

新型能源体系革命是通向生态文明的必由之路

——兼评杰里米·里夫金《第三次工业革命》一书

何建坤

摘要:当前世界范围内正在经历新型能源体系变革,其特征是将以互联网技术与新型可再生能源相融合的分布式智能能源体系,取代以化石能源为基础的集中化能源体系,从而走上绿色低碳的发展道路,实现由不可持续的现代工业文明向未来可持续的生态文明过渡,最终实现人类社会与地球生物圈循环规律相协调和有机融合。以新型能源生产和利用方式革命推动的第三次工业革命将引发世界范围内经济发展方式和社会生活方式的重大变革,并伴随新的颠覆性技术的创新,同时也将促进国际和区域间的广泛合作以及全球治理制度和管理模式的改革和建设。中国当前经济社会发展面临资源制约、环境污染、生态退化的严峻挑战,粗放的资源依赖型的发展方式已难以为继。当前全球新型能源体系革命的趋势和潮流为中国实现跨越式发展提供了难得机遇。

关键词:第三次工业革命;生态文明;可再生能源;能源体系变革;低碳发展

中图分类号:F205 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-0169(2014)02-0001-10

当前世界范围内正在经历新型能源体系变革,强化节能和加速能源结构的低碳化成为大国能源战略的共同选择。杰里米·里夫金新著《第三次工业革命》一书把当前世界范围内以新能源和可再生能源取代传统化石能源的新型能源体系变革提升为“第三次工业革命”^[1],其视角和观念有相当前瞻性和深度,值得借鉴。当前我国能源发展也面临日趋强化的资源和环境制约,党的十八大也提出“推动能源生产和消费的革命”,并将其作为生态文明建设的核心内容和关键着力点。全球能源体系变革的潮流将引发世界范围内经济、社会发展方式的变革,也将引起经济、贸易、技术竞争格局的变化,对我国经济社会可持续发展既将带来新的挑战,也存在实现跨越式发展的机遇。

一、当前世界新型工业革命的标志和特征

世界范围正在经历新一轮工业革命,这似乎已成为广泛共识。但是新型工业革命的特征是什么?历史上每次工业革命划分的标准是什么?其驱动力又是什么?不同学者从不同视角有着不同的理解和解释。有人把重大技术范式转变作为工业革命阶段划分的标准^[2],认为当前生物技术、信息技术、新能源技术和新材料技术的突破性进展将带来第三次工业革命。也有人认为对工业革命阶段划分的依据是生产方式的根本性转变。比较有代表性的是英国《经济学人》刊发的特别报告中的观点:“第一次工业革命是18世纪晚期制造业的‘机械化’所催生的‘工厂制’,彻底荡涤了家庭作坊式的生产组织方式;第二次工业革命是20世纪早期制造业的‘自动化’所创造的‘福特制’流水生产线,使得‘大规模生产’成为制造业的主导生产组织方式,产品的同质化程度和产量实现‘双高’。而人类正在迎接的第三次工业革命是制造业的‘数字化’,以此为基础的‘大规模定制’可能成为未来的主流生产方式。”^[2]也有人认为人类社会已经历了蒸

基金项目:教育部人文社科重点研究基地重大项目“地方低碳发展的实现机制与模型分析”(10JJD 630011)

作者简介:何建坤,清华大学现代经济管理研究中心教授、博士生导师(北京 100084)

汽机革命、运输革命、科技革命和计算机革命四次重大的工业革命，当前智能制造、互联制造、定制制造和绿色制造将成为新工业革命的特征^[3]（序言）。《第三次工业革命》作者则认为，历史上数次重大的经济革命都是在新的通讯技术和新的能源系统结合之际发生的。新的能源系统会加深各种经济活动之间的依赖性，促进经济交流，有利于发展更加丰富、更加包容的社会关系，伴随而生的通讯革命也成为组织和管理新能源系统的途径。从而把新能源技术和新通讯技术的革命及相互融合作为每次工业革命的驱动力和特征。其观点抓住了每次工业革命的发生和发展在本质上都是源于能源和动力革命这一根本驱动力，新的能源生产和利用方式的革命为经济社会发展和新技术创新提供了新的动力和广阔空间。而生产和经营、商业和贸易方式的变革和各个领域颠覆性技术的出现则都是能源和动力革命所催生的成果。因此，该书作者对每次工业革命特征和驱动力的分析以及把当前世界新型能源体系变革视为第三次工业革命的观点，更具真知灼见。

纵观人类社会发展史，人类懂得利用“火”烤制熟食开始了原始文明，利用“火”的能量冶炼和打造青铜器和铁器，从而迈向“刀耕火种”的农业文明。从古代看，能源利用及利用技术和方式的根本性变革也是社会生产力发生阶跃式发展的重要驱动力。

第一次工业革命的标志是煤炭取代木柴，并以蒸汽为动力的革命。蒸汽动力技术催生了制造业的机械化和工厂的规模化生产，蒸汽动力机车使铁路运输极大提高了物流和邮政的效率，而机械化印刷“使新闻媒体在第一次工业革命中一跃成为主要的信息传播工具，促进了历史上第一次公众文化普及运动的产生”^[1]。

第二次工业革命的标志是石油取代煤炭，并以电力和燃气为动力的革命。电气化促进了电报、电话、广播、电视等新的通讯革命的发生，为更加复杂的第二次工业革命的管理提供了有力工具。电力和电信技术引发了工厂的电气化和自动化，形成了大批量工业产品自动化生产线的集中大生产方式，同时燃气机的发明以及汽车、飞机等更为便捷的新交通工具的普及也使石油逐渐取代煤炭成为主要的一次能源，社会也随之进入石油时代。

