

燃气管道完整性管理成本与效益的效能评价技术研究

陈开(中石油昆仑燃气有限公司燃气技术研究院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 本文以城镇燃气管道完整性管理的成本与效益效能评价技术为研究核心, 结合该管理过程中的投入与产出关键要素, 构建成本与效益效能评价指标体系。通过德尔菲法收集行业专家意见, 历经模糊语义转换、指标权重计算等环节, 为燃气管道完整性管理实践提供了科学的评价工具。

关键词: 燃气管道; 效能评价; 德尔菲模糊语义法; 灰色关联度分析; 变权法

中图分类号: F406.7 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167(2025)029-0058-03

Research on the Efficiency Evaluation Technology of Cost and Benefit of Gas Pipeline Integrity Management

Chen Kai(Gas Technology Research Institute of petrochina Kunlun Gas Co., LTD, Harbin Heilongjiang 150001,China)

Abstract: This paper takes the cost and benefit efficiency evaluation technology of urban gas pipeline integrity management as the research core, and combines the key input and output elements in this management process to construct a cost and benefit efficiency evaluation index system. By collecting opinions from industry experts through the Delphi method and going through stages such as fuzzy semantic transformation and index weight calculation, a scientific evaluation tool has been provided for the practice of gas pipeline integrity management.

Key words: Gas pipeline; Performance evaluation Delphi fuzzy semantic method Grey relational degree analysis Variable weighting method

1 成本与效益指标体系的构建

本文通过梳理开展燃气管道完整性管理所需的各类费用, 以及该管理模式带来的经济与安全双重效益, 搭建了成本与效益评价指标体系。具体指标内容如表1所示。

2 定权方法

2.1 德尔菲模糊语义灰色关联度综合定权变权法

针对管道完整性管理效能评价指标体系分类细致、现场工作量繁重的特点, 本文提出“德尔菲模糊语义灰色关联度综合定权变权法”。该方法融合德尔菲决策、模糊语义转换、灰色关联度分析、综合决策及优化变权思想, 为指标权重确定提供全面技术支撑。

德尔菲法: 通过三轮及以上匿名问卷调研, 筛选行业专家反馈意见, 汇总后排除个体主观偏见, 最终就指标重要性形成统一认知。

模糊语义: 在城镇燃气管道完整性管理研究中, 模糊语义技术可用于指标权重评估、重要性程度判定, 及不确定性信息处理。该技术能将专家对指标“重要性”的主观判断, 转化为1-7分的量化数据(1=非常不重要, 7=非常重要), 帮助深入解读专家意见, 为决策提供精准依据, 减少模糊性干扰。

灰色关联度分析: 一种多变量关联分析方法, 用于研究变量间的相关程度。实施流程含四环节: ①数据标准化处理, 对原始数据归一化/标准化, 确保指标可比性; ②构建关联系数, 对比指标变化规律, 确

