

化工装置中夹套管管道的配管设计分析

雷颖妍 (北京石油化工工程有限公司西安分公司, 陕西 西安 710075)

摘要: 自化工行业快速发展以来, 化工装置的设计与构建工作稳步推进, 但随着工艺技术不断进步与介质特性日益复杂, 优化化工装置中夹套管管道的配管设计, 以提升传输效率、确保安全稳定运行, 已势在必行。基于此背景, 将简要探讨化工装置中夹套管管道的配管设计, 提出夹套管管道配管安装要求, 以推动化工行业技术进步, 实现安全生产目标。

关键词: 化工装置; 夹套管管道; 配管设计安装

中图分类号: TQ055.8

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 015-0114-03

Analysis of Piping Design for Jacketed Pipelines in Chemical Plants

Lei Yingyan (Beijing Petrochemical Engineering Co., Ltd. Xi'an Branch, Xi'an Shanxi 710075, China)

Abstract: Since the rapid development of the chemical industry, the design and construction of chemical plants have been steadily advancing. However, with the continuous progress of process technologies and the increasing complexity of medium properties, optimizing the piping design for jacketed pipelines in chemical plants to improve transmission efficiency and ensure safe and stable operation has become imperative. Against this background, this paper briefly discusses the piping design for jacketed pipelines in chemical plants and proposes installation requirements for jacketed pipeline piping, aiming to promote technological progress in the chemical industry and achieve safe production goals.

Keywords: Chemical plants; Jacketed pipelines; Piping design and installation

在现代化工装置设计构建中, 夹套管为工艺介质提供稳定可控传输环境, 提高能量利用效率, 承载着传输工艺介质、调节温度与压力、保障生产安全等任务。为此, 探讨夹套管管道的配管设计, 剖析其设计要点, 为化工装置中夹套管管道的配管设计提供技术支持, 推动化工行业技术进步发展, 促使化工装置设计与构建水平不断提升^[1]。

1 化工装置中夹套管选择

在化工装置的精密构造中, 以某特定化工过程为例, 该过程涉及粘度高达 5000 厘泊的聚合物熔体, 在 20℃ 下开始凝固。当蒸汽夹套管内管直径为 100mm, 壁厚 5mm 时, 负责承载聚合物熔体, 外管直径为 150mm, 壁厚 6mm, 与内管之间形成约 25mm 环形空间, 用于蒸汽循环。蒸汽进口温度设定为 180℃, 出口温度约为 160℃, 保证内管中介质维持在 140℃ - 150℃ 范围内, 防止聚合物凝固。

在配管设计上, 蒸汽夹套管采用分段控制方式, 每段长度在 50m 以内, 每段设有独立蒸汽进出口及冷凝水排放阀, 使蒸汽流量可控制在 20kg/min - 30kg/min 之间, 满足热传递需求, 避免能源浪费。采用高性能保温材料, 如硅酸铝纤维, 其导热系数低, 维持系统热效率, 厚度可设计为 50mm, 以确保蒸汽在传输过程中的热量损失控制在 5% 以内。

通过集成温度、压力和流量传感器, 及 PID 控制系统, 实现对蒸汽流量调节, 确保介质温度波动不超

过 $\pm 2^\circ\text{C}$, 提升生产过程稳定性。对于高温高压管道, 应选用焊接连接方式, 接接密封性能与强度均优于法兰连接。在焊接过程中, 需控制焊接温度、速度与层间温度, 以避免焊接缺陷导致的管道失效, 焊接完成后需进行严格的检测, 如 X 射线检测或超声波检测, 保证焊缝质量满足要求。

2 化工装置中夹套管配管设计

2.1 避免死角或 U 型管

以某化工生产线为例, 当低于 80℃ 时, 易凝固流体介质, 其输送管道总长为 200m, 直径选定为 DN100, 保证有足够流量及压力。为避免在管道中形成死角或 U 型管, 导致介质局部冷却凝固, 夹套管设计采用分段式布局, 每段长度控制在 40m, 共计 5 段, 可减少因管道过长而导致热损失不均, 便于蒸汽进出口及冷凝水排放阀设置, 每段夹套管末端均配备有 DN25 的蒸汽进口和冷凝水出口, 使蒸汽循环热效率免受影响^[2]。

