



职业技术学院机械加工专业
机械加工类中高级技能人才

用书

机械加工常见异常现象 分析及解决方法

丁向阳 冯高头 编著
郑赛民 主审

教您识别异常现象
为您提供解决方法



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





机械工业出版社
机械工业出版社中国出版集团

第1版

机械加工常见异常现象 分析及解决方法

作者：张三 李四
编者：王五 赵六



机械工业出版社



职业技术学院机械加工专业
机械加工类中高级技能人才 用书

机械加工常见异常现象 分析及解决方法

丁向阳 冯高头 编著
郑赛民 主审



机械工业出版社

本书是针对机械加工中级工学员准备晋升高级工而编写的。

本书共分三章：第一章介绍了机床常见异常现象振动、爬行、异响、过热、漏油、研伤的原因分析及解决方法，还介绍了常见异常现象的诊断方法；第二章介绍了刀具常见异常现象刀具磨钝、刀具破损、刀具断（卷）屑不可靠和积屑瘤的原因分析及解决方法；第三章介绍了常见加工误差常见表面粗糙度缺陷、尺寸误差、各种形状误差、位置误差的原因分析及解决方法，还介绍了几种减少或消除加工误差的方法，最后介绍了几种典型零件的加工误差。

本书可作为机械加工中，高级工培训用书也可作为职业技术学校机械加工专业的大、中专学生教学用书还可供工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

机械加工常见异常现象分析及解决方法/丁向阳，冯高头
编著. —北京：机械工业出版社，2007.1

ISBN 7-111-20024-1

I. 机… II. ①丁…②冯… III. 机械加工-基本知识
IV. TG5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 120269 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：何月秋

责任编辑：吴天培 版式设计：张世琴 责任校对：吴美英

封面设计：鞠 杨 责任印制：洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·9.25 印张·222 千字

0 001—4 000 册

定价：16.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68326294

编辑热线电话（010）88379083

封面无防伪标均为盗版

前 言

在机械加工中，经常会出现这样或那样的异常现象。这些异常现象，有的会影响零件的加工精度，导致废品；有的则会损坏刀具，影响切削加工的正常进行；而金属切削机床的一些异常现象，甚至能酿成事故。因此，对这些异常现象，千万不能等闲视之。

为了帮助学员正确认识这些异常现象，妥善解决这些异常现象产生的问题，提高实际操作能力，我们编写了本书。

本书分为三章，具体是：金属切削机床常见异常现象的原因分析及解决方法、刀具常见异常现象的原因分析及解决方法、常见加工精度缺陷的原因分析及解决方法。

机械加工中出现的这些异常现象，都是我们在生产实践中长期观察、归纳总结出来的，有一定的普遍性。我们在编写本书过程中，对每一种异常现象的特征都作了阐述；对它产生的原因，都尽可能地从理论和实际相结合的角度上加以分析；并以较大的篇幅来说明解决方法和预防措施。每一章节中，问题提得明确，阐述针对性强，特别有利于提高学员分析问题和解决实际问题的能力。

本书是针对中级工学员准备晋升高级工而编写的，在理论上有一定的深度，在实践上也有较强的指导性，可供从事机械加工的操作人员参考。

由于我们的水平有限，编写时间又很仓促，书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 机床常见异常现象的原因

