

能源转型向“五化”

低碳化、多元化、全球化、数字化、分散化，将是未来能源转型发展的主要方向。

作者 杨雷 金之钧

随着应对气候变化及防治空气污染压力的不断增大，随着可再生能源、储能、数字化等技术的快速发展和成本的大幅度降低，加上技术革命带来的页岩油气的爆发式增长，能源发展的最大约束将不再是资源，环境和排放将成为影响能源发展的最大外部因素，技术对能源安全的基础性保障作用越来越突出。

可再生能源、天然气等低碳能源的发展将成为未来能源发展的主流，能源发展的动力和外部约束都有重大的变化。能源系统进入了一个快速变化的时期，能源转型正在成为全球主题。低碳化、多元化、全球化、数字化和分散化，将是未来能源发展的主要方向。

低碳化

2015年12月，联合国气候大会在巴黎举行。各国达成了具有里程碑意义的《巴黎协定》，明确了控制气候变化的核心目标——实现与前工业化时期相比将全球温度升幅控制在2℃以内，并争取把温度升幅限制在1.5℃。因为这一目标，《巴黎协定》对能源领域产生了最直接、最深远的影响，因为化石能源燃烧是温室气体排放最主要的来源。

工业革命以来，除了个别经济危机的年份外，与能源相关的二氧化碳排放一直在增长。这一增长曲线在2014年后的三年内稍有停顿，但2017年后又开始爬升。而且进入工业化以来，全球已经排放了22万亿吨当量的二氧化碳（含其他温室气体折算）到大气层中，包括G8在内的全球最富有的17个国家排放量占全球排放量的80%。

为了实现将全球温度升幅控制在2℃以内的目标，避免更加恶化的链式后果，应该控制新增排放总量不超过7000亿吨。

目前，我们每年大概排放420亿吨，其中330亿吨来自与能源相关的排放（占比高达78.57%）。按此计算，即使年度排放不再增长，17年时间就将达到7000亿吨的排放上限。

基于这种严峻的形势，为了遏制与能源相关的二氧化碳排放的增长，世界各国都在采取措施。例如，提高能源利用效率，加快可再生能源的发展，限制新建低效火电站，淘汰老旧低效火电站，促使石油和天然气行业减少甲烷气体直接排放，加快削减化石燃料补贴等。欧洲有些国家已经明确提出2050年将净碳排放量降至零的愿景，实现碳中和。这意味着相关国际贸易及投资的框架条件会发生改变，碳标签甚至碳关税都有可能成为未来国际贸易投资规则的内容。中国作为全球经济发展的重要引领者，势必会受到越来越大的压力。

