

基于风险的油气管道最优完整性维护决策(二)* (效用函数方法)

张鹏 陈利琼 侯向秦

(西南石油学院)

张鹏等. 基于风险的油气管道最优完整性维护决策(二). 天然气工业, 2004; 24(10): 143~147

摘要 采用效用函数描述后果是决策分析中较为有效的方法。效用是在有风险的情况下决策者对后果所造成的收益或损失价值的偏好感觉或反应的数量指标。文章从理论上分析了效用函数的构成方式和必须遵循的原则。从管道失效后果的财产经济损失、生命损失和环境破坏三方面, 讨论了多准则效用函数的建立方法。通过建立管线完整性维护决策树, 给出了效用函数的构成步骤; 采用“使期望效用最大”的原则, 以获得管道最优完整性维护决策方案。最后给出了用效用函数方法选择最优决策的例子。

主题词 油气集输 管道维修 费用 风险分析 决策分析 效用函数 数学分析 实例

(接上期第162页)

进行决策优化的重要环节是建立决策模型。而一个决策系统必须具备5个条件^[1]: 决策准则、状态集、决策集、概率分布、后果函数。对于管线的完整性维护决策模型的分析, 包括有关模型的建立、模型的数学表示方法以及模型中相关参数的确定^[2~6]。这里主要介绍基于效用函数的管线完整性维护决策优化方法, 而基于费用的另一重要优化方法将在以后的相关文章中进行介绍。

一、效用及效用函数

效用是在有风险的情况下决策者对后果所造成的收益或损失价值的偏好感觉或反应的数量指标, 它是决策人对决策 a 与可能出现的状态 θ 共同决定的后果的看量的量化, 是二者的函数, 称为效用函数, 记为: $u = u(a, \theta)$ 。在同一决策 a_i 下, 以各后果的发生概率为权数, 将各后果的效用函数进行加权平均, 则得到该决策下的期望效用函数, 即

$$E[u(a_i, \theta)] = u(a_i, \theta_1)p_{11} + u(a_i, \theta_2)p_{12} + \dots + u(a_i, \theta_j)p_{1j} \quad (1)$$

记为:

$$E_u(a_i) = E[u(a_i, \theta)] \quad (2)$$

管线完整性维护中, 效用就是管线维护决策者对管线维护后果(收益或损失)的偏好感觉的数量指标。它是决策者所选择的管段维护措施 a_i 和维护后管段所处状态 θ_j 的函数, 记为: $u_{ij} = u(a_i, \theta_j)$, (i 为决策的序号, j 为状态的序号)。3种管段状态的效用函数分别表示为: $u_{i1} = u(a_i, \theta_1)$ 、 $u_{i2} = u(a_i, \theta_2)$ 和 $u_{i3} = u(a_i, \theta_3)$ 。 a_i 时管段的期望效用函数为:

$$E_u(a_i) = E[u(a_i, \theta)] = u(a_i, \theta_1)p_{11} + u(a_i, \theta_2)p_{12} + u(a_i, \theta_3)p_{13} \quad (3)$$

二、多准则效用函数的评估方法

根据前面的分析, 管线的完整性维护决策问题中, 管线的失效后果一般从经济损失、生命损失和环境破坏3方面进行考虑, 也就是需要根据这3个准则作出决断, 即多准则决策。为此, 需要定义管线完整性维护的多准则效用函数:

$$u = u(l, n, v) \quad (4)$$

式中: l 为直接经济损失, 管段失效后的直接财产损失的度量; n 为灾害造成人身伤亡数, 表征生命损失的度量; v 为残留溢出物体积(清洁后剩余物体积), 管段失效所造成长期环境损害的度量。

多准则效用函数的确定一般采用在各准则间进

* 本文为石油科技中青年创新基金、“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室开放基金(PLN0113)、四川省应用基础研究专项基金(01GY051-40)项目。

