**专业探索-精密仪器（测控技术与仪器、光学工程）**

作者：王同学，清华大学精密仪器系本科毕业，自动化系硕士在读

# 关于学科本身

很多同学对工科的兴趣都起源于自己动手制作或拆装一些东西，比如小家电、电子积木、电动玩具等。在拆装东西时不知道某个部分的用处，以至于装完少了或者多了零件，都是常事。还有一些同学对工科的印象来自于一些电影中的工程师或程序员，在键盘上一顿敲，插几根线，就能解决各种问题。前者是菜鸟工程师的初体验，而后者则是对大牛工程师的想象。

真实的工程师大致介于两者之间。与物理学家不同，工程师面对的是不光滑的平面，不完美的柔性体，含有各种乱流的流体；通过测量和反馈控制等手段，结合物理学家的理论与真实对象上的实验，人类搭建了自工业革命起到如今信息时代的科技大厦，覆盖了生活的方方面面。如果说物理学家决定了文明的上限，那么工程师就决定了文明的下限。

具体到工学中的精密仪器这一学科，精密仪器包括测控技术与光学，为什么看似关系不大的这两部分会出现在同一个学科，它们又各自和“精密仪器”这个名字有什么关系呢？我们一点一点看。

光学技术经常被用于微小量的放大，从而实现精密测量。利用光沿直线传播的特点，微小的角度变化可被转化为较大的位移变化并被进一步测量；而因为光的波长通常在微米到纳米级，光的衍射、干涉等现象同样可以用来测量微小位移和形变。

测控技术也是工学的重要组成部分，18世纪瓦特的蒸汽机飞球调节器可以测量转速并自动控制蒸汽量，是最早的自动测控系统；而如今的工业生产与生活中，到处都是传感器、处理器和执行器组成的测控系统。精度越高，对测控系统的要求也就越高。测控系统中，传感器将那些多种多样的物理信号变为可以被处理器感知的电信号，处理器计算传感器的输入给出执行器的输出，而执行器通过电信号再去影响物理系统，形成一个闭环，从而使系统面对各种噪声干扰时维持稳定。

一台精密仪器往往包含“光机电测控”，即光学、机械、电子、测量、控制几个部分。精密测量一些物理量需要光学；光学设备、应变电阻等传感器，电动机等执行器，都需要特定机械结构发挥作用；传感器信号的放大、去噪声、读入处理器，以及处理器本身，执行器的驱动，都离不开电子；而测控负责将各个零部件结合成一个整体。因此，精密仪器是综合性非常强的学科，掌握各方面知识才能设计出好的仪器。

精密仪器工程师在工作中不能像初学者一样手忙脚乱，也不会像电影里展示的那样胸有成竹，仪器的设计与制造总体上是一个螺旋上升的过程。对于一个任务，选择一个物理模型，挑选模型所需的传感器，执行器，控制算法，观察实际系统与模型的偏差，如偏差较大，可以修正模型考虑非理想因素，或加入一些基于工程经验的补偿，再观察效果，不断改进。既要进行运筹帷幄的设计，也要有决胜千里的调试，二者缺一不可。

# 学科的知识结构

## 培养方案

各院校的培养方案中通识类课程与公共课不尽相同，如清华精密仪器系对2016年本科生就要求选修至少3学分的化学课，而其它学校的学分要求可能与之略有出入。但专业课程的安排整体上都是类似的，按照知识从理论到应用大约可分为