第三次工业革命的特征将是互联网技术与新型可再生能源的融合。新能源技术发展将形成以可再生能源为支撑的新型分布式能源系统，而与分布式网络通讯技术的结合将形成智能型“能源互联网”，实现绿色能源的在线分享。这意味着从前二次工业革命中形成的以化石能源为支柱的能源体系向以可再生能源为基础的可持续能源体系的转型。

第三次工业革命将是以分散采集和转换的可再生能源替代集中开采和转换的煤炭、石油等化石能源。可再生能源就地转化为电力，在智能化区域电网中使用和共享。新的一次能源生产和转换方式的变革，也相应改变能源输配和利用的方式，所以扁平化的智能能源网络应运而生。由于太阳能、风能、水能等可再生能源发电的间歇性，氢将成为新的重要的二次能源载体。利用可再生能源所发电力制氢，氢作为重要的储能方式和洁净无污染的优质二次能源载体，既用来再次发电，又可用于燃料电池驱动汽车。作为一次能源的可再生能源和作为二次能源的氢能的结合，有可能成为第三次工业革命中新型能源体系的重要特征。未来形成以可再生能源为主体的智能化能源体系，氢能技术将是其重要的支柱。这也即将和前两次工业革命一样，第三次工业革命也将是由新型一次能源和新型二次能源相结合的能源生产和利用方式的革命所驱动。目前由于氢的制备、存储、运输和利用等方面的技术还有待新的突破，因其成本昂贵还不能大规模推广。至于未来是否能以“氢能时代”替代“石油时代”，也取决于未来是否有其他竞争技术的突破和新的颠覆性技术的出现。但无论如何，如同第二次工业革命中电气化的广泛影响一样，未来氢能作为无污染优质二次能源渗透到经济社会各个领域时，其颠覆性技术的创新以及新型能源体系基础设施运行方式和管理制度的演变，都将会导致经济生产运营方式和社会生活方式的革命性变革，但具体的表现形式和特征仅凭今天的认知则很难想象和预见。

以新型能源体系革命为标志的第三次工业革命寻求人与自然的和谐，经济社会与资源环境的协调和可持续发展。中外学术界中不少人都认为生态文明将是继原始文明、农业文明、工业文明后的另一个新的社会文明形态^[4]（P138-140）^[5]（P30-32），地球生物圈意识的觉醒则促使经济社会形态由工业文明向生态文明转型。当前以可再生能源开发利用为支柱的新能源革命所带动的第三次工业革命则成为在可持续发展框架下，由

工业文明通向生态文明的必由之路，第三次工业革命的完成也将意味着现代工业文明的终结和生态文明的确立。生态文明是一种长久可持续的社会文明形态，新的能源生产和利用方式的革命将使人类与自然界建立一种和谐伙伴关系，人类不再盲目向大自然摄取资源和排放废物而破坏地球生物圈循环的节律，而是重新回归到地球生物圈生态系统中的应有位置，使经济社会发展与自然生物圈有机地融为一体。最终人类社会不再以消耗地球有限资源和侵占环境容量空间来维持经济社会的持久繁荣和发展，能源生产和使用的CO₂排放也趋于零，实现由当今化石能源为基础的“碳时代”向以可再生能源为基础的“后碳时代”或许是“氢时代”转型。表1列出了第三次工业革命与前两次工业革命特征和标志的差别。

表1 每次工业革命的特征和标志比较

	第一次工业革命	第二次工业革命	第三次工业革命
特征和标志	煤炭+蒸汽动力	石油+电力、燃气	可再生能源+氢
通讯革命	邮政、报纸	电报、电话、广播、电视	智能互联网、移动通讯
经济社会变革	火车、工厂机械化和规模化生产	汽车、工厂大规模自动化生产线、城市化和电气化	电动汽车、网络化、扁平化、个性化、订购式生产和共享
人与自然的的关系	掠夺大自然	全球资源枯竭、环境破坏、生态安全恶化	人与自然和谐和可持续发展
社会文明形态	工业文明	工业文明	生态文明

第一次和第二次工业革命的目标都是大幅度提高劳动生产率，追求社会物质福利或消费效用的最大化，但也带来地球化石能源资源的日趋耗竭和生态环境的严重损害。第三次工业革命则不再单纯以追求经济增长为首要目标，而是寻求人与自然、人与社会和谐，寻求人类社会永续发展的途径。如果说前两次工业革命是在科技进步推动下的自发变革过程，是在少数国家率先进行，各自经历上百年时间不断发展和深化的过程，那么第三次工业革命则是由于日趋强化的资源环境制约和生态安全威胁下被迫的能源生产和消费的革命，是人类社会自觉推动的对自身不可持续发展方式的革命，是促进社会形态由工业文明向生态文明过渡的革命，也是世界各国紧密合作，人类社会主动推动的转变经济社会发展方式的一场革命。因此，第三次工业革命比前两次工业革命将更为紧迫，变革的速度和程度也将更为剧烈，影响也将更为深远。当然，前两次工业革命中所奠定的现代产业基础和科技创新能力也将成为以可再生能源技术与智能化网络技术结合为标志的第三次工业革命的有力支撑。

二、新型能源体系革命引发的经济社会根本性变革

由于能源生产和利用方式革命引发的每次工业革命都将催生新的经济生产方式、管理方式和社会组织方式的根本性变革，带来经济的快速发展和科技进步。正如该书中所言：“能源机制塑造了文明的本质，决定了文明的组织结构、商业和贸易成果的分配、政治力量的作用形式，指导社会关系的形成和发展”^[1]。

