

磺化生产装置废硫酸储罐冬季伴热温度改善措施

王 达 李振超 翁 强 (大庆炼化公司化工生产二部, 黑龙江 大庆 163411)

摘 要: 通过对磺化生产装置废硫酸储罐伴热方式的选择、储罐总的热量损失的核算、传热系数的选取以及计算、换热面积、伴热线长度的计算等几个方面, 论述冬季如何维持储罐温度, 保证废硫酸的正常储存和输送。

关键词: 磺化生产装置; 硫酸储罐; 温度维持

1 废硫酸储罐伴热形式的研究

磺化生产企业在生产过程中, 其酸吸收工序会持续吸收尾气中的三氧化硫, 不断将其转化为焦硫酸, 在经水稀释后形成浓度 98% 左右, 含磺酸盐等杂质的废硫酸, 见下列反应式:



产生的含杂质硫酸最终被输送至废硫酸储罐中进行储存, 等待外输处置。考虑到硫酸的危险性, 及其在磺化生产中较大的产生量, 企业一般都在室外单独区域设置大型的废硫酸储罐。

表 1

硫酸浓度 (%)	凝固点 (°C)
73.5	-42.50
93.7	-34.86
98.0	-0.70
100.0	10.37

一些地处北方的磺化企业, 由于冬季气温较低, 如黑龙江省历年 1 月份平均气温可达 -30°C , 部分地区如漠河最低气温可达 -50°C , 给废硫酸存储和外输工作带来很大困难。查阅相关资料, 浓度不同的硫酸, 其凝固点也各不相同, 且差异较大, 如表 1 所列。由表 1 可见, 98% 浓度的硫酸, 其凝固点仅为 -0.70°C , 而这一浓度是磺化生产过程最普遍的产酸浓度, 虽然可以通过提高酸吸收系统补水量降低硫酸浓度, 获得更低的凝固点, 但随之而来的是硫酸对设备、管线腐蚀的加剧, 这显然是得不偿失的, 所以为了满足硫酸的存储温度, 保持硫酸正常的流动性, 保证硫酸正常外输, 普遍采用储罐伴热的方式, 常用伴热方式包括:

1.1 储罐底部伴热

在废硫酸储罐底部增设伴热线, 利用热水或蒸汽对罐底部进行加热。该伴热方式具有接触较为直接, 传热率高的特点。但一旦伴热线出现漏点, 则难以进行处理, 且该方式适用于新建的硫酸储罐, 对一些已建成的硫酸储罐来讲, 改造难度较大。

1.2 储罐侧罐壁伴热

在废硫酸储罐的外侧罐壁铺设伴热线, 利用热水或者蒸汽对储罐的罐壁进行加热。该伴热方式具有伴热线安装简便, 泄漏点易于发现和处理的优点, 但存在有效换热面积小, 难于满足换热需要的缺点。

1.3 储罐内部伴热

在废硫酸储罐内铺设伴热线, 利用热水或者蒸汽对罐内的硫酸进行加热, 具有换热效率高的特点, 但由于内伴热线与硫酸直接换热, 温度难于控制, 一旦超过 60°C , 会导致硫酸腐蚀度剧升高, 极易造成储罐、伴热线腐蚀泄漏, 所以一般不建议采用该种伴热方式。

1.4 电伴热

近年来, 一些企业也开始采用电伴热的方式, 即在硫酸储罐侧壁缠绕电伴热带为废硫酸储罐提供热源, 其具有升温速度快, 操作简便, 热效率高的特点。究其根本, 电伴热也是储罐管壁伴热的一种, 在此单独阐述, 只是为区别于传统的蒸汽或热水伴热形式。

1.5 伴热方式的选择

通过对上述各类伴热形式的分析和优缺点比对, 可以得出最为简便可靠, 经济环保的是电伴热方式, 但对于大多数业已建成投产多年的磺化企业来说, 多采用的仍是热水或蒸汽外盘管伴热方式, 进行电伴热改造的难度较大。而其中由于蒸汽温度较高, 伴热温度难于控制, 故更多采用热水外盘管伴热方式。因此在本文中, 就以最常见的外盘管伴热为例, 来研究磺化装置废硫酸储罐冬季的维温措施。

