

混氢天然气管道输送技术

刘 康 (陕西省燃气设计院有限公司, 陕西 西安 710043)

摘 要: 混氢天然气是一种新型的能源, 通过将氢气和天然气混合后作为燃料使用, 可以降低燃烧过程中产生的二氧化碳排放量。然而, 混氢天然气的管道输送技术相对于单一的, 天然气输送技术还需要进一步研究和探讨。本文将对混氢天然气管道输送技术进行分析和总结, 以期对相关研究提供参考。

关键词: 混氢; 天然气管道; 输送技术

Abstract: Hydrogen-mixed natural gas is a new type of energy. By mixing hydrogen and natural gas as fuel, carbon dioxide emissions generated in the combustion process can be reduced. However, the pipeline transportation technology of mixed hydrogen natural gas relative to a single, natural gas transportation technology needs to be further studied and discussed. This paper will analyze and summarize the pipeline transportation technology of mixed hydrogen natural gas in order to provide reference for related research.

Key Words: hydrogen mixing; Natural gas pipeline; Transport technology

0 引言

随着环保理念的不断普及, 人们对于能源的需求越来越高, 同时对于能源的环保性也提出了更高的要求。混氢天然气作为一种新型的能源, 具有较高的环保性和可持续性, 因此备受关注。然而, 混氢天然气的管道输送技术属于相对于单一的天然气输送技术, 还需要进一步研究和探讨。本文将从混氢天然气管道输送发展现状入手, 探究混氢天然气管道输送技术, 从而为相关研究提供参考。

1 混氢天然气管道输送发展现状

现阶段, 氢能已经成为世界上各个能源转型发展的重要战略, 混氢天然气是一种新型的能源, 通过将氢气和天然气混合后作为燃料使用, 可以降低燃烧过程中产生的二氧化碳排放量, 混氢天然气管道输送技术相对于单一的天然气输送技术还需要进一步研究和探讨。

21 世纪以来, 欧洲国家率先开始针对混氢天然气进行研究, 2018 年, 德国联邦经济部启动了“氢气与燃气混合供应技术”(Hybrid hydrogen-natural gas supply technology)研究计划, 旨在探索混合氢气和天然气的管道输送技术, 包括气体调节技术、管道输送技术、管道监测技术等, 目标是开发一种可行的混氢天然气管道输送技术, 以应对能源转型的挑战, 实现可持续发展。2016 年, 英国国家网格公司在英格兰东南部的一条管道上成功地进行了混氢天然气的输送试验, 在试验期间, 国家网格公司向管道中注入了 20% 的氢气, 试验结果显示混氢天然气的输送效

果良好, 没有出现安全问题, 这为未来混氢天然气的商业化应用提供了重要的基础^[1]。此外, 欧盟也在不断推进混氢天然气技术的研究和应用, 以实现能源的可持续发展, 发布了一系列计划和政策, 鼓励欧盟成员国在能源领域加大投资, 推广绿色能源和减少碳排放, 资助了多个混氢天然气研究项目, 如 H₂Future、HyDeploy、H₂Haul 等。这些项目旨在探索混氢天然气的可行性、安全性和经济性, 并将其应用于不同的领域, 如交通、工业、家庭等, 还通过资助项目和制定政策, 鼓励欧盟成员国建设更多的混氢天然气管道和加氢站, 以支持混氢天然气的商业化应用。

美国也在积极推动混氢天然气技术的发展, 2017 年, 美国政府提出了“能源转型计划”, 旨在推动可再生能源的发展和减少碳排放。其中, 加速混氢天然气技术的研究和应用被列为其中的一个重要目标, 实施 H₂USA、HyBlend、H₂@Scale 等多个混氢天然气项目研究。对于加拿大而言, 目前混氢天然气管道输送发展处于起步阶段, 还未建立起完善的混氢天然气管道输送网络, 不过, 加拿大政府和企业已经开始探索混氢天然气管道输送的可行性, 并计划在未来逐步建立混氢天然气管道输送网络^[2]。例如, 加拿大能源公司 ATCO 已经在阿尔伯塔省建设了一条混氢天然气管道, 用于将混氢天然气输送至加氢站, 为混氢汽车提供燃料。此外, 加拿大天然气公司 Enbridge 也正在研究混氢天然气管道输送技术, 并计划在未来建设混氢天然气管道。

