

注水泵橇块高振动原因分析与治理

翟海刚 曹天兵 谭春楠 鄂瞳瞳

(中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300450)

摘要: 某油气田平台相邻2台注水泵同时运行时会出现振动超标情况,引入AVM隔振器装置,通过其内部的弹簧阻尼装置吸收机组运行时的振动,减少机组与甲板之间的振动传导,避免机组运行时产生共振。

关键词: AVM; 超标; 共振

1 背景

某油气田平台有三台注水泵(A/B/C),主要用于将处理达标的注水进行增压通过注水井注入地层。在相邻注水泵如A/B泵或B/C泵运行时,注水泵B泵的泵非驱动端振动达到报警值4.5mm/s,最高达到5.3mm/s。

2 技术简介

2.1 前期调研

在注水泵单泵或双泵同时运行六种工况下分别对机组、橇块、甲板进行了振动数据的收集,共收集了120组数据。

通过对注水泵橇块的振动数据的分析,橇块及附近甲板同样存在高振动现象,初步判断为机械设备与甲板产生共振造成设备运转时振动超标。遂考虑对注水泵B泵增加AVM弹簧隔振装置进行橇块高振动治理。

2.2 施工方案与工艺

通过仿真建模分析,发现注水泵区域甲板存在刚度不足问题。注水泵周边甲板在泵运行时产生共振,振动通过甲板传递到设备,导致双泵运行时设备振动超标。但是受限于现场实际条件,大规模的结构加强不具备可行性。因此此次将从机组本身进行隔振处理,设备底部甲板也要做局部结构加强。

2.2.1 方案设计

- (1) 对注水泵橇块建立数学模型。
- (2) 进行相关模态分析和振动响应分析。

模态分析包括两种形式,常规模态分析和带预应力的模态分析。带预应力的模态分析用于分析模型含预应力的固有频率和振型,结构中的应力可能会导致结构刚度发生变化。

注水泵机组的转速为2980r/min(49.67Hz),为避免与泵组结构发生共振计算了注水泵机组前24阶固有频率,发现注水泵机组的前24阶固有频率均避开工作频49.67Hz,可避免共振发生。

在求出结构的各阶固有频率和最大变形量的同时,也可以得出不同频率下的振型。

- (3) 注水泵橇底部隔振器的设计。

注水泵橇座总重约为3.16t,橇座上设备总重约为13t,隔振体系总重量约为16.16t。注水泵在额定工况下的运行转速为2980r/min,工作频率为 $f_m = 2980/60 = 49.67$ Hz。

隔振弹簧的选取原则一般为,取隔振弹簧的振动频

率 f_v 等于激振频率 f_m 的1/3~1/5,即使调谐比 $\eta = f_m/f_v = 3 \sim 5$ 。

本项目注水泵激振频率 $f_m = 49.67$ Hz,取弹簧振动频率 $f_v = 5$ Hz, $\eta = 49.67/5 = 9.93$ 则隔振效率:

$$I = \frac{\eta^2 - 2}{\eta^2 - 1} \times 100 = \frac{(9.93)^2 - 2}{(9.93)^2 - 1} \times 100 = 98.97\%$$

如果弹簧的承重为G(kN),刚度为k(kN/mm),则弹簧的压缩量 δ (mm),则:

$$\delta = G/k$$

求弹簧频率的另一公式为:

$$f_v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{\sqrt{g}}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{G}} = a \sqrt{\frac{1}{\delta}} = \frac{a}{\sqrt{\delta}}$$

如果弹簧压缩量 δ 的单位以cm表示,则系数a的数值为5;如果弹簧压缩量 δ 的单位以mm表示,则系数 δ 的数值为15.8。也即:

$$f_v = \frac{5}{\sqrt{\delta(\text{cm})}} = \frac{15.8}{\sqrt{\delta(\text{mm})}}$$

弹簧的压缩量:

$$\delta = (15.8/f_v)^2 = (15.8/5)^2 = 9.94 \text{ mm}$$

系统的总质量:G=161.6kN。

所有弹簧组的总刚度为:K=G / $\delta = 161.6 / 9.94 = 16.19$ kN/mm。

选择弹簧组数的原则,是使两组弹簧之间的间距不要太大,即让两组弹簧之间基础平台的挠度不要太大。所以对本项目,结合基础平台的尺寸,取弹簧组数为8组弹簧。

每组弹簧的承重:N=161.6/10=16.16kN,考虑弹簧的承重留20%的裕量,所以每组弹簧的承重应为16.16/0.8=20.2kN。

每组弹簧的刚度:k=16.16/10=1.62kN/mm。

当机器低速回转时,即在机器启动或停机时,可能通过共振频率。此时需要阻尼器来降低系统的振动。

对单质量系统,阻尼系数W的计算公式如下:

$$W = 2mD\omega$$

式中:

m——系统质量;

D——阻尼比,对隔振来说,一般取D=0.1~0.2,本实例取阻尼比D=0.2;

ω ——弹簧圆频率, $\omega = 2\pi f_v$ 。

则阻尼系数:

$$W \approx 4 \times \frac{161.6}{10} \times 0.2 \times 3.14 \times 5 = 202.94 \text{ kN} \cdot \text{s/m}$$

