

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.001

从战略高度审视中国天然气发电， CHP 和 CCHP

华贲

(华南理工大学 天然气利用研究中心, 广州 510640)

摘要: 在揭示经济—能源—环境关系历史规律与中国能源困局关系的基础上, 阐明了实现“中国梦”目标要求中国在近 20 年内实行的“补足和部分跨越”的能源低碳转型战略。提出在稳步发展非化石能源电力的同时, 抓住工业化和城镇化、智慧能源网络构建等历史机遇, 大力开发国内丰富的各类天然气资源、保障供应和合理价格的基础上, 重点在新开发区推广大中型天然气 CHP/CCHP 能源供应系统, 按 16 h/d 模式运行, 兼作保障电源和昼夜调峰, 是能源利用模式的集成创新; 到 2020/2030 年装机容量可达 200 GW/450 GW, 发电占总量 15% 以上, 拉动总能效从 37% 提高到 50%, 消除终端燃煤导致的雾霾, 减排 CO₂。最后提出了制订能源战略、立法执法替代行政审批, 装备制造配套和商业模式创新等具体建议。

关键词: 能源战略; 低碳转型; 天然气; 热电联产; 冷热电联供

中图分类号: TK01

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)02-0001-08

Regarding Natural Gas Power, CHP & CCHP at the Strategic Height

HUA Ben

(Natural Gas Research Center, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Based on indicating historical law of economy-energy-environment, it is illustrated that realizing “China’s Dream” calls for implementing “Complement & Partially Stride Over” strategy; grasp the historical opportunity of urbanization/industrialization, intelligent energy network establishing, based on developing abundant natural gas resources and guarantee the reasonable price, emphasize to develop thousands of regional natural gas power, CHP and CCHP, which operating as 16 h/d model, in order to cooperate with grid for electricity network balancing. It is the integrated creation of energy utilization model. Up to 2020/2030, its volume would reach 200 GW/450 GW, 15% of the nation’s total power generated, resulting in the energy efficiency increase from 37% up to 50%, eliminate most fog & haze due to terminal coal burning and reduce emission. Finally, work out the low-carbon energy strategy, substitute administrative approving with legislating, gas-turbine manufacturing and commercial model innovation and so on are advanced.

Key words: energy strategy; low-carbon shift; natural gas; CHP; CCHP

0 引言

为什么国内外天然气发电/CHP/CCHP 发展差

异巨大? 表 1 示出了几个国家天然气发电占化石能源总发电量的比较, 可见中国的比率低的异乎寻常。至于天然气 CHP/CCHP, 发达国家自上世纪 70 年代末以来发展不断加速, 发电量已占他们全国总发电量的 10% ~ 15%, 荷兰和丹麦等国甚至超过 40%。而中国自 2004 年以来总共只建成几十个项目, 发电量微不足道。为什么是如此? 天然气在一次能源中的比率数据比较能够说明问题: 本世纪初世界天然气在一次能源中占比都是 24%, 而中国还不到 3%, 经过十多年的大力发展, 目前也还不到 6%。

收稿日期: 2015-05-06

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(51437006)

作者简介: 华贲(1937), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 主要从事能源系统工程研究和工程开发, 包括能量系统优化、天然气利用, 分布式冷热电联供区域能源系统、低碳能源战略等(e-mail) cehuaben@scut.edu.cn。

表1 2012年世界和几个国家化石能源发电构成数据^[1]

Table 1 Electricity Profile Generated by Different Fossil Energy for World & Some Countries

分类地区	化石能源合计/(TW·h)	煤占百分比/%	天然气占百分比/%	石油占百分比/%
世界	15 054	60.7	32.3	7.0
美国	2 960	63.3	35.3	1.4
日本	808	34.8	46.3	18.9
俄罗斯	710	23.1	73.1	3.8
中国	4 200	94.0	6.0	—

注：中国数据为2013年国家统计。

1 天然气在中国低碳转型过渡时期的关键作用^[2]

1.1 从世界工业革命/能源转型历史回顾中认清中国当今的处境及对策

中国是世界主要经济体中唯一以煤为主要一次能源的国家。煤长期占中国一次能源70%左右，2013年消耗煤 3.8×10^9 t，占世界煤耗一半。发达国家90%以上的煤用于除CO₂之外其它环境污染都较小的大机组基荷发电，而中国包括小机组的发电用煤仅占55%。由于仍处于工业化历史阶段，中国用于终端燃料和炼铁和水泥用煤占45%；工业和建筑物终端用燃料中，煤占九成，年总量达十多亿t；这是中国当前低能效、环境污染、雾霾严重、高碳排放的主要原因。

