

整体往复式天然气压缩机组经济型运行深度研究分析

赵鹏辉（北京杰利阳能源设备制造有限公司，北京 100000）

摘要：天然气压缩机运行工况的优劣会直接影响压缩机使用寿命和运行稳定，无法保障生产效益，以某气田近百台往复式整体式压缩机为例，深度分析不同工况下调整压缩机运行效率、维护成本，研究在用户不同产量需求下，压缩机组最优工况调整方式，指导和提升压缩机生产效率，降低压缩机使用维护成本。

关键词：天然气压缩机组；工况调整；经济运行；最佳工况；降低成本

往复式压缩机广泛应用于石油天然气行业，适应压力广、压缩效率高、操作简易等特点，主要作用集输采气、储气、气举等。随着气田开采，气量储藏减少，压缩机组生产产量也逐渐下降，生产成本低，低负荷使压缩机零部件寿命降低，配件消耗成本高。为此，研究压缩机运行工况调整方式，确保压缩机处于最经济运行工况。

1 压缩机运行工况概述

压缩机运行工况是衡量压缩机组生产效率的一个核心指标，主要指压缩机在不同工艺条件下的最佳处理量，主要影响因素有工艺气质组分、进气压力、进气温度、排气压力、排气温度等。压缩机运行工况核心指标主要有运行时率、故障率、完好率及负载率。

1.1 运行时率

为压缩机生产效率的核心指标，直接影响用户的生产效益，同时也是设备维护维修效率的评判标准之一。通常以月度/季度/年度数据进行测算分析，反应设备整体运维管理水平。运行时率 = 设备累计运行时间 / (设备累计运行时间 + 设备故障时间)。

1.2 故障率

为设备维护质量效率的核心指标，直接反应设备运行稳定性，通过故障率统计分析，制定专项预防管控措施，确保压缩机组安全平稳运行。故障率 = 设备故障时间 / 设备应运行时间。

1.3 完好率

为设备技术管理的核心指标，直接反应设备维护管理质量水平，通过完好率管控分析，不断提升设备维护管理水平。完好率 = 无故障设备台数 / 设备总台数。

1.4 负载率

为评估设备安全性的核心指标，直接反应压缩机组的使用性能，也是压缩机组运行成本的核心指标之一，通过负载率分析，可有效确保压缩机组运行安全

可靠性，同时也可以结合工况调整方式降低压缩机组耗能。负载率 = 实时功率 / 该工况下允许的最大功率。

压缩机工况的调整就是确保各项指标均处于最佳的状态，本文重点以整体式往复式压缩机 AJAX DPC 系列压缩机组为理论测算依据进行深度分析，此结论对其他类型天然气往复式压缩机组的最优运行也有参考和借鉴意义。

2 压缩机工况调整方式分析

目前场站所配置的压缩机组主要为整体式往复式天然气机组，进气压力 0.7–1.5MPa，排气压力 3.5MPa，处理量 12–32 万方 /d，排量调节方式主要依靠余隙、回流、转速、气缸单作用、一二级压缩切换方式进行调节。除回流调节方式以外，其他调节方式可通过专业软件测算进行调整。

2.1 余隙调节

通过专用软件测算调整，确保压缩机组安全运行工况范围，余隙调整范围 0–8 寸，通过手动手轮旋转的方式进行调节，经测算分析，调节余量最大产量增大或减小 2 万方 /d 左右，负载率增大或减小 30% 左右，是往复式压缩机组日常维护最常见的调整方式。

2.2 加载阀打回流方式

通过手动打开加载阀开度，控制压缩机生产量，一般由于场站配产较少，无法满足设备正常运行时的应急调整方式，不建议长期运行。

2.3 转速调节方式

通过手动增加或降低转速实现机组生产量提升或降低，一般与余隙调节方式配合调节，效果最好。是最常用的产量调节方式。

2.4 气缸单作用

主要为场站采气中后期气量少，压缩机双作用时，机组无法正常运行，配合软件测算的方式，将压缩缸头端的进气阀拆除的运行方式，可降产 45% 左右，可以有效提升设备利用率。

2.5 一二级压缩流程切换

通过切换工艺流程 8 字盲板实现压缩机级数改变, 改变压缩机的运行工况参数, 主要针对场站工艺参数与设计偏差时进行切换, 如原配置压缩机组为一级压缩, 设计进气压力范围为 0.7–1.5MPa, 当进气压力低于 0.7MPa 设计值时, 压缩机组超出设计范围时, 可通过流程切换改变压缩级数, 实现压缩机组安全平稳运行, 且压缩机排气压力增大, 或者压缩机产量较低时也可通过流程切换的方式实现增产。

