

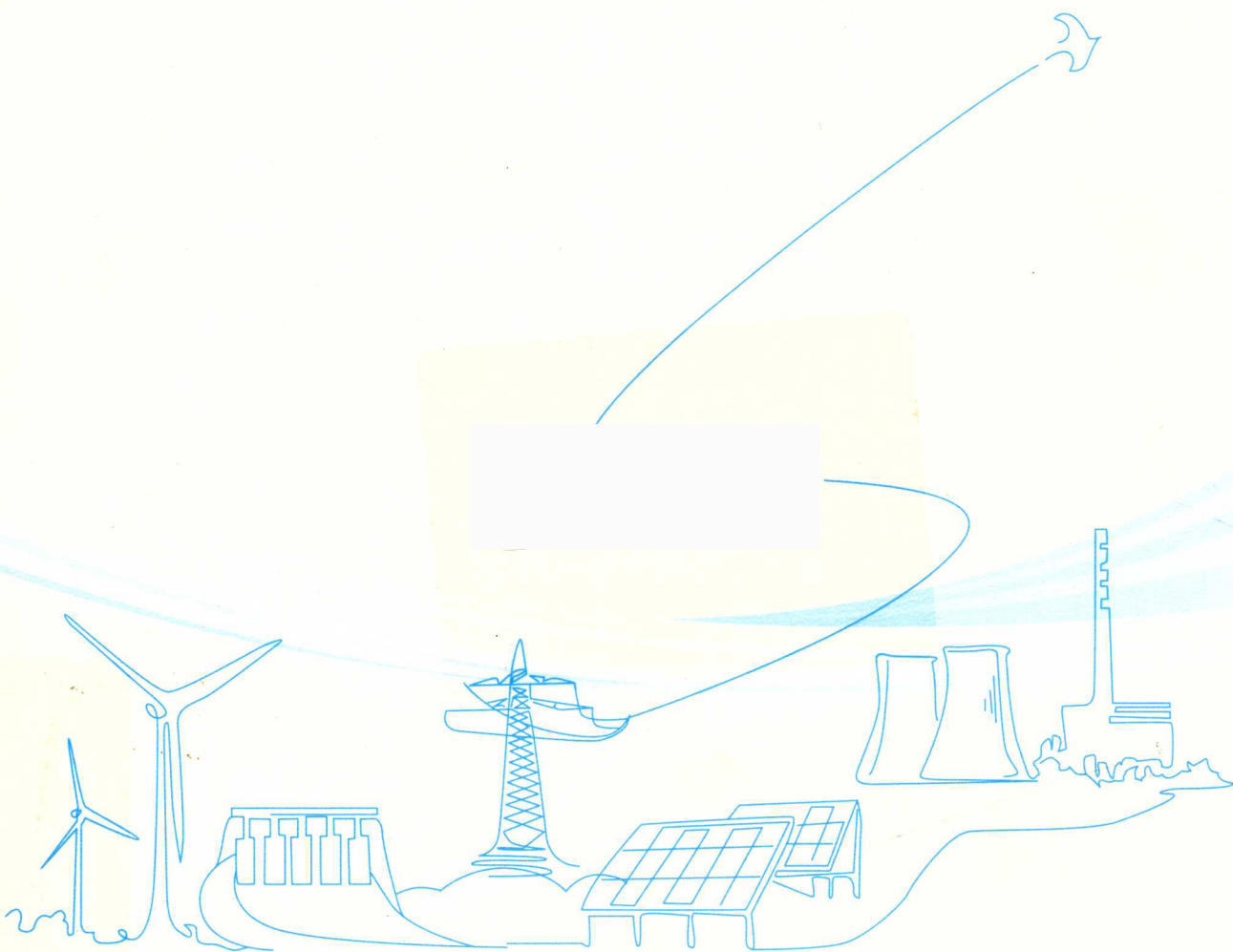


China Energy & Electricity Outlook

中国能源电力发展展望

2017

国网能源研究院有限公司 著



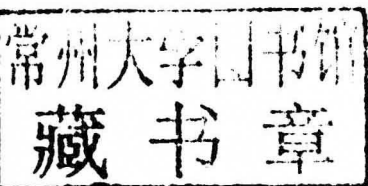


China Energy & Electricity Outlook

中国能源电力发展展望

2017

国网能源研究院有限公司 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目（CIP）数据

中国能源电力发展展望. 2017 / 国网能源研究院有限公司著. —北京：中国电力出版社，2017.11
(2017.12 重印)

ISBN 978-7-5198-1396-3

I . ①中… II . ①国… III . ①能源发展—研究—中国—2017 ②电力发展—研究—中国—2017
IV . ① F426.2 ② F426.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 284479 号