“铁路被认为是以煤炭为能源、蒸汽驱动为标志的第一次工业革命的突出成果”^[1]，发展铁路所需要的巨额资金超出当时企业和家族的筹资能力，于是开始发行有价证券，催生了纽约证券交易所，逐渐形成规模庞大的金融市场。铁路从修建到运营组织和管理工作异常庞杂，需要几十万个雇员的有机协调，因此形成了高度集中、由上而下的层级组织结构，以进行有效的管理。进而也导致了资本与管理的分离，形成一支高素质专业化的管理团队和各层级的劳动力队伍。铁路的发展也催生了电报业务，将其作为监测与协调铁路运输的主要通讯工具。规模经济成了第一次工业革命最明显的特征，而效率则成为新型工业时代最重要的价值理念。

第二次工业革命中电力作为方便优质二次能源的广泛使用，催生了汽车等工业品的连续大批量生产的自动化生产装配线，大大提高了劳动生产率，进一步促进了规模经济的发展，石油和燃气机的利用又催生了汽车和飞机的发展，形成更为便捷和高效的交通网络，促进了商品的流通和生产要素的优化组合，促进了跨国公司的形成发展和全球化的进程。管理作为一门科学也造就了职业化企业经营管理人才队伍。而各种金融、保险等现代服务业也随之发展和完善，造就了工业化国家高度发达的生产力和现代文明^[1]。

“第三次工业革命是以分布在世界各地、随处可见的可再生能源为基础，如太阳能、风能、水能、地热、生物质能、海浪能和潮汐能等，这些分散的资源被数百万个不同的能源采集点收集起来，通过智能电网进行整合、分配，最大限度地实现能源的有效利用并维持经济的高效和可持续发展。可再生能源这种分散式的本质更需要合作性的组织结构而不是层级结构”^[1]。虽然第一次和第二次工业革命催生的集中规模化生产极大提高了劳动生产率，但自动化装配线生产的统一型号产品也使得社会消费趋于同质化。而第三次工业革命下的生产和消费方式将更加分散化和个性化，数字化制造技术和3D打印技术的出现也将使制造业更加扁平化，千百万人可以按自己的意愿设计、生产或订购自己喜欢的个性化耐用品或消费品，从而导致充分体现生产者和消费者创新和创意的“定制化”的生产方式和消费方式。这也使物质产品生产不再单纯追求效率，而更追求独特性的使用功能和时尚情趣，消费者更加注重文化生活和精神层面的享受。大规模生产、专业化分工、有组织的生产方式也将被分散化、个性化和自由的工作方式取代，网络化环境可使每个企事业单位员工在家中从事创造性工作和服务，并彼此间随时进行远程交流。同时，减少上下班交通需求比提高效率对于节能减排和缓解交通拥堵更为有效。另一方面，分散的生产者和用户在虚拟空间中组成的分散网络替代了大批批发商到零售商在内的所有中间人，并且消除了供应链中每一个层级的交易成本^[1]。这种生产方式的变革对传统以追求生产效率和消费最大化为核心并以GDP衡量经济产出价值的面向工业文明的经济理论也提出挑战，促进经济社会与生态环境相协调和可持续发展的面向生态文明的新经济学理论体系和衡量指标也将会伴随第三次工业革命的进程应运而生并发展完善。

传统的煤炭、石油等化石能源的集中开发，在其开采、运输、转化过程中都需要巨额投资，需要工业资本和金融资本的结合，从而形成少数寡头的垄断并赚取超额利润，造成越来越悬殊的贫困差别。新型的分散式可再生能源的生产和网络化的共享，对每个生产者和利用者只需少量初始投资额即可介入，这种扁平化的生产和利用结构将有助于社会的公平竞争，缩小分配差别^[1]。

第三次工业革命也必将伴随社会对财富和生活质量观念的转变。传统鼓励获取物质财富并独占排他的财富观和追求物质享受的生活质量观念将越来越受到质疑。环境和生物圈意识的觉醒使人们越来越重视生态保护和环境质量，发展了社会财富和集体观念的思维方式^[1]。全球气候变暖将带来暴雨、干旱、台风等极端气候事件和水资源短缺、疾病传播、海平面上升等灾难性影响，任何国家都无法幸免。大气环境质量恶化和水资源的污染，任何个人都不能独善其身。每个人的消费方式也都会直接影响他人的福祉，私人汽车排出的CO₂也将累积在大气中发挥温室效应，尾气排放形成的PM_{2.5}也会成为都市雾霾天气的一个根源。在满足基本物质生活需要的前提下，清洁的空气、干净的饮水、宜居的环境已变得比个人物质享受更为重要。高水平的生活质量是大家的共同体验和共同利益，孤立排他的生活方式不可能得到真正高质量的生活。所以，合作意识也将成为第三次工业革命在全球开展的重要驱动力。而当前开放的互联网使获得知识和商品交易的成本十分低廉，传统市场财富交换将让位于合作性网络关系的获得，通过租借、分时共享等使得财富的使用权与所有权相分离。这种通过网络与他人分享的全新财富观也有利于促进社会财富的积累和共享，促进集体利益的思维方式以及与生态文明相适应的思想观念的形成和发展^[1]。

每次工业革命都带来社会观念和经济发展方式的根本变革，推动发展理念和消费观念的革命。第三次工业革命将由片面追求经济产出和生产率为核心的工业文明发展理念转变到人与自然、经济与环境、人与社会和谐和可持续发展的生态文明的发展理念；由过度追求物质享受的福利最大化消费理念转变为更加注重精神文明和文化文明的健康、适度的消费理念。第三次工业革命将成为人类社会形态由工业文明向生态文明过渡的必由之路。表格2反映了工业文明与生态文明两种文明形态在社会观念与发展方式上的差别。

实现第二次工业革命到第三次工业革命的转变，最艰难的部分在于观念的改变而非技术发展。也会在第二次工业革命的既得利益者和第三次工业革命的新型利益者之间产生新的冲突和政治对立^[1]。以化石能源为基础的传统的产业思维方式是集中性的，结构是层级制的，传统的思维和既得利益将倾向把可再生能源的发展也纳入规模开发、集中管理、统一分配形成超级电网模式，而非扁平化分散式开发和共享的智能模式。而后者更公平和高效，是第三次工业革命发展方向^[1]。这预示着第三次工业革命绝非一帆风顺，同时也对世界各国推进能源管理体制变革，鼓励发展分布式能源系统，打破电网输电系统的垄断，有着警示的作用。