分析及解决方法 1

第一节 振动 1

一、电气原因引起的振动 1

二、机械异常引起的振动 1

第二节 爬行 6

一、爬行产生的原因 6

二、消除爬行的方法 7

三、分析与消除爬行举例 9

第三节 异响 10

一、机床产生异响的原因 10

二、机床异响的诊断 12

第四节 过热 13

一、过热对机床的影响 13

二、机床产生过热的原因 14

三、减少机床过热的措施 15

第五节 漏油 16

一、机床的漏油及治理标准 16

二、漏油的原因分析 17

三、治理方法 17

四、防漏措施 21

第六节 研伤 22

一、粘着磨损型研伤 22

二、磨粒磨损型研伤 24

三、研伤的修复 25

第七节 机床常见异常现象的诊断

方法 26

一、直观诊断法（又称感官诊断法） 27

二、分析诊断法 28

三、现代化诊断技术 29

第二章 刀具常见异常现象的原因

分析及解决方法 31

第一节 刀具磨钝 31

一、刀具磨钝后产生的现象 31

二、刀具磨钝的原因 31

三、刀具的磨钝标准 33

四、合理选择刀具的使用寿命 35

五、减缓刀具磨钝的措施 35

第二节 刀具破损 44

一、刀具破损的形式 44

二、刀具破损的原因分析 46

三、减少或防止刀具破损的措施 47

第三节 刀具断（卷）屑不可靠 50

一、切屑形状的分类 50

二、切屑折断的原理 52

三、卷屑槽对断（卷）屑的影响 53

四、几种常用的断屑方法 55

第四节 积屑瘤 56

一、积屑瘤现象 57

二、积屑瘤的形成过程 57

三、积屑瘤对切削过程的影响 58

四、抑制积屑瘤的措施 59

第三章 常见加工误差的原因分析及

解决方法 61

第一节 常见的表面粗糙度缺陷 61

一、刀痕粗糙 61

二、鳞刺现象 62

三、划伤和拉毛 63

四、刀花不匀 64

五、高频振纹 64

第二节 常见的尺寸误差 66

一、试切法加工中产生的尺寸误差 66

二、定尺寸刀具法加工中产生的尺寸
误差 69

三、调整法加工中产生的尺寸误差 69

四、自动控制法加工中产生的尺寸
误差 70

第三节 圆度误差 71

一、机床主轴回转精度的原因 71

二、夹具的原因 73

三、工件的原因 74

四、外力的原因	74	三、转移变形或转移误差的方法	105
五、工件内应力的原因	76	四、误差分组的方法	106
六、工艺原因	76	五、误差平均的方法	106
第四节 圆柱度误差	78	六、就地加工的方法	107
一、机床方面的原因	78	七、积极控制的方法	107
二、切削过程中工件受力变形的原因	81	第八节 普通螺纹加工中的常见	
三、工件毛坯本身弯曲的原因	84	误差	108
四、刀具的原因	85	一、影响螺纹可旋合性的误差	108
五、其他因素	86	二、影响螺纹联接可靠性的误差	113
第五节 平面度误差	86	三、怎样检测螺纹	114
一、刀具和工件相对位置不稳定而引起的		第九节 齿轮加工中常见误差	114
平面度误差	86	一、影响齿轮传递运动准确性的误差	115
二、工件变形引起的平面度误差	88	二、影响齿轮传动平稳性的误差	119
第六节 位置误差	91	三、影响齿轮载荷分布均匀性的误差	125
一、工件安装精度对位置误差的		四、影响齿轮侧隙的误差	126
影响	91	五、渐开线圆柱齿轮精度新国家标准	
二、夹具精度对位置误差的影响	95	(GB/T 10095—2001) 与旧国家标准	
三、机床精度对工件位置误差的		(GB/T 10095—1988) 的差异	127
影响	100	第十节 矩形花键加工中的常见	
四、检测误差对位置误差的影响	103	误差	130
五、其他因素对位置误差的影响	103	一、矩形花键联结的定心方式和主要	
第七节 减小或消除加工误差的		尺寸的精度要求	131
方法	104	二、内花键的常见误差	132
一、直接减小或消除原始误差的方法	104	三、外花键的常见误差	135
二、补偿或抵消误差的方法	105	参考文献	139

第一章 机床常见异常现象的原因 分析及解决方法

在金属切削加工中，机床经常会发生这样或那样的异常现象，其中最常见的有：振动、爬行、异响、过热、漏油及研伤。这些异常现象，有的是机床故障的征象，有的则是机床发生故障的先兆。因此，必须引起足够的重视。本章对上述六种异常现象，从特征、危害、产生原因、检查方法及解决措施等方面都分别做了阐述。

第一节 振 动

金属切削机床在加工工件时产生振动，是最常见的异常现象，它对正常的切削过程非常有害。当振动发生时，工件表面会产生明显的振纹，使其表面粗糙度值增大，表面质量恶化，振动严重时，会产生崩刀、打刀，致使加工过程无法进行；振动加速了刀具或砂轮的磨损；还导致机床联接部分松动，影响轴承工作性能、使机床过早丧失精度；振动及其噪声也破坏了环境安静，危害操作者的身心健康。所以，一旦机床产生振动，则必须分析原因，查找振源，然后采取相应措施，把振动减小到允许的程度。

在诊断机床振动这类异常现象时，要首先查明是由电气原因引起的振动，还是由于机械异常产生的振动；若是机械异常产生的振动，那么还要区分开：是由周期性的外力引起的受迫振动，还是由运动本身产生的交变力而激发的自激振动。从而根据不同原因，决定其排除措施。

一、电气原因引起的振动

电气原因引起的振动，一般来说比较容易诊断，因为电气原因引起的振动，总伴有噪声出现，所以，只要把机床放在空挡位置，打开电器，让机床空运行一下，根据电气部分的运行情况和噪声情况进行诊断，凡电气原因引起的振动，一般还是比较容易判定。如电动机制造不良或维修不当，导致定、转子槽配合选择不当，或槽变形，当电动机运行时，定子会产生周期性电磁振动噪声，这是由于定、转子齿谐波相互作用而产生定、转子间的径向交变磁拉力所致。当交变磁拉力的频率与机座或定子铁心的固有频率接近而发生共振时，电磁噪声会显著增大；电动机转子不平衡，会产生与转子旋转频率（ $n/60\text{Hz}$ ， n 为电动机每分钟转数）相同的低频机械振动与噪声；电动机上个别零件未紧固导致电动机运行中受振动并相互撞击而产生机械振动及噪声；电动机的滚动轴承故障，也会产生机械振动及噪声。

电气原因引起的振动，实质上也是受迫振动（受迫振动在后面还要详细介绍）。在机械加工中，也会使工件表面产生振纹，且振纹的频率与电气引起振动的频率相同或相近。根据这个特点，只要知道电气原因引起振动的频率（见表 1-1），然后测出工件表面振纹的频率，再将两者做比较，就可以找到引起的振动的电气原因了。

二、机械异常引起的振动

机械异常引起的振动可分为两类：一类是受周期性的外力作用而产生的受迫振动；另一

类是系统运动自身激发的自激振动，最常见的自激振动是切削自振。两类振动都能使工件的加工表面产生振纹。我们把这两种振动的特点加以比较（见表 1-2），还是可以分辨出工件表面的振纹是由哪一类振动产生的。

