

海上平台往复式压缩机故障分析与处理

高峰

(中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300452)

摘要: 压缩机作为海上天然气外输的重要设备,在海上平台应用非常广泛,担负着天然气外输至陆地终端的重要任务。但是由于海上恶劣的工作环境,在工作过程中会出现各种各样的问题,其中气阀故障问题尤为突出。本文通过对压缩机气阀故障的原因进行统计和分析,找出导致气阀故障的几个主要原因,提出降低气阀故障的几种方法,通过各项措施的落实,用数据进行总结分析,找到气阀故障的原因,降低了由于气阀故障导致压缩机停机的故障率,保证了天然气的正常外输。

关键词: 海上平台;压缩机;气阀;分析

0 引言

近年来,天然气作为一种清洁高效的主流能源,需求量逐渐攀升。随着国家对于清洁能源的需求不断增加,天然气作为企业生产和居民生活的重要能源,得到了广泛的应用。海底储存着大量的天然气资源,将海底的天然气开采出来,并进行有效利用,是解决能源短缺和降低环境污染的一种重要途径。将开采出来的天然气安全稳定的运输到陆地的过程中,外输压缩机作为重要的动力设备起着关键作用。某平台在利用压缩机外输天然气的过程中,出现了气阀故障导致频繁停机的问题,影响了天然气的外输。

1 压缩机工作原理

往复式压缩机由汽缸部分、基本部分、辅助部分组成。当压缩机的曲轴旋转时,通过连杆的传动,活塞做往复运动,由气缸内壁、气缸盖与活塞顶面所构成的工作容积会发生周期性变化。压缩机的活塞从气缸盖处开始运动时,气缸内的工作容积逐渐增大,这时,气体即沿着进气管线,推开进气阀而进入气缸,直到工作容积变到最大时,进气阀关闭;压缩机的活塞反向运动时,气缸内工作容积缩小,气体压力升高,当气缸内压力达到并略高于排气压力时,排气阀打开,气体排出气缸,直到活塞运动到极限位置,排气阀关闭。当压缩机的活塞再次反向运动时,上述过程重复

进行。总之,压缩机的曲轴旋转一周,活塞往复一次,气缸内相继实现进气、压缩、排气的过程,即完成一个工作循环。

2 气阀的结构及工作原理

气阀是往复式压缩机中的重要部件,也是易损坏的部件之一。它的好坏直接影响压缩机的排气量、功率消耗及运转的可靠性。气阀是用来控制气体及时吸入和排出气缸的重要部件。活塞式压缩机上的气阀都是自动阀,即气阀的启/闭不是用强制机构而是靠阀片两侧的压力差(气阀和阀腔内的气体压力差)来实现。

2.1 气阀结构

气阀是由阀座、阀片、弹簧和升程限制器4个基本部分组成。图1为环状进气阀示意图。气阀主要由阀

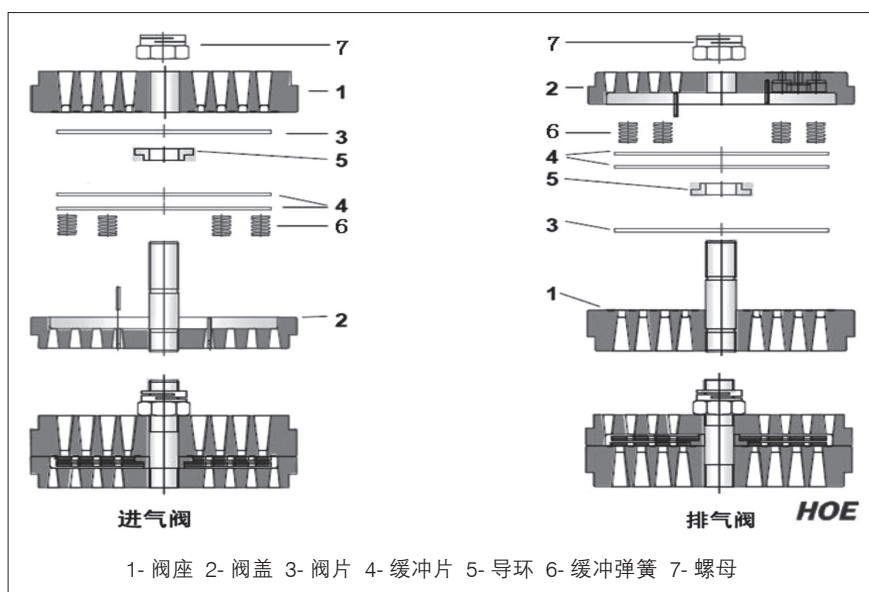


图1 气阀的结构图

座、阀盖、阀片、缓冲片、导环（升程限制器）、弹簧、螺母组成。排气阀的结构与吸气阀基本相同，两者仅是阀座与升程限制器的位置互换，吸气阀升程限制器靠近气缸里侧，排气阀则是阀座靠近气缸里侧。环状阀因其阀片为薄圆环而得名。阀座与升程限制器上都有环形或孔形通道，供气体通过。阀片与阀座上的密封口贴合形成密封。升程限制器上有导向凸台，对阀片升降起导向作用。

