

# 清洁电力的“现实主义”

■本报记者 计红梅

2021年1月1日开始,新核准的陆上风电项目将全面实现平价上网,国家不再予以补贴。

5月24日,国家发展改革委发布的这则“关于完善风电上网电价政策通知”的背后,是近年来风电产业度电成本大幅下降的现实,也意味着可再生能源发电成本已逐渐逼近化石能源发电的成本区间。

然而,虽然从2015年起全球可再生能源新增装机就首次超过新增化石能源装机,但就中国而言,化石能源发电占比居高不下仍是不争的事实。对此,中国工程院原副院长、中国工程院院士谢克昌的总结是,“中国能源的形势用一句话来讲,就是化石能源的地位在可预见的未来不可动摇,构建清洁、低碳、高效、安全的能源体系仍面临严峻挑战。”

与此同时,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在去年韩国仁川的会议上提出,应将地球2100年前所升高的温度控制在1.5摄氏度以内,而不是此前巴黎协定达成共识的2摄氏度。这意味着对二氧化碳减排的要求将进一步提高。作为二氧化碳排放最重要的来源,煤电、气电等化石能源如何与风能、太阳能等可再生能源协调发展、优势互补,尽快形成应对这一压力的“现实主义”方案,也成为迫在眉睫的问题。

## “减排野心与碳排放现实的脱节”

目前,全球能源变化的节奏和方向释放出不同的信号:北美进入了新的油气富足时代,页岩气对其油气市场产生了重大影响;日本则“押宝”氢能,正在向2050年让氢能成为其主要能源的目标努力;太阳能光伏发电已成为很多国家最廉价的发电方式之一……在这些表象背后,是电力需求的持续强劲增长。国际能源署署长法蒂赫·比罗尔在近日于京举行的2019年清洁电力国际工程科技高端论坛上透露,在经济增长和数字化的推动下,全球电力需求增长的速度是能源需求增长速度的两倍,也就是说,能源的世界越来越受到电力的影响。

另外,与节能减排形成强烈反差的是,近两年来,对化石能源较高的需求不断抬高全球碳排放量。即便采取了提高能效、应用可再生能源、煤转气和核能等多种手段,避免了6.4亿吨碳排放,2018年与能源相关的碳排放量仍旧达到了历史新高。



论坛高端访谈环节现场

对中国来说,这一问题更加严峻。谢克昌表示,煤炭在中国一次能源中的比例长期以来都在70%左右,经过“十二五”“十三五”的努力,2018年这一比例已下降到了59%,非化石能源占比也达到了14.3%。因此,此前我国政府所作出的到2020年非化石能源消费比重达到15%的国际承诺一定可以兑现。即便如此,我国能源发展仍面临低碳利用、提高能效、供应安全等诸多方面的挑战。

例如,比较各个国家的能源强度(单位国内生产总值能耗)可以发现,中国能源强度虽然呈下降趋势,但依然是世界平均水平的1.5倍左右,先进发达国家的2倍左右。“这表明我们还有很大的进步空间。”谢克昌说。

更值得注意的是,2000年以来,我国的石油和天然气对外依存度不断攀升。2018年石油对外依存度达到70.8%,天然气依存度达到43.2%。“而未来较长一段时间内,中国能源消费将持续增长,届时过高的石油天然气对外依存度

将会对能源供应安全以及社会经济发展形成巨大的挑战。”谢克昌告诉记者。

针对现状,法蒂赫·比罗尔的结论是,“目前气候及减排方面的野心同现实碳排放之间的脱节越发严重。减排没有单一的解决方案:可再生能源、能效及其他包括储能、CCUS(碳捕获、利用与封存)和氢能利用在内的技术创新都必须必不可少。”

## “清洁高效利用的煤炭也是清洁能源”

国际能源署(IEA)的数据显示,目前燃煤电厂产生了总体碳排放的三分之一,且半数电厂的厂龄不超过15年,因此需要更多政策来支持CCUS、电厂高效运转和技术创新。“CCUS为气候目标利用及封存技术提供了重要的‘操作空间’。”法蒂赫·比罗尔说。

谢克昌更是旗帜鲜明地提出:“清洁高效利用的煤炭也是清洁能源”。他告诉记者,如果

## 百叶窗

# 燃料电池的「春天」即将来临

固体氧化物燃料电池是替代传统发电厂的一种最佳选择,它使用的电化学方法,比现有的基于燃烧的发电机发电效率更高。但燃料电池的降解速度往往太快,成本的增加与带来的效率提升成正比关系。

