

文章编号:1673-5005(2006)02-0125-08

# 中国石油天然气集团公司清洁燃料生产发展战略和基地优选模型

蒋庆哲<sup>1</sup>, 岳 国<sup>2</sup>, 宋昭峥<sup>1</sup>, 张建广<sup>1</sup>, 柯 明<sup>1</sup>, 罗方敏<sup>1</sup>

(1. 中国石油大学 重质油国家重点实验室, 北京 102249; 2. 神华集团公司, 北京 100010)

**摘要:**在对中国石油天然气集团公司(CNPC)炼油业实际情况进行分析的基础上,给出了 CNPC 清洁燃料油的发展战略,并建立了基地优选模型。结果表明,油业的投资应以价值最大、成本最低为原则,采取分层次、分阶段与新建和扩建并举的方式。CNPC 生产清洁燃料油需要炼化业从科技入手,加快技术改造力度,更需要政府从政策上引导、扶持,以创造良好的消费环境,确保炼油企业持续、稳定、快速发展。该评价结果可为 CNPC 清洁燃料生产基地的发展提供决策依据。

**关键词:**清洁燃料; 发展策略; 赋权方法; 层次分析法; 综合评价

**中图分类号:**F 407.22

**文献标识码:**A

## Development strategies and optimized model for bases of clean fuel of China National Petroleum Corporation

JIANG Qing-zhe<sup>1</sup>, YUE Guo<sup>2</sup>, SONG Zhao-zheng<sup>1</sup>, ZHANG Jian-guang<sup>1</sup>, KE Ming<sup>1</sup>, LUO Fang-min<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Heavy Oil for Processing in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Shenhua Group Corporation, Beijing 100010, China)

**Abstract:** Based on the situation of clean gasoline, the development strategies and optimized model for bases of clean gasoline of China National Petroleum Corporation(CNPC) were given. To reduce its investment cost, refining industry of CNPC take hierarchical and periodic investment ways which combine building new installations with extending present ones on the principle that the value is maximum and the cost is minimum. The refining industry of CNPC should start with applying science and technology in its processing technology to produce clean fuel oil. Furthermore, it is advisable that government should take part in cultivating fine consuming environment to ensure that refining companies of CNPC develop continuously, steadily and rapidly. The evaluation results can provide an important decision basis for bases of clean gasoline of CNPC.

**Key words:** clean fuel; development strategies; power evaluation method; analytical hierarchy process; comprehensive evaluation

中国石油天然气集团公司(CNPC)的炼油企业要想参与国际竞争,必须造就若干技术实力强、工艺先进、区域市场完善的清洁油品生产基地,确保在国内外市场上提供清洁燃料。与国内外石化企业相比,CNPC 燃料油难以适应越来越严格的环保和国际市场要求。要想彻底解决燃料油质量问题,还需要炼油业从自身入手,调整装置结构,加大投资力度,新建或扩建部分装置。但这样做 CNPC 炼油企业装备改造面临的压力过大,甚至是难以实现的。问题的关键在于如何确定燃料油今后的发展方向和发展策略,如何在满足环保标准的条件下使投资最

小、效益最佳。在选择建立清洁燃料生产基地时,影响因素众多,用一般的定性描述难以统一认识和规划,更难用精确的数学模型加以模拟。层次分析法(AHP)是一种定性与定量相结合的决策分析技术,它通过整理和综合专家们的经验判断,将分散的咨询意见模型化、集中化和数量化<sup>[1-4]</sup>。虽然 AHP 比较适用于诸如清洁燃料生产基地的选择等多层次复杂大系统,但所选择的规划指标数量过多时,用其确定规划指标权系数,一方面可能会导致不符合递推性公理,另一方面会导致烦琐的判断和复杂的计算。解决上述问题的有效途径就是选择专家易于介入、

收稿日期:2005-08-11

作者简介:蒋庆哲(1961-),男(汉族),山东鱼台人,教授,博士,研究方向为清洁燃料及化工技术经济。

形式简单、处理方便且相对客观的专家群民主决策支持下定性指标定量转化的赋权方法<sup>[5,6]</sup>。笔者根据CNPC炼油业实际情况,着眼于CNPC全局,对清洁燃料油发展战略和基地优选进行研究,为CNPC清洁燃料油的发展提供决策参考。

## 1 CNPC 炼油业燃料油发展策略

### 1.1 CNPC 炼油业燃料油发展的特点

#### 1.1.1 实施区域优化和炼油化工一体化

炼油化工一体化不仅可降低某单一因素对企业效益的冲击,如油品优质不优价等,更主要的是通过炼油与化工之间工艺流程的充分优化来实现优势互补,从而较大幅度地降低炼油以及化工生产的单位成本,增强产品竞争力。从发展趋势来看,装置大型化与炼油、化工的一体化生产是石化企业未来发展的方向<sup>[7]</sup>。停产小型装置,将多系列转换为单系列生产,装置规模化,可有效降低单位能耗,提高经济效益。目前CNPC炼油企业亟待解决布局分散、规模偏小、装置结构单一等诸多问题。因此建议CNPC炼油业的发展应坚持炼油与化工并举的方针,争取早日形成若干个分工明确、布局合理的大中型炼化一体化生产基地。

