

变频电动机与底座频率干涉引发壳振偏大的分析与处理

孙梦楠¹ 佟永龙² 李重阳²

(1 沈阳工业大学 辽宁 沈阳 110870; 2 沈鼓集团股份有限公司 辽宁 沈阳 110869)

摘要: 离心压缩机的驱动方式中,变频电动机较为常用,它具有环保、节能、噪声小、维修保养成本少且维护安全简单等优势。变频电动机的调速频率一般在 30 ~ 50Hz,电压为 10kV,形式多为三相异步电动机。电动机的主要振动监测指标为壳振动,振动标准一般在 2.8mm/s 以下。变频电动机使用把合螺栓与支撑底座把紧在一起,在改变频率进行调速过程中,水平与垂直方向的壳振动发生振值偏大现象后,需要对电动机本身、电动机安装连接、支撑底座强度,以及是否发生频率干涉进行逐一排查分析,针对不同影响制定整改方案,以消除对电动机所产生的不利影响。通过对电动机壳振动大现象的分析、过程及结果的总结,本文提出了变频电动机与支撑底座频率干涉引发机壳振动偏大的分析处理策略。

关键词: 变频电动机; 频率干涉; 机壳振动; 支撑底座; 有限元分析

0 引言

电动机共振是机械领域常见现象,共振导致电动机壳振变大,影响电动机的正常运行,降低电动机使用寿命,并且带来振动、噪声和效率降低等异常情况。

变频电动机在出厂前会进行出厂试验,振动与温度合格后才允许出厂。电动机厂内试验所采用的底座支撑形式,与电动机发送至施工现场的底座支撑形式并不相同,前者是将电动机把合在地轨上进行试验,而后者是将电动机放置在产品底座上,产品底座又需要与土建基础进行提前预埋与灌浆,形成一体。为了更接近真实使用情况,选取电动机在现场安装后的实际试验案例进行分析,通过现场测频、三维建模进行频率分析及强度分析等方式,最终锁定频率干涉^[1]是引发电动机壳体振动偏大的原因。结合处理方案的选择、实施与效果,可以拓展出处理此类问题的分析处理策略。

1 机组布置情况

图 1 为压缩机组上的动设备布置方式,从左向右依次为:变频电动机、齿轮箱和压缩机,动设备之间通过联轴器进行转速、功率的传递。动设备放置在整体支撑底座上,支撑底座上的支撑腿用于动设备的把合固定,动设备与支撑腿之间可以通过增减垫

片进行高度调整。最下方的整体支撑底座与土建基础进行灌浆,成为一个固定的整体^[2]。变频器电动机的启动是通过调频调速,通过频率的提升逐渐提升转速。正常运行下,电动机的壳振数值要在 2.8mm/s 以下。

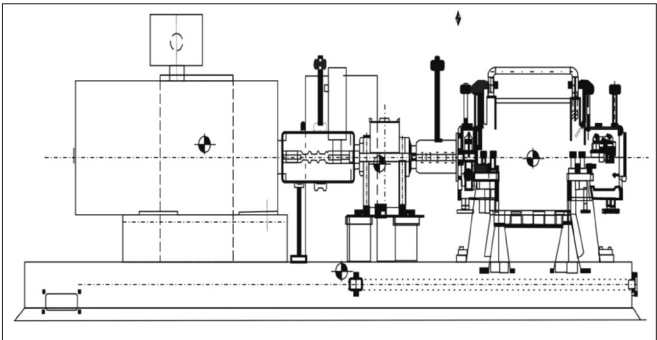


图 1 压缩机组布置

2 电动机第一次试验振动现象

电动机在完成动设备吊装、找水平及对中工作后,将把合螺栓把紧,脱开负载端(齿轮箱与压缩机)进行单试,试车过程中调速频率在 45Hz 时状态表现为:

(1) 把紧电动机与底座之间的把合螺栓后壳振动偏大,水平方向最大值为 8mm/s,垂直方向最大值为 5.8mm/s;