日前,美国威斯康辛大学麦迪逊分校的工程师们对燃料电池的化学反应取得了新的突破。

“燃料电池是一项具有潜在的颠覆性能力的技术。”威斯康辛大学麦迪逊分校材料科学与工程专业教授、该研究负责人戴恩·摩根表示,“退化问题一直是阻止其进入消费市场的一个主要障碍。”他和他的合作者最近在《自然-通讯》杂志上发表了他们的研究成果。

“高温”是燃料电池退化的一个原因,因为这些设备必须在极高的温度下工作——产生电能的化学反应需在大于1500华氏度才能发生。燃料电池是将氧气与外部燃料源结合,这与火灾中发生的热和光的转化过程类似。然而,燃料电池是在没有燃烧的情况下完成这些化学反应。这就是为什么燃料电池可以比燃烧发电产生效率更高的原因。

然而,燃料电池的工作原理与电池有几分相似,同样由两个电极组成,两电极之间由一种运输离子的电解质材料隔开。其中一个电极将空气中的氧气分解成单个的原子,然后这些可以运输的原子与燃料结合。重要的是,氧气的分解释放了电子,这些电子可以作为电流通过电路为家庭或设备提供电能。这种氧分解反应发生在一个叫做正极的部件上。

但氧气的化学稳定性强,不容易被分解,因此,在低温条件下,用相容的材料高效地驱动化学反应的挑战性是一直存在的,部分原因是研究人员并不真正了解发生在正极上的原子尺度上的化学反应细节。

为了使氧进入正极,气体分子必须分裂成两个原子。然后每个原子必须与一个叫做空位的结构相遇,这是材料表面允许氧进入的一个小的分子间隙。理解这个过程是困难的,因为它发生在正极的顶层原子层,其化学性质可能与材料的主体大不相同。

“测量这两层的化学组成和空位是非常具有挑战性的。”摩根说,这就是他和同事们转向计算机模拟的原因。作为分子模型方面的领先专家,他们将密度泛函理论和动力学模型结合起来,从原子水平深入了解发生在正极顶部两层的反应。

研究小组断定,在被研究的材料中,分裂并不是限制速度的步骤。他们意识到,氧原子在表面找到并进入空位的过程是限制燃料电池效率的关键。因此,具有更多空位的材料可能会使燃料电池的效率大大提高。

研究人员专注于一种特殊的材料,即用于许多普通燃料电池阴极的模型化合物,称为钴酸镍。他们计划不久将分析范围扩大到其他材料。

该发现的影响可能不仅限于燃料电池。与环境交换氧气的材料包括许多应用,例如,水的分解、二氧化碳的减少、气体的分离及被称为电阻器的电子元件等。(刘建文)

相关论文信息:DOI: 10.1038/s41524-019-0173-4

# “煤改电”改出百姓幸福蓝

■本报见习记者 程唯珈

作为最早涉足“煤改电”的地区,北京治理燃煤的系列举措也是我国大气环境治理的写照。除了可有效地改善大气污染外,它也为科学研究提供了重要契机。

近日,中国科学院大学资源与环境学院副院长张元勋教授与中外学者合作,针对北京市“煤改电”政策实施对空气质量、家庭供暖和幸福感知的影响进行了系列评估。相关成果5月13日发表在《自然-能源》上。

## “煤改电”打响雾霾攻坚战

每到冬季,北方供暖地区大规模、长时间的雾霾污染就成为社会的热点话题。相关研究表明,雾霾的产生与冬季供暖的燃烧活动息息相关,燃煤则是“元凶”之一。

据了解,在北京冬季,室外PM2.5的近一半(45%)来自于家庭燃煤污染,在重污染天气甚至高达57%,超过了运输和电力部门的“综合贡献”。

尤其在北京市农村地区住宅,没有任何除尘措施的散煤燃烧不仅对大气环境造成严重污染,更是对人体健康造成了严重危害。“我们曾对北京郊区利用煤炭供暖的250名成年人进行呼吸道调查,冬季PM2.5的个体暴露浓度平均为138 μg/m<sup>3</sup>,比世界卫生组织的参考值25 μg/m<sup>3</sup>高出5倍多。由于PM2.5在呼吸道中受到的阻碍较小,可透过肺血管屏障进入循环系统,使吸附在PM2.5上的有害物质进入肺部甚至血液。”论文作者之一的张元勋告诉《中国科学报》,此外,燃煤造成的空气污染与不良的生育结果、癌症等疾病以及相关的死亡显著相关。