同样,为了生产清洁燃料,应对处于同一地区或临近地区的炼油、化工企业进行区域内的优化。如某一地区相近的几家小炼厂联合起来,原料互供,在条件好的一家炼厂新建经济规模的装置,生产新的调和组分,产品分摊,风险共担,利益共享。这样做,既能减少投资,降低生产成本,又能满足市场对生产清洁燃料的需求。

#### 1.1.2 避免恶性竞争,寻求双赢良策

国内各石油石化公司是具有各自经济利益的主体,相互竞争是不可避免的,而且适度竞争是有益的。但是,在跨国公司大举进入中国石油、石化市场的强劲势头面前,国内企业的主要竞争对手不是对方,而是国外大公司,在竞争力相差悬殊的情况下,国内各石油、石化公司只有联手才能在竞争中立于不败之地。而且国内公司间的合并、置换、专业联合等资产重组应该依据竞争的需要持续进行,这将有利于形成国内企业赛跑式竞争的良好发展局面,也有利于国家全局的利益。

同时,为了获得国外大型跨国公司的投资以及现代化管理经验和先进技术,必须与跨国公司加强合作和联合,通过合资合作的方式,相得益彰,使市场竞争规范有序。

#### 1.1.3 加强企业长远战略规划的研究

在我国市场和企业已逐步面向世界的新形势下,CNPC的炼油化工企业首先应在做好近期规划的前提下,加强长远战略规划研究。应建立专门机构,对国内外市场的原油和燃料油价格进行长年跟踪分析;对市场的发育规律和行情进行深入研究;对国际上大型跨国石油公司的动向要及时了解,随时反馈到领导决策层和炼油生产企业,对企业的生产流程和产品结构要经常进行调整,以适应市场的需要。就长远规划而言,现在就应着手研究制定今后10~20a的发展战略和目标规划。长远战略要放眼全国和全世界,不能仅仅局限在东北和西北地区。要在充分利用东北和西北现有优势条件的基础上,认真考虑在市场缺口大、运输条件好、具有发展前景的我国沿海地区及世界上资源丰富、没有大型炼化企业但有市场前景的发展中国家建立大型石油、石化企业。在这些大型炼化企业的建设中,要力争与大型跨国石油公司和原油资源发展前景广阔的国家进行合资合作,做到利益共享,风险共担。

#### 1.1.4 油品质量国家标准尽快与国际接轨

目前我国油品质量标准不论与发达国家还是与周边发展中国家相比,都有较大差距。既然国内油价已基本与国际接轨,长期不同质而又同价是行不通的。我国燃料油市场逐步放开,外国大公司进入我国燃料油市场将不可避免。我国油品质量国家标准与国际接轨,不是全国各地都立刻执行一个标准,完全可以分地区分阶段逐步实施。可是,进口油品质量必须严格执行国家标准,否则只能按半成品进口。长期以来,美国、日本等国家都是这样做的,这也是国家保护本国炼油工业的一项措施。

#### 1.1.5 加强技术创新,创造核心竞争力和技术优势

目前我国炼油企业和外国大公司竞争,仅有市场优势。要保住市场优势,就必须努力创造技术优势。现在炼油技术发展很快,日新月异。外国大公司都是超前开展研发工作,都拥有几项在国际市场领先的核心技术和专有技术,靠自己的核心技术和专有技术同其他公司竞争与抗衡。因此,要充分认识这个问题的紧迫性和严重性,要下决心认真贯彻“有所为,有所不为”的方针,有进有退,把有限的人力、物力、财力集中用在核心技术和专有技术的创新上;要加快转换机制,充分发挥我国技术人员的聪明才智,搞出几项拥有原创性自主知识产权的核心技术和专有技术,在国际市场同外国大公司决一雌雄。

## 1.2 投资对策

环保要求石油产品中硫等含量更低,烯烃、氧含量适中,产品质量更好。一个炼油企业不进行必要的环保投资,就无法达到环保要求的产品质量标准,在炼油行业的竞争中就可能没有立足之地。环保投资必不可少,关键要看环保的投资水平。简单地说,如果一个公司用于提高产品质量、生产清洁燃料的环保投资低于整个炼油业的环保投资的平均值,这个公司就赢利;若高于整个炼油业的环保投资平均值,这个公司就会赔钱,以致最终被淘汰<sup>[8]</sup>。由于环保投资的大小直接关系到企业的成本、利润和整体经济效益,因此 CNPC 有必要在不断满足清洁燃料质量标准的前提下,提出切实可行的投资措施与对策,严格控制投资。