“‘富煤缺油少气’的能源禀赋决定中国能源必须以煤为主”，这几乎已成为不容置疑的思维定势。但这并不符合客观历史规律，是狭隘的小农经济意识和封闭自给意识的产物。200年来世界两次工业革命和能源转型历史证明：用什么能源是特定时代

科技—生产力发展和环境污染治理需求所决定的。第一次工业革命中煤替代薪柴，第二次工业革命中石油的使用超过煤，1980年代环境污染的整治中天然气逐步替代终端燃煤，现在气候变化促使化石能源向低碳转型。在市场价格局下，不同能源禀赋的各国都在相应的发展阶段经历过上述能源转型。

这种思维定势不仅使中国错失了在1980年代与世界同步发展天然气的良机而致今天的上述困局，又妨碍中国在世界已进入第三次工业革命/能源转型的历史关口认清自己的能源处境和战略对策。

1.2 2050年中国伟大复兴的能源环境倒逼的低碳转型战略

到2050年伟大复兴的中国梦决不仅仅是一个GDP数字。“伟大复兴”意味着中国不仅仅在财富和生活水平方面，而且在“社会—能源—环境”等方面都居于前列。例如单位GDP和人均的能耗、碳排放指标都必须处于当时的世界先进水平。不能设想人口和GDP占世界1/6的中国排放占世界1/4~1/3的CO₂。因此，“中国梦”的内容之一就是到本世纪中与世界一样实现能源的低碳转型。

能用30多年走过发达国家150年工业化历程的中国，只要遵循“经济—能源—环境”互相制约的历史规律，认清自己在能源—环境上仍处于第一、二次工业革命期间，落后于发达国家30多年的地位；实行“补足和部分跨越”战略，就能够在10年后实现绝对减排，30年后与世界低碳转型同步。表2和图1示出了按照上述历史进程推算的到2050年中国能源总量、构成、碳排放等情景。

“补足”就是通过补上天然气替代终端燃煤的“历史欠账”，提高能效、改善环境、消除雾霾、减

表2 2005—2050年中国CO₂排放、能源碳强度 ω 和总能耗变化Table 2 Estimation of China's CO₂ Emission, Energy/Carbon Intensity and Total Energy Consumption During 2005 to 2050

年份	CO ₂ 排放/(10 ⁸ t·a ⁻¹)	人口/10 ⁸ 人均CO ₂ 排放/(t·a ⁻¹)	总能耗/10 ⁸ 人均碳排放/(t·a ⁻¹)	能源碳强度 ω /(tCO ₂ /t)	能源强度 ε /(tce/万元GDP)	碳强度 κ /(tCO ₂ /万元GDP)	高碳能源比率 γ /%	煤CCS使用比例 β /%	煤/(10 ⁸ t·a ⁻¹)占比/%	石油/(10 ⁸ t·a ⁻¹)占比/%	天然气/(10 ⁸ t·a ⁻¹)占比/%	其它/(10 ⁸ t·a ⁻¹)占比/%
2005	51(54)	13.1/3.9	22.2/1.7	2.32	0.33	0.76	0.93	0	15.15/70	4.68/21	0.06/2.7	1.47/6.6
2012	80(79)	13.5/7.2	36.2/2.7	2.1	0.29	0.61	0.84	0	37/66.6	4.9/18.8	0.15/5.2	3.4/9.4
2020	(85)	14.0/4.1	44/3.14	1.85	0.27	0.50	0.74	0	36/56	5.5/17	0.43/12	6.6/15
2035	(76)	14.7/3.7	51/3.5	1.42	0.25	0.35	0.57	0.1	28.6/40	5.7/16	0.75/19	12.75/25
2050	(59)	15.0/1.2	54/3.6	1.05	0.20	0.21	0.42	0.2	19/25	5.67/15	1.05/25	19.4/36

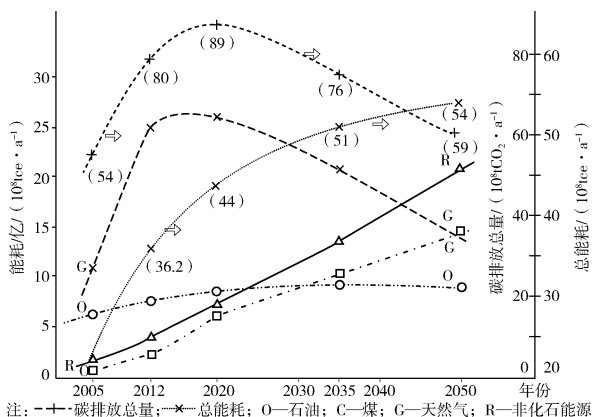


图1 2005—2050年中国CO₂排放、能源碳强度 ω 和总能耗变化趋势图

Fig. 1 Varying Trends of China's CO₂ Emission, Energy/Carbon Intensity and Total Energy Consumption During 2005 to 2050

