

天然气在应对全球气候变化中作用的思考

□ 中国市政工程华北设计研究院总院（300074） 李猷嘉

1 低碳化是世界能源的发展趋势

人类赖以生存的能源在历史的长河中一直在沿着低碳化的方向发展，19世纪以来更是十分明显。图1给出了1850年—2000年能源低碳化的发展趋势^[1]。

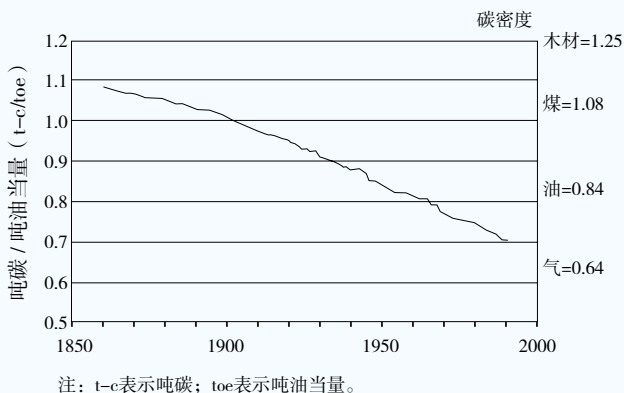


图1 1850年—2000年能源低碳化的发展趋势

以碳密度（吨碳/吨油当量，t-c/toe）而言，木材为1.25，煤炭为1.08，石油为0.84，天然气为0.64。在150年间，碳密度平均每年减少0.3%，这一趋势主要与能源工业的科技发展有关。不同类别的能源，在发展过程中均需考虑采集、处理、储存、分配和使用几个环节。从工程技术观点看，缺少哪一个环节就会影响使用的可靠性和安全性，科技的进步就要不失时机的克服一个个障碍。从上述几个环节分析，每类能源的发展都伴随着技术难点的出现。从难易程度看，最简单的是木材（秸秆），其次是煤炭，再次是石油（管道输送与油库建设），再次是天然气（输送和储存）。发展到一定规模后，技术要求均在不断提高，可再生能源的利用也相类似。在一种能源过渡到另一

种能源时，必须进行全面评估，特别要考虑经济问题，工程建设的成败离不开经济的可行性。另一个思路是能源的发展开始都有一个互补的过程，如木材和煤炭、煤炭和石油、石油和天然气、天然气和可再生能源，互补过程可能很长，决定于技术经济的成熟程度，从上世纪下半叶开始，又形成了一个环境问题，使评估工作更趋于复杂化。

2 气候变化催生了低碳经济

从上世纪后半叶起，开始了对环境问题的关注，出版了《寂静的春天》、《增长的极限》和《只有一个地球》等著作，动摇了许多传统的视角和观念，深刻揭示了工业繁荣背后的人与自然冲突，开始探讨人类对于自然未来发展的战略和对人类未来的整体关怀。1987年，世界环境与发展委员会（World Commission Environment and Development）发表了《我们共同的未来》（Our Common Future），从战略高度定义了“可持续发展是既满足当代的需要，又不对后代满足需求能力构成危害的发展”。气候变化，环境、节能、可持续战略以及安全供应和社会因素等成为可持续发展的驱动力。

1997年，联合国气候变化框架公约大会（FCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change）在日本京都通过了《京都议定书》（Kyoto Protocol），提出了到2008年，最迟到2012年，全世界温室气体的排放量必须比1990年的排放量减少至少5.2%（但大会以来，反而增加了20%）；当时主要针对发达国家提出了要求，对发展中国家并没有

提出减排指标。当时的认识认为,许多环境问题都互相牵连^[2],于是在国际上进行了许多的研究工作和讨论,例如:人口的增长、资源的节约、生物的多样性和气候的变化,而后者又直接与能源工业有很大的关系,需要在国际间开展更为深入的研究。1990年,建立了政府间关于气候变化的专家委员会(IPCC—International Panel on Climate Change),由上述FCCC批准,160个(现已增加到180个)国际和地区成员的代表参加。第一次成员大会(COP-2)于1995年在柏林召开;第二次会议(COP-2)于1996年在瑞士日内瓦召开,至今已开了15次(COP-15)。在COP-2上签署了IPCC的第二个评估报告,这一报告宣称已有“明确的证据”——即人为的活动要为气候变化和“全球变暖”效应负责。但对此当时也有反对的声音,例如欧洲科学和环境会议^[2](The Global Warming Debate, The Report of the European Science and Environment Forum, Ed J Emsley, 1996, Bourne Press Limited, Bournemouth)。现在,IPCC的工作已被接受为权威性的政策制定基础,FCCC的作用也就不再继续。虽不时仍有反对意见,已渐成为非主流看法。

