

综述与专论

# 能源工业中的技术预见

刘海燕<sup>1</sup>, 于建宁<sup>2</sup>, 鲍晓军<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国石油大学(北京) 中国石油天然气集团公司催化重点实验室, 北京 102249;

<sup>2</sup> 中国石油天然气集团公司科技发展部, 北京 100724)

**摘要:** 作为全球性的基础产业之一, 能源工业的可持续发展正面临着资源短缺和环境保护两方面的巨大压力, 使得 21 世纪能源工业和能源技术的发展面临着前所未有的机遇和挑战。准确把握未来能源工业的发展方向, 既是世界各国保证其能源安全的重大战略需求, 也是世界各大能源公司在日趋激烈的技术和市场竞争中立足于不败之地的前提。因此, 对未来能源状况及能源技术发展趋势的技术预见(TFS)研究在世界范围内得到了广泛的关注。本文在综述 TFS 活动的发展历程、TFS 与核心竞争力和可持续发展的关系以及 TFS 方法等的基础上, 以中国、日本和 Shell 公司进行的 TFS 活动为例重点介绍了 TFS 方法在能源领域的应用情况, 并以未来 5~15 年我国清洁汽油的构成情景分析为范例阐述了 TFS 方法的应用, 以期为国内相关的 TFS 活动提供参考。

**关键词:** 技术预见; 方法; 能源工业

中图分类号: TK 01

文献标识码: A

文章编号: 0438-1157(2006)08-1817-10

## Technology foresight in energy industries

LIU Haiyan<sup>1</sup>, YU Jianning<sup>2</sup>, BAO Xiaojun<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Key Laboratory of Catalysis, China National Petroleum Corp., China University of Petroleum, Beijing 102249, China; <sup>2</sup> R&D Administration Department, China National Petroleum Corp., Beijing 100724, China)

**Abstract:** Entering into 21st century, energy industry, one of the supporting industrial sectors for all over the world, is experiencing profound changes driven by the increasingly rapid depletion of fossil fuels and the overwhelming concerns about environmental protection. To identify and highlight the critical needs and opportunities in the future has become one of the key strategies, almost all the countries and energy companies should carefully formulate, and for this purpose technology foresight (TFS) becomes one of the most important tools. This article introduces the development of TFS, the relationship of TFS with core competence and sustainable development, various methodologies used in TFS activities and their applications to energy industry with the activities carried out by China, Japan and Shell as examples, in order to provide a reference for the related activities that are ongoing in China. Finally, the scenario-based analysis of clean gasoline in the next 5 to 15 years in China was presented as an example to demonstrate the application of TFS.

**Key words:** technology foresight; methodology; energy industry

### 引 言

作为支撑当今世界经济和社会发展最为重要的

基础性产业, 能源工业的可持续发展正面临着资源短缺和环境保护两方面的巨大压力。世界能源消费结构正在从化石能源向能源多元化, 特别是可再生

2006-01-13 收到初稿, 2006-04-30 收到修改稿。

联系人: 鲍晓军。第一作者: 刘海燕(1972—), 女, 博士研究生。

Received date: 2006-01-13.

Corresponding author: Prof. BAO Xiaojun. E-mail: baouxj@cup.edu.cn

能源以及更加清洁高效的电能、氢能等二次能源转变。在这一转变过程中,科学和技术起着决定性的作用。因此,准确把握能源科技的发展方向,制定能源可持续发展战略,是世界各国政府普遍面临的重要课题。为此,作为世界能源消费大国的美国和日本,都相应开展了能源方面的技术预见(technology foresight, TFS)活动,对未来的能源状况以及技术发展进行了展望。TFS活动的实施,使政府、企业与科研机构等部门得以有效地沟通,为采取切实行动以规避能源风险、把握技术发展的机遇提供了指南。

我国是仅次于美国的世界第二大能源消费国。与西方发达国家不同,我国一次能源虽然长期以煤为主,但进入 20 世纪 90 年代以来,随着我国国民经济的持续、快速发展,石油的消费量也不断增长,到 2003 年,我国已经成为超过日本、仅次于美国的世界第二大石油消费国。2003 年原油消费总量达到 2.52 亿吨,其中进口原油占 36.1%。根据有关部门预测,在今后 20 年内,我国石油消费量将继续以较快的速度增长,到 2020 年进口依存度将可能增大到 60%。石油资源的严重短缺,将是今后相当长一段时期内制约我国经济社会持续发展的瓶颈之一。在这种形势下,我国未来的能源结构和技术状况将发生巨大的变化,科学技术作为第一生产力,也将发挥更大的作用。开展能源领域的 TFS 研究,把握未来能源科技的发展方向,是我国制定中长期能源科技发展战略,提升能源工业核心竞争力必须开展的重要基础性工作之一。

近年来,我国科技部、中国石油、中国石化、中国科学院等相关部门都开展了有关未来能源状况和技术发展趋势的预见研究,为“九五”、“十五”和“十一五”等一系列能源科技发展战略的制定提供了依据。但由于 TFS 活动在我国才刚刚兴起,对 TFS 作为制定中长期科技发展战略的一种有效手段和提升企业核心竞争力的有力工具还缺乏深刻的理解,对 TFS 方法的研究和应用尚处于起步阶段。为此,本文综述了 TFS 活动的发展历程及常用方法,并介绍了 TFS 方法在能源领域的应用情况,以期国内相关的 TFS 研究提供借鉴。

