



长栈桥码头增压系统设计及应用

彭红伟, 王 媿

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 码头设置增压系统是解决卸船泵自身扬程不足导致输送距离较短的有效途径之一。针对长栈桥码头增压系统设计问题进行工艺输送方案、增压泵选型及控制技术研究, 采用管路特性曲线与泵组流量-扬程曲线耦合等研究方法, 结论是在码头平台设置增压泵, 船泵与增压泵之间缺少有效缓冲, 上下游泵流量难以匹配, 极易造成增压泵抽空现象, 在条件允许时不应作为首选方案, 应按最大卸船流量及最大黏度确定增压泵的流量和扬程, 且不宜再取设计余量, 否则将严重偏离泵的额定工作点, 影响泵的正常运行。绘制不同卸船流量及黏度介质的管路特性曲线和泵组合运行流量-扬程曲线耦合图, 有效解决最优泵组合运行及控制方案难以确定的问题。

关键词: 增压系统; 控制技术; 管路特性曲线; 泵组合运行

中图分类号: U652

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0160-04

Design and application of pressurization system on wharf with long approach bridge

PENG Hongwei, WANG Ti

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: One effective way to solve the problem of short transmission distance caused by insufficient head of the unloading pump is to set up a pressurization system in wharf. In view of the design problem of the pressurization system on the wharf with long approach bridge, this paper conducts research on process transmission scheme, selection of booster pumps and control technology. The research methods such as the coupling pipeline characteristic curves and pump set flow-head curve are adopted. The conclusion is that when a booster pump is installed on the wharf platform, there is a lack of effective buffering between the ship pump and the booster pump, the upstream and downstream pump flow rates are difficult to match, which can easily cause the booster pump to be emptied. It should not be used as the first choice when conditions permit. The flow rate and head of the booster pump should be determined according to the maximum unloading flow and the maximum viscosity, and the design margin should not be taken, otherwise it will seriously deviate from the rated working point of the pump and affect the normal operation of the pump. Drawing the pipeline characteristic curves and the coupling diagram of pump combined operation flow-head curve for different unloading flow and viscosity medium, it can effectively solve the problem that the optimal operation of pump combination and control scheme are difficult to determine.

Keywords: pressurization system; control technology; pipeline characteristic curve; pump combination operation

随着国内近岸深水港口岸线资源及港区用地的进一步开发利用, 造成码头往海侧延伸、罐区向陆域纵深方向建设的现象越来越普遍。对于港口地形相对平坦的项目, 越来越多的码头采用长栈桥的建设方式。对于卸船工况, 受卸船泵自身

扬程的限制, 输送距离通常在 5 km 以内, 对于输送距离大于 5 km 的情况, 无法通过卸船泵将油品卸至后方罐区, 需采取增压等工程技术措施。本文主要对长栈桥码头增压系统设计及应用进行介绍。

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 彭红伟 (1981—), 男, 高级工程师, 从事装卸工艺设计工作。

1 长栈桥码头工艺系统设计

1.1 输送方案

1) 合理选择卸船流量: 可根据同类型的泊位运营资料和船舶装卸设备容量综合考虑。当无准确资料时, 根据 JTS 165—2013《海港总体设计规范》^[1] 规定, 可采用净卸船时间计算得到卸船流量的范围。对于长栈桥码头, 可选取最长卸船时间, 以降低工程投资。

2) 增加管径: 压降可采用列宾宗公式或商业软件进行计算^[2]。管径越大, 管道阻力越小。

3) 增加卸船管道根数: 等同于增大管径的效果, 当采用单根管道过大时, 可采用设置 2 根管道的方式, 该方式在中化泉州 30 万 t 原油码头项目中得到应用。

4) 设置增压泵: 管道输送可分为开式和闭式流程。开式流程解决了上下游泵流量匹配问题。随着技术发展, 泵到泵密闭输送技术已应用在陆地长距离输油管道项目^[3]。

1.2 增压泵选型

增压泵类型需结合输送介质的黏度、流量和扬程进行综合确定。设计时需重点关注泵的适应范围, 离心泵可用于黏度小于 650 mPa·s 的工况, 当介质黏度大于 300 mPa·s 时可选用螺杆泵。

