

烟气制酸系统热交换多样化快速 修复技术的研发及应用

金川集团股份有限公司, 甘肃金昌 迟栈洋 史万敬 张曦文 谢成 刘元戎

[摘要] 在冶炼烟气制酸系统中, 热交换器正常工作期间处于高温工作状态, 列管内外流经冷热两种烟气, 停车检修、开车, 又面临降温、升温过程。在热应力作用下, 热交换器壳体、进出口烟道以及列管等焊缝时常裂开漏烟, 污染现场环境。若不及时处理, 漏点会越来越严重; 但正常生产期间热交换器内带正压, 漏点无法焊接。因此, 小漏点时等月检处理, 期间作业现场污染严重; 大漏点时申请停产处理, 影响冶炼、化工正常生产组织, 会造成经济损失。针对制酸系统热交换器存在的上述问题, 研发了多样化快速修复技术。

[关键词] 开裂 带压 补漏

Gas sulphuric acid system heat exchange diversification the development and application of fast repair technology

ZhanyangChi, WangjingShi, XiwenZhang, ChengXie, YuanrongLiu

(Jinchuan Group corporation limited ,Jinchang Gansu 737100)

Abstract: During the normal work of the heat exchanger in high temperature working condition, the tube inside and outside two flue gas flows through hot and cold, parking overhaul, drive, and faced with cooling and heating process. Under the effect of thermal stress, heat exchanger shell, import and export flue weld cracks often smoke leakage, such as the scene environment pollution. If not handled in time, funnelled will be more and more serious; But during the normal production of heat exchangers with positive pressure, funnelled couldn't welding. Therefore, little funnelled monthly test processing, such as the job site during severe pollution; When big funnelled application production processing, influence the normal production of metallurgy, chemical industry group, will cause economic losses. The problems of the heat exchanger for acid systems, the fast repair technology developed diversification.

Keywords: Cracking; With pressure; Bare.

金川公司化工厂 700kt/a 制酸系统于 2008 年 8 月建成投产, 配套处理富氧顶吹冶炼烟气, 是国内最大的冶炼烟气制酸系统。转化工段采用了四段“3 + 1”两次转化, “IV、I - III、II”换热流程。热交换器正常工作期间处于高温工作状态, 列管内外流经冷热两种烟气, 停车检修、开车,

又面临降温、升温过程。在热应力作用下，热交换器壳体、进出口烟道以及列管等焊缝时常裂开漏烟，污染现场环境。若不及时处理，漏点会越来越严重；但正常生产期间热交换器内带正压，漏点无法焊接。因此，小漏点时等月检处理，期间作业现场污染严重；大漏点时申请停产处理，影响冶炼、化工正常生产组织，会造成经济损失。针对制酸系统热交换器存在的上述问题，研发了多样化快速修复技术。

1 热交换器列管穿孔、壳体腐蚀原因分析

金川公司化工厂 700kt/a 制酸系统 III 号热交换器是一吸塔吸收后的 SO_2 烟气与三层 SO_3 进行热量交换的设施，在四台热交换器中，是冷热介质温差最大的一台。由于一吸塔采用直筒式除沫器，该除沫器具有漏气率低、除沫效率高等特点，但也具有其局限性。一般直筒式除沫器采用法兰固定的方式，安装于隔板之上，详见下图所示。

