

齿轮传动装置运行状态综合监测研究

上海交通大学 王 统* 高雪官 邱良恒

【摘要】 本文提出了运行状态“综合监测”的观点,并介绍了齿轮传动装置运行过程中的温度、噪声、振动、红外光谱、铁谱和表面轮廓等方面进行综合监测的初步研究结果。

一、监测对象

为便于进行综合监测,实验研究主要在 CL-100 标准型试验机上进行。它是封闭功率流式齿轮试验机,其传动原理见图 1。

监测主要针对试验齿轮箱进行,试验齿轮 1, 2 的主要参数: Z_1 和 Z_2 的齿数和变位系数分别为 12、18 和 -0.48827、0.03447; 两者的其他参数相同,模数 6,压力角 20° ; 齿宽 15mm,中心距 91.5mm。试验齿轮箱中采用 C 级精度的 406 型滚动轴承,齿轮为浸浴式润滑,润滑油为 18 号防锈双曲线齿轮油等,在试验中还采用了含其他复合配方添加剂的润滑油以改善齿轮抗胶合耐磨损性能。

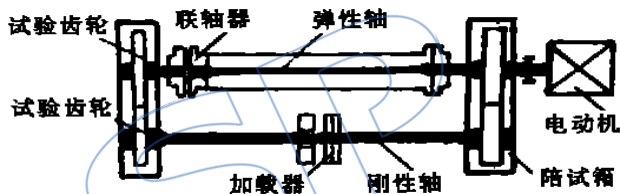


图 1 齿轮试验台简图

试验前,根据有关规范制订了运行状态监测试验大纲。主要试验条件如下: (1) 试验机输入轴转速保持恒定 $n = 1450 \text{ r/min}$; (2) 按规范规定对齿轮逐级加载,每次加载后稳定运转,载荷逐级递增,直至齿面发生损伤或达到试验机允许最高载荷级 (12 级); (3) 其他操作细节严格按照国际通用的试验规范进行。

二、主要监测方法及实测结果

本项目研究在温度、噪声、振动、红外光谱、铁谱和表面轮廓等六个方面对齿轮传动装置的运行情况进行了综合监测。主要监测方法和实测结果如下:

1. 温度监测 机械设备运转过程中的温度变化情况对关键零部件乃至整个设备都十分重要,油温或摩擦工作表面温度过高都可能导致设备或关键元件损坏,特别是对于在高速重载条件下工作的机械元件很可能突然发生胶合损伤,引起重大事故。因而进行温度监测更有意义。这里主要介绍摩擦工作表面温度和油温监测两方面。

摩擦工作表面温度测量主要可用以下几种方法: 埋入式热电偶法、数字式温度计法、动

态热电偶法、薄膜传感器法、红外测温法和氮化测温法等。而油温的监测一般可用普通温度计或多点温度巡回检测仪^[1]。本项研究中对油温的监测采用 XWDI 型多点温度巡回检测仪和 XM X 型数字温度计,前者便于自动记录运行过程中各种载荷级下的温度变化曲线(如图 2 所示),而后者便于在停机后直接测量油温和齿面温度。

在 M20 试验机上,主要采用埋入热电偶—XY 记录仪,HD-400 红外测温仪和数字式温度计法三种方法同时监测表面温度,所得结果十分接近,可见它们都是测量摩擦工作表面的有效方法。对比可知:红外测温法最灵敏;数字式温度计法使用方便;拖尾热电偶法便于随时记录和监测,三种方法各有所长,实际测得的“表面温度—载荷关系曲线”见图 3。

