



中国科协高端科技创新智库产品

ZHONGGUO KEXIE GAODUAN KEJI CHUANGXIN
ZHILU CHANPIN



ZHIHUI

NENGYUAN CHUANGXIN



智慧能源创新

智能科技与产业研究课题组/主编

ZHINENG KEJI YU CHANYE YANJIU KETIZU



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



中国科协高端科技创新智库产品

智慧能源创新

智能科技与产业研究课题组 主编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

智慧能源创新 / 智能科技与产业研究课题组主编 .
—北京 : 中国科学技术出版社, 2016.11
ISBN 978-7-5046-7284-1

I. ①智… II. ①智… III. ①能源经济—研究报告—
中国 IV. ① F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 265682 号

策划编辑	许 慧
责任编辑	韩 颖 王 菡
装帧设计	中文天地
责任校对	刘洪岩
责任印制	张建农

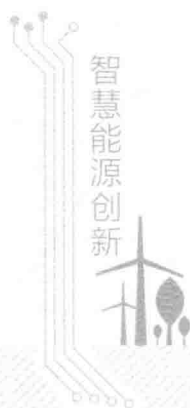
出 版	中国科学技术出版社
发 行	中国科学技术出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62173865
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	889mm × 1092mm 1/16
字 数	560千字
印 张	26.75
版 次	2016年12月第1版
印 次	2016年12月第1次印刷
印 刷	北京市凯鑫彩色印刷有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-7284-1 / F · 830
定 价	68.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

智慧能源创新





策划编辑：许 慧
责任编辑：韩 颖 王 菡
封面设计：欧阳显根

《中国科协高端科技创新智库产品》编委会

总策划：尚 勇

主 任：王春法

编 委：郭 哲 罗 晖 王 挺 郑 凯 陈宝国 武建东
陈 锐 王宏伟 宫 飞 毕海滨 王 桓 孟令耘
马晓琨 薛 静 沈林芑

《智慧能源创新》研究组

武建东 王志轩 肖立业 刘洪海 杨海成 刘延宁 李 镭
林训先 张晓京 裴 玮 柳建尧 练 聪 陈鸿昌 余胜海
王东伟 于国南 邱 野 聂祚仁 张 哲 艾宇飞 刘历历
张 伟 王永祥 李乃崇 沈文璟 陈其钰 陈 霞 马克骏
武墨媛 李燕军 徐行余 梁 雨 王石金 张海涛 徐小明
丛 原 于红雨 叶小叶



引言 智慧能源革命正在成为新的文明分界线	01
----------------------	----

第一篇 中国能源革命与普世能源文明

第一章 中国能源革命的基本判断	013
第一节 中国能源革命的基本判断	014
第二节 积极调整现行的 2020 年中国能源战略的发展思路	017
第三节 迈进智慧能源创新型国家的先进行列	019
第四节 把中国能源革命智慧化、把智慧资源能源化	022
第二章 中国能源革命的战略创新方案	025
第一节 中国能源革命的核心生产力	026
第二节 中国能源革命科技创新的战略创新方案	028
第三节 中国能源革命的历史目标	046
第三章 中国能源革命的制胜机制	049
第一节 中国能源革命的制能权	051
第二节 中国能源革命的制胜机制	056

第三节	中国能源革命能力建设的本质	060
第四节	积极营造中国智慧能源结构	063
第五节	创新构筑中国的全球能源革命时空观	078
第六节	中国发展智慧能源的创新意义	087
第四章	中国能源革命智慧创新的体系建设	089
第一节	新旧动能转换中的中国能源现状与特点	090
第二节	总体思路	116
第三节	基本原则	117
第四节	创新目标	118
第五节	战略任务	120
第六节	发展模式	122
第五章	协进普世能源文明	126
第一节	美国：创新与实干	134
第二节	欧盟：寻求一致的漫长道路	143
第三节	欧盟的“火车头”——德国：前瞻并拥有强大的 领导力	147
第四节	日本：独具匠心	150
第五节	国内外智慧能源研究状况的分析与评价	154

第二篇 构筑智慧能源应用创新产业

第六章	智慧能源与能效科技创新	159
第一节	能效是中国智慧能源创新的突破口	160
第二节	智慧能源之能效创新的国际实践	162
第三节	智慧能源之能效创新的主要方式	164
第四节	智慧能源之能效创新建设的发展思路	166
第七章	智慧能源与分布式能源建设	171
第一节	分布式能源是中国智慧能源创新的主战场	172
第二节	智慧能源之分布式能源建设的国际实践	173