我国混氢天然气技术的发展起步较晚, 但近年来

也在不断加强相关研究和应用。2019年,中国石化与中国石油签订了混氢天然气合作协议,将在天然气管道中注入氢气,以实现混氢天然气的输送。2018年,中国石油也在青海省进行了混氢天然气的输送试验,将氢气和天然气以一定比例混合后注入天然气管道进行输送。试验结果显示,混氢天然气的供应稳定,质量符合要求,并且可以降低碳排放^[3]。此外,我国也在加强混氢天然气技术的研究。2019年,中国科学院合肥物质科学研究院研制出了一种铁基催化剂,可有效地将氢气和天然气混合。2017年,中国石油大学(北京)也成功地研制出了混氢天然气的管道输送技术,并取得了多项专利,可实现氢气和天然气的混合输送,提高了管道输送的效率和安全性,据介绍,该技术主要包括氢气和天然气混合比例的控制、管道压力的调控、混氢天然气的分离等环节,通过对这些关键环节的优化和控制,可实现混氢天然气的高效、安全输送^[4]。

2 混氢天然气管道输送技术

2.1 技术路线

混氢天然气管道输送技术是指将氢气和天然气混合后,通过管道进行输送的技术,需要克服氢气的脆性和易泄漏等问题,通过技术手段确保混氢天然气的输送安全和稳定,同时降低碳排放量,该技术路线如图1所示。

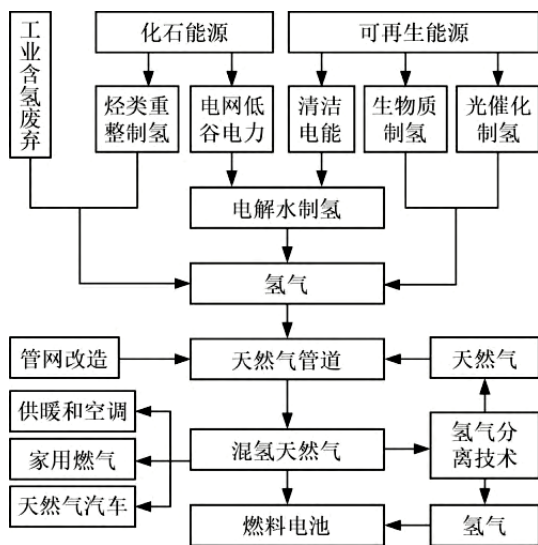


图1 混氢天然气管道输送技术路线

2.2 输送技术

混氢天然气管道输送主要包括氢气制备、混氢、输送等环节,需要通过技术手段确保混氢天然气的输送安全和稳定,还需要考虑氢气的制备成本和管道输

送成本等问题,以促进氢能产业的发展。

2.2.1 氢气制备

氢气制备是混氢天然气管道输送的第一环节,也是整个过程中最关键的环节之一,可以通过多种方式制备,如蒸汽重整、电解水、热解甲烷、生物质气化等。蒸汽重整是一种常用的氢气制备技术,主要适用于甲烷、天然气等碳氢化合物,将碳氢化合物与蒸汽在高温高压下反应,产生氢气和二氧化碳,反应式为: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ 。电解水通过在电解池中通入电流,将水分解为氢气和氧气,反应式为: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$,可以使用可再生能源如太阳能、风能等作为电源,实现可持续的氢气制备。热解甲烷是一种高温高压下的氢气制备技术,可以利用光照、电弧等方式将甲烷分解为氢气和固体碳,反应式为: $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$,通常需要使用高能耗,且产生大量的固体碳废物,因此成本较高。生物质气化是一种利用生物质原料进行氢气制备的技术,可以利用农业废弃物、林业废弃物等作为原料,通过热解、氧化等反应将生物质转化为氢气、一氧化碳、二氧化碳等气体,反应式为: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2$ 。无论采用哪种氢气制备技术,制备出的氢气都需要进行纯化和压缩处理。纯化过程可以通过吸附、膜分离等技术实现,以去除杂质气体和水分;压缩处理则可以将氢气压缩至高压状态,以便于管道输送。此外,氢气制备的成本也是需要考虑的因素,不同的制备方式成本不同,需要综合考虑技术成熟度、原料成本、能源成本等因素^[5]。

2.2.2 混氢环节

混合是混氢天然气管道输送的关键环节之一,混合的目的是将制备好的氢气与天然气按照一定比例混合,以实现混氢天然气的要求。混合比例需要根据具体的应用需求进行确定。混氢天然气的混合比例通常在5%~15%之间,不同的混合比例会对混氢天然气的物理性质、燃烧性能、环保性能等产生影响。确定混合比例需要综合考虑混合气体的使用场景、氢气和天然气的成本以及管道输送的技术要求等因素。我国针对混氢比例也有明确规定,在《GB/T 33445-2016》中规定,煤制合成天然气中氢(H_2)含量(摩尔分数)/ 10^{-2} 一类为 ≤ 3.5 ,二类为 ≤ 5 。

此外,混氢方式可以采用物理混合或化学混合两种方式,其中物理混合是将氢气和天然气通过管道输送到混合站,然后在混合站中使用混合器将氢气和天然气混合。化学混合是将氢气和天然气在反应器中进