表 2 生态文明与工业文明的社会观念与发展方式比较

	工业文明	生态文明
社会观念	私有制，追求个人财富和物质享受	合作共享，强调社会公共资源和财富
发展目标和评价指标	GDP 数量，消费效用最大化，生产率和效率最大化	经济发展、社会进步、环境保护等可持续发展的综合指标体系
经济发展方式	资源依赖型、以环境为代价，以化石能源为支撑的高碳发展模式	以可再生能源为支柱的绿色、循环、低碳发展方式
经济与环境关系	环境容量作为约束条件，外部性内部化	人与自然、经济与环境相协调，地球环境空间作为公共资源或生产要素
能源管理方式	集中式、规模化生产和运输的“层级”垂直结构	分布式、智能网络化和扁平化生产与共享结构
消费方式	奢侈型高能耗和高碳消费方式	节俭型节能和低碳消费方式

观念转变对一个国家在新型能源体系革命中能否成功实现转型起着关键性作用，而第三次工业革命中各国发展方式和消费方式的转变速度和程度也可能成为重塑世界经济和政治格局的重要因素。美国的高科技发展引领了上世纪后半叶世界经济的发展和繁荣，但其以高能源消费为支撑的社会消费方式也给当前向新能源体系过渡带来了困难。当前，美国和欧盟、日本的人均 GDP 差别不大，但美国人均能耗高达 10.2 吨标准煤，是欧盟的 2.1 倍，是日本的 1.8 倍^①。尤其是美国人追求大面积住房、大排量汽车和过份物质享受的奢侈浪费的消费方式，不仅使国家和大多数民众入不敷出，经济发展缺乏持续投入，而且成为人均能源消费和人均 CO₂ 排放最高的少数几个国家之一。美国在全球应对气候变化的国际合作进程中，把固守其所崇尚的消费理念视为国家利益，并受国内利益集团的政治博弈所左右，在气候公约谈判中始终处于被动地位。美国拒绝在《京都议定书》下承担发达国家应尽的具有法律约束减排义务的举动受到国际社会的一致谴责。如果美国人不能在第三次工业革命浪潮中及早醒悟，改变其以自我为中心的物质享受主义的消费方式，美国也许会在新能源革命推动的低碳发展浪潮中失去由于高技术创新所占据的对世界经济领先的和主导地位，甚至落后。然而更为糟糕的是，包括中国在内的经济快速发展的新兴发展中国家少数先富裕的人群大都以美国人的消费方式为榜样，对大面积豪华住房、大排量高档汽车和奢侈型物质消费品的追求也在引领这些国家的时尚，使其沿袭美国高碳排放的发展路径，这种与第三次工业革命方向相背离的发展趋势可能会使这些国家丧失跨越式发展的良机。因此，伴随第三次工业革命思想观念的转变需要在全世界范围内迅速传播，需要各国的共同努力和广泛合作。

对新兴发展中国家而言，由新型能源体系革命引发的经济社会发展方式和认识观念的根本性变革，也确实提供了一个实现跨越式发展的难得机遇。在经济社会发展处于重大变革和能源技术出现革命性突破之际，一个国家抓住了机遇，顺应了潮流，就能顺势得以发展和强大，反之则被边缘化、落伍甚至衰落。中国等发展中国家错失了第一次和第二次工业革命的机遇，而正在兴起的第三次工业革命则在很多领域可以和发达国家同步进行和合作开展。发达国家在第一和第二次工业革命中对化石能源的过度消耗和对地球环境容量的过度占用，造成了今天世界性资源缺乏和全球生态安全以及气候变化等全球环境灾难，严重压缩了未来全球的资源供给和环境容量的空间。发展中国家不可能再沿袭发达国家以无节制地消耗地球资源和以生态环境损坏为代价的工业化模式。第三次工业革命将开创新型的与资源环境相协调的可持续发展方式，抓住当前新的能源生产和利用方式的革命性转变之机，可以走出独特的跨越式发展路径，在实现现代化的工业文明的过程中，同时向生态文明的方向迈进。

发达国家在工业过程中，集中的工业大生产方式带动了城市化发展，百分之八、九十的人口聚集和生活在城市。第三次工业革命趋于分散的、扁平化的生产方式，以及更便捷的交通和通讯网络，也将使人们更倾向生活在青山绿水的乡村，与大自然融合，享受更高水平的生活质量和进行更有创意的生产和服务工作。3D 打印、虚拟制造等新兴信息技术的发展将使工业产业的生产区域分散化和个性化，互联网技术和云计算的发展也将快速提升信息获取和传播的效率及降低成本。因此集中型大城市的不断扩展和新建也许不再是发展中国家工业化和现代化过程的必经之路，而环境友好的小城镇也许成为最佳选择，人们的居住

^① 参见 IEA:CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2012, IEA publications, Rue de la Federation, Paris.

