文章编号: 1006-5539(2004)04-0004-04

油气管道设计多方案综合评价综述

文 涛, 汪玉春

(西南石油学院,四川 成都 610500)

摘 要: 石油天然气长输管道工程具有高技术、高投入、高风险的特点, 因此对各工程方案进行科学决策便显得非常重要了。20世纪90年代以来, 随着对模糊集合理论, 灰色系统理论和物元分析的引入, 形成了一些比较完善的用于油气管道设计方案综合评价的方法。 对这些现有方法进行了总结和阐述, 并针对现有评价体系中所存在的问题提出了一些见解, 为综合评价理论在油气管道设计中的应用发展理清了思路。

关键词: 油气管道设计; 方案; 模糊数学; 灰色系统; 评价中图分类号: TE973.1 文献标识码: A

1 油气管道设计采用多方案综合评价方法的目的

油气管道设计具有高技术、高投入、高风险的特

点。其设计实际上是基于众多备选方案的优选和排序。在传统的设计中,其设计过程一般是先从不同的角度编制一定数量的项目方案,然后由专家或领导评判各个方案的优劣,给予"打分",按优劣顺序确定最终的方案。然而,由于每个方案具有众多的技

当参数扰动太大时,分析误差也较大。所以这些灵敏度分析算法只适用于在初始最优解附近扰动的分析。

c)现有的灵敏度分析方法需要目标函数的一阶、二阶导数信息,对于储运优化实际工程问题,这点往往不能满足。储运优化设计数学模型中的目标函数往往非常复杂,要得到其一阶和二阶导数的信息非常困难。

d)储运优化设计问题大多是含有离散变量的非 线性规划问题,而现今的灵敏度分析方法往往是针 对连续变量非线性规划问题的,如何解决离散变量 非线性规划的灵敏度计算也是我们在储运优化设计 中应用灵敏度分析技术急待解决的问题。

综上所述, 灵敏度分析技术在储运优化设计中 具有广泛的应用前景, 但也还存在很多问题值得广 大科技工作者和储运工程技术人员去解决。

参考文献:

[1] 邱轻盈, 冯培恩, 董黎刚. 基于灵敏度信息的优化结果

分析技术 J. 浙江大学学报, 2000, 34(6): 603-606.

- [2] 廖 钦. 天然气管线优化设计[D]. 南充: 西南石油学院, 1994. 18-33.
- [3] 肖 敏, 孙逸华. 优化数学模型的改进和完善[J]. 机械与电子, 2002, (6): 51-53.
- [4] Fiacco A V, Ghaemi A. Sensitivity analysis of a nonlinear water pollution control model using an upper hudson river data base J. Operations Research, 1982, 30(1); 1-24.
- [5] Sobieskie. Sensitivity of optimum solutions to problem parameters J. AIAA, 1982, 28(9): 1291-1299.
- [6] 吴祈宗. 广义简约梯度法解非线性规划问题的灵敏度 分析[J]. 北京理工大学学报, 1989, 9(4): 88-95.
- [7] 陈立周. 机械优化设计方法[M]. 北京: 冶金工业出版 社, 1995, 146-149.
- [8] 邱轻盈, 冯培恩. 基于正交试验的灵敏度分析法[J]. 机械设计, 1997, 14(5): 4-7.
- [9] 刘宝光. 非线性规划[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1988, 259-274.
- [10] 廖林清, 陈 仪. 基于灵敏度分析的工程稳健优化设计方法及其应用[J]. 机械设计与制造工程, 2000, 29 (6): 7-10.

收稿日期: 2003-12-17; 修回日期: 2004-02-27

术和经济指标,每个指标又具有不同的量纲和重要性,并且每个指标之间还存在着复杂的相互关联,单凭主观经验的专家决策显然是不够的。于是采用有效的数学方法,综合专家经验,形成以客观科学的数学模型为基础的评价机制成为众多石油科技人员探索的重点。

2 油气管道设计中综合评价方法的发展和应用

20世纪90年代以来,通过对模糊数学,灰色理论以及物元概念的引入,油气管道设计多方案综合评价方法的发展进入了快车道。先后采用了灰色关联法^[1],灰色多目标局势决策^[2],灰色物元分析³¹,模糊物元优选^[4,5],多目标模糊物元局势决策⁶,基于层次分析法的方案评价¹³等多种综合评价方法。虽然这几种方法各有特点,方法也各有不同,但在使用中都有相似的过程:确定评价指标,建立评价矩阵,指标值的规范化处理,然后是提出评价模型(实际上这些方法的主要不同点正是体现在这个步骤中),还有一步就是指标权重的确立。下面按照这些步骤对管道设计中的综合评价方法进行大致的介绍。

