

太原工业大学
82级研究生自然辩证法
论文集

1984

太原工业大学

· 82级研究生自然辩证法论文集

目 录

浅析机床测试技术的辩证发展.....	徐世昌	717
计算机图学的辩证发展及未来.....	饶文新	120
从唯物辩证法看管理科学.....	吕重发	183
略论系统工程在社会经济领域的应用 ——兼谈现代科学间的相互渗透融合与分化	高少华	124
塑性力学发展过程中的辩证规律研究.....	夏少华	126
试论材料的强度、塑性及韧性之间的辩证 关系.....	49.2.24 陆 希	(67)
金属断裂的初步辩证分析.....	49.2.24 段小明	(75)
略论“控”与“被控”.....	张文杰	(82)
类比方法在机电能量转换中的应用.....	廉广斌	(86)
机电系统中的相似律.....	刘喆颀 柴华桢	(95)
浅谈机床的发展规律.....	王小刚	(105)
煤的开发利用问题的辩证分析.....	苏正伟	(116)
煤炭利用技术的历史发展.....	淮华鹰	(127)

浅析机床测试技术的辩证发展

徐 仕 强

人类使用机器的历史可以远溯至十四、五世纪，然而真正的机器时代应从十八世纪第一次工业革命算起，1781年瓦特发明蒸气机大大加快了这一进程。今天各式各样的机器已经深入到社会的各个领域，成为人类改造自然，推动社会发展的强有力的手段。随着现代机器工业向重载、高速、高精度发展，机床作为生产机器的机器，就要求具备高精度、高生产率及更大的适应能力。机床测试技术是机床设计中的重要一环，对保证机床性能，满足加工生产的需要影响很大。运用马克思主义的立场、观点、方法，对机床测试技术的发展做一番辩证分析，揭示其发展规律，对研究和应用测试新方法，使我国的机床制造达到世界先进水平具有重要意义。

一、测试技术及其重要性

（一）为什么要搞测试？

自然界的事物，形态各异，需要有一个“尺度”去衡量它们，给它们以一个数量值的概念，这就产生了“度量”。如古代的尺、斗、斤。

度量的概念是随着人类社会和生产的发展而不断深化

的。现在人类认识的界限远至100—200亿光年，小至 10^{-8} mm的粒子，甚至 10^{-13} mm的夸克，跨40个数量级。人类感官的生理界限已被大大超越，高标准的新“尺度”在不断取代原有的计量。例如：时间的度量，已经由24小时天文计时，发展到电子振频计时，西德的电子钟500万年误差一秒。长度单位从英尺——按巴黎子午线的 $\frac{1}{4 \times 10^7}$ 制造的国际标准

米（1791—1960）——桔红色光波波长 $6057\text{\AA}$ 的1650763.73倍为一米长度（1960—1983）——米是光在真空中，在 $1/299792458$ 秒的时间间隔内运行距离的长度（1983年10月20日第十七届国际计量大会通过）。

人们度量的手段亦从直接观察——仪器观察——实验观察，而且必须应用高深的数学理论、电子计算机等等去取得满意的结果。“度量”这个词已经过于狭窄，而必须用“测试”这个新概念取而代之了。

测试是人们认识客观事物的一种方法，是人们从客观事物中取得信息的认识过程。在这个过程中，要借助于专门的仪器设备，通过合适的实验方法和必要的数据处理方法，求得所研究对象的有关信息的量值。

（二）测试在现代生产中的地位

十八世纪七十年代的机械加工是毫米级精度，二十世纪三十年代发展到微米（ 0.001mm ）级，现在又出现了毫微米（ $1/10^6\text{mm}$ ）工艺。在航天定位系统中，差之毫厘，失之千里，其关键部件的加工必须保证极高的精度。

测试的应用范围亦由单纯的产品检验，发展到高温、高速部件的动态测试，自动化生产的监测诸方面。

因此，测试是现代加工生产的耳目，是取得第一手资料的手段，占有极其重要的地位。测试质量的优劣，直接关系到生产的质量。没有精确的测试，自动线、机器人、乃至火箭就都无法动作，现代社会也就无法运转。