## 1 TFS 及其发展历史

### 1.1 TFS 与技术预测

Martin<sup>[1]</sup>将 TFS 定义为:在对未来较长时期

内的科学、技术、经济和社会发展进行系统研究的基础上,确定具有战略重要性的研究领域,识别和选择那些对经济和社会发展贡献最大的通用技术。

20 世纪 80 年代兴起的 TFS 是在 40 年代美国出现的技术预测(technology forecasting, TFC)活动的基础上发展起来的。TFC 的目的是对可能出现的技术对经济和社会的影响做出预测<sup>[2]</sup>。20 世纪 60 年代, TFC 活动在美国达到顶峰,到 70~80 年代以后, TFC 活动逐步被 TFS 活动所取代,90 年代以后 TFS 已经成为世界潮流,发达国家和一些发展中国家都相继开展了基于 Delphi 调查的国家 TFS 活动<sup>[3-14]</sup>。

虽然 TFS 是从 TFC 发展而来,但两者在目的、基本假设以及对未来的认识等方面有很大的不同。

(1) TFC 的目的是利用模拟技术和计量经济学等方法预测技术和行业发展的未来<sup>[9]</sup>。TFS 的目的则有 3 个:一是打造新的合作关系,加强多边合作;二是识别通用技术;三是对国家科技发展的优先次序达成共识。

(2) TFS 和 TFC 的不同还表现在对未来的认识上。TFC 的局限性在于其假定未来是固定不变的或事先可决定的,技术总是能驱动市场的发展。TFS 则假定未来的发展有多种可能,人们可以通过现在的选择去影响甚至创造未来。

(3) 由政府主导的 TFS 活动与 TFC 的区别还在于各自所依赖的不同理论假设<sup>[15]</sup>。TFC 的核心理念是“社会契约论”,而 TFS 是建立在“资源稀缺论”的基本假设之上。事实上,任何国家或任何企业的资源都是相对短缺的,任何国家或企业都必须加强科学与技术的战略管理,这也正是 TFS 活动应运而生的根本原因所在。

### 1.2 TFS、核心竞争力和可持续发展

TFS 的目的是在充分把握未来科技发展方向的基础上,制定科学可行的科技发展战略。因此, TFS 与企业的核心竞争力以及企业的可持续发展之间存在非常密切的关系。

Major 等<sup>[16]</sup>分析对比了 TFS 与核心竞争力的特征,认为 TFS 从其本质上来讲,就是要建立国家或企业的核心竞争力,这是由 TFS 的根本特征所决定的。核心竞争力与 TFS 的特征对比如表 1 所示。

Table 1 Comparison of characteristics of core competence and technology foresight<sup>[16]</sup>

Core competence	Technology foresight
integration of skills and technologies	resides in individuals and teams
knowledge based	depends on tacit knowledge
customer value	extends to future benefits
competitively unique	enables building of competitive advantage
difficult to imitate	based on systems and tacit knowledge
gateway to new markets	helps to identify new opportunities

Tilley 等<sup>[17]</sup>详细讨论了小企业的可持续发展与 TFS 的关系,指出 TFS 也是企业实现可持续发展的有效手段.这是因为:(1) TFS 将过去、现在和未来联系起来,代表着前瞻的观点,这与可持续发展的观点相一致;(2) TFS 的目的是辨识那些有可能实现的未来,这与目前可持续发展之辨别未来各种选择性不谋而合;(3) 按照现有认识论观点,TFS 是作为一种研究手段被应用的,而研究可持续发展即是通过识别与描述问题达到解决问题的目的,TFS 正好可以提供这种研究方法;(4) TFS 方法与一些过程和社会职能的转变相关,对原有问题具有再认识的能力.

由以上分析可见,科学的 TFS 不仅可以提高国家的核心竞争力,其作为一个过程、一种研究方法也是企业实现可持续发展的有效手段.

### 1.3 TFS 的发展背景及未来趋势

Martin 和 Johnston<sup>[18]</sup>总结了 TFS 在 20 世纪 90 年代迅速发展的背景,认为:(1) 随着中西方冷战的结束和亚洲国家工业化进程的推进,经济日益表现为全球化,市场竞争日益激烈;(2) 随着人口的老龄化,工业化国家所面临的政府开支日益加大,这就使各国政府迫于政治或其他压力必须平衡其政府预算;(3) 科学与技术的研发成本日益增高,任何一个国家都没有足够的财力追求所有的科学与技术的发展机会,因此必须做出选择,而 TFS 为这种选择提供了机制;(4) 现代工业生产的特点强调生产的网络化,重视建立战略联盟、新的供应链和国家创新体系.而知识产生的过程也表现出跨学科、跨领域和非均质化的特点,每一项重大技术创新均来自于以往独立技术的汇集和整合,这不仅要求在科学研究部门及科研人员之中,而且要求在科研、产业和政府部门之间加强交流与合作,而 TFS 正好提供了这种多方交流与合作的平台.

进入 21 世纪,TFS 活动的国际交流与合作也

逐渐受到关注.一些国际性组织,如联合国工业发展组织 (UNIDO)、经济合作与发展组织 (OECD)、亚太经合组织 (APEC)、欧盟 (EU) 等,正在积极推进 TFS 的国际比较和经验交流,组织建立了一些跨国的 TFS 中心<sup>[19-21]</sup>.除此之外,国外一些大的公司或企业对 TFS 也越来越关注,更有一些经济实力雄厚的企业、科研机构或大学也在组织自己的 TFS 活动<sup>[22-24]</sup>.

在中国,TFS 的研究和实践可以追溯到 1992 年,原国家科委组织开展了“国家关键技术选择研究”,涉及信息、先进制造、先进材料、生物 4 大技术领域,研究成果为制定中国科技发展“九五”计划和 2010 年远景目标规划奠定了基础<sup>[25]</sup>.1997 年,国家科技部又组织了“国家重点领域技术预测”,包括农业、信息、先进制造 3 个领域,确定了可望在 2010 年之前实现的 128 项关键技术.2001 年,北京市启动了“北京技术预见行动计划”,该计划运用 Delphi 调查等方法,对信息、材料两大技术领域进行了未来 20 年的技术发展情况预见<sup>[26]</sup>.

