

超大输量天然气管道全生命周期费用模型研究

张金源^{1*}, 杨宁², 李凯², 秦晶晶², 廖璇²

(1. 中国石油管道局工程有限公司, 河北廊坊 065000; 2. 中国石油天然气管道局, 河北廊坊 065000)

摘要:以全生命周期费用理论为基础, 统筹考虑管道设计、材料、施工和运行维护水平, 同时设计中考虑建设投资、生产运行成本和后期管道失效潜在损失等管道全生命周期费用, 提出了管道的全生命周期费用模型。在满足安全性的前提下, 进行全面技术经济比选, 综合比选各个方案在满足目标可靠度、同一工程项目工况条件下, 在管道全生命周期内最优的管输设计方案。在保证管道安全的前提下, 以达到管道经济性的最优, 最终实现设计、材料、施工和运行操作等方面的统一。

关键词:超大输量; 天然气管道; 全生命周期费用; 经济性

中图分类号: TE832

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2016)12-0193-03

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2016.12.050

Study on life cycle cost model of super large-throughput natural gas pipelines

ZHANG Jin-yuan^{1*}, YANG Ning², LI Kai², QIN Jing-jing², LIAO Xuan²

(1. China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang 065000, China;

2. CNPC China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang 065000, China)

Abstract: Based on the theory of life cycle cost, a life-cycle-cost model is proposed in this study. The levels of piping design, materials, construction, and operation and maintenance are considered. At the same time, the total life-cycle cost of the pipeline in terms of construction investment, production operation cost and potential loss of later pipeline failure, is also taken into account. In the premise of pipeline safety, comprehensive technical and economic comparison is carried out to achieve an optimal design scheme that can meet the target reliability in the whole life cycle of the pipeline under working conditions. Then the optimal economy of pipeline is also obtained, eventually realizing the integration of the design, materials, construction, operation, etc.

Key words: super large capacity; natural gas pipeline; life cycle cost; economy

目前国内外设计标准大多遵循的是基于应力的设计准则, 即管道在内压下的环向应力不大于管材最小屈服强度与设计系数的乘积。设计系数也称安全系数, 是通过工程实践经验将材料、制造、施工、运行等方面的不确定性(即可靠度)集中表现为单一系数。随着制管水平、材料性能、施工和运行维护技术的提高, 这些单一的设计系数无法合理体现上述方面的技术进步, 另外对于一些新材料、新方法和新工艺, 由于缺少历史经验, 目前的设计系数是否合适也无从验证。采用基于可靠性的设计方法, 能够科学地解决上述问题, 统筹考虑管道设计、材料、施工和运行维护水平, 实现管道的“等风险”设计, 避免管道的过分冗余或安全不足。同时设计中可考虑建设投资、生产运行成本和后期管道失效潜在损失等管道全生命周期费用, 进行全面技术经济比选, 在满足安全性的前提下, 选用全生命周期费用最低的技术方案^[1-3]。

1 管道经济性

以全生命周期费用理论为基础, 对管道设计、施工、运营期间的全过程费用进行拆分, 提出了管道的全生命周期费用模型。不同方案的全生命周期费用

模型构建与算法包括建设期、运营期以及潜在损失费用的算法及各参数数值选取原则。建设期费用通过调研天然气管道的日常运行维护和维抢修等情况以及各项费用参数数据调研收集分析。

管道全生命周期费用包括建设期费用、运营期费用和潜在损失费用, 可以权衡管道耗材、施工、运行、维护以及管道失效后果, 在保证管道安全的前提下, 以达到管道经济性的最优, 最终实现设计、材料、施工和运行操作等方面的统一。管道的全生命周期费用的构成可用公式(1)来表示:

$$C_{fc} = C_{cc} + C_{oc} + C_{plc} \quad (1)$$

式中, C_{fc} 为管道全生命周期费用; C_{cc} 为管道建设期费用, 包括材料费(管材、焊材、防腐材料等)、设备费、施工费、征地费等一、二、三类费用, 可由经济专业按常规做法进行工程估算/概算取得; C_{oc} 为管道的运行费用, 包括管道的日常巡线维护费(不包括管道失效后的维抢修费和运行中断损失等)、内检测费用和站场的运行维护费, 对于管道线路来讲, 通常包含日常巡线费、地面标识桩的修补维护费和日常水工保护的维护费(不包括单独立项治理的地灾或大的水保修复费)等; C_{plc} 为管道失效后的潜在损失费, 包括运营期 30 年内每年总的失效(小泄漏、

大泄漏、破裂)后的损失费用,包括失效事件的直接抢修费(包括设备、材料和施工费)、维抢修时的管段气体放空损失费、运行中断损失的输送收益费、失效事故引起的人员伤亡补偿费,管道失效后对环境和公司声誉的影响暂不考虑。