二、机床测试技术的发展

测试的基本矛盾是测试所能达到的精度及其可靠性与生产不断向高精度、高速度、自动化发展的矛盾。恩格斯说：“社会一旦有技术上的需要，则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进”。生产的发展不断对测试提出新的要求，二者之间不断地产生矛盾，一旦旧的测试技术不能满足生产需要，就有一系列新的技术被采用，从而使测试与生产在新的水准上取得统一，这种矛盾运动使测试技术不断向前发展。机械式测试→电讯号测试→光学测试，这是一个从量变到质变的否定之否定的发展过程。

（一）机械式测试*

测试方法、测试仪器、信号处理是测试中的三大要素，它们各自独立存在，不可互相取代，又相互联系，构成完整的测试技术。三者的变化对测试技术的变革起着相互促进的作用。

（1）测试方法

测试方法是指测试中运用仪器获取信息的方法及过程，测试方法直接反映了测试发展的水平，机床测试主要经历了由静态→动态；由实际切削测试→模拟实验两大变革。

机床是一个复杂的整体结构，做为工作母机必须具备比

* 注：本文所论及的机床测试以床身基础件为主。

机器产品更高一级的精度和稳定性。对机床的测试大多采用实验的方法，以突出矛盾，排除干扰，而且可以直接精密地反复地观测，经济可靠。

早期的机床测试，是在静载下进行的。工程师们将加工好的主要零件放在实验台的专用夹具中，加以载荷，测量它们的应变，取得一组数据，依据其进行单件的改型设计，根据需要改变被测件的强度、刚度性能，称为静态测试。

在大量的实践中发现，整台机床的零件虽然通过了静态测试，而一经装配，投入运转机床性能与预期的差距很大，甚至出乎意料之外。这种情况在高速运转时显得更为突出。产生误差的根本原因在于零件测试时的静载状态与运转时的动载状态有很大差别，其中受力分析、测试夹具设计等一系列人为因素也降低了测试数据的可靠性。静态测试方法不能满足生产的需要，它逐渐成为设计生产高性能机床的障碍。为解决这种矛盾，导致测试方法的变革，机床的高精度与良好的动态性能取得了新的统一。

在机床动刚度诸影响因素中，床身部分占有很大比重。常规上应使床身变形占刀尖相对刚性工件的总相对变形量的10—15%，但做为基础件，常将其变形视为其它部件变形的基准（0变形），而且成本高，改型困难，因此对床身动态性能的考察就十分重要，具有很大实际意义。床身的动态性能测试一般称为“机床结构动态性能试验”，它是机床设计中一个重要环节，是机床基础理论研究的重要方面，为确定薄弱环节，改进结构，优化设计，抗振性能研究提供了可靠的试验依据，使机床在重载、高速、自动化工作条件下保持高精度，高生产率，具有足够的静、动刚度，而且结构合理（外形、布筋方式，筋尺寸），重量轻，成本降低。

动态测试中虽然不得不做一些必要的简化，但仍具有很高的可靠性，关键在于它最大程度地与实际运转状态相符合。在动态测试中，一般需要取得以下几个参数：位移 S ，速度 v ，加速度 a ；固有频率 ω 及振型。广泛使用的 Y6D-3 型动态应变仪方框图如图 1 所示。

最初的动态测试，是在实际机床上加工标准试件进行实验、测试。这种方法要求有不只一台的、装配完毕的样机，设计成本高，周期长，而且很难在原有基础上进行较大的改型。

模型试验是机床测试中的一大革命，用缩小比例的模型进行试验，克服了上述弊病，加载小，测试系统简单，是工程设计中有力的辅助工具。在模型试验中存在两方面矛盾的对立：模型的比例与可靠性；结构简化对结果的影响。现在已经发展了一整套相似理论，确定相似现象的基本性质，必要、充分条件，从而可以定量地设计模型，并将模拟实验的结果定量地推广到原型。模型律（相似条件）的建立，可由原型的微分方程导出，亦可以由量纲推演而得，保证了模型与原型变形的几何相似性。模型上一些边、角、棱、筋、孔、槽的省略，应以不影响测试结果可靠性为原则，如床身的筋板布置一般是不可简化的，否则模型试验将失去意义。

