

# 原油顺序输送对土壤温度场的影响

刘晓娜 赵会军\* (江苏工业学院江苏省油气储运技术重点实验室, 江苏常州 213016)

**摘要** 提出了顺序输送时不可避免的温度变化问题, 针对这一问题, 通过分析埋地管道的几何特征, 建立了有限区域内冷热油顺序输送管道的土壤数学模型, 并使用 PHOENICS 软件对该模型进行了求解, 结果证明用 PHOENICS 软件可对土壤温度场进行模拟, 为研究土壤温度变化对农作物生长周期的影响奠定了基础。

**关键词** 顺序输送; 土壤; 温度场; PHOENICS

中图分类号 S152.8 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)34-14969-02

## Effects of the Batch Transportation of Crude Oil on the Soil Temperature Field

LIU Xiao-na et al (Jiangsu Key Laboratory of Oil and Gas Storage and Transportation Technology, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou, Jiangsu 213016)

**Abstract** The inevitable problem of temperature changes in the process of batch transportation was put forward. Aiming at the problem, the geometrical characteristics of buried pipeline were analyzed to set up the soil mathematical model of the batch transportation pipeline for the hot oil and cold oil in the limited areas. Then it is solved by using PHOENICS software. And the results proved that the soil temperature field could be simulated by PHOENICS software and it would lay the foundation for studying the effects of soil temperature changes on the growth period of crops.

**Key words** Batch transportation; Soil; Temperature field; PHOENICS

目前, 我国原油的进口量逐年增多, 根据国际能源机构预测, 到 2010 年中国石油消耗量将达 3.5 亿 t, 其中进口原油将达 1.8 亿 t 左右, 其依存度将超过 50%<sup>[1-2]</sup>。进口原油与国产原油混合输送虽在输送技术上无明显困难, 但产生的混油可能会影响炼制加工产品的品质。多种油品在同一载体中运动, 如何保证油品的质量, 一套完整的顺序输送工艺是解决这一问题的有效手段<sup>[3]</sup>。由于进口原油一般流动性较好, 可实现常温输送, 而国产原油多为高粘易凝油需加热输送, 因此进口原油与国产原油的顺序输送实际上是一个冷热油交替输送的过程。笔者针对这一输送方式, 进行探索性研究, 并用 PHOENICS 软件对管道周围土壤的温度场进行了模拟, 初步得出顺序时土壤温度的变化规律, 对研究土壤温度变化对农作物生长周期的影响具有现实意义。

### 1 土壤温度场的数学模型

为了简化计算, 忽略土壤沿管轴线  $z$  方向的传热, 则问题转化为标准的二维非稳态导热问题<sup>[4]</sup>。在有限的热力影响区域内, 建立受热管内原油散热影响土壤温度场的数学模型, 数学模型如下:

$$\begin{aligned} \frac{T_s}{t} &= s \left( \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_s}{\partial y^2} \right) \\ s \frac{T_s}{r} \Big|_{r=R_N} &= -a_s (T_s - T_s) \\ s \frac{T_s}{y} \Big|_{y=0} &= a_k (T_s - T_k) \\ s \frac{T_s}{x} &= 0, \text{ 当 } x=0 \text{ 和 } h_0 + R_0 \leq y \\ s \frac{T_s}{x} &= 0, \text{ 当 } x=0 \text{ 和 } 0 \leq y < h_0 - R_N \\ T_s \Big|_{t=0} &= T_{s0}(x, y) \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $T_s$ 、 $T_{s0}$  为土壤任意时刻和初始时刻温度分布( ) ;  $T$ 、 $T_k$  为管内介质温度和大气温度(年周期变化, ) ;  $t$  为输送

时间(s) ;  $s$  为土壤导热系数  $W(m \cdot )$  ;  $a_k$ 、 $a_s$  为土壤表面面向大气的放热系数和管内介质向土壤的当量放热系数  $W(m^2 \cdot )$  ;  $R_0$ 、 $R_N$  为管道内半径和外半径(m) ;  $h_0$  为管道中心线至土壤表面的深度(m) ;  $s$  为土壤导温系数( $m^2/s$ )。

### 2 求解方法

采用 PHOENICS 3.6 对以上方程进行离散与求解, 该软件采用了 SIMPLEST 算法<sup>[5]</sup>。PHOENICS 将质量守恒、动量守恒、能量守恒和其他守恒特性等控制方程统一为通用偏微分方程式, 以此来描述流体的流动、传质传热、化学反应等物理现象。通用控制方程<sup>[5]</sup>的形式如下:

$$\frac{(\quad)}{t} + \mathbf{d} \mathbf{v} (\mathbf{U} - \text{effgrad}) = S \quad (2)$$

采用有限体积法<sup>[6]</sup>对控制方程进行离散, 其形式为:

$$\begin{aligned} a_P P &= a_N N + a_S S + a_E E + a_W W + a_H H \\ &+ a_L L + a_T T + S \end{aligned} \quad (3)$$

