

合成氨水冷器换热管断裂失效对策分析

费文华（青海盐湖元品化工有限责任公司化肥厂合成氨二车间，青海 格尔木 816099）

牛春晓（青海盐湖元品化工有限责任公司 PVC 厂 VCM 二车间，青海 格尔木 816099）

武 凤（青海盐湖元品化工有限责任公司 PVC 厂 VCM 一车间，青海 格尔木 816099）

摘 要：合成氨是一种常见的化工原料，在大型氨合成装置投产后这种原料的数量大幅提升。基于此，本文以提高合成氨装置实用性为目标，对合成氨装置中的水冷器换热管断裂处理问题进行了研究。文章以某企业 60 万 t 氨合成装置的水冷器换热管断裂问题为例，对换热管断裂失效检测和处理要点进行了论述，希望能为相关工作人员带来参考。

关键词：氨合成装置；水冷器；换热管；故障处理

Abstract: Synthetic ammonia is a common chemical raw material, the quantity has greatly increased after large ammonia synthesis plant. Based on this, the utility of the synthetic ammonia device is improved. Taking the fracture of water cooler heat exchanger pipe of 600,000 t ammonia synthesis device as an example, it discusses the failure detection and treatment points of heat exchanger pipe fracture, hoping to bring reference to the relevant staff.

Key words: ammonia synthesis device; water cooler; heat exchanger tube; fault treatment

0 引言

氨合成装置当中，水冷器具有极为重要的作用，这一设备的运行安全将会影响整套装置的运行稳定性。为满足氨合成装置产能扩大的要求，氨合成装置的设备参数在不断加大，提高了设备结构的复杂性，也增添了设备运行故障的影响因素。在实际作业环节，故障检修人员需要通过科学检测与分析提出针对性处理方案。

1 合成氨水冷器换热管断裂案例概述

本文所选案例为某企业在 2018 年投产的 60 万 t 氨合成装置，在试运行阶段发现装置中的水冷器存在管壳程连通情况。具体情况是管程氮气试压条件下，以 1700m³/h 流量的循环水为壳程介质并开展水压试验后发现，靠近壳程冷却水入口的换热管出现了断裂问题，断裂位置是换热管胀管的起胀处。为保证氨合成装置运行，对断裂管进行了堵管处理，但设备运行 3 个月后再次出现了换热管断裂问题，断裂管在第一次断裂的换热管附近，不过此次换热管的断裂位置位于换热管板根部。在案例中，两根换热管的断裂位置并不相同且都不属于常见的断裂情况，所以相关工作人员对断裂原因进行了初步分析，维修人员认为振动疲劳、生产缺陷以及过胀是导致装置水冷器换热管断裂的主要原因。为确定氨合成装置水冷器换热管的断热失效原因、制定针对性、可行性优化方案，相关工作人员决定开展检测分析。

2 合成氨水冷器换热管断裂失效分析

在开展合成氨水冷器换热管断裂失效分析时，相关工作人员需要从取样检查、检测分析和振动分析等角度出发，进行多元化、具体化、直观化推断和分析，从而确定导致合成氨水冷器换热管断裂失效的根本原因。

2.1 取样检查

在失效分析当中，取样对象是合成氨水冷器中出现断裂

的换热管。相关工作人员需分别从两根断裂的换热管中取样，第一次断裂的换热管样品为样品 1，第二次断裂的换热管样品为样品 2。

取样后，应分别对样品 1 和样品 2 进行宏观检查。比如，观察两个样品的外观形貌，检查样品中是否存在碰撞变形的痕迹或磨损情况，确定断裂换热管内部是否存在结垢物。在本次案例当中，样品 1 中存在大量水垢且腐蚀严重，样品 2 中并未有明显腐蚀或结垢情况。

2.2 检测分析

仅凭肉眼观察无法确定合成氨水冷器换热管断裂失效原因，所以相关工作人员还需要通过检验检测等方式对换热管断裂成因加以分析。此时，需要以样品 1 和样品 2 为基础进行成分参数测定与检验分析。

2.2.1 测定铁磁相

在此环节，相关工作人员应该分别在样品 1 和样品 2 的径向 0 度方向、径向 90 度方向、径向 180 度方向和径向 270 度方向选定测试位置，然后将样品轴向方向分为五段分别进行测定，从而获得铁磁相含量。在本次案例当中，无论是样品 1 还是样品 2，其测试位置的铁磁相含量都较为正常。

2.2.2 检测力学性能

换热管断裂就意味着使用环节换热管所受到的内外力影响已经超过了设备的硬度和拉伸度极限，为确定断裂失效原因是否与换热管本身的力学性能有关，相关工作人员需要进行拉伸试验。在此环节，基于案例样品开展拉伸试验后得知，样品 1 在 0.2 塑性变形情况下的屈服强度为 228.3Pa，抗拉强度为 597.1MPa，断裂延伸率为 66.5%；样品 2 在 0.5 塑性变形情况下的屈服强度为 228.2MPa，抗拉强度为 594.2MPa，断裂延伸率为 66.4%。检测样品硬度时，相关工作人员所选定的检测点应该与铁磁相检测点位置一致。

2.2.3 测定化学成分

若氨合成水冷器换热管中的化学成分与规定标准不符,也容易导致换热管断裂失效。为此,相关工作人员需要测定断裂换热管中的化学物质含量,从而为后续开展断裂成因分析提供辅助。经检测发现,案例中已断裂换热管的碳元素、硅元素、锰元素、磷元素、硫元素、铬元素、镍元素和氮元素的成分指标均与标准要求相符。

