

煤矿带式输送机电机振动故障分析及处理对策

李俊 高超 赵倩曦

煤矿矸选系统带式输送机是重要生产设备之一，具有点多、线长、面宽的特点，带式输送机作为输煤系统的重要组成部分，对洗煤厂的安全运行至关重要。平宝煤业首山一矿矸选带式输送机在以往的运行中，主要依靠人工点检监测设备的运行状态，不能及时发现设备故障，导致带式输送机经常发生突发故障。自2023年安装无线监测系统以来，可实时监测设备运行状态，及时发现设备早期故障风险点，该带式输送机突发事件频次明显减少。

设备结构及参数

煤矿矸选系统带式输送机由电机、减速机及滚筒构成，结构如图1所示，设备参数为：

电机型号	YKK450-4
额定频率	50 Hz
额定转速	1 491 r/min
减速机型号	B3SH12C
减速机输入转速	1 500 r/min
减速机输出转速	46.84 r/min

电机振动故障分析

故障初步分析

矸选系统的带式输送机在运行过程中易出现电机振动过大等故障，严重影响生产正常运行。现场点检人员首先运用听棒检查各部位轴承运行声音，轴承部位无异音，进一步查看无线监测系统中电机及减速机振动幅值。在4个测点部位，分别安装由

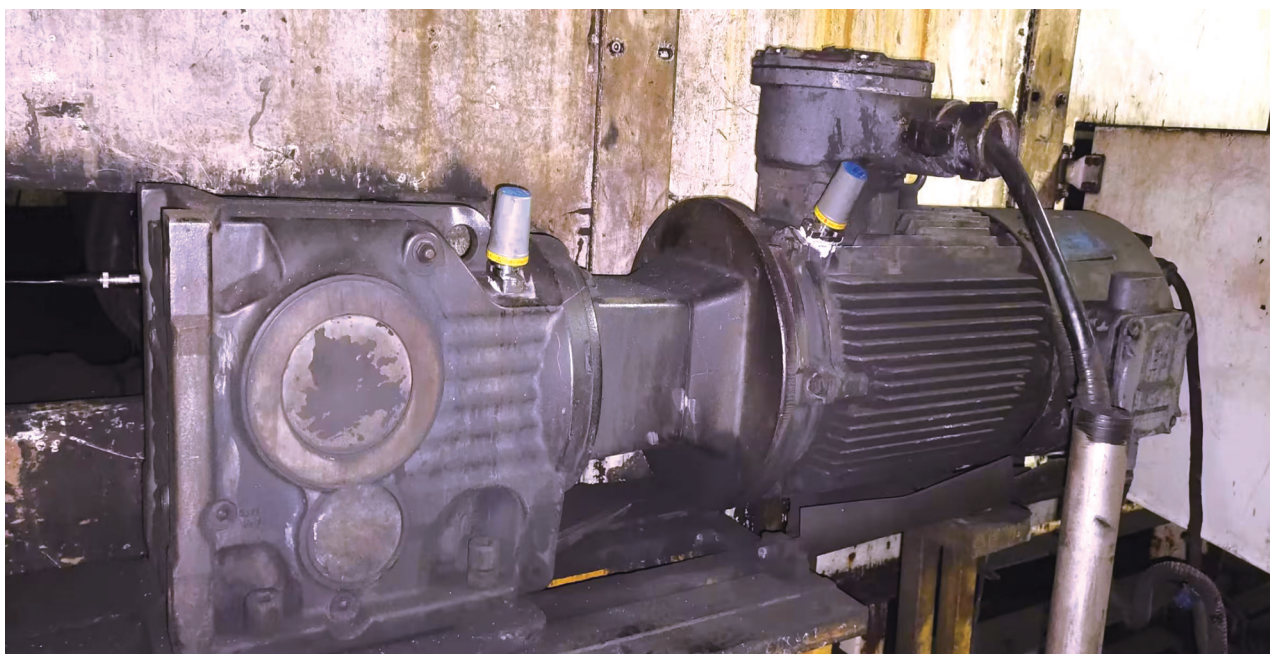


图1 带式输送机驱动电机及减速机

三轴向无线振动传感器，测量幅值见表1。

表1 振动通频值列

测点	测点布置位置	水平/ (mm·s ⁻¹)	垂直/ (mm·s ⁻¹)	轴向/ (mm·s ⁻¹)
测点1	电机非驱动侧	9.29	4.01	1.9
测点2	电机驱动侧	8.86	5.01	1.05
测点3	减速机高速轴	1.19	1.09	2.26
测点4	减速机低速轴	0.65	0.97	2.34

分析表1中振动速度有效值，电机测点部位水平和垂直方向振动幅值高，且减速机测点部位振动幅值明显低于电机测点部位振动值，说明振动主要为电机本身振动，与减速机及联轴器无关；水平振动最大而轴向振动却很小，根据电机振动特性，一般可排除联轴器不对中、连接部件磨损等故障。

