

对压缩机和泵 110 个问题的分析

董长善

(中国石化工程建设公司,北京 100011)

摘 要:针对国内旋转式压缩机和泵,在近几年使用中发生的问题,经过概略分类,简要说明产生原因和采取措施。

关键词:压缩机;泵;问题分类;措施

中图分类号:TE969 文献标识码:B 文章编号:1006-8805(2004)02-0039-04

1 前言

旋转式压缩机和泵(以下简称机泵),是装置工艺流程中常用且重要的设备。也是装置能否长周期安全无故障连续运行、符合泄漏要求、达到环保规定、经济效益高的保证。

本文中所提出的问题是笔者根据石化企业实际运行情况并从《流体机械》、《石油化工设备技术》、《风机技术》、《水泵技术》等近年的期刊中刊载的有关文章整理出来的,其中压缩机类的问题 50 个,泵类的问题 60 个。绝大多数问题出自石化企业,包括机泵在各种流体、不同温度和压力运行条件下,各种机泵类型发生的问题,有一定的代表性。

2 问题归纳

本文按以下几个方面进行问题的归纳:

- (1)管道系统:包括进、出口和油路管道系统;
- (2)本体:包括密封、转子和静止元件;
- (3)相联设备:包括各式驱动机、齿轮箱和联轴器;
- (4)节能:包括各种节能措施;
- (5)监测:包括机组的振动和工艺操作、监测仪器的相关因素等问题。

表 1、表 2 分别列出了压缩机和泵的问题统计说明。

表 1 压缩机 50 个问题统计

分类	管道系统	本 体	相联设备	节能	监 测	总计
问题/次	8	15 (其中密封 10)	8	3	16(其中 振动 11)	50
问题, %	16	30 (其中密封 20)	16	6	32(其中 振动 22)	100

表 2 泵 60 个问题统计

分类	管道系统	本 体	相联设备	节能	监 测	总计
问题/次	2	30 (其中密封 18)	2	18	8(主要 是振动)	60
问题, %	3.3	50 (其中密封 30)	3.3	30	13.4(主要 是振动)	100

表 1 中压缩机的密封问题,主要是泄漏量过大,改用其他形式密封,如非接触式机械密封(以下简称液膜或气膜密封);表 2 中泵的密封问题,主要是泄漏量过大,使用寿命短,将接触式机械密封(以下简称机械密封)改为其他形式机械密封或液膜、气膜密封;节能措施,多采用变频调速。

从表 1、表 2 中可以看出,压缩机的密封和振动问题分别占 20%和 22%,是问题的主导;泵的密封和节能问题各占 30%,是问题的主导。压缩机的节能问题(3 个)少于泵的节能问题(18 个),主要是因为前者多是用可调节转速的汽轮机或燃气轮机做驱动机,而泵除极少数大型者外都是由电机作驱动机的恒速设备。压缩机的管道系统和相联设备的问题(各 8 个)多于泵的问题(各 2 个),是因为压缩机有润滑油和密封油系统,进出口管道系统带有控制阀件等,机组的配备设备多。

3 问题分析

3.1 监测技术至关重要

机泵的许多故障情况复杂,往往有多种状态

收稿日期:2003-11-08

作者简介:董长善,(1932—),男,重庆市人。1953 年毕业于重庆大学动力专业,从事石化炼油机械设计,高级工程师,退休,曾发表论文数篇。

混杂在一起,问题难以识别和确定。由于机泵有较齐全的监测系统和监测人员累积的经验,使不少故障能及时判断,避免了灾难性事故,减少了装置停产带来的经济损失。仅催化裂化装置开停工1次所需费用就达500万元之多,全国有60余套装置,如1年内能防止不出1次故障停工,其节省的开停工费用就很可观。

我国石化企业正以国外相同装置运行周期为目标,不断提高运行周期,除了机泵整机质量过硬外,还要有先进的监测手段。特别是大型机泵的监测系统多是国外产品,国内虽有研制用于生产的产品并有产品供应,但急需有高水平的、能与国外技术竞争的产品,占有市场的应有份额。

