

# 气田经济集输技术研究及应用

郑 静 邱 瑞 向勇均 傅 娟

(中国石化天然气股份有限公司西南油气田分公司重庆气矿, 重庆 400021)

**摘要:** 气田地形复杂, 单井产量较低, 地面工程建设难度较高, 面临诸多开发挑战, 尤其是在寒冷季节, 管线易冻堵的问题尤为突出, 不仅增加了运营成本, 也影响了气田的安全稳定运行。为了克服这些问题, 在地面集输和处理工艺上进行了系列的优化和创新, 以降低成本并提高生产效率。本文从气田地面集输的特点和难点入手, 分析气田经济集输技术的应用, 旨在促进气田的高效运营和安全生产。

**关键词:** 复杂地形; 气田; 地面集输; 关键技术

## 0 引言

气田由于其开发特点影响, 所在地的地质特征复杂, 开发难度较高。对于大规模开发气田而言, 面临着资源品质较差、单井产量低、压降快和稳产能力差等挑战。为了应对这些挑战, 部分气田采用中低压集气工艺等优化技术, 成功实现了低成本开发。与之相比, 一些气田则因储层更薄、物性更差和地形更为复杂等因素, 面临更大的开发难度。

## 1 气田地面集输特点

### 1.1 地形复杂高低起伏大

气田所在位置一般地形复杂, 高低起伏大、沟壑纵横。这种地形为集输站场选址和管线布局带来极大挑战。为应对这些困难, 采用了高精度地形测绘技术和地理信息系统(GIS)进行精确的路线设计, 最大限度减少了地形对工程建设的不利影响。同时, 为防止管线低点积液和冻堵, 采用了自动排液装置和保温材料技术, 确保了管线的安全稳定运行。

### 1.2 气质组分优质

气田的天然气主要以烷烃为主, 含有较高比例的甲烷和较低的二氧化碳及氮气含量, 使得其天然气具有较高的热值和较低的处理成本。在处理过程中, 主要进行简单的气水分离, 优化设计和操作, 提升处理效率和气体质量, 满足外输天然气的高标准要求。

### 1.3 丛式井组开发

由于气田具有低孔隙度、低渗透率等特点, 采用了丛式井组开发方式, 每个井场配置3-5口气井, 通过集中管理和集中操作, 降低了开发成本和维护难度<sup>[1]</sup>。此外, 针对“五低”气藏的特性, 采用了特制的压裂技术和改良的完井技术, 显著提高了单井的产量和采收率。

## 1.4 气源就近利用

气田周边拥有多个化工厂和民用燃气项目, 为天然气的就近利用提供了便利。通过建立短距离的输气管线和在用户端设置简单的预处理设施, 大大减少了输气成本和能耗, 同时也降低了对环境的影响, 气田不仅确保了资源的高效利用, 还促进了地区经济的发展。

## 2 气田地面集输的难点分析

### 2.1 选址选线困难, 建设难度大

气田新建产能区块大部分位于生态敏感区如国家森林公园保护区、水源保护区等, 不仅对站场选址造成困难, 还对管线路由选择提出了更高要求。加之, 气田与其他油气田存在区域交叉, 使得协调各方利益、规避地质和生态风险变得更加复杂。为缓解这些问题, 气田开发单位要详尽的环境影响评估, 与地方政府和环保部门密切合作, 优化工程设计, 同时确保所有的施工活动严格遵守环保法规, 减少对环境的影响。

### 2.2 单井产量低, 采气管线易冻堵

由于气田复杂的地质条件, 单井产量普遍不高, 要求在采气管线设计时考虑到低流速和集气半径大的问题, 以及地形起伏带来的工程挑战<sup>[2]</sup>。为防止低温和积液导致的管线冻堵, 采用通球扫线和管线泡排技术, 对于偏远或地形复杂的区域, 安装简易的气液分离器, 降低运行成本的同时, 确保气井的稳定产出。

### 2.3 工程投资及运行成本较高

气田在先导试验区采用了高压集气工艺, 这种工艺虽然在初期能有效提升产能, 但由于需要较大的节流压差和低温分离, 设备运行和维护成本相对较高。长期来看, 高成本的运行模式可能会导致资源浪费和经济效益下降, 寻求更经济、更高效的集气和处理工

艺是气田未来发展的关键。

## 2.4 气田滚动开发的特点

气田采用边开发边认识的滚动开发模式，在加快产能建设的同时，也带来对气藏认识不足导致的诸多问题，如集输规模和天然气处理工艺设计不合理。为了避免这些问题，持续的地质勘探和技术创新是必不可少的。此外，实时数据监控和分析，调整开发策略，优化地面工程配置，确保开发活动与地质实际相匹配，是提升开发效率和经济效益的关键。

