

矿井提升机常见故障问题及故障诊断方法研究

王丽慧（晋能控股集团永定庄煤业公司，山西 大同 037042）

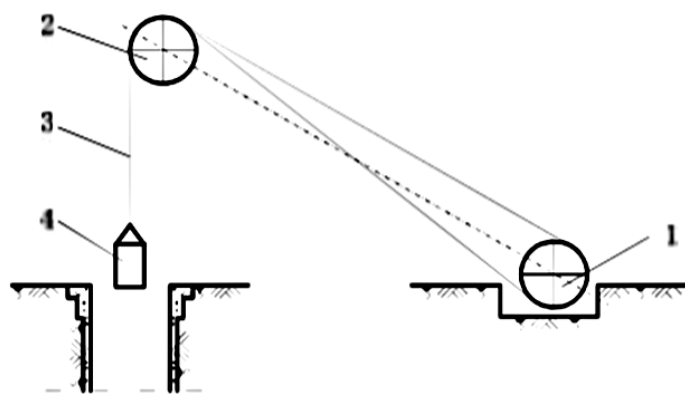
摘要：目前来看，矿井提升机作业中的主要故障问题包括齿轮故障、转子系统故障和滚动轴承故障，根据故障表现形式的不同，对矿井提升机作业效果的影响也存在一定的差异。其中，齿轮故障和转子系统故障问题对提升机设备运行安全的影响较为深远。因此，本文先分析矿井提升机的组成，再基于已有的故障问题分析有效的故障诊断方法，以期能够保障矿井提升机的作业安全。

关键词：矿井提升机；故障问题；故障诊断方法

我国现阶段的煤矿生产中所使用的设备设施量逐渐增多，其中不乏一些大型设备设施以及自动化设备设施，此类设施一旦停机，必定会带来极大的安全隐患。尤其是其中的矿井提升机在煤矿生产作业中起着举足轻重的作用，主要用于完成对矿物、设备以及人员等的井上、井下运输，一旦矿井提升机出现故障问题，不仅会影响煤矿开采效率，还会对煤矿开采人员的生命安全构成威胁。虽然，现阶段已经加强了对矿井提升机维护工作的重视，但受到施工因素和技术因素等的影响，矿井提升机事故问题仍旧存在。因此，有必要研究矿井提升机的故障诊断方法。

1 矿井提升机的组成

矿井提升机属于井下作业中的运输设备，主要用于运输煤矿、设备以及工作人员，一般将煤矿生产作业中卷筒直径超出 2m 的提升设备称之为提升机。其机械组成包括减速器、电动机和滚筒，其中的电动机属于重要的动力机构，需要先通过电动机将驱动力矩传输给减速器，再由减速器带动齿轮传动滚筒，使滚筒滚动达成上下提升的目标。本文以缠绕式双滚筒提升机为例，其主要由两个卷筒组成，一个为固定卷筒，一个为活卷筒，具体见图 1 所示。通过在每个卷筒一侧固定钢丝绳驱动卷筒滚动来达成提升目的，其中的活卷筒于下方出绳，固定卷筒由上方出绳。



1- 提升卷筒；2- 天轮；3- 提升钢丝绳；4- 提升容器

图 1 缠绕式双滚筒提升机

2 矿井提升机的常见故障问题

2.1 齿轮故障

齿轮部位的故障问题主要表现为断齿、齿面磨损、齿面疲劳损伤、齿面塑性变形等。其中，引发断齿问题的主要原因是，当齿轮运行过程中副齿轮咬合传动时主动轮与副齿轮咬合后副齿根部的弯曲应力处于最大状态。在齿轮传动过程中，如出现冲击过载现象，便极易引发齿根断裂问题，且常规运行过程中，在不发生冲击过载的情况时，齿轮根部也会由于受到大的应力影响而引发断齿问题；齿面磨损问题的主要成因是润滑油长期未进行更换，其中存在杂质或者有部分杂物进入齿轮传动系统中，导致齿轮传动过程中受到杂质磨损影响出现严重的齿面磨损现象。根据齿面磨损程度的不同，可以将齿面磨损问题细分为腐蚀磨损、磨粒磨损和烧伤等现象；齿面疲劳损伤的主要表现为齿面存在点蚀现象或者齿面部分组织脱落，主要成因在于齿轮组织在持续作业的情况下，会由于受到交变应力的影响而产生微观疲劳裂纹。此外，受到高压润滑油的作用，齿面疲劳裂纹会逐步扩大，最终导致部分小的金属点状脱落，形成小的点蚀现象。而当点蚀现象扩大后，会形成片状剥落，即齿面剥落问题。齿面塑性变形的问题集中发生在硬度较小的齿轮结构中，主要是由于硬度较小的齿轮结构受到大的应力影响时或者在与其他齿轮结构摩擦咬合的过程，由于接触应力大于齿轮材料的抗剪强度而产生的齿面塑性变形问题。此时的齿面将进入塑性变形状态，如不能及时察觉，会对整个齿轮结构的运行状态造成直接影响，严重威胁矿井提升机的提升效果和作业效率^[1]。

