

GH

高等学校工科电子类教材

机构精确度

黄家贤 黄寿荣



西安电子科技大学出版社

高等学校教材

机构精确度

(第二版)

黄家贤 黄寿荣

西安电子科技大学出版社

1994

(陕)新登字 010 号

内 容 简 介

本书是 1986 年出版的《机构精确度》的修订版。全书共七章,包括:误差理论基础;机构精度的基本计算方法;齿轮机构、轴系、螺旋机构和导轨副等典型机构的精度分析方法;总体精度分析方法及其应用举例等。在每章后均附有思考题及习题。

本书取材丰富,兼顾理论与应用两个方面,实用性较强。此书在叙述问题时,深入浅出,言简意明,便于读者自学。

本书为高等学校工科专业教材。对从事电子机械、精密仪器及其它机械工作的科技人员同样有使用价值。

高等学校教材
机 构 精 确 度
(第二版)
黄家贤 黄寿荣
责任编辑 夏大平

西安电子科技大学出版社出版

西安电子科技大学印刷厂印刷

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 13 12/16 字数 324 千字

1986 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 2 版 1994 年 12 月第 2 次印刷 印数 4 001 - 6 000

ISBN 7 - 5606 - 0291 - 6/TH · 0012(课) 定价: 7.90 元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定，我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978~1990，已编审、出版了三个轮次教材，及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神，“以全面提高教材质量水平为中心，保证重点教材，保持教材相对稳定，适当扩大教材品种，逐步完善教材配套”，作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想，组织我部所属的九个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会，在总结前三轮教材工作的基础上，根据教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1991~1995年的“八五”（第四轮）教材编审出版规划。列入规划的，以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300多种。这批教材的评选推荐和编审工作，由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿，其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的，其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的，其三是经过质量调查在前几轮组织编定出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会（小组）、教学指导委员会和有关出版社，为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之外，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评和建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部电子类专业教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材 1991~1995 年编审出版规划,由电子机械教材编审委员会无线电专用机械设备教材编审小组推荐修订出版。责任编委为费时雨。

本教材是根据电子机械类专业、精密仪器专业以及其它机械类专业的教学需要,在多年教学实践的基础上,对 1986 年出版的《机构精确度》教材进行修订而成的。

本修编教材由东南大学黄家贤担任主编,北京理工大学盛鸿亮担任主审。

本课程的参考学时数为 64 学时。其内容共分七章:第一章介绍误差理论基础;第二章介绍机构精度计算的基本方法,第三~六章分别介绍齿轮机构、轴系、螺旋机构和导轨副等典型机构的精度分析方法,第七章介绍总体精度分析方法及其应用举例。修编后的《机构精确度》对原版内容进行了调整、充实和提高,删去了部分较为松散、琐碎和与主题关系不很紧密的内容,加强了误差理论基础,充实了机构精度计算的基本方法和典型机构精度分析计算的应用实例,勘误了原版中的某些疏漏之处。

本教材由黄家贤编写第一、二、三、六章,黄寿荣编写第三章第四节、第四章,黄寿荣和黄家贤合编第五章和第七章。黄家贤统编全稿。在此,谨向审阅人和曾参加原教材编写的叶琪根、朱逢时两同志以及在编写和修订过程中在各方面给予支持和协助的同志致以深切谢意。

由于编者水平有限,编写时间仓促,本教材修订后,缺点错误仍在所难免,恳望广大读者批评指正。

编者

目 录

绪论	1
第一章 误差理论基础	5
§ 1.1 误差的基本概念	5
§ 1.2 机构精度的含义	7
§ 1.3 随机误差	11
§ 1.4 系统误差	21
§ 1.5 误差合成	35
思考题及习题	41
第二章 机构精度计算的基本方法	45
§ 2.1 概述	45
§ 2.2 微分法	47
§ 2.3 转换机构法	50
§ 2.4 作用线增量法	56
§ 2.5 其它方法	62
§ 2.6 机构误差的统计计算	65
§ 2.7 机构精度的通用算法简介	68
§ 2.8 机构构件极限误差的确定	73
思考题及习题	77
第三章 齿轮机构的精度分析	79
§ 3.1 传动误差和空程误差的概念	79
§ 3.2 渐开线圆柱齿轮机构传动误差的分析与计算	80
§ 3.3 渐开线圆柱齿轮机构空程误差的分析与计算	87
§ 3.4 阿基米德圆柱蜗杆蜗轮机构误差的分析与计算	106
附表	116
思考题及习题	121
第四章 轴系精度分析	122
§ 4.1 概述	122
§ 4.2 轴系回转精度的基本概念	122
§ 4.3 轴系回转精度的评定指标	126
§ 4.4 影响轴系精度的因素	128
§ 4.5 典型轴系的精度分析	140
思考题及习题	143
第五章 螺旋机构传动精度分析	145
§ 5.1 概述	145

