

临氢工况下变送器的选型及应用

李道华

宁波中金石化有限公司 浙江宁波 315099

摘要: 在石油化工生产装置里, 变送器作为测量工艺介质压力、差压或流量, 普遍被应用。为保证装置安、稳、长、满、优的运行, 作为最常用的测量仪表变送器, 其设计选型相当关键。本文通过某石化企业加氢裂化装置实际发生的生产案例的分析。简述了在临氢工况下, 氢气对变送器隔离膜片的渗透原因, 介绍了在隔离膜片表面镀金以防止氢气渗透的方法, 提出了临氢系统变送器的设计选型的注意事项, 供参考。

关键词: 变送器; 隔离膜片; 氢脆; 氢气渗透; 渗透防护

Selection and application of transmitter under hydrogen condition

Daohua Li

Ningbo Zhongjin Petrochemical Co., Ltd. Ningbo 315099, Zhejiang

Abstract: In petrochemical production equipment, transmitter is widely used to measure process medium pressure, differential pressure or flow. In order to ensure the safe, stable, long-term, full and optimal operation of the device, as the most commonly used measuring instrument transmitter, its design and selection is very critical. This paper analyzes the actual production case of hydrocracking unit in a petrochemical enterprise. This paper briefly describes the reasons for hydrogen permeation to the isolating diaphragm of the transmitter under hydrogen working conditions, introduces the method of gold plating on the surface of the isolating diaphragm to prevent hydrogen permeation, and puts forward the precautions for the design and type selection of the transmitter of the hydrogen system for reference.

Keywords: transmitter; Isolating diaphragm; Hydrogen embrittlement; Hydrogen permeation; Penetration protection

引言:

随着石油化工产业的发展, 越来越多的工艺过程含有制氢、加氢装置; 且这些装置的特点大多是化学反应过程含有高温、高压及高浓度的氢气。在这些装置的设计过程中, 设计人员往往重点关注氢对设备材料的影响, 而容易忽略氢对过程检测仪器的影响, 特别是对变送器的影响。目前变送器膜片的材质大多为316L、哈氏合金、蒙乃尔、钽等材质, 通过实际投用装置的情况来看, 普通膜片材质(如316L)的变送器, 在含有一定浓度、压力和温度的氢气介质的工艺装置上使用一段时间后, 会出现输出不稳定、零点漂移等现象, 有的甚至出现膜片鼓包、破裂等。造成这些现象的原因主要是金属膜片由于氢渗透而产生的“氢脆”现象。因此, 在仪表设计选型的过程中除了按照相关规范选型外; 还应考虑氢渗透对变送器的影响, 提高所选仪表运行的稳定性, 保证

装置的安全、平稳运行。

一、案例分析

某单位加氢裂化装置2021年12月27日, 参与循环氢压缩机防喘振控制的流量变送器突然掉零, 造成了防喘振控制阀全开, 导致进入反应器的氢气量不足, 引起反应器温度控制不住, 最后导致了整个加氢裂化装置全部停车。变送器故障是导致该跳车事件的直接原因。事情发生后, 该单位邀请了专业单位对该台变送器故障进行了分析, 分析结果表明: 故障原因是变送器膜片由于氢渗透导致膜片内部起鼓损坏(见图一)。经查询该变送器膜片选材为316L, 在高压临氢产生氢脆后, 变送器的使用寿命较短。通过对中石化相关企业了解, 也都曾经因为类似原因引起了不同程度的生产事故的发生。由此可见: 氢脆现象在装置的安全平稳运行中起着非常重要的作用。

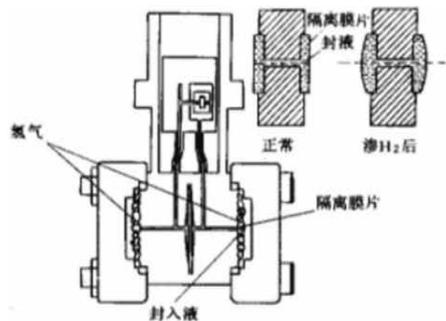


图一 故障变送器解体后膜片照片

二、氢脆现象对变送器的影响

变送器是一种将压力(差压)信号转化成电动信号进行控制和远传的设备,其核心元件就是测量膜盒。变送器工作时测量膜片接触测量介质,通过测量膜片内侧密封灌充的硅油传导液将测量压力传递到微型真空腔体的弹性元件上,导致弹性元件发生微小形变位移,其位移程度与压力成正比关系。变送器通过单晶硅谐振式传感器及微处理器将形变位移程度转变为4~20mADC信号,可用于测量介质的压力或差压等。

