

油气储运长输管道中的节能降耗技术研究与应用

马 妍（山东莱克工程设计有限公司，山东 东营 257000）

摘要：我国的原油输送体系中，长距离管道扮演着至关重要的角色。这种输送方式因其卓越的安全性、强大的输送能力等优势，为我国的经济发展注入了强大动力。然而，鉴于我国原油生产的实际情况以及管道输送过程中的能耗问题，尤其在运输含蜡原油时，我们通常需要对管道进行加热以提升效率，这一过程产生的热量消耗直接关系到运输成本和经济效益。鉴于此，深入研究和开发油气储运长输管道的节能减耗技术，对于降低油气运输成本、推动地区经济发展具有极其重要的价值。

关键词：油气储运长输管道中的节能降耗技术研究与应用

1 油气储运长输管道的基本原理与结构

1.1 基本原理

①流体力学原理：油气在管道中的流动遵循流体力学的基本规律。在管道输送过程中，油气受到管道内壁的摩擦力、重力、压力等因素的影响，形成一定的流速和压力。为了确保油气能够顺畅地流动，管道设计时需要充分考虑流体力学原理，合理选择管道直径、长度、坡度等参数。

②能量守恒原理：在油气输送过程中，能量守恒原理起着重要作用。管道输送油气时，需要消耗一定的能量，如泵送、压缩等。为了提高输送效率，降低能耗，管道设计时应尽量减少能量损失，如采用高效泵站、优化管道布局等。

③热力学原理：油气在管道中输送过程中，会受到温度、压力等因素的影响。热力学原理可以帮助我们分析油气在管道中的相态变化、热传递等问题。例如，在高温高压条件下，油气可能会发生相变，导致管道内压力升高，从而影响管道的安全运行。

④材料力学原理：油气储运长输管道在长期运行过程中，会受到内压、外力、温度等因素的影响，容易产生疲劳、腐蚀等问题。材料力学原理可以帮助我们分析管道在受力时的应力分布、变形情况，从而为管道设计、维护提供理论依据。

1.2 主要结构组成

管道本体是油气储运长输管道的核心部分，主要由钢管、防腐层、保温层和内衬组成。①钢管：钢管是管道本体的主体，通常采用无缝钢管或焊接钢管。无缝钢管具有较好的耐腐蚀性和强度，适用于高压、大口径的管道；焊接钢管则适用于中低压、中小口径的管道；②防腐层：防腐层是保护钢管免受外界腐蚀的重要措施。常见的防腐层有环氧煤沥青、聚乙烯、

聚丙烯等。防腐层的选择应根据管道所处的环境、输送介质的性质等因素综合考虑；③保温层：保温层用于减少管道在输送过程中热量损失，提高能源利用率。保温材料主要有聚氨酯、岩棉、玻璃棉等。保温层的设计应满足管道在不同温度、压力条件下的保温要求；④内衬：内衬是管道内部与输送介质接触的部分，用于防止介质对管道的腐蚀。内衬材料主要有不锈钢、碳钢、塑料等。内衬的设计应满足输送介质的性质、温度、压力等要求。

