

用于稠油输送的新蒸汽引射器¹⁾

赖英旭 郑之初 吴应湘

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 介绍一种自行研制的蒸汽引射器, 蒸汽以自由射流形式注入到输油管中, 利用蒸汽释放的热量提高稠油温度以降低黏度, 从而达到降低输送压降的目的。该引射器具有加热效率高、防止稠油堵塞管线等优点。引射器已在辽河油田输油管线上进行了现场实验, 取得了很好的效果。

关键词 稠油输送, 引射器, 无界引射

TE9 B

蒸汽引射器在工业中应用广泛, 蒸汽射流与液体掺混方面的研究也随之深入。本文总结国内外关于蒸汽射流的研究概况见图 1。从图中可以看出研究范围一般集中在欠膨胀射流区域。

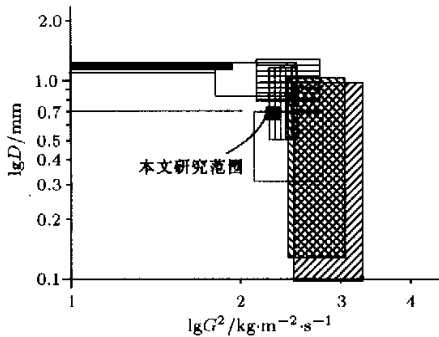


图 1 国内外蒸汽射流研究范围图

蒸汽引射器在油田中也有广泛的应用, 常采用引射器向井下注入高压蒸汽进行驱油热采^[1,2], 但在稠油管输方面却一直未见到有关应用报导, 主要是稠油的流动性很差, 如果采用传统的有界引射器, 稠油可能会堵塞混合室和被引射流体通道, 从而会影响管输。

本文提出一种新型的无界引射器, 蒸汽以无界射流的形式注入到稠油中, 蒸汽射流射稠油并与其掺混, 释放出的汽化潜热直接加热稠油。设计出的引射器在油田上进行了现场实验, 实验证明无界蒸汽引射器是加热稠油、提高输送效益的有效途径之一, 为输送工艺的改进提供了可靠依据。

1 蒸汽引射器的设计

1.1 引射器结构的设计

图 2 是本文提出的无界引射器示意图。

引射器分内中外三层, 最内层是输油管道, 管壁上开有几个斜孔, 孔内安装了喷嘴。蒸汽通过入口进入到引射器的

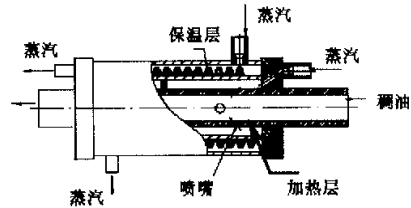


图 2 无界引射器的示意图

中间层(加热层), 按输油管内流动参数选定入口压力保证蒸汽由喷嘴以一定高速射入到输油管道。喷嘴个数和倾斜角的选定以达到两种介质在较短距离内均匀混合为原则, 本文采用喷嘴倾斜角与流动方向成 45° 夹角, 4 个喷嘴沿管壁均匀分布, 这样蒸汽从上下左右 4 个方向与稠油混合, 提高了加热效率。设计中将喷嘴分别安装在两个横截面上(相对的喷嘴在同一截面上), 稠油与两股蒸汽射流混合后再与另外两股射流混合, 这种分段混合方式保证了蒸汽与稠油的高效掺混。为防止引射器壁向外传热而影响蒸汽的质量, 设计了保温层(外层), 蒸汽从另一入口流入, 在保温层的螺旋导流槽中流动。它与加热用的蒸汽有相同的参数, 起到很好的保温作用。引射器的这种结构在很大程度上防止了稠油堵塞管道, 保证输送工艺的正常实现。

1.2 引射器内部参数的选取

引射器喷嘴出口面积和入口蒸汽压力是设计时需要考虑的主要参数, 它们决定了流过喷嘴的蒸汽流量。加热稠油所需的蒸汽流量是根据实际工况下油品品质和输送要求计算得出的, 本文给出辽河油田实际工况的油品参数(见表 1), 提高稠油温度所需的热量为

$$Q_{\text{需}} = G(1-y)\rho_{\text{油}}C_{p\text{油}}(T_2 - T_1) + Gy\rho_{\text{水}}C_{p\text{水}}(T_2 - T_1) \quad (1)$$

其中, G 为流量 (m^3/s); T_1 为原油的初始温度 ($^{\circ}\text{C}$); T_2 为原油待加热到的温度 ($^{\circ}\text{C}$); y 为含水率; ρ 为密度 (kg/m^3); C_p 为热容 ($\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$)。

表 1 试验井参数

项目	主要指标
管内径	76 mm
输油管长度	30 m
输油压力	0.16 MPa
输油温度	75 $^{\circ}\text{C}$
流量	11 m^3/d
含水率	16%

2002-04-18 收到第 1 稿, 2002-09-23 收到修改稿。

1) 中科院“十五”重大项目(KJJCX2-SW-L03) 资助。

加热稠油所需的蒸汽流量根据式(2)计算. 图3给出了在3种设定的热交换率变化范围内蒸汽流量与油温的关系曲线

$$G_{\text{蒸汽}} = \frac{Q_{\text{吸}}}{h} \quad (2)$$

其中, h 为蒸汽释放的热量 (kJ/kg).

