埋地热输管道预热温度场分析与计算

王 岳, 石 宇, 翁 蕾

(辽宁石油化工大学, 辽宁 抚顺 113001)

摘 要: 埋地热输管道预热启动过程是一个三维不稳定传热过程, 通过分析埋地热输管道的几何特性, 考虑了沿轴向预热介质温降对土壤温度变化的影响, 建立了热输管道预热过程土壤温度场的数学模型和求解边界条件。在求解数学模型时, 对某一断面处土壤部分的温度场应用有限差分法求解, 并编制了相应的软件, 为管道预热启动的温度场计算及由土壤蓄热量估算预热时间的研究提供了一定的参考。

关键词: 热输管道; 预热; 温度场; 计算

文章编号: 1006-5539(2006)04-0018-02 文献标识码: A

0 前言

热油管道的启动方法主要有三种, 即冷管直接启动、预热启动和加稀释剂或降凝剂启动, 但对于大多数输送易凝高粘原油的长距离管道, 常采用热水预热的启动方式, 即在投油前先输送一定量的热水, 向土壤中蓄入部分热量, 以增大土壤部分的热阻, 减少管道的散热, 同时建立一定的温度场, 使投油后的终点油温高于原油的凝点。

目前对于土温的计算常采用恒热流法, 即认为预热过程中管路在单位时间内散出的热量是恒定的, 并等于稳定输送时的散热量[1], 但实际预热过程的散热量是随时间变化的, 多数都大于稳定时的散热量, 本文针对预热过程的不稳定传热, 计算出不同时刻下的沿程预热介质温度及预热过程中不同位置的土壤温度场的变化, 为管道的预热启动研究提供一定的参考。

1 预热介质及土壤温度场数学模型

土壤导热方程式与管内液体介质能量方程式如下[2]:

$$\frac{\partial T_S}{\partial \tau}=\alpha_S \Delta T_S \tag{1}$$

$$\frac{\partial T_f}{\partial \tau}+u\ \frac{\partial T_f}{\partial x}=-\frac{2q}{\rho_f C_f R} \tag{2}$$

其边界条件与起始条件为:

$$T_f|_{r=R-0}=T_S|_{r=R+0} \tag{3}$$

$$\frac{\partial T_S}{\partial r}|_{r=R-0}=KI(T_f-T_0)/R \tag{4}$$

$$\frac{\partial T_S}{\partial r}|_{r=h_t}=Nu_a(T_S-T_a)/h_t \tag{5}$$

当 $0\leqslant x\leqslant L$, $\tau<0$ 时, $T_S=T_0(x)$;

当 $x=0$, $\tau\geqslant 0$ 时, $T_f(0,\tau)=T_H$。

由上述关系式可得出非稳态时的管道任意截面在任意时间的液体介质温度:

$$T(x,\tau)=T_0+(T_H-T_0)\exp(-\frac{K\pi Dx}{GC})A(x,\tau-\frac{x}{u}) \tag{6}$$

$$A(x,\tau-\frac{x}{u})=\mathrm{erfc}(\frac{w}{\sqrt{F_0-F_0^*}}\cdot\frac{x}{L}) \tag{7}$$

$$w=\frac{0.5\pi\sqrt{\pi}\lambda_S L}{GC} \tag{8}$$

$$F_0=\frac{\alpha_S\tau}{R^2},\ F_0^*=\frac{\alpha_S x}{R^2 u}$$

式中 T_H, T_0——起点介质温度与埋地处土壤自

收稿日期: 2005-07-14

作者简介: 王 岳(1962-), 男, 辽宁大连人, 硕士, 主要从事油气储运技术研究工作。电话: (0413)6861998。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

然温度，℃；

K——稳定状态时总传热系数，W/(m²·℃)；

q——管道散热量，J/(m²·h)；

x，L——距起点距离与管道全长，m；

λ_S——土壤导热系数，W/(m·℃)；

C——管内介质的比热，J/(kg·℃)；

KI——契尔皮切夫准数；

α_S——土壤导温系数，m²/h；

D，R——管道直径与半径，m；

G，u——介质流量与流速 kg/s，m/h；

Nu——努塞尔准数；

T_S，T_f——土壤、液体介质的温度，℃；

a——空气角码；

$T(x,\tau)$——介质输入 τ 小时后，距起点 x 处管内介质的温度，℃。

利用龙贝格求积法[3]对式(6)进行数值求解。并将解出的不同时刻的预热介质温度代入不同截面。对于该处界面土壤温度场利用一阶非稳态传热方程得其数学模型[4~5]：

$$\frac{\partial T_S}{\partial \tau}=\alpha_S\left(\frac{\partial^2 T_S}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial T_S}{\partial r}\right) \tag{9}$$

$$T_f|_{r=R-0}=T_S|_{r=R+0} \tag{10}$$

将式(9)离散得[6~7]：

$$\frac{T_i^{n+1}-T_i^n}{\Delta\tau}=\alpha_S\left(\frac{T_{i+1}^n-2T_i^n+T_{i-1}^n}{\Delta r^2}+\frac{1}{i\Delta r}\frac{T_{i+1}^n-T_{i-1}^n}{2\Delta r}\right) \tag{11}$$