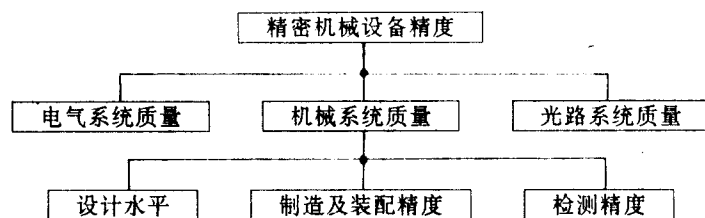
§ 5.2 螺旋机构原始误差的分析	146
§ 5.3 螺旋机构误差的综合	157
§ 5.4 滚珠螺旋副精度分析	166
思考题及习题	173
第六章 导轨副精度分析	174
§ 6.1 概述	174
§ 6.2 导轨副的导向精度对测量和加工精度的影响	176
§ 6.3 影响导轨副精度的因素	178
§ 6.4 导轨副的精度分析及其误差合成	183
思考题及习题	192
第七章 总体精度分析	193
§ 7.1 概述	193
§ 7.2 分析步骤和提高精度的途径	194
§ 7.3 总体精度分析举例	200
思考题及习题	210
附录 机构位置误差概率分析的基础知识	211
主要参考文献	213

绪 论

一、研究机构精度的重要意义

随着科学技术特别是电子技术和空间技术的发展,对产品的加工精度以及产品加工设备精度的要求越来越高。例如半导体集成电路向大规模和超大规模集成电路迅猛发展,电路图形日趋复杂,线条宽度越来越细,从几微米逐步缩小到 $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ 。这样对集成电路工艺设备以及测试设备的精度要求亦越来越高,使之成为当今世界上最为精细的加工行业。精密机械是各种现代科学技术最为密集领域之一,这是由于许多学科向精密机械领域渗透的结果。因此研究各类精密机械设备精度问题时,不能片面强调某一学科单独作用,而应作全面分析,从各个方面采取措施。一般地讲,若不考虑加工工艺及环境对设备的影响,则这类现代精密机械设备的质量乃是机、电、光等诸系统质量的总和。而设备中机械系统的质量又是机械设计、机械制造和测量技术等诸质量的总和(见表 0-1)。

表 0-1 机、电、光系统质量与设备精度的关系



在特定的设备中,机、电、光等系统所起的作用不同,其中机械是基础。众所周知,机床的传动精度首先取决于传动链各零件的制造和装配精度,如果机械本身的精度不高,则任何先进检测和控制系統也很难发挥其应有作用。正如美国学者韦恩·R·穆尔所说:“机床精度在于几何精度”。前苏联学者勃·姆·巴兹洛夫在其专著中,也特别强调对机器几何精度的研究。

此外据报导,1978年美国国防部组织的由122位专家组成的“机床任务调查组”,在经过30个月调查研究后所作的调查报告中也曾指出:“通晓机床精度学的人数较少,需要更多的单位和人员了解机床误差是如何使被加工零件超差的,如何对已知的、反复出现的误差加以防止和补偿等。”可见研究机构精度有其重要意义。

欲提高机构(机械)精度,首先应提高机械设计水平,因为在研制机构和机械设备过程中,起主导作用的是机械设计。设计水平的高低,不仅直接影响机构和设备精度,而且将影响制造工艺及测量技术的方法、难度和成本等各个方面。

设计机械时,一般只研究能实现最佳运动规律的理想机构。至于其构件误差(主要是制造和装配误差等)对机构精度的影响以及分析设计方案及其图纸能否达到规定精度要求等问题,乃是机构精确度所要研究的任务。精度分析是精密机械设计中的必要环节,也是保证机构及设备之精度的重要技术措施之一。