也许会朝分散的扁平化方向发展。当前发展中国家城市人口比例都较低，中国城镇人口比例也刚过一半，城市化过程中大规模城市基础设施和住房的建设将消耗大量钢铁、水泥等高耗能产品，造成化石能源消费量的快速增长和 CO₂ 排放的增加。因此需要探索一种新型的与第三次工业革命相衔接的城镇化模式，走出以低碳化和智能化为特征的新型城市化道路。新型城镇的能源基础设施也需要前瞻性的规划和布局，避免发达国家走过的弯路，实现发展路径的跨越。

三、新型能源体系革命的基础设施与治理制度

《第三次工业革命》一书中提出支撑新能源体系革命基础设施的五大支柱：（1）向可再生能源转型；（2）将每大洲的建筑转化为微型发电厂，以便就地收集可再生能源；（3）在每一栋建筑及基础设施中使用氢和其他储能技术，以存储间歇式能源；（4）利用互联网技术将每一大洲的电力网转化为类似于互联网的能源共享网络；（5）将运输工具转向可利用洲际间能源共享网络的插电式或燃料电池动力车。不难看出，该书作者描绘的上述新能源体系基础设施的五大支柱是以太阳能发电为主的可再生能源利用为基础，以建筑物为载体，太阳能间歇式发电的电力部分以转化为氢能储存，可再生能源电力通过洲际间电力智能网络分配共享，同时也将形成以插电式与智能电网连接或以氢燃料电池驱动的汽车运输网络。这种新能源体系将分散的能源转换和利用整合成一个交互共享的和无缝连接的有机整体，以逐渐取代原有集中开采、转换的化石能源体系^①。当然，未来科技创新和颠覆性技术的出现，以可再生能源替代化石能源的新型可持续能源体系基础设施的形式和组成也许与该书“五大支柱”的设想有很大差异，也许会更为复杂和多样化。不同国家和地区由于资源禀赋、自然环境、气候条件、人口密度、经济技术基础和产业布局等方面的差异，未来所形成的新型可持续能源体系的基础设施也不会完全雷同。即使同一地区，往往也需要各种能源形式的互补和有机组合，其具体结合形式也将取决于未来可再生能源体系形成过程中本身的技术创新和运行管理机制的不断演变。也有可能出现其他预想不到的先进能源技术与之互补和共存，例如资源无限而又清洁零碳的核聚变技术，也有可能在本世纪下半叶进入产业化阶段，成为未来可持续能源体系中的重要组成部分。

遍及全球的新型可再生能源体系的基础设施建设需要一个相当长的时期，绝不可能一蹴而就。第一次工业革命和第二次工业革命都经历了一个多世纪，也只在少数发达国家率先完成。第三次工业革命要在全世界范围内实现，也许要持续到本世纪末。新能源技术的创新到大规模商业化推广需要一定的时间周期，需要克服技术、资金、成本、体制和观念等诸多方面的障碍，而且不同类型的国家也受到各自国情和发展阶段的制约。可再生能源对化石能源的替代也是在某些领域和区域首先发生和发展，然后扩展到其他领域和区域的过程，化石能源基础设施在相当长时期内在大多数国家和地区仍会继续发挥作用，当然某些经改造后也可作为可再生能源体系所用。但起码到本世纪中叶之前，仍将是集中化大规模开采、转换和输送的能源体系与分散式、扁平化的可再生能源体系并存和逐渐替代的阶段，在其过程中天然气、核能等某些比煤炭、石油优质低碳的其他能源形式还有发展的空间和潜力。特别是美国对页岩气等非常规天然气资源开发技术的突破，促进了天然气对煤炭和石油的替代，也促进了化石能源体系本身向清洁高效和低碳化的方向发展。在确保安全的基础上，核能作为零排放无碳能源在世界范围特别是新兴发展中大国中，在减少对化石能源依赖、保障能源供应安全、减少 CO₂ 排放等方面，仍将发挥重要的作用。

当前仅占全球 20% 的发达国家 10 多亿人口，其人均能源消费高达 6.5 吨标准煤，是发展中国家的 3.8 倍^①。在其能源消费总量基本趋于稳定的情况下，可以通过大力发展可再生能源来替代化石能源消费，改善能源结构，逐渐向可再生能源体系过渡。而当前以中、印、巴、南为代表的二十几亿人口的新兴经济体正在快速实现工业化，其能源消费总量呈较快上升趋势，其新能源和可再生能源快速增长的供应，首先要满足新增加的能源需求，然后才有可能替代原有化石能源消费的存量。在当前可再生能源的比例较低、基数较小的情况下，可再生能源供应量的快速增长还不能填补新增长的能源需求，所以化石能源消费仍将

① 参见 IEA: CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2012, IEA publications, Rue de la Federation, Paris.

持续增长一定时期后才能到达顶点，然后才有可能开始下降。因此，化石能源的基础设施在一定时期还不得不进一步建设和扩展。未来另外 30 多亿人口的非洲国家和最贫穷国家也要走上工业化的道路，也要分享人类前两次工业革命所形成的工业文明的成果，其能源消费总量也会迎来高速增长的阶段。在当前可再生能源技术尚未臻于成熟、成本较高的情况下，化石能源消费的增长也会不可避免。从这里也可看到，发展中国家在建设可再生能源体系过程中，比发达国家面临更艰巨的任务，全球实现向生态文明的跨越，更需要世界各国的广泛合作。

未来新能源体系的形成和治理，需要建立政府、企业和公众之间开放、透明和广泛合作的关系。第一次和第二次工业革命都需要政府以公共投资的方式积极地参与其中，进行基础设施建设。同时，政府也通过建立新的规章制度和标准对新经济活动进行管理，并通过不同的激励机制和补贴确保新经济秩序的发展和稳定^[1]。鉴于当前全球保护生态安全、减缓 CO₂ 排放合作进程的紧迫性，使可再生能源的发展也更为迫切，而当前在大多数国家和地区可再生能源的发电成本仍然较高，尚不能与不计环境成本的化石能源相竞争，更需要政府发挥主导性作用。新型能源体系基础设施建设也需要巨额投资，并将成为新的经济增长点和带来新的绿色就业，也需要财税金融政策的引导和扶植。各主要国家新兴的碳税和碳交易市场等激励措施、上网电力中可再生能源比例的强制性法规和用能设备及产品严格的能效和环境标准，都是促进可再生能源发展的有效制度保障。在第三次工业革命潮流中，先进可再生能源技术和智能电网技术将成为大国战略必争的高科技产业，是科技创新的前沿和技术竞争的热点领域，掌握具有自主知识产权的先进能源技术和智能电网技术即代表了一个国家和企业的核心技术竞争优势。因此，形成国家、企业和公众紧密结合的可再生能源技术创新体系，是在第三次工业革命中占据先机并争取主导地位的重要因素。

