

# 采气二厂多维协同优化天然气净化工艺的实践与效益分析

冯志忠 罗孝伟 (延长石油集团公司气田公司采气二厂, 陕西 榆林 718500)

**摘要:** 针对因天然气过分脱水导致能耗增加、碳排放量增大、商品率低以及生产成本高等行业普遍存在的问题, 成立项目技术研究小组, 从溶液种类改进、操作条件方面着手, 通过对溶液性能、溶液速度、进料板、操作压力四个方面的改善, 创新开发出新的复合型溶剂, 并结合在线监测系统, 建立了天然气质量精确调控方法。经过生产运行表明, 该方法有效提高了天然气收率, 降低了装置的能量消耗以及操作费用, 并培养了一批高素质的技术骨干队伍, 取得了经济、环境及人才培养三方面效果。

**关键词:** 天然气净化; 工艺参数优化; 商品率提升; 能耗管控; 效益分析

**中图分类号:** TE64 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0037-03

## Practice and Benefit Analysis of Multi-dimensional Collaborative Optimization for Natural Gas Purification in No.2 Gas Production Plant

Feng Zhizhong, Luo Xiaowei (Shaanxi yanchang petroleum group co.,Ltd., Yulin Shaanxi 718500, China)

**Abstract:** To solve the problems of high energy consumption and carbon emission growth, poor commercial output etc. in general industrial production scenarios, and high cost caused by excessive purification of natural gas, we set up special technical research group focusing on improving the solution system and operating parameters optimization of purification unit. The group optimized four parameters of solution activity, circulation ratio, feed location in the column and pressure, by applying a mixed amine as well as by implementing a control strategy we developed an optimal controller to treat raw natural gas and in practice, it is shown that our approach can enhance the recovery rate of natural gas: not only can reduce the cost of electricity bills and equipment maintenance, but it also builds up a group of highly professional technicians at the same time to obtain mutual benefit of economy-effectiveness, environmental protection, and human capital.

**Keywords:** Natural gas purification; Process parameter optimization; Commercial yield improvement; Energy consumption management; Benefit analysis

天然气净化作为天然气产业链的关键提纯环节, 主要通过气液分离、过滤除杂、脱酸脱硫、深度脱水等系列工艺处理原料气, 最终向市场输出符合国家一类天然气标准的清洁能源产品。近年来, 国家环保政策对天然气尾气排放的要求日趋严格, 倒逼净化厂升级脱硫脱水技术。采气二厂在执行国标标准的同时也出现了过分清洁化的系统性矛盾: 一是生产运营成本增加、缓蚀剂消耗速率增大及机械腐蚀加剧并存; 二是 2024 年 CO<sub>2</sub> 排放量达 416t, 继续影响区域环境质量; 三是气田产气率始终偏低, 造成生产边际成本增加, 企业利润降低; 最后, 甲烷、乙烷等高价值烃类气体被直接排放至空气中, 不仅造成了资源浪费, 甲烷更是具有 25 倍于 CO<sub>2</sub> 的温室效应, 进而不仅造成不必要的浪费, 而且进一步加重了环境污染, 在国内同类型气田净化厂中并不鲜见; 特别是在碳硫比较高、成分较复杂的原料气净化过程中, “千人一面”, 统一净化方式不能满足不同气质产品的需求, 增加了能耗及对环境的压力。采气二厂是延长石油集团有限公司重要的天然气生产基地, 该套装置设计产能为 37.5 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> /a, 对该装置的技术改造经验值得借鉴, 对于提高企业效益及行业发展都具有重要意义。为此,

采气二厂开展技术攻关课题研究工作, 并联合多方对生产过程进行优化调整, 在根本上解决深度处理的问题, 实现净化工艺的“优质、低耗、环保”。

### 1 技术创新方案

为解决净化程度过高所带来的系列弊端, 采气二厂围绕“满足生产净化标准、兼顾节能降耗”的目标, 提出四大类主要技术研究方向, 并分别在东坑净化厂、杨桥畔净化厂、青阳岔净化厂实施, 实现整体联动改善效果。

