



港口石化码头清管工艺技术及应用

白云香, 魏红彤, 潘海涛

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 石化仓储企业利用港口码头中转的物料品种日益增多, 为增加输送管线的灵活性, 需采用清管扫线的方式对工艺管线进行清空作业。介绍了目前常用的清管作业方式, 并结合工程实例对清管过程中气体介质的压力和流量计算模型进行分析, 其计算结果可作为空分设备选型的依据。

关键词: 清管扫线; 压力; 流量

中图分类号: U 656.1⁺32

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)07-0081-05

Piping technology and its application in petrochemical terminal

BAI Yun-xiang, WEI Hong-tong, PAN Hai-tao

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The variety of petroleum products transported by ships is increasing gradually. In order to make the pipelines more flexible, we shall clear the piping system by emptying the pipelines. This paper introduces the common piping technology and calculates the gas pressure and flow in piping system based on the practical engineering case. The result may serve as reference for the selection of air separation equipment.

Key words: piping system; pressure; flow

目前, 石化仓储企业利用港口码头中转的物料品种日渐增多, 为保证物料的数量和质量并增加装卸管路的灵活性, 多采用清管扫线的方式对工艺管线进行清空作业。本文对常用的两种清管作业方式进行比选, 为码头平台尺寸确定和配管设计提供依据; 利用理论模型对清管过程进行研究, 为扫线气源的设备选型提供参考。

1 清管扫线作业方式介绍

石化码头装卸作业的特点是管道间断使用, 当管道根据生产需要更换货种或管道内输送易凝物料需在管道停输期间进行清空作业时, 均需将管道内现有物料进行清空。传统的管线清空方式是利用氮气、蒸汽或压缩空气作为动力气源, 在码头装卸区设置收发球筒或清管阀, 对管线进行

吹扫, 将管线内物料根据作业需要吹扫至陆域储罐或船舶船舱内。

1.1 收发球筒扫线方式

清管器收发球筒装置, 简称收发球筒, 一般通过旁通连接安装在主管道的两端用于发送或接收清管器。

收发球筒的组成: 与管道连接的直管段、异径管、筒体和快开盲板。筒体侧面带有物料进出的旁通口, 筒体上方带有放空口和充气口, 筒体下方带有排污口。

利用收发球筒进行收发球清管作业的工艺流程见图1。

发球流程: 首先打开快开盲板推入清管器并将其顶紧, 关闭盲板。接着打开进气阀 A, 平衡发球阀门 B 两端的压力。待发球筒内压力平衡后, 打开发球阀 B 后关闭主阀 C, 发射清管器。

收稿日期: 2013-11-01

作者简介: 白云香 (1982—), 女, 硕士, 工程师, 从事油品码头装卸工艺设计工作。

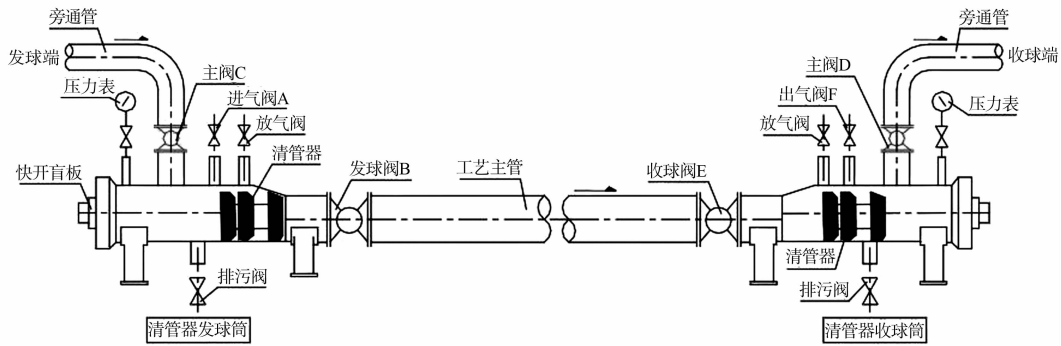


图1 收发球筒清管工艺流程

收球流程：清管器到达前顺序打开收球阀 E 和出气阀 F，并将主阀 D 部分或全部关闭。待清管器进入收球筒后，打开主阀 D 和排污阀，关闭收球阀 E 和出气阀 F，对收球筒进行排污、放空，并在排污完毕后打开盲板取出清管器。

