

# 催化裂化装置中两器部分管道设计探讨

李华楠

洛阳智达石化工程有限公司 河南 洛阳 471003

**摘要:** 本文深入探讨了催化裂化装置中反应器与再生器(简称“两器”)部分管道设计的具体要求和技术细节。通过分析催化裂化过程的特点,结合两器部分管道的工作环境和运行要求,详细阐述了管道设计的原则、方法以及关键技术,旨在为催化裂化装置的安全、高效运行提供具体、可行的设计指导。

**关键词:** 催化裂化装置; 反应器; 再生器; 管道设计; 高温高压; 耐磨衬里

## 引言

催化裂化是石油炼制中的重要过程,通过催化剂的作用将重质油转化为轻质油。在催化裂化装置中,反应器和再生器是核心设备,它们之间的管道系统负责催化剂的循环和油气的输送。因此,两器部分管道的设计对于整个装置的运行效率和安全性至关重要。

### 1 催化裂化装置概述

催化裂化过程是一个复杂的石油加工过程,它主要包括原料油的预热、裂化反应、油气分离以及催化剂的再生等关键步骤。在这个过程中,原料油首先被预热至一定温度,然后进入提升管反应器。在提升管中,原料油与高温催化剂充分接触,发生剧烈的裂化反应,生成轻质油、气体以及焦炭等产物。反应后的油气和催化剂混合物随后进入沉降器,进行气固分离。在沉降器中,催化剂因重力作用而沉降下来,而油气则继续上升,进入后续的分馏系统。分离出的催化剂经过汽提处理,以去除附着在其表面的油气,然后返回再生器进行烧焦再生。在再生器中,催化剂与空气接触,焦炭被燃烧掉,催化剂的活性得到恢复,之后再次进入提升管反应器循环使用。催化裂化装置按反应器和再生器的布置方式可分为并列式和同轴式两种。在并列式装置中,反应器和再生器并列布置,通过一系列管道相连,实现物料的输送和循环。而在同轴式装置中,反应器和再生器同轴布置,共享一个中心轴线,这种布置方式可以更加紧凑地利用空间,提高装置的效率。催化裂化装置主要由反应-再生系统、分馏系统和吸收稳定系统三大部分组成。其中,反应-再生系统是装置的核心部分,包括提升管反应器、沉降器、再生器以及连接它们的管道系统。这些设备和管道系统共同协作,实现了原料油的裂化反应和催化剂的再生循环。

### 2 催化裂化装置中两器部分管道设计特殊要求

#### 2.1 高温高压环境

催化裂化装置中的两器部分,即反应器和再生器,其管道系统长期处于极端的高温高压环境中。具体而言,这些管道所承受的温度范围可高达500-700℃,而压力则可能达到1.0-3.5MPa。如此苛刻的工况对管道材料提出了极高的要求。为了满足这一需求,管道材料必须具备良好的耐高温和高压性能。这些材料不仅能够高温下保持稳定的力学性能,还能有效抵抗高压环境带来的潜在风险,确保管道系统的安全稳定运行。在设计过程中,除了材料的选择外,还需要考虑管道的结构和支撑方式。高温下,管道的热膨胀问题尤为突出,必须设置合理的膨胀节和支撑结构,以确保管道在热膨胀过程中不会因应力过大而损坏。同时,高温环境还可能对管道的焊接接头产生不利影响,因此,焊接工艺的选择和控制也是设计中的重要环节。

#### 2.2 催化剂磨损

在两器部分的管道系统中,催化剂管道的设计好坏直接影响到提升管反应器和再生器之间转剂的速度、流化床的建立等,催化剂通过管道输送到再生器内,再由再生斜管导入提升管反应器、沉降器,催化剂的流动是不可避免的。然而,催化剂的流动会对管道内壁造成一定的磨损。为了减少这种磨损,需要采取一系列有效的措施。其中,管道内壁采用耐磨衬里是一种常见且有效的方法。管道弯头采用 $R = 6DN$ 大直径弯头亦是一种方法;此外,在管道设计时,还应尽量考虑减少催化剂的流速和转向次数。通过优化管道布局和结构设计,使催化剂在管道中的流动更加顺畅,减少流速的急剧变化和转向次数,从而降低对管道内壁的磨损程度。这些设计措施有助于延长管道的使用寿命,提高催化裂化装置的整体运行效率<sup>[1]</sup>。

#### 2.3 防止结焦

反应油气中含有易结焦物质,如重质烃类,这些物质在管道中停留时间过长时容易形成结焦。结焦不仅会

影响管道的流通能力，还可能引发安全隐患。因此，防止管道结焦是设计两器部分管道时必须考虑的重要问题。为了有效防止结焦，可以采取缩短油气在管道中的停留时间的措施。通过优化管道布局和增加管道直径等方式，使油气在管道中的流动速度加快，从而减少其停留时间，降低焦的风险，比如反应油气管道管道直径大温度高采用冷壁（20R+隔热耐磨衬里）+热壁（15CrMoR）相结合的形式同时将该管道布置成平面“L”型尽量减少结焦的情况。同时，设置防焦蒸汽系统也是一种有效的防焦措施。通过向管道中注入蒸汽，可以稀释油气中的易结焦物质，降低其浓度，从而进一步减少结焦的可能性。