表 1-1 电动机引起的受迫振动的频率

电动机转速/(r/min)	受迫振动频率/Hz		
	转子不平衡和安装不当	交变磁力	旋转磁场使定子偏斜
690	11.5	42	100
1430	23.8	47.5	100
2850	47.5	47.5	100

表 1-2 受迫振动和自激振动的比较

	受迫振动	自激振动(切削自振)
振源	周期性的外力	由振动本身所产生的交变的切削力
频率	等于或接近于周期性外力的频率;或者是周期性外力频率的倍数	接近于机床某一部分某一振形(如主轴部件的弯曲振动)的固有频率
振幅	跟周期性外力频率的大小有关。当周期性外力频率等于系统的固有频率时,则机床发生共振,此时振幅最大	
跟切削过程的关系	与切削过程进行与否无关(断续切削引起的振动除外)	跟切削过程紧密联系在一起,切削一停止,振动就立即消失

下面把受迫振动和自激振动的产生原因、诊断和排除措施，分别加以介绍：

1. 受迫振动

(1) 受迫振动的振源 受迫振动是由周期性的外力作用而产生的振动，其振源可来自机床内部，称为机内振源，也可以来自机床外部，称为机外振源。

一般情况下引起加工中产生振纹的受迫振动，主要是由机内振源引起的。机内振源主要有：机床上各种电动机的振动，包括电动机转子旋转不平衡引起的振动及电磁力不平衡引起的振动；机床旋转零件的不平衡，如砂轮、带轮、旋转轴不平衡引起的振动；运动传递过程中引起的振动，如齿轮啮合时的冲击、带轮圆度误差或几根胶带松紧不一等引起张紧力变化，滚动轴承的滚子尺寸及形状误差等，都能使运动在传递过程中产生振动；另外，还有往复运动部件的换向冲击；液压传动系统的压力脉动、断续切削引起的冲击等，也都是机内振源。

但机外振源也不可忽视，如果机床附近有振动较大的设备，如刨床、铣床、铲齿车床、砂轮机、冲锻设备等，或机床本身安装基础不良，都能导致机床产生受迫振动。

(2) 振源的查找方法 机床内部如果存在一个振源，往往会引起刀具与工件之间有规律的相对振动，因而切削时，工件的表面就会形成明显的振纹，可以根据振纹的形态、频率来查找振源。

1) 利用振纹形态查找振源。图 1-1 所示是卧式车床在加工零件时，经常出现的几种振

纹，在车床内的振源不同，产生振纹的形态也不同，现在分别说明如下：

图 1-1a 所示为“乱纹”：是由于主轴的轴向游动形成的振源所引起的，它主要来源于主轴推力轴承间隙过大或局部损坏；主轴推力台肩与轴线不垂直等。

图 1-1b 所示为“周向直纹”：是由于主轴传动系统不平稳，导致主轴回转中出现了周期性的摆动所引起的，它主要来源于主轴传动系统的冲击振动。

图 1-1c 所示为“阴阳面纹”：主要是主轴回转精度方面问题，与进给系统无关。它主要来源于主传动系统的某一损伤而造成主轴在某回转相位上产生的振动或抖动。

图 1-1d 所示为“轴向直纹”：用高速钢宽刀刀刀具低速精车外圆，有时会出现有规律的轴向直波纹，这种情况的振动，往往是由主轴箱中第一轴上带轮的不平衡所引起的。

图 1-1e 所示为“螺距纹”：沿加工表面全长，每隔一定距离出现一次异常刀纹，主要是由进给系统的故障造成的，而与主传动系统无关。

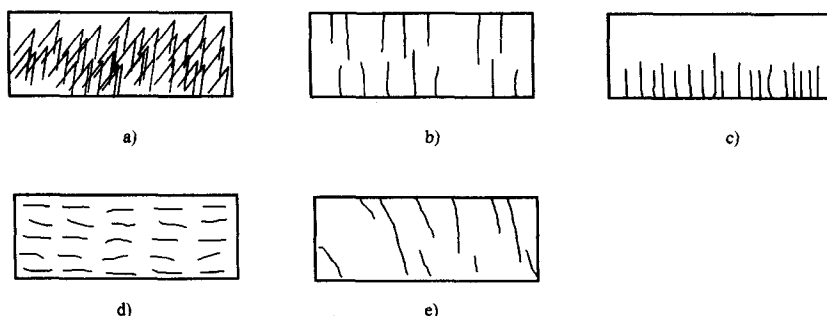


图 1-1 几种常见的振纹形态

a) 乱纹 b) 周向直纹 c) 阴阳面纹 d) 轴向直纹 e) 螺距纹

根据工件加工表面振纹的形态查找振源，是一种最简单易行的方法，我们应该注意观察，并积累这方面的经验。

2) 根据振纹的频率查找振源。受迫振动是由于周期的外力作用而产生的，其频率和振幅决定于外来作用力（即振源）的频率和大小。遵循这个原则，可以把工件表面振纹的频率与可能存在的振源的频率相比较，如果两者一致或接近，则此振源可能就是引起振纹的原因。