行化学反应,生成混氢天然气。后者需要使用催化剂等化学添加剂,成本较高,同时也存在着一定的安全隐患,因此一般不采用这种方式。

2.2.3 输送环节

2.2.3.1 管道运输标准

混氢天然气管道输送技术应用的核心在于输送环节,目前国际上已经发布了一些混氢天然气管道运输标准,美国 ASME B31.12-2019 标准,包括氢气输送管道系统设计、建造、检验、运行、维护和修理等方面的规范要求,适用于液态和气态氢气输送系统,包括管道、阀门、附件、支承和连接等。其中,液态氢气输送系统主要用于氢气的贮存和运输,气态氢气输送系统主要用于氢气的输送和分配。同时,该标准规定了氢气输送系统的设计和建造要求,包括管道的材料、尺寸、厚度、支承和连接等;阀门和附件的选型和安装要求;管道的测试、检验和运行要求等。此外,还规定了氢气输送系统的安全和环境保护要求,包括氢气泄漏和火灾爆炸等危险情况的应对措施。欧洲压缩气体协会(CGA)发布的关于氢气储存和输送的规范标准——CGA G-5.6-2005,涵盖了氢气压缩、储存、输送和使用的方方面面,包括氢气压缩机、储氢罐、输氢管道、加氢站等,规定了氢气储存和输送系统的设计和建造要求,包括储氢罐的材料、尺寸、厚度、防护措施等;输氢管道的材料、尺寸、连接方式、支承和防腐措施等;加氢站的设计和建造要求等。国内关于混氢天然气管道输送的标准包括 GB 50177-2005、GB/T 34542.2-2018,前者适用于新建、改建或扩建的氢气站、供氢站的氢气管道设计应用,后者规定了混氢管道材料性能测试办法,包括氢气管道的材料、尺寸、厚度和防腐措施等方面的要求,以及管道的检验、试验和运行要求等。

2.2.3.2 管道连接方式

现阶段,我国混氢天然气长输管线的连接方式包括焊接、螺纹连接、法兰连接等几种。其中焊接连接主要采用电弧焊、气焊、TIG 焊等方法,具有连接强度高、密封性好等优点,但需要进行专业的焊接工艺和检验,过程较为复杂,适用于管道直径较大的情况。后两种连接方式会存在氢与应力的耦合作用,导致高应力区的氢富集,长时间的作用下,会导致螺纹和法兰密封面的失效,造成严重的风险。这种情况的发生主要与氢气的物理和化学性质有关,氢气可以渗透到金属材料内部,导致金属中氢含量的增加,从而使金

属的塑性和韧性降低,容易引起材料的开裂和断裂。在高应力区,氢与应力的耦合作用会使应力集中,进一步加剧了材料的疲劳损伤和失效。因此,混氢天然气管道输送过程中,对管道连接要求较高,需要定期检验,确保输送安全。

2.2.3.3 管道检测、监测

在混氢天然气管道输送技术中,管道监测是确保管道安全运行的重要手段,能够及时发现管道内部的问题,如管道破裂、泄漏、腐蚀等,避免事故的发生。具体监测过程中,采用的技术包括超声波检测、射线检测、温度压力传感器监测、智能管道检测系统等,需要结合具体的管道特点和运行条件,选择合适的监测技术和监测设备,建立完善的监测体系,确保管道的安全运行。与此同时,需要重视定期对管道进行检修、维护和修复,及时的排除隐患,保障管道的长期稳定运行。

3 结语

总而言之,混氢天然气作为一种新兴的能源,其在我国的应用前景广阔。然而,在混氢天然气管道的运输过程中,由于其特殊的物理和化学性质,存在着一定的安全风险和技术难题。为了确保混氢天然气管道的安全运行,需要采取一系列的技术措施,包括管道材料的选择、管道连接方式的优化、管道防腐措施的加强等。同时,需要对管道进行定期检查和维护,及时发现和处理问题,确保管道的安全运行。在未来,我们需要进一步研究和开发混氢天然气管道输送技术,为我国的能源发展做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 武国兵.天然气管道输送自动化与自动化控制技术分析[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(08):170-172.
- [2] 黄明敏.浅析天然气管道输送过程中管道的防腐方式[J].天津化工,2023,37(02):129-131.
- [3] 陈珂,王硕琨,杜文海,张伟.天然气管道掺氢输送对离心压缩机气动性能的影响[J].油气储运,2023,42(04):398-406.
- [4] 李凤,董绍华,陈林,朱喜平,韩子从.掺氢天然气长距离管道输送安全关键技术与进展[J].力学与实践,2023,45(02):230-244.
- [5] 李可夫,刘森,耿晓梅,张文伟,周建华,谢浪,于薇.天然气管道掺氢输送的风险分析[J].节能技术,2022,40(06):553-556+565.