#### 2.4 管道应力分析

两器部分管道在运行过程中会承受复杂的应力作用，包括热应力、机械应力和振动应力等。这些应力可能会对管道的安全性和稳定性构成威胁。因此，必须进行详细的应力分析，以确保管道在运行过程中不发生变形或破裂。应力分析可以采用有限元分析等方法进行。通过建立管道的有限元模型，可以模拟其在不同工况下的应力状态，并评估其安全性和稳定性。在应力分析过程中，需要考虑管道的材料性能、结构特点、工作温度和压力等因素。通过全面的应力分析，可以及时发现管道设计中存在的潜在问题，并采取相应的措施进行改进和优化。这有助于确保两器部分管道在极端工况下的安全稳定运行，提高催化裂化装置的整体可靠性和使用寿命。

### 3 两器部分管道设计原则

在催化裂化装置两器部分的管道设计中，需要遵循一系列严格的设计原则，以确保管道系统的整体性能和使用寿命。

#### 3.1 安全性

安全性是管道设计的首要原则。在两器部分，管道常常处于高温高压的恶劣环境中，因此必须确保管道在这些极端条件下能够安全运行，防止发生泄漏和破裂等安全事故。为了实现这一目标，采用符合国际和国内标准的管道材料和连接方式，这些材料具有出色的高温强度和耐腐蚀性，能够承受住严苛的工作环境。同时，严格控制管道的焊接质量和密封性，确保每一个接头都牢固可靠，从而保障整个管道系统的安全性。

#### 3.2 可靠性

可靠性是管道设计的另一个重要原则。致力于保证管道系统的稳定运行，减少故障和维修次数，以提高装置的整体运行效率。为此，优化管道布置，避免过多的弯曲和转折，减少流体在管道中的阻力损失。同时，

精心设计支吊架系统，确保管道在受到热膨胀、冷缩或外力作用时能够保持稳定，减少应力和振动对管道的影响，从而提高管道的可靠性。

#### 3.3 经济性

在经济性方面，注重合理选用管道材料 and 设计参数，以降低工程成本。在满足安全性和可靠性的前提下，尽量选择性价比高的管道材料 and 设计方案。通过对比分析不同材料和方案的优缺点，选出既能够满足工作要求，又能够节约成本的最佳方案。同时，还关注管道的长期运行成本，选择易于维护 and 管理的材料 and 设计，以降低未来的维修 and 更换费用。<sup>[2]</sup>

#### 3.4 可维护性

可维护性是管道设计不可忽视的一方面。注重便于管道的检修 and 维护，以提高装置的运行效率。为此，在设计过程中设置合理的检修口 and 支架，方便管道的拆卸 and 安装。同时，考虑管道的易损部位 and 可能出现的故障点，设计相应的检修方案 and 工具，以确保在需要时能够迅速有效地进行维修工作。通过这些措施，提高了管道系统的可维护性，为装置的长期稳定运行提供了有力保障。

### 4 两器部分管道设计关键技术

#### 4.1 管道材料选择技术

在两器部分的管道设计中，材料的选择是核心环节。由于管道需承受高温、高压以及催化剂的磨损等恶劣工作环境，因此必须精选具有优异性能的材料。对于高温高压环境，应选择耐高温、高压的奥氏体不锈钢或合金钢作为管道材料，比如与反-再高温设备相接的管道温度最高能达到680℃左右，由设备管嘴至第一道切断阀之间管道材质选用耐热不锈钢（304H、316H）或合金钢（15CrMo等）材料。此时一般选择这些材料不仅具备出色的高温强度，能够在高温下保持稳定的力学性能，还具有良好的耐腐蚀性，能够抵抗各种腐蚀性介质的侵蚀。这样的特性使得它们能够满足两器部分管道在极端工况下的工作要求，确保管道的安全可靠运行。在易磨损部位，为了有效减少催化剂对管道内壁的磨损，延长管道的使用寿命，应采用耐磨材料，如直接在管道材质上选择具有更高硬度和耐磨性的合金钢，或者在必要时，通过后续工艺添加耐磨涂层<sup>[3]</sup>。对于承受较大应力 and 振动的部位，同样需要选择具有高强度 and 韧性的合金材料，以确保管道在复杂应力作用下的稳定性。在选择管道材料时，还需要综合考虑材料的可焊性、加工性以及经济性。通过全面的材料评估 and 筛选，确保所选材料既能够满足两器部分管道的工作要求，又能够在经济上合理可行，实现性能与成本的平衡。<sup>[3]</sup>

