

压力管道应力分析

曹立春

内蒙古自治区特种设备检验研究院通辽分院 内蒙古 通辽 028000

摘要：高压管路的位置关系到高压管路的安装后的安全使用，所以做好位置研究是非常有必要的。为此，文章特别关注了压力钢管应力研究的重要性和复杂性，并研究了产生钢管应力的关键因素，包括荷载、材料及结构因素。通过综合分析这些因素，文章提出了有效的应力管理与优化策略，如管道柔性设计、精确的应力校核与调整，以及特殊元件的合理选用。这些措施旨在降低管道在运行过程中的应力集中，提高管道系统的安全性和可靠性，为压力管道的设计、安装、运行及维护提供科学依据和技术支持。

关键词：压力管道；应力分析

引言：压力管道作为工业领域中输送流体介质的关键设施，其运行安全直接关系到生产效率和人员安全。然而，在复杂多变的工况条件下，压力管道易受到多种应力的影响，可能导致材料疲劳、裂纹扩展乃至破裂等严重后果。因此，对压力管道进行精确的应力分析，识别潜在应力集中区域，并采取相应的优化措施，对于确保管道系统的长期稳定运行具有重要意义。旨在探讨压力管道应力分析的方法、影响因素及优化策略，为压力管道的安全设计与管理提供参考。

1 压力管道应力分析的特点

高压管道应力分析中，虽然对高压钢管的薄膜残余应力、局部弯曲应力等问题并不是完全进行了分析，但是在对高压钢管的一次应力与二次应力进行组合分析的时候，虽然也是进行了深入分析，可是这二个项目的内部应力分析的目的与要求却是不相同的。对于一次的应力分析而言，只是提供了压力管道的最大可接触压力值，因此在对二次应力的分析时，主要是围绕抗振问题而展开的，所以，压力管道应力计算也具有与其相当的特点。另外，在对高压钢管二次应力的测量中，它又是进行对高压管道二次应力测量的主要基础，其重点就是通过测量高压钢管的稳定性和工作可靠性，而很大程度的降低了高压钢管的疲劳特性，这也使它具有了相当的针对性。在对高压钢管的一次应力的计算上，其校正技术与剪应力学的理论并不相同，在分析的同时，它并不能对高压管线的纵向应力作出任意的分析与估计。与电气设备相连接的管道一般都要收到一定的影响，而这些压力也通常都是来自于高压管道自身产生的，但又由于高压管道自身也存在着相应的柔软度问题，其对负载的选择也就一定要在所规定的范围以内，而唯有如此，才可以确保高压管道正常工作的安全和稳定性。若负载情

况偏离了设计标准，则会导致许多不合理的现象出现，对高压管线和电气设备来说也造成了困扰。特别是对于那种在设备关口附近的高荷载情况来说，技术人员就应该将其控制在技术规定范围之内。针对其他必要性的机械压力问题，也需要严格遵守相应的技术标准，因为只有这样，才能够从根本上更有效地保障高压管道的安全稳定运行^[1]。而针对于高压管道的机械压力振动与脉动影响这一层问题，可参照相关的国际标准规范，通过综合考虑力保证高压钢管应力在可接受范围以内。

2 压力管道应力影响因素研究

2.1 荷载因素

在压力管道应力影响因素的研究中，荷载因素扮演着至关重要的角色。荷载，作为直接作用于管道系统上的外部力量或条件，其种类、大小及分布方式均会显著影响管道的应力状态。第一，温度差异引起的热应力是压力管道中最为常见的荷载因素之一。当管道内部流体温度与外部环境温度存在显著差异时，管道材料会因热胀冷缩效应而产生显著的变形，进而在管道中产生显著的应力。此外，内部压力作为管道运行的基本条件，其大小直接决定了管道壁面所承受的法向应力，是压力管道设计时需要重点考虑的因素。第二，除了温度和内部压力外，外部荷载如土壤压力、风荷载、地震力等也会对管道应力产生影响。特别是对于埋地管道而言，土壤压力的不均匀分布可能导致管道局部区域应力集中，进而引发破坏。而风荷载和地震力等动荷载则可能使管道产生振动和位移，增加管道的疲劳损伤风险。第三，在压力管道的设计、施工及运行维护过程中，必须充分考虑各种荷载因素的作用，通过合理的结构设计和有效的应力分析手段，确保管道在各种工况下均能安全稳定运行。同时，还应根据具体情况制定相应的监测和维护计

