

李世琮 张展 秦立高 编著



机床现代诊断技术

机械工业出版社

机床现代诊断技术

李世琮 张 展 秦立高 编著



机械工业出版社

01291/14
图书在版编目 (CIP) 数据

机床现代诊断技术/李世琮等编著. —北京: 机械工业出版社,
1997.6

ISBN 7-111-05560-8

I. 机… II. 李… III. 机床-故障诊断-技术 N. TG502.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 02364 号

出 版 人: 马九荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 刘小慧、张亚秋 版式设计: 冉晓华

责任校对: 刘 茹 封面设计: 姚 毅 责任印制: 卢子祥

三河市宏达印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

1997 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂ · 7.125 印张 · 184 千字

0 001— 3 000 册

定价: 12.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

机床现代诊断技术是一门近 20 多年来发展起来的新学科。它是随着机床不断地完善、复杂和自动化程度的提高而发展起来的。所谓诊断,就是对机床的运行状态作出判断。机床在运行过程中内部零件受到力、热以及摩擦、磨损等多种作用,其运行状态不断变化,一旦发生故障,往往会导致严重的后果。因此,必须在事故发生之前就查明并加以消除,即必须在机床运行过程中对机床的运行状态及时作出判断,采取相应的措施,以提高机床运行的可靠性,进一步提高机床的利用率。

此外,在现代化机床制造业中,已出现了在监视和诊断机床运动精度的同时,实行运动部件或热变形的补偿控制,以提高精度的趋势。因此,今后机床的精度诊断不单纯是消极地防御,即维持或恢复原有的精度,而是积极地提高现有机床精度的潜力。

本书分别论述了机床的诊断方法以及常用仪器。同时,还介绍了机床精度检验通则(JB2670—82),供使用者参考。

本书供机械工程技术人員、维修技术工人等参考应用,也可作为大专院校机械专业师生的教学参考书。

由于作者水平有限,书中不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作者

1996 年 12 月

目 录

前言

1 机床现代诊断技术	1
1.1 机床故障诊断的内容和方法	1
1.2 诊断信息的来源及获取	2
1.3 机床故障诊断的类型	3
2 常用的诊断技术	5
2.1 实用诊断技术的应用	5
2.2 机床异响的诊断	8
2.3 207 电子听诊器诊断机床故障	9
2.4 油液光谱分析在机床监测中的应用	13
2.5 应用模糊数学进行滚齿机故障诊断	17
2.6 机床的振动监测诊断	24
2.7 用噪声谱分析技术监测诊断齿轮磨损	30
2.8 用系统方法进行设备的状态监测与故障诊断	36
2.9 故障诊断的专家系统及发展趋势	38
2.10 FS 刀具传感器的应用	41
2.11 工业用内窥镜	42
2.12 用 γ 射线监测零件的磨损	45
2.13 齿轮的诊断技术	49
2.14 滚动轴承的诊断技术	66
3 常用诊断仪器	113
3.1 温度测试仪器	113
3.2 振动测试仪器	116
3.3 油液分析仪器	120
3.4 其他诊断仪器	131
4 金属切削机床精度检验通则 (JB2670—82)	147
4.1 引言	147
4.2 总则	147

4.3 检验前的准备工作.....	153
4.4 工作精度检验.....	154
4.5 几何精度检验.....	155
4.6 特殊检验.....	190
附表	196
金属切削机床统一名称和类、组、系的 划分（摘自 JB1838—85）	196
参考文献	219

1 机床现代诊断技术

机床现代诊断技术是一种了解和掌握现代机床设备在使用过程中的状态,确定其整体或局部是否正常,早期发现故障及其原因,并能预报故障发展趋势的技术。通俗地说,它是一种给机床设备“诊治”的技术。

“诊断”系医学上的术语。由于人们对医学诊断比较熟悉,所以常借用医学上的术语作比喻,其实它们之间确有不少相似之处。例如,医生用听诊器听病人的心音,这与机床设备诊断时用测振仪进行振动监测相比,两者在原理、方法和所使用的传感器十分相似。表 1-1 中列出了两者的对比。

