**空冷器管束腐蚀原因及防护措施**

**1 概述**

        空冷器作为一种大型换热设备，广泛应用于石油化工行业，然而对于空冷器管束经常用于高温、高压、高腐蚀工况状态下，因此对其腐性能具有较大考验，直接影响设备安全、稳定运行，因此对管束常见腐蚀类型进行分析，提出保护措施，以提高产品使用寿命。

**2 空冷器管束常见腐蚀种类**

        （1）点腐蚀，空冷器管束承压材料在含有溶解氧和危害性阴离子（主要为CL离子）的介质中，经过一定的时间后，大部分表面不发生腐蚀或腐蚀较轻，但在表面上个别点或微小区域内出现孔穴或麻点，随着时间的推移，蚀孔不断向纵深方向发展，形成小孔状腐蚀坑，即为点蚀，由于蚀点严重时可使设备穿孔，因此又称为小孔腐蚀或孔蚀。

在空冷换热器管束设计制造中重要影响因素包括：

a.热处理时效温度的影响：对于不锈钢管束来说一般主承压件焊后不进行热处理，但是奥氏体不锈钢经固熔处理后具有最佳的耐点蚀性能。对于其它不锈钢材料来说在某些温度下进行退火或回火等热处理会产生沉淀相，从而增加点蚀的倾向。

b.随着管束金属材料表面光洁度的提高，其会使耐点蚀性能增强，但是在冷加工使金属表面产生冷变加工硬化时，会导致耐点蚀能力下降。因此对于非常用材料与使用工况一般进行点腐蚀试验评定：一般可分为化学浸泡法、电化学测量法和现场试验法三类，耐点腐蚀性能评定的内容包括：点蚀深度、点蚀密度、腐蚀速率、腐蚀面积等。并将腐蚀速率与蚀孔分布、形状、尺寸、密度、深度等结合起来。

        （2）间隙腐蚀，是由于金属之间或金属与非金属形成微小的间隙（一般在0.025～0.1mm），换热介质滞留在间隙内，而且这种介质中存在具有危害性的阴离子时所产生的一众腐蚀形式，其腐蚀结果会导致材料强度降低、局部附加应力增大、材料承载力降低。

在空冷式换热器中通常在板材搭接处、法兰密封面连接处、垫片密封处、基管与衬管之间或锈层产生间隙腐蚀，其中基管与衬管之间最容易产生间隙腐蚀。因此在产品设计中往往将基管与衬管采用全程胀接已消除两者之间的间隙。

对于空冷式换热器通常采用丝堵密封结构，通过金属垫片密封，在垫片两面分别与丝堵、管板进行接触，在微观上存在一定的间隙，而垫片与管板之间承受着换热介质腐蚀，由于压力、温度、振动等因素导致密封尖端存在间隙腐蚀，容易导致垫片密封失效。

        （3）冲刷腐蚀，包括冲蚀、磨耗腐蚀，是金属表面与流体介质之间由于高速相对运动引起的金属损伤。冲刷腐蚀的金属表面一般承沟槽、凹谷、泪滴状，且表面光亮无腐蚀沉积物。

与其它应力作用下的腐蚀相比，冲刷腐蚀影响因素较为复杂，除了材料本身的化学成分、组织结构、机械性能、表面粗糙度、耐腐蚀性能等，还与介质温度、PH值、溶氧量、固相颗粒度和硬度以及流过部件的形状、结构、流体的流速和流态有很大的影响。

在空冷式换热器中最容易产生冲刷腐蚀的部位就是基管与管板焊接处，由于基管与管板一般采用单层或双层焊接，焊脚高度在1.5～2mm之间，长时间冲刷会使得焊缝减薄，直至泄漏，因此合理设计换热器结构类型可有效降低冲刷腐蚀速率，通常采用回流管箱形式改变流体流向轨迹，或在基管中加入阻流带，阻流带可作为一种缓冲部件降低介质流速，改变介质流程。

        （4）晶间腐蚀，金属材料在特定的腐蚀介质中沿晶界发生的一种局部选择性腐蚀。晶界是不同晶粒之间的交界。由于晶粒有着不同的位向，故交界处原子的排列必须从一种位向逐步过渡到另一种位向。因此，晶界实际上是种“面型”不完整的结构缺陷。

产生晶间腐蚀的条件：a.金属或合金中含有杂质，或者有第二相沿晶界析出。b.晶界与晶粒内化学成分的差异，在适宜的介质中形成腐蚀的电池，晶界为阳极，晶粒为阴极，晶界产生选择性溶解。c.有特定的腐蚀介质存在。在某些合金-介质体系中，往往产生严重的晶间腐蚀。例如奥氏体不锈钢在弱氧化性介质或强氧化性介质的特定腐蚀介质中，可能产生严重的晶间腐蚀。