## 2 TFS 方法

TFS 不仅在理论上发展和深化了传统的 TFC 活动,在方法上也有一定的深化和改革,但在各个国家由政府主导进行 TFS 活动时大多仍然以传统的 Delphi 调查法作为基本方法.除此之外,趋势外推法、层次分析法 (AHP)、情景法等也有应用.

TFS 的方法,既有定量的,也有定性的,既有主观的,也有客观探测性的,每一种方法都有其一定的局限性<sup>[27]</sup>.选择合适的 TFS 方法能提高 TFS 活动的准确性及预测结果的可信度. Levary 和 Han<sup>[28]</sup>提出,应根据以下 4 条原则来选择 TFS 方法,即数据的可获得性、获得数据的有效性、影响技术发展的变量个数、将要出现的技术与现有技

术的相似性. 并指出进行中长期 TFS 时, 由于数据的获得比较困难、获得数据的有效性较小、影响技术未来发展的变量较多以及新技术与现有技术有较大差别等原因, 应该选择探测性的定性预测方法, 这也是 Delphi 方法和情景法在中长期 TFS 过程中应用较广泛的原因. 以下对 Delphi 方法和情景法进行简单的介绍.

### 2.1 Delphi 方法

Delphi 法作为一种直观的 TFC 方法, 最早产生于美国著名的决策咨询机构 Rand 公司. 其本质是利用专家的知识、经验和智慧等无法量化并带有很大模糊性的信息, 通过通信等交流方式进行信息交换, 逐步取得较一致的意见, 达到预测的目的.

经典 Delphi 方法的预测程序及信息流程大致如图 1 所示, 左列是管理小组的工作, 右列是专家组的工作.

经过几十年的发展, Delphi 方法由于其具有匿名性、反馈性和可修改性等显著的优点, 目前已经成为最常用的中长期 TFS 方法之一. 对 Delphi 方法本身的研究和改进也成为近年来 TFS 的一个研究热点<sup>[29-31]</sup>. 另外, 在 Delphi 方法的实施过程中, 人们也试图综合应用其他的 TFS 方法如 SWOT (strength, weakness, opportunity and threat) 分析、情景法、交叉影响分析及 AHP 等来提高预测的精确度和系统性.

### 2.2 情景法

情景法就是在对环境进行广泛分析的基础上, 对可能发生的情景进行描述、分析和规划的一种方法. 它既是一种预测方法, 也是一种规划的工具<sup>[32]</sup>.

情景法作为战略规划和战略管理的一种工具, 在构筑情景和使用情景的过程中必须遵守两个基本原则: 系统化考虑和多样化未来<sup>[33]</sup>. 构筑情景的方法有多种, 包括归纳法、演绎法、递增法或标准化方法等, 但情景规划的过程都大体相同. 如图 2 所示, 情景规划的过程可以分为 5 个阶段: (1) 准备阶段, 确定决策领域; (2) 情景领域分析, 确定关键影响因素; (3) 情景预测, 确定情景预测的时间跨度, 对每一个关键影响因素进行考察, 赋予其不同的预测值, 然后将这些不同的取值进行排列组合, 消除那些相互矛盾的组合, 形成“投影束”或“投影包”; (4) 情景形成阶段, 对上一阶段形成的投影束进行一致性检验, 剔除相互矛盾的投影束,

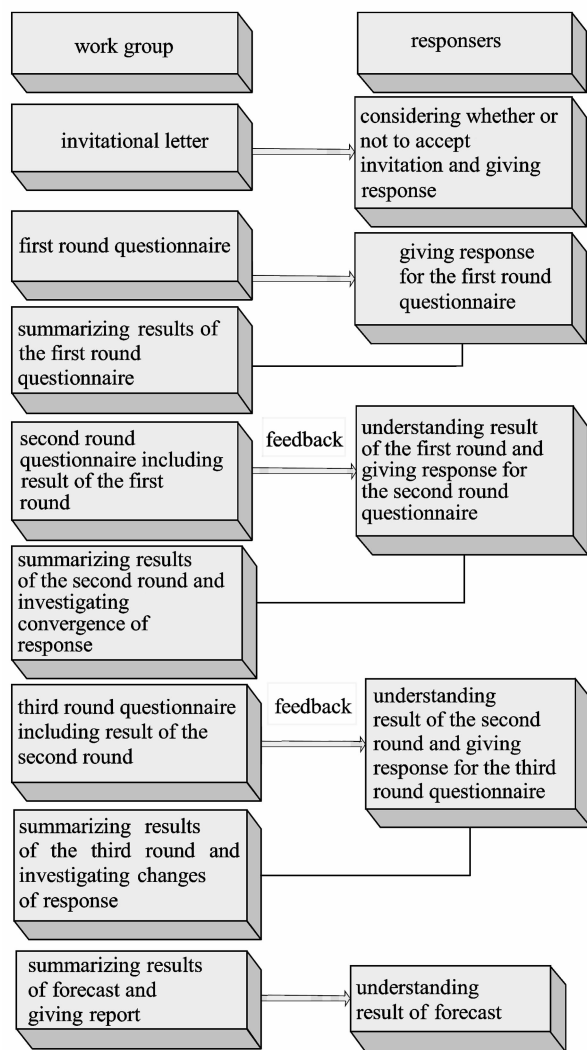


Fig. 1 Procedure of traditional Delphi method

然后将相容的投影束组合起来, 形成可能的几种情景, 并加以描述; (5) 情景转移阶段, 即情景应用, 企业在所设定的情景中进行演练, 结合自身的能力分析潜在的风险和机遇, 做出合理的决策.