机构精确度的基本概念、基本理论及基本方法,同样适用于电路系统、光学元件及其

光路等方面的精度分析。精度分析已成为一种通用技术,将在综合精度分析中发挥重要作用。

二、机构精确度的发展历史

众所周知,多数机构的基本目的在于使其构件实现给定的运动规律,并保持一定的位置精度。可是一般机械原理所研究的是理想机构,即假设机构构件为绝对刚体,其尺寸和外形均绝对精确。这种理想机构实际上是不存在的,因为机构中难免有这种或那种误差存在。例如运动副中有了间隙,构件便不可能按给定规律作准确的运动。这历来是生产上特别是在精密机械中迫切需要解决的重大问题。

机构精确度就是根据生产需要并依靠科学技术进步而建立起来的一门新学科,已成为机械学中的重要分支之一。其任务是研究实际机构,分析计算构件误差对机构精确度的影响,探讨机构误差的传递规律及其理论。

机构精确度的发展历史不长,仅 50 年左右时间。虽然早在 1937 年发表的《自动机机构的设计方法》论文中,提及了机构误差的一般问题,但当时还没有确定问题的实质,只局限于对某些机构的不精确度作了个别的启示。到了 20 世纪 40 年代初期才开始研究机构精确度理论。从此之后,对渐开线齿轮的精确度进行过有意义的研究,提出了“转换机构和微小位移图”的概念,发表过《画线机构的误差》和《关于机构误差的基本理论》等论文。与此同时,还探讨过机构的速度与加速度误差和动态误差,以及低副平面机构中由于构件尺寸不精确和铰链中有间隙所引起的误差等问题。直到 40 年代末期及 50 年代初期,外国学者先后出版了《机构精确度》和《机械制造精确度及其定律》等几本不同学派的专著,才奠定了机构精确度的理论基础,形成了一门新兴学科。

众所周知,早在 60 年代国外就曾先后发表过《度量衡学基础与仪器机构精确度》、《精密齿轮传动装置——理论与实践》等专著和有关论文,对推动本学科的发展及其应用曾起过积极的作用。

到了 70 年代,著名学者勃鲁耶维奇的论文《确定机构速度和加速度误差的方法》的发表及其专著《装置精确度和可靠性的非线性理论基础》的出版,标志着机构精确度的研究又深入了一步。在此期间,还发表过《度量衡学基础和测量装置精确度理论》等很多与本学科有关的论文和专著。

进入 80 年代以来,又有《分析计算机床精度的总和法》、《机械装置精确度的通用计算方法》、《机构的运动学、动力学和精确度》以及《电子计算机辅助计算机器精确度》等很多论文和专著相继问世。从中可以明显看出,有关学者和科技工作人员正在探索一种通用的机构精确度计算方法以及计算机在研究机构精确度中的应用。这是一个值得重视的发展动向。

迄今为止,机构动态精度的分析计算与实际应用还有一段距离,需要继续研究。而机构静态精度的分析计算已有较大的发展。在典型机构精度分析方面,不仅其研究深度在不断深化,而且研究范围也在逐步扩大。例如,对影响滚珠螺旋副综合导程精度因素的分析研究,近年来由于生产发展和技术进步等需要,已引起国内外有关单位的重视。

在精度分配方面,由于优化技术的发展和电子计算机的广泛应用,已有较大的进步。

在机构精度计算方法方面,新的计算方法及不同学派也时有出现。众所周知,矢量代

数法在分析空间误差,特别在分析棱镜等光学系统的精度方面,得到了成功的应用。间隙对机构精度的影响历来为人们所重视,已有不同学派在从事这方面的研究。

我国在机构精度研究及其应用方面也做了大量工作,发表过很多论文和著作。但是在中期曾一度出现停滞不前的现象,经历了一段曲折的道路。近年来由于我国四化建设的需要,又出现了回升的势头。表 0-2 所示为我国这方面的一部分研究项目。

必须指出,机构静态精度的分析计算虽有其重要意义,但毕竟有较大的局限性。因此,它只适用于那些轻而小、加速度低,又无较大惯性力的精密机械设备及仪器。例如钟表机构、解算装置、测量仪器、雷达中的伺服机械系统、精密工作台以及精密机床等等。因为这些机构和设备所要保证的精度主要是位置精度。