排CO₂，夯实中国持续发展的能源基础。“部分跨越”就是跨越发达国家“石油世纪”的后半段，把今后交通运输能源和有机化工原料增长的需求不再全都拴在石油这一棵树上，而是藉引进和自主创新低碳的能源利用科技，直接实行低碳替代——包括天然气、生物质和以可再生能源为主的电力。

1.3 天然气在中国低碳转型过渡时期的五大关键作用及其实现途径

“补足”战略的核心是在未来20年充分发挥天然气的关键作用：

1) 在新开发的工业园区和城区工业和建筑物终端普遍推广天然气DES/CCHP，使全国总能效由37%提高到50%，保障经济发展的能源安全供应。

2) 尽可能以天然气CHP/CCHP完全替代既有城市终端燃煤，消除40%源自燃煤的雾霾来源。

3) 在负荷中心以天然气CHP/CCHP发电昼夜调峰和保障供电，并配合越来越多的风电、光伏上网。

4) 加速发展天然气车船，协同HEV和FCV，替代汽柴油燃料，保障交通运输发展所需燃料增量需求，减少雾霾和对进口石油的依赖。

实施以上4点，2025—2035年可以高效利用500~800bcm/a天然气替代 $(10\sim 16)\times 10^8$ tce/a终端燃煤和成亿t/a石油，少排数十亿t/aCO₂。从战略大局上看，这就是中国能源革命的重点。

长期以来各强势利益集团的以短期利益诉求和相互博弈主导舆论和政策走向。“富煤缺油少气能

源禀赋要求以煤为主”，“天然气主要靠进口”，“进口天然气赔钱，必须涨价”，“只能替代油，不可能替代煤”等论调正在严重阻碍中国天然气产业发展。只有提出并坚持实现中国梦的本届领导所推动的深化改革才能从根本上改变这种格局，也才是中国经济社会持续发展的希望所在。

2 中国发展天然气面临的挑战、机遇和应对策略^[3]

从本世纪初以进口澳大利亚LNG开始快速发展的中国天然气产业，十多年来虽然以两位数的年增速发展，但因起步太晚、起点太低，到2014年自产还不到15bcm，天然气消耗占一次能源比率不到6%。相对于中国能源转型所需要的2020年400~450bcm/a，2030—2035年700~800bcm/a的需求来说，面临着供应和价格两大挑战。供应方面，虽然知道我国页岩气、煤层气等资源丰富，位居世界前列；但至今探明程度还只有18%。摸清本国资源的“家底”和产量达到较大规模都需要时间。据中石油研究院估计，中国天然气产量高峰期在2045年。近期不得不部分依靠进口。国内市场价格问题也与此相关。2005年以来，随着国际油价持续高涨，管输和LNG国际贸易价格随之攀升。2014年两次较大幅度涨价后国内市场天然气价格高达等热值煤价的3~4倍。使得占下游市场用户6成以上的以发电、工业燃料和供热为目标的用户完全无法承受。大部分在建项目被迫停止，已经运行的天然气发电和城市供暖项目只在高额补贴下才能运行。有的甚至被迫以煤“逆替代”气。

事实上，与石油一样，大部分国家自产天然气的成本都远低于国际贸易的价格。到2011年，国家发改委按照“成本加成法”规定的国产天然气的均价也还只有1.15元/m³。近年来几个成功开发的页岩气项目的成本也只有1.4元/m³左右。中国页岩气虽然大部分在山区，埋深比美国深几千米，敷设管道成本高昂；但并不能由此得出中国不可能大规模发展页岩气的结论，也并不是只有“复制”美国模式才能发展。中石化四川涪陵页岩气的成功开发已经提供了证据。只要从全局战略和中国国情出发，以市场机制导向，包括放开出厂价格，减免资源税和增值税，初期给予非常规天然气项目少量补贴，以及掌控好中游环节的运营机制，尽可能压低输配

成本等等；中国国产天然气是完全能够快速发展起来，并以较低价格满足下游市场大部分需求的。近10~20年内，只要实现国产气占总量七成格局，不论国际市场价格如何波动，国家都能够掌控下游市场价格，使采用 CHP/CCHP 模式的发电、供热、工业燃料下游市场用户能够承受，并在市场机制下快速拓展。国土资源部2015年颁布的常规天然气地质资源量68 tcm，可采资源量40 tcm，探明程度18%，处于勘探早期；增产潜力很大。业界专家戴金星、翟光明院士最近的文章也看好中国非常规天然气带动中国能源低碳转型的前景^[4-6]。

