

流量调节系统对往复压缩机反向角影响分析(二) 部分顶开吸气阀流量调节系统的影响分析

周天旭, 王存智, 郑学鹏

(中国石化工程建设有限公司, 北京 100101)

[摘要]: 首先介绍了部分顶开吸气阀流量调节系统的基本原理; 其次, 以两个工程实例为依据, 通过理论计算的方式分析了部分顶开吸气阀流量调节方式对反向角的影响; 对往复压缩机的选型以及故障诊断具有一定的指导意义。

[关键词]: 往复压缩机; 反向角; 部分顶开吸气阀流量调节

中图分类号: TH457 文献标志码: A

文章编号: 1006-2971 (2017) 06-0011-04

DOI:10.16051/j.cnki.ysjjs.2017.06.003

Analysis of the Influence of Stepless Capacity Regulation System on Reciprocating Compressor Reverse Angle—Part 2 Analysis of the Influence of Stepless Capacity Regulation Systems

ZHOU Tian-xu, WANG Chun-zhi, ZHENG Xue-peng

(Sinopec Engineering Incorporation, Beijing 100101, China)

Abstract: The fundamental of stepless capacity regulation systems was introduced firstly. Secondly, based on two engineering examples, the effects of stepless capacity regulation systems on reverse angle were analyzed by means of theoretical calculation. There is a guiding significance on the selection and fault diagnosis of reciprocating compressors.

Key words: reciprocating compressor; reverse angle; stepless capacity regulation systems

1 引言

本文就往复压缩机另一种常见的无级流量调节系统, 即部分顶开吸气阀流量调节系统, 对反向角的影响进行分析。

部分顶开吸气阀流量调节系统的工作原理为: 往复压缩机压缩行程初始, 调节机构强制顶起吸气阀, 气体先从开启的吸气阀中被压回至进气管路, 待活塞运行至设定位置时, 吸气阀关闭, 剩余气体继续被压缩直至达到额定排气压力。通过对吸气阀后闭的精确控制, 可实现20%~100%流量之间的连续调节^[1]。理论上, 往复压缩机的轴功率消耗几乎与流量成正比, 且由于被调节的气体没有被压缩, 只是在吸气阀处反复进出, 因此功耗降低效果明显。此调节装置具备流量调节范围广、

节能降耗效果显著等优势, 因而广泛应用在加氢裂化、渣油加氢等装置的大型往复压缩机上, 且取得了较好的效果。

2 部分顶开吸气阀流量调节系统下反向角的理论计算

部分顶开吸气阀调节系统作用下, 缸内气体的工作过程增加了“回流”阶段, 则压缩机完整的工作过程分为了8个阶段, 见式 (1)~(8)^[2]:

0~180°盖侧膨胀、轴侧回流

$$F_p = -A_c \times p_e + A_z \times p_s + F_1 \quad (1)$$

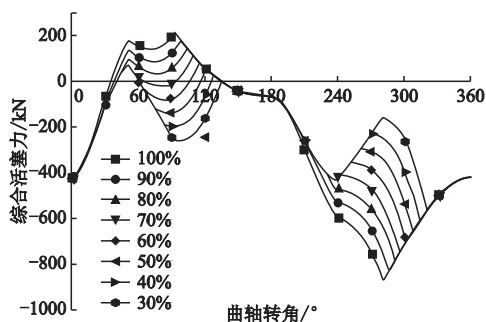
0~180°盖侧吸气、轴侧回流

$$F_p = -A_c \times p_s + A_z \times p_s + F_1 \quad (2)$$

0~180°盖侧吸气、轴侧压缩

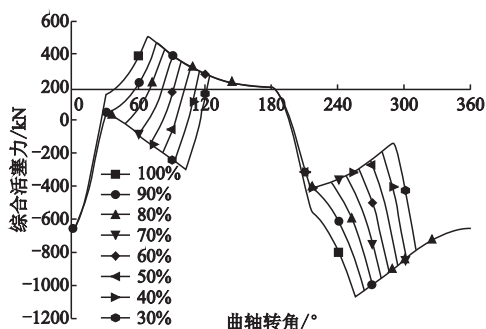
$$F_p = -A_c \times p_s + A_z \times p_c + F_1 \quad (3)$$

