

往复式发动机气蚀问题浅析

吴振宙 林焕明 梁 旻 赵凯峰 谭洪伟

(国家石油天然气管网集团有限公司西气东输分公司广东输气分公司, 广东 广州 510665)

摘要: 对于往复式发动机而言, 气蚀是一个较常见的现象, 气蚀通常发生在发动机的冷却系统及润滑系统的相关组件表面。气蚀会对我们的设备产生不同程度的负面影响, 气蚀无法完全避免。我们需要做的是接受它的存在并且熟悉它, 了解他的产生机制以及预防措施, 从而使得我们的设备在运营周期内尽量减少因气蚀而造成的损失。本文将结合瓦克夏 275GL+ 发动机的实际案例, 对气蚀的定义、产生原因、表现特征、气蚀的危害、气蚀的预防以及一些现场的整改方案等进行分析与梳理。

关键词: 往复式发动机; 气蚀; 流体; 振动; 压力; 金属疲劳

0 引言

中石油某压气站投产八年有余, 压缩机组累计运行已超过 30000h。在压缩机机组运营过程中, 动力端设备瓦克夏 275GL+ 发动机出现过多次因发动机内部零件失效损坏而引起的故障。虽然发动机显示出了不同故障现象: 如排烟管冒白烟、气缸缸温低不点火、膨胀水箱水位上涨等等, 但经过检查最终发现这些故障现象背后都存在着相同的根源: 气蚀 (Cavitation)。

1 气蚀的定义

气蚀 (Cavitation) 又称空蚀, 是固体表面与液体在持续性的相对运动过程中, 因金属材料疲劳所产生的表面损伤, 液体在高速流动和压力变化条件下, 与液体接触的的金属表面上发生穴状腐蚀破坏的现象。

当液体在与固体表面接触处的压力低于它的蒸汽压力时, 将在固体表面附近形成气泡。另外, 溶解在液体中的气体也可能析出而形成气泡。随后, 当气泡流动到液体压力超过气泡压力的地方时, 气泡便溃灭, 气泡溃灭瞬间会对金属表面产生巨大冲击力 (如图 1 所示), 实验表明这种冲击力可高达 60000-200000psi。固体表面长期经受这种冲击力的反复作用, 材料发生疲劳、脱落、表面出现小凹坑, 进而发展成海绵状, 严重时其可在表面形成大片的凹坑。

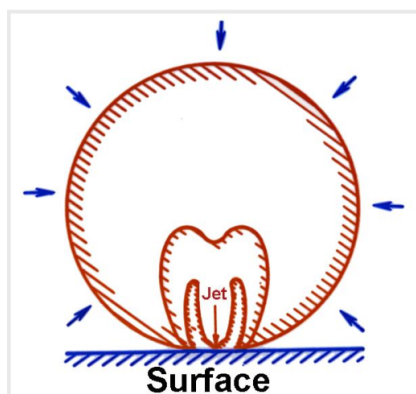


图 1

气蚀在机械行业是一种非常常见的物理现象, 通常发生在冷却系统、润滑系统、液压系统中, 如水泵零件、

水轮机叶片和船舶螺旋桨等表面。

2 气蚀的特征及危害



图 2 气蚀失效的水泵叶轮



图 3 缸体密封面的气蚀坑



图 4 缸套表面的气蚀孔

2.1 气蚀的特征

汽蚀初期, 表现为金属表面出现麻点, 继而表面呈现海绵状、沟槽状、蜂窝状、鱼鳞状等痕迹; 严重时可能造成金属表面穿孔、甚至叶轮破裂, 酿成严重事故。许多研究结果表明气蚀表面产生严重的塑性变形, 气泡爆

破时流体的微射流冲击使材料表面产生气蚀针孔，随后在针孔壁处萌生裂纹，裂纹以疲劳方式向内部扩展，最后趋于平行表面方向扩展，当几个裂纹相连接时造成表层小块剥落，上述过程反复进行，使表层材料不断剥落。气蚀微观表面凹凸不平，布满气蚀坑及裂纹，宏观呈海绵状形貌，有时产生针孔和麻点等。扫描电镜下有时可观察到疲劳辉纹，由此，气蚀被认为是一种疲劳破坏，而疲劳辉纹是疲劳断裂的重要特征。

