

原油管道输送过程中摩擦生热对原油输送的影响

杨帆 王博 袁佩

陕西长之河工程有限公司 陕西西安 710000

摘要: 在我国,石油供给的主要来源是国内石油及其进口石油。由于我国油田和港口分布不均,出现区域集中的特征,因此大多数地区的石油供应通常必须通过长距离管道进行运输。在运输过程中,原油的温度经常由于外部环境,摩擦生热等因素而发生变化。原油的温度是设计和分析安全原油运输的重要基础。因此,原油运输管道的热力研究尤为重要。

关键词: 原油管道; 输送过程; 摩擦生热; 原油输送的影响

前言:

为了系统地评估摩擦生热对原油管道输送的影响,采用数值模拟方法对其开展相关研究。在考虑摩擦生热的基础上,建立了油流-土壤耦合的数学模型,可用于描述埋地原油管道的输送过程。通过改变原油黏度、流速和管径参数,系统地探讨了摩擦生热对单品种原油输送以及多品种原油差温顺序输送过程的影响。

一、不同原油黏度下摩擦生热对油流温度的影响

为了便于分析,在这里我们控制油流量和管径不变,油的粘度分别为0.02、0.1Pa·s和0.5Pa·s这3种情况(在差温顺序输送工艺中油品2的黏度设置为0.02Pa·s)。并且假设原油黏度不随油流温度发生改变,不加热输送、加热输送和差温顺序输送这3种输送工艺的参数具体设置如表1所示。

表1 不同原油黏度下3种输送工艺的参数设置

输送工艺	输送介质	黏度 / (Pa·s)	出站温度 / °C	原油流速 / (m·s ⁻¹)	管径 / mm
不加热输送	油品1	0.02、0.1、0.5	20	1.5	660
加热输送	油品1	0.02、0.1、0.5	40	1.5	660
差温度、顺序输送	油品1	0.02、0.1、0.5	40	1.5	660
	油品2	0.02	20	1.5	660

3种运输过程中,不同原油黏度所对应的油温及温差分布(温度差是不考虑到摩擦生热而获得的热量)如图1所示。冷热油更换运输是不稳定的运输过程,管线中的油温始终处于动态变化。因此,图1(c)显示了进站油温随时间的变化趋势,而不是给出油温随里程的变化趋势。从图1中可以看出,随着粘度的增加,摩擦生热对油温的影响均逐渐增强。然而, $u=0.1\text{Pa}$ 与 $u=0.5\text{Pa}$ 所对应油温的差距明显小于 $u=0.02\text{Pa}$ 与 $u=0.1\text{Pa}$ 所对应油温的差距。现结合图2对这一现象进行解释,原油黏度较小时,管内流动属于湍流状态,随着黏度的增加,管内流动状态会逐渐向层流过渡。当流动状态从湍流过渡到层流,摩擦系数会发生突变,此时摩擦生热也会相应地发生突变。因此,上述现象的产生归因于流态的转变。根据图2中摩擦系数的变化趋势可推测,当原油黏度增加时输送过程还可能产生摩擦热降低的现象,因为当流态发生转变时摩擦系数反降不升,此时摩擦热就会相应地降低,说明摩擦生热与原油黏度不一定呈正相关。

比较图1(a)和图1(b),尽管不加热输送和加热输送工艺所对应的沿线油温存在较大区别,但当原油黏度相同时,摩擦生热的影响是十分相近的。这一现象可解释如下:对于不加热输送,由于油温接近于地温,二