## 3 TFS 方法在能源工业中的应用

### 3.1 Delphi 法应用之一: 日本第 7 次 TFS 活动

从 20 世纪 70 年代开始, 日本每隔 5 年进行一次国家层面的大规模的 TFS 活动<sup>[12-14]</sup>. 其中, 第 7 次 TFS 活动从 1999 年开始进行, 包括 16 个技术领域, 共 1065 个技术课题, 预见的时间跨度为 2001~2030 年. 第 7 次 TFS 活动采用 Delphi 调查法进行, 咨询问题包括技术的重要性、预期的效果、预计实现的时间、目前领先的国家、政府应采取的措施以及潜在的问题等. 其中, 能源领域的课题共 48 个, 属于一次能源范畴的有 22 个, 其中化

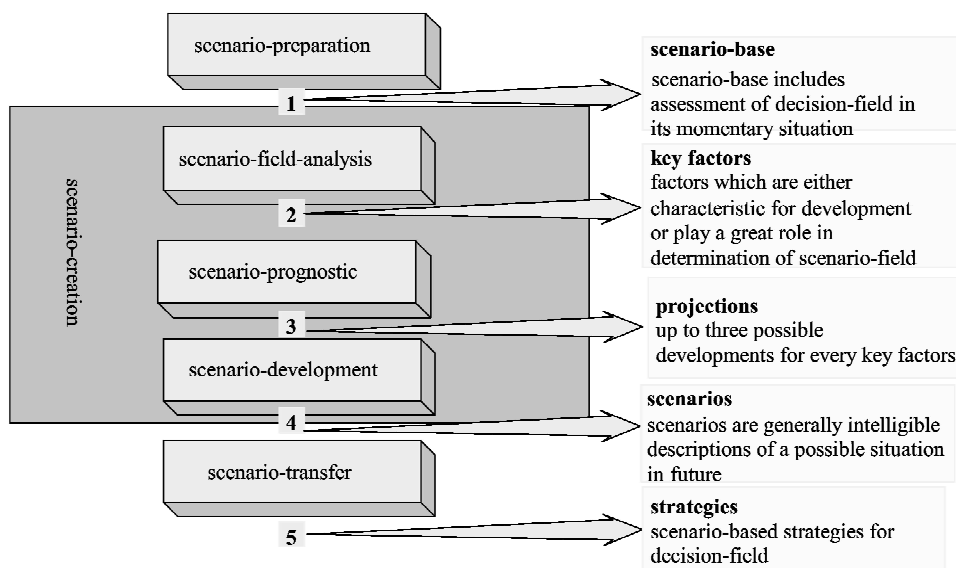


Fig. 2 Scenario planning: complete process<sup>[33]</sup>

石能源 5 个，可再生能源 17 个；属于二次能源范畴的有 23 个，其中 5 个涉及化学法生产二次能源（如氢能、甲醇等），15 个涉及电能，3 个涉及热能和机械能；另有 3 个课题与废弃物的处理和回收有关。从日本第 7 次 TFS 活动能源领域所选技术课题可见，在一次能源中，化石能源的比例已经很少，可再生能源是关注的热点；在二次能源中，有关电能和电池等方面的技术课题占绝大部分。

表 2 为这次能源领域技术预见活动的结果，即按重要性排列的前 20 个技术课题及其可能实现的时间。对日本未来 30 年能源技术发展的预见结果进行分析，在前 20 个技术课题中属于一次能源的课题有 7 个，属于二次能源的课题 13 个。在 7 个与一次能源有关的课题中，由于日本在太阳能电池的开发方面处于世界领先地位，所以对太阳能电池应用技术的期望值很高（课题 35 和课题 41），技术实现的时间在 2015 年左右。在与二次能源有关的课题中，与燃料电池相关的课题有 3 个（课题 53、71 和 70），有两个课题（58 和 60）涉及有关蓄电池的开发和使用，如果将电动汽车课题（66）也列在其中，则在前 20 位的技术中，就有 8 个课题与电池/电池组有关。从预计实现的时间分析，与电池/电池组相关的技术实现的时间大多集中在 2015 年左右，最晚不会超过 2018 年。另外，在其调查结果中，除了课题 53（高效、轻便、环境友好的燃料电池的广泛使用）和课题 71（民用固体聚合物电解燃料电池的广泛应用）这两项技术被专

家认为目前是领先外，其他 6 项涉及电池的技术都被认为是日本领先，说明日本在有关电池/电池组方面的研究开发处于世界领先水平。

由表 2 可见，新型清洁能源的开发和使用在日本已成为共识，如电动汽车和燃料电池汽车技术（课题 66），清洁燃料如氢气的生产技术（课题 50），甲烷水合物开采技术及商业化应用（课题 28），煤和生物质等的热化学分解制氢技术，以及甲醇、DME（二甲醚）等合成燃料的生产技术（课题 51），都列于比较重要的前 20 项课题中。在前 20 个课题中，有关核能的技术（热核发电反应堆的开发、快速增殖反应系统以及反应堆燃料循环的实际应用）被认为在近期内不可能实现，这说明核能的开发和利用也是日本关注的热点，但其实际应用尚待时日。

### 3.2 Delphi 法应用之二：我国能源领域的 TFS

2004 年，国家科技部组织实施了我国未来 15 年能源、自然环境和先进制造 3 个领域的 TFS 研究<sup>[34]</sup>。该 TFS 研究在能源领域涉及煤、油、气、核能、可再生能源、氢能等 10 个子领域，共包括 83 项技术课题。其中，与煤洁净、高效利用相关的课题 15 个，与油气开采和油气加工相关的课题 10 个，与核能及核电技术相关的课题 12 个，与太阳能、风能、生物质等可再生能源相关的课题 8 个；在二次能源中，与电力相关的课题 12 个，与氢能相关的课题 3 个，与燃料电池相关的课题 3 个，其他课题涉及建筑节能、工业节能及交通节能等技术。