审图号：GS（2017）3804 号

出版发行：中国电力出版社
地 址：北京市东城区北京站西街 19 号（邮政编码 100005）
网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>
责任编辑：刘汝青
责任校对：太兴华
装帧设计：王英磊  永诚天地
责任印制：蔺义舟

印 刷：北京瑞禾彩色印刷有限公司
版 次：2017 年 11 月第一版
印 次：2017 年 12 月北京第二次印刷
开 本：889 毫米 × 1194 毫米 16 开本
印 张：4.25
字 数：115 千字
定 价：78.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

中国能源电力发展展望 2017

编 委 会

主 任 张运洲

委 员 吕 健 蒋莉萍 柴高峰 李伟阳 李连存 张 全 王耀华

牛忠宝 郑厚清 单葆国 郑海峰 鲁 刚 马 莉 韩新阳

李琼慧 张 勇 李成仁

主 编 鲁 刚

副主编 邢 璐 张 宁

成 员 姜怡喆 汤 芳 菅泳仿 孔维政 卢 静 赵芸淇 陈 昕

徐晓阳 张 栋 刘 林 谭显东 刘 俊 张富强 王 雪

毛吉康 赵留军 元 博



前言

党的十九大提出了建设清洁低碳、安全高效的能源体系目标，中国能源发展战略方向已然明朗，能源革命正在加速推进。能源中长期发展战略路径选择和前瞻性政策部署尤为重要，关系到能源体系建设目标的实现。习近平主席在 2017 年“一带一路”国际合作高峰论坛上强调“要抓住新一轮能源结构调整和能源技术变革趋势，建设全球能源互联网，实现绿色低碳发展”，为全球能源转型指明了方向。在构建绿色低碳全球能源治理格局、推动中国经济转向高质量发展阶段、积极落实碳减排承诺和建设美丽中国的大背景下，面对能源发展新动向、技术新进步、消费新模式、产业新业态等不确定因素，如何研判电力在构建清洁低碳、安全高效能源体系中的地位和作用，如何研判我国未来电气化分阶段演进趋势，需要以新格局、新方法来论证回答。采取定性与定量相结合的方式，深入分析和展望电力及能源系统前景，对于能源行业践行创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，支撑全面建设社会主义现代化国家具有重要意义。

国网能源研究院有限公司基于能源和电力领域的长期研究，汇集各界专家智慧，借助自主开发的全球能源研究统一平台，以新时代能源革命的战略思想为引领，立足于能源中长期发展方向、发展方式、发展动力、战略步骤深刻调整的新格局，采用源－网－荷－储协调等新理论和现代分析决策新技术，研判了中国能源和电力到 2050 年的转型发展趋势。本书展



望和比较了能源常规转型情景与电气化加速情景，以期为中国能源电力发展的中长期路径选择提供参考。

本书共分为四章，第1章由邢璐、姜怡喆、汤芳主笔，第2章由邢璐主笔，第3章由张宁主笔，第4章由张宁、菅泳仿主笔。全书由鲁刚、邢璐、张宁统稿，孔维政、陈昕、徐晓阳校核。

研究过程中得到了国家电网公司研究室、国家应对气候变化战略研究和国际合作中心、国家发展和改革委员会能源研究所、美国劳伦斯伯克利国家实验室、中国石油集团经济技术研究院、中国社会科学院、国务院发展研究中心等机构多位专家的支持和帮助，在此表示衷心感谢！

由于水平所限，疏漏与不足在所难免，欢迎专家学者批评指正。限于篇幅，本书主要关注中国能源和电力中长期发展情景，对于具体部门、区域、能源品种等问题分析未及全面展开，涉及的数据、模型、参数等未详细列出，欢迎有兴趣的读者联系和交流。

