

# 化工管道设计中的管道应力分析

段志刚（奥福科技有限公司江西分公司，江西 南昌 330001）

**摘要：**随着化工行业的快速发展和规模的扩大，管道系统的设计变得越来越复杂。管道应力是一个重要的设计参数，对管道的安全性和可靠性具有决定性的影响。由于管道系统的复杂性和多变性，管道应力分析仍然面临着很多挑战，如模型准确性、计算效率等。因此需要进一步研究和改进管道应力分析方法，以提高管道系统的设计水平和安全性。本文通过对化工管道设计中的管道应力分析的研究，对该领域进行了深入的探讨。

**关键词：**化工；管道设计；管道应力

近几年，管道应力在化学工业中管路设计技术得到了广泛的关注，并有了长足的发展。管线的设计依据及管线应力的计算，主要是对管线在不同的载荷下产生的应力、扭矩和受力进行分析，以便更好地提高管线的经济性、科学性和安全性。在石油化工、电力等化工行业中，管线的受力分析具有十分重要的意义。针对这一现状，本文从化工管线的基础知识入手，探讨了化工管道的应力设计，为化工管道的应力设计提供借鉴。

## 1 化工管道设计概述

### 1.1 管道设计基础知识

管道设计包括管道材料、管道尺寸和管道连接方式等因素的分析。其中，管道材料的选择需要考虑材料的机械性能、耐腐蚀性能和耐高温性能等因素。管道尺寸的确定要考虑到流量、压力损失和流速等参数，以满足工艺要求。管道连接方式可以选择焊接、螺纹连接或者法兰连接等，需要根据管道的使用条件和介质特性进行选择。在管道设计过程中，还需要考虑到管道的使用条件、介质特性以及工艺要求等因素，以确保管道的稳定性和安全性。通过这些基础分析，我们可以确定管道的基本参数，为管道设计提供可靠的理论基础。

### 1.2 常见的管道应力问题

化工管道在运行过程中会受到多种因素的作用，其中常见的管道应力问题包括弯曲应力、轴向应力和环向应力等。弯曲应力是在管道弯曲部位产生的应力，主要受到管道弯曲角度、管道尺寸和弯曲半径等因素的影响。轴向应力则是管道轴线方向上产生的应力，主要受到管道内部介质流动压力和温度变化等因素的影响。环向应力来自管道横截面上产生的应力，主要受到管道内部介质流动压力和管道周向应力的影响。

针对这些管道应力问题，可以采取一些解决方法。

对于弯曲应力，可以通过合理设计管道弯曲部位的半径和角度，减小弯曲应力的产生。对于轴向应力，可以采用支架支撑的方式来抵消部分轴向应力，或者采用膨胀节来吸收轴向应力的变化。对于环向应力，可以通过合理设计管道的壁厚和管道材料的选择，提高管道的抗环向应力能力。如果管道材料的硬度太高，则会弱化其弹性，导致其更容易断裂。因此在化工管道的设计中，需要对管道的柔韧性进行适当的加强，从而获得更好的弹性。为了提高管道的柔性，采用了换管方向和采用波纹管伸缩节进行管道体系建设等工艺。在管道工程施工难度较大的情况下，可以采用增加管道直径的方法，降低管道内的压力，从而改善管道的灵敏度。总之，化工管道设计中的管道应力问题是一个重要的研究内容。通过对常见的管道应力问题进行分析和解决方法的探讨，可以为化工工程中的管道设计提供可靠的理论基础和实践指导，从而保证管道的工作安全和稳定性。

## 2 管道应力分析方法和原理

### 2.1 弹性力学角度

弹性力学是研究物体在外力作用下产生形变和应力的理论。在管道应力分析中，弹性力学被广泛运用于对管道系统中应力的计算和分析。在弹性力学理论中，常用的条件包括：①线性弹性方面：假设管道材料在应力作用下呈现线性弹性行为，即应力和应变之间存在线性关系。这个假设在实际工程中常常成立，尤其是在应力低于材料的屈服强度时；②应力平面方面：假设管道材料中的应力沿着管道轴线方向和垂直于管道壁面的方向分布均匀。这个假设大大简化了管道应力分析的复杂性，使得应力分析可以通过求解一维或二维的力平衡方程来进行。