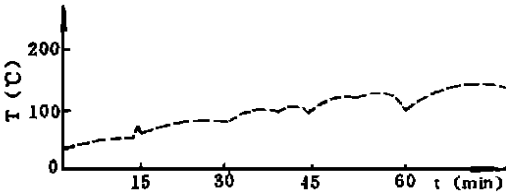


图 2 实测温度变化曲线

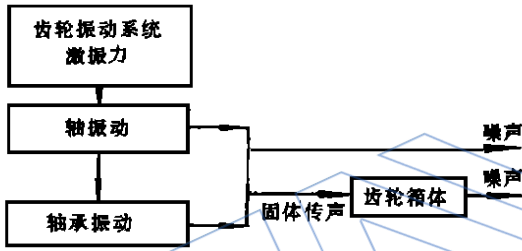


图 4 齿轮箱振动噪声产生机理

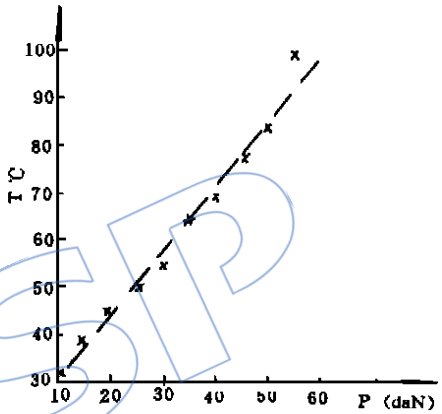


图 3 温度、载荷关系曲线 (45# 钢)

2. 噪声监测 机械传动装置中的噪声主要来源于齿轮,在运转过程中轮齿受载发生弹性变形、啮入啮出时轮齿刚度变化以及制造误差等原因所引起齿轮系统激振导致轴和箱体振动而产生噪声。其发生的机理如图 4 所示。

采用声级计可以对机械传动装置的噪声进行监测,本项研究采用 ND6 型脉冲精密声级计对齿轮箱噪声连续监测。声级计位于沿水平方向距箱体 1 米处,齿轮转速恒定,按载荷级逐级加载并记录相应噪声级的分贝数。测得数据如表 1 所示。实测分析表明:在齿面发生胶合后声级和声频都有所变化。

表 1 不同载荷级下齿轮传动装置的噪声

载荷级	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
噪声 (dB 数)	85	85	87.5	90	92	94	95.5	97	98.5	101

3. 齿轮箱振动监测 齿轮箱运行过程中产生振动的机理已在图 4 中示出,为监测其振动状况,在箱体侧壁上设置加速度传感器,并用 PEAC-SR-20C 型磁带记录仪记录振动信号,经 B&K 3582 谱分析仪初步分析,并打印出谱图如图 5 和图 6 所示。

对比图 5、图 6 可见在齿面发生胶合损伤前后振动频谱有很大差异,据此可监测并判断齿面胶合的发生。

4. 齿面状况监测 轮齿工作表面的状况可以用轮廓仪进行测量, 从而可以了解在不同工况下齿轮运转一段时间后其表面磨损情况以及是否发生了胶合损伤等。采用 B&K3910 表面轮廓仪, 在运转前先用轮廓仪测量并记录齿面粗糙度, 经加载运转一段时间后再次进行测量, 对比前后粗糙度的变化情况 (详见表 2), 可见当胶合发生后, 齿面粗糙度急剧上升。

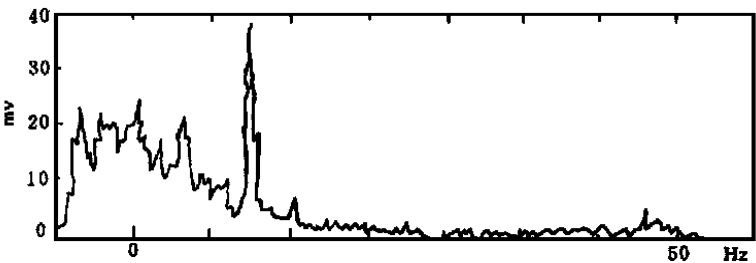


图5 加载 5 级 (齿面未发生胶合)

由此可见, 根据对齿面状况及粗糙度的监测可判断磨损、胶合或其他表面损伤的发生。

5. 铁谱分析监测 铁谱分析是一种实用、有效的油样分析方法。它主要根据油样残渣沉淀带来的信息分析判断机械元件的磨损程度。本项试验研究主要针对齿轮磨损和胶合现象进行初步的铁谱分析监测。

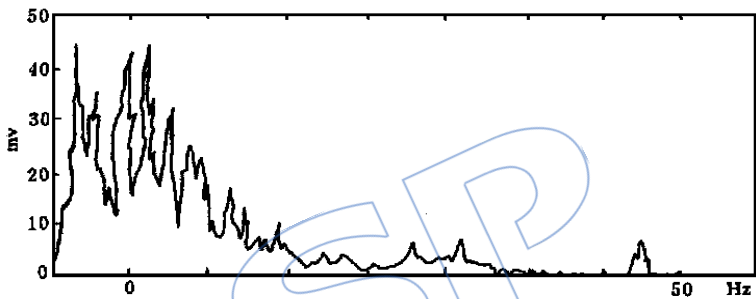


图6 加载 9 级 (齿面已发生胶合)

