

# 大气温度年周期性变化对集油管道温降的影响研究

毛前军 刘晓燕 刘立君 宫克勤 徐巧峰

(大庆石油学院土木建筑工程学院, 大庆 163318)

**摘要** 油田集油管道的温降计算是否准确直接影响到油田能耗的高低及油田集输管道的安全性。建立了土壤自然温度场模型,并与实测数据进行了比较,结果表明,按大气温度年周期性变化计算土壤温度场方法是可行的,误差在工程允许范围内。同时,分析了油田集输管道温降的影响因素,得出了大气温度年周期性变化对集油管道温降的影响,结果表明:同一埋深管道的温降随大气温度年周期性变化而变化,埋深变化时,集油管道的温降随大气温度年周期性变化时延迟时间不同。

**关键词** 大气温度年周期性 油田集输管道 温降 影响

**中图法分类号** TE866.4; **文献标志码** A

众所周知,油田集油管道的温降计算研究属于复杂的多相流领域,是以工程热物理学为基础,与数学、力学、信息、生物、环境、材料、计算机等学科相互交叉的一门跨学科复杂问题。近年来,在国内外一些学者大量的理论和试验研究的基础上,油田集输管道的温降计算已经取得了相当的进展<sup>[1]</sup>,对一些工程问题能够得到初步的解决,但有关高含水期集输管道温降计算研究还很不深入,致使我国各油田油气水集输系统运行管理不够科学,能耗巨大<sup>[2]</sup>。油田集油管道温降受大气温度周期性引起的土壤温度的周期性变化、时间延迟及土壤变热物性的影响。尤其在严寒地区,年气温最大及最小差值在 70℃以上,相应的不同深度处土壤自然温度场一年四季也变化很大,因此大气温度的年周期性变化也是影响油田集输管道温降的主要因素之一。本文以工程热力学、传热学、流体力学、油气集输、多相流等知识为基础<sup>[3]</sup>。采用理论与试验相结合的技术路线,并结合油田生产企业的现场实际情况,重点研究大气温度的年周期性变化对油田集输管道温降研究的影响,通过本文的研究,力争解决制

约高含水集输管道温降计算的关键技术,促进多相流学科的发展。

## 1 土壤自然温度场计算数学模型

土壤自然温度场随着大气温度的年周期性变化而变化<sup>[4]</sup>,土壤自然温度场计算可简化为第三类边界条件下的半无限大物体一维周期性非稳态导热问题。数学描写为<sup>[5]</sup>:

$$\frac{\partial t_0(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t_0(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$t_\tau = t_{am} + (t_{amax} - t_{am}) \cos\left(\frac{2\pi\tau}{\tau_0}\right) \quad (2)$$

式中: $t_0$ —土壤温度,℃; $a$ —土壤的导温系数, $\text{m}^2/\text{s}$ ; $\tau$ —距离最热大气温度的时间,s; $t_\tau$ —以大气年最高温度为初始时间的任意时刻大气温度,℃; $t_{am}$ —大气年平均温度,℃; $t_{amax}$ —大气年最高温度,℃。

对式(1)、式(2)进行积分求解得:

$$t_0(x, \tau) = t_{am} + (t_{amax} - t_{am}) \varphi \exp\left(-\sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}}x\right) \times \cos\left(\frac{2\pi\tau}{\tau_0} - \sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}}x - \psi\right) \quad (3)$$

式(3)中:

$$\varphi = \left( 1 + 2 \frac{\lambda_t}{\alpha_2} \sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} + 2 \left( \frac{\lambda_t}{\alpha_2} \sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} \right)^2 \right)^{-0.5} \quad (4)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{1}{1 + \frac{\alpha_2}{\lambda_t} \sqrt{\frac{a\tau_0}{\pi}}} \right) \quad (5)$$

式中： $t_0(x,\tau)$ — $\tau$  时间（距离最热大气温度的时间） $x$  深度处的土壤温度，℃； $\lambda_t$ —管道周围的土壤导热系数，W/(m·K)； $\alpha_2$ —地表与大气的对流换热系数，W/(m<sup>2</sup>·K)。

依据上述土壤温度自然温度场计算模型，利用土壤物性测试数据，即高地势土壤导热系数 1.08 W/(m·K)，导温系数 3.534 × 10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s；低地势导热系数 1.08 W/(m·K)，导温系数 3.934 × 10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s，对土壤温度自然温度场进行计算，高地势各深度土壤自然温度场计算值与测试值对比情况，如图 1 ~ 图 2 所示。

