原油管线油电损耗预测新模型

李　化[1], 罗小武[2], 江伍英[2], 孙华锋[3], 吴　科[4]

(1. 内江天然气总公司, 四川 内江 641000; 2. 新疆克拉玛依油田油气储运公司, 新疆 克拉玛依 834002;
3. 西南石油大学, 四川 成都 610500; 4. 四川科宏石油天然气工程有限公司川西南分公司, 四川 自贡 643000)

摘　要: 影响输油成本变化的主要因素是油电损耗费用, 有关学者利用灰色系统理论和回归法进行预测, 其中灰色预测是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)模型来预测管线油电损耗, 但是结果精度并不高, 而且计算复杂, 油损耗预测的相对误差范围是 0.013%~16.86%, 平均相对误差是 6.69%; 电损耗相对误差范围是 1.76%~20.74%, 平均相对误差 6.64%; 回归法预测模型, 精度较灰色预测模型高, 但显著特点是所需要数据太多, 计算复杂。采用累积法进行预测, 通过实例计算结果可以看出油损耗预测的相对误差范围是 1.55%~5.59%, 平均相对误差是 3.48%; 电损耗相对误差范围是 0.55%~1.91%, 平均相对误差 0.97%。精度明显大幅提高, 且累积法方法简单易懂, 所需数据少, 是一种较好的预测方法。

关键词: 管线; 油电损耗; 预测; 累积法

文章编号: 1006-5539(2006)04-0036-04　　文献标识码: A

0　引言

影响原油管线输送成本的因素很多, 但主要是管线的油电损耗。如何对油电损耗进行预测, 对降低到管线的输送成本, 提高管线安全性, 有着重要的意义。

管道输油过程中压力损耗主要包括两个方面: 一是用于克服地形高差所需的位能, 对某一固定管道来说, 它是不随输量变化的固定值; 二是克服油品沿管路流动过程中摩擦及撞击产生的能量损失转换成的液柱高度道, 这部分能量损失是随流速及油品性质等因素变化而变化的[1]。

根据流体力学知识可知单位长度管段的摩阻损失, 可以表示为[2]:

$$i = \beta \frac{Q^{2-m} v^{m}}{d^{5-m}} \tag{1}$$

全线的压头损失可表示为:

$$H = iL + \Delta Z \tag{2}$$

式中　Q——体积流量, m^2/s;

v——流体运动粘度, m^2/s;

d——管子内径, m;

L——管线全长, m;

ΔZ——高程差, m;

β, m——与流体流态、管内壁粗糙度有关。

从式(1)、(2)可以知道, 对于对某一具体管线, 管径和管长是已知的(不会改变的), 管内壁粗糙度也可认为是不变的, 所输油品也是一定的, m 和 ρ 值, 对某一固定流态, 也是一常数, 则油品粘度随温度的变化规律(即粘温特性)也是一定的, 而这种温度变化的粘度对摩阻的影响已经包容在历史统计资料中。因此, 在研究某一具体管线输量对动力消耗的影响时, 其它因素可视为固定因素。则动力消耗 Q_D 是关于输量 Q 的单一函数, 即 $Q_D = f(Q)$[3,6]。

据传热学知, 为满足输油工艺要求, 原油升温所需热量要满足方程[3]:

$$Q_{热} = Q\rho C\sum_{i=1}^{n}(T_R - T_Z) \tag{3}$$

$$Q_{热} = Q\rho C\sum_{i=1}^{n}[T_R - T_0 - (T_R - T_0)e^{-\frac{K\pi D l_R}{Q\rho C}}] \tag{4}$$

收稿日期: 2006-05-16

作者简介: 李　化(1955-), 男, 四川内江人, 中级燃气工程师, 1993 年毕业于重庆石油专科学校, 现在内江天然气总公司从事天然气相关研究工作。电话: 13508056165。

