



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
数 控 专 业 教 学 用 书

# 数控机床故障诊断与维修

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编  
中国机械工业教育协会  
郭士义 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

GUIHUA JIAOCAI

gz

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

数控专业教学用书

# 数控机床故障诊断与维修

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编  
中国机械工业教育协会

主 编 郭士义  
副主编 蒋红平  
参 编 钱逸秋  
主 审 陈金水



机械工业出版社

本书分为十二章,包括数控机床故障诊断与维修基础、数控机床的故障诊断技术、数控机床机械系统故障的维修、数控机床电气系统的维修、数控系统的故障维修、计算机数控装置的维修、运动驱动与电动机的维修、位置检测系统的维修、可编程控制器系统的维修、数控系统参数故障的维护、数控机床的管理、数控机床的维修与改造。在本书的编写过程中,我们根据职业教育的需要,适当地选用理论知识内容,重点向实用的、可操作的内容倾斜,并且穿插大量的实际案例,每章的后面还附有一定的思考与练习题以供读者参考。

本书主要作为高职教育五年制数控技术专业用教材,也可作为其他年制数控技术专业的教学用书。对于面向企业的数控机床维修培训和从事数控机床维修的工作人员也具有参考价值。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控机床故障诊断与维修/郭士义主编. —北京:机械工业出版社, 2005.5

教育部职业教育与成人教育司推荐教材·数控专业教学用书

ISBN 7-111-16470-9

I. 数... II. 郭... III. ①数控机床-故障诊断-成人教育:高等教育-教材 ②数控机床-维修-成人教育:高等教育-教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第034020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:王世刚 汪光灿 责任编辑:汪光灿 版式设计:冉晓华

责任校对:罗莉华 封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

济南新华印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年6月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·11.75印张·290千字

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

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

数控机床基于计算机控制技术平台，综合了电气自动化技术、现代机械制造技术以及精密测量技术诸方面的最新成就，具有较高的科技含量和先进工艺水平，在现代制造领域中以高精度、高速度、高效率的特点创造高产值。为保证数控机床的合理使用、高效运行，精心维护和及时修理是极其重要的一环，因此培养具有较高素质和技术能力的数控机床维修人员要比培养操作人员更为重要，而且由于数控机床的技术复杂性和综合性使维修难度系数增大，如何充分发挥数控机床的能力，为数控生产形成维修保障能力，已成为企业亟待研究和解决的一个重要课题。

本书为配合技能型紧缺人才培养工程项目，针对职业教育的需求特点，在内容上力求简明、实际、实用。本书以提高应用技术能力为基本出发点，通过列举现象并进行分析，突出解决问题的办法，同时用大量典型维修案例为参考，以求学以致用。

本书共分十二章，包括数控机床的故障机理、数控机床机械与电气系统的故障诊断、维护、维修、改造等内容。它可作为高等职业教育数控技术应用专业、机械与自动化专业的教材，也可作为企业数控机床维修人员的培训教材以及从事数控机床维护工作的技术人员参考。

本书由天津机电职业技术学院郭士义（第一章、第二章、第四章、第五章、第六章、第七章、第九章、第十章、第十二章），江苏省无锡职教中心校蒋红平（第三章），天津中德职业技术学院钱逸秋（第八章、第十一章）编写，郭士义任主编。

本书由天津大学机械工程学院院长陈金水教授担任主审，在编写过程中还得到中国机电装备维修与改造技术协会张春源正高工的支持，编者在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免出现不少不当之处甚至错误，恳请读者予以批评指正。

编 者

2005年1月于天津

# 目 录

前言	
第一章 数控机床故障诊断与维修	
基础	1
第一节 概述	1
第二节 数控机床的故障机理	3
第三节 系统及系统方法的应用	10
第四节 数控机床的精度测定	14
思考与练习	20
第二章 数控机床的故障诊断技术	21
第一节 数控机床的故障诊断	21
第二节 数控系统的自诊断技术	27
思考与练习	32
第三章 数控机床机械系统故障的	
维修	33
第一节 数控机床机械系统的结构	
特点	33
第二节 数控机床机械系统的故障	
诊断方法	35
第三节 数控机床主轴部件故障的	
维修	36
第四节 数控机床进给传动部件故障	
的维修	39
第五节 数控机床机械部件辅助装置	
故障的维修	43
第六节 维修案例	47
思考与练习	51
第四章 数控机床电气系统的维修	53
第一节 数控机床电气系统的维修	
特点	53
第二节 电控系统故障的维修	54
第三节 数控机床电控系统的抗电磁	
干扰与接地	58
第四节 供电系统干扰的抑制	63
第五节 维修案例	64
思考与练习	65
第五章 数控系统的故障维修	66
第一节 数控系统故障检查与分析	
方法	66
第二节 数控装置接口的连接规则	69
第三节 数控系统独立单元的连接	74
第四节 数控系统直流电源的维修	82
第五节 维修案例	86
思考与练习	89
第六章 计算机数控装置的维修	90
第一节 数控装置的结构特点	90
第二节 数控装置的维修	95
第三节 维修案例	98
思考与练习	102
第七章 运动驱动与电动机的维修	103
第一节 进给驱动系统	103
第二节 伺服电动机	108
第三节 主轴驱动系统	109
第四节 维修案例	111
思考与练习	117
第八章 位置检测系统的维修	118
第一节 位置比较电路与位置检测	
元件	118
第二节 位置检测系统的故障	
分析	121
第三节 维修案例	123
思考与练习	128
第九章 可编程控制器系统的维修	129
第一节 可编程序控制器	129
第二节 可编程序控制器在数控机	
床上的应用	132
第三节 可编程序控制器故障的表现	
形式	134
第四节 维修案例	135

