

往复式天然气压缩机节能运行模式研究

樊兴科（北京杰利阳能源设备制造有限公司，北京 100101）

摘要：往复式压缩机组为目前油气田用量最多的集输采气核心设备，设备采购成本高，日常运行模式的优劣会直接影响用户的生产效益，如设备运行工况调整、预防性维护措施等会直接影响设备维护运行成本，因此研究压缩机组节能运行模式具有非常重要的意义。本文主要针对往复式天然气压缩机组运行模式对能耗的影响进行研究分析，分析出不同工况下压缩机组节能运行调整方法，从而指导提升设备维护管理水平，降低设备运行能耗。

关键词：压缩机；能耗；润滑油；成本

1 引言

往复式天然气压缩机应用范围很广泛，目前主要用于集气站集输采气、储气库储气、处理厂增压输气、油田气举采油等。

目前主要使用的有整体式往复式天然气压缩机组和分体式往复式天然气压缩机组，整体式发动机与压缩机共用一个机身和一根曲轴，如美国 GE 生产的 DPC2800 系列和国内成压厂生产的 ZTY 系列压缩机；分体式为发动机与压缩机为单独的个体，通过联轴器连接，如卡特彼勒的 G34\35\36 系列发动、Wakesha 系列发动机、电机等与 Ariel、GE、三机厂压缩机等配套的压缩机组。

目前所服务的压缩机组主要有整体式压缩机、燃驱分体机和电驱分体机三大类，随着气量衰减，部分压缩机组长期处于低负荷运行状态或者重负荷运行状态，为了资源最优配置，目前的解决方式主要有三种：

一是低产量区域备用机整机搬迁至高产量区域，提高设备利用率；

二是低产量压缩机组由原先的一级压缩经换缸或工艺流程改造，降低压缩机组处理量以适应生产需求；

三是高产量压缩机组由原先的小缸径经改造扩容，提高压缩机组处理量以适应生产需求。

无论哪种方式均已解决了目前的生产需求，而针对生产需求改变后的设备运行模式还是沿用以前的运行模式，设备的使用成本较高，本文主要针对当下的生产需求，结合压缩机组运行能耗特性进行研究分析，改变以前的运行模式，在不影响生产效益的前提下，实现降低压缩机运行成本。

2 压缩机组运行能耗分析

往复式天然气压缩机组在日常使用运行中主要能耗有燃气消耗、电能消耗及润滑油消耗，具体分析如下：

2.1 燃气消耗分析

驱动机为发动机的燃气压缩机组，均需要天然气与空气混合，通过点火系统，为压缩做工提供动力，常用压缩机组（以整体式压缩机组 GE DPC 压缩机为列）每天平均处理量 $25 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ，需要消耗燃气约 $4000 \text{m}^3/\text{d}$ ，理论上约为每采气 1000m^3 ，需消耗燃气 0.15m^3 。

燃气消耗的流程结构，燃料气经调压阀调整至一定的数值范围，确保点火做工所需的燃气体量，在经过电子调速器与 PLC 控制系统调节开度，一般是通过转速调节，经过喷射阀一定角度进行缸内与空气混合，再经外置点火装置，一定角度内完成点火做工。即当机组转速恒定时，参与燃烧做工的燃料气也是定量的，但压缩做工的效率却有很大差距，如转速 360r/d 时，燃气消耗流量 $110 \text{m}^3/\text{h}$ （即 $2640 \text{m}^3/\text{d}$ ），而压缩机排量却有很大调整范围，具体如表 1（以整体式压缩机组 GE DPC 压缩机为列）。

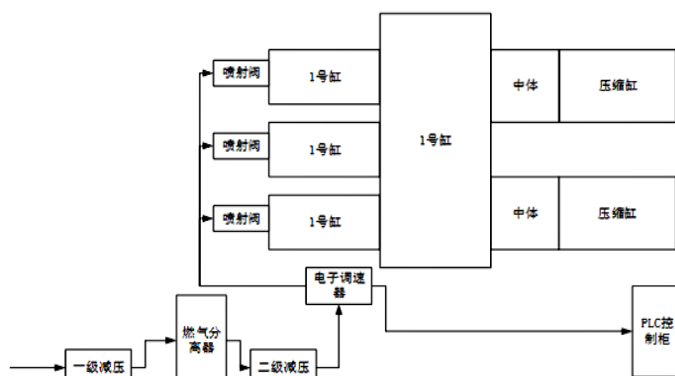


图1 整体式压缩机燃气消耗示意图

表 1

转速	进气温度	余隙	进气压力	排气压力	处理量	负载率
r/d	℃	英寸	MPa	MPa	万方 / 天	%
360	20	0+0	0.7	2.4	13.972	73.4
360	20	0+0	1.5	2.4	35.821	72.1
360	20	0+0	0.7	2.6	13.446	75.8
360	20	0+0	1.5	2.6	35.251	82.2
360	20	0+0	0.7	2.8	12.928	77.5
360	20	0+0	1.5	2.8	34.669	91.4