表 1-1 机床设备诊断与医学上诊断的对比

医学诊断方法	机床设备诊断方法	原理及特征信息
中医:望、闻、问、切 西医:望、触、扣、听、嗅	听、摸、看、闻	通过形貌、声音、温度、颜色、气味的变化来诊断
听心音、做心电图	振动与噪声监控	通过振动大小及变化规律来诊断
量体温	温度监测	观察温度变化
验血、验尿	油液分析	观察物理化学成分及细胞(磨粒)形态的变化
量血压	应力应变测量	观察压力或应力变化
X射线、超声波检查	非破坏性监测 (裂纹)	观察内部机体缺陷
问病史	查阅技术档案资料	找规律、查原因、作判别

机床监测诊断技术方法很多,而且还在不断发展之中。

1.1 机床故障诊断的内容和方法

机床在运行过程中,内部零件受到力、热以及摩擦、磨损等多种作用,运行状态不断变化,一旦发生故障,往往会导致不良

的后果。因此，必须在事故发生以前就查明，并加以消除，即必须在机床运行过程中，对机床的运行状态及时作出判断，采取相应的措施。运行状态异常时，必须停机检修，或停止使用；运行状态正常时，则可继续运行，这样就大大提高了机床运行的可靠性，进一步提高机床的利用率。

因此，机床故障诊断学是识别机床或机组运行状态的科学，研究的是机床或机组运行状态的变化在诊断信息中的反映。它的研究内容包括对机床运行状态的识别、预测和监视的三个方面内容。

在分析识别理论中，首先要明确区分所要识别的状态，提出诊断的对象；其次是要选择检测的特征，确定这些特征和机床状态之间的关系；第三要提出决策规则。通常，机床的状态是事先规定的，判断状态是否正常需要相应地选择一组检测特征。

1.2 诊断信息的来源及获取

机床在运行过程中获得信息的常用方法，有直接观察法、振动噪声检测法、磨损残留物检测法、运行性能检测法等。

(1) 直接观察 对机床进行直接观察，可获得零件状况的第一手资料，操作人员根据积累的经验可以直接对机床状态作出判断。但 this 方法是较粗略的定性方法，只适用于能直接观察到的机床零件。

(2) 振动和噪声的测量 机床在运行过程中的振动和噪声是诊断的重要信息，反映了机床的状态。振动的测量可分三个步骤：首先是总的噪声或振动强度测定，用以初步判断机床运行是否存在问题；其次是频谱分析，用来进一步判断机床中问题发生在什么环节上；第三是采用一些特殊技术，对特定的零部件，例如齿轮传动链、滚动轴承等进行深入分析。

(3) 磨损残余物的测量 机床的零件，如齿轮、轴承等在运行过程中的磨损残余物可在润滑油中找到。测定的方法有三种，一是直接检查残余物，以及测定油膜间隙内电容或电感的变化、润滑油混浊度的变化等方法，可迅速地获得零件失效的信息；二是残余物的收集，如采用磁性探头、特殊的过滤器等收集齿轮、滚

动轴承等工作表面疲劳引起的剥落；三是油样分析，可以确定其中某一零件的磨损。

(4) 整机性能测定 指测量机床的输出或输出与输入的关系来判断机床的运行状态是否正常。

(5) 零件性能测定 主要用于对机床可靠性起决定性影响的关键零件。零件的状况主要是依靠直接观察、振动与噪声测量、以及磨损残余物测定等方法，对特定零件的状态还需有一些特殊的方法来确定。

1.3 机床故障诊断的类型

由于机床运行的状态千差万别，工作条件又各不相同，对机床进行故障诊断可分为如下几种类型。

(1) 功能诊断和运行诊断 功能诊断是针对新安装或刚维修后的机床，需要检查它们的运行工况和功能是否正常，并且按检查的结果对机床进行调整。

(2) 定期诊断和连续监控 定期诊断是每隔一定时间（一个月或数月）对工作状态下的机床进行常规检查，例如主轴轴承的振动情况。而连续监控则是采用仪表和计算机信息处理系统对机床运行状态进行监视或控制。

