

油-水乳状液流过弯管的局部阻力特性研究

黄建春 李光正 莫乃榕

(华中科技大学土木工程与力学学院)

摘要: 以油-水为工质,对进口水平、出口垂直向上的 90° 弯管内油-水乳状液局部阻力特性进行了实验研究,弯管内径45 mm,弯曲半径300 mm.在实验数据分析的基础上,较为准确地判别出了油-水乳状液在整个实验范围内的流动流型,提出了油-水乳状液流过弯管的局部阻力计算公式.结果表明,计算值和实验值符合良好.

关键词: 油-水乳状液;弯管;局部阻力

中图分类号: O359⁺.1; TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8616(2001)07-0098-03

鉴于管道输运在技术经济上的优越性,近年来得以迅速发展,在不断提高管道技术装备水平的同时,世界各国的学者也开展了原油混相运输的研究.由于油和水是两种互不相溶的液体,油-水混合物所呈现出来的化学物理性质大大地不同于单相水和单相油的性质,通常,它是一种类似于非牛顿流体的乳状液或半乳状液^{①, [1]},因此,油-水乳状液流过管道的阻力特性也大大地不同于单相水和单相油流过管道的阻力特性.到目前为止,有关油-水乳状液流过管道的阻力特性的研究主要集中在水平管和垂直管上^[2,3],但对流过弯管的阻力特性的研究则很少^[3],本文就油-水乳状液流过弯管局部阻力特性进行了实验研究.

1 实验系统与装置

实验是在西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室的油-气-水三相流实验台上完成的,实验系统、实验段及实验中各参数的测量、计算方法见文献[4].

相应于油-水乳状液,实验弯头段的重位压降的计算式为 $\Delta P_{zw} = \varphi_o(\rho_o - \rho_w)gR$,式中 φ_o 为液相含油体积分数.

为了便于整理实验数据和进行分析,本文对油-水混合物作了如下假设:油相与水相均匀混合,无相对滑移,近似地将此混合物看成一种单相

流体;同时将油-水乳状液以及与油-水乳状液中水相和油相质量流量相同的单相水和单相油单独流过弯管的局部阻力损失分别定义为 ΔP_e , ΔP_w 和 ΔP_o .将与油-水乳状液总的质量流量相同的单相油单独流过弯管的局部阻力损失定义为全油相局部阻力损失 ΔP_{o0} ,即:

$$\begin{aligned}\Delta P_w &= \xi_{B0} [G_{ew}^2 / (2\rho_w)]; \\ \Delta P_o &= \xi_{B0} [G_{eo}^2 / (2\rho_o)]; \\ \Delta P_{o0} &= \xi_{B0} [G^2 / (2\rho_o)],\end{aligned}$$

式中, G_{ew} 和 G_{eo} 分别为与油-水乳状液中水相和油相质量流量相同时单相水和单相油的质量流量; G 为油-水乳状液总的质量流量:

$$\xi_{B0} = \lambda L / D, \quad (1)$$

其中 λ 和 L/D 按文献[1]所给出的计算式计算.

实验参数范围为:油的质量流量 $G_o = 0.1 \sim 3.5$ t/h;水的质量流量 $G_w = 0.2 \sim 9.0$ t/h; $\varphi_o = 0.1 \sim 0.7$.

2 实验结果及分析

在大多数情况下,油-水乳状液是一种近似非牛顿流体的液体,一般按其连续相和分散相的不同,可以分为油包水(简称W/O)和水包油(简称O/W)两种类型^{①, [2]}.通常,非牛顿流体流过管道

收稿日期: 2001-02-12.

作者简介: 黄建春(1970-),男,博士研究生;武汉,华中科技大学土木工程与力学学院(430074).

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59576040);陕西省科学研究基金资助项目(95C03).

① 黄建春.油-气-水三相流流过弯管的局部阻力特性研究.[硕士学位论文].西安:西安交通大学能源与动力工程学院,1997.

时所呈现出的阻力特性完全不同于牛顿流体,因此,人们总是试图将非牛顿流体流过管道的阻力特性同牛顿流体流过管道的阻力特性统一起来,虽然现在有许多学者利用非牛顿流体的有效粘度来确定流体流过管道的雷诺数 (Re_e),将二者在形式上完全统一起来,但是有效粘度的确定是非常困难的,因此,在实际工作中一般采用油-水乳状液的表观粘度 (Re_p) 计算雷诺数的方法来表示油-水乳状液流过管道的阻力特性^[2].

