

气田集输管网工艺计算与设计优化研究

聂 嵩 (森诺科技有限公司, 山东 东营 257000)

摘要:气田开采是增加天然气供应量,减少对进口能源依赖的重要手段,在保障我国能源安全方面作用显著,但随着气田开采进程的加快,开采难度不断升高,其中集输管网系统的运行效率低是导致气田无法实现稳产的关键因素。基于此,本文结合某气田开采项目的实际情况,简要分析了集输管网在气田生产中的重要地位后,以优化管网工艺参数为根本目标,展开工艺计算与系统优化,旨在提高气田集输管网的综合运行能力,以供参考借鉴。

关键词:气田;集输管网;工艺计算;布局优化

中图分类号: TE832

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 022-0109-03

Research on Process Calculation and Design Optimization of Gas Field Gathering and Transportation Pipeline Network

Nie Song (Sinopec Tech Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: Gas field development plays a vital role in increasing natural gas supply and reducing dependence on energy imports, significantly contributing to China's energy security. However, as gas field extraction progresses, the technical challenges continue to escalate. The low operational efficiency of gathering and transportation pipeline networks has emerged as a critical factor hindering stable production. In this context, based on an actual gas field development project, this paper first analyzes the importance of pipeline networks in gas field production. With the fundamental objective of optimizing process parameters, the study conducts comprehensive process calculations and system optimization to enhance the overall operational capacity of gas field gathering and transportation networks, providing valuable references for similar projects.

Keywords: gas field; gathering and transportation pipeline network; process calculation; layout optimization

现阶段,气田开采仍然是我国的天然气资源的生产主力,由于大部分气田已经进入中后期开采阶段,因此产量逐渐下降,增储上产难度持续升高,给我国天然气供应安全,埋下了较大的风险隐患。为保证能源供应安全,需要采取行之有效的措施,提升天然气的采收率,其中优化集输管网的布局形式、提高集输管网系统的压力两大工艺方案,在气田增储上产方面,展现出了较强的促进作用,但在具体实践相关优化方案前,需要通过科学准确的工艺计算,明确增压工艺的应用路径,确保布局形式的优化具有合理性与可行性。由此可知,深入分析并研究气田集输管网工艺计算与优化设计策略意义深远。

1 项目概况

某气田集输管网的复杂程度较高,由两部分组成,一部分是高压管网,另一部分是低压管网,二者协同运行,负责6个集气站、310多口井的运行,整体布站形式为“混合布站”,如图1所示。

根据图1相关内容,对该气田的集输管网系统展开全方位的勘察和研究发现,管网受井量庞大,随着开采进程的加快,引发了一系列问题,如井口压力失衡、产量调控难度增大、采出介质复杂等,导致集输管网的运行质量和效率降低,且工作成本激增,已经

无法满足气田开采项目对“低成本、高产量”的技术要求,还在很大程度上,影响到了我国的能源安全。对此,该气田开采项目亟需对集输管网进行升级和改造,提高其运行稳定性与可靠性的同时,减少不必要的能源消耗^[1]。

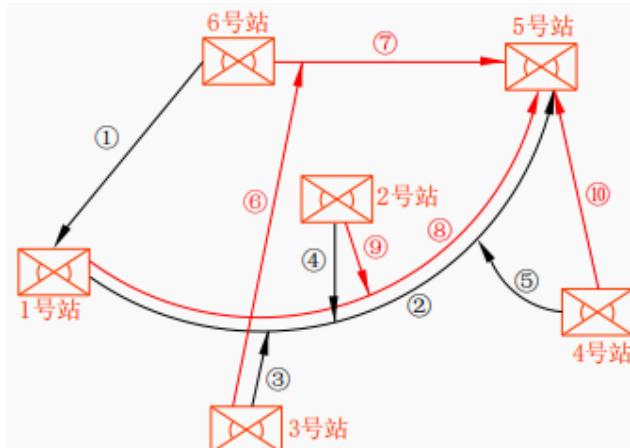


图1 某气田集输管网拓扑结构示意图

2 集输管网在气田生产中重要地位

在气田开采中,集输管网发挥着至关重要的作用,是一种连接工艺装置的管线网络,如气井井口、外输管线以及集气站等,都是以集输管网为载体顺利连接到一起,因此其主要功能就是收集、处理、输送气田

生产的天然气。具体而言，其核心功能作用体现在以下几个维度：

①收集处理介质：当气田生产出天然气后，由集输管网负责利用管网系统收集天然气，并对复杂介质进行初步的分离处理，确保天然气的质量符合输送要求，以便于后续输送作业的顺利开展。

②提供输送通道：气田区域内的全部气井，均是集输管网的重要组成部分，因此当气井产出天然气后，在集输管网的作用下，天然气经过初步处理，能够传输到站场、处理厂，以至于用户终端。

