

文章编号: 1673- 9620 (2007) 04- 0053- 03

埋地热油管道土壤温度场 PHOENICS 数值模拟^{*}

张青松, 赵会军, 赵书华

(江苏省油气储运技术重点实验室 江苏工业学院, 江苏 常州 213016)

摘要: 在充分考虑大地恒温层、热油管道对大地温度场影响范围的基础上, 建立了管道运行时的非稳态简化物理模型及相关的数学模型, 并使用模拟计算软件 PHOENICS 对该数学模型进行了求解, 能够求解出忽略轴向温降的平面的任意点在管道运行过程中任意时刻的温度变化情况和任意时刻的管道周围土壤温度场的分布。这些问题的求解对研究热油管道间歇输送过程中确定停输时间以及再启动等问题奠定了基础。同时 PHOENICS 软件的引入, 也为此类问题的研究提供了捷径。

关键词: 管道; 传热; 土壤温度场; 数值模拟

中图分类号: TE 832 2

文献标识码: A

PHOENICS- Based Numerical Simulation for Soil Temperature Field Underground Heated Pipeline

ZHANG Qing- song, ZHAO Hui- jun, ZHAO Shu- hua

(Jiangsu Key Laboratory of Oil & Gas Storage and Transportation Technology, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: The unsteady simplified physical model and the associated mathematical model have been established on the basis of considering the earth stratosphere and the affected areas from the heated pipeline. Then it is solved by simulation software PHOENICS. The temperature change of arbitrary soil point with plane in the course of the pipeline at any time and the temperature distribution around the pipeline every moment can be solved when temperature drop is neglected. The calculation for soil temperature field of heated pipeline is the foundation for research on stopping transmission and the restarting during intermittent transmission. It is a shortcut to this kind of problems.

Key words: pipeline; transfer heat; soil temperature field; numerical simulation

为了提高原油的流动性, 加热是目前采用的非常普遍的方式。热油管道的运行中涉及若干复杂的非稳态传热问题, 如热油管道停输及再启动过程中的传热等。事实上, 输油管道运行时期的传热过程严格地讲是一个非稳态过程。研究输油管道非稳态热力过程的关键是分析管道周围非稳态温度场。目前国内外已有许多学者对此进行了多方面的研究,

提出了大量有价值的求解方法。其主要是采用实验测量 (探针法、热电模拟等) 与数值模拟两种方法。显然, 对长输管道全线土壤温度场进行测量是不现实的。因此, 本文将采用 PHOENICS 软件求解数学模型, 模拟热油管道与周围土壤温度场的变化规律, 对热油管道间歇输送过程中确定停输时间以及再启动等问题的研究奠定了基础。

* 收稿日期: 2006- 09- 18

作者简介: 张青松 (1982-), 男, 江苏淮安人, 硕士。

1 埋地输油管道传热微分方程

长输管道内油品的温度变化规律受诸多因素的影响, 为了简化问题, 特作出如下几点假设: ①忽略土壤沿管轴方向的温度梯度, 问题转化为二维无内热源的非稳态传热问题^[1]; ②距离管道水平一定远处 ($\pm L_1$), 受管道温度场影响非常小, 可作绝热层条件; ③距地面一定深处 (H_1), 温度终年变化小于 1°C , 可认为是恒温层。图 1 为地下埋设管道简化物理模型, 在物理模型建立后, 即可得到受热管内原油散热影响土壤温度场数学模型如下^[2]:

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial t} = a_s \left(\frac{\partial^2 \theta_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

$$t > 0, \quad -L_1 \leq x \leq L_1, \quad 0 \leq z \leq H_1$$

边界条件:

$$\lambda \frac{\partial \theta_s}{\partial r} \Big|_{r=R_N} = -\alpha (\theta_{\text{oin}} - \theta_s),$$

$$\lambda \frac{\partial \theta_s}{\partial y} \Big|_{y=0} = -\alpha (\theta_s - \theta_f),$$

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial x} \Big|_{x=\pm L} = 0, \quad \theta_s \Big|_{H_1} = \theta_h, \quad \theta_s \Big|_{t=0} = \theta_0(x, z) \quad (2)$$

