

文章编号: 1000-8241(2015)09-0951-04

油品汽车装卸作业中管路的水力计算

尚兴彬¹ 张建宾¹ 茆天琪² 高东³

1. 中国石油工程建设公司华东设计分公司, 山东青岛 266071;
2. 中国石油集团工程设计有限责任公司华北分公司, 河北任丘 062552; 3. 中国石化管道储运公司京唐输油处, 天津 300451

摘要: 针对石油石化企业油品装卸作业, 为了指导合理设计管径和选择泵型, 对油品装卸作业管路水力计算方法进行了总结分析。通过理论分析, 阐述了3种计算方法(简化计算法、精确计算法、软件模拟计算法)的理论基础、计算思路与步骤, 以及计算结果的误差来源; 通过典型的实例计算, 对比总结得到3种计算方法的适用工况, 以及使用过程中的注意事项。经分析发现: 3种方法的理论基础基本一致, 而计算结果的不同, 主要源于计算过程中集油管不同管段的油品流量取值的不同; 对于一般的油品装卸作业工况, 3种方法均适用, 而当管路长度、复杂性及泵必需汽蚀余量计算准确度要求较高时, 建议选用模拟计算方法进行水力计算。(图4, 表2, 参10)

关键词: 油品装卸; 汽车装卸; 水力计算

中图分类号: TE834

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2015.09.007

Hydraulic calculation of pipe in oil loading and unloading of road tanker

SHANG Xingbin¹, ZHANG Jianbin¹, MAO Tianqi², GAO Dong³

1. Huadong Engineering Branch, China Petroleum Engineering & Construction Corporation, Qingdao, Shandong, 266071;

2. China Petroleum Engineering Huabei Company, Renqiu, Hebei, 062552;

3. Jingtang Oil Transportation Department, SINOPEC Pipeline Storage & Transportation Company, Tianjin, 300451

Abstract: This paper presents and analyzes the methods of hydraulic calculation of pipes in oil loading and unloading of road tanker, in order to provide reasonable guidance for petroleum and petrochemical companies in pipe diameter design and pump selection. Through theoretical analysis, the theoretical foundation and calculation ideas/steps of three methods (i.e. simplified calculation method, accurate calculation method, and software simulation method) are expounded, and the error sources of the calculation results are elaborated. With typical calculation examples, applicable conditions and precautions of above three methods are comparatively summarized. After the analysis, it is found that these methods basically follow the same theoretical foundations, but derive different results, which is mainly attributed to different oil flowrate at each pipe section in calculation process. For the average oil loading and unloading conditions, all three methods above are applicable; when the higher requirements exist for calculation accuracy of pipeline length, complexity and pump NPSH, the simulation method is recommended for hydraulic calculation. (4 Figures, 2 Tables, 10 References)

Key words: oil loading and unloading, loading and unloading of road tanker, hydraulic calculation

在石油化工企业, 油品的收发作业是极其重要的业务, 在其工艺流程和管网布置的设计过程中需要进行水力计算, 以便经济合理地选择管径和泵组, 而相关的研究目前鲜有报道。根据油品装卸作业区与相关罐区的平面布置位置, 较为准确地计算油品摩阻损失, 得到管路各节点的压力参数, 对于合理设计管径与选择泵型具有十分重要的意义^[1-2]。

1 沿程摩阻计算方法

1.1 理论公式计算法

1.1.1 简化计算法

该方法基于水力计算理论, 在充分保证管路和泵能力有余量的前提下, 利用假设简化计算内容。

对于图1所示油品装卸作业管路, 每一段中油品

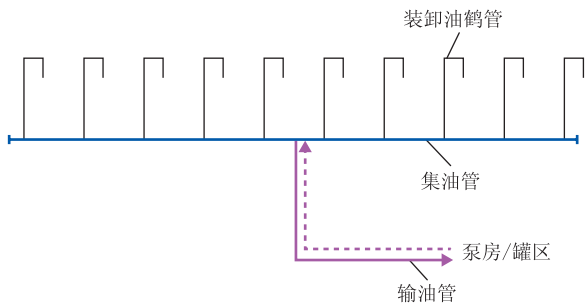


图1 油品装卸作业管路示意图

沿程摩阻满足式(1),随着集油管中油品不断通过鹤管分流而使得其中流量不断降低,由式(1)可知,管路沿程摩阻也势必减小。基于此,该算法将整条集油管中的流量取为最大流量进行水力计算^[3]。

$$h = \beta \frac{q^{2-m} v^m}{D^{5-m}} L \quad (1)$$

式中: q 为计算管段中油品流量, m^3/h ; D 为计算管段直径, m ; v 为油品的运动粘度, m^2/s ; L 为计算管段长度, m ; β 为综合磨阻因数; m 为常数。