第三次评估报告(2000)(AR-3)^[3]给出的温度线性趋势为 $0.6^{\circ}\text{C}[0.4^{\circ}\text{C} \sim 0.8^{\circ}\text{C}]$ 的相应趋势(1901年—2000年),方括号内的数字表示某个最佳估值的可能性为90%的不确定性区间。

2007年推出了第四次评估报告,明确指出人类活动已对全球气候产生了显著的影响(即我国通常所说的“已是不争的事实”),特别是最近的半个世纪。1906年—2005年全球地表气温上升 $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$,高于第三次评估报告的 0.6°C 。该报告预估21世纪末全球气候会继续偏暖 $1.1^{\circ}\text{C} \sim 6.4^{\circ}\text{C}$ 、按目前温室气体排放的趋势,2050年将比2005年高37%,并将对自然和人类社会产生一系列广泛的影响。因此,需要扭转排放趋势,使2050年全球温室气体的排放量明显低于当前的水平。

2009年12月8日IPCC披露了其研究进展,显示了全球气候变化形势可能比以前预测更为严峻,除过去100年来全球平均地表气温提高了 0.74°C 外,测得大气中温室气体的浓度(以体积计)在2009年创下历史新高, CO_2 达到 387×10^{-6} ,比工业革命前(指1750年)的 280×10^{-6} 增加了1/3以上,比2008年的

385.2×10^{-6} 增加了 1.8×10^{-6} 。

根据IPCC(AR4)评估结果在2000年~2005年期间每年 CO_2 排放与吸收的情况如表1^[4]:

表1 CO_2 排放与吸收情况

单位:亿吨碳(亿t-C)

项 目	数 量
化石燃料燃烧和水泥工业年 CO_2 排放量	72 ± 3
海洋生态系统年 CO_2 的净吸收量	22 ± 5
陆地生态系统年 CO_2 的净吸收量	9 ± 6
储存于大气中的年 CO_2 量	41 ± 1
吸收量:排放量	43%

注:1t碳(1-C)= 3.67tCO_2 (1- CO_2)

表2 陆地生态系统的排放与吸收分析^[4]

单位:亿吨碳(亿t-C)

项 目	数 量
每年向大气释放的 CO_2 量	约16(5~27)
每年光和作用所固定的碳量	约26(9~43)
差 值	9~10

陆地生态系统的排放与吸收见表2。

由表1表2可知,仅关注化石燃料燃烧和水泥工业的 CO_2 减排是不够的,应高度重视陆地生态系统管理和植被恢复对全球碳收支的调节作用。

实际上^[5],全球的人均 CO_2 累计排放量为79.58 t-C,而美国为467.88t-C,英国为303.13 t-C,德国为271.32 t-C,俄罗斯为164.00 t-C,法国为161.85 t-C,日本为115.10 t-C。相比之下,我国同期人均累计排放量仅为24.14 t-C,仅相当于美国或英国1900年—1907年这8年的人均累计排放量。而截止2005年,中国的人均GDP还远未达到发达国家在1960年就已达到的水平。27个发达国家应对碳排放量负主要的责任,这就是“京都议程”提出的“共同,但有区别的责任”的依据。排放问题本质上是发展问题;有了排放权,才有发展权。当前的挑战在于发达国家试图逃避“京都议定书”确立的减排责任,压制发展中国家承担更多减排义务。进而成为政治家们在国际政治、外交博弈中的工具。许多实例已表明了对这一趋向必须提高警惕。

关键点在于^[6]:根据不超过 2°C 增温的大气中 CO_2 浓度,计算出 CO_2 当量浓度不能超过 450×10^{-6} (以体积计)后,2006年—2050年间,人类通过化石燃料