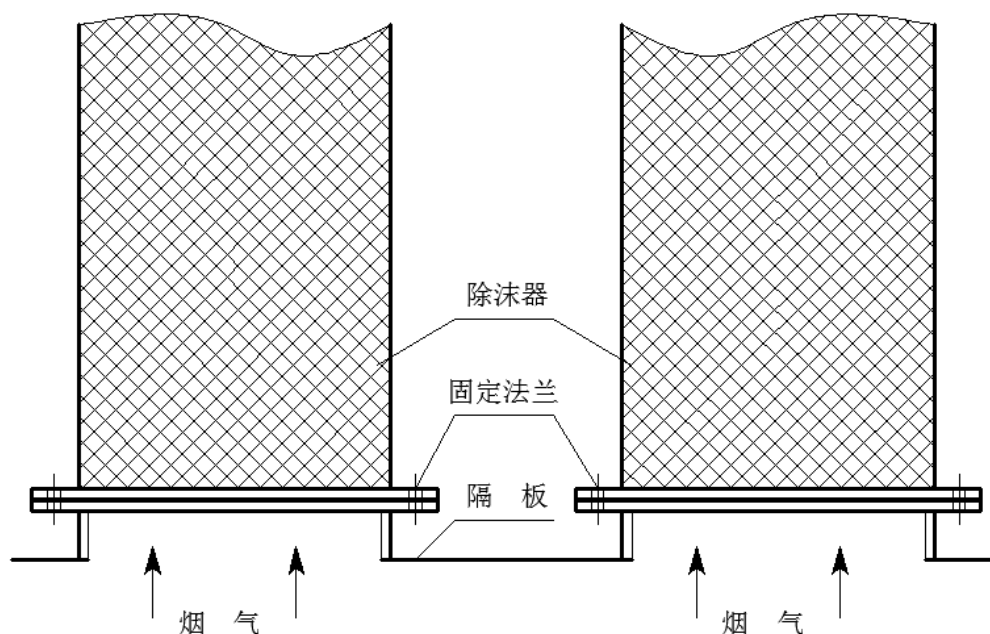


图 1 直筒式除沫器结构原理图

当有一台除沫器发生泄漏时，烟气中的 SO_2 以及酸雾就会在除沫器四周形成酸泥，大量积攒于法兰面以下。长此以往，316L 材质的除沫器固定短接即被腐蚀，位于一吸塔内部的除沫器就会产生多米诺效应，逐个泄漏，影响一吸塔的除雾效果。此时，含有大量酸雾的烟气直接进入 III 号热交换器壳体，在换热管四周形成冷凝酸，由于换热管管及外壳普遍采用碳钢材质，不具备一定的耐腐蚀性能，导致换热管不断逐个腐蚀，热交换器外壳被腐蚀穿孔，影响热交换器换热效率，影响热交换器周围的工作环境。

同时，由于风机出口烟气水分升高，提高了管程酸冷凝温度，造成热交换器换热管内部冷凝酸较多，换热管传热效率不均，管程腐蚀严重。详见图 2。



图2 热交换器内部腐蚀情况

根据导热速率 Q 的计算公式：

$$Q = -\lambda S \frac{dt}{dx}$$

当 $x=0$ 时, $t=t_1$; $x=b$ 时, $t=t_2$; 且 $t_1 > t_2$ 。积分可得

$$Q = \frac{\lambda}{b} S (t_1 - t_2)$$

或

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{b}{\lambda}} = \frac{\Delta t}{R} \quad q = \frac{Q}{S} = \frac{\Delta T}{\frac{b}{\lambda}} = \frac{\Delta t}{R'}$$

式中： b ——壁厚， m ； Δt ——温度差，导热推动力， $^{\circ}C$ ； $R=b/\lambda S$ ——导热热阻， $^{\circ}C/W$ ； $R'=b/\lambda$ ——导热热阻， $m^2 \cdot ^{\circ}C/W$ 。

根据上式可以看出，换热管中的酸泥增加了其厚度，与热阻成正比，影响换热器的换热速率。一般情况下，流体的温度和速度一样，仅在靠近板面的薄流层中有着显著的变化，即在此薄层中存在温度梯度，我们称之为热边界层。在热边界层以外的区域，流体的温度基本相同。而热边界层愈薄则层内的温度梯度越大。

依据傅里叶定律可知：

$$dQ = -\lambda dS \left(\frac{dt}{dy} \right)_w$$

式中： λ ——流体的导热系数， $W/(m \cdot ^{\circ}C)$

y ——与壁面相垂直方向上的距离， m ；

dt/dy ——壁面附近流体层内温度梯度。 $^{\circ}C/m$ 。

同时上式与对流传热速率方程可转化为：

$$\alpha = -\frac{\lambda}{T - T_w} \left(\frac{dt}{dy} \right)_w = -\frac{\lambda}{\Delta t} \left(\frac{dt}{dy} \right)_w$$

当边界层内、外界的温度差一定是，热边界层愈薄，则 dt/dy 愈大，对流传热系数愈大；反之愈小，温差梯度大，热平衡难以维持，较易形成冷凝酸。

由于热交换器在转化系统的热平衡中起到至关重要的作用和意义，它的稳定、可靠运行，直接影响着整个制酸系统的转化率和成品酸的达产达标。

2 多样化快速修复技术的研发

车间在检修期间对III号热交换器管程、壳程进行了检查及评估，发现该热交换器管程四周酸泥深度高达 300mm，且换热管内部堵塞及腐蚀穿孔严重，壳体漏点居多，设备本体烟气泄漏严重。换热器换热效率大幅下降，且已处于无法满足转化系统的热平衡的状态。为此为了满足镍系统的正常生产、延长热交换器的使用寿命，填补新热交换器的加工制作时间。车间讨论及研究了一种多样化快速修复技术。多样化快速修复技术主要针对换热管不同的腐蚀情况，其主要包含有换热管腐蚀较轻的简易堵漏技术和腐蚀严重的快速堵漏技术。