3.2 密封是关键

从上述的问题比较可知,机泵密封问题占的比例最高,主要表现为泄漏量大、使用寿命短,一直是困扰用户的难题。如压缩机以往用得最多的浮环密封泄漏量过大,就是进口的压缩机有的也如此。重油泵、渣油泵和油浆泵等高温泵,以及轻烃泵等密封失效也是恼人的问题。这些问题现场经数年或多次改进才能满足要求。

(1)机械密封是重点

磁力泵和屏蔽泵等无轴封泵、液膜和气膜密封以及其他形式密封,只能取代部分机械密封。企业多是通过现有装置增加部分机泵或增加装置来扩大产量的,因而也增多了机械密封的用量。估计一个深加工的炼油厂要800台泵,一个大型石化厂要2000台泵,一个特大型石化厂要6000台泵,机械密封占有重要的位置。这种密封还可发展成其他形式或与其他形式组合的密封。

(2)集装式机械密封待发展

API610《石油、重化学和天然气工业用离心泵》标准规定:除非另有规定,所有标准的机械密封都应是集装式结构。这种密封将所有元件组成整体进行试验和安装,质量有保证。不需移动驱动机就可拆下,安装方便,不需再调整。这种密封还可做成液膜或气膜密封,其优点得到用户认可,是急待发展的产品。

(3)金属波纹管密封要完善

由于金属波纹管取代了机械密封中的弹簧和密封圈等元件,具有随工况变化时轴向移动灵敏、能补偿安装误差和密封端面不平行等特点,在高温液体或兼有颗粒物的密封中得到应用。但因波

纹管质量不稳定、弹性失弹和破裂等,使用寿命不长,加上价格较高,未能充分发挥其特点,有必要从材料选用、制造工艺、波纹形状、减少焊缝和密封端结构等方面进行完善。在此基础上还可做成液膜或气膜密封扩大应用,国内已在研制。国外的这种密封压力从负压到1.8MPa,双端面可到4MPa,温度 $-40\sim 360^{\circ}\text{C}$ 。

(4)液膜和气膜密封受青睐

液膜和气膜密封,是在动环或静环端面的外径或内径径向开槽通入密封流体,在旋转时产生的动压效应,在密封面处形成 $1\sim 3\mu\text{m}$ 的间隙,与被密封流体呈现无压差,达到微泄漏或零泄漏,并在压力、转速变化时自动调整间隙,使密封面不受磨损。

1)在压缩机上的应用

20世纪80年代国内引进的个别压缩机配带气膜密封。由于价格很高,应用很少。90年代国内研制并生产了有自主知识产权的液膜和气膜密封,其槽形主要为多种对数螺旋非对称形,其膜的刚度较U、V对称形高,但只能单向旋转,而对称形的则可双向旋转。

由于国产气膜密封取代浮环密封,可取消难于控制、泄漏量大,且庞大、价高的密封油系统,而价格约是进口的一半,质量并不低于进口的产品,因而相继取代了某进口压缩机使用寿命很短的气膜密封、浮环密封、机械密封和浮动套+浮环密封的组合密封,并在新压缩机上采用,仅某公司就制造了150套左右的密封用于石化厂。

根据需要选用气膜或液膜密封。气膜密封功耗比液膜密封小。气膜密封的功率为 $0.2\sim 2\text{kW}$,而液膜密封则为 $3\sim 15\text{kW}$ 。

气膜密封的最大线速度为 150m/s ,液膜密封为 120m/s ,最高使用温度为 200°C 。

2)在泵上的应用

国外气膜密封首先应用于压缩机上,而后才应用于泵上,国内也是近年才开始将气膜和液膜密封应用于泵上。国外有将气膜密封与泵的副叶轮或背叶组合作停车密封用。有在气膜密封前加一漩涡叶片的反输结构,输送含固量达20%的液体,并用于油浆泵上;也有用于输送含固量为 $10\%\sim 30\%$ 的盐酸和氢氟酸泵上。

液膜和气膜密封有单端面、双端面、串联式和串联式中间带缓冲气的密封,还可以和其他形式

的密封组合应用,取长补短,发挥各自的优势。国产液膜和气膜密封应用在机泵上有广阔的前景。

为了密封安全可靠,似应由制造厂配备必要的监测仪表、控制阀、限流孔板、过滤器(能滤除 $1\mu\text{m}$ 以上的颗粒物)、相连管道等,并有完备的监控系统,不致出现互不统一、五花八门的配置。