第三节	积极推进智慧型分布式能源建设	177
第四节	中国发展智慧分布式能源体系的政策建议	178
第五节	中国发展智慧分布式能源体系的意义	179
第八章	智慧能源之基础设施建设	180
第一节	基础设施智慧建设论	181
第二节	我国地下基础设施现状	182
第三节	欧美的基础设施建设概述	185
第四节	智慧能源时代的海水淡化与海洋能源设施建设	186
第五节	积极推动中国基础设施智慧建设的发展思路	191
第九章	智慧能源与人民币定价权	195
第一节	智慧能源建设与能源定价权	196
第二节	积极构建智慧能源时代的能源定价体制	197
第三节	推动中国能源产业价格体制改革	198
 第三篇 增强中国智慧能源先发能力和创新实践		
第十章	把握智慧能源先进关键技术	203
第一节	能源物联网关键技术	205
第二节	关于基础科学之智慧能源研究	207
第三节	能源效率与应用产业关键技术	211
第四节	能源创新产业智能化关键技术	212
第十一章	我国传统能源智能化重大示范工程	221
第十二章	把握智慧能源时代的人工智能网络变革	224
第一节	当今的两个基本能源模式	225
第二节	学习型能源网络发展的创新内容	226
 第四篇 强化中国智慧能源建设的实施保障		
第十三章	中国智慧能源建设的政策建议与保障	231

第十四章	增强智慧能源国际标准建构能力，积极参加智慧能源全球治理	247
第一节	积极参与智慧能源创新标准和先进架构的全球治理	248
第二节	巴黎协定与中国智慧能源的创新发展机遇	267
第三节	碳市场运行与中国智慧能源的能力建设	276
第四节	发展智慧能源变革的国际共识	288

第五篇 加强中国智慧能源建设规划

第十五章	中国智慧能源创新发展战略的编制原则和总体架构	295
第一节	中国智慧能源创新发展战略的编制原则	296
第二节	中国智慧能源创新发展战略的总体架构	299

第十六章	专项研究报告一 中国分布式智慧能源建设的关键技术和创新架构	301
第一节	引言	302
第二节	分布式能源发展的新趋势和模式	303
第三节	分布式能源相关的关键技术	305
第四节	分布式能源发展路线图	348
第五节	分布式能源相关政策建议	350

第十七章	专项研究报告二 中国电力绿色低碳创新发展途径研究报告	353
------	----------------------------	-----

第十八章	专项研究报告三 如何认识与构建 21 世纪新型能源结构：智慧（能）能源网	363
------	--------------------------------------	-----

第十九章	专项研究报告四 中国智慧能源建设的关键技术和创新架构	371
第一节	智能微网能源技术创新发展原则和总体架构	372

第二节	智能微网能源技术的概述	372
第三节	智能微网能源技术的架构	374
第四节	智能微网能源技术的建设环境	380
第五节	智能微网能源技术的发展现状	387
第六节	智能微网能源技术的发展路线	412
第七节	智能微网能源技术创新发展路线图研究	415



引言

智慧能源革命正在成为新的文明分界线

科技、唯有科技才能创造未来能源的整体结构、发展能力和实践线路，新的能源革命本质上是科技革命，能源产业将是全部科技创新的应用舞台，能源革命也将带动全部科技创新活动。智慧能源既包括能源互联网，也包括能源物联网，它是一场比互联网更大规模的产业革命，也是我国下一个超过 10 万亿级产值的巨大产业。能源强国不但要创造先进技术，更要构筑领先的智慧能源标准和架构。能源革命的使命是让中国人民不但利用好自然资源，而且可以获得更高端的智力资源，这个资源与自然资源同等重要，甚至更为重要。智慧能源革命正在成为文明的分界线，它将使得未来二三十年的世界变化超过工业革命 200 年以来的成就！

推动现有化石能源为主的能源体系颠覆性转型为智慧清洁能源体系，应该成为我们构筑创新型国家主要行动，应该成为推动我国成为世界科技强国的关键标志。

就 2030 年中国能源战略发展而言，大约有三个模式可以选择，其一就是利用中国能够集中力量办大事的优势实现颠覆式变革；其二就是选取比对式改革，参照其他先进经济体的作为展开能源革新；其三就是推行小步渐进式改革，分期试错前进，并最终通过大周期的历史变动被动选择理想时点完成能源转型，实际上这个左顾右盼的第三个方案文明转型的代价最大，承受