基于弹性力学角度，管道应力分析主要包括以下步骤：①边界条件根据实际情况，确定管道系统的边

界条件,包括管道的几何形状、材料性质、外部荷载和温度变化等;②管道形态:根据实际情况,对管道系统的几何形状进行建模,常常使用贝塞尔曲线或直线段来描述管道的形态;③网格划分:将管道模型划分为若干个简单的单元,通常使用有限元方法进行离散化处理。每个单元包含一定数量的节点和单元中心;④材料性能:根据管道材料的力学性能,设定每个单元的材料属性,如弹性模量和泊松比等;⑤力平衡:在每个单元中,根据弹性力学理论建立力平衡方程,通过求解力平衡方程并应用适当的边界条件,得到管道系统中各个单元的应力分布。通过以上步骤,可以得到管道系统中各个单元的应力情况,并进一步分析应力的分布和变化规律,为管道设计和应力控制提供依据。弹性力学理论在管道应力分析中的应用,可以有效减少管道系统损伤风险,并提高工艺系统的稳定性和可靠性。

## 2.2 计算方法

有限元分析方法是一种常用的数值计算方法,用于求解连续介质力平衡方程。在管道应力分析中,有限元分析方法被广泛应用于对管道系统中的应力进行计算和分析。有限元分析方法的大致含义是将复杂的连续介质划分成若干个简单的单元,然后通过求解这些单元之间的力平衡方程来得到整体的应力分布情况。这些单元通常是由节点和单元组成,节点是用于描述单元之间连接关系的点,单元是用于描述单元内部物理性质和边界条件的单元形状。通过对每个单元的力平衡方程进行求解,可以得到整个系统的应力分布。

## 2.3 静态应力角度

静态应力分析是化工管道设计中重要的一项工作,它主要用于确定管道在静止状态下所受到的应力情况。静态应力分析的目的是评估管道设计是否满足强度要求,并确定是否需要采取更多的支撑和加固措施。在进行静态应力分析时,需要对管道的几何形状进行建模,并确定管道的边界条件,然后根据管道所受到的载荷和压力,通过应力分析方法计算出管道中的应力分布情况。静态应力分析方法主要包括理论分析和数值模拟两种方法。理论分析是基于管道材料的力学性质和相关的公式计算出应力分布情况。而数值模拟则是通过使用计算机软件对管道进行有限元分析,通过模拟管道内部的应力情况。在进行静态应力分析时,还需要考虑一些特殊情况,如温度变化引起

的热应力和管道的振动引起的动态应力等。这些特殊情况可能会对管道产生不可忽视的影响,因此在进行应力分析时需要综合考虑这些因素。总之,静态应力分析是化工管道设计中必不可少的一项工作,它能够帮助设计工程师评估管道的结构强度,并确定合适的支撑和加固措施。通过合理的应力分析方法,可以确保管道在使用过程中能够安全稳定地运行。

## 2.4 动态应力角度

在化工管道设计中,动态应力分析是一个重要的研究内容。由于化工管道在运行过程中会受到流体的冲击、振动和温度的变化等外部因素的影响,管道应力会发生变化。为了确保管道的安全运行,必须对管道的动态应力进行分析。动态应力分析可以通过数值模拟方法来实现,需要建立管道的有限元模型,再根据管道所受到的动力荷载,进行动态加载分析。在加载过程中,考虑到流体的冲击和振动引起的管道应力变化,可以使用 ANSYS 等有限元软件进行模拟计算。通过分析得到的管道应力分布情况,可以评估管道的强度和稳定性。

在动态应力分析中,温度的变化也是一个重要的考虑因素。化工管道在运行过程中,由于介质的温度变化以及管道受到的外部环境温度的影响,管道的温度会发生变化。而温度的变化会导致管道材料的热胀冷缩,从而引起应力的变化。因此,在动态应力分析中必须考虑管道温度的影响,以确定管道在不同温度下的强度。此外,在动态应力分析中,还需要考虑管道的材料特性。不同材料具有不同的弹性模量、热胀系数和屈服强度等特性,这些特性决定了管道在受力下的应变和应力情况。因此,在分析过程中必须准确地确定管道所使用的材料,并考虑材料的特性对管道应力的影响。

## 3 管道应力优化设计方法

### 3.1 选取合适的管道支吊架架设计方案

受热面在电站蒸汽或锅炉设备上,在运行过程中会引起温差,是管路中很重要的一环。在安装支架时,必须先对管线的受力状况作详细的计算,主要的要求是弹簧支吊架和热位移的要求。弹簧支吊架在工厂中进行校核,安装在管线及设备后,调节相应的螺纹,松开锁紧销,此时弹簧的实际受力则是设计要求的冷态荷载。支吊架是管线体系中的重要组成部分,依据管线的工作状态和受力特点,进行合理的支吊架设计,可以降低管线受力对管线的不良影响,但同时,如果