3 抓住机遇，创新天然气 CHP/CCHP 兼调峰发电的市场模式^[7]

为什么说中国占60%以上份额的天然气发电、供热、工业燃料下游市场用户必须采用 CHP/CCHP 模式才能市场机制下快速拓展呢？回答这个问题，必须先回顾 CHP/CCUP 发展的历史，和中国所面临的挑战和机遇。

热电联产 CHP 是相对于分产分供技术的创新，是百年前燃煤时代开始的。分布式冷热电联供 DES/CCHP 则是1970年代末随着治理污染所推动的天然气替代终端燃煤而创新的能源利用模式；因其远高于燃煤和 CHP 的能源利用效率而在美、日、欧等发达国家快速发展。由于这些国家的工业化和城镇化早已完成，大规模建设新开发区域的机会很少，所以在大型工业区先是用于燃煤 CHP 改烧天然气；又随着区域供冷 DCS 的应用而发展为 CCHP。但从来没有人“规定”CCHP 只能是 CHP + 蒸汽吸收制冷，而可以采用任何高效、经济、适用的模式组合。在既有城市中，受到敷设冷热蒸汽等管道路由的限制，绝大部分 CCHP 项目都规模很小，普遍在1~10 MW 级。但因天然气/电力比价格合理，与电网的协同有法律保障，能够以高的能源利用效率和经济效益运行，设备投资可获合理的回报，所以发展很快。经过30多年的发展，CHP/CCHP 发电量已占他们全国总发电量的10%~15%，如荷兰和丹麦甚至超过40%。

中国建设天然气 CCHP 的热潮是自2004年国际分布式能源联盟在北京召开 DES/CCHP 会议的时候开始的。十多年来政府各部委发出了多个文件，财政部补贴了多个“示范项目”；成立了几个分

布式能源组织、召开了数十次会议和论坛；上海、青岛等城市还发布了最高达3000元/kW的补贴以及优惠气价的政策。力度不可谓不大。但是除了14 MW 级的广东大学城、北京亦庄开发区和南宁华侨城 DES/CCHP 等少数项目在特批的气/电价格条件下正常运行以外，总数共几十个大部分是小型的项目多半处于亏损状态。另一方面，已建成的天然气纯发电机组容量总共46.7 GW 全部用于调峰，但发电量只占全国总量2.1%。用于工业燃料和城市供暖的天然气占下游用量40%，相当大部分还是以传统的技术利用。

为什么中国不能“复制”美、日、欧小型 DES/CCHP 的成功经验呢？主流的观点认为是由于电力法第25条禁止 DES 项目发电上网。其实，更决定性的因素是中国国内天然气与煤和上网电的比价格与上述发达国家倒挂。例如目前美国工业气价只有 ≈ 0.14 美元/ m^3 ，电价 ≈ 0.15 美元/(kW·h)；对每1 m^3 气可发4~5 kW·h 电、兼能供冷热的 CCHP 项目盈利空间很大。而中国即使完全采用终端售价2.2元/ m^3 的国产气，相当于62元/MMBTU，为等热值煤价(0.6元/kg，相当于30.2元/MMBTU)的2倍；上网电价 ≈ 0.5 元/(kW·h)只有煤电的1.3倍，也没有竞争力。在这样的经济边界条件下即使没有电力法第25条，小型 DES/CCHP 也难盈利。这也是美国、日本、俄罗斯天然气发电量可以占总发电量30%~50%，而中国只有2.1%的原因。

中国没必要“复制”别人的模式，而应发挥优势、抓住机遇，走出独特的创新之路。中国有哪些历史性机遇呢？

1) 机遇一：新型工业化和城镇化。已完成工业化和城镇化的美国2012年总共3738座 CHP/CCHP 中95%都是小型，但占总数5%的198个大型(>100 MW)项目装机总量却占65%。日本也是如此。正在工业化、城镇化中期，大规模建设上千个各类新区的中国，有集中调配资源办大事的现有经济体制优势和天然气快速发展的时机，正好可以在所有新区同步配套建设大型天然气 DES/CCHP。在十多个平均几十 km^2 的新区已经规划设计的一批大型项目的可行性研究数据表明，能为区内绝大多数用户提供从电力、供暖、空调、蒸汽到生活热水的 DES/CCHP 系统，能效可达70~90%，年能耗

费减半，碳排放降低 70%；新增的投资回收期仅在 10 年左右。这个历史机遇是发达国家所没有的。10~20 年内，中国未来增量经济主要所在的新区能效高达 70% 以上。与其它各种节能措施相结合，就可以拉动全国利用效率从现在的 37% 提高到世均的 50% 左右；为保障经济发展奠立可靠和低碳的能源环境基础。