收稿日期: 2017-07-05



4M125-34/40-202-BX 新氢压缩机

图1 末级缸综合活塞力曲线图



4BDC-18H3 新氢压缩机

图3 末级缸综合活塞力曲线图

0~180°盖侧吸气、轴侧排气

$$F_p = -A_G \times p_s + A_Z \times p_d + F_I$$

181~360°盖侧回流、轴侧膨胀

$$F_p = -A_G \times p_s + A_Z \times p_e + F_I$$

181~360°盖侧回流、轴侧吸气

$$F_p = -A_G \times p_s + A_Z \times p_s + F_I$$

181~360°盖侧压缩、轴侧吸气

$$F_p = -A_G \times p_c + A_Z \times p_s + F_I$$

181~360°盖侧排气、轴侧吸气

$$F_p = -A_G \times p_d + A_Z \times p_s + F_I$$

式中 F_p ——综合活塞力

A_G ——盖侧活塞面积

A_Z ——轴侧活塞面积

p_e ——气体膨胀压力

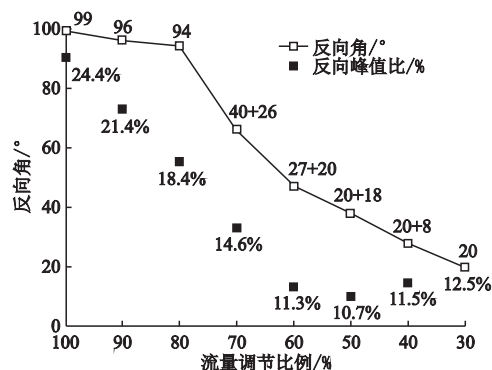
p_c ——气体压缩压力

p_s ——气体吸入压力

p_d ——气体排气压力

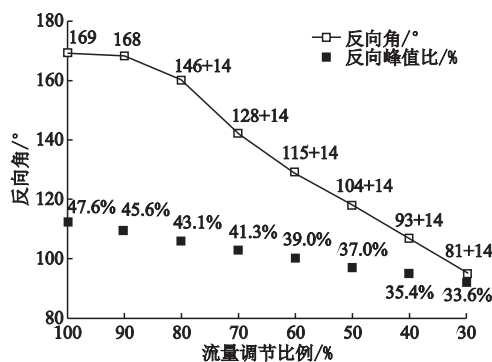
F_I ——往复惯性力

将机组参数带入上述公式，可得部分顶开吸气阀流量调节系统对反向角的影响如图1~4所示。



4M125-34/40-202-BX 新氢压缩机

图2 末级缸反向角曲线图



4BDC-18H3 新氢压缩机

图4 末级缸反向角曲线图

另外，需要说明的是，选择这2台机组的原因在于比对不同工艺，结构参数下反向角的变化情况，保证分析样本的多样性，与厂家无关。

由图1可知，当流量从额定流量的90%降至30%时，综合活塞力处于正值的部分越来越少，相应反向角的数值也呈现递减的趋势；另外，当流量范围为70%~40%时，综合活塞力的正值分两次出现，即反向角呈现两段式；结合图2可知，100%~80%范围内，反向角的数值几乎不变，而反向峰值比下降了约25%。80%~30%范围内，反向角数值及反向峰值比下降速率较快，其中80%~60%范围内，反向角呈现出骤降的趋势。

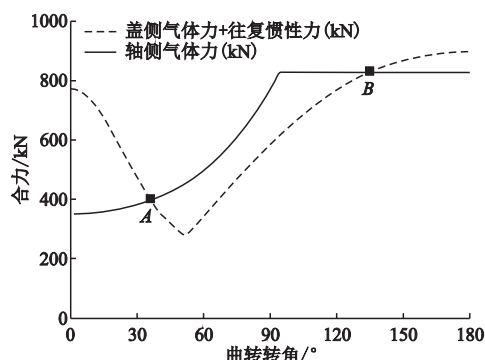
由图3和4可知，额定流量至30%流量范围内，反向角与反向峰值比均呈现递减的趋势，但在30%流量下反向角数值仍较大。另外，当流量范围为80%至30%时，综合活塞力正值分两次出现，即反向角呈现两段式。

