灰色关联法在管道维修整改优先排序中的应用

周 祥[1], 张友波[2], 吴 岚[3]

(1. 中国石油西南油气田分公司长输管道检测评价中心, 四川 成都 610213;
2. 中国石油西南油气田分公司天然气经济研究所, 四川 成都 610051;
3. 中国石油西南油气田分公司输气管理处, 四川 成都 610215)

摘 要: 影响管道安全的因素很多, 事故的风险识别及事故后果的预测存在一定难度。如何保证完好性投资首先用到具有高风险的管线上, 一直是一个重要的问题。提出了事故次数、管龄、期望寿命期、输送量、承压裕量、地区等级、相对风险值、价值指数八个比较指标, 采用灰色关联分析法来对待维修整改的项目进行优先排序。灰色关联分析优先排序的结果可供管道公司为下一步提出维修整改的时间表作参考, 是作出合理决策的有效依据。

关键词: 灰色关联分析法; 优先排序; 完好性投资; 高风险管线

文章编号: 1006-5539(2006)04-0009-03 文献标识码: A

近几年来, 管道公司一直面临逐渐增多的管道大修工程, 公司希望将完好性投资首先用到具有高风险的管线上[1]。选择实施管道大修项目的根据是事故历史记录、昂贵的阴极保护和维护费用、应力腐蚀开裂(SCC)的发生状况、电化学腐蚀调查、涂层状况直观检查以及定期全面检查等因素。影响因素甚多, 这也给上层决策带来了困难。如何使得检测评价更能有效地为维修整改决策提供依据。保证完好性投资首先用到具有高风险的管线上, 是我们急待解决的问题[2]。管线操作运行的风险是事故概率乘以事故后果(费用及安全)的函数, 当风险确定后, 再对维修方案的可行性进行论证, 就可排出管线维修整改的先后顺序。经过风险评价和维修整改的优先排序后, 要做出合理的决策是轻而易举的事。风险评价和维修整改的优先排序为确定费用量和工作进度表建立起了坚实的文件资料基础。

对于提出的诸个待维修整改的项目, 通常人们要综合考虑安全、技术、经济和社会诸方面的效益来论证。因此提出同一的一系列因素、目标的技术经济指标加以评价。但是, 这些因素指标相互之间通常是不可比的, 而且众多的指标项还是非量化的灰数。这样给维修整改的优先排序带来困难。虽然, 有人利用模糊数学隶属函数概念来分析, 但分析结果可能会出现不完全正确的结果。因此本文考虑采用灰色关联分析法来进行维修整改的优先排序。

1 灰色关联分析模型

灰色关联分析作为一种系统分析技术, 是分析系统中各因素关联程度的方法, 或者说是对系统动态发展态势的量化比较分析的方法。其基本思路是根据系统动态过程发展态势, 即系统历年有关统计数据的几何关系及其相似程度, 来判断其关联程度[3]。

1.1 确定参考序列

用灰色关联分析法进行维修整改的优先排序, 首先要使提出的每一个维修整改项目的各因素形成数据列, 各维修整改项目的数据列写成如下形式:

$$\{X_1(k)\}=\{X_1(1), X_1(2), \cdots, X_1(n)\}$$

$$\{X_2(k)\}=\{X_2(1), X_2(2), \cdots, X_2(n)\}$$

$$\cdots$$

$$\{X_i(k)\}=\{X_i(1), X_i(2), \cdots, X_i(n)\}$$

式中, $\{X_1(k)\}$, $\{X_2(k)\}$, …, $\{X_i(k)\}$ 分别表示待维修整改的 $1 \sim i$ 个项目; $k=1, 2, \cdots, n$ 表示一个项目中的各因素。

收稿日期: 2006-02-24

作者简介: 周 祥(1981-), 男, 四川双流人, 助理工程师, 毕业于西南石油大学油气储运专业, 主要从事长输管道风险评价工作。电话: (028)85601822。

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

根据上式，可得到维修整改的理想项目的数据列：

$\{X_0(k)\}=\{X_0(1), X_0(2), \cdots, X_0(n)\}$

它由 i 个维修整改项目中的 n 个因素的最佳数值组成。

1.2 无量纲化

由于维修整改项目中各因素指标的量纲不同，数据的数量级差别较大，不同量纲、不同数量级之间不便于比较，或者在比较时难以得到正确的结论。因此，在进行灰色关联分析时，为了保证各项目间相同因素的可比性，需要对原始数据进行无量纲化处理。根据数理统计中常用的极差统一化处理方法，有：

$$X_j'(k)=\frac{X_j(k)-\min\limits_j X_j(k)}{\max\limits_j X_j(k)-\min\limits_j X_j(k)}$$

$$j=0, 1, 2, \cdots, i;\ k=1, 2, \cdots, n \qquad (1)$$

式中，$X_j(k)$ 为第 j 个项目中的第 k 项因素；$\min X_j(k)$ 和 $\max X_j(k)$ 分别为第 k 项因素在 i 个项目中的最小值和最大值。