当前为有效应对全球资源枯竭、生态承载能力减弱、环境容量制约和全球气候变化等一系列挑战，推进新能源体系的革命，使全球尽快走上绿色低碳的发展路径，迫切需要推进相应国际制度的改革和建设。《第三次工业革命》一书没有提及能源体系转型中的国际制度建设，更是忽略了发展中国家和发达国家不同发展阶段的发展诉求和能源转型能力上的差别。2012 年 6 月份在巴西里约召开的联合国可持续发展大会，把在可持续发展和消除贫困的框架下发展绿色经济以及国际可持续发展制度框架的建设和改革作为主题^①，这两大主题反映了当前全球可持续发展面临的突出问题，也反映了与第三次工业革命相衔接和呼应的发展目标、路径选择以及相应国际治理制度框架建设的需求。

经济发展、社会进步、环境保护是可持续发展的“三大支柱”，三者互相依存，相辅相成。当前世界南北差距扩大，全球仍有 1/5 的人口处于极端贫困之中，16 亿人仍以薪柴和农作物秸秆为燃料，而享受不到电力等优质能源服务。第三次工业革命实现保护地球生物圈并向生态文明过渡的目标也不应忽视贫穷国家发展经济、摆脱贫困和改善民生的需求，地球上的每个公民都有公平分享现代工业文明成果和获得可持续发展的权利。因此需要公正有效的国际制度和国际合作机制，帮助这些国家和地区在消除贫困和发展经济过程中建立新型可再生能源体系，共同走上绿色低碳的可持续发展路径。

2009 年哥本哈根联合国气候大会就控制全球地表温升不超过 2℃ 达到共识，这就意味着全球的 CO₂ 排放到 2020 年左右达到峰值，到 2050 年比 1990 年的排放水平至少减半，到本世纪末全球要实现近零排放，这与第三次工业革命的发展路径和目标相一致。但当前全球的化石能源消费和相应 CO₂ 排放仍呈增长趋势，如果全球没有大力度减排行动，到 2050 年 CO₂ 排放将达 3~4 倍，到本世纪末全球地表温升甚至可能超过 4℃，造成不可逆转的全球生态危机^②。全球应对气候变化的紧迫性呼吁世界范围的紧密合作。2012 年底多哈气候大会延续了《京都议定书》第二承诺期，并开启《德班平台》的谈判，旨在讨论 2020 年后的国际减排制度框架和 2020 年前各国如何加强减排雄心和力度^③。2014 年 9 月将召开联合国气候变化领导人峰会，以促进 2015 年最终就德班平台谈判达成协议。这既关系到全人类现在和未来的生存和福祉，但也涉及各国在全球环境问题上权利和义务的分担，存在国家间排放空间和发展利益的冲突。建立公

① 参见联合国可持续发展大会：《我们希望的将来》，里约热内卢，2012. 6。

② 参见 IPCC：《气候变化 2007》“IPCC 第四次评估报告决策者摘要”，中国气象局译，2009。

③ 参见 UNFCCC：Decision—/CP. 18 Doha, 7 Dec 2012。

正有效的国际制度框架,既可促进全球合作,又能制约各国无节制的排放,而且能有效地推进世界范围内新型能源体系革命的进程。《气候变化框架公约》中确定的和“里约+20”峰会强调的发展中国家和发达国家公平和“共同但有区别的责任”原则,则是构建国际可持续发展制度的基石。

应该说,发达国家第一次和第二次工业革命中无节制消耗化石能源的CO₂排放,已过多地占用了大气环境容量空间,是当今气候变化的主要责任者,需要率先采取减排行动,并向发展中国家提供应对气候变化的资金、技术和能力建设的支持,这也是《公约》下规定的义务^[6]。发展中国家虽然一定时期内仍需要一定的化石能源消费和碳排放的增长,但也必须同时加强可再生能源体系的建设,避免沿袭发达国家走过的高碳发展路径,尽快向低碳转型。所以公平的国际制度既要促进世界各国间新能源体系转型,又要体现发展中国家公平获得可持续发展的机会和权利。因此,未来公正有效的国际制度要公平地体现世界各国的利益关切和诉求,促进世界各国的广泛参与和合作共赢,改变由少数大国主导全球事务的格局。所以德班平台下2015年后国际减排制度的建设不仅着眼于各国责任义务的分担并体现公平的理念,同时更应着眼于各国发展机遇的共享,建立有效的合作激励机制。这样的国际治理制度也将与第三次工业革命所催生的扁平化合作机制的治理模式相吻合。新型国际治理制度的改革和发展,应促使全球范围内向可再生能源体系过渡,使世界大多数国家和人口都走上绿色低碳的发展路径,实现全世界的繁荣和可持续发展,共同创建生态文明的社会形态。因此,第三次工业革命不应该像第一次和第二次工业革命那样只在少数国家发生和实现,只是少数人依靠掠夺性地摄取全世界的资源 and 无偿占有全球的环境容量空间而受益,并导致国家间贫富差距越来越大的发展鸿沟。