为了减少传递过程中的压力(差压)损耗并防止受到测量介质腐蚀,一般选择采用具有一定弹性和防腐性能的金屬薄壁材料(厚度介于0.04~0.08mm之间,各设备供货商略有不同)制成测量膜片,常见的测量膜片材质有316L不锈钢、哈氏合金、钽、钛以及蒙乃尔等诸多类型。由于测量膜片厚度不足0.1mm,常规变送器在恶劣工况(高温高压且存在较高浓度氢气的场合)下极易出现氢脆现象并受到影响,导致测量膜片韧性退化失去弹性,出现空腔鼓包或者裂纹(如图二)^[1]。随着时间推移氢原子甚至可以穿透测量膜片进入隔离硅油传导液,出现气泡增加了压力传递过程中的损耗,直接影响变送器的测量效果,导致变送器零点漂移、输出不稳定,出现测量误差,更为严重的情况下甚至损坏仪表造成生产事故的发生。



图二 变送器渗氢现象^[1]

三、氢脆现象简介

氢是自然界最小的原子,本身不具备腐蚀性但是渗透能力极强。由于氢原子的尺寸远远小于金属原子,因

此在高温高压作用下氢气可以解离成氢原子并渗透进入金属材料的晶格点阵的间隙位置。

1、根据引起氢脆的氢的来源不同,氢脆可分成两大类

内部氢脆:它是由于金属材料在冶炼、锻造、焊接或电镀、酸洗过程中吸收了过量的氢气而造成的;

环境氢脆:它是在应力和氢气或其他含氢介质的联合作用下引起的一种脆性断裂,如储氢的压力容器中出现的氢脆。

本文中所要讨论的变送器膜片的氢脆属于第二类氢脆即环境氢脆;主要是在氢环境下,氢气分子在物理及化学作用下以氢原子的形式渗透变送器膜片而产生的氢脆。

2、氢气渗透变送器膜片的过程

氢气虽然没有腐蚀作用,但是有极强的渗透能力,即使在大气环境中氢也会以各种途径进入金属材料的晶格中;若在高温、高压和高浓度协同作用下,则会大幅加速氢的渗透能力。压力变送器中与介质接触的部分主要是膜片,通常膜片的厚度只有0.04~0.08mm,是变送器中薄弱的部分;因此变送器的氢脆现象主要表现在膜片上。正常状态下氢气是以分子状态存在的,氢气分子不易渗透膜片,但当氢气变为氢原子后;因为氢原子半径很小,只有0.46nm,因而在外力作用下能够渗透变送器的膜片。氢原子穿过膜片后,会形成氢分子,留在变送器磨合里面,氢气会逐渐到变送器中的硅油里面,随着时间的推移,硅油中的氢气会饱和,因此形成气泡。气泡的存在会引起变送器零点漂移,影响测量结果,从而降低变送器性能,随着氢气数量的增加,膜片也会向外扩张,引起裂纹造成硅油流失,进而导致变送器失效。

四、影响氢渗透率的因素

根据上述的分析与介绍,可见影响氢渗透率的因素较多,其中影响较大的因素主要有:

1、膜片晶粒大小与镍含量

金属膜片材料通常为316L不锈钢、蒙乃尔合金(镍铜合金)和哈氏合金(镍基耐蚀合金)。在相同环境下高镍含量的蒙乃尔合金(镍65%)和哈氏合金(镍60%)膜片的渗透率是低镍含量的不锈钢(8%~14%)膜片的10倍。根本原因就是由于高镍含量金属有较大晶粒所致。

