

# 旋转补偿器在复杂管网蒸汽管道中的应力分析与设计应用

王守印

山东神州工程设计有限公司南京分公司，江苏南京

**摘要：**旋转补偿器是一种重要的管道附件，它在复杂的管网蒸汽管道系统中扮演着重要角色，本论文将对旋转补偿器的原理、功能和特点、在蒸汽管网中的适用性和应力分析等几方面加以讨论。通过简要的介绍，得出其能够有效缓解管网热应力，增强系统稳定性的优势，同时根据复杂管网蒸汽管道的应力分析原理，分析旋转补偿器对复杂管网蒸汽管道应力分析的优化作用。

**关键词：**旋转补偿器；复杂管网；蒸汽管道；应力分析；设计应用

---

## Stress Analysis and Design Application of Rotating Compensator in Complex Pipe Network Steam Pipeline

Shouyin Wang

Shandong Shenzhou Engineering Design Co., Ltd. Nanjing Branch, Nanjing, Jiangsu

**Abstract:** As a critical pipeline component, the rotary compensator plays a vital role in complex steam pipeline networks. This paper examines its operational principles, functional characteristics, applicability in steam pipelines, and stress analysis. Through a concise introduction, it demonstrates the compensator's ability to effectively mitigate thermal stresses and enhance system stability. Furthermore, based on stress analysis principles for complex pipeline networks, the study analyzes the compensator's optimization effects on stress distribution in such systems.

**Keywords:** rotary compensator; complex pipeline network; steam pipeline; stress analysis; design application

## 1 旋转补偿器的基本原理与功能

### 1.1 旋转补偿器的工作原理

旋转补偿器主要是通过其旋转功能来实现补偿作用的。蒸汽管道在运转时，由于温度的变化等原因，会导致管道产生热胀冷缩的现象，由于旋转补偿器的内部装置可以通过旋转功能，在一定的角度范围内进行自由转动，对管道热胀冷缩造成的轴向、横向位移以及角度位移进行吸收，将管道应力进行有效分散，防止管道因为应力集聚而受损，保证蒸汽管道的安全运转。

### 1.2 旋转补偿器在蒸汽管网中的作用

旋转补偿器在蒸汽管网上有着十分关键的作用，它可以大大减少管线因热胀冷缩而引发的应力，防止管线因为应力过大而变形、破裂，大大延长管线的使用寿命从而降低了维修和更换的成本；它可以对管线的轴向位移、横向位移、角位移进行补偿，确保管线在各种工况条件下正常运行，防止因为位移不平衡而导致的管线接头松脱、漏水等情况的发生；它可以使蒸汽管网的整体结构更加紧凑合理，减少因为预留伸缩空间而占用的空间，从而提高管网的布置更加紧凑合理；它可以减小蒸汽流动的阻力，从而减小能量损耗，提高输送效率，进而使蒸汽运行更加经济。

## 2 复杂管网蒸汽管道的应力分析基础

### 2.1 管道应力分析的重要性

复杂的管网蒸汽管道系统，管道的应力分析是重点，管道在工作状态下，受温度、压力、介质流等各种因素影响下，相互作用的管道会产生复杂的应力状态，如果不进行管道的应力分析，管道会因为管道中的应力集中、应力过大等因素在短时间内出现疲劳破坏、塑性变形、断裂等情况，造成蒸汽泄漏，影响系统的正常运转，甚至会形成安全事故，对人员和设备造成严重的影响[1]。科学合理的管道应力分析，能提前预测管道在不同工况下管道的应力状态，找出应力集中位置，为管道设计、安装、运行、维护提供可靠的依据，为管道系统的

安全可靠运行提供保障，提高管道系统的使用寿命，降低成本。

### 2.2 管道应力分析的基本方法

管道应力分析有解析法、数值模拟法和实验法，解析法就是以弹性力学理论为基础，通过建立数学模型的办法来对管道的应力进行计算分析的方法，这种方法对于简单的管系和简单的载荷比较适用。数值模拟的方法就是借助于有限元分析这样的数值办法可以对复杂的管系和复杂的载荷进行应力的分析计算。这种方法比较灵活，应用范围比较广。实验法就是建立模型进行应力试验，对理论分析和数值模拟进行校核，通常用在重要的管路系统进行应力验证和校核。

