

模糊综合评价在天然气长输管道设计中的应用

覃新超¹ 刘海峰² 陈思羽¹ 汪永波¹ 陈 渝¹

1. 中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610041;

2. 中国石油工程造价管理中心, 北京 100083

摘 要: 由于天然气长输管道管径大、距离长、压力高、路途地况复杂多变、“三穿”及沿途补偿投资额大且不确定因素多, 导致工程项目投资很大, 其中线路工程的费用占总投资 60 % ~ 70 %, 因此在设计过程中应对线路进行多方案比选。通过具体实例分析, 对模糊综合评价法在线路路由优化比选中的应用进行了探讨和研究。采用层次分析法确定评价指标的权重, 根据给出的评价标准和实测值, 经过模糊交换后对投资、技术方案和抗风险能力做出综合评价, 运用模糊手段来处理实际问题, 以使评价结果更真实、更合理, 为投资决策提供有力支撑。

关键词: 长输管道; 设计方案; 模糊综合评价; 层次分析法

DOI: 10. 3969 /j. issn. 1006 - 5539. 2017. 03. 020

Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Method to Long-Distance Gas Pipeline Design

Qin Xinchao¹, Liu Haifeng², Chen Siyu¹, Wang Yongbo¹, Chen Yu¹

1. China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China;

2. PetroChina Engineering Cost Management Center, Beijing, 100083, China

Abstract: Long-distance gas pipeline engineering design project has such features as large pipeline diameter, long distance, high pressure, complex terrain along the pipeline route and other uncertain factors, which will result in very high investment costs. Thereinto, pipeline route engineering design costs account for about 60 % to 70 % of the total investment costs. Therefore, route scheme comparison is very important in the design process. Through concrete example analysis, the application of fuzzy comprehensive evaluation method in route selection and optimization is discussed. The analytic hierarchy process (AHP) is applied to determine the weight of the evaluation indexes and to make a comprehensive evaluation according to the given evaluation standard and measured values on such aspects as less cost, better technical proposal and stronger resistance to risk after fuzzy exchange and the fuzzy method is applied to deal with ambiguity problem so as to make the evaluation results more real and reasonable and provide strong support for investment decisions.

Keywords: Long-distance pipeline; Design scheme; Fuzzy comprehensive evaluation; Analytic hierarchy process (AHP)

收稿日期: 2016 - 11 - 03

基金项目: 中国石油天然气集团公司重点工程项目 (S 2008 - 57 D)

作者简介: 覃新超 (1978 -), 男, 广西梧州人, 工程师, 硕士, 主要从事油气地面建设工程投资估算与经济评价工作。

0 前言

天然气作为一种清洁能源被广泛应用,加速开发利用天然气在世界各国得到共识。由于天然气长输管道管径大、距离长、压力高、路途地况复杂多变、“三穿”及沿途补偿投资额大且不确定因素多,导致工程项目投资很大^[1]。线路是管道工程的主体部分,投资份额占总体60%~70%^[2]。线路走向受气田和最终用户以及沿线用户的地理位置、沿线自然条件、经济发展现状及规划等因素影响^[3],加上管道运行周期长、经营成本高,能否确定较优的天然气长输管道设计方案直接关系到管线的经济性和可行性^[4]。

1 模糊综合评价法

目前,国内天然气长输管道设计的方案评价运用较多的方法是层次分析法和德尔菲法等,在评价过程中存在部分模糊因素无法正确表示,导致评价结果失真或偏离实际的情况^[5]。而模糊综合评价是以模糊推理为主的定性与定量相结合、精确与非精确相统一的分析评价方法,其基本思路是结合项目实际特点确定方案评价指标,避开各指标间错综复杂的关系,主要着眼于各指标两两比较的相对重要程度,同时对各项指标给出综合评价的数量等级标准,由专家绘出某方案的指标具体数量评价价值,再用数学方法加权后得出该方案的综合评价价值进行排序比较^[6]。