3 油气管道设计中多方案综合评价方 法的综述

3.1 指标体系的确定

油气管道设计中有很多相互关联的指标,指标体系的选取和个人偏好有关,根据多年的实践总结,现在采用的指标体系一般分为工艺参数和经济指标两类,比如现在有一种用于长距离输气管道的指标体系:管径、输送压力、首站压比、中间站压比、压缩机站站数、管道投资费用、建站投资费用、操作经营费用、折合费用。

3.2 评价矩阵的建立

油气管道设计中,一般根据不同管径和输送压力、输量、压缩机站或泵站压比,管道壁厚的组合构造不同的设计方案,采用数学分析法或方案比较法计算出指标体系中其它指标的值 u_{ij} ,从而形成评价矩阵 U(本文考虑 m 个评价方案,n 个评价指标组成的评价矩阵》,China Academic Tournal Flectronic F

$$U = \begin{cases} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{m1} & u_{m2} & \cdots & u_{mn} \end{cases} = \{ u_{ij} \}$$
 (1)

式中 i ——方案号;

j——指标编号(在上述指标体系中 n=9); u_{ij} ——第 i 个方案第 j 个指标的值。

3.3 指标值的规范化处理

指标值的规范化,是为了解决指标之间不可公 度问题以及不同指标之间数值上相差悬殊的问题。 根据不同的规范化处理方式和其特性,可以将指标 分为三种类型:效益型、成本型和区间型。

所谓效益型,就是值取得越大越好的指标,在上述指标体系中,属于效益型有输送压力(在管材允许的强度范围内取最大值);所谓成本型则正好相反,值越小越好,在上述指标体系中这类指标包括管道投资、建站投资费、操作经营费、年折合费用,另外管径在保证完成任务输量的前提下取最小值;还有一类就是区间型,这种指标值是指值越接近某个固定区间越好的属性。

下面是指标规范化处理常用的几种公式 x_{ij} 为 u_{ij} 规范化处理后的值:

$$x_{ij} = \begin{cases} (u_{ij} - \min_{i} u_{ij}) / (\max_{i} u_{ij} - \min_{i} u_{ij}) - -- \text{"效益型"} \\ (\max_{i} u_{ij} - u_{ij}) / (\max_{i} u_{ij} - \min_{i} u_{ij}) - -- \text{"成本型"} \end{cases}$$
(2)

$$x_{ij} = \begin{cases} u_{ij} / \max_{i} u_{ij}$$
 "效益型" min u_{ij} / u_{ij} "成本型" (3) $1 - u_{ij} / \max_{i} u_{ij}$ "成本型"

在油气管道设计中采用的规范化公式一般就为 (2)(3)式,其中灰色关联法和灰色物元分析法采用 的是公式(2)第一个等式,模糊物元法采用的公式(3)的第一和第二个等式,而灰色和模糊物元多局势决策实际上也采用的公式(3)的第一和第二个等式,只是其在维数上是三维的。

3.4 提出评价模型

3.4.1 灰色关联法模型

中其它指标的值 u_{ij} ,从而形成评价 灰色关联法是基于灰色系统理论的一种方法,虑 m 个评价方案,n 个评价指标组 其基本思想是比较各方案的指标值和一个"理想最优方案" S_0 (最小的管道投资、建站费用、操作经营China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved

费用、年折合费用、首站和中间站压比(大于 1)、站数、管径、最大的输送压力)的"相似度",此"相似度"被称为"关联度" R_i 。 在求 R_i 之前需要做的是求关联系数 ξ_i 。

$$\xi_{ij} = \frac{\min_{i} \min_{j} |x_{0j} - x_{ij}| + \rho \max_{i} \max_{j} |x_{0j} - x_{ij}|}{|x_{0j} - x_{ij}| + \rho \max_{i} \max_{j} |x_{0j} - x_{ij}|}$$
(4)

式中 ξ_{ij} — 第 i 个方案第 j 个指标的关联系数值:

₽ ── 分辨系数, 一般取 0. 5;

 x_{0j} — 理想方案指标系列规范化处理后的值:

xii ——各方案指标系列规范化处理后的值。

$$R_{j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \xi_{ij} \tag{5}$$

于是得到方案的评价队列 R,根据 R 的大小顺序就可以确定方案的优选排序,关联度最大的方案即为最优方案。

3.4.2 灰色物元分析法

在灰色系统的基础上,采用"事物,特征,灰量值"这三个要素来描述事物,引入了灰元的概念,但在实质上和灰色关联法是系出同源,所谓事物就是方案,特征就是指标,灰量值就是指标值。并且其算法基本相同,重要的是理解其新引入的物元概念,在方法上就不再赘述了。

