

# 石油战略储备方式的成本分析及选择

张栋杰

(武汉大学 经济与管理学院,湖北 武汉 430072)

**摘要:**为了定量分析各种石油储备方式的优劣程度,在定性分析常用储备方式及其特性的基础上构建了占用陆地面积、输油管道长度、建设周期等8项指标的石油战略储备方式评价指标体系;采用模糊综合决策方法,定量评价各种石油储备方式的优劣,并应用于中国的石油战略储备方式选择。分析认为:地下盐穴储备方式最优,地下岩洞储备方式成本最高;石油战略储备方式选择的模糊综合决策可为储备基地储备方式选择提供依据,也可以从理论上完善石油战略储备体系。

**关键词:**战略;石油储备;储备方式;模糊综合决策

**中图分类号:**F426.22

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-6248(2011)04-0057-05

石油是保障一国经济安全的战略资源。经济的发展,石油供需缺口的增大,迫切要求建立和完善石油战略储备体系。石油储备方式的选择是建立石油战略储备的关键问题之一<sup>[1-3]</sup>。基于对储备成本、效益、风险以及运输等因素的考虑,每一种储备方式个性各异,定性分析并不足以充分反映各储备方式的优劣。本文在定性分析常用石油储备方式特性的基础上,通过分析选择石油储备方式时应考虑的因素,利用模糊综合决策这一定量方法综合评价常用石油储备方式的优劣。

## 一、常用石油储备方式及特性

常用石油储备方式有地上油罐储备方式、半地下(地中)油罐储备方式、地下岩洞储备方式、地下盐穴储备方式和海上储备方式等<sup>[4-5]</sup>。

(1)地上油罐储备方式。地上油罐储备方式的优点是结构简单,容易建造,成本较低,便于在石油炼化厂附近设立储存基地。缺点是放置地上的储油罐很容易成为盗窃和外来攻击的目标,大面积占地

还会造成土地资源的浪费,且罐体开裂会导致油品瞬间外泄,易发生火灾、爆炸等事故,安全性较低,风险较高。这种方式适用于内陆的炼油厂。

(2)半地下(地中)油罐储备方式。当储油罐埋入地下的深度不小于本身罐高的50%,且储油罐内最高油液面不高于邻近地区的最低标高2m的为半地下式(地中式)储油罐储备方式。这种储备方式的优点是,防火安全性能比地上式油罐好,占地少,抗震性好,且漏油时大面积扩散的危险性较小。缺点是结构相对复杂,建造费用较高。

(3)地下岩洞储备方式。地下岩洞储备方式是在选择地下岩洞中储备石油,是在有稳定地下水的地区开挖岩洞,岩洞四周被地下水包围,利用地下水和油品的压力差密封石油,以保证原油不泄漏。这种储备方式的优点是封闭性好,可将石油溢出、爆炸或火灾的风险降至最低,不易渗漏,安全性高,且不易遭受人为破坏。地下岩洞是理想的储油场所,但要找到地理地质条件好的岩洞(或岩洞层)是比较困难的。

(4)地下盐穴储备方式。盐穴是指在盐岩上通

收稿日期:2011-05-15

作者简介:张栋杰(1959-),男,甘肃武山人,经济学博士研究生。

过专门溶液造成或开采岩盐所形成的洞穴。盐岩承压能力强,几乎无渗透。盐穴的高度落差形成了自然温差,从而将原油密封在盐穴里。由美国、日本、德国和法国通常采用的石油储备方式可以看出,地下盐穴储备方式似乎是最理想的。但是,能否采用这种储备方式要受到自然条件限制,如受到盐穴距离原油接卸码头及炼油厂、盐穴所处的地理位置、石油炼化企业的输油管道长度等条件的制约,此外也受到国际政治、经济、战争等因素影响。美国在地下盐穴储备方面积累了很多经验,但由于中国的地理条件与美国差别很大,在具体操作上还有很多因素需要考虑。例如,美国普遍采用的一种石油储备方式是把石油储藏在墨西哥海湾一带的岩穴里。采用这样的方式,储备成本较低且易于保持油品的质量,