* 基础课：必修课，通常在大一至大二上学期学完。这些课程与其他工科类专业接近，数理课程整体要求低于理科类专业，而对计算机编程能力的要求高于理科类专业，但低于自动化、电子等信息类专业。
  + 数学课程：高等数学、线性代数、复变函数或数理方程，概率论与数理统计
  + 物理课程：大学物理（力学、电磁学、光学、热力学、近代物理）、大学物理实验
  + 计算机课程：计算机程序设计基础（C、C++）、计算机硬件技术基础（单片机入门）
  + 其他：机械制图，机械制图实践
* 专业基础课：课程分布在大二、大三两年，是仪器与光学方向都要学习的专业课。这些课程涵盖“光、机、电、测、控”各个方面，与数理类课程相比，工科专业基础课往往对思维能力与数学水平要求不那么高，主要需要记忆知识、运用公式。后续无论是进行理论研究、实验研究，或是进入交叉学科，虽不一定用到全部课程的知识，但至少会用到对应的部分。**因此，学习后虽未必能记住全部知识，但只要记住“我学过这个”，日后用到就知道去哪里查**。
  + 光学课程：工程光学1（几何光学）
  + 机械课程：理论力学、材料力学、机械原理、制造工程基础
  + 电学课程：电工技术与电子技术（电路原理、模拟电路、数字电路）、电路设计实践
  + 测量课程：测试与检测技术基础（信号与系统）
  + 控制课程：控制工程基础
* 分专业（仪器，光学）后的专业课：这些选修课的内容主要是确定仪器与光学专业后，在各自领域更深入的专业课，工程性相比专业基础课更强。
  + 仪器专业课程：仪器设计技术基础、计算机控制技术、精密仪器设计、微机电系统设计、微纳米测量与测试技术等
  + 光学专业课程：工程光学2（物理光学）、光电检测技术、光电仪器设计、光电子技术、光纤技术、纳米光学等

## 细分方向

以清华大学为例，精密仪器系分为测控技术与仪器以及光学工程两个专业，每个专业又分若干研究所。

* 仪器科学与技术研究所
  + 微系统技术与应用：微纳卫星、微型飞行器等微系统
  + 微纳测量与控制技术：微/纳测量与控制、生化检测等
  + 传感器与智能仪器：传感器与智能仪器，以及为满足大规模复杂测量应用需求的分布式传感网络
  + 精密时间与重力测量技术
  + 科学仪器及其应用
* 导航技术工程中心
  + 高精度，微机电惯性仪表及其系统，包括MEMS陀螺仪与加速度计等。
  + 专用机电控制系统，快速高精度测控系统。
* 光电工程研究所
  + 体全息存储与应用：超大容量超快速数据记录与再现、多通道并行图像与数据处理
  + 光栅与测量：光栅快速数值计算方法、特种光栅、光栅在光谱仪、光栅尺和脉冲压缩器中的应用等
  + 纳米光学：基于光与纳米结构的相互作用，研究具有超常物理特性的新颖纳米材料和功能器件
* 激光与光子技术研究室：
  + 固体激光：高亮度固体激光、微型固体激光、紫外激光、中远红外激光器，超短脉冲激光等。
  + 光纤光学：高功率光纤激光器、光纤低损熔接等。
  + 主动光学：自适应光学实时校正等。
  + 激光探测：激光精密跟踪、激光光电系统、光信息存储、无线光通讯、光子信息处理以及激光传感等。
* 类脑计算：计算机、微电子、电子、自动化、精仪、材料、生物工程组成的多学科融合研究机构，是近年来研究生招生的热门。

总体来说，测控技术与仪器方向更为全面交叉，而光学方向更加深入。

## 交叉学科

精密仪器与其说是一个学科，不如说本身就是很多学科的交叉集合体。在仪器系统中需要用到的“光、机、电、测、控”中，光学与测量是精密仪器系主导，而机械、电子与控制本身就是其他学科的内容。精密仪器与机械、电子、微电子、自动化、材料、生物与医学等若干院系学科均有交叉。

精密仪器的知识结构与大部分交叉学科相比，都是更全面但是更浅。与同样知识结构全面的自动化相比，精密仪器有着更多的光学、机械、测量类课程，而控制、编程、信息类课程更少。

## 工科与理科

高中生接触的数学、物理、化学、生物都属于理科，而对工科的接触很少，在选专业时面对工科专业往往会无从下手。个人认为，从理科到工科的过渡就是不断引入现实存在的新的非理想因素，并尽可能降低其影响的过程：高中的“小滑块”不存在了，变成了有摩擦、会变形，有加工、测量和控制误差的机械系统；高中的稳恒电流电路不存在了，变成了有各种噪声干扰的复杂时变电路。为了减少或补偿这些非理想因素对系统性能的影响，就有精密加工、信号处理、闭环控制、算法设计等若干思路，每个都衍生出大量分支。

