

天然气处理站压缩机节能降耗措施分析及应用

袁 月 苏梦芸 茹 毅 (西南油气田川东北气矿, 四川 达州 635000)

摘 要: 为了实现“碳达峰、碳中和”这一远景目标, 我国在不断提高节能减排的具体要求, 天然气作为一种清洁高效的主流化石能源需求量逐渐攀升。压缩机作为天然气处理站的关键设备之一, 其运行效率直接影响我国天然气能源供应。本文从天然气处理站压缩机的关键参数分析入手, 明确了压缩比偏大、吸入口温度升高问题是影响压缩机耗电的两个关键性参数。针对影响压缩机耗电高的 2 个关键因素, 通过数据对比分析和现场验证, 分析出流道部分堵塞、转速和防喘未实现耦合的问题是解决压缩机耗电的技术关键, 为此采取 N_2 爆破吹扫和优化防喘动作速率、控制压缩机选择入口压力的改进措施, 并制定了详细的对策实施计划。现场实施后压缩机单位耗电量大幅度降低, 平均月节电 81 万度, 三个月合计节约资金 140 多万元。

关键词: 天然气处理站; 压缩机; 节能措施; 压缩比; 统计方法

1 前言

天然气处理站是对油气田生产的天然气进行处理的重要枢纽场所, 日产工作是对天然气进行脱水、升温、加压、制冷、分馏等工艺生产油田混合烃和稳定轻烃的装置。主要设备有天然气预分离系统、天然气压缩系统、干燥系统、热油系统、氨制冷系统、分馏及制冷系统、空压机系统、水泵系统等^[1]。其中天然气压缩机是最重要的耗能设备, 占整个装置耗电 70% 以上^[2-3], 因此如何降低天然气压缩机单位时间耗电量对降低生产成本, 提高生产效率具有重要意义, 同时也是保护环境、清洁生产的需要。

2 压缩机参数与耗电量关系分析

天然气处理站工艺流程是脱水后的干天然气进入轻烃回收装置冷箱预冷, 预冷后低温天然气进入低温分离器气液分离, 低温分离器的气相进入膨胀机膨胀端膨胀制冷, 为装置提供必要的冷量, 进一步膨胀制冷后的低温天然气进入 DHX 塔与回流的气液相接触传质传热, DHX 塔塔顶气经冷箱复热后进入膨胀机压缩端压缩后至天然气增压装置进行二次增压外输^[4]。

2.1 压缩机工作原理

压缩机做工功率即单位时间内压缩天然气所做的功, 单级可逆压缩机做工依据 $W_{S(R), m}$ 计算, 如式 (1)

$$W_{S(R), m} = \frac{m}{m-1} Z_m n R T_{in} \left[\left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \frac{1}{\eta} \quad (1)$$

依据工程经验齿轮箱传动的压缩机功率大于

2000kW, 其机械效率 $\eta \geq 0.97 \sim 0.98$; 漏气及轮组损失取 0.03。

则计算实际压缩机功率:

$$W = \frac{W_{S(R), m} \times 1.03}{0.98} \quad (2)$$

由式 (1) 可知影响压缩机多变压缩功的因素有:

- ①压缩比 ε ;
- ②吸入口温度 T_{in} ;
- ③ n 摩尔量 (只做组分变化分析);
- ④多变指数 m ;
- ⑤ Z_m 压缩系数;
- ⑥多变效率 η 。

其中多变指数 m 、 Z_m 压缩系数在压缩机制造过程中已经确定, 不作为影响因素。压缩比 $\varepsilon =$ 出口压力 / 入口压力, 压缩比偏大主要是入口压力低造成。

2.2 压缩机主要参数分析

对外输气压缩机处理负荷、做功效率、压缩比、吸入口温度情况分析, 根据压缩机做功公式分析可知, 装置负荷不变的情况下, 压缩比越大, 吸入口温度越高则压缩机单位时间耗电量就越高。对 2019 年 1 月至 2019 年 11 月中, 外输气压缩机的四个因素的相关情况进行统计分析可知:

①1月-3月压缩比维持稳定, 压缩比 $\varepsilon < 1.72$, 压缩机入口温度稳定在 30℃;

②4月后出现压缩比 ε 持续增大, 入口温度也相应升高。故在装置处理负荷基本稳定的情况下, 压缩比增大和吸入口温度升高是引起压缩机电耗增加的主要症结。

3 影响天然气站压缩机电耗高原因分析

针对影响压缩机电耗高的 2 大症结压缩比偏大、吸入口温度升高问题,广泛调研了现场操作人员、厂家技术和外单位使用情况,进行了原因分析,最后共找到七方面主要因素:

- ① B 流道部分堵塞;
- ② F 流道部分堵塞;
- ③原料气温度高;
- ④转速模块比例积分设置不当;
- ⑤管网压力升高;
- ⑥转速和防喘未实现耦合;
- ⑦人员培训不到位。

3.1 B 流道部分堵塞

对 B 流道差压的变化情况进行统计分析可以发现:

① B 流道实际差压大于设计值 140kPa; B 线温度高于设计温度 -44℃;

②为满足冷量要求,入口压力设置 3.71MPa,压缩比 $\varepsilon=1.762$, $\Delta \varepsilon > 0.04$;增压比变大,吸入口温度升高, $\Delta T > 3^\circ\text{C}$ 。

由以上分析可知:“B 流道部分堵塞”造成系统冷量不足,通过降低压缩机入口压力来维持系统冷量。

3.2 F 流道部分堵塞

对 F 流道差压变化和系统冷量进行统计分析可以发现:

① F 流道缓慢堵塞后差压大于设计值 100kPa;系统冷量减少温度升高;

②为满足冷量要求,入口压力维持在 3.71MPa,压缩比 $\varepsilon=1.752$, $\Delta \varepsilon > 0.04$;增压比变大,吸入口温度升高, $\Delta T > 3^\circ\text{C}$ 。

由以上分析可知:“F 流道部分堵塞”造成系统冷量不足,通过降低压缩机入口压力来维持系统冷量。

3.3 防喘和转速未实现耦合

表 1 转速 - 防喘对应值

防喘阀输出	20%	15%	10%	5%
转速输出 /rpm	7183	7232	7274	7294
现场试验	系统加负荷,按照转速-防喘对应关系,手动升高转速,每次 20rpm 增加。			
转速	7183	7203	7223	7243
防喘输出	20%	20%	20%	20%
压缩机出口压力 /MPa	6.482	6.487	6.493	6.514

压缩机入口压力 /MPa	3.724			
入口温度 /℃	33.7	34.3	35.2	36.3
验证结果	升高转速,防喘未耦合关			

现场验证,防喘阀有开度的情况下升高转速,防喘阀不跟踪。

①发现 ITCC 操作说明中明确了耦合情况下防喘和转速动作情况;

②现场验证,调整转速观察防喘阀是否动作。

由验证结果得出:保持压缩机入口压力不变,系统加负荷过程中升高转速防喘阀输出不变,循环气量迫使压缩机做负工,压缩机实际能耗升高。

4 降低天然气处理站压缩机单位时间耗电量措施

4.1 措施方案的确定

针对 B、F 流道部分堵塞的问题,通过调研分析比较,为了满足冷箱检修效果、减少人员操作强度,采取 N_2 爆破吹扫。对转速和防喘未实现耦合的问题,为了满足压缩机平稳控制、减少人员操作强度,采取优化防喘动作速率,压缩机选择入口压力控制模式。

4.2 措施对策实施

4.2.1 装置检修期对流道进行反向爆破吹扫

根据爆破吹扫方案,对 B 线单次石棉板充氮 0.1MPa 压力爆破逐次逐张进行牛皮纸加强爆破直至爆破压力到 0.4MPa。

对策实施效果:小组跟踪了冷箱 B 线爆破吹扫后产生的实际效果:B 线出口温度降至 -47℃,膨胀机后温度降低至 -72.1℃;系统冷量过剩,压缩比 ε 通过提高压缩机入口压力可实现至 1.69;入口温度可降低 3℃,对策实施有效。

依据多变压缩公式:

$$T_{out} = T_{in} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)^{\frac{m-1}{m}}$$

可知压缩比降低,温度也降低;通过提高压缩机入口压力,膨胀比、增压比相继减小。

装置检修期对 F 流道进行反向爆破吹扫,措施:

①利用脱乙烷塔作气包的大气量进行 F 线吹扫;

②分别以 0.5MPa、0.4MPa、0.3MPa 压力等级进行憋压爆破;

③以白板喷出物干净无坑击为吹扫有效判定依据。

对策实施效果:根据 F 线爆破吹扫的实施效果

看：F 线出口温度降低至 -16°C ，膨胀机出口温度 -72°C ；系统冷量满足压缩机入口设置压力升高的条件，压缩比 ε 可降低至 1.69，吸入口温度可下降 3°C ，对策实施有效。