Table 2 Top 20 topics in terms of importance

No. of topics	Topic	Importance index	Forecasted realization time
49.	Practical use of technology for the safe disposal of highly radioactive solid wastes.	94	2021
53.	Widespread use of fuel cells as a highly efficient, environmentally safe, and portable power source ( <i>e. g.</i> , for electric vehicles).	88	2015
75.	Establishment of waste sorting and collection systems, leading to widespread use of recycling systems that produce, distribute and consume recycled materials and goods based on new economic criteria and standards.	86	2016
28.	Practical use of methane hydrate mining technology.	83	2022
35.	Practical use of large-area thin-film solar cells with a cell conversion factor over 20%.	80	2015
66.	Widespread use of electric vehicles with driving performance comparable to that of gasoline motorcars.	77	2018
58.	Widespread use of high energy density ( $200 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 5 times the energy density of a conventional lead acid battery) second batteries (Ni-MH, Li, <i>etc.</i> ) for motor vehicles.	75	2015
71.	Widespread use of solid polymer electrolyte fuel cells for cogeneration in households.	73	2017
74.	Widespread use of energy-efficient houses that consume less than half as much energy for air conditioning as the current average house.	72	2016
64.	Practical use of energy management technology that effectively utilizes power storage technology so that consumers can make effective use of dispersed power sources.	69	2014
56.	Practical use of large-scale combined-cycle power generation using high-efficiency gas turbines (inlet temperature over $1700^\circ\text{C}$ ).	69	2015
60.	Practical use of electric power storage equipment using secondary batteries for loading leveling.	68	2015
45.	Practical use of fast breeder reactor systems and nuclear fuel cycle.	67	2031—
41.	Practical use of solar cells for residential power supply.	66	2014
40.	Practical use of an international energy transportation system in which energy recovered from clean energy sources is transported after being converted into hydrogen.	65	2027
70.	Practical use of solid-electrolyte fuel cells with a capacity of tens of MW for district cogeneration and dispersed power generation projects.	65	2018
46.	Development of fusion power reactors.	64	2031—
76.	Widespread use of environmental accounting concepts and systems in companies.	64	2010
51.	Practical use of technology for producing synthetic fuel such as methane, methanol and DME (dimethyl ether) from coal or biomass by using hydrogen obtained from non-fossil sources.	64	2018
50.	Practical use of thermochemical water decomposition processes for hydrogen production.	64	2022

此次 TFS 研究采用 Delphi 法, 进行了两轮调查, 第一轮发放问卷 536 份, 反馈 189 份, 回收率 36.0%; 第二轮发放问卷 527 份, 反馈 177 份, 回收率 33.9%。此次 TFS 研究, 针对技术的重要性、目前的研发水平、产业化前景以及经济效益等方面进行了详细的调查分析, 本文只引用其重要性分析的相关结果。

调查结果显示, 按重要性指数排在前 20 位的技术课题中, 与油气供应相关的课题有 2 项, 即深海油气田开采技术和低渗透油藏提高原油采收率技术; 与先进发电和电力输送技术相关的课题有 3 项, 即超大规模电网安全保障和防御体系、超大容量交流长距离输电技术和高效超临界燃煤发电技术; 与煤炭洁净利用相关的课题有 6 项, 包括以煤

气化为基础的多联产技术、煤炭(直接、间接)液化技术、干法烟气脱硫技术、煤炭气流床气化技术、高效超临界燃煤发电技术和重型燃气轮机技术; 在替代能源的利用方面, 先进的核电技术及核安全问题受到专家的高度重视, 如百万千瓦级先进压水堆技术、核安全与辐射安全技术、中国原型快堆核电站设计及其验证技术、高水平放射性废物地质处置技术、先进乏燃料后处理技术; 在可再生能源的利用方面, 太阳能电池技术、兆瓦及数兆瓦级风电机组的主要部件关键技术及产业化也列在比较重要的前 20 项课题中; 在节能方面, 专家们认为, 我国建筑节能潜力巨大, 因此建筑及建筑环境系统的能耗分析与节能优化设计技术是重中之重。

从我国能源领域的 TFS 研究结果来看, 为解

决我国资源总量不足的问题，要按照“煤为基础，多元发展”的思路，大力研发煤的高效洁净利用技术，大力提高油气资源的开采率，以保障国内能源的供应；同时，应积极发展太阳能、核能、风能和生物质能等替代能源。由于我国用能技术落后，应当大力研发和利用节能技术以提高终端能源的利用效率。在电力方面，应当依靠技术进步，提高电力工业的整体效率，提高能源转换和传输效率，提高电网运行的安全稳定性。

### 3.3 情景分析法的应用：Shell 公司的能源 TFS

作为用情景法进行 TFS 研究的先驱之一的 Shell 公司，从 20 世纪 70 年代就开始对世界能源和能源技术的发展进行长远预见，在近 30 年的实践过程中，积累了丰富的构筑情景和应用情景的经验。基于其对未来石油工业发展趋势的准确预测和把握，在竞争激烈的石油市场中，Shell 公司始终保持着较高的赢利能力和市场竞争力。

Shell 公司于 2001 年发表了题为“能源需求：选择和可能性”的研究报告，对未来 50 年世界能源及能源技术的发展采用情景分析法进行了 TFS 研究。他们认为，影响未来能源供需状况的最关键因素包括资源短缺、技术进步和社会及个人的消费倾向。经过详细分析，Shell 构筑了未来 50 年世界能源状况及技术发展的两种情景：Dynamics as usual 和 Spirit of the coming age。“Dynamics as usual”的主要特征如图 3 所示，“Spirit of the coming age”的主要特征如图 4 所示。