3 压缩机运行工况理论测算分析

以整体式往复机测算对比不同的工况调整方式对气量的影响趋势, 从而研究出压缩机组在何种状况下采用何种工况调整方式给出指导意见。在使用软件测算时, 影响因素较多, 测算前需假定某些参数恒定条件下进行测算, 本次测算分析恒定条件海拔 1200m, 进气温度 20℃。

3.1 转速与产量分析

测算条件: 进气压力 1.0MPa, 排气压力 3.0MPa, 余隙 0 寸。转速范围 300–420r/d, 测算保证负载率 < 100%, 确保机组运行安全可靠。

测算结果: 转速与产量为线性增长关系, 转速与压缩机负载为线性增长关系, 通过调整转速, 可实现产量最大调整量为 6.8 万方 /d。

3.2 余隙与产量的关系

测算条件: 进气压力 1.0MPa, 排气压力 3.0MPa。转速范围 400r/d, 测算保证负载率 < 100%, 确保机组运行安全可靠。

测算结果: 余隙与产量为线性下降关系, 与负载率为线性下降趋势, 通过余隙调整最大可增加或减少产量 2.3 万方 /d。

3.3 气缸单双作用与气量的关系

测算条件: 转速 400r/d, 余隙 0 寸, 进气压力 0.7–1.1MPa, 排气压力 3.0MPa。测算保证负载率 < 100%, 确保机组运行安全可靠。

测算结果: 气缸单作用可有效降低压缩机产量, 与双作用相比降低参量 50% 左右, 但压缩机组负载率相对较低, 处于低负荷运行, 不建议长期调整。

3.4 二级增压与产量的关系

测算条件: 转速 400r/d, 余隙 0 寸, 进气压力 0.7–1.1MPa, 排气压力 3.0MPa。测算保证负载率 < 100%, 确保机组运行安全可靠。

测算结果: 二级增压调整, 可有效降低压缩机产量, 一级压缩时产量为 13.8–25.6 万方 /d, 二级增压

时产量为 9.9–15.4 万方 /d, 同时可有效降低压缩机运行负载率, 将负载率从 79%–99% 降为 59%–64%。

3.5 理论测算结论

通过目前可操作的工况调整进行测算分析得出结论如下: ①转速与产量为线性增长关系, 即增加转速产量提升, 与负载率为线性增长关系, 即转速越高负载越大, 可实现产量理论值增减 6.8 万方 /d; ②余隙与产量为线性下降关系, 即增大余隙产量降低, 与负载率为线性下降关系, 即余隙越大负载越小, 可实现产量理论值增减 2.3 万方 /d; ③气缸单作用与产量为线性下降关系, 即气缸单作用产量下降, 可实现产量理论值增减 50%, 但此调整方式下负载率 < 50%, 机组处于低负荷运行, 机组稳定性差, 且压缩机核心部件寿命无法保障, 不建议长期运行; ④二级增压调整与产量的关系为线性下降关系, 即二级增压调整后产量下降, 可实现产量理论值增减最大 10 万方 /d。

4 压缩机最佳运行工况分析

结合多年压缩机维护管理经验, 调整压缩机组最佳运行工况的主要目的, 以最经济的模式, 创造最大的价值; 整体式压缩机组运行的主要成本有动力点火燃气消耗、设备运行润滑油消耗及设备零部件磨损更换费用; 而这三项成本都与压缩机组运行工况有关, 整体式往复式压缩机组点火燃气耗量、润滑油消耗主要与压缩机组转速高低有关, 转速越高, 燃气耗量和润滑油消耗越高, 具体分析如下:

经测算分析, 转速满载时, 燃气耗量为 3176Nm³/d, 燃气耗量与转速比为正比, 即转速 400r/d 时, 燃气耗量约为 400/440*3176=2887Nm³/d (燃气耗量降低 289Nm³/d)。转速满载时, 润滑油耗约为 15L/d, 润滑油耗与转速比为正比, 即转速 400r/d 时, 润滑油耗为 400/440*15=13.6 L/d (润滑油耗降低 1.4L/d)。

因此压缩机组在调整工况时, 在保障生产量的前提下, 不是一味的增大转速而增加产量, 而成本也会有所上升, 需要综合测算分析调整最佳运行工况。同理压缩机组零部件的使用寿命直接影响因素为压缩机运行工况, 压缩机组运行负载率过高或过低均会影响压缩机组零部件的使用寿命。

为了确保压缩机组以最经济的模式运行, 结合机组老化率对功耗的影响, 负载率对设备零部件使用寿命的影响, 工况在调整时可多种方式混合使用, 确保机组生产量的前提下最优运行。经近 15 年的压缩机组维护大数据分析, 压缩机组最佳运行负载率为 70%–90%, 此运行工况下机组稳定性高、故障率低。