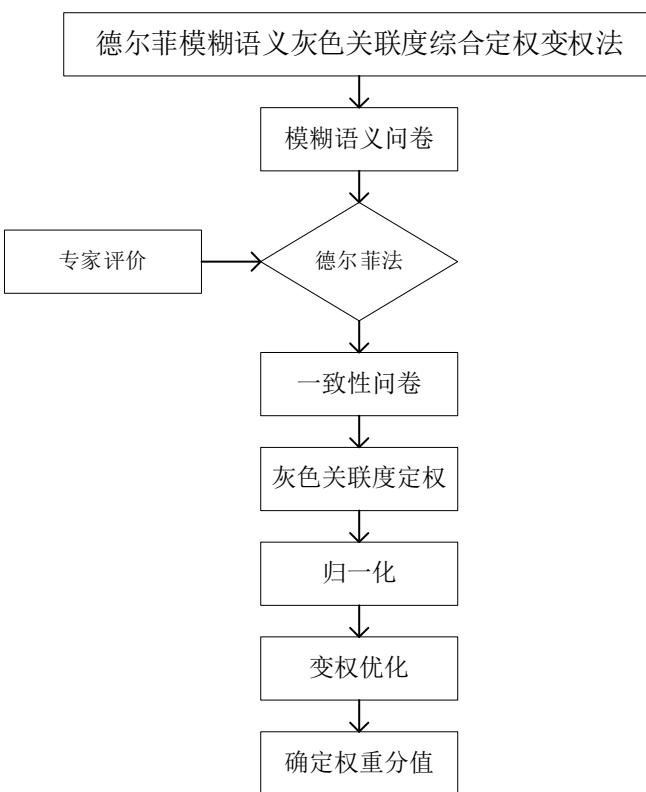


图1 具体流程

定灰色关联系数; ③计算关联系数, 量化变量关联度, 筛选变化趋势相近的高关联变量; ④判定影响程度, 通过高关联变量分析其对系统的影响大小。

综合决策与变权法: “综合定权变权法”是多元

表1 成本与效益指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	描述
成本投入 A	费用投入 A2	人员投入 A1	完整性管理相关人员投入 A11 所辖管道总里程与从事管道完整性管理人员总数的比值
		数据管理费用 A21	涵盖三方面：一是数据采集费用，包括基础信息、检测评价信息、阴极保护设施信息、风险管理信息等的采集成本，以及管道属性数据（如中心线数据、基础台账数据）、管道环境与人文数据（含地理信息、沿线建筑、穿跨越工程、卫星遥感图像）、管道建造数据（含阴极保护系统参数、设施台账）、运行数据、风险数据、失效管理记录、检测报告、维修维护档案等的采集支出；二是数据处理费用，包含数据清理、格式标准化等操作成本；三是燃气管道测绘作业产生的费用
		重点区域识别（更新）费用 A22	用于重点区域识别与更新的支出，其中首次识别按分类分级标准核算费用，后续更新按实际需求核算费用
		风险评价费用 A23	与风险评价相关的各类支出，包括数据采集、后果分析、风险应对方案制定等环节的费用
		完整性检测评价费用 A24	按管道单位里程核算的检测评价成本，包含管道泄漏检测、使用状态评价等费用
		腐蚀防护费用 A25	钢质管道腐蚀防护相关支出，包括防腐层大修费、阴极保护维护治理费、杂散电流排除费等
		管道巡护费用 A26	主要包含四类：一是管道泄漏监测系统的实施与维护成本（设备采购费、安装调试费、现场协作费）；二是安全预警系统的实施与维护成本（设备费、安装调试费、现场配合费）；三是管道标识整治费（新增或修复地面标识的支出）；四是日常巡护开支（巡护人员薪酬、车辆运维费、人员装备费、安全宣传费、会议费、办公经费、外包服务费、治安保障费，及通讯费、保险费、慰问金与奖励金等）
		自然与地质灾害防治费用 A27	包括管道地质灾害调查费、水工保护工程费、地质灾害监测与治理费、无人机巡查费，以及日常维修支出
		应急抢险费用 A28	涵盖三部分：一是应急抢维修工程作业费；二是抢维修人员的应急培训、演练及日常运行管理费；三是应急物资与工器具采购及维护费
		公众安全意识宣传费用 A29	用于公众安全意识培养与教育的总投入，包括宣传材料制作、活动组织等费用
效益产出 B	安全效益 B2	经济效益 B1	单位里程管道经济损失 B11 按管道单位长度核算的事故损失，包括：一是财产损失（设备设施损坏、泄漏气量损耗、停气间接损失）；二是生命损失（死亡补偿金、受伤损害赔偿金）；三是环境损失（生态资源补偿与恢复费）
		管道严重事故频次 B21	管道发生严重事故的次数统计
		管道重大事故频次 B22	管道发生重大事故的次数统计
		管道事故导致死亡人数频次 B23	管道事故造成人员死亡的次数统计
		管道事故导致重伤人数频次 B24	管道事故造成人员重伤的次数统计
		管道事故导致轻伤人数频次 B25	管道事故造成人员轻伤的次数统计

指标权重确定工具，融合德尔菲法、层次分析法、模糊综合评价等方法的优势，确保权重能合理反映各指标对评价结果的影响。其中“变权”聚焦权重较小指标的调整：若最终权重差异小，通过计算变异系数（ $V=C \cdot SD/Mean \times 100\%$ ， C 为常数）判定是否变权；若变异系数 $< 15\%$ ，则用常权值替代变权值。