1.3 增压系统控制技术

泵到泵增压技术对于上游卸船泵和下游增压泵的流量、扬程匹配要求较高, 易出现管道抽空导致泵泄漏、设备损坏等问题。目前主要有变频、出口节流和回流等控制技术^[4-6]。

1.4 水击计算及控制技术

管道设计压力需考虑停泵、关阀等工况下的水击压力, 当水击压力超过管道设计压力时, 需要采取相应的泄压及连锁关断等控制措施^[7-9]。水击压力可采用 SPS (Stoner Pipeline Simulator, 石油天然气长输管道模拟) 等商业软件进行计算。

2 工程概况

2.1 货种及物性参数

海油 3[#]、4[#] 散杂货泊位位于东营港区突堤引

桥东侧, 距后方罐区 13 km, 拟将其改建为 3 万吨级液散泊位, 原油和燃料油为卸船, 储运特性见表 1, 适应船型为 1 万~3 万吨级油船。

表 1 卸船货种的年卸船量及主要储运特性

货种	年卸船量/ 万 t	密度/ (kg·m ⁻³)	50 °C 黏度/ (mPa·s)	凝点/ °C
原油	160	836~886	≤340	≤28
燃料油	5	954~989	180	2~18

2.2 卸船流量的确定

根据 JTS 165—2013《海港总体设计规范》, 1 万、2 万、3 万吨级油船卸船时间取 12~15、12~15、15~18 h, 其设计卸船流量分别取 900、1 400、1 800 m³/h。

2.3 输送方案

该工程依托的已建管廊预留的管位仅能敷设 1 条 DN600 管道, 因此, 采用新建 1 条 DN600 的原油管道, 并在已建码头工作平台设置增压泵的输送方案。

3 增压泵站设计技术

3.1 增压泵选型设计

根据《输油管道设计与管理》^[10] “为了保证输油管道安全经济地工作, 工作点必须在泵站特性曲线的最高效率区内”, 结合管道的任务输量和管路特性选择和匹配泵机组, 使输油泵机组在低输量和最高输量运行时, 均处在泵的高效率区内; 全线尽量选用同类型的输油泵, 以便维修和运行管理^[11]。

1) 泵型选择。该工程需增压货种为原油, 其黏度 ≤340 mPa·s (50 °C), 泵排量较大、扬程适中, 推荐采用离心泵。

2) 泵台数及额定流量确定。1 万、2 万、3 万吨级油船设计卸船流量分别为 900、1 400、1 800 m³/h, 1 台泵无法满足需求, 应至少设置 2 台泵, 且根据相关规范要求, 不宜多于 3 台泵, 并可不设备用泵, 因此, 该工程可设置 2 台或 3 台泵, 最终该工程设置 3 台 1 000 m³/h 的增压泵。

3) 泵扬程确定。为了充分利用卸船泵的扬

程，确定通过泵出口压力变送器连锁泵变频，将泵入口压力维持在0.5 MPa。泵出口压力则根据最大卸船流量和最大黏度工况计算得出，确定泵的扬程为220 m。

4) 增压泵主要技术参数。通过增压泵选型设计，确定设置3台(2用1备) $Q=1\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ 、 $H=220\ \text{m}$ 的离心泵；泵体采用水平中开结构，采用双端面机械密封，额定工作点效率为50%，必需

汽蚀余量14 m；配套电机功率为1 120 kW，额定电压10 kV，额定转速2 980 r/min。

3.2 增压泵控制技术

3.2.1 管线压降

首先，采用列宾宗公式计算出各种卸船工况下的管线压降；然后确定增压泵所需要的扬程，结果见表2。

表2 不同原油黏度下输送泵所需的扬程

船舶吨级	原油设计卸船流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	不用原油黏度下泵需要的扬程/m				
		340 $\text{mPa} \cdot \text{s}$	200 $\text{mPa} \cdot \text{s}$	100 $\text{mPa} \cdot \text{s}$	50 $\text{mPa} \cdot \text{s}$	10 $\text{mPa} \cdot \text{s}$
1万吨级	900	28	30	18	0	0
2万吨级	1 400	140	113	86	64	29
3万吨级	1 800	220	198	156	122	68