研究表明^[2],不同的管内径及管子布置方位下,油-水乳状液从 O/W 型向 W/O 型转变的极限条件为 $\varphi_o=0.15\sim 0.77$.正是由于油-水乳状液流态的不确定性,使得管内油-水混合物研究十分困难,加上弯管内流动的复杂性和多变性,使得弯管内油-水乳状液的局部阻力特性变得更为复杂.影响管内油-水乳状液流动阻力特性的最主要的因素是油-水乳状液的流态,它与油、水的体积分数及内相液珠的分布有着直接的关系.当油-水混合物的内相体积分数大于 0.5 时,油-水乳状液的性质可以近似地看作非牛顿流体中的剪切稀化流体,这种油-水乳状液流过管道时,会出现流动阻力下降现象.一般, W/O 型油-水乳状液流动阻力下降的程度要比 O/W 型油-水乳状液大,特别是在油-水混合物从 O/W 型向 W/O 型转变时,流动阻力下降的现象尤为明显.

2.1 油-水乳状液的流型判别

图 1 为本次实验 $\Delta P_{B0}/\Delta P_e$ 与总流量 Q 的关系

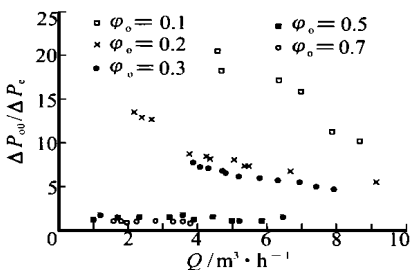


图 1 油-水混合物的局部阻力损失与总流量的关系曲线.从图中可见,在相同流量的情况下,当 $\varphi_o \leq 0.3$ 时,全油相局部阻力损失 ΔP_{B0} 是油-水乳状液流过弯管的局部阻力损失 ΔP_e 的 5~10 倍,而当 $\varphi_o \geq 0.5$ 时油-水乳状液流过弯管的局部阻力损失 ΔP_e 甚至比全油相局部阻力损失 ΔP_{B0} 还要大.这说明在本次实验参数范围内,弯管内的油-水混合物的流态在 $\varphi_o=0.5$ 时已基本完成 O/W 型向 W/O 型乳状液的转变.

2.2 流型对局部阻力特性的影响

图 2(a) 和 (b) 分别为 W/O 型和 O/W 型的油-水乳状液流过实验段的局部阻力系数和由油-

水乳状液的表观粘度计算得到的 Re_p 的关系曲

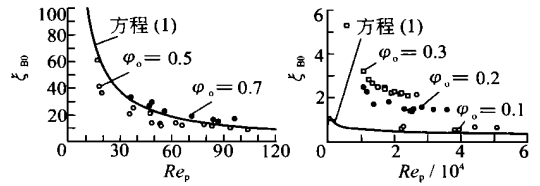


图 2 油-水混合物的局部阻力损失系数与雷诺数的关系

线.从图 2 (a) 中可见, W/O 型油-水乳状液在层流状态下流过弯管时,其 ξ_{B0} 与 Re_p 的关系基本上和牛顿流体在层流状态下流过弯管时的局部阻力特性相近;从图 2(b) 中可见, O/W 型油-水乳状液在紊流状态下流过弯管时,对于相同的 Re_p ,其 ξ_{B0} 随着 φ_o 的减小而减小,尤其在 $\varphi_o=0.1$ 时,其实验值与牛顿流体流过弯管的局部阻力特性相近.这说明弯管内油-水乳状液的局部阻力特性与 φ_o 有关,同时可以认为,当 $\varphi_o=0.2\sim 0.3$ 时,乳状液在实验参数范围内呈现出较为明显的非牛顿流体的性质.

2.3 实验数据的处理结果

从以上分析可知,如果用油-水乳状液的表观粘度确定油-水乳状液流过弯管时的雷诺数来得出 ξ_{B0} 和 Re_p 的实验关联式,那么就使其在整个实验范围内与 φ_o 有关,从而使用范围非常狭窄.因此,本文在处理实验数据时,为了比较全面地得出油-水乳状液流过弯管的局部阻力损失,将油-水乳状液流过弯管的局部阻力损失的实验结果标在 $(\Delta P_e/\Delta P_w)^{1/2}$ 及 $(\Delta P_o/\Delta P_w)^{1/2}$ 为坐标的图中进行分析.

