

段塞流捕集器的结构设计及优化

董贵菡*, 刘 喆, 王 昊

(中国石油管道局工程有限公司天津分公司, 天津 300457)

摘要: 简要介绍了段塞流捕集器的结构及分类, 通过巴基斯坦 LPG 项目实例, 描述了在国内外段塞流捕集基础上, 优化管式段塞流捕集器的设计形式; 通过 ANSYS 分析储液段鞍座支撑受力, 攻克了设计鞍座型式这一难点。

关键词: 段塞流捕集器; 鞍座; 角钢护栏

中图分类号: TE832

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2017)05-0212-03

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.05.051

Structure design and optimization for slug catcher

DONG Gui-han*, LIU Zhe, WANG Hao

(Tianjin Design Institute, China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

Abstract: This paper briefly introduces the structure and classification of slug catcher. Taking Pakistan LPG project as example, the optimal design formation of tubular slug catcher is described on the basis of slug catcher structure designs at home and abroad. The supporting forces on the saddles in the liquid storage section have been analyzed through ANSYS, overcoming the difficulty in design of saddle type.

Key words: slug catcher; saddle; angle steel guardrail

随着海洋油气资源的不断开发, 气液混输管路也得到不断发展。大规模的陆地及海上油气田开发项目在长距离管道集输过程中多采用气液混输工艺, 在重力的作用下, 液体趋向于在管道底部流动, 而气体常常占据管道的顶部区域, 从而形成液体段塞流^[1]。如果段塞流进入到下游设施中, 将会对下游的处理设备产生很大的冲击, 对它们造成极大的损坏, 段塞流捕集器作为解决该问题的关键设备之一, 是位于管道出口和下游油气处理设备之间的油气初级分离设备, 其关键作用是在最大液塞到达时, 有效分离和捕集段塞内液体, 完成油气水初步分离^[2]。

1 段塞流捕集器的基本分类

常见的段塞流捕集器分为容器式和管式 2 种形式。这 2 种形式在结构上区别较大, 实际应用中各有优势。容器式段塞流捕集器通常有卧式和立式, 其中卧式更为常见, 由单罐或多罐、缓冲板、捕雾器和防涡器组成。管式段塞流捕集器一般由分流器、段塞分离器、段塞收集段和段塞储液段、

立管和沉液管以及平衡管束等组成, 管式捕集器的各个管段在坡度和长度上有所不同, 在特定情况下还会设有坡度的积液管段, 用于液-液分层和储液^[3]。

目前, 世界上许多已建成的混输管道末端都设置有段塞流捕集器。对于受平台限制的海上平台, 一般采用容器式段塞流捕集器, 陆上处理终端则多采用管式段塞流捕集器。

2 管式段塞流捕集器的设计与优化

2.1 技术背景

巴基斯坦 NASHPA 油田 LPG 工厂项目的天然气处理规模约为 277 万 m³/d, 从收发球筒来的上游混输介质因为受管道铺设地形、清管操作等因素的影响容易产生严重的段塞流, 为保证下游设施的正常安全生产, 同时在最大段塞到达时可作为带压液体的临时储存器功能, 在进入下游设施之前设置段塞流捕集器是最佳的解决措施。经过多种方案比选, 该项目采用管式段塞流捕集器, 主要包括用于气液分离的入口分离段和有一组平行下倾管段组成的

储液段 2 大部分,具体结构形式如图 1 所示。

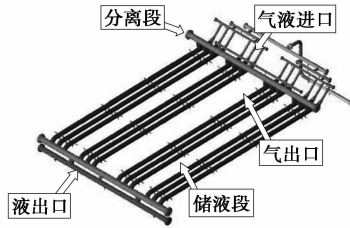


图 1 段塞流捕集器的优化设计形式

段塞流捕集器的分离原理与普通分离器一样,区别于其他类型分离设备的最大不同之处在于其必须适应液体段塞进入分离器的流量大幅波动及其造成的巨大扰动。

液体段塞以及尾部气泡在进入设备前,会先进入一段分离立管。当液体段塞进入立管时,由于重力作用会使之减速。之后受压力推动的气泡段因为维持原速准备进入立管而受到挤压。当挤压产生的力达到与前面液体段塞所受重力持平的时候,液体段塞会继续在立管中上升直到进入段塞流捕集器。此时设备内液面预计为最高,而气流和气泡空间最小。之后随着气泡进入立管,所受重力减小,在压力推动下尾部段塞呈加速状态进入段塞流捕集器。此时捕集器中压力达到高值,气流和气泡所占比为最大,液位下降,达到预计最低值。之后重复此过程。由于液量和流速的不断变化,设备根据段塞的长度受到不规则的推力作用^[4]。