## 3 气田经济集输技术的应用

### 3.1 中压集输主体工艺

开发致密气藏通常采用两种集气工艺：高压集气工艺和中低压集气工艺，各有其独特的优势和局限性。高压集气工艺的主要特点是利用地层原有的高能量直接带到地表，避免在井口进行加热或节流处理，这样做可以保持井口压力远高于用户用气压力，有效地保持了气体的高能状态和提高了气体的输送效率<sup>[3]</sup>。然而，此种工艺的挑战在于必须在集输系统中设置加热炉和节流器以抵消因高压带来的多余能量，这不仅增加了设备的复杂度，还可能导致运行中的高压力和较大的注醇量问题，这些都会增加运营的成本和维护的难度。相较之下，中低压集气工艺则采取了一种更为节能的运行模式。通过井下节流和井间串接的方式降低了来自地层的压力，结合在集气站安装的压缩机，能够根据季节变化调整系统的运行压力。在夏季，系统通过压缩机实现中压运行，而在冬季则利用压缩机背压抽吸技术降低井口压力，以避免水合物的形成。这种方法更充分地利用了地层能量，同时也减少了能量的浪费。然而，这种工艺的缺点在于需要额外的能源来维持压缩机的运行，这增加了操作成本。两种技术的选择依赖于多种因素，包括地质条件、经济效益评估及环境影响考量。

高压集气工艺虽然在设备和维护上可能成本较高，但适用于那些原始地层压力足够支持直接输送的气田；而中低压集气工艺则更适用于地层压力较低或需要频繁调节压力的应用场景。每种工艺的采用都需要针对具体情况进行详细的技术经济分析和环境影响评估，以确保气田的有效开发和可持续经营，从而更充分地利用地层能量。这种工艺的缺点是需要额外的能源投入来维持压缩机的运行。工艺设计极大地减少了地面设施的需求，无需在集气站内设置增压、加热、节流或复杂的计量设备。从而推迟了气区增压的需求，降低了能量损耗，实现了更经济、更环保的气体输送。

采用常温分离和湿气输送技术，整个系统的注醇量也大大减少，降低操作成本和环境风险<sup>[3]</sup>。满足“地上服从地下”的原则，也最大限度地减少能量损耗，为致密气藏的开发提供了一种新的、高效的解决方案。在集气站的运行策略上，通过采用常温脱水工艺，取消了在高压集气工艺中常见的加热炉以及中低压集气工艺所需的增压机等设备，极大地简化了集气站内的工艺流程。这种简化的操作不仅减少了设备的占地面积，而且通过采用湿气输送工艺结合诸如注醇、定期清管、加注缓蚀剂和预涂缓蚀剂膜等措施，有效避免了集气管线积液堵塞等常见问题。

### 2.2 站场布局和管网优化

在应对气田复杂地形条件及滚动开发模式的挑战时，运用 Pipephase 软件进行多工况管网模拟显得尤为重要。通过这种多工况模拟技术，可以有效进行采气站点的合理布局和采气管网的优化设计，从而减少地形起伏对采气管线积液的影响。此外，随着油井位置的调整 and 变化，这种技术也支持对地面系统的总体布局进行及时的优化调整，确保整个采气系统的高效性和适应性，提高资源的利用效率，同时降低运维成本。

在气田的开发过程中，有效的工程布局和管网优化对于提高集气效率、降低成本和环境影响至关重要。为了最大化资源的有效利用和最小化输送成本，气田在地面工程布局方面做了细致的规划。净化厂的位置尽量选择在靠近用户的区域，以减少输气距离和成本，集气站则优先选择在地形较低且相对平坦的中心位置，有助于自然积累和集中处理天然气，同时也便于维护和管理<sup>[4]</sup>。采用多工况模拟优化集气站的布局后，提高集气效率，并且集气站的数量也因此减少，从而实现了成本效益的优化。在管线布局方面，采用枝上枝和井间串接的方式，将采气管线优先沿地形较低的河道布设，这一策略有效降低了地形起伏对管线积液的影响，增强了管线的运行效率。

此外，单井生产的天然气在丛式井场汇合，再通过支线将相邻丛式井场的天然气连接至主采气干线，优化了传统的“一井一管线”模式，转为更高效的“一井场一管线”或“多井场一管线”模式。特别是对于偏远的气井，通过在采气干线的末端设置发球筒，并在集气站配备收球筒，确保了采气干管的通球扫线要求，有效防止了管道积液和堵塞问题。在总体管道走向的规划上，通过深入的市场调研和战略规划，气田确保了与周边潜在天然气用户及外部管网的有效对接，提升了管网的战略布局和商业价值。

