

附塔保冷管道管架及预焊件型式优化

康 剑 (北京石油化工工程有限公司西安分公司, 陕西 西安 710199)

摘 要: 为了对附塔保冷管架及预焊件型式进行优化, 文章从低温甲醇洗装置低温塔的附塔管架出发, 以某项目低温甲醇洗装置为例, 在现有附塔保冷管架及预焊件型式的基础上, 对管架及预焊件设计出一种新的支撑方案, 通过理论给出对支撑各个部位验算的方法, 同时验证支撑方案的正确性, 并与传统方案比较, 最终确定新型支撑方案更加合理。此支撑方案将使低温塔附塔管线的配管更加便利, 并在保证支撑安全性的情况下, 更加经济合理, 为同类装置优化方案提供依据。

关键词: 附塔; 保冷管架; 预焊件; 优化

0 引言

随着装置规模越来越扩大化, 如何降低能耗, 节省投资成为一个主要问题。以煤气化装置为例, 由于拥有多项优势, 低温甲醇洗在净化工段被广泛应用。低温塔和低温管道在低温甲醇洗装置中占有的比例、费用相当高, 更好地选择、设置低温塔和低温管道及其附件至关重要。现有的附塔管架及预焊件标准形式复杂, 对附塔管线间距要求高, 增加了管道布置及管架设置的难度, 并对设备预焊件的设置造成很大的影响。

本文以某工程低温甲醇洗装置为例, 通过从结构形式的复杂性, 对管道布置、管架及预焊件设置的影响等方面对比现有型式及优化后的型式, 为低温附塔管道管架及预焊件的设置提供了优化方案。

1 低温管道的定义及在低温甲醇洗装置中的应用

1.1 低温管道的定义

低温管道并没有统一的定义和范围。目前石化行业关于低温管道的温度范围定义, 有不同说法: 从管道材料方面, 一般低于等于 -20°C 定义为低温管道, 因为普通碳钢管在 $+5^{\circ}\text{C} \sim -19^{\circ}\text{C}$ 范围内处于延性状态, 可正常使用, 如果使用温度低于或等于 -20°C , 碳钢管就逐渐变为以脆性状态为主, 使用受到一定条件的限制; 而在 GB/T18984-2016 中则将低温管道范围定义为 $-45^{\circ}\text{C} \sim -196^{\circ}\text{C}$; 从工艺流程方面, 一般认为低于 10°C 为低温管道, 因为低于 10°C 管道的冷量就具有利用价值 (理论上低于 33°C - 正常换热器冷却水上水温度的管道冷量均具有利用价值); 我国还曾有习惯上对工业管道的分级 (类), 《石油化工管道安装设计便查手册》中就有按照工作温度对管道的分类。

本文所研究的低温管道为工艺流程方面需要利用冷量的管道, 通俗来说, 就是需要增加保冷绝热层的

管道。

1.2 低温甲醇洗低温段工艺流程简述

来自变换工段的原料气先与循环气混合, 经除水、降温、分离后进入吸收塔, 通过贫甲醇洗涤脱除 H_2S 和 CO_2 。吸收塔中的无硫富甲醇和含硫富甲醇经换热后将 H_2 和 CO 闪蒸解吸, H_2 及 CO 通过循环气压缩机加压循环利用。解吸后的无硫和含硫富甲醇送至 H_2S 浓缩塔, H_2S 浓缩塔富甲醇中的 CO_2 通过氮气气提解吸, 塔顶的氮气和 CO_2 混合低温气体分别与贫甲醇及原料气换热回收冷量后升温送至尾气水洗塔。可见低温段中至少包含吸收塔、解析塔、 H_2S 浓缩塔等重要低温塔器设备。由于清洗原料气的低温甲醇需要反复降温, 因此低温塔包含大量低温管道, 是低温甲醇洗单元最核心的部分, 也是配管的重点。