但是受到地理条件、交通运输状况的限制,显然不适用于所有国家。中国的实际情况是,岩穴普遍离石油生产、加工和消费地很远,现有的交通运输条件还很难克服这一困难。

(5)海上储备方式。海上储油方式是一种利用近海建设的中转和储备油库储备石油的方式。海上储油设施分飘浮式和着底式两大类。海上储存方式的优点是不占用陆地面积,可直接由巨型油轮卸油,耐震性强,容易建造,既可利用旧的大型油轮改装成储油装置,也可新建储油装置,这对于沿江、沿海的大型炼油厂尤其方便。

各种石油储备方式的优缺点及适合国家如表 1 所示。

综上所述,各种石油储备方式都有相应的优缺点

表 1 各种石油储备方式的优缺点及适合国家

分类	优点	缺点	适合国家
地上油罐储备方式	技术简单,建造成本较低	占用大面积陆上土地,大面积渗漏的风险较高,安全性较差	各国
地中油罐储备方式	大面积渗漏的风险较低,抗震能力强,空间利用率高,储存量较大,为地上式的 3 倍	与地上式储备相比,建造费用较高,建造时间较长	各国
地下岩洞储备方式	地下温度稳定,大面积渗漏的风险较低,不占用陆地面积,抗自然灾害(地震、闪电)能力强	地理地质条件好的岩洞或岩洞层难找	中国、美国、澳大利亚、日本、泰国等
地下盐穴储备方式	温度特性优良,成本低廉,储备量大	合适的盐穴不多,输油管道相当长	中国、美国、澳大利亚、泰国、韩国等
海上储备方式	不占陆地面积,抗震能力强,运送、接卸油方便,建造时间短	建造费用较高	中国、日本、韩国等

点,基于对储备成本、储备安全性、储备风险等多方面因素的考虑,仅定性分析各种储备方式的优缺点是远远不够的,需通过定量方法来分析,为储备方式的选择提供依据。

二、选择储备方式需考虑的因素

储备方式与储备油品关系密切。广义的石油包括原油、成品油和天然气,而成品油包括汽油、柴油、煤油、其他石油产品(如润滑油等)。石油本身的特性会在很大程度上影响储备方式的选择。此外,在选择石油战略储备方式时,首先要考虑的因素是国防安全 and 经济安全。鉴于此,本文中的石油战略储备方式选择是在假定储备同类油品,且各种储备方式在保障国防安全 and 经济安全方面的能力一致的情况下,分析各种储备方式的优缺点。在选择石油战略储备方式时,需要权衡各储备方式的建造成本、运

营成本,即主要通过成本来衡量各种石油储备方式的优劣。这里的成本并不仅仅是可以用货币衡量的成本,还包括石油储备建造难易程度、储备风险等需要定性分析的成本,因此,这里所说的建造成本和运营成本是广义上的成本概念。建造成本可以通过储备方式占用陆地面积、输油管道长度、建设周期、储备方式建设成本来衡量;运营成本可以通过储备方式安装功率、储备风险、油质恢复和净现值成本来衡量。对于不同的石油储备方式,从占用陆地面积来看,占用陆地面积越小,需要支付的土地占用成本越低,可见,占地越少越好;从输油管道长度来看,越短越好,越短说明石油输运越方便,管道建设成本也越低。此处的输油管道是指从石油生产地到储备地(库)及从储备地(库)到最终消费市场的距离之和。从建设周期来看,周期越短,越能尽早投入使用,也是越短越好;对于建设成本,显然越低越好;从安装功率来看,安装功率越小说明耗能越少,也是越小越

好;从储备风险来看,风险越低越好;从油质恢复指标来看,恢复程度越高越好,属于收益类属性指标;从净现值成本来看,越低越好。可见,除了油质恢复指标,其他所有指标都是越小越好,即具有成本类属性的指标。选择石油储备方式需要考虑的因素如图 1 所示<sup>[6]</sup>。

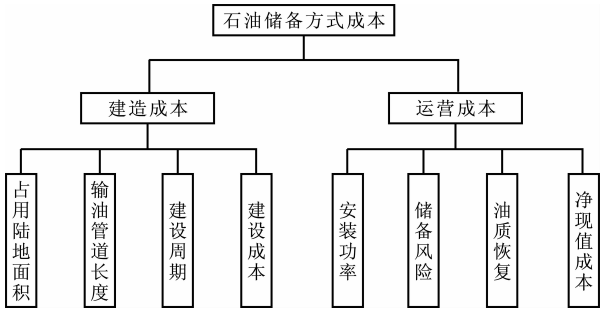


图 1 选择石油储备方式需要考虑的因素

石油战略储备方式决策指标体系中既有定性指标也有定量指标,需要将定性指标转化为定量指标,才能进行决策。定性指标向定量指标的转化可采用 Mac Crimmon 提出的二极比例方法<sup>[7]</sup>来转换,具体转换方式见图 2。在转换时,一般需先建立指标分极评分表,按照具体指标数值分极评分表中的分极情况进行转换。