2.2 气阀工作原理

当活塞从上止点向下止点移动时，气缸处于吸气过程，此时进气阀弹簧被压缩，阀片向下运动，于是进气阀打开，吸入气体。活塞回行时，即从下止点向上运动时，吸气阀开始关闭，即阀片受其弹簧弹力作用向上运动至与阀座密合位置。当吸 / 排气阀均处于关闭状态，活塞继续向上运动时，气体在缸内被压缩，压力升高到排出压力时，排气阀阀片向上运动压缩弹簧而开启，压缩过程结束。

3 气阀故障的类型及原因分析

通过多次对外输压缩机气阀故障的检修，统计气阀损坏程度、数量、位置等情况，并进行汇总分析，总结出气阀故障率居高不下的原因主要有以下几个方面：

3.1 往复式压缩机的温度异常

此类故障问题大致可分为两种情况：一种是介质的温度异常问题；另一种是压缩机各零部件温度的过热问题。其中，介质温度异常问题往往表现为往复式压缩机在吸气和排气的过程中，流体的温度过高，呈现出不正常的状态，从而导致流体通过的部件出现了积碳及温度过热变形的状况；气阀在长期的高温工况下运行降低了气阀的使用寿命。压缩机的冷却方式是海水通过板式换热器给防冻液冷却，防冻液再通过管式换热器给天然气冷却。尤其在夏季海生物生长较快较快的情况下，极易造成板式换热器脏堵，且管式换热器未进行过清洗，两级冷却器的脏堵导致了冷却效果欠佳。机组排气温度常在 138°C 以上，更甚至在 140°C （报警值： 140°C ，关断值： 150°C ）的报警值长期运行。冷却效果不佳，导致机组排气温度较高，气阀长期处于较高温度工况下工作，大大减短了气阀阀板的使用寿命，最终导致气阀故障频发。

3.2 原因分析

（1）压缩机带载率较低，回流过大，导致机组排气温度高。

在天然气气量不能满足 3 台同时运行的气量要求，但是 2 台压缩机又无法满足外输要求的前提下，会出现两台机组加载 100%，第三台加载 20% 左右的情况。由于第三台压缩机组回流较大，高温外输气的回流致使机组进入压缩机组的天然气温度升高，导致排气温度更高。通过对比不同带载率的压缩机组气阀损坏的数量，发现带载率低的机组排气阀损坏频次明显高于带载率高的机组。

（2）气体中乳化液过多，气体携带液体进入气缸，导致气阀损坏。

如图 2 所示，气阀在工作过程中往往不会按照工作人员希望的那样平行地撞击阀座，而是时常会不平行地撞击阀座，偏向地撞击会加速气阀阀芯的损坏，而当气阀阀芯上附着乳化液后，会加剧这种偏角碰撞，导致气阀阀芯损坏频次增多。在天然气压缩机的流程中，各级气缸前端都安装有天然气洗涤罐，天然气通过洗涤罐后，大部分的乳化物和水分会沉降到洗涤罐底部，通过自动排液阀排出天然气系统。所以当天然气压缩机气阀发生频繁损坏，并且在对损坏的气阀进行拆卸更换时如果能够发现乳化液现象，就需要及时对洗涤罐进行检查，判断自动排液阀是否能够及时排液，这在多次检修过程中也得到了证实。原因就是洗涤罐不能实现自动排液，需要人为手动排液，不能 100% 保证及时排液。当洗涤罐内液体较高，未及时放液的情况下，天然气便会夹杂一定量的液体进入到气缸内，造成气阀液击损坏。

（3）气体内含有杂质过多，通过气阀时导致气阀损坏。

压缩机外输的天然气是从油井产出的油气中分离出来，经过分离、冷却、过滤进入到压缩机，在这一过程中如果其中的某个环节或者多个环节出现问题，将导致不合格的天然气进入机组，最终导致气阀损坏。在