1.2 清管阀扫线方式

清管阀是一种作为清管器发射或接收装置的

新型阀门，它同时也具有通用两位式截断球阀的功能，可以直接安装在所需清扫的工艺管线上，不需要额外设置旁通连接。清管阀的主体结构为截断式球阀，阀门两端与工艺管道相连。在阀体侧面设置清管器进出口及快开盲板，阀体底部设排污阀，阀体顶部设放空阀。利用清管阀进行收发球清管作业的工艺流程见图 2。

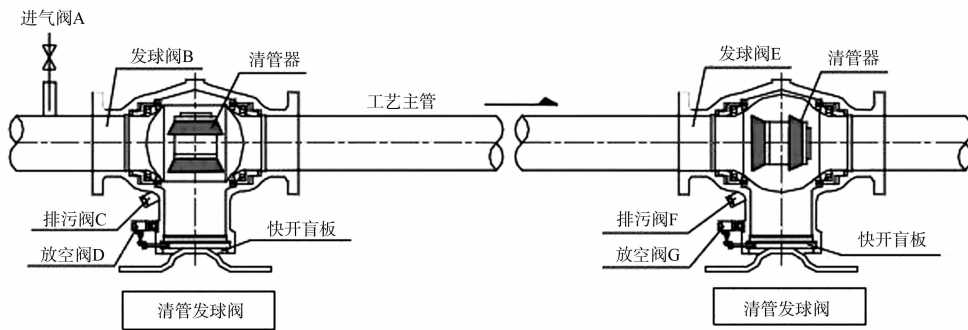


图2 清管阀清管工艺流程

发球流程：首先将发球阀门从开启位置转动至关闭位置，然后打开排污阀 C 泄空体腔内物料，打开放空阀 D 泄放体腔内压力。接着打开快开盲板装入清管器并推至球孔底部，关闭快开盲板、排污阀 C 和放空阀 D。将清管发球阀 B 转动至开启位置，打开进气阀 A 发射清管器。

收球流程：清管器发射前，保持清管收球阀 E 处于开启状态。当接收到清管器到达信号后，将收球阀 E 转动 90°，使球体由开启位置转动至关

闭位置。接着打开排污阀 F 泄空体腔内物料，打开放空阀 G 泄放体腔内压力。最后打开快开盲板将清管器取出，完成清管作业。

1.3 两种扫线方式比选

实际生产过程中，两种通球装置均为技术比较成熟的设备，其差异性比较见表 1。

由表 1 可知收发球筒相比清管阀所需安装和操作空间较大，对码头结构尺寸要求较高，工程实践中需结合码头平台及配管设计进行选择。

表 1 收发球筒与清管阀对比

项目	收发球筒	清管阀	结果
系统构成	2 个截断阀 + 2 根旁通管线 + 1 个收球筒 + 1 个发球筒	1 个发球阀 + 1 个收球阀	清管阀系统较简化
安装空间	收发球筒长 + 旁通管线安装空间 + 安装基础	阀体长 + 自带安装底架	清管阀节省空间
操作时间	需要沿球筒来回走动依次打开所有阀门	在一个工位即可完成全部工作	清管阀节省操作时间
购置费用	前期购置费用低	前期购置费用高	收发球筒前期费用节省
适应管径	DN400 以上大口径管线应用较多	DN400 及以下小口径管线应用较多	大口径管线优先选择收发球筒, 小口径管线宜选用清管阀
维护保养	属于压力容器, 需要定期检查, 维护保养人员须取得压力容器操作证	免维护设计, 几乎无维护工作和成本	清管阀后期维护成本低

