

凝结水泵振动分析及改造

孙玉柱

(中海石油宁波大榭石化有限公司 浙江 宁波 315812)

摘要: 在凝结水泵应用过程中,如果出现振动情况,可能会导致泵组出现故障,使泵组停运,甚至会引发严重的安全事故;还可能会使备用泵与运行泵之间频繁切换,很容易使凝结水泵的电动机和供电设备出现问题。因此,本文对连接水泵的具体运行原理和工况进行分析,了解导致凝结水泵振动的具体原因;从不同角度出发加强凝结水泵振动问题检查和优化,并且采取科学合理的措施预防凝结水泵出现振动问题,为凝结水泵的检查和维修提供一定参考。

关键词: 凝结水泵; 振动问题; 原因分析; 改造方法

0 引言

循环氢压缩机 C-101 是加氢裂化装置的核心机组,该机组采用凝汽式汽轮机,汽轮机配置两台凝结水泵,用于维持凝汽器液位稳定并回收凝结水。该机组自运行以来,振动一直不符合设备运行要求,不断通过更换轴承和联轴器弹性胶圈、校对设备同心度、入口硬管改软管等手段降低振动、维持运行,为设备长周期运行带来隐患。因此,找到凝结水泵振动大的根源,采取相应的解决措施,降低振动幅值,是机组长周期运行的必要保证。

1 凝结水泵振动问题分析

210 万吨/年原料加氢处理装置 0203-C-101 的汽轮机凝结水泵,泵型号:GN15-35×3,出厂编号:14046140,必需汽蚀余量 NPSH:0.62 ~ 0.8m,扬程:95 ~ 112m,额定转速:2950r/min,生产厂家:浙江水泵总厂,设备结构:卧式三级悬臂式离心水泵。该泵的主要作用是通过叶轮旋转的离心力输送和控制机组腹水器中的冷凝水量,以确保汽轮机组能够正常运行。

自投产以来,该设备一直处于 C 区运行,随着运行时间的增加,振动逐渐增大,最大达到振动速度值 15.22mm/s、振动加速度值 24.6m/s²,超过 C 区标准则进行检修。具体运行数据见表 1。

设备分为 4 类:①小型转动设备,如 15kW 以下电动机;②安装在刚性基础上的中型转动设备,功率 300kW 以下;③大型转动设备,机器支承系统为刚性

表 1 凝结水泵离线监测数据

测量日期	轴承座振动烈度 / (mm/s) (H: 水平方向, V: 垂直方向, A: 轴向)					
	3H	3V	3A	4H	4V	4A
2020.01.20	10.54	14.65	5.69	6.6	10.28	1.06
	3H	3V	3A	4H	4V	4A
2020.04.04	10.08	6.06	6.77	7.9	6.39	6.84
	3H	3V	3A	4H	4V	4A
2020.06.23	15.22	10.74	7.44	10.75	9.55	7.43
	3H	3V	3A	4H	4V	4A

状态;④大型转动设备,机器支承系统为挠性支承状态。该设备为第二类设备,第二类设备的振动标准如下:① A 区,小于 1.8mm/s;② B 区,1.8 ~ 2.8mm/s;③ C 区,2.8 ~ 7.1mm/s;④ D 区,大于 7.1mm/s。

2 凝结水泵振动原因分析

该泵运行实际工艺参数符合设计参数要求,故设备振动是由设备本身制造、安装等原因造成的。该泵运行参数如表 2 所示。

表 2 泵设计与运行参数

序号	类型	流量/(m ³ /h)	扬程	汽蚀余量/m
1	设计参数	9 ~ 20	95 ~ 112m	0.62 ~ 0.8 (必需)
2	实际运行	10 ~ 16	98 ~ 115m	2 (泵入口至液面高度差)