这里  $\quad$  代表变量, 下标 P、N、S、E、W、H、L 表示该变量所处的位置, 下标 T 代表前时步时间的值,  $a$  代表系数。PHOENICS 软件对于边界条件的处理采用附加源项法<sup>[7]</sup>。

### 3 算例分析

设置计算区域为  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ , 网格划分为  $100 \times 100$  ; 土壤的密度为  $1800 \text{ kg/m}^3$  ; 土壤的热容为  $1465 \text{ J/(kg} \cdot )$  ; 土壤的导热系数为  $1.4 \text{ W/(m} \cdot )$  ; 管道为直径  $0.5 \text{ m}$  ; 埋深  $2.7 \text{ m}$  ; 管道先输送  $70 \quad$  热油后输送  $15 \quad$  冷油, 在  $15 \quad$  冷油进入管道前,  $70 \quad$  热油与周围土壤已处于稳态状态。首先进行  $70 \quad$  热油稳态温度场计算, 把所计算得出的温度场设置为下一步计算的初始温度场, 然后进行数值计算。

图 1 反映了  $70 \quad$  热油稳定运行时和  $15 \quad$  冷油运行 5 d 后管道周围土壤温度场变化情况, 可看出  $15 \quad$  冷油对  $70 \quad$  热油稳态土壤温度场的破坏。图 2 反映了土壤内不同点处温度随时间的变化关系。点(0.1, 7.3) 曲线反映了冷油刚进入管道时的温度, 对管周围的温度场没有影响, 点(0.5, 7.3) 曲线反映了冷油进入后被热油温度场加热而温度迅速升高, 但随着时间的推移, 温度缓慢降低, 而点(1.5, 7.3)、点(2.0, 7.3)、点(3.0, 7.3) 曲线反映了随着距管中心距离的增加, 管

基金项目 江苏省油气储运技术重点实验室资助项目(SCZ060591-57E)。

作者简介 刘晓娜(1982-), 女, 辽宁阜新人, 硕士研究生, 研究方向: 油气管输技术。\* 通讯作者。

收稿日期 2008-09-23

外土壤温度逐渐降低,随着时间的推移最终趋向于建立新的

稳定温度场。

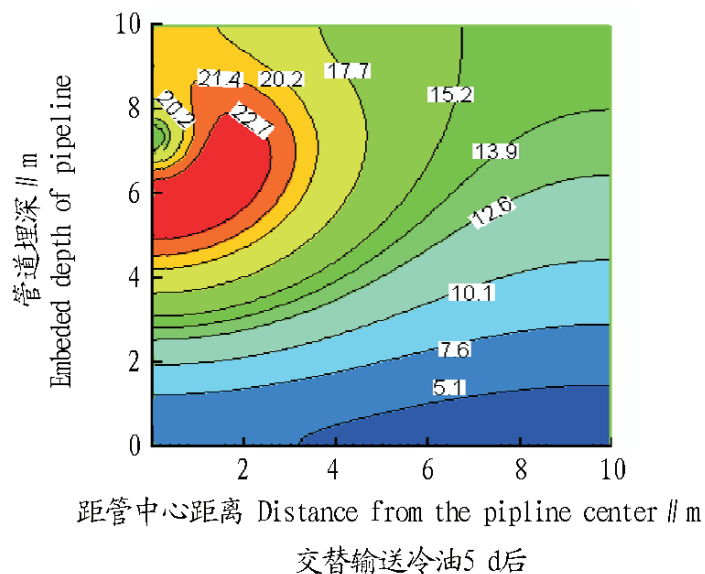
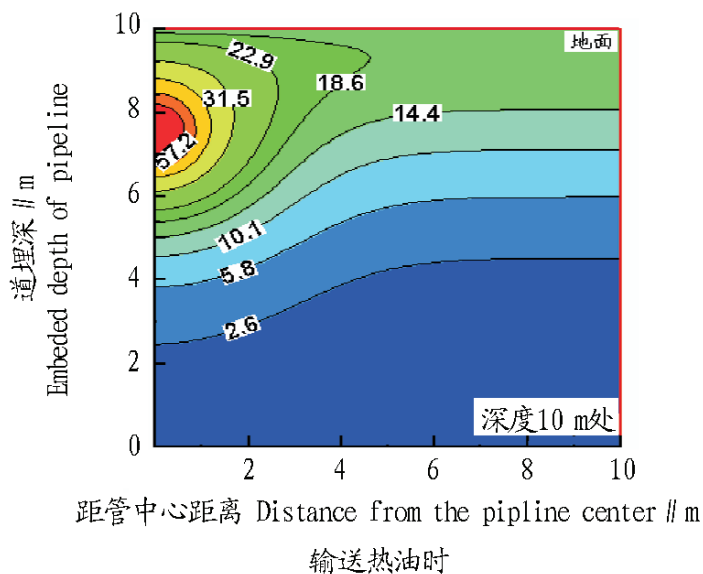


