

# 管道应力影响因素分析

薛冰 崔梦杰 张雪雯 韩智超

中石化中原石油工程设计有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 本文全面探讨了管道应力的影响因素及其分析方法。通过对管道应力的基本概念、分类及内部压力、温度变化、外部载荷、土壤因素等关键影响因素的深入分析,揭示了管道应力产生的机理。同时,结合现代应力分析方法与工具,如静力学分析、动力学分析和有限元分析等,为管道工程的设计、施工和维护提供了理论支持和实践指导。本文旨在提高管道工程的安全性和可靠性,为相关领域的工程师提供有价值的参考。

**关键词:** 管道应力; 影响因素; 分析方法; 内部压力

引言: 管道作为石油、化工、能源等行业中不可或缺的基础设施,其安全性和可靠性至关重要。管道应力是影响管道安全性和可靠性的关键因素之一。因此,对管道应力影响因素进行深入分析,对于确保管道的正常运行、预防事故、优化设计和维护具有重要意义。本文将围绕管道应力的基本概念、分类、影响因素以及分析方法展开详细探讨。

## 1 管道应力影响因素分析的意义

### 1.1 评估管道的安全性能

管道应力分析能够评估管道的安全性能。在管道运行过程中,由于内部流体的压力、温度的变化以及外部载荷的作用,管道会产生各种应力。这些应力如果超过了管道的承载能力,就会导致管道发生变形、破裂等事故。因此,通过对管道应力的分析,我们可以预测管道在特定条件下的应力分布和变形情况,从而评估管道的安全性能。这有助于我们及时发现潜在的安全隐患,并采取相应的措施进行修复和改进,确保管道的安全运行。

### 1.2 优化管道设计与施工

管道应力分析对于优化管道设计与施工具有重要意义。在管道设计阶段,我们需要根据管道的用途、工作环境以及输送介质的特性等因素,选择合适的管道材料、壁厚以及连接方式等。而管道应力分析可以为我们提供科学的依据,帮助我们确定合理的管道布局和支撑方式,以及选择合适的材料和壁厚<sup>[1]</sup>。这不仅可以降低管道的成本,还可以提高管道的可靠性和使用寿命。在施工阶段,管道应力分析也可以帮助我们预测施工过程中可能出现的应力集中和变形等问题,从而采取相应的措施进行预防和控制,确保施工质量和安全。

### 1.3 指导管道维护与检修

管道应力分析还可以指导管道的维护与检修工作。在管道运行过程中,由于各种因素的影响,管道会产生

一定的磨损和腐蚀等问题。这些问题如果不及时处理,就会导致管道的泄漏、破裂等事故。而管道应力分析可以帮助我们及时发现这些问题,并确定其位置和严重程度。这有助于我们制定合理的维护和检修计划,及时对管道进行修复和更换,确保管道的正常运行。并且管道应力分析还可以为我们提供科学的依据,帮助我们选择合适的维护和检修方法和技术手段,提高维护和检修的效率和质量。

## 2 管道应力基本概念与分类

### 2.1 管道应力的基本概念

管道应力简而言之,是指管道在内外力作用下产生的形变和应力状态(如图1)。这些力可能来源于管道内部流体的压力、温度的变化,以及外部环境的载荷等。在力的作用下,管道会发生形变,同时内部会产生相应的应力。这些应力的方向和大小对于管道的安全性和可靠性具有重要影响。具体来说管道应力包括以下几种类型:(1)轴向应力:这是管道在轴向方向上受到的力所产生的应力。例如当管道内部流体压力增加时,管道会沿轴向伸长,从而产生轴向应力。(2)周向应力:周向应力是管道在圆周方向上受到的力所产生的应力。这种应力通常是由于管道内部流体压力的作用而产生的,它使管道在圆周方向上发生膨胀或收缩。(3)剪切应力:剪切应力是管道在受到剪切力作用时产生的应力。这种应力通常发生在管道的连接处或弯曲部分,当管道受到剪切力时,其内部会发生剪切变形。(4)弯曲应力:当管道受到弯曲力矩作用时,会产生弯曲应力。这种应力通常发生在管道的弯曲部分,如弯头、三通等位置。

### 2.2 管道应力的分类

#### 2.2.1 一次应力

一次应力是由管道内外压力、温度等直接作用引起的应力。这些应力是管道在正常运行过程中必须承受

的,因此也被称为“基本应力”或“直接应力”。一次应力包括由管道内部流体压力产生的周向应力和轴向应力,以及由温度变化引起的热应力等<sup>[2]</sup>。这些应力的大小和方向与管道的材料、尺寸、形状以及工作环境等因素密切相关。一次应力的特点是其大小和方向通常是可以预测的,并且可以通过合理的管道设计和选材来降低其影响。然而如果一次应力过大,可能会导致管道发生塑性变形、破裂等事故。