#### 1.1 调整溶液活性

在 MDEA 溶剂基础上进行混相增效提高脱硫能力: 采用咪唑啉及 DEA 复合, 在提高 H<sub>2</sub>S 吸收能力的基础上抑制 CO<sub>2</sub> 的吸收程度, 减少再生气能耗; 对于 C/S 高的站点开发了“MDEA+ 环丁砜 + 对二苯酚”联合溶液, 在提高胺液的选择性吸收能力同时, 抑制溶液降解失效。在实际操作过程中, 技术人员通过对实验室小试、中试装置验证以及现场工业试验进行三重确认, 最终得出复合比例。东坑、杨桥畔净化厂将胺浓度由原来的 55% 降至 45%, 同时采用新的复合配方, 青阳岔净化厂主要对胺浓度进行了研究, 在 5% DEA 溶液的基础上提高新体系运行的稳定性, 保证了

溶液活性满足净化负荷的要求。同时，此复合溶液体系也具有较好的抗污染性，能够承受原料气中的少量机械杂质及有机硫的干扰，增加溶液更换周期。

### 1.2 优化溶液循环量

溶液循环量直接影响脱硫、脱碳及硫磺回收装置的净化度以及运行费用——循环量过大，能耗及药剂消耗大；循环量小，则难以满足净化气体的要求。技术人员运用 Aspen Plus 软件分别建立三个净化厂不同工况下的数学模型，并根据实际生产情况进行修正，采用多元回归方法得到各个净化厂最佳最小循环量范围，在达到国家一类气标准的情况下尽量减少溶剂循环次数，避免不必要的能耗及溶剂损失，“既经济又有效”。

### 1.3 调整溶液进塔位置

胺液与天然气反应接触时间直接取决于进吸收塔的位置，从而影响了净化效果及商品率。采气二厂吸收塔都是板式塔，以往生产中胺液一般都从塔顶第一块塔盘上进入，与天然气进行全塔接触反应，造成 CO<sub>2</sub> 过度吸收。技术人员结合流体力学模拟分析及传质效率计算，优化胺液进塔层数：东坑、青阳岔净化厂由 20 层降至 16 层；杨桥畔净化厂由 24 层降至 20 层。调整后，胺液与天然气在关键反应区段充分接触，缩短非必要接触时长，精准控制二氧化碳吸收量，在保障脱硫效果达标的基础上，直接提升天然气商品率，实现“净化质量”与“产品收益”的协同提升。同时，减少了胺液在塔内的停留时间，降低了溶液发泡风险，提升了装置运行稳定性。

### 1.4 调控装置运行压力

针对醇胺法脱酸工况特点，装置操作压力直接影响脱硫深度及商品率：高操作压力有利于增大 H<sub>2</sub>S 和 CO<sub>2</sub> 的气相分压，促进胺溶液对气体的吸收过程；而

低操作压力可以防止过量吸收。技术人员利用自控阀配合 DCS 控制系统实现压力系统的闭环调节，优化后装置操作压力由原来的 4.6MPa 下降到 4.22MPa。

此压力值经过几轮工况试验，避免了压力偏低造成 H<sub>2</sub>S 超标的风险以及 CO<sub>2</sub> 吸收过多的情况发生，并减少装置长期高负荷运转对设备的压力，给采气大队的产量上产腾出了一定的空间；另外，压力降低以后，压缩机出口压力也更加合理，机组能耗下降 5%，减少了电耗。

## 2 优化效果对比

### 2.1 溶液活性调整效果

经胺液浓度下调与复合体系应用，东坑、杨桥畔净化厂的硫化氢捕集效率提升 12% 以上，二氧化碳吸收量控制在合理区间，胺液降解速率降低 30%，溶液更换周期延长了 1 年，青阳岔净化厂通过胺液浓度优化，天然气商品率实现小幅提升，溶液运行稳定性显著改善。