作者简介: 张鹏, 1964年生, 教授、博士生导师; 先后毕业于西南石油学院、哈尔滨建筑大学, 2000年从哈尔滨工业大学力学博士后流动站完成研究工作; 现为西南石油学院建筑工程学院副院长, 主要从事油气管道安全可靠性评价、剩余寿命评估和风险评价与管理技术等方面的研究工作。地址: (610500)四川省成都市新都区新都大道8号。电话: (028)83032105。E-mail: zp_swpi@sina.com

行权衡的方法。

方法1:将多个准则等效转化为单一准则,这样多准则决策问题就变成了一个单准则决策问题。管线失效时的3种后果 l, n, v 可以通过货币化的经济损失值统一起来。设总经济损失为 ϵ ,则

$$\epsilon = l + nL_1 + vL_2 \quad (5)$$

其中: L_1 为单位生命损失所对应的经济损失, L_2 为单位泄漏物体体积所造成的环境经济损失。由此,得到基于经济损失的管线风险效用函数

$$u = u(\epsilon) \quad (6)$$

这是一个单准则决策问题。

方法2:利用加权系数将多准则的效用函数转化为单准则效用函数的线性组合,并通过单一的效用值进行决策。这样,决策者对某一准则的偏好程度绝不受其他准则的影响,即3个准则互相独立,则式(1)可写成:

$$u(l, n, v) = q_1 u_1(l) + q_2 u_2(n) + q_3 u_3(v) \quad (7)$$

其中: $u_1(l)$ 、 $u_2(n)$ 、 $u_3(v)$ 分别是财产损失、生命损失、环境损失等3个准则下决策的效用函数; q_1 、 q_2 、 q_3 分别是上述3个准则效用函数的加权函数,它反映了3个准则效用函数的相对重要性,而不是指准则本身的重要性,显然有 $q_1 + q_2 + q_3 = 1$ 。只要计算出了各决策在单准则下的效用函数值,就可以确定其在多准则下的效用函数值。

三、基于效用函数的管线完整性维护决策树的建立

首先,构造在经济准则下基于效用函数的管线完整性维护问题的决策树(图8)。如前,设定管线完

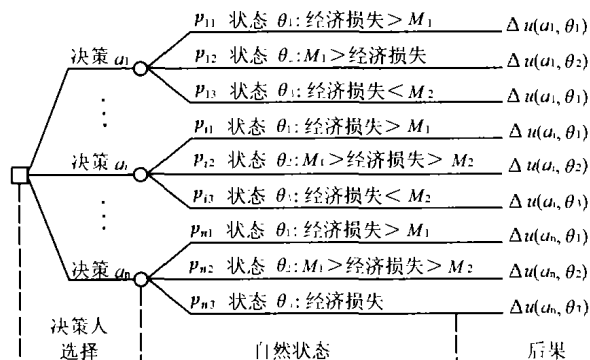


图8 基于经济准则下管线完整性维护问题的决策树

完整性维护的状态为3种,管道维护决策共有 I 个,而管道维护的所有后果是由决策和状态所决定的,因此共有 $3I$ 个结果。 M_1 和 M_2 分别是决策者对管线经济状态所制订的一个界限值,其中 $M_1 > M_2$ 。决

策人选择决策 a_i 时的后果表示为: $C_{i1} = (a_i, \theta_1)$, $C_{i2} = (a_i, \theta_2)$, $C_{i3} = (a_i, \theta_3)$ 。 p_{i1} 、 p_{i2} 、 p_{i3} 分别是发生的概率,且 $p_{i1} + p_{i2} + p_{i3} = 1$ 。用 P_i 表示决策时所有后果的概率分布,记作: $P_i = (p_{i1}; C_{i1}; p_{i2}; C_{i2}; p_{i3}; C_{i3})$,它表示后果 C_{i1} 以概率 p_{i1} 出现,后果 C_{i2} 以概率 p_{i2} 出现,后果 C_{i3} 以概率 p_{i3} 出现。 P_i 称为展望,所有展望的集记作 Ω 。集 Ω 有以下性质^[7]:

(1)在凸线形组合下 Ω 是闭合的,即如果 $P_1 \in \Omega$, $P_2 \in \Omega$,当 $0 \leq \lambda \leq 1$ 时,

$$\lambda P_1 + (1 - \lambda) P_2 \in \Omega$$

(2)所有退化的概率分布属于 Ω 。例如当作一决策时, C_{i2} 和 C_{i3} 都不可能发生,即 p_{i2} 和 p_{i3} 均为0时,有

$$P_i = (1, C_{i1}; 0, C_{i2}; 0, C_{i3}) = (1, C_{i1}) \in \Omega$$

定义1: Ω 中各元素的优先关系就反映了决策人对决策问题的各种后果的偏好程度,用“ $>$ ”来表示。“ $C_1 > C_2$ ”表明在决策人眼中后果 C_1 优先于 C_2 ,即决策人更偏好于 C_1 。

如果在 Ω 上定义一实值函数 u ,使得:

1) u 在 Ω 上的优先关系 $\geq$ 一致,即对于所有的 $P_1, P_2 \in \Omega$,当且仅当 $u(P_1) \geq u(P_2)$ 时,有 $P_1 \geq P_2$ 。

2) u 在 Ω 上是线性的,即如果 $P_1, P_2 \in \Omega$,而且 $0 \leq \lambda \leq 1$,则

$$u[\lambda P_1 + (1 - \lambda) P_2] = \lambda u(P_1) + (1 - \lambda) u(P_2) \quad (8)$$

满足了上面两条件后,实值函数 u 就是在 Ω 上的效用函数。

四、效用函数遵循的原理

不是在 Ω 上的任何优先关系都有和它一致的效用,只有当在 Ω 上的优先关系符合以下四条原理时,才有和它一致的效用。因认为它们符合人的理性行为,因此这4条原理统称为理性行为原理。

原理1 在 Ω 上的优先关系是连通的。即当 $P_1, P_2 \in \Omega$ 时, P_1 和 P_2 的关系必为以下三者之一: P_1 优于 P_2 ,记为 $P_1 > P_2$; P_1 次于 P_2 ,记为 $P_1 < P_2$; P_1 等价于 P_2 ,记为 $P_1 \sim P_2$ 。

原理2 在 Ω 上的优先关系是传递的。即如 $P_1, P_2, P_3 \in \Omega$,且 $P_1 > P_2, P_2 > P_3$,则必有

$$P_1 > P_3$$

原理3 如果 P_1, P_2 和 $Q \in \Omega$,且 $0 < p < 1$,则当且仅当 $pP_1 + (1 - p)Q > pP_2 + (1 - p)Q$ 时

$$P_1 > P_2$$

原理4 若 P_1, P_2 和 $P_3 \in \Omega$,而且 $P_1 > P_2 > P_3$,则存在数 p 和 $q, 0 < p < 1$ 和 $0 < q < 1$,使

$$pP_1 + (1-p)P_3 > P_2 > qP_1 + (1-p)P_3$$

只有遵循了上述原理,效用函数才能真实地反映决策者个人的偏好。

五、效用函数的构成

确定各后果的效用值,需要借助“确定当量”概念。根据展望的 δ 性质^[7],可以这样定义管线完整性维护问题的确定当量。

定义2:考虑下述两种情况:①决策者得到确定的后果 C_1 ;②决策者得到不确定的后果,如以概率 p 得到后果 C_2 ,以概率 $1-p$ 得到后果 C_3 。

如果决策人认为这两种情况是等价的,则确定的后果 C_1 称为展望 $(p, C_2; 1-p, C_3)$ 的确定当量。确定当量可表示为

$$C_1 \sim pC_2 + (1-p)C_3 \quad (9)$$

如果设 C_1 和 C_2 的效用已知,且 $u(C_1)=1$, $u(C_2)=0$,则可按如下步骤去确定后果 C_3 的效用。

第一步 对后果 C_3 ,如果 $C_1 > C_3 > C_2$,则总能在区间 $(0,1)$ 上找到 p_1 ,使得 C_3 是展望 $(p_1, C_1; 1-p_1, C_2)$ 的确定当量,即