2 清管工艺计算模型分析

2.1 物理模型

清管器是以管内介质产生的压差 ($\Delta P = P_1 - P_2$) 为动力向前运行的, 其流速 v_1 同油品/化工品流速 v_2 , 将清管器前的物料推出管道, 达到扫线的目的。图 3 为清管工艺物理模型。

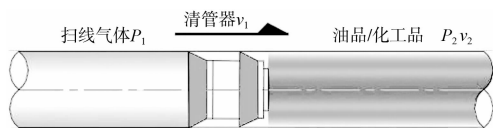


图 3 气体清管工艺过程

2.2 数学模型

通过分析清管扫线过程中的能量消耗组成, 可知涉及到的压力计算模型^[1-2]有: 清管器前后压差计算模型、管内液体的沿程压降计算模型、由高程差引起的静水压力模型和管线末端的背压模型。此外, 根据气体的可压缩性质, 还需要借助气体状态方程来计算扫线气体的流量。

2.2.1 清管器前后压差计算模型 ($\Delta P_{球}$)

为保证清管效果, 清管器需要一定的过盈量来防止其前后介质相混, 而过盈量导致清管器移动时与管内壁产生摩擦力。其计算原理见图 4。

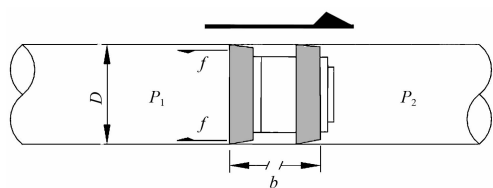


图 4 清管器承压示意

对清管器进行受力分析:

$$(P_1 - P_2) \frac{\pi}{4} D^2 = f = P_1 \pi D b \mu \quad (1)$$

整理得:

$$\Delta P_{球} = P_1 - P_2 = \frac{4P_1 b \mu}{D} \quad (2)$$

式中: P_1 为推动清管器的气体介质压力 (MPa); P_2 为管内液体的流动阻力和管道背压之和 (MPa); b 为清管器与管内壁的有效接触宽度 (由清管器结构形式决定, m); μ 为清管器与管内壁的摩擦系数 (由清管器材质决定)。据有关资料介绍, 目前常用的皮碗式清管器与管内壁摩擦所产生的压降一般为 0.02 ~ 0.05 MPa。

2.2.2 管内液体的沿程压降计算模型 ($\Delta P_{油}$)

根据达西公式计算管内液体的沿程摩阻:

$$\Delta P_{油} = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2g} \quad (3)$$

式中: λ 为摩阻系数, 当雷诺数 $Re < 2000$ 时, $\lambda = 64/Re$, 其中 $Re = \frac{4Q}{\pi D \nu} = \frac{Dv}{\nu}$; L 为管线长度 (m); D 为管道内径 (m); v 为油品流速, 由于油品不可压缩, 油品的流速也即清管球的流速, 该流速一般为经验值, 不宜过大, 码头至库区间较短管线的清管速度一般为 0.05 ~ 1 m/s; ν 为油品黏度 (m^2/s)。

2.2.3 静水压力及管线背压计算模型 ($\Delta P_{静}, \Delta P_{背}$)

静水压力 $\Delta P_{静}$ 由管线沿途的高程差引起, 而

管线末端的背压 $\Delta P_{背}$ 则由扫线液体进储罐后的液位差决定。两者的计算模型均为：

$$\Delta P = \rho gh \tag{4}$$

式中： ρ 为扫线液体的密度 (kg/m^3)； g 为重力加速度； h 为高程差或液位差 (m)。

2.2.4 扫线气体流量计算模型

目前常用的常温动力气源有氮气或压缩空气，可通过制氮机或空压机将气体加压至扫线所需压力。由于制氮机或空压机的输出流量参数为标准状况下的体积流量，因此需要利用气体状态方程进行换算：

$$\frac{P_{标} Q_{标}}{T_{标}} = Z \cdot \frac{P_{实} Q_{实}}{T_{实}} \tag{5}$$

工程近似计算时，可认为扫线过程中气体温度不会发生变化，即 $T_{标} = T_{实}$ ， $Z = 1$ ，从而简化为：

$$P_{标} Q_{标} = P_{实} Q_{实} \tag{6}$$

即
$$Q_{标} = \frac{P_{实} Q_{实}}{P_{标}} \tag{7}$$

式中： $P_{标}$ 为标准大气压， 0.101 MPa ； $Q_{实} = vA$ ， v 为油品的流速，码头至库区间管线的清管速度一般为 $0.05 \sim 1 \text{ m/s}$ ， A 为扫线管道的横截面积 (m^2)。