和水泥生产的CO₂排放量就随之确定,即使海洋和陆地生态今后对排放的碳能继续以56%的比例吸收,人类排放的总量也只能在255.11GTC左右。在这个总量中,发达国家确定“率先减排”比例后,余下的即为发展中国家的排放量,所剩已不多。中国面临着挑战控制排放极限的努力。当前,世界各个方面提出了7个方案,设定高峰排放年时,没有一个符合公平正义的原则,决不能掉以轻心。

低碳经济最早出现在2003年的英国能源白皮书《我们能源的未来:创建低碳经济》。是指以低能耗、低污染为基础的绿色生态经济。全球性化石能源的短缺和气候变化促进了低碳经济成为可持续发展的重要途径。当前,我国在发展可再生能源方面做了大量工作,而在燃气方面议论较少,本文企图补充国际燃气界所作的研究工作,达到开阔视野的目的。

3 天然气在CO₂减排中的作用与资源状况

天然气是碳氢比最小的一种化石燃料,2000年在世界一次能源消费中占21.1%,仅次于煤炭(23.5%),估计在本世纪的30年代,在一次能源构成中可能处于首位。天然气的主要组成是甲烷,本身就是一种温室气体,向大气排放后温室效应相当CO₂的21倍。世界天然气的资源也分布不均,国际贸易量日益增加,气价也不断上升。但在应对气候变化的挑战中,仍作为首选的研究方案。

国际燃气联盟(IGU)长期参与国际能源资源(特别是天然气)与环境 and 应对气候变化关系的研究,参与相关的国际性研究活动,从上世纪末起成立了特别工作组,随后又扩大为计划委员会进行长期的研究工作,在三年一届的世界燃气会议上提出委员会的工作报告,出版有价值的著作。工作委员会从2000年起改组成5个,按燃气链的各个环节进行分工,其委员会的报告也是每三年一次,反映了不同环节世界各国的最新进展和水平。如果认真研究每隔三年的工作报告和有关论文,可以发现,世界燃气行业的进步之快,创新技术之多,研究领域之广和深入程度之细。

在化石燃料中,天然气定位为“环境友好”燃料。在燃烧应用中,煤、油、气污染物(温室气体)

排放量的计算,燃烧效率的计算等方面笔者均有过介绍,在此不再赘述。在24届世界燃气大会(2009年10月在阿根廷召开)上针对气候变化的问题,提出“天然气在气候政策中是一个主要的因素”。“对气候变化问题,天然气可提供一个有潜在能力和创新的解,可构建成一个通向未来低CO₂排放能源的桥梁”天然气用得越多,就越能经济可行的提高效率和减少CO₂的密度。也就是在改进能源的利用率,扩大与可再生能源的互补利用和减少化石燃料CO₂的排放量这三个方面起到一定的作用或者准确的说起到部分的作用。

由于气候变化是一个全球性的问题,因此,研究工作也必须从全球的观点出发,例如全球各类能源资源的分布、产量与消费量的现状与前景,各国人口和经济的增长,各国的能源构成与变化状况等。研究天然气的作用时,也必须涉及到上述诸问题,需要有各国的专家参与合作才能实现。

温室气体的排放也不能限于化石燃料的燃烧和水泥生产,还涉及其他方面,如文献^[2]中分析人类活动产生的全球甲烷气资源量为:民用污水占7.0%,生物质燃烧占11%,填埋气占10%,石油生产占12%,天然气生产占11%,稻谷生产占16%,畜牧业占29.0%等,近年来这方面的专题研究报告已日益增多。以上说明,温室气体的排放,并不限于化石燃料的燃烧环节,以天然气而言,还应研究在生产、处理、输送、储存、分配和应用等环节的排放量进行寿命期的评估,以下也准备讨论这方面的示例。

作为应对气候变化的对策,通常方法很多,但是必须研究不同方法的经济性和可靠性,以免沦入就技术论技术的陷阱。

当然,在论及天然气在CO₂减排中的作用时,首要条件是其蕴藏量和分布状况。文献7中对天然气资源的评估可见表3。

世界10个化石燃料资源区的总储量:煤为3 749Gtoe(10°油当量),油为407Gtoe,天然气为426Gtoe。

从单位产量成本(\$/toe)和累计生产量(Gtoe)的关系图可知^[7]:累计煤炭产量超过200Gtoe时,成本线平稳;油超过320Gtoe后,成本急剧上升;天然气超过400Gtoe后,成本也急剧上升。文献7介绍的评估依据可见表4。

