

# 0804 仪器科学与技术

## 一、学科概况

仪器科学与技术学科是一个历史悠久而又极具生命力的学科。它伴随着人类最早的生产和社会活动的开始而萌生。古代测量器具尽管简单，但也基本具备了测量单位、标准量和标准量与被测量比对过程等测量的基本属性，如我国氏族社会已有“结绳记事”、“契木计时”的记载；大禹治水时使用了准绳与规矩；公元前 221 年，我国秦朝已形成量值统一的度量衡制度和器具；《汉书·律历志》中用“累黍定尺”和“黄钟律管”对长度进行了定义，其中用发出固定音高的“黄钟律管”之长来定长度标准是我国古代伟大的发明创造，这种方法与几千年后的今天，世界上采用光波波长定义长度基准从基本原理上有惊人的相似之处；此外还产生了朴素的测量方法，如利用平行光投影的相似现象间接地测量物体的长度；进而产生了以测量单位、标准量、测量值与被测量值转换关系为基础的测量方法和测量仪器，如日晷和浑天仪等。在这个漫长的历史过程中，尽管该学科在促进生产力发展与社会进步中发挥了巨大作用，但仍处于学科的萌芽阶段。

直至 1898 年国际米制公约建立，初步形成了以米和公斤等为基本计量单位，相应的计量标准器与测量仪器，量值溯源方法与测量理论；进而衍生出作为该学科理论基础的测量误差理论和计量学等，学科基本理论框架初步形成。随着近代测量科学与仪器技术的学术价值和实验价值显著提升，近代测量科学逐渐从近代物理学和化学等基础学科中分离出来，并逐渐形成一门独立的学科，成为近代科学的重要基础学科之一。门捷列夫曾有著名论断：“科学是从测量开始的”，“没有测量就没有科学”，“测量是科学的基础”。

现代测量学是前沿科学领域中最活跃和最有生命力的学科之一。测量科学研究的重大突破性进展和新原理仪器的发明直接或间接地引发了前沿重大科学问题的突破。这在历届诺贝尔奖的研究成果中得到集中体现。到 2011 年为止，诺贝尔物理学奖、化学奖、生理学和医学奖获奖项目总数为 352 项，获奖总人数为 547 名，直接因测量科学研究成果或直接发明新原理仪器而获奖的项目总数为 37（占 10.5%），总人数为 50（占 9.1%），如电子显微镜、质谱仪、CT 断层扫描仪、扫描隧道显微镜和原子力显微镜等；同时 69% 的物理学奖、75% 的化学奖、92% 的生理学和医学奖都是借助于各种先进的高端仪器完成的。

仪器科学与技术的发展，一直与和物理学、化学、生理学和医学等基础学科和前沿学科的发展与重大前沿科学问题的突破紧密地联系在一起。每次科学技术研究取得的重大进展都会推动仪器科学与技术产生跨越式发展。传统仪器科学与技术以牛顿力学、电磁学、经典光学、热力学、化学等为理论基础，建立了长度、力学、热工、电磁、光学、声学、电子、时间频率、电离辐射等计量测试专业与相应的测量仪器技术产业。

现代仪器科学与技术以电动力学、量子力学、现代光学、电子学、计算机科学、控制科学和精密机械学等为理论基础，同时借助于现代新技术的突破性进展，如微电子技术、计算机技

术、激光技术、光子技术、光电子技术和超导技术等，使仪器科学与技术进入以量子计量为标志的新阶段，如激光干涉测量技术、原子频标计量技术、基于电子隧道效应的扫描隧道显微仪器技术、基于量子化霍尔效应的电参量计量技术研究等相继迅速取得突破，并发展成为新的仪器技术，进而促进仪器科学与技术的迅速发展。

仪器科学与技术学科具有与众多相关学科紧密交叉与融合的特点，而且这种学科间的紧密交叉与融合越来越成为现代仪器技术，特别是高端仪器技术发展的趋势。一方面，仪器科学与技术学科的发展必须借助于相关学科的新技术成果，如研制新原理仪器必须采用光学新技术、精密机械新技术、电磁新技术、电子新技术和控制新技术等；另一方面，相关学科发展过程中遇到的难题与需求也会为新原理仪器的发明提供了机遇。如生命学科领域的前沿问题之一是基因结构和活体细胞三维结构及形态与病理学、药理学之间的关系，这一需求导致高空间分辨率层析共焦显微镜的发明与发展。又如分子物理学的前沿问题之一是分子及原子结构的真实性与可操作性，这一需求导致了扫描隧道显微镜和原子力显微镜的发明与广泛应用。目前，仪器科学与技术学科同大部分工科和理科学科都形成了密切的交叉与融合关系。