$$C_3 \sim p_1 C_1 + (1-p_1) C_2 \quad (10)$$

则

$$u(C_3) = p_1 u(C_1) + (1-p_1) u(C_2) = p_1 \quad (11)$$

第二步 对后果 C_3 ,如果 $C_1 > C_2 > C_3$,则总能在区间 $(0,1)$ 上找到 p_2 ,使得

$$C_2 \sim p_2 C_1 + (1-p_2) C_3 \quad (12)$$

则

$$u(C_2) = p_2 u(C_1) + (1-p_2) u(C_3) = 0 \quad (13)$$

$$u(C_3) = -\frac{p_2}{1-p_2} \quad (14)$$

第三步 对后果 C_3 ,如果 $C_3 > C_1 > C_2$,则总能在区间 $(0,1)$ 上找到 p_3 ,使得

$$C_1 \sim p_3 C_3 + (1-p_3) C_2 \quad (15)$$

则

$$u(C_1) = p_3 u(C_3) + (1-p_3) u(C_2) \quad (16)$$

$$u(C_3) = \frac{1}{p_3} \quad (17)$$

第四步 用确定当量检验已获得结果的效用的一致性。例如,用上述步骤已求得 C_3 、 C_4 和 C_5 的效用,又设 $C_3 > C_4 > C_5$,在区间 $(0,1)$ 上寻找 p ,使

$$C_4 \sim pC_3 + (1-p)C_5 \quad (18)$$

$$u(C_4) = pu(C_3) + (1-p)u(C_5) \quad (19)$$

实际上对于一个决策,我们很容易识别最好和最坏的后果。在管线完整性维护中,最理想的情况就是花费最少的维护资金,进行最小力度的维护而获得最大的经济效益;反之则最糟糕。如果分别设

这两种情况为 C_1 和 C_2 ,且有 $u(C_1)=1$, $u(C_2)=0$,则其他后果的效用就总处在区间 $[0,1]$ 内。

当 Ω 的集合很大时,构造效用函数很困难。但如果效用曲线是光滑的,则只需在 Ω 上确定少数几个点的效用,就能近似地设定在整个集 Ω 上的效用。在直角坐标系里,如果横坐标表示后果 C ,纵坐标表示效用函数值,画出的曲线称为效用曲线。效用曲线的形式与决策者对风险的态度有关,如图9所示。

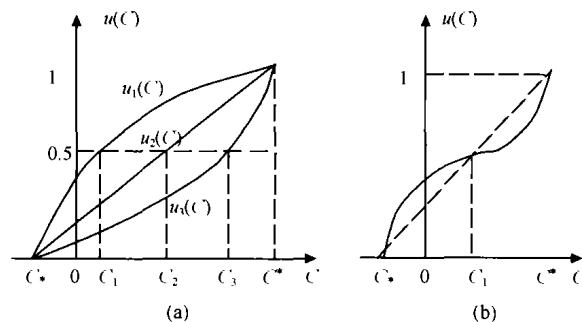


图9 效用曲线示意图

图9(a)中,效用函数 $u_1(C)$ 是凸函数,有 $u_1[E(C)] > E[u_1(C)]$,说明此决策者为风险厌恶者;而效用函数 $u_3(C)$ 是凹函数,有 $u_3[E(C)] < E[u_3(C)]$,说明此决策者为风险爱好者^[8]。因此称 $u_1(C)$ 为保险型效用曲线, $u_3(C)$ 为冒险型效用曲线, $u_2(C)$ 为中间型效用曲线,后者是一条直线。但实际情况远比此复杂得多,如图9(b)所示,在区间 $[C_*, C_1]$ 上,决策者是愿意冒险的,而在区间 $[C_1, C^*]$ 上决策者是保守的。也有相反或更复杂的情况。