2 废硫酸储罐总的热量损失的计算

在废硫酸存储过程当中, 由于周边环境温度的不

断变化,致使废硫酸当中的热量持续流失。废硫酸储罐的热损主要包括罐壁的热量损失、罐顶的热量损失和罐底的热量损失。

2.1 储罐罐壁的热量损失 Q_w 的计算方法

废硫酸储罐罐壁的热量损失是指储罐的伴热线在保温之后的热量损失,因此储罐罐壁的热量损失可以按照下列公式进行计算:

$$Q_w = K_{tw} \times A_w \times (t_{aw} - t_{ai})$$

公式当中: Q_w 为废硫酸储罐罐壁的热损量,单位为 W; K_{tw} 为储罐罐壁热损传热系数,单位为 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; A_w 为储罐罐壁的外表面面积,单位为 m^2 ; T_{aw} 为储罐罐壁的外壁温度,单位为 $^\circ C$,在对储罐外壁温度的计算过程中,一般可近似的将储罐内废硫酸的温度看作储罐外壁的温度,由于磺化生产装置所产废硫酸中混有大量磺酸盐等杂质,凝固点偏高,根据经验,硫酸储罐温度一般需维持在 $10^\circ C$ 以上方可保证硫酸正常的流动性,在计算过程中将该维持温度 $10^\circ C$ 作为 t_{aw} ; T_{ai} 为周围环境的温度,单位为 $^\circ C$,一般选择生产装置所在地往年一月份的月平均温度的平均值,可根据《油品储运设计手册》表 5-5-10 查得相关数据。

2.2 储罐罐顶部的热量损失 Q_r 的计算方法

计算废硫酸储罐罐顶的热量损失 Q_r , 可以按照下列公式计算:

$$Q_r = K_{tr} \times A_r \times (t_{av} - t_{ai})$$

公式当中: Q_r 为储罐罐顶部的热量损失,单位为 W; K_{tr} 为储罐罐顶部的传热系数,单位为 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, 根据《油品储运设计手册》此处 K_{tr} 一般可取经验值 $1.2W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; A_r 为储罐罐顶的面积,单位为 m^2 。一般情况下可按公式 $A=2\pi Rh$ 计算,对于公称容积小于 $20000m^3$ 的拱顶罐 $R=1.2D$, 其中 D 为罐内径, h 为拱顶高; t_{av} 为储罐内废硫酸的温度,单位为 $^\circ C$, 此处 t_{av} 取经验值 $10^\circ C$ 。

2.3 储罐罐底部热量损失 Q_b 的计算方法

储罐罐底部热量损失 Q_b , 可以按照下列公式计算:

$$Q_b = K_{tb} \times A_b \times (t_{av} - t_{gr})$$

公式当中: Q_b 为储罐罐底部热量损失,单位为 W; K_{tb} 为储罐罐底部的传热系数,单位为 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, 此处一般可取经验值 $0.35W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; A_b 为储罐罐底部的面积,单位为 m^2 ; t_{gr} 为生产装置所在地区一年中最冷月份的地表温度,单位为 $^\circ C$ 。根据《油品储运设计手册》, 最冷月份地表温度可按最冷月份平均气

温 $+3^\circ C$ 计算。

2.4 废硫酸储罐总的热量损失 Q 的计算方法

废硫酸储罐总的热量损失为罐壁的热量损失、罐顶部的热量损失和罐底部的热量损失的总和, 即:

$$Q = Q_w + Q_r + Q_b$$

公式当中: Q 为废硫酸储罐总的热量损失, 单位为 W。

2.5 废硫酸储罐伴热系统最小供热量 Q_g 的计算方法

在实际工程计算中, 储罐的总热量损失应考虑 20% 的安全裕量, 同时应考虑伴热线热量传递给被伴热介质的效率。一般情况下, 外伴热的传热效率可取 40-60%, 此处取中间值 50%。

则 Q_g 可以按照下列公式计算:

$$Q_g = Q \times 1.2/0.5$$

公式当中: Q_g 为储罐伴热系统最小供热量, 单位为 W。

3 各个传热系数的计算方法

在对废硫酸储罐进行传热计算时, 储罐管壁的传热损失传热系数、罐顶部的传热系数和罐底部的传热系数是较为关键的参数。

3.1 传热系数 K_{tw} 的计算方法

储罐罐壁热损传热系数 K_{tw} 可以按照下列公式计算:

$$K_{tw} = \frac{1}{\frac{1}{a_0} + \frac{1}{a_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}}$$

公式当中: a_0 为保温隔热层表面至周围空气的给热系数, 单位为 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。

由于废硫酸储罐安置在户外, 根据《油品储运设计手册》可按下列公式进行简便计算:

$$a_0 = 11.62 + 6.97 \sqrt{V}$$

公式当中: V 为冬季当中的平均风速, 单位为 m/s ; a_1 为废硫酸储罐外壁到保温隔热层内侧空隙间空气的给热系数, 单位为 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, 一般在工程设计中取 $11.62 \sim 13.95W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, 此处取中间值 $12.79W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; δ_2 为保温隔热层的厚度, 单位为 m ; λ_2 为保温隔热层导热系数, 单位为 $W/(m \cdot ^\circ C)$ 。