思考与练习 .....	139	第三节 数控机床的维护 .....	160
<b>第十章 数控系统参数故障的维护</b> .....	140	第四节 数控机床运行使用中的注意 事项 .....	164
第一节 参数的意义与形式 .....	140	第五节 数控机床的选用 .....	165
第二节 典型系统功能参数解析 .....	143	思考与练习 .....	168
第三节 利用机床参数维修数控 机床 .....	145	<b>第十二章 数控机床的维修与改造</b> .....	169
第四节 系统参数丢失的处理 .....	150	第一节 数控机床的维修 .....	169
第五节 维修案例 .....	153	第二节 数控机床的维修管理 .....	173
思考与练习 .....	154	第三节 数控机床的改造 .....	176
<b>第十一章 数控机床的管理</b> .....	155	思考与练习 .....	180
第一节 数控机床的管理规范 .....	155	参考文献 .....	182
第二节 数控机床的合理使用 .....	156		

# 第一章 数控机床故障诊断与维修基础

## 第一节 概 述

### 一、数控机床的应用与“e-制造”

20世纪制造业的机械设备应用微型电子计算机进行数字控制是重大的技术进步。数字控制技术基于计算机控制技术平台,综合了电气自动化技术、现代机械制造技术以及精密测量技术诸方面的最新成就,具有较高的科技含量和先进工艺水平。目前,全世界制造领域中几乎所有的设备都在应用数控技术,而且仍有广泛的发展前途。

21世纪的科技核心是信息化。实现数字制造,又叫“e-制造”,已经成为近年机械制造业现代化的标志,各企业已经普遍采用CAD/CAM、虚拟设计与制造等先进技术手段,而作为必要的前沿装备的数控机床承担着多工序、精密、复杂的加工任务,按给定的工艺指令自动加工出所需几何形状的工件,完成大量人工直接操作所不能胜任的工作。现在数控机床不仅单机使用,还在计算机辅助控制下集群使用,构成柔性的生产线,或与工业机器人、立体仓库等组合成无人化工厂。随着现代科学技术的发展,数控机床正在实现智能化、集成化、信息化、网络化,推动着世界“e-制造”的进程。

数控机床的应用水平已经是一个国家综合国力的重要标志,我国在从制造大国向制造强国转变的过程中,大力发展数控技术具有重要意义。而且近几年在引进消化国外数控技术的基础上,已经生产出自主知识产权的数控系统和数控机床。西方禁锢中国多年的多轴联动技术也由中国人自行研制成功,从而一举打破国外的技术封锁和经济垄断,为振兴民族数控产业,加速工业现代化奠定了技术基础。随着科学技术的发展和我国综合国力的增强,一大批数控设备还要陆续装备到企业,对企业生产起到了巨大的推动作用。

数控机床的技术先进,造价高,使用成本也高。使用数控机床的目的是为了高产出、高质量,在正常情况下数控机床能创造高产值,但无论是设备自身原因造成的意外停机还是人为原因造成的事故停机,都会导致不同程度的浪费或损失。如何为这些数控装备形成维修保障能力,已成为当前亟待研究和解决的一个重要课题。

为使数控机床合理使用、高效运行,精心维护和及时修理是极为重要的,为此具有较高素质和技术能力的数控维修、管理人员已被列入技能型紧缺人才培养对象之一。而对于这些人员的培养目标是要达到不仅具有扎实的数控知识基础,而且要有较强的实践技能,上岗工作后能尽快熟练地掌握数控机床故障诊断与维修技术,并能得心应手地驾驭所管辖的机床,当好数控设备的“医生”,从而降低故障维修时间,真正体现数控机床的生产高效率。

### 二、数控机床维修工作的特点

自从1952年美国研制出第一台数控机床起,经历半个多世纪的发展,数控机床已经形成庞大的家族。它们有数控的车床、铣床、镗床、钻床、磨床、齿轮加工机床和加工中心等,还有数控的压力机、冲床、板料折弯机、弯管机、电火花切割机、火焰切割机、焊接机

以及各类专机，每年全世界数控机床的产量有几十万台。在发展过程中，不仅系列、品种不断增加，而且质量进一步提高，数控机床大量取代传统机加工设备是必然趋势。

数控机床的操作、维修、管理曾是推广应用中的三大难，随着近几年的大批专业毕业生上岗和在岗工人的培训已使操作难大为缓解，但维修难与管理难仍是需要解决的问题，尤其维修仍然属于瓶颈问题。数控机床技术先进必然带来技术复杂，同时维修难度系数也增大，出现故障问题在所难免。因此，维修工作具有以下特点：

#### 1. 涉及技术门类多

数控机床维修涉及机械、电工、电子、计算机、自控、数控、工业驱动、测量、光电等多门技术，涵盖着所有机电的方面新成就，而核心技术是微型计算机和微电子技术，因此要求维修工作人员的专业知识面要广，专业实践工作能力要强。