式中: θ_s , θ_0 为土壤和初始时刻的温度分布, $^\circ\text{C}$; θ_{oin} , θ_f 为管内油品温度和大气温度, $^\circ\text{C}$; t 为时间, s; a_s 为土壤导温系数, m^2/s ; λ 为土壤导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, α , α_s 为土壤表面向大气的放热系数和界面传热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; R_N 为管道外半径, m; θ_h 为大地恒温层温度, $^\circ\text{C}$ 。

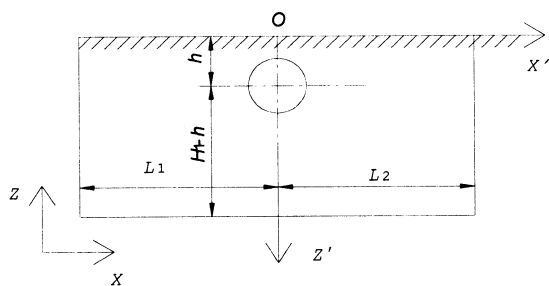


图 1 埋地热油管道计算截面示意图

Fig 1 The sketch map of cross section underground heated pipeline

2 求解方法

本文采用 PHOENICS 软件对以上方程进行离散与求解。由于未考虑流动问题, 因此对流项可通过 PHOENICS 中的 VR 界面关闭此项计算。方程式 Φ 代表温度 t , $\Gamma_{\Phi \text{ eff}} = \lambda / (\rho C)$, 此即为土壤导

温系数。这里 C 是土壤比热; λ 土壤导热系数; ρ 土壤密度。

此外, PHOENICS 软件对于边界条件的处理采用附加源项法^[3]。将边界上的未知量从方程组中消去, 并在邻近边界的节点方程中添加。在 PHOENICS 软件中, 对于简单的边界条件, 如模型中的大地恒温层温度, 属于第 1 类边界条件, 直接可以给它赋值。对于第 2 类边界条件, 模型中的受管道水平影响几乎可以忽略不计的左右两个竖直面, 可以通过 VR 界面进行设置, 本模型选为绝热面 (adiabatic)。大地与环境的交界面, 管道流体与管壁都属于第 3 类边界条件, 需要自定义源项, 可以直接在 VR 界面进行设置或通过 PIL 语言施加该源项:

Patch (name, type, ixl, ixl, iyf, iyl, izf, izl, itf, itl)

Coval (name, variable, coefficient, value1)

这里 variable 是 PHOENICS 求解变量, coefficient 写入对流扩散系数, value 写入值。type 代表类型, 如面积、体积等。

对一些复杂的边界条件如非稳定的大气温度的也可以通过 PHOENICS 内置的 PLANT 或 INFORM 进行设置。

3 算例分析

东北某输油管道管^[4]外径 377 mm, 埋深 1.3 m, 油温 55°C , 土壤导热系数 $1.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, 导温系数 $0.002 \text{ m}^2/\text{h}$, 原油导热系数 $0.13 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, 导温系数 $0.00025 \text{ m}^2/\text{h}$, 比热容 $2.1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, 密度 $800 \text{ kg}/\text{m}^3$, 管内原油对土壤的放热系数 $177 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, 土壤对空气的放热系数 $17.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。大气温度 12°C , 大地恒温层取 10 m, 温度 5°C 。PHOENICS 模拟部分图见图 2。

稳态环境下的大地温度场分布呈线形分布, 而当大地受到非稳态环境影响时, 由于温度波的延迟性, 大地温度场分布呈曲线分布。从图 2 中可直观地看出温度场中的等稳线大致呈偏心环状分布于管道周围, 离管心越远, 偏心环半径越大。但埋深方向超过一定深度, 热油管道对下方土壤温度场的影响弱到可以忽略不计。

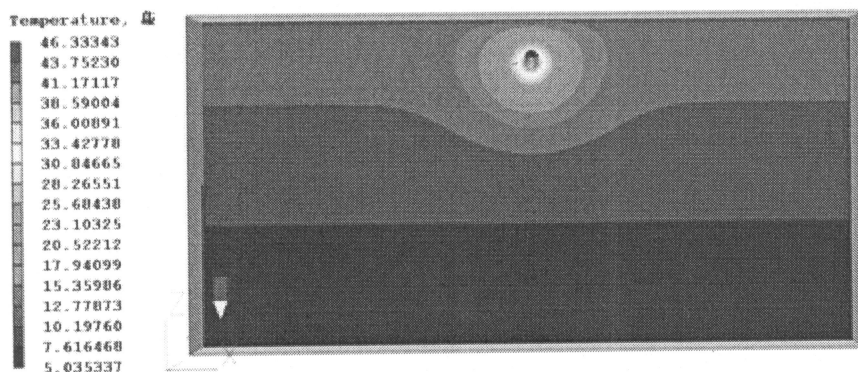
图2 PHOENICS 模拟温度场 ($t = 500$ h)

