

埋地热油管道运行参数的准周期变化

崔 慧

(石油大学(北京), 北京 102249)

[摘要] 从理论上分析了在大气温度变化的影响下埋地热油管道的运行参数以及周围土壤环境均随季节变化而呈现准周期变化规律, 在分析大量实际运行数据的基础上, 进一步验证了该规律的合理性, 建议在有关管道的节能降耗、优化运行以及经济清蜡等问题的研究中, 应该考虑运行参数的滞后影响。

[关键词] 热油管道; 大气温度; 土壤环境; 准周期

[中图分类号] TE832.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)01-0051-03

1 前言

地下输油管是浅埋构筑物, 其传热过程受到地面温度变化的影响。因此, 埋地热油管道运行时的土壤环境温度场应由管内油温产生的温度场和管外土壤环境的自然温度场相叠加而成。热油管道运行时, 管内沿线油温不仅随季节变化, 而且还随管道保温条件、出站油温和流量而变化。根据大气温度变化的统计规律, 管道埋深处的土壤自然温度受大气的影响也呈周期性变化。对于一条埋地热油管道而言, 因其受输量和加热炉运行状态的影响, 管道的运行参数并不是严格的随季节呈周期性变化, 但仍呈现出一定的变化规律。

热油管道目前仍然是输送易凝高粘原油的主要方式, 在我国获得了广泛的应用, 其中对于东北原油管网, 加热输送显得尤为重要。长期以来, 在进行热油管道工艺计算、优化运行研究和运行工况分析时, 相关报道很少考虑大气环境周期性的影响。近年来随着东北原油管网输量呈下降趋势, 输量的减少导致管内原油流速下降, 管道热损失增大, 各站进站油温偏低, 管道内壁更易结蜡等, 从而引发加热能力不足, 管道运行压力不稳、费用上升、热力非稳态工况加剧等一系列问题, 增加了管道运行

管理的难度。为了保障热油管道安全、可靠、高效、经济、优化运行, 需要对其运行过程进行更加科学、有效、精细的调度、管理和控制。为此, 作者建议在研究上述问题时, 把大气温度的周期性影响考虑进去, 使计算结果更好地符合运行实际。

2 埋地热油管道运行参数准周期变化

根据统计规律, 大气温度随季节呈周期性变化, 可近似用下式表示

$$\theta_a = \theta_{am} + (\theta_{amax} - \theta_{am}) \cos\left(\frac{2\pi\tau_1}{\tau_0}\right) \quad (1)$$

大气对土壤的传热可看作半无限大均匀介质中的一维传热, 取大气-土壤边界为第三类换热条件, 求解一维传热微分方程可得土壤自然温度随深度和时间的变化关系式^[1]:

$$\begin{aligned} \theta(y, \tau_1) &= \theta_{am} + (\theta_{amax} - \theta_{am}) \phi e^{-y\sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}}} \times \\ &\quad \cos\left[\frac{2\pi\tau_1}{\tau_0} - y\sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} - \varphi\right] \quad (2) \\ \phi &= \left[1 + 2\frac{\lambda_s}{\alpha_2}\sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} + 2\left(\frac{\lambda_s}{\alpha_2}\sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}}\right)^2\right]^{-0.5}, \\ \varphi &= \tan^{-1}\left[\frac{1}{1 + \frac{\alpha_2}{\lambda_s}\sqrt{\frac{a\tau_0}{12}}}\right]. \end{aligned}$$

式中： y —从地表面算起的深度 (m)； τ_1 —从一年内日平均温度最高日算起的时间 (s)； τ_0 —一年计算时间 (s)； θ_{am} —年平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)； θ_{amax} —一年内日平均最高温度 ($^{\circ}\text{C}$)； a —土壤导温系数 (m^2/s)； λ_s —土壤导热系数 ($\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$)； α_2 —大气对地表放热系数 ($\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$)， $\alpha_2 = 11.6 + 7.0\sqrt{v_a}$ ， v_a —地表风速 (m/s)。

对于稳定运行的热油管道，当输量、管道周围土壤温度和进站油温不变且考虑摩擦升温时，其沿线油温可用列宾宗公式计算^[2]：

$$\theta = \theta_0 + b + (\theta_z - \theta_0 - b)e^{-\frac{K\pi DL}{GC}} \quad (3)$$

