

油田集输管网系统优化研究进展分析

刘义收（中国石化胜利油田分公司纯梁采油厂，山东 滨州 256504）

代立胜 武国强（胜利油田新邦水务工程设计有限责任公司，山东 东营 257000）

摘要：油田集输管网（GPN）运行过程中存在着原油的流体粘稠度偏高、不同时期时期抽取到的原油含水量改变较大两个问题，相关部门应积极研究 GPN 系统的优化方案，处理传统模型内“维数灾难”等问题，辅助提升求解工作效率。结合既往形成的研究成果，探讨管网连接结构与管道路径优化情况，分析优化模型内各个子问题的成因，探究相应的求解方法，并对部分管网的优化研究提出几点改进策略，以供同行借鉴学习。

关键词：油田；集输管网；管网连接结构；管道路径；优化措施

0 引言

在科学技术日新月异的背景下，管网输油工艺在持续发展中取得了很大进步，国内管道项目建设共计经历了三个发展阶段，其中在建设发展的早期，实际产油量普遍较少，生产技术水平偏低并且缺少可靠的建设经验，不能有效的处理输油距离偏长及口径偏大等现实问题，后期建设中陆续引进国外高端技术设备，管道项目建设中创造了较多的效益，并且我国还大规模的进行了科研工作，在生产实践中取得了较理想的成绩。

1 GPN 系统

1.1 概念

油井项目生产出的石油、天然气等普遍具有分散性特征，要对其进行采集、加工处理成可用资源，随后再将其安全的运送到各地炼油厂以及天然气使用地，以上这一工艺生产过程就被叫做油气集输。GPN 系统要执行具体的作业流程，包括油气分离，原油脱水，油气的计量与稳定处理，天然气净化等。GPN 系统的重要功能是采集油井内处于分散状态下的原油资源，同样以上也是油田项目生产实践中的一道基础工序，不管是在采集还是运输油气资源的过程中，均需要严格按照规程对原油与天然气进行脱水处理，并且针对生成的污水、轻质油等要统一回收处置，在执行完分离、净化等工序后要把原油与天然气等加工成油气商品，随后进行储存管理与外输。

1.2 存在的问题

1.2.1 原油的流体粘稠度偏高

当提升设备将油气提升至井口时其具备很大的热量，在快速操作的过程中会持续和管道壁出现摩擦，此时一些能量被消耗掉，若这样的工况下执行储存操

作，那么其内部储留的能量将会完全释放。GPN 系统运作过程中之所以消耗掉较多的能量，原因主要是流体粘稠度偏高，不同成分的流速有差别，故而一定要降低其粘稠度后再进行输送，以优化系统的运行状态。

1.2.2 不同时期时期抽取到的原油含水量改变较大

开采所得的原油含水量指标在不同时期内也会出现一定改变，开采初期时其含水量偏低，此时原油粘度偏大，但进入到开采后期时伴随原油含水量增加其粘稠度会呈现出降低态势，以致井口处配备的加热降粘装置效能显著降低，貌似形同虚设。故而，后期进行开采项目时，技术人员一定要对以上状况做出改进调整。

2 管网连接结构的优化

2.1 星状管网

这种结构的作用主要是把几个相毗邻的油井采出液聚集到周边的集输站，随后集中进行外输等处理，进而为现场管理控制创造便利条件，合理增加集输管道的半径。

对于星状管网，建立其优化模型的重点是运算出井口的最优分区，汇点的最优部位和数目，不同汇点之间的最佳衔接方式及最低部署成本。当前采用的求解方法主要有如下两种：

2.1.1 分级优化求解

这种求解方法应用时把研究问题细分成数个子问题，随后依照先后次序逐一求算子问题，最后获得综合方案。

对于星状管网而言，分级优化求算流程可以做出如下概述：

- ①合理确定汇点数目；
- ②明确井口的最优分区；

- ③各个汇点所处的最优部位;
- ④不同汇点之间的最佳衔接方式;
- ⑤连接方式;
- ⑥管网主要运行参数;
- ⑦获得整体方案。

关于井口最优分区这一问题,求解时经常应用整数线性规划、匈牙利算法等,通常能获得子问题对应的全局最优解,但若油气井口数量庞大且现场部署欠缺规则性时,那么执行以上算法时将会投入较高的时间成本。近些年国内外很多学者尝试采用启发式算法处理以上问题,包括直接搜索、层次分析及约束编程算法等。