2) 机遇二：配合中国电力系统发展^[4-6]。已建成世界最大规模的中国电力系统主要电源在西、主要负荷在东部的地缘格局，严重依赖“西电东送”；并且煤电占七成以上、核电和风电占比越来越大。这样的系统面临着两个极大的挑战：负荷中心缺乏自有电源的供电保障，昼夜调峰能力严重不足。目前强迫煤电机组调峰近乎饮鸩止渴。如果上述上千个百兆瓦级的区域型 DES/CCHP 采用 16 h/d 的运行模式、昼开夜停，正好可以起到配合昼夜调峰和保障负荷中心电力供应的两大作用。预计到 2020 年当中国核电和风电装机达到 13%、约 200 GW 的时候，上述大中型 CCHP 也能够达到这个比率。按 16 h/d 模式运行的 DES/CCHP 技术上完全能够保证各类冷热电汽终端用户在不同时段的需求，为避免受冷水输送经济距离限制和夜间开机供蒸汽，1 个 DES 带多个采用电制冷而不是蒸汽吸收制冷的 DCS（区域供冷系统），白天发电自用兼制冷、夜间停机耗用网上谷电；实现同时双向协同电网调峰：夜间不仅不发电，还耗用谷电；白天向电网供应高价值的峰段和平段电力；因此理应获得较高的上网电价。国外峰电为平段电价 1.8 倍、谷电价的 3~5 倍，随着改革进程国内也必将如此。这将进一步提高 CCHP 的经济性，使其可在市场机制下快速发展^[8-10]。

3) 机遇三：向低碳转型的智慧能源网络。比发达国家晚了 30 年发展天然气 CCHP 的中国，恰好赶上了世界第三次工业革命和能源转型的历史机遇。未来以可再生能源为主的能源系统将是智能电网为骨干、连接各类储能设施和分布式供能系统 DES 的、智慧能源网络 (Intelligent Energy Network)。杰里米·里夫金^[11]在《第三次工业革命》中指出，未来商业和居民建筑的 DES 将以光伏为主要一次能源。就像如今在德国已经相当程度实现的那样。但能量密集的百兆瓦规模的工业园区/大型社区显然不能主要依靠光伏，而需要以太阳能热发电、小型核电和包括生物质在内的各类天然气为一

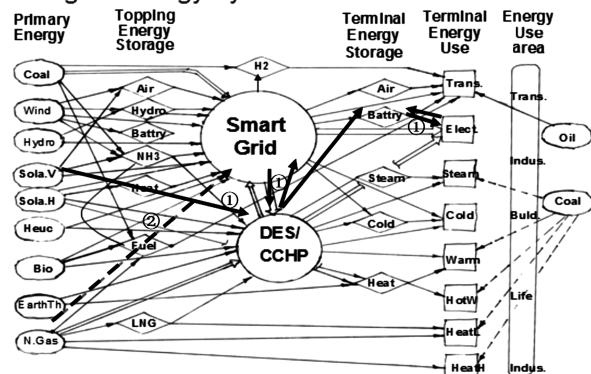
次能源的 CCHP。在现在建设的天然气 DES/CCHP 基础上很容易改造。后发的中国恰好赶上这个直接跨越式发展的历史机遇^[11]。

4 未来 20 年中国天然气发电/CHP/CCHP 发展前景

4.1 第三次工业革命时代的智慧能源网络

图 2 示出了未来智能电网骨架连接着上千个大型工业(社区)DES/CCHP 和亿万个小、带储能设施的建筑物 DES/CCHP 的智慧能源网络 IEN 的架构。能量密集的大型工业区 DES/CCHP 提供 40% 以上的总能耗供应(对后工业化国家可能不到 30%)。其一次能源包括小型百兆瓦级核能，百兆瓦级太阳能光热，深层水源和“干热岩”地热；以及包括生物质热解或气化、发酵产生的甲烷的气体、天然气水合物，和可够人类用 100 年的常规和非常规天然气。

Intelligent Energy System Towards Low Carbon Era



注：①粗实线——分布式光伏，②粗虚线——天然气纯发电

图 2 未来第三次工业革命时代智慧能源网络 IEN 大致架构

Fig. 2 The Rough Architecture of Intelligent Energy Network at Incoming Third Industry Revolution Era

目前世界光伏装机中分布式已占 68.9%，美、德、日更高达 80% 以上。随着技术的进展，未来三类地区非直射光线也能够产生电流；以光伏为主要一次能源的小型 DES 将可满足低层建筑物 80% 的能源需求。利用能量转换技术，包括空凋制冷、供暖、热水等各种终端需求都将可由电获得。随着小型分散储能(电)技术成本不断降低，未来智慧能源网络中占总数 95% 以上的光伏为主 + 分散储能的民、商用小型 DES 将大大减小对电网的依赖；而提供占总量 30% 以上的终端能源供应需求。