### 1.2.1 选择正确的投资方式

从企业角度来说,一切环保措施的制定与实施都应以实现价值最大、成本最低为准则。为了生产更多、更好的清洁燃料,就必须在装置结构的调整上投入大笔资金。这方面,各发达国家的炼厂均投入了重金<sup>[9]</sup>。但是进行装置调整对 CNPC 炼油企业来说,经济压力将是巨大的。因此必须采取适当的投资方式,以期用最少投资获得最大效益。

(1) 分层次投资。不同的企业,由于产品质量现状、所处的环境以及工艺技术水平不同,环保的紧迫程度不同。对于那些产品质量不好、其产品销售地区环保要求严格的企业,环保投资的比例适当大一些,以求尽快提高装置技术水平,生产符合环保标准的清洁燃料。相反,对于产品质量较好、工艺技术水平较高的企业,近期可考虑压缩环保投资,但也要做好长远打算。另外,投资还要有利于新技术、新工艺的应用,既要确保先进生产技术的开发、引进和应用研究,又要重点投资优势企业,使这些企业装置配套能力和生产工艺技术水平有质的飞跃。

(2) 分阶段投资。根据环保要求的油品质量指标以及 5~10 a 的环保进展,制定合理的投资步骤,按计划分阶段投资。在不做超前投资的前提下,投资要为今后发展留有余地。分阶段投资既可缓解近期资金不足问题,又为今后改造和发展留有余地,使投资计划具有符合未来更加严格的环保指标的灵活性。

(3) 新建与扩建相结合。尽可能利用原有设备,通过装置的改造和改变操作条件来提高产品质量,以达到环保指标。对于具有经济规模的大型炼厂,如果达到相同的环保指标,进行设备改造的投资远

比新建装置的投资少得多。

### 1.2.2 对 CNPC 炼油业提高油品质量的投资建议

(1) 坚持低成本策略,提高投资回报率。面对油价波动、炼油毛利下降、石化竞争日益加剧的局面,惟一不变的应对之策就是持续不断地降低成本。CNPC 成本费用一直居高不下,尤其是炼油方面的成本与国外相比差距不小。因此, CNPC 对环保方面的投资,尤其是新建装置要慎重行事,以避免投资过大使成本上升,从而降低投资回报率。但由于炼油板块与上游原油开采、下游销售相比不仅利润低,而且减少成本难度极大,所以 CNPC 应该参照国外炼油业的成功经验,采用分子管理法,从点点滴滴做起,调整原油加工布局和企业装置构成,提高炼油集中度,合理配套二次加工装置,确保产品质量的升级。

(2) 投资方向要与炼油结构调整相结合。要提高 CNPC 炼化业务的投资效益,投资取向就必须与结构调整相结合。国际大型跨国石油公司凭借其质量、品种、成本和服务优势,通过各种手段和渠道占领中国石化市场并扩大市场份额。而国产石化产品在数量、品种和质量上,均不能完全满足市场需求。因此, CNPC 炼油业的结构调整已成为 21 世纪初的重要任务。但结构调整不能是简单的数量平面扩张,而是结构的优化升级。要从满足市场需求和产业结构升级出发,依靠科技进步和技术创新,遵循市场竞争原则,以经济效益为中心,生产品种全、质量档次高、附加值高和安全、环保型产品,提高产品竞争力。按区域优化原则,确定重点发展企业,优化资产结构,加强资本运营,调整产能结构,提高投资效益,逐步形成各有特色的大型炼油化工基地和清洁油品生产基地。

(3) 加快生产清洁产品的新工艺、新技术的研究开发,为产品质量升级换代和节约投资提供技术支持。CNPC 科技发展应以迎接中国加入 WTO 后炼油工业面对的严峻形势为出发点,以科技体制改革和创新机制为基本手段,充分利用国内外两种资源、两个市场,实现产品升级换代和产业结构调整,并为化工提供优质原料。CNPC 炼油业应根据不同地区不同环保的要求,把工艺和目标对应起来,为各个炼油厂选择正确的工艺技术,同时充分依靠技术创新,为今后更加严格的环保要求开发更新、更有效的工艺和不显著增加成本的新一代催化剂。但由于 CNPC 科技力量薄弱,必须认真研究和分析 CNPC 炼油的未来业务发展,集中现有技术力量,通过内部强强

联合,并借助一定的外部力量,在已形成优势的领域,建立成龙配套的科研开发体系,为 CNPC 提供炼油核心技术支撑。

## 2 CNPC 清洁燃料生产基地优选

### 2.1 清洁燃料生产基地评价指标体系的建立

评价指标体系必须具有涵盖面广、综合性强的特点。这里对 CNPC 清洁燃料生产基地的影响因素进行分析,通过层层筛选,高度概括,系统综合,最后形成由宏观因素指标体系  $B_1$ 、微观因素指标体系  $B_2$  以及风险因素指标体系  $B_3$  共 3 个二级层次及 13 个具体指标  $D_1, D_2, D_3, \dots, D_{13}$  构成的 CNPC 炼厂清洁燃料生产基地发展规划指标体系,见图 1。

