

氢能掺混下城市燃气输配系统自控逻辑重构与管网仿真适应性研究

孙伟

河北省天然气有限责任公司，河北省石家庄市，050500；

摘要：全球能源结构的转型和环保要求的日益提高，氢能作为一种清洁能源在城市燃气系统中的应用逐渐引起了广泛关注。氢能掺混到天然气中，不仅能够减少温室气体排放，还能够有效提升能源利用效率。本文针对氢能掺混对城市燃气输配系统的影响，提出了燃气管网自控逻辑重构方案，并通过管网仿真模拟分析了系统在氢能掺混情况下的适应性。研究发现，氢能掺混后，燃气管网在运行过程中面临着气体性质的变化，包括燃气热值、流量特性等的不同。为了应对这一变化，本文构建了一套基于自控逻辑的调节模型，通过实时数据采集与反馈调节机制，实现了管网的高效稳定运行。仿真结果表明，经过自控逻辑重构后，氢能掺混的城市燃气系统能够较好地适应氢气的掺入，满足能源供应的稳定性和安全性要求。本文的研究为氢能掺混在城市燃气系统中的应用提供了理论支持和实践指导。

关键词：氢能掺混，城市燃气，输配系统，自控逻辑重构，管网仿真

DOI：10.69979/3029-2727.25.06.011

引言

能源的可持续发展是当前全球面临的重大挑战之一，尤其是化石能源的过度依赖带来了严重的环境污染和气候变化问题。为了实现绿色低碳的目标，清洁能源的替代和应用成为全球能源改革的重要方向。氢能作为一种清洁、高效、可再生的能源，被认为是解决能源结构转型的关键技术之一。氢能掺混天然气在一些国家和地区已经开始得到应用，特别是在城市燃气系统中，氢气的掺入不仅可以减少温室气体的排放，还可以通过提升能源多样性来增强能源供应的安全性。

然而，氢能掺混天然气后，会对城市燃气输配系统的运行带来一定的影响。氢气的物理性质与天然气差异较大，尤其在热值、密度、流量等方面的不同，可能会导致管网流量的不稳定，影响燃气设备的运行效率，甚至可能带来安全隐患。因此，在氢能掺混的背景下，必须对现有的城市燃气输配系统进行自控逻辑的重构，以适应新型气体的输配需求。同时，管网仿真技术作为评估和优化城市燃气系统运行的重要工具，可以有效地预测和模拟氢能掺混对管网运行的影响，为系统优化提供决策支持。

本文将围绕氢能掺混对城市燃气输配系统的影响展开研究，重点分析如何通过自控逻辑重构和管网仿真技术优化系统适应性。通过构建基于氢能掺混的自控逻辑调节模型，本文提出了一种改进的控制策略，并通过

仿真分析了不同氢能掺混比例下的管网响应，验证了该方法在保障系统稳定性和安全性方面的有效性。

1 氢能掺混对城市燃气输配系统的影响

1.1 氢能掺混的基本特性

氢能作为一种气态能源，具有与天然气明显不同的物理和化学特性。首先，氢气的热值比天然气低，这意味着在相同流量下，掺氢后的气体热值将有所下降，因此在气体供应量上需要作出适当的调节。其次，氢气的密度远低于天然气，这会导致管道内气体流速变化，影响气体的输送效率。此外，氢气的分子量较小，气体的扩散性强，在管道内可能出现气体泄漏的风险，增加了管网的安全隐患。

氢能掺混后，气体的燃烧特性也会发生变化。氢气与天然气的混合气体在点燃时，燃烧速度和火焰温度都较高，这对燃气设备的稳定性提出了更高的要求。在使用过程中，燃气设备可能会因气体性质的变化而受到影响，因此需要通过控制策略来调节气体的流量和温度，以确保设备的正常运行。

1.2 氢能掺混的挑战

氢能掺混对城市燃气输配系统的影响主要体现在以下几个方面：首先，由于氢气的热值较低，掺氢后的气体热值将发生变化，这可能导致燃气锅炉、燃气发动机等设备在使用时出现效率降低的现象。其次，氢气的

分子较小，管道的泄漏率可能因此增加，进而影响管网的密封性能和安全性。再次，氢气与天然气的不同燃烧特性要求对燃气设备进行适当的技术改造，否则可能造成设备过热或运行不稳定。最后，氢气在高压下的气体特性与天然气差异较大，如何在管网中合理调节氢能的掺入比例，保持管网系统的稳定性，仍然是一个亟待解决的难题。