我们可以用下面公式计算工件表面振纹的频率 f （单位：Hz）：

对于回转零件

$$f = nm/60$$

式中 n ——工件转速 (r/min)；

m ——工件一转中切除的波纹数。

对于平面加工时产生波纹

$$f = 1000v/60l$$

式中 v ——工件送进速度 (m/min)；

l ——波纹长度 (mm)。

可取一段工件长度 a (mm)，数出该长度上波纹数 m ，用 a/m 算出波纹长度 l 。 a 取得越长，包含的波纹数 m 就越多， l 的取值误差就越小。

当振纹不清晰时，可把工件表面研磨一下，振纹会变得清晰一些，有时还可以借助于圆

度仪，表面粗糙度仪测得。

工件表面振纹的频率计算出以后，就可以与可能存在的振源的频率相比较。（可能存在的振源，如：机床旋转零件不平衡引起的振动、运动传递过程中引起的振动、往复运动的换向冲击引起的振动及切削冲击引起的振动，其频率都可根据机床的转速计算出来；机床各个电动机引起的受迫振动的频率，可以从表 1-1 上查出）。若两者一致或接近，或成倍数关系，则此振源就是引起振纹的原因。

3) 利用测振仪器查找振源。这种方法不仅克服了工件表面振纹不清或杂乱，使其频率无法计算的困难，而且也增加了查找振源的准确性。寻找受迫振动的振源，最常用的就是空运转振动试验，它就是借助于测振仪器（包括测振传感器、测振仪、频率分析仪、记录仪等），对机床在空运转情况下的振动进行检测和分析，根据测得较大的振幅找出振源，或根据测得的频率与可能发生振动的振源频率相比较，找出振源。

为了便于进行振源分析，在做空运转振动试验时，对于结构不同的机床，应采取不同的方法：一种是驱动源比较多而传动链比较简单的机床，如磨床类机床，可以单独或组合开动不同振源，例如可以分别开动油泵电动机、砂轮电动机、头架电动机，或组合、全部开动这些电动机，以分析振源的影响，并找出主要振源。另一种是驱动源较少而主传动链比较复杂的机床，如车床、铣床、镗床等，可以通过改变主传动链各传动环节的不同组合情况，来分析振源的影响。

具体的试验方法，这里不再叙述。

(3) 减小受迫振动的措施 受迫振动的根源查出以后，就可以采取相应的措施，或消除振源，或把振动减小到允许的范围内，具体做法是：

1) 减小或消除振源的激振力。这是应该首选的措施，因为这个激振力，既是故障的表现，又是故障的隐患。

凡是因旋转件不平衡引起的振动，应采取平衡旋转体的方法，来减小或消除振源的激振力。例如电动机的转子，磨床的砂轮等。

凡是因机床某机构的缺陷或调整不良所引起的振动，应对该机构进行修复调整，如轴承的制造、装配及调整对回转零件不平衡的激振力影响很大。就滚动轴承来说，轴承质量不好，除了产生等于回转频率的干扰力外，还会产生频率为 f 的高频振动。

$$f = (\text{轴转速} \times \text{轴承一周的滚珠数}) / 2$$

对这样的轴承必须更换。对滑动轴承来说，其加工、装配和间隙调整，都会影响受迫振动的大小，如一台外圆磨床的砂轮主轴结构是短三瓦结构动压轴承，在一次运转中，主轴抱瓦后再起动时，砂轮架的振动从 $1.5\mu\text{m}$ 急剧增至 $40\mu\text{m}$ ，这时就必须拆修：重新刮瓦，抛光主轴轴颈，装配后重新调整间隙试车，直至符合要求。如果机床上有高速往复运动件（如插齿机）虽振动不可避免，但应尽可能减小其激振力，对插齿机来说，措施就是：从曲柄盘到滑枕之间的传动系统应尽量消除间隙，滑枕上部的平衡弹簧也要调整合适。

2) 提高机床结构系统的动刚度及阻尼。所谓提高机床结构系统的动刚度，就是提高其抵抗交变载荷的能力，以增加其抗振性。提高机床结构系统的阻尼，就是一旦机床发生振动，由于系统阻尼大，使振动能很快衰减而逐渐消失。

对于一台使用中的机床，要改变机床结构系统的动刚度往往是无能为力的，但机床发生振动时，常采用如下方法，来检查机床的动刚度是否减小了，对振动的阻尼是否减小了。比

如：将转塔车床横刀架的镶条装置调整好，可使刀架刚度提高 1.5 倍。常见的车床刀架，将镶条收紧比镶条在放松情况下刚度几乎要增加 1 倍，所以检查与调整十分重要。首先检查主轴轴颈与轴承孔径的配合是否合适，特别要检查前轴承，若为滚动轴承，要检查其预紧量够不够，是否出现了间隙；如果轴承孔与轴颈为圆锥配合，要检查锥度是否一致；若为滑动轴承，则检查间隙是否太大。其次就是检查刀架、滑板、工作台等的导轨间隙是否太大。若间隙大，就要通过调整镶条的松紧程度或刮研滑板及导轨，改变其接触状况，加强联接刚度，同时也提高对振动的阻尼。

3) 隔振和减振。当振动不可避免时，则应采取隔振或减振，隔振就是在振动传递路线中间设置障碍，使振动不能传递到刀具和工件上。隔振可分为两种：一是主动隔振，就是对于本身就是振动的机器，为了减小对其他设备的影响，将它与地基隔离开来，如：在外圆磨床上，为了防止砂轮电动机的振动传给砂轮和工件，常在电动机的底座下装有橡胶垫或软木；二是被动阻隔，就是阻止由外来振源引起的振动进入机床，如：在安装精密机床时，常在其地基上建有防振沟，或将机床安装在合适的弹性装置上。