3.3 变频调速方兴未艾

变频器通过改变电机的供电频率来改变泵的转速。具有调速范围宽、启动电流小、保护功能完善、操作简单、安全可靠、降低转速后减少噪音和振动、避免泵抽空、延长使用寿命等特点。现有泵组不需作其他改变,节能效果可达 40%,投资回收期不到 1 年。笔者 1996 年收集的资料显示,中国石化总公司所属企业用于风机、泵和空冷器等的变频器已 3000 多台。根据用户获得的经验和经济效益,有的已从整个装置的机泵来统一考虑变频调速,高电压的大型机泵也有采用的。

变频器的价格近年来有所降低,但仍较贵,约 800 元/kW,国外产品则更贵一些。因此在选用变频器时,以下几点值得考虑:

(1) 变频器大小的选定

1) 新建装置的泵

可按变频器厂推荐以电机功率选定。变频器已有比电机额定电流大 10% 的裕量,不必另外加大。泵配的电机应按 API 610 标准选定功率,不能有过的裕量。对大功率的机泵,根据工艺情况分析与变频器厂协商,选用小于电机功率的变频器。

2) 在用装置的泵

可按电机的实测功率选定变频器,即可以小于电机功率,但不得小于电机功率的 2/3。也有特大功率采用特别措施来减少变频器容量的,如国内某高炉鼓风机电机 $4.8 \times 10^6 \text{ kVA}$,而变频器只有 $1.2 \times 10^6 \text{ kVA}$ 。

表 3 为某装置 10 台泵上的变频调速使用情况。

表 3 变频调速使用情况

电机功率/kW	160	160	100	132	90	75	45	37	37	30
变频器功率/kW	220	160	110	132	90	75	45	37	45	30
变频频率/Hz	28	39.1	49	40.2	26.5	44.1	10	33.6	16.6	14

从表 3 可见,160、100、37kW 电机配用的

220、110、45kW 变频器过大;其他变频器的功率与电机相同,似可降低一级,因泵的转速降低功率减小。

(2) 变频调速的范围

选用变频调速的目的,一是工艺需要较大范围的调速;二是由于诸多因素使泵的流量过大,需降速小范围调速。变频器虽可在 0~120Hz 或更高频率的范围内调节,但不能超过泵额定转速的 105%。否则要考虑泵和电机是否允许,泵的流量超过额定值也可能产生汽蚀。变频器仅作为降速使用,降速过低,变频器和电机的效率下降太多,泵的效率也有降低。

表 3 的 100kW 变频器的运行频率为 49Hz,说明泵的流量或压力满足要求,用变频器节能太少,投资回收期过长,用户也认为不宜采用变频调速。45kW 和 30kW 变频器的运行频率分别为 10Hz 和 14Hz,也低了点,说明泵过大,可考虑切割叶轮、换叶轮或换泵。

表 4 为一水泵变频调速时的功率变化。表 5 为变频调节流量时电机效率 η_m 和变频器效率 η_{vfd} 的变化,泵的效率 η_p 假定不变。

表 4 水泵变频调速试验

变频器频率/Hz	50	45	40	35	30	25	20	15	10
电机功率/kW	6.72	4.98	3.54	2.4	1.59	0.99	0.54	0.23	0.12

表 5 变频调速总效率 η 的变化

流量变化率, %	100	70	50	30	20	10
电机效率/ η_m	0.94	0.94	0.93	0.88	0.79	0.56
变频器效率/ η_{vfd}	0.95	0.90	0.86	0.78	0.71	0.62
泵效率/ η_p	0.79					
总效率 $\eta = \eta_m \eta_{vfd} \eta_p$	0.7	0.675	0.637	0.54	0.44	0.275

从表 4 可见,频率由 50Hz 降到 45Hz 时节省功率 1.74kW;从 15Hz 降到 10Hz 时只节省功率 0.11kW。从表 5 可看出,流量变化率至 10% 时,变频器和电机效率降低很多,泵的总效率由 0.7 降至 0.275。因此泵不宜在过低转速下运行。