2 应用实例

2.1 工程概况

某天然气长输管线的走向有北线、南线两个方案,主要工程量及可比投资详见表1^[7]。

表1 主要工程量及可比投资

项目	北线方案	南线方案
管线长度 /km	282	297
水下隧道穿越 /处	1	1
大型河流穿越 /处	2	1
山体隧道穿越 /处	2	2
县道及以下公路穿越 /处	13	17
施工便道 /km	34	29
黄土丘陵段 /km	68	78
无公路段 /km	19	16
困难地段长度 /km	43	39
民房拆迁 /m ²	600	650
可比投资 /万元	208 832	216 597

2.2 模糊综合评价的应用

建立模糊综合评价模型的步骤:确定评价指标、确定指标权重、建立评语集、确定隶属关系和确定评价等级。

2.2.1 确定评价指标

在确保线路安全,尽量减少施工难度和工程量,节省投资,便于长期运行管理兼顾用气市场要求的前提下,根据路由的选线原则,结合管道设计的主要特点,确定相应的评价指标^[8-11],建立层次分析模型,见图1。

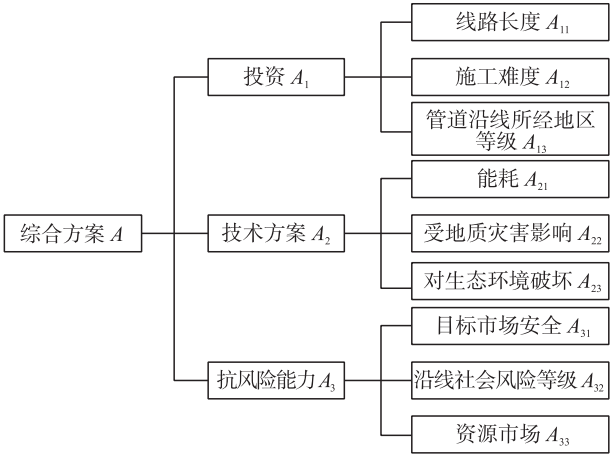


图1 层次分析模型

2.2.2 确定指标权重

通过层次分析法(AHP)确定指标权重^[12-14]。

2.2.2.1 构造判断矩阵

判断矩阵元素 a_{ij} 的含义见表2。

表2 判断矩阵的元素及含义

a_{ij}	含义(两个目标相对重要性的比较)
1	两因素相比,具有同样重要性
3	两因素相比,前者比后者稍重要
5	两因素相比,前者比后者明显重要
7	两因素相比,前者比后者重要得多
9	两因素相比,前者比后者极重要
2,4,6,8	两因素的相对重要性为上述描述的中间
$a_{ij} = 1/a_{ji}$	两因素相比,若前者对后者有上述取值,则后者对前者有其倒数

通过专家评分法确定因素间的相互重要性,得到评判分值见表3。

从表3可确定如下判断矩阵:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 \\ 1/4 & 1 & 1/3 \\ 1/2 & 3 & 1 \end{bmatrix} & \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{matrix} \end{matrix}$$

表 3 各指标间的评判分值

评语	A_1	A_2	A_3	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{31}	A_{32}	A_{33}
A_1	1	4	2									
A_2	1/4	1	1/3									
A_3	1/2	3	1									
A_{11}				1	3	5						
A_{12}				1/3	1	2						
A_{13}				1/5	1/2	1						
A_{21}							1	1/3	1/4			
A_{22}							3	1	2			
A_{23}							4	1/2	1			
A_{31}										1	2	1/5
A_{32}										1/2	1	1/4
A_{33}										5	4	1

2.2.2.2 求判断矩阵的特征向量

经计算判断矩阵的特征向量 $W = (0.56, 0.12, 0.32)$, 最大特征根 $\lambda_{\max} = 3.018$ 。检验系数 $CR = CI/RI$, 其中一致性指标 $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = 0.009$, 平均随机一致性指标 RI 系数见表 4。