### 2.2 溶液循环量优化效果

三大净化厂能耗均实现结构性下降：杨桥畔净化厂降幅达 16%，青阳岔净化厂为 10%，东坑净化厂为 8%；商品率同步提升，其中杨桥畔提升 0.081%，青阳岔提升 0.066%，东坑提升 0.075%，调整后产品气二氧化碳含量稳定在 2.23%–2.35%，完全符合国家一类天然气指标。

### 2.3 溶液进塔位置调整效果

胺液进塔层数优化后，天然气商品率进一步提升：东坑净化厂以 0.063% 的提升幅度居首，杨桥畔净化厂为 0.042%，青阳岔净化厂为 0.039%；产品气二氧化碳含量控制在 2.47%–2.71%，满足生产与环保双重要求。同时，塔内气液传质效率提升 8%，减少了塔盘结垢风险。

表 1 各净化厂工艺优化关键指标对比表

优化措施	净化厂	核心优化参数	产品气 CO <sub>2</sub> 含量变化
溶液活性调整	东坑	胺液浓度 55% → 45%，采用复合体系	1.86% → 2.23%
	杨桥畔	胺液浓度 55% → 45%，采用复合体系	1.91% → 2.21%
	青阳岔	胺液浓度 55% → 45%，加入部分 5%DEA 溶液	1.83% → 2.24%
溶液循环量优化	东坑	优化循环频次	2.23% → 2.35%
	杨桥畔	优化循环频次	2.21% → 2.47%
	青阳岔	优化循环频次	2.24% → 2.41%
溶液进塔位置	东坑	优化进塔层数，从 20 成降低至 16 层	2.35% → 2.54%
	杨桥畔	优化进塔层数，从 24 成降低至 20 层	2.47% → 2.62%
	青阳岔	优化进塔层数，从 20 成降低至 16 层	2.41% → 2.58%
装置压力调控	东坑	4.6MPa → 4.22MPa	2.54% → 2.72%
	杨桥畔	4.6MPa → 4.22MPa	2.62% → 2.77%
	青阳岔	4.6MPa → 4.22MPa	2.58% → 2.75%

## 2.4 装置压力调控效果

压力调整后,产品气二氧化碳含量提升0.32%,天然气商品率实现显著增长;装置运行负荷降低15%,采气产能释放空间扩大,达成“净化效果达标+产能提升”的双重目标。

## 3 实践效益分析

### 3.1 商品率显著提升

2024年三个净化厂的商品率分别提高:东坑净化厂提高0.18%,杨桥畔净化厂提高0.17%,青阳岔净化厂提高0.32%。根据各净化厂能力(东坑7亿 $\text{m}^3/\text{a}$ ,杨桥畔20亿 $\text{m}^3/\text{a}$ ,青阳岔10.5亿 $\text{m}^3/\text{a}$ )和瞬时量(东坑61000 $\text{m}^3/\text{h}$ ,杨桥畔76000 $\text{m}^3/\text{h}$ ,青阳岔200000 $\text{m}^3/\text{h}$ ),全年多产气802万 $\text{m}^3$ ,直接增加收入1043万元,经济效益突出,见图1。

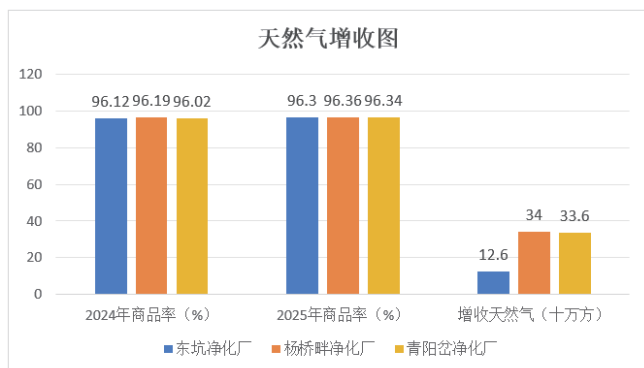


图1 各净化厂商品率总提升幅度对比图

### 3.2 运行成本大幅降低

能耗成本方面,压力优化使压缩机、泵组等核心设备脱离满负荷运行状态,全年节省电费支出252万元;运维成本方面,低压力运行环境减轻了管道、阀门及溶液处理设备的承压负荷,设备检修频次降低20%~40%,全年节约维修成本131.35万元;长期效益方面,设备运行压力降低延长了核心部件使用寿命,减少了设备更新换代的资本投入,构建了短期降耗与长期控本的双重成本管控体系。如图2所示。