#### 2. 电控系统与机械系统紧密联系

数控机床的“电”与“机”是密不可分、互相牵连的，因此要求维修人员不仅要熟知电控系统的方方面面，而且熟知机械系统的方方面面，单纯侧重一方不利于问题的解决。

#### 3. 硬件技术与软件技术交融

数控系统的硬件技术与软件技术是相辅相成的，许多故障是由于软件问题造成的，即所谓软故障，因此要求维修工作人员对数控软件知识也要有所了解，同时具备一定的编程能力。

#### 4. 传统维修方式难以排除故障

数控机床采用了新的维修技术和维修方式，数控系统实现了故障自检，维修性得到明显改善，机床的可靠性普遍提高。但技术复杂、排除故障难，从而对维修保障提出了更高的要求。靠简单的耳听、手摸、鼻闻等传统维修方式是难以诊断故障的，因此要借助专门的仪器进行检测修理，对使用、维修人员的技术素质和科学管理水平要求较高。

#### 5. 新技术广泛采用

数控机床在设计制造中广泛采用了新技术、新材料、新工艺，形成了光机电一体化、电路模块化、控制计算机化、器件集成化，全数字型交流伺服控制成为主流，使机床的功能更加齐全，性能更加优越，自动化程度更高。因此，要求维修人员不断努力，以跟上技术的发展。

#### 6. 数控系统硬件的更新较快

数控系统的硬件如表面贴装器件、TFT 液晶显示器、新型电力电子器件等广泛应用，这些硬件都在趋于微型化，因而一旦出现问题，维修是比较困难的，需要较高的技术能力。

#### 7. 数控机床的备件筹集困难

数控机床的部件生产几年就已经换代，而这些部件在机床上还要使用，当经过一定时间而出现故障时往往很难买到直接更换的部件。另外，企业的数控维修人员不可能像数控生产厂家那样掌握详尽的系统硬件和软件及拥有充足的备件，因为任何企业都不可能占用过多资金库存许多备件，这也给维修带来一定困难。

#### 8. 数控系统种类多

数控机床的数控系统五花八门，不同国家、不同牌号的系统各有区别，一般不能直接替换。有的数控系统生产厂家还为保护自身的产权利益，故意使元器件标识不详，甚至将关键器件的型号处理掉，给维修工作带来新的麻烦。



### 9. 数控机床品种多

企业都是根据生产工艺的需要配置数控机床，不可能采购同一型号、同一系统、同一厂家的机床，有的企业甚至还出现“机床博览会”的局面，个别数控机床仅此一台，成为“独生子”，因此给实施保养、维修工作增加了许多特殊工作量。

### 10. 资料、图样不齐全

数控机床随机资料、图样不齐全，厂商一般不提供数控系统的原理图。尽管数控系统电路有其共性的地方，通过对系统的仔细分析，或根据经验进行判断能解决一定问题，但没有详细资料、图样仍然是维修工作的一大困难。

### 11. 现场维修条件不具备

数控机床故障出在生产现场，但现场维修仪器、工具不一定齐全，往往需要临场应急处理，这也是对维修人员技术能力的考验。

总之，强调困难并不是畏缩不前，而是要寻求更好的解决办法。知彼知己，百战不殆，只有用好相关专业知识，有针对目标的不断学习，勇于研究、探索与实践，化不利因素为有利因素，积极做好日常维护工作和巡检，将故障控制在萌芽状态，充分掌握主动，就能胜任维修岗位的工作。

## 第二节 数控机床的故障机理

### 一、数控机床出现故障的必然性

数控机床是现代化高精度加工设备，是现代各种工业技术的集成，包括 CNC、PLC、系统软件、PLC 软件、加工编程软件、精密机械、数字电子技术、大功率电力电子、伺服拖动、电动机制造和控制、液压和气动技术、精密测量和传感器等多项技术。其外延还包括计算机通信、系统集成、刀具及夹具、柔性制造、CAD/CAM 等技术。数控机床内各系统的联系非常密切，自动化程度很高，运行速度快，尤其大型数控机床有着成千上万个零件，电路纵横交错，使用中无论外因还是内因都有可能诱发故障，而且故障现象也千奇百怪，各不相同。有时因为某个局部偶然的失灵就会导致机床的工作停顿，甚至造成整台设备的停机，整条生产线的停产，直接影响企业的生产率和产品质量，因此，数控机床出现故障是有着必然性的。

故障问题是困扰许多先进装备正常工作的严重问题，数控机床也不例外，因此在开发、应用数控机床的同时都要非常重视故障及其机理的研究，探索故障发生的规律，记载故障发生的现象，对故障特征进行分析，以便采取有效的措施控制故障的发生或尽快排除已经发生的故障。

### 二、故障的分类

故障是指设备（系统）、零部件在使用中丧失或降低其规定功能的事件或现象，其表现是多样的，总的归纳起来分为渐发性故障和突发性故障两大类。

#### 1. 渐发性故障

这种故障的出现要有一个发展过程，一般预先会有明显的迹象，因此通过监控或测试是可以预测到的，其缘由多是由于设备初始参数逐渐劣化而产生的。这类故障与零部件的磨损、腐蚀、疲劳、蠕变及老化、热变形等过程有密切关系，如机床主轴轴承在使用中随时间