### 2.3 优化水合物控制技术

在气田中,传统的注甲醇工艺面临诸多挑战,如注醇泵多、管线长、操作复杂等,这不仅增加了运营成本,还对环境和操作安全构成了威胁。为了解决这些问题,气田采取了创新的集中注醇工艺。在集气站中配置了甲醇罐和双头注醇泵,替代了之前的单井单泵单管线系统,实现了“一井场一管线,一泵对多井”的更高效注醇方式。这种新工艺通过应用井口稳流配注阀组,能够精确控制每口井的甲醇注入量,极大简化了操作流程。这一优化后的注醇系统显著减少了所需注醇泵的数量,并缩短了注醇管线的总长度,使得精准注醇成为可能。在气田的实际应用中,这种改进的注醇工艺使得每个注醇泵可以服务的气井数量从1.21增加到3.01,单井的平均注醇管线长度减少了40~50%。此外,整体减少了252台注醇泵和629公里的注醇管线,显著减轻了山区复杂地形对生产的影响。此外,该系统还尝试使用新型抑制剂,这种新材料旨在减少环境影响并降低运营成本,有望完全替代甲醇,解决了传统甲醇注入的高毒性和处理难度问题,展示出显著的经济节约和环保效益。这种注醇工艺的革新不仅提升了操作效率,还优化了环境保护措施,为气田注醇操作提供了一个可持续和高效的解决方案。

### 2.4 计量与自动配产工艺技术研究

在复杂气田的开发过程中,为提高效率和精确控制生产,采用了高效的单井计量技术和自动化配产工艺技术,优化生产过程,降低运营成本。针对单井产量低且井区气井数量较多的特点,气田采取了将计量前移至井口的策略。单井湿气带液计量方式,简化传统的计量系统,减少对大型计量分离器的依赖,降低了建设和运行费用<sup>[5]</sup>。为了进一步优化生产管理和减轻工人劳动强度,气田在天然气单井配产过程中引入了自动化技术。自动化技术的应用不仅确保了产量的精准调控,还解决了输气过程中可能出现的不稳定问题,从而保证了整个生产系统的高效运行。

### 2.5 集输全流程数字化管控技术

在气田的高效运营中,实现了全面自动化和信息化的管理,从单井数据采集到集气站的无人值守,每一步都体现了先进的技术和严密的过程控制。实时监控视频和自动数据采集系统的部署,每一个单井都装备了实时监控摄像头和生产数据记录设备,如瞬时和累计生产数据、压力曲线及报警记录。这些设施通过高级监控系统实现了电子巡井和远程控制功能,极大提高了对气井生产动态的分析和监控能力,为日常采

气作业提供了强有力的数据支持<sup>[6]</sup>。在集气站层面,自动化水平的提升体现在SCS、SIS、FAG系统的应用,这些系统满足了生产控制、安全防护和火气管理的需求。高压电控橇装集成装置实现了对进站阀组、集气橇、压缩机等关键设备的智能控制,使集气站能够在无人值守的状态下安全高效运行。此外,为确保数据和控制命令的及时传递,气田在集输管网建设中同沟敷设了光缆,构建了一个全面的网络通信体系。这一体系以光纤为主,并辅以4G、LORA、网桥等多种通讯方式,保证了井站生产数据的实时传输至气田生产监控中心,并确保中心控制指令能有效下达至各生产节点。在环保和安全管理方面,气田特别重视采出水的处理和管理。建立了采出水的三级密闭输送管网,并在集气站配置了污水罐液位、压力、流量监测装置,通过高低限液位报警系统实现自动间歇排液,有效提高了气田的输水效率,降低了凝析油管理的难度,同时显著提升了气田的安全管理水平。这些措施确保了气田运营的环保性和安全性,展示了气田管理的高效和现代化。

## 3 结语

综上所述,气田经济集输技术的应用是确保气田开发效率和经济可行性的关键。不断展开技术创新,在实践中加以应用,显著提高气田的集输效率,降低成本,并最大化资源的利用。随着更多高效和环保的集输技术的发展和优化,实现更加经济、安全和绿色的气田运营,为能源供应的稳定和可持续发展作出重要贡献。

### 参考文献:

- [1] 彭杰,田永刚,季永强,等.东胜气田经济集输技术研究及应用[J].承德石油高等专科学校学报,2022,24(05):21-26.
- [2] 汤林,熊新强,云庆.中国石油油气田地面工程技术进展及发展方向[J].油气储运,2022,41(06):640-656.
- [3] 张建,孟庆华,安文鹏,等.中国高含硫天然气集输与处理技术进展[J].油气储运,2022,41(06):657-666.
- [4] 杨文涛,王通,马云龙,等.气田地面集输工艺优化研究[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(16):179-180.
- [5] 廖柯熹,彭浩,何国玺,等.中国页岩气田地面工程技术研究进展[J].科学技术与工程,2020,20(28):11400-11412.
- [6] 刘鑫,柳胜虎,唐瑞志.气田地面集输工艺优化研究[J].石油工业技术监督,2020,36(03):7-9.