2.2 转子系统故障

转子系统的常见故障包括转子运动失衡、转子不对中、转子弯曲、转子碰磨和连接松动等。其中，转子运动失衡的常见表现为转子上的某一点在转子恢复静止状态时始终处于下方，这里将此种现象称之为静不平衡。转子系统属于旋转机构中转轴区域的重要构成，转子旋转机构中的运行效果与转子元件的加工工艺和装配作业质量存在直接联系，如转子加工过程中存在偏差或者存

在装配误差的现象,则会引发转子偏心距的表现。当转子偏心距过大的情况下,便会受到偏心力摩擦影响使转子局部出现磨损现象。而当转子偏心距偏小的情况下,转子转动时会受到离心力影响产生转子振动问题,我们将此种现象称之为动不平衡。对于存在转子不平衡问题的转子系统来说,其在转动过程中的离心力受到偏心距、偏心质量以及旋转速度等的直接影响,在转速固定的情况下,其离心力呈现出周期性变化,致使产生不平衡的振动频率。

转子不对中现象集中发生在轴承区域,通常表现为轴承不对中或者轴系不对中。当出现轴承不对中现象时,仅会对系统的荷载分布构成影响,并不会产生振动现象。而转子的轴系不对中则有三种常见表现,具体见图2所示,根据其表现形式的不同,对转子系统运行质量的影响也存在显著差异。

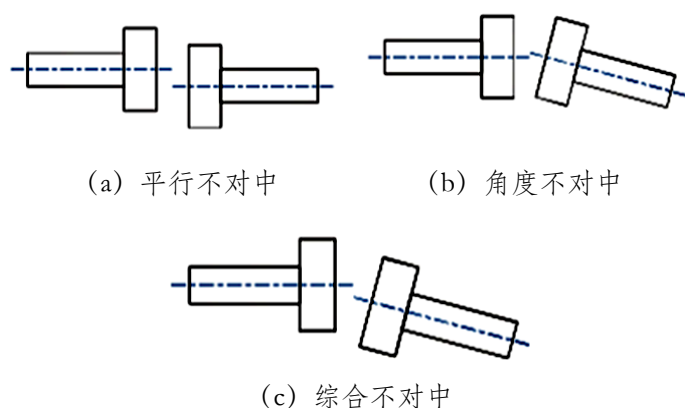


图2 轴系转子不对中的主要表现形式

转子弯曲问题,根据其弯曲形式的不同可以被细分为临时弯曲和不可恢复弯曲两种。其中的临时性弯曲主要是由于系统开机过程中,并未进行合理的预热处理,且存在突然性的荷载过大和提速过快等问题,致使转子由于受热不均匀而形成的临时弯曲反应。转子的不可恢复弯曲则是指,转子长期超负荷运转,且接触应力大于转子材料荷载能力而产生的永久性,不可恢复性的弯曲表现。与转子不平衡现象相同,转子弯曲问题也会引发转子质量偏心问题,但其作用力与转子不平衡产生的作用力恰恰相反,转子弯曲问题的产生会使轴承端部运动形式发生改变,呈现锥形运动轨迹,并形成较大的振动频率。

碰磨问题的主要成因是由于转子系统中的部分元件偏移位置,为转子自转增加一个附加力矩,致使转子在该力矩的影响下改变转动轨迹或者运动方向的一种故障表现。结合碰磨现象中的接触面积大小,可以将碰磨问题具体划分为偏磨、定点碰磨和整圈碰磨几种。从某一层面来讲,碰磨故障对转子系统的影响十分深远,不仅会影响转子运动方向,还可能增加系统运行压力或者引发非线性振动问题。

转子系统中存在很多小型的精密元件,各个转子结构需要密切配合才能保障矿井提升机的运行质量,一旦其中的部分结构出现松动现象,便会导致转子系统的元件间隙增大,进而产生机械阻尼下降的问题。在连接松动的情况下,即便是存在较小的不对中现象或者转子不平衡现象都可能使转子系统产生大的振动反应。

