

渣油加氢多点柔性热电偶固定方式的改进实践

加氢反应器柔性热电偶安装方式优缺点分析以及固定方式改进措施——反应器是渣油加氢装置的核心设备之一，它处于高温、高压、高硫和临氢的工艺环境，其催化剂床层温度是整个装置安全稳定运行的关键参数。本文根据渣油加氢装置卸催化剂时发现柔性热电偶大部分从支架处脱落，及少量断裂的情况，分析原设计柔性热电偶固定方式易出问题的原因，并提出改进措施，经过 2 年的时间验证，效果良好。

文 / 魏磊 林东

随着汽油国六标准的实施，原油轻质化和低硫低氮化的要求被进一步提高，使得炼油厂中加氢装置的地位越来越重要。加氢反应器是加氢装置的核心设备之一，而控制反应器床层温度是调整产品指标合格的主要手段，其风险在于加氢反应属于强放热反应，必须严格控制床层温度，避免“飞温”导致催化剂失活。在实际操作中，原料性质变化、催化剂失活结焦以及床层压降增大等现象只能通过调整床层温度解决，这就对在高温、高压、临氢条件下温度元件的安全性和稳定性提出较高的要求。

某炼油项目 4.0 Mt/a 渣油加氢装置有两个系列，共 10 台加氢反应器。每台反应器有 3 个床层，每个床层有均匀分布的 4 处测温点，全部温度监控共有 120

点。该项目加氢反应器材质使用 2.25Cr1Mo 钢，管口为 3 级锻件，不能在反应器上开太多孔，否则会影响反应器壳体强度。

因此，无法使用普通带护管的温度测量方案，只能采用高压柔性多点热电偶解决。渣油加氢按催化剂的使用寿命，一般 15~18 个月更换一次催化剂。本文针对换剂检修时发现柔性热电偶脱落及断裂问题进行分析，并对安装固定方式提出改进措施。

柔性热电偶常用安装方式及其优缺点

柔性热电偶的结构分为单支单点、单支多点以及多支多点。无论采用哪种结构，其主要特点都是所有热电偶共用一个法兰，但又相互独立。同时，较好地解决了偶芯耐受高温高压的难题，在不需保护套管的情况下，其柔性的保护铠管为测量到同一床层不同方向的温度点提供了可能。由于没有保护管，热电偶直接接

触工艺介质，因此铠管需根据高温、高压、高硫以及临氢的工况选择安全系数较高的材质。常用的安装形式如图 1 所示。

1.A 是在反应器测温层安装一个梁，热电偶被固定在梁上。梁由热电偶供应商成套供货，具体结构可由业主和热电偶制造厂根据经验设计。该方案结构简单，安装方便，但在测温点分布上较为受限，仅能在一个剖面布局，不能敷设到其他位置。同时，支撑梁是整体制造，无法应用在直径较大的反应器。

2.B 是热电偶成环形分布，从反应器侧面法兰口插入，按提前设计好的路径进行安装。该方案根据不同的工艺要求需要二次设

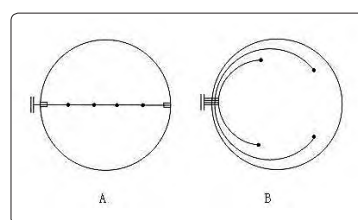


图 1 柔性热电偶安装形式

本文作者魏磊供职于中海油惠州石化有限公司，林东供职于广东茂化建集团有限公司惠州分公司。

计安装支架,可以在反应器内构件上焊接支架,对于测温点没有内构件的可以在反应器器壁上焊接支架,或独立设计支架,如图2所示。其优点是可应用于测温点多且非直线分布的场合;缺点是设计量大,安装复杂,支架全部使用螺栓联接,对支架长周期使用的稳定性提出较高的要求。

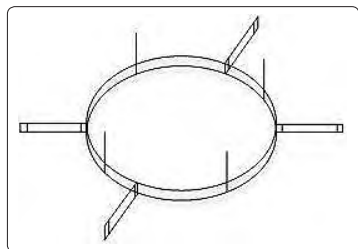


图2 柔性热电偶安装支架

目前,加氢装置单套规模不断扩大,反应器内径也在不断增大,无论是滴流床加氢反应器还是液相加氢反应器柔性热电偶安装普遍使用B方案。

笔者与其他炼油厂技术交流时发现,该方案能够较好地满足了工艺对催化剂床层温度的监控,但随着生产周期的延长,催化剂沉降引起环形支架下沉,导致热电偶严重变形。同时,高温高硫氢气环境使得固定热电偶的金属扎带脆化断裂,特别是在卸催化剂时,热电偶直接从支架上脱落。此外,环形支架结构复杂,若有结焦现象,卸剂人员很难在保护