在确定管线完整性维护后果在经济准则下的效用后,同理可以确定出其在人身安全和环境准则下的效用,带入式(2)就可以求得总的效用。确定总的效用时,应该在不同类型的结果(即生命安全、环境和经济)中选择一个最佳折衷方案,而最优决策是使期望效用最大的那个决策(见本刊2004年第9期第162页图7)。

六、应用实例

有一管径为720 mm长输管道,一年内平均日输气量约 $600 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。在某两站之间的地区属于事故多发区和后果严重区,该地区的管段总长约为40 km。下面以此管段为例,对基于定量风险评价的管道完整性维护决策优化进行具体说明。

1. 确定状态集 E

如前述,管道状态集 $E = \{\text{断裂, 穿孔, 不失效}\}$,各状态的发生都可能造成经济破坏、人员伤亡和环

境污染3方面的损失。通过管内天然气流体特性和管径等参数,计算出该管道发生断裂和穿孔时,可能造成的天然气的最大泄漏,并通过定量风险评价,计算其灾害范围。同时,结合相关法律法规、管道周围环境以及市场价格等因素,对3方面损失进行货币量化。从而得出可能造成的总损失分别为:

断裂时,约5000万元;

穿孔时,约1000万元;

不失效,约0万元。

则该管道状态集可表示为:

$$E = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\} = \{5000 \text{ 万元}, 1000 \text{ 万元}, 0 \text{ 万元}\}$$

2. 确定决策集 A

假设决策者要在以下3种决策中作出抉择,即 $A = \{a_1, a_2, a_3\}$ 。其中,从某一时刻 t_1 到时刻 t_2 内,对管段采取的维护措施为:

a_1 : 加大管理力度+智能检测一次+清管一次,投入的维护费用为200万元;

a_2 : 加大管理力度+清管一次,投入的维护费用约50万元;

a_3 : 只进行常规管理,投入的维护费用约1万元。

则后果集合为:

$$C = (C_{ij})_{3 \times 3} = (a_i, \theta_j)_{3 \times 3}$$

3. 确定概率分布 p

通过对该天然气管段进行风险定量评价,得出3种决策下各状态的发生概率,也即各后果的发生概率。在各决策下,时段 $[t_1, t_2]$ 内发生断裂、穿孔和不失效的概率分布如表1所示。

表1 管段各决策后果的发生概率

$p(a_i, \theta_j)$	θ_1 (断裂)	θ_2 (穿孔)	θ_3 (不失效)
a_1	1.4×10^{-3}	3.0×10^{-3}	9.56×10^{-1}
a_2	5.2×10^{-2}	8.4×10^{-2}	8.64×10^{-1}
a_3	3.6×10^{-1}	4.2×10^{-1}	2.2×10^{-1}

4. 完整性维护决策树图

完整性维护决策树如图8所示。

5. 确定后果优先性

根据人为判定,显然这9个后果的优先关系为:

$$C_{33} > C_{23} > C_{13} > C_{32} > C_{22} > C_{12} > C_{31} > C_{21} > C_{11}$$

6. 设定各后果效用函数

按照前述步骤构造后果的效用函数,可用最好的后果 C_{33} 、最坏的结果 C_{11} 作为基准,令 $u(C_{33}) = 1$, $u(C_{11}) = 0$,其余后果由确定当量求得。如,决策人经过思考后,认为:

(1)若第一种情况:采取措施 a_3 而发生穿孔;第二种情况,采取措施 a_1 ,以0.1的概率发生断裂,0.3的概率发生穿孔,0.6的概率不失效;设两种情况等价。则:

$$\begin{aligned} u(C_{32}) &= 0.1u(C_{11}) + 0.3u(C_{12}) + 0.6u(C_{13}) \\ &= 0.3u(C_{12}) + 0.6u(C_{13}) \end{aligned} \quad (20)$$

(2)若第一种情况:采取措施 a_3 而发生断裂;第二种情况,采取措施 a_1 ,以0.3的概率发生断裂,0.5的概率发生穿孔,0.2的概率不失效;设两种情况等价。则:

$$\begin{aligned} u(C_{31}) &= 0.2u(C_{11}) + 0.5u(C_{12}) + 0.2u(C_{13}) \\ &= 0.5u(C_{12}) + 0.2u(C_{13}) \end{aligned} \quad (21)$$