的推移逐渐磨损到一定程度，致使精度下降而发生的故障。

## 2. 突发性故障

突发性故障都是偶然发生的，一般事先无明显征兆，这种故障是各种不利因素以及偶然的外界影响共同作用而产生的，其缘由是这种作用已经超出了故障处所能承受的限度，如运行中因为润滑油中断而导致高速运动的部件热变形而损坏；或因为机床使用不当出现超负荷现象而引起某电动机过热烧毁；或因为某项参数达到极限值而引起部件的蜕变或断裂。

## 3. 数控机床故障的分类

对于广义的机电设备而言，其故障按性质、影响、原因等进行分类，见表 1-1。

表 1-1 设备故障的具体分类

	划分方式	故障类别	说 明
1	按故障性质划分	间断性故障	设备在短期内丧失某些功能，稍加修理或调试就能恢复工作，不需要更换零件
		永久性故障	设备的某些零部件已经损坏失效，必须更换或修理才能恢复使用
2	按故障影响程度划分	完全性故障	导致设备功能完全丧失
		局部性故障	导致设备某些功能的丧失
3	按故障发生原因划分	磨损性故障	由于设备使用中的正常磨损而造成的故障
		错误性故障	由于操作过程出现失误或维护不当造成的故障
		固有的薄弱性故障	由于设计或制造质量问题以及安装调试不合理等，使设备存在薄弱环节，在正常使用时产生的故障
4	按故障的危险性划分	安全性故障	由于安全保护系统在不需动作时发生动作，机床不能起动的故障
		危险性故障	由于安全保护系统在需要动作时失去保护作用或制动系统失灵而造成的故障，造成人身伤害和设备事故
5	按故障的发生、发展规律划分	随机故障	故障发生的时间是随机的，没有规律的
		有规则故障	故障的发生具有一定规律性的

数控机床是设备中的一大类，数控机床故障有其特殊性，其分类见表 1-2。

表 1-2 数控机床故障的分类

	划分方式	故障类别	说 明	
1	按发生故障的部件分类	主机故障	指机床本体与机械系统故障，主要包括机械、润滑、冷却、排屑、液压、气动与防护等	
		电气故障	弱电故障	主要指 CNC 装置、PLC 控制器、CRT 显示器以及伺服单元、输入输出装置等电路故障，具体是上述各装置的印制电路板上的集成电路、分立元件、接插件以及外部连接组件等发生的故障
			强电故障	指继电器、接触器、开关、熔断器、电源变压器、电动机、电磁阀、行程开关等电器元件以及所组成的电路的故障。这部分的故障比较常见

(续)

	划分方式	故障类别	说 明	
2	按故障发生的原因分类	自身故障	这类故障的发生是由于数控机床自身的原因引起的, 与外部使用环境及条件无关, 数控机床所发生的故障大多数属于此类故障	
		外部故障	这类故障是由外部原因造成的, 如供电电压过低, 波动过大, 相序不对或三相电压不平衡。周围环境温度过高, 有害气体、潮气、粉尘侵入。外来振动和干扰。以及人为的操作不当, 如进给过快造成的超行程, 进给过快造成的过载。操作人员不按时按量给机床机械传动系统加注润滑油, 造成传动噪声或导轨摩擦因数过大, 而使工作台进给电动机过载等	
3	按故障产生的部位分类	软件故障	系统软件故障	由于设计原因所引起, 表现为故障的固有性
			应用软件故障	主要由人为操作输入错误而造成, 带有一定的偶然性和随机性
		硬件故障	永久性故障	表现为固定而不能恢复的特征, 又称为硬故障
			间发性故障	带有一定的随机性, 可转化为硬故障
边缘性故障	元器件老化而使边界值发生变化, 可逐步转化为永久性故障			
4	按故障报警显示方式分类	有报警显示的故障	硬件报警显示故障	数控系统的控制操作面板、位置控制印制电路板、伺服控制单元、主轴单元、电源单元等部位以及光电阅读机、穿孔机等装置的警示灯(一般为LED发光二极管), 所指示的明确故障
			软件报警显示故障	具有自诊断功能的数控系统, 一旦检测到故障, 即按故障的级别进行处理, 同时在CRT上显示出报警号和报警信息
		无报警显示的故障	这类故障发生时无任何软件和硬件的报警显示, 因此分析诊断难度较大。如机床通电后, 在手动方式或自动方式运行时某轴出现爬行, 某轴时而发出异常声响, 一般无故障报警显示	
5	按发生的故障的性质分类	规律性故障	通常是只要满足一定的条件或超过某一设定的限度, 工作中的数控机床必然会发生故障。这类故障经常见的有: 液压系统的压力值随着液压回路过滤器的阻塞而降到某一设定参数时, 必然会发生液压系统故障报警使系统断电停机; 机床加工中因切削量过大达到某一限值时必然会发生过载或超温报警, 致使系统迅速停机	
		偶然性故障	此类故障在各种条件相同的状态下只偶然发生一两次, 因此随机性故障的原因分析和故障诊断较其他故障困难得多。这类故障的发生往往与安装质量、组件排列、参数设定元器件的质量、操作失误、维护不当以及工作环境影响等因素有关	
6	按伺服故障分类	控制部分故障	主要是由于过载或散热不良引起的故障	
		驱动电动机故障	由于设备工作环境较差, 驱动电动机被污染、腐蚀、磨损或烧毁。这类故障是常见的故障, 应多加留意, 与此相连的检测系统也由于受污染和腐蚀, 故障率也较高	
7	按干扰故障分类	内部干扰故障	由于系统工艺、结构、线路设计、电源及地线处理不当或元器件性能变化引起内部互相干扰, 表现为很强的偶发性和随机性	
		外部干扰故障	有极强的偶发性和随机性, 往往因工作现场和工作环境有大型用电设备, 如附近有电焊机工作产生电弧干扰而发生的故障	