热电偶的前提下,将催化剂清除干净。

渣油加氢柔性热电偶安装的不足

柔性热电偶安装方案

渣油加氢反应器有上、中、下3个床层温度,安装有3套柔性热电偶。热电偶铠管规格为 $\Phi 8\text{ mm} \times 1.6\text{ mm}$,材质A182 347,4点式单支双芯结构,可满足温度异常时更换至备用线芯测量。反应器内径约5 500 mm,直径较大,除顶部分配器和底部收集器外,其他部位无任何钢结构。

根据工艺包专利商要求,催化剂床层温度点分布距离反应器器壁1 m左右即可,若使用环形支架方案,则支架体积较大、质量大、螺栓联接多,极易受催化剂沉降影响其稳定性。因此,初始设计在测温层同一平面的反应器器壁上焊接多个不同结构的支架,支架沿圆周均匀分布,热电偶沿着预焊接好的支架路径敷设安装。支架如图3所示。

1 支架I:每床层4个,用于螺栓联接800 mm的347延长板,热电偶感温端被固定在延长板末端。

2. 支架II:每床层6个,支架I间均匀分布,用于热电偶固定。

3. 支架III:每床层8个,支架II间均匀分布,用于热电偶固定。

这种方案只要前期设计准确,安装是比较方便灵活的,且预埋件体积小,数量少,可有效减小焊接对反应器器壁堆焊层的影响。

安装方案的不足

通过渣油加氢换剂检修时发现,延长支架严重下垂,大量热电偶从支架脱落,甚至直接断裂,如图4所示。分析原因主要有两点:

1. 柔性热电偶在3种支架及延长板上的固定均使用0.5 mm的316金属扎带。

316材质可以满足抗硫化氢腐蚀,但根据氢腐蚀机理可知,当温度高于 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$,氢分压大于8.0 MPa时,将加速氢原子向钢材内部扩散,随着生产时间的延长形成“氢脆”,导致金属扎带强度和韧性下降或发生晶间断裂。检修人员在重新固定热电偶时反馈,基本上所有的扎带都脆化,热电偶随着卸剂完成后脱落。

2. 延长支架采用“一”字347钢板,仅用两颗螺栓联接。笔者在第2个换剂周期发现大量螺栓松动或断裂,延长支架严重下垂,绑在其上的热电偶也都脱落。从断裂的螺栓分析,应属于高温硫化氢腐蚀,加上高纯度氢气的存在,又进一步加速了螺栓的腐蚀。