把能源产业科技化，把科技创新能源化，实现智能化科技本位融合或替代旧有能源系统的工业本位，实现智缘关系融合或替代机缘关系成为能源关系的主要形式，推动被动能源系统转变为智能思维系统，穷其能源基础研究、整体生产和社会消费的所有节点成为钩深致远的科技创新和智慧产业生态。

的历史惩罚最深。从我国实际情况来看，推动现有化石能源为主的能源体系颠覆性转型为智慧清洁能源体系，应该成为我们构筑创新型国家主要行动，应该成为推动我国成为世界科技强国的关键标志，而实现这个目标的最理想道路和最小代价就是把能源产业科技化，把科技创新能源化，实现智能化科技本位融合或者替代旧有能源系统的工业本位，实现智缘关系融合或者替代机缘关系成为能源关系的主要形式，推动被动能源系统转变为智能思维系统，穷其能源基础研究、整体生产和社会消费的所有节点成为钩深致远的科技创新和智慧产业生态。所谓的能源强国就是赋予了能源管理第一科技力的国家；所谓的当代能源革命就是实现了能源系统、智能社会和生态文明共变的相与为一。

其一就是利用中国能够集中力量办大事的体制实现颠覆式改造

其二就是实现比较式改革，同比国际大的经济体展开能源革新

其三就是实行渐进式改革，逐步试错性前进，并最终选择时点实现能源转型



图1 中国能源战略的三个模式

2014年以来，以习近平主席为核心的党中央推动21世纪第一次中国大型产业革命的目标择选为能源产业。

2014年以来，以习近平主席为核心的党中央推动21世纪第一次中国大型产业革命的目标择选为能源产业，体现了破釜沉舟的能源转型是全面建成小康社会的战略机制，表达了能源革命是中国跨越中等收入陷阱的背水一战，能源革命成为中国现代化进程中的关键里程碑，这个举措包括四个革命一个合作，即：推动能源消费革命，抑制不合理能源消费；推动能源供给革命，建立多元供应体系；推动能源技术革命，带动产业升级；推动能源体制革命，打通能源发展快车道；全方位加强国际合作，实现开放

条件下能源安全。而能源技术革命既是其他方面能源革命的基础，也是其他方面能源变革的前提，决定能源革命的整体方向和根本路线，定义能源革命的性质和水平。四个革命一个合作的思想实际上勾勒出中国版的智慧能源建设方向和总体要求，应当成为我们推动能源产业进步的核心战略，智慧能源正在成为时代创新潮流，正在对中国经济社会发展产生历史性影响。