4.2 未来20年中国电力一次能源构成和天然气发电走势

2013年全国发电量中煤电占76.8%，气电占2.1%，其余非化石能源发电占20.1%（其中水电16.3%、风电2.5%、核电2.1%、太阳能+生物质发电0.1%）。随着中国能源低碳转型进程，预计2035年人均电耗7 000 kW·h/a，总发电量1.0 TW·h/a，煤电比率可降到45%，非化石能源发电比率增加到40%，气电(CCHP)15%左右。这些气电既非基荷发电，也非纯调峰发电，而几乎全都是来自上千个工业园区(住区)供应终端冷热电蒸汽的大型天然气DES/CCHP配合抽水蓄能调峰发的电。随着国产天然气大增而可进一步把“十一五”开始建设的燃煤CHP改造为天然气DES/CCHP，全面替代终端燃煤。但直至2035年过后有与带CCS的煤电的竞争力时，才有可能出现前几年美国那样非CCHP气电替代煤电的进程。

4.3 区域型天然气CHP/CCHP兼调峰发电是中国能源利用方式的创新

中国利用与发达国家工业化和城镇化与能源转型进程“时间差”的机遇而全面推广区域型天然气CHP/CCHP兼调峰发电产业，是世界能源利用史上的一个集成创新。因为它所涉及的不仅是具体领域的技术，更涉及到一个国家经济—能源—环境全局的战略发展模式。这对于有几十亿人口的、正在和尚未开展工业化和城镇化的广大发展中国家，有着很强的借鉴作用。为他们指出了加速开发天然气资源，提高能效，走跨越式发展的低碳之路。2012年在德国法兰克福展开的国际供电会议上笔者发言介绍这一模式时，关注者多半来自发展中国家。

4.4 未来20年中国天然气发电/CHP/CCHP发展前景分析

由当前中国工业化和城镇化进程决定，DES/CCH项目有三种规模。大型的装机容量>100 MW(十万千瓦级)，适于新规划的大城市新工业(城)区；也包括已建成的2台300~350 MW燃煤CHP

改燃天然气；到2020和2035年有可能分别达到200座和800座，总装机容量分别达到100和300 GW。中型10~100 MW(万千瓦级)适于新规划的中心镇，已经开发建设城市近郊乡镇工业园区的改造，以及近十年来已经建成的新开发城区、老城区的逐步改造；到2020和2035年有可能分别达到1000个和3000个，总装机容量分别达到100 GW和150 GW。而在已有的城市中心区，则可以类如发达国家那样见缝插针地建设规模<10 MW级的小型DES/CCHP，总数在2020年可达1万个和2035年的4万个，总装机容量达50 GW和150 GW。三种规模合计，2020和2035年CHP/CCHP总装机分别为250 GW和600 GW，见表3。

随着一次能源的低碳转型，到2035年将产生一批100 MW级核电或太阳能热发电为主要一次能源的大型DES/CCHP。小型DES则更多由光伏+储能系统替代天然气CCHP。至于总发电量，2020/2035年将分别达1 TW·h/a和近2 TW·h/a。这是因为区域型天然气CCHP年运行可达4 500 h/a，但是光伏为主的DES有2 000 h/a左右就不错了。

5 需要制订战略、体制和机制改革，装备制造配套和商业模式创新

现实状况与上述发展情景南辕北辙，这是观念和思维方式所主导的体制和机制因素所决定的。归根结底是上层建筑与基础、生产关系与生产力相适应的问题。解决的希望就在深化改革之中。

5.1 摆脱利益博弈格局，制订中国能源低碳转型战略

由于体制和机制因素，长期以来的许多政策都是由强势集团的现实利益博弈所左右的。近两轮天然气涨价就是代表。主流舆论说的都“在理”(“会哭的孩子有奶吃”)。为什么没有“为所有孩子健康成长”而据理力争的舆论？就是因为尚未形成一个代表这个大局长远利益的强势集团。令人振奋的是新一届领导核心正在扎实地构筑这样的强势集团。

表3 中国低碳发展对以天然气为主的DES/CCHP的需求预估

Table 3 Estimation of Natural Gas Based DES/CCHP Prospect, Demanded by China's Low-Carbon Development

年份	大型(>100 MW)/座	大型总装机容量/GW	中型(10—100 MW)/座	中型总装机容量/GW	小型(<10MW)/座	小型总装机容量/GW	合计总装机容量/GW	天然气发电量占比/%
2020	200	100	1 000	100	10 000	50	250	90
2035	800	300	2 000	150	40 000	150	600	70