根据现场条件，在橇座上安装 10 个加粘性阻尼弹簧隔振器，则每个粘性阻尼弹簧隔振器阻尼系数为 $w=W/n=202.94/10=20.29 \text{ kN} \cdot \text{s/m}$ 。

(4) 对进出口管线安装隔振器

根据设备进出口管线现有参数进行科学计算，选用安装合适的隔振器，理论隔振率能达到 95%，考虑到现场各种实际因素，实际隔振率预计能达到 80% 以上。

2.2.2 现场施工

(1) 脚手架搭设。B 泵甲板底部搭设脚手架 100 平方米，对隔振器下底座预安装位置采用钢板制作加强筋，并与甲板结构梁进行焊接。

(2) 注水泵橇块改造。松开上下橇块之间的连接螺栓，切除整个下橇，只保留下橇的四个角，做临时支撑，保持上橇原有高度和位置不变。在泵橇外侧对隔振器上底座预安装位置焊接加强筋。

(3) 甲板强度加固。从甲板底部施工，对泵橇内部用 4 块 PL10 的钢板进行结构加强。钢板与泵橇周边的 32b 槽钢采用间断焊接，钢板与泵橇内部加强筋 28b 槽钢采用钢板间断开孔、开孔位置与加强筋贴合紧密并进行焊接的方式。

(4) 注水泵管线改造。对进出口管线原有支架进行切割，制作新的支架，在支架处安装隔振器。进口管线安装 3 个隔振器，出口管线安装 2 个隔振器。

(5) 采用 PL8 的钢板，对橇块底部缺失的甲板进行焊接，防止甲板上的油、水等落入海中。

(6) 安装隔振器。在泵橇底部安装 10 个隔振器，隔振器上、下底座采取点焊方式分别于甲板及泵橇焊接，通过调整隔振器螺栓高度，来调整机组上橇高度和水平度，调整完毕后每台泵橇上安装 6 个限位装置，底部与甲板焊接，上部与泵橇上沿压紧。

(7) 对所有焊接位置进行打磨刷漆，机组对中后启机运行测试评估。

3 使用效果评估

机组启动运行，并测试运行时数据。

对整改前后 A/B/C 泵组合运行振动速度值数据进行测试，数据如表所示。

备注：上述表格中数据为现场控制系统显示垂直方向

表 振动治理前后数据对比

注水泵	B/C		A/B		A/C	
	改造前	改造后	改造前	改造后	改造前	改造后
泵非驱动端振动 (mm/s)	5.4/4.0	2.84/3.25	2.98/5.78	1.72/2.52	2.73/5.7	2.55/3.63
泵驱动端振动 (mm/s)	2.65/2.07	1.93/1.59	2.56/2.45	2.42/1.93	1.62/1.57	1.91/1.68
电机驱动端振动 (mm/s)	3.14/2.07	0.85/2.71	2.98/3.14	1.33/0.72	2.46/2.23	1.12/2.83
电机非驱动端振动 (mm/s)	4.17/3.21	0.73/1.62	3.63/4.37	1.02/1.13	3.12/2.97	1.81/1.73

测点数据。

从以上数据分析可以看出，注水泵双泵同时运行时，机组各测点振动值均在正常范围内，小于报警值 5mm/s，各泵的振动数据较之前下降 2 ~ 3mm/s，振动治理效果显著。

4 结语

AVM 弹簧隔振装置的使用可有效降低大型设备运行时振动超标的情况，同时也可减少设备与甲板之间的振动传导，避免相邻设备运行时相互影响，进而为海上油气高效开采提供稳定的设备保障，在平台压缩机、外输泵等高振动设备中具有广泛的应用推广价值。

参考文献：

[1] 彭献,黎大志,陈树年. 准零刚度隔振器及其弹性特性设计 [J]. 振动、测试与诊断,1997,17(4):44-46.
 [2] 朱石坚,楼京俊,何其伟,等. 振动理论与隔振技术 [M]. 北京:国防工业出版社,2006.

作者简介: 翟海刚 (1979.09-), 男, 汉族, 河南人, 工程师, 研究方向: 机械; 曹天兵 (1989.12-), 男, 汉族, 辽宁人, 工程师, 研究方向: 机械; 谭春楠 (1988.11-), 男, 汉族, 天津人, 助理工程师, 研究方向: 机械; 鄂瞳瞳 (1987.03-), 男, 满族, 辽宁人, 助理工程师, 本科, 研究方向: 机械。

更正

本刊 2021 年 1 月下旬刊 (2021 年第 03 期, 总第 524 期) P157 ~ 159 的文章标题为“宁朗水电站 #1 机组上导摆度超标故障频发原因分析及处理”, 文中附表有几处数据有误, 特此更正。

表 1 初始盘车数据

测点		1	2	3	4	5	6	7	8
净全摆度	下导 Φ_{ba}	7		-4		-7			-9
	水导 Φ_{ca}	15		-5		-14			-19

《中国机械》编辑部