在监测过程中, 分别在不同的加载级下按严格规定采集油样标本, 经适当稀释处理后在 TPD- 2 型直读式铁谱仪上进行分析, 实测结果由计算机打印成磨损剧烈指数—载荷级关系曲线, 其中之一如图 7 所示。图中横坐标表示被监测齿轮承受的载荷级, 纵坐标表示磨损剧烈指数 I_s 。由图 7 可见当载荷达到 6 级之后, 轮齿磨损显著加剧。试验研究表明不同油品添加剂对耐磨损抗胶合性影响很大。

表 2 用轮廓仪测轮齿表面的结果

齿轮号 (小齿轮)	油及添加剂	工作表面粗糙度		表面状况与载荷级
		运转前	运转后	
6	# + №. 7	1.5μ	0.9μ	表面磨损 (12 级)
2	# + T ₁	1.5μ	0.9μ	表面发黄 (12 级)
1	# + T ₁	1.4μ	4.5μ	表面胶合 (9 级)

磨损剧烈指数—载荷级关系曲线, 其中之一如图 7 所示。图中横坐标表示被监测齿轮承受的载荷级, 纵坐标表示磨损剧烈指数 I_s 。由图 7 可见当载荷达到 6 级之后, 轮齿磨损显著加剧。试验研究表明不同油品添加剂对耐磨损抗胶合性影响很大。

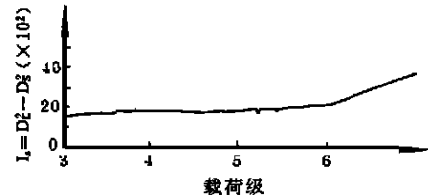


图 7 磨损剧烈指数、载体关系曲线

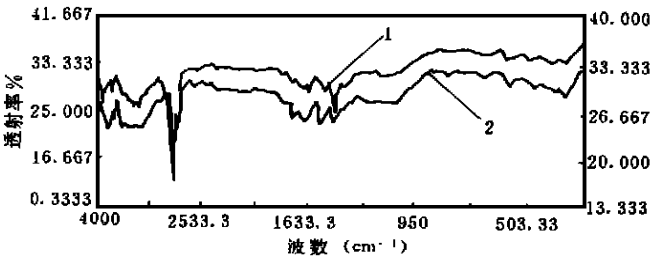


图 8 表面薄层 IR 谱

6. 红外光谱分析监测 红外光谱是进行表面分析的重要方法, 可以对轮齿工作表面或其他摩擦工作表面的化学反应生成物“薄层”进行分析。可以了解金属表面与油品添加剂发生化学反应的情况, 进而监测表面磨损、胶合或其他类型表面损伤是否发生。

本项研究以若干性能较优良的油品添加剂或复合配方添加剂为对象, 试件材料为 18CrNiWA, 20CrNi4A, 均经表面渗碳淬硬处理, 试验分别在 C1-100 齿轮试验机和 M20 摩擦磨损试验机上进行。为进行对比, 先将未经运转的试件浸入试验用油样中若干小时, 然后清洗烘干, 用 PE-983 红外分光光度计做出表面薄层的 IR 光谱, 以此为对比基础。

当试件按预定加载规范运转一定时间达到一定表面温度后拆下, 在超声波清洗机中用丙酮清洗、烘干, 然后再用红外分光光度计进行检测, 可见原来油品添加剂 IR 谱的特征峰消失而出现了新的特征峰, 这说明金属表面与油品添加剂发生了化学反应, 生成了新的反应物(见图 8), 根据 IR 谱的特征峰可以定性地判断生成物的主要成分。

然而, 当试件所受负荷进一步升高, 表面温度达到相当高程度时, 元件表面以化学反应生成物为主要成分的“表面薄层”受损, 试件表面发生胶合擦伤, 这时将试件拆下清洗烘干再做红外光谱分析可见特征峰又有新的变化(见图 8), 说明发生了新的化学反应, 又有新的反应生成物产生。