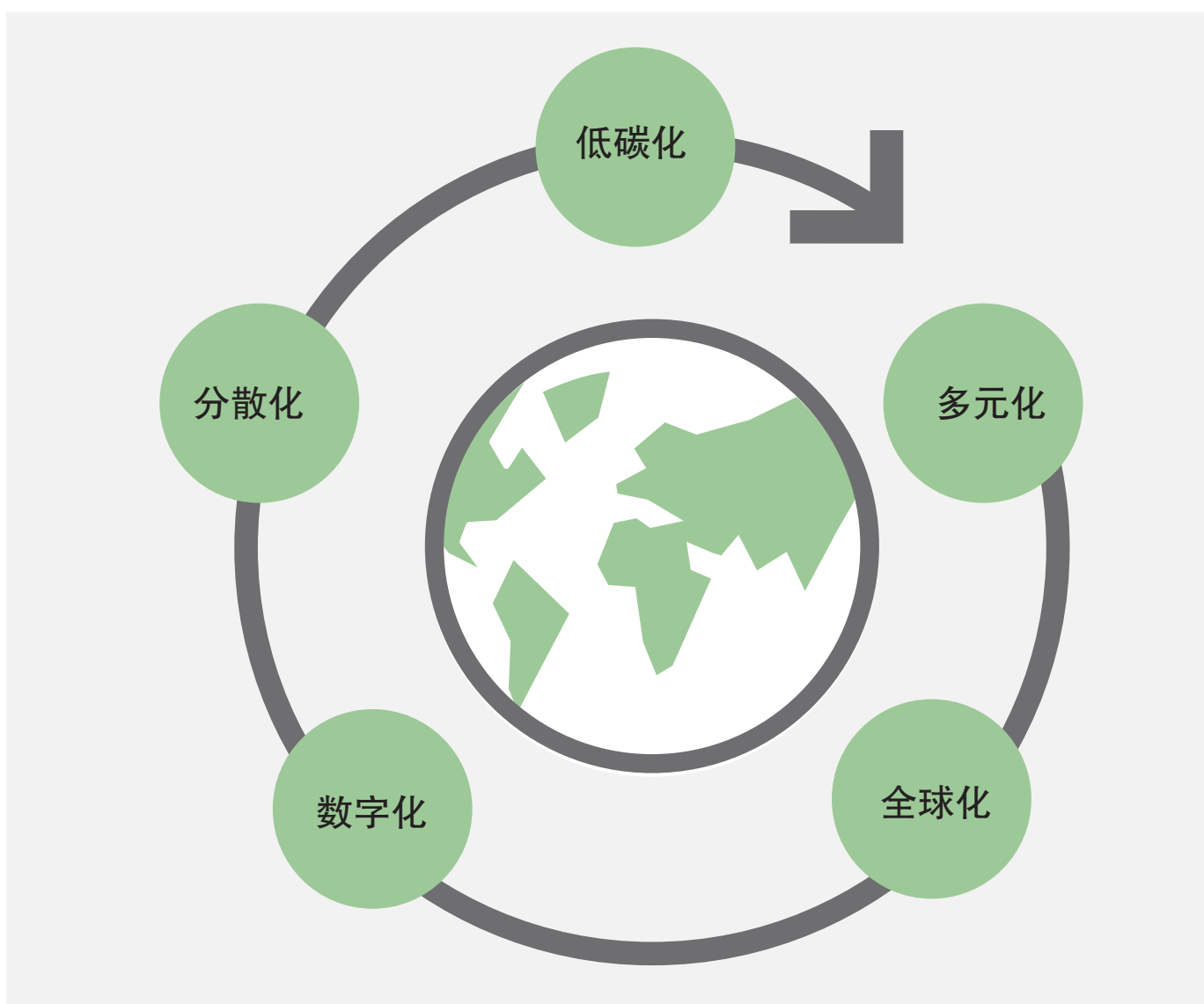
与降低排放密切相关的还有防治空气污染，对此中国有着切肤之痛。目前，空气污染依然是世界性的问题，印度很多城市的空气污染比中国还严重。即使在欧洲很多城市，空气污染问题也备受关注。

一方面有排放和环境的要求，另一方面随着技术的发展和成本的降低，可再生能源已经一定程度上具备与化石能源竞争的潜力，很多新能源技术如雨后春笋般产生。因此，低碳化将成为能源发展的刚性要求和必然趋势。

多元化

石油、煤炭、天然气和可再生能源是全球当前的主体能源，截至2018年底，占比分别为33.6%、27.2%、23.9%和10.9%。可再生能源已经进入快速增长阶段，可再生能源包括太阳能、风能、地热能等，本身就是多元化的。

由于能源基础设施的系统惯性，也



因为全球地区发展不平衡产生的跟随效应，能源的多元化将长期存在。一个大型传统电站将会有二三十年甚至更长的使用寿命。目前，中国的煤炭消费量基本达峰，比重持续降低，但印度、印度尼西亚等发展中国家依然在大量新建火电站，煤炭的消费比重还在持续提高。