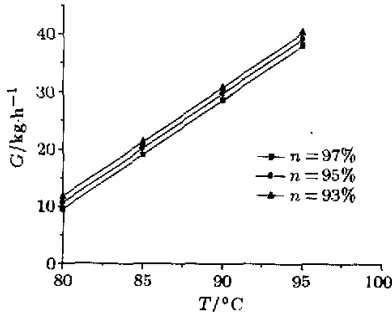


图3 蒸汽流量与油温的关系曲线

为保证射流的稳定性和较高的热效率, 喷嘴入口压力的选取应保证通过喷嘴的射流为欠膨胀射流^[3,4].

根据上述原则确定了喷嘴的入口压力和流经喷嘴的蒸汽流量后, 可计算出喷嘴截面积为

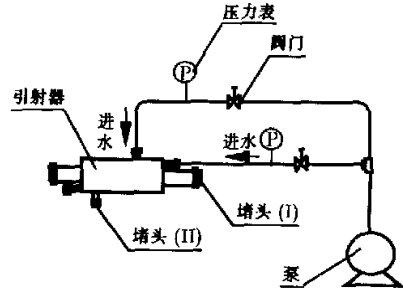
$$m = A_2 \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_0 \rho_0 \left[\left(\frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (3)$$

其中: m 为通过喷嘴的质量流量, kg/s; k 为绝热系数; P_0 为喷嘴的前室压力, Pa; P_2 为喷嘴的入口压力, Pa; A_2 为喷嘴的出口截面积, m²; ρ_0 为蒸汽的密度, kg/m³.

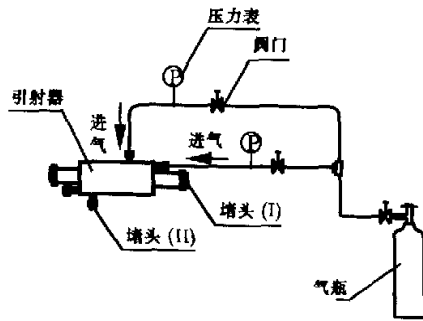
1.3 引射器的加工和检验

引射器采用高强度合金钢材料制造, 材料经过锻造和热处理, 可以承受高温、高压. 为了抵抗喷嘴中流出的高温、高速气体对本体的冲刷和腐蚀, 各零件的表面均进行了磷化处理.

为了保证加工后的引射器能承受高压并且无泄漏, 需要对其进行水压和气密性检验(图4所示). 经过水压和气密性检验后的引射器才可以应用于现场试验.



(a) 水压试验示意图



(b) 气密性试验示意图

图4 引射器检验示意图

2 引射器的现场试验

为了准确地检验蒸汽引射器的性能, 我们在辽河油田特稠油井站的一条实际输油管线上进行了现场实验. 工艺流程和现场调试图如图5和图6所示, 在距输油管线入口2m左右处安装了第一个引射器, 用于考核引射器的加热性能; 在