Wang 等面对汇点最优位置问题时,设计了以连接矩阵为基础的启发式算法,并将其用在海上油田丛式管汇部署结构优化分析领域内。

而对于汇点的最优位置的问题,过往经常运用禁忌搜索算法进行求解,和局部搜索法相比,禁忌搜索算法陷入局部极小值的概率偏低。但是如果现实搜索范畴偏大,那么求解执行时间相应会被拉长。鉴于以上状况,有学者尝试对各个井口与汇点进行欧氏距离加权求和处理,在此基础上创建了无约束非线性模型,再配合用 Nelder-Mead 或共轭梯度法进行求解。

2.1.2 整体优化求解

因为汇点数目的优选及井组规划环节均会将非连续变量引进模型内,外加模型本体规模偏大,故而可以将星状管网的整体布局优化问题纳入到大干围混合整数非线性规划范围中,当前基本上应用智能算法进行求解。

王洪元等在研究中比较遗传、蚁群及混合算法在求解 GPN 拓扑结构模型时的效率,发现遗传蚁群算法不仅在求解速度与精准度方面都好于单纯使用遗传或蚁群算法,还能减少管网的投资成本。采用智能算法进行整体优化求解过程中整体分析了井口分组、管径选用、汇点位置及衔接方式等因素,但在被求解的规模偏大时,以上这种方法应用过程中可能暴露出如下几点问题:

- ①滋生出“早熟”现象,这主要是因为模型本体规模偏大的情景下,其维数固然增长,智能算法的随机性下降,不同变量之间形成复杂度更高的耦合关系,以致模型迭代运算过程中在局部最优解快速收敛;
- ②算法的稳定性不足,模型规模偏大时若依然屡

次使用同个模型进行求算,所得的运算结果会出现一定差异,甚至差值较大。

2.2 枝状管网

这类管网最大的特点是外形呈树枝状,直线型干线穿插到油田的主要产油区内,功能作用是把干线左右两侧各处油田井采出液整合到干线输入总站,表现出较高的经济性。和星状管网相比较,枝状管网结构衔接方式的复杂度更高,可以被分成串接型与插入型两种类型。

2.2.1 串接型

这种枝状管网于采油管网、管道内分别被推广成井间串联、集油站串接结构。管网拓扑结构的优化问题涵盖了如下三个子问题:无向枝状结构的衔接、枝状结构中心点及有向图的连接。

针对前两个子问题,在具体研究中可以将其分别等效成图论内的最小生成树及网络的中心加权问题,进而应用成熟度较高的算法进行求解,包括 Prime、Kruskal、Dijkstra、Floyd 等。但是基于无向枝状衔接和中心点确定出的管网结构仅是把不同节点之间衔接距离最短作为终极目标,并没有顾及到管径、壁厚等指标给总成本支出带来的影响,并且以上以图论理论作为基础设计的优化算法的运算时间复杂度通常高于 $O(n^2)$,一旦被研究规模偏大时,便会滋生出“维数灾难”这一异常现象。

有向图的枝状连接方式充分分析了管网流向、壁厚等给目标函数带来的影响,但也正是因为存在着以上问题使非连续项被引进模型内,并且和无向枝状连接、中心点问题之间形成了非线性耦合关系,以致传统算法不能解除以上这种问题。

李自力等分析了阀组的优化问题,并运用遗传算法进行求解。

2.2.2 插入型

和串接型管网之间作比较,插入型管网要添加崭新的、方位不确定的衔接节点,并且在支线局部会有“枝上枝”结构,以致这类管网的求解难度显著增加。

Zhang 等研究了煤层气田邻近插入结构的 GPN 相关优化问题,在设定好集油管线具体条数的工况下,创建了混合整数非线性模型(MINLP)。这一模型最大的特点是选择干线尾端部分坐标及井口和干线之间的关系二元变量作为决策变量,随后应用改良的遗传算法进行求解计算,在此基础上设计出了一种就近投影连接的约束编程法,利用其有效优化了不同支线之