## 二、学科内涵

**1. 研究对象** 仪器是认识世界的工具，是对物理、化学和生物量以及各类工程量等进行观测、测量、测试、检测、计量、监测及控制的重要手段，是信息的源头。仪器科学与技术学科的研究对象可分为4个层面：第一个是通过测量方法和仪器的发明，发现自然现象，认识自然规律，即从量的属性这一角度揭示客观世界的内在规律，以认识世界为目的；第二个是对物理、化学和生物量以及各类工程量等进行精确测量，并对仪器的量值进行溯源和传递，以获取准确一致和可靠的数据，为改造世界建立基础与前提；第三个是对生产和工作过程进行监测和控制，保证生产和工作过程的可靠性与效率；对产品质量进行测量，指导工艺水平提升，控制产品质量的可靠性与水平的提升；第四个是对人类健康状况进行检测，对生存环境状况和安全状况以及各类社会活动进行监测，作为人类自身健康、环境与社会安全保障的基础与前提。仪器科学与技术学科是为人类认识自然现象，发现自然规律提供科学手段，为人类健康、环境安全，以及生产和社会活动法制化提供物质技术保障的一个跨学科的、知识密集和技术密集的综合性学科。

**2. 理论** 仪器科学与技术学科是一门典型的交叉性学科，其理论体系尚处于不断发展和完善的过程之中。从总体上概括，仪器科学与技术学科的理论体系主要由应用物理科学、传感技术科学、测量科学、计量科学、信息处理科学、仪器技术科学和工程实验科学等构成。根据仪器科学与技术学科各个分支领域的研究成果，并综合考虑仪器科学与技术学科各个分支领域分类的复杂性、差异性以及共同属性，仪器科学与技术学科的主要理论包括：传感器及系统理论，传感器数据融合理论，测量理论与方法学，仪器系统协同设计理论，仪器的微型化、网络化和虚拟化理论与设计方法，测量控制理论，信号与图像及信息理论，测量误差与不确定度理论，量值传递与溯源方法，精密仪器精度理论与设计方法，电子测量理论与仪器设计方法，检测分析仪器、生物医疗仪器和环境监测仪器理论与设计方法等。

**3. 知识基础** 仪器科学与技术学科的知识基础仍处于不断发展与完善之中。支撑仪器科学与技术学科理论体系的知识基础由六大部分构成。



(1) 测量方法学的概念、基本原理及运用。包括关于测量的概念、测量理论、测量原则和测量方法论；运用上述概念、理论、原则和方法论，针对处于一定被测对象和被测环境下的被测量的具体特性，建立测量方法，主要解决可测性问题；在此基础上，建立优化的测量误差分配模型与误差补偿模型，建立优化的测量方法、测量模型和仪器模型，主要解决测量方法构成与测量的准确性等问题。

(2) 传感器理论与技术。包括对物理、化学和生物量，以及工程量等的感知或传感机理与技术、信号或信息转换与放大技术、传感器设计方法，主要解决传感模型和传感系统的建立问题。

(3) 仪器工程学与测控系统工程学。包括仪器精度理论与设计方法，新原理核心技术基础、仪器核心单元设计方法，仪器集成技术与方法，仪器误差补偿技术与理论，仪器性能测试与校准技术等；还包括利用相关技术对信号、图像和信息等进行直接显示、输出和对外部设备进行反馈控制等；主要解决仪器或测控系统构成和测量手段与能力的实现问题。

(4) 信号、图像和信息处理理论与技术。包括信号与系统理论，数字信号处理理论与技术，图像和信息处理理论与技术，以及信号、图像或信息的利用技术等，主要解决信号、图像和信息的提取、处理和利用问题。

(5) 测量误差理论与数据处理技术。包括测量误差与不确定度理论，仪器误差补偿理论与技术，测量误差修正理论与技术，数据处理理论与技术等，主要解决测量结果的可靠性与准确性问题。