式中　T_i，T_{i+1}，T_{i-1}——相邻土壤层温度，℃；

r——距管中心距离，m；

$\Delta\tau$——时间步长；

Δr——空间步长；

n，$n+1$——新旧时层。

采用 C 语言编制相应程序，并用有限差分法对式(1)进行求解。

2　算例

热油管道管径 Ø529，管道顶部埋深 1.5 m，热站间距 60 km，以热水预热，管道流量为 Q=750 t/h；土壤导热系数为 1.5 W/(m·℃)，土壤导温系数为 0.002 m²/h；稳态时总传热系数为 1.98 W/(m²·℃)，土壤初始温度为 10 ℃。

图 1～4 所示为在不同条件下计算出的土壤或预热介质的温度变化曲线。

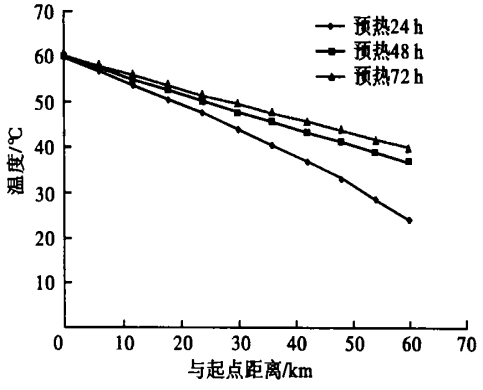

图 1　预热介质出口温度为 60℃时预热 24，48，72 **h** 后管内预热介质温度的沿程变化

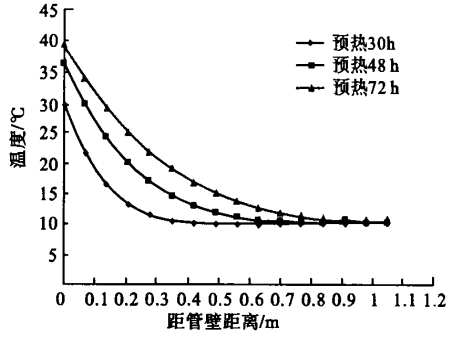

图 2　预热介质出口温度为 60 ℃时，60 **km** 处土壤的温度分布

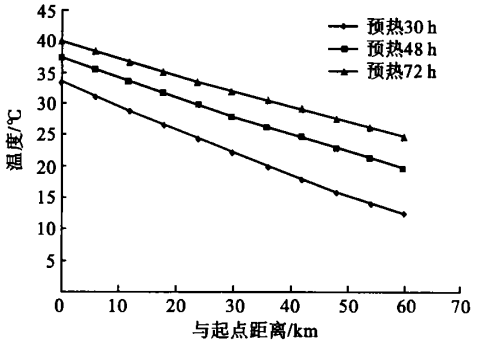

图 3　预热介质出口温度 60 ℃时与管道径向距离 0.21 **m** 处沿线温度曲线

（下转第 35 页）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(上接第 19 页)

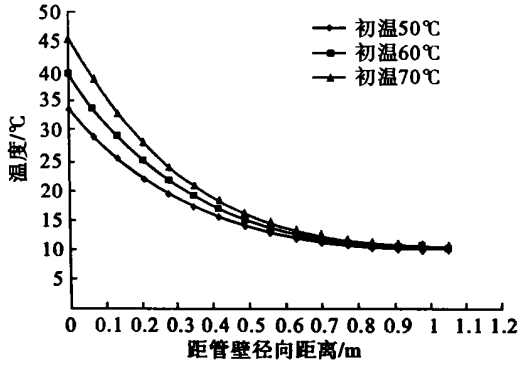

图 4　预热介质出口温度为 50, 60, 70℃时 60 **km** 处预热 72 **h** 后的温度分布

3　结论

a. 当预热介质到达 60 km 后在短时间内此截面上的预热介质温度快速升高, 而后随时间缓慢升高, 如图 1。

b. 距管道不同径向距离处的土壤介质的温升速率在预热过程中是不同的, 距管道较近处温升较快, 较远处温升缓慢, 而距离管道 1 m 左右的土壤温度在预热过程中基本不变, 如图 2, 4。

c. 提高预热介质的出口温度, 使靠近管道处的土壤温升较快, 而较远处的土壤温度变化较小, 如图 4。

d. 上述结果表明在预热过程中, 沿管道轴向及径向的介质温升及土壤温升是不均匀的, 同时也说明了采用反输预热工艺的必要性, 如图 3, 4。

参考文献:

[1] 严大凡. 输油管道设计与管理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989. 106-118.

[2] 杨筱蘅, 张国忠. 输油管道设计与管理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 137-147.

[3] 李庆杨, 王能超, 易大义. 数值分析[M]. 武汉: 华东理工大学出版社, 1982. 85-93.

[4] 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002. 28-47.

[5] 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.

[6] 奥齐西克 M N. 热传导[M]. 余昌铭译. 北京: 高等教育出版社, 1984. 539-546.

[7] 吴　明, 杨惠达, 邓秋远. 埋地热油管道停输径向温度规律研究[J]. 石油化工高等学校学报, 2001, 14(3): 51-56.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net