一步一个脚印地实现中华民族伟大复兴的“中国梦”将彻底改变迄今所沿袭的观念和思维方式及相应的体制和机制。当务之急就是从这个大局出发制订出中国能源低碳转型的长期战略；为构建大力推进新的生产力发展的生产关系指明方向。

5.2 深化改革、立法推进区域高效能源系统建设

以红头文件、“示范项目”、财政补贴引导申报，层层审批；自上而下分配资源、指标、配额的权力治理体系，是与计划经济相适应的行政管理模式，不适应市场经济的基础；而且滋生“找关系”、“跑部钱进”等寻租现象。适应社会主义市场经济的上层建筑的核心是依法治国。国家立法和执法着眼长远目标和大局，具有强制性，同时约束各级政府和所有企业的行为和目标取向。是上层建筑反过来规范和促进基础和生产力健康发展的强有力的机制。人大立法推进区域能源建设的主要内容是：

1) 区域总体规划和控制性详规必须切实包括能源规划的实质性内容，国土部门必须落实能源系统用地、选址和各类管线的路由与产业、市政、道路、水电等其它各项规划衔接。并与整个区域发展规划分阶段无缝衔接。

2) 具体规定区域能源建设到一定年份的具体指标：包括能源强度、能效(70%)和人均能耗、碳强度和人均碳排放。

3) 明确规定责任和运作机制：规划由地方政府负责组织制定，必要时由同级人大立法通过；能源建设项目按市场机制运作，由当地政府组织招标，监督项目运作和供能价格监管，保证指标的落实。

5.3 装备制造配套发展和攻关

几千个区域型天然气 CHP/CCHP 项目建设将带动一个几万亿人民币投资的新型低碳产业，创造上千万个就业机会，拉动一批能源装备制造业的发展和出口创汇，是推动经济增长方式和产业转型的生力军。与此同时，天然气 CHP/CCHP 项目的核心装备——大型燃气轮机的国产化，是中国制造业科技创新的挑战和机遇；也是我国机械制造业最后一个必须攻下的堡垒。

100 ~ 350 MW 的燃气轮机是中国大、中型 CHP/CCHP 项目的核心装备，长期依靠进口。迄今主要由 GE、西门子、三菱等几家大公司垄断。2014 年以来已有几家央企分别或联手组织引进、并购或自主攻关。相信能够独立开发掌握航天技术的

中国一定能也成功制造燃气轮机。需要指出的是：国外所有百兆瓦以上大型燃机都是按照 24 h/d 连续运行设计的工业燃气轮机；少数企业生产航机改型的陆用机最大的仅有 25 ~ 60 MW，用于大型系统台数过多、影响经济性。按上述估计中国 2030 年大、中型装机 450 GW 的前景来说，即使全部用 100 MW 的大型机也需 4 500 台。迄今国外因缺乏市场需求并没有开发耐低周疲劳的大型燃机技术。上述中国集成创新的核心技术难题就是研发制造适应昼开夜停所要求的、部件耐低周疲劳的大型燃气轮机。这项技术突破的任务落到了中国人的肩上。这不仅需要以制造企业为主体，也需要国家组织从多个学科的基础研究到应用研究的支持和配合。

5.4 项目开发建设和行业发展模式的创新

二十年前的国企改革在煤碳、油气、电力、电网、动力机械、工程建设等各个能源行业造就的一批央企已经快速成长为世界 500 强的成员。但它们在第三次工业革命中出现的新生产力面前却表现出“不适应”。上述百兆瓦级区域 DES/CCHP 项目要求从燃气供应到发电、动力工程、供冷供热服务到电网等多个领域企业的协同合作。但许多参与的央企却都想“独大”控股，“排他”不成就开始“从主业向上下游延伸”以形成全产业链的纵向“自给自足”：电力公司投资天然气勘探开发和装备制造，油气公司和电网公司投资能源服务。这不是资源的最优配置。

什么样的生产关系适应这种第三次能源转型的新生产力的发展？这是需要上层建筑的深化改革所解决的课题。分布式供能天生排斥“自上而下集中垄断”，体现第三次工业革命“分散”、“扁平化”、“合作共赢”精神的新生产力，必将推动相应的生产关系的变革，以及中国能源体制改革创新。这将与生产力的创新同样是对世界的巨大贡献。