(6) 计量学的概念、基本原理及应用。包括计量的概念、计量理论、计量体系和计量法规等。运用上述概念、理论、体系和法规等，针对科学研究、生产活动、经济活动、社会活动和国际交流等需求，建立科学的计量单位制，量值溯源与传递方法和体系，以及计量基准装置和计量标准装置等。计量学是仪器科学与技术的基础，主要解决在全国范围内和国际范围内测量单位的统一与量值的准确一致等问题。

支撑上述知识基础的学科专业知识，主要包括：测量误差与不确定度理论、互换性与测量技术基础、信号与系统、数字信号处理、图像处理、传感技术、电子技术、网络技术、测控技术为专业基础知识；测量技术、仪器设计、测控系统设计、仪器精度理论等专业技术知识。专业技术知识在专业体系的构建上根据各自专业方向的内涵不同有所侧重。仪器科学与技术学科注重能力的培养，即主动获取知识的能力，独立分析问题与解决问题的能力，以及创新研究能力。

仪器科学与技术学科具有显著的多学科交叉特点与学科自身可持续创新的优势。这些特点与优势得益于仪器科学与技术学科具备不断吸取相邻学科与相关学科的最新研究成果的能力。相邻学科与相关学科的最新研究成果的不断融入，使仪器科学与技术学科知识基础不断拓展和深化。相关知识基础主要由三大类构成，即自然科学基础知识类：包括数学、物理学、化学、生物学等；技术科学知识基础类：包括精密机械学、电子学、计算机及网络技术、控制理论、微纳米技术、应用光学、物理光学、激光原理与技术等；人文社会科学基础知识类：包括科学技术史、哲学、政治经济学等。

**4. 研究方法** 仪器科学与技术学科伴随着科学技术的整体发展，不断在实验科学、技术科学和工程科学中存在的大量测量科学问题和测量技术问题等方面深化认识，在解决这些问题

的过程中进行理论和方法创新,逐渐构建了学科的理论体系,形成了具有本学科特点的研究方法,大致可归纳为如下方法:

(1) 仪器与测量系统测量学特性的系统分析方法。大型高端精密测量仪器和系统是一个多测量参量、多误差源、多种变化规律和多重复合作用的复杂系统,具有不可控的干扰源多、难补偿误差多、多变量耦合问题多和难建模问题多等特征,无法用现有典型方法分析,必须针对具体的仪器与测量系统问题,采用多学科手段,综合运用系统分析、分类归纳、分层解耦,以及直接监测与间接测算结合、精确补偿与经验数据结合、误差分离与误差抑制结合等方法,获取大量的相关数据,精确估算各个不确定度分量,判断各个测量学特性的偏移量,经多次测算与权衡,最终提出最优测量方案。

(2) 仪器与测量系统的协同设计方法。为达到高精度、多参量和高效率的设计目标,大型高端仪器和精密测量系统的设计无法由常规的仪器设计方法实现,必须采用协同设计方法。该方法首先采用多学科技术与方法,如光学、精密机械学、电子学、电磁学、控制理论、计算机等技术与方法,完成仪器系统的原理设计;然后采用多学科方法与理论逐一分析与估算各测量特性的满足度和偏差。以此为依据,结合各分系统、技术单元、子单元等的指标裕度、技术潜力、成本代价,进行协同设计。经过反复地综合平衡、性能兼顾、取舍与妥协,逐步解决多种性能间的矛盾、多种功能间的耦合、精度与效率间的匹配和性能与成本间的统一等,最终完成最优设计方案。

(3) 仪器的量值溯源与性能评估方法。测量仪器具有完成一定测量、控制甚至制造功能的特性,是对被测量进行定量评价的装置。对测量仪器性能的评估是要保证其正常完成规定的功能要求,对测量仪器量值溯源必须满足计量学特性的要求,其中最核心的内容是不能满足测量不确定度要求。有条件的情况下,可直接对测量仪器整机性能进行量值溯源与评价,其他情况下也可采用规范的计量学方法逐一对仪器系统中的各传感单元、监测单元和测量单元进行溯源性分析与评价,最终确认该仪器的整体性能与功能满足设计要求。

### 三、学科范围

仪器科学与技术包括两个学科方向:精密仪器技术与工程和测试计量技术及仪器。二者在培养目标、研究范围和课程设置等方面,各自形成了具有显著特色的理论体系,面向不同的应用背景,但同时二者又有许多相互联系和共同之处。