表 0-2 关于机构精度分析及精度分配的部分研究项目

机床类	1. 坐标镗床精度分析及主要零件的精度分配研究
	2. 高精度蜗杆及滚刀磨床的精度分析及零部件精度分配的研究
	3. 丝杆磨床的精度分析及零件精度分配的研究
	4. 齿轮磨床精度分析及传动链精度的研究
	5. 数控机床传动链精度和动态精度的研究
量仪类	6. 三坐标测量机精度分析与精度分配的研究
	7. 长度测量仪器的机构精度及机构误差理论的研究
	8. 小模数万能渐开线检查仪的精度分析
其它精密机械	9. 小模数齿轮传动链精度分析与计算的研究
	10. 雷达中的伺服机械系统的精度分析
	11. 天文望远镜传动精度的研究
	12. 光栅长度刻划机的精度分析
通用机构	13. 多层十字簧片式等几种弹性联轴器精度的研究
	14. 谐波齿轮传动机构的精度分析
	15. 轴系的精度分析
一般问题	16. 关于精度最佳分配问题的理论研究
	17. 精度分析经济效果的研究
	18. 精度软件的研制
	19. 通用教材《误差理论及精度分析》、《机构精确度》和《计算机辅助计算机器精确度》的编、注和出版

三、机构精确度的基本任务

机构精确度的基本任务可以分为精度分析和精度分配两个方面。

(一) 精度分析

精度分析是根据机构设计图纸及有关技术条件,先分别计算其零件原始误差引起的局部位置误差,再进行误差合成,求出该机构可能达到的总精度。

通过精度分析,可以在设计阶段进行多方案比较,从中选出精度最佳的设计方案。

通过精度分析,还可以算出构件中每一个原始误差所引起的机构局部位位置误差及其在

机构总误差中所占的比例,从而发现其中的关键和薄弱环节,明确提高机构精度的方向和重点,并为改善设计质量及提高设计水平提供资料和依据。

这种方法不仅能分析非周期性误差,而且能分析周期性误差。这种方法对每一个原始误差的影响都能分析出来,其详细程度是目前其他分析方法(如频谱分析法)无法相比的。其缺点是计算结果与实测数据往往有出入。这是尚待进一步研究和完善的问题。

(二) 精度分配(又称精度设计)

精度分配是精度分析的逆运算,就是根据机构总的精度要求,合理地确定其零部件的公差配合等技术条件。

用经验设计法设计机构时,零部件的技术条件通常是用“类比法”确定的,因此常常造成不必要的返工和浪费。这在生产上特别在精密机械设计中是急待解决的问题,也是机械设计由经验设计向理论设计过渡中需要解决的问题之一。

精度分配要比精度分析复杂得多。目前对于结构不太复杂,要求又不很高的机构进行精度分配问题不大。如果要求较高,如既要满足精度要求又要考虑制造成本,则要求制造工厂积累有关统计资料。但是要做到这一点目前还有困难,而且精度分配理论本身也需要进一步研究和完善,因此本课程的重点放在精度分析方面。

四、课程目的及基本要求

本课程的基本目的是:通过机构精度方面的基本概念、基本理论、基本方法以及典型机构精度分析的学习,培养学员分析和解决机构精确度方面问题的能力。为此在学习本课程时,应着重注意以下四点:

- (1) 学会全面分析误差来源,并能找出其中重点;
- (2) 掌握误差传递理论及其计算方法;
- (3) 能按误差性质及其分布规律,进行误差合成;
- (4) 能通过精度分析,指出提高机构精度的方向和重点。