其一，通过将具有耐腐蚀性能的防腐胶泥沿热交换器换热管四周填补，以确保 SO₂ 气体不会泄漏流窜到 SO₃ 管程内部，详细见下图所示。

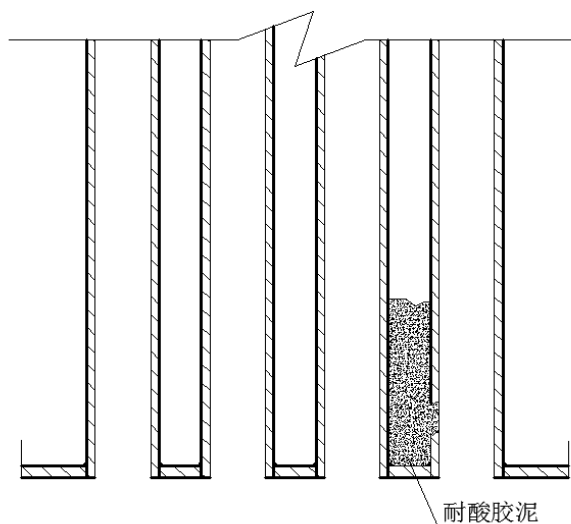


图3 热交换器换热管修复方案效果图

具体实施措施如下：

首先进入热交换器壳程内部，检查热交换器换热管的腐蚀情况，并使用干抹布对壳程内的酸泥进行彻底清理；检查出腐蚀穿孔的换热管后，按照一定的比例调和耐酸胶泥，填补穿孔。胶泥配比如下表所示：

表1 修复材料性能表

配 比	腻子粉	水玻璃		氟硅酸钠
		用量	密度	
重量比	100	100	1.38-1.5	15

该处理方法既节约了时间和检修费用，又满足系统工艺要求；由于换热面积未做任何减少，

保证了热交换器本身的换热效率。

其二，对于腐蚀严重的换热管采用上、下堵头盲死的方案，减少换热管内部串气的情况，同时避免形成冷凝酸。

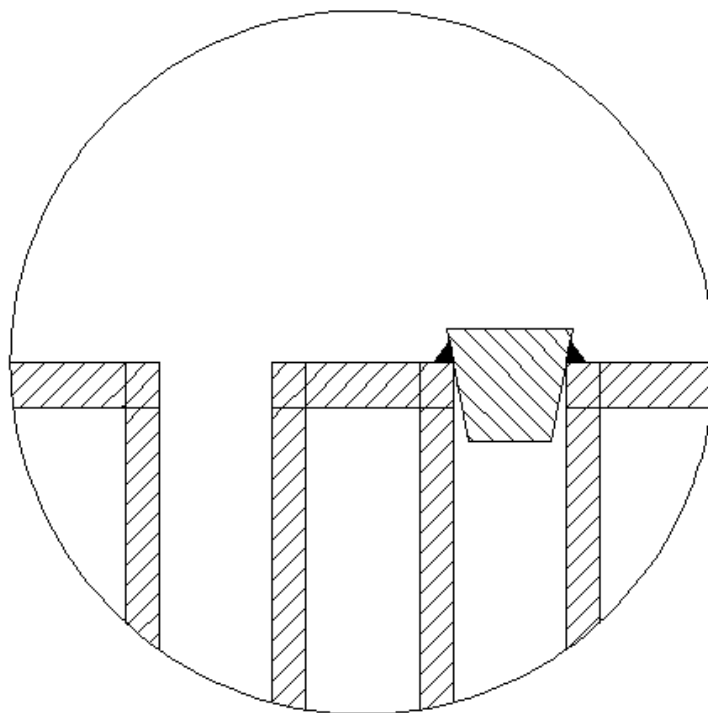


图4 双堵头焊接示意图

由于换热管与花板的连接处属于几何形状突变区，焊接缺陷将导致管板与换热管连接处可能存在较大的残余应力，设备运行期间，在流体的腐蚀和诱导振动的双重作用下，容易出现应力腐蚀开裂、缝隙腐蚀和振动疲劳破坏，它们之间的相互影响又将加剧连接处的破坏速度。为此，采用上、下双堵头的方式可避免并消除此应力造成的腐蚀。

