

# 基于 PIPESIM-UNISIM 耦合的天然气管道注醇优化方法

文静

中国石油长庆油田长北作业分公司

DOI:10.12238/gmsm.v8i3.2197

**[摘要]** 针对鄂尔多斯盆地长北区块天然气集输管道水合物防治需求,提出了一种融合PIPESIM多相流模拟与UNISIM相平衡计算的动态注醇优化方法。通过建立双向数据交互机制,实现了管道操作温度场与水合物生成温度的协同预测。现场应用结果表明:该方法使甲醇单耗降低32.7%,预测准确率达到93.5%,关键管段水合物事故发生率降为零,有效解决了传统注醇工艺过度保守的问题。研究成果为天然气管道水合物防治提供了新的技术思路。

**[关键词]** 长北气田; 注醇优化; 天然气水合物

中图分类号: U473.2+4 文献标识码: A

## Optimization method of natural gas pipeline alcohol injection based on PIPESIM-UNISIM coupling

Jing Wen

PetroChina Changqing Oilfield Changbei Operation Branch

**[Abstract]** A dynamic alcohol injection optimization method combining PIPESIM multiphase flow simulation and UNISIM phase equilibrium calculation is proposed to meet the needs of hydrate prevention and control of natural gas gathering and transportation pipelines in Changbei Block of Ordos Basin. By establishing a two-way data interaction mechanism, the collaborative prediction of pipeline operation temperature field and hydrate formation temperature is realized. The field application results show that the method reduces the methanol consumption by 32.7 %, the prediction accuracy rate reaches 93.5 %, and the hydrate accident rate of key pipe sections is reduced to zero, which effectively solves the problem of over-conservative traditional methanol injection process. The research results provide a new technical idea for hydrate prevention and control of natural gas pipelines.

**[Key words]** optimization of natural gas hydrate by alcohol injection in Changbei gas field

## 引言

长北气田位于鄂尔多斯盆地北部,冬季极端气温可达-32℃,昼夜温差超过20℃。气田采用“丛式井+集气站”开发模式,现有采气管线89km,集气支线42km。2022-2023年冬季,因水合物冻堵导致的非计划关井达23井次,严重影响生产时效。为保障气田冬季顺利生产,目前普遍采用注入甲醇的方式抑制管线中天然气水合物的生成。

现阶段的注醇方案存在两方面的问题,一是现场注醇量主要根据生产经验和气温变化,随着开发年限的增加、产量递减,甲醇的消耗量逐年增大;二是注醇量计算精度不够。由于工艺设计的原因,长北采气干管上下游并未单独安装温度计,并且各井丛由于产气量和干管掩埋时有起伏不同,干管中积液情况也不同,对甲醇注入量也存在较大影响。齐宝军等对注醇预测Hammersehmldt公式进行修正来满足实际生产的计算,康俊鹏等

从注醇工艺的角度把控注醇量,海心升等为预防天然气水合物的生成,通过建立公式模型预测水合物生成条件和位置。本文从完整模拟长北气田集气站内天然气集输工艺流程的角度出发,结合集输干线的生产运行参数,计算出所需注醇量,降低了现有的注醇量。

## 1 冬季保供流动性优化

### 1.1 对天然气管线的实际操作温度模拟

井口油压、气体组分、产气量、产液量和进站压力等数据是目前开发数据。因此,根据堵塞部位多为采气管线,利用Pipesim软件的生产模拟与节点分析功能,对长北区块天然气生产管网的实际操作温度进行模拟,结合实际生产,优化注醇流程(图1)。

### 1.2 对天然气管线内生成水合物的最低温度进行预测

在天然气管道输送系统中,甲醇注入量与管输介质热力学

行为强相关。利用模拟出的管线实际操作温度,结合unisim软件准确预测管道生成水合物的最低温度。管道生成水合物的最低温度作为甲醇注入量计算模型的核心参数,是构建水合物抑制优化策略的必要基础,对提升系统运行可靠性与经济性至关重要。