六十年代后，随着我国化学、塑料工业的发展，在机床模型试验中引入了胶弹性模型，如环氧树脂、有机玻璃等，加工性能好，成本低廉，透明度好，使光学测试内应变成可能。现在胶弹性模型已广泛应用于复杂、关键零件，如齿轮、连杆、整体结构、整体机床的测试中。

模拟试验的另一大类型是数学模拟，常常是建立一个

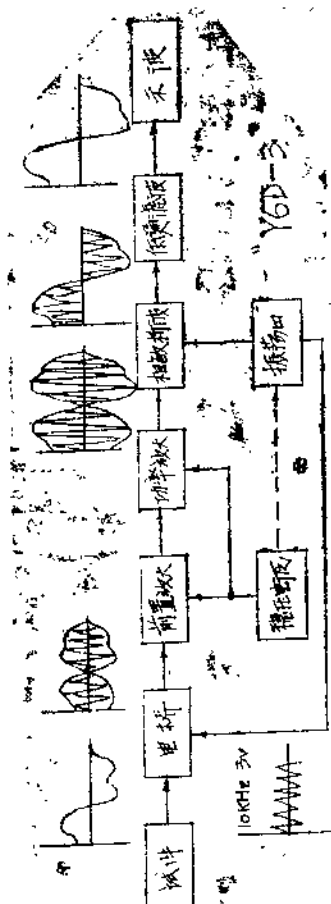


图 1

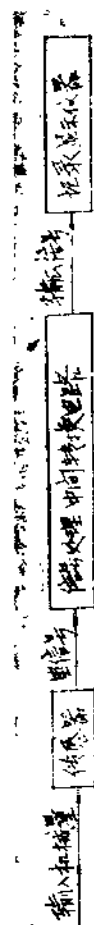


图 3

集中参数模型，如图2所示。构造模拟框图，求得输出及中间信息的传递关系，建立数学微分方程组求解。这种方法使用简便，通用性强，便于电子计算机运算，目前国内外已经有许多应用。

(2) 测试仪器

测试仪器是为一定的测试方法服务的，测试方法直接推动仪器的更新，而新型的仪器亦带来测试方法的变革。正是科学仪器开扩了人的眼界，使感性认识客观化，精细化，准确化，从而获得精细的定量知识。

仪器的发展首先是精度的不断提高。皮尺以毫米分格，精度只有0.5mm；游标卡尺的精度为0.01mm；千分表又提高一个数量级，达到0.001mm。这个渐进过程的结果又被高精度加工所否定，产生了从机械测量到电讯号测试系统的突变。

1958年以来，我国广泛使用电阻应变片传感器，辅之以高灵敏度的电桥，稳定性、频率响应性能较好，成本低，适于现场测试。常用测试系统由以下三部分组成(如图3)其中传感器的作用十分关键，目前已经发展了半导体应变片、压电晶体、电感、电容传感器、光电传感器等等，使电测精度不断提高。

但是对于毫微米精度的工艺要求，电测技术的量变发展不再能够满足，于是又产生了光学测试的突变。(见后述)

(3) 信号处理技术

在动态测试及大型构件测试中需要对取得的大量数据进行整理、分析，得出测试结论。这个处理过程要求快速、准确，

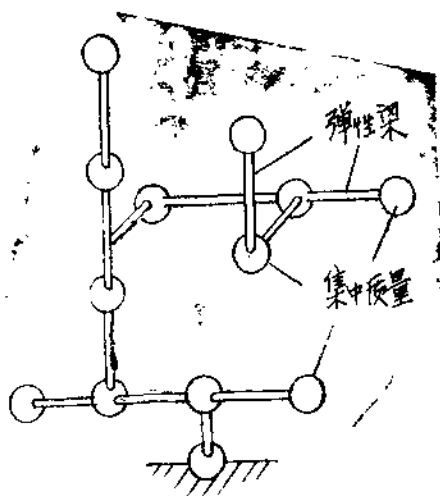


图 2

它从另一个角度反映了测试技术的水平。

动态测试所得的数据，是一个时间域的样本函数值的集合。对这些离散数据做最小二乘法曲线拟合，得到一个时域曲线，可以分析变形规律。这种方法数据处理量大，速度慢。于是又应用了傅里叶变换、拉普拉斯变换，在频率域、复数域进行数据分析。如常用的“幅—频特性曲线”，“相—频特性曲线”，使对应最大振幅的频率、相位一目了然，便于寻找振源，降低振动幅度。近年来又发展了快速富里叶变换技术，应用电算机快速处理大量离散数据。