③保证生产安全：通过对集输管网布局形式优化，改进气田的生产流程，提高每一口气井对复杂工况的适应能力，既能够大幅度提升天然气的生产质量和效率，确保气田在后期的开采中也能够实现稳产，还可以在最大程度上保证我国天然气供应的稳定性与安全性，避免在气候温度较低的冬季，出现供不应求的问题^[2]。

3 气田集输管网工艺计算方法

3.1 科学设计目标函数

气田集输管网优化改进的前提是“成本最小化”，即在不影响天然气生产质量和传输效率的前提下，对处理厂、集气站以及气井等厂站的连接方式进行优化，减少不必要的成本支出。因此，在管网工艺计算中，要以“成本最小”为指标，设计目标函数，以集气站与单井管线的布局形式为例，为使二者之间的投资费用最低，可建立相关目标函数，如公式（1）所示：

$$f_{\min} = \sum_{i=1}^n W_i L_i \quad (1)$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{\rho \pi}{4} (\delta_i^2 + 2\delta_i d_i) a \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}$$

在公式（1）中， f_{\min} 代表的是单井与集气站管线投资建设的目标函数； W_i 代表的是单井与集气站管线之间的单位长度建设成本； L_i 代表的是单井到集气站的管线长度； ρ 、 a 分别代表的是钢材密度、单价； δ_i 、 d_i 分别代表的壁厚度、管道内径； n 代表的需要优化的井口数量； (x, y) 代表的是集气站在气田区域内的坐标； (x_i, y_i) 代表的是井口在气田区域内的坐标。

通过对公式（1）的合理运用，确定管网布局优化的目标函数后，为充分发挥出增压工艺的作用和价值，还要从专业的角度出发，科学设计集输管网工艺参数优化改进的目标函数。在设定这一目标函数的过程中，可将“流量最大化”作为根本指标，因此其目标函数，如公式（2）所示：

$$S_{\max} = \sum_{i=1}^N Q_i \quad (2)$$

在公式（2）中， S_{\max} 代表的是管网工艺参数优化

改进的目标函数，即在最大限度上提高管网系统的流量； N 代表的是气田集输管网系统内节点的全部数量； Q 代表的是第 i 个阶段的天然气流量^[3]。

3.2 合理设定约束条件

通过对上述公式的科学运用，确定集输管网布局优化与增压工艺的目标函数后，还要合理设计约束条件，主要的设定方法，如下所述：

①集输管网布局形式改进的约束条件：随着科学技术的不断发展，我国气田开采工程的集输管网在布局形式上呈现出了多元化的特点，常见的有星状管网、枝状管网以及环状管网等，不同类型的管网在布局形式上存在较大的差异性，因此约束条件的设置方法也会有所不同，以星状管网为例，这种集输管网主要的布局形式，就是将天然气处理厂作为整个管网系统的核心，再围绕这一核心点，在四周建设多个集气站，并将集气站与周边的气井科学连接到一起，如图2所示。

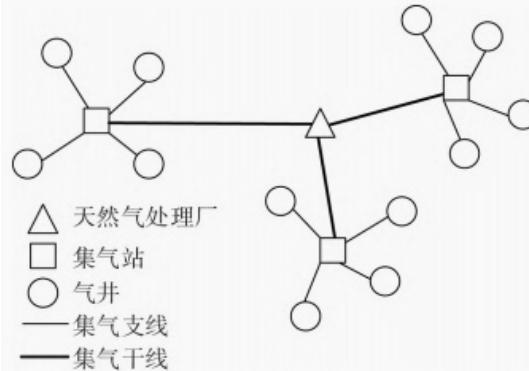


图2 气田集输管网星状拓扑结构示意图

通过对图2的观察和分析可知，在设计星状管网布局优化的约束条件时，应将重点放在隶属关系、集输半径、处理量以及气井位置等多个维度，以集输半径为例，其约束条件为：每1个站点到中心站点的距离，不允许超过提前设定好的集输半径，否则会导致管道的长度增加，不仅会加大集输管网布局形式的优化成本，违背“投资最小”这一目标函数，还会干扰到集输管网的运行效率，致使天然气的输送效率下降。因此在优化集输管网布局形式的过程中，要严格控制集输半径，同时还要做好隶属关系、处理量以及井口数量等参数的约束，确保布局优化方案具有高度的科学性与合理性。

②集输管网工艺参数改进的约束条件：在开展集输管网工艺参数的改进作业时，本研究主要是采用增压方案，其中“流量最大”是增压工艺的目标函数，基于这一目标函数，可设定三大约束条件：一是管道内介质的流动状态应为稳态；二是流入与流出节点，在流量上应高度相等；三是增压时机应具备高度的准确性，确保气田稳产^[4]。