1.3 工作流程

①油气采集：首先，从油气田中采集油气。油气田是地下储存油气资源的地质构造，通过钻井技术将油气从地下开采出来。

②油气预处理：采集到的油气通常含有杂质，如水分、硫化氢等。为了提高油气质量，需要对其进行预处理。预处理方法包括脱水、脱硫、脱酸等。

③油气压缩：预处理后的油气需要通过压缩机进行压缩，以提高其输送压力。压缩后的油气具有较高的压力，有利于长距离输送。

④油气输送：压缩后的油气通过长输管道进行输送。长输管道是油气储运系统中的关键设备，其结构复杂，主要包括管道本体、管道附件、管道支撑系统等。

⑤油气计量：在油气输送过程中，需要对输送的油气进行计量，以确保输送量的准确性。计量方法包括体积计量、质量计量等。

⑥油气储存：油气输送至目的地后，需要将其储存于储罐中。储罐分为地上储罐和地下储罐，其容量根据实际需求确定。

⑦油气分配：储存的油气通过分配系统，按照用户需求进行分配。分配系统包括管道、阀门、泵站等设备。

⑧油气回收：在油气使用过程中，部分油气会以废气、废水等形式排放。为了提高资源利用率，需要对排放的油气进行回收处理。

⑨油气安全监测：在整个油气储运过程中，安全监测至关重要。通过监测系统，可以实时掌握管道运行状态，及时发现并处理安全隐患。

⑩油气维护与检修：为了确保长输管道的长期稳定运行，需要对管道进行定期维护与检修。维护内容包括管道防腐、管道焊接、管道检测等。

2 油气储运长输管道节能降耗技术

2.1 油气改性技术

以跨区域输油管道为例，鉴于我国多数原油含有较高比例的石蜡，必须在输送前对其进行升温处理，这一步骤会消耗大量能源。另外，原油中石蜡含量较高，易造成管道内壁结蜡，这直接削弱了输油效率。为此，可以借助油气质改良技术来调整原油属性，进而提高输油效率并减少能源消耗。首当其冲的是温控交换技术，它能精确管理原油加热过程中的温度变化，通过调整原油进出站点的温差来减少热能损失，同时也能通过调节热量参数实现热能越站。其次是原油流动性改善技术，这项技术专门针对高蜡原油在管道内壁结蜡严重的问题，具有显著的节能效果。低温下，含蜡原油流动性差，蜡晶会析出并吸附杂质，附着在管道内壁上，影响输油效率。原油流动性改善剂能够促进晶核形成、吸附杂质、与蜡晶共晶，虽然不能完全阻止蜡晶析出，但能改变其结构，从而降低原油的凝固点，增强流动性。常用的流动性改善剂包括梳状聚合物和SMA配合碳酸醇。最后是摩擦阻力降低技术，摩擦阻力是影响输油能耗的关键因素之一。运用原油摩擦阻力降低剂，可以减少输油过程中的阻力，优化流动性，减少堵塞，有效提升输油效率并降低能源消耗。

2.2 管道优化技术

输油管道的构造及其运作参数是影响输送效能的关键因素，需依据输送的石油和天然气特性，及时调整操作参数，并对管道布局进行改良，以增强其输油能力，构建更加可靠的输送体系，进而提高管道的运用效率，降低能源浪费。特别是在长距离输油管道的情况下，优化输送路线和管道设计尤为关键。在规划设计分支管道时，应在现有管道基础上进行改造，避免不必要的重复建设，以提升管道的运行效率。对于管网结构的调整，为了提高输送效率，应尽量减少使

用阀门和弯头等节制设备，这有助于减少节制损耗和局部磨损，同时保障油气输送的安全性和效率。在管网材料的选择上，应优先考虑耐腐蚀、耐高压的材料，通过延长材料寿命来降低成本，并防止油气泄漏，实现节能减排。引入信息化自动控制系统，对长距离输油管道的运行状况进行实时监控，并根据油气的输送特性和输送量调整管道的压力和温度等参数，确保输送系统的运行参数稳定，从而提高输送管理的效率，减少能源的消耗。

2.3 输送工艺节能降耗技术

精心挑选油气输送技术，可以确保油气在稳定可信的环境下传输，进而优化输送性能并减少能量损耗。首先谈谈输气技术的节能减耗方法，它主要涉及两大类：首先是高压输气法。从需求和经济效益出发，较高的压力代表着在相同管径下能传输更多的气体，效率更高。然而，较高的输送压力对管道材料及设备提出了更严格的要求，因此需在实际输气需求和经济效益之间寻求一个平衡点，也就是最佳的管径和输送参数。在天然气长途输送过程中，应根据介质特性选择适当的输送压力。由于长距离输送有一定的限制，无法一蹴而就，距离越长，损耗越大，因此在途中设置泵站，利用压缩机分段增压和升温输送，以实现节能减耗的目标。

其次是富气输送法。这种输送方式是将乙烷以气态形式单独输送，需要较高的输气压力，使得输送状态始终处于气体的临界点，输送过程中不会产生液态，因此非常适合长距离管道输送。此外，这种技术可以通过增加天然气的总热值来提升输送效率，提高气体密度，降低压缩机的运行功率和能量消耗，从而减少成本，目前在长距离油气输送管道中得到了广泛的应用。

再来看看输油技术的节能减耗手段，主要包括以下两种：首先是间歇输油技术。这种技术根据输送末端的总体输油量来确定起始站的输油量，是应对低输油量原油管道运输的有效策略，可以降低输油成本，并且无需设备改造即可高效运行。但这种方式要求管道持续运行，稳定时间短，由于输油的间歇性，主泵需要随时启停，持续运行可以减少外部设备的作业，提升输送设备的运行效率，进而降低输油能耗，同时需注意根据实际输油情况及时调整设备运行状态。其次是油气顺序输送技术。这种技术通过在油气管道中分段有序输送原油和天然气，实现两者的互补。在原油运输量不足时，用天然气替代原油，确保管道始终