在夹套管内部, 蒸汽流动速度被调控在 1.5m/s - 2m/s 之间, 可保证足够热传递效率, 还可避免因流速过高导致能耗增加。蒸汽进口温度设定为 160℃, 出口温度稳定在 140℃ 左右, 保证介质维持在 90℃ - 100℃ 温度范围内, 防止凝固现象发生。为避免在管道弯曲处形成死角, 夹套管在转弯处采用大半径弯头, 减少介质在弯头处的滞留时间, 降低凝固风险。弯头处还增设保温层, 保温材料导热系数低于 0.035W/(m

·K), 减少热损失。当介质温度低于设定值时, 控制系统会自动增加蒸汽流量, 反之则减少, 保证介质温度波动不超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 提升产品质量。

2.2 切断阀门与排气口

在夹套管的冷媒体进口与出口处, 安装 DN50 的切断阀门, 可承受工作压力高达 4.0MPa, 工作温度范围在 -29°C -200°C 之间。每段夹套管末端均设置 DN25 的无阀排气口, 用于在系统启动或维护时排放内部积聚的空气, 保证空气顺畅排出, 避免对介质流动产生影响。

无阀排气口设计考虑到防腐蚀性能, 采用不锈钢材质, 在出现 U 型管或死角时, 为保证夹套管内伴热介质流动顺畅, 在低处设置 DN32 的液体排放口, 排放口每隔 30m 布置一个, 保证介质可完全排出, 避免因介质滞留而导致局部冷却或凝固问题。排放口的操作压力被限制在 2.5MPa 以内, 工作温度范围与切断阀门相适应, 保证系统整体协调。当系统检测到介质温度低于设定值时, 将自动调整蒸汽流量, 通过 PID 控制系统进行准确温度调节, 误差控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内, 当压力传感器检测到异常升高时, 切断阀门会快速响应, 隔离故障区域, 保障生产安全。立体管道泵体加工如图 1 所示:

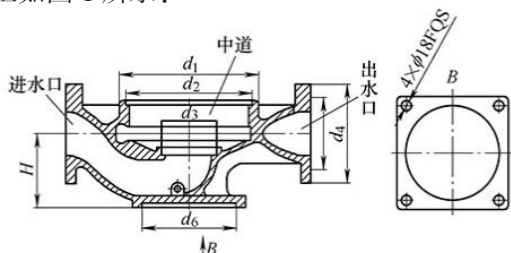


图 1 立体管道泵体加工

2.3 弯头与分支结构

在化工装置的夹套管配管设计中, 为避免流体在弯头处产生过大压力降涡流, 采用长半径弯头, 减少流体阻力, 降低介质在弯头处滞留时间, 减少热损失及凝固风险。弯头材质选用 316L 不锈钢, 以应对介质腐蚀性, 其屈服强度在 205MPa 以上, 保证结构安全。夹套管配管如图 2 所示:

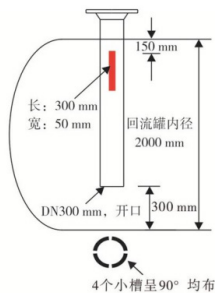


图 2 夹套管配管

在分支结构处理上, 采用 T 型三通和 Y 型三通相结合的方式, 以适应不同方向流体分配需求。T 型三通用于主要流体分配点, 保证有足够流量分配。Y 型三通用于较小分支, 可连接辅助设备或仪表, 三通采用无缝焊接技术, 减少泄漏风险。为优化热交换效率, 在弯头及分支结构周围增加额外保温层, 保温材料的导热系数低于 $0.03\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 厚度为 50mm, 减少热损失。在分支结构下游, 设置 DN40 排气阀, 用于在系统启动或维护时排放内部积聚的空气, 保证流体流动稳定。当系统检测到流体温度低于设定值时, 会自动调整蒸汽流量, 通过 PID 控制系统实现精确的温度调节, 误差控制在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内^[3]。