## 3 旋转补偿器在应力分析中的应用

### 3.1 旋转补偿器对管道应力的影响

蒸汽管道系统中的旋转补偿器的作用非常突出，其对管道系统应力情况的影响有以下方面。第一，旋转补偿器吸收热胀冷缩的轴向位移量，借助独特的旋转结构可以降低管道轴向应力，吸收管道位移，降低管道应力集中出现破损的有效性，可以有效提升管道自身安全性。第二，旋转补偿器吸收部分弯曲及扭转等变形量，可以有效改变管道应力情况，可以有效保障管道系统的应力分布均匀性，避免应力过度导致管道损坏[2]。

另外，旋转补偿器对于管道发生横向位移也有一定的补偿作用，蒸汽管道在使用的过程中由于外界因素或自身介质流动等的影响会产生横向位移，旋转补偿器能够通过自身的旋转、伸缩来适应管道的横向位移，减少管道横向的应力，降低由于管道横向力不均匀所产生的变形及损害。旋转补偿器在降低管道应力的同时可以减少管道对于支撑点结构的作用力，减少支撑点结构所受到的损害，延长支撑点结构的使用寿命，降低整体管道的维护成本和运行风险。

### 3.2 旋转补偿器优化应力分布的原理

旋转补偿器能够实现对于应力分布的补偿，

主要原因就在于旋转补偿器的自身结构设计和机械特性，在蒸汽管道系统温度发生变化的过程中，管道系统会发生热胀冷缩，由于旋转补偿器内部球体的可动性，能够通过旋转补偿器来实现管道横向、纵向、角向等多个方向的相对位移，由于位移的自由度数，从而能够使得管道系统应力分散，不会导致管道系统产生应力集中[3]。旋转补偿器的弹性元件和摩擦副能够吸收和耗散部分管道变形所带来的能量，能够降低管道系统最大的应力，应力分布沿着管道纵向分布，使得管道系统得到稳定性。

此外，旋转补偿器的球体结构在管道间的连接有特别的设计，它不仅能保证旋转补偿器承受管道内压力、热应力时，具有良好的密封效果，同时，当管道位移时，它还不会对管道附加额外的约束力。这种作用下的管道，它在膨胀时，管道内热胀冷缩的作用就会更加自由，应力分布也就可以更加的均匀。同时，旋转补偿器在运作时，它自身的弹性元件会随着管道内应力大小调整自身弹性力，它总是与管道内应力相符合，不断调整管道应力，保证管道系统处于最佳应力工况下。

## 4 设计应用：旋转补偿器的选型与配置

### 4.1 旋转补偿器的选型标准

首先在选择型时，应先确定管道的尺寸，管道的尺寸包括管道的直径、压力、温度及热胀冷缩量，它直接影响着旋转补偿器的载荷及位移，从而选择合适的型号。其次是材料的选取，应选择与管道介质相匹配、耐腐蚀、耐高温的旋转补偿器材质，以使旋转补偿器有更长的寿命，并保证系统安全。此外，旋转补偿器的密封性能也是选型时不可忽视的关键因素，优质的密封结构能有效防止介质泄漏，保障管道系统的稳定运行[4]。最后，还需综合考虑旋转补偿器的安装空间、维护便利性以及成本效益，选择性价比最优的产品。

具体而言，对于管道直径较大的系统，应优先选择承载能力强、补偿量大的旋转补偿器型号，以适应大尺寸管道在热胀冷缩过程中产生的较大位移。在高压工况下，要确保所选旋转补偿器具备足

够的耐压能力，其设计压力应高于管道系统的最高工作压力，并留有一定的安全裕量。针对高温环境，需挑选采用耐高温材料制造的旋转补偿器，保证其在长期高温运行下不会出现性能下降或损坏。同时，根据管道介质的特性，如酸性、碱性等，选择具有相应耐腐蚀性能的材质，防止介质对旋转补偿器造成腐蚀，影响其密封性能和使用寿命。在密封性能方面，要考察旋转补偿器的密封结构设计和密封材料的性能，优先选择采用先进密封技术和优质密封材料的产品，确保在各种工况下都能实现可靠的密封。对于安装空间有限的场合，应选择结构紧凑、尺寸较小的旋转补偿器，以满足安装要求[5]。在考虑维护便利性时，可选择具有便于拆卸和检修设计的旋转补偿器，降低后期维护成本。最后，在满足上述各项要求的前提下，对不同品牌和型号的旋转补偿器进行成本比较，选择价格合理、性能优良的产品，实现成本效益的最大化。