间的衔接关系。

3 管道路径的优化

以上进行的研究内容基本上是在管网衔接结构部署的优化层面上,实质上就是合理确定不同节点之间的二维衔接关系与管道的主要运行参数,但没有深入分析三维地形、穿跨路障、工艺条件束缚、地貌地势等因素给管道综合建设水平带来的影响,并且国内外很多学者加大了管道路径优化方法的研究力度。具体研究分析时基于网格把被研究区细化成数个分区并形成数个节点,建设的模型假定不同节点之间的高程表现出明显的线性关系,不同单位区域的地貌地势状况等同,把建造成本最低且风险最小作为目标,把不同节点之间的衔接关系设定成决策变量,创建出相配套的数学优化模型,并应用启发式算法、智能算法等进行求解。

MARCOULAKI 等研究了管线的优化问题,分析了工艺约束条件,创建了非线性模型,基于随机优化法进行求解,可以将其设计的建模方法推广到 GPN 路径优化领域。

张圣柱等研究长输管道的路径优选问题环节中,建模时分析了风险因素带来的影响,能够对优化 GPN 路径带来一定启迪作用。

近些年,国内外学者针对管道路径优化问题开展了很多研究分析工作,但是如果面对繁杂的路径优化问题时,基本上是首选启发式或智能算法进行求解,对其结果的整体最优性研究得不够深入。专研全局最优搜索法时无需考虑过多的因素,一般只是对单条管段创建模型,很少有探讨地形、路障等因素对管网优化部署情况产生何种影响的相关报道。故而,以全局最优搜索算法的管网优化部署研究将会成为未来的一个主要工作方向。

4 结束语

优化星状管网时可供的算法相对较多,并且测求指定算法时能取得较好效果,为规避分级、整体优化算法各自的不足,可以采用求解相同模型去比较分析各类型算法的效用,进而提高星状管网的优化效果。插入型枝状管网优化模型的建设过程很复杂,需要考虑诸多影响因素。伴随油气田开采时间的延长,部分生产井的参数会出现一些改变,并且依照油气田滚动式开发战略规划,会新增一些井口项目,应尽早设计出适用于油气田工程各生产阶段且经济性较高的管网。当前关于 GPN 优化的研究并不对,未来应积极借

鉴形成的核心方法,把“多汇”转变成“多源”,进而建立相配套的优化模型以全面提升 GPN 系统的优化效果

参考文献:

- [1] 邓家胜,余波,白智文,等.玛湖油田常温集输管网仿真与保障措施分析[J].节能技术,2022,40(03):279-283.
- [2] 杨凯,李芳芳.冀东油田某油区注水管网腐蚀及防护[J].化学工程与装备,2022(05):123-124.
- [3] WANG Y,DUAN M,XU M,et al. A mathematical model for subsea wells partition in the layout of cluster manifolds[J].Applied Ocean Research,2012(36):26-35.
- [4] 顾永涛,步凌飞,王海天.油田多通路集输管网基于图的遍历算法[J].科学技术与工程,2022,22(07):2676-2681.
- [5] 王洪元,卜莹,潘操.基于遗传蚁群算法的气田集输管网优化方法[J].计算机与应用化学,2012,29(12):1495-1498.
- [6] 吴利利,刘广胜,陆梅,等.基于GIS的油田管网智能管控系统的开发与应用[J].中国管理信息化,2021,24(20):112-114.
- [7] 李自力,孙云峰,张子波,等.普光高含硫气田集输管网优化[J].石油学报,2011,32(5):872-876.
- [8] ZHANG H,LIANG Y,WU M,et al. Study on the optimal topological structure of the producing pipeline network system of CBM fields[C]. Doha:International Petroleum Technology Conference,2015:18466.
- [9] MARCOULAKI E C,PAPAZOGLU I A,PIXOPOULOU N. Integrated framework for the design of pipeline systems using stochastic optimization and GIS tools[J].Chemical Engineering Research and Design,2012,90(12):2209-2222.
- [10] 张圣柱,吴宗之.基于风险的长输油气管道选线优化方法[J].石油学报,2014,35(3):570-576.
- [11] 杨光炼,赵锐,董军萍,等.油气集输管网规划现状[J].油气储运,2006,25(9):9-13.
- [12] 周军,李晓平,等.集输系统优化设计研究的体系结构与发展方向[J].油气储运,2014,33(7):707-713.
- [13] 罗鹏飞.天然气集输管网优化研究[J].化学工程与装备,2015,0(4):99-100.
- [14] 刘扬,魏立新,等.油气集输系统拓扑布局优化的混合遗传算法[J].油气储运,2003,22(6):33-36.