表 4 RI 系数

维数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

从表 4 可知, 三阶矩阵的 $RI = 0.58$, 则 $CR = 0.009/0.58 = 0.016 < 0.10$, 表明判断矩阵具有可接受的一致性, 因此 $W = (0.56, 0.12, 0.32)$ 的各个分量可以作为相应评价指标的权系数。同理, 投资、技术方案和抗风险能力各指标间的权重分别为 $(0.65, 0.23, 0.12)$ 、 $(0.13, 0.51, 0.36)$ 和 $(0.19, 0.13, 0.68)$, 经检验, 矩阵均具有可接受的一致性, 因此相应的特征向量有效。

2.2.3 建立评语集、确定单因素评价

评语集分优、良、一般、差和极差五个等级, 即 $V = \{\text{优, 良, 一般, 差, 极差}\} = \{1, 2, 3, 4, 5\}$, 设决策集 $P = (P_1, P_2, P_3, P_4)$, 取 t_i 对应的评语作为评判结果, i 为第一满足 $\sum_{j=1}^i t_j \geq 50\%$ 的值, 根据隶属度确定方案的优劣^[15-17]。以北线方案为例, 其单因素评价表见表 5。

表 5 北线方案单因素评价表

决策	评语								
	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{31}	A_{32}	A_{33}
P_1	2	1	4	4	2	2	5	2	2
P_2	2	2	3	3	3	3	2	3	4
P_3	2	1	2	2	2	4	4	3	1
P_4	1	2	2	2	3	1	1	2	3

由表 5 得到北线方案投资的模糊评价矩阵:

$$R_{A_1(\text{北})} = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.25 & 0.25 & 0 \end{bmatrix}$$

2.2.4 确定评价等级

2.2.4.1 一级模糊综合评价

$$B_{A_1(\text{北})} = [0.65 \quad 0.23 \quad 0.12] \begin{bmatrix} 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.25 & 0.25 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= [0.28 \quad 0.66 \quad 0.03 \quad 0.03 \quad 0.00]$$

$$B_{A_2(\text{北})} = [0.09 \quad 0.41 \quad 0.38 \quad 0.12 \quad 0.00]$$

$$B_{A_3(\text{北})} = [0.22 \quad 0.28 \quad 0.23 \quad 0.22 \quad 0.05]$$

2.2.4.2 二级模糊综合评价

$$B_{A(\text{北})} = [0.56 \quad 0.12 \quad 0.32] \begin{bmatrix} 0.28 & 0.66 & 0.03 & 0.03 & 0.00 \\ 0.09 & 0.41 & 0.38 & 0.12 & 0.00 \\ 0.22 & 0.38 & 0.23 & 0.22 & 0.05 \end{bmatrix}$$

$$= [0.23 \quad 0.51 \quad 0.14 \quad 0.10 \quad 0.02]$$

$$B_{A(\text{南})} = [0.17 \quad 0.42 \quad 0.32 \quad 0.07 \quad 0.02]$$

以上结果表明, 北线方案优、良、一般、差和极差的隶属度分别为 23%、51%、14%、10% 和 2%。规定优和良的隶属度之和必须大于 50% 才能确定评价等级, 即北线、南线方案均评定为合理。由于北线方案优和良的隶属度之和为 74% (23% + 51%), 大于南线方案的 59% (17% + 42%), 因此推荐北线方案。

3 结论

在推荐的北线方案中, 投资、技术方案和抗风险能力三者之间, 投资的权重最大, 符合行业倡导的通过节省投资来提高经济效益的原则, 而除了投资, 技术方案和抗风险能力也是投资者关注的因素, 因此在设计过程中需正确处理三者之间的对立统一关系, 在满足设计规