### 4.2 旋转补偿器在管网中的配置原则

对于设置旋转补偿器时应该遵循以下原则，根据管道系统走向和布线情况设置旋转补偿器，确保旋转补偿器能够吸收管道的热胀冷缩量，一般设置在管道直线处或者靠近弯头处。其二，对于相对长的管道系统来说，应该根据管道的长度和热胀冷缩量，设置合理数量的旋转补偿器，确保管道系统各部位应力均衡，避免出现局部应力过大问题。其三，根据管道系统的支撑结构，进行旋转补偿器的设置，确保管道在运行中保持稳定，不会因为旋转补偿器的设置出现晃动和位移等问题。其四，进行旋转补偿器的设置时，还应该考虑到管道系统的检修维护，预留出足够的空间供旋转补偿器的检查、维修和更换。

## 5 旋转补偿器设计中的关键参数分析

### 5.1 管道温度对补偿器设计的影响

管道温度是影响旋转补偿器设计的关键因素，温度提高时，管道材料受热膨胀产生较大的热应力，旋转补偿器必须有相当大的补偿力才能吸收管道的热位移，否则管道会被过度应力破坏。温度提

高时,管道材料会劣化,例如强度降低、弹性模量降低,设计时必须考虑设计具有较大强度、弹性模量的耐高温材料。温度降低时,管道材料收缩,补偿器需要适应收缩且不泄露。温度降低时,补偿器的疲劳寿命将受到影响,旋转补偿器设计需要考虑温度循环对补偿器结构的影响,应具备足够的耐久性。

## 5.2 管道压力对补偿器设计的影响

此外,压力是旋转补偿器设计的另一方面的因素需要考虑的问题,在较高压力的环境下管道需要经受巨大的压力,旋转补偿器设计要满足管道承受压力需要足够的强度,不能出现管道破裂、变形的情况,而且密封要足够好,防止高压介质泄漏引发事故。在设计中还要考虑在工作压力最大的情况下管道补偿器的应力,防止补偿器结构出现安全问题。另一方面,压力的波动会对补偿器造成疲劳影响,长期使用会使得补偿器材料出现疲劳,在设计中还要考虑压力循环对补偿器的寿命的影响,选择合适的材料和结构来提高补偿器的疲劳性。此外,压力较低的管道系统如低压、真空管道系统,补偿器设计要防止系统的形状由于大气压的影响,导致系统变形和密封。

## 6 结语

旋转补偿器是复杂管网蒸汽管道中一个重要的设计内容,旋转补偿器的设计应用直接关系到整个管网系统安全运行。通过对管道温度、压力等因素对旋转补偿器设计的影响进行研究,有助于掌握旋转补偿器设计的关键性,让旋转补偿器的应用效果在不同工况下达到最优。在未来技术的不断进步,应用情景的不断增加,旋转补偿器的设计将会变得更具针对性,更具智能性,让复杂管网蒸汽管道安全运行得到更加有力的保障。

## 参考文献

- [1] 简林桦.供热管网旋转补偿器的应力分析建模与工程应用[J].区域供热,2022(04):105-109.
- [2] 屠博,李立瑶,程勇明,等.高温高压蒸汽管道应力分析及优化调整[J].节能,2024,44(04):142-144.
- [3] 陈敦炳,叶盛春,廖志强,等.高温蒸汽管道异径管服役状态下的应力分析[J].宁夏电力,2023(01):64-68.
- [4] 赵飒.工业蒸汽管道的设计及应力分析探讨[J].山东化工,2022(10):152-153.
- [5] 王峰,马桂良,朱翠英,等.基于应力安全评估的主蒸汽管道开裂原因分析与优化.今日制造与升级,2024(03):185-187.