(3)若第一种情况:采取措施 a_2 而不失效;第二种情况,采取措施 a_3 ,以0.2的概率发生断裂,0.3的概率发生穿孔,0.5的概率不失效;设两种情况等价。则:

$$\begin{aligned} u(C_{23}) &= 0.2u(C_{31}) + 0.3u(C_{32}) + 0.5u(C_{33}) \\ &= 0.2u(C_{31}) + 0.3u(C_{32}) + 0.5 \end{aligned} \quad (22)$$

(4)若第一种情况:采取措施 a_2 而穿孔;第二种情况,采取措施 a_3 ,以0.2的概率发生断裂,0.5的概率发生穿孔,0.3的概率不失效;设两种情况等价。则:

$$\begin{aligned} u(C_{22}) &= 0.2u(C_{31}) + 0.5u(C_{32}) + 0.3u(C_{33}) \\ &= 0.2u(C_{31}) + 0.5u(C_{32}) + 0.2 \end{aligned} \quad (23)$$

(5)若第一种情况:采取措施 a_2 而断裂;第二种情况,采取措施 a_1 ,以0.5的概率发生断裂,0.3的概率发生穿孔,0.2的概率不失效;设两种情况等价。则:

$$\begin{aligned} u(C_{21}) &= 0.5u(C_{11}) + 0.3u(C_{12}) + 0.2u(C_{13}) \\ &= 0.5u(C_{12}) + 0.3u(C_{13}) \end{aligned} \quad (24)$$

(6)若第一种情况:采取措施 a_1 不失效;第二种情况,采取措施 a_3 ,以0.2的概率发生断裂,0.5的概率发生穿孔,0.3的概率不失效;设两种情况等价。则:

$$\begin{aligned} u(C_{13}) &= 0.2u(C_{31}) + 0.5u(C_{32}) + 0.3u(C_{33}) \\ &= 0.2u(C_{31}) + 0.5u(C_{32}) + 0.3 \end{aligned} \quad (25)$$

(7)若第一种情况:采取措施 a_1 而发生穿孔;第二种情况,采取措施 a_3 ,以0.6的概率发生断裂,0.3的概率发生穿孔,0.1的概率不失效;设两种情况等价。则:

$$\begin{aligned} u(C_{12}) &= 0.6u(C_{31}) + 0.3u(C_{32}) + 0.1u(C_{33}) \\ &= 0.6u(C_{31}) + 0.3u(C_{32}) + 0.1 \end{aligned} \quad (26)$$

联解式(20~26),得到各后果效用函数为:

$$\begin{aligned} u(C_{12}) &= 0.3719, u(C_{13}) = 0.6001, u(C_{21}) = 0.2916, \\ u(C_{22}) &= 0.5001, u(C_{23}) = 0.6954, u(C_{32}) = 0.5238, \end{aligned}$$

$u(C_{31})=0.3651$ 。

则有:

$$u(C_{33}) > u(C_{23}) > u(C_{13}) > u(C_{32}) > u(C_{22}) \\ > u(C_{12}) > u(C_{31}) > u(C_{21}) > u(C_{11})$$

可以看出,后果的优先性与后果的效用函数的大小关系是一致的。因此,设定的效用函数基本表达了决策者对后果的偏好模式。在决策树上标注各后果的效用函数,并结合状态概率分布函数,求出各决策的期望效用函数:

$$E[u(a_1, \theta)] = u(C_{11})p_{11} + u(C_{12})p_{12} + u(C_{13})p_{13} = 0.5748$$

$$E[u(a_2, \theta)] = u(C_{21})p_{21} + u(C_{22})p_{22} + u(C_{23})p_{23} = 0.6382$$

$$E[u(a_3, \theta)] = u(C_{31})p_{31} + u(C_{32})p_{32} + u(C_{33})p_{33} = 0.4950$$

$$\max E[u(a, \theta)] = E[u(a_2, \theta)] = 0.6382$$

可以看出, a_2 就是最优决策 a^* 。

七、关于效用函数的几点说明

(1)对于风险型决策问题,效用主观性是一个重要特征。效用函数中确定当量的值取决于决策人的爱好,因此不是惟一的。而效用函数反映的是决策者对风险的偏好程度,不同决策者对同一问题的看法是不同的,这反映在效用函数的不同曲线形式上。因此在集 Ω 上的效用函数不惟一,任何满足条件的实值函数都能作为在集 Ω 上的效用函数。