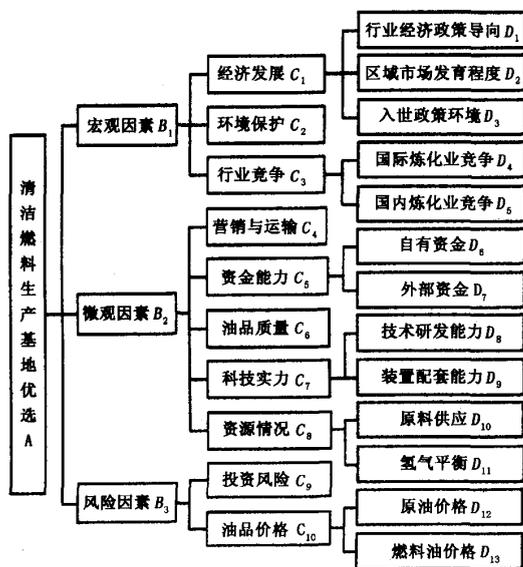


图 1 清洁燃料生产基地指标体系层次结构

#### 2.1.1 宏观指标

(1) 经济发展。它包括以下 3 个方面:①行业经济政策导向。通过大重组, CNPC 变成了产供销、内外贸、上下游一体化的实力显著增强的大企业集团,这与国家在行业经济政策上给予的大力支持是分不开的。②区域市场发展程度。炼化企业的发展与区域市场发展程度密切相关,区域市场特别是区内市场,将直接影响炼油业的经济效益。市场发展程度越高,炼油企业发展的机会和潜力也就越大。CNPC 炼油企业的市场大多是区外市场,势必会削弱石油产品的竞争力。③入世政策环境。加入 WTO 是中国实行改革开放、积极参与经济全球化的必然选择。CNPC 也将更深地融入国际、国内新的环境中,并在其中生存与发展。对炼油业而言,既有机遇,又

有挑战,且挑战是直接的,影响也已经形成。单纯的燃料型或燃料-化工型企业,由于产品结构单一,入世后的相关政策环境对其影响较大。

(2) 行业竞争。它包括以下两方面的内容:

①国际炼化业竞争。自我国加入 WTO 打开国门之后,跨国公司全球性发展战略已给我石化工业带来巨大的压力。在国际市场竞争力强的企业获得生存的机会就多。CNPC 炼化行业由于结构性矛盾比较突出,严重影响了其竞争能力。

②国内炼化业竞争。CNPC 面临的国内竞争压力主要来自于中国石化集团公司,由于中国石化主营业务是石油化工,同时兼营上游业务,相比之下, CNPC 炼化业在炼油能力、装置平均规模、技术经济指标等各方面略显不足,而且炼油产品还要与中国石化争夺国内油品市场。

(3) 环境保护。随着国内外油品质量指标的提高, CNPC 炼油业将面临更大的环保压力。但装置结构、资金实力、地理位置不同,环保的压力也就不一样。

#### 2.1.2 微观指标

(1) 营销与运输条件。CNPC 大部分炼油企业区内市场容量小,很容易满足需求,而远离企业的南方市场则是燃料油的主要消费市场。企业生产的产品能否顺利走向市场,所需原料能否低成本购进,取决于该企业的营销网络的完善程度和交通运输便利条件。

(2) 资金能力。它包括:①自有资金。自有资金是炼厂发展所需资金的重要来源,包括折旧、利润提成等。企业的赢利能力反映出该企业自有资金的多少。②外部资金。企业进行资本运营必须借助于资本市场,资本市场的发展又有力推动企业进行资本经营。炼化企业项目投资数额大,单靠企业内部资金,特别是规模小、效益差的企业,其发展将十分困难。

(3) 油品质量。CNPC 炼油业具有明显的区域性,对于油品质量要求不高的地区,石油产品的档次可以低一些。而对于产品主要供应大城市和环保要求严格区域内的企业,以及走向国际市场的企业,其产品质量档次要高,生产清洁油品的能力要强。

(4) 科技实力。包括:①技术研发能力。我国加入 WTO 后将加大知识产权保护力度,中国石油、石化企业引进技术的难度和代价将加大,立足自身科技创新能力的提高,加大技术创新和新产品开发力度,最终形成自己的专利技术、专有技术和核心技术,是企业冲破技术封锁、取得长久竞争优势的关

键。②装置配套能力。随着炼油工业的发展,炼油装置结构也在不断改变,炼厂的复杂系数进一步提高,装置配套能力将是影响炼油业经济效益的重要因素。

(5)资源情况。包括:①原料供应。针对炼油企业而言,原料主要包括原油和二次加工装置进料。装置规模小、效益差的企业,原料来源将受到制约。而大中型炼化企业,由于规模大、效益好,技术经济指标水平相对较高,并且是CNPC优先发展企业,原料来源比较充足,企业发展前景良好。②氢气平衡。炼厂氢气来源主要有两种途径,一是重整装置产氢,二是制氢装置制氢。氢气是影响炼油经济效益的重要因素。对于加工进口(高)含硫原油的炼厂,氢气更是发展的关键。

