会发展全面绿色转型方面，具体到大力发展海上风电、氢能源、氨燃料等可再生能源等，均趋于同步推进局面，不同的是日本在上述技术开发与应用方面已在全球处于领先地位，其经验值得学习和借鉴。另外，中日两国在“双碳”的同步发展，也为两国技术交流与合作开辟了更广阔的空间。中日在“双碳”领域存在共同利益，受政治因素干扰相对较少，在这一领域加强合作可能成为打破中日关系僵局的突破口。全球最大的发展中国家也是碳排放量最大的国家中国与“双碳”经验丰富、技术领先的日本之间的合作，无疑具有世界性意义。

参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 中国应对气候变化的政策与行动 [EB/OL].(2021-10)[2023-11-20].https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/27/content_5646697.htm.
- [2] BP.bp 世界能源统计年鉴 2021[EB/OL].(2021-07)[2023-11-12].https://www.bp.com.cn/content/dam/bp/country-sites/zh_cn/china/home/reports/statistical-review-of-world-energy/2021/BP_Stats_2021.pdf.
- [3] 程娜. 发展绿色经济背景下的中日能源与环境合作 [J]. 求是学刊, 2017,44(01):68-76.
- [4] 张季风. 日本经济结构转型: 经验、教训与启示 [M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2016:40-41.
- [5] 陈志恒. 日本构建低碳社会行动及其主要进展 [J]. 现代日本经济, 2009(06):1-5.
- [6] 张季风. 日本能源文献: 战略、规划、法律 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2014:298.
- [7] 国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム. 2050 年脱炭素社会実現に向けたシナリオに関する一分析 [EB/OL].(2021-06-30)[2023-10-23].https://www-iam.nies.go.jp/aim/projects_activities/prov/2021_2050Japan/20210630_NIES.pdf.
- [8] 顾鸿雁. 日本乡村振兴转型的新模式: “地域循环共生圈”的实践与启示 [J]. 现代日本经济, 2020(06):48-59.
- [9] 環境庁. 脱炭素先行地域募集要領 (第1回) [EB/OL].(2021-12-24)[2023-10-20].<https://www.env.go.jp/>

content/900512579.pdf.

- [10] 環境庁. COOL CHOICE なぜ私たちの行動が必要なの? [EB/OL].(2023-10-20).https://ondankataisaku.env.go.jp/coolchoice/about/action_required.html.
- [11] 環境庁. COOL CHOICE カーボンニュートラルの実現に向けて、未来のために、今選ぼう [OL].https://ondankataisaku.env.go.jp/coolchoice/about/action_required.html.
- [12] 環境庁. 脱炭素関連技術の日本の知財競争力 [EB/OL].(2023-10-20).<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/html/1-2-3.html>.
- [13] 内閣官房, 経済産業省, 内閣府, 等. 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 [EB/OL].(2021-06-18)[2023-10-20].https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf.
- [14] 経済産業省 資源エネルギー庁. 2020 年、水素エネルギーのいま～少しずつ見えてきた「水素社会」の姿 [EB/OL].(2020-01-31)[2023-10-21].<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyosuiso2020.html>.
- [15] 環境庁. 脱炭素関連技術の日本の知財競争力 [EB/OL].(2023-10-20).<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/html/1-2-3.html>.
- [16] 刘平, 刘亮. 日本迈向碳中和的产业绿色发展战略——基于对《2050 年实现碳中和的绿色成长战略》的考察 [J]. 现代日本经济, 2021(04):14-27.
- [17] 张季风. 日本经济蓝皮书: 日本经济与中日经贸关系研究报告 (2023) [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2023:190.
- [18] 景春梅. 中国碳达峰碳中和进展、挑战及展望 [R]. 北京: 中国国际经济交流中心, 2021.
- [19] BP.Statistical Review of World Energy 2021[EB/OL].(2021-07)[2023-10-20].<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>. 转引自: 関志雄. カーボンニュートラルの実現を目指す中国: カギとなるエネルギー構造と産業構造の低炭素化 [J]. 野村サステナビリティクォーターリー, 2021(07):87-97.
- [20] 景春梅. 中国碳达峰碳中和进展、挑战及展望 [R]. 北京: 中国国际经济交流中心, 2021.
- [21] 経済産業省資源エネルギー庁. 令和 2 年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書 2021) PDF 版 [EB/OL].(2021-06-04)[2023-10-12].<https://www.enecho.meti.go.jp/>

about/whitepaper/2021/pdf/.

[22] 国家统计局. 中国统计年鉴 2022[EB/OL].[2023-10-20].<https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexch.htm>.

[23] United Nations. World Population Prospect 2019, Age

composition(EB/OL).[2023-10-02].<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>.

(责任编辑 崔岩)

Japan's Practice and Path to Achieve the Emission Peak and Carbon Neutrality Goal: Lessons from Japan's Experience for China

Zhang Jifeng

Abstract: Based on a systematic analysis of the history and path of Japan's efforts to achieve the "dual-carbon" goal, this paper puts forward the inspiration and recommendations of Japan's experience for China. In the early 1970s, Japan laid a good foundation for achieving the goal of carbon peaking by adjusting its industrial structure, developing new energy sources and promoting energy-saving technologies, starting from the management of public hazards. In the 1990s, after joined the United Nations Framework Convention on Climate Change(UNFCCC), Japan actively promoted the entry into force of the Kyoto Protocol. Since entering the new century, Japan has followed the concept of sustainable development, vigorously developed a circular economy, constructed a low-carbon society, and minimised emissions. After achieving carbon peak in 2013, Japan has continued to take stringent control measures to ensure a steady decline in carbon emissions year by year. In 2020, Japan officially announced that it would achieve carbon neutrality by 2050, and through the "Green Growth Strategy through Achieving Carbon Neutrality in 2050", it further clarified the supply-side reform program focusing on the development of clean energy such as offshore wind power, hydrogen energy and ammonia fuel, and actively promoted the achievement of carbon neutrality. China should learn from Japan's experience, improve the "dual-carbon" legal system, optimise the industrial structure, reduce the proportion of coal, improve energy efficiency, enhance innovation capacity, focus on the future, be based on reality, and make gradual progress to successfully achieve the "dual-carbon" goal as scheduled.

Key Words: Emission Peak; Carbon Neutrality; Japanese Pathway; Global Climate Change