3.2 罐顶部传热系数和罐底部传热系数的计算方法

一般在油品储运设计当中, 对储罐罐顶部和罐底部的传热系数通常采取经验公式进行计算, 但是由于计算方法比较复杂, 并且由于储罐罐顶部和罐底部的传热损失对储罐总的传热影响相对比较少, 为此为简

化计算,对储罐罐顶部和罐底部的传热系数通常选择经验值,根据《油品储运设计手册》相关数据可知:

3.2.1 储罐罐顶部的传热系数 K_{tr} 的选取

当储罐罐顶部未设置保温,而液面的温度 $< 40^{\circ}\text{C}$ 时, K_{tr} 一般取 $1.2\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

3.2.2 储罐罐底部传热系数 K_{tb} 的选取

一般的,储罐罐底的传热系数可选取 $0.23\sim 0.47\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$,此处可取中间值 $0.35\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

4 废硫酸储罐伴热线长度的计算方法

4.1 废硫酸储罐与伴热线间传热系数的计算方法

传热系数 K_1 可以按照下列公式计算:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3} + \frac{1}{a_4} + \frac{\delta}{\lambda}}$$

公式当中: K_1 为伴热线与废硫酸储罐间的传热系数,单位为 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; a_2 为伴热线内热水的给热系数,一般可取经验值 $1000\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; a_3 为热水伴热线至保温隔热层内空气的给热系数,单位为 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; a_4 为保温隔热层内空气至废硫酸储罐的给热系数,单位为 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; δ 为伴热线管壁的厚度,单位为 m ; λ 为伴热线的导热系数,单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

4.2 伴热线传热面积的计算方法

伴热线传热面积 F 可以按照下列公式计算:

$$F = \frac{Q}{K_1 \times (t_v - t_w)}$$

公式当中: F 为伴热线的传热面积,单位为 m^2 ; t_v 为伴热线内热水的工作温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$; t_w 为废硫酸储罐的外壁温度,根据油品储运设计基本原则,一般可不考虑储罐内废硫酸对外壁的传热,因此储罐外壁的温度可近似的看成与储罐内硫酸的温度一致,故在此处取可保持硫酸流动性的维持温度 10°C 作为 t_w ; $t_v - t_w$ 为伴热线与废硫酸储罐之间的传热温差,单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

4.3 废硫酸储罐伴热线长度的计算方法

伴热线长度 L 可以按照下列公式计算:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d}$$

公式当中: L 为伴热线的长度,单位为 m ; D 为伴热线的外径,单位为 m 。

5 维持储罐正常温度的措施研究

通过前面对废硫酸储罐伴热形式,以及总热量损失的研究,我们可以得知,若要维持储罐正常的温度,

就要保证给热量与总热量损失之间的平衡,对于各种因素造成的储罐维温困难,可通过采取以下措施来进行弥补:

5.1 提高热水管网温差

由热量计算公式 $Q=cm\Delta t$,在 c 、 m 不变的情况下,通过适当提高管网温差 Δt 的办法,可以实现给热量 Q 的提高,但受管网耐温性、管径大小等因素限制,更有一些企业出于节能降耗的考虑,有意下调管网来水温度,使得在实际生产中该方法的应用受到了较大的限制。

5.2 提高热水管网流量

仍由热量计算公式 $Q=cm\Delta t$,在 c 、 Δt 不变的情况下,通过提高管网流量 m 的方法,也可以实现给热量 Q 的提高,这也是目前国内普遍采用的“大流量小温差”的运行方式。但采用此种方法,也会带来供热水泵电耗的急剧增加,管网输送能力严重下降,热交换设备数量增加等一系列问题,因此在一些生产企业中,该方法的使用也受到了一定的限制。

5.3 增加伴热线面积

相较而言,企业在现有条件下,适当增加硫酸储罐伴热换热面积,亦即适当增加伴热线长度,是较为简单可行的提升储罐温度的方法,具有投资小,效果好,经济实用的优点。

由公式:

$$F = \frac{Q}{K_1 \times (t_v - t_w)}$$

可知,在伴热线与储罐之间的传热系数 K_1 不变的前提下,伴热线与储罐之间的传热温差 $t_v - t_w$ 减小,若要保持 Q 值不变,则可相应增大换热面积 F 。而根据 $L=F/\pi d$,即可算的相应增加的伴热线长度。

6 结束语

冬季储罐维温工作意义重大,在储罐伴热方式的选择、热源供应等方面既要满足工艺需求,又要考虑设备、能源等综合成本和经济效益,还要考虑便于操作和日常维护,只有综合考虑各项因素,确定合理的维温方式,才能保证企业冬季平稳生产运行。

参考文献:

- [1] 叶屹. 浓硫酸储罐伴热设计的探讨 [J]. 山东化工, 2017,46(12):3.
- [2] 李征西徐恩文. 油品储运设计手册 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.