2.1.3 风险指标

(1)投资风险。投入企业的资金能否在较短时间内收回,投资回报率是否较高,是影响炼油企业投资安全的重要因素。安全系数高的企业,发展的机会多,市场适应能力强。

(2)油品价格。炼油厂所生产的清洁油品价格将是影响其效益的关键因素。它取决于油品市场对清洁油品的需求量、国家是否有相关行业优惠政策以及企业为出售清洁油品而进行的市场开发程度。

2.2 指标体系权系数赋值的 AHP 模型的建立

2.2.1 判断矩阵的建立

设评价目标为 A,  $r_{ij}$  为第  $i$  个因素  $r_i$  对第  $j$  个因素  $r_j$  的相对重要性数值,则判断矩阵  $R$  为

$$R = \{r_{ij}\}_{n \times n}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

式中,  $r_{ij}$  一般取 1, 3, 5, 7, 9 共 5 个等级标度,其意义为:1 表示  $r_i$  与  $r_j$  同等重要;3 表示  $r_i$  较  $r_j$  稍微重要;5 表示  $r_i$  较  $r_j$  明显重要;7 表示  $r_i$  较  $r_j$  非常重要;9 表示  $r_i$  较  $r_j$  极端重要。2, 4, 6, 8 表示相邻判断的中值,当 5 个等级标度不够时可使用这几个数值。 $r_{ij} = 1/r_{ji}$  表示  $r_i$  比  $r_j$  的不重要程度。

采用以上判断准则,分别聘请若干名专家组成专家组进行咨询,并将咨询结果进行统计整理后构成 A-B,  $B_1$ -C,  $B_2$ -C,  $B_3$ -C 判断矩阵。

2.2.2 评价指标权重的确定<sup>[10,11]</sup>

按公式  $RW = \lambda_{\max} W$  计算矩阵  $R$  的特征根和特征向量,按公式  $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$  检验判断矩阵的一致性,当判断矩阵的随机一致性比例  $CR = CI/RI < 0.10$  时,确认判断矩阵具有令人满意的一致性。 $RI$  为平均一致性指标,对于 1~9 阶判断矩阵, $RI$  值分别为 0.00, 0.00, 0.58, 0.90, 12,

1.24, 1.32, 1.41, 1.45<sup>[12]</sup>。

计算过程中最根本的任务是求判断矩阵的最大特征根和特征向量(求出  $R$  的主特征向量即为评价指标对上一级指标的权重),主要有方根法、和积法、幂法、迭代法等,这里采用迭代法。其步骤如下:

(1)求一列向量,其各分量为  $R$  各行元素之和,即计算  $Re, e = (1, 1, \dots, 1)^T$ 。

(2)把  $Re$  归一化,即求一列向量,与  $Re$  同向,但各分向量之和为 1,即计算

$$x_1 = \frac{Re}{e^T Re}. \quad (2)$$

(3)对于  $k = 2, 3, \dots$ , 按公式

$$x_k = \frac{Rx_{k-1}}{e^T Rx_{k-1}} \quad (3)$$

计算归一化向量,直到  $x_{k+1} - x_k$  的各个分量都小于事先给定的很小的数。这时就把  $x_{k+1}$  取作主特征向量。

(4)计算各层元素的组合权重。利用权重合成原理求出最低层对最高层的组合权重。

各矩阵最大特征值及随机一致性检验结果如表 1 所示。

表 1 各矩阵最大特征值及随机一致性检验结果

矩阵	$\lambda_{\max}$	CI	RI	CR
A-B	3.0092	0.0046	0.58	0.0079
$B_1$ -C	3.0005	0.0003	0.58	0.0005
$B_2$ -C	5.0016	0.0004	12	0.0004
$B_3$ -C	2.0000	0.0000	0	0.0000

由表 1 可以看出,各矩阵的随机一致性都远小于 0.1,说明计算结果符合精度要求。依据判断矩阵 A-B,  $B_1$ -C,  $B_2$ -C,  $B_3$ -C 层次单排序与权系数赋值结果,分别求  $C_1, C_2, \dots, C_{10}$  相对于总目标 A 的权系数,结果如表 2 所示。其中,  $CI = 0.00029, RI = 0.7512$ 。总的随机一致性比例  $CR = 0.00039 < 0.1$ ,表明结果令人满意。

表 2 指标体系中 C 层对 A 层权系数

A	$B_1$	$B_2$	$B_3$	C 层相对于 A 层的 权系数 $W_{\text{总}}$
	0.3879	0.4698	0.1423	
$C_1$	0.2060	0	0	0.0799
$C_2$	0.4919	0	0	0.1908
$C_3$	0.3020	0	0	0.1172
$C_4$	0	0.0976	0	0.0458
$C_5$	0	0.2955	0	0.1388
$C_6$	0	0.2996	0	0.1408
$C_7$	0	0.2074	0	0.0975
$C_8$	0	0.0999	0	0.0469
$C_9$	0	0	0.2857	0.0407
$C_{10}$	0	0	0.7143	0.1016