分析电机测点部位振动频谱图。电机非驱动侧测点部位振动频谱如图2所示，电机驱动侧测点部位振动频谱如图3所示，分析发现振动均以电机1倍频25 Hz为主，其他频率成分幅值较低，且未发现明显的非整数倍频成分。非驱动侧水平方向1倍频幅值达11.4 mm/s，垂直方向1倍频幅值4.89 mm/s；驱动侧水平方向1倍频幅值达9.19 mm/s，垂直方向1倍频幅值5.19 mm/s。

分析电机测点部位振动解调频谱图，电机两侧测点部位各频率成分幅值均较低，电机联轴端轴承冲击解调谱如图4所示。分析电机测点部位振动解调谱可得，电机两侧测点部位冲击值均较低，且无明显冲击尖峰出现，综合以上判断电机两侧轴承无

明显故障，运行状况良好。

分析电机两侧测点部位的时域波形图，电机两侧水平方向波形为明显的正弦波形，电机驱动侧时域波形如图5所示，波形周期为电机转动周期。

以上特征符合转子质量不平衡的特征，初步判定电机转子存在质量不平衡故障。

转子不平衡原因

在理想情况下，当旋转体旋转和不旋转时，轴承压力相同。旋转体为平衡旋转体。但在实际应用中，因材料不均匀或毛坯缺陷、加工和装配误差等多种因素，包括设计中的几何不对称，旋转体存在一定程度的不平衡。即使当旋转体为静态平衡，旋转体上每个小颗粒产生的离心惯性力也不能相互抵消，从而产生不平衡的离心力，导致动态不平衡。转子不平衡是由转子部件的质量偏心或转子部件的缺陷引起的故障。转子不平衡的具体原因很多。按失衡过程可分为原始失衡、渐进失衡和突发失衡。

转子制造误差、装配误差和材料不均匀是造成原始不平衡的主要原因。如果动平衡出厂时不满足平衡精度要求，则在运行开始时会产生较大振动。不平衡是由转子不均匀结垢、介质中灰尘的不均匀沉积、介质中颗粒对叶片和叶轮的不均匀磨损，及工作介质对转子磨损造成。