(3) 变频器厂的选择

国内电子技术的进展促进了变频器的发展,

已有个别石化厂采用。无论从目前的选用和今后的以旧换新以及对国内变频器的发展都有很大好处。变频器厂应以高质量的产品,逐步取代国外产品在石化企业独占的位置。

3.4 油雾润滑系统看好

油雾润滑系统由油雾操作站、油雾输送管道和油雾分配器组成,利用 75Pa 净化空气将润滑油雾化成 $1\sim 3\mu\text{m}$ 微粒,送至泵的滚动轴承润滑。输送管长可达 180m,石化装置已有引进使用的(包括高温油泵)。其优点是轴承温度可降低 $10\sim 15^\circ\text{C}$,故障减少 90%,延长了使用寿命,润滑油耗量少 40%,降低工人劳动强度,值得推广应用。

油雾润滑适于装置集中布置的、非强制润滑的采用滚动轴承的泵使用。

油雾润滑的关键部分是油雾发生器,需要消化吸收其技术,创出自己的产品,目前也可引进关键部分自己配套。否则,国内数百套装置只能反复进口。

3.5 跟踪问题的源头

机泵机组在企业使用,是检验其是否符合生产要求,用户是否满意的唯一标准。只有制造厂跟踪产品问题发生在哪里,才能有的放矢地改进产品。某高速泵制造厂从 3 年里产生的 54 起故

障,按国家有关标准归类分级,对机械密封泄漏过大、叶轮断裂和润滑油压低等重要问题,采取提高齿轮制造精度、油泵齿轮啮合精度、材料采购质量和轴承精度等措施,质量得到了保证。

4 结束语

机泵运行的可靠性,是装置长周期运行的保证;对大、中型机泵要有高的效率,这是技术和经济性指标;全机组都应是高质量的。

机泵行业面临着入世的挑战和机遇,但更是严酷的比技术、比质量的商战。机泵总的技术水平与国外有相当差距,如何保住已有的国内阵地甚为重要。特别是泵厂与石化行业有关的就有 400 多家,有的厂小,生产机具落后、技术力量不强,应尽快地走出仿制、雷同产品互争的局面,利用国内有关科研成果转化为商品,生产用户需要的、技术含量高的、用量不大、缺门短线、独有风格的产品。目前难于生产的大型和特殊的机泵可以引进,消化吸收其技术为我有;通过灵活的方式与外商合作或合资生产。但不能只作为零部件生产厂或装配厂,逐步掌握技术核心,迎头赶上、缩小差距、不断改进、有创新,要敢于标新立异,建立名牌产品,与国外产品争高低,巩固国内市场,进而向外开拓。

· 技术信息 ·

透平压缩机标准 API617 第 7 版 与第 6 版的主要差别(续)

作者在撰写“API617 第 7 版与第 6 版的主要差别”一文并在《石油化工设备技术》2003 年第 5 期上发表以后,现有两点非常重要的内容须加以补充说明:

1 不间断连续运行时间

在第一章“总则要求”中的第二部分“基本设计”2.1.2 节规定“本标准所涉及的设备(包括辅助设备),其设计和制造应确保其最短使用寿命为 20 年,不间断连续运行时间至少为 5 年。”须强调的是在第 6 版中“……不间断连续运行时间至少为 3 年”,第 7 版中将 3 年改成 5 年,说明压缩机能够长周期、不间断操作的一种发展趋势。用户和工程设计咨询部门应该注意到,采用 API617 第 7 版规定后,机组运行质量更高。制造厂除了对主机(压缩机和驱动器)之外,相应的辅机:润滑油系统、密封系统、控制系统的各种仪表和设备,也需要达到更长周期和连续操作的严格要求。

2 二个等级的稳定性分析

2.6 节为动力学部分,其篇幅比第 6 版多一倍,其中对“横向分析”章、节中的内容增加变化较大。

(1)等级 I 稳定性分析 所有离心压缩机或轴流压缩机和/或径流转子,除了最大连续转速低于第一阶临界转速的转子以外,均应进行稳定性分析,即必须作对数(log)衰减量分析。等级 I 分析有两个目的:第一,进行初步地筛选,对同一转子不需作更多的详细研究;第二,等级 I 分析规定了一个标准化方法,可应用于所有制造厂。

(2)等级 II 稳定性分析 反映转子的实际操作特性。等级 II 分析中应包括来自不同部件的各种动力响应,包括(但不限于)下列内容:

1)迷宫密封;2)平衡活塞;3)叶轮、叶片流;4)过盈配合;5)轴材料磁滞。

这些章节,给出了透平压缩机评价横向转子动力学的稳定性特性的共同的认知基础。在此框架内各制造厂、买方、设计或咨询单位,可以应用已有的成熟经验和分析准则进行工作。

(中国石化工程建设公司 卢鹏飞供稿)

pump were analyzed from tow fields of pump body and screening motor. The corresponding countermeasure was proposed.