第一章 误差理论基础

§ 1.1 误差的基本概念

一、误差的定义

误差就是错误值与正确值之差，即

$$\text{误差} = \text{错误值} - \text{正确值}$$

上式为误差的逻辑方程式。对于具体的误差公式，可以根据具体情况按逻辑方程式的形式来确定。例如在长度计量中，测量某一尺寸的绝对误差公式为

$$\text{绝对误差} = \text{测得值} - \text{真实值}$$

又如机构的位置误差也可按上述误差逻辑方程式来确定，即

$$\text{位置误差} = \text{实际位置尺寸} - \text{理论位置尺寸}$$

二、误差分类

(一) 按误差来源分类

按误差来源分类可分为设计误差、制造误差和使用误差。

1. 设计误差（原理误差） 设计误差是设计设备或机构时，由于采用简化机构或近似理论，使实际机构与理论机构产生一定差距而造成的原理性误差。

2. 制造误差 制造误差是设备或构件在加工制造及装配过程中所造成的构件尺寸、形状以及相对位置等误差。

3. 使用误差（又称运行误差） 使用误差是设备或构件在使用过程中，受力变形、摩擦、磨损以及工作环境偏离标准状态等诸因素所造成的误差。

(二) 按误差性质分类

1. 系统误差 系统误差是服从一定规律的误差，它是由一个或几个确定的因素按一定的函数关系作用的结果。系统误差又可按下列方法分类：

(1) 按对误差掌握的程度分为：

① 已定系统误差。误差的大小和方向为已知。

② 未定系统误差。误差的大小及方向为未知，但通常可估计出其误差的范围。

(2) 按误差出现规律分为：

① 不变系统误差。即误差大小和方向固定不变。

② 变化系统误差。即误差大小和方向按一定规律（线性规律，周期性规律，复杂的规律）变化。

2. 随机误差（又称偶然误差） 其误差的大小和变化方向没有规律性，但对于大量的随机误差，它们的分布情况是具有一定的统计规律性的。

(三) 按误差的表示方法分类

1. 绝对误差 它是某机构位置的测得值和真实值之差, 其表达式为

$$\Delta = X - L_0$$

式中 Δ ——绝对误差;

X ——测得值;

L_0 ——真值。

误差可能是正值或负值。若以绝对值表示其大小, 则真值为

$$L_0 = X \pm |\Delta|$$

在一般情况下, 真值 L_0 并不知道, 即使求得, 也只是一个近似值。因此就产生了最大绝对误差值的概念。例如用一个毫米钢尺测某一工件长度, 钢尺可准确到 0.5 mm, 如测得尺寸为 25 mm, 可知该工件的实际长度必在 24.5 mm 和 25.5 mm 之间, 也就是工件的实际长度与测得的近似值之差不会超过 0.5 mm, 这就是最大绝对误差, 通常简称为绝对误差。

绝对误差只能用以判断对同一尺寸(同一量程)的精度, 如果是对不同尺寸的测量, 就难以判断其精确的程度。例如: 对 1 m 长的工件和 100 mm 长的工件而言, 若其误差均为 1 μm , 则显然前者的精度比后者的高得多。为了解决这个问题, 而引入了相对误差的概念。

2. 相对误差 相对误差 r 是绝对误差 Δ 与被测量真值即机构运动真实值 L_0 的比值。由于真值不知, 为方便起见, 一般采用测得值 X 来代替真值。故

$$r = \frac{\Delta}{L_0} \approx \frac{\Delta}{X}$$

r 是一个比值, 无因次, 通常以百分数(%)来表示。相对误差在通常情况下即指最大相对误差。

仍对前面例子进行计算, 其相对误差为

对于 1 m 工件

$$r_1 = \frac{1(\mu\text{m})}{1\,000 \times 10^3(\mu\text{m})} = \frac{1}{1\,000\,000} \times 100\%$$

对于 100 mm 工件

$$r_2 = \frac{1(\mu\text{m})}{100 \times 10^3(\mu\text{m})} = \frac{1}{100\,000} \times 100\%$$

显然 $r_2 > r_1$ ($r_2 = 10 r_1$), 说明 1 m 长的工件精度高。

(四) 按各误差之间是否独立分类

1. 独立误差 各原始误差之间是独立的, 互不相关。在计算总误差时, 可应用误差独立作用原理, 不必考虑相关系数(即相关系数为零)。

2. 非独立误差(又称相关误差) 各原始误差之间互不独立, 相关系数不为 0, 介于 -1 和 +1 之间。在计算总误差时, 要考虑相关系数的影响。

(五) 按误差的时间特性分类

1. 静态误差 不随时间变化的机构各位置误差称为静态误差。静态误差可以看作随机变量。

2. 动态误差 机构位置误差为时间的函数时称为动态误差。动态误差应看作一个随机过程, 通常要用随机过程的理论来解决。

此外还有其它分类方法,不再赘述。

§ 1.2 机构精度的含义

精度的高低是用误差来衡量的。误差大说明精度低;误差小,则精度高。所以精度是误差的反义词。精度是评价精密机构工作质量的最基本的指标,机构精度的一般含义可理解为实际机构与理想机构运动规律的符合程度。为了更深入地了解机构精度的具体含义,根据机构的工作特征和误差的性质,可从以下几个方面来理解。