4.1 转速和余隙工况调整分析

结合理论测算数据,转速和余隙对生产量和负载率的影响,一般可采用降转速、减小余隙的方式,确保压缩机生产量的同时,实现机组最经济运行;反之通过提转速、增大余隙的方式,确保压缩机生产量的同时,实现机组最经济运行;经测算压缩机组最佳余隙应随季节交替而调整,如秋冬交替时,压缩机组最佳余隙为2.5寸,可以最大化保证单井采收率,同时机组运行稳定性高;春夏交替时,由于高温,压缩机组最佳余隙为4.0寸,压缩机运行工况适应范围广,机组运行稳定性高。

测算条件:海拔1200m,进气温度20℃,进气压力1.0MPa,排气压力3.0MPa,转速300~400r/d。

测算结果:进气压力和排气压力恒定条件下,转速和余隙调整可实现机组产量范围为11.894~22.624万方/d,产量影响11万方/d左右,影响范围大,机组平均处理量16.824万方/d。

4.2 转速和气缸单作用工况调整分析

一般适用于用户短期内调配产,压缩机组生产量下降,短期内的应对方式,可很好的提高设备利用率,这种方式适用于生产产量不稳定区域,通过拆装气阀实现单双作用,操作简易,使机组处于最佳运行工况。

4.3 二级增压和转速及余隙工况调整分析

一般适用于用户长期产量低的站点,通过工艺流程改造,实现二级增压流程,结合转速和余隙调整,使得机组处于最佳运行工况。

测算条件:海拔1200m,进气温度20℃,进气压力1.0MPa,排气压力3.0MPa,转速300~400r/d。

测算结果:二级增压改造后,转速和余隙配合调整,产量的范围为10.104~14.003万方/d,影响范围越来越小4万方/d左右,机组平均处理量11.85万方/d左右。

4.4 二级增压和单双作用工况调整分析

一般使用于场站气量急剧下降,为确保压缩机组使用率的极端处理方式,通过对气缸缸头端气阀拆除,进一步减小压缩机处理量,提高单井采输率。

测算条件:转速400r/d,余隙0寸,进气压力0.7~1.1MPa,排气压力3.0MPa。测算保证负载率<100%,确保机组运行安全可靠。

测算结果:在二级增压工况调整后,气缸单双作用,可进一步降低压缩机产量至最低4.956万方/d。

4.5 最佳经济运行工况分析结论

①转速和余隙为目前最常用的工况调整方式,一

般为微调整,产量可调整范围为2~5万方/d,因此在压缩机组生产产量浮动率在 ± 5 万方/d区间时,一般采用转速和余隙均可实现压缩机组最佳运行工况调整;②转速和气缸单作用工况调整,一般为场站产量频繁波动的站点,产量可调整范围为6.8~13万方/d,但机组负载率较低<50%,不建议长期运行;③二级增压和转速及余隙工况调整,适用于场站采气后期,生产量很低,原设计一级压缩运行工况无法满足,机组长期处于低负荷运行,建议工艺流程改造为二级增压流程,产量可调整范围为5~14万方/d;④二级增压和气缸单双作用,适用于场站采气大后期,生产量达到最低,为提高设备利用率,采取的极端调整方式,可使得压缩机组最低处理量达到3.717万方/d(转速300r/d)。

5 可行性分析

目前场站大部分压缩机组均配置有手动可调余隙,通过调整余隙可实现产量的微调整,确保压缩机组运行安全可靠。同时整体机成撬时已考虑到一二级可变流程切换,通过工艺管路倒8字盲板实现二级与一级压缩切换,大大提升压缩机组的产量宽度,以DPC-2803为列实现排气压力恒定的条件下,进气压力0.3~1.5MPa的压缩宽度,一级压缩时进气压力范围0.7~1.5MPa,二级压缩时0.3~1.0MPa,有效提升压缩机组使用效率。

以某气田为列,配置有50多台DPC系列压缩机组,随着气田衰减,场站压缩机组多数处于低负荷运行,设备故障率高达10%左右(单机月故障频次5~10次),为提高设备运行稳定性,通过二级增压工艺切换,结合余隙与转速调整,有效保障设备运行效率高达99.5%,设备故障率下降至0.02%左右,有效提升压缩机的生产效率,降低了压缩机的使用维护成本。

6 结语

通过对不同工况的调整方式对压缩机组稳定性影响的深度分析,单一的调整方式只能满足生产量的要求,而无法保证机组的运行成本,同时对机组在何种工况下建议采用何种调整方式给出指导意见。工况调整一般采用多种方式的结合,在满足机组产量的前提下,可有效控制压缩机组的运行成本,从而实现压缩机组最经济的运行模式。

参考文献:

- [1] 张晓敏.复杂工况下往复式压缩机流量调节[J].石油和化工设备,2018(21).