对于部分换热管靠近壳程底部的穿孔，加工制作 $\Phi 41 \times 3$ ，300mm长的小管进行补焊处理，同样避免影响换热器整体的换热面积，保证换热效率。

硫酸系统转化工序中，长期处于高温工作状态，在停车检修后，转化工序降温，再升温进行生产时，由于热应力作用，经常有焊口发生开裂，在发现漏点后，如不及时处理，漏点会越来越严重。III号热交换器受冷凝酸的影响，间接导致设备壳体漏烟，不仅影响转化系统整体的热平衡，而且对周边的生产环境产生很大影响。由于在系统正常生产时，转化工序内带有正压，无法对漏点进行焊接，所以只能申请停车进行补漏。而系统停产，会造成一定的经济损失。

为此，研究了两种带压生产过程中设备漏点的快速处理方法。其一采用新型高分子半固体复合修复材料（材料性能表见表2）实现快速堵漏技术，该修复材料可在酸性条件下完全固化，并且密封性强。凭借其独有的物理特性，实现带压情况下的快速堵漏修补技术。

表 2 修复材料性能表

指标名称	指标值	指标名称	指标值	指标名称	指标值
外观	淡黑色稠状液体	膨胀倍数	1-1.5	耐寒性℃	-100
粘度 Pa. s	1.380-1.390	抗压强度 MPa	7	耐热性℃	+850
比重	1.380-1.390	抗渗性能	无变化		
固结强度 MPa	10	耐酸性能硫酸 98%	无变化		

该快速修复技术具体实施方法如下：

首先根据热交换器漏烟点，扒开热交换器外部的保温层，根据漏点的大小加工制作注胶箱，并将箱体焊接与漏点四周处，同时相应钻孔。准备好修复材料后，使用注胶泵将胶液注入设备并保持一定压力，压力控制在 0.1Mpa-10Mpa，1 个孔注胶时，相邻孔出胶，胶液将按设备夹层内的纹路进行填充。最后对注完胶的孔安装螺丝，一般胶液固化 24 小时后形成胶膜，起到了一定的密封作用。

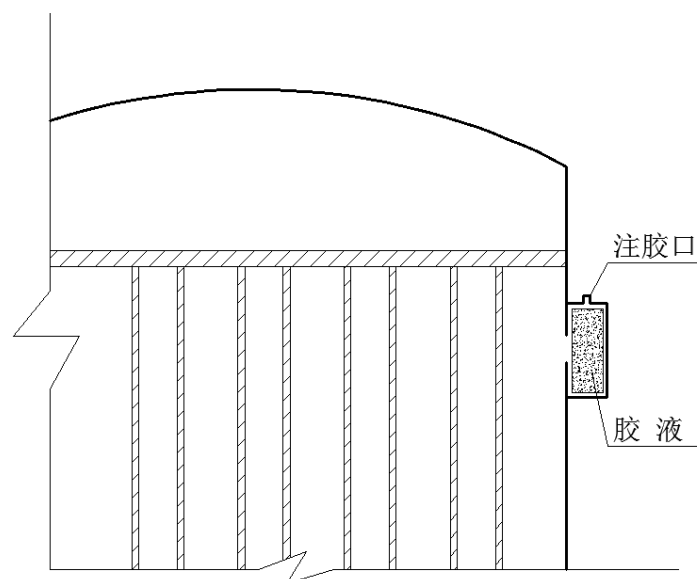


图 5 带压快速修复技术效果图

其二，根据漏点尺寸，加工只有 5 个面的小铁盒一个，使其扣在漏点上后，保持较小的缝隙，方便焊接。在铁盒上方焊接一个 4 分丝头，并安装一个 4 分球阀，球阀后连接真空泵。

在系统正常生产时处理转化工序的漏点，可以将小铁盒扣在漏点上，先点焊，将小铁盒进行固定，开真空泵，保证接缝处压力基本平衡，开始进行焊接，焊接完成后，将球阀关闭，断开真空泵即可将漏点处理完成。

在带压快速修复技术中，起决定作用的即是密封胶和箱体。而密封胶应主要由热固化性质的高分子材料及其他辅料组成，以固体形态存在的物料。它是接触泄漏介质的第一道防线，是抵抗