经上述无量纲化处理后，用理想项目 n 项因素的无量纲化值组成参考数据列：

$$\{X_0'(k)\},\ (k=1, 2, \cdots, n)$$

用各维修整改项目的 n 项因素的无量纲化值组成比较数据列：

$$\{X_j'(k)\},\ (j=0, 1, 2, \cdots, i;\ k=1, 2, \cdots, n)$$

1.3 求关联度

应用灰色关联分析法进行维修整改的优先排序，就是求出众多的维修整改项目与理想项目的关联度，再按关联度的大小对维修整改项目进行排序[4]。

比较数据列 $\{X_j'(k)\}$ 对参考数据列 $\{X_0'(k)\}$ 的关联度为：

$$R_j=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\varepsilon_j(k) \qquad (2)$$

$$\varepsilon_j(k)=[\min_j\min_k|X_0'(k)-X_j'(k)|+\rho\max_j\max_k|X_0'(k)-X_j'(k)|]/[|X_0'(k)-X_j'(k)|+\rho\max_j\max_k|X_0'(k)-X_j'(k)|] \qquad (3)$$

式中，$\varepsilon_j(k)$ 为关联系数；ρ 称为分辨系数，$0<\rho<1$，一般取 $\rho=0.5$。

2 评价体系指标

2.1 事故次数

以近十年内评价管段的事故统计为准。从国内外管道事故的统计资料看，管道事故概率曲线可抽象为一个“浴盆”，我们基本可根据近十年内评价管段的事故统计，判断管道是处于早期——事故高发期，或中期——低概率期，还是末期——事故高发期。

2.2 管龄

这里取自评价管段投运（或更换）以来至今的年份数。管道运行时间越短，管道的可能潜在隐患也越少。

2.3 期望寿命期

期望寿命期指管道运营商对评价管道期望的能再服役的年限。管道运营商根据地区能源需求形势和油气田开发管网规划要求确定管道的期望寿命期。在满足安全要求的前提下，尽可能延长管道的寿命期。管道大修是延长管道寿命的有效方法。

2.4 管道的输送量 Q_d

在一定程度上表征了这条管道在整个管网中的重要性以及管道停运对地区生产的影响。不论是环状管网还是枝状管网，一条管道的输送量越大说明这条管道在这个管网中越重要，对于这条管道的维修整改也越有必要。我们取近 12 个生产月内的日平均输量作为评价指标，年工作天数按 350 d 计。

2.5 承压裕量

承压裕量指正常输送条件下的管道运行压力较最高承压能力的富裕量，这里的管道运行压力取缺陷所在管段近 12 个生产月内最高月平均压力。

2.6 地区等级

管道通过地区的地区等级参照 GB 50251－2003《输气管道工程设计规范》关于地区等级划分的规定进行评级。地区等级越高，危险程度越高，事故后果也越严重。在无法对可能发生事故进行有效的风险识别，对事故后果进行准确预判的情况下，用地

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

区等级来模糊表示事故后果（安全及费用）更为直观、容易。

2.7　相对风险值

相对风险值是由有经验的专家经现场调查、收集数据后，将数据输入风险评价软件得到的。它包括第三方破坏评分、腐蚀评分、设计评分、误操作评分和泄漏影响评分五部分构成，更为全面地对威胁管道安全的各影响因素进行了逐项打分评定。相对风险值越高，说明管道的安全可靠性越低，维修整改越迫切。