著者

2017年11月



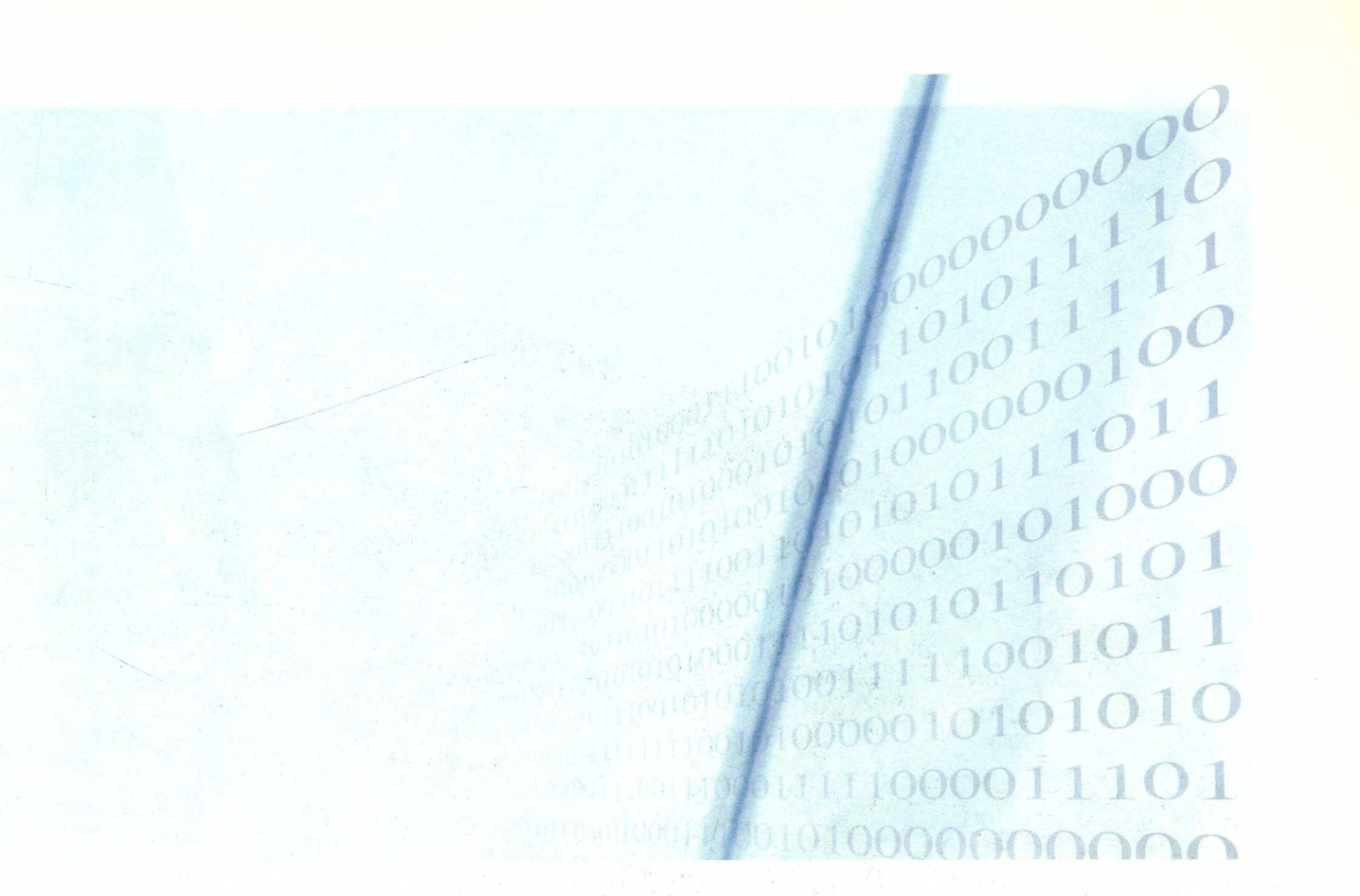
目 录

1 中国能源转型路径

- 1.1 能源发展战略方向和目标 / 2
- 1.2 能源体系发展态势 / 4
- 1.3 能源转型路径 / 8

2 中国能源发展展望

- 2.1 能源需求增速放缓，总量将较快进入平台期 / 12
- 2.2 能源利用效率持续提升，人均用能水平维持低位 / 14
- 2.3 能源需求增长动力转换，用能部门结构朝着均衡方向变化 / 16
- 2.4 能源结构加速优化升级，清洁化水平显著提升 / 18
- 2.5 煤炭需求已进入下降通道，清洁高效利用势在必行 / 20
- 2.6 油气需求增长平稳，能源安全整体可控 / 22
- 2.7 电气化水平持续提升，电能成为能源供应和消费主体 / 24
- 2.8 能源燃烧碳排放提前达峰，碳排放强度下降目标超额实现 / 26



3 中国电力发展展望

- 3.1 电力需求仍有较大增长空间 / 30
- 3.2 电源装机容量保持持续增长 / 32
- 3.3 电源发展呈现“风光领跑、多源协调”态势 / 34
- 3.4 电源布局继续向西北等地区倾斜 / 37
- 3.5 电网大范围配置清洁能源能力增强 / 39
- 3.6 需求侧资源与储能将成为未来电力系统中的重要资源 / 42
- 3.7 电力系统实现源 - 网 - 荷 - 储协调运行 / 44
- 3.8 电力系统成本将呈现先升后降趋势 / 47
- 3.9 电力行业碳排放强度将大幅降低 / 48