**1. 精密仪器技术与工程** 主要面向精密工程和微纳技术领域、高端装备制造领域、生物医学领域、环境工程领域和相关观测与实验领域,以光电转换、机电转换、光机电转换和其他物理、化学和生物等转换方式的手段,探索研究和开发新原理科学仪器、精密测量仪器、专用精密测试仪器与试验仪器。

精密仪器技术与工程是以精确获取被测量信息为目标,以光机电等相关学科前沿技术为手段,探索、研究、设计和研制新原理高端仪器,以多学科交叉融合为显著特征的综合性和前沿性学科。按仪器获取与处理信息流的本质划分,有两大类理论基础,一类以光电信息技术为主的相关理论,如数学、物理学、光学、电子学、光电信息理论、图像理论和控制理论等基础理论;另一类以电子信息技术为主的相关理论,如数学、物理学、电子学、电磁学、控制理论和信号理论为基础理论。而其共性基础理论是数学、物理学、误差理论和控制理论等。



精密仪器技术与工程主要研究传感技术、测量方法学、精密仪器精度理论、精密仪器设计方法、精密仪器共性关键技术、精密仪器集成技术、精密仪器制造工艺、精密加工/测量一体化装备技术、几何参量测量仪器技术、机械参量测量仪器技术、运动参量测量仪器技术、光电仪器技术、视觉仪器技术、微纳机械及测量仪器技术、科学仪器技术、显微仪器技术、生物仪器技术、环境仪器技术、地球科学仪器技术、环境遥测遥感仪器技术、大型高端专用仪器技术、航空航天专用仪器技术、测试与试验仪器技术等。

**2. 测试计量技术及仪器** 主要面向几何量、力学量、电学量（电磁学和电子学）、光学量、热学量、声学量、时间频率、电离辐射等相关物理量和工程量，以及化学量和生物量，探索、研究新的测量原理和方法，以及量值溯源和传递方法；同时研制和开发新颖的仪器和计量标准装置，开展对装备或系统的综合测试、诊断与预测技术研究，研制和开发新颖的测试系统，建立其校准和测试比对方法。

测试计量技术及仪器是以追求量值的统一为目标，以多学科交叉融合为显著特征的综合性 and 前沿性学科。其共性基础理论是数学、物理学、光学、化学、误差理论、控制理论、测量方法学和计量学等。

测试计量技术及仪器主要研究测量方法学、计量学、误差理论与数据处理方法、量值溯源与传递技术、计量仪器校准与比对技术、几何量测试计量技术与仪器、力学量测试计量技术与仪器、电（磁）学量测试计量技术与仪器、光学量测试计量技术与仪器、热学量测试计量技术与仪器、声学量测试计量技术与仪器、时间频率测试计量技术与仪器、电离辐射测试计量技术与仪器、化学量测试计量技术与仪器、生物量测试计量技术与仪器，以及装备或系统的综合测试、诊断与预测技术及系统等。

两个学科方向存在着紧密的联系，都需要掌握传感器技术、误差理论、精密机械、电子学、光学、计算机技术、自动控制、信息处理技术等方面的专业知识和应用技能。

#### 四、培养目标

**1. 硕士学位** 应在仪器科学与技术学科的研究领域中具有坚实的专业理论基础和系统的专门知识；了解本学科领域的发展方向和学术研究前沿；具有独立进行理论和实验研究的初步能力和从事技术开发的能力；有严谨求实的科学作风。应能从事本学科或相近学科的科研、教学、工程技术和技术管理工作。

**2. 博士学位** 应在仪器科学与技术学科的研究领域中具有坚实宽广的理论基础和系统深入的专门知识；深入了解本学科领域的发展方向及国际学术研究前沿；能够从事高水平的理论和实验研究，并在某一方面取得创造性的研究成果；具有独立从事科学研究和技术开发的能力；有严谨求实的科学作风。应能胜任本学科或相近学科的科研、教学、工程开发或技术管理工作。

#### 五、相关学科

光学工程、机械工程、电子科学与技术、控制科学与工程、电气工程等。

## 六、编写成员

谭久彬、尤政、张广军、温志渝、曲兴华、汪乐宇、傅星、王雪、陈耀武。