表3 不同来源对天然气资源的评估结果

单位: tcm

USGS WPA2000	IGU2003 WOC9	BP Stat 2000	H-H Ronger
1995-2025 剩余储量135	证实储量173	证实储量155	常规469
增加储量 (50%) 93.3	附加储量94.9		非常规413
待发现122	潜在储量238		附加403-1 990

注: tcm表示 10^{12}m^3

表4 世界各大区天然气的证实储量和生产量

单位: Bcm

	北美	拉美	欧洲	非洲	中东	独联体	亚洲	亚太
储 量 (2007年)	7 980	7 730	5 700	14 580	73 210	57 000	3 930	10 530
生产量 (2005年)	750 (美国523)	139	300	137	289 (伊朗132)	800	140	240
生产量 (2030年)	400 (美国670)	269	140	447	742	1 200	310	460

注: Bcm表示 10^9m^3

由表4可知, 各大区的储量和产量分布不均, 便产生了天然气的国际贸易。作为方案评估的依据, 世界天然气的实际产量及预测便可见表5。

表5 世界天然气产量的实际值及预测值

单位: Bcm

2007年	2 985	其中LNG生产总量226
2030年	4 360 (潜在能力4 420)	其中LNG生产总量750

常规与非常规天然气资源的区分边界甚难界定, 决定于地质条件的系列。非常规天然气通常包括: 煤层甲烷气 (Coalbed Methane), 储量256tcm; 页岩气 (Shale gas), 储量456 tcm; 紧密砂岩气 (Tight-sand gas), 储量209 tcm。以上非常规天然气已在开发应用中, 2010-2030年美国常规气占60%、紧密砂岩气占27%、煤层气占9%、页岩气占4%。“可燃冰”即笼形包合物 (Clathrates), 也称甲烷的水合物 (Methane Hydrates), 储量为21 000 tcm。

“可燃冰”的勘探开发已成为世界角逐能源制高点的新竞赛。美国政府顾问迈克尔·马克斯预言“天然气水合物将可能改变现在的地缘政治模式, 美国、日本、印度等国家可能实现能源自给, 这一事件强烈影响着国际事务及对外政策。现在的世界能源贸易将彻底改变。”谁掌握了天然气水合物, 谁就主导了下一代全球能源, 类似这样的判断得到了广泛的认同 (《科学时报》2009.11.5 李晓明文)。24届国际燃

气会议上也有大量资料介绍, 作为应对气候变化的能源对策还为时过早。

4 燃气链的寿命期评估

任何能源均包括: 采集、处理、储存、运输、分配和终端利用等几个环节。节能与减排不能只研究一个环节后就做出结论, 这就是寿命期评估 (LCA) 的意义。成本与环境影响是审查寿命期评估的重要动力。环节影响已成为越来越重要的课题。天然气寿命期评估的涉及面很广, 其方法是通过27个国家的专家按要求提供的可靠数据综合获得^[9]。燃气链寿命期分析的范围如下页图2中的虚线所示, 这是通常被忽略的部分。

从全球观点研究天然气链的寿命期评估显然是十分困难的, 只能先由国际燃气联盟 (IGU) 提出问卷, 得到回复后再进行汇总分析, 有些国家也未必能提出应答结果 (见表5的覆盖率栏), 例如我国的燃气界就从未能应答过这类调查询问。燃气链有两大分支, 即管道天然气和LNG路线。评估的结果见下页表6。

由表6可知, 在燃气链的管道路线中, CO_2 排放最大出现在生产与长输环节; LNG路线中出现在生产环节。

我国2008年《中国城市建设统计年鉴》第514页城市天然气中, 有一项燃气损失量栏 (Loss Amount), 达11.6663亿 m^3 。年鉴未证明损失量的定义, 从译名看