4 结 语

- 4.1 电气化加速路径比较优势明显 / 52
- 4.2 电气化加速路径下中国能源中长期发展“两阶段”任务 / 53
- 4.3 电气化加速路径实施面临的主要问题和挑战 / 54
- 4.4 政策建议 / 55

附 录 / 56

参考文献 / 60



党的十九大开启了中国特色社会主义新时代，作出了建设社会主义现代化强国、全面实现“两个一百年”奋斗目标战略安排，要求转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力，实现我国经济发展由高速增长向高质量发展转变。为支撑现代化经济体系建设，适应世界能源转型大潮流，中国能源正在经历一场深刻的能源生产与消费革命，处于加速构建清洁低碳、安全高效能源体系的战略转型期。这是新时代、新使命、新征程赋予能源行业的新任务，科学的能源中长期发展战略路径则是落实这一历史性任务的纲，纲举方能目张，以创新、协调、绿色、开放、共享发展理念为指导的新时代能源文明才能早日到来。立足当前能源发展主要矛盾，着眼能源发展战略方向，顺应能源发展基本格局，是研判能源转型可能路径的基本理论逻辑。



1.1 能源发展战略方向和目标

随着能源工业几十年来的长足发展，中国已经成为世界上最大的能源产消国，人民生产生活用能条件显著改善。尤其在能源革命战略引领下，我国能源转型步伐逐渐加快，能源利用效率大幅提高，形成了煤炭、石油、天然气、非化石能源全面发展的能源供给体系。但同时，仍然面临能源需求压力大、供给制约多、生态环境影响严重、体制机制不完善等不足，需要进一步加大能源转型力度，积极应对资源短缺、环境污染、气候变化等严峻挑战。

总体而言，人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾，要求能源领域的工作重心和战略布局也要有重大调整。中国能源生产力水平总体上位居世界前列，但面对人民

对能源供应、服务、环境的要求日益提高，仍存在化石能源为主体的能源体系及其粗放式发展模式与生态文明建设、经济高质量发展要求的不协调问题。这要求转变能源发展方式、优化能源结构、转换增长动力，提高能源服务质量，满足人民对绿水青山的美好需要。

在我国社会主义现代化强国的建设过程中，随着经济总量持续增长和人民生活质量全面提高，能源保障经济社会发展、生态文明建设、社会进步和谐、人民幸福安康的作用更加凸显。把握国内外能源发展大势，加快推进能源生产和消费革命，构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系，是建设富强民主文明和谐美丽中国的重要内容，也是推动新时代能源文明发展的重要目标。



良好的生态环境已经成为人民生活不可或缺的内容，但我国能源利用带来的资源环境压力依然巨大，大量化石能源在生产、运输、使用过程中对大气、土壤、水质等造成了较为严重的污染和破坏。党的十九大提出持续实施大气污染防治行动，打赢蓝天保卫战。为推动能源清洁利用，我国提出到2020年，煤炭占能源消费总量比重下降到58%以下，电煤占煤炭消费量比重提高到55%，天然气消费比重提高到10%左右等一系列目标。在能源供应侧加大清洁能源开发利用，在能源消费侧加大电能对化石能源替代，确保到2035年实现生态环境根本性好转。

低碳

气候变化是人类发展面临的共同挑战，按照现有政策发展，到 21 世纪末全球气温有可能将升高 4℃，带来海平面上升、粮食减产、植被退化、极端灾害事件频发等严重影响。中国承诺将在 2030 年左右实现碳排放达峰，2020 年、2030 年单位 GDP 碳排放量比 2005 年分别下降 40%~45%、60%~65%，非化石能源占一次能源消费比重在 2020 年、2030 年、2050 年分别达到 15%、20%、50% 左右。

安全

能源安全是国家安全的重要组成部分，是关系国家经济社会发展和人民根本利益的全局性、战略性问题。2000 年以来，我国能源整体对外依存度持续上升，2005—2016 年能源对外依存度从 6.0% 上升到 18.3%。为保障能源供应安全，我国提出 2020 年能源自给率保持在 80% 以上，2030 年能源自给能力保持在较高水平的目标。

高效

能效水平提升是世界能源发展的趋势和目标。我国能源强度从 1980 年以来下降了近 80%，能源利用效率提高了近 5 倍，但在整体能耗水平和单位产品能耗水平上仍然明显高于美国、欧盟等发达国家和地区。我国为此提出 2020 年单位 GDP 能耗将比 2015 年下降 15%、2030 年达世界平均水平、2050 年达世界先进水平的节能目标，并提出 2020 年、2030 年能源消费总量分别控制在 50 亿、60 亿吨标准煤以内，2050 年实现能源消费总量基本稳定。