(2) 松开电动机底座之间的把合螺栓后壳振动正常,水平方向最大值为 1.3mm/s,垂直方向最大值为

1.0mm/s。

电动机壳振使用手持测振仪进行测试,经过校核手持测振仪并无异常。选取其他点位进行测量,仍然存在电动机在把紧螺栓后壳振偏大情况。检查电动机与底座之间的支撑面积,排除电动机与支撑座之间存在虚角等情况后,再次进行单试现象,结果与此前相同,并无改善。

由于机械振动为阻尼振动,从阻尼振动的角度,明确电动机与支撑结构对应位置的振动衰减率,确定支撑结构的刚度与强度是否满足工况运行的要求。随后,分别在电动机松开与把紧螺栓状态下进行频率监测,在电动机与底座把紧状态下,垂直方向的振动数值表明,底座的支撑刚度存在不足。调整电动机四角把合螺栓,并无效果,在45Hz频率下运行存在共振现象。

3 底座应力、变形分析与第二次试验情况

根据电动机频率监测的分析结果,对底座进行应力与变形分析^[3],在ANSYS Workbench环境下的三维实体模型图,电动机以质量等效的模型模拟,因只考察电动机处的频率,故模型中未包含变速机和压缩机等效模型。对底座三维模型进行适当简化后,在ANSYS环境中对其进行网格划分,得到有限元网格模型。底座分析的工况为静止状态,对应的载荷为电动机自重+底座自重,底座材料标号为Q235,弹性模量取为200GPa,泊松比为0.3,材料密度为7850kg/m³,材料屈服极限为235MPa。

等效应力分布结果如下:

(1) 底座的等效应力分布如图2所示,在静止工况下,底座在电动机支腿处的最大等效应力为39MPa,满足设计要求;

(2) 底座的竖向位移分布如图3所示,在静止工况下,底座电动机支腿处的最大竖向变形为0.11mm,满足设计要求。

根据底座应力与变形分析,底座符合设计要求,并无异常。考虑以上计算是在理想状态下进行的,因此,现场对底座灌浆情况又进行了复查,发现底座与基础四周已经灌浆灌实,但电动机下方有如图4所示的三个区域并未灌满。经过分析,未灌满区域会影响底座支撑刚度,现场重新对这三个区域进行了灌浆。灌浆材料选用与原始灌浆相同的环氧树脂,通过缓慢注入工艺避免新灌浆层与原灌浆层存在分层现象。