在假设的基础上,整个管路系统等效为一条恒定流量的等径管道,水力计算的复杂度大为降低。此外,由于油品装卸作业管路长度一般较小,摩阻计算误差在 1 m 以内,因此,在保证泵允许汽蚀余量满足要求的前提下,泵扬程计算结果与管路实际所需泵扬程差别不大,一般不会影响到所选泵的正常工作的。为此,该方法在实际设计中应用十分广泛,但在某些特殊情况下,该方法计算所得的泵入口有效汽蚀余量过小,为泵的选型带来困难。

1.1.2 精确算法

该方法计算原则在于以管中流量为基准,将集油管分段,计算集油管中的总沿程摩阻。根据设计经验,各鹤管的流量相等,设 D 、 L_i 、 λ 分别为第 i 段集油管的管径、长度、摩阻因数^[3],则可得集油管中各管段摩阻计算式。

管段 1 的摩阻:

$$h_1 = \beta \frac{q^{2-m} v^m}{D^{5-m}} L_1 \quad (2)$$

管段 2 的摩阻:

$$h_2 = \beta \frac{(2q)^{2-m} v^m}{D^{5-m}} L_2 \quad (3)$$

管段 n 的摩阻:

$$h_n = \beta \frac{(nq)^{2-m} v^m}{D^{5-m}} L_n \quad (4)$$

设 $L_1 = L_2 = \dots = L_n = L_i$ 则消耗在集油管上的总摩阻:

$$h = h_1 + h_1 + \dots + h_n = \beta \frac{q^{2-m} v^m}{D^{5-m}} (1^{2-m} + 2^{2-m} + \dots + n^{2-m}) L_i \quad (5)$$

层流时, $m = 1$, $\beta = \frac{128}{\pi g}$, 则:

$$h_{ce} = \frac{64 q v n (n+1)}{\pi g D^4} L_i \quad (6)$$

紊流时, $m = 0$, $\beta = \frac{8 \lambda}{\pi^2 g}$, 则:

$$h_{we} = \frac{8 \lambda q n (n+1) (2n+1)}{3! \pi^2 g D^5} L_i \quad (7)$$

因 $nq = Q$, 且当 n 较大时, $(n+1)L_i \approx L$; $2n+1 \approx 2n$ 。则式(6)和式(7)可简化为:

$$h_{ce} \approx \frac{64 v Q L}{\pi g D^4} \quad (8)$$

$$h_{we} \approx \frac{8 \lambda Q^2 L}{3 \pi^2 g D^5} \quad (9)$$

对于精确算法,可以通过计算机编程或者手算,在最初的伯努利方程的基础上实现集油管中沿程摩阻的精确求解;然而, L_i 在某些工程实际中并不相等,这也为通过手算得到精确计算结果增加了难度。

1.2 软件模拟算法

由于装卸作业区水力计算涉及的理论基础较为简单,而基于此编制的 Hysys、Pipesim、SPS 等多款模拟软件均可以针对该工程设计进行水力计算。基于该类软件的编制基础与可视化界面,该方法可以很简单地实现对各种工程实际设计工况的油品装卸作业较为精确的水路计算^[4-6]。

2 计算方法应用比较

2.1 计算条件

以某炼化企业油品装卸作业区域相关管区平面布局(图2)的设计计算(表1)为例,其中 1[#]~6[#] 储罐中的油品要通过 1[#]~19[#] 装车鹤管装车外输,由罐区至 19[#] 鹤管。在设计中,通过管路水力计算对泵入口压力进行计算,以指导选泵^[7-8]。