1.2 能源体系发展态势

（一）经济发展方式转变，推动能源发展从总量扩张转向提质增效

改革开放以来，资本和劳动力等要素大规模投入支撑了中国超过 30 年的经济高速增长，也造成资源配置效率低、中低端产能过剩、环境破坏等问题。随着工业化和城镇化步入中后期，中国经济逐步过渡到中速增长阶段，结构优化和创新推动成为增长新动能。2015 年，第三产业占比和经济增长贡献率同时超过 50%^①，显示经济增长进入新阶段，中高端服务业、依托于互联网的新型商业等第三产业将成为中长期发展的主要动力来源。工业结构由劳动密集型向技术密

集型加快转型，自动化、信息化、智能化推动产业持续升级，逐步建立绿色、共享的发展模式。可见，中国未来经济发展将更多依靠资源高效利用、技术和制度创新驱动，对于能源的依赖程度逐步降低，经济增长将与能源增长脱钩。经济发展方式转变，推动我国摆脱长期以来的能源供应紧张格局，能源发展正进入从总量扩张转向提质增效的全新阶段。促进能源清洁低碳转型、提高能源安全保障能力和服务质量、提升能源系统效率、合理控制能源成本成为未来能源系统发展的重点。

随着能效持续快速提升和能源消费结构升级，我国能源需求增速逐年回落。2015 年和

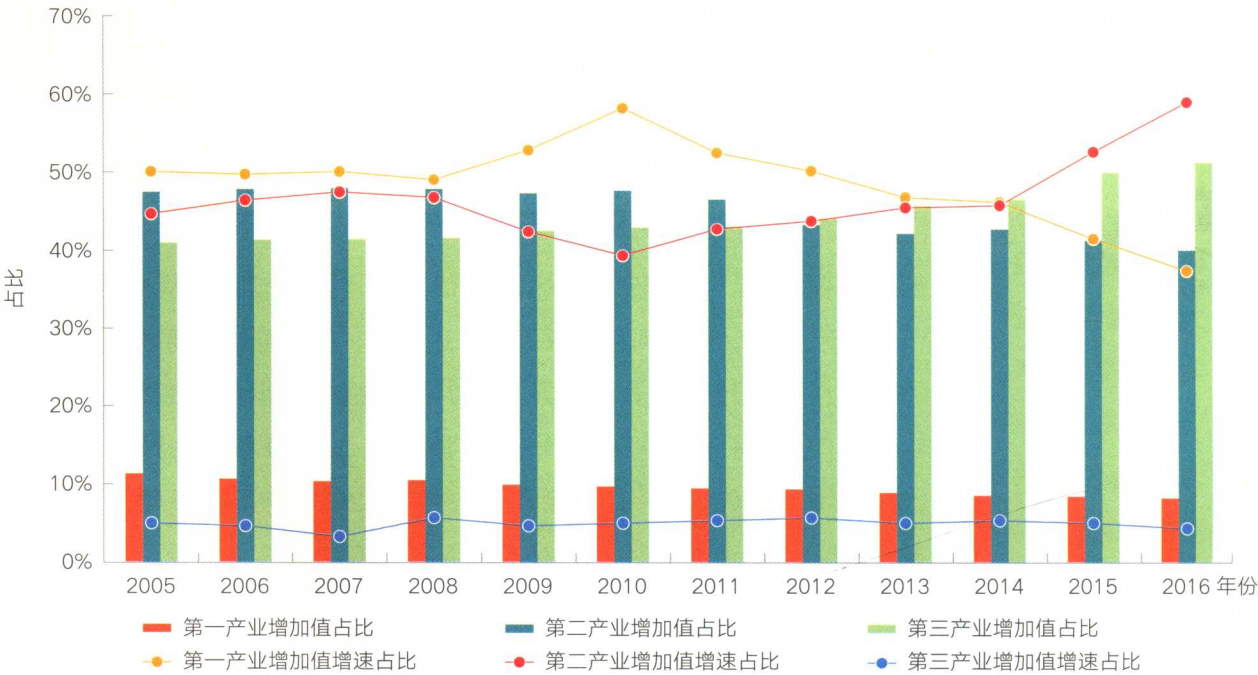


图 1-1 我国三次产业结构变化趋势

① 数据来源：国家统计局《中国统计年鉴2016》。

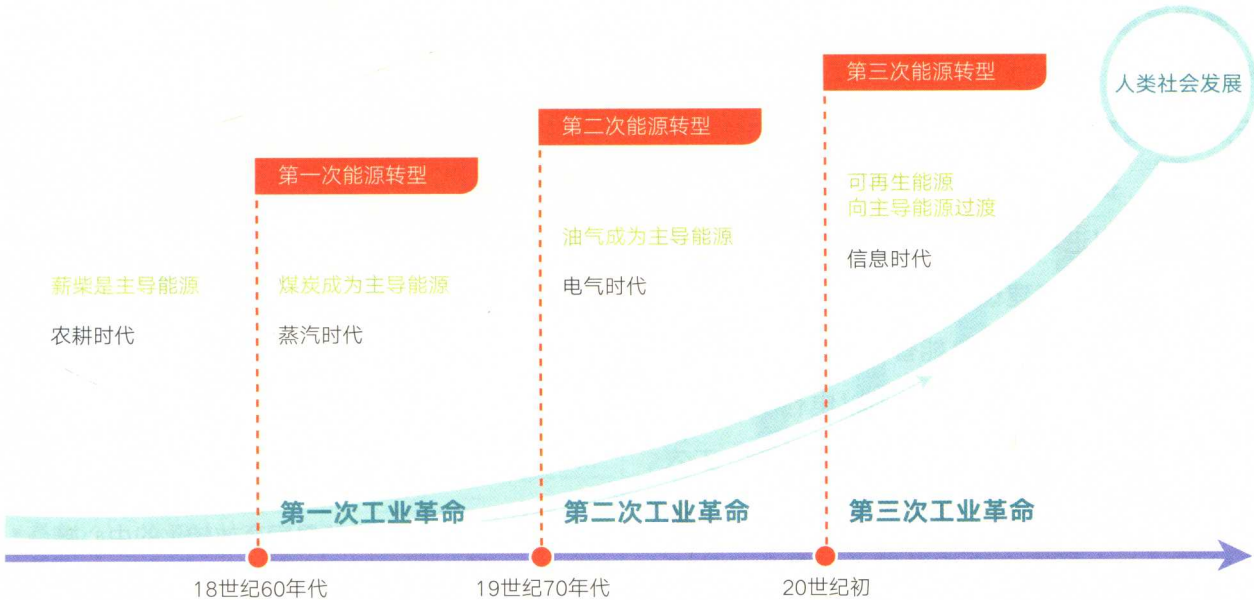


图 1-2 世界能源转型发展趋势

2016 年一次能源消费量增速降至 1% 左右，单位 GDP 能耗每年下降 5%，煤炭消费量自 2013 年起逐年下降。我国目前能效水平仍低于世界平均水平，能源消费结构中煤炭占比仍然偏高，未来能效提升仍有较大空间，能源消费的部门结构和品种结构仍将保持较快变化。工业和制造业技术改造，新消费模式、新产业业态、新商业模式出现都将加速这一变化进程。