一、机构准确度

机构准确度是由系统误差所引起的机构实际运动对理想运动的偏离程度。图 1-1 所示为一个机构的实际运动曲线与理想运动曲线。若在任意位置 X_i 处,其实际运动曲线 $Y_2(X)$ 与理想运动曲线 $Y_1(X)$ 不重合,则可将 X_i 处的理想运动曲线与实际运动曲线之间的机构位置误差定义为机构在 X_i 处位置的准确度,即

$$\Delta Y_i = Y_2(X_i) - Y_1(X_i)$$

它是机构运动范围内位置误差的函数。准确度是评定机构精度的最基本参数,它反映了机构的系统误差。因而,可以通过调整、更换零件或加入修正量等办法,来提高或改善机构准确度。

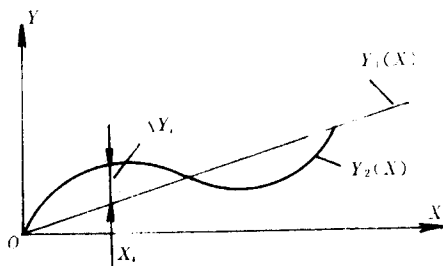


图 1-1 机构准确度示意图

二、机构精密度

机构精密度表示机构多次重复运动的符合程度,即机构重复运动对其平均运动的分散程度,也就是机构运动的可靠程度。如图 1-2 所示,由于机构中存在随机误差,机构主动件在多次重复运动到 X_i 处时,从动件并不位于曲线 Y_2 上,而是在 Y_2 上下波动。图中虚线所示的范围 δ_i 即表示机构精密度的高低。其值在机构整个运动过程中是变化的,因此常用其最大值来表示机构精密度。

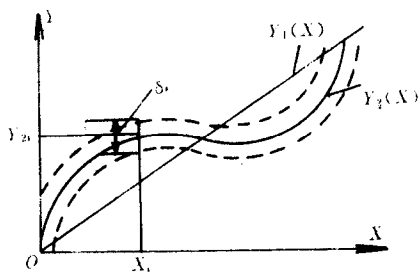


图 1-2 机构精密度示意图

精密度反映机构在正常工作条件下的随机误差,它是机构中许多微小的变动因素综合作用的结果。例如机构构件的配合间隙,作用力的变化,摩擦以及弹性变形等。

三、机构精确度(或简称机构精度)

机构准确度与精密度的综合称机构精确度。精确度反映机构系统误差和随机误差综合影响的程度。

对于具体机构而言,精密度高,不一定说明其准确度也高;反之亦然,准确度高的,精

密度也不一定就高。因此只有精密度与准确度的综合即精确度才能全面表示机构精度的特征。图 1-3 所示为几种打靶结果，即子弹落在靶子上的几种情况 (图(a)、(b)、(c)、(d)) 及其分布曲线 (图(e)、(f)、(g)、(h))。从图中可形象地看出准确度、精密度及精确度的含义以及三者之间的关系。