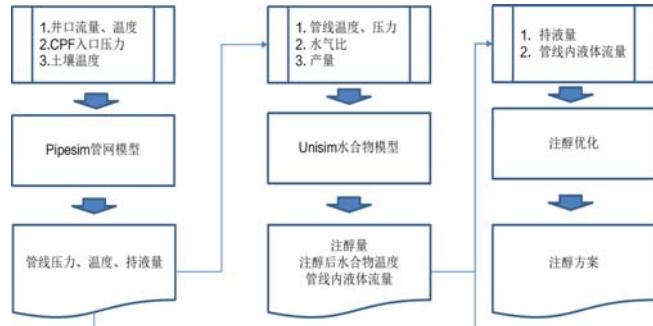


图1 注醇优化流程图

### 1.3 对甲醇的合理注入量进行计算

基于长北区块天然气输送工况下水合物相平衡理论,结合管道流体热力学模型与传热传质方程,通过精确计算管线最低运行温度及产液量等关键参数,采用符合行业标准的水合物抑制数学模型(如Makogon方程或Sloan模型),系统推导并确定甲醇注入量的优化控制参数,为天然气管道安全输送提供理论依据与技术支撑。

## 2 天然气输气管线温度预测

### 2.1 天然气管道温度

为精准指导长北天然气管线注醇量计算,本文基于Pipesim软件构建长北天然气管网数值模型。通过采集井口天然气流量、温度、CPF(中心处理厂)入口压力及沿线土壤温度等关键参数作为模型输入条件,结合经典天然气管道温降基本公式,在软件中设定热力学和流体力学边界条件,构建符合实际工况的多相流仿真环境。

### 2.2 管道埋深地温

在埋地管道设计中,管道埋深处的地温影响介质的密度、黏度等物性参数,也是影响管道温降计算的重要参数。天然气管道埋深大都介于1~3m之间,地温受环境气温的影响较大,长北区块选取部分集气站安装地温仪,监测管线埋深处地温随时间变化,从图2可看出,相比2009年,土壤温度夏季温度更高,1~3月份土壤温度更低。



图2 2009年与2024年南干线土壤温度对比

## 3 气井注醇量优化计算

### 3.1 长北气田注醇量unisim软件计算

为保障天然气集输安全,依据《气田集输设计规范》GB50349-2015中4.5.1条款,天然气集输温度需高于水合物形成温度3℃以上。在实际操作中,需核算注醇后管网各点水合物温度,确保其低于管线操作温度3度以上,通过天然气加热、保温、添加抑制剂或脱水等措施防止水合物生成。同时,应综合考虑甲醇罐容量、泵能力、拉运距离与频次,合理安排注醇作业;在每年1月份前,鉴于地温持续下降,需提前预测未来一个月地温数据,模拟未来操作温度,并结合支线和干线的持液量、产液量及注醇量,精准计算醇到达末端所需时间,提前增加注醇。此外,注醇计划并非固定不变,需根据产量、气体温度、压力和地温数据动态调整,以保障集输系统稳定运行。

### 3.2 长北气田注醇优化现场试验

#### 3.2.1 长北气田井丛注醇量计算

相较于2023~2024年较为宽泛的注醇策略,新计划充分考虑了水合物生成的临界条件。在2023~2024年,可能由于对水合物生成风险的预估偏于保守,导致注醇量在整个周期内处于较高水平,峰值接近40m<sup>3</sup>。而2024~2025年,基于更准确的热力学分析,在满足抑制水合物生成的前提下,大幅降低了注醇量,峰值降至约25m<sup>3</sup>,实现了注醇量的精准调控。

在注醇量需求较高的冬季时段,2023~2024年注醇量峰值接近40m<sup>3</sup>,而2024~2025年峰值约为25m<sup>3</sup>。通过优化注醇策略,精准匹配天然气生产情况与防止水合物生成需求,使得在应对冬季风险时,无需像之前那样投入大量醇类,有效降低了峰值注醇量。