传统高耗能工业面对产能过剩形势，在国家政策引导下通过技术创新、淘汰落后产能、产业转型升级等方式大幅提升能源利用效率。未来工业用能占比将持续下降，交通和建筑用能将成为能源需求增长的主要动力。随着消费侧能源结构升级，未来煤炭占终端能源消费比重将持续下降，电力和天然气等能源将得到更广泛的应用。

（二）生态文明建设大力推进，倒逼能源体系加速重构

当前世界范围内的能源危机和环境危机日益凸显，第三次能源转型正在孕育和发展，推动人类能源利用从以化石能源为主向以非化石能源为主进行战略转型。人类能源利用的历次转型都与工业革命相伴而行，推动人类社会向更高文明阶段迈进。《巴黎协定》确定了将全球平均气温较工业化前水平升高控制在 2℃ 之内的长期目标，并提出将为温升控制在 1.5℃ 之内“付出努力”。积极应对气候变化，主动控制碳排放，要求严格控制化石能源消费总量，加速能源结构清洁化转型，推动能源文明迈上新台阶。这也对中国克服能源资源禀赋约束、跨越以油气为主导的能源发展阶段提出了要求。

我国大力开展能源高效清洁利用的技术研发和实践。**化石能源清洁化利用方面**，燃油经济性标准逐步提高，燃煤发电机组超低排放改造范围逐步扩大，煤炭清洁利用技术取得重要突破。**天然气开发利用方面**，加大国内天然气资源勘探开发投入，提高常规天然气和页岩气、煤层气产量，多元化引进境外天然气资源，加快天然气主干管网和储气设施建设。**电能替代方面**，国家陆续出台相关政策，实施电能替代，减少大气污染物排放。北方居民采暖领域，“以电代煤”逐步在热力管网覆盖以外的郊区和农村普及；工农业生产领域，电锅炉、电窑炉逐步推广；交通运输领域，电动汽车快速发展，电气化铁路全面普及。2016 年我国完成替代电量 1030 亿千瓦·时，折合煤炭约为 3000 万吨标准煤。**可再生能源利用方面**，太阳能、地热能、风电等清洁能源供暖逐步推广，陆上风电、光伏发电装机快速增长，海上风电、太阳能光热发电、生物质发电、氢燃料电池等新型可再生能源技术取得重要进展，为能源的清洁高效利用提供了更多选择，也为加速能源体系清洁化转型奠定了坚实基础。