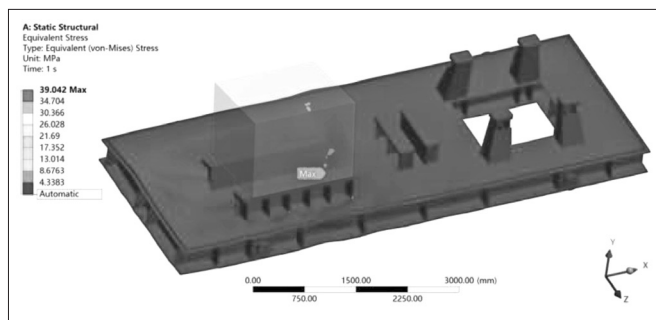


图2 底座在静止工况下的等效应力分布图

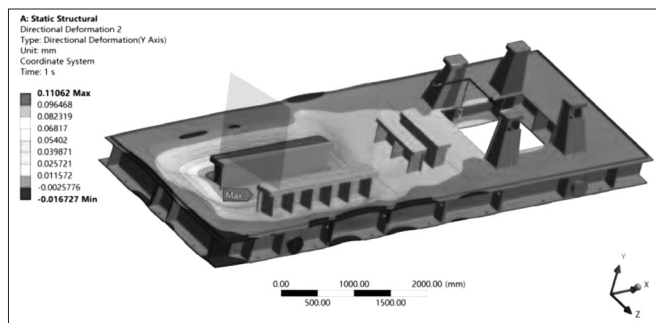


图3 底座在静止工况下的竖向变形分布图

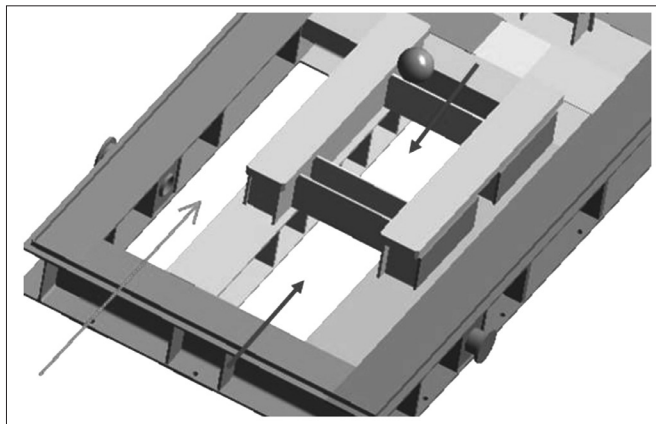


图4 底座与基础之间灌浆未灌实区域

完成灌浆工作后,电动机脱开负载端进行单试,频率在47.5Hz时表现为:

(1) 当把紧电动机与底座之间的把合螺栓后壳振动偏大,水平方向最大值为6mm/s,垂直方向最大值为4.6mm/s;

(2) 当松开电动机底座之间的把合螺栓后壳振动正常,水平方向最大值为1.2mm/s,垂直方向最大值为1.1mm/s;

(3) 第二次试车与第一次试车相比,发生振动大时刻的频率有所提高,由45Hz提升到47.5Hz,振动幅值略有变小。

两次试验,电动机在松开螺栓情况下振动正常,

电动机本身及平衡并无问题。底座灌浆完成,电动机无虚角,在 45Hz 和 47.5Hz 频率下,电动机脱开负载把紧螺栓后都产生了水平、垂直方向振动大的情况,说明电动机与底座之间应存在频率干涉情况,从而导致共振产生,需要进一步计算分析。

4 频率分析与调整方案

对支撑底座进行三维实体建模,电动机以质量等效的模型模拟,因只考虑电动机处支腿的频率,故模型中未包含变速机和压缩机等效模型(图 5),对底座三维模型进行适当简化后,进行网格划分,得到有限元网格模型(图 6)。底座频率分析考虑的载荷与静止工况相同,按照电动机的额定转速及调速范围分析计算。

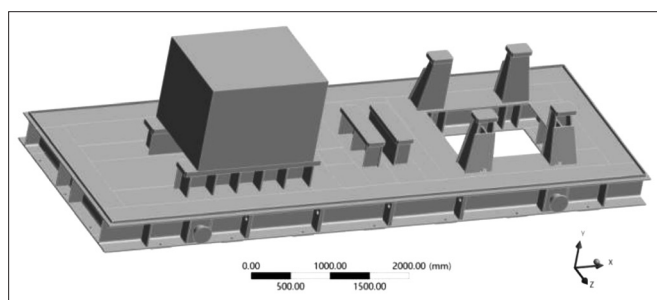


图 5 三维实体模型

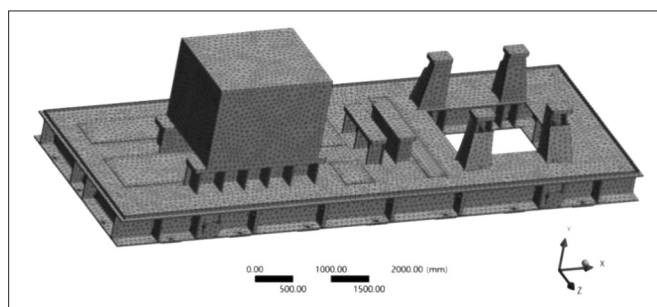


图 6 有限元网格模型图

对底座结构开展模态分析,筛选得到电动机支腿的固有频率,频率校核范围考虑电动机额定转速的 70% ~ 115%,结合底座的频率开展校核评定。经过分析得知(图 7):