2.3 滚动轴承故障

滚动轴承故障的常见表现为磨损、腐蚀失效、断裂、疲劳失效和压痕。滚动轴承磨损的成因主要包括两个方面:一方面是由于轴承系统相对运动所引发的磨损现象,具体是指,轴承元件中的滚动体和保持架在轴承运动时产生的相对运动,且两者接触的情况下会形成一定的磨损损伤;另一方面,为杂物入侵磨损,主要是指外部杂物进入轴承系统或者轴承内部的相应元件形成的金属颗粒,贴附于轴承运动面上产生的磨粒磨损损伤。另外,当轴承与轴颈存在松动现象时,轴承运行过程中会使轴承座孔与轴颈之间产生磨损。

腐蚀失效的常见表现为电腐蚀、微振腐蚀和化学腐蚀,其中的电腐蚀是指较大的电流流通轴承后,在其表面形成的点蚀现象。微振腐蚀则是指,轴承运行过程中轴承套的机孔与轴颈产生较小的微运动,致使套圈与外部杂物接触所生成的锈斑。化学腐蚀是指,因酸性物质或者水进入轴承所产生的腐蚀现象。此类问题的产生极易对轴承运行质量构成威胁。

断裂问题的常见表现为,因轴承运行过程中各类原件需要承载过大的荷载,超出轴承元件自身荷载能力的情况下或者应力过于集中情况下对轴承元件构成的损伤威胁,常见表现为断裂或者出现裂纹。

疲劳失效问题,滚动轴承中的部分元件由于长期受到接触荷载的影响,会出现表面弹性变形的问题,且在表面生常疲劳裂纹。如果未对相应元件进行及时更换,继续运转滚动轴承则会使裂纹逐步增大,且多个裂纹相互贯通,产生严重的凹,这是元件疲劳失效的重要体现。

压痕指的是由于部分金属颗粒或者杂物颗粒进入滚动轴承,并且处于滚道和滚动体之间,则会在冲击作用下,使滚道或者滚动体表面形成塑性变形,产生明显的压痕。

3 矿井提升机故障问题的诊断方法

3.1 齿轮振动机理及其故障诊断方法

矿井提升机的齿轮组织结构由主动轮和从动轮共同组成,且在主动轮和从动轮上分别分布一个咬合点。从理论层面上来讲,从动轮的角速度处于持续变动状态,而当主动轮和从动轮有两个咬合点时,其只具有一个角速度。因此,咬合过程中必定会产生变力,且变力会随时间变化而发生改变。这意味着齿轮咬合振动现象不可避免,且正常运行的情况下所发生的齿轮振动现象时

域波形呈现周期性变化。而当出现齿面均匀磨损问题时,齿轮的侧齿间隙会增大,此时的时域波形将不再是正弦波,如图3所示。而当齿纹局部出现裂纹或者断齿现象时,频谱图中,轴的转动频率处于咬合频率和高次谐波之间,且转动频率出现多次高次谐波反应,具体见图4所示:

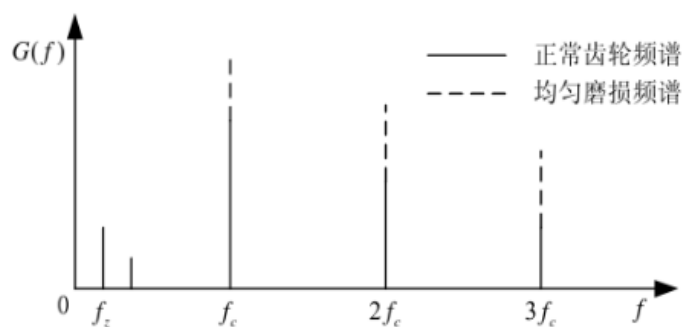


图3 齿轮均匀磨损频谱图

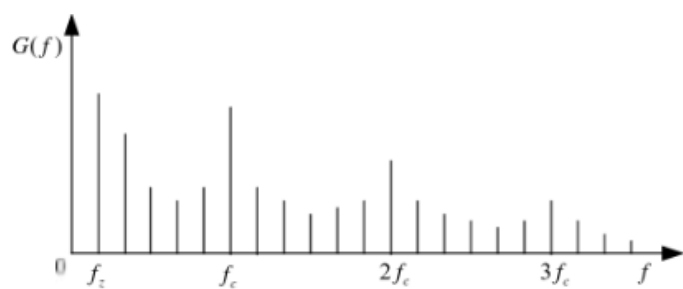


图4 齿轮局部异常频谱图

现阶段进行齿轮故障诊断时所常用的诊断方法包括功率谱分析法、边频带分析法和倒频谱分析法。其中的功率谱分析法较为适用于对大面积磨损或者点蚀问题的故障诊断作业中,但仅限于已经出现故障问题的诊断,并不能对故障隐患进行预判;边频带分析法适用于出现齿轮偏心现象或者齿轮重复旋转现象的故障诊断工作中,但边频带存在不稳定的特性,需要与前期使用的频谱图共同作用才能提高故障诊断效果;齿轮箱发生咬合故障问题时,很可能几组齿轮同时出现咬合故障,此时如果采用边频带分析法则会由于边频带的交叉现象而影响故障诊断的分辨率。此时,便可选用倒频谱分析手段,通过将谐波转化为单根谱线来强化故障诊断的准确性。

3.2 转子系统故障诊断方法

转子系统故障问题的常见诊断方法为,时域无量纲分析法,主要是通过确定峰值、脉冲、波形和峭度四种指标对比信号幅值来提高故障诊断的敏感度。研究显示,这种故障诊断对于机械运行状况不会明确显示,但会通过四项指标来反映转子系统的实际运行状况。有学者利用时域无量纲分析法,针对转子系统的研究实证中显示,当提升机的转子发生故障问题时,时域指标均有所变化,且与正常状态时的时域指标存在显著差异。其中指标变

化最为明显的是峭度和脉冲。虽然对波形指标并不敏感,但前几种指标的确定可以在一定程度上反馈转子系统运行状态,采用此种故障诊断方式来诊断转子系统故障问题十分可行。

3.3 滚动轴承振动机理及其故障诊断方法

滚动轴承由内外两圈组成,在正常运行情况下,滚动轴承很少出现振动问题,一旦滚动轴承的内外圈之间进入杂物,便会引发滚动轴承的振动现象。常见表现为滚动轴承的润滑油出现杂质或者杂物进入滚动轴承内部。一旦滚动轴承内部进入杂物且产生在滚道或者滚动体上出现压痕,便需更换滚动轴承,以提高滚动轴承运行的可靠性。滚动轴承的信号特征为内圈损伤,内圈损伤现象以裂纹和点蚀损伤为主。此时,滚动轴承侧向间歇荷载会发生变化,从而引发不规律的轴承振动现象。另外,当滚动体出现故障或者缺陷时,会在内外圈之间产生较大的冲击振动,但其振动表现以公转频率为主,其对滚动轴承系统的运行质量影响不可忽视^[2]。

针对滚动轴承故障的几种简易诊断方法包括概率密度诊断法、峭度系数诊断法和频谱诊断法等。其中的概率密度诊断法是通过对比正常信号以及故障信号的概率密度图形进行对比,根据图形之间的差异判断是否存在故障问题。而峭度系数诊断法则是先对正常运行情况下的轴承峭度值进行计算,再对轴承表面出现明显损伤时的峭度值进行计算,对比两者的差异,如存在明显差异则可判定为存在轴承故障问题,其弊端在于仅能适用于轴承外部故障的诊断作业。而频谱判断法则是基于已有的频谱图和信号对频率成分进行类比,判断有无故障问题和具体故障类型的一种故障判断手段。

4 结语

矿井提升机作为煤矿生产作业中必不可少的设备设施,其自身的运行质量和运行效果会对煤矿生产效率以及煤矿生产安全产生直接影响。因此,上文中结合已有的故障问题针对功率谱分析法、边频带分析法以及频谱诊断法等,在矿井提升机故障诊断中的应用进行分析,明确了各类故障手段的主要适用范围,确保在今后的矿井提升机作业中能够采取合理的故障诊断手段及时发现故障问题,有效提升矿井提升机的作业可靠性。

参考文献:

- [1] 崔忠. 时间序列符号化在矿用提升机故障诊断中的应用研究[J]. 能源与环保, 2019, 41(09): 132-134.
- [2] 董博. 矿井提升机减速器质量问题与故障诊断标准分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(18): 23-24.

作者简介:

王丽慧(1993-), 山西灵丘人, 女, 2017年7月毕业于辽宁工程技术大学, 本科, 助理工程师, 研究方向: 煤矿机电。