1.3 城市燃气输配系统面临的适应性问题

在现有的城市燃气输配系统中，许多系统是基于天然气的特性设计的，缺乏对氢能掺混后变化的适应性。尤其是在自动化控制方面，现有的自控系统主要基于天然气的热值和流量特性，缺乏对氢能掺混后气体性质变化的实时监控和调节能力。因此，如何对现有系统进行自控逻辑重构，使其能够在氢能掺混条件下依然能够稳定、安全运行，是当前亟需解决的核心问题。

2 基于自控逻辑的燃气输配系统重构方法

2.1 自控逻辑重构的基本原理

自控逻辑重构的核心目的是通过实时监测和反馈调节机制，自动调节气体流量、压力和温度等参数，以确保燃气输配系统的稳定运行。在氢能掺混的情况下，现有的自控系统需要进行适应性调整。氢能的掺混带来了燃气的热值、密度和流速等参数的变化，这要求传统的控制系统能够实时响应这些变化并进行相应的调节。首先，需要对气体的热值、密度、流速等参数进行实时监测，并根据这些数据调整气体的输送量和压力，以确保系统运行在安全和高效的范围内。同时，在氢气掺混的环境下，由于氢气的特性与天然气有所不同，因此还必须加强系统中安全监测点的布置，确保一旦发生气体泄漏或系统出现异常，能够迅速采取相应的应急措施，防止事故发生。

在自控逻辑重构过程中，可以通过引入先进的控制算法，如模型预测控制（MPC），来优化控制策略。MPC 是通过实时预测管网在不同操作条件下的响应，基于预测结果自动调节控制变量，从而保证系统在运行中的稳定性。MPC 算法能够在短时间内根据管网的状态和需求预测，调整输气量、压力等参数，从而实现对管网的精确控制，进一步提高系统的可靠性和响应速度。这种先进的控制方法为自控逻辑重构提供了理论和技术支持，帮助实现对气体输配系统的智能化管理。

2.2 自控逻辑重构的实现方案

自控逻辑的重构包括多个技术层面，关键在于实时

监测和适应性控制。首先，必须建立氢能掺混燃气的物理模型，包括气体流量、压力、温度等参数的计算模型。该模型需要能够根据实时监测数据进行动态调节，实现对气体输送过程的精确控制。例如，气体的热值、密度等参数会随着氢气掺混比例的变化而变化，因此模型要能够动态更新这些参数，确保气体输送的准确性和系统的稳定性。通过该物理模型，系统可以对不同操作条件下的气体流动特性进行预测，并进行必要的调节。

其次，设计适应性控制系统，借助各种传感器和监控设备，实时采集管网各个节点的数据，监测气体的性质变化，确保能够根据实际情况对气体流量和压力进行及时调整。例如，传感器数据可以提供管道的压力、温度、流量等信息，通过数据融合和处理，控制系统能够根据气体状态的变化来动态调整控制变量，保证燃气系统的稳定运行。

最后，采用先进的优化算法，如遗传算法、粒子群算法等，来进一步提高控制系统的响应速度和精度。通过这些优化算法，可以对控制系统进行参数优化，使得系统在不同的运行条件下能够实现最佳的控制效果。优化算法能够通过模拟不同的运行场景，找到最优的控制策略，确保气体输配系统能够适应不同的负荷变化，保持稳定性和安全性。

2.3 管网仿真技术的应用

管网仿真技术是评估和优化城市燃气输配系统运行性能的有效工具。通过对管网的仿真，可以预测气体在管道中的流动、压力变化等情况，并帮助设计人员分析和优化系统的设计。在氢能掺混的情况下，管网仿真尤其重要，因为氢气的掺入会显著改变管网的流动特性和压力分布。通过仿真技术，设计人员可以测试不同氢气掺混比例下，管网系统的稳定性，并发现可能出现的潜在问题，如过压、流量不足等。

仿真技术可以模拟管网在不同操作条件下的表现，包括正常运行、负荷波动、应急响应等场景，从而为管网的优化设计提供数据支持。对于氢气掺混后的系统，仿真还可以帮助评估掺混比例对管网稳定性的影响，指导实际施工和调试工作。通过仿真测试，能够确保在氢气掺混的情况下，管网能够稳定运行，避免系统出现故障和事故。此外，仿真技术还可以为应急响应预案的制定提供依据，帮助设计人员预测在突发情况下的管网表现，从而提前做好应急准备。