(2)效用函数可以在管线完整性维护的不同类型结果中进行影响因素的平衡。本文第一部分(本刊 2004 年第 9 期)的图 7 中,最优决策是使期望效用最大的那一个。可以用它来对两个方案进行排序,例如方案 1 的费用低和环境破坏期望度高,方案

2 的费用高和环境破坏期望度低。

(3)效用理论可以量化管线完整性维护的风险特性。例如,一次事故引起 100 个死亡的影响就比 100 次独立事故每次死亡 1 人的影响严重得多。另外,一些类似于公众暴行的“软参数”可以被综合考虑(以主观看法为基础)^[16]。

(4)定义一个效用函数的过程要对人身安全或环境破坏的费用和损失之间的平衡进行精确量化(如货币化的费用与人身伤亡的损失之间的平衡)。决策者可能不愿直接阐述这个问题,而管线公司也可能会发现很难向监督者和公众表明这些观点。

考 考 文 献

- 1 张连诚. 决策分析. 沈阳:辽宁教育出版社,1994
- 2 陈利琼. 在役油气长输管线定量风险技术研究(博士学位论文). 北京:中国国家图书馆,2004
- 3 陈利琼,张鹏,范志刚等. 管道完整性维护决策优化模型分析. 油气储运,2004;5
- 4 朱松春,孙之荣. 实用决策科学. 北京:解放军出版社,1988
- 5 张鹏,段永红. 长输管线风险技术的研究. 天然气工业,1998;18(5):72~76
- 6 陈利琼,张鹏,马剑林等. 油气管道风险的模糊综合评价方法探讨. 天然气工业,2003;23(2):117~119
- 7 陈廷. 决策分析. 北京:科学出版社,1987
- 8 张尧庭,陈慧玉. 效用函数及优化. 北京:科学出版社,2000

(修改回稿日期 2004-08-19 编辑 赵勤)

(上接第 138 页)

(2)管道粗糙度修正系数 γ_0 根据 SY/T6143—1996 标准附录方法来确定,其值与 β 值密切相关,按照标准正常的范围为 $0.2 \leq \beta \leq 0.75$ 。当更换孔板孔径, β 值也会变化,随着 β 值上升, γ_0 值也会上升,但其值的变化是微乎其微的,改变量大都在小数点后三位或四位, γ_0 对产量的影响是相当的小。即使这样,还应考虑到随着管线使用时间加长,管壁受腐蚀,管道的粗糙度会增大,相应粗糙度系数肯定也会有所增加,即会影响 γ_0 值的变化,在这套计量系统中没有考虑这点。

(3)当清洗或更换孔板期间,要更改 AGA 的运行模式,该系统将冻结最后时刻的产量,计算机会以该产量对这段时间内流量进行补偿。但当孔板提取

后,孔板的节流效应不存在了。因此这套计量装置通过气量将有所增加。如计量装置上游压力稳定,下游安装有一流量调节阀,而且进行了调节,在清洗孔板期间该套装置的通过气量就不会有太大的变化了。对软件设计来说,应区别对待这两种情况,特别注意在此状况分别采用不同的流量补偿方式。

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T6143-1996: 天然气流量的标准孔板计量方法
- 2 张永红. 天然气流量计量. 北京:石油工业出版社
- 3 黄明昌. 天然气孔板流量计现场测定方法. 天然气工业,1997;17(4)

(修改回稿日期 2004-07-24 编辑 居维清)