### 三、故障机理分析

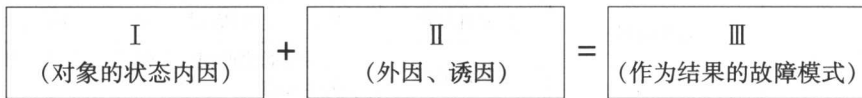
故障机理是指诱发零件、部件、系统发生故障的物理、化学、电学与机械学过程，也可以说是形成故障的原因。故障机理还可以表述为数控机床的某种故障在达到表面化之前，其内部的演变过程及其因果关系。在研究故障机理时，需要考察的基本因素至少有3个。

I. 对象 指故障件本身的内部状态与结构对故障的诱发作用，即内因的作用，如机床的功能、特性、强度、内部应力、内部缺陷、设计方法、安全系数、安装条件等。

II. 原因 能引起设备与系统发生故障的破坏因素，如动作应力（质量、电流、电压、辐射能等），环境应力（温度、湿度、放射线、日照等），人为的失误（误操作、装配错误、调整错误等）以及时间的因素（环境随时间的变化、负荷周期、时间的推移）等故障诱因。

III. 结果 产生的异常状态，或者说II作用I的结果。I的状态超过某种界限，就发生故障而作为故障模式，即III。

故障机理可表示为：



一般说来，故障模式反映着故障机理的差别。但是，故障模式相同，其故障机理不一定相同。同一故障机理，也可能出现不同的故障模式。

故障的发生受空间、时间、设备（故障件）的内部和外界多方面因素的影响，有的是一种因素起主导作用，有的是多种因素综合起作用。为了搞清故障是怎样发生的，必须搞清各种直接和间接引发故障产生的因素及其所起的作用。

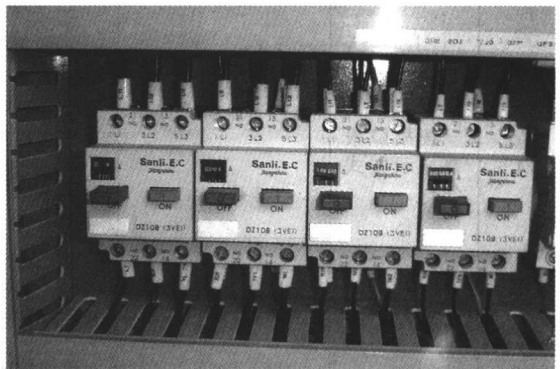


图 1-1 数控机床常用的一种空气开关

例如，图 1-1 为数控机床常用的一种空气开关，在使用中由于多种原因都可能造成接触功能失效，从而导致机床停机。图 1-2 表示了故障原因、故障机理和故障模式。

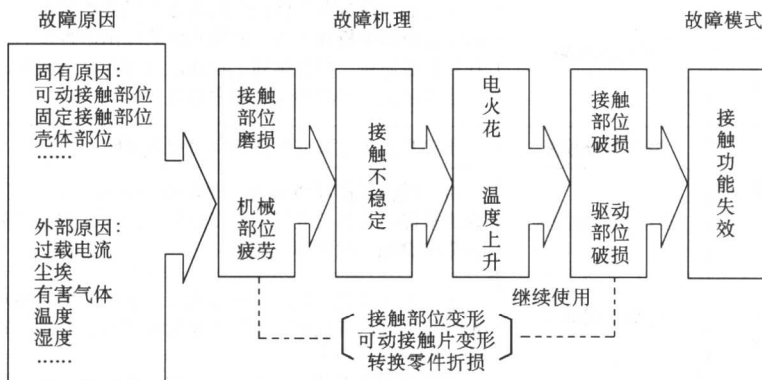


图 1-2 导致开关接触功能失效的过程

#### 四、数控机床故障的规律

数控机床故障发生发展过程都有其客观规律的，研究故障规律对诊断、排除故障，制定维修对策，建立科学合理的维修体制都是十分有利的。

##### (一) 机床性能或状态

数控机床在使用过程中，其性能或状态随着使用时间的推移而逐步下降，呈现如图 1-3 所示的曲线。很多故障发生前会有一些预兆，即所谓潜在故障，其可识别的物理参数表明一种功能性故障即将发生。功能性故障表明机床丧失了规定的性能标准。

图 1-3 中“P”点表示性能已经恶化，并发展到可识别潜在故障的程度，这可能表明金属疲劳的一个裂纹将导致零件折断；可能是振动，表明即将会发生轴承故障；可能是一个过热点，表明电动机将损坏；

可能是一个齿轮齿面过多的磨损等。“F”点表示潜在故障已变成功能故障，即它已质变到损坏的程度。 $P-F$  间隔，就是从潜在故障的显露到转变为功能性故障的时间间隔，各种故障的  $P-F$  间隔差别很大，可由几秒到好几年，突发故障的  $P-F$  间隔就很短。较长的间隔意味着有更多的时间来预防功能性故障的发生，此时如果积极主动地寻找潜在故障的物理参数，以采取新的预防技术，就能避免功能性故障，争得较长的使用时间。