#### 3.2.2 长北气田CPF注醇量计算



图3 长北气田CPF注醇量统计

从图3可以看出,在整个统计周期内,2024~2025年(橙色曲线)相较于2023~2024年(蓝色曲线),注醇量总体趋势呈现明显下降态势。这表明新注醇计划在实施后,对注醇量进行了有效的调控。新注醇计划在制定过程中,充分考虑了成本-效益与风险之间的平衡。从成本角度来看,减少注醇量直接降低了醇类采购和运输成本。从效益角度,通过精确控制注醇量,确保了在满足抑制水合物生成需求的前提下,不影响天然气的正常生产和输送。同时,新计划通过对水合物生成风险的动态评估,在风险可

控的范围内进一步降低注醇量。而2023-2024年的注醇策略可能更侧重于风险规避,在注醇量的控制上未充分权衡成本-效益关系,从而导致注醇量偏高。

#### 4 结论

在技术创新驱动下,长北气田通过多维度数据建模与动态模拟,构建了精准的注醇决策体系。技术团队依托PIPESIM软件搭建气田管线三维仿真模型,通过输入地质参数、管径规格、流体组分等关键数据,精准模拟不同工况下的管线温度场分布,捕捉温度随时间、空间的变化规律;同时,将PIPESIM计算的温度数据与UNISIM软件深度耦合,基于流体热力学特性和水合物生成机理,建立注醇量动态预测模型,为甲醇注入量提供毫米级精度的量化依据,实现注醇方案从经验驱动向数据驱动的跨越。

#### 【参考文献】

- [1] 陈桂阳,谷道会,雷红妮.长北气田加密双分支水平井实施效果评价[C]//宁夏回族自治区科学技术协会.第十七届宁夏青年科学家论坛石油石化专题论坛论文集.中国石油长庆油田长北作业分公司,2021:400-403.
- [2] 薛洁.长北气田含醇采出水处理工艺优化研究[D].中国石油大学(华东),2017.
- [3] 董欣,黄楠,张孝栋,等.管道内检测在长北气田的应用及评价[J].管道技术与设备,2020,(03):23-26+52.
- [4] 张紫阳,姚欣欣,刘庆志,等.注醇量优化及效果评价[J].石油化工应用,2024,43(12):59-62.

[5] 齐宝军,魏克颖,马瑾,等.长庆气田预防水合物甲醇用量预测方法研究[J].石油化工应用,2012,31(04):91-94.

[6] 康俊鹏,王寿喜,张振涛,等.天然气水合物预测及管线注醇工艺优化计算[J].化学工程,2023,51(01):90-94.

[7] 海心升,黄双林,晁琼萧,等.单井注醇计量系统优化研究[C]//宁夏回族自治区科学技术协会.低碳经济促进石化产业科技创新与发展——第九届宁夏青年科学家论坛石化专题论坛论文集.中国石油长庆油田分公司第二采气厂,2013:337-340.

[8] 谢宝林,周慧敏,郭豫川.PIPESIM软件在大牛地气田注醇优化中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2013,34(5):269.

[9] 郭钢,张建华.靖边气田水合物形成预测优化注醇[J].石油化工应用,2011,30(05):45-48.

[10] 蒋成银,陈雷,温璟,等.注醇参数优化实验及效益分析[C]//宁夏回族自治区科学技术协会,宁夏社会科学界联合会,共青团宁夏回族自治区委员会,宁夏回族自治区青年联合会.低碳经济促进石化产业科技创新与发展——第六届宁夏青年科学家论坛论文集.中国石油长庆油田分公司第三采气厂,2010:578-583.

[11] 何云,李克智,李冰毅.PIPESIM软件在水合物生成预测及注醇制度优化中的应用[J].石油天然气学报,2009,31(02):312-314.

#### 作者简介:

文静(1998--),女,汉族,中国安徽六安人,硕士研究生,初级职称,主要从事天然气地面集输工艺。