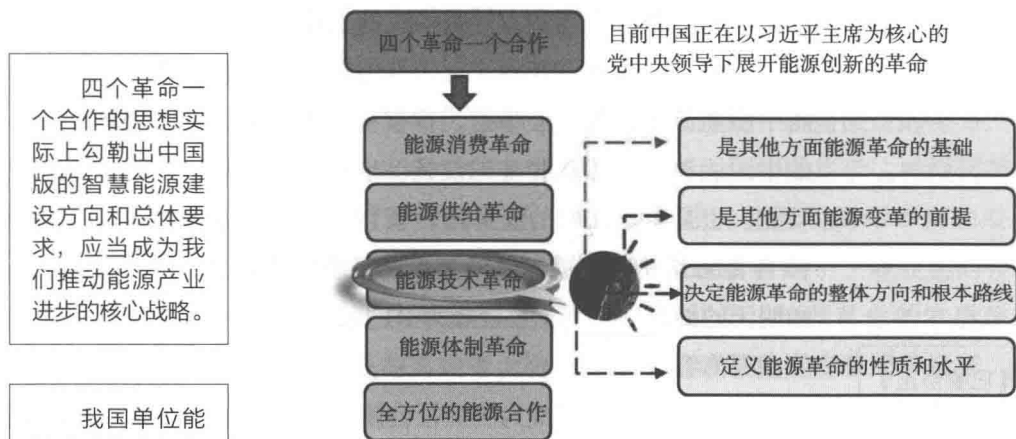


图2 我国目前展开的能源创新革命

1. 智慧能源已经成为新的中国能源价值观

2014年习近平主席强调指出：我国单位能源产出效率仅相当于世界平均水平的一半，如果提高到世界平均水平，每年就可以少用一半能源。这个战略也可以理解为我国正在选择以较低增速的能源消费总量支撑更大规模GDP体量的能源革命，而推进智慧能源的建设是实现这个革命的主要通道和根本选择。此外，发展智慧能源的主要物质基础是我国巨量的城镇基础设施和用能终端的革新改造，必然成为世界科技革命、产业革命、能源革命协同创新的集成平台；必然成为新的物联网、人工智能和互联网大规模应用的主要对象。为此，2015年初，中国科协创新战略研究项目设立了武建东教授任组长和首席专家的中国智慧能源创新发展战略研究项目，本报告就是这项研究的主要成果，这也是中国中央科技部门首次大规模全面系统研究智慧能源总体创新战略。



积极构建世界级、智能化、生态型的中国能源创新体系和基础设施已迫在眉睫，它是中国增长的新动能，也是生态文明的新局面。

《巴黎协定》第一次宣布了延用 200 年的高碳经济时代的结束，同时这个协定也是一个国际套装协议。

中国在“国家自主贡献”中提出，将于 2030 年左右使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现，2030 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%~65%，非化石能源占一次能源消费比重达 20% 左右，森林蓄积量比 2005 年增加 45 亿立方米左右。

2015 年 7 月 1 日，国务院发布《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》，直接确立了“互联网+”智慧能源的新型战略，这相当于中国启动了新的能源建设路线图，这里“互联网+”没有选择互联网+智能电网、能源互联网抑或互联网+智能油气网，反映了中国政府决心打通能源系统智慧化全局体系和完整架构的战略决心。2015 年 10 月十八届五中全会，习近平主席又主持中央确立了创新、协调、绿色、开放和共享的发展理念，这也是把中国高碳能源结构转变为低碳模式的五条大道，2016 年 3 月通过的“十三五”规划正式确立了智慧能源系统创新是“十三五”期间中国能源实践的核心举措，积极构建世界级、智能化、生态型的中国能源创新体系和基础设施已迫在眉睫，它是中国增长的新动能，也是生态文明的新局面。智慧能源已经成为中国解决未来 15 年能源结构转型的制胜法宝；已经成为贯通国内外、联结今天和明天的能源价值观；已经成为 21 世纪中国第一次大型产业革命的主要内容。

2. 智慧能源已经成为工业社会转变为智能社会的文明分界线

2015 年 12 月，《联合国气候变化框架公约》（简称：《巴黎协定》）第一次宣布了延用 200 年的高碳经济时代的结束，同时这个协定也是一个国际套装协议，它的联结协议是 2014 年 11 月签订的《中美气候变化联合声明》，以及 2015 年 6 月签署的《中欧气候变化联合声明》，上述协议搭建了巴黎气候协议的基础框架，包括中、美、欧盟等的排放峰值点和战略合作安排，也是《巴黎协定》的基石。

实际上，碳排放量占全球总排放量 40% 以上的中美两国，通过双边协议奠定了全球低碳经济的路线图，为此美国需要实现年均温室气体排放下降速率翻番；而中国需要颠覆以煤为主导的高排放能源结构，实现 21 世纪最大规模的倒计时减排行动，可以预期欧盟和日本也会有杰出的能源创新表现。能效革命和能源结构革命同时在太平洋两岸和欧亚大陆展开，预示着继工业社会之后的智能社会将在这个区域内创世纪的构建，这也将是工业社会到智能社会转型的历史分界线。

因此，从 2016—2025 年是我国能源去高碳化的关键 10 年，

也是我国智慧能源发展的重要战略机遇期，去高碳化必须自 2016 年启动，2020 年应该取得阶段性成果，2025 年需要取得实质进展，调整我国高碳能源结构正在成为对中国人民创造力的深刻挑战。综合判断，我国能源变革正处于大有作为的重要战略机遇期，也面临着与先进国家能源变革差距进一步拉大的风险。

全球新文明的分工结构正在崛起，居于内核时空的中美欧之间是良性竞争关系，它们与外围其他地区经济体之间属于阶层互动关系，而整个世界将以能源革命为核心构建新的超级生态系统，这个创新是新的世界文明的分界线。在这个转变过程中，中国发展转型的代价最大，经过帷天席地、欺霜傲雪的努力，中国可以成为世界低碳文明革命的主场，全面受益于这场颠覆现有世界生产力命脉的变迁。中国可以成为能源发明和革新的应用引擎，构建有别于工业文明的生态文明，有别于工业社会的智能社会，以此获得 21 世纪智力资源的优势！能源革命的本质是让中国人民获得高端智力资源，这个资源与自然资源同等重要，甚至更为重要。