2.1 机械振动

凝结水泵机械振动的原因通常包括泵的各间隙超标、接触面不平、动平衡偏差、同心度偏差大、轴弯曲度过大等。

2.2 支撑底座刚度不足

支撑底座刚度不足,会造成凝结水泵振动,例如凝结水泵的地脚螺栓松动、泵体与支撑座接触不实、基础下沉等。如果凝结水泵在安装和运行过程中,没有将凝结水泵与支撑底座之间的连接螺栓拧紧加固,在机组运行过程中连接螺栓松动会出现振动问题。一般在对这一问题进行分析时,需要对不同连接部件之间的差别振动值进行对比分析,查找发生松动的连接螺栓。其次,连接接口的法兰接触不良也会导致支撑底座刚度不足,从而影响凝结水泵的稳定性。如果连接接口的法兰出现变形或者接触表面质量不良,可能导致全部连接螺栓在拧紧后仍然无法达到支撑底座的连接刚度要求,从而出现差别振动。此外,如果水泵和支撑底座之间发生接触不良问题,也会导致支撑底座刚度不足,会对凝结水泵的运行状况产生影响。水泥底座施工过程中如果使用的水泥不符合设计要求,二次灌浆质量不良可能会导致水泥基础质量发生问题,例如灌浆质量不良、垫铁间距比较大、受力不均匀、垫铁和台板之间出现虚连情况。在外力作用下,垫铁会出现相对位移,导致凝结水泵组的支撑轴向刚度降低。如果情况比较严重,甚至可能会使凝结水泵的水泥基础出现松动,导致泵组的支撑轴向刚度明显下降^[1]。

2.3 介质气蚀

该泵必需汽蚀余量 NPSH0.62 ~ 0.8m,而现场测量凝结水液面与泵入口高度差为 2m,从数据上分析,不存在气蚀问题。

2.4 管道振动

水泵流体脉动与泵体或管道的固有频率一致,会产生共振;管道及支撑变形产生应力,会造成振动。现场测量泵入口管线水平振动 15.20mm/s,垂直振动 10.58mm/s,出口管线水平振动 15.44mm/s,垂直振动 5.26mm/s。在凝结水泵水压力产生的脉动和泵体管道固有振动频率相同的情况下,会出现共振现象,从而导致振动加剧。连接水泵的基础强度不足,基础承受的动载荷也会导致振动加剧,尤其是凝结水泵基础比较小的情况下,水泵和基础振动相对较大,会导致凝结水泵振动超标。如果凝结水泵和电动机设备为分基础安装,在长时间运行后,管道及支撑会发生不均匀变形,导致凝结水泵出现径向偏移,使凝结水泵出现振动超标问题。

2.5 管道安装不正确

在管道安装和固定过程中,只有连接水泵的出口管道安装满足定位支架的相关要求,才能够避免管道在应力作用下出现变形问题,从而避免影响整个凝结水泵组的最终状态。如果在施工过程中没有对管道进行有效固定连接,水泵进出口管道连接的稳定性不足,会导致约束刚度降低,甚至会使约束刚度失效,会对管道和凝结水泵的整体稳定性和安全性产生影响。此外,在管道和凝结水泵安装过程中,必须对其载荷能力进行检查,确保其满足验收标准。

2.6 对轮联轴器的选型问题

爪式联轴器特点:结构简单,制造容易,装拆方便,不需要润滑,具有较好的耐磨性等,适用于轴向窜量较大、正反转变化较多及启动频繁的场所;但是可吸收的偏心偏角大,容易产生振动,所以不适用于高速场合。爪性联轴器通常具备良好的性能而且有价格上的优势^[2]。

膜片联轴器特点:结构简单,可靠性高、寿命长,适用于高速大功率、高温及有腐蚀作用的恶劣环境;对轴向和角向补偿能力大,抗不对中性好,并具有吸振和隔振功能;无噪声、零间隙,定速率,不需润滑;作用在连接设备上的附加载荷小;安装、使用、维护简便,但成本高。

3 凝结水泵振动问题解决措施

3.1 加强凝结水泵的改造

针对凝结水泵振动超标问题,对该泵进行解体检查并检查相应的附属设施。

(1) 叶轮口环与泵体口环的径向间隙标准见表 3。该泵属于冷油泵,叶轮口环直径小于 100mm。

表 3 叶轮口环与泵体口环的径向间隙

泵类	口环直径/mm	壳体口环与口环间隙/mm
冷油泵	< 100	0.40 ~ 0.60
	≥ 100	0.60 ~ 0.70
热油泵	< 100	0.60 ~ 0.80
	≥ 100	0.80 ~ 1.00

机泵解体后,检查叶轮转子与壳体隔板,没有发现明显摩擦痕迹;测量叶轮口环间隙,结果如下:一级叶轮间隙 0.45mm,二级叶轮间隙 0.40mm,三级叶轮间隙 0.40mm,平衡鼓间隙 0.50mm,轴承压盖间隙 0.10mm,各部间隙均在标准范围内。综上所述,排除机泵各部间隙过小或动静部分碰磨产生振动。

(2) 转子跳动标准。装上叶轮, 锁紧叶轮背帽螺母, 测量叶轮口环圆跳动 $\leq 0.05\text{mm}$; 装配后转子部件上叶轮口环外圆及轴套外圆的径向圆跳动数值见表4。