不平衡原因可分为以下6类：

- (1) 转动件本身形状不对称。
- (2) 加工制造上的公差。
- (3) 组装安装不当。

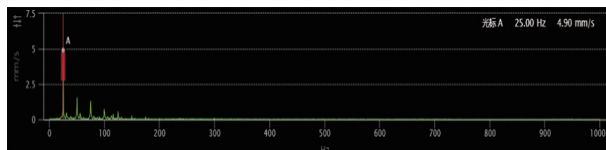


图2 电机非驱动侧振动频谱

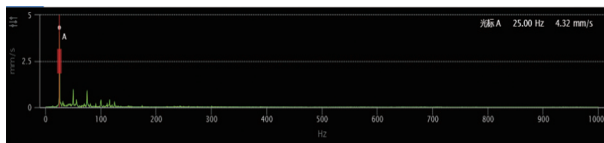


图3 电机驱动侧振动频谱

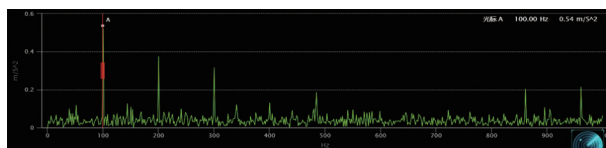


图4 电机非驱动侧振动解调频谱

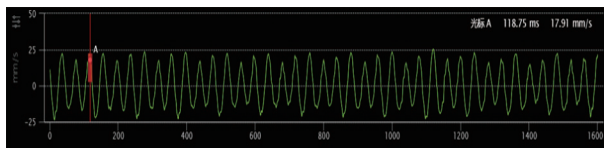


图5 电机驱动侧时域波形

(4) 转动件运转时的变形。

(5) 转动件破损磨损。

(6) 转动件附着异物。

不平衡是由于质量和几何中心线不重合（质量中心不在转轴上）导致的故障状态。不平衡的后果是增加额外负载，是设备和部件损坏的4种常见故障之一。

随着运行时间延长，振动值逐渐增大。转子零件脱落或叶轮通道内异物附着和堵塞，导致突然不平衡，机组振动值突然显著增加，然后稳定在一定水平。动不平衡会产生离心力。离心惯性力通过轴承作用在机械及其基础上，产生振动，产生噪声，加速轴承磨损，缩短机械寿命，严重时会造成破坏性事故。

据统计，约50%机械振动是由不平衡力引起。因此，改变旋转机械运动部件的重量，减小不平衡力，即平衡转子，达到允许的平衡精度水平，或将由此产生的机械振动振幅降低到允许范围内。

转子不平衡振动机理

转子故障引起振动存在多种形式，分析典型振动故障产生的原因及其对应的振动机理，转子不平衡包括转子系统的重量偏心及转子部件出现缺陷，转子偏心是由于转子的制造误差、装配误差、材料不均匀等原因造成的，为初始不平衡。转子部件缺损为转子在运行中由于腐蚀、磨损、介质结垢以及转子受疲劳力的作用，使转子的零部件（如叶轮、叶片等）局部损坏、脱落、碎片飞出等，造成新的转子不平衡。转子质量偏心及转子部件缺损是2种不同故障，但不平衡振动机理类似。

转子不平衡振动特征

转子不平衡引起振动特点是振动方向为径向，振动特征频率等于转频，转子轴承均发生较大振动，转子通过临界转速时振幅显著增大。高速时，随轴转速上升振动快速增大，振动频率与转速相等且为正弦波，在没有负荷时振动达到最大值。当转子

出现不平衡时，主要表现出以下6种特征。

(1) 振动稳定性较好，对负荷变化不敏感。

(2) 振幅不随负荷增减变化，但与转速高低相关联，随转速升高而增大。

(3) 振动频率与转速频率相等。

(4) 振动值以水平方向为最大，轴向很小。

(5) 振动相位稳定。

(6) 水平、垂直振动相位差为90°。

该输煤带式输送机电机振动值水平振动最大，振动频率为转子转速频率25 Hz，振动稳定，符合以上转子不平衡特征，因此，输煤带式输送机电机振动原因可诊断为电机转子存在不平衡故障。

检修处理

根据诊断结果进行以下3种处理对策。

(1) 冷却风扇罩

打开电机冷却风扇罩，对冷却风扇进行清灰处理，清灰后电机振动数据见表2。

表2 清灰后电机振动通频值列

测点名称	测点布置位置	水平/ (mm·s ⁻¹)	垂直/ (mm·s ⁻¹)	轴向/ (mm·s ⁻¹)
测点1	电机非驱动侧	5.23	2.87	1.33
测点2	电机驱动侧	3.75	2.44	0.76