保持工作状态。这种输送方式能有效提高管道运输效率，减少能源损耗，特别适用于油田开发后期，当原油产量不足时的条件。

2.4 运行设备节能降耗技术

在进行长距离油气输送的过程中，关键运行设施涵盖了输油泵和加热炉这两种大量耗能的设备。它们不仅能耗巨大，而且运行效率不高，能源消耗量大。输油泵的理论输送能力往往与实际输送量存在较大出入，当出口阀门仅开启 10% 时，便会产生严重的流量损失，导致整个系统的效率低下。由于电机生产技术、材料选择以及运行负载等多种因素的影响，电机的运行效率不高；同时，叶轮的加工技术、材料以及原油的粘度等因素，使得实际效率比标称效率低大约 15%。此外，油气实际输送量未达到设计标准，使得输送系统长期在低负荷状态下运行，阀门节流造成的能力损失成为主要耗能部分，导致管线输送效率持续下滑。

为此，需要对输油泵进行技术升级，主要针对叶轮制造和变频调速设备等方面进行改造。可以通过安装变频器，将节流调节转变为速度调节，使实际能耗与转速成比例，以达到节能减排的目的。通过变频器对输油泵转速进行智能调节，以实现节流控制，并结合信息技术对变频器进行全面控制，从而提高控制的稳定性和准确性。至于加热炉的改造，目前油田普遍使用的火箭式和管式加热炉，在过剩空气系数和热效率等参数的计算中，显示出燃烧效率不高，能耗较大，因此进行节能改造刻不容缓。具体的改造措施包括根据输油管道的实际运行状况，采用全自动化加热控制系统，保持加热炉在高效状态下运行，同时应用真空相变换热等先进技术提升燃烧效率，定期清理烟火管以提高传热性能，降低排烟温度，从而提高热效率。

2.5 绿色节能技术

当前，绿色能源的开发与应用成为节能减排研究领域的核心议题，通过采用高效节能技术，替换传统的化石能源，不仅能够减少能源消耗、提高能效，而且可以实现生产过程的清洁化。以我国某油田为研究对象，该油田肩负着为东部寒冷区域提供油气输送的重要任务，其加热炉和注汽锅炉以往主要依赖原油作为燃料，但在实际操作中产生了大量烟气和较高的碳排放，能源效率不高。为了解决这些问题，根据该区域的气候条件和油气输送需求，进行了绿色新能源项目的改造升级，采纳了“太阳能+”多元化能源互补

的模式，以此构建绿色发展的新优势，见图 1。在加热炉的运行系统中，研发了控温型热管集热器，其导热效率是传统热管的五倍，以节能、环保、高效的特点，成功使新能源使用比例超过 40%，年节约天然气 440000m³，减少二氧化碳排放 956t。这项节能技术以太阳能为主要能源，集热器吸收太阳辐射能量加热防冻液，通过管式换热器完成热量交换，辅助加热设备采用真空冷凝锅炉。加热后的热水被储存在储存装置中，后台系统根据加热炉的实际工作状况，智能调节高温水的使用，从而降低天然气和原油的消耗量，进一步减少油气输送过程中加热炉的能源消耗。



图 1 油田单井天然气管加热太阳能供电系统

3 结论

在现代社会经济进步的大背景下，追求节能减排已成为核心议题。针对油气长距离输送管道的运行，协调节能减耗与油气输送任务的有效同步开展显得尤为关键。依据油气传输的具体要求和设备运行的实际状况，积极推进结构调整和技术革新，通过优化油气属性改良、管网升级改造、传输工艺革新、设备运维工艺提升等多个层面，全方位实行节能减排措施。持续加强传统能源消耗的管理与控制，增强油气输送的效率化水平，同时构建和完善相关数据库，为油气输送的节能减排提供坚实的数据支撑，进而实现输油量的提升和运输成本的降低。

参考文献：

- [1] 张志. 天然气长输管道的节能降耗 [J]. 化学工程与装备 ,2022(11):125-127.
- [2] 陈雪峰. 天然气长输管道定量风险评价方法及其应用研究 [D]. 北京 : 北京科技大学 ,2020.
- [3] 胡文庆. 油气长输管道运维作业行为安全管理探究与应用 [J]. 石化技术 ,2019,26(1):182-183.
- [4] 赵志峰. 长输管道腐蚀防护系统安全性动态评价方法研究 [D]. 西安 : 西安科技大学 ,2019.