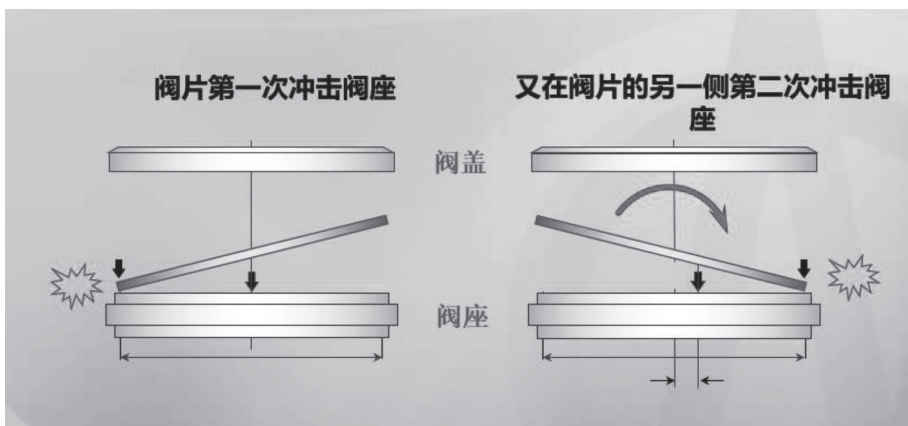


图 2 气阀冲击演示图

过滤器拆检时发现上部附着大量的油泥和颗粒物，在滤网精度较低的情况下会进入压缩气缸，如果这些颗粒物卡在气阀内，导致气阀不能正常开启，势必会导致气阀损坏。

4 解决措施

针对以上气阀故障原因的分析 and 现场的求证，结合机组的运行情况，制定了一系列的整改措施，并取得了较好的效果。

4.1 解决脏堵问题

解决版式换热器脏堵问题，提高版式换热器的冷却效果，降低各级进气阀的入口温度。

(1) 通过拆检版式换热器发现，在板式换热器的入口和板片上存在较多的海生物，特别是在板式换热器的入口，海生物在此处生长，阻止了海水的流动，导致板式换热器的入口流量不足，换热效果下降。在海水滤器和海水管道上分别装有一套超声波防海生物装置，通过恢复超声波防海生物装置的功能，利用超声波的原理消除海水流程内大量的海生物，从而防止海生物在海水管道和版式换热器入口的生长。

(2) 提高板式换热器清洗的频次，保证换热效果在较高的水平。将每季度清洁板式换热器入口 1 次的频次提高到每季度 3 次，也就是每月 1 次。将每半年解体清洁板式换热器 1 次的频次提高到每半年 2 次，也就是每季度 1 次，同时为了达到清洗彻底的目的，可以使用酸洗的方法进行清洗。

4.2 减少外输气的回流

优化操作程序，更加合理地提高机组的加载率，减少外输气的回流。通过在不同加载率的情况下气阀温度的监测发现，可以通过压缩机出口温度调节机组的带载率，避免某台机组出口温度过高的情况发生。

4.3 及时将洗涤罐内乳化液排出

乳化液也是影响气阀损坏的重要因素。为了进一步降低天然气中乳化液的含量，现场操作人员对压缩机各级洗涤罐排液频次从每日 4 次提高至每日 8 次，及时将洗涤罐内乳化液排出，从而降低了天然气携带液体进入气缸的频次，减少因气阀发生液击而损坏的可能，进而达到降低气阀故障的目的。

4.4 增加过滤网

针对滤网上的油泥和颗粒物进行化验，为了使颗粒物被过滤出来，而不影响压缩机的进气量，需要增加一道精度 160 目的过滤网。通过在压缩机入口主管线上增加一套双联滤器，实现在线清洗，不影响机组的运行的

情况下，将颗粒物提前过滤出来，避免了较大颗粒物进入机组的情况。

4.5 对压缩机气阀加装温度监测装置

原有的温度监测只在压缩机出口上有 1 个温度变送器，无法准确判断是否有气阀高温，只能通过操作人员的点检才能发现问题。通过在每一个气阀上都安装 1 个温度探头，并将温度传送至中控，实现实时监测，同时具备报警功能，在出现个别气阀高温时，人员可以立刻进行现场确认，避免了由于 1 个气阀损坏的阀板碎片进入其他气阀导致出现故障的情况发生。

5 效果验证

通过以上措施的实施，压缩机的气阀故障率大大降低。根据统计数据（详见表），从 2020 年 1 月到 6 月共更换气阀 33 个，月度平均更换气阀 8.2 个。各项措施落实后，从 2020 年 7 月至 12 月，共更换气阀 5 个，平均月度更换 0.85 个，气阀故障频次降低了 89.6%，效果非常明显。

6 成果总结

表 2020 年气阀损坏统计表

月份 / 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
损坏数量 / 个	3	2	5	3	12	8	1	1	2	0	0	1

通过全面分析，各项措施的严格落实，以及不断地摸索与反复的实践，验证了在海上平台恶劣的气候条件下，采取各项有效措施的前提下，大大降低了外输压缩机的气阀故障率，保证了天然气的稳定外输，同时还取得了如下成果：