划,及时发现并处理潜在的安全隐患,保障压力管道的长期安全运行。

2.2 材料因素

在压力管道应力分析领域,材料因素是不可忽视的重要方面,它直接关联到管道的承载能力、应力分布及长期服役性能。具体而言,材料的物理力学特性,如弹性模量、泊松比、线膨胀系数、屈服强度及断裂韧性等,均会对管道在荷载作用下的应力响应产生显著影响。第一,弹性模量是评价材料抗弹性扭曲能力的重要参数,其数值的高低直接制约着管道在承受外力作用时会形成的应变变量,从而反映了内部应力的分布。其中,线热膨胀系数则体现了材质随温度变动而产生体积改变的特点,对温度变化很大的高压管材来说,这一特点尤为重要,由于它直接关系着热应力的产生和变化。而第二,材质的热屈服强度和断裂韧性则是判断管材稳定性的最重要数据。屈服强度决定了金属材料在什么应力条件下开始产生塑性变形,而断裂韧性则代表着金属材料抗破裂损伤的能力。对高压钢管来说,当材料所受应力大于其屈服抗拉强度后,管材会出现塑性变形,如果进一步扩展至超过或大于断裂韧性,则可能导致管材的断裂损坏。第三,在压力管材的设计、选型和应力计算过程中,应当充分考虑材质的各种物理力学特征,并采用合理的材质选型和设计方案,确保管道在各种工况下均能满足安全服役的要求^[2]。

2.3 结构因素

在压力管道应力分析中,结构因素同样占据着举足轻重的地位,它直接关系到管道的应力分布、变形特性以及整体稳定性。结构因素涵盖了管道的几何形状、尺寸、布局、支撑方式以及连接形式等多个方面。第一,管道的几何形状和尺寸会直接影响其受力特性和应力分布。例如,管道的弯曲半径、直径变化、壁厚不均等因素都可能导致局部应力集中,增加管道失效的风险。因此,在管道设计时,需要合理确定管道的几何参数,以优化应力分布,提高管道的承载能力。第二,管道的布局和支撑方式也是影响应力的关键因素。合理的管道布局可以减少不必要的弯头和支管,降低流阻和应力集中;而恰当的支撑方式则可以限制管道的位移和振动,防止因过度变形或共振而引发的疲劳破坏。因此,在管道安装过程中,需要根据实际情况选择合适的支撑形式和间距,确保管道的稳定运行。

3 压力管道应力管理与优化

3.1 管道柔性设计

它旨在通过精心规划管道的几何布局、选用适宜的

管道材料和支撑结构,以及集成有效的应力缓解装置(如补偿器),来赋予管道系统足够的柔性,以应对因温度变化、介质流动、外部荷载及设备安装误差等因素引起的热胀冷缩、位移和振动。这一过程不仅关乎管道自身的安全与稳定,还直接影响到与之相连设备的安全运行、系统的长期维护成本以及整体能效的发挥。第一,管道柔性设计需综合考虑管道的走向、弯曲度、直径变化、壁厚选择以及支撑方式等多个方面。通过增加管道的弯曲路径,可以自然吸收部分因热胀冷缩产生的长度变化,减少管道内部的应力累积。同时,合理设置管道支架,采用弹性或可调式支架替代刚性支架,能够允许管道在特定方向上发生一定程度的位移,从而进一步释放应力,保护管道免受破坏。第二,在管道系统中集成补偿器也是提升管道柔性的重要手段。补偿器,如波纹管补偿器、套筒补偿器等,能够吸收管道因温度变化或其他因素导致的长度变化,有效缓解管道应力,并减少因应力集中而引发的疲劳破坏风险。在设计过程中,需根据管道的具体工况、介质特性及运行环境,选择合适的补偿器类型、尺寸和使用地点,以保证产品可以发挥功效。

3.2 应力校核与调整

在复杂工况下,管道不仅承受静态载荷,还可能遭遇如流体冲击、振动等动态载荷的影响。因此,除了基本的静态应力分析外,还需进行动态应力分析,以全面评估管道在动态载荷作用下的应力响应。第一,动态应力分析通常依赖于更高级的数值模拟技术,如流固耦合分析(FSI),它能够模拟流体与管道结构之间的相互作用,更准确地预测管道在动态工况下的行为。通过这类分析,设计者可以识别出潜在的振动源,评估振动对管道应力的影响,并据此采取相应的减振措施,如安装阻尼器、调整管道支撑间距或优化流体流动特性。第二,在应力调整阶段,除了上述提到的常规方法外,还可以考虑采用先进的材料和制造技术来增强管道的强度和韧性。例如,采用高强度合金材料、复合材料或进行热处理以提升材料的力学性能;利用先进的焊接和成型技术确保管道接头的质量和强度;以及在管道设计中融入智能化元素,如安装应力监测传感器,实时监控管道应力状态,为后续的维护和调整提供数据支持。第三,应力校核与调整还应与管道系统的整体设计和运行策略相结合。例如,在管道布局设计中,应尽量避免急弯和突变截面,以减少应力集中;在管道运行过程中,应合理控制介质流速、温度和压力,避免超出管道材料的承受范围。同时,还应建立完善的管道维护制度,定期对管道