4. 有限元法，又称结构力学矩阵解法，是一种利用矩阵的

方法解题，运用电算机高速运算求解的现代结构分析方法。对于需要多至数百个测点数据的大型构件，效果显著。1956年第一次成功地运用于飞机模型的设计，现在已经被引入机床测试，应用广泛。

现代工程技术的特点是使用电子计算机，许多实际问题不必简化到最简形式，从而使模型更接近于实际，快速准确优化设计使问题在设计阶段大部分得到解决，而不必一次次地改型。

综上所述，测试方法，测试仪器及信号处理在机床测试中起着具体的，各自不同的作用：仪器是物质基础，测试方法是实现测试的桥梁，信号处理就是分析综合，从中得出逻辑的结论，它们构成一个有机的整体。其中某一方面在技术上、理论上的突破，都将导致测试技术的变革，使测试技术不断向前发展，满足生产需要。

（二）光学与测试

自然界是一个相互联系的整体，各种事物相互依存，相互促进。在科学发展中，既有各个独立学科的发展，又有学科间的相互推动。尤其是基础科学的每一次重大突破，都迅速带来工程技术的大步前进。1609年伽里略制成30倍天文望远镜，尔后又制成显微镜，一组光学镜头的组合，为人类展示了广阔的宇宙，引起了生产、科研、哲学观点的巨大变革。

物理光学的发展为测试开辟了广阔的领域，光学测试的发展基本上经历了三个阶段：干涉测量→光弹性试验→激光全息摄影术。

（1）干涉测量

干涉是一切波动的共同特性之一，其数学解释为：两束光波 $E_1 = a_1 e^{i\delta_1} e^{i\omega t}$ ， $E_2 = a_2 e^{i\delta_2} e^{i\omega t}$ 迭加后光强为 $I = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos(\delta_2 - \delta_1)$ ，〔这里 E_i 代表光波矢量， a 为振幅， δ 相位， ω 角频率， t 时间。〕由以上三式可见：干涉是同频率，同振动方向，相位差 $(\delta_2 - \delta_1)$ 恒定的两束波的迭加效果，而且 $\delta_2 - \delta_1 = 2n\pi (n=0, 1, \dots)$ 时光强最大， $\delta_2 - \delta_1 = (2n+1)\pi$ 时光强最小。干涉现象可以用简单的光路系统，演示出一条条黑白相间的条纹，称为干涉条纹。

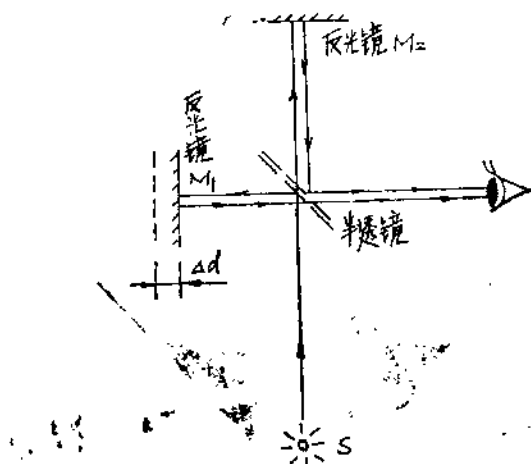


图 4

十九世纪末麦克耳孙制做了第一台干涉仪，它是很多近代干涉仪的雏型，原理图如图4。光源 S 及 M_2 固定， M_1 的位移 Δd 与观察到的消失条纹数 Δn 成正比，与滤色光波长 λ 的