对比表面薄层生成前后, 表面薄层损伤前后的 IR 谱可见有明显的差异, 限于篇幅不可能对试验所得大量 IR 谱作详细分析。然而上述典型实例表明, 采用红外光谱分析不但可以研究金属表面与油品添加剂反应生成物薄层的组成而且可用来监测表面薄层的变化, 从而判断表面损伤是否发生。我们认为红外光谱分析应用于表面监测是一种有效而精细的监测方法。

三、结 束 语

不论从分析研究还是实际应用两方面看, 上述监测方法都是很有价值的, 不但对进一步研究表面损伤机理有重要学术意义, 而且对发展机电设备, “运行状态综合监测”有着实用价值。

文献报导所见, 以往大多为单项或双项监测的结果。如若采用如上所述的综合性运行状态监测, 则可以防止片面性, 使机电设备运行状态的分析、判断准确性和可靠度提高, 这无疑对保证重大设备的可靠运行具有重要意义。

由上述初步探讨可见, 综合监测方法不仅可以适用于一般机械传动装置, 更可推广应用于航空、舰船、车辆、石油化工、冶金、矿山等广泛领域。希望在主管部门和工矿企业大力支持下, 充分发挥高等工业院校多学科交叉的综合优势, 共同努力推动机电设备运行状态综合监测技术的发展及其在国民经济各部门中的推广应用。

参 考 文 献

- [1] Dudley, D. W., “Gear Technology Part , Present and Future”, Proceedings of International Conference on Gearing Vol. , 1988, 11.
- [2] 王统、李佑俭等, “蜗杆传动装置运行状态综合监测研究”, 《全国第二届齿轮动力学学术会议》论文集, 1991, 4.

COMPREHENSIVE CONDITION MONITORING OF GEAR OPERATION

Wang Tong, Gao Xueguan, Qiu Liangheng
(*Shanghai Jiaotong University*)

ABSTRACT

The comprehensive condition monitoring has been proposed by the authors with six kinds of condition monitoring methods: temperature, vibration, noise, ferrography, infrared spectrum and surface roughness. The research on combined application of these methods has been conducted on a gear test machine (Type CL-100) to develop the technique, method, theory and application of the comprehensive condition monitoring. The comprehensive condition monitoring research is integrated with the pull life experiment. Some of primary experimental results given in this paper show that the comprehensive condition monitoring with the various methods is much better than that only with one or two methods, especially for monitoring all forms of machine component surface damage such as pitting, wearing and so on.

AN EQUIVALENT WEIBULL DISTRIBUTION METHOD FOR MECHANICAL RELIABILITY ANALYSIS

Wu Lian, Liu Geng, Wang Buyang
(*Northwestern Polytechnical University*)

ABSTRACT

A new reliability analysis method is presented which is called quasi-pure-probabilistic method (QPPM). On the basis of the present method, equivalent Weibull distribution method (EWM) is established for the reliability analysis of machine elements. Weibull distribution can express different distribution forms, so it is a more suitable method to describe random parameters with different distribution forms in mechanical reliability analysis. The calculation accuracy of the EWM is higher than that of the equivalent normal distribution method (ENM) in reliability prediction. The present method is intelligible in concept, convenient in use, and has more important significance for reliability prediction of mechanical products with higher reliability requirements.

PREDICATION OF FASTENING CAPACITY OF SCREWED JOINT STRUCTURE WITH CONE ASSEMBLY

Dong Benhan and Gao Pengfei
(*Shenyang Aeroengine Research Institute*)

ABSTRACT

Assembly and cone assembly are employed between jointed parts for meeting the requirement of self-centring. The fastening capacity of rotator screwed joint with cone assembly can not be calculated according to traditional method, because it is not only related to elastical deformation of jointed parts but also to friction condition and slide condition between contact cone surface under simulation conditions of the geometry and assembly technique. A model test has been conducted to research the mechanical behaviour of the jointed parts in assembling and loading process. The load-deformation relation of jointed parts reveals the difference between the plane assembly and the cone assembly. The relation of the former is linear and that of the latter nonlinear. In this research the loose condition of joint structure was defined experimentally as that the strain of cone parts equals to zero and the correlated load is named for loose load (or bearing capacity). Based on the test results the cone assembly jointed structure increases loose load owing to the friction factor. We have