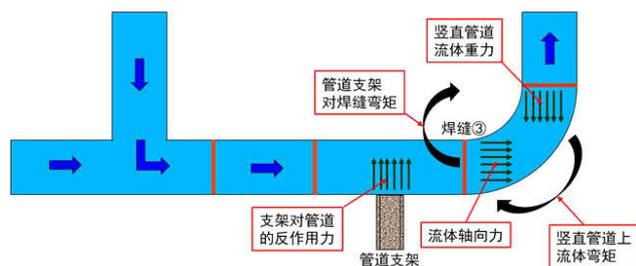


图1 管道各种应力示意图

### 2.2.2 二次应力

二次应力则是由管道变形、位移等间接作用引起的应力。这些应力通常与管道的支撑条件、约束方式和变形能力有关。二次应力包括由管道变形引起的弯曲应力、剪切应力等,以及由管道位移引起的附加应力等。这些应力的产生往往与管道的支撑结构、连接方式以及外部环境的载荷等因素有关。与一次应力相比,二次应力的特点是其大小和方向通常较难预测,且往往具有较大的随机性和不确定性。因此,在管道设计和运行过程中,需要特别注意对二次应力的控制和监测。

在实际工程中,为了降低管道应力的影响,通常会采取一系列措施,如优化管道布局、选择合适的支撑方式和连接方式、加强管道的强度和刚度等。并且还需要对管道进行定期的应力分析和监测,以确保其安全性和可靠性。

## 3 管道应力影响因素

在石油、化工、天然气输送以及各类工业流程中,管道作为连接各个生产环节的关键设备,其安全性和可靠性至关重要。管道应力作为衡量管道性能和安全性的重要指标,受到多种因素的影响。

### 3.1 内部压力

管道内部流体的压力是产生管道应力的主要因素之一。在管道运行过程中,内部流体对管壁产生的压力会直接导致管道发生形变,从而产生应力。这种应力包括轴向应力和周向应力。轴向应力主要发生在管道的轴向方向上,而周向应力则主要发生在管道的圆周方向上。随着内部压力的增加,管道的轴向和周向应力也会相应

增加。当压力超过管道的承载能力时,管道可能会发生塑性变形,甚至导致破裂。因此在管道设计和运行过程中,必须充分考虑内部压力对管道应力的影响,选择合适的管道材料和壁厚,以确保管道的安全运行。

### 3.2 温度变化

温度变化是另一个影响管道应力的重要因素。管道在温度变化时会发生热胀冷缩现象,从而产生应力。当温度升高时,管道会膨胀,产生热应力;当温度降低时,管道会收缩,同样会产生应力。温度变化对管道应力的影响主要体现在两个方面:一是直接引起管道的形变和应力;二是通过与内部压力的相互作用,加剧管道的应力状态<sup>[3]</sup>。如在高温高压条件下,管道的应力水平会显著提高,增加了管道破裂的风险。为了降低温度变化对管道应力的影响,可以采取一系列措施,如设置温度补偿器、选用热膨胀系数较小的管道材料等。另外在管道设计和运行过程中,还需要充分考虑温度变化的范围和速率,以确保管道的安全性和可靠性。

### 3.3 外部载荷

外部载荷是管道应力的另一个重要来源。这些载荷包括风载、雪载、地震等自然因素以及设备、建筑物等人为因素对管道施加的载荷。这些载荷会对管道产生额外的应力和变形,从而影响管道的安全性和可靠性。例如在强风或地震作用下,管道可能会发生振动或位移,从而产生动态应力。这些动态应力可能会对管道的支撑结构和连接部位造成损伤,降低管道的承载能力。此外,在设备或建筑物附近,由于人为因素的干扰,管道可能会受到额外的挤压或拉伸作用,同样会产生应力。为了降低外部载荷对管道应力的影响,需要采取一系列措施,如加强管道的支撑和固定、设置减震装置等。并且在管道设计和运行过程中,还需要充分考虑外部载荷的类型、大小和方向等因素,以确保管道的安全性和可靠性。