2.4 蒸汽流体夹套管设计

在化工装置复杂环境中, 蒸汽流体夹套管的进口位于水平管线的上方, 通常距离地面高度为 3.5m, 进口直径为 DN100, 以保证有足够蒸汽流量供应。蒸汽从进口进入夹套管后, 沿着管线向上流动, 为内管中化工介质提供热量。为避免蒸汽在管线内积聚, 设计团队在夹套管的最高点设置 DN50 排气阀, 该排气阀可自动排除管线内空气及蒸汽冷凝水, 保证蒸汽流动连续稳定。

在夹套管的低洼处, 设置 DN65 的排液阀, 该排液阀距离地面高度为 0.5m, 便于操作人员排放管线内积液, 防止积液对蒸汽流动造成阻碍, 减少热损失。排液阀的材质为耐高温、耐腐蚀的合金钢, 以承受高温蒸汽的冲刷和腐蚀, 确保长期稳定运行。为使蒸汽均匀、高效地传递给内管中化工介质, 在夹套管内设置导流板, 导流板间距为 1.5m, 材质为不锈钢, 厚度为 2mm。导流板使蒸汽在管线内有序流动, 减少涡流及死区产生, 提高热交换效率。为监测蒸汽夹套管工作状态, 安装多个温度和压力传感器。温度传感器的型号为 PT100, 测量范围为 $0-400^{\circ}\text{C}$, 精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 压力传感器的型号为 MPM480, 测量范围为 $0-4\text{MPa}$, 精度为 $\pm 0.01\text{MPa}$, 可实时掌握管线温度及压力变化, 保证生产安全。

3 化工装置中夹套管管道的配管安装

3.1 预制组装

夹套管预制组装需确定管材与配件规格, 以碳钢或不锈钢无缝钢管为例, 其工作压力不超过 25MPa, 工作温度范围在 -20°C -350°C 之间。内管直径选择依据工艺物料流量与压力需求, 外管需根据伴热介质的类型与流量来设计, 保证有充足的热传递效率。例如, 若内管直径为 100mm, 外管直径选择 150mm, 以确保有足够热交换面积。在预制阶段, 直管段对接焊缝间距, 内管应 $> 200\text{mm}$, 外管应 $> 100\text{mm}$ 。

为保证介质流动顺畅,应避免出现U型管或死角,也应在低处设置液体排放口,对于水平管线上的跨接口,需安装好无阀排液口,并向下布置。组装时,内管与外管需通过定位板、封口板等组件准确固定,定位板沿内管轴线布置间距,根据管道直径与工作温度,控制在200mm~900mm之间。焊接完成后,对内管进行压力试验,试验压力以内管内部或外部设计压力大者为基准,稳压10min后降至设计压力,停压30min,以不降压、无渗漏为合格^[4]。

3.2 支撑试压

支撑系统涉及支撑间距、支撑类型及支撑材料强度等,以一条长200m夹套管为例,其支撑间距需根据管道直径、工作压力及温度综合确定。假设管道直径为DN200,工作压力为4MPa,工作温度为250℃,支撑间距可设定为每6m设置一个固定支架,保证管道安全性。固定支架采用Q345B钢材,其屈服强度为470MPa,抗拉强度为630MPa,以承受管道在满负荷运行时的各种应力。在支撑系统的设计中,还需考虑管道热膨胀,对于DN200夹套管,在250℃工作温度下,管道热膨胀量为0.012mm/m。

