灰色系统理论在储运工程中的应用综述

李 薇[1], 汪玉春[1], 陵刚[2]

(1. 西南石油大学, 四川 成都 610500; 2. 中国石油管道公司乌鲁木齐输气分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘 要: 着重介绍了灰色系统理论在油气管道设计、地下储气库设计、石油库管理、腐蚀预测、城市燃气负荷预测、油气消费预测、管线油电损耗预测等储运领域的应用概况; 总结了灰色系统理论在应用中的优点: 计算模型简单、所需样本少、计算量小、准确性较高、计算结果客观合理、有较高的预测与决策效能; 提出了四个需要深入研究的方向。

关键词: 模糊数学; 油气储运; 预测; 决策; 应用

文章编号: 1006-5539(2006)04-0006-03 文献标识码: A

灰色系统理论, 是一种研究少数据、贫信息不确定性问题的有效方法[1]。其特点是少数据建模, 它通过对"部分"已知信息的生成、开发去了解、认识现实世界, 实现对系统运行行为和演化规律的正确把握和描述[2]。国内专家、学者将灰色系统理论引入油气储运工程, 并应用于油气管道设计、地下储气库设计、石油库管理、腐蚀预测、城市燃气负荷预测、油气消费预测、管线油电损耗预测等储运领域, 取得了一定的成果。下面主要介绍灰色系统理论在储运工程中的应用情况。

1 灰色关联分析的应用

灰色关联分析是一种多因素的分析比较法、是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密, 曲线越接近, 相应序列之间的关联度就越大, 反之越小。该分析方法建立整体比较机制, 克服两两比较的局限性, 对样本有无规律都同样适用, 更不会出现量化结果与定性分析结果不符的情况。灰色关联分析在储运工程中主要应用于油气管道设计方案[3~4]和地下储气库设计方案[5]的优选。

1.1 用灰色关联分析进行方案优选

用灰色关联分析进行方案优选首先要预选出若干个设计方案, 再根据预选方案与理想方案的关联度大小来确定问题的最优方案及方案的优劣排序。

文献[3]最早将灰色关联分析应用于油气管道设计方案的优选, 其主要做法是将管径、输送压力、首站压比、中间站站数、管道投资费用、建设投资费用等参数组成比较数列, 并针对设计方案中各因素的计算单位不同, 数据的量纲不同, 用极差规化处理方法对数据进行归一化处理。该方法克服了常规方法没有考虑多因素影响, 片面地选择并非最优设计方案的缺点。文献[4]提出了将层次分析法与灰色关联分析相结合的思路, 建立了层次—灰色系统模型。该思路采用加权正规化方法进行加权处理, 把设计过程中涉及到的诸多因素划分为相互联系的有序层次, 克服了单一灰色关联分析同等对待各因素作用的缺点。

文献[5]应用灰色关联分析法优选地下储气库设计方案, 采用效果测度变换对数据进行归一化处理, 由于在关联度的计算中引入了因素的权重, 使得分析结果更符合工程实际。

1.2 用灰色物元分析进行方案优选

灰色物元分析将灰色关联分析与物元分析相结合, 克服了某些参数不仅具有灰性, 而且具有不相容性, 不利进行优劣排序的缺点[6~7]。文献[6]应用灰色物元分析对油气管道设计方案进行优选, 以直径、输送压力、管道投资费用、站数、经营管理费用、

收稿日期: 2006-04-28

基金项目: 四川省高校重点学科建设资助项目(SZD0416)

作者简介: 李 薇(1981-), 女, 四川西昌人, 现在西南石油大学攻读油气储运专业硕士学位, 研究方向: 储运工程优化设计。电话: (028)83031532。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

年折合费等参数建立各预选方案复合灰元，根据输气压力越大越好这一特点，在选取相对优化原则时采用了越大越优指标。文献[7] 将灰色物元分析用于地下储气库设计方案的优选，在关联度计算中引入了满足度函数，通过加权求和得到各方案的综合关联度。

2　灰色预测的应用

灰色系统预测，是将系统主行为与关联因子结合在一起进行的多序列预测。其基本要求是，通过建立 GM 模型群，研究和预测系统的动态变化，掌握其发展规律，并控制调节变化的方向与速度，使之向着人们所期望的目标发展。在储运工程中主要应用该方法进行油气管道投资预测[8] 、油库环境质量预测[9] 、管罐腐蚀预测[10 ~ 11] 、城市燃气负荷预测[12 ~ 13] 、油气消费需求预测[14] 和管线油电损耗预测[15] 。