减振就是采取一定措施如：装缓冲器、减振器，使振动减小到允许的程度。

2. 自激振动

自激振动的特点是：产生和控制振动所需要的交变力，是由振动本身所产生和控制的，振动停止，则此交变力随之消失。机床在工作中最常见的自振是机床的切削自振，另外还有液压随动系统的自振、传动带横向自振、滑动轴承的油膜振荡等，低速运动部件的爬行也是一个自振过程。下面以最常见的切削自振为例介绍一下自激振动产生的过程及消除措施。

机床切削自振的产生过程是与切削过程紧密联系在一起的。由于切削力变化的干扰，引起偶然振动，在切削表面上留下振纹，第二次进给时，刀具将在有波纹的表面上进行切削，其切削厚度和相应的切削力将发生变化，切削力的变化又激起了刀具和工件的相对振动，相对振动又使工件表面产生新的波纹，再次切削，波纹将再次发生，这就形成了切削自振。

由上面的分析知道，由切削自振本身所产生的交变切削力是产生并维持切削自振的能量，所以要减小或消除切削自振也必须从减小或消除交变的切削力入手。又因为切削自振与切削过程有关，所以减小和消除切削自振的措施，应从机床——刀具——工件整个工艺系统考虑。下面以车削为例介绍消除切削自振的措施：

(1) 合理选择切削用量 切削速度、进给量和背吃刀量，都是可以影响激发自振的条件。如加工中碳钢时，要注意避开易发生自激振动的 $40 \sim 60 \text{ m/min}$ 的切削速度；为了避免切削自振，在许可的情况下，可以适当减小切削宽度，适当加大进给量。

(2) 合理选择刀具的几何参数 刀具的几何参数直接地影响着切削力的大小和分布，也影响着自振的产生条件。如在通常速度下，随着前角的增大，振动随之下降，再比如主偏角，当背吃刀量和进给量不变时，随着主偏角的增大，振动将逐渐降低，这是因为垂直于主轴轴线的切削分力减小了。在车削长轴工件时，常用主偏角接近 90° 的刀具进行切削，就是为避免或减小切削自振。

(3) 提高机床、刀具、工件系统的动刚度 关于提高机床结构系统的动刚度，前面已经介绍。

刀具和工件夹持系统的动刚度，对切削的稳定性影响也很大，所以必须注意。如夹持刀具时，不要把刀具伸得太长；在车床上车槽或切断工件时，尽可能让槽距卡盘近一些；在加

工长轴时，选用固定顶尖比回转顶尖抗振性能要好，并要尽可能采用中心架或跟刀架等。

(4) 尽可能减小或消除切削过程中的振动干扰 切削自振的产生，往往是由于切削力变化的干扰引起的偶然振动而引发的，所以在加工过程中，应尽可能减少及消除在切削过程中的振动干扰。如高速回转零、部件的不平衡、电动机的振动、主轴轴承的振动等。另外，还有工件余量不均、材质不均、硬度不等及非连续表面的存在等可能引发的切削力变化而引起的偶然振动。

(5) 采用减振装置 如减振器，阻尼器等。

第二节 爬 行

机床运动部件在作微量周期进给或低速连续移动时，常常会出现运动不均匀的现象，这种现象就称为爬行。

爬行是机床上一种常见的异常现象。比如，磨床的工作台在作往复运动时，当速度降低到一定程度，有时就会出现抖动或大距离地跳动，这就是爬行。再比如，在外圆磨床上用纵磨法磨削外圆时，有时会出现这样的现象：在每一次纵向行程结束后，转动横向进给手轮半格或一格，但在头几次行程中没有火花出现，而当再一次转动手轮吃刀时，火花突然大大地增加，以至需要将砂轮退出一些才能磨削，这一现象说明前几次转动手轮时，砂轮架实际上并没有移动，而最后一次转动手轮，砂轮架却移动了较大的距离，大大超过了最后一次转动的数值。像砂轮架发生的这种运动不均匀的现象也是爬行。

机床的爬行是十分有害的，若进给运动时产生爬行，将使工件表面刀花不均匀，影响工件表面粗糙度；若进刀时产生爬行，将影响工件的几何尺寸，甚至使工件报废，严重者还可能损害刀具（砂轮），损害机床，造成事故。

一、爬行产生的原因

爬行产生的原因有以下几个方面：

1. 滑动面之间静摩擦阻力大于动摩擦阻力是产生爬行的重要原因

我们用图 1-2 来说明这个原因：图中主动件 1 通过传动件 2 推动工作件 3（如工作台、砂轮架），而传动件 2 是一件弹性环节（因机械传动中的齿轮、轴都可能发生弹性变形，液压传动的介质内总有空气，也具有弹性），可简化为一个弹簧。在主动件 1 向右作低速连续运动时，首先压缩“弹簧”（传动件）2，使工作件 3 受力，这个力开始时不足以克服件 3 与导轨 4 间的静摩擦阻力，于是件 3 不动。随着件 1 的继续运动，弹簧压缩量加大，件 3 受的驱动力就越来越大，当驱动力超过静摩擦阻力，件 3 开始移动，这时件 3 与导轨 4 间的静摩擦阻力变为动摩擦阻力。如果件 3 与件 4 间的静、动摩擦阻力相等，那么件 3 将随件 1 做匀速运动，也就是说件 3 将不产生爬行。但是由于静摩擦阻力大于动摩擦阻力，所以件 3 开始运动后摩擦阻力立即下降，件 3 的速度随即增大，而且随着“弹簧”内储存能量的释放，使件 3 的速度进一步加大。当“弹簧”内储存的能量释放了大部分，“弹簧”恢复伸长之后，驱动力降低，件 3 的速度也就减