### 3.4 土壤因素

对于埋地管道来说,土壤的性质、位移量和位移宽度等因素也会对管道的应力产生影响。土壤的性质包括土壤的密度、弹性模量、摩擦系数等,这些因素会影响管道在土壤中的受力状态。当土壤发生位移时,会对管道产生挤压或拉伸作用,从而产生应力。这种应力的大小和方向与土壤的位移量、位移宽度以及管道与土壤之间的相互作用关系密切相关。此外,土壤中的水分含量、温度变化等因素也可能对管道的应力产生影响。为了降低土壤因素对管道应力的影响,需要采取一系列措施,如加强管道的防腐处理、设置土壤位移监测装置等。同时,

在管道设计和运行过程中，还需要充分考虑土壤因素的作用和影响，以确保管道的安全性和可靠性。

#### 4 管道应力分析方法与工具

在石油、化工、能源等工业领域，管道其安全性和可靠性至关重要。为了确保管道在各种工况下的稳定运行，必须对管道进行应力分析。管道应力分析的方法多种多样，每种方法都有其特定的应用场景和优势。同时借助各种先进的工具，工程师可以更加高效、准确地完成管道应力分析工作。

##### 4.1 管道应力分析方法

###### 4.1.1 静力学分析

静力学分析是管道应力分析中最基础也是最重要的一种方法。它主要用于计算管道在静态载荷（如内部压力、外部载荷等）作用下的应力和变形情况。静力学分析基于力学的基本原理，通过求解平衡方程，可以得到管道在特定工况下的应力分布和变形量。这种方法简单直观，适用于大多数常规工况下的管道应力分析。

###### 4.1.2 动力学分析

与静力学分析不同，动力学分析主要用于评估管道在动态载荷（如地震、风载、水锤等）作用下的响应和稳定性。动力学分析需要考虑管道的质量、阻尼和刚度等因素，通过建立动力学方程，求解管道在动态载荷作用下的振动特性、位移和应力等。这种方法对于评估管道在极端工况下的安全性和可靠性具有重要意义。

###### 4.1.3 有限元分析

有限元分析是一种更为精确和复杂的管道应力分析方法。它通过将管道划分为多个小单元，对每个单元进行力学分析，然后组合起来得到整个管道的应力分布和变形情况。有限元分析可以模拟各种复杂工况，如温度变化、材料非线性、接触问题等，因此具有广泛的应用前景。然而，有限元分析的计算量较大，需要借助高性能计算机和专业的分析软件。

##### 4.2 管道应力分析工具

###### 4.2.1 应力分析软件

应力分析软件是管道应力分析中不可或缺的工具<sup>[4]</sup>。这些软件通常集成了静力学分析、动力学分析和有限元分析等多种功能，可以帮助工程师快速、准确地计算和

分析管道的应力情况。应力分析软件通常具有友好的用户界面和强大的后处理功能，可以方便地查看和分析计算结果，为管道的设计、施工和维护提供科学依据。

###### 4.2.2 有限元分析软件

有限元分析软件是管道应力分析中最为精确的工具之一。这些软件通常采用先进的数值算法和高效的计算技术，可以模拟各种复杂工况下的管道应力分布和变形情况。有限元分析软件通常具有强大的建模和网格划分功能，可以方便地处理各种复杂的几何形状和材料属性。此外，有限元分析软件还可以与其他工程软件进行数据交换和协同工作，提高分析效率和准确性。

###### 4.2.3 管道应力计算手册

管道应力计算手册是工程师进行管道应力分析时的重要参考资料。这些手册通常包含了各种管道应力分析的基本公式、方法和实例，可以帮助工程师快速了解和掌握管道应力分析的基本原理和应用技巧。此外，管道应力计算手册还可以提供关于管道材料、连接方式和支撑结构等方面的实用信息，为工程师提供全面的技术支持。

#### 结语

本文通过对管道应力影响因素的深入分析，结合现代应力分析方法与工具，为管道工程的设计、施工和维护提供了理论支持和实践指导。在未来的工作中，我们将继续探索更加精确、高效的管道应力分析方法和技术手段，为管道工程的安全性和可靠性提供更加坚实的保障。同时，我们也呼吁广大工程师和科研人员加强对管道应力问题的研究和关注，共同推动管道工程技术的不断发展和进步。

#### 参考文献

- [1]李洪昌,王晓迎.石油化工压力管道柔性设计的浅析[J].化工设计通讯,2019,45(03):27-27.
- [2]陈玲玲.石油化工管道应力设计探究[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(21):124-125.
- [3]于大鹏.石油化工管道应力分析[J].化工设计通讯,2023,49(02):13-15.
- [4]苏航,李倩.石油化工管道应力设计要点分析[J].造纸装备及材料,2022,51(01):145-147.