每一种故障都有其主要特征，即所谓故障模式，或称故障状态。数控机床的故障状态是比较复杂的，如不能起动、运行速度异常、功能失效、达不到加工精度要求、机床异常振动、磨损、疲劳、裂纹、破裂、过度变形、腐蚀、剥离、渗漏、堵塞、松弛、发热、烧损、绝缘老化、异常声响、油质劣化、材质劣化、粘合、污染及其他。不同类型的故障模式在故障总数中大约所占的比例见表 1-3。

表 1-3 故障模式在故障总数中大约所占的比例

序号	故障模式	所占比例 (%)	
1	异常振动	30.4	
2	磨损	27.1	
3	异常声响	11.4	
4	腐蚀	34.6	
5	渗漏	12.7	
6	松弛	26.7	
7	疲劳	13.4	
8	绝缘老化	3	
9	油质劣化	6.6	
10	材质劣化	8.3	
11	裂纹	4.8	
12	异常温度	4.3	
13	堵塞	3.7	
14	剥离	3.9	
15	其他	8.4	
	合计	100	

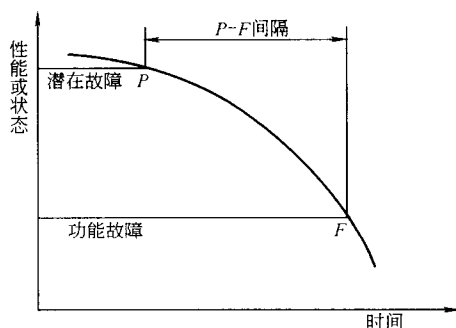


图 1-3 设备性能或状态曲线

## (二) 机械磨损故障

数控机床在使用过程中，由于运动机件相互产生摩擦，表面产生刮削、研磨，加上化学物质的侵蚀，就会造成磨损。磨损过程大致为下述三个阶段。

### 1. 初期磨损阶段

多发生于新设备启用初期，主要特征是摩擦表面的凸峰、氧化皮、脱炭层很快被磨去，使摩擦表面更加贴合，这一过程时间不长，而且对机床有益，通常称为“跑合”，如图 1-4 的  $Oa$  段。

### 2. 稳定磨损阶段

由于跑合的结果，使运动表面工作在耐磨层，而且相互贴合，接触面积增加，单位接触面上的应力减小，因而磨损增加缓慢，可以持续很长时间，如图 1-4 所示的  $ab$  段。

### 3. 急剧磨损阶段

随着磨损逐渐积累，零件表面抗磨层的磨耗超过极限程度，磨损速率急剧上升。理论上将正常磨损的终点作为合理磨损的极限。

根据磨损规律，数控机床的修理应安排在稳定磨损终点  $b$  为宜。这时，既能充分利用原零件性能，又能防止急剧磨损出现，也可稍有提前，以预防急剧磨损，但不可拖后。若使机床带病工作，势必带来更大的损坏，造成不必要的经济损失。

在正常情况下， $b$  点的时间一般为 7~10 年。

## (三) 数控机床故障率曲线

数控机床故障率随时间推移的变化规律大多如图 1-5 所示曲线（也称失效率曲线或浴盆曲线），大致分三个阶段。

### 1. 早期故障期

早期故障期机床故障率较高，但随时间的推移迅速下降，早期故障期对于机械产品也称为磨合期。此段时间的长短，随产品、系统的设计与制造质量而异。这个期间大约 10 个月左右。此期间发生的故障，主要是设计、制造上的缺陷所致，或者是使用不当造成的。

### 2. 偶发故障期

进入偶发故障期，机床故障率大致处于稳定状态，趋于定值。在此期间，故障的发生是随机的。因而可以说，这是数控机床的最佳状态期或称正常工作期。这个区段在 10 年左右，也称有效寿命期。

偶发故障期的故障，多起因于设计、使用不当与维修不力，故通过提高设计质量、改进使用管理、加强监视诊断与维护保养等工作，可使故障率降低到最低。

### 3. 耗损故障期

在数控机床使用的后期，故障率开始上升。这是由于机床零部件的磨损、疲劳、老化、

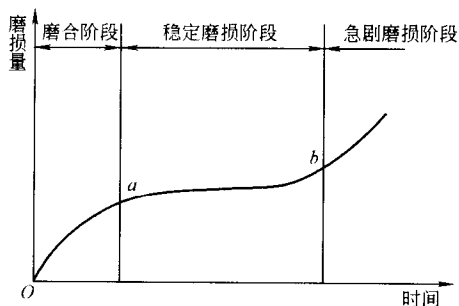


图 1-4 典型磨损过程

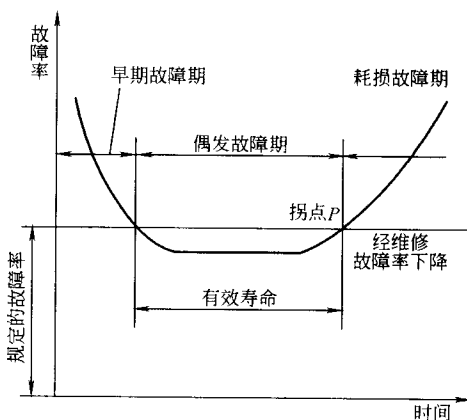


图 1-5 机床故障率曲线

腐蚀等造成的。如果在耗损故障期开始时（即图 1-5 中拐点  $P$ ）进行大修，可经济而有效地降低故障率。

数控机床故障率曲线变化的三个阶段，真实地反映了从磨合、调试、正常工作到大修或报废的故障率变化规律，加强数控机床的日常管理与维护保养，可以延长偶发故障期。准确地找出拐点，可避免过剩修理或修理范围扩大，以获得最佳的投资效益。