3.4.3 模糊物元评价模型

模糊物元评价法和模糊综合评价法的关系正如灰色物元法和灰色关联法的关系相似,在油气管道设计方案综合评价方法的发展中直接跳过了模糊综合评价,进入了物元评价阶段。其核心思想是计算出各方案各指标的隶属度,并构造各方案的从优隶属度,从而形成评价数据列。

其也要建立一个"理想最优方案" S (同前灰色 关联法),通过规范化公式计算其每个方案每个指标的隶属度 x_{ij} ,然后与权重复合物元 R_W 通过加乘运算得到从优度复合物元 R_S ,从而得到评价数据列。

$$R_{W} = \left\{ \begin{array}{cccc} C_{1} & C_{2} & C_{n} \\ w_{j} & w_{1} & w_{2} & \cdots & w_{n} \end{array} \right\} \longrightarrow \text{权重复合物元}$$

$$(其中 w_{j} \ \text{为第} j \ 项指标的权重}) \qquad (6)$$

$$R_{S} = \left\{ \begin{array}{cccc} M_{1} & M_{2} & \cdots & M_{m} \\ S_{i} & S_{1} = \sum_{i=1}^{n} w_{j} x_{1j} & S_{2} = \sum_{i=1}^{n} w_{j} x_{2j} & \cdots & S_{m} = \sum_{i=1}^{n} w_{j} x_{mj} \end{array} \right\}$$

其中 S_i 为每个方案的从优度,根据其大小顺序便可以建立唯一的评价数据列,从优度越大的方案 越好。

3.4.4 多目标局势决策法模型

决策是事件、对策和效果的总称,事件和对策构成局势。油气管道设计就是一个多目标局势决策的问题。其可以将选用的管材(其它比如不同的路线等)作为事件,不同的设计要求作为目标(比如年折合费用最少,金属耗量最少等),在相应事件和目标下的可行解系作为对策,而根据各对策的优化指标作为效果。

具体讲有两种方法:灰色多目标局势决策和多目标模糊物元局势决策,就这两种方法本身来讲后者是前者的发展,实质上其算法基本没有变化,其发展的核心仍然是物元概念的引入。因此在下面统称多目标局势决策法。

多目标局势决策法计算过程和前面的方法略有不同。事件用 a_i 表示, 其对策用 b_j 表示; 其二元组合(a_i , b_j)称为局势 S_{ij} 。

首先构造局势矩阵,设有m个事件,n个对策,则可得局势矩阵S:

$$S = \begin{cases} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{mn} \end{cases}$$
 (8)

然后根据不同目标计算不同对策下的局势 s_{ij} 的计算效果值 u_{ij} 。设目标数为 p 个,矩阵 S_t 为第 t 个目标下的局势矩阵。

对每个局势矩阵采取规范化处理,在这里称为计算效果测度,所谓上限效果测度就是效益型指标的规范化处理,下限效果测度就是成本型指标的规范化处理。其对应于模糊物元中隶属度的计算。

最后根据如下公式构造综合决策矩阵 R^{Σ} :

$$R^{\Sigma} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{\infty} x_{ij}^{t}$$

$$(9)$$

$$R^{\Sigma} = \begin{cases} \sum_{\substack{t=1\\ s_{11} \\ s_{11} \\ s_{12} \\ s_{21} \\ s_{22} \\ s_{22} \\ s_{2n} \end{cases}$$

$$(10)$$

$$\frac{\sum_{\substack{t=1\\ s_{1m} \\ s_{1m} \\ s_{2m} \\ s_{2m} \\ s_{2m} \\ s_{mn} \\ s_{mn} \\ s_{mn} }}{\sum_{t=1}^{\infty} \sum_{\substack{t=1\\ s_{2m} \\ s_{2m} \\ s_{2m} \\ s_{mn} \\ s_{mn} \\ s_{mn} \\ s_{mn} \\ s_{mn} \end{cases}$$

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing 根据综合效果测度矩阵不同行和不同列的比较

便可以得出不同决策的优劣和不同事件的优劣, 综 合效果测度越大越好。

3.4.5 层次分析法(AHP)模型

除了上述评价方法外,还有一种采用层次分析法(AHP)的评价模型。这种方法的核心内容就是"划分层次"和"计算权重"。

首先是划分层次,在油气管道设计中需要将设计中相关的诸多因素划分为相互关联的有序层次。 其层次划分如图 1:

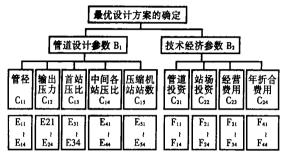


图 1 天然气管线设计方案 AHD 优选模型层次结构图

然后计算各层相对于上一层的权重, 其根据各层构造的判断矩阵 A-B=[0.5,0.5], $B_1-C_1=[0.3846,0.0769,0.0769,0.0769,0.3846]$, $B_2-C_2=[0.125,0.125,0.125,0.625]$ (这些数据都需要经过一致性检验)。

接着是对各方案各指标的规范化处理,最低一层为方案层根据各指标规范化处理的结果分组,得到 $E_{11} \sim E_{14}$, $E_{21} \sim E_{24}$, … $F_{41} \sim F_{44}$ 等多种 5 组组合,再确定各个方案相对于管道设计参数指标和技术经济指标的权重,最后得到方案优劣的总权重排序。

对于这种方法我们感兴趣的不仅仅是其通过计算权重确立方案优劣的方法, 更重要的是在于其计算权重的思想。在上面提到的几种方法中都涉及到权重的选取, 只是有的是根据专家意见(模糊物元法), 或是简单将各指标的权重取为相等(灰色关联法和多目标局势决策法), 就是公式(5)、(9)中的 1/n 项。

这种方法给我们提供了一个思路,就是将其对 权重的计算和其它方法结合起来,将进一步完善评价方法。

4 结语

糊集论和物元概念,其发展的线索是灰色关联法,模糊评价一灰色、模糊物元分析,灰色、模糊多目标局势决策一模糊物元多目标局势决策(其它方法)。在这个发展过程中,灰色方法的关联度计算和模糊方法中从优隶属度的计算有很大相似的地方,可以这样说这两种方法是平行发展,最后又"殊途同归",走向融合。

但这些方法共有的不足一个就是有关权重的科学选取上面,层次分析法可以在一定程度上解决这个问题,另一个问题就是有关指标体系的科学选取上,现有指标体系的选取主要根据个人习惯和专家的经验,找出适合于油气管道设计的科学的指标体系也是现有方法有待完善的地方。

除了这两个需要完善的地方外,还有一个需要考虑的问题就是在众多的评价方法中到底哪种方法在具体操作中是最合适的。这就要涉及到对评价方法的评价问题,其牵扯到有关兼容度和差异度的概念。

当然对评价方法的探索是没有止境的,评价理论的发展和现代数学理论的发展是一起脉动的。就现存的评价方法而言也有很多没用到油气管道设计中,比如:人工神经网络法,数据包络法等,这些都是我们以后要做的工作。

参考文献:

- [1] 汪玉春. 用灰色系统方法优选油气管道设计方案[J]. 石油规划设计, 1993, 4(3): 27-30.
- [2] 宋东昱, 肖芳淳, 严大凡. 多目标灰色局势决策在油气管道设计中的应用[J]. 石油学报, 1994, 15(1): 112-119.
- [3] 肖芳淳. 灰色物元分析在优选油气管道设计方案中的应用[1].油气田地面工程,1996,15(1):1-5.
- [4] 肖芳淳. 天然气管网系统输送方案模糊物元优选法 [J]. 油气田地面工程. 1997, 16(3): 1-3.
- [5] 肖芳淳. 模糊物元评价法的研究[J]. 油气田地面工程, 1997, 16(6): 1-5.
- [6] 肖芳淳. 油气管道设计中的多目标模糊物元局势决策 [J]. 油气田地面工程, 1996, 15(4): 1-5.
- [7] 刘 武. 基于层次分析法的天然气长输管道设计方案 优选[1]. 石油规划设计, 2002, 13(3); 22-24.
- [8] 雍歧东. 方案综合评价在天然气管网系中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1992, 44(3), 4449.

NATURAL GAS AND OIL

(QUARTERLY)

Vol. 22 No. 4 (Total No. 198) Dec. 2004

SELECTED ABSTRACTS

OIL & GAS TRANSPORTATION AND STORAGE

Summary on Application of Sensitivity Analysis to Transportation and Storage Optimization Design

Zhou Hao, Wang Yuchun (Southwest Oil College, Chengdu, Sichuan, 610500, China) NGO, 2004, 22(4): 1-3

ABSTRACT: In sensitivity analysis of optimization design, mainly the effect of small changes from parameters and variables in optimization models is analyzed on the optimal solutions which plays an important role in application of this technology to engineering practices. Described is the feasibility of application of this technology to optimization design of oil and gas transportation and storage. Introduced are development of the sensitivity analysis technology in optimization design its basic theory and methods. Analyzed are the importance wide prospects direction and existing problems of application of this technology to optimization design of oil and gas transportation and storage engineering.