2.2 技术难点

该项目的段塞流捕集器在分离段未设置鞍座,

若在其他设计中存在需要设置鞍座的情况,双鞍座支撑即可满足该部分受力要求,可直接按 NB/T 47042《钢制卧式容器》^[5]进行计算。而储液段筒体较长,需要设置多个鞍座。根据工艺管道系统补偿设计^[6],每根液体储存段应依据设备总重、鞍座的承载能力以及容器长度来确定各个鞍座的间距,且其中一个鞍座应为固定式,其余为滑动鞍座。段塞流捕集器鞍座支撑位置如图 2 所示。

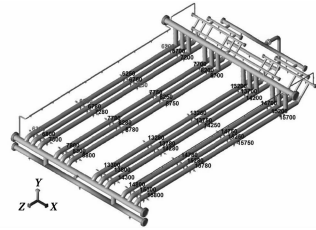


图 2 鞍座支撑位置图

储液段各个鞍座支撑除承受容器自重、地震载荷、风载荷、段塞流冲击力等载荷外,还承受上面气液分离部分集中载荷的作用,NB/T 47042 中的公式无法直接套用,因此鞍座的型式及计算成为段塞流捕集器的技术难点。各个鞍座的最大弯矩和最大支反力及圆筒内的最大剪力和最大弯矩,可通过将储液段筒体简化成筒支梁的方法求出。通过该方法求出的数值对标准中的公式加以修正,以进行多鞍座结构的设计计算^[7]。在此次巴基斯坦 LPG 项目中笔者通过有限元分析设计^[8],分析了在各种工况下储液段各个支座的受力情况,借助 ANSYS 计算机软件模拟的结果如表 1 所示。

表 1 各储液段鞍座受力情况

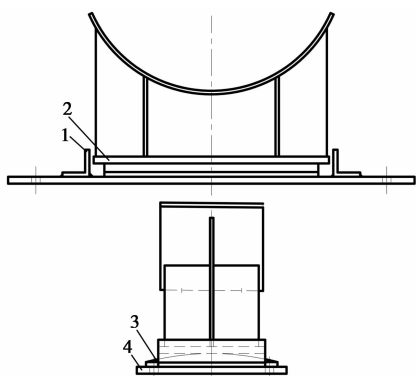
| 编号 | 约束形式 | 相似约束节点号 | 约束点处最大受力/N | | |
|----|---------------------------------|---|------------|-----------------------|-----------|
| | | | F_x | F_y | F_z |
| 1 | RESTING + GUIDE WITH 10 mm GAP | 6200,6700,7200,7700,8200,8700,13200,13700,14200,14700,15200,15700 | -25115 | -46341/ -77293 (HYD) | -19629.19 |
| 2 | RESTING + GUIDE + AXIAL LIMITED | 6250,6750,7250,7750,8250,8750,13250,13750,14250,14750,15250,15750 | 0 | 829/ -44539 (HYD) | -27651.32 |
| 3 | RESTING + GUIDE | 6280,6780,7280,7780,8280,8780,13280,13780,14280,14780,15280,15780 | -5781 | 0.03/ -45020 (HYD) | 1552.23 |
| 4 | RESTING + GUIDE WITH 10 mm GAP | 6300,6800,7300,7800,8300,8800,13300,13800,14300,14800,15300,15800 | -5082 | 1571.60/ -60865 (HYD) | 11574.83 |