#### 4.2 管道衬里施工技术

管道衬里技术是两器部分管道设计中的一项关键技术,它通过在管道内壁涂覆一层衬里材料,为管道提供额外的保护层,以抵抗催化剂的磨损和腐蚀性介质的侵蚀。在衬里材料的选择上,需根据管道的具体工作条件和介质特性来定制。对于易受磨损和腐蚀的部位,陶瓷衬里因其卓越的耐磨性和耐腐蚀性而成为理想选择。陶瓷衬里硬度高,能够有效抵抗催化剂的冲刷和磨损,同时其耐腐蚀性也能确保管道在腐蚀性介质中的长期稳定运行。而对于那些需要承受较大应力和振动的部位,则选用具有高强度和韧性的合金衬里,以确保管道在复杂应力作用下的稳定性。衬里施工技术的关键在于确保衬里与管道内壁的紧密结合,形成连续、致密的保护层。这要求严格遵循衬里施工工艺流程,包括衬里材料的准备、管道表面的预处理、衬里的均匀涂覆以及后续的固化处理。在涂覆过程中,必须严格控制涂覆的厚度和均匀性,确保衬里能够完全覆盖管道内壁,形成无缝隙的保护层。同时,在固化过程中,需要精确控制固化温度和时间,以确保衬里材料能够充分固化,达到预期的力学性能和耐腐蚀性。

#### 4.3 管道支吊架设计技术

管道支吊架设计技术是两器部分管道设计中的另一项关键技术。合理的支吊架设计能够确保管道在运行过程中保持稳定,减少应力和振动对管道的影响。在支吊架类型的选择上,需要根据管道的重量、工作条件和应力状态来选择合适的支吊架类型。常见的支吊架类型有固定支架、滑动支架和弹簧支架等。固定支架能够限制管道的位移,确保管道在特定位置保持稳定;滑动支架则允许管道在一定范围内滑动,以适应热膨胀和冷缩引起的长度变化;弹簧支架则通过弹簧的弹性变形来吸收管道的应力和振动,减少它们对管道的影响。在支吊架布置设计方面,需要合理布置支吊架的位置和数量,确保管道在运行过程中保持稳定。这需要考虑管道的热膨胀和冷缩问题,以及管道的应力和振动情况。通过合理的支吊架布置设计,可以有效地控制管道的位移和变形,确保管道在复杂应力作用下的稳定性。

#### 4.4 管道热补偿设计技术

在两器部分的管道设计中,由于管道受到温度变化

的影响,会产生热膨胀和冷缩现象。如果不对这些现象进行妥善处理,可能会导致管道的变形、破裂或泄漏等问题。因此,管道热补偿设计技术显得尤为重要。在热补偿装置的选择上,需要根据管道的长度和温度变化范围来选择合适的热补偿装置。常见的热补偿装置有波纹管膨胀节和滑动支架等。波纹管膨胀节通过波纹管的弹性变形来吸收管道的热膨胀量,确保管道在温度变化时能够保持稳定;滑动支架则允许管道在一定范围内滑动,以适应热膨胀和冷缩引起的长度变化。在热补偿装置设计方面,需要根据管道的工作条件和应力状态进行合理设计。这包括装置的补偿能力、刚度和密封性等因素的考虑<sup>[4]</sup>。补偿能力是指装置能够吸收的热膨胀量的大小,需要根据管道的具体情况进行计算和确定。刚度则是指装置在受到外力作用时能够保持稳定的性能,需要确保装置在各种工况下都能保持足够的刚度。密封性则是指装置能够防止介质泄漏的性能,需要确保装置的密封面能够紧密贴合,防止介质泄漏。<sup>[4]</sup>

#### 结语

催化裂化装置中两器部分管道的设计是一个复杂而关键的过程。通过合理选用管道材料、优化管道布置、进行详细的应力分析和热补偿设计等措施,可以提高管道安全性和可靠性。在具体设计中,应充分考虑管道的工作条件和介质特性,选择合适的管道材料和衬里材料;合理布置支吊架和热补偿装置;进行详细的应力分析和计算,确保管道在各种工况下都能安全运行。未来,随着催化裂化技术的不断发展,两器部分管道的设计也将不断完善和优化,为催化裂化装置的安全、高效运行提供更好的保障。

#### 参考文献

- [1]周广响.催化裂化装置典型管道设计[J].化工设计通讯,2023,49(08):18-20.
- [2]王志中.催化裂化装置烟机入口管道的冷紧设计[J].炼油技术与工程,2018,48(07):43-46.
- [3]赵冬梅,刘九竹,吕静.催化裂化装置烟机入口管道设计研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(14):127-129.
- [4]刘锐.催化裂化装置管廊的几类管道布置分析[J].化工管理,2019,(25):165-166.