KEY WORDS. Sensitivity analysis, Optimization design; Design variable; Oil and gas pipeline

Summary on Overall Evaluation Method of Multiple Options for Oil & Gas Pipeline Design

Wen Tao, Wang Yuchun (Southwest Oil College, Chengdu, Sichuan, 610500, China) NGO, 2004, 22(4): 4-7

ABSTRACT: The long distance oil & gas pipeline projects have such characteristics as high tech, large investments and high risk so it is very important to make decision scientifically for the schemes. Since the 90's in 20th century, due to application of the fuzzy set theory, gray system and element analysis a set of relatively complete overall evaluation methods of multiple options has formed gradually, which applies to oil & gas pipeline design. Summarized and expounded are all these existing methods.

KEY WORDS. Oil & gas pipeline design; Option; Fuzzy mathematics; Gray system; Evaluation

Summary on Application of Neural Network Technology to Transportation and Storage Engineering

Duan Shanning, Wang Yuchun (Southwest Oil College, Chengdu, Sichuan, 610500, China) NGO 2004, 22(4); 8-11

ABSTRACT: Artificial Neural Network is a rapidly developing algorithm in recent years and has been used in many domains. Described are application of multi-layer perceptron network, radial basis functional network and wavelet basis functional network to data analysis and identification in intelligent inspection of pipelines application of feed forward neural network to decision and evaluation of integrated pipeline fiduciary level, application of natural gas consumption forecast based on adaptive feed forward forecast mode and adaptive functional link forecast mode, and application of Hopfield neural network to pipeline optimization design. It can be seen that Neural Network will certainly become an important technique for solving engineering problems in transportation and storage.

KEY WORDS. Neural Network; Oil & natural gas pipeline; Analysis and identification; Decision and evaluation; Forecast; Optimization design

Study on Filtering Media of New Filter

Li Xi, Huang Dong, Guo Yi (China Petroleum Engineering Co., Ltd. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China) NGO, 2004, 22(4): 12-15

ABSTRACT: Described is the aim of study on filtering media of new filter. Compared are the advantages and disadvantages of these media through experiments at site. In these experiments 5 of media are chosen and performance test has been carried out. The dust concentration and classing efficiency of the media are obtained after passing filter tube. Analysis and comparison are made on the performance of these media.

KEY WORDS. Filter; Filtering; Filtering media; Filtering element

CORROSION AND CORROSION PROTECTION

Discussion on Potential Distribution Law of Cathodic Protection on Tank Bottom Plate

Ma Weiping Zhang Guozhong (Huadong Oil University S&T and Constructional Engineering College, Dongying Shandong, 257061, China)

Liang Changhua. Zhang Dapeng (China Petrochemical Pipeline S&T Co. Dongying Initial Oil Transportation Station, Dongying Shandong, 257067, China)

Li Baidan (Daqing Oil Field Com. Co. Institute, Daqing, Heilongjiang, 163453, China)

An Zhenshan (Qirr Jing Oil and Gas Transportation Branch Co., Qinhuangdao, Hebei 066600 China) NGO 2004, 22(4): 18-21

ABSTRACT: The mathematics model of tank bottom cathodic protection is established. Used is a representative hypothesis of current density distribution, simulated is the protective potential of 2 kind of deep well anode cathodic protection systems and the calculated results are compared with analytical formula and spot data. By this method, multiple tanks and multiple deep well anodes can be studied to accurately calculate the differences of the tank bottom protective potentials.

KEY WORDS. Mathematics model; Cathodic protection; Assistant anode; Protective potential, Rule; Polarization

Application Comparison of External Protective Coating on Buried Steel Pipeline

Du Miao (Sichuan Tianchi Oil and Gas Engineering Construction Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610017, China) Liang Bo, Wen Shihao, Li Jing (PetroChina Southwest Oil and Gas Field Branch, Chengdu, Sichuan, 610051, China) NGO, 2004, 22(4): 22-24

ABSTRACT: Application of external protective coating can prevent long-distance steel pipelines from corroding in their expected service life. A sphalt, coal tar enamel, fusion-bonded epoxy, polyethylene tape, 2-layer PE and 3-layer PE coatings may be used for corrosion control of underground pipelines. Material and structure of each coating are being improved to meet the requirements of application and compound coatings are popularly selected. Reasonable selection of coatings shall depend on reliability, construction techniques and costs.

KEY WORDS: Pipeline; Corrosion control; Asphalt; Epoxy; Polyethylene