范、使用功能的前提下,通过强化技术方案和提高抗风险能力来寻求最佳技术经济指标。将这些因素融合到基于层次分析法的模糊综合评价中,能有效解决评价指标单一、过程不全和主观性强等问题,实现设计方案技术经济的综合优选,使评价结果更具说服力,为天然气长输管道工程投资决策提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 赵洪梅. 长距离输气管道项目投资控制研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2003.
Zhao Hongmei. Study of Cost Control on Long-Distance Gas Pipeline Project [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2003.
- [2] 王毓民. 输气管道工程线路方案优化[J]. 天然气与石油, 2007, 25(6): 11-19.
Wang Yumin. Optimization of Routing Options in Gas Pipeline Project [J]. Natural Gas and Oil, 2007, 25(6): 11-19.
- [3] 王树立, 赵会军. 输气管道设计与管理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 11-13.
Wang Shuli, Zhao Huijun. Gas Pipeline Design and Management [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 11-13.
- [4] 刘爽, 章申远. 长距离输气管道优化设计[J]. 天然气与石油, 1998, 16(3): 1-5.
Liu Shuang, Zhang Shenyuan. Long-Distance Gas Pipeline Optimization Design [J]. Natural Gas and Oil, 1998, 16(3): 1-5.
- [5] 胡宝涛. 模糊理论基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004: 69-78.
Hu Baotao. Basis of the Fuzzy Theory [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004: 69-78.
- [6] 陈巍. 模糊综合评价法在天然气长输管道方案比选中的应用[J]. 油气田地面工程, 2009, 28(5): 42-43.
Chen Wei. Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Method in Long-distance Gas Pipeline Design Scheme Selection [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2009, 28(5): 42-43.
- [7] 孙春良. 陕京三线输气管道工程可行性研究报告[R]. 北京: 中国石油规划总院, 2009.
Sun Chunliang. Feasibility Study on Shaanxi-Beijing Gas Pipeline 3 [R]. Beijing: China Petroleum and Planning Engineering Institute, 2009.
- [8] 文涛. 输气管道设计方案综合研究[D]. 成都: 西南石油学院, 2005.
Wen Tao. Research on Gas Pipeline Design Proposal [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2005.
- [9] 马志祥. 油气长输管道的风险管理[J]. 油气储运, 2005, 24(2): 4-6.
Ma Zhixiang. Risk Management on Long-Distance Gas Pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2005, 24(2): 4-6.
- [10] 郑津洋, 马夏康, 尹谢平. 长输管道安全风险辨识评价控制[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 48-49.
Zheng Jinyang, Ma Xiakang, Yin Xieping. Identification & Evaluation & Control of Security Risk about Long-Distance Gas Pipeline [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 48-49.
- [11] 许可方. 管道风险管理水平[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 1-2.
Xu Kefang. Risk Management of Pipeline [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 1-2.
- [12] 陈营. 层次分析法在输气管道设计方案优化中的应用研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2009.
Chen Ying. Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in Gas Pipeline Design Optimization [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2009.
- [13] 朱伟, 青红, 李粹淑. AHP法在项目前期工程决策系统中的应用[J]. 天然气与石油, 1996, 14(3): 49-53.
Zhu Wei, Qing Hong, Li Cuishu. Application of AHP Method in Decision System of Projects Pre-works [J]. Natural Gas and Oil, 1996, 14(3): 49-53.
- [14] 王治强. 层次分析法在高速公路工程承包管理风险中的应用[D]. 郑州: 郑州大学, 2005.
Wang Zhiqiang. Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in Highway Engineering Contracting Risk Management [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2005.
- [15] 覃新超. 天然气长输管道线路工程设计方案的评价[D]. 北京: 北京理工大学, 2010.
Qin Xinchao. Evaluation on Design Option of Long-distance Gas Pipeline Route [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2010.
- [16] 李舒亮, 张书军. 工程项目风险的模糊层次综合评价研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 8(4): 112-115.
Li Shuliang, Zhang Shujun. Research on Fuzzy Comprehensive Evaluation of Construction Project Risk [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 8(4): 112-115.
- [17] 余晓钟. 石油项目投资风险多层因素模糊综合评价[J]. 西南石油学院学报, 2002, 24(5): 71-73.
Yu Xiaozhong. Many-Sided Factors of Fuzzy Comprehensive Evaluation on the Risk of the Petroleum Project Investment [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2002, 24(5): 71-73.