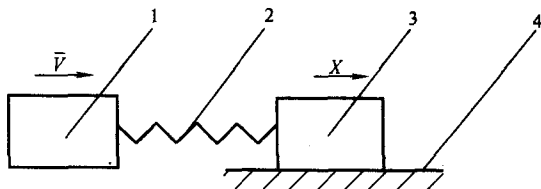


图 1-2 爬行产生过程示意图

1—主动件 2—传动件 3—工作件 4—导轨

慢了。当驱动力等于件3与件4间的动摩擦力时，理应达到平衡，使件3作匀速运动。但事实上由于惯性，件3还会向前冲一小段距离，使“弹簧”进一步伸长，驱动力进一步下降。当驱动力降到不能维持件3的运动时，就出现了停顿。接着上述运动现象再重复下去，件3就一跳一停地运动，即出现了爬行。

造成静摩擦阻力大于动摩擦阻力的首要原因是静摩擦因数大于动摩擦因数，这是相互滑动的两个物体间的摩擦条件决定的，而且是静、动摩擦因数的差值越大，产生爬行的情况就越严重。当件3与件4之间出现研伤，改变了它们之间的摩擦条件，也易引起爬行；当件3与件4之间的相对压力发生变化，比如磨床的活塞杆弯曲，会导致工作台对导轨的压力时大时小，造成工作台与导轨间的摩擦阻力时大时小，也容易产生爬行。

2. 传动件刚性不足是产生爬行的重要条件

还用图1-2来说明：如果传动件2为刚体，则主动件1，传动件2及工作件3就构成了一体，当主动件1作匀速运动，工作件3则以同样的速度随着件1作匀速运动，所以不会产生爬行。但实际上传动件都不是刚体，如机械传动中的轴、齿轮、螺杆、螺母、凸轮与杠杆等，受力后要产生弯曲、扭转及接触变形。而液压传动系统中，油液内混入少量的空气，而空气的可压缩性很大，所以传动系统就像弹簧一样，连接着主动件1和工作件3。当主动件1做匀速运动时，由于件3与导轨4之间摩擦阻力的变化，以及传动件2的刚性不足，将使件3产生停顿——运动——停顿——运动的现象，即爬行。

3. 运动部件质量越大，越容易产生爬行

因为质量越大，惯性力越大，重型机床要比中、小型机床更容易产生爬行。

4. 运动部件与导轨间阻尼小，也容易产生爬行

因为爬行过程，是一个自激振动的过程，当阻尼较大时，产生振动就困难，即是偶然因素引起振动，振幅也将很快衰退。良好的润滑油膜能起到增加阻尼的作用。

5. 对于连续的进给运动来说，若驱动力不稳也会引起工作机构的爬行

如磨床，当液压系统的压力或流量不足或波动，则会引起工作台爬行。

二、消除爬行的方法

要消除爬行，就要从产生爬行的原因入手。但是，运动部件的质量，往往是由于结构的要求已成定值；振动系统阻尼，改善措施也不很多。所以消除爬行现在一般是从改善摩擦条件和提高传动系统刚度两方面入手，有时候也要考虑驱动力的问题。

1. 改善滑动面之间的摩擦条件，减少静、动摩擦阻力的变化

(1) 采用导轨油 这是改善滑动面之间摩擦条件最简单而有效的方法。它不仅适用于绝大多数加工机床，而且又可以在不改动原有滑动导轨结构的条件下消除爬行。

爬行现象一般发生在低速滑动的状态下较多。因为工作台在导轨上做低速滑动时，润滑油的油膜作用减弱，形成油膜厚度小，这样的油膜承受不了工作台重量而部分被破坏，使工作台与导轨之间的凸起部分发生直接接触，以承受一部分负荷。由于接触面积小使接触部分承受的压力高而发生塑性变形和局部高温，从而进一步促进了油膜的破坏。这样，工作台与导轨之间就形成了金属与金属的摩擦。金属间的静、动摩擦因数差值很大，所以爬行就很严重。

而导轨油内加入了油性添加剂，增加了润滑油的油性，使油分子紧紧地吸附在导轨面与工作台轨道面上，即便是运动停止，油膜也不会被挤破。由于导轨油能使导轨与工作台的滑

动面上始终保持着油膜,变金属间的摩擦为油膜间的摩擦,从而改善了摩擦条件,这就大大减小了静、动摩擦因数之差值,所以能减少或消除爬行出现。

通常都是根据载荷的大小来选择油的粘度,以保证在正常工作温度下导轨面间有油膜存在。对于一般磨床,选用32号(平均室温在20°C以下时用)、46号、68号(平均室温在20°C以上时用)液压导轨油。对于龙门铣床、坐标镗床等重型低速机床应采用68号、100号、150号导轨油。对垂直导轨应采用吸附性好的导轨油,它不仅能克服油重力的影响,而且不易被切削液冲洗掉。