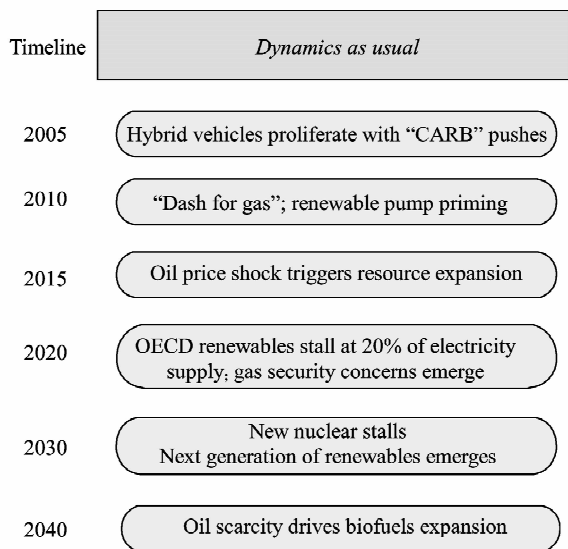


Fig. 3 Characteristics of “Dynamics as usual”<sup>[35]</sup>  
CARB—California air resources board

两种情景的共同特点为：（1）未来 20 年内，天然气将代替石油成为主要的过渡型燃料；（2）石油市场的瓦解将促使新的车用技术的开发和扩散；（3）生产和生活供电和供热将向分布式和分散式方向发展；（4）可再生能源将最终成为主要的一次能源，但其能量储存方式有待解决；（5）在不断创新和实践的过程中，识别优胜服务和优势技术相当困难。

能源是人类社会发展的基本驱动力，对比我国、日本和 Shell 公司在能源领域开展的 TFS 研究结果，可以发现，虽然所采用的 TFS 方法有所不同，所关注的问题也各有侧重，但对未来的能源供应与能源技术的发展却有基本一致的认识：（1）随着煤、油、气等化石能源的大规模消耗，未来能源的消费结构将发生很大的变化；（2）由煤、油、气等化石能源的利用所带来的环境污染问题必须引起全球关注；（3）未来能源结构的变化将更加依赖新技术的开发和利用；（4）在进行未来能源领域的 TFS 研究时，可持续发展的观念更加深入人心。总体来看，未来能源及能源技术的发展趋势将呈现以下特点：

（1）21 世纪上半叶，在全球范围内，天然气将代替石油，成为主要的过渡型燃料；

（2）目前的发动机燃料仍然以石油为主，但到 2015 年左右，不同结构和性能的燃料电池可能会广泛地用于交通运输业；

（3）可再生能源最终会成为主要的一次能源，其得到广泛使用的决定性因素是其储运方式的

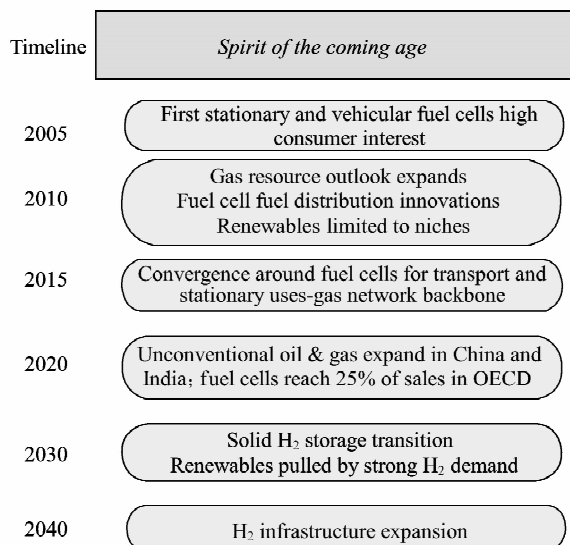


Fig. 4 Characteristics of “Spirit of the coming age”<sup>[35]</sup>

解决;

(4) 新一代核能利用技术受到广泛关注, 但其实际应用尚待时日;

(5) 对全球环境的持续关注, 将促使更加清洁燃料的开发和使用(如氢能的利用), 届时各种制氢和储氢技术将得到大力发展;

(6) 与其他国家不同, 我国未来一段时期内能源的消费结构仍以煤为主, 因此, 在我国煤的洁净利用技术将受到极大的关注。

#### 4 未来 5~15 年我国清洁汽油构成的情景分析

随着我国汽车工业的发展以及环保法规的日益严格, 我国的燃油标准不断提高, 清洁油品的生产将是今后 5~15 年我国炼厂面临的最为迫切的任务。

目前, 我国商品车用汽油的 80% 来自催化裂化(FCC), 而商品汽油中 90% 的烯烃和 98% 以上的硫均来自 FCC 汽油, 这是我国商品汽油硫和烯烃含量过高的主要原因。从国外生产清洁汽油的经验来看, 提高商品汽油的质量首先应该改善汽油的配方, 减少 FCC 汽油的比例, 增大重整汽油、烷基化油、异构化油等高辛烷值汽油组分的比例。

基于以上分析, 综合考虑未来 5~15 年我国车用汽油标准及炼油生产装置的发展状况, 设定了 10 种情景, 来综合分析未来 5~15 年内我国 FCC、催化重整、烷基化、异构化以及 MTBE 等汽油调和组分的变化情况, 计算了不同情景下汽油的辛烷值、硫含量、烯烃含量和芳烃含量等。其中, 情景

1~情景 7 是以目前我国汽油构成为基础, 经过逐步调整汽油各组分的调和比例而设定的情景, 此种情景称为“Business as usual”, 代表渐进性变革, 如表 3 所示。情景 8~情景 10 是假定 2010 年以后, 生产高辛烷值汽油组分的烷基化、异构化等能力有大幅度的增加, 能够部分替代重整、FCC 及其他热加工过程而设定的情景, 如表 4 所示, 此种情景通常被称为“Spirit of the coming age”, 代表革命性的变革。表中汽油的辛烷值、烯烃含量、硫含量和芳烃含量是按各汽油调和组分的性质及各汽油调和组分所占的比例计算得出的, 只是估算值, 而非绝对值, 其他汽油组分按热加工汽油组分性质进行计算。