2 管道建设期费用计算方法

管道建设期间费用计算按照中国石油天然气集团公司计划[2010]822号《中国石油天然气集团公司建设项目概算编制办法(试行)》(长距离输送管道工程册)^[4];各项费用采用中国石油天然气集团公司中油计[2012]534号《中国石油天然气集团公司建设项目其他费用和相关费用规定》执行^[5]。分别按照干线线路工程、阀室工程、穿跨越工程、站场工程、配套工程、征地费用、预备费以及其他费用等分列计算,进而综合计算得出每个方案建设期的总费用。

3 管道运行期费用

为计算不同方案的运行费用,本文中特定义管道的运行费用由用于管道生产的燃料动力费用、管道维护维修费和站场及线路的人员工资费用构成。管道运营费用主要包括管道的生产运行费(燃料、动力消耗、运行人员工资等)和管道的维护维修费用组成。下面分别叙述各块费用的计算方法。

3.1 管道生产运行费

(1)燃气费:燃驱压缩机需要消耗天然气,天然气耗量根据工艺专业计算,天然气价格按2.01元/m³计算[国家发展改革委关于理顺非居民用天然气价格的通知(发改价格[2015]351号)发布的增量气门站气价]。

(2)电费:电驱压缩机需要消耗电力,电量消耗根据工艺专业计算,电价按0.6元/kWh考虑。

(3)损耗及放空气量:输气损耗率取0.1%(天然气耗量及放空气量根据工艺专业经验值设定为0.1%)。

(4)人员费用:单位线路巡检(包括管道线路及沿线阀室)人员人工定员按5~6 km/人计算。单位压气站人工定员按25人/座计算,人员工资水平按6万~11万元/(人·a)计算。

3.2 管道的维护维修费

管道维护维修费用按照中国石油天然气集团公司中油计[2015]107号文件中关于成本估算的参数计算。

维护与修理费,指项目投产后固定资产腐蚀的大中小修理费,计算公式为:

$$\text{年修理费} = \text{固定资产原值(扣除建设期利息)} \times \text{修理费率(抵扣固定资产进项税不形成固定资产原值)}$$

修理费率,原则上投产初期低,后期高,但应通过测算,并在规定的费率范围内,也可简化为每年相对固定。油气开发(含净化厂)和长输管道类。

油气田地面工程修理费率可根据开发的不同阶段取值,一般为固定资产原值(扣除建设期利息)的2.5%。长输管道一般按固定资产原值(扣除建设期利息)的2.5%。

3.3 管道燃料动力费

管道的燃料动力费主要包括直接用于生产和辅助生产的天然气、油、水、电等消耗费用。

(1)电驱机组配置年耗电计算

$$Q_e = (P_e \times 1.1 \times 1\,000 \times 350 \times 24) / 10\,000 \quad (2)$$

式中, P_e 为计算轴功率负荷,MW; Q_e 为年耗电量,10⁴ kWh。

(2)燃驱机组配置年耗气量计算

$$Q_g = Q_l \times 350 \times t \times 10\,000 \quad (3)$$

式中, Q_l 为厂家提供的相对应燃气机组的每小时耗气量,10⁴ m³/a; t 为燃驱机组每天的工作时间; Q_g 为燃驱机组配置年耗气量,10⁸ m³/a。

(3)耗水量计算

各站场用水主要包括生活用水、浇洒绿化用水及其他用水。各压气站及维抢修队还包括消防补充水。所有阀室均为无人值守,无用水需求。使处理后的水质满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的基本要求。

4 管道的潜在损失费

对于管道运营期30年内每年总的失效(小泄漏、大泄漏、破裂分开计算)后的损失费用,应分别计算各年小孔泄漏、大孔泄漏和破裂次数(失效概率乘以总公里数),然后再计算每次失效的损失费用,见下式:

$$C = C_d + C_b + C_r + C_p \quad (4)$$

式中, C 为管道发生1次失效(小孔泄漏、大孔泄漏和破裂)的损失,其中小孔泄漏只考虑 C_d ,大孔口泄漏考虑 C_d 、 C_b 和 C_p ;破裂要考虑 C_d 、 C_r 、 C_b 和 C_p ; C_d 为管道发生1次失效时的直接维修费用; C_b 为管道停输时造成的输送效益损失,大孔泄漏和破裂管道停输损失效益见公式(5); C_r 为管道气体放空造成的损失,破裂抢修时气体放空损失计算见公式(6);

C_p 为大孔泄漏和破裂对周围人员造成伤害补偿费用。

管道发生大孔泄漏和破裂时,要进行停输降压或停输放空,管道再进行维抢修作业,在停输期间管道的输送效益损失计算见下式:

$$C_b = [T_m / (350 \times 24)] \times 300 \times 10^8 \times C_1 \quad (5)$$

式中, T_m 为维抢修时的停输时间; C_1 为输送 1 m^3 气体的损失效益,根据规定取 $0.22 \text{ 元}/(10^3 \text{ km} \cdot \text{m}^3)$,以 $3\,000 \text{ km}$ 管道长度为例, C_1 按照 $0.33 \text{ 元}/\text{m}^3$ 取值考虑。