幸运的是,2003年,北京正式开始实施“煤改电”工程,范围涉及核心区、老胡同、文物保护区及部分农村地区。截至2016年,北京地区累计完成58.25万户“煤改电”改造工作,到2018年,已完成约450个村落“煤改电”的改造工程,实现了北京平原地区住宅用户的“无煤化”。

张元勋介绍,改造后,北京全市每个采暖季预计可减少散煤燃烧386.2万吨,减排二氧化碳1004.12万吨、二氧化硫9.27万吨、氮氧化物2.7万吨,节能减排效果显著。

“很多研究表明,大气污染与发病率和死亡率密切相关,但健康效应与相关政策和法规的响应关系却鲜有人研究。”张元勋说,通过量化空气污染及相关干预措施对健康效应的影响,有望实现针对家庭向清洁能源过渡的政策干预,并可对监测煤炭减排的法规提出指导意见。

## 幸福各不相同

为此,团队通过调查问卷、室内温度和空气质量测定、个体暴露样品采集等手段,在北京城郊选择未经改造和改造后的村落进行对比。

其中,调查问卷内容主要包括对生活满意度、居住环境满意度和家庭收入满意度三方面的调查。室内温度测定是在居民房间放置温度传感器并进行实时传输,用于对比不同供暖方式对室内温度的影响。同时,团队还在受试者中选取部分居民佩戴个体暴露采集器,持续48小时进行冬季个体暴露采样。

研究中参与调研的大部分村的常住人口以老人居多。在健康调查中包括一项内容,即测量每户中一位居民的呼出气中的一氧化氮含量,来帮助判断呼吸系统的健康状况。国科大团队骨干之一、大气化学与健康联合实验室博士尚晶告诉《中国科学报》:“当听说吹出一口气的检测成本是一百多块钱后,有的家庭的老人就开始互相谦让,想把这个‘昂贵’的体验机会让给自己的老伴。可见,大家最关心的就是健康问题,这也是环境科学研究所要达到的终极目的之一,就是保护人类健康。”

研究发现,不同收入水平的群体在“煤改电”和现有补贴政策下能够收获的生活幸福感和居住环境改善情况有所差异。“煤改电”工程实施后,北京中、高和部分低收入水平的家庭均减少了煤炭的使用,冬季室内温度有所升高,室内空气质量得到改善,人民生活质量和幸福感也得以提升。然而,相比之下,在低收入地区,已改造区域居民的幸福度却显著低于未改造区域。

“这是由于经济上的窘迫感造成的幸福感降低。”张元勋认为,低收入地区实施改造后,相对于改造前,采暖温度提高的背后是采暖成本的提高,居民支出的增加,这对于低收入地区的居民来说更加重要。因此,环境质量的改善不仅仅是一个技术问题,对于整个区域乃至全国来说,更是一个经济问题。

## 治理大气污染需综合发力

张元勋介绍,该论文所阐述的仅是全部研究的预实验阶段的成果,在2018/2019年冬季和2019/2020年冬季,团队还将进行前后两年的对比研究,以更翔实的数据进一步对北京市“煤改电”和现有补贴政策进行评估。

“下一步我们将对特定的人群进行健康



团队架设室外PM2.5观测仪

“很多研究表明,大气污染与发病率与死亡率密切相关,但健康效应与相关政策和法规的响应关系却鲜有人研究。”

调查,对比不同用煤水平村落居民的呼吸道健康水平状况。”他介绍,团队将随机征集村民进行随访,通过特定的生物标志物来分析村民呼吸系统的健康水平,评估“煤改电”政策影响下村民健康的改善情况。

然而,想要仅仅依靠“煤改电”工程就能实现雾霾的彻底治理还为时尚早。张元勋认为,治理大气污染还需综合发力。

为此,他提出了四点建议:一是不断推进末端治理技术升级和能源结构的调整,提高清洁能源的比例,推广清洁能源的清洁利用技术;二是减少汽车尾气污染,促进机动车排放标准升级、油品质量提升以及高排放老旧车辆的淘汰;三是形成区域联防联控以达到最大成效;四是强化环境经济学、环境管理等领域的研究,综合利用经济杠杆和政策及法律约束,使空气质量改善和经济增长能协同发展。经济和政策方面的研究结论,对于其他空气质量严重的发展中国家如何提高空气质量也会提供重要的参考。