Keywords Screening pump, Cavitation erosion, Reason analysis, Countermeasure

TRANSFORMATION OF BITUMEN SHAPER SYSTEM

Ma Weiqi. SINOPEC Jinling petrochemical branch company, P. C 210033

Abstract A series of transformations on power system, mechanical drive system, instrument control material drain system and flue gas draft and effluent system of bitumen shaper in oxidizing bitumen unit that have operated for many years were conducted. After transformation the operation of bitumen shaper was stable, the safety was raised, the failure rate was dropped, the operation was simple, and the labour intensity of operator was decreased.

Keywords Shaper, Structure, Material drain system, Technical transformation

ANALYSES ON 110 PROBLEMS OF COMPRESSOR AND PUMP

Dong Changshan. SINOPEC engineering incorporation, P. C 100011

Abstract In accordance with problems occurred in domestic rotation type compressor and pump in the recent years, and by means of summary and classification, the occurred reason and adopting measure were illustrated.

Keywords Compressor, Pump, Problem classification, Measure

LOW TEMPERATURE STEEL AND ITS APPLICATION

Qiu Zhenghua, et al. SINOPEC engineering management department, P. C 100029

Abstract The feature and its application range of low temperature steel were recommended mainly. The domestic low temperature steel, the categories of low temperature steel in ASME, JIS standards and the applicable situations were recommended.

Keywords Low temperature steel, Performance feature, Application

CONSTRUCTION OF 2000m³ LPG SPHERICAL TANK MADE BY 15MnNbR STEEL

Fang Wunong, et al. Hefei universal machine research institute, P. C 230031

Abstract 15MnNbR steel was a new type steel used for pressure vessel, and was applied on Jiu Jiang petrochemical company 2000m³ LPG spherical tank for the first time.

By means of experimental study and open tank inspection denoted that; 15MnNbR steel used for large scale LPG spherical tank had excellent comprehensive performance, and was substituted for imported SPV355 steel plate. The cost of 2000m³ spherical tank made by 15MnNbR steel was decreased 5% than the cost of tank made by 16MnR steel.

Keywords 15MnNbR steel, Large-scale LPG spherical tank, Construction

ANALYSIS ON PERFORATION FAILURE OF HIGH PRESSURE AIR COOLER BUNDLE FOR HYDROGENATED CRACKING UNIT

Han Jianyu, et al. SINOPEC Maoming Branch Company, P. C 525000

Abstract The corrosion problem of air cooler in hydrogenated cracking unit for Mao Ming branch company was discussed thoroughly. The corrosion phenomenon, corrosion production and collected data in site were analyzed thoroughly. By the means of discussion on injecting water capacity, injecting water flow sheet, flow rate and the raw oil scale inhibitor of hydrogenated cracking air cooler, the possible reasons occurred problem was pointed out, and the solvent was proposed.

Keywords Hydrogenated cracking air cooler, Corrosion, Prevention measure

APPLICATION AND RESEARCH OF INFRARED HEAT IMAGE DIAGNOSIS SOFTWARE ON ELECTRICAL EQUIPMENT

Zhang Hong, et al. CNPC Jin Zhou petrochemical company equipment research institute, P. C 121001

Abstract The analysis and handling on infrared image of electrical equipment were conducted by the use of infrared heat image diagnosis software. The change tendency of operation situation for electrical equipment was grasped. The safe diagnosis of failure for electrical equipment was realized.

Keywords Electrical equipment, Infrared software, Application, Research

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF BOTTOM PLATE LEAKAGE MAGNET DETECTION TECHNOLOGY FOR STORAGE TANK

Li Chunshu, et al. Tianjin petrochemical company mechanical research institute, P. C 430082

Abstract The important meaning of development and application of bottom plate leakage magnet detection technology for storage tank were recommended. The comparison of technical feature between common non-destructive in-