在支撑系统中需设置滑动支架或导向支架,允许管道在热膨胀时自由移动,避免应力集中导致的管道损坏。滑动支架的间距通常设置为固定支架间距的1/2,即每3m设置一个,使管道在热膨胀时可顺畅移动。在管道安装完成后,需进行强度试验及严密性试验,在试验过程中,需对管道全面检查,保证无泄漏及变形情况。严密性试验压力为工作压力,4MPa,持续时间为30min。在试压测试中还需注意管道温度变化。对于DN200夹套管,在6MPa试压压力下,管道的温度将升高10℃,在试压过程中需对管道进行温度监控,保证管道温度在安全范围内波动,避免超温导致的材料性能下降或管道损坏。

3.3 蒸汽夹套管安装

蒸汽夹套管由内外两层管道组成,内管用于传输工艺介质,外管通入蒸汽,为内管提供保温或加热功能。以一条DN300的蒸汽夹套管为例,其内管直径为300mm,外管直径根据保温需求设计为350mm,保证有足够蒸汽流通空间以维持稳定加热效果。

蒸汽夹套管的壁厚需根据工作压力与温度综合计算,假设工作压力为6MPa,工作温度为250℃,内管壁厚选择为10mm,外管壁厚为8mm,以满足强度要求,还可控制制造成本。为使蒸汽在夹套内均匀分布,蒸汽入口设置在管道一端,采用DN80法兰连接,在蒸汽夹套管的安装过程中注意冷凝水的排放,冷凝水若不及时排出,将影响蒸汽加热效率,导致管道腐蚀。

需在蒸汽出口下方设置冷凝水排放口,采用DN40阀门控制,保证冷凝水顺畅排放,为防止冷凝水在管道低处积聚,需在管道的低洼处设置放水阀,定期排放积聚冷凝水。

3.4 跨接管、坡度

跨接管作为连接不同高度或不同位置的管道组件,以一条DN250夹套管为例,若两连接点之间高度差为3m,跨接管需采用DN50规格,以保证有足够介质流通能力,如两点间直线距离为5m,考虑到安装误差与热胀冷缩,跨接管实际长度可设计为5.2m,两端采用焊接方式与主管道连接,保证强度。对于DN250的夹套管,若介质为含有少量气体液体,跨接管的坡度应设置为每米下降3mm,以促进气体的自然上升与液体的顺利排放。假设跨接管的实际长度为5.2m,其末端应比始端低约15.6mm,确保介质在流动过程中能够有效分离气体与液体,避免气阻或液积现象的发生。

在夹套管系统中,对于传输高温介质的夹套管,如蒸汽管道,为避免介质在管道低洼处积聚导致的过热与腐蚀,管道整体坡度应设计应在0.002以上,保证介质可顺畅流动,及时排出冷凝水。若管道总长为100m,其末端应比始端低20mm,有效防止冷凝水积聚。对于需转弯管道,如90°弯头,其前后坡度需保持平滑过渡,避免坡度突变导致介质流动不畅或管道应力集中,对于DN250夹套管,90°弯头前后管道坡度变化应控制在±5mm以内,保证介质在管道内的稳定传输。

4 结论

在配管设计中,遵循介质特性、工艺流程及设备安装要求,保证夹套管可适应各种复杂工况。在跨接管设计上,充分考虑介质流量、压力及温度等因素,保证跨接管规格与长度合理,避免介质在管道内的积聚与气阻现象,保障管道顺畅流通。材质选择上,依据介质腐蚀性与温度压力要求,选用管道材料,如碳钢、不锈钢及合金钢等,保证管道安全,注重管道焊接质量与密封性能,采用焊接技术与检测设备,为管道长期稳定运行提供保障。

参考文献:

- [1] 王欢欢.化工装置中夹套管道管的配管设计[J].化工管理,2023,(29):135-137.
- [2] 曹淑霞.化工装置中夹套管道管配管的设计研究[J].化工管理,2022,(33):116-118.
- [3] 刘玉剑,丁春丹.石油化工装置夹套管的配管设计[J].化工管理,2022,(15):121-124.
- [4] 侯贵军.化工装置管道布置优化研究[J].化工设计通讯,2021,47(06):56-57+85.