360	20	0+0	0.7	3.0	12.418	78.7
360	20	0+0	1.4	3.0	31.398	99.7
360	20	0+0	0.7	3.2	11.915	79.4
360	20	0+0	1.0	3.2	19.682	99.0
360	20	0+0	0.7	3.4	11.421	79.6
360	20	0+0	0.96	3.4	18.226	99.8

经以上测算分析发现,同等的燃气耗量可生产气量区间范围较大,排气压力恒定情况下,生产量最小 13 万方/天,最大 35 万方/天,因此有效控制压缩机转速,可有效降低燃气耗能。

2.2 电能消耗分析

压缩机组主要消耗电能为,驱动机为电机的燃气压缩机组,电机为压缩机提供做工所需的能耗,配置为变频电机的压缩机组,电机转速可根据压缩机能耗自动调整,以下主要针对工频电机(电机转速不可调整)压缩机组进行分析,测算方式跟燃气耗能类似,以 Ariel JGJ4-560kW 电机为列,经测算转速下降 50r/min,功率下降 14kW,核算节约电量 14kW·h,每天节约电量 336kW·h。因此有效调整压缩机组转速,即可满足生产需求,同时可降低电能消耗。

2.3 润滑油消耗分析

压缩机组日常运行中,需要给气缸、滑道、连杆、十字头、曲轴等部件进行润滑,以确保其使用性能和使用寿命。

其中给气缸和填料的润滑油为主要消耗源,为润滑油成本控制的主要控制点。气缸和填料的润滑方式为强制注油润滑,结合强制润滑油系统原理,其消耗量与转速成正比,在部件性能完好的情况下,即压缩机转速越高,润滑油消耗越大。

以 GE DPC-2803 机组为例,300r/d 时,耗油 10L/d,440r/d 时,耗油 15L/d(理论值)。

2.4 消耗成本分析结论

经以上分析,对于目前所使用的压缩机组,均可采用科学的控制转速而实现燃气耗能、电能消耗和润滑油消耗的成本。

3 压缩机运行节能方式

结合用户场站产量变化趋势及配置压缩机组生产特性,运用专用计算软件测算,主要以控制运行转速为目标,结合压缩机组现有工况调整方式,如余隙、降产、增产调整方式,满足生产需求;同时针对场站排气压力、产量变化趋势分析,实现转速逻辑自动调整,适应产量需求的同时,降低压缩机能耗成本。以下以 GE

DPC2803/ 压缩缸径 9.5+9.5 英寸,机组测算分析。

3.1 余隙调整方式

进气温度、排气压力、转速定量时,余隙与产量为线性下降关系,即余隙越小,产量越大,如某站目前生产需求 20 万方/天,进气温度 20℃,工艺排气压力 3.0MPa,最佳的运行节能工况测算如表 2(为确保机组实际处理量达标,理论测算值预留 1 万方/天的余量):

表 2

转速	进气温度	余隙	进气压力	排气压力	处理量	负载率
r/d	℃	英寸	MPa	MPa	万方/天	%
340	20	0+0	1.08	3.0	21.234	97.8
340	20	1+1	1.12	3.0	21.159	93.8
340	20	2+2	1.16	3.0	21.119	90.1
340	20	3+3	1.20	3.0	21.117	86.7
340	20	4+4	1.24	3.0	21.153	83.6
350	20	0+0	1.05	3.0	21.073	97.2
350	20	1+1	1.10	3.0	21.242	93.4
350	20	2+2	1.15	3.0	21.466	89.9
350	20	3+3	1.18	3.0	21.178	86.2
350	20	4+4	1.22	3.0	21.203	83.0
360	20	0+0	1.03	3.0	21.149	96.8
360	20	1+1	1.08	3.0	21.296	92.9
360	20	2+2	1.12	3.0	21.232	89.1
360	20	3+3	1.16	3.0	21.208	85.7
360	20	4+4	1.20	3.0	21.222	82.5
370	20	0+0	1.01	3.0	21.197	96.3
370	20	1+1	1.06	3.0	21.320	92.4
370	20	2+2	1.10	3.0	21.244	88.6
370	20	3+3	1.14	3.0	21.207	85.1
370	20	4+4	1.18	3.0	21.210	81.9
380	20	0+0	1.00	3.0	21.493	96.1