6 结论

本文从从战略高度审视了中国天然气发电，CHP 和 CCHP 的重要意义和发展前景，结论如下：

1) 当前中国提高能效、减排 CO₂、治理环境污染和雾霾的关键，是遵循经济—能源—环境间相互依存和制约的规律，采取“补足和部分跨越”战略，逐步向低碳能源转型。

2) 从战略高度加速勘探开发我国丰富的各类天

然气资源,能够保障低碳转型所需的大部分天然气供应和较为合理的下游市场消费价格。

3)抓住工业化和城镇化、智慧能源网络构建等历史性机遇,在新开发区域普遍推广按16 h/d模式运行,兼作保障电源和昼夜调峰的大中型天然气CHP/CCHP能源供应系统,是中国向低碳转型的重要战略和对能源利用模式的集成创新。

4)到2020/2035年大中型天然气DES/CCHP装机容量可达200 GW/450 GW,发电占总量15%以上,拉动总能效从37%提高到50%,有效抑制雾霾减排CO₂。

参考文献:

- [1] International Energy Agency (IEA). 2013 Key Word Energy Statistics [EB/OL]. 2013 [2013 - 10 - 07] http://www.iea.org/newsroomandevents/news/2013/october/name_43668_en.html.
- [2] 华贲. 天然气与中国能源低碳转型战略 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2015, 1-99.
HUA Ben. Natural Gas and China's Energy Strategy Towards Low Carbon [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2015, 1-99.
- [3] 华贲. 天然气与中国能源低碳转型战略 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2015, 100-142.
- [4] 范珊珊. 我国天然气资源潜力大于石油 [EB/OL]. 2015 [2015 - 05 - 06]
- [5] 戴金星. 中国非常规油气发展的方向 [EB/OL]. 2014 [2014 - 04 - 17] <http://www.oilobserver.com/brilliant-opinion/>

- article/592.
- [6] 周靖华. 向华北老层系要气——专访中国工程院院士翟光明 [N]. 中国石油新闻中心, 2015 - 04 - 15.
- [7] 华贲. 天然气与中国能源低碳转型战略 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2015, 143-229.
- [8] 华贲. 区域分布式能源与智能电网供电保障和调峰的战略协同 [J]. 中国电业技术版, 2011(3): 1-6.
HUA Ben. Strategic Synergy of DES and Smart Grid Supply Ensuring and Peak Shaving [J]. China Electric Power(Technology Edition), 2011(3): 1-6.
- [9] 华贲. 分布式能源与电网优化配置和供电可靠性 [J]. 中国发电, 2011(10): 24-26.
HUA Ben. Optimal Allocation and Power Distribution Reliability Between Distributed Energy Resource and Power Grid [J]. China Generation, 2011(10): 24-26.
- [10] 华贲. 天然气发电项目分类与审批办法建议——兼论分布式供能系统与冷热电联供的关系 [J]. 沈阳工程学院学报, 2011, 7(4): 289-293.
HUA Ben. Suggestion on Classification and Examination and Approval of Gas Generation Projects: Concurrently Discuss the Relation Between Distributed Energy Supply System and CCHP [J]. Journal of Shenyang Institute of Engineering(Natural Science) [J]. 2011, 7(4): 289-293.
- [11] 杰里米·里夫金. 第三次工业革命 [M]. 张林伟译. 北京: 中信出版社, 2012.
JEREMY Rifkin. The Third Revolution of Science and Technology [M]. Translated by ZHANG Linwei. Beijing: China CITIC Press, 2012.

(责任编辑 郑文棠)

《南方能源建设》启用网上投稿与审稿系统的通告

为适应期刊出版行业发展形式,建立读者、作者、编者和专家之间网上直接沟通的渠道,进一步推进期刊管理信息化平台建设,能源科技类学术期刊《南方能源建设》(ISSN 2095-8676, CN 44-1715/TK, CODEN: NFNJJK)主办单位与国家知识基础设施(CNKI中国知网)签订了合作协议,正式推出CNKI中国知网上投稿和审稿办公系统(<http://nynf.cbpt.cnki.net/>),该系统于2015年7月1日起试运行,试运行期为1个月,本系统中作者可以网上投稿、查询稿件处理进度,下载修改稿件;专家可以网上审稿,下载本刊的过刊全文和查询最新文章收录情况。本刊热忱欢迎能源领域的专家(一般要求副高级以上职称或者具有博士学位)登陆网上审稿专家系统,成为本刊审稿专家。

在新系统试运行期间,未能成功注册的作者可将稿件和建议发至《南方能源建设》编辑部邮箱(nfnjstg@gedi.com.cn),为方便作者查稿,编辑部推荐作者尽快熟悉和使用CNKI中国知网上投稿系统,试运行期后编辑部邮箱将不再接受论文投稿,如果您的投稿没有回复,请尽快联系(020-32116683),以免耽误刊发日期。

《南方能源建设》期刊主办单位

2015年6月25日