科学家的任务是证明一个系统理论可行，而工程师的任务则是把这个理论可行的系统造出来，并满足速度、精度、可靠性、能耗、成本、寿命等多种指标。

# 前景：深造与就业

精密仪器系本科的培养方案泛用性较广，各类知识都有一点，但都不够深入，且整体课程压力不大。换言之，本科生最好尽早选择一个自己意向的去向，并为之付出相应的努力（并延续到可能的硕士、博士阶段），才能获得较好的毕业去向。

下面简述测控仪器与光学专业毕业生的深造与就业去向。

## 深造

对清华，北航等一流院校的测控仪器与光学专业毕业生而言，与其他工科类似，主要深造去向是出国读研与国内推研，一般不需要考研，本科就业的也极少。

对于出国读研，因为国外没有精密仪器这个专业，精密仪器系本科生主要申请的专业是ME机械工程、EE电子工程，CS计算机科学三个。从中也可以看出精密仪器专业作为一个交叉学科的本质。一流学校在疫情之前出国读研的比例在20%~30%区间，美国是主要的出国目的地，但由于疫情以及国外工科关键专业对中国的限制，未来出国可能会变难。

对于推研，一流院校对于毕业成绩在前50%的学生基本都可以拿到推研资格，部分院校的推研资格甚至可以给到80%。推研去向包括同专业，以及机械、电子、微电子、自动化、生物与医学等相关专业，若是跨专业推研，对成绩的要求一般会相对较高，特别是自动化、电子、计算机等热门方向。

对于普通985，211以至于双非学校，推研和出国的难度相应上升，相应考研与本科就业的比例就更高。无论是考研还是本科就业，都需要提前规划，选择适合自己的考研与就业方向。

## 就业

对大多数工科专业，主要的就业选择是选择学术界或工业界。

### 学术界

适用于对学术有较大兴趣，喜欢理论推导多于工程实现的同学。因国内外各类科研岗位都高度饱和，选择继续学术理想一般意味着长时间的激烈竞争与在非升即走制度下能否留到最后的问题，因此大多数毕业生都不会走学术路线。如果选择走学术路线，最好申请对应学术方向的博士，在博士期间专心做科研，发文章。

### 工业界

适用于大部分同学，特别是对工程有较大兴趣，喜欢工程实现多于理论推导的同学。与精密仪器相关的工业界按工作内容，可大体分为几类：

* 硬件：机械设计、电路设计、光学设计、芯片设计等，类似五官与四肢
* 软件：图像处理、导航算法、运动控制、用户界面等，类似大脑
* 中间件：嵌入式系统、传感器执行器驱动、电机控制等，类似神经系统
* 系统：以上三种的整合，形成一个完整的产品

按类型分：国企、国家研究所的工作环境相对轻松，工作稳定，技术更新慢，薪资较低，而民企薪资较高，技术更新快，但往往工作压力较大。

按应用领域分：消费级、工业级、航天军工级产品，对可靠性要求不同，一般可靠性要求越高，使用的新技术就越少。

**与精密仪器系大致对口的工业界的选择很多，但完全对口的选择很少**。所以如选择工业界，在本科及研究生阶段就要广泛探索，确定适合自己的方向，有针对性地选课、自学、实习，为就业做准备。

### 其他

* 转行进入金融、纯软件开发（网站，电脑手机软件）一类行业：最好在本科提前学习相关知识，实习等，通过跨专业推研、考研等手段到相应专业读研，或本科直接就业。
* 选调进入政府部门：具体待遇视各学校政策而定。

# 专业整体的文化氛围

作为课程覆盖面广但不深的工科，精密仪器专业的学生用在课程学习上的精力不会很多，换言之“内卷”的程度较低。但课程压力较小造成学生的个人能力提升主要依赖自学，对“知道自己想要什么”的要求较高，尽早确定目标并努力的同学会在相应领域成为较优秀的人才，但“混毕业”的同学个人能力得到的提升有限。选择精密仪器专业，还是更为专一的机械、电子、计算机等专业，主要看个人判断。