一半成正比，即 $\Delta d = \frac{\lambda}{2} \Delta n_0$ 。若使用高压汞灯光源，滤为

绿单色光， $\lambda = 5641 \text{ \AA}$ ，

对 $\Delta d = 1 \text{ cm}$ 有 $\Delta n = 40000$ 条。其灵敏度之高，是机械测量、电测所无法比拟的，而且是非接触式测量，排除了接触表面变形的影响。

随着光电池检测系统的配备，动态测试的条纹变化可以准确地记录下来，把测试技术的精度大大提高了一步。

(2) 光弹性试验

十八世纪，发现了某些各向同性透明非晶体材料，如环氧树脂，受应力作用时，成为各向异性，产生双折射现象，而且其主折射率与主应力在方向上重合，即椭球方程的一致性。

主应力椭球 $\frac{x^2}{\sigma_1^2} + \frac{y^2}{\sigma_2^2} + \frac{z^2}{\sigma_3^2} = 1$ ，折射率椭球 $\frac{x^2}{N_1^2} +$

$\frac{y^2}{N_2^2} + \frac{z^2}{N_3^2} = 1$ ， $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 为三向主应力， N_1, N_2, N_3

为对应三个方向的折射率。这个原理从十九世纪被应用于应力分析，采用的光路系统及原理框图，如图 5 所示。 E_A 是相干光 E'_A, E''_A 的合成，因而产生干涉。光强

与振幅 $a \sin 2\theta \sin \frac{\alpha}{2}$ 的平方成正比 $I = K a^2 \sin^2 2\theta \sin^2$

$\frac{\alpha}{2}$ ，故 I 为主应力方向角 θ 及折射相位差 α 的函数。分

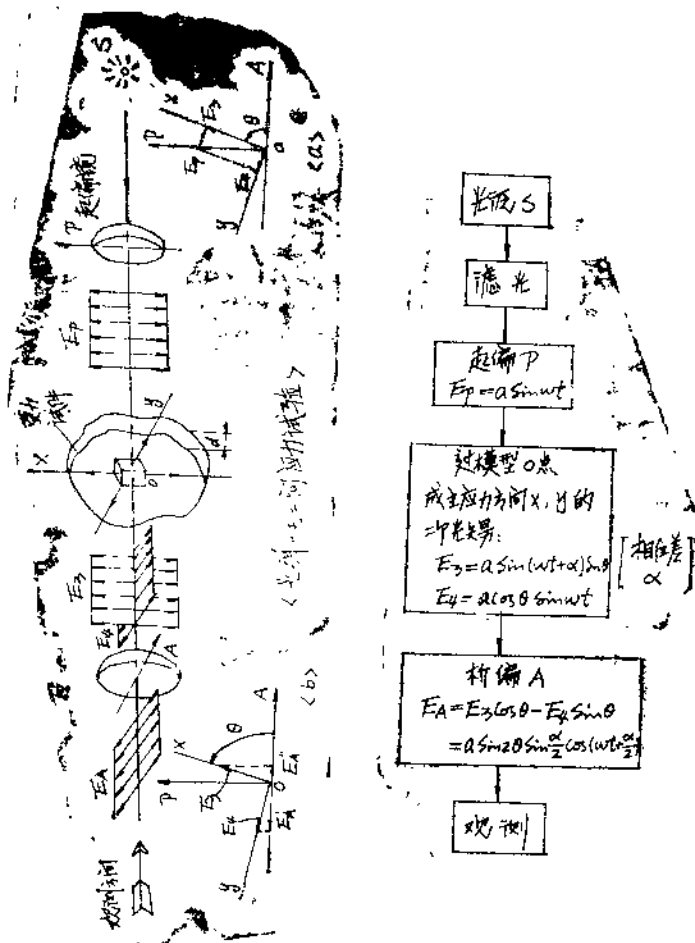


图 5

析这两个角的变化,可得两种有意义的现象。

①等倾线: $\theta=0^\circ, 90^\circ$ 时, $l=0$, 在黑线上各点主应力倾角都相同。

②等差线: $\alpha=2n\pi$ ($n=0, 1, \dots$) 的黑线上, 光程差 $R=\lambda n$, 称 n 级等差线。数出级数 n , 可计算主应力差 $\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{f}{d} \cdot n$, ($f=\lambda/c$, c 为材料特征系数; d 为模型厚度。) 忽略厚度方向的应力影响, 可依等差线、等倾线得到受力模型的二向应力分布状态。