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

式中　$Q_{热}$——单位时间内油品升温所需要的热量，kJ；

Q——体积流量，m^3/s；

C——油品比热容，kJ/kg·℃；

T_R——第 i 站出站温度，℃；

T_Z——第 $i+1$ 站进站温度，℃；

ρ——油品密度，kg/m^3；

T_0——管道埋深处土壤温度，℃；

l_R——站间距，m；

K——总传热系数，$W/m^2\cdot℃$；

D——管道内径，m；

G——管道质量流量，kg/s。

由式(3)、(4)可知，原油升温所需的热量，取决于体积流量、流体密度、比热容和各站的进出站温差，而流体密度、比热容尽管也随温度变化，但取定常值足以满足预测结果在允许范围内。至于各站温差的变化，在地温相近的情况下也是输量的函数。当输量增加时，各进出站温差都降低，因此，由式(3)可知各站的进出站温差不是独立变化的，也是输量的函数，所以在地温相近的条件下，最终影响热量消耗的还是输量。因此，热量消耗 Q_R 是关于输量 Q 的单一函数，即 $Q_R=f(Q)$。

因此，可以采用一元回归预测油电损耗，但是文献[3]所采用的回归方法，所需数据多，方法复杂，一旦数据不足，预测精度相当差；文献[4]采用灰色模型进行预测，虽然灰色模型只需很少的数据，但是文献[4]采用的三元素非等间距 GM(1,1)模型的数据处理方式有所不妥，因为实际上它只用了首尾两头的数据，这样的处理方式，值得商榷。本文采用统计学的一种新方法进行拟合预测，建立的模型最终转换为只与时间有关，这样就能方便的进行预测，而且经过实例计算，拟合精度比文献[3,4]都有明显提高。

1　普通累积法[5]

设有一组(n 期)数据(观察值)$\{(x_t^1,\ \Lambda,\ x_t^m,\ y_t):\ t=1,2,\ \Lambda,\ n\}$，采用下列模型来进行拟合：

$$y_t=\beta_0+\beta_1 x_t^1+\Lambda+\beta_m x_t^m+\varepsilon_t \tag{5}$$

其中 β_i 为模型参数。假设累积和算子的最高阶树是 k，模型参数个数是 $1+m$，k 一定不小于 $1+m$，于是

$$\begin{cases}\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(1)}y_t=\beta_0\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(1)}+\beta_1\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(1)}x_t^1+\Lambda\\ \qquad\qquad+\beta_m\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(1)}x_t^m+\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(1)}\varepsilon_t\\ \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(2)}y_t=\beta_0\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(2)}+\beta_1\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(2)}x_t^1+\Lambda\\ \qquad\qquad+\beta_m\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(2)}x_t^m+\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(2)}\varepsilon_t\\ \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(k)}y_t=\beta_0\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(k)}+\beta_1\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(k)}x_t^1+\Lambda\\ \qquad\qquad+\beta_m\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(k)}x_t^m+\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(k)}\varepsilon_t\end{cases} \tag{6}$$

联立方程组(2)称为累积法方程组，其中 $\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(i)}$ $(i=1,2,\ \Lambda,\ k)$ 称为 i 阶基本累积和，相当于 $\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(i)}(x_t^0)^0$，记

$$Y_k=\begin{bmatrix}\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(1)}y_t\\ \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(2)}y_t\\ M\\ \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(k)}y_t\end{bmatrix} \tag{7}$$

$$X_k=\begin{bmatrix}\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(1)} & \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(1)}x_t^1 & \Lambda & \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(1)}x_t^m\\ \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(2)} & \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(2)}x_t^1 & \Lambda & \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(2)}x_t^m\\ \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(k)} & \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(k)}x_t^1 & \Lambda & \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(k)}x_t^m\end{bmatrix} \tag{8}$$

$$\beta=\begin{bmatrix}\beta_0\\ \beta_1\\ M\\ \beta_m\end{bmatrix} \tag{9}$$

$$\varepsilon_k=\begin{bmatrix}\sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(1)}\varepsilon_t\\ \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(2)}\varepsilon_t\\ M\\ \sum\limits_{t=1}^{n}{}^{(k)}\varepsilon_t\end{bmatrix} \tag{10}$$