- (1) 电动机 1 倍转频与底座的 1 阶固有频率发生干涉,干涉频率为 36.4Hz;
- (2) 电动机 2 倍转频与底座的 3 阶固有频率发生干涉,干涉频率为 64.9Hz。

计算发现,电动机与底座之间存在频率干涉情况,但与现场实测频谱存在偏差。现场底座安装是通过灌浆方式与土建基础连接到一起,考虑到建模分析

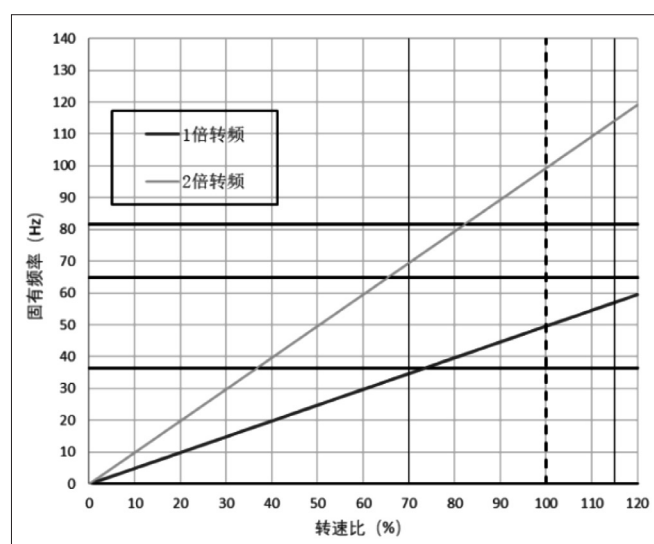


图 7 底座频率干涉校核图

时底座底部是完全的实体,而土建基础有其特有形状,那么计算与实际的干涉频率会有不同^[4]。因此,考虑如何消除电动机与底座的干涉频率,是正确的解决方向。

查看支撑底座结构,电动机下方有两个支撑座,通过对两个支撑座增加连接筋的方式,可以提高干涉频率,从而消除共振,降低电动机振动(图 8)。

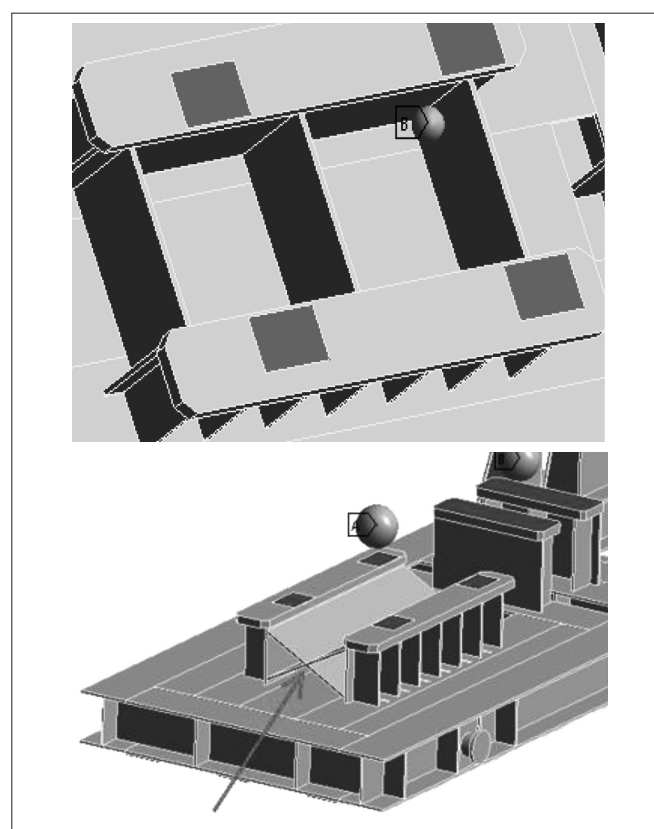


图 8 电动机下方支撑座增加连接筋方案

经过计算,两种增加连接筋方式都可以将干涉频率提升 3Hz 以上,按照目前最高运行 50Hz 频率,可以有效避开。

5 现场整改后试验效果

评估并考虑施工难度,“X”型连接筋制造困难,最终采用了在电动机下方两个支撑座之间安装竖向连接筋的方案。连接筋与支撑座采用小电流段焊方式,避免连接筋焊接后将支撑座拉变形。方案实施后再次进行试车。

松开地脚螺栓数据为:

(1) 电动机在 45Hz 频率下,松开螺栓水平振动最大 1.3mm/s,垂直振动最大 0.4mm/s;

(2) 电动机在 47.5Hz 频率下,松开螺栓水平振动最大 1.9mm/s,垂直方向最大 0.6mm/s;

(3) 电动机在 50Hz 频率下,松开螺栓水平振动最大 2.5mm/s,垂直方向最大 0.6mm/s。

把紧地脚螺栓数据为:

(1) 电动机在 45Hz 频率下,把紧螺栓水平振动最大 2.0mm/s,垂直振动最大为 1.8mm/s;

(2) 电动机在 47.5Hz 频率下,把紧螺栓水平振动最大 1.9mm/s,垂直方向最大 1.2mm/s;

(3) 电动机在 50Hz 频率下,松开螺栓水平振动最大 2.2mm/s,垂直方向最大 1.1mm/s。