2.2 气蚀的危害

2.2.1 降低系统性能

气蚀的叶轮会使泵的流量、扬程和效率明显下降，进而造成发动机高温等问题。

2.2.2 损坏部件

当气蚀发生在金属密封面时，会使得密封部件失效，造成缸头、缸套、缸体等部件泄漏；在润滑系统中可能使曲轴的轴瓦表面出现脱层等问题。若不能及时发现可能会造成更严重的次生损坏，如机油乳化失效、发动机顶缸、甚至发动机抱瓦等严重后果。

2.2.3 产生噪音及振动

气泡溃灭时，液体质点互相撞击，同时也撞击金属表面，产生各种频率的噪声，同时引起机组振动，严重时可能引起机组共振。

2.3 气蚀案例

2.3.1 往复式发动机较常见的几种气蚀损伤示例

见图 2、图 3、图 4。

2.3.2 瓦克夏 275GL+ 气蚀案例

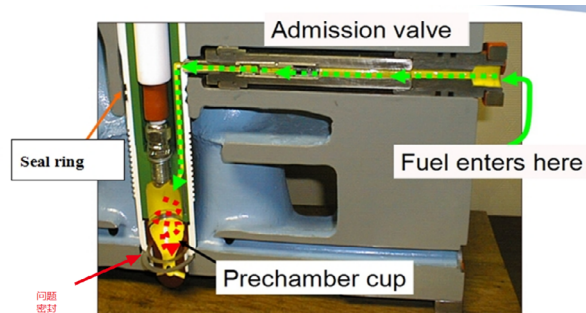


图 5 275GL+ 缸头剖面图

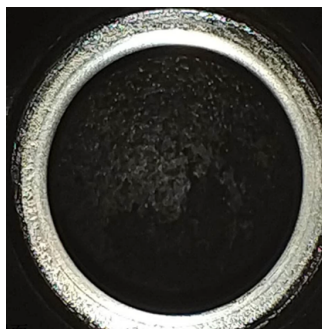


图 6 多倍镜下缸头沉孔基面呈凹凸不平状

在中石油某压气站的实际案例中，由于瓦克夏 275GL+ 发动机冷却系统的特性，目前发现的气蚀问题主要集中在缸头沉孔与火花塞外衬套所接触的密封面，如图 5 所示：火花塞衬套外部为夹套水冷却腔室，

该接触面靠金属垫片与缸头沉孔密封，安装时涂抹密封胶。图 6、图 7、图 8 为现场的气蚀问题实拍。



图 7 衬套密封面的气蚀坑



图 8 气蚀损坏的密封垫片

3 气蚀的发现

通常情况下，在往复式发动机的日常运营过程中，气蚀不容易被发现。往复式发动机的冷却系统往往是密封的，从外部难以发现气蚀情况，需要通过定期检查易出现气蚀的部位，如水泵叶轮、火花塞衬套密封面、缸套、缸头密封面等。另外，当发动机出现某些特定的故障现象，比如发现有冷却液泄漏或冷却系统异常窜气时，我们需要排查是否存在气蚀的问题。比如：①发动机排烟管异常冒白烟：表明燃烧室或排烟管有积水，需排查是否因气蚀引起的缸套、火花塞衬套及缸头密封面漏水；②发动机机油乳化：表明机油里面异常进入了大量的水，需排查是否由气蚀引起的部件密封失效；③膨胀水箱水位异常升高或降低：当水位异常升高时：表明有异常气体进入冷却系统且未被及时排出，需要检查是否由火花塞衬套及缸头密封面气蚀失效造成的异常窜气。当水位异常降低时：需排查是否有因气蚀引起的冷却系统密封部件失效甚至穿孔等问题，进而导致冷却液泄漏。

在中石油某压气站的实际案例中正是技术人员在巡检过程中及时发现了排烟管冒白烟及膨胀水箱水位上升的异常情况，通过进一步检查确定了是由气蚀引起缸头沉孔与火花塞外衬套密封面失效而出现的窜气及漏水。避免了造成更严重的次生事故损坏。