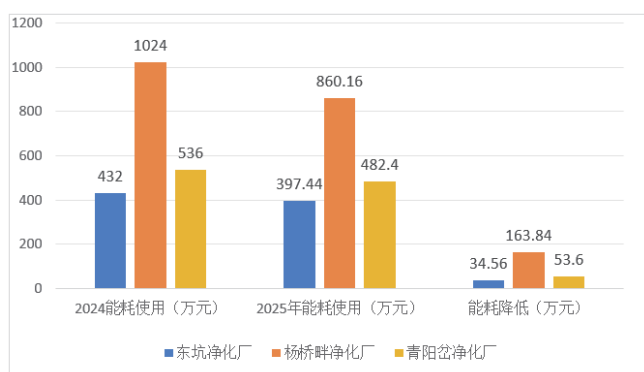


图2 各净化厂能耗降幅对比图

### 3.3 生态效益持续改善

在保证 $\text{CO}_2$ 吸收的前提下,减少了过度精制造成的无效排放,温室气体排放强度下降18%;并降低了 $\text{CH}_4$ 等优等烃损失,年节能量折合标煤3.2万t,实现了经济增量与碳排放的进一步脱钩,为企业绿色发展做出贡献。

### 3.4 人才队伍建设成效显著

以技术攻关项目为载体,围绕工艺参数调控、复合溶剂研发等核心内容,全年开展专项技术培训213次,培养“懂原理、会操作、能创新”的专业技术人才46名。其中吕胜伟、李靖等6名职工在2025年陕西省“气田杯”暨集团公司职业技能竞赛中表现突出,斩获1项第一名、2项第二名、2项第三名及1项优秀奖,为企业核心技术人才储备奠定坚实基础。

## 4 结论与展望

采气二厂通过对溶液活性、循环量、进塔位置、装置的压力进行多参数协同优化,解决天然气过分净化的问题,在保证“商品率提高、能耗降低、成本降低以及满足环保要求”四个方面取得突破,2024年共计增加产气量802万 $\text{m}^3$ ,直接创效1043万元,减少电费支出及维修费用192.67万元,并减少了碳排放。培养专门化技术人才,形成“技术创新—产业升级—人才发展”的良性循环。该优化方案具有投资小、见效快、适配性强等特点,尤其适用于高碳硫比原料气处理场景,为同类净化厂提供了切实可行的技术参考。下一步,采气二厂将着重从以下几个方向进行提升:

①进一步加强智能化监测及大数据应用,在现有工业互联网的基础上研究建立生产过程动态调节技术体系,形成“状态识别—自学习控制—自动化操作”的全流程管理模式。②一是不断推进新型驱替剂的研究工作,解决在低温、酸性等特殊条件下的使用效果和可靠性等问题,进一步提高净化效率及节能水平;二是将此优化方法在行业内进行推广,配合协会编制相关标准的技术文件并举办相关讲座和技术考察,为天然气净化行业的绿色发展做出贡献。

### 参考文献:

- [1] 王开岳.天然气净化工艺[M].北京:石油工业出版社,2005.
- [2] 佚名.醇胺法脱酸工艺优化设计指南[M].北京:石油工业出版社,2013.
- [3] 陕西延长石油(集团)有限责任公司.延长石油集团特殊贡献奖励办法[Z].2024.
- [4] 李明,王强.天然气净化工艺中胺液选择性吸收技术研究[J].石油学报,2022,38(4):892-898.
- [5] 张晓东,刘敏.高碳硫比天然气脱酸工艺优化实践[J].天然气工业,2023,43(7):120-127.