压缩机气体激振故障诊断与解决方案分析

党启柏 [1] 张旭 [2]
（1 兖州煤业榆林能化有限公司 山东 兖州 719000；2 沈阳鼓风机集团测控技术有限公司 辽宁 沈阳 110869）

摘要：冷剂压缩机气体激振类故障是比较常发生的一类故障，本文结合实际发生在一台压缩机上的故障案例，重点介绍气体激振类故障的振动特征，并给出故障发生的原因以及如何解决此类故障。

关键词：LNG 装置；冷剂压缩机；气体激振；临界转速

1 设备概述

混合冷剂压缩机（图 1），由变频电机驱动，工作机为 3BCL706 离心式压缩机，三段压缩，电机和压缩机中间有增速箱。机组运行时转速为 8599r/min，设计一阶临界转速为 3345r/min，二阶临界转速为 13407r/min。压缩气体介质为混合冷剂，平均分子量在 35 左右，入口压力为 0.3582MPa(A)，出口压力为 4.287MPa(A)，振动的报警门限为 63.5μm，联锁门限为 88.9μm。

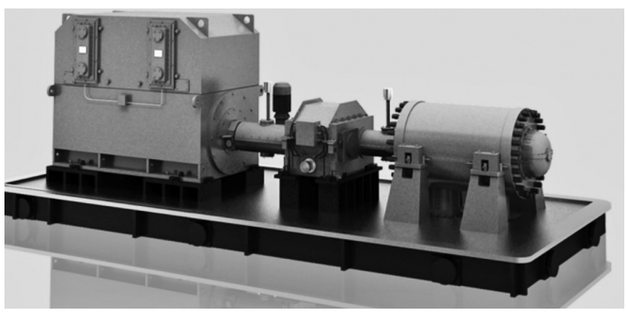

图 1 冷剂压缩机组总貌图

2 故障现象

机组正常运行过程中，压缩机四个通道振动幅值存在频繁波动的现象，其中非驱动端 VIA_22421BX 通道幅值从 28 ～ 51μm 左右频繁波动，振动幅值偏高且波动范围较大，其它 3 个通道也存在波动现象。查看以往趋势，当机组转速提升（负荷增加）过程中，压缩机振动幅值有明显上涨且波动幅度更高的现象，最高时曾接近 75μm，远超振动报警门限，接近联锁跳车门限。据现场反馈，此现象在以往运行时已多次重复出现。

3 故障分析

2020 年 9 月 23 日，利用离线分析仪在现场测取振动信号。从频谱图中可以看出，机组的工频成分为 143.203Hz，并伴随 2X、3X 等倍频成份，幅值均不高；但在低频（小于 1X）区，51.7188Hz 频率成分幅值较高，且在实时测量过程中观察到，1X 成分幅值始终比较稳定，而 51Hz 左右这个频率成分幅值始终存在上下波动现象，甚至偶尔会出现其幅值超过 1X 幅值的现象。

利用离线仪在现场检测期间虽未采集到振动上涨的过程，但根据振动特征推测，该机组以往出现的振动上涨及大幅波动现象，其异常变化的频率成分主要为 51Hz 左右这个频率。

查看该压缩机以往在启机和停机时振动随转速变化的趋势，当振动出现峰值时其对应的转速分别为 3177r/min 和 3165r/min，由此判断该压缩机的实际临界转速区间在 3100~3200r/min 左右，与发生异常振动时的 51.7Hz 频率相近。

4 诊断结论

通过比较，压缩机的振动异常频率与转子的一阶临界固有频率非常接近，以往运行时，曾多次出现在转速 / 负荷提升时振动出现不稳定的现象；另外，该机组介质为冷剂，其组分比较大、机组压比比较高。综合上述振动特征，分析该冷剂压缩机出现振动异常的原因为机组存在气体激振类故障。

气体激振又称密封流体激振，其发生的原因大多是由于压缩机内部密封腔内的周向间隙不均匀，使转子在运转过程中受到密封气流激振力的作用，导致转子失稳。

此故障在振动上的表现为：

（1）振动趋势不稳定，振动可能会在几秒内被激发出来，而且激发后振幅值较大；

（2）异常振动的主要特征频率与转子一阶固有频率吻合或接近；

（3）振值对负荷变化敏感，当压力或负荷达到某一阈值时突然失稳；

（4）振动和负荷之间具有一定的重复性，再现性强；

（5）气体激振尤其是在介质组分比较大、机组压比比较高以及大长径比的柔性转子中更容易发生。

5 运行及检修建议

根据现场反馈，该机组以往运行时曾出现过喘振现象，且转子在轴向出现了较大的窜动量，由此推测压缩机内部密封可能出现了较为严重的磨损，导致其周向间隙不均匀。而气体激振这类问题，气流的失稳力主要就来自于叶轮口圈密封和平衡盘密封处。当前机组运行时，需密切注意机组的转速和负荷，尽量避免在振动出现不稳定的转速及负荷下运行。待有机会检修时，需对压缩机进行拆解，检查各部位密封磨损情况，并对磨损的密封进行更换。