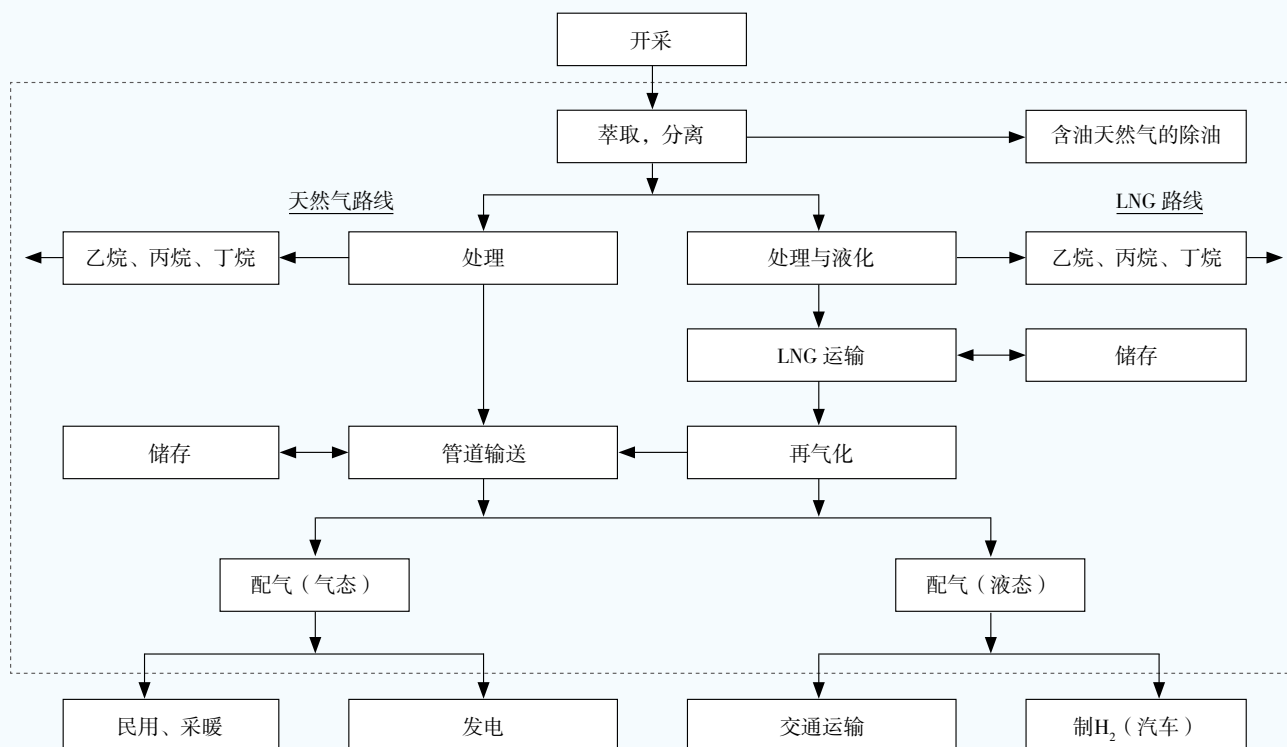


图2 燃气链寿命期分析的范围

表6 天然气链的评估结果^[9]
(空格为空缺, 并非零值)

	生产	长输	LNG生产	LNG运输	LNG再气化	储气		配气
	平均	平均	平均	BAT* (1 000km)	平均	最小	最大	平均
覆盖率	54%	79%	69%	不适用	27%	不适用		34%
天然气消费	3.52%		10.3%					
能量	2.73%	4.1%	8.8%	0.21%	0.43%	0.13%	2.0%	0.16
短期排放	0.58%	0.4%	0.2%		0.0%	0.0%	0.1%	0.42%
火炬	0.48%		0.5%					
其他								
电力MJ/Nm ³					0.042	0.047	0.205	0.003
燃料油kJ/Nm ³				73.8				
排放 g/Nm ³								
CO ₂	62.05	132.12	280.22	9.59	8.88	3.39	10.80	0.16
CH ₄	4.01	3.35	5.90		0.03	0.16	0.75	4.32
NO _x	0.07	0.05	0.99	0.01	0.004	0.002	0.10	
SO ₂			0.003	0.01				

*BAT—最佳可用技术 (Best Available Technique)

又不是供销差 (Unaccounted for gas)。我国城市天然气属H类, 相当CH₄含量为100%, 按CH₄温室气体效应相当CO₂的21倍计算, 就排放了1 764万tCO₂ (甲烷密度按0.72kg/m³计), 值得进一步研究。