(1) 降低了机组故障率，机组运行的可靠性大大提高，同时降低了备件采购费用，达到了降本增效的目的。

(2) 成功降低了现场维修人员的工作量，可以利用更多的时间对压缩机进行更加精细化的维保和管理，增加了天然气的外输气量。

7 下一步计划

(1) 对板式换热器流程进行改造，加装反冲洗流程，进一步优化压缩机冷却流程，达到版式换热器在线清洗的目的，同时减少人员频繁清洗版式换热器的工作量，如图 3 所示。

正洗流程：海水依次经入口阀 1、阀门 2、板式换热器、阀门 3 后排海，此时需关闭阀门 4 和阀门 5。

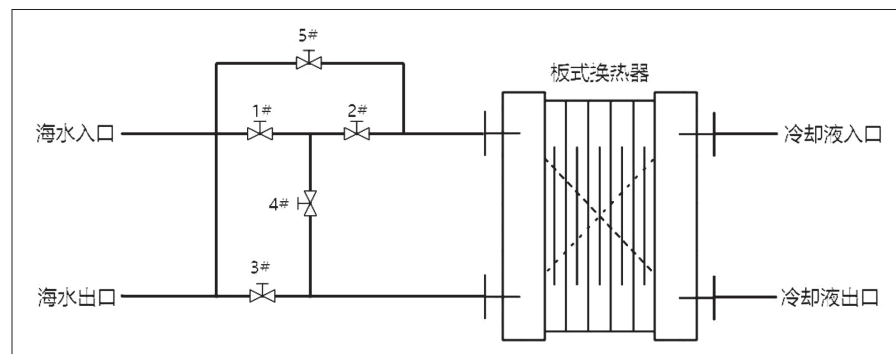


图3 压缩机板式换热器增加反冲洗管线

反洗流程：海水依次经过阀门1、阀门4、板式换热器、阀门5排海，此时需要关闭阀门2和阀门3。

(2) 对机组洗涤罐排液装置自动排液功能进行优化，通过选用合适的液位计，防止乳化液附着，同时设置合适的排放液位，放置乳化液进入气缸等方式消除人工排液带来的不确定性，增加设备运行可靠性，降低乳化液对气阀的影响。

8 结语

天然气作为一种利用率较高的清洁能源，得到了越来越多的关注，在未来的生产和生活中，将会起到更加重要的作用。中国是天然气消耗大国，每年消耗的天然

气超过3000亿立方米。将更多海上平台的天然气输送至陆地，保障清洁能源的有效供给，将是未来一个时期的重要任务。

参考文献：

[1] 刘文皓. 往复式压缩机故障诊断技术分析[J]. 技术与市场, 2022, 29(01): 52-53+57.

[2] 曹天兵. 往复式压缩机气阀频繁故障原因探究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(21): 16-17.

[3] 梁小青, 向清林, 陈兰, 等. 往复式压缩机气阀故障原因分析及预防措施[J]. 设备管理与维修, 2021(01): 40-41.

[4] 陈鹏, 张鹏. 化工机械往复式压缩机维修与保养分析[J]. 中国设备工程, 2022(03): 48-49.

[5] 李冠男. 往复式压缩机能耗增加的原因分析及节能降耗技术探究[J]. 中国设备工程, 2021(23): 108-109.

作者简介：高峰（1986.01-），男，汉族，黑龙江海伦人，本科，工程师，研究方向：机械设备的管理与维修。

（上接第89页）

击，从而缓解阀梁本身的高频振动。

阀杆加蝶形弹簧改造。在调节气阀阀杆与阀梁间有大约15道的间隙，用专用工具将蝶形弹簧加到阀杆与阀梁的配合间隙处，增加阻尼，从而减小气流激荡对阀杆的影响。

阀碟与阀碟螺栓改造。将原有的阀碟与阀碟螺栓螺纹连接改为一体式结构，并对阀碟螺栓进行跳档使用，螺纹直径由33mm加大至36mm。这样可以有效提升阀碟与阀碟螺栓的整体结构强度。

5 结语

方案1是从根本上解决阀杆及阀碟螺栓断裂的办法。但此方法改造时间长、改造费用高，适用于检修

时间长、费用充足的情况。而方案2只是对阀杆及阀梁总成进行改造，在机组检修期间更换配件即可，从而能有效地降低阀杆及阀碟螺栓的断裂风险。

参考文献：

[1] 元东民, 赵娜. 石化汽轮机阀杆及阀碟螺栓断裂故障分析及对策[J]. 内燃机与配件, 2018(05): 161-163.

[2] 刘建军. 背压机组调节汽阀阀杆断裂原因分析及防范对策[J]. 科技视野, 2015(18): 256.

[3] 候文富, 王波, 李强. 汽轮机调节汽阀阀杆断裂原因分析[J]. 通用机械, 2014(09): 48-50.

[4] 张海峰, 赵建新, 周酩刚. 汽轮机调节汽阀的结构与安装调试[J]. 石油和化工设备, 2016(04): 91-93.