(2) 提高滑动零部件的加工精度和装配质量也可以减小静、动摩擦阻力的变化 机床上相互滑动的零部件,如工作台与导轨,经过一段使用之后,由于磨损与变形,它们之间的接触情况变坏,通过修整(精刨和刮研)可以改善他们的接触情况,使他们之间的储油情况变好,进而改善了摩擦条件,易消除爬行。

滑动零部件装配质量好,运动时不别劲,也可以减小摩擦阻力变化,减小或消除爬行。如磨床装配时要按照工艺要求,保证工作台导轨与床身导轨平行,油缸中心线与导轨平行,活塞杆与活塞要同轴等。

(3) 对机床进行改造,改善其摩擦条件,以消除爬行 常用的方法有:一是采用减摩材料,摩擦副为钢或铁对铜或聚四氟乙烯塑料时,静、动摩擦因数之差值较小,铜、聚四氟乙烯塑料统称为减摩材料。为了防止爬行,可在导轨表面镶装铜片,或粘贴聚四氟乙烯塑料板;二是采用滚动导轨,使导轨间的滑动摩擦变为滚动摩擦;三是采用静压导轨,使固体与固体的摩擦变成固体与液体的摩擦。

2. 提高传动系统的刚性

对于机械传动来说,提高传动系统刚性的方法,主要是缩短传动系统的长度,减少传动环节和加强传动零件的刚度。这些方法主要在设计 and 改装时采用,对正在运行的机床一般是无能为力的。

对于液压传动来说,提高传动系统刚性的方法,主要是防止空气进入液压系统,当液压传动的机床(如磨床)停用一段时间后,液压缸中常常存有空气,由于空气的可压缩性,常常引起机床爬行。所以在重新工作之前应旋开放气阀,开动机床,使工作台往复空载运行几次,以便排除空气。如果机床上没有这种装置,那么可以将撞块调节到工作台最大行程的位置,开动机床,使工作台空载往复运动一段时间,以便把空气从油管中排出。凡是因机床故障使液压系统侵入空气的,应先解决机床故障,杜绝液压系统侵入空气,再采用上述方法排气。

3. 凡因驱动力不稳引起的爬行,就要解决驱动不稳的问题

比如液压传动的机床,常见的驱动力不稳主要表现为压力不足或压力不稳、流量不足或流量不稳。

系统压力不足或不稳,可以从系统的压力表上表现出来,其原因往往与液压泵、压力阀出现故障有关。另外,设备运行到其生命的中、后期,由于各种液压元件的磨损,造成系统内、外泄漏,也是形成压力不足或不稳的重要原因。

系统流量不足或不稳,会直接影响工作机构的运动速度。特别是在负载较大、系统工作压力较高时,工作机构所需流量明显下降,若运动速度达不到使用要求。其原因往往与流量控制阀的故障有关。泵、阀、缸及管路的内、外泄漏也是重要原因。

三、分析与消除爬行举例

现以磨床为例具体谈一谈分析、检查与消除爬行的方法：根据前面介绍的爬行产生的原因，在比较熟悉磨床结构的基础上绘制出了“磨床工作台为什么出现爬行”的因果分析图，又称鱼刺图，见图 1-3。参照这张图，并依据机床现场的实际情况，进行综合分析。机床现场的实际情况是指：

- 1) 机床的爬行是运行初期发生的，还是在运行过程中发生的？
- 2) 在运行过程中是突然发生的，还是渐渐发生的？
- 3) 出现爬行时，还有没有其他征象？如噪声、油温过高等。
- 4) 出现的爬行现象有没有规律性？