随着离心压缩机在 LNG 领域广泛应用，气体激振已成为离心压缩机振动的一个主要因素，严重威胁着机组安全稳定运行。针对气体激振现象，需要从原理上进行详细分析，

83-97 安全与生产 2月上 第4期 .indd 93 2021/8/10 22:20:10

在设计时针对转子稳定性进行分析，通过以上分析提出合理可靠的解决方案。

一是采用反旋流装置。减小平衡盘、口圈密封内气体的切向速度（预旋比），典型的有在平衡盘密封处均布增加反吹孔，将高压侧的气流引入平衡盘密封，使其方向与气流旋向相反，使反向气流冲刷到气流方向，从而打断原先的气流对转子的交叉耦合的影响，减小或彻底消除气体激振，如图 2、图 3 所示。

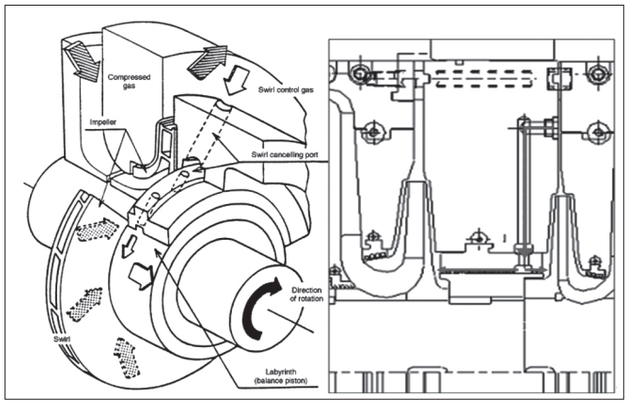

图 2 典型的反吹孔示意图

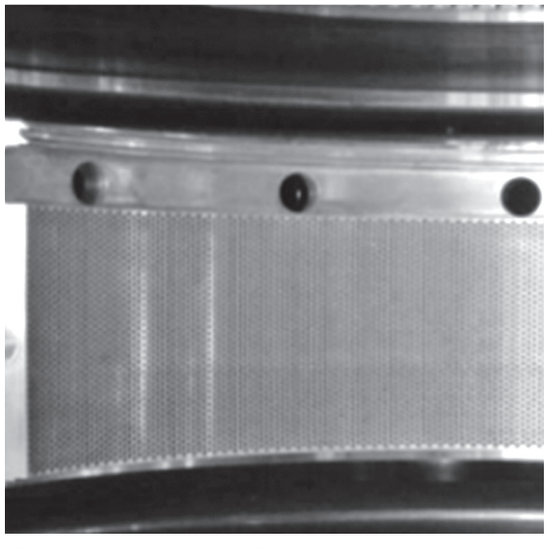

图 3 典型的反吹孔实物图

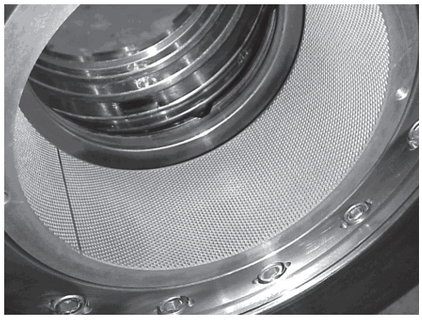

图 4 蜂窝密封

二是采用阻尼密封结构。通常，压缩机内部的机械密封为梳齿密封，其密封腔内的密封力能够对转子产生激振干扰。为了消除此干扰，可以采用蜂窝密封代替梳齿密封（图 4）。

蜂窝密封的密封面为一个个的小蜂窝状。它们各自独立，没有连通。气流在间隙内流过时，会被切割成一股股的小气团，每个小气团都单独经历膨胀节流过程，但是其密封力的方向在各个方向都有。各个方向的密封力会相互抵消一部分，从而也会很有效地减小密封力对转子的交叉耦合作用，从而有效减小气体激振。

在以往遇到的压缩机存在气体激振类问题的机组中，通过将平衡盘密封更换为蜂窝密封，并增加反吹气装置，气体激振故障均得到了有效的解决。

6 结语

压缩机气体激振类故障常发生在转子长径比大、出口压力高、介质组分分子量比较大的机组上，其振动特征表现为故障特征频率接近转子的一阶固有频率，在负荷高时易出现且具有较强的重复性，一般需通过反旋流装置或采用阻尼密封来消除此类故障。

参考文献：

[1] 张彬 .LNG 装置用冷剂离心压缩机气体激振分析及解决方案 [J]. 华东科技 : 学术版 ,2015,06.

[2] 全洪飞 , 毕德龙 , 张久龙 .LNG 压缩机气体激振诊断及成因分析 [J]. 风机技术 ,2011,03.

[3] 袁振伟 , 王海娟 , 岳希明，等 . 密封进口涡动系数对转子系统动力学性能的影响 [J]. 工程力学 ,2011,11.

[4] 李晓刚 , 陈俊风 , 周运超，等 . 离心压缩机气流激振实例分析 [J]. 风机技术 ,2014,01.

83-97 安全与生产 2月上 第4期 .indd 94 2021/8/10 22:20:10