2.2.4 金相与断口分析

基于金相分析发现,样品1和样品2的金相组织都是正常的奥氏体组织,晶粒度也与标准要求相符。而断口分析中,样品1的断口平整度高,存在放射状纹路,启裂位置应在管外壁;样品2的断口不平且台阶多,部分断面相对陈旧有裂纹形貌,启裂位置也应该在管外壁。对断口进行微观分析时发现,样品1的启裂位置存在明显挤压痕迹,且断口处疲劳辉纹清晰可见,样品2也是如此。

2.3 振动分析

经过初步判断,振动引发的疲劳应该是造成换热管断裂的主要原因,为证明这一判断,相关工作人员需要做好振动分析。通常来说,水冷器振动的原因有三种,其一是卡门旋涡激振;其二是湍流抖振;其三是流体弹性不稳定引发的振动。为开展针对性分析,相关工作人员合理选用计算方法和公式。

在此环节,可基于计算卡门旋涡频率的方式,确定换热管的卡门旋涡激振大小。卡门旋涡频率可用公式:

$$f_v = St \frac{V}{d_o}$$

计算,其中St代表斯特罗哈数;S表示换热管中心距(m); d_o 表示换热管外径(m);V表示横流速度(m/s)。计算湍流抖振时,可使用公式:

$$f_t = \frac{V d_o}{l T} [3.05 \times (1 - \frac{d_o}{T})^2 + 0.28]$$

其中V仍然表示横流速度(m/s), d_o 表示换热管外径(m),T表示横向换热管中心距(m),l表示纵向换热管中心距(m)。在开展流体弹性不稳定引发的振动分析时,相关工作人员需要对临界横流速度进行计算,此时可用公式为:

$$V_c = K_G f_n d_o \delta_s^b$$

公式当中 $\delta_s^b = m \delta / (\rho_o d_o^2)$,其中Kc代表比例系数; f_n 表示换热管固有频率(Hz); δ_s 代表质量阻尼参数;b是指数;m代表单位换热管的质量(kg); δ 表示换热管的对数衰减率; ρ_o 表示壳程流体密度(kg/m³)

3 合成氨水冷器换热管断裂失效处理

3.1 结果讨论

基于上述分析可知,案例中换热管断口均存在疲劳断裂特征;进过拆检发现,换热管与板孔之间存在明显缝隙。结合断裂位置以及启裂处特点可知,断裂区域都是换热管中的应力集中区域,基于高应力换热管会出现疲劳损伤,而振动

则会导致裂痕扩展,最终引发断裂。

而且,案例中的换热管固有频率较低,对流体诱导振动的破坏更加敏感。由此可见,案例装置中,换热管断裂失效的主要原因是振动疲劳。

3.2 处理方法

在明确合成氨水冷器换热管断裂失效原因之后,相关工作人员需要提出针对性处理措施,让换热管以及合成氨水冷器继续平稳运行。为避免流体弹性振动对换热管造成的振动疲劳损伤,相关工作人员可从结构改良、固定辅助以及参数调整等方面着手。比如,缩短换热管跨距;在振幅过大位置增设支撑装置;调整折流板形状等。当然,相关工作人员还应该从关注问题源头,从生产阶段着手有效开展断裂失效预防。比如,提高换热管生产质效,严格控制换热管口以及管外的直径偏差,确保产品参数与设计标准一致,从而避免因尺寸偏差引发振幅过大。

在本次案例当中,第一根换热管断裂后相关工作人员以堵管方式进行了处理,还为振动位置加设了支撑,所以该位置并未发生二次断裂。因此,合成氨水冷器换热管断裂处理人员,也应该将此方法应用在其他项目中,基于实际要求妥善处理断裂管。比如,以“堵管+联排固定”方式,提高合成氨水冷器中靠近循环水进口的换热管稳定性和使用耐久性。鉴于合成氨装置具有较高的气密性要求,所以故障检修人员在开展堵管、强化固定或结构改良等操作以后,还需要基于生产要求检验装置的气密性,并观察试验阶段和装置重新投产以后,是否还存在水冷器换热管断裂失效情况,若换热管无泄漏则表示换热管断裂成因判断正确、维修方法合理。

4 结论

总而言之,合成氨装置中的水冷器换热管断裂失效问题,会对该装置的正常运行造成严重干扰,更会让装置产能下降。为此,相关工作人员必须在明确水冷器换热管断裂情况的基础上,进行检验检测、断裂分析从而确定故障成因,然后再提出可行性解决方案,让氨合成装置的运行平稳性和长久性得到保障。

参考文献:

- [1] 杨晓凌,韩旭辉,张光黎.加氢裂化装置高低压换热器爆管工况动态模拟研究[J].炼油技术与工程,2018,48(11):41-44.
- [2] 门春艳,李国峰.合成氨系统换热器漏氨条件下循环水长周期安全运行对策[J].中国设备工程,2019(15):223-224.
- [3] 时传兴,尹高雷,赵鹏鹏.合成氨水冷器换热管断裂失效分析及对策[J].压力容器,2020,37(11):51-56.
- [4] 胡国呈,董金善,丁毅.余热回收器换热管与管板连接处泄漏失效分析[J].压力容器,2019(09).
- [5] 雷万庆,张凯,张建晓,温宝峰.缠绕管式换热器换热管泄漏失效分析[J].压力容器,2019(01).