表4 叶轮口环外圆及轴套外圆的径向圆跳动表

部位	名义直径/mm		
	≤ 50	$> 50 \sim 120$	$> 120 \sim 260$
叶轮口环外圆的径向圆跳动/mm	0.05	0.06	0.08
叶轮口环端面的圆跳动/mm	0.2		
轴套外圆的径向圆跳动/mm	0.04	0.05	0.06

紧固叶轮背帽螺母, 组装轴套、叶轮、平衡鼓等转子部件, 测量转子的跳动数据, 测得整体数据偏大; 松开背帽螺母后, 单独测量各部件跳动数据, 均在合格范围内; 确认是叶轮与轴套端面接触不平, 组装后转子部件发生轴向变形使得整个转子跳动数据超标。后通过对叶轮及轴套等转子部件的接触面进行研磨, 修复高点, 降低其跳动值, 消除装配后转子整体跳动数据偏大的问题。

(3) 叶轮的静不平衡标准如表5所示, 该泵叶轮直径为230mm。

表5 叶轮静平衡允许剩余不平衡量表

叶轮 外径/mm	≤ 200	$> 200 \sim 300$	$> 300 \sim 400$	$> 400 \sim 500$
不平衡重/g	3	5	8	10

因对整个转子跳动数据进行了调整, 所以对转子进行静、动不平衡检查, 确认叶轮动不平衡小于2g。

(4) 调整出入口管线支撑: 因出入口管线直径偏小, 安装时未制造合适的管道支撑, 使得在设备运行时无法约束管线振动, 导致管道振动偏大, 据此调整出入口管道支撑点并加固。

(5) 调整地脚螺栓垫块: 对该设备进行二次安装, 确保每根地脚螺栓两侧都有垫块组, 每隔500mm增加一组垫块, 每组垫块数量不得超过4块, 以保障其符合安装要求。

(6) 改变凝结水泵的联轴器形式: 由上述联轴器的优劣分析可知, 该台设备更适用于膜片式联轴器, 所以将该泵的爪式弹性联轴器更换为膜片式联轴器。

经调整后凝结水泵的振动从原有最高15.22mm/s降低至2.51mm/s, 具体数据见表6。

3.2 凝结水泵振动问题检查

在凝结水泵振动问题检查和优化过程中, 需要对

表6 凝结水泵离线监测数据

测量日期	轴承座振动烈度/(mm/s) (H: 水平方向, V: 垂直方向, A: 轴向)					
	3H	3V	3A	4H	4V	4A
2020.12.07	1.79	2.51	2.06	2.01	1.44	2.45

不同级别凝结水泵存在的振动超标问题进行深入分析。在机组运行过程中, 检修人员需要进行多次检修和维护工作, 完成以下复检:

(1) 对水泵转子进行低速动平衡处理。通过对凝结水泵进行拆修、更换转子的零部件, 可以进行低速动平衡处理, 消除原始不平衡量。凝结水泵的入口叶轮部位会安装诱导轮, 长期运行后, 诱导轮会出现不同的汽蚀问题, 汽蚀比较轻的部位可以利用打磨、补焊或者修复等方式进行有效处理。汽蚀比较严重的诱导轮需要及时更换, 同时进行低速动平衡处理。

(2) 对转动部件是否松动进行全面检查。在凝结水泵全面检修过程中, 需要重视转动部件松动和脱落问题, 重点检查转动部件的整体工况。如果没有出现转动部件松动或者脱落问题, 在检查过程中需要对转动部件的整体性能进行判断。完成检修工作后要严格按照相关标准进行泵轴装配, 拧紧各零部件并锁定, 防止出现松动或者脱落问题。

(3) 对转子弯曲产生的质量不平衡问题进行有效处理。在每次拆卸后都需要根据相应要求对水泵转子的弯曲度进行全面测量, 如果超过0.02mm许可值, 需要及时更换。通过全面检修和振动测试, 能及时发现凝结水泵的振动问题, 快速处理, 确保凝结水泵安全运行^[3]。

4 预防凝结水泵振动问题的策略

4.1 重视设计质量控制

在凝结水泵安装设计过程中, 需要参考凝结水泵不同零部件的构成和具体的工作原理, 在实际施工时要由专业人士进行全面指导, 防止出现操作不当的情况。在设计期间, 需要避免出现水泵振动超标的安全隐患。如果没有根据实际情况对叶轮片数或者导叶片数之间的质数关系进行确定, 可能导致凝结水泵在运行过程中由于流体压力较大而出现振动超标问题。其次, 水泵的进出口管道如果在设计过程中弯曲过度, 可能会导致空气过度积存。在进口处需要设置锥形管道, 这样才能够使水和气体在管