2.2 定权方法的实施步骤

“德尔菲模糊语义灰色关联度综合定权变权法”的实施流程如图 1 所示，具体步骤如图 1。

①模糊语义问卷确定：需重点关注问题设置，通过合理设计收集专家对模糊性问题的看法；提供可选择的模糊评分区间（采用模糊数学语言变量形式）；附带模糊语义解释说明及示例，帮助专家精准理解问题并作答。在成本与效益指标权重确定中，主要收集专家对各指标的重要性打分，分为七个等级，分别是指标非常不重要、不重要、不太重要、稍微重要、中等重要、重要、非常重要。

②德尔菲法收集问卷：采用多轮匿名循环调研技术，组织专家参与问卷反馈，汇总意见后进行下一轮调研，直至专家组就指标重要性达成共识。

③灰色关联度权重计算：确定参考序列（母序列），其中参考序列为每个专家 D_m 对指标 C_i 打分的最大值 λ_{\max} 组成的序列。

计算每个专家打分的序列差距，计算公式如下：

$$x_i(k) = \frac{\lambda_i}{\lambda_{\max}} \quad (1)$$

其中 $x_i(k)$ 代表专家 1 对指标 C_i 的序列差距， λ_i 为专家 1 对指标 C_i 的打分值。

$$\xi_{ij}(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (2)$$

$$A_{VE}\zeta_i(k) = \frac{\sum \xi_{ij}(k)}{n} \quad (3)$$

在这里， ρ 取 0.5， $A_{VE}\zeta_i(k)$ 代表 n 个专家对于指标 C_i 灰色关联度的平均值， $\zeta_i(k)$ 代表每位专家对指标 C_i 灰色关联度。

计算指标权重，计算公式如下：

$$w_i = \frac{A_{VE}\zeta_i(k)}{\sum A_{VE}\zeta_i(k)} \quad (4)$$

其中， w_i 表示指标 C_i 的权重值。

④变权计算：按前文变异系数判定规则调整权重，若无需变权则直接采用常权值。

⑤结果优化与管理：将二级、三级指标权重复合，

确定关键指标；适当放大指标分数以方便评价，确保权重结果可直接用于后续综合评价。

3 综合评价

综合评价方法的核心是构建由指标同度量化处理（ T ）、权重分配（ W ）与指标合成（ C ）组成的系统。该方法依据评价对象属性设计指标体系，收集相关影响因素及指标信息，将原始数据转换为可算术运算的效用函数值，按既定规则整合各指标效用值，最终得出多指标总评价值。其关键要素包括：

评价指标体系：一是需要涵盖定量与定性指标，全面反映评估对象特性；二是需要考虑指标间关联性，避免评价片面性。

权重分配：可通过专家赋权、层次分析法、模糊综合评价等方法确定权重，确保权重能体现指标对评价结果的相对重要性。

综合计算方法：采用“加权求和”思路：第一步按德尔菲模糊语义灰色关联度定权法，计算二级、三级指标权重；第二步按总分 1000 分赋值（如二级指标“完整性管理方案”权重 0.12，则赋值 $1000 \times 0.12=120$ 分；其下三级指标“高压次高压管道‘一线一案’覆盖率”权重 0.11，则赋值 $120 \times 0.11=13$ 分）；第三步由专家或部门负责人按指标完成情况评分，最终计算总得分及二级指标得分，定位完整性管理薄弱环节。

4 总结

本研究提出的燃气管道完整性管理成本与效益效能评价技术，可提升燃气企业完整性管理的综合效率与经济效益。目前该方法仅适用于城镇燃气企业，未来可扩大样本覆盖范围，结合大数据、物联网技术实时采集管道运行数据，优化指标权重更新模型，为行业完整性管理标准化建设提供技术支持。

参考文献：

- [1] 年致彤. 输气管道的完整性管理 [J]. 城市燃气, 2008(11):22-26.
- [2] 孙建宇. 输气管道完整性管理简介 [J]. 石油库与加油站, 2009(3):14-17.
- [3] 董绍华. 管道完整性效能评价技术 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2020.
- [4] 焦喆. 高职院校混合教学模式发展现状与创新形式的研究 [J]. 发展教育学, 2022(3):45-46.
- [5] 郑洪龙, 许立伟, 谷雨雷, 王婷, 戴联双. 管道完整性管理效能评价指标体系 [J]. 油气储运, 2012(1):8-12.

作者简介：

陈开（1984—）男，汉族，黑龙江哈尔滨人，硕士，研究方向：城镇燃气。