当然，还有人们的生活习惯问题。时至今日，欧洲很多地方冬天仍有使用薪柴烧壁炉的传统，而且被看作是一种奢侈和有品位的生活。中国的老百姓更喜欢用明火做饭，这样就使得这部分与天然气相关的消费很难被电力替代。

能源的多元化，客观上对保障能源安全有好处。不同地区能源资源禀赋不同，比如在油田地区，清洁化利用伴生气资源就是较好的选择。多元化的资源供应，也有利于在一种资源遇到问题时及时进行切换。比如，欧洲就曾因俄罗斯的天然气管道断供而重启一些煤电厂，来弥补天然气发电的不足。

全球化

在能源界，“没有哪个国家在能源问题上可以独善其身”已经成为共识。国际能源贸易绝对量不断增长的同时，比重也在大幅度提高。

1980年，全球跨国石油贸易量为3.26亿桶/天，占全球石油消费量的53%。到2018年，全球跨国石油贸易量为7.14亿桶/天，占全球石油消费量的71.5%。

2000年，全球天然气贸易量为5287亿立方米，占全球天然气消费量的22%。2018年，全球天然气贸易量为9434亿立方米，占全球天然气消费量的24.5%。

值得注意的是，LNG占全球天然气贸易量的比重由26.6%提高到了45.7%。

LNG国际贸易的发展使得参与交易的主体数量快速增加，不再局限于数量有限的成熟买家。2018年，拥有LNG进口终端的国家和地区已从2000年的9个增至41个，并有望在2023年达到47个。在LNG供应方面，无论是卖方的数量还是LNG贸易的商业模式，多样性也在增加，交易条款也日益富有灵活性。LNG短期和灵活性交易所占份额变



能源低碳化、多元化、全球化、数字化、分散化转型发展的特征，对我国能源安全是有利的。

得越来越大。

值得重视的是能源技术的全球化，尤其是新能源技术的快速发展，国际上不断加速学习，从技术应用到商业模式创新，都展现出了更加活跃的景象。据中国光伏行业协会的数据，2018年全国光伏组件产量达到8570万千瓦，同比增长14.3%；2019年超过9000万千瓦，其中差不多一半出口到国际市场，供应了全球70%的光伏组件。

美国著名学者杰里米·里夫金在其著作《第三次工业革命》一书中，首先提出了能源互联网的愿景，引发了国内外的广泛关注。2015年9月26日，国家主席习近平在联合国发展峰会上发表重要讲话，倡议探讨构建全球能源互联网，推动以清洁和绿色的方式满足全球电力需求。这是对传统能源发展观的历史超越和重大创新。

在能源政策和全球能源治理方面，相关国家联系日益密切，能源生产和消费国的对话十分频繁，相关的政策协调也在加强。一个典型的例子是在我国推进天然气市场化改革进程中，国际能源署联合相关成员国分享政策实践，提供了有力的支持。

数字化

互联网和数字技术深刻地改变了我们的生活，已经给很多领域带来了巨大的变化，但对能源领域的改变还处于早期阶段。以智能电网、电动汽车、能源物联网、移动储能站、区块链技术等为代表的能源转型相关技术，并不依赖于特定的一次能源，最主要特征是以数据

为核心的智能化，有可能对能源产业乃至人类社会产生更为深远的影响。能源的数字化已经引起各国政府和企业的重视，国际能源署2017年能源部长会的主题报告就是“能源与数字化”。

能源行业是最早得益于数字化的行业。多年前电厂、油气田就开始应用计算机等信息技术来提高自动化水平和管理水平，现在更提出了数字电厂、数字油田、数字炼厂等概念。数字化大大提高了劳动生产率，减少了人工的使用。当前所有主要的石油公司都在推动进一步的数字化，如借助远程视频监控，温度、压力等各式各样的传感器，无人值守的油田井场越来越多。