由表2可知：2万、3万吨级船卸船时，均需开启增压泵；当1万吨级船介质黏度大于50 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 时，需开启增压泵，但增压泵所需扬程较低，最大仅28 m。需采取出口节流措施，管路特性曲线方可与泵的流量-扬程曲线进行耦合。

3.2.2 增压泵流量-扬程

泵流量-扬程曲线见图1，从图中可以看出：当叶轮直径为400 mm、额定流量为1 000 m^3/h 时，通过黏度修正后的泵额定扬程为220 m，满足设计要求。随着流量的增大，泵的扬程降低，且曲线较为平坦。

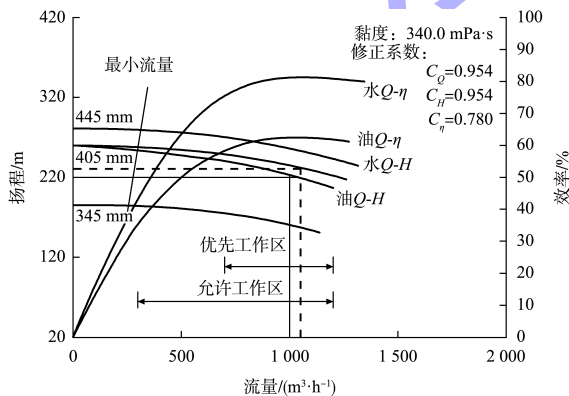


图1 增压泵流量-扬程曲线

3.2.3 管路特性曲线与泵的流量-扬程

为了确定不同卸船流量、不同黏度下的增压泵控制方案，绘制不同频率、单泵和双泵联运

行工况下的流量-扬程曲线与输送不同黏度介质情况下的管路特性曲线，见图2。

由图2可知：1) 当卸船流量为900 m^3/h 时，频率从50 Hz降低到30 Hz时泵的流量-扬程曲线与管路特性曲线均无交点，说明仅采用变频控制技术无法实现泵的正常运行，还需在泵出口采取节流措施，且节流压降最大达到150 m，能耗较大。实际运行时，当介质黏度较大时，可采用适当降低卸船流量(最大降至650 m^3/h)，且不开启增压泵的运行方案。2) 当设计卸船流量为1 400、1 800 m^3/h 时，需开启2台泵运行；当原油黏度 $\geq 100\ \text{mPa} \cdot \text{s}$ 时，管路特性曲线与泵的流量扬程曲线均出现交点，且对应的流量与设计卸船流量较接近，说明在采取变频和出口节流措施后，可实现泵的稳定运行。当原油黏度 $< 100\ \text{mPa} \cdot \text{s}$ 时，需将泵频率控制在35~40 Hz，然后通过出口节流实现泵的稳定运行。3) 对于2台泵并联运行工况，泵流量-扬程曲线较为平坦，说明管路特性曲线对泵运行影响较大。当泵出口实际背压与设计工况出现较小偏离时，泵实际工作点迅速左移或右移，流量偏差较大。因此，对于码头设置大型增压泵的情况，其额定流量、扬程均不宜再取余量，按实际流量及最大黏度下的管路压降确定泵的额定流量、扬程即可，否则实际工作点将严重偏离设计工作点，影响泵的稳定运行。