随着科学技术的不断发展，数控机床等现代化装备的不断出现，其故障规律与上述传统的故障率曲线有所改变，人们开始对这些设备的故障规律进一步研究。美国民航进行了 20 年的研究发现，除典型的故障率曲线外，还有五种故障率曲线，如图 1-6 所示。曲线  $A$  显示了恒定的或者略增的故障率，最终是磨损期。曲线  $B$  显示了缓慢增长的故障率，但没有明显的磨损期。曲线  $C$  显示了新设备从刚出厂的低故障率，急剧地增长到一个恒定的故障率。曲线  $D$  显示了设备整个寿命周期内的一个恒定的故障率。曲线  $E$  显示，开始有高的初期故障率，然后急剧地降低到一个恒定的或者是增长极为缓慢的故障率。

上述表明，传统的修理周期结构必须随着科技的发展及不同的设备结构特点进行改革。为此，必须提倡状态修理，特别是结构复杂的数控机床，充分利用潜在故障已经发生并要转变成为功能性故障之前的这段时间做好状态监测，针对故障前兆实施状态修理，可使维修工作量和维修费用大幅度地降低，实现少投入多产出的理想效果。

#### （四）数控机床的可靠性指标

数控机床的可靠性是在规定的工作条件下维持无故障工作的能力，是机床的内在特性，是衡量机床品质的重要指标。所谓规定的工作条件，是指设计时提出的机床使用环境、使用方法以及特殊要求等。衡量数控机床的可靠性常用以下几个指标：

##### 1. 平均无故障时间 $MTBF$

$MTBF$  (Mean Time Between Failures) 指数控机床在使用中两次故障间隔的平均时间，即数控机床在寿命范围内总的工作时间之和与总故障次数之比，即

$$MTBF = \frac{\text{总的工作时间}}{\text{总故障次数}}$$

目前较好的数控机床  $MTBF$  能达到几万小时。

##### 2. 平均排除故障时间 $MTTR$

$MTTR$  (Mean Time To Repair) 指数控机床从出现故障开始直至排除故障，恢复正常使用的平均时间，显然，要求这段时间越小越好。

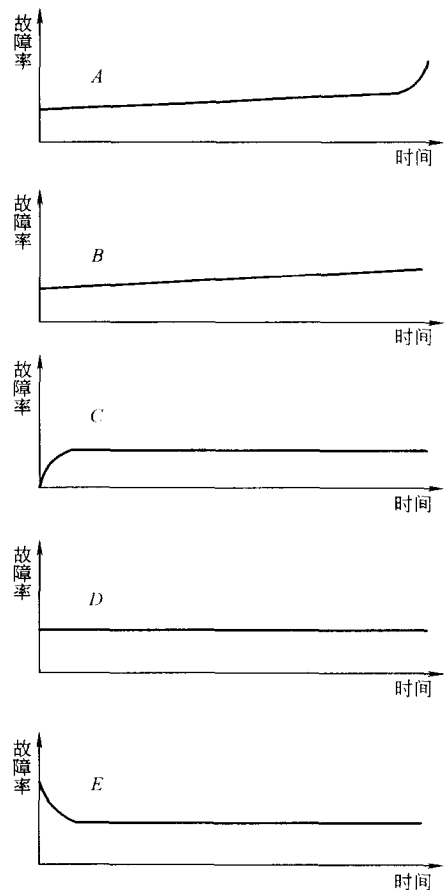


图 1-6 五种故障率曲线

### 3. 有效度 $A$

这是从可靠度和可维修度对数控机床的正常工作概率进行综合评价的尺度，即指可维修的系统在某特定的时间内维持其功能的概率。

$$A = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF}$$

可见，有效度是小于 1 的值，显然越接近 1 越好。

从提高数控机床的有效度角度来看，维修应包含两方面意义：一是做好预防性维修，包含日常维护，这是为了延长  $MTBF$  时间；二是提高故障维修效率，尽快恢复使用，以缩短  $MTTR$  时间。也就是说，要从两个方面来保证系统有较高的有效度  $A$ ，提高机床的开动率。

## 第三节 系统及系统方法的应用

数控机床是一个涉及机、电、光及计算机多门技术的庞大系统，运行中一旦出现故障，诊断从何处着眼，故障的排除从何处下手，必须要用科学、系统、合理、有效的解决办法。

从系统的基本观点和原理出发，把研究对象置于系统的形式之中，从要素、结构、系统整体、外部环境的相互联系和相互作用方面综合地进行考察，揭示其本质和规律，以维持系统的性能指标呈最优状态的方法，叫做“系统方法”。