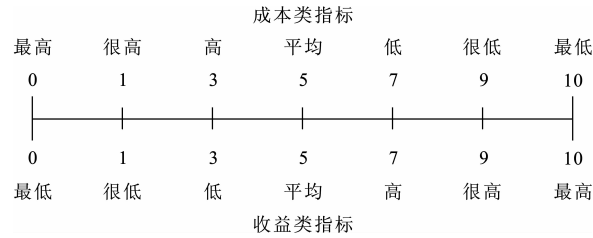


图 2 定性指标向定量转换的二极比例方法

### 三、石油战略储备方式的模糊综合决策

多指标综合评价方法很多,目前常用的综合评价方法有层次分析法(AHP)、模糊综合评价法、主成分分析法、数据包络分析法(DEA)以及神经网络分析评价、价值分析方法等。

在本文中,运用模糊综合评价法对石油战略储备方式进行综合评价。模糊综合评价法的评价步骤有如下四步。

第一步,确定石油战略储备方式的模糊综合评价因素集为 $\{x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}\}$ ,各因素分别对应于储备方式占用陆地面积、需要的输油管道长度、储备方式建设周期、储备方式建设成本、储备方式安装功率、储备风险、油质恢复、净现值成本。

第二步,确定在选择储备方式时建造成本、运营成本的成本权重(一级指标权重) $\{w_1, w_2\}$ 、 $\{x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}\}$ 对于建造成本的权重 $\{w'_{11}, w'_{12}, w'_{13}, w'_{14}\}$ 及 $\{x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}\}$ 对于运营成本的权重 $\{w'_{21}, w'_{22}, w'_{23}, w'_{24}\}$ (二级指标权重),再根据两级指标的权重确定各单项指标的组合同权重 $\{w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14}, w_{21}, w_{22}, w_{23}, w_{24}\}$ , $\{w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14}\} = w_1 \times \{w'_{11}, w'_{12}, w'_{13}, w'_{14}\}$ , $\{w_{21}, w_{22}, w_{23}, w_{24}\} = w_2 \times \{w'_{21}, w'_{22}, w'_{23}, w'_{24}\}$ ,最后利用 AHP 来确定各评价指标的权重。

第三步,确定各个单项指标的隶属函数 $D_i(i = 1, 2, \dots, 8)$ 。为方便分析,本文采用以下方法构造各指标的隶属函数。收益类属性指标(越大越好指标)、成本类属性指标(越小越好指标)的隶属函数构造方法如下:

收益类属性指标参数隶属函数为

$$D_{ij} = \frac{x_{ij} - I_{ij}}{H_{ij} - I_{ij}}$$

成本类属性指标参数隶属函数为

$$D_{ij} = \frac{H_{ij} - x_{ij}}{H_{ij} - I_{ij}}$$

式中: $x_{ij}$ 为 $i$ 子系统参数中的第 $j$ 个参数; $H_{ij}$ 、 $I_{ij}$ 分别为 $i$ 子系统 $j$ 指标的最优值与最差值。

根据各指标实际值和隶属函数,可确定各指标的隶属度,并构建评价矩阵 $M$ 为

$$M = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} & D_{15} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} & D_{25} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} & D_{35} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} & D_{45} \\ D_{51} & D_{52} & D_{53} & D_{54} & D_{55} \\ D_{61} & D_{62} & D_{63} & D_{64} & D_{65} \\ D_{71} & D_{72} & D_{73} & D_{74} & D_{75} \\ D_{81} & D_{82} & D_{83} & D_{84} & D_{85} \end{bmatrix} \quad (1)$$