管内扫线气体的实际压力：

$$P_{实} = \frac{P_0 + P_t}{2} \tag{8}$$

式中： P_0 为气体接入管道口处压力，工程计算时可取为 $\Delta P_{总}$ ； P_t 为扫线 t 时刻清管器所在位置处的气体压力，当扫线结束时可取为 $\Delta P_{背}$ 。

3 工程实例

已知曹妃甸某石化码头所需清管的工艺管径为 $\text{DN}400$ ，管线长 780 m ，输送介质为 $180^\#$ 燃料油，码头面高程同陆域储罐基础高程，储罐高度为 15 m ，利用氮气作为扫线介质。根据上述理论模型计算所需氮气的压力、流量，以便对制氮机进行选型。各参数计算结果分别见表 2 和表 3。

表 2 压力计算参数

计算参数	计算过程/MPa	说明
$\Delta P_{球}$	0.02 ~ 0.05	经验值
$\Delta P_{油}$	$\frac{64\nu}{0.406\nu} \times \frac{780}{0.406} \times \frac{\nu^2}{2 \times 9.8} = 2.78 \nu$	
$\Delta P_{静}$	0	管线沿程无高差
$\Delta P_{背}$	0.15	储罐高度约为 15 m
$\Delta P_{总}$	$\Delta P_{总} = \Delta P_{球} + \Delta P_{油} + \Delta P_{静} + \Delta P_{背}$ $= 5 + 278\nu + 15 = 0.20 + 2.78\nu$	公式(1)

表 3 流量计算参数

计算参数	计算过程	说明
$P_{标}$	0.10 MPa	大气压
$P_{实}$	$(\Delta P_{总} + \Delta P_{背})/2 = 0.175 + 1.39\nu$	扫线完毕时的平均压力 (MPa)
$Q_{实}$	$\nu \times 3.14 \times 0.406^2 / 4 = 0.13\nu$	(m^3/s)
$Q_{标}$	$(17.5 + 139\nu) \times 0.13\nu \times 3600/10$	公式(2) ($\text{N} \cdot \text{m}^3/\text{h}$)