(3) 直接诊断和间接诊断 直接诊断是直接确定关键零件的状态，如主轴轴承间隙、齿轮齿面磨损等。间接诊断是通过二次诊断信息间接判断机床中关键零部件的状态变化。

(4) 常规工况下诊断和特殊工况下诊断 多数诊断在机床正常工作条件下就能进行，只有个别情况下需要创造特殊的工作条件来获得信息。如利用起动和停车过程的振动信号作出的瀑布图，常包含着许多在常规诊断中所得不到的诊断信息。

(5) 机床精度诊断 一般机械设备的故障诊断，多着眼于因部件零件的破损、磨损、接触不良、泄漏、尘埃吸附等原因引起的工作异常。机床是工作母机，其工作能力是由加工精度和加工表面粗糙度两项指标来衡量的，机床的加工精度和加工表面粗糙度主要由零件的运动精度来保证实现，所以要诊断的主要是造成

机床加工精度下降的某些零部件的精度性故障。所谓精度诊断,是通过机床运转的动态物理量的测试,对各种模拟量作数理处理与分析,拿出能表明设备性能的特征参数,从而找出设备的内在故障并评定其实际工作能力。

用精度诊断法辅助机床维修,其优越性如下:

1) 变过去的全拆、全修方法为针对性修理,方向明确,工作量减少,工人劳动强度下降,修理质量提高,周期缩短。

2) 用数据决定某些昂贵的关键零件是否需要更换或修复,以减少修理工作量和费用。

3) 由于精度诊断提供了机床的实际精度数据,为应用计算机对设备进行动态管理提供了条件,确定重点监测机床及监测部位,定期测量并进行数据分析。各种数据以曲线、图表存档,测量结果存于磁盘内。一机一张磁盘,可根据积累数据的变化,确定机床的修理计划。

2 常用的诊断技术

2.1 实用诊断技术的应用

由维修人员的感觉器官对机床进行问、看、听、触、嗅等的诊断,称为“实用诊断技术”。这种诊断技术均凭个人的工作经验,多半处于分散状态。把广大机床维修工作者多年的实际诊断技术总结出来加以整理,对机床故障的技术诊断,将是十分有益的。现将实用诊断技术的具体应用作一介绍。

(1) 问 就是询问机床故障发生的经过,弄清故障是突发的,还是渐发的。一般操作者熟知机床性能,故障发生时又在现场耳闻目睹,所提供的情况对故障的分析是很有帮助的。通常应询问下列情况:

- 1) 机床开动时有哪些异常现象;
- 2) 对比故障前后工件的精度和表面粗糙度,以便分析故障产生的原因;
- 3) 传动系统和走刀系统是否正常,出力是否均匀,切削深度和走刀量是否减小等;
- 4) 润滑油品牌号是否符合规定,用量是否适当;
- 5) 机床何时进行过保养检修等。

(2) 看 通常要进行六看:

1) 看转速 观察主传动速度的变化,带传动的线速度变慢,可能是传动带过松或负荷太大。对主传动系统中的齿轮、飞轮,主要看它是否跳动、摆动;对传动轴主要看它是否弯曲或晃动。

2) 看颜色 如果机床转动部位,特别是主轴和轴承运转不正常,就会发热。长时间升温会使机床外表颜色发生变化,大多呈黄色。油箱的油也会因温升过高而变稀,颜色变样;有时也会因久不换油、杂质过多或油变质而形成深黑色。

3) 看伤痕 机床零、部件碰伤损坏部位很容易发现。若发现

裂纹时，应作一记号，隔一段时间后再比较它的变化情况，以便进行综合分析。

4) 看工件 从工件来判别机床的好坏。若车削后的工件表面粗糙度 R_a 数值大，主要是主轴与轴承之间的间隙过大，溜板、刀架等压板楔铁有松动，以及进刀机构传动部件有松动或进刀光杠弯曲等原因所致。若是磨削后的表面粗糙度 R_a 数值大，这主要是主轴或砂轮动平衡差、机床出现共振以及工作台爬行等原因所引起的。若工件表面出现波纹，则看波纹数是否与机床主轴传动齿轮的齿数相等。如果相同，则证明主轴齿轮啮合不良是故障的主要原因。