式中： θ_0 —管道埋深处土壤的自然地温 ($^{\circ}\text{C}$)； θ_z —进站温度 ($^{\circ}\text{C}$)； b —摩擦热对地温的修正值 ($^{\circ}\text{C}$)； K —管道总传热系数 ($\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$)； G —原油的质量流量 (kg/s)； D —管道外径 (mm)； C —油品比热容 ($\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$)； L —距终点的距离，(m)。

将式 (2) 中的 y 换成管道埋深 h 并将其代入式 (3)，可得到全年内沿线油温随时间变化的计算公式：

$$\theta = \theta_{ze}^{-\frac{K\pi DL}{GC}} + (1 - e^{-\frac{K\pi DL}{GC}}) \times \left\{ \theta_{am} + (\theta_{amax} - \theta_{am}) \times \phi e^{h\sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}}} \cdot \cos\left[\frac{2\pi\tau_1}{\tau_1} - h\sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} - \varphi\right] + b \right\} \quad (4)$$

式中： θ —热油管道理论上的周期运行温度。

以铁秦线的新民—黑山站间管段为例^[3]，各项参数取值为：空气最高温度 $\theta_{amax} = 35^{\circ}\text{C}$ ；空气年平均温度 $\theta_{am} = 8^{\circ}\text{C}$ ；土壤导热系数 $\lambda_s = 1.43 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ；土壤密度 $\rho_s = 1800 \text{ kg}/\text{m}^3$ ；土壤比热 $C_s = 1465 \text{ J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ；地表风速 $v_a = 1 \text{ m}/\text{s}$ ；管段为 $\phi 720 \times 8 \text{ mm}$ ，埋深 1.5 m，站间距为 71.58 km，输量为 1200 t/h，则地表温度、埋深处的土壤温度以及出站油温的理论值变化曲线如图 1 所示。

由图 1 可以直观看出，3 条曲线都是以年为周期，随季节不同而呈周期性变化，但出站油温曲线与其他两条曲线的变化趋势相反，而与埋深处地温的变化基本上是同步的。从上图还可以看出，地表最高温度出现在 7 月份，最低温度出现在 1 月份，而埋深处的地温和出站油温比地表温度滞后将近 2 个月。在 1—3 月和 7—9 月的 6 个月中，埋深处地温和出站油温变化较平缓；在 4—6 月的 3 个月中，

埋深处地温呈回升趋势，而出站油温则呈现下降趋势；在 10—12 月的 3 个月中，埋深处地温呈下降趋势，而出站油温则呈现上升趋势。根据上述分析，从管道调度的角度而言，在 4—6 月的 3 个月中，随着埋深处地温的不断回升，出站油温可适当下调；在 10—12 月的 3 个月中，随着埋深处地温的不断下降，出站油温可适当提高。

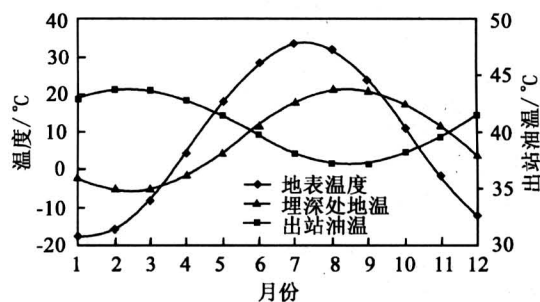


图 1 热油管道理论运行参数的周期变化

Fig.1 Periodic change of theoretic operational parameters for hot oil pipeline

图 1 中出站油温变化曲线是在控制进站油温、全年输量、土壤的总传热条件不变等情况下的理论计算结果，是一种理想状态。在实际生产过程中，因输量、出站油温的调整，环境条件的变化（下雨、寒流等）而导致传热系数变化等因素的影响，沿线油温不可能呈现标准周期性变化的特点，通过分析大量的实际运行数据发现，管道运行参数仍呈现一定的准周期性变化规律。下面仅以 2003 年新民—黑山管段的实际运行数据^①（月平均值）为例进行分析说明。

分析表 1 的数据可知，2003 年新民—黑山管段的输量基本维持在 29 000 t/d 左右，属于低输量运行但相对比较平稳，全年的进站油温在 34°C 上下浮动。虽然全年输量变化不是很大，但考虑到大气环境的周期影响以及传热条件的变化，可认为管道的运行过程始终处于不稳定状态。由图 2 可以看出，受大气环境的年变化影响，所测得的埋深处地温以及出站油温均呈准周期变化规律，并且变化趋势相反；管道与周围土壤间的总传热系数 K 也呈一定的准周期变化。比较图 1 和图 2，相同参数的变化趋势是一样的，这说明虽然管道在实际运行中不可避免会遇到一些内部或外部因素的影响，但