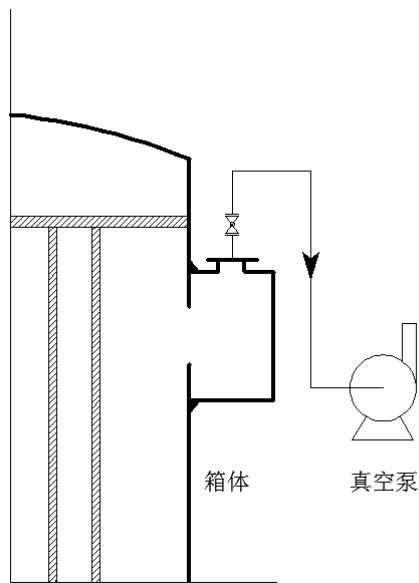


图6 真空带压快速修复技术效果图

泄漏介质化学及物理破坏的有效密封材料，既要耐介质、温度，又要能承受一定的压力。密封胶的性能应满足以下要求：①耐介质性：应不溶于为其所堵的介质，化学稳定性要好。②耐热性：堵漏密封后的耐温性要好，在工作温度范围内不挥发、不分解，保证在堵漏有效期内不发生泄漏。③密封胶要有适宜的固化时间，以满足堵漏施工的要求。④密封胶在密封空间内残余收缩量要小，最好能不收缩。⑤密封胶要有良好的塑性、流动性和填充性，以便注射时很容易地充满整个注射空间。⑥密封胶易于清除，无腐蚀性，不污染被堵介质，无毒，易保存。

密封胶根据在受热条件下的特性，分为热固化和非热固化两种类型。热固化类密封胶流动渗透性好；非热固化类密封胶封堵性能好，但流动性差。在不同的条件下，选择合适的种类使用，有时甚至组合使用，会达到较好的效果。尽管现阶段密封胶的研发和应用已经取得了一定的成果，但还有待研究以适应更多的介质、更大的温度和压力使用范围。

箱体也是带压修复技术的重要组成部分之一。箱体是加装在泄漏缺陷的外部与泄漏部分的外表面共同组成新的密封空腔的金属构件。在带压堵漏技术应用中，许多工作量都是围绕着箱体的构思、设计、制作来进行的。箱体的作用是包容住密封空腔内的密封胶，防止密封胶外溢，并且承受注剂枪产生的注剂压力以及泄漏介质压力，提供了密封和强度保证。箱体常用的结构形式主要有矩形箱体、圆形箱体、三角形箱体等。

箱体厚度的计算公式一般如下式所示：

$$S = \frac{P_c D_i}{2[\sigma] \phi - P_c}$$

式中：S——箱体厚度，mm；

P_c ——箱体的设计压力，一般为系统压力加 5MPa 的保险压力，MPa；

D_i ——箱体大小直径, mm;

$[\sigma]_t$ ——材料的许用应力, MPa;

Φ ——焊接接头系数, 无损检测 $\Phi=1.00$; 局部无损检测 $\Phi=0.85$; 单面焊接接头: 100%, 无损检测 $\Phi=0.9$; 局部无损检测 $\Phi=0.8$ 。

一般采用箱体的加工材质为 Q235A, 普通碳钢材质。由于碳钢属于塑性材料(在外力作用下, 虽然产生较显著变形而不被破坏的材料), 其许用应力的计算公式为:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s}$$

式中: σ_s ——碳钢管道的屈服极限, MPa;

n_s ——碳钢管道的安全系数, 一般塑性材料为 1.5-2.0。

查询材料力学可以得知, 碳钢管道的屈服极限为 235MPa, 计算得之碳钢管道的许用应力为 156MPa。同时, 带入箱体厚度的计算公式中得知箱体的厚度为 10mm。所以车间利用 10mm 厚的钢板加工制作快速堵漏箱体, 实现对 III 号热交换器漏点的修补。

3 多样化快速修复技术的应用

多样化快速修复技术均成功应用于 700kt/a 制酸系统。在短期停产时间内进行多样化注胶和堵头修复, 缓解了 4 台热交换器的串气问题, 保证了转化率, 延长了设备的使用寿命。应用于壳体补漏后, 热交换器出现问题随时处理, 保证了现场作业环境。多样化快速修复技术已还为新换热器的加工制作周期提供了时间保证。此技术已成功推广应用于化工厂其它几个制酸系统, 使用效果较好。

[参考文献]

[1] 邱良曾. 《外热交换器的修复及使用》. 《硫酸工业》1996 年第 1 期。

作者简介

迟栈洋, 男, 学士学位, 二级助理工程师, 负责所在车间的设备维护及检修工作,

电话: 15101928790; E-mail: hgczy@jnmcc.com。