5) 看变形 主要观察机床的传动轴、丝杠和光杠是否变形，如观察直径大的飞轮、带轮和齿轮的端面是否跳动。

6) 看油箱与冷却箱 主要观察油或冷却液是否变质，确定其能否继续使用。

(3) 听 用以判别机床运转是否正常。一般运行正常的机床，其声响具有一定的音律和节奏，并保持持续的稳定。机械运动发出的正常声响大致可归纳为以下几种：

1) 一般作旋转运动的机件，在运转区间较小或处于封闭系统时，多发出平静的“嚶嚶”声；若处于非封闭系统或运行区间较大时，多发出较大的蜂鸣声。各种大型机床和包含多种机械运动的机组，则产生低沉而振动声浪很大的轰隆声。

2) 正常运行的齿轮副，一般在低速下无明显的声响；链轮和齿条传动副一般发出平稳的“唧唧”声；直线往复运动的机件，一般发出周期性的“咯噔”声；常见的凸轮顶杆机构、曲柄连杆机构和摆动摇杆机构等，通常都发出周期性的“嘀嗒”声；多数轴承副一般无明显的声响，但借助传感器（通常用金属杆或螺丝刀）可听到较为清晰的“嚶嚶”声。

3) 各种介质的传输设备产生的输送声，一般均随传输介质的特性而异。如气体介质多为“呼呼”声；流体介质为“哗哗”声；固体介质发出“沙沙”声或“阿罗阿罗”声响。

掌握正常声响及其变化,并与故障时的声音相对比,是“听觉诊断”的关键。下面介绍几种一般容易出现的异声:

①摩擦声 声尖锐而短,常常是两个接触面相对运动的研磨。如带打滑或主轴轴承及传动丝杠副之间缺少润滑油,均会产生这种异声。

②泄漏声 声小而长,连续不断,如漏风、漏气、漏水等。

③冲击声 音低而沉闷,如气缸内的间断冲击声,一般均是由于螺栓松动或内有其他异物碰击。

④对比声 用手锤轻轻敲击来鉴别零件是否缺损。有裂纹的零件敲击后发出的声音就不那么清脆。

(4) 触 用手感来判别机床的故障,通常以下列几方面来鉴别。

1) 温升 人的手指触觉是很灵敏的,能相当可靠地判断各种异常的温升,其误差可准确到 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。根据经验,当机床温度在 0°C 左右时,手指感觉冰凉,长时间触摸会产生刺骨的痛感; 10°C 左右时,手感较凉,但可忍受; 20°C 左右时,手感到稍凉,随着接触时间延长,手感潮湿; 30°C 左右时,手感微温有舒适感; 40°C 左右时,手感如触摸高烧病人; 50°C 以上手感较烫,如掌心扣的时间较长可有汗感; 60°C 左右时,则手感很烫,但可忍受10s左右; 70°C 左右时,手感有灼痛感,且手的接触部位很快出现红色; 80°C 以上时,瞬时接触手感“麻辣火烧”,时间过长,可出现烫伤。为了防止手指烫伤,应注意手的触摸方法。一般先用右手并拢的食指、中指和无名指指背中节部位轻轻触及机件表面,断定对皮肤无损害后,才可用手指肚或手掌触摸。

2) 振动 轻微振动可用手感鉴别,至于振动的大小可找一个固定基点,用一只手去同时触摸便可以比较出振动的大小。

3) 伤痕和波纹 肉眼看不清的伤痕和波纹,若用手指去摸则很容易的感觉出来。摸的方法是:对圆形零件要沿切向和轴向分别去摸;对平面则要左右、前后均匀去摸。摸时不能用力太大,只轻轻把手指放在被检查面上接触便可。

4) 爬行 用手摸可直观的感觉出来,造成爬行的原因很多,常见的是润滑油不足或选择不当,活塞密封过紧或磨损造成机械摩擦阻力加大,以及液压系统进入空气或压力不足等所致。