第四步,根据各单因素评价指标的权重和通过隶属函数确定的各指标值的隶属度,对储备方式的优劣程度进行综合评价。综合评价结果 $V = WM$ , $V = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)$ 。各储备方式优劣程度的综合评价模型为

$$V = WM = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5) \quad (2)$$

式中: $W$ 为综合评价权重向量。

### 四、石油战略储备方式综合评价

#### (一) 石油战略储备方式的指标值

根据美国、日本的石油储备建设经验及 PB 能源存储服务公司等研究成果,结合实际情况,得到中国各种石油储备方式的定性及定量指标值,如表

2 所示。

表 2 各种石油储备方式的定量和定性指标值

评价指标	地上 储备	地中 储备	地下岩 洞储备	地下盐 穴储备	海上 储备
占用陆地面积/hm <sup>2</sup>	607.0	313.6	141.7	70.4	40.0
输油管道长度	较短	短	长	很长	很短
建设周期/年	7	11	13	8	4
建设成本/ (元·桶 <sup>-1</sup> )	89.72	129.78	127.79	45.61	150.36
安装功率/kW	7 350	8 820	13 818	28 665	6 430
储备风险	较高	高	较低	很低	低
油质恢复	好	好	好	好	较好
净现值成本(2008 年)/ (元·桶 <sup>-1</sup> )	65.62	94.92	93.49	33.36	109.98

注:储备容量单位为万桶;美元、日元均结算为人民币。

根据前文述及的定性指标向定量指标转换的二级比例方法,将定性指标进定量化。定性指标定量化数值如表 3 所示。

表 3 定性指标定量化数值

输油管道长度	较短(5)	短(7)	长(3)	很长(1)	很短(9)
储备风险	较高(3)	高(1)	较低(5)	很低(9)	低(7)
油质恢复	好(7)	好(7)	好(7)	好(7)	较好(5)

对于不同储备方式中的成本类属性指标,分别以最大值为确定隶属函数的最差值  $I_{ij}$ ,以最小值为确定隶属函数的最优值  $H_{ij}$ 。对于收益类属性指标,则分别以最小值为确定隶属函数的最差值  $I_{ij}$ ,以最大值为确定隶属函数的最优值  $H_{ij}$ 。

(二) 不同储备方式各指标权重的确定

在选择运输储备方式时,需要给予建设成本与运营成本同等程度的考虑,因此,建造成本和运营成本对于运输储备方式优劣程度的权重均为 0.5。

可通过采用 Delphi 等调查方法,可以得到反映建造成本的各指标对建造成本的重要性比较矩阵,如表 4 所示。

矩阵最大特征根  $\lambda_{\max} = 4.003$ ,一致性指标  $CI = 0.001$ ,检验系数  $CR = \frac{CI}{RI} \approx 0.001 < 0.1$ , $RI$  为平均一致性指标,通过一致性检验。

运用相同方法,可以得到反映运营成本的各指标对运营成本的重要性比较矩阵,如表 5 所示。

$\lambda_{\max} = 4.016$ ,  $CI \approx 0.005$ ,  $CR = \frac{CI}{RI} \approx 0.006 < 0.1$ ,通过一致性检验。

表 4 各指标对建造成本的重要性比较矩阵

建造成本	占用陆地面积	输油管道长度	建设周期	建设成本	权重
占用陆地面积	1	5	1/3	1/5	0.184
输油管道长度	1/5	1	1/3	1/3	0.086
建设周期	3	3	1	3	0.435
建设成本	5	3	1/3	1	0.295

表 5 各指标对运营成本的重要性比较矩阵

运营成本	安装功率	储备风险	油质恢复	净现值成本	权重
安装功率	1	5/1	1/3	5	0.297
储备风险	1	1	1/4	4	0.165
油质恢复	3	4	1	1/7	0.089
净现值成本	1/5	1/4	7	1	0.449

综上所述,利用 AHP 可以求得石油储备方式优劣程度评价体系中各指标的组合权重,如表 6 所示。

表 6 石油储备方式优劣程度评价指标权重

目标层	准则层	权重	指标层	权重	单项指标组合权重
石油储备方式 优劣程度	建造成本	0.5	占用陆地面积	0.184	0.092 0
			输油管道长度	0.086	0.043 0
			建设周期	0.435	0.217 5
			建设成本	0.295	0.147 5
	运营成本	0.5	安装功率	0.297	0.148 5
			储备风险	0.165	0.082 5
			油质恢复	0.089	0.044 5
			净现值成本	0.449	0.224 5