Fig 2 Temperature field simulated by PHOENICS at 500 h

图3与图4以 $X' - Z'$ 为坐标轴。在管道运行过程中, 管外土壤与管内原油作为一个整体发生着温度变化。从图3中, $(1.0, 0)$ 、 $(0, 0.6)$ 、 $(1.5, -1.2)$ 3个点上的土壤温度变化可以看出, 土壤温度随运行时间增多, 土壤吸热量增多, 温度继续呈上升趋势, 只是曲线越来越平滑, 温度变化越来越小。

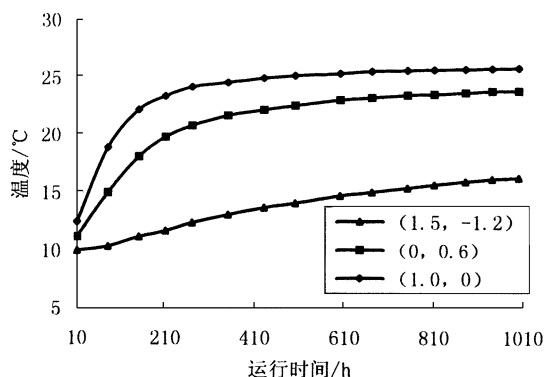


图3 温度随时间变化 (管中心为圆点坐标)

Fig 3 Relationship between Temperature and time

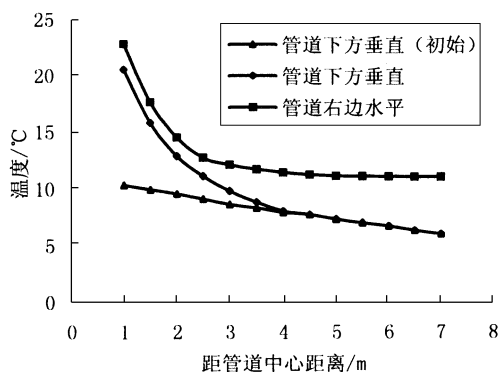
图4 温度随管道中心距离变化 ($t = 500$ h)

Fig 4 Relationship between Temperature and distance at 500 h

图4中可以发现, 热油管道运行 500 h 时, 距

管道中心垂直下方距离 3.5 m 外, 土壤温度场受热油管道影响几乎可以忽略不计。土壤温度场与初始温度场曲线达到了重合。在管道水平方向, 距管道中心 3 m 处, 温度几乎达到稳定值, 与初始温度相同。因此, 管外土壤温度的变化集中在管道周围一个不大的区域, 该区域的大小受到管道内油温及土壤介质等因素的影响。同时也证明了无限的区域简化为有限的热力影响区域, 这是完全可行的, 大大简化了热油管道求解过程。

4 结 论

考虑大地恒温层及埋地热油管道对大地温度场的影响范围, 建立的热油埋地管道运输状态下有限区域的非稳态传热简化物理模型及数学模型。应用 PHOENICS 软件, 对周围土壤温度场的变化进行了模拟。能够得到任意时刻土壤温度场的温度分布, 从而能更好地对热油管道与土壤非稳态热力进行研究。

参考文献:

- [1] 张国忠. 埋地热油管道停输降温过程的研究 [J]. 油气储运, 2004, 23 (12): 33-37.
- [2] 吴明, 江国业, 安丙威. 输油管道土壤温度场的数值计算 [J]. 石油化工高等学校学报, 2001, 14 (4): 54-57.
- [3] 严良文, 王志文. 折流板换热器的数值模拟及协同分析 [J]. 石油机械, 2005, 33 (4): 13-15.
- [4] 吴明, 杨惠达, 邓秋远. 热油管道停输过程中土壤温度变化规律研究 [J]. 西安石油学院学报 (自然科学版), 2002, 17 (4): 51-55.