图 3(a) 和 (b) 分别为 O/W 型和 W/O 型油-

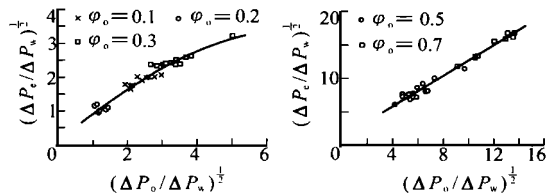


图 3 油-水乳状液流过弯管的局部阻力实验结果水乳状液流过实验段时的实验结果.通过数据拟合,可以得出如下的计算式:

$$\begin{aligned}
 (\Delta P_e/\Delta P_w)^{0.5} &= -0.0737\Delta P_o/\Delta P_w + 0.9587(\Delta P_o/\Delta P_w)^{0.5} + 0.0936 & (0.1 \leq \varphi_o \leq 0.3); & (2) \\
 (\Delta P_e/\Delta P_w)^{0.5} &= 1.1772(\Delta P_o/\Delta P_w)^{0.5} + 0.8179 & (0.5 \leq \varphi_o \leq 0.7); & (3)
 \end{aligned}$$

将式(2)和式(3)平方后经整理即可求得油-水乳状液流过弯管时的局部阻力损失 ΔP_e , 该计算值与实验值的最大偏差都在 18% 以内.

结果表明, 在参数条件比较相近的情况下, 利用本文所给出的实验关联式来计算弯管内油-水乳状液的局部阻力损失可以取得比较好的效果.

参 考 文 献

[1] 黄建春, 郭烈锦. 油气水三相流流过弯管的局部阻力

特性研究. 西安交通大学学报, 1998, 32(9): 37~40

[2] Pal R. Pipeline Flow of Unstable Surfactant Stabilized Emulsions. AICHEJ, 1993, 39(11): 1754~1764

[3] Chen X, Guo L. Flow Patterns and Pressure Drop in Oil-air-water Three-phase Flow through Helically Coiled Tubes. Int. J. Multiphase Flow, 1999, 25(6,7): 1053~1072

[4] 黄建春, 郭烈锦. 油气两相流流过弯管的局部阻力特性研究. 西安交通大学学报, 1998, 32(5): 38~41

Characteristics of Local Pressure Drop Caused by Oil-water Emulsion Flowing through Bent

Huang Jianchun Li Guangzheng Mo Nairong

Abstract: Characteristics of local pressure drop caused by oil-water emulsion flowing through horizontal inlet and vertical upward outlet 90° bent are studied. The inner diameter of pipe is 45 mm, the curvature radius of bent is 300 mm. Based on the analysis of experimental data, the type of oil-water emulsion is distinguished in the whole scope of experiment, and a new kind of empirical correlation for predicting local pressure drop caused by oil-water emulsion flowing through bent is proposed. A good agreement is achieved between the experimental data and the new kind of correlation.

Key words: oil-water emulsion; bent; local pressure drop

Huang Jianchun Doctoral Candidate; College of Civil Eng. & Mech., HUST, Wuhan 430074, China.

“国际能源转换与利用” 国际学术会议在我校举行

“国际能源转换与利用”国际学术会议于6月18日在我校隆重开幕. 200余名该学科领域的院士、专家、知名教授、学者出席了此次会议. 美国加州大学洛杉矶分校(UCLA)的陈刚教授主持开幕式. 校党委副书记冯友梅代表学校致开幕辞. 大会执行主席、能源与动力工程学院院长刘伟教授作会议筹备情况的报告. 清华大学王补宣院士致辞. 美国加州大学洛杉矶分校(UCLA)V.K. Dhir教授作特别发言.

国际能源转换与利用学术会议由华中科技大学、美国洛杉矶大学、英国诺丁汉大学、日本工业大学、新西兰 OTAGO 大学以及香港科技大学等单位共同发起, 会议得到中国国家自然科学基金委员会、中国工程热物理学会、中国太阳能学会、湖北省工程热物理学会以及中国教育部、王宽诚教育基金会等的支持与资助.