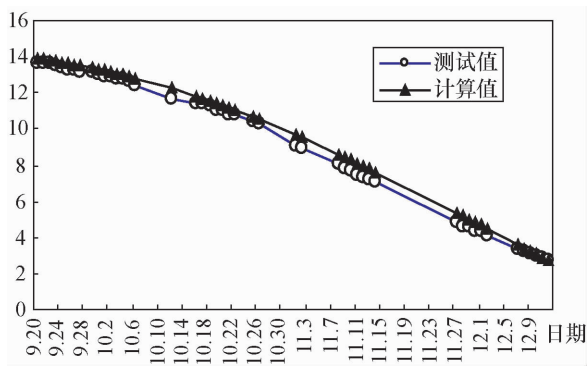


图 1 高地势 1 500 mm 深土壤实测温度与计算值对比图

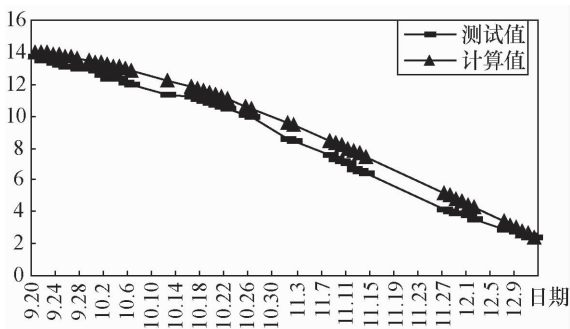


图 2 低地势 1 540 mm 深土壤实测温度与计算值对比图

高地势 1 500 mm 深土壤测试温度与计算温度绝对误差最大值为 0.66 ℃（11 月 1 日），最小值为 -0.01 ℃（12 月 12 日），平均值为 0.33 ℃。

低地势 1 540 mm 深土壤测试温度与计算温度绝对误差最大值为 1.12 ℃（11 月 12 日），最小值为 -0.02 ℃（12 月 12 日），平均值为 0.66 ℃。

对比分析结果表明，按年周期性变化计算土壤温度场方法可行，误差在工程允许范围内。

2 油田集输管道温降计算公式

因管道埋地敷设，得到埋地管道三相流热力计算公式为<sup>[6]</sup>：

$$T = t_{am} + (t_{amax} - t_{am}) \varphi \exp \left( - \sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} x \right) \times \cos \left( \frac{2\pi\tau}{\tau_0} - \sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} x - \psi \right) B + \left( T_i - t_{am} - (t_{amax} - t_{am}) \varphi \exp \left( - \sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} x \right) \times \cos \left( \frac{2\pi\tau}{\tau_0} - \sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} x - \psi \right) + B \right) \exp(-L/A) + \eta A [1 - \exp(-L/A)] \frac{dP}{dL} \quad (6)$$

式(6)中：

$$\varphi = \left( 1 + 2 \frac{\lambda_t}{\alpha_2} \sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} + 2 \left( \frac{\lambda_t}{\alpha_2} \sqrt{\frac{\pi}{a\tau_0}} \right)^2 \right)^{-0.5},$$
$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{1}{1 + \frac{\alpha_2}{\lambda_t} \sqrt{\frac{a\tau_0}{\pi}}} \right)。$$

式中： $T$ —油气水三相流埋地混输管道内任一处流体温度，℃； $T_i$ —油气水三相流埋地混输管道进口流体温度，℃； $t_{am}$ —大气年平均温度，℃； $t_{max}$ —大气年最高温度，℃； $\tau$ —距离最热大气温度的时间，s； $\tau_0$ —年周期时间，s； $x$ —土壤深度，m； $a$ —土壤的导温系数，m<sup>2</sup>/s； $\lambda_t$ —管道周围的土壤导热系数，W/(m·K)； $\alpha_2$ —地表与大气的对流换热系数，W/(m<sup>2</sup>·K)。

3 大气温度年周期性变化对油田集输管道的温降影响

根据以上温降计算公式(6)，可知影响油田集输管道温降的主要因素有：产气量、产液量、含水

率、起始温度、管道埋深、管道保温状况、管长、管道内径、土壤物性、大气温度。本文以大庆油田生产中的常用数据作为基本参数:管长为 300 m、管内径 50 mm、外径 55 mm、管道保温状况  $1.2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 、产液量  $50 \text{ m}^3/\text{d}$ 、含水率 90%、终端压力 0.2 MPa、起始温度  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 、原油密度  $845 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、原油黏度  $14.82 \text{ mP} \cdot \text{s}$ 、天然气分子量 20、土壤导热系数  $1.114 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。改变大气温度(通过日期确定)计算埋深分别为 200 mm、800 mm、1 400 mm 的油田集输管道的温降。如图 3 所示。

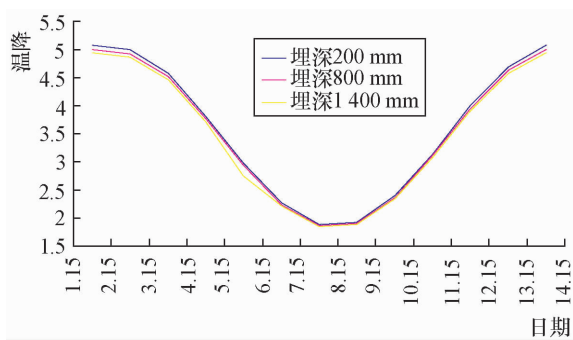


图3 不同埋深时油田集输管道随大气温度年周期性变化的温降值

从上图可知:同一埋深管道的温降随大气温度年周期性变化而变化,油田集输管道的温降年变化在  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  左右。同时,将 6 月—11 月这段期间局部放大可得图 4。