由表 3 和表 4 可见, 随着 FCC 汽油比例的逐步降低, 成品汽油中硫含量和烯烃含量逐步降低, 但单纯依靠增加重整汽油的比例以弥补 FCC 汽油比例的减少, 将导致汽油中的芳烃含量增加较明显。如情景 3、4、6、7, 重整汽油的比例在 25%~30% 时, 则成品汽油中芳烃含量将达到 36.5%~37.5% (体积)。今后, 随着汽油质量的进一步提高, 不仅烯烃和硫的含量将进一步降低, 芳烃的含量也将受到一定的限制, 因此, 提高我国汽油的质量, 单纯依靠增加重整油的比例是不可行的。

对比 2010 年的情景 3 和情景 8 可见, 情景 8 由于减少了重整汽油以及其他热加工(主要是焦化)汽油的比例, 而增加了烷基化油和异构化油的比例, 可使汽油中的烯烃和芳烃的含量分别下降 1.1 个和 4.7 个单位, 汽油的抗爆指数提高 0.8 个单位, 汽油质量明显改善。

Table 3 Basic scenarios of configuration of gasoline in next 5—15 years in China

Configuration	2005		2010		2015		2020	
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	
FCC gasoline	75.0%	70.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	50.0%	
reformate	15.0%	20.0%	25.0%	25.0%	20.0%	25.0%	30.0%	
alkylate	0.5%	1.0%	2.0%	3.0%	5.0%	5.0%	5.0%	
MTBE	2.0%	3.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	10.0%	
others	7.5%	5.5%	8.0%	7.0%	10.0%	5.0%	5.0%	
quality of gasoline								
RON/MON	94.2/81.7	94.4/82.0	95.6/81.5	95.6/83.5	95.2/83.3	95.7/83.7	97.2/85.1	
(R+M/2)	(88.0)	(88.2)	(88.6)	(89.6)	(89.3)	(89.7)	(91.2)	
olefin/(%) (vol)	36.0	33.2	29.5	29.2	30.0	28.7	24.2	
sulfur/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	375—1500	350—1400	300—1200	300—1200	300—1200	300—1200	250—1000	
aromatics/(%) (vol)	35.1	36.3	37.5	37.2	34.7	36.5	36.9	

Table 4 Radical scenarios of configuration of gasoline in next 5—15 years in China

Configuration	2010; Scenario 8	2015; Scenario 9	2020; Scenario 10
FCC gasoline	60.0%	55.0%	50.0%
reformate	20.0%	15.0%	15.0%
alkylate	6.0%	10.0%	14.0%
MTBE	5.0%	5.0%	5.0%
isomerate	5.0%	10.0%	10.0%
others	4.0%	5.0%	6.0%
quality of gasoline			
RON/MON (R+M/2)	95.1/83.6(89.4)	94.4/83.8(89.1)	94.4/84.3(89.4)
olefin/(%) (vol)	28.4	26.4	24.5
sulfur/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	300—1200	275—1100	250—1000
aromatics/(%) (vol)	32.8	28.4	27.2

到 2015 年，随着烷基化油、异构化油比例的进一步增加，FCC 汽油和重整汽油比例的进一步降低，如情景 9，与情景 4 和情景 5 相比，汽油中的烯烃和芳烃的含量进一步降低，但抗爆指数损失了 0.2~0.5 个单位。到 2020 年，情景 10 中 FCC 汽油和重整汽油的比例分别降至 50% 和 15%，与情景 6 相比，烯烃含量和芳烃含量均明显降低，但抗爆指数有一定程度的损失；与情景 7 相比，汽油中的烯烃含量基本不变，但芳烃含量明显降低，抗爆指数损失了 1.8 个单位。

由以上情景分析可见，为了提高汽油的质量，降低汽油中的烯烃含量、控制芳烃含量，并使辛烷值损失最小，单纯提高烷基化油、异构化油的比例，不能完全抵消由于 FCC 汽油和重整汽油比例的大幅度降低而引起的汽油辛烷值损失。所以，为生产清洁汽油，在调整汽油构成时，要充分平衡各种汽油组分的性质和比例，在降低汽油烯烃、芳烃和硫含量的同时，保证辛烷值损失最小。除此之外，由于目前我国汽油生产装置以 FCC 为主的局面在短期内难以改变，因此，仅仅依靠调整汽油的构成，不可能实现生产清洁油品的目标。应当在调整汽油配方的同时，加快发展 FCC 汽油的加氢改质技术，以降低 FCC 汽油中烯烃和硫的含量，提高汽油质量。

## 5 结 论

能源工业作为世界各国的基础性产业之一，正面临着来自资源短缺、市场竞争加剧、环保法规日益严格以及可持续发展等方面的巨大压力。世界能源结构正在向着可再生能源及更加清洁高效的电能、氢能等二次能源转变，在此转变过程中，能源

技术的未来发展充满了不确定性。因此，对能源工业及能源技术的未来发展进行科学系统的预见成为近年来各国或各大石油公司把握未来、规避风险的重要手段。本文在综合介绍 TFS 的定义、发展历史、TFS 与可持续发展及核心竞争力的关系的基础上，介绍了 TFS 方法，以中国、日本以及 Shell 公司进行的 TFS 活动为例，介绍了 TFS 方法在能源领域的应用，并在最后介绍了本文作者以情景法为基础对未来 5~15 年我国清洁汽油构成分析的结果，以期为国内正在开展的相关 TFS 活动提供参考。