综上所述，氢能掺混燃气系统中的自控逻辑重构和管网仿真技术的应用，为确保系统的稳定性和安全性提供了有力的保障。通过不断优化控制策略和实时监测，

结合先进的仿真技术，能够有效提高系统的响应能力和可靠性，在能源转型和可持续发展过程中，发挥重要的作用。

3 管网仿真适应性分析

3.1 仿真模型的建立与参数设定

为了研究氢能掺混对城市燃气输配系统的适应性，本文首先建立了基于管网仿真的模型。该模型的主要目的是通过仿真技术分析在氢能掺混的情况下，城市燃气系统的运行表现和适应性。仿真模型的输入参数包括管道的几何参数（如管道长度、直径、材质等）、管道内气体的流量、压力、温度等物理量，以及氢气掺混后的气体性质。氢气的掺入会导致气体的热值、密度、流动特性等发生变化，因此，在模型中需要假设不同氢气掺混比例下气体的具体性质，确保仿真结果的准确性。模型的输出参数主要为管道中气体的压力、流量、温度等，能够反映管网在不同操作条件下的动态变化。通过仿真，可以详细分析氢气掺混对管网的影响，进而评估系统的适应性，为后续的管网优化提供依据。

3.2 不同氢气掺混比例下的仿真结果

在仿真过程中，本文设置了不同的氢气掺混比例，分别为 10%、20% 和 30%。根据仿真结果，当氢气掺混比例较低（10%）时，系统的流量和压力变化较小，管网能够较好地适应氢气的掺混，且不会对现有管网的控制系统造成显著压力。在这种情况下，管道中的气体主要以天然气为主，氢气的掺入对系统的运行影响有限。然而，随着氢气掺混比例的增加（达到 20% 和 30%），系统的压力波动和流量变化变得更加明显。氢气的低密度和高扩散性使得气体在管道中的流动特性发生了变化，这导致管网在高氢气掺混比例下出现较大的压力波动和流量变化。尤其在高掺混比例下，气体流动的稳定性受到了较大的挑战，这对现有管网的控制系统提出了更高的要求。尽管如此，通过进一步的优化调节，系统仍能够在不同氢气掺混比例下保持稳定运行，但需要加强管网的适应性设计和控制策略。

3.3 管网适应性分析与优化策略

根据仿真结果，本文提出了若干优化管网适应性的策略，以应对氢气掺混带来的挑战。首先，建议在管网中增设氢气传感器，实时监控气体的性质变化，特别是氢气掺混比例的变化。通过传感器数据的实时采集和反馈，结合自控系统，能够实现对气体流量、压力和温度

的动态调节，确保管网在不同氢气掺混情况下依然能够稳定运行。自控系统可以根据实时数据调节流量分配和压力控制，保证系统的稳定性和安全性。

其次，优化管网的流量分配和压力控制策略是提升系统适应性的关键。根据不同区域的负荷和气体需求，合理分配气体流量，避免部分区域因氢气掺混比例过高而产生过大的压力波动。同时，优化压力控制系统，增强其对压力波动的响应能力，确保管网在不同工况下的平稳运行。尤其在高氢气掺混比例的情况下，必须加强对系统压力的监控和调节，以避免因压力过高或过低而导致管网失稳。

最后，建议根据不同区域的实际情况调整氢气掺混比例，以避免过高的氢气掺入对管网造成不利影响。通过灵活调整掺混比例，可以平衡氢气带来的优势和管网适应性的挑战，避免对管网的长期使用寿命和安全性产生负面影响。总的来说，通过合理的传感器布局、优化控制策略和灵活调整掺混比例，能够有效提升管网在氢气掺混情况下的适应性，确保城市燃气系统的稳定运行和安全供气。

4 结语

本文研究了氢能掺混对城市燃气输配系统的影响，并提出了基于自控逻辑重构的优化方法。通过管网仿真分析，本文验证了该方法在氢气掺混情况下的有效性和适应性。研究表明，氢能掺混对城市燃气系统带来了不同程度的影响，尤其在流量和压力控制方面需要进行相应的调整。未来，随着氢能的城市燃气系统中的应用逐渐深入，基于自控逻辑和管网仿真技术的优化方法将为系统的安全、稳定运行提供更强有力的支持。

参考文献

- [1] 崔胜民. 氢能技术 [M]. 化学工业出版社: 202405. 220.
- [2] 刘强, 张真, 王恰. 氢经济 [M]. 化学工业出版社: 202403. 298.
- [3] 周国兵. 热能储存技术概论 [M]. 化学工业出版社: 202309. 228.
- [4] 国网上海市电力公司, 上海市经济信息中心, 上海交通大学, 等. “碳达峰、碳中和”目标下的城市能源发展路径 [M]. 上海交通大学出版社: 202304. 205.
- [5] 张真. 氢能 绿色重构 [M]. 山东科学技术出版社: 202303. 215.