注:1. 加粗的节点标号受力最大; 2. HYD 为水压试验工况受力; 3. 力矩为 0。

从表 1 中可以看出,在风载荷和地震载荷等的作用下,滑动鞍座仅仅限制在轴线方向滑动的情况下,垂直于管轴线的水平方向也会产生极大的推力。

但是如果这个方向上允许其有一点滑动,水平推力则得到了极好的缓冲。所以在滑动鞍座的结构设计上,考虑使鞍座主体可以在有限的水平滑动,以缓解

水平推力的影响。但是这种滑动范围应是可控的,具体结构形式如图 3 所示。



1—角钢护栏;2—底板;3—底部弧形板;4—预埋钢板

图 3 滑动鞍座结构形式

从图 3 可以看到,该滑动鞍座结构中预埋钢板的地脚螺栓孔为圆孔而不是长圆孔,这是因为滑动鞍座底板与预埋钢板之间有底部弧形板,该结构使底板与预埋钢板以线接触的形式连接,当滑动鞍座所处的节点受到轴向力时,可以沿轴向滑动,同时有效地减小两者的摩擦。

当滑动鞍座所处的节点发生水平移动时,两端所设置的角钢则作为护栏阻止了节点的继续偏移。此时由于有水平方向的滑动,水平方向的推力已经大大缓解,但是如表 1 所示仍可能有一个约束节点存在比较大的力,于是应对此力作用于角钢的应力进行校核。^[9]通过调整角钢的长度和型号来满足设计要求。

角钢与预埋钢板焊接焊缝的有效截面积 S_1 为:

$$S_1 = L \cdot t_f \quad (1)$$

式中, L 为焊缝长度,mm; t_f 为角钢与预埋钢板焊接焊缝的焊脚高度,mm。

此处产生的剪应力 τ_1 为:

$$\tau_1 = F_x / S_1 \quad (2)$$

式中, F_x 为鞍座水平推力,N; S_1 为焊缝有效截面积,mm²。

若 $\tau_1 \leq 0.6[\sigma]_1$,则角钢与预埋钢板焊接焊缝处剪应力校核合格。式中 $[\sigma]_1$ 为焊接材料的许用应力。

角钢自身所受剪应力 τ_2 为:

$$\tau_2 = F_x / S_2 \quad (3)$$

式中, F_x 为鞍座水平推力,N; S_2 为角钢与鞍座接触时的有效截面积,mm²。

若 $\tau_2 \leq 0.6[\sigma]_{sa}$,则角钢自身所受剪应力校核合格。式中 $[\sigma]_{sa}$ 为角钢的许用应力。

在 τ_1 、 τ_2 均满足要求的情况下,水平推力可以认为已通过角钢传递到预埋钢板,此时可根据标准中的公式进行鞍座腹板、筋板以及地脚螺栓等的强度计算。^[10]

3 结语

段塞流捕集器可以稳定下游设备压力波动。本文中通过巴基斯坦 LPG 项目实例,描述了在国内外段塞流捕集器基本结构及工作原理,在原有技术的基础上,优化了管式段塞流捕集器的设计形式。通过 ANSYS 分析储液段鞍座支撑受力,设计了滑动鞍座的新结构,使鞍座在同时受较大的轴向力和横向力的作用下,仍能满足要求,对同类设备的设计建造具有重要参考借鉴价值。

参考文献

- [1] 郝云. 段塞流捕集器的设计分析研究[J]. 中国化工贸易, 2015, (21): 73-73.
- [2] 吉宁, 王磊, 孙雪琼. 超大型管式段塞流捕集器的设计与应用[J]. 新技术新工艺, 2016, (2): 26-29.
- [3] 宁铜, 许言, 赵建彬, 等. 段塞流捕集器选型及设计思路[J]. 天然气与石油, 2013, 31(4): 12-15.
- [4] 蒋春雨, 张琦. 段塞流捕集器控制原理及应用[J]. 中国造船, 2005, (B11): 373-377.
- [5] 国家能源局. NB/T 47042—2014. 卧式容器[S]. 北京: 新华出版社, 2014.
- [6] 董同武. 热力管道的补偿设计及典型问题分析[J]. 石油化工设备, 2005, (1): 38-40.
- [7] 詹德威. 管式多支座段塞流捕集器的设计[J]. 油气田地面工程, 2007, (7): 10.
- [8] ASME 锅炉及压力容器委员会. AMSE VIII, 压力容器建造规则[S]. 北京: 中国石化出版社, 2010.
- [9] 袁英, 高强生, 魏纳. 气液混输管道管式段塞流捕集器设计原理及实践[J]. 石油矿场机械, 2010, (10): 29-32.
- [10] 梁金强, 赵晓梅, 苏红莉, 等. 段塞流捕集器[J]. 油气田地面工程, 2012, (9): 99. ■