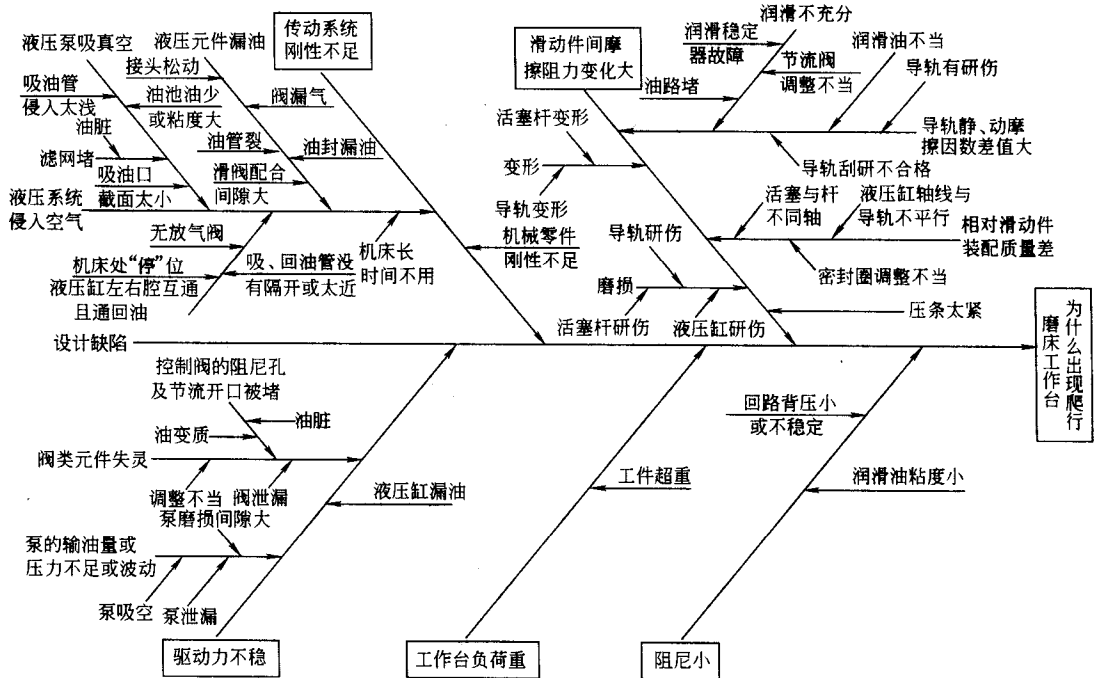


图 1-3 磨床工作台出现爬行的因果分析图

在综合分析的基础上，本着先易后难、先外后内的原则对机床进行检查，并尽可能地排除检查出的异常情况，直至查到并消除爬行产生的真正原因。

如该磨床是在运行初期产生的爬行，应首先检查该床的润滑。方法是查看润滑压力表是否指示到规定压力（一般磨床 0.1MPa 左右），或用手摸机床导轨两端的润滑情况，手感到有湿润感，说明该磨床润滑正常；其次就是检查液压系统是否存在空气，方法是旋开放气阀，开动机床让工作台空载往复运动几次，若机床没有放气阀，可将撞块调到最大行程位置，开动机床空载快速往复运行一段时间，便可把液压缸内空气从回油管排出去。

这里要特别提醒：对初期运行的机床，一定要先检查润滑。一方面是因为润滑不良是产生爬行的重要原因，另一方面是若润滑不良就开动机床，容易将机床导轨研伤。

若爬行是在磨床大修后的运行初期发生的，还需要检查液压油选择得恰当与否，检查其装配质量，比如液压缸、活塞杆是否别劲；密封圈是否太紧等。检查方法是：不给液压缸加

载,测定其最低工作阻力(可以从压力表上显示出来,例如:外圆磨床 M1432B,一般不超过 0.5MPa),如果阻力过高,说明有别劲现象,这往往是由于液压缸装配不当引起的。

若爬行是在磨床运行中突然发生的,且在液压泵下部伴有噪声,那就是因为液压泵吸空使液压系统侵入了空气,导致传动系统刚性不足而引起的爬行,按照鱼刺图上提供的液压泵吸空的四个原因,逐一检查解决,就可以消除液压泵吸空的问题,再排除系统空气,爬行即可消除。

若爬行是在运行中渐渐发生的,且油温过高,则说明由于油温过高引起的油液粘度下降,使导轨上油膜遭到破坏,摩擦条件恶化了;另一方面,油液粘度下降后则影响泵、阀的工作特性,而造成系统的压力、流量调节不稳。

若出现的爬行是有规律性的,则应侧重检查机械方面的原因;若出现的爬行没有明显的规律,则应侧重检查液压系统方面的原因。

第三节 异 响

机床运转时发出均匀、连续而轻微的声音,一般则认为是正常的声响。如果声音过大或夹杂有金属的敲击声、摩擦声等其他声音,则表明机床运转的声响不正常,把这种不正常的声响称作异响。

异响主要是由于机件的磨损、变形、断裂、松动、腐蚀等原因,致使在运转在发生碰撞、摩擦、冲击或振动所引起的。实践表明:有些异响标志机床的某一零件产生了故障;还有一些异响则能预兆机床将可能发生更大的事故性损伤。因此,对机床的异响不可忽视。

一、机床产生异响的原因

机床的机械系统、液压系统和电气系统都经常会产生异响,现在分别介绍如下:

1. 机械系统的异响

机床上旋转的零、部件(如主轴部件、传动轴、齿轮、联轴器、电动机的转子、砂轮、卡盘等)在做回转运动时,如果有某一零件旋转不平衡,将会使传动系统产生冲击而发出冲击声,下面以齿轮箱内产生的冲击声为例,谈谈机械系统异响的产生与传播。

在一个齿轮箱内,如果有一对相互啮合的齿轮由于制造或装配上的误差,引起回转不平衡而产生了啮合冲击,同时发出与齿轮啮合频率相对应的冲击声。这个冲击声的一部分,由齿轮的轮体表面辐射空气,并透过箱体的缝隙传到箱外;另一部分则会由轮体传给轴,再由轴传到轴承,使轴承各部分产生振动,轴承又将激振力传至箱体表面,成为固体声传播,由于箱体具有较大辐射面,很容易激励而产生振动,向外发射空气声。我们听到的这两部分声响,就是齿轮箱的齿轮啮合冲击产生并传播的异响。如果这两部分声响频率接近,或与相关的频率接近,就会发生共振,从而产生更大的声响。当然,如果是齿轮的轮齿产生变形、折断,则上述的冲击声将会更加明显的加剧。

滚动轴承是机床上应用最多的易损件。轴承运转时有各种原因产生的振动通过空气传播成声音,在正常情况下,这种声音是一种滑溜连续的声音,是滚动体在滚动面上滚动而发生的。但轴承是易损件,不论怎样正确使用,早晚也要发生异常,据统计旋转机械故障的 30%是轴承引起的,而轴承的任何一种损伤都会产生异常响声。可以说,异响是轴承异常的最好信息媒介。