由公式(1)和(2)可知， $\Delta P_{总}$ 和 $Q_{标}$ 为速度 ν 的函数，其函数关系曲线见图 5 和图 6。

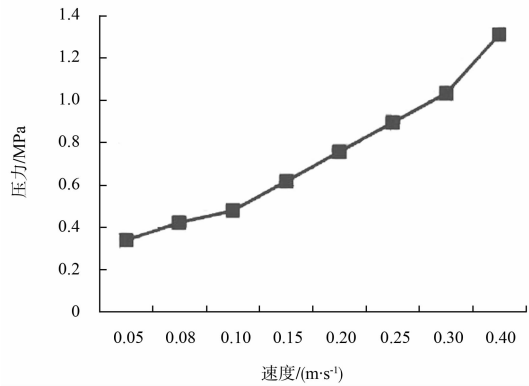


图 5 速度 ν 与压力 $\Delta P_{总}$ 的函数关系

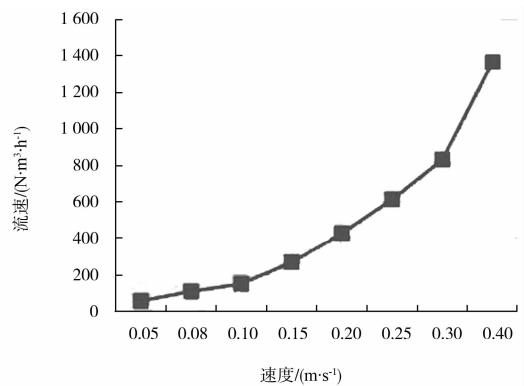


图 6 速度 ν 与流量 $Q_{标}$ 的函数关系

结合现有常用空分设备所允许的气体出口压力,当速度 v 取 $0.15 \sim 0.2 \text{ m/s}$ 时, $\Delta P_{\text{总}}$ 约为 $0.62 \sim 0.76 \text{ MPa}$, $Q_{\text{标}}$ 约为 $270 \sim 430 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{h}$, 与类似工程数据吻合较好。

4 结论

1) 收发球筒扫线方式所需安装和操作空间大、前期费用小、后期维护成本高,多用于大口径管线。

2) 清管阀扫线方式所需安装和操作空间小、前期费用大、后期维护成本很低,多用于小口径管线。

3) 本文所推荐的理论模型计算结果与工程实际相吻合,对制氮机或空压机的选型具有指导意义。但在计算过程中有部分参数取值不够精细,需结合工程实际对其进行修正,使计算结果更加可靠、精确。

参考文献:

- [1] 李天太,方明,董悦,等.输气管线清管通球运行规律及计算方法[J].天然气工业,1997,17(2):63-66.
- [2] 张器敏,孟江.油气管道输送技术[M].北京:中国石化出版社,2012.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第80页)

2.2.3 码头结构安全核算

按规范对船舶靠泊不同荷载组合与计算水位下的码头主体进行整体稳定和码头抗倾、抗滑、基床应力及地基承载力、地基沉降及施工期基槽开挖稳定性等的计算。主要计算内容包括如下:1) 码头抗倾、抗滑、基床应力及地基承载力计算;2) 码头的整体稳定计算,码头的整体稳定采用圆弧滑动法计算;3) 码头地基沉降计算,码头以微风化泥质粉砂作为持力层,地基沉降可不计算;4) 沉箱配筋。经计算,码头结构的稳定和强度指标均满足7万吨级散货船靠泊作业的规范要求。

3 超原设计船舶靠泊的限定条件

7万吨级散货船靠离泊本工程码头需满足表4所列限定条件。

表4 该码头泊位限定条件下靠离泊情况

船舶吨级/ DWT	载质量/ t	允许 吃水/m	法向靠岸速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	允许风力
70 000 (散货船)	65 000 ~ 85 000	13.2	0.14	作业风力 ≤ 6 级。 离泊风力 ≤ 9 级。

当超过5万吨级设计船舶等级,靠泊7万吨级散货船时,应按表4所示靠泊作业限制条件加以控制。特别需注意控制船舶载质量,须经减载使吃水不超过13.2 m后才能安全靠泊。船舶进出

港及靠泊作业应注意水位要求。本工程考虑的进出港乘潮水位为:乘高潮3 h保证率90%的潮位1.82 m。靠泊码头作业时的水位不得低于设计低水位0.38 m(低潮累积频率90%)。

4 结语

本文简述了提升重力式码头靠泊能力的论证内容,结合工程实例,着重从航行条件适应度、码头附属设施、主体结构安全性论述靠泊能力论证的应用,并提出了超原设计船舶靠泊的限定条件:

1) 综合对航道、码头前沿停泊水域、船舶回旋水域、泊位长度、航道、锚地、导助航设施等制约条件分析,拟靠泊的控制船型为减载情况下的7万吨级散货船。

2) 在一定限定条件下码头系船柱和橡胶护舷能满足7万吨级散货船系靠泊要求。

3) 按7万吨级船舶靠泊作业分析核算,主体结构的稳定性、各主要构件的结构强度和承载力以及地基沉降等满足港口工程现行有关规范或规程的要求。

参考文献:

- [1] JTJ 211—1999 海港总平面设计规范[S].
- [2] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].

(本文编辑 武亚庆)