### 2.3 具体指标权重和具体指标对总目标的权重的确定

#### 2.3.1 专家民主决策支持下定性指标定量转化的赋权方法<sup>[13]</sup>

AHP 技术识别问题的系统性强,可靠性相对较高,但当采用专家咨询方式时,容易产生循环而不满足传递性公理,导致标度把握不准和丢失部分信息等问题出现。因此应用定性指标定量转化的赋权方法来确定 D 级具体指标的权重,然后将 C 级规划指标相对于总目标 A 的权系数按比例分配到 D 级指标中去,从而得到 D 级具体指标相对于 A 层的权系数。

#### 2.3.2 清洁燃料生产基地 D 级指标权系数的确定

设某一规划评价与预测问题共有 m 个具体指标,由 n 位专家分别独立地对 m 个规划指标进行判断并做出排序,得到序次矩阵 F:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \cdots & f_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ f_{m1} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix} = (f_1, f_2, \dots, f_n).$$

式中,  $f_{ij}$  为第 j 位专家对第 i 个指标就重要性所给出的优先序号,  $1 \leq f_{ij} \leq m (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n)$ ;  $f_j$  为第 j 位专家对 m 个指标所给出的序向量。

由矩阵 F 按公式  $h_{ij} = m + q - f_{ij}$  构建优先矩阵 H:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ h_{m1} & \cdots & h_{mn} \end{bmatrix} = (h_1, h_2, \dots, h_n). \tag{5}$$

式中,  $h_{ij}$  为第 i 个规划指标在第 j 位专家的排序中优先于其他指标的次数; q 为避免某个指标可能排在最后导致权重为零而设置的一个参数,一般取 1, 2, 3 等数,其大小对权的离差影响较大。由优先矩阵 H, 分别可按优先数和法、优先数方根法和优先数对数法求得规划指标的权系数,在规划指标求算的方法选择上,当我们不希望权重过于分散,可选用对数法,否则选优先法或优先数方根法。对数法计算公式如下:

$$W_i = \frac{\ln \prod_{j=1}^n h_{ij}}{\sum_{i=1}^m \ln \prod_{j=1}^n h_{ij}}$$

在按上述公式求规划指标权系数的过程中,可分别对 q 取值 1, 2, 3, 然后求得 3 套指标权重方案,

并取其平均值作为 D 级规划指标的权系数,即

$$W = \frac{1}{3} (W_{q=1} + W_{q=2} + W_{q=3}).$$

根据上述赋权原理,以清洁燃料生产基地优选系统经济发展指标(C<sub>1</sub>)中的 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> 共 3 个具体指标为例,采用优先数对数法求指标权系数。在专家数量的选择上,为保证赋权的准确性,必须要求  $n \geq m$ 。如经济发展指标共 3 个具体指标,至少需请 3 位经济专家赋值排序,将得到序次矩阵:  $F = \{f_{ij}\}_{3 \times 3}$ , 并形成如下的优先矩阵 H(此处选  $q = 2$ ):

$$H = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 3 \\ 3 & 2 & 4 \\ 2 & 3 & 2 \end{bmatrix}, \tag{4}$$

利用优先数对数法得到 3 个具体指标相对于 C<sub>1</sub> 的权系数向量 W, 即

$$W = [W_1, W_2, W_3] = [0.4060, 0.3333, 0.2606].$$

采用同样的方法分别求出第 4 至第 13 个具体指标相对于上层(即 C 层)指标的权系数,计算结果见表 3 中 D<sub>4</sub>~D<sub>13</sub>。将各层指标的相对于目标层的权重相乘,得到各层指标的组合权重,详见表 3。

表 3 各层指标代号与权重

代号	权重	组合权重	代号	权重	组合权重
B <sub>1</sub>	0.3879	—	D <sub>7</sub>	0.5000	0.0694
C <sub>1</sub>	0.2060	0.0799	C <sub>6</sub>	0.2996	0.1408
D <sub>1</sub>	0.4060	0.0324	C <sub>7</sub>	0.2074	0.0975
D <sub>2</sub>	0.3333	0.0266	D <sub>8</sub>	0.4623	0.0451
D <sub>3</sub>	0.2606	0.0208	D <sub>9</sub>	0.5377	0.0525
C <sub>2</sub>	0.4919	0.1908	C <sub>8</sub>	0.0999	0.0469
C <sub>3</sub>	0.3020	0.1172	D <sub>10</sub>	0.6131	0.0288
D <sub>4</sub>	0.5377	0.0630	D <sub>11</sub>	0.3869	0.0181
D <sub>5</sub>	0.4623	0.0542	B <sub>3</sub>	0.1423	—
B <sub>2</sub>	0.4698	—	C <sub>9</sub>	0.2857	0.0407
C <sub>4</sub>	0.0976	0.0458	C <sub>10</sub>	0.7143	0.1016
C <sub>5</sub>	0.2955	0.1388	D <sub>12</sub>	0.3869	0.0393
D <sub>6</sub>	0.5000	0.0694	D <sub>13</sub>	0.6131	0.0623