(三) 不同储备方式各指标隶属函数的确定

根据前文给出的成本属性指标和收益属性指标的隶属函数构造方法,可确定各指标的隶属函数矩阵为

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0.517\ 46 & 0.820\ 635 & 0.946\ 384 & 1 \\ 0.5 & 0.25 & 0.75 & 1 & 0 \\ 0.666\ 67 & 0.222\ 22 & 0 & 0.555\ 556 & 1 \\ 0.578\ 624 & 0.196\ 468 & 0.215\ 465 & 1 & 0 \\ 0.958\ 624 & 0.892\ 512 & 0.667\ 731 & 0 & 1 \\ 0.75 & 1 & 0.5 & 1 & 0.25 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0.578\ 961 & 0.196\ 554 & 0.215\ 218 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(3)

(四) 综合评价结果

由上述计算得到各方案的综合评价结果为

$$V = WM = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5) = (0.630\ 595, 0.439\ 333, 0.372\ 754, 0.667\ 401, 0.478\ 625)$$

基于各种储备方式建造成本和运营成本的考虑,从综合评价结果看,各种石油储备方式的优劣程度依次排序为地下盐穴储备方式、地上浮顶式储备方式、海上储备方式、地中式储备方式、地下岩洞储备方式。可见,从储备成本角度考虑,地下盐穴储备方式是最经济的石油储备方式;地下岩洞储备方式是成本最高的储备方式。

## 五、结 语

本文在假定各石油储备方式储备油品一致,且在保障国防安全 and 经济安全方面的能力一致的前提下,通过分析建造成本和运营成本来综合分析各种石油储备方式的优劣程度。基于对各成本的考虑,利用模糊综合决策方法,可以对各种石油储备方式的优劣程度进行排序,地下盐穴储备方式是成本最低的储备方式。当然,对于不同的地区,由于地质条件不同,最终采用哪种方式储备石油,还要结合当地的地形地质条件、地理位置等进一步分析,如虽然从储备成本考虑,地下盐穴储备方式是最经济合理的,但由于这种储备方式对盐穴地质条件的要求,很多地区并不适合这种储备方式。其他几种储备方式也

有各自相应的地质、地理条件要求。可见,石油储备方式的模糊综合决策方法一方面可以为某一储备基地储备方式的选择提供依据;另一方面,也可以指导储备基地的选择。如地下盐穴储备方式相对于其他储备方式是最经济合理的,那么可以有目标地选择有地下盐穴的地区为石油储备基地。

## 参考文献:

- [1] 朱颖超,张在旭,朱渊超,等.我国石油战略储备问题研究[J].油气储运,2007,26(9):8-12.
- [2] 金三林.我国石油储备体系建设的战略构想[J].宏观经济研究,2007(8):27-32.
- [3] 李文阳,丁国生,张昱文,等.我国石油资源地下储备的可行性[J].石油化工技术经济,2002,17(1):14-18.
- [4] 李文龙,谭家华.我国战略石油储备方式研究[J].中国海上油气(工程),2002,14(3):9-14.
- [5] 王 峥,任荣明.试论我国石油战略储备模式[J].西安石油学院学报:社会科学版,2003,12(1):37-41.
- [6] 李文龙,刘亚东,谭家华.基于模糊数学理论的我国战略石油储备方式决策[J].上海交通大学学报,2004,38(11):1892-1896.
- [7] 习文静.石油储备模型研究[J].工业技术经济,2008,27(12):114-116.

## Cost analysis and selection for strategic petroleum reserve method

ZHANG Dong-jie

(School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, Hubei, China)

**Abstract:** In order to analyze quantitatively, the quality level of various petroleum reserve method, the 8 indicators such as land acquisition, oil pipeline length and construction cycle has been built on the basis of qualitative analysis about common reserve method and characteristics. The advantages and disadvantages of various petroleum reserve method are also evaluated through fuzzy comprehensive decision-making method. The results show that underground salt acupuncture point reserve is the optimal way in China, and that the cost for underground cave reserve is the highest. This quantitative method can provide basis for selecting petroleum reserve, it can also guide the selection of petroleum reserve base. In addition, this quantitative method can theoretically improve the strategic petroleum reserve system.

**Key words:** strategy; petroleum reserve; reserve method; fuzzy comprehensive decision-making