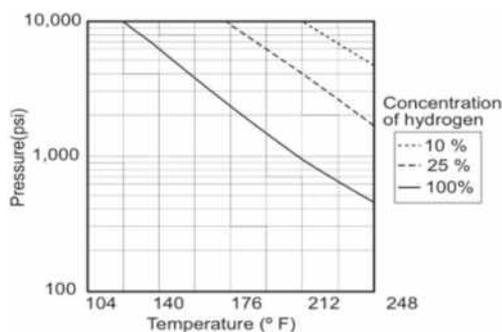
2、膜片厚度

理论上氢渗透率反比于膜片厚度。很早以前的变送器相对于现在的变送器使用寿命要稍微长一些,因为以前的变送器膜片厚度为0.11~0.15mm,而现在的膜片厚度仅为0.04~0.08mm。然而有时厚度增加会带来对焊接点腐

蚀等不利因素, 反而抵消了增加厚度的作用, 同时增加厚度对变送器的测量灵敏度和精度有一定影响。

3、环境温度及静压的影响

环境温度在很大程度上影响着渗透率, 相关实验表明膜片表面温度降低14摄氏度, 就可以延长传感器使用寿命一倍。介质压力对渗透率也有很大的影响, 压力越高渗透越快, 在这一点上应该非常容易理解。氢脆与温度压力的曲线如图三:



图三 氢脆温度压力曲线

从上图可以看出, 在同等条件下, 温度比压力对氢脆的影响程度要明显很多, 故控制环境温度是抑制氢脆发生的比较行之有效的措施之一。

4、水分含量

氢气中如不存在水分的话就不会存在电流活动, 无水分也不会产生腐蚀, 也就不会有这二方面引起的氢渗透。但是在实际装置运行过程当中所有氢气介质都会含有一些水分。

5、膜片焊接

膜片焊接在传感器上就改变了薄膜材料固有的晶粒结构从而会影响渗透率, 此外, 不同的焊接方式也会影响渗透率。因此沿膜片焊接部位的状况对渗透率的影响更大, 有些设计要求膜片焊接部位全部被垫片所覆盖, 从而排除了焊接部位的渗透。^[2]

五、环境氢脆下变送器的选型及相关注意事项

针对以上各种引发变送器膜片环境氢脆的原因, 在

变送器的选型过程中应结合具体情况选择合适的变送器, 特别是在膜片材质的选择、变送器的安装方式的选择方面应采取相应的措施:

1、测量介质为氢气时(特别是当氢气压力及温度较高时), 变送器的膜片可选用316L+镀金膜片。因为金具有较密的晶格结构, 氢原子不易渗透。

2、由于蒙乃尔合金(镍65%)和哈氏合金(镍60%)镍含量较高, 会造成氢渗透率较高, 故不建议使用哈氏合金、蒙乃尔合金、钽等材质的膜片用于临氢工况。

3、在选择变送器型式时, 应考虑不选择直装式, 尽可能采用引压管形式的安装方式。因为采用引压管形式的安装方式(在相关规范允许的情况下, 引压管尽可能长)可以降低氢气温度, 以尽可能的降低渗透率。

4、变送器应安装在有遮阳设施的位置, 以降低其环境温度。

即使在设计选型中, 我们已按照最优方案进行了选择, 但在实际装置的运行过程中, 也难免会出现意外情况的发生。为保证生产装置安、稳、长、满、优的运行, 建议在每二个大修周期(6年)对临氢系统的变送器进行一次彻底、全面的检查, 一旦发现问题, 及时维修或更换。

六、结束语

合理对变送器进行选型, 是确保生产安全的重要手段。本文提及的316L+镀金膜片型变送器适用于石化行业、煤气化等装置的氢气场合。在上述影响氢渗透的诸多原因当中, 受环境温度的影响尤为重要, 在对变送器进行选型的过程当中, 尤其要考虑到这一因素所造成的影响。

参考文献:

[1]曹珩, 凡友琴, 王禄润, 陈连和. 镀金膜片型压力变送器在煤气化装置中的应用[J]. 山东化工, 2020, 49(04): 133-134.

[2]蔡武昌. 金属隔离膜片氢气渗透防护[J]. 石油化工自动化, 2000(01): 57-58+3.