（三）能源体系全方位转型，意味着电力将发挥越来越重要作用

始于 20 世纪末的第三次能源转型，正在推动人类社会主导能源从油气向可再生能源转变、传统能源系统向现代能源系统转型。从现代能源系统生产、消费和配置各环节看，电力将发挥更加重要的作用，其以电为中心、电网为平台的特点日益显著。**从供应角度看**，全球 80% 以上的风能、太阳能等可再生能源资源通过发电并网得以利用，发电利用也是煤炭高效清洁利用的最主

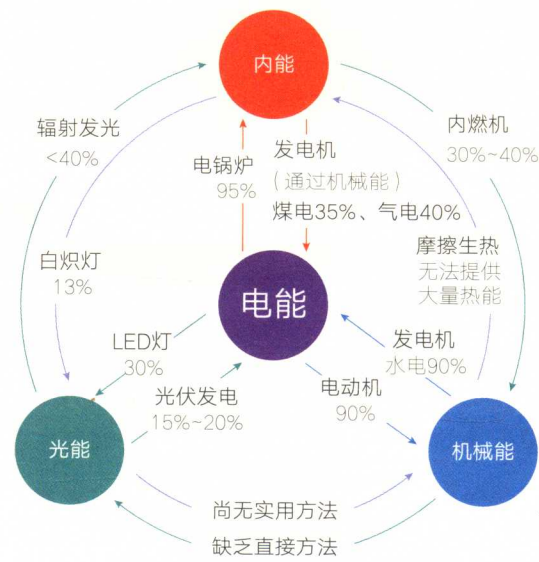


图 1-3 电能是基本能量间高效转化的中心媒介

要方式，能源清洁低碳转型推动电力成为未来能源供应的主体。**从消费角度看**，电是最清洁高效的二次能源，使用便捷零排放，终端利用效率明显高于煤炭、石油和天然气等化石能源直接利用，并且电能与内能（包括热能、化学能等）、光能、机械能之间，除转换为光能的效率为 30% 左右外，转换为其他能量的效率均在 90% 以上，而其他能量之间的转化效率和技术成熟度均相对较低。**从配置角度看**，电力网络具有覆盖范围广、配置能力强、互动灵活等特点，作为中国能源综合运输体系的重要组成部分，在促进煤电优化布局的同时，也将在促进清洁能源大规模集中式开发与分布式开发协调发展、与周边国家互联互通中发挥更重要作用，成为能源配置的枢纽平台。

目前，电能在我国能源消费中的占比逐年提高。2000—2015 年，我国电能占终端能源消费的比重从 10.9% 提高到 22%，有效降低了终端化石能源消费和由此带来的污染物排

放。同时，清洁能源开发利用主要转化为电力并融入电力系统，“十一五”以来，我国整体电源结构持续优化，清洁能源^❶比重不断提高，火电比重稳步下降。截至 2016 年底，我国可

再生能源装机容量占全球总量的 24%，水电、风电、光伏发电装机容量和发电量均持续保持世界第一，已经成为全球可再生能源利用的第一大国。



图 1-4 “十一五”以来全国电源装机结构变化情况

电力系统在第三次能源转型时代也经历着深刻的变革，正逐步向新一代电力系统方向发展，而**技术多方位突破、成本持续下降和市场机制逐步完善**，进一步为电力系统引领能源系统转型提供源源动力。技术创新方面，特高压输变电技术、新型大容量高压电力电子元器件及系统集成技术、可再生能源并网与消纳技术、现代复杂大电网安全稳定技术，以及储能、智能家居、需求侧资源综合调控等技术逐步突破。利用成本方面，过去五年，风电开发利用成本下降约 30%，光伏组件价格下降约 50%，预计 2025 年风电和光伏发电比传统化石能源将更具竞争力。对新能源利用经济性的关注点从技术成本向系统成本转移，亟须源－网－荷－储协调发展。市场建设