我国是仅次于美国的世界第二大能源消费国，能源资源总量不足正在成为制约我国国民经济和社会发展乃至国家安全的瓶颈。与发达国家不同，我国的能源消费以煤为主，因此，我国在积极寻求替代能源的同时，应当更加关注煤洁净利用技术以保障能源供应，保护环境，实现可持续发展。在此过程中，科学技术作为第一生产力，将在我国能源结构的战略调整中发挥至关重要的作用。我国能源环境的复杂性使得本来就不确定的我国能源工业的未来情景更加复杂，把握正确的 TFS 方法则是穿透水晶球一窥未来之堂奥的关键，这正是本文的目的所在。

## References

- [1] Martin B R. Foresight in science and technology. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1995, 7 (2): 139-168
- [2] Coates V, Farooque M, Klavans R, Lapid K, Linstone H A, Pistorius C, Porter A. On the future of technological forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 2001, 67: 1-17
- [3] Grupp H. Technology at the beginning of the 21st century. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1994, 6 (4): 379-409
- [4] Blind K, Cuhls K, Grupp H. Current foresight activities

- in central Europe. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, **60**: 15-35
- [5] Shin T. Using Delphi for a long-range technology forecasting and assessing directions of future R&D activities—the Korean exercise. *Technological Forecasting and Social Change*, 1998, **58**: 125-154
- [6] Shin T, Hong S K, Grupp H. Technology foresight activities in Korea and in countries closing the technology gap. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, **60**: 71-84
- [7] Héraud J A, Cuhls K. Current foresight activities in France, Spain, and Italy. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, **60**: 55-70
- [8] Ronde P. Delphi analysis of national specificities in selected innovative areas in Germany and France. *Technological Forecasting and Social Change*, 2003, **70**: 419-448
- [9] Anderson J. Technology foresight for competitive advantage. *Long Range Planning*, 1997, **30** (5): 665-677
- [10] Chakravarti A K, Vasanta B, Krishnan A S A, Dubash R K. Modified Delphi methodology for technology forecasting—case study of electronics and information technology in India. *Technological Forecasting and Social Change*, 1998, **58**: 155-165
- [11] Grupp H, Linstone H A. National technology foresight activities around the globe—resurrection and new paradigms. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, **60**: 85-94
- [12] Kuwahara T. Technology forecasting activities in Japan. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, **60**: 5-14
- [13] Eto H. The suitability of technology forecasting/foresight methods for decision systems and strategy—a Japanese view. *Technological Forecasting and Social Change*, 2003, **70**: 231-249
- [14] Kameoka A, Yokoo Y, Kuwahara T. A challenge of integrating technology foresight and assessment in industrial strategy development and policymaking. *Technological Forecasting and Social Change*, 2002: 1-20
- [15] Pu Genxiang (浦根祥), Sun Zhongfeng (孙中峰), Wan Jinbo (万劲波). On the basic hypothesis of technology foresight. *Studies in Dialectics of Nature (China)* (自然辩证法研究), 2002, **18** (7): 40-43
- [16] Major E, Asch D, Hayes M C. Foresight as a core competence. *Futures*, 2001, **33**: 91-107
- [17] Tilley F, Fuller T. Foresighting methods and their role in researching small firms and sustainability. *Futures*, 2000, **32**: 149-161
- [18] Martin B R, Johnston R. Technology foresight for wiring up the national innovation system—experiences in Britain, Australia, and New Zealand. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, **60**: 37-54
- [19] Martin B R. Technology foresight: a review of recent government exercises. *Science, Technology, Industry Review*, 1996, **17**: 15-50
- [20] Li Jianmin (李建民), Pu Genxiang (浦根祥). The coming age of technology foresight. *World Sciences (China)* (世界科学), 2002 (4): 45-46
- [21] Li Wan (李万). APEC, UNIDO, OECD and technology foresight. *World Sciences (China)* (世界科学), 2002 (8): 40-41
- [22] Cuhls K. Foresight with Delphi surveys in Japan. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2001, **13** (4): 555-569
- [23] Reger G. Technology foresight in companies: from an indicator to a network and process perspective. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2001, **13** (4): 533-553
- [24] Halal W, Kull M D, Leffmann A. The George Washington University forecast of emerging technologies—a continuous assessment of the technology revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 1998, **59**: 89-110
- [25] Chinese Academy of Sciences (中国科学院). High Technology Development Report 2002. Beijing: Science Press, 2002: 170-181
- [26] Mu Rongping (穆荣平). Technology foresight for Beijing. *World Sciences (China)* (世界科学), 2003 (4): 41-43
- [27] Mishra S, Deshmukh S G, Vrat P. Matching of technological forecasting technique to a technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 2002, **69**: 1-27
- [28] Levary R R, Han D. Choosing a technological forecasting method. *Ind. Manage.*, 1995, **37** (1): 14-18
- [29] Bardecki M J. Participants response to the Delphi method: an attitudinal perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 1984, **25**: 281-292
- [30] Chaffin W, Talley W. Individual stability in Delphi studies. *Technological Forecasting and Social Change*, 1980, **16**: 67-73
- [31] Cho Y, Jeong G, Kim S. A Delphi technology forecasting approach using a semi-Markov concept. *Technological Forecasting and Social Change*, 1991, **40**: 273-287
- [32] Davis G. Scenarios as a tool for the 21st century [R]. Glasgow, UK: Strathclyde University, 2002
- [33] Gausemeier J, Fink A, Schlake O. Scenario management: an approach to develop future potentials. *Technological Forecasting and Social Change*, 1998, **59**: 111-130
- [34] The Research Group of Technological Foresight (国家技术前瞻研究组). China's Report of Technology Foresight 2004. Beijing: Scientific and Technical Document Publishing House, 2005: 79-123
- [35] Global Business Environment, Shell International Limited. Exploring the future: energy needs, choices and possibilities—scenarios to 2050 [EB/OL]. [2001]. <http://www.shell.com>