### 2.4 评价指标的数量化

采用九级分制评分标准,将评价指标进行数量化,见表 4。采用 Delphi 法,聘请多个(至少 4 个)专家评论得出每个指标的得分。

表 4 九级分制评分标准

等级	评分
I: 条件非常好	9
II: 条件较好	7
III: 存在少量问题	5
IV: 问题较多和条件较差	3
V: 问题严重和条件非常差	1

### 2.5 综合评价

综合评价就是利用评价指标的权重对所评价的

各个方案进行总体评价,计算各个方案的总得分。为了方便起见,对于总得分引入隶属度的概念,即把每个方案的总得分都映射到 $[0,1]$ 区间内,按隶属度排出每个方案的优劣顺序,见表5。总分隶属度的计算方法如下:

设  $G$  为方案总得分集合,  $R$  为隶属度,分别表示为

$$G = \{g_i | i = 1, 2, 3, \dots, m\}, R = \{r_i\}_m.$$

式中,  $g_i$  为  $i$  方案的总得分;  $r_i$  为  $i$  方案的隶属度。

设  $g_{\max} = \max\{g_i | i = 1, 2, 3, \dots, m\}$ ,  $g_{\min} = \min\{g_i | i = 1, 2, 3, \dots, m\}$ , 则

$$r_i = \frac{g_i - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}}$$

表5 CNPC炼化企业综合评价结果

评价目标	隶属度	排名	评价目标	隶属度	排名
锦西石化	1.0000	1	大港石化	0.3265	13
锦州石化	0.9806	2	乌鲁木齐石化	0.3261	14
大连石化	0.9447	3	华北石化	0.3211	15
西太平洋石化	0.9330	4	长庆炼化	0.3205	16
兰州石化	0.9313	5	辽河石化	0.3184	17
抚顺石化	0.8065	6	延安炼厂	0.3167	18
大庆石化	0.7087	7	呼和浩特石化	0.3126	19
大庆炼化	0.6042	8	哈尔滨石化	0.3058	20
独山子石化	0.5599	9	玉门炼化	0.2976	21
克拉玛依石化	0.4430	10	鞍山石化	0.1450	22
吉林石化	0.3382	11	前郭石化	0.0642	23
辽阳化纤	0.3271	12	格爾木炼厂	0.0000	24

由表5可知,锦西石化、锦州石化、大连西太平洋石化、大连石化和兰州石化等企业的综合评价分值比较高,应该是CNPC炼油企业清洁燃料生产基地优先发展的重点企业。

### 3 结论

(1)CNPC生产清洁燃料油需要炼化业从科技入手,加快技术改造力度,更需要政府从政策上引导、扶持,以创造良好的消费环境,确保炼油企业持续、稳定、快速发展。

(2)CNPC炼油业的投资应以价值最大、成本最低为原则,采取分层次、分阶段与新建和扩建并举的方式。

(3)坚持低成本策略,努力提高投资回报率,投资方向要与炼油结构调整相结合,同时加快生产清洁产品的新工艺、新技术的研究开发,为产品质量升级换代和节约投资提供技术支持。

(4)以锦西石化、锦州石化、大连石化、大连西太平洋和兰州石化为依托,逐步建成大连和兰州两个

实力雄厚的炼油基地和清洁燃料生产基地,提高CNPC抗风险能力和国际竞争力。

(5)以抚顺、大庆以及新疆等地的石化企业为核心,建立清洁油品加工手段齐全、技术水平高、大规模的石化骨干企业,提升在国内市场的竞争力。

### 参考文献:

- [1] RANANATHAN R. A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment[J]. Journal of Environ Manage, 2001,63:27-35.
- [2] HURLEY W J. The analytic hierarchy process: a note on an approach to sensitivity which preserves rank order[J]. Computer and Operation Res, 2001,28:185-188.
- [3] DUKE J M, AULL-Hyde R. Identifying public preference for land preservation using the analytic hierarchy process[J]. Ecol Econ,2002,42:131-135.
- [4] 李贵奇,周和敏,刘艳霞. 清洁生产的非线性和线性多目标模糊评价模型[J]. 武汉理工大学学报,2002,24(3):81-83.  
LI GUI-qi, ZHOU He-min, LIU Yan-xia. Nonlinear and linear multiple objective fuzzy assessment models for the cleaner production[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2002,24(3):81-83.
- [5] ELLIOTT A D, SOWERHY B, CRITTENDEN B D. Quantitative environmental impact analysis for clean design [J]. Computers and Chemical Engineering, 1996, 20: 137-138.
- [6] 金菊良,张礼兵,张少文,等.层次分析法在水资源工程环境影响评价中的应用[J]. 系统工程理论方法应用, 2004,13(2):187-192.  
JIN Ju-liang, ZHANG Li-bing, ZHANG Shao-wen, et al. Application of analytic hierarchy process to environmental impact assessment of water resources project[J]. Systems Engineering Theory Methodology Applications, 2004,13(2):187-192.
- [7] 钱伯章,龚永强. 未来石化工业的技术发展热点: I. 炼油-化工一体化和增产烯烃技术[J]. 石化技术与应用,2003,21(4):239-245.  
QIAN Bo-zhang, GONG Yong-qiang. Technical developing hot point for future petrochemical industry: I. Refining-chemical integration and increasing olefine production technology[J]. Petrochemical Technology & Application, 2003,21(4):239-245.
- [8] 史昕. ExxonMobil公司提高油品质量的投资对策[J]. 当代石油石化,2001,9(10):28-30.  
SHI Xin. ExxonMobil company's investment countermeasures for the improvement of oil product quality[J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2001,9(10):28-30.