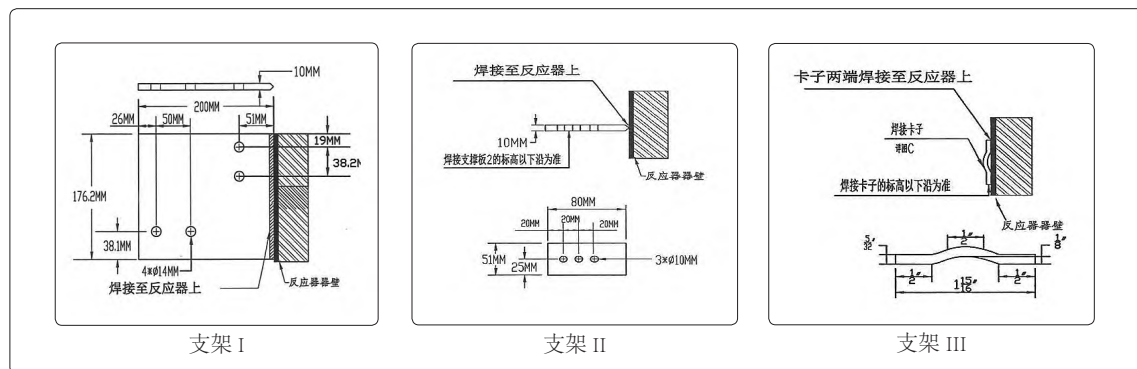


图3 安装支架

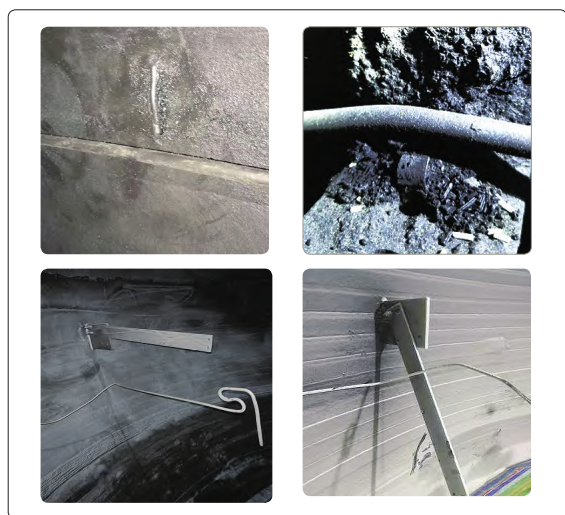


图4 脱落的热电偶

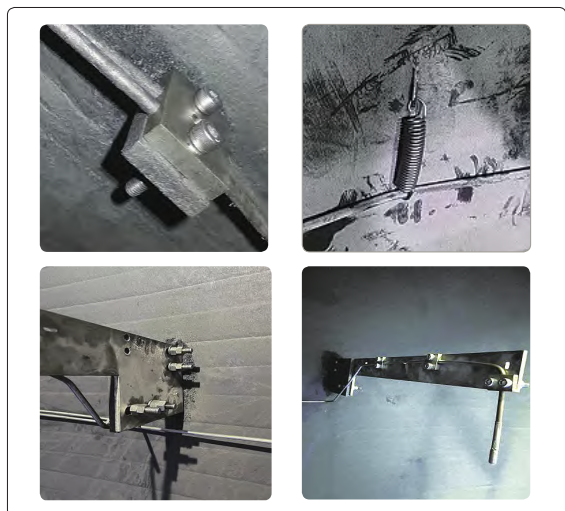


图5 改进措施

其次，固定螺栓纵向安装，催化剂下沉的压力作用在支架上，与螺栓形成“剪刀”力，导致螺栓断裂。

渣油加氢柔性热电偶固定方式的改进

渣油加氢反应器柔性热电偶各种问题的整改不仅延长了换剂检修周期，而且检修人员站在催化剂上作业也对催化剂密相装填带来一定的影响，更加大了设备的采购成本。因此，需要对热电偶固定方式进行改进。改进措施如图5所示。

1. 根据预焊接在反应器器壁上支架的形状和热电偶铠管外径，设计中间镂空，两端或一端用螺栓固定的夹板来替代金属扎带。夹板中间镂空的空间要大于热电偶铠管外径，且安装时螺栓为非完全紧固，保证热电偶在夹板内可以活动，满足高低温环境下的热胀冷缩。夹板材质可用321金属材质，也可用374替换。

2. 根据支架I预留的螺栓孔位，将延长板由“一”形改为“L”形，增加横向螺栓，与纵向螺栓形成三角支撑，加大延长支架的抗压力，同时将螺栓升级为321材质。需要注意的是，使用在“L”形延长支架上的夹板尺寸要比用在支架II上的小，并根据热电偶安装路径预制夹板螺栓孔位。

3. 支架III类似鞍型挂环，金属扎带断后柔性热电偶因其柔韧特性随催化剂成弧形下沉，稍严重铠管会被压断。由于有效固定空间只有3 mm，因此该处设计使用弹簧固定，能有效限制热电偶的下沉，同时又允许有少量的下沉，保证整根热电偶的弹性，防止局部弯曲过大导致铠管开裂。根据工艺环境，弹簧的材质选择Incoloy825，尺寸和最大工作载荷根据柔性热电偶的自重和允许下沉的位移量决定。

技术创新点

1. 中间镂空的夹板不局限于使用在支架II和延长板上，也可用在其他类型支架热电偶的固定。要充分考虑到反应器内部高温环境所引起的热电偶膨胀因素，夹板凹槽横向、纵向空间均比热电偶外径大约5 mm。在安装时，固定螺栓为非完全紧固，进一步给予热电偶一定的膨胀空间。夹板尺

寸要小于预焊接在反应器其壁上的支架，已减少催化剂沉降对其影响。

2. 金属扎带断裂势必使得热电偶随催化剂一起下沉。因此，弹簧的设计是一大亮点。Incoloy 825是一种镍基高温合金，在高温高压水介质中有良好的耐应力和耐腐蚀性，且在 H_2+H_2S 介质中也具有良好的耐酸腐蚀性和抗应力腐蚀开裂性。由于Incoloy 825的镍铬基体通过加入钼和铌来加强，使得其在1093℃的高温环境下仍具有高强度的韧性和拉伸性。同时，弹簧2.5 mm线径远大于0.5 mm的金属扎带，基本解决的材料腐蚀断裂的可能。

结语

渣油加氢反应器自上而下的介质流速为0.06 m/s，冲刷热电偶的可能性很小。因此，柔性热电偶脱落的主要原因还是反应器内高温高压和 H_2+H_2S 的恶劣工况，以及支架结构和材料不合理的设计。目前，国内大型加氢反应器普遍使用柔性热电偶测量床层温度，特别是重油加氢更使用单价昂贵的进口品牌，但依然无法有效解决柔性热电偶长周期稳定使用的问题。

通过柔性热电偶固定方式的改进，能够彻底解决其频繁脱落问题，不仅延长了热电偶的使用周期，更极大地降低了设备采购成本，特别是夹板的设计，效果甚好，笔者已申请实用性发明专利。该技术对同类加氢反应器柔性热电偶的固定安装极具价值的参考意义，为加氢反应器的长周期稳定运行奠定了良好基础，可以在其他加氢装置进行广泛推广应用，降低柔性热电偶损坏的故障率。