放空损失费用:与管容有关系,与放空时间无关。放空时间一般为 12 h 。

管道发生破裂维修时,管道内气体要进行放空,放空前先用压缩机对管道内气体进行抽气,降低压力和减少放空量,假定放空前管道内压力为 4 MPa ,放空时管段长度按照阀站间的平均间距计算,每次放空时的放空损失费用见公式(6):

$$C_f = [(3.14 \times D^2) / 4] \times [P / (0.1 \times Z)] \times L \times C_m \quad (6)$$

式中, D 为管道直径,m; P 为设计压力,MPa; L 为放空管段距离,m; C_m 为每立方米天然气价格,按 $2.61 \text{ 元}/\text{m}^3$ 考虑。放空压力为设计压力,考虑天然气压缩因子。

管道发生大孔泄漏和破裂时,将对周围的人员造成伤亡,管道每年的事故伤亡人数为大孔泄漏和破裂总失效率(大孔泄漏需要折算成破裂)与失效后果的乘积,人员伤亡补偿费用为人员伤亡人数 \times 每个伤亡人员的补偿费用。

$$C_p = \sum [(7.5 \times 10^5 / D^3) \times P_{LL} + P_{RU}] \times 4.07 \times 10^{-10} \rho P D^3 \times C_e \quad (7)$$

式中, P_{LL} 为大泄露失效概率; P_{RU} 为破裂失效概率; ρ 为每公顷的人口数($1 \text{ 公顷} = 1 \text{ 万 m}^2$); P 为设计压力,MPa; D 为管道直径,mm; C_e 为每个死亡人员的补偿费用。

国务院令 493 号《生产安全事故报告和调查处理条例》规定,石油天然气管道事故的人员伤亡赔偿如下表述 $C_e = C_1 + C_2 + C_3$,并以 2014 年全国 31 省区城镇居民居民人均可支配收入为例说明。

(1) 死亡赔偿金: $C_{C1} \geq 20 \times$ 所在地城镇居民人均可支配收入。

(2) 丧葬费: $C_{C2} \geq$ 所在地上一年度月平均工资标准,按 6 个月总额计算。

被抚养人生活费、死亡补偿费补助等其他合理赔偿金: $C_{C3} \geq 10 \times$ 全国城镇居民人均可支配收入。

5 管道全生命周期费用

根据以上所述,对不同方案建设期费用、运营期费用和管道潜在损失费用的计算,可以得到管道各方案的全生命周期费用情况。

在工程项目计算期内,按行业基准折现率或其他设定的折现率计算的各年净现金流量现值的代数和。净现值是指投资方案所产生的现金净流量以资金成本为贴现率折现之后与原始投资额现值的差额。净现值法就是按净现值大小来评价方案优劣的一种方法。净现值大于零则方案可行,且净现值越大,方案越优,投资效益越好。各方案管道全生命周期净现值(NPV)按照下列公式计算得出:

$$NPV = \sum [(C_i - C_o) / (1 + i)^t] (C_i - C_o) \quad (8)$$

式中, C_i 为现金流入, C_o 为现金流出, $(C_i - C_o)$ 为第 t 年净现金流量, i 为基准折现率,取 8% 。

管道建设期间投入计算时 $t = 0$,管道运营开始后的第一年现金流量, $t = 1$ 。该各方案的管道全生命周期费用没有考虑管道运营后期下游市场输送天然气所获得的收益,因此,该方法为费用现值法,只有资金的流出,没有资金的流入。

6 结语

通过对管道耗材、施工、运行、维护以及管道失效后果进行分析,对天然气管道各阶段指标及计算方法进行梳理,形成管道全生命周期费用的计算模型,定量计算分析各种壁厚设计方案的全生命周期费用。通过经济性的比选,最终确定既能保障管道安全性,又能满足全生命周期经济性最优的设计方案。全生命周期费用分析不仅可以应用到输气管道的设计,而且在输气管道运营期间也可以作为经济性分析的重要方法,是今后对不同方案管道设计进行经济性评估的发展趋势。

参考文献

- [1] 叶学礼,章申远,任启瑞,等. GB 50251—2015 输气管道工程设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2015.
- [2] 张振永,郭彬,管军,等. 超大输量天然气管道工艺方案筛选[J]. 油气储运,2013,32(8):857-862.
- [3] 余志峰,张文伟,张志宏,等. 我国天然气输送管道发展方向及相关技术问题[J]. 油气储运,2012,31(5):321-325.
- [4] 中国石油天然气集团公司. 中国石油天然气集团公司建设项目概算编制办法(试行)(长距离输送管道工程册)[Z]. 计划[2010]822号,2010.
- [5] 中国石油天然气集团公司. 中国石油天然气集团公司建设项目其他费用和相关费用规定[Z]. 中油计[2012]534号,2012. ■