方面，电力体制改革全面深化，辅助服务市场、现货市场等试点逐步展开，市场在资源优化配置中的决定性作用日益凸显，各类市场主体活力显著增强。



图 1-5 涵盖源－网－荷－储的电力系统

❶ 指狭义的清洁能源，包括核能和可再生能源，其范畴等同于非化石能源。清洁能源发电是指水电、核电、风电、太阳能发电、生物质发电等非化石能源发电。

1.3 能源转型路径

建成清洁低碳、安全高效的能源体系，需要综合运用强化节能、推动煤炭和石油清洁高效利用、加速天然气利用和替代、持续大规模开发清洁能源等战略举措。因此，能源转型本质上就是“能效提升 + 能源结构优化”。不同转型路径意味着不同能效水平和不同能源结构，而不同能源结构则显示了对各类能源品种之间替代程度、速度的不同考虑。

对具体路径的选择需要重点考虑中国能源发展面临的三大现实情况。一是能源生产和消费规模全球第一，这一体量的能源转型，需要稳步推进，做好各类能源品种替代之间的衔接。其中，煤炭资源丰富，煤电产能基数大，“去煤化”需要从国家经济发展大局考虑，制订合理路线；油气资源禀赋不足，对外依存度高，管网输配能力和储备能力欠发达，国际油气话语权有限，亚洲存在天然气溢价，未来油气需求增长尤其是天然气快速增长亟待多个环节突破；新能源资源潜力大、发展迅速，利用规模已位居世界前列，并且技术和产业发展迅猛，已经成为我国重要的战略性新兴产业，对于促进经济高质量增长、实现我国能源自给、推动可持续发展尤为重要。二是能源资源与能源需求逆向分布，大范围资源配置需要统筹考虑各区域的能源资源与需求，对综合能源运输体系进行合理规划布局。西电东送、西气东输、北煤南运是我国传统的能源输送大通道，随着我国西部和北部地区可再生能源的大规模开发利用，以特高压电网为骨干网架的全国互联电网将实现资源共享互济，加之智能电网的互动友

好性增强和普及应用，大电网将成为可再生能源消纳、多种能源灵活转换、智能互动用能服务和资源高效传输配置的最主要平台，微电网及分布式能源系统将成为大电网的重要补充。三是能源利用效率仍有较大提升空间，加强各领域节能和能源文明消费仍将是转变能源发展方式的首要任务，是实现能源安全、合理供应的前提和基础。

展望未来，中国能源转型的基本路径是充分挖掘节能潜力、控制能源消费总量，提高天然气消费比重，推动清洁能源大规模开发利用，建立与能源供需格局相适应的高效油气和电力输配网络。考虑天然气资源供应的不确定性以及到 21 世纪中叶实现“净零排放”的全球碳减排目标，中国能源转型的最终目标是实现大规模开发利用清洁能源，并提高电能在终端能源消费中的比重。在电力系统清洁低碳发展、电网配置能力提升的基础上，大力提升电气化水平，构建“以电为中心”的现代能源系统，是服务经济社会发展、提高人民用能质量和体验、建设生态文明的必由之路。因此，本书立足于经济高质量增长新趋势和能源变革发展新格局，以提高能效水平和天然气消费比重为基础，以电气化和清洁能源发展为重点构建未来发展情景，深入刻画和分析电力在中国能源转型过程中的作用和影响。

本书设置了两个典型的转型情景，一个是各类转型措施实施力度相对平衡的常规转型情景，一个是电气化水平更快提升的电气化加速情景。情景设置主要参数详见附录。

常规转型情景下，常规用能技术的能效提升速度逐步放缓，电气化水平平稳上升，天然气消费快速增长，煤炭消费减量化，石油消费相对稳定，终端能源消费结构稳步升级，终端能效水平稳步提升。新能源发展日益成熟，电力系统调节能力增强，源 - 网 - 荷 - 储协调发展局面逐步形成。

电气化加速情景下，常规用能技术的能效提升速度逐步放缓，但电锅炉、电窑炉、热泵、智能家居、电动汽车等用电技术加快推广应用，电气化水平持续较快上升，加速替代煤炭和石油消费，终端能源消费结构加快升级，推动终端能效

持续较快提升。天然气消费平稳较快增长，但增速低于常规转型情景。新能源快速发展，电网智能化程度不断增强，推动电力系统向源 - 网 - 荷 - 储协调更高程度发展。

为开展能源转型路径的多目标、多维度研究，本书基于国网能源研究院有限公司自主开发的全球能源研究统一平台，构建了覆盖各能源品种、多区域、突出电力源 - 网 - 荷 - 储协调发展的中国经济 - 能源 - 环境一体化分析模型，对我国中长期能源电力发展进行展望和分析。模型说明详见附录。

