

燃机发电调峰对长输管道运行影响的研究

罗泽鹏

四川川油工程技术勘察设计有限公司 610051

摘要

随着新能源发电占比的不断提升，燃机发电凭借其启停迅速、调峰能力强等优势，在电力系统调峰中发挥着重要作用。然而，燃机发电调峰过程中天然气消耗量的剧烈波动，对上游长输管道的安全、稳定、经济运行带来了显著影响。本文首先阐述了燃机发电调峰的特点及天然气需求特性，分析了长输管道的运行特性及面临的挑战。在此基础上，重点研究了燃机调峰导致的天然气流量、压力波动对长输管道输气效率、管道完整性、设备寿命以及下游供气稳定性的影响机制。通过实例分析，验证了燃机调峰波动对管道运行的具体影响，并提出了包括优化气源调配、提升管道调峰能力、应用先进控制技术以及建立协同调度机制等应对策略。研究结果对于保障天然气长输管道在燃机调峰背景下的安全稳定运行具有重要的理论参考价值和实际指导意义。

关键词：燃机发电；调峰；长输管道；运行影响；天然气流量；压力波动

1. 引言

能源结构转型是实现“双碳”目标的关键路径，风能、太阳能等可再生能源的大规模并网，给电力系统的稳定运行带来了巨大挑战。由于可再生能源具有间歇性、波动性和随机性的特点，电力系统对调峰电源的需求日益迫切。燃气轮机（以下简称“燃机”）发电具有启动速度快、负荷调节范围广、环境污染小等优点，成为当前电力系统中最主要的调峰电源之一[1]。燃机发电的调峰运行直接表现为天然气消耗量的快速、大幅变化，这种变化通过城市燃气管网向上游传递，最终对天然气长输管道的运行产生显著影响。

天然气长输管道作为连接气源与用户的关键基础设施，其安全、稳定、高效运行对于保障国家能源供应至关重要。长输管道的设计和运行通常基于相对稳定的流量条件，而燃机调峰带来的剧烈流量波动，可能导致管道内压力、温度频繁变化，增加管道运行风险，影响输气效率和设备寿命[2]。因此，深入研究燃机发电调峰对长输管道运行的影响机制，并提出有效的应对措施，对于确保天然气供应链的安全稳定和电力系统的可靠调峰具有重要的现实意义。本文旨在系统分析燃机调峰的天然气需求特性，探讨其对长输管道运行各方面的具体影响，并提出相应的优化策略。

2. 燃机发电调峰与长输管道运行特性分析

2.1 燃机发电调峰特点及天然气需求特性

燃机发电调峰主要分为日调峰、周调峰和季节性调峰等类型。在日调峰中，燃机通常在用电

高峰时段（如早晨和傍晚）快速启动并带满负荷运行，在用电低谷时段（如深夜）则停机或降至最低负荷。这种运行模式导致天然气消耗量呈现出明显的日内峰谷差异，日耗气量波动幅度可达数倍甚至十数倍[3]。例如，某地区燃机电厂在夏季用电高峰时，单日天然气消耗量可能达到低谷时的 5-8 倍。

2.2 长输管道运行特性及面临的挑战

天然气长输管道的运行主要遵循“平稳输送、压力控制、安全第一”的原则。其核心设备包括压缩机站、阀门、计量装置及 SCADA（监控与数据采集）系统等。管道的输气量主要由下游用户需求决定，通过调节压缩机的运行参数（如转速、导叶角度）和阀门开度来维持管道内的压力稳定在安全范围内[5]。

长输管道的设计通常考虑了一定的负荷波动范围，但传统上主要应对的是居民、商业等用户相对缓慢的用气变化。燃机调峰带来的快速、大幅流量波动，对长输管道运行带来了多方面挑战：一是管道压力波动加剧，可能超出设计压力范围，影响管道完整性；二是压缩机频繁启停或变工况运行，导致能耗增加、设备磨损加速；三是管道内气体流态复杂，可能产生水合物、凝析液等问题；四是对气源供应的稳定性和灵活性要求更高，传统的气源调配模式难以满足[6]。

3. 燃机发电调峰对长输管道运行的具体影响

3.1 对管道输气效率的影响

燃机调峰导致的天然气流量剧烈波动，会显著影响长输管道的输气效率。当燃机快速增加负荷时，下游需求突然增大，管道末端压力迅速下降，为维持输气量，压缩机需要快速提升功率，增加压比。然而，压缩机在非设计工况下运行时，效率会明显降低。频繁的变工况运行使得压缩机长期偏离最佳效率点，导致整体输气能耗增加[7]。

此外，流量的快速变化会在管道内产生瞬态流动现象，如压力波的传播和反射。这些瞬态过程不仅会造成额外的能量损失，还可能导致管道局部流速过高，增加沿程摩擦阻力，进一步降低输气效率。研究表明，在频繁调峰工况下，长输管道的综合输气效率可能下降 5%-15%[8]。

3.2 对管道完整性的影响

管道完整性是指管道在全生命周期内，能够安全输送天然气，避免发生泄漏、破裂等事故的能力。燃机调峰引起的压力波动是影响管道完整性的主要因素之一。管道在交变压力载荷作用下，会产生疲劳损伤。当燃机快速加载时，管道内压力迅速上升；卸载时，压力迅速下降。这种频繁的压力循环会导致管道材料（尤其是焊接接头、弯头、阀门等应力集中部位）出现疲劳裂纹，并逐渐扩展，最终可能引发管道失效[9]。

同时，快速的流量变化可能导致管道内出现“水击”现象。水击是由于液体（或气体）在管道内流动时，因阀门突然启闭、泵机组突然启停等原因，使流速发生突然变化，从而引起压力急剧波动的现象。虽然天然气是可压缩流体，水击效应较液体弱，但其产生的压力峰值仍可能超过管道的设计许用压力，对管道和设备造成冲击损坏[10]。此外，波动的气流还可能加

刷管道内壁的腐蚀，特别是当管道内存在水分和腐蚀性介质时，高流速会冲刷腐蚀产物，加速腐蚀进程。

6. 结论与展望

燃机发电调峰在保障电力系统稳定运行、促进可再生能源消纳方面发挥着不可替代的作用，但其带来的天然气流量剧烈波动对长输管道的安全、稳定、经济运行构成了严峻挑战。本文通过分析燃机调峰的天然气需求特性和长输管道的运行特性，系统阐述了其对管道输气效率、完整性、设备寿命及下游供气稳定性的具体影响机制，并结合实例验证了影响的显著性。为应对这些影响，本文提出了优化气源调配、提升管道自身调峰能力、应用先进控制技术以及建立多主体协同调度机制等策略。这些策略的综合应用，能够有效缓解燃机调峰波动对长输管道的冲击，保障天然气供应链的安全可靠。

参考文献

- [1] 李伟, 张志强, 王鹏. 燃气轮机在电力系统调峰中的应用现状与发展趋势[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(15): 4789-4800.
- [2] 中国石油天然气集团公司. 天然气长输管道工程设计规范(GB 50251-2015)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- [3] 赵军, 刘艳华, 陈立华. 燃气-蒸汽联合循环机组调峰特性及其对天然气管道的影响[J]. 动力工程学报, 2019, 39(8): 658-664.
- [4] International Gas Union (IGU). Gas Market Report 2022[R]. London: IGU, 2022.
- [5] 黄维和, 杨建红, 宫敬. 天然气管道输送技术进展与展望[J]. 石油学报, 2021, 42(3): 389-402.
- [6] 王树立, 李玉星, 姚光镇. 天然气管道输送与储存[M]. 北京: 石油工业出版社, 2018.