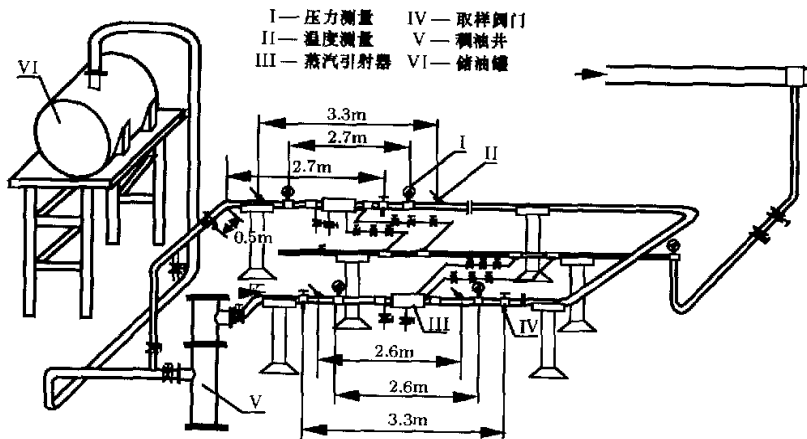


图5 蒸汽加热输油系统工艺流程

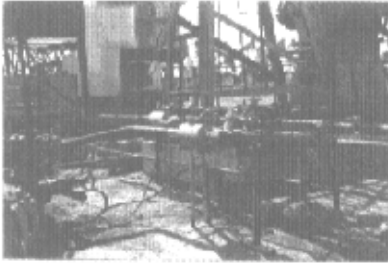


图 6 蒸汽加热输油系统现场调试图

距输油管出口的 2 m 左右处安装了第二个蒸汽引射器,用于考核管线停输后再启动时清除油管中残油的能力和维持等温输送的能力。

我们在现场进行了正常工况和非正常工况下的输送试验,在正常工况下对温度和压降进行了测量,结果见表 2 和表 3(1# 入口代表第一个引射器的入口参数,以下类推)。

表 2 温度测量结果 ($^{\circ}\text{C}$)

工况	1# 入口	1# 出口	2# 入口	2# 出口
1	86	102	102	104
2	86	100	98	104
3	86	98	96	99

表 3 压力测量结果 (MPa)

工况	1# 入口	1# 出口	2# 入口	2# 出口
1	0.024	0.024	0.015	0.02
2	0.02	0.02	0.015	0.01
3	0.025	0.02	0.01	0.01

从表 2 中的数据可以看出,在三种工况下,原油流过 1# 蒸汽引射器后,温度迅速升高,在整个 30 m 管线中油温始终保持 在 100°C 左右,说明蒸汽通过引射器被引射到油管中后,能在短距离内迅速与稠油混合并使油温升高。在管道保温条件下,通过引射器控制能使原油在恒温下输送。这一点在较长管线的现场实验中也得到验证^[5]。

从表 1 和表 3 中的数据可以看出,未采取加热措施时,稠油压力为 0.16 MPa,当稠油的温度被升高到 100°C 左右时,压力下降到 0.024 MPa,管线压力下降了近 7 倍。由此可见本文方法可以对稠油实施管线输送,以代替目前常用的车辆运输方式。

另外,稠油因其高黏度而使流动特性表现为非牛顿流体,尽管现在已发展出多种数学模型来模拟非牛顿流体的流动特性,但由于稠油品质差异较大,还不能用一种模型来计算各种稠油在不同条件下的管线压力。当稠油温度升高后,黏度大大降低,此时,可以参照牛顿流体的压力公式来计算管线的压力。按牛顿流体压力公式计算出工况 1 时 30 m 油管的压力为 0.024 MPa,它与实测结果吻合较好。因此,采用蒸汽加热方法输送稠油时,管线压力可按牛顿流体压力公

式进行计算,从而避免了非牛顿流体需根据油品选择计算模型的缺陷,简化了压力计算方法。

3 结 论

根据本文提出的设计原则和辽河油田的现场试验结果,这种应用于稠油输送工艺中的无界蒸汽引射器具有如下特点:

(1) 对传统引射器的结构进行了改进,它防止稠油堵塞管道,能保证输送工艺的实施,还可以清除管内残油。

(2) 引射器能将稠油在短时间内迅速升高到预定温度,在管道保温条件下可以保证恒温输送,为稠油长距离输送提供一种有效的新工艺。

(3) 稠油被蒸汽加热后,黏度大大降低,既可简化稠油压力的计算方法,又可以对稠油进行管输,以代替目前采用的车辆运输方式。

综上所述,本文设计的蒸汽引射直接加热装置已具备作为一个可行的实用装置在油田中推广使用的条件,试验的成功为推动稠油长距离管输奠定了基础。

参 考 文 献

- 1 罗靖湖. 输油工艺现状及其发展预测. 石油学报, 1986, 7(2): 123~125
- 2 李明, 陆品, 李兰. 提高原油管输效率的物理方法. 油气储运, 1999, 18(7): 14~17
- 3 曹勇. 水下欠膨胀高速气体射流的实验研究. [硕士论文]. 北京: 中科院力学所, 1998
- 4 Chun MH et al. An investigation of direct condensation of steam jet in subcooled water. *Int Comm Heat Transfer*, 1996, 23(7): 947~958
- 5 赖英旭, 郑之初等. 稠油输送新工艺方法探索及现场实验. 水动力学研究与进展, 2002, 17(5): 521~528

A NEW STEAM INJECTOR FOR HEAVY OIL TRANSPORTATION

LAI Yingxu ZHENG Zhichu WU Yingxiang
(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract A special injector is presented in this paper, in which the steam may be freely injected into the oil pipeline. Heavy oil is heated by the steam released latent heat. With the increase of temperature, the oil viscosity and pressure drop can be reduced greatly. The injector is capable of immediate heating and transporting oil without blockage. This technical feasibility has been tested in the pipeline at Liaohe oil field and good results were obtained. **Key words** heavy oil transportation, injector, free boundary injection