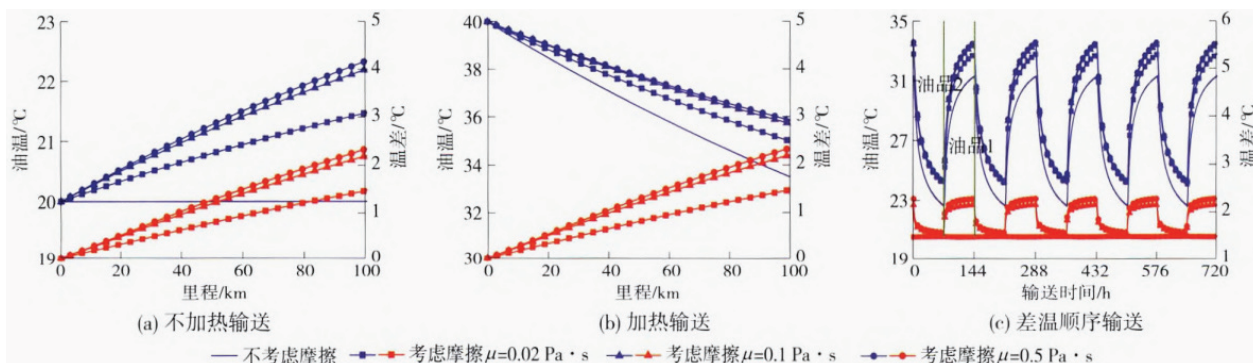


图1 3种输送工艺下不同原油黏度所对应的油温及温差分布

者之间的温差较小,这使得输送过程中产生的摩擦热很难散失在环境中,因此摩擦热几乎全部用于提升油温。而对于加热输送,由于原油经过了加热,其初始热容量比较大,在输送过程中产生的摩擦热占原油总热容量的比例较小,尽管在加热输送工艺下原油向管外散热,但由于摩擦热所占原油总热容量的比例较小,使得摩擦热散失在环境中比较少,因此摩擦热也几乎全部用于提升油温。在图1(c)中,对于差温顺序输送,当2种输送油品的黏度相同时,摩擦生热对2种输送油品的温度的影响是相近的,这种现象可根据上文的分析来解释,在此不再赘述;当2种输送油品的黏度不相同,对于被加热的油品1,摩擦生热对其温度的影响随着输送时间的增加逐渐增强,而对于不加热的油品2,摩擦生热对其温度的影响随着输送时间的增加逐渐减弱。现对这一现象进行简要解释。在输送被加热的油品1时,由于黏度骤升,使得黏度对油温的影响增强,受热历史的影响,这个增强幅度表现出逐渐上升的趋势;在输送被加热的油品2时,由于黏度骤降,使得黏度对油温的影响减弱,受热历史的影响,这个减弱幅度表现出逐渐下降的趋势。从图1(a)可以看出,不加热输送所对应的沿线油温并未达到一个平衡状态,而一些长距离的实际管道往往可达到一种平衡状态。对此,对更长距离的2000km原油管

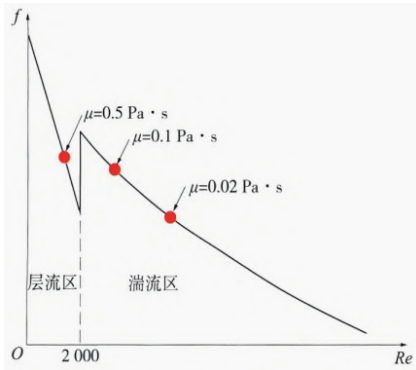


图2 摩擦系数-雷诺数曲线

道进行了模拟计算,模拟结果如图3所示。此外,由图3可知,考虑摩擦热所对应的油温明显高于不考虑摩擦热所对应的油温,表明对于较长距离的原油管道,不加热输送过程中摩擦生热不可忽视。

二、不同原油流速下摩擦生热对油流温度的影响

检查油的粘度和管径保持不变。确定的油耗为1.1.5m/s和2m/s种情况。不加热输送、加热输送和差温顺序输送这3种输送工艺的参数具体设置如表2所示。

表2 不同原油流速下3种输送工艺的参数设置

输送工艺	输送介质	原油流速/ (m.s ⁻¹)	出站温度/ /°C	黏度/ (Pa.s)	管径/ mm
不加热输送	油品1	1、1.5、2	20	0.1	660
加热输送	油品1	1、1.5、2	40	0.1	660
差温度、 顺序输送	油品1	1、1.5、2	40	0.1	660
	油品2	1、1.5、2	20	0.02	660