管路计算参数:输油管长度 353.6 m,其中 0~180 m 管中心标高 0.5 m,180~353.6 m 管中心标

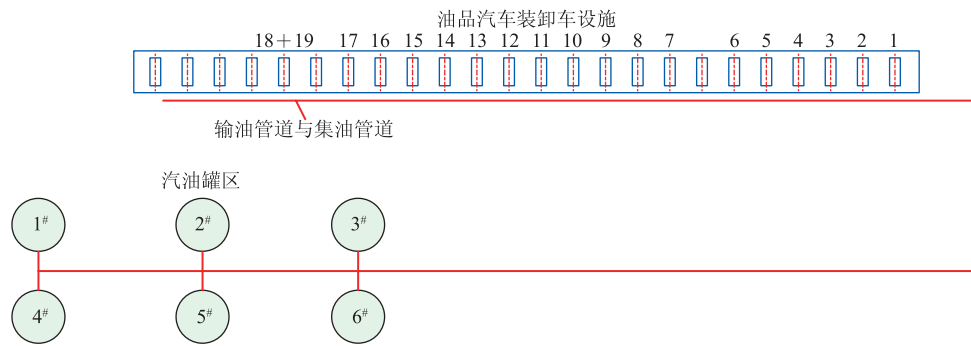


图2 某炼化企业油品装卸作业区域相关管区平面布局图

表1 某炼化企业油品装卸管路设计计算参数

泵入口位置标高 Z_s/m	吸入端最低液面标高 Z_A/m	为吸入端面压力 p_A/Pa	液体吸入温度下饱和蒸汽压 p_v/Pa
0.4	3.4	101 325	45 610
液体密度 $\rho/(kg \cdot m^{-3})$	液体运动黏度 $\nu/(mm^2 \cdot s^{-1})$	管道内径 d/m	管道中介质流量 $Q/(m^3 \cdot h^{-1})$
720	0.62	0.6	1 900
管道绝对粗糙度 e/mm	管阀件当量长度总和 $\Sigma(L_d/d)$	修正系数(根据流态判断输入) Φ	入口管路局部摩阻中未计入的其他摩阻损失 h_q/m
0.2	379	1	3

高一1.6 m;集油管长度 180 m,管中心标高 -1.6 m;泵前鹤管长度 10 m,管中心标高 0.4 m。油品最大外输量 1 900 m³/h。装车采用单泵对单鹤管,即泵位于装车岛上。结合相关标准与工程实际情况^[9-10],集油管直径取 DN600。为了便于计算,以 1[#]罐出口为起始点,并假设此时流量为 1 900 m³/h。

2.2 理论公式计算

2.2.1 简化算法

经计算可知,所有管段中流体均处于混合摩擦区,得到输油管与集油管中摩阻因数 $\lambda_1=\lambda_2=0.015 71$,鹤管中 $\lambda_3=0.022$;沿程摩阻分别为: $h_{r1}=1.633$ m, $h_{r2}=0.84$ m, $h_{r3}=0.183$ m;局部摩阻 $h_j=3.57$ m,得到泵入口处的有效汽蚀余量 $N_a=4.7$ m;迭代可得泵必需汽蚀余量 $N_r=4$ m,有效汽蚀余量判断系数 $\alpha=0.6/N_r=0.15$ 。

2.2.2 精确算法

忽略各鹤管之间集油管的长度差别,即可以假设 $L_1=L_2=\dots=L_i$,求得 $h_{r1}=1.60$ m, $h_{r2}=0.28$ m, $h_{r3}=0.183$ m;局部摩阻 $h_j=3.57$ m,泵入口处的有效汽蚀余量 $N_a=5.5$ m;泵必需汽蚀余量 $N_r=4.8$ m,有效汽蚀余量判断系数 $\alpha=0.13$ 。

2.3 软件模拟计算

选取 Pipesim 软件进行模拟计算。建立计算模型(图 3),设定起点压力与各终点流量。经计算得到各点压力分布(图 4),其中,由罐出口至 19[#]鹤管泵入口处沿程摩阻 $h_r=2.153$ m,考虑局部摩阻 $h_j=3.57$ m,得到泵入口处的有效汽蚀余量 $N_a=5.2$ m,泵必需汽蚀余量 $N_r=4.5$ m,有效汽蚀余量判断系数 $\alpha=0.13$ 。同时,由于软件模拟的固有优势,该方法可以更加清晰、全面地获悉整个管路的压力分布信息。