文献[8] 将灰色预测和二元线性回归方法相结合，建立油气管道投资费的预测数学模型，采用新陈代谢 GM(1, 1)动态预测方法预测价格指数，所建立的管道投资灰色预测模型是管道投资费随时间、直径、壁厚变化的数学模型。

文献[9] 运用灰色预测方法建立油库环境污染物的预测模型，并采用 GM(1, 1)残差模型对原模型进行修正，提高了预测精度和稳定性。

文献[10] 针对储罐腐蚀深度实际统计数据中任何两个相邻数据都具有“等时效”获取的特点，利用 GM(1, 1)模型对数据进行动态模拟。在建立残差值的 GM(1, 1)模型时，采用数据平移方法解决了参差的符号问题。文献[11] 应用灰色动态模型计算油气管道任意时刻的腐蚀速度，以此确定任意时刻的最大腐蚀坑深度剩余壁厚，从而评判腐蚀油气管道剩余寿命。

文献[12] 应用人工神经网络理论和灰色预测理论中的等维新息建模思想，建立了既反映其时间序列的周期性增长趋势，又包括天气等非线性影响因素在内的短期负荷预测模型。文献[13] 提出了动态等维灰数递补城市燃气负荷灰色预测模型，以此对城市燃气长期负荷进行预测。

文献[14] 抛开了对系统结构的分析，直接通过对油气消费原始数据的累加生成，寻找油气消费系统的整体规律，构建指数增长模型，该方法能根据原始数据的不同特点，构造出不同的预测模型。

文献[15] 利用灰色预测理论，以输油管线每年的输量、相应的电耗和油耗为时间序列，建立了三元素非等间距 GM(1, 1)模型，并得出油耗随输量的指数函数递增的结论。

3　灰色决策的应用

灰色决策是在决策模型中含灰元或一般决策模型与灰色模型相结合的情况下进行的决策，重点研究方案选择的问题。灰色决策主要包括灰局势决策和灰层次决策。在储运工程中灰色决策主要用于油气管道可靠性设计[16] 、油库环境分析[17] 等领域。

灰色局势决策是基于事件拓朴与对策拓朴的局势决策。该决策方法依据决策目标的多少分为单目标局势决策与多目标局势决策，后者考虑多个决策目标，并通过综合、协调、统筹兼顾，将这些目标集为一体进行抉择。文献[16] 将多目标灰色局势决策应用于油气管路可靠性设计，取管材为事件，设计方法为对策，以管材、设备投资、年折合费用、管内摩阻、管路使用年限和管道结构可靠度为决策目标，就油气管线选用动力设备、管材及设计方法，进行了决策分析，考虑了管材性能参数和内外载荷等参数的随机性，把诸多信息不完全、关系不确定的参数作为灰数处理。

灰色层次决策的应用方法是在灰关联空间中，联合和协调各群体的意向，根据各级联合的灰关联度，确定满意局势，满意对策。文献[17] 应用灰色层次决策，分析油库环境系统，克服了一般层次分析法判断矩阵一致性指标难以达到，判断矩阵的一致性与人们决策思维的一致性存在差异的缺点，实现了定性与定量分析的有机结合。

4　灰色综合分析应用情况

灰色综合分析是将灰色系统理论中的灰预测、灰决策相结合进行分析、建模，或者是将灰理论与模糊数学、神经网络、物元分析相结合的分析方法，当采用单一方法难以完全揭示整个系统的情况时，可选用综合分析法，该方法可简化预测、决策过程，使多种方法相互取长补短，避免局限性。目前应用于储运工程的灰色综合分析方法有灰色模糊综合评价法[18] 、灰色—神经网络等维新息模型、将灰预测与

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

灰决策相结合的灰色综合模型[19]等。文献[18]针对油库安全某些指标既具有灰性又具有模糊性这一特点，应用模糊灰色综合评价，通过分析影响因素体系，确定权值集，建立灰色模糊评判矩阵，以此评价油库的安全性。文献[19]建立的灰色综合模型实现了对预测、决策科学定性与定量分析的有机结合，将灰色综合数学模型应用于安全消防系统的预测、决策与控制。

5 案例简介

设计一条输气管道长 960 km，任务输量为 10×10^8 m^3/a，终点压力不低于 0.98 MPa，天然气相对密度为 0.6，运用灰色关联分析进行方案优选。