(2) 现场动平衡矫正

清灰后振动呈下降趋势，但振动仍较大，需对电机转子进行现场动平衡校正。现场动平衡采用MS502振动分析仪，加重位置为冷却风扇轮盘，其动平衡过程见表3。

(3) 动平衡后效果

电机转子进行现场动平衡后各测点振动数据见表4。电机振动最大为0.72 mm/s，设备已经完全恢复正常。

现场动平衡的作用

通常在转子动平衡中，一般拆机将转子安装在



表3 电机现场动平衡过程

测点	电机自由端	
	振动速度或质量	相位/(°)
原始振动数据	5.11 mm/s	254
试加重	55 g	157
试重后运行	7.00 mm/s	242
计算加重量	231.4 g	108
加重后运行	2.31 mm/s	54
残余不平衡量计算	66 g	268
残余不平衡量分解	38.3 g	247
	33.0 g	292
残余不平衡校正后运行	0.51 mm/s	101

表4 振动通频值列

测点名称	测点布置位置	水平/ (mm·s ⁻¹)	垂直/ (mm·s ⁻¹)	轴向/ (mm·s ⁻¹)
测点1	电机非驱动侧	0.72	0.57	0.55
测点2	电机驱动侧	0.68	0.59	0.72
测点3	减速机高速轴	0.98	1.13	1.34
测点4	减速机低速轴	0.73	0.88	1.54

动平衡机上进行重量平衡。目前采用各种现场动平衡仪器，现场动平衡为最经济的维修手段。

现场动平衡技术是工矿企业应用广泛的实用技术。利用现场动平衡技术可在不改变设备原有安装条件（即不拆下转子）基础上，短时间内解决设备转子或轴系动平衡不良的故障状态，节省拆卸、运输、安装、维修费用。

（1）转子动平衡

运行中转子出现不平衡，特别是高速回转设备，转子不平衡是主要激振力，如风机、水泵电机、汽轮发电机组等，不平衡会带来轴承、电机、齿轮等其他设备损坏，因此转子动平衡是消除旋转设备振动的重要措施。

（2）双面平衡

转子2个校正面同时进行校正平衡，校正后的剩余不平衡量，以保证转子在动态时是在许可的不平衡量规定范围内，为动平衡又称双面平衡。

各类机器所使用的平衡（现场动平衡仪）方法较多，例如单面平衡（亦称静平衡）常使用平衡架，双面平衡（亦称动平衡）使用各类动平衡试验机。

现场动平衡仪静平衡精度低，平衡时间长，动平衡试验机较好地平衡转子本身，但当转子尺寸相差较大时，需要不同规格尺寸的动平衡机，且试验时仍需从机器上拆除转子，加大后期恢复周期。

（3）现场平衡

动平衡机无法消除由于装配或其他随动元件引发的系统振动。使转子在正常安装与运转条件下进行平衡，通常称为“现场平衡”。现场平衡可减少拆装转子的劳动量，无须动平衡机。因试验的状态与实际工作状态一致，有利于提高测算不平衡量精度，降低系统振动。

国际标准ISO1940—1973（E）“刚体旋转体的平衡精度”中规定，要求平衡精度为G0.4的精密转子，必须使用现场平衡。据统计，约50%的机械振动是由不平衡力引起。因此，改变旋转机械运动部分重量，减小不平衡力，增加转子平衡。

总 结

选矸系统带式输送机环境恶劣，易出现转子不平衡故障。当电机转子出现不平衡故障时，首先需要对电机转子进行清灰，然后对电机转子进行现场动平衡矫正。现场动平衡与对平衡机动平衡的优点为：

（1）节约维修费用。现场动平衡不需要拆机，可直接在电机冷却风扇上加重进行重量平衡，一般3~4 h可完成。

（2）现场动平衡不用把转子装在动平衡机上，动平衡效果更好。

■ 策划：李金松 编辑：刘雅清

作者简介：

第一作者：李俊，工程师，现任河南中平自动化技术总监、副总经理，主要从事智能矿山、智能工厂、煤矿安全生产等领域研究工作。E-mail: li01jun@126.com

作者单位：河南中平自动化股份有限公司