3. 中国能源发展需要实现从过度依赖自然资源转向更多依靠智慧资源

智慧能源是中国能源革命的核心生产力，智慧能源就是利用物联网、人工智能、互联网等机制，把高碳能源变为低碳能源；把低效能源变为高效能源；把集中能源变为分布式能源与集中型能源合理互动的体系。通过应用机器学习、能源数据库、神经芯片、物联网技术、动态定价和智能商务交易等方式，发现类似电子商务、搜索引擎、即时通讯、网络传播等互联网时代的重大生产方式。

未来 15 年内，以煤为主导的能源系统将进入革新和更换际，气体能源、清洁煤、核能、可再生能源等将成为联合主导能源，中国能源发展方式将从过度依赖自然资源转向更多依靠智慧资源、智能网络和深度学习能力的开发。

我们知道：能源技术是当代世界最前沿的技术，已经打通了从纳米、基因工程、物联网、人工智能到超级计算、大数据、非结构数据库、机器学习、知识工作自动化等整体结构，涵盖了能源物联网关键技术、基础科学之智慧能源研究、能源效率与应用

整个世界将以能源革命为核心构建新的超级生态系统，这个创新是新的世界文明的分界线。

能源革命的本质是让中国人民获得高端智力资源，这个资源与自然资源同等重要，甚至更为重要。

智慧能源是中国能源革命的核心生产力。

谁在能源技术领域拥有创造力，谁就能够领先世界能源革命。

我国应围绕各国智慧能源重大关切主题和科技挑战，积极推动或牵头协调智慧能源国际大科学计划和相关大科学工程，创制性发展智慧能源国际科技公共产品，提升对国际智慧能源的话语地位，加快实现智慧能源新的知识产权的大规模集成应用，提高我国能源产业整体水平，实现智慧能源全球治理。

智慧能源的建设将是一场比互联网更大规模的技术与产业革命。

产业关键技术及能源创新产业智能化关键技术等领域。包括智慧能源操作系统、智慧能源根服务器、智慧能源数据网络与通讯、智慧能源现代传感、人工智能能源、智慧能源生物（生物燃料、人工光合作用）、智慧能源材料、智慧能源化学、智能工业能源管理系统、智能交通能源管理系统、新能源车辆能源系统、智能建筑能源管理系统、数字油气革命、智慧储能、分布式能源、智能燃气网、智能电网、智能微网、智能水网、智能煤电、智慧核能、海洋智慧能源、智能光伏光热电力系统、智能风电、智能地热能、用户端智慧能源综合管理系统及相关产业等关键技术。谁在这些领域拥有创造力，谁就能够领先世界能源革命。能源革命某种意义上是新材料变革、是新的管理组织的变革、是新的主力能源的变革、本次能源革命引爆的化学革命、生物革命、材料革命、太空系统革命以及网络革命或许超过能源革命本身。

从全球范围看，全面推进智慧能源关键技术开发已经成为世界经济与科技创新高地，亟待实施战略突破，我国应围绕各国智慧能源重大关切主题和科技挑战，积极推动或牵头协调智慧能源国际大科学计划和相关大科学工程，创制性发展智慧能源国际科技公共产品，提升对国际智慧能源的话语地位，加快实现智慧能源新的知识产权的大规模集成应用，提高我国能源产业整体水平，实现智慧能源全球治理。智慧能源不少具有国际制高点的项目由我国在国际上首次提出，例如，开发新型能源操作系统、发展智慧能源根服务器、大规模应用能源智能图谱、构建能源物联网、建设人工智能能源生态系统、推行能源要素动态定价和应用认知能源计算、原创并开发能源电脑等国际高端技术体系。

4. 智慧能源是我国下一个10万亿级的国家发展大产业

智慧能源是我国下一个10万亿级的国家发展大产业，是我国产业优化升级的新增长点，对我国科技创新具有举足轻重的作用。互联网革命过去30年来很大程度上改变了世界经济格局，而智慧能源的建设将是一场比互联网更大规模的技术与产业革命。笔者早前在国际上指出，目前需要把全球70亿人口、2000亿以上平方米的房屋、600亿以上的各类能源网接口、10亿以上的机动车船机、30亿台套以上的工业设施、1000亿以上的能源