① 东北输油管理局沈阳调度中心。铁秦线日运行报表，2003

管道的运行参数仍呈一定的准周期性变化规律;同时,根据实际运行条件,热油管道准周期性运行温度可按式(4)近似计算。

表1 新民—黑山管段实际运行数据(2003年)

Table 1 Actual operational data for Xinmin-Heishan section (in 2003)

月份	输量 $/t \cdot d^{-1}$	出站温 度/ $^{\circ}C$	进站温 度/ $^{\circ}C$	埋深处 地温/ $^{\circ}C$	总传热系数 $/W \cdot m^{-2} \cdot ^{\circ}C^{-1}$
1	28 847	45.3	35.3	3.7	1.34
2	28 099	45.4	34.9	1.3	1.27
3	28 906	44.4	34.4	0.8	1.15
4	28 820	42.6	34.0	2.4	1.05
5	29 586	41.2	34.1	6.9	1.01
6	32 843	40.4	34.6	12.4	1.13
7	28 882	38.7	34.0	16.6	1.07
8	30 108	38.6	33.6	19.1	1.31
9	27 939	42.3	34.3	19.1	1.54
10	28 150	42.0	34.6	16.6	1.58
11	25 450	45.5	34.4	12.3	1.59
12	28 484	46.3	35.0	7.7	1.57

3 结论及建议

1) 经理论分析及实际运行数据验证可知,受大气温度年变化的影响,埋地热油管道沿线油温、周围土壤温度及管内油流与管外土壤的总传热系数均随季节呈准周期变化,且比大气温度滞后将近2个月。该规律是各项参数均稳定不变条件下的一种理想状态,其适用范围存在一定的局限性。实际上,管道在运行过程中不可避免地会遇到暴雨、寒流等突变的气象条件,以及输量、进出站油温等运行参数的变化,所以该规律会出现一定的变异。

2) 在一年四季维持输量、进站油温,以及管道与土壤的传热不变的前提下按照式(4)可得到

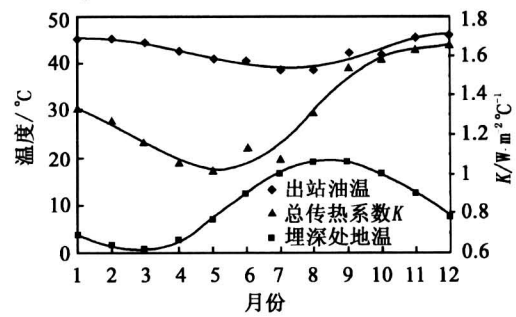


图2 新民—黑山实际运行参数的准周期变化

Fig.2 Quasi-period change of actual operational parameters for Xinmin-Heishan section

出站油温一年四季的变化规律。虽然该式在一定程度上受适用条件的约束,但其仍可为出站油温连续自动控制提供一种可参考的数学模型。而且,从运行管理的经济合理性和出站油温自动控制来说,式(4)具有一定的使用价值。

3) 针对目前东北原油管网处于低输量运行的实际情况,节能降耗、优化运行以及经济清蜡等成为研究的热门问题。在研究这些问题的同时,大气环境对管道及周围土壤温度场的周期性影响不容忽视,应该考虑管道运行参数的准周期性变化规律及其滞后性因素。

参考文献

- [1] B·M·阿卡帕金. 原油和油品管道的热力与水力计算 [M]. 罗塘湖译. 北京: 石油工业出版社, 1986
- [2] 杨筱衡, 张国忠. 输油管道设计与运行 [M]. 北京: 石油大学出版社, 1996
- [3] 东北输油管理局. 输油调度手册 [M]. 1998

Quasi-period Changes of the Operational Parameters for Hot Oil Pipelines

Cui hui

(University of Petroleum, Beijing 102249, China)

[Abstract] Subjected to the annual changes of the air temperature, the quasi-period rules of the operational parameters of the buried hot oil pipelines and the surrounding soil temperature are theoretically presented in this paper. On the basis of large numbers of actual operational data, the rationality of the rules is further validated. In addition, the delay of the operational parameters must be considered in the studies of the saving energy, optimizing operation and economically pigging for hot oil pipelines.

[Key words] hot oil pipeline; air temperature; soil environment; quasi-period