图1 油品交替输送后土壤温度场的变化

Fig.1 The changes of soil temperature field after transporting oil by turns

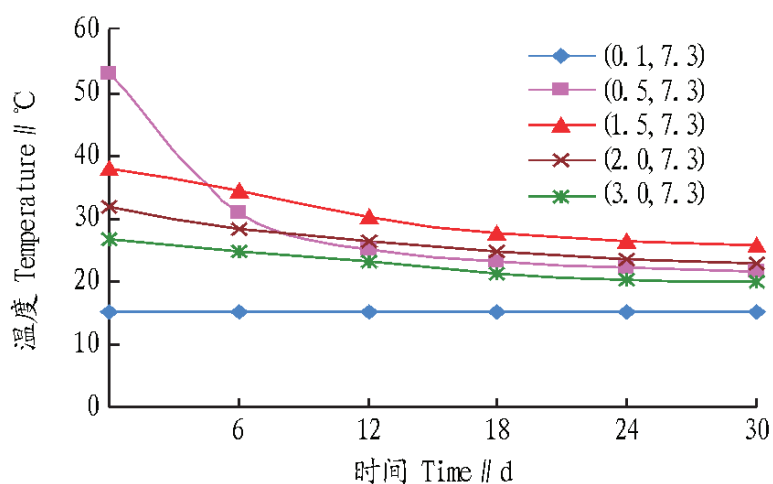


图2 不同土壤内部点处的温度变化

Fig.2 The temperature changes at different points inside soil

#### 4 结论

(1) 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,建立了冷热油顺序输送情况下有限区域的非稳态传热模型。应用PHOENICS软件,对土壤温度场的变化进行了

模拟,把热油管道输送过程与土壤达到热平衡的温度场作为后续冷油的初始温度场,更符合真实情况。

(2) 通过模拟和分析,初步认识了后续冷油运行后对热油形成的稳定温度场的影响,可以为以后研究土壤温度变化对农作物生长周期的影响提供基础。

#### 参考文献

- [1] 刘江波. 原油顺序输送的必要性[J]. 石油规划设计,1995(6):14-16.
- [2] 高士. 原油分输分炼能提高经济效益[J]. 炼油设计,1988,18(1):3-4.
- [3] 吴国忠,陈超. 埋地管道传热数值模拟网格划分方法[J]. 大庆石油学院学报,2005,29(2):82-84.
- [4] 张春元. 埋地原油管线散热理论研究及应用[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2004:1-32.
- [5] 段雪涛. 板带式速冻机空载状况下速度场的数值模拟[J]. 上海理工大学学报,2005,27(2):131-134.
- [6] 任洪娟. 基于PHOENICS螺旋翅片管的数值研究[J]. 山东理工大学学报,2004,18(6):31-34.
- [7] 严良文. 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.

(上接第14968页)

致冬小麦产量下降,特别是在拔节期至开花期耗水最多,也是最敏感的时期,生产上应给予足够的重视。

#### 3 讨论

(1) 不同干旱胁迫条件下,冬小麦鲁麦21号的干物质分配呈现一定规律。叶的分配比例随单株干重增加而呈现线性下降;茎的分配比例随单株干重增加呈现M型变化趋势;穗的分配比例随单株干重增加而呈现增加趋势。干旱对叶、茎、穗的分配造成了不同程度的影响,影响程度为成熟期穗>茎秆>叶片。

(2) 鲁麦21号为耐肥喜水的高产品种,由于品种的限制性,使模型参数不具备广泛的代表性。另外,不同水分条件下冬小麦干物质分配没有考虑到叶鞘的影响,因而,为使不同干旱胁迫条件下冬小麦干物质分配模型更具实用性和科学性,应对模型进行完善和改进。

#### 参考文献

- [1] SHANL, XU M. Water-saving agriculture and its physio-ecological bases[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1991,2(1):70-76.
- [2] SHANL. Part water use efficiency and water using of agriculture in Semi-arid region[J]. Part Physiology Communications, 1994,30(1):61-66.
- [3] 李玉中,程延年,安顺清. 北方地区干旱规律及抗旱综合技术[M]. 北京:中国农业科技出版社,2003:187-196.
- [4] 王春乙. 重大农业气象灾害研究进展[M]. 北京:气象出版社,2007:1-26.
- [5] 刘建栋,于强,闵庆文,等. 水分胁迫对黄淮海夏玉米农业气候资源利用的影响[J]. 资源科学,2002,24(3):92-95.
- [6] 许振柱,李长荣,陈平,等. 土壤干旱对冬小麦生理特性和干物质积累的影响[J]. 干旱地区农业研究,2008,18(1):113-117.
- [7] 于志青,毕建杰,叶宝兴,等. 干旱胁迫对冬小麦光合及荧光参数的影响[J]. 云南农业大学学报:自然科学版,2008,23(3A):60-66.
- [8] 於俐,于强,罗毅,等. 水分胁迫对冬小麦物质分配及产量构成的影响[J]. 地理科学进展,2004,23(1):105-111.
- [9] 冯广龙,罗远培,杨培岭. 节水灌溉对冬小麦干物质分配,灌浆及水分利用率的影响[J]. 华北农学报,1998,13(2):11-17.
- [10] 李升东,王法宏,司红升,等. 不同种植模式下小麦干物质积累及分配对源库关系的影响[J]. 华北农学报,2008,23(1):87-90.