5) 松或紧 用手转动主轴或摇动手轮,即可感到接触位的松紧是否均匀适当,从而可判断出这些部位是否完好可用。

(5) 嗅 由于剧烈摩擦或电器元件绝缘破损短路,使附着的油脂或其他可燃物质发生氧化蒸发或燃烧产生油烟气、焦糊气等异味。应用嗅觉诊断的方法可收到较好的效果。

上述实用诊断技术的主要诊断方法,实用简便,相当有效。

2.2 机床异响的诊断

机床在运行中发出均匀、连续而轻微的声音,一般认为是正常的。如果声音过大,或夹有金属的敲击声、摩擦声等,则表明机床运转的声音不正常,称作噪声或异响。

异响主要是由于机件的磨损、变形、断裂、松动和腐蚀等原因,致使在运行中发生碰撞、摩擦、冲击或振动所引起的。有些异响,表明机床中某一零件产生了故障;还有些异响,则是机床可能发生更大事故性损伤的预兆。因此,对机床异响的诊断是不可忽视的。

(1) 首先确定应诊的异响 诊断机床异响,应考虑新旧机床的不同特点,新机床由于技术状况比较好,运转过程中一般无杂乱的声响,一旦由某种原因引起异响时,便会清晰而单纯地暴露出来,因而便于分析诊断;对于旧机床而言,由于自然磨损,技术状况渐趋恶化,各运动件之间的间隙加大,致使运行期间声音杂乱,所以应当首先判明,哪些属于必须予以诊明并排除的。

(2) 根据机床运行状态确诊异响部位 机床是由很多零部件连接为一个整体的,运转中一个零件所产生异响,就会传导给其他零部件,这就容易混淆故障的真实部位。这时,可根据机床的运行状态,确定异响部位。例如,机床变速箱产生异响,可根据不同排挡的声响程度来判断异响发生的部位。

(3) 根据声响特征确诊异响零件 机床的异响,常因发响零

件的形状、大小、材质、工作状态和振动频率不同而声响各异，如在实践中能用心分析所接触的各种异响，即可掌握其规律。

(4) 根据异响与其他故障的关系进一步确诊或验证异响零件 同样的声响，比如同样是冲击声，其高低、大小、尖锐、沉重、脆哑等不一定相同，而且每个人的听觉也有差异，所以仅凭声响特征确诊机床异响的零件，有时还不够确切，这时，可根据异响与其他故障征象的关系，对异响零件进一步确诊与验证。

1) 异响与振动 机床有异响存在时，其异响零件就会产生振动，而且振动频率与异响的声频将是一致的。据此便可进一步确诊和验证异响零件。如对于动不平衡引起的冲击声，其声响次数与振动频率相同。根据两者间的关系，来查找和确诊由于动不平衡而发出冲击声的零件，比较方便、有效。

2) 异响与爬行 在液压传动机床里，若液压系统内有异响，且工作台伴有爬行，则可证明液压系统混有空气。这时，如果在液压泵中心线以下还有“吱嗡、吱嗡”的噪声，就可进一步确诊是液压泵吸空导致液压系统混入空气。

3) 异响与发热 有些零件产生故障后，不仅有异响，而且发热，滚动轴承就是最典型的。如果某一轴上有两个轴承，其中有一个轴承产生故障，运行中发出“隆隆”声，这时只要用手一摸，就可确诊，发热的轴承即为损坏了的轴承。

2.3 207 电子听诊器诊断机床故障

207 电子听诊器适用于现场检修人员对机器运行状态的在岗监测，可为精密诊断和趋势分析提供数据，是最基本的现代测试工具。

(1) 原理与特点 机床运转时发生的振动一般用加速度、速度和位移表示，而且它的频谱也具有特征形状。这种频谱即振动幅值-频率谱，通常称为机床的振动特征。处于正常状态的机床具有典型的频谱，但当机床磨损、基础下沉、部件变形时，机床原有的振动特征将发生变化，并通过机床振动能量的增加反映出来。所以，振动反映了机床的状态。通过监测和分析机床的振动信号，