信息技术正在从更广和更深的层次对能源体系进行重构。从生产端到消费端，数字化将系统地改变能源的整个产业链和生态体系，使整个产业链的每个环节都有有机结合起来，从而极大地提高能源利用效率。华为、阿里巴巴、腾讯、谷歌、特斯拉等新兴的技术公司纷纷在能源领域开展业务，通过大数据、人工智能等手段，提高整个系统的灵活性，更加智能和实时地发现能源需求，并及时地以最低的成本来提供能源服务，从而极大提高能效。这将会改变整个行业的产业链结构和商业模式。

值得重视的是，区块链技术在能源领域已经开始了越来越多的应用。比如，以原油为代表的能源交易平台建设、可再生电力的点对点交易、电动汽车充电、电网资产管理、绿证追踪管理甚至虚拟能源货币，都已经崭露头角。这将会给能源领域带来更深刻变化。

分散化

随着可再生能源的大规模发展及出于提高能源效率的需要，近年来分布式能源发展迅速。

从学术角度，分布式能源的定义一直有不同的版本。按照国际能源署和国家能源局的研究，将分布式能源系统定义为：在靠近消费侧对分布式能源资源进行智能组合，增加能源服务的可靠性和经济性，并降低环境影响的能源系统。

分布式能源的具体形式，包括接入配电网或位于负荷中心附近的天然气分布式能源、分布式可再生能源，以及分布式储能、需求侧响应和能效技术等。这些分布式能源的规模，可以从家庭单位到整个工业区。虽然规模总体上远小于集中式，但由于数量众多，越来越成为能源领域发展的一个重点。

分布式能源的一个突出优势是就地利用和高能效。例如，天然气分布式能源可以通过冷热电联产实现能源的梯级利用，能效可以达到80%以上（按照国家能源局发布的指导意见，天然气分布式能源的能效要求是70%以上），远高于普通电站项目。

新能源正在成为分布式能源发展的主力。因为可再生能源项目往往规模不大，适合分散发展。2018年，中国新增光伏装机4400万千瓦，累计光伏装机1.74亿千瓦，位居全球第一。据中国光伏行业协会公布的数据，2018年新增集中式光伏装机2080万千瓦，分布式光伏装机2320万千瓦，分布式占比为52.7%；2019年继续维持了分布式光伏装机超过集中式光伏装机的势头，且小规模的用户中分布式光伏装机将近一半。

能源领域正在涌现出越来越多的生产型消费者（产消者），屋顶光伏、家庭储能、小型冷热电联供等蓬勃发展。这些既是能源消费者又是能源生产者的新业态，给能源体系高质量发展带来了新的动力和挑战。

应对之策

总体来看，能源低碳化、多元化、全球化、数字化、分散化转型发展的特征，对我国能源安全是有利的。

例如，在能源多元化的进程中，通过大力发展包括核能、水能、太阳能、风能在内的清洁能源和可再生能源，可以大大降低对油气进口的依赖，从而降低油气供应的安全风险。在能源分散化的进程中，可以建立多个局部的能源供需平衡，从而大大降低由于集中供能带来的突发事故风险。当然，“五化”的进程是缓慢的，当前必须高度重视能源安全问题。

大型国际化石油公司面对以低碳化、多元化、全球化、数字化、分散化为特征的能源大转型趋势，大都做出了自己的战略选择——从石油向天然气转变，从常规油气向页岩油气转变，从油气公司向能源公司转变，从化石能源向可再生能源转变，从能源业务向非能源业务转变。这五种转变不一定同时发生在一个石油公司里。不同性质和不同规模的石油公司应采取不一样的战略选择。

总之，能源像粮食和水一样，是人类生存的必需品。能源是现代工业的命脉，是当前百年变局中的重要支撑点。把握能源转型特点，遵循变化规律，正确做出相应的战略选择，对于保障国家能源安全与能源公司基业长青都有着重要的意义。

（作者杨雷，曾先后任职于国家发改委、国家能源局。）

作者金之钧，中国科学院院士，曾任中国石油大学副校长、中国石化副总地质师兼石油勘探开发研究院院长。）