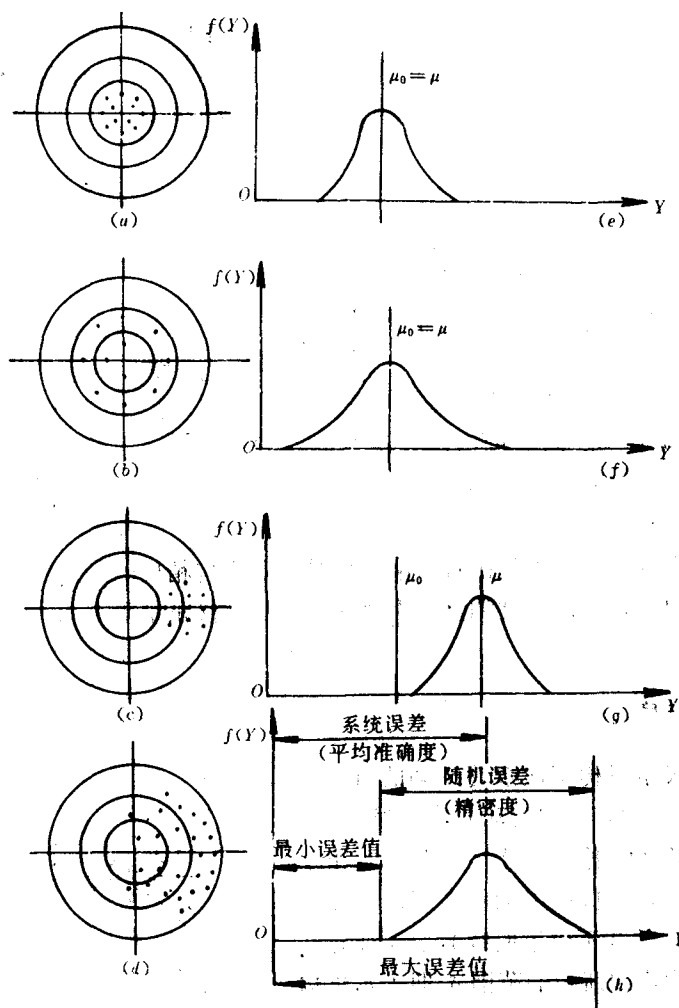


图 1-3 准确度、精密度与精确度之间的关系图

图 1-3 (a) 及 (e) 表示系统误差和随机误差均小，即准确度和精密度都较高，亦即其精确度高。

图 1-3 (b) 和 (f) 表示系统误差小而随机误差大，即准确度高而精密度低。

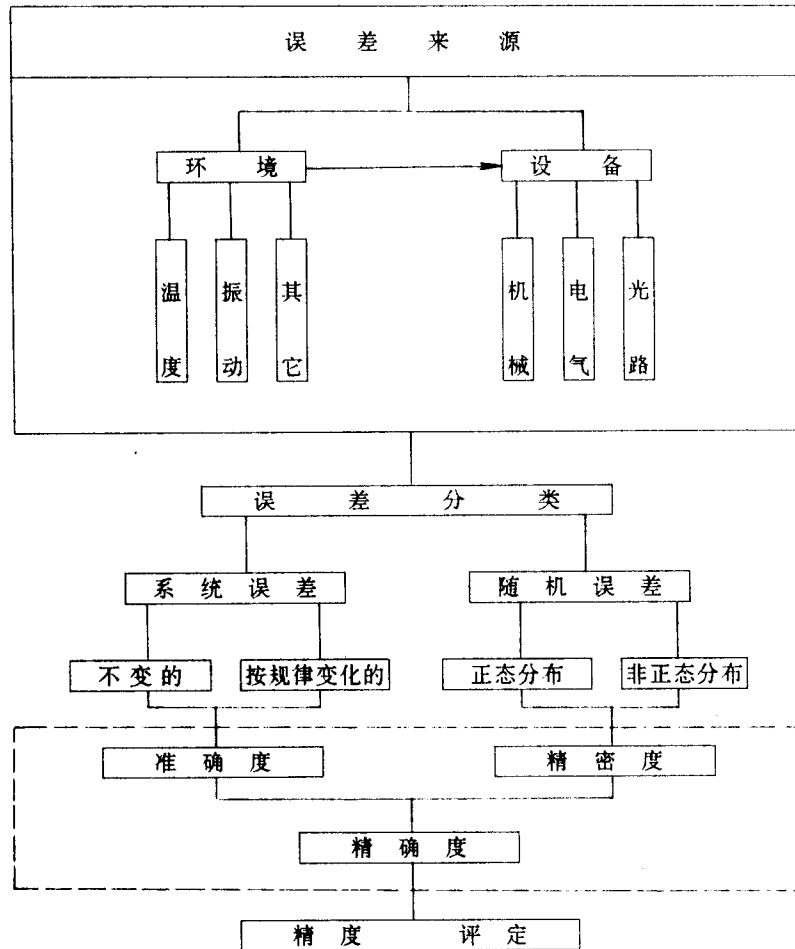
图 1-3 (c) 和 (g) 表示系统误差大而随机误差小，即准确度低而精密度高。