支吊架的设置不合理、不科学,则会导致管线的受力增大,从而影响管线的安全运行。合理的管线吊架安装方案也可以降低管线的二次应力和压力,从而更好地保证管线的安全运行。

### 3.2 运用管道柔性设计方式

在化工管线的设计中,一般都会在管线的首段、尾段和三通接头等部位布置一些机械和混凝土构筑物。由于管道内介质的热胀冷缩,会对周围的机器、建筑物造成一定的压力。若管线本身具有比较高的刚性,则在荷载逐步增加时,周围的机器设备及建筑物都会产生一定程度的损伤。为此,在进行化工管线设计时,应注重管线的弹性设计,以保证管线在使用期间所受的应力都能在安全范围内。一般情况下,为防止管线发生形变,管线的柔性化设计需要工作在 $-50\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的低温环境。化工管线管径设计时,应根据管线的实际资料,科学地调整管线布局状态。管线在长期受力情况下,有可能发生变形,因此,设计者应灵活地进行管线的布置,并对管线的各种辅助设备进行合理的布置。化工管线本身具有一定的补偿功能,可以防止管线发生变形,当管线内部和外部的应力不断增加时,采用灵活的设计方法,可以通过增加天然补偿来避免管线发生变形。在化工管线中,应充分考虑输送介质的温度及输送能力,选用带螺纹的管件。通过对补偿器型号的科学选取,计算出具体碰撞数值,最后确定补偿器的安装位置,使其尽量靠近两根管线的中心。

### 3.3 适当提升管网柔韧水平

管网的柔性,可以让管道在承受压力的同时,具有一定的抗压能力和自我约束能力,而柔性差的管材,在受到压力的作用下,极易发生开裂,从而导致管线的最大应力,从而导致管路系统瘫痪。设计者在管材的选用上,要选用柔性好的材质,在管线的设计优化中,尽量使管线的弯曲程度达到最小,从而增强管线的抗冲能力。主要压力问题的数目,以降低自然因素的影响。适当提高管网的柔性程度,可以有效地减弱管道的内应力,减少化工管道的施工费用。

### 3.4 运用冷紧措施

由于生产钢管的材质是弹性的,在外部应力作用下,很容易发生性能和性能的变化。在化工管线中,由于输送介质的热力作用,管线会发生膨胀和收缩,从而造成管线的局部弯曲和变形,从而影响管线的正常使用。如果管线扭转度过大,则会导致输送介质的

泄露,对化工企业的正常生产及人们的安全构成了巨大的威胁。在化工管线的设计与优化中,必须先开展错排试验,将高温生产条件下的管线应力作用于冷弯,并与低压管线出口处产生的推力、扭矩相结合,有效地减小了管线的热胀应力,减小了管线运行时的应力。采用冷紧法可以减少管线的热拉伸应力,可以有效地缓解管线的持续应力,减少外部应力对管线的特殊影响,从而保证化工管线的长期安全稳定运行。

## 4 管道设计参数优化方法

在化工管道设计中,管道应力是一个重要的设计考虑因素。为了减小管道的应力,需要采取一定的优化设计方法。本节将介绍一种管道设计参数优化方法,以帮助实现管道应力的最小化。在管道设计中,需要确定一些关键的设计参数,如管道材料、管径、壁厚等。为了最小化管道应力,可以通过优化这些设计参数来达到目标。以管道材料为例,不同材料的力学性质不同,其可承受的应力也不同。因此,在选择管道材料时,需要考虑应力容限并选择能够满足设计要求的材料。管道的管径和壁厚也对管道应力有着重要影响。通常情况下,较大的管径和壁厚会导致较小的应力。因此,在进行管道设计时,可以通过调整管径和壁厚的大小来达到应力最小化的目标。然而,过大的管径和壁厚也会增加工程成本,因此需要在满足应力要求的前提下,综合考虑经济性。管道的支撑方式和布局也对管道应力有着重要影响。合理的支撑方式和布局可以提供足够的支撑力,减小管道的应力集中现象,从而降低应力水平。因此,在进行管道设计时,需要考虑支撑方式和布局,并进行相应的优化设计。

## 5 结束语

综上所述,本文对化工管道设计中的管道应力问题进行了全面深入的研究和分析。通过对管道应力分析的探讨,可以为化工工程中的管道设计提供可靠的理论基础和实践指导。希望本文的研究成果能够为化工相关领域的工程师和研究人员提供有益的参考。

### 参考文献:

- [1] 刘志强. 解读如何正确分析化工管道设计中的管道应力 [J]. 化工管理, 2019(26):202-203.
- [2] 李国永. 石油化工管道设计中基于应力分析的柔性设计分析 [J]. 化工管理, 2019(25):74-75.

### 作者简介:

段志刚(1986-),男,汉族,云南玉溪人,本科,工程师,研究方向:化工设计。