2 现有附塔保冷管架及预焊件形式

2.1 低温塔附塔管架设置隔冷的必要性

从冷量损失的角度看, 由于塔体覆盖有隔冷绝热层, 以 HG/T21629 中的 D23 型为例, 管架与设备预焊接触仅为 360mm 长, 16mm 厚的四块钢板, 接触面积为 0.0057m^2 。以直径 4000mm, 塔高 80000mm 的吸收塔为例, 其圆筒外表面积为 1005m^2 , 钢板和吸收塔接触的部分面积仅占全部外表面积的 5.7×10^{-6} , 基本可以忽略不计。根据圆筒形单层绝热结构计算^[1], 直径 4000mm, 塔体高度 80000mm 的冷量损失约为 34163W。管架处的热损失约为 0.8W, 管架处损失的冷量占总体冷损失的 2.3×10^{-5} , 远远低于设计工况的允许冷量损失^[1]。从安全性角度来看

表 1 某低温甲醇洗装置低温塔工作参数

设备名称	工作温度 (塔顶) $^{\circ}\text{C}$	工作温度 (塔底) $^{\circ}\text{C}$
吸收塔 I	-54.7	-8.6

吸收塔 II	-54	-20.6
CO ₂ 解析塔	-55.4	-37.2
H ₂ S 浓缩塔	-60.5	-35

表中可以看出从塔顶至塔底工作温度全部低于0℃, 由于缺少隔冷结构, 空气中的水蒸气会直接附着在管架表面结露, 在夏季环境温度较高时, 表面会形成冰层, 加强支架型钢的化学腐蚀及电化学腐蚀, 使支架可承受的荷载减小。附着的冰层还会增加支架所承受的荷载, 并且掉落时可能造成安全事故, 给整个系统带来安全隐患。因此隔冷结构的设置从安全角度来说, 是必须的^[2]。

2.2 现有附塔保冷管架及预焊件形式

既然隔冷结构对于冷塔来说是必须设置的, 那一个完整的附塔管架应包括管架、隔冷结构、设备预焊件三部分。

现有的附塔保冷管架, 管架部分参照普通支架, 以承重支架为例, 保冷支架与 D23^[3] 型类似, 仍采用正三角形支撑 (斜撑在下, 用于刚性支撑或弹簧支架) 或倒三角形支撑 (斜撑在上, 用于刚性吊架或弹簧吊架); 隔冷结构为单独在管架与设备预焊件之间设置了一个带有支架结构的隔冷槽, 隔冷槽中间放置隔冷块, 由螺栓固定, 管架与隔冷槽, 隔冷槽支架与设备预焊件焊接, 形成一个完整的附塔管架。

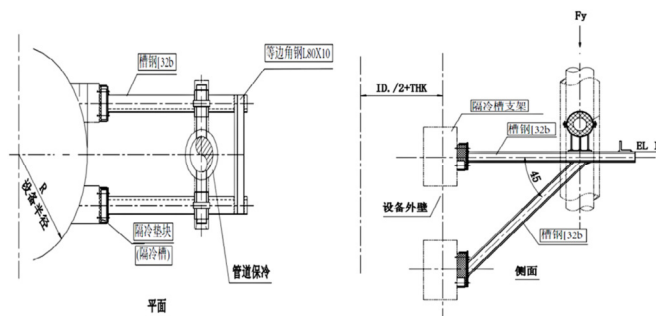


图1 现有附塔保冷承重管架

2.3 现有附塔保冷管架缺点

图中可以看出现有保冷支架的隔冷结构过于复杂繁琐, 为了单独体现隔冷的设置, 先设置了一个插槽型的结构, 将隔冷块放置在槽中, 由四个螺栓固定, 又为了将插槽与设备预焊件连接, 也为固定螺栓留出安装空间, 设置一个门型支架, 门的上部与插槽焊接, 下部与预焊件焊接, 使隔冷结构与预焊件连接。低温

甲醇洗低温塔附塔管线密集, 每个塔的附塔管架上万个, 由于结构的复杂, 导致每个管架材料用量、焊接量都大大增加, 进而提升成本; 特殊的隔冷槽和支架结构, 增大了管架与塔接触的尺寸, 同样增加了塔上预焊件的尺寸, 对本就十分紧张的配管区域来说, 无疑增加了管架设置的难度。