相关论文信息:https://doi.org/10.1038/s41560-019-0386-2

## ■ 能言快语

世界能源发展正处于百年未有的大变革时代。工业革命以来,化石能源的大规模开发利用,有力推动了人类文明的进步,但也带来资源匮乏、环境污染、气候变化、健康贫困等突出问题。推动世界能源转型,是实现全人类可持续发展的必由之路。

从我国和世界来看,能源转型主要体现在四种趋势和特征。

一是在能源供给侧实施清洁替代,能源消费侧实施电能替代,形成清洁主导、电为中心的能源格局,是世界能源转型的大势所趋。预计到2050年,全球清洁能源占一次能源消费比重超过70%;清洁能源发电装机达220亿千瓦,占总装机比重达80%以上;全球用电量超过60万亿千瓦时,人均年用电量将达到6200千瓦时。

二是能源系统向全球互联互通发展。煤炭、石油、天然气都经历了由点对点供应向区域配置、跨国配置的发展历程。随着能源格局向清洁主导、电为中心转变,电网将成为未来能源配置的主要平台。未来,全球电网互联互通方式将发生重大转变,输电规模越来越大,输送距离越来越远,跨国跨洲联网将从现在的“手拉手”变成“心连心”,从目前小功率交换、余缺互济为主,向大容量输电、大型能源基地向负荷中心直送直供转变。

三是能源产业向优质高效升级。以清洁主导、电为中心的能源转型,将有力推动能源产业从以化石能源为中心的产业集群向以清洁能源和电力为中心的产业集群转变,新材料、新能源、储能、电动汽车、高效用电设备等绿色低碳产业比重将大幅增加,带动上下游产业转型升级。

四是融合集成是能源技术发展的重要趋势,一方面,高效清洁发电、先进输电(特高压、柔性直流、超导输电等)、大电网运行控制、储能等电力技术不断创新突破;另一方面,能源电力将与人工智能、大数据、物联网、5G等现代信息通信技术和控制技术深度融合,打造具有高度可控性、灵活性的智慧能源系统,实现多能互补、智能互动,满足用户各种用能需求,推动新一轮能源革命和世界经济转型。

推动世界能源转型,就是要建设全球能源互联网。全球能源互联网的实质是“智能电网+特高压电网+清洁能源”,是清洁能源大规模开发、大范围配置、高效利用的重要平台。要凝聚各方力量,加快构建全球能源互联网,推动实施“两个替代、一个提高、一个回归”(即实施清洁替代和电能替代,大幅提高电气化水平,让化石能源回归原材料属性),打造绿色低碳、互联互通、共建共享的能源共同体,促进实现人类可持续发展。

(作者系中国电力企业联合会理事长,本报记者李惠钰整理)

## ■ 资讯

### 重型燃气轮机 自主研制取得突破性进展

本报讯 近日,由国家电力投资集团(简称国家电投)牵头的国家科技重大专项“重型燃气轮机”自主研制取得了突破性进展。

国家电投方面表示,F级300MW重型燃气轮机概念设计阶段主要设计工作目前已完成,压气机、燃烧室和透平等关键零部件试制和试验正在开展,包括设计研发、材料试制等多方面均实现阶段进展。其中,压气机完成进口多级试验件加工和装配,即将开始试验;燃烧室完成喷嘴和火焰筒等加工制造,正在进行喷嘴低压性能试验;透平完成第一级静、动叶铸件首件鉴定,实现了重型燃机大尺寸高温透平叶片的自主设计及材料、冶炼、制造等国产化。(李惠钰)

### 750千伏串联电抗器 在宁夏电网并网运行

本报讯 5月21日23时13分,随着宁夏银川东变电站开关合闸运行,历经72个小时的现场调试工作圆满结束,750千伏川州(银川东变电站—灵州换流站)I线串联电抗器正式并入宁夏电网运行。该工程是世界首台750千伏电压等级的串联电抗器工程。

川州线串抗工程的投运,能够有效降低750千伏母线短路电流水平,解决银川东变电站750千伏短路电流超标问题,为灵绍直流和昭沂直流配套火电机组的顺利投产和直流功率的提升创造条件,保障迎峰度夏期间灵绍直流大功率外送和对华东电网的功率支援。(盛夏)

# 能源转型是可持续发展的必由之路

■ 刘振亚