有可能判断机床发生故障的部位和严重程度。

207 电子听诊器正是利用对机床振动特征及振动量的检测来判断故障的，其工作原理如图 2-1 所示。

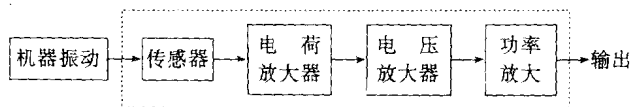


图 2-1 207 电子听诊器工作原理

207 电子听诊器的输入端是一个压电晶体振动加速度传感器。通过探针接触机器，将机器振动的加速度转换成电荷量，再由电荷放大器将电荷量转化成电压量。这里的电压量值和振动加速度量值成正比，其比例取决于传感器灵敏度和电荷放大器增益： C_f/C_i 。此处， C_f 为反馈电容， C_i 为输入电容。电荷放大器的输出进入可变增益的线性电压放大器，经功率放大后输出，接耳机监听或其他显示分析仪器。

由上述可见，207 电子听诊器将机床的振动冲击量转换电信号后放大若干倍，具有下列特点。

1) 抗干扰性好 当测量机床某点时，该测点的振动无衰减地传至听诊器，两测点外的振动因机械阻尼作用将得到衰减；周围环境的杂音，因听诊器中的振动加速度传感器对声波不敏感，被阻隔在外，故所测信号只是被测点的振动与冲击量，抗干扰性优于用传声传感器（如驻极体话筒）做成的类似于传声放大器的听诊器。

2) 分辨能力强 大多数现代化机床运行速度较高，许多起报警作用的振动信号出现在高频带，而且很微弱，只能借助于仪器分辨。207 电子听诊器在设计时充分考虑了这一点，其传感器安装频率 $\geq 15\text{kHz}$ （见图 2-2），其电路频响 $> 20\text{kHz}$ ，完全满足了机械振动规定的 10kHz 要求。

3) 灵敏度高 207 听诊器可将输入放大数千倍（最大），这对早期故障检测和分析判断是十分有用的。

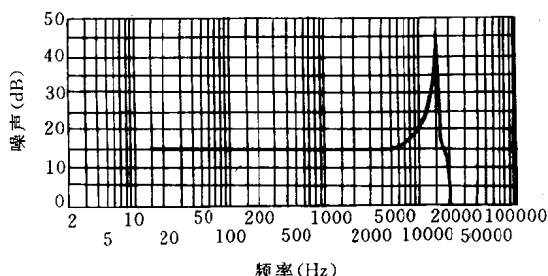


图 2-2 传感器安装频率

(2) 使用与判断 该仪器的使用十分简便，只需将探针拧上传感器，打开音量开关，接上耳机就可测听。由于完好机器的振动特征和有故障机器的振动特征不同，反映在听诊器耳机中的声音也不同，使用者经过一段时间熟悉后，可根据声音的差异初步判断出故障。例如，当耳机里传出清脆尖细的声音时（振动频率较高），一般表明较小的构件有较小的裂纹，或强度相对较高的金属部件产生了局部缺陷；当耳机传出低沉混浊的噪声时（振动频率较低），一般表明由强度较低的材料制成的较大、较长的构件存在较大的裂纹或缺陷；当耳机里传出的噪声比平时增强时，表明机器故障正在扩展，声音愈大，故障愈严重；如果耳机里传出的噪声不再按有规律的间歇出现，而是随机地出现，这表明某个部件已经松动，随时会产生意外事故。

使用 207 听诊器时，可用录音机将正常运行的机器各测点的信号记录下来，作为机器动态数据存档，与以后测得的信号作对比。对于较复杂的信号，也可送入信号分析仪进行谱分析诊断。207 听诊器还可接示波器观察信号的时域波形。各种仪器的连接方法如图 2-3 所示。

以机器中的轴承为例，可用 207 听诊器测机器轴承座，其输出接 DT-2A 低通滤波器和 MT-401 信号分析仪作振幅谱分析。采样频率取 1kHz，低通滤波器截止频率取 300Hz。分别对一个完好轴承和一个内环损坏的轴承作分析，结果如图 2-4、图 2-5 所示。