4.2.2 优化防喘 PID，压缩机选择入口压力控制模式

4.2.2.1 优化防喘 PID

采用正交实验法对变更温度控制点后的比例度、积分、微分组成的 3 因素参数进行优选，以实现满足防喘流量要求时防喘阀无输出。

实施步骤如下：

选位级水平，排因素位级表 2，其中，A：比例系数 B：积分时间 C：微分时间。为了合理确定每个因素的水平值，参考《气动防喘振阀说明书》，并借鉴国内油田同类压缩机防喘阀的动作参数，对每个因素做出如下选择。

表 2 因素位级表

因素 位级	比例度 P	积分 I	微分 C
1	0.50	30	3
2	0.45	27	6
3	0.40	23	18
参考范围	0.4-0.5	20-30	0-18

由此而得的正交实验趋势图如图 1 所示。

通过正交试验发现，方案 A2B1C1 可以实现满足防喘流量要求时防喘阀无输出的目标，最终确定 PID 参数为：比例度 P：0.45；积分 I：30；微分：3。

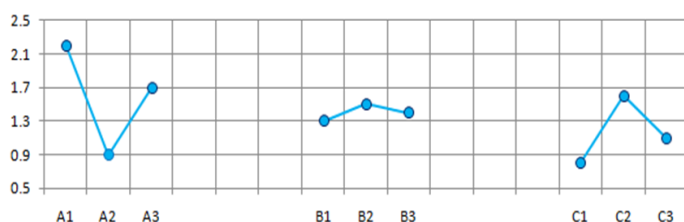


图 1 防喘输出正交实验趋势图

对策实施效果：对防喘阀 PID 进行更改，并对其持续跟踪，满足防喘流量时，半自动状态防喘输出接近于 0，输出状态稳定。

4.2.2.2 投用性能控制，选取入口压力作为控制点

①操作界面。性能控制是以选取压缩机入口压力作为控制点，实现转速和防喘的耦合调节；解耦侧为 0 时，半自动调节，解耦侧为 1 时，转速调节。投用顺序按照转速控制使能喘振控制使能性能

控制使能，停用顺序相反；

②投用前演练和投用。组织进行投用前演练，演练过程中如果出现转速和防喘阀大幅波动，立即切回半自动控制模式，稳定压缩机运行状况。机组投用性能控制模式后，入口压力设定 3.72MPa 。运行 30min 检查机组运行情况良好，合成气压缩机运行转速稳定在 7342rpm，上下波动 10rpm，防喘阀输出为 0，无波动；入口压力 3.72MPa ，装置运行稳定；

③设定检验标准。处理负荷不变的条件下，维持工艺系统稳定且 DHX 塔压 $< 3.35\text{MPa}$ ；

④性能控制模式投用稳定运行以后，对 DHX 塔压进行检测，DHX 塔压 $< \text{PV102}$ 放空设定 3.35MPa ，上下界限也没有超过目标值，也未出现点子缺陷，满足目标要求，实施控制有效。

4.3 现场实施效果

通过在压缩机装置检修期对流道进行反向爆破吹扫和压缩机选择入口压力控制措施，压缩比由 1.77 降至 1.72，压缩机入口压力设定由 3.7MPa 升高至 3.8MPa – 3.9MPa ；吸入口温度由 34°C 降至 31°C ，压缩机性能的到大幅度提高，之前症结得以解决。两项措施实施完毕后，进行了三个月压缩机单位时间耗电量持续跟踪，单位时间耗电量由 $12733\text{kW}\cdot\text{h}$ 降低至 $12170\text{kW}\cdot\text{h}$ ，平均实现月节电 81 万度，三个月合计节约资金 140 多万元。

5 结论

节能降耗是清洁生产需要，也是企业逐步实现绿色生产的需要，是企业实现可持续化发展的策略。本文针对天然气处理站压缩机高耗电、效率低的问题，通过数据分析和现场验证的多种技术手段，找到了节电降耗的技术关键因素，并制定了改进措施，现场实施后达到了节能降耗的良好效果，对天然气处理站内压缩机的绿色安全运行具有现实的经济和社会意义。

参考文献：

- [1] 狄建森. 大型压缩机节能改造新技术应用分析 [J]. 中国设备工程, 2021(11):83-84.
- [2] 倪铁峰. 联合站节能降耗集输工艺的应用 [J]. 化工管理, 2021(11):36-37.
- [3] 张京周, 邓云川. LNG 接收站工艺管道爆破吹扫技术 [J]. 化工设计, 2019, 29(05):21-25+1.
- [4] 李云, 李辉, 罗成, 曹学文, 姜武. 轻烃装置低负荷运行的用电分析及节电措施 [J]. 石油石化节能, 2018, 8(06):33-35+9.