3 管架及预焊件优化

3.1 隔冷结构优化

要优化管架及预焊件, 主要是优化复杂的隔冷结构, 考虑在现有的普通支架上增加隔冷结构, 而不是去单独设置。同样以承重管架为例, 参考普通的 D23^[3] 型, 在管架与预焊件连接的地方, 同样由螺栓连接的结构, 考虑增加隔冷块, 隔冷块的尺寸同两侧钢板, 厚度与原管架相同, 选用 85mm 厚度, 为了使管架与隔冷块连接, 在隔冷块外侧增加一块钢板, 管架与钢板焊接, 形成一个完整的支架。同时将支撑横杆由 [16a 改为 [32b, 预焊件尺寸随支撑件调整, 斜撑角度由 35° 改为 45°, 增强支架承受荷载的能力及稳定性。图中可知, 优化后的隔冷结构较原管架简单很多, 同样能达到将管架与设备本体隔开的效果。

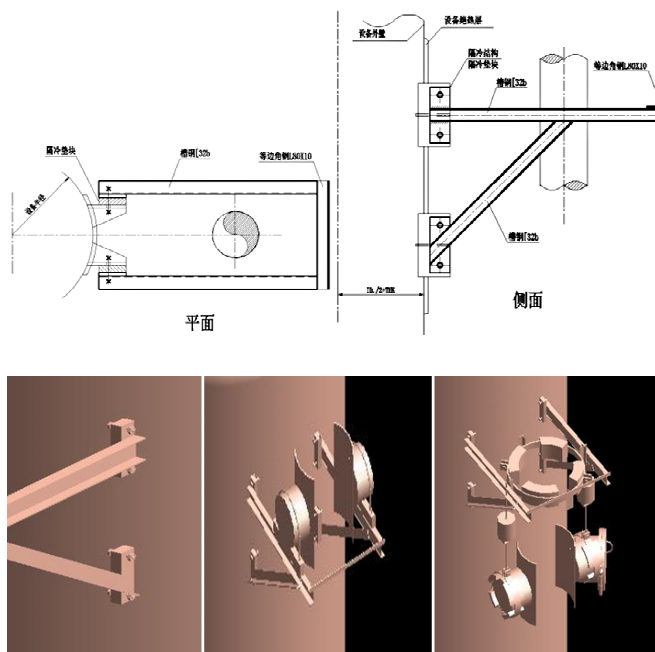


图2 优化后附塔保冷承重管架

3.2 管架力学性能复核

现在需要验证优化后的管架能否起到原有管架的作用。原有管架的许用荷载 $F_y(\text{MAX}) = 80\text{kN}$, 荷载作用位置距塔壁距离 $A(\text{MAX}) = 1700\text{mm}$; 我们将用

相同的数据验证优化后的管架,并增加 $F_x(\text{MAX})=F_z(\text{MAX})=50\text{kN}$ 的水平荷载。对于优化后的管架模型,横杆拉力标准值 $N_k=50\text{kN}$,设计值 $N=50\text{kN}\times 1.35=67.5\text{kN}$,长度 $L=1.7\text{m}$,按轴心受拉构件计算;斜杆压力 $N_k=50\text{kN}\times 1.414=70.7\text{kN}$,设计值 $N=70.7\text{kN}\times 1.35=95.4\text{kN}$,长度 $L=1.7\text{m}\times 1.414=2.4\text{m}$,按轴心受压构件计算;横杆、斜杆与设备壁相接处采用高强度螺栓摩擦型连接,螺栓群由 2 个螺栓组成,竖向剪力标准值 $V_k=50\text{kN}$,设计值 $V=50\text{kN}\times 1.35=67.5\text{kN}$,水平向剪力标准值 $F_k=50\text{kN}$,设计值 $F=50\text{kN}\times 1.35=67.5\text{kN}$ 。将整个模型分为横杆(轴心受拉构件)、斜杆(轴心受压构件)、螺栓连接节点三部分,分别验证强度及整体稳定性。

对于轴心受拉构件,根据公式 5.1.1-1^[4]:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{67.50 \times 10^3}{43.66 \times 10^2} = 15.46 \text{ N/mm}^2 < 1.00 \times f = 1.00 \times 215.00 = 215.00 \text{ N/mm}^2$$

强度满足。

按 5.1.2-2^[4] 进行计算:

$$\lambda_{yz} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\lambda_y^2 + \lambda_z^2) + \sqrt{(\lambda_y^2 + \lambda_z^2)^2 - 4(1 - e_0^2 / i_0^2) \lambda_y^2 \lambda_z^2} \right]^{0.5} = 74.69$$