首先选取不同的管径(7 种)，不同的输送压力，天然气价格(3 种)，经水力、技术经济计算后，共得出 48 种方案。接下来，依据相对优化原则构造最优参考数列$\{X_0,(k)\}$，并按照关联度计算方法得出这 48 种方案与理想方案的关联度，再按关联度的大小进行排序，即得出该输气管设计方案优劣的顺序。从排序结果可知该输气管道设计最优方案的参数为管径 433 mm，壁厚 6 mm，压气站站间距 181.376 km，输送压力 6.312 MPa，年折合费用 4 681.624 万元。

运用灰色关联分析进行方案优选，使评价工作变得简单直观，预选方案的指标无论多少都能一样分析，不存在技术上的难度。

6 结论

将灰色系统理论引入油气储运工程，为分析、预测、规划、决策等提供了科学的新方法、新思路；其计算模型简单、所需样本少、计算量小，计算结果客观合理，便于实现电算化。在储运工程应用中与系统分析的灰色性相吻合，准确性较高，有较高的预测、决策效能和较好的实际应用价值和效果。

灰色系统理论作为一门正处于不断发展、不断完善之中的学科，在储运工程中已经得到了初步应用，但仍然需要进一步研究：

a. 对于 GM(1,1)模型的采用，需要进一步考虑白化背景值的优化。

b. 灰色预测包括数列灰预测、灾变灰预测、季节灾变灰预测、拓扑灰预测和系统灰预测等，前两种已经有过一定研究，后三种则尚未应用于储运工程。

c. 灰色控制理论尚未用于储运领域。

d. 将灰色理论与其它理论相结合，扩展了解决实际问题的思路，克服了单一采用灰色理论的不足，值得深入研究。

可以预见，灰色系统理论在储运工程中具有广泛的应用前景，将更多的应用于分析、预测、规划、设计、决策等领域。

参考文献：

[1] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉：华中科技大学出版社，2002. 422-424.

[2] 刘思峰. 灰色系统理论的产生与发展[J]. 南京航空航天大学学报，2004，36(2)：267-272.

[3] 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)：27-31.

[4] 刘 武. 基于层次分析法的天然气长输管道设计方案优选[J]. 石油规划设计，2002，13(3)：22-24.

[5] 梁光川，蒲宏斌，郑云萍，等. 地下储气库优化设计的灰色关联分析法[J]. 天然气工业，2004，24(9)：142-144.

[6] 敬加强，胡 玫. 油气管道设计方案的灰色物元分析[J]. 油气储运，2001，20(5)：17-19.

[7] 谭羽非，陈家新. 天然气地下储气库最优设计方案的确定[J]. 哈尔滨工业大学学报，2002，34(2)：207-210.

[8] 汪玉春，刘玉峰. 油气管道投资的灰色预测与计算[J]. 天然气工业，1998，18(6)：68-71.

[9] 赵晓刚. 城市油库环境质量状况的灰色预报[J]. 贵州环保科技，1996，29(2)：10-14.

[10] 刘 刚. 灰色 GM(1,1)模型在储罐腐蚀状况预测中的应用[J]. 石油和化工设备，2005，16(3)：19-20.

[11] 蒋晓斌，高惠临. 油气管道腐蚀剩余寿命的预测方法[J]. 石油工业技术监督，2005，3(3)：18-21.

[12] 谭羽非. 城市燃气短期负荷预测的神经网络等维新息模型[J]. 计算机仿真，2001，18(5)：80-83.

[13] 焦文玲，严铭卿. 城市燃气负荷的灰色预测[J]. 煤气与热力，2001，21(5)：387-389.

[14] 凌爱军. 天然气消费预测研究[D]. 成都：西南石油学院，2002.

[15] 隋富娟，吴 明，安丙威，等. 管线油电损耗的灰色模型及预测[J]. 天然气与石油，2003，21(4)：10-12.

[16] 宋东昱，严大凡. 多目标灰色局势决策在油气管路设计中的应用[J]. 石油学报，1994，15(1)：112-120.

[17] 赵晓刚，袁绍强. 环境决策系统中的 AHP 分析法[J]. 贵州环保科技，2001，7(2)：9-11.

[18] 于贤福，秦 勇. 油库安全的灰色模糊综合评判[J]. 工业安全与保护，2003，29(8)：38-40.

[19] 赵晓刚. 油库安全消防系统的灰色综合模型及应用[J]. 石油工程建设，1999，2(2)：7-13.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net