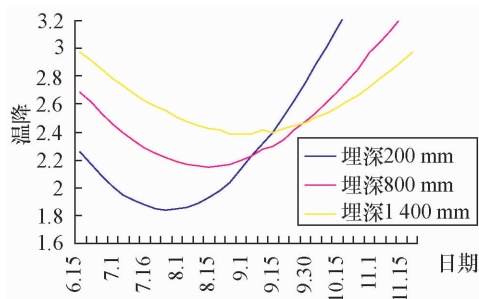


图4 不同埋深时油田集输管道随大气温度年周期性变化的温降值

由图 4 可知:埋深变化时,油田集输管道的温降随大气温度年周期性变化时延迟时间不同,埋深 200 mm 时,延迟 15 d;埋深 800 mm 时,延迟 30 d;埋深 1 400 mm 时,延迟 50 d。

## 4 结论

1) 建立了土壤自然温度场模型,并与实测数据进行了比较,对比分析结果表明,按年周期性变化计算土壤温度场方法可行,误差在工程允许范围内。

2) 分析了油田集输管道温降的影响因素。

3) 得出了大气温度年周期性变化对油田集输管道温降的影响。同一埋深管道的温降随大气温度年周期性变化而变化,埋深变化时,油田集输管道的温降随大气温度年周期性变化时延迟时间不同。

## 参 考 文 献

- 1 Liu Xiaoyan, Zhao Bo, Zhang Yan. Axial temperature drop calculation model development of oil-gas-water mixed transportation with special high water-cut. *Transportations on fluid mechanics*, 2006;1(1): 108—116
- 2 Liu Xiaoyan, Tan Yingjie, Liu Lijun. The temperature limit measurement of oil-gas-water mixed transportation with special high water-cut. *Transportations on fluid mechanics*, 2006;1(1):117—125
- 3 章熙民,任泽濡,梅飞鸣. 传热学. 北京:中国建筑工业出版社, 1993;66—74
- 4 范爱武,刘 伟,王崇琦. 不同环境条件下土壤温度日变化的计算模拟. *太阳能学报*,2003;24(2):167—171
- 5 刘晓燕. 特高含水期油气水管道安全混输界限确定及水力热力计算方法研究. [博士学位论文]. 大庆:大庆石油学院,2005
- 6 刘晓燕,毛前军. 油气水三相流埋地管道温降的影响因素研究. *工程热物理学报*,2009;30(8):1343—1346

# Study on Temperature Drop of the Oil Pipeline with Annual Cyclical Changes in Atmospheric Temperature

MAO Qian-jun, LIU Xiao-yan, LIU Li-jun, GONG Ke-qin, XU Qiao-feng  
( Civil College, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, P. R. China )

[ **Abstract** ] The Oil pipeline calculation of the temperature drop a direct impact on the accuracy of the level of oil consumption and oil gathering and transportation pipeline security. The natural soil temperature field model and the data were compared with the measured results show that, according to cyclical changes in atmospheric temperature calculated annual soil temperature field method is feasible, the error in the engineering permitted range. Meanwhile, the analysis of oil field pipe temperature drop of the influencing factors derived atmospheric temperature change on the set of annual cyclical temperature drop of the oil pipeline, results showed that: the same depth of the pipe temperature drop with the annual cyclical changes in atmospheric temperature changes, depth changes, oil pipelines temperature drop with the annual cyclical changes in atmospheric temperature when the delays are different.

[ **Key words** ] temperature year periodicity oil gathering and transportation pipelines temperature drop impact



( 上接第 2074 页 )

tics of fault movement, the faults in Beier Depression was divided into three types: upper part, lower part and long-term growth fault system. The historical evolution controls the development of fault with different genetic, the extensional deformation in early stage Tongbomiao group to Damoguaihe group controls the occurrence, development, extinction of the rift structure, strike slip deformation in Yimin group mainly form a group of fault densely zone and a mount secondary seal fault, the inversion structural deformation in Qingyuangang group formed the fault tectonic inversion and local anticlinal structural inversion. The formation and development of fault impact the distribution and thermal evolution degree of chief source rock, form kinds of traps, and provide good migration channel. The slope zone with growing long-term active faults and densely zone made by long term succeed activity fault and upper fault structure are the favorable areas of hydrocarbon migration and accumulation, controls the hydrocarbon enrichment in Beier Depression.

[ **Key words** ] Beier Depression structure evolution distribution of source rocks Nantun Group source fault