道内加快收缩。此外,在设计期间必须对水泵的设计精度进行严格控制,防止水泵在长时间运行后出现严重的振动问题。如果水泵和电动机之间的同轴度比较低,或者叶轮口环与泵口环之间的间隙比较大,会导致水泵振动超标。因此,在设计时需要关键部位的精度进行严格控制。

4.2 加强安装质量管理工作

在凝结水泵安装固定过程中,如果水泵入口管道、线缆之间的对中性无法满足安装要求,会导致水泵内部的压力较大,使水泵出现变形情况,影响转子和壳体之间的同心度,会出现振动超标问题。因此,在安装过程中需要保证管线安装的精准性,避免在装配过程中产生应力而未被及时处理,使其在后期运行过程中作用到水泵上。

4.3 加强操作工艺规范管理工作

工作人员需要根据自身掌握的专业知识和相关技能,保证凝结水泵在稳定安全的工作环境下运行。在实际操作中需要严格按照相应的操作规范开展工作,利用润滑油等不同手段保证凝结水泵的润滑度,避免出现振动超标问题。

4.4 加强凝结水泵日常维护和监管工作

在凝结水泵日常维护和监管过程中,需要构建科学完善的监督管理机制,确保工作人员能够定期对设备进行检查和维修,及时发现凝结水泵存在的质量问题。在凝结水泵维护监管过程中,需要通过精密仪器对凝结水泵的日常运行情况进行全面检查和维修,保证检查维护工作的系统性及标准性,有利于及时发现问题。

在对凝结水泵进行日常维护和管理过程中,需要从不同角度出发,保证维护管理工作质量。

(1) 转子不平衡问题检修与处理。转子在运行过程中受腐蚀和介质结构的影响相对较大,转子内部的零件可能无法得到有效维修,会出现轻微破坏。如果这一破坏在短期内没有被修复,会对水泵的机械性能产生影响。并且转子之间存在的平衡问题会导致离心力增大,叶轮流道内部的杂物如果没有被及时清除,会导致叶轮内部出现堵塞,对转子的平衡性也会产生影响,最终引发凝结水泵振动问题。除此之外,凝结水泵的安装流程如果不正确,热膨胀持续时间比较长,转子无法承载重力后变形,会

对凝结水泵中的联轴器运行状态产生影响,导致水泵内部所有零部件的平衡性受到影响,从而无法对水泵和电动机之间的平衡性进行协调。在日常维护和检修过程中,需要加强对转子部件的检查和维修,一旦发现问题需要及时更换和处理。

(2) 轴弯曲变形情况维护。轴作为凝结水泵中关键的零部件,是保证所有零部件维持相对平衡状态的重要部件。泵轴在日常运行中会受各种因素影响出现变形情况。如果长期没有进行维修或者拆卸不当,泵轴长时间运行会出现弯曲变形。泵轴本身的抗干扰能力比较差,在外力作用下无法保证口环和转矩之间的平衡,也会导致凝结水泵出现振动情况。

(3) 凝结水泵中零部件磨损维护。从凝结水泵振动问题的实际情况出发进行分析,松动是导致水泵振动的重要因素。在凝结水泵维修管理过程中,需要根据凝结水泵的具体运行情况,构建凝结水泵振动问题分析档案。在这一档案中需要对每一个凝结水泵的日常工作情况 and 异常记录、疑似异常记录等进行全面归纳和分析,为工作人员的维修工作提供科学依据。

5 结语

本文通过改变该设备的联轴器形式,转子组装后跳动数据的调整,静、动不平衡调整,泵体各间隙调整,转子各部件端面不平修正,调整管道支撑等多种手段,将凝结水泵的振动降至正常运行水平,使之位于A区运行,为设备长、满、优运行提供保障。

参考文献:

- [1] 刘丹,赵凯.凝结水泵振动超标原因分析与解决对策[J].中国电业(技术版),2015(11):103-105.
- [2] 董满利.凝结水泵电机振动原因分析及处理方法[J].电子世界,2013(24):230.
- [3] 黑宗华.变频凝结水泵振动问题的分析与处理[J].广东电力,2013(09):110-112+116.

作者简介:孙玉柱(1981.07-),男,汉族,江苏南京人,本科,工程师,研究方向:炼油设备管理。