4 气蚀的预防

气蚀的预防主要可以通过以下几个方面进行：

4.1 提高金属表面硬度

在易发生气蚀的部位使用抗气蚀的材料，瓦克夏实验数据表明在大孔径的缸套表面镀上 0.08mm 的铬合金层即可减少 50% 的气蚀。

4.2 减少气阻

通过优化冷却液流动通道的几何形状、改变管道直径、优化冷却系统的排气通道等方式都可以有效减少气蚀的发生。

4.3 提高冷却水循环系统的压力

通过升高膨胀水箱高度等方式，增压水泵入口的静态压力，可以提高整个冷却水循环系统的压力，也能降低气蚀发生的趋势。

4.4 其他方式包括

冷却水系统添加抑制剂；减少冷却水系统杂质颗粒物；提高金属表面光洁度等等。

5 现场施工改造

通过对预防气蚀的几项主要要素进行分析，在不能改变机组的设计、材料、生产工艺的前提下。可以通过增加冷却水循环系统压力以及优化排气等措施来减少产生气蚀的趋势。因此在中石油某压气站的现场进行了以下两个方面的改造：

5.1 优化散热水箱排气通道

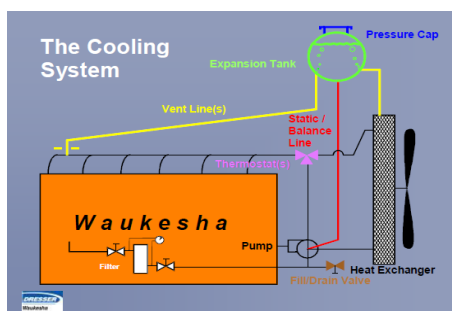


图9 瓦克夏排气管安装方式



图10 改造前的水箱排气阀



图11 改造后的水箱排气管

该压气站在设计施工时，机组冷却系统的水箱部分采用的是安装排气阀的方式来排气的。随着机组运行时间的增加，部分排气阀出现故障无法正常排出冷却系统

内多余的气体，大量无法排出的气体留存在冷却水系统中，无疑会增加气蚀的风险。因此，根据现场情况以及瓦克夏厂家安装手册要求（图9），将散热水箱的排气阀拆除，直接通过透气管将散热水箱与膨胀水箱相连进行排气。图10、图11为改造前后对比图。

5.2 提高膨胀水箱高度

通过提高膨胀水箱高度，可以增压水泵入口的静态水压力，以此提高整个冷却水循环系统的工作压力。从而达到降低气蚀发生趋势的目的。图12、图13为膨胀水箱改造前后的位置对比图。



图12 改造前的膨胀水箱位置



图13 改造后的膨胀水箱位置

参考文献：

- [1] 孙寿. 水泵汽蚀及其防治 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1989.
- [2] 张克危. 流体机械原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [3] 高宣. 往复式高压泵气蚀现象的分析及改造 [J]. 化工管理, 2021(2):15-15.
- [4] 汪林祥. SH型离心泵汽蚀现象的分析和改造 [J]. 中国设备工程, 2001(7):2.
- [5] 薄一龙. 矿用离心式排水泵汽蚀及其防治修复的探究 [J]. 机械管理开发, 2020, 35(1):3.
- [6] 聂静. 矿用离心式水泵汽蚀的预防措施及排除方法 [J]. 中国安全生产科学技术, 2010, 6(1):4.
- [7] 张巧娥. 矿用水泵汽蚀损伤的对策 [J]. 中州煤炭, 2004(4):2.
- [8] 钱毓宁. 水泵汽蚀危害及防治 [J]. 排灌机械, 1998, 16(3):4.
- [9] 钟志锋. 浅谈水泵气蚀的危害及防治 [J]. 广东水利电力职业技术学院学报, 2004(4):3.
- [10] 王岩, 任星杰. 浅谈水泵气蚀的危害及预防措施 [J]. 大陆桥视野, 2012(16):2.