以上2台机组在流量调节作用下，其反向角均降低，且均出现了反向角为两段的现象。但两者降低速率及比率不同，前者反向角在较小流量范

国内迅速降低,而后者反向角数值降低速率相对平稳。针对于此,下节主要分析其原因,并对其影响进行了探讨。

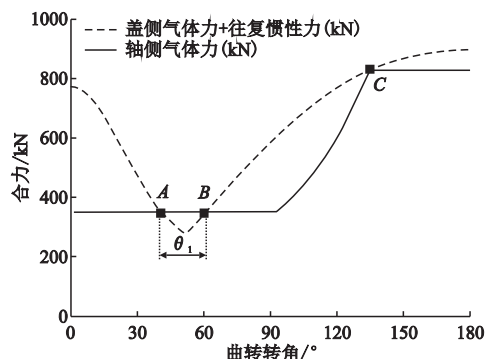
3 部分顶开吸气阀流量调节系统对反向角的影响分析

由上可知,随着流量调节比例的增大,反向角数值和反向峰值比均减小,且出现反向角为2段的现象。本节通过对两侧气体力及往复惯性力的研究,分析了反向角变化趋势的原因及其影响因素。



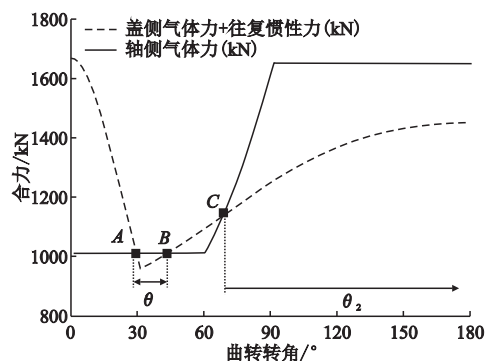
4MI25-34/40-202-BX 新氢压缩机

图5 100%流量下受力分解图



4MI25-34/40-202-BX 新氢压缩机

图7 30%流量下受力分解图

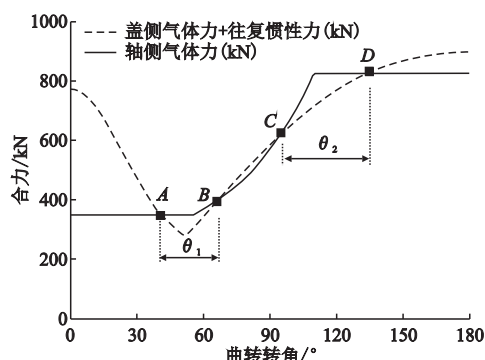


4BDC-18H3 新氢压缩机

图9 70%流量下受力分解图

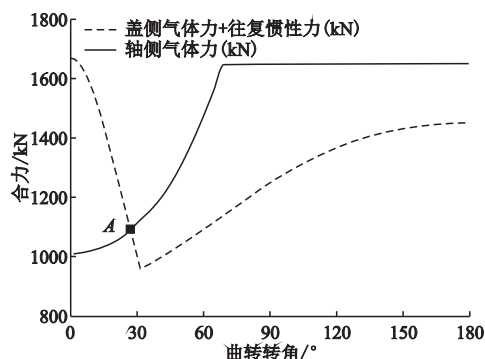
由综合活塞力曲线图可知,反向角数值的变化仅出现于0~180°的范围内。而此区间内,盖侧气体与流量调节无关,即盖侧气体力与往复惯性力之和在0~180°的范围内始终与流量调节无关。现将盖侧气体力、往复惯性力之和的绝对值(以下简称合力)与轴侧气体力分开表示,其曲线图如图5~10所示。图中分别展示了100%、70%以及30%流量下,合力与轴侧气体力的相对变化趋势。