        晶间腐蚀试验方法及其评定方法：目前列在标准中的基本有五种：草酸电解浸蚀法、沸腾65%硝酸法、沸腾硫酸-硫酸铁法、沸腾硫酸-硫酸铜法和硝酸-氢氟酸法。

        （5）应力腐蚀，材料在应力和腐蚀环境的共同作用下引起的破坏叫应力腐蚀，作为一种脆性失效模式，具有极大的危害性，材料在应力因素单独作用下的破坏属于机械断裂或机械疲劳断裂；材料在腐蚀状态下受到介质单独腐蚀属于环境腐蚀，在应力因素与腐蚀环境共同作用下产生的腐蚀破坏导致断裂、开裂，成为腐蚀开裂。

对于空冷热器往往因为腐蚀开裂导致泄漏，其中最常见的腐蚀开裂为硫化氢应力腐蚀开裂（SSCC）是指管束承压材料在硫化物介质中受拉伸应力作用发生的脆性断裂现象，引起应力腐蚀开裂通常具备三个条件：a.金属在该介质环境中具有应力

        腐蚀开裂的倾向；b.由承压材料组成的结构接触或处于选

        择性的腐蚀介质中；c.有高于一定水平的拉应力。

**3 腐蚀率测试**

        腐蚀率是评定金属耐腐蚀性能的重要指标。金属在遭受腐蚀过程中，其重量、组织结构、外形尺寸、表面状态、力学性能等均会发生一定变化，宏观与微观的变化率可用来体现金属腐蚀的程度，因而会有不同的腐蚀率测试方法，对于空冷器管束常用的方法有电阻法、失重法和线性极化法等。

        电阻法是根据金属试样由于腐蚀作用使横截面积减少，从而导致电阻增大的原理，利用此方法可以在空冷器管束运行过程中对设备的腐蚀状况进行连续地监测，能够准确地反映设备运行各阶段的腐蚀速率及其变化，且能适用于各种不同介质。电阻法快速，灵敏，方便，可以监控腐蚀速度较大工况下。

        线性极化法是一种非常适用于监测的方法，其具有灵敏度高、对腐蚀情况变化响应快等特点，能获得瞬间腐蚀速率，可以及时地反映管束工况条件的变化，然而此种方法是基于稳态条件获得腐蚀速率的，因此所测物体是均匀腐蚀或全面腐蚀，不能适用于局部腐蚀。

        失重法是常用的腐蚀速率测定方法，简便易行，结果可靠。通常采用挂片测试，挂片的材质与空冷式换热器主体承压材料一致，挂片的形状、大小可根据试样可根据试验情况、需要确定。试验前应对挂片进行表面处理，须先经砂纸打磨去锈抛光，用丙酮等溶剂去油污脱脂，蒸馏水冲洗干净，并在50℃下干燥。把挂片浸入腐蚀溶液中，通过对挂片重量进行检测，从而测其腐蚀速率。

**4 腐蚀防护措施**

        4.1 材料合理選用

        正确的材料选用是控制腐蚀的关键环节之一，且应遵循以下原则：

（1）材料的耐腐蚀性能应满足设备的使用环境要求，根据介质的腐蚀类型、敏感性、腐蚀速率等特点，分析使用环境，合理的选材控制；

（2）材料的物理性能、机械性能和加工工艺性能应满足设备的设计与加工要求，如必要的强度、硬度、冲击韧性、疲劳性能、耐热性能以及可焊性等。对于空冷式管束在含氢、硫介质工况下，通常选用镍基合金和双相不锈钢材料，其中双相不锈钢是一种新型材料具有优良的耐腐蚀、高强度和易于制造加工等诸多优异性能于一身的钢种，它的物理性能介于奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢之间，更接近于铁素体不锈钢和碳钢。

        4.2 结构合理设计

        产品设计必须从防腐的角度出发，根据材料和所处环境忒丢按，严格计算和确定使用应力，进行合理的防腐结构设计。其需要注意以下几点：（1）外形力求简单；（2）防止积水和积尘；（3）尽量避免尖角、凹槽和缝隙；（4）尽量避免电位相差较大的金属连接；（5）避免使用应力、装配应力和残余应力在同一个方向上叠加。

        4.3 制造工艺改进

        材料在加工和装配工程中，也会造成腐蚀或留下腐蚀隐患，

如：（1）机加工过程容易产生残余应力；

（2）应慎重选择热处理规范，避免因热处理不当引起的晶间腐蚀、应力腐蚀、氢脆等，尽量避免在敏化温度区保温，对可能产生较大残余应力的热处理工艺，应有消除残余应力的措施；

（3）焊接方式的不同，材料的腐蚀敏感性亦不同，为减小焊接后的应力，还应注意焊接顺序的设计，尽量减小工件的变形，焊接后焊缝处的残渣应及时清理，以避免引起局部腐蚀；

（4）对于工件焊接、加工完成后应进行脱脂、清洗处理，避免残夜腐蚀工件，在特定工况环境下，空冷器管束可采用镍磷镀方法对内部进行内部防腐处理；

（5）设备装配时

        不应造成过大的装配应力，设计时要提高精度减小公差，装配时要采用合理的装配方法，避免应力集中。

**5 结束语**

        只有对设备腐蚀类型的深入掌握对其进行有效控制，并加以防护措施，才能有效保证空冷器管束安全、稳定运行，提高使用寿命，因此对材料、设备的腐蚀研究是行业中重要研究课题之一。