3种输送工艺下不同原油流速所对应的油温及温差分布如图4所示。从图4中可以看出,在原油流量增加的输送过程中,热摩擦随着油温的升高而逐渐增加,并且上升速率变得更加明显。现对此现象作进一步说明:式(1)表明,当流量速度发生变化时,热摩擦与流速的三次方和水力摩擦系数直接相关。从流速的三次方的观点来看,流速的增加对摩擦热的增加具有更大的影响,并且从在同一流态区的水力摩擦系数的观点来看,流速的增加可以抑制摩擦热的增加。由于水力摩擦系数计算式(2)中流速的指数较小(大多数原油管道的原油流动处于层流区或水力光滑区),因此流速变化引起的水力摩擦系数变化小于流速三次方的变化,总体而言,流速的增加能够促进摩擦生热对油温的影响。上面的分析代表了大致相同的流态区域,但是增加的流量会导致原油从层流转变为湍流。当原油流从层流变为湍流时,如图2所示,水力摩擦系数随着流量的增加而增加。若流速增加的幅度过大,有可能发生层流时的摩擦系数大于湍流时

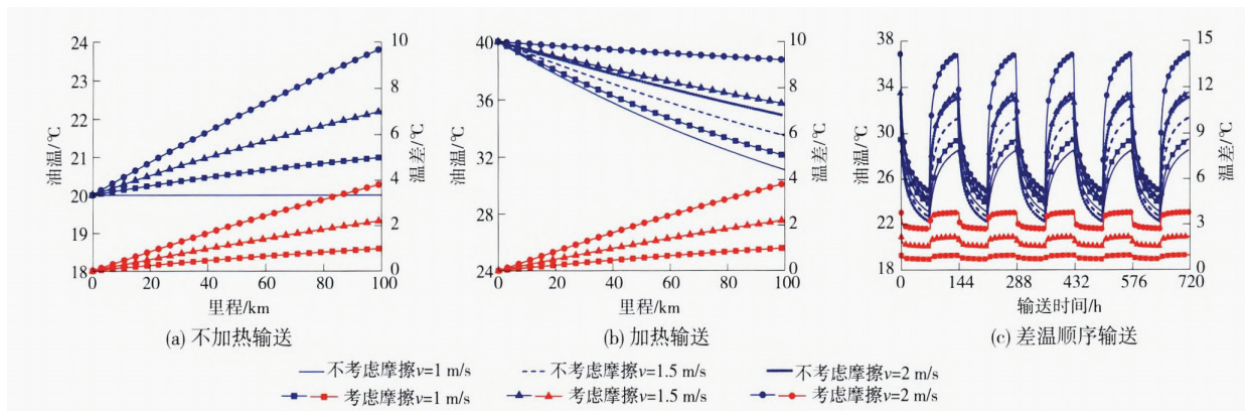


图4 3种输送工艺下不同原油流速所对应的油温及温差分布

的摩擦系数,但由于流速增加幅度较大,此时流速的变化对摩擦生热的影响占主导作用。因此,不管流动状态是否属于同一流态区,增加流速均会促进摩擦生热对油温的影响^[1]。

三、不同管径下摩擦生热对原油的影响

控制原油流速和黏度不变,管道直径设置为356、660mm和965mm。不加热输送、加热输送和差温顺序输送这3种输送工艺的参数具体设置如表3所示。

表3 三种不同直径管道输送过程的参数调整

输送工艺	输送介质	管径/mm	出站温度/℃	黏度/(Pa.s)	原油流速/(m.s ⁻¹)
不加热输送	油品1	356、660、965	20	0.1	1.5
加热输送	油品1	356、660、965	40	0.1	1.5
差温度、顺序输送	油品1	356、660、965	40	0.1	1.5
	油品2	356、660、965	20	0.02	1.5