由图5可知,A点与B点范围内,轴侧气体力大于合力,AB点所对应的曲轴转角即为反向角。随



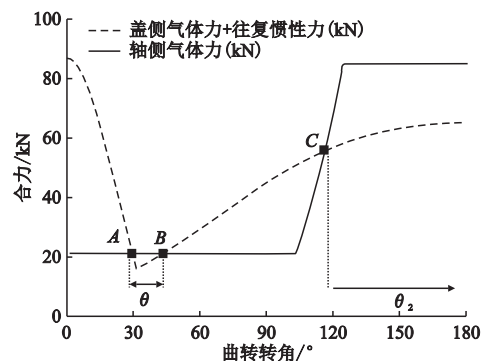
4MI25-34/40-202-BX 新氢压缩机

图6 70%流量下受力分解图



4BDC-18H3 新氢压缩机

图8 100%流量下受力分解图



4BDC-18H3 新氢压缩机

图10 30%流量下受力分解图

着流量调节比例的增大,轴侧气体力曲线向右平移,并与合力曲线相交于BC两点,如图6所示。此时,反向角为两段,涵盖AB段与CD段的范围,即 θ_1 与 θ_2 。另外,相交部分的2个曲线段为互凸状,则此范围内,反向角随流量调节比例的减小速率较快,呈现出骤降的现象。由图7可知,当机组处于30%流量时,反向角仅为AB范围,且流量调节比例继续增大时,反向角不再发生变化。由以上分析可知,轴侧气体压缩过程中,随着流量调节比例的增大,可能出现合力短暂大于轴侧气体力的现象,即此时反向角为两段。另外,合力小于轴侧在回流状态下的气体力所对应的曲轴转角,即为压缩机在流量调节状态下可能出现的最小反向角,如图7所示的 θ_1 值。

分析图8~10可知,其曲线变化规律不同于前者,轴侧气体在压缩和排气状态下的气体力即大于合力,导致其在大流量状态下仍具有较大的反向角。另外,在80%~30%流量范围内,反向角数值均由 θ_1 与 θ_2 构成。

以上重点分析了反向角的变化趋势以及两段化的原因,如下探讨了2台机组的主要区别及影响反向角的主要因素。

对比图5~7与图8~10,区别主要在于轴侧气体力是否大范围内大于合力。分析图7可知,轴侧排气瞬间状态下的气体力与盖侧气体力、往复惯性力之和为零时的临界流量值,可表征反向角的变化情况。若临界状态下,轴侧气体力大于合力,则反向角在流量调节作用下仍较大,如公式(9)所示。

$$-A_c \times p_s + A_z \times p_d + F_i > 0 \quad (9)$$

如上状态与两侧面积比、压力比、惯性力等均有关。将公式(9)调整为公式(10)可知,当入口压力及盖侧面积(即缸体内径)已定时,压比、面积比越大以及往复惯性力越小对反向角在流量调节作用下降低有很大的缓解效果。在往复压缩机的设计过程中,压比与面积比均受到工艺参数、结构强度等条件的限制。当压比越大时,活塞杆需承受更大作用力,则应增大活塞杆直径,而这将导致面积比缩小,因此压比与面积比为一对矛盾参数。另外,降低往复惯性力,即减小往复质

量,对反向角大有裨益。

$$\frac{\varepsilon A_{zg}}{1 + F_i / (p_s A_c)} > 1 \quad (10)$$

尚未有文献或标准规范明确两段反向角对机组的影响。经如上分析,反向角两段化可能产生如下影响,供参考:

(1) 虽然反向角之和满足标准要求,但每次的接触时间均缩短,可能导致小头轴瓦的冷却性、润滑性较差,缩短小头轴瓦的寿命;

(2) 综合活塞力的交变频率增大,加速疲劳,可能缩短连接部件(十字头连接、活塞头连接等)的寿命。

4 措施及建议

目前,针对炼化工程中的大型往复压缩机,部分顶开吸气阀流量调节系统仍为最佳选择。虽然压缩机在设计阶段满足反向角的要求,但现场启用流量调节系统后,仍存在小头轴瓦烧毁故障的隐患。针对于此,本文给出一些建议供参考:API618只规定了反向角的最低要求,但针对两段化反向角未作规定。压缩机企业应积极研究两段化反向角可能造成的不良影响,采取必要措施,以避免相关故障隐患。

压缩机企业与流量调节系统供应商应在机组设计阶段进行全程联合设计,以便流量调节系统能及时核算压缩机结构参数。核算内容应包含:20%~100%每隔10%的流量点以及工艺操作点下的反向角、反向峰值以及小头轴瓦比压等参数。若反向角数值较小,应调整优化结构参数,尽可能减小影响,并提升反向角数值。同时,工程承包方应在技术协议中要求供应方提供符合如上要求的反向角核算报告。

参考文献:

- [1] 任智,王存智.往复压缩机流量调节方式浅析[J].石油化工设备技术,2003,04:21-23+5.
- [2] 郁永章.容积式压缩机技术手册[M].北京:机械工业出版社,2000:231-236.

作者简介:周天旭(1989-),男,工程师,硕士,现在中国石化工程建设有限公司从事炼化行业机泵设备的设计工作。E-mail:zhoutianxu@sei.com.cn