四、新能源体系革命对中国的挑战和机遇

中国推动能源生产和消费的革命,走绿色低碳的可持续发展道路,比发达国家更为迫切,任务也更为艰巨。发达国家已处于后工业化社会,能源需求基本稳定,发展可再生能源可取代原有化石能源,促进能源结构转型。而中国仍处于快速工业化、城镇化发展阶段,能源总需求的增长抵消了节能和可再生能源发展的效果,化石能源消费和相应CO₂排放仍呈较快增长趋势,经济社会发展面临资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势。虽然中国在节能减排方面已付出巨大努力,并取得显著成效,从1990年到2012年,单位GDP的能源强度下降57%,CO₂强度下降60%,而同期发达国家GDP的CO₂强度下降的幅度只有约35%,世界平均水平约15%。中国能效提高的速度之快、幅度之大为世界罕见。但由于经济的快速增长,能源消费和CO₂排放总量大、增长快的趋势也仍难以改变,同期中国GDP增长8.6倍,CO₂排放总量也增长到3.5倍,而世界只增长约50%。从2005—2012年,中国新增的CO₂排放量约占世界同期增长量的60%^①。2012年中国煤炭产量已达36.5亿吨,远超出了科学产能的供应能力,煤炭开采造成严重的水资源破坏和生态环境损害,煤炭采空区土地塌陷已累计达100万公顷,每年还新增6万公顷。石油对外依存度已达58%,超出了美国石油进口的比例,天然气进口比例也达29%,能源供应安全也面临新的挑战。我国2012年能源总消费量达36.17亿吨标准煤,占世界的20.3%,而我国GDP总量只占世界11.5%,单位GDP能耗仍是发达国家的3~4倍^②,提高能源利用的产出效益方面仍有很大空间和潜力。化石能源生产和消费也是常规污染物排放的主要来源,当前环境污染的严峻形势仍未得到根本遏制,今年一月份京津冀地区长时间严重的雾霾天气,PM2.5浓度超标数倍,燃煤和汽车尾气排放是其首要成因。资源环境的刚性制约使当前这种资源依赖型、粗放扩张的发展方式已难以为继,尽快走上绿色低碳的发展路径是中国自身实现可持续发展的内在需要,也是积极参与全球应对气候变化等生态安全合作行动的战略选择。

在全球应对气候变化低碳发展的大背景下,世界能源体系变革趋势已十分明显。其一是更加注重节能和提高能效。上世纪70年代初石油危机后,发达国家把节能视为与煤炭、石油、天然气和核能并列的

① 参见 IEA:CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2012, IEA publications, Rue de la Federation, Paris.

② 参见国家统计局编:中国统计年鉴2012,中国统计出版社,2012.5。

“第五大能源”，当前又进一步把节能放在比开发更为优先的地位，将其视为“第一大能源”。从2007—2011年，气候公约附件II发达国家能源消费总量下降了3.9%，而其GDP总量则增长了5.3%，实现了GDP增长与能源消费增长的完全脱钩。欧盟还制定到2020年节能20%的目标。其二是加速发展新能源和可再生能源，促进能源结构的低碳化。全球风能、太阳能、生物质能和地热能等非水可再生能源供应量2012年比2007年翻了一番，年均增速19%，远高于全球能源总消费量2.0%的增速。2012年与2007年相比，OECD国家能源总消费量减少4.1%，煤炭和石油消费量分别减少12.5%和9.0%，而天然气和可再生能源则分别增长2.8%和92%。英、法、德等欧盟主要成员国都制定2050年电力80%以上来自可再生能源的发展目标，可再生能源技术和产业将面临快速发展的新局面。其三是加强常规和非常规天然气的开发和利用。在化石能源中，天然气是比煤炭、石油更为清洁、高效的低碳能源，产生单位热量的CO₂排放比煤炭低40%以上，用天然气替代煤炭也是促进能源结构低碳化的重要选项。特别是美国由于页岩气开发技术的突破，2012年与2007年比较，天然气产量增长24.9%，在一次能源消费中的比重也由25%上升达30%。相应煤炭消费量下降23.6%，煤炭在一次能源消费中的比重也由24.3%下降到19.8%，单位能耗的CO₂排放强度下降11.2%，能源消费总量下降6.9%，而CO₂排放总量下降11.2%。我国必须顺应世界范围内能源结构更加清洁、高效、低碳化的变革趋势，实施创新驱动战略，在新一轮技术革命中打造竞争优势。

席卷全球的新型能源体系革命，也对中国突破资源和环境制约，实现可持续发展带来机遇。中国在第一次和第二次工业革命中落后，从农业文明时代康乾盛世时GDP总量约占世界1/3的第一大经济体，沦为饱受第一次和第二次工业革命中崛起的西方列强欺辱的半封建半殖民地社会，GDP总量占全球比例逐渐下降到只有百分之一、二。新中国成立特别是改革开放以来，沿袭发达国家以高化石能源消费为支撑的工业化路径，实现了追赶式的发展，在成为世界第二大经济体的同时，能源消费总量和CO₂排放总量也成为世界第一，付出了巨大的资源和环境代价。全球范围内兴起的第三次工业革命将实现由当前不可持续的经济社会发展方式向可持续的生态友好型可持续发展方式转变，全球可再生能源技术的革命性突破和产业化发展的形势与国际合作，对我国走新型工业化道路，建设资源节约型和环境友好型社会，提供了一个跨越式发展的机遇。

我国当前新能源技术发展迅速，在新能源和可再生能源的年增长速度、年投资额、年新增生产能力规模等方面，均居世界领先地位。从2005—2012年，新能源和可再生能源的供应量翻了一番，年增长率达11%^①。当前可再生能源发展速度和规模不断超出原有规划和预期。我国制定了2020年非化石能源比重达15%的目标，届时水电装机将达3.5亿千瓦，风电装机将超过2亿千瓦，太阳能发电也将过亿千瓦。在保证安全的基础上，核能仍将稳步高效发展，届时运行装机将接近6000万千瓦。2020年非化石能源的年总供应量将超过7亿吨标准煤，相当于2010年日本能源消费总量或德国加英国的能源消费总量，成为有效抵消化石能源增长的替代能源^[7]。