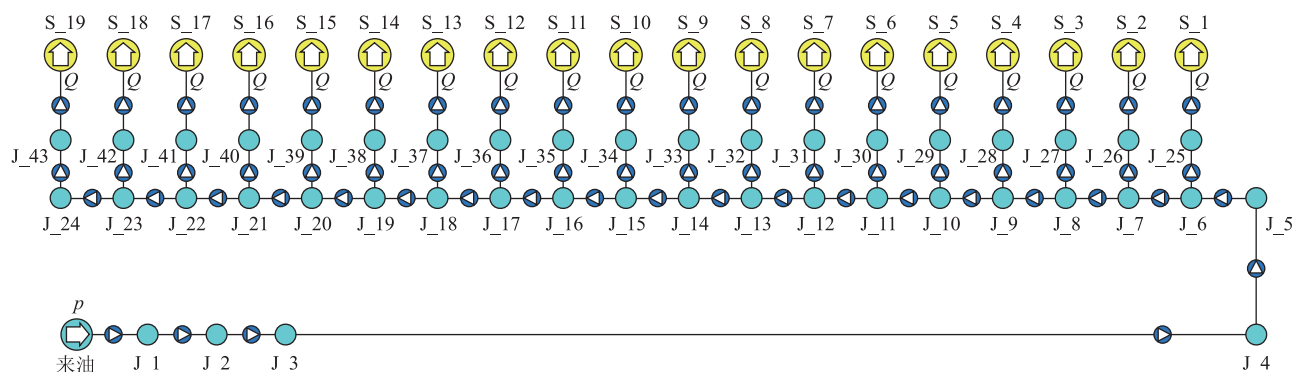


图3 油品装车作业水力计算建模示意图

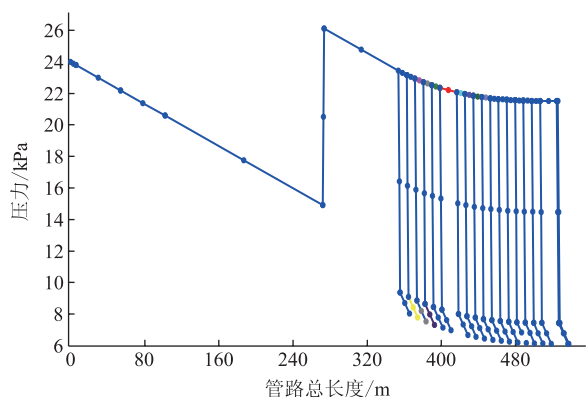


图4 油品装车作业管路各点压力分布图

2.4 求解结果比较

3种求解方法所得结果表明:①对于输油管和泵前鹤管管段中的油品,沿程摩阻的计算结果基本一致,这是因为3种方法对于等径且流量恒定的管路的水力计算理论基础一致。②对于集油管中油品的沿程摩阻,3种方法计算结果相差较大。其中,由于简化算法进行了较大的保守假设,相较于其他方法,其误差最大;相较于软件模拟法,精确算法对集油管长度进行了假设,计算结果存在少许的误差。③对于泵必需汽蚀余量,由于沿程摩阻计算结果的不同,3种方法的计算结果存在差异,其中,简化算法由于进行了较大的保守假设,计算所得 N_r 很小,以此为依据进行选泵,难度较大(表2)。

表2 3种计算方法计算结果比较

方法	h_{r1}/m	h_{r2}/m	h_{r3}/m	N_r/m
简化算法	1.633	0.840	0.183	4.0
精确算法	1.633	0.280	0.183	4.8
软件模拟法	1.678	0.274	0.188	4.5

3 结论

(1)简化算法、精确算法和软件模拟法的理论基础均为达西公式,因计算过程中条件假设内容的变化而导致计算结果存在差别。

(2)对于一般的油品装卸区管路的水力计算,简化算法、精确算法和软件模拟法均适用;当管路长度、复杂性以及泵必需汽蚀余量计算准确性要求较高时,建议选用软件模拟法进行水力计算。

参考文献:

- [1] 兰会贤. 罐区及装卸系统的设计[J]. 化工设计, 2011, 21(5): 28-29, 49.
 - [2] 陈茂庆. 油料储运过程中的气阻及其影响因素[J]. 油气储运, 1996, 15(4): 7-9.
 - [3] 郭光臣, 董文兰, 张志廉. 油库设计与管理[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2006.
 - [4] 刘神飞, 李可, 张琳, 等. 基于SPS的输油管道工艺分析[J]. 天然气与石油, 2012, 30(2): 11-13.
 - [5] 徐嘉爽, 唐恂, 李海润, 等. 基于SPS软件的原油管道水力摩阻分析[J]. 天然气与石油, 2013, 31(1): 13-16.
 - [6] SINGH P, THOMASON W H, GHARFEH S, et al. Flow properties of Alaskan heavy-oil emulsions[C]. Houston: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 2004.
 - [7] 宋立群, 李玉星, 周中强. 低持液率湿天然气集输管道的水力计算模型[J]. 油气储运, 2011, 30(4): 283-287.
 - [8] 朱先锋, 侯遂旺. 集散式管道泵铁路卸油工艺在油库中的应用[J]. 油气储运, 1998, 17(9): 59-61.
 - [9] 李玮, 梁立明. 库区自动装车系统的应用[J]. 石油化工自动化, 2015, 51(1): 70-73.
 - [10] 帅波, 练勇. 精密冷拔长管拖车气瓶管制方法[J]. 油气储运, 2014, 33(10): 1130-1134.
- (收稿日期: 2014-06-03; 修回日期: 2015-09-07; 编辑: 潘红丽)



作者简介: 尚兴彬, 助理工程师, 1986年生, 2013年硕士毕业于中国石油大学(华东)油气储运工程专业, 现主要从事炼厂、油库、长输管道等油气储运相关工艺的设计工作。

SHANG Xingbin, MS.D, assistant engineer, born in 1986, graduated from

China University of Petroleum (Huadong), oil & gas storage and transportation engineering, in 2013, engaged in the design of oil & gas storage and transportation processes in relation to refineries, oil tankfarms, and long-distance pipelines.

Tel: 13406426558, Email: shangxingbin@163.com