380	20	1+1	1.04	3.0	21.332	91.8
380	20	2+2	1.08	3.0	21.225	88.0
380	20	3+3	1.12	3.0	21.176	84.4
380	20	4+4	1.16	3.0	21.167	81.2

通过上表测算分析,不同的转速配合余隙和进气压力的变化均能满足产量 20 万方 / 天的生产需求;以能耗为目标的最佳运行方式为:

一是夏季高温,防止机组重负荷运行,建议转速 340r/d,余隙 4+4,进气压力 1.24MPa,负载率 83.6%;

二是冬季低温,为提高单井采收率(即进气压力越低越好),进气压力 1.01Pa,建议转速 370r/d,余隙 1+1,负载率 96.3%,即保障机组运行能耗最低,又满足机组生产需求。

说明:由于机组老旧化和用户生产要求,主要考虑的维度有,最低能耗下,如用户冬季要求进气压力 0.9 左右,即机组转速需要调整到 425r/d,余隙 0+0,负载率 92.3%,可满足生产需求;如老旧机组(功率损失大)需以负载率为依据,需控制到 90% 以内,机组运行可靠度高,还有夏季高温也需控制负载率。

3.2 气缸单双作用调整方式

进气温度、排气压力、转速定量时,气缸单作用理论上可降低压缩机组处理量 50%(相比双作用时),即双作用时处理量 20 万方 / 天,为降低产量,拆除缸头端的进气阀是气缸单作用,即处理量理论降低为 10 万方 / 天,配合转速调整,实现机组最佳运行工况,如下测算表(气缸缸头端气阀拆除后,即余隙失效,以下以转速配合进气压力调整,实现降产后的最低能耗运行):

如某站点由于降产,压缩机组气缸单作用,生产产量 8 万方 / 天,排气压力 3.0MPa,进气温度 20℃,最佳的运行节能工况测算如表 3:

表 3

转速	进气温度	进气压力	排气压力	处理量	负载率
r/d	℃	MPa	MPa	万方 / 天	%
340	20	0.90	3.0	8.185	45.0
350	20	0.88	3.0	8.177	44.6
360	20	0.86	3.0	8.155	44.2
370	20	0.84	3.0	8.120	43.7
380	20	0.82	3.0	8.071	43.2

390	20	0.81	3.0	8.145	43.0
400	20	0.79	3.0	8.073	42.4

通过上表测算分析,可发现气缸单作用后机组负载率均 < 50%,在不影响单井采收率的前提下,最低能耗运行方式为转速越低越好。

3.3 节能运行方式结论

经以上测算分析,即使单一的通过转速降低能耗,也有很大的调整空间,通过转速和余隙的调整,结合进气压力的变化,可实现设备低能耗运行;同时也可以结合智能化控制措施,实现转速远程控制调整,或者手动余隙改为气动或电动余隙调节,结合 PLC 逻辑控制,是机组实现智能化低能耗运行。

4 应用案例

目前用户主导推行降本增效运行模式,对于能耗控制要求很高,如气田某用户为了降低能耗,将设备转速调整改为远程控制,即作业区监控中心可远程对服务区域内的压缩机组进行转速控制调整;如有开关井时,瞬时流量变化大,可通过远程调整转速,确保机组安全平稳运行,降低人员作业成本(早期有开关井时,需要巡护人员出车调整)。

且部分用户推行智能调整模式,通过将手动余隙改为气动调节,主要用于排气压力不稳定区域,当排气压力过高时,压缩机组容易出现超负荷运行,此时余隙气动调节会自动增大余隙,同时配合转速调整,确保机组安全稳定运行,有效降低人员作业成本。

同时部分用户也将进气阀门改为电动调节阀,即实现了进气压力的远程控制,结合 PLC 逻辑控制,配合转速和余隙的调整,使得压缩机组实现低能耗运行的同时,提高设备使用可靠性,同时降低设备维护成本。

5 结论

经以上分析,压缩机组低能耗运行控制是可行的,通过转速调整可有效控制压缩机燃气耗能、电能耗及润滑油耗,而且转速调整本身为日常调整项,操作建议,也可实现远程控制。同时通过部分部件的智能化改造,实现压缩机节能远程智能化调整,有效控制压缩机使用能耗及成本。

参考文献:

- [1] 张勇. 往复式天然气压缩机节能降耗浅析 [J]. 通用机械, 2009(08):32-35.
- [2] 刘洋. 往复式天然气压缩机节能降耗技术分析 [J]. 科技创新与应用, 2017(18):134-134.
- [3] 曾勇, 赵明, 纪丕毅, 等. 往复式天然气压缩机节能技术应用 [J]. 石油石化物资采购, 2019(21):1.