在宏观研究中, 如何计算各种化石燃料的CO₂排放量至今各说不一, 但大都只考虑燃烧这一环节, 因为1kg碳完全燃烧时产生3.667kg CO₂ (44/12=3.667), 忽略了其他环节; 不同化石燃料中的C含量在宏观计算中也没有统一的标准, 致使读者莫衷一是。

笔者读到文献10中 (P34) 提出的数据是: 煤炭排放系数为2.66 t-CO₂/tce (tce表示吨煤当量), 石油为2.02 t-CO₂/tce, 天然气为1.47 t-CO₂/tce。在同书P32中提到“若按照2006年中国能源结构发展, 到2050年中国煤炭、石油的消费量将分别达到45亿tce

和12亿tce……煤炭和石油消费将产生144亿t CO₂” (45 × 2.66 + 12 × 2.02 = 143.94)。这一算法是根据“The Energy Data and Modeling Center, The Institute of Energy Economics, Japan, 2008 Handbook of Energy & Economics Statistics in Japan 2008”而来, 今后能否按此统一宏观计算中确定CO₂的排放量?

宏观计算对评估十分重要, 但在工程上并无实际意义。工程实践中必须依据所用燃料的分析数据, 如煤炭要有元素分析结果 (C, H₂, O₂, N₂, S和灰分等); 气体燃料要有稳定供气的成分分析结果, 且不能离开质量标准的要求作任意的变动, 因此, 根据实际组分计算排放量是可行性问卷中不可缺少的, 但也不能代替寿命评估 (LCA) 的作用。

(本文未完, 待续内容将在本刊下期刊登)

武汉市燃气协会召开2010年工作会员年会

2010年4月23日, 武汉市燃气协会在梁子湖龙湾度假村会议中心召开2010年工作会员年会。来自协会会员单位、非会员单位、行业管理部门近70家单位110余名代表参加了此次会议。市城管局李瑛总工程师、市燃气协会张民基理事长、市城管局市政处于俊处长, 市燃气管理办公室董宏理主任, 汉南区城管局张进保局长, 市民间组织管理局熊英科长, 省燃气协会熊纯刚秘书长等领导出席了此次会议。会议由协会秘书长黄峰主持。

会上, 副理事长肖时钧同志代表协会理事会向大会对2009年工作进行总结并对2010年工作进行安排。黄峰秘书长通报了协会2009年财务收支状况, 协会LOGO设计征集情况, 协会会刊《武汉燃气》第二届编委会组建情况。

张民基理事长在会上讲话。他首先对大会的成功召开表示热烈祝贺, 并对历年来支持协会工作的各界朋友表示衷心感谢。就协会2010年工作, 他提出了几条指导性意见: 一是与时俱进, 做好协会改革, 强化协会自身建设; 二是强化维权意识, 争取保护行业企业利益; 三是继续发挥桥梁纽带作用, 做好服务工作。

李瑛总工程师代表市城管局对武汉市燃气协会

2010年工作年会的召开表示热烈的祝贺! 她简要回顾了武汉市2009年燃气行业的发展情况, 并分析认为整个2009年, 武汉市燃气行业在经受住了天然气“气荒”严峻考验的同时, 实现了安全快速发展, 这些成绩的取得离不开全体会员单位的艰辛努力, 她对支持市城管局工作、为武汉燃气事业做出贡献的各单位表示衷心的感谢! 她提出2010年全市燃气行业管理工作的总体要求是: 提升行业管理水平、完善市场监管方式、加强市场执法力度, 以建设“两型”社会为契机、以燃气专项规划为依托、以安全发展为主线, 全面实施燃气行业的科学化、规范化、制度化管理。并对具体落实2010年各项工作提出了指导性意见: 一是研究编制燃气事业发展规划, 提高整个行业发展管理水平, 实现科学化、规范化管理; 二是以提高气源安全性为目标, 大力推进燃气重要基础设施的建设; 三是推行管道燃气特许经营制度, 规范管道燃气企业经营行为; 四是进一步落实燃气管网巡线管理工作, 切实加强地下管线监护, 确保燃气管网的运行安全; 五是严格监管, 改善行业经营环境; 六是充分发挥协会的民间组织作用, 凝聚行业力量, 为行业发展打造良好平台。

(张任国)