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

其中

$$\sum_{t=1}^{n}{}^{(k)} x_t = \frac{1}{(k-1)!}\sum_{t=1}^{n}(n-t+1)(n-t-2)\Lambda(n-t+k-1)x_t \quad (11)$$

$$\sum_{t=1}^{n}{}^{(k)} = \frac{1}{k!}n(n+1)\Lambda(n+k-1) \quad (12)$$

于是方程组(2)可写成矩阵形式:

$$Y_k = X_k\beta + \varepsilon_k \quad (13)$$

由于 ε 一般表示模型误差不可预测,略去 ε 后就得到:

$$Y_k = X_k\beta \quad (14)$$

于是 β 的最小二乘估计是:

$$\hat{\beta} = X_k^{-1}Y_k \quad (15)$$

将估计的 β 值带入下式可以进行预测:

$$\hat{y_t} = \hat{\beta}_0 + \beta_1 x_t^1 + \Lambda + \beta_m x_t^m \quad (16)$$

这种方法在估计非线性模型参数时,如 $y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t^1 + \beta_2 (x_t^1)^2$,只要把 $(x_t^1)^2$ 看成 (x_t^1) 即可。

2 实例应用

为了说明该方法的有效性,采用文献[4]的数据进行预测并将结果与文献[4]进行比较。

表 1 输量和油电损耗值

时间序列	1996	1997	1998	1999	2000
输量 $x_t/10^4$t	1 706	1 599	1 597	1 387	1 264
油损耗 $y_{1t}/10^4$t	22 044	22 548	22 896	29 796	36 129
电损耗 $y_{2t}/10^8$kWh	1 407.66	1 169.39	1 165.18	771.10	586.29

2.1 累积法模型

观察油损耗和输量的关系,如图 1:

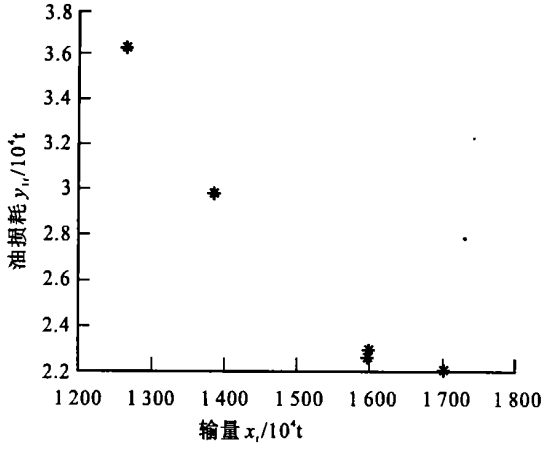

图 1 输量和油损耗的关系图

从图 1 可以看出,采用下列模型进行预测效果会较好:

$$y_{1t} = \beta_0 + \frac{\beta_1}{x_t} \quad (17)$$

式中 y_{1t}——油损耗,10^4t;

x_t——输量,10^4t;

β_i——模型参数。

根据式(5)~(16)得到拟合模型:

$$y_{1t} = -20\ 255.78 + \frac{70\ 060\ 402.94}{x_t} \quad (18)$$

观察电损耗和输量关系,如图 2。从图 2 可以知道,采用下列模型预测效果会较好:

$$y_{2t} = \beta_0 + \beta_1 x_t^2 \quad (19)$$

式中 y_{2t}——电损耗,10^8kWh,其余同上。

根据式(5)~(16)得到拟合模型:

$$y_{2t} = -425.623\ 644\ 1 + 0.000\ 626\ 368\ 7x_t^2 \quad (20)$$

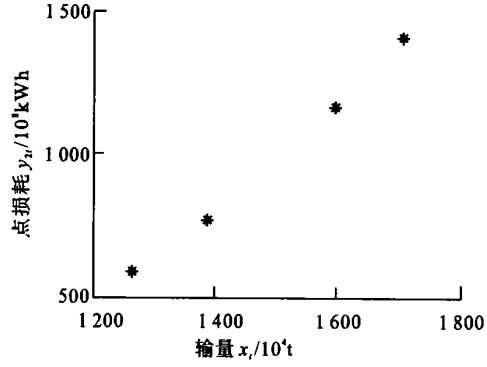

图 2 输量和电损耗的关系图

2.2 结果比较

将式(18)、(20)计算结果和文献[4]的计算结果进行比较,如表 2。

表 2 累积法模型和文献[4]拟合值及相对误差比较

油损耗实际值	22044	22548	22896	29796	36129
累积法计算值	20811.27	23559.35	23614.22	30256.40	35171.75
文献[4]计算值	19811.39	23023.11	26755.50	31092.96	36133.59
累积法计算值相对误差/(%)	5.9	4.49	3.14	1.55	2.65
文献[4]计算值相对误差/(%)	10.31	2.11	16.86	4.35	0.013
电损耗实际值	1407.66	1169.39	1165.18	771.10	586.29
累积法计算值	1397.38	1175.88	1171.87	779.37	575.12
文献[4]计算值	1382.94	1130.13	923.53	754.70	616.73
累积法计算值相对误差/(%)	0.73	0.55	0.57	1.07	1.91
文献[4]计算值相对误差/(%)	1.76	3.36	20.74	2.13	5.19

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

从表 2 可以看出应用累积法所得到的结果更加接近于实际值, 文献[4] 油损耗平均相对误差为 6.69%, 电损耗平均相对误差为 6.64%; 而累积法油损耗平均相对误差为 3.48%, 电损耗平均相对误差为 0.97%。为了定量说明该模型优于文献[4] 的模型, 采用下列公式检验[7], 预测误差的方差(方差越小越好):

$$s^2 = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t - \hat{y}_t)^2 \tag{21}$$

泰尔(THEIL)不等系数:

$$\mu = \frac{s}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} y_t^2} + \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} \hat{y}_t^2}} \tag{22}$$

μ 是属于[0, 1] 的, 其值越小说明预测越好。

经计算累积法模型的油损耗方差为 915.05, 泰尔(THEIL)不等系数 0.016 8; 而文献[4] 模型的油损耗方差为 2 087.49, 泰尔(THEIL)不等系数 0.037 8。累积法模型的电损耗方差为 8.78, 泰尔(THEIL)不等系数 0.004 13; 而文献[4] 模型的电损耗方差为 111.11, 泰尔(THEIL)不等系数 0.053 9。累积法模型对应的两个指标均比文献[4] 的模型小, 所以累积法模型优于文献[4] 的模型, 且比文献[3] 所需数据少, 简单易行等特点。

3　结束语

通过上述实例分析可以知道, 普通累积法简单, 易于编程实现, 预测精度高。关键是即使所掌握的数据有限, 也能很好的进行拟合和预测。在表 1 中, 1998 年的数据是个奇异点, 文献[4] 对这种奇异点的拟合效果相当差, 相对误差分别高达 16.86%和 20.74%, 而采用累积法后, 对这种奇异点的相对误差为 3.14%和 0.57%, 仅从这点就可以看出累积法良好的拟合和预测功能。总之, 累积法是统计学的一种新方法, 该方法简单适用, 不仅用于本文中, 还可以对油田产量、管道腐蚀速度等进行预测, 均可收到好的效果。

参考文献:

[1] 杨筱蘅, 张国忠. 输油管道设计与管理[M]. 山东: 石油大学出版社, 1996. 22-31, 52-56.

[2] 袁恩熙. 工程流体力学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1986. 90, 144-146.

[3] 丁云辉, 隋富娟. 原油长输管道油电损耗的回归预测[J]. 天然气与石油, 2004, 22(2): 61-64.

[4] 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): 10-13.

[5] 曹定爱, 张顺明. 累计法引论[M]. 北京: 科技出版社, 2000. 52-108.

[6] 闫宝东. 热输管线油电损耗的回归预测[J]. 油气储运, 1993, 12(5): 36-40.

[7] 冯文权. 经济预测与决策技术[M]. 湖北: 武汉大学出版社, 2002. 326.