3.3 准确求解目标函数

在求解气田集输管网布局优化与参数优化的目标函数时,要科学选择求解算法,常规的求解算法有两种,一种是蚁群算法,另一种是遗传算法,二者的操作形式存在较大的差异性,其中蚁群算法在气田集输管网的布局优化与参数优化方面作用效果显著,如星状管网、环状管网等都可以应用这种求解算法。主要的操作流程为:确定模式数组——建立窗口数组——明确函数定义——展开状态转移——更新优化信息。遗传算法更适用于枝状管网,且在管径的选择与优化中,也能够发挥出显著的作用。在实际应用该求解算法的过程中,需要根据目标函数与约束条件,科学生成初始种群,在此基础上,有针对性的设计适应度函数,再进行遗传操作。

本研究主要是应用蚁群算法对星状管网两大目标函数,即布局优化与参数优化进行求解,最终的求解结果表明:在优化气田集输管网的布局形式时,想要实现“成本最小”的技术指标,就要科学划分井组,将各气井到隶属集气站之间的距离控制在最小范围内,既能够保证天然气的运输效率,还可以减少不必要的成本支出,因此本研究决定将气田集输管网中心集气站的干线实际长度由214.07km缩短至209.402km。在这一技术方案的指引下,科学开展管网布局形式的优化改进工作,能够大幅度提高优化质量和效率,达成预期的技术目标;在优化气田集输管网的工艺参数时,本研究决定采用集中增压的技术模式,这种增压方案一方面可大幅度提高管网的流量,避免因流量过小阻碍到天然气的高效传输;另一方面可减少资金投入,进一步扩大气田开采项目的获利空间^[5]。

4 气田集输管网设计优化策略

4.1 优化管网布局

在实际开展气田集输管网布局形式的优化工作时,本研究主要是将整个优化过程划分成三大步骤,如下所述:

首先,在优化工作正式开始前,安排专业的人员,对气田区域展开全方位的实地勘察,采集获取到一系列有价值的信息数据后,如管道长度、气井位置、气井数量以及集气站的数量等,再以集气站与气井间距最小为核心指标,统筹制定技术方案,主要的方案内容有对集气站下辖的气井进行改进,由50个井口,改进至55个以上,通过这种方式,缩短干线的长度,提高整个气田集输管网的运行能力,以免因干线长度过长,影响到天然气的开采与传输。其次,在实践技术方案的过程中,提前展开全面的技术交底工作,确保每一名施工人员,都能够熟练操作工艺技术,避免因人为操作不当,影响到管网布局优化施工的质量和

成效。最后,当气田集输管网的布局优化工作结束后,本项目严格按照国家以及行业有关规章制度,对优化成果进行验收,确定不存在任何质量问题后,继续推进下一道优化工序。

4.2 应用增压工艺

在气田集输管网的增压施工中,本项目综合对比分析常见的增压方案,即单井增压、集中增压以及区域增压等,最终决定采用集中增压,这种增压模式指的是,在气井井口压力的作用下,将气田生产出来的天然气,统一输送到集气站内,再由集气站负责对天然气增压。在实际实践该技术方案时,需要将压缩机站与集气站有机结合到一起,即对二者进行联建,既能够保证天然气的增压效果,确保其输送质量和效率达标,还能够大幅度降低集输管网的造价,同时还有利于设备调度与检修运维工作的高质量、高效率开展。另外,在增压时机的选择中,本研究主要是利用现代科学技术,客观预测气井的产能后,再科学选择增压时机,确保相同增压模块内的气井在压力系数上具有高度的一致性,为气田的稳产,提供可靠的保障。

5 结论

综上所述,集输管网作为气田开采重要的基础设施,随着开采进程的推进,不可避免的会出现运行效率降低、成本升高等问题。对此要结合气田区域的实际情况,采取科学合理的措施对集输管网的布局形式进行优化,并通过增压的方式。提高天然气的采收率与流动速度,确保天然气的采集与输送具有高度时效性、可靠性,为我国能源安全提供可靠的支撑。研究成果具备一定的理论参考价值,能够为我国能源开采领域更好的优化改进气田集输管网,提供一定的实践指导,助力于我国能源领域的可持续高质量发展。

参考文献:

- [1] 陈卓,张翰钊,刘波,等.粒子群优化算法在气田集输管网布局中的应用[J].油气田地面工程,2023,42(04):32-38.
- [2] 贺三,李浩森,范进争,等.东胜气田气藏-井筒-集输管网系统一体化能效评价[J].油气储运,2025,44(02):220-229.
- [3] 吴国霖.气田内部集输管网建设适应性评价研究[J].石油与天然气化工,2021,50(01):87-94.
- [4] 于海洋,刘欢.气田集输管网系统增压优化关键技术及展望[J].油气田地面工程,2025,44(03):1-7.
- [5] 李国平.普光气田集输管网系统安全运行实践[J].安全、健康和环境,2021,21(03):29-31+48.

作者简介:

聂嵩(1989-),男,汉族,山东济宁人,工程师,学士(本科),研究方向:油气储运工程。