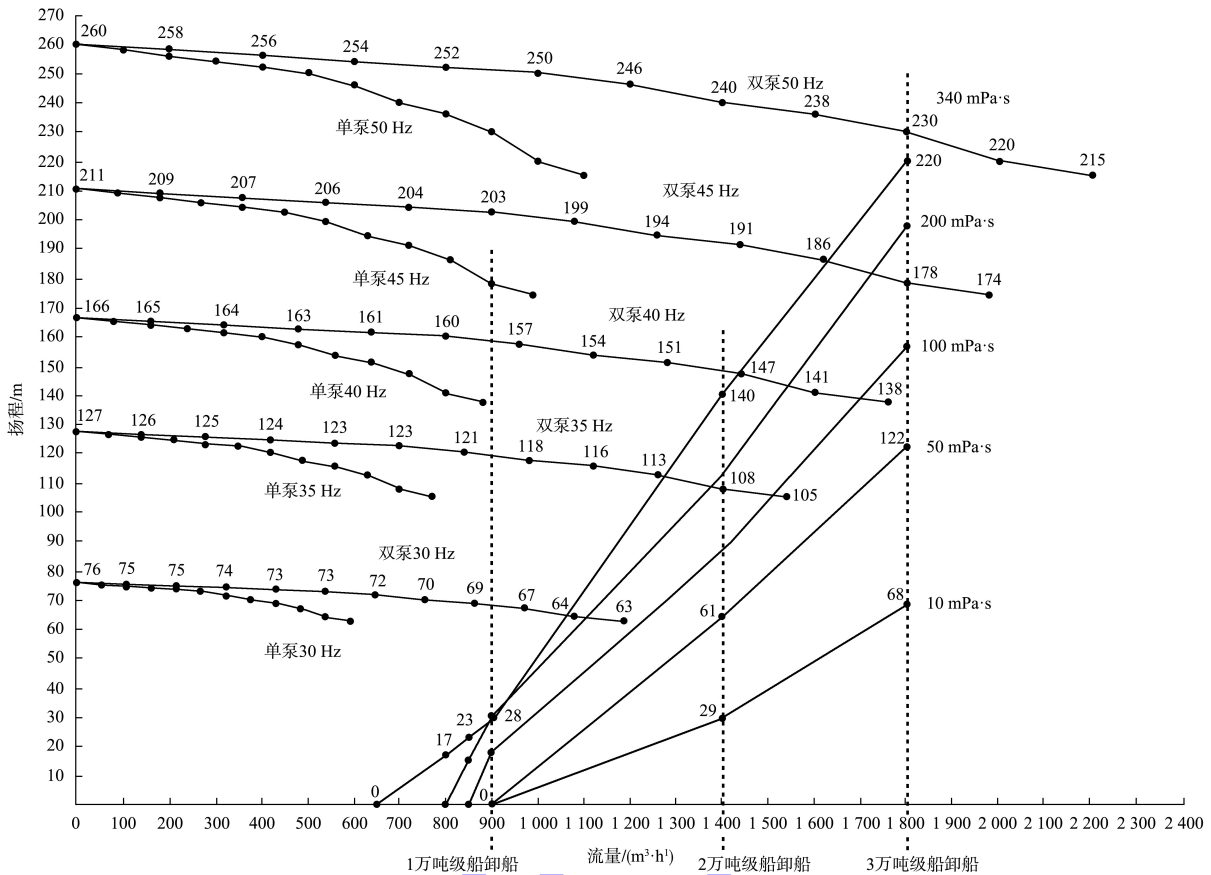


图 2 管路特性曲线与泵的流量-扬程曲线

通过管路特性曲线与泵的流量-扬程曲线耦合分析, 确定 3 台增压泵均需采用变频控制, 并在泵出口设置手动节流阀用于压力调节, 确保不同卸船工况下增压泵的稳定运行。

4 运行效果

该项目 2022 年投产至今, 整体运行良好, 达到了预期效果, 但存在两个问题: 1) 正常运行时, 泵入口压力维持在 0.1~0.3 MPa, 难以到达设定值 0.5 MPa。2) 3 台泵中有 2 台泵出现机封渗漏, 经更换及维修后方可使用。

5 结论

1) 码头工作平台设置增压泵可有效解决卸船泵扬程不足问题, 但基于船泵与增压泵之间缺少有效缓冲, 上下游泵流量、扬程难以匹配, 系统控制难度大, 极易造成增压泵抽空导致机封泄漏等问题, 在条件允许时, 不应作为首选方案。

2) 对于新建或具备条件改造的项目, 增大管径、设置 2 条管道、沿途设置增压泵等方案技术成熟、可靠性较高, 应作为首选。

3) 增压泵选型时, 宜按照最大卸船流量及最大黏度下的扬程考虑, 流量、扬程不宜再考虑余量, 否则将偏离泵的额定工作点, 影响泵的正常运行。

4) 应充分考虑码头适应船型范围内的不同卸船流量、不同介质黏度等多种因素, 绘制各种泵组合运行工况下的流量-扬程曲线和管路特性曲线耦合图, 确定泵的最优泵组合运行及控制方案。

参考文献:

[1] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
 [2] 袁恩熙. 工程流体力学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 124-125.