三向应力状态的光弹试验, 采用冻结应力法: 在 $100-130^\circ\text{C}$ 下对环氧树脂模型加载, 缓慢冷却至室温再卸载, 模型在高温下的光学效应被保留下来, 模型的冷加工也不致使冻结应力消失。任意切取模型内部一点的切片, 进行光弹试验, 可以分析主应力的大小和方向。

光弹测试比干涉测量前进了一步, 可分析内部任意点的应力, 但切片磨制工艺复杂, 而且不适于大型构件应力分析。这个矛盾由激光测试技术解决, 激光测试已经成为目前机床测试的主要方法之一。

(3) 激光测试

① 激光

激光是“受激辐射光放大”的简称。传统光源以自发辐射为主, 而激光是在入射光子撞击下, 产生的以受激辐射为主的光辐射。激光要求有光介质处于“粒子数反转”状态, 即高能态粒子数多于低能态粒子; 要有一个谐振腔, 即安装在激光介质两端的两块反射镜 (一块全反射

镜，一块半反射镜），通过反射进行受激辐射光放大。激光具有高相干性，高亮度，高准直性和极纯的单色性。激光用于测距，误差小于4万分之一；用激光制做的时钟，数万年误差一秒。

1960年梅曼制造了第一台红宝石激光器，波长 $6943\text{\AA}$ 。其后二十年间，激光技术取得了突飞猛进的发展，应用于工程、医学、以及激光通信、激光武器、核聚变、激光同位素分离等重大科学领域。激光测试技术七十年代末开始在我国开展，测试理论及技术渐趋完善，应用在广泛的工程领域中。

② 激光全息摄影技术

摄影是观察中不可缺少的手段之一，弥补了人类视觉的生理缺陷。例如，它可将某些转瞬即逝的现象冻结在感光乳剂上，显示不可见光的存在，微光信息累加成为可见，更重要的是能以一种模拟记录的形式展示光与空间、时间三种变量的关系。事实上正是1919年5月29日的一幅日蚀照片，为爱因斯坦广义相对论提供了第一个证据，验证了强大引力场中光波弯曲的推断。

激光使摄影技术发生了巨大变革，它使搁置了十四年之久全息摄影得到新生。1962年美国雷斯和厄普特尼斯首次利用氦氖激光器照射一个透明物体取得了第一张激光全息照片。它在一块普通的感光板上同时记录下所受光强和位相的信息，就是说这是一种三维照片。1964年他们又合作制做了第一张散光照射全息图，摄制漫反射物体全息图象，其再现现象更为清晰，而且照片的任一小的局部都接受了整个被摄物体的信息，又称为“过剩信息全息图”，得到了工程上的广泛应用，其摄影及再现光路设置如图6所示。

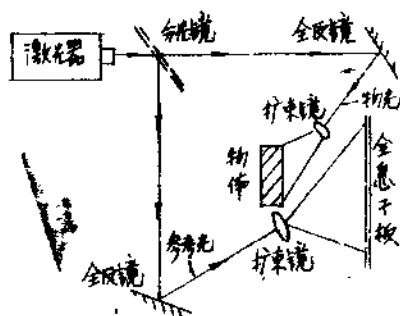


图 6-1 全息摄影光路

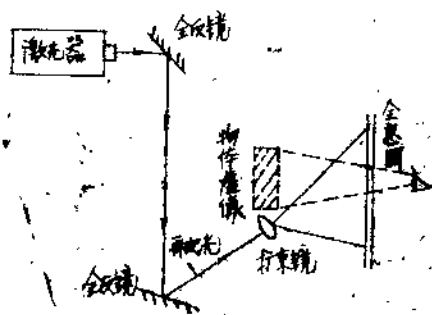


图 6-2 全息图再现光路

漫反射法记录的是物体的离面位移，还可以使用透射法（激光全息技术与光弹法的结合），而光路布置比较复杂。散斑法测量的是面内位移。这些技术从1976年以来，在