图 1-3 (d) 和 (h) 表示系统误差及随机误差均大，即准确度和精密度都低，也就是说其精确度低。

由此可见，为了机构能准确可靠地工作，其精确度应高。如果达不到上述理想要求，则应首先保证有较高的精密度，以便机构能可靠地工作。这是因为系统误差还可以通过调

整、更换零件或加入修正量等办法来减少或消除,以达到提高机构精确度的目的。表 1-1 所示是误差来源、误差分类及精度评定的概括。

表 1-1 误差来源、分类及其评定



四、变动度

变动度表示由机构本身的缺陷造成的其运动结果的变化程度,以机构正向和反向运动结果的变动范围来表示。它反映了机构系统误差的变动范围。

图 1-4 表示机构正向运动曲线 $Y_1 = \varphi_1(X)$ 与反向运动曲线 $Y_2 = \varphi_2(X)$ 不重合。 A_i 即表示机构在位置 X_i 处的变动度, OA 表示机构主动件回至零位,而从动件产生的零位不重合。因此机构从动件若产生零位不重合,则说明此机构具有变动度。

影响变动度的因素主要是机构中的间隙、摩擦和弹性变形等。图 1-5 表示一个具有摩擦及弹性变形的运动机构模型。当主动件正反向运动时,从动件运动位置的差异即为变动度,其值可表示为

$$\Delta = Y_0 + \frac{2F}{K} = Y_0 + \frac{2fN}{K}$$

式中 Y_0 ——由机构各部件中的间隙及由于摩擦所产生的爬行等所导致正反向运动的从动

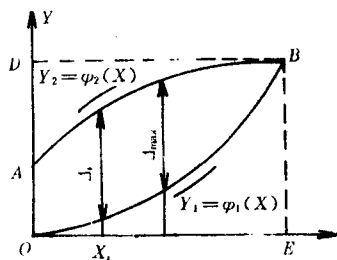


图 1-4 变动度

件位置的差异；

K ——系统的刚度；

f ——摩擦系数。对一般滑动摩擦， $f=0.2$ 。

例如齿轮传动链的空程误差就是由齿轮机构间隙所产生的变动度。

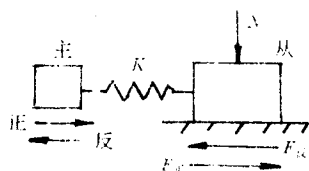


图 1-5 变动度计算

五、迟钝度

在讨论迟钝度前，先介绍一下机构灵敏度的概念。

所谓灵敏度即为机构主动件运动量大小与其所给出的从动件运动量大小之比，即单位主动件运动量所能引起的机构从动件运动量。

若机构主、从动件运动间有函数关系 $Y = f(X)$ ，其中 Y 为从动件运动量， X 为主动件运动量，则机构灵敏度为

$$S = \frac{dY}{dX}$$

若机构主、从动件运动有如图 1-6 所示的关系曲线，则在位置 X_1 处的灵敏度，可近似以增量形式表示，即

$$S_1 = \frac{\delta Y}{\delta X}$$

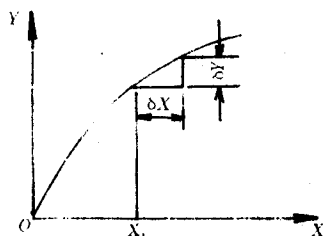


图 1-6 灵敏度

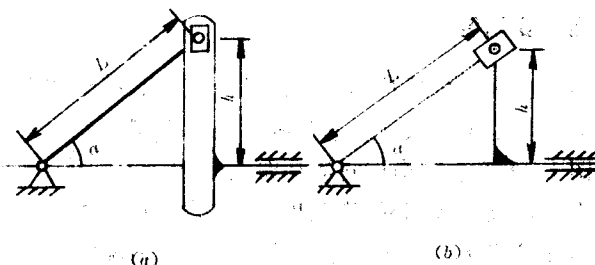


图 1-7 正弦尺机构的灵敏度

当机构主、从动件运动均为机械运动时，则机构灵敏度即为机构传动比的倒数，因此其综合公式与求总传动比相同，即