对第二次整改后的试验数据进行分析,振动数据符合标准要求的 2.8mm/s,电动机运行中并无异常声响及现象,证明整改效果明显,可达到预期。电动机单试合格后与齿轮箱及压缩机进行连接,进行 4h 联动试车,电动机调速至 50Hz 时,水平方向与垂直方向壳振动数值最大为 2.4mm/s,满足标准要求,可以正常使用。

6 结语

使用变频电动机驱动离心压缩机组,电动机安装

在整体底座上,并采用螺栓连接。结合实际案例的处理可以发现,电动机发生频率干涉的振动幅值较大,通过常规的处理手段无法有效消除。在分析及处理干涉频率过程中,由于设计计算状态与实际安装不同,对于干涉频率的计算会产生偏差。通过对实施方案的建模计算分析,可以得到不同方案,将干涉频率提升至工作频率范围外,从而消除电动机振动。

变频电动机的壳振偏大问题是复杂性较高的问题,使用三维建模进行有限元分析,可以得到底座的应力变形情况和频率干涉情况,对于处理此类问题有很大帮助,可以准确地确定整改方案的形式与改进方向,从而达到快速、有效处理问题的目的。分析与处理过程表明:

(1) 变频电动机产生壳振偏大现象时,需要对螺栓把合、接触面积及灌浆等进行详细检查;

(2) 采用壳振测频方式,可以准确地确定引起振动偏大的振动频率,从而判断振动原因;

(3) 引入三维建模进行有限元分析方法,可以确定处理方案是否可以避开共振频率,问题的处理速度与准确性可以大大提升。

参考文献:

- [1] 王江. 变频电动机底座共振模态分析及改造案例 [J]. 中国新技术新产品, 2018(03):62-63.
- [2] 严峰. “刚柔并济”压缩机基础设计研究 [J]. 风机技术, 2015, 57(03):47-52.
- [3] 张程, 李洪臣, 张忠伟. 大型离心压缩机底座的有限元分析 [C]// 第三届中国国际透平机械学术会议论文集. 2018:1-5.
- [4] 李洪臣, 张程, 张忠伟, 等. 离心压缩机组底座模态分析技术研究 [J]. 风机技术, 2019, 61(06):74-78.

作者简介: 孙梦楠(1989.02-), 女, 汉族, 辽宁沈阳人, 博士研究生, 讲师, 研究方向: 数字信号处理、非线性动力学。