- [9] 李大东,侯英生,徐承恩,等.我国环境友好汽车燃料的发展方向[C]//工程技术论坛.我国环境友好汽车燃料的现状和展望.北京:中国工程院,2001:19-20.
- [10] 张良佳,祝巨.中国化工产品国际竞争力研究(II)——模型的计算和分析[J].现代化工,2005,25(2):57-64.  
ZHANG Liang-ju, ZHU Ju. Study on international competition capability of China's chemical products( II ): calculation and analysis of the model[J]. Modern Chemical Industry, 2005,25(2):57-64.
- [11] 侯定丕.管理科学定量分析引论[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1993:327-372.
- [12] 赵焕臣,许树柏,和金生.层次分析法——一种简易的新决策方法[M].北京:科学出版社,1986:26-28.
- [13] 方创琳.区域发展规划论[M].北京:科学出版社,2000:82-86.

(编辑 修荣荣)

(上接第 105 页)

- [3] PITZER K S. Thermodynamics of electrolytes( I ): theoretical basis on general equations[J]. J Phys Chem, 1973,77:268-277.
- [4] PITZER K S. Ion interaction approach: theory and data correlation[C]//Activity Coefficients in Electrolyte Solutions. Boston: CRC Press, 1991.
- [5] FERNANDO V, LESSER B. Mean spherical model for hard ions and dipoles: thermodynamics and correlation functions[J]. Journal of Statistical Physics, 1980, 22(5):593-604.
- [6] JOSLIN C, GOLDMAN S. The third dielectric and pressure virial coefficients of dipolar hard sphere fluids II: numerical results[J]. Molecular Physics, 1992, 79(3): 499-514.
- [7] GERHARD H, NIELS G J. Pressure calculation in polar and charged systems using Ewald summation: results for the extended simple point charge model of water[J]. Journal of Chemical Physics, 1998, 109(7): 2791-2797.
- [8] 李春喜,李以圭,杨林昱,等.氯化钠水溶液的 Monte Carlo 分子模拟研究[J].化学学报,2000,58(11):1349-1352.  
LI Chun-xi, LI Yi-gui, YANG Lin-yu, et al. Study on aqueous solution of NaCl with Monte Carlo computer simulation[J]. Acta Chemica Sinica, 2000,58(11):1349-1352.
- [9] 周健,陆小华,王延儒,等.离子水化的分子动力学模拟[J].化工学报,2000,51(2):143-149.  
ZHOU Jian, LU Xiao-hua, WANG Yan-ru, et al. Molecular dynamics simulation of ionic hydration[J]. Journal of Chemical Industry Engineering(China), 2000, 51(2):143-149.
- [10] 周健,陆小华,王延儒,等.不同浓度下 NaCl 水溶液的分子动力学模拟[J].化学学报,2001,59(12):2070-2075.  
ZHOU Jian, LU Xiao-hua, WANG Yan-ru, et al. Molecular dynamics simulation of NaCl-water solution with various concentrations[J]. Acta Chemica Sinica, 2001,59(12):2070-2075.
- [11] BERENDSEN H J C, POSTMA J P M, GUNSTAREN W F, et al. Intermolecular forces[M]. Holland: Reidel, Dordrecht, 1981.
- [12] JORGENSEN W L, JAYARAMAN C, JEFFRY D M. Comparison of simple potential functions for simulating liquid water[J]. J Chem Phys. 1983,79(2):926-935.
- [13] WILLIAM L J. Revised TIPS for simulations of liquid water and aqueous solutions[J]. J Chem Phys, 1982,77(7):4156-4163.
- [14] LAAKSONEN A, KOVACS H. Silver nitrate in aqueous solution and as molten salt: a molecular dynamics simulation and NMR relaxation study[J]. Can J Chem, 1994,72:2278-2285.
- [15] SOHNEL O, NOVOTNY P. Density of aqueous solution of inorganic substance [M]. Oxford: Elsevier, 1985.

(编辑 刘为清)