系统方法为处理和解决系统中有关的问题提供了指导方法，在现代工程技术中常采用，在数控机床故障诊断与维修中也是有效工具。

### 一、以“系统”观点认识系统

“系统”是在特定的环境中，为了实现某种目标，由若干基本要素以一定的方式相互联系、相互作用的有机集合，而且这个集合又是它所从属的更大集合的一部分。

#### 1. “系统”特性

(1) 目的性 即任何一个系统的发生和发展都具有很强的目的性，这种目的性就是系统要具有的一定功能和要实现的目标。系统目的性是系统的一个主导因素，由它决定着系统的性能指标、系统的要素组成和结构。

(2) 关联性 即任何一个系统的各个要素之间都存在着相互影响、相互作用、相互制约的密切关联。这种关联构成了系统的结构框架，同时也决定着整个系统的机制。这种关联在一定时间、空间内是处于相对稳定状态的，但随着时间的推移、空间的变更、目标的改变、系统的发展都可能使其发生相应的变化。

(3) 结构性和层次性 即任何一个系统的存在必然被包含在一个更大的系统之中，这个更大的系统就是“环境”；同时这个系统本身又往往由若干小系统组成，这些小系统就是“子系统”，而且子系统下还可能有“孙系统”；从而形成了系统的结构性和层次性。如果对各个子系统还继续分解，直至可分解为易于运行管理的最小系统为止。一个系统经过分解处理所得到的各个子系统联系形成了一种系统的层次结构。图 1-7 表示系统的层次结构。

(4) 整体性 由各个基本要素组成的系统是一个有机整体。在这个整体中，各个子系统一方面都有自己的“目标”，另一方面又在为实现整体目标起着不可缺少的重要作用。

例如一台数控加工中心，它的功能和目标是保证高速度、高品质地加工由复杂曲面构成的工件。为了实现这一目标，系统必须由相互联系、相互作用和制约的动力系统、机械系



统、计算机控制系统、进给驱动控制系统、可编程控制系统、信息传输系统、机械手控制系统、刀具管理系统、材料与成品输送系统组成。这些子系统既有自己的功能，又要严格地服从于系统的行为，而这台加工中心又是柔性制造系统（FMS）的成员之一，为实现更大系统的总目标共同组成在一个统一的有机整体之中。

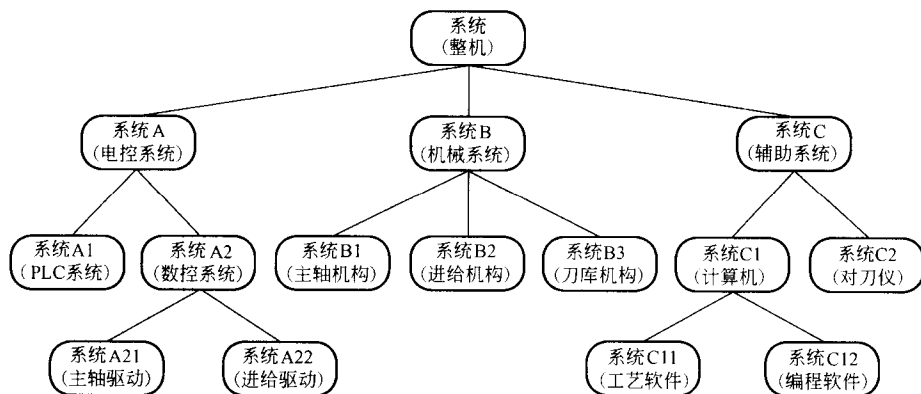


图 1-7 系统的层次结构

## 2. 系统的模型

一个实际的系统要有输入、处理、输出三部分，输入是指系统处理所需要的内容、条件和数据，处理是根据条件对输入的内容进行可能的各种加工和转换，输出是系统处理后的结果。

系统有单输入单输出、多输入多输出之分，如图 1-8 所示。数控系统中的子系统这两种情况都有。伺服电动机是单输入单输出系统的典型，伺服驱动是多输入多输出系统的典型。

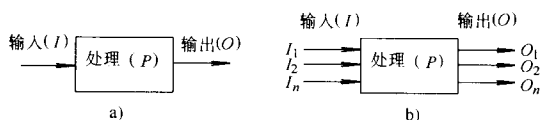


图 1-8 系统的一般模型

a) 单输入单输出系统 b) 多输入多输出系统

如果  $P$  是已知的，则可以由  $I$  的内容，经过  $P$  的处理，确定输出  $O$ 。

如果  $P$  是未知的，则只能通过  $I$  和  $O$  来推断  $P$ ，即由系统的外特性来研究和理解系统。此时我们把系统看成是“黑盒子”（Black box），“黑盒子”方法常用于系统的分析、故障的诊断。

由系统的定义、组成和特征描述可确定系统的边界。边界之内称为系统，边界之外称为环境。

系统与环境之间有信息、物质和能量的交换和流动。系统从环境中得到的某些物质或信息就是系统的输入；系统向环境输送的某些物质或信息就是系统的输出。

## 3. 系统的分类

现实世界中具体系统是复杂的，由于观察系统的角度各自不同、标准不同，因此对于系统的分类也就不同，其中有工程技术系统、人造系统和自然系统、概念系统和物理系统、简单系统和复杂系统、动态系统和静态系统、确定型系统和不确定型系统、时变系统和时不变系统、线性系统和非线性系统、柔性系统和刚性系统、开环控制系统和闭环控制系统等等。

这些系统既以不同的形式存在，又有各自的性质和特征。例如确定型系统，当我们已知它某一时刻的状态，然后再依照系统的已知处理和转换函数就可以准确地推断系统下一时刻