图5显示了在3种运输过程中原油的温度分布和对应

于不同管道直径的温差。从图5中可以看出,在三个输送过程中管径越小,产生摩擦的热量对油温的影响逐渐增加,增加程度越高。现对此现象进行说明:从等式(1)可以看出,当管径变化时,不仅管径对摩擦生热有直接影响,而且水力摩擦系数也影响着摩擦生热。从管道直径角度来看,管径的减小对摩擦热的增加具有促进作用;而从水力摩擦系数的角度来看,当处于同一流态区时,管径的减小所引起的水力摩擦系数的增加对摩擦热的增加也具有促进作用。因此,减小管径可有助于热量产生对油温的影响。以上分析适用于相同的液体区域,但是如果管道直径减小,则油的流动状态可能会从湍流变为层流。当油的流动状态从湍流变为层流时,可以在图2中看到。可以看到水力摩擦系数在逐渐减小。此时管径的减小所引起的水力摩擦系数的降低对摩擦热的增加并非促进作用,而是抑制作用。因此,当流动状态不处于同一流态区时,减小管径不一定能促进摩擦生热对油温的影响^[2]。

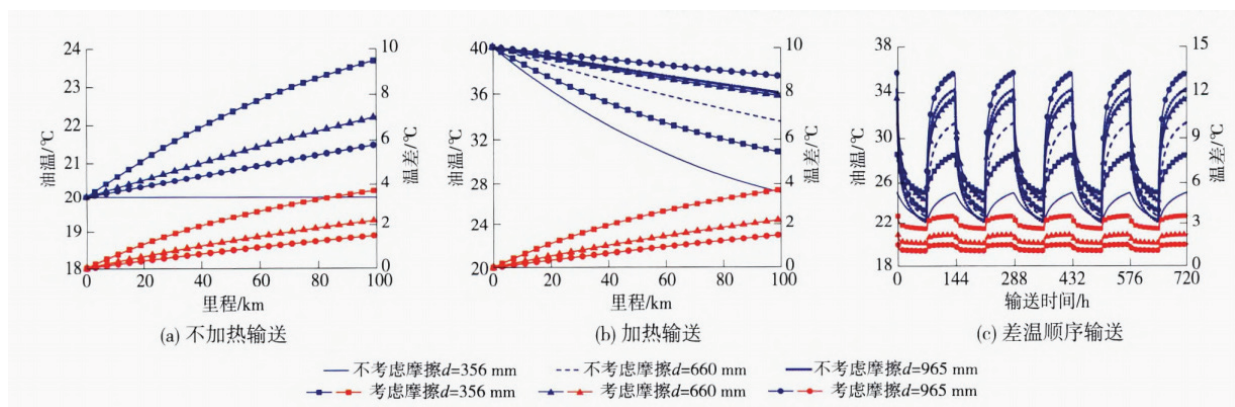


图5 3种输送工艺下不同管径所对应的油温及温差分布

四、结语

围绕不加热输送、加热输送以及差温顺序输送3种输送工艺,采用数值模拟方法系统地研究了不同条件下摩擦生热对油温的影响,得到以下结论:(1)当油流处于同一流态区时,油管的粘度和直径的增加会影响热量的产生。相反,这个结论可能是错误的。无论油流处于的液态环境如何,增加油流的速度都会在油温下产生摩擦热。(2)原油管道的输送距离越长,摩擦产生的热量对油温的影响越大。在相对较短的100km管道的情况下,在三个传输过程中释放热量的对油温有明显影响。对于

长距离的油管,摩擦热的影响更大。因此在热力计算时,建议数学模型应充分考虑摩擦生热项。

参考文献:

- [1]陈炳男,袁庆,陈宇杰,邹玉.原油管道输送过程中摩擦生热对原油输送的影响[J].北京石油化工学院学报,2019,27(03):52-58.
- [2]王为民,吴明.原油外输考虑摩擦生热时管线初始温度计算的新方法[J].油田地面工程,1991(01):12-14+3.