2.8　价值指数

价值指数是衡量维修整改有效性的指标。价值指数按下式计算：

$$\text{成本指数 } CI_i = \frac{\text{投资概算 } C_i}{\text{期望寿命期 } n \times \text{年输量 } Q_a \times \text{相对风险值}}$$

$$\text{价值指数 } VI_i = \frac{1}{\text{成本指数 } CI_i}$$

价值指数越大，维修整改越有效，可能的投资回报也越高。

3　应用实例

以某管道公司 2003～2004 年度的整改计划为例，经管道检测后，发现存在以下管道缺陷和事故隐患，并拟定了整改维修方案见表 1。

表 1　某管道公司 2003～2004 年度拟维修整改项目

项目	管道规格	缺陷（或整改原因）	拟方案	估计工程量	概算投资/万元
1	Ø426×7	内腐蚀	换管	16 段共计 500 m	52.80
2	Ø711×14	河流穿越，河床冲刷	下游打桩稳管	穿越 0.27 km	28.66
3	Ø720×8	与城区规划冲突	改线	2 km	128.43
4	Ø325×8	防腐层质量差	重敷	3.5 km	47.40
5	Ø630×9	小城镇发展	改线	1.5 km	86.30
6	Ø630×9	山体滑坡	锚拉栏、管固堤	锚拉栏 70 m，管固堤 118 m	82.90

为确保完好性投资的优化使用，该公司采用专家打分评定法，制定维修整改计划（时间表）。邀请五位技术、经济、安全方面的专家，对以下评分项目进行打分，综合其打分结果见表 2。

从表 2 可知，分值较高的是存在较高风险急需维修整改的项目。维修整改计划（时间表）亦按照各项目总分值从大到小排列。

按照本文所介绍的灰色关联法进行项目比选，我们根据各项目特点，提出了事故次数，管龄、期望寿命期、输送量、承压裕量、地区等级、相对风险值、价值指数共八个比较指标，将待评价项目的比较指标作为参考数列$\{X_i(k)\}$，将六个拟维修整改项目中的八个比较指标的最佳数值组成比较数列$\{X_0(k)\}$。按式（1）和式（3）计算得到六个拟维修整改项目的关联度。优先排序结果见表 3。

表 2　拟维修整改项目打分评定表

评分项目及分值		拟维修整改项目					
		1	2	3	4	5	6
维修整改理由（50 分）	管道的重要性（10 分）	9	9	7	7	7	7
	整改的必要性（40 分）	34	36	34	26	30	32
操作的可行性（20 分）	拟维修方案的可行性（10 分）	10	10	7	6	6	8
	维修施工安全（10 分）	9	8	9	10	10	10
项目后评估（30 分）	维修整改的有效性（20 分）	19	20	17	13	17	17
	经济性（10 分）	9	9	8	4	6	8
	总分值	90	92	82	66	76	82

注：表中项目分值取 5 位专家的平均分值。

表 3　灰色关联分析优先排序结果

项目	管道规格	事故次数	管龄	期望寿命期	输送量	承压裕量	地区等级	相对风险值	价值指数	关联度
2	Ø711×14	0	15	40	215	0.32	2	178	1 869.434	0.967 6
1	Ø426×7	3	23	30	140	0.23	1	185	515.057	0.965 2
6	Ø630×9	0	31	30	170	0.43	1	168	361.737	0.924 1
3	Ø720×8	1	18	35	190	0.57	4	197	357.017	0.919 2
5	Ø630×9	2	38	10	40	0.18	3	177	28.714	0.915 7
4	Ø325×8	0	20	10	89	0.41	2	87	57.148	0.866 3

从排序结果可以看出，排序列前的均是安全隐患大，迫切需要维修且维修整改有效的项目。这与

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

由专家打分评定的结论一致。

4 结论

a. 本文提出的事故次数、管龄、期望寿命期、输送量、承压裕量、地区等级、相对风险值、价值指数 8 个评价指标能够针对各维修整改项目特点, 全面地进行比选。

b. 本文建立的灰色关联分析模型, 对某管道公司 2003 ~ 2004 年度的拟整改维修项目进行了优先排序, 结论与专家打分评定的结果较为一致。

c. 本文关于灰色关联法在管道维修整改优先排序中应用的研究, 为多方案比选提供了新的思路, 为管道公司制订维修整改时间表提供了新的方法。

d. 通过该评价系统, 对管网的安全运营可建立科学、合理的完好性投资, 提出正确的维修整改时间表, 在保证管网安全运营的前提下, 实现完好性投资的优化使用。

参考文献:

[1] Valero Energy. Valero 能源输送公司的管道大修[A]. 四川石油管理局. 管道检测与大修论文精选[C]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 80-84.

[2] NovaCorp. 管网系统完好性管理与成本效益决策[A]. 四川石油管理局. 管道检测与大修论文精选[C]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 67-80.

[3] 严智渊. 灰色关联分析与应用[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989. 1-15, 147-152.

[4] 刘恩峰, 郭天榜. 灰色系统理论与应用[M]. 开封: 河南大学出版社, 1991. 35-42.