进行检查和维修,及时发现并处理潜在的应力问题。

3.3 特殊元件选用

在压力管道系统的设计与构建中,特殊元件的选用是确保系统高效、安全运行的关键环节。这些特殊元件,如高压阀门、膨胀节(补偿器)、减压装置、安全阀以及特殊材质的管道段等,往往承担着调节流量、控制压力、吸收位移、保障安全等关键功能,其性能优劣直接影响到整个管道系统的稳定性和可靠性。第一,针对高压环境或特殊介质,选用能够承受极端工况条件的高压阀门至关重要。这些阀门需具备高强度、耐腐蚀、密封性能好等特点,以确保在高压差、高温或腐蚀性介质下仍能稳定工作,有效防止泄漏和事故发生。第二,膨胀节(补偿器)作为缓解管道热胀冷缩应力的关键元件,其选型需充分考虑管道系统的温度范围、位移量、介质性质及安装条件等因素。不同类型的膨胀节,如波纹管式、套筒式、球形等,各有其适用场景和优缺点,需根据具体需求进行合理选择,以最大化地发挥其补偿和吸震作用。第三,减压装置和安全阀的选用同样不容忽视。减压装置能够自动将管道内的压力维持在安全范围内,防止因超压而引发的爆炸事故;而安全阀则作为管道系统的最后一道防线,在压力异常升高时迅速开启,释放多余压力,保护管道和设备的安全。这些元件的选用需遵循严格的标准和规范,确保其性能可靠、动作灵敏^[1]。

3.4 检验中应用

在特种设备检验的广阔领域中,红外热成像技术以其独特的温度敏感效应发挥着不可替代的作用。这一技术的核心原理在于,任何高于绝对零度的物体都会自发地向外辐射红外线,且物体表面温度越高,其释放的红外线强度也相应增大。正是基于这一原理,红外热成像技术能够非接触、快速地捕捉到物体表面的温度分布信息,进而为检测人员提供直观、准确的物体内部状态判断依据。第一,在特种设备,尤其是压力管道、储罐

等关键设备的检验过程中,红外热成像技术的应用尤为关键。它可以根据检测需求,灵活采用主动式或被动式两种检测技术。主动式检测技术,顾名思义,是通过外部热源对低温物体进行加热处理,人为地创造出温度差异。当被检测物体内部存在缺陷(如裂纹、腐蚀坑等)时,这些缺陷区域往往会因为热导率的不同而表现出与周围区域不同的热响应特性,从而在红外热成像图上形成明显的温度异常区域,便于检测人员快速定位缺陷位置。第二,而被动式检测技术则更加依赖于被检测物体自身的温度特性。它利用红外线热成像仪直接扫描物体表面的温度场,通过捕捉物体自然辐射的红外线,生成高分辨率的热成像图。检测人员可以通过对热成像图的仔细观察,分析物体表面的温度分布规律,进而推断出物体内部可能存在的损伤或缺陷。这种检测方法无需对被检测物体进行任何预处理,具有操作简便、检测速度快、不影响设备正常运行等优点。

结束语

综上所述,压力管道应力分析是保障管道系统安全运行的关键环节。通过深入研究应力分布规律,我们能够有效识别并控制潜在的风险点,为管道的设计、安装和维护提供科学依据。未来,随着技术的不断进步和工程实践的深入,我们有理由相信,压力管道应力分析将更加精准、高效,为工业生产的安全稳定保驾护航。同时,我们也应持续关注新材料、新工艺的发展,不断优化应力管理措施,推动压力管道技术的持续进步。

参考文献

- [1]陆玲仙.压力管道应力分析的内容及特点[J].丝路视野,2020,(06):10-11.
- [2]邹梅芳.论压力管道应力分析的内容及特点[J].冶金动力,2019,(08):04-05.
- [3]陈曦.在用压力管道应力分析及安全评定系统的开发[D].大连理工大学,2020,(12):01-01.