但另一方面，由于伴随经济快速增长，新能源和可再生能源供应量的增长仍不能满足较快增长的新增能源需求，化石能源消费量仍呈增长趋势。国内相关研究表明^{[7][8]}，到2030年前后，以可再生能源为主的非化石能源比重可达20%~25%，甚至有可能达到30%，年供应量有望超15亿吨标准煤，成为与煤炭、石油和天然气等化石能源并列的在役主力能源。届时工业化阶段已基本完成，经济趋于内涵式增长，且增速放缓，能源消费量的年增速将下降到2%以下，届时新能源和可再生能源仍以6%~8%的速度增长，可满足新增能源的需求，使化石能源消费量和CO₂排放量跨越峰值并开始下降，从而形成较完善的可再生能源体系。到2050年前后，新能源和可再生能源比例将达三分之一甚至一半左右，到本世纪下半叶将逐渐形成以新能源和再生能源为主体的可持续能源体系，届时经济社会发展将基本不再依赖地球有限的不可再生资源，而且CO₂排放也将逐渐趋于近零排放，以顺应世界新型能源革命的潮流，并适应全球应对气候变化的进程。

新型能源体系革命将在世界范围内促进新能源技术的创新，既会成为新的经济增长点，也会成为国际

① 参见国家统计局编：《中国统计年鉴2012》，中国统计出版社，2012.5。

技术竞争的热点领域。中国在可再生能源前瞻性关键技术的研发和创新能力方面与发达国家尚有一定差距，但在产业化方面总体上已处于先进水平，在风力发电、太阳能发电和热利用、生物燃料、电动汽车等领域，与发达国家同步开展研发，并迅速实现产业化，风电装备和光伏发电装备已大量出口，而且基本上都是具有自主知识产权的先进技术。中国随工业化进程的发展，国内完善的装备制造业基础能力已经形成，具有较强的先进技术的产业化能力。而且中国处于能源需求较快增长的时期，新增能源供应优先选择可再生能源，因此市场需求大，强劲的市场需求是新技术推广的强大动力，其快速占有市场也有利于研发投入的回收，激励企业进一步加大研发投入和进行新的技术创新。全球新能源体系变革的趋势和国际合作，也为我国新能源企业的技术创新创造了良好的国际环境和提升技术竞争力的难得机遇。中国应该在第三次工业革命中发挥积极的引导作用，并顺势发展，由经济大国变为经济强国，再也不能像在第一次和第二次工业革命中那样被边缘化，跟不上时代潮流而落伍。

中国当前努力推动能源生产和消费的革命，促进能源体系的转型，并将其作为加快发展方式转变，推进生态文明建设的核心内容和重要着力点。要努力从当前资源依赖型、粗放扩张的高碳发展方式转变到技术创新型、内涵提高的低碳发展路径上来，要改变当前以扩大投资和增加出口为主要驱动的增长模式。扩大投资推动了基础设施建设、房地产开发和工业产能的扩张，拉动了对钢铁、水泥等高耗能产品的需求，使高耗能产业的比重持续上升或居高不下，进而推动了能源消费量的较快增长。增加的出口也主要是中低端制造业产品，能耗高，增加值率低，当前中国为生产出口产品的能耗约占全国总能耗的 1/4，继续扩大中低端产品出口又是刺激能源需求较快增长的重要因素^[9]。因此要注重居民最终消费和社会保障体系建设对经济增长的拉动作用，通过发展方式的转变减缓能源消费的过快增长。同时要着力发展战略性新兴产业和现代服务业，限制高耗能、高污染和资源密集型产品的出口，加快产业技术升级，推广先进节能技术，提高能源效率，降低产品的能源单耗，提高产品的增加值率，努力建立以低碳排放为特征的产业体系。使经济发展由盲目追求 GDP 增长的速度和规模转变到更加注重经济发展的质量和效益上来，转变到更加注重经济社会的协调平衡和生态环境的质量上来。从而从根本上扭转日趋严重的资源紧缺、环境污染、生态恶化的形势，缓解经济社会发展不平衡、不协调和不可持续的矛盾。

党的十八大把生态文明建设纳入中国特色社会主义事业五位一体的总体布局，提出绿色发展、循环发展、低碳发展的理念，大力推动能源生产和消费革命，这也是统筹国内可持续发展与全球生态安全两个大局的战略选择，和世界范围内第三次工业革命的趋势吻合，目标一致。中国要进一步抓住当前全球和平发展的黄金机遇期，通过科技创新和体制机制创新以及发展方式的转变，在世界第三次工业革命的浪潮中占据先机，争取主动，发挥积极的引导作用。

参考文献

- [1] [美]杰里米·里夫金. 第三次工业革命[M]. 张体伟, 孙豫宁, 译. 北京: 中信出版社, 2009.
- [2] 中国社会科学院工业经济研究所课题组. 第三次工业革命与中国制造业的应对战略[J]. 学习与探索, 2012, (9).
- [3] [英]罗文·彼得·马什. 新工业革命[M]. 北京: 中信出版社, 2013.
- [4] 余谋昌. 生态文明: 人类文明的新形态[J]. 长白学刊, 2007, (2).
- [5] 周生贤. 积极建设生态文明[J]. 求是, 2009, (22).
- [6] 何建坤, 滕飞, 刘滨. 在公平原则下积极推进全球应对气候变化进程[J]. 清华大学学报(哲学社会科学版), 2009, (6).
- [7] 何建坤. 中国能源发展与应对气候变化[J]. 中国人口、资源与环境, 2011, (10).
- [8] 中国工程院. 中国能源中长期发展战略研究[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [9] 顾阿伦, 何建坤, 周玲玲. 中国进出口贸易中的内涵能源及转移排放分析[J]. 清华大学学报(哲学社会科学版), 2010, (9).

(责任编辑 刘传红)