受拉长细比满足。

对于轴心受压构件,根据公式 5.1.1-1^[4]:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{95.40 \times 10^3}{20.52 \times 10^2} = 46.49 \text{ N/mm}^2 < 1.00 \times f = 1.00 \times 215.00 = 215.00 \text{ N/mm}^2$$

强度满足。

根据规范公式 5.1.2-1^[4]:

$$\frac{N}{\varphi A} = \frac{95.40 \times 10^3}{0.421 \times 22.80 \times 10^2} = 99.41 \text{ N/mm}^2 < 1.00 \times f = 1.00 \times 215.00 = 215.00 \text{ N/mm}^2$$

整体稳定满足。

对于螺栓连接节点,单个高强螺栓摩擦型连接的抗剪承载力设计值:

$$N_b^v = \eta \times 0.9 n_f \mu P = 0.98 \times 0.9 \times 1 \times 0.35 \times 175.00 = 54.17 \text{ kN}$$

螺栓群受扭矩 T 和竖向剪力 V 以及水平力 F (即偏心力作用下螺栓群抗剪),采用弹性分析法,旋转中心在螺栓群形心处,受力最大的螺栓所受剪力的合力为:

$$\sqrt{(N_b^v + N_b^t)^2 + (N_b^v + N_b^t)^2} = \sqrt{(0.00 + 33.75)^2 + (0.00 + 33.75)^2} = 47.73 \text{ kN} < N_b^v = 54.17 \text{ kN}$$

设计满足。

对于螺栓中间所夹隔冷块,采用 HDPIR,抗压强度 $\geq 10\text{MPa}$,由于隔冷块两侧有等尺寸钢板,考虑隔冷块均匀受压,所能承受的压力:

$$F = PS = 10^7 \text{ Pa} \times 0.1\text{m} \times 0.52\text{m} = 520 \text{ kN}$$

满足荷载要求。

3.3 优化管架与原管架的对比

以某项目吸收塔的甲醇进料管线为例:DN450 甲醇管线,保冷厚度 100mm,管道中心距塔壁 1700mm。表 2 可见优化后的管架在材料用量上明显少于现有管架,且焊缝较少,焊接工作量同样减少。优化后的附塔管架,管架-隔冷结构-预焊件沿 F_z 方向布置,不同于原管架的 F_x 向布置,设备预焊件在最内侧,设备贴板有效得利用了管架内部的空间,减小了每一个管架所占用的区域,给管架的设置带来便利。优化后的管架,预焊件在塔体上全部处于管架内侧,管架设计或在模型中只需考虑管架碰撞,无需再考虑预焊件部分,减小了设计与校核的工作量。

表 2 按两种形式设计管架及预焊件,整个管架的材料用量

结构部件	材质	现有管架型式	优化管架型式	差值	单位
横杆 [32b]	Q235-B	4.056	4.23	-0.174	m
斜杆 [32b/L100X10]	Q235-B	2.4	2.4	-	m
隔冷块 (85mm)	HDPIR	0.5328	0.176	0.3568	m ²
隔冷结构 t=16	Q235-B	1.8	0.725	1.075	m ²
螺栓 / 螺母 M24X180	35CrMoA	8	4(高强度)	约 2.5	个
设备预焊件 t=16	Q235-B	1.0656	0.6548	0.4108	m ²

4 结论

本文通过研究优化低温塔附塔管架隔冷结构的方案,简化了附塔保冷管架形式,减小了附塔管架材料用量,降低了整体的费用与施工难度,并从各方面验证了优化方案的可靠性;通过改变管架各部分结构布置方向,有效减小管架占用的空间,为附塔管架的设计带来便利达到了优化方案的目的,并为同类管道支架的优化设计提供了依据。

参考文献:

- [1] GB50264-2013. 工业设备及管道绝热工程设计规范 [S]. 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2013.
- [2] 孙德君. 低温管道保冷失效分析及对策 [J]. 石油化工设计, 2008, 25(4): 53-55.
- [3] HG/T21629-1999. 管架标准图 [S]. 国家石油和化学工业局, 2001.
- [4] GB50017-2003. 钢结构设计规范 [S]. 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2003.