

# 自动化学科 科普手册

第五版

知乎@系统与amp;控制



## 目录

第五版前言 .....	4
第一部分 写给选择专业的新人 .....	5
第一章 初识自动化类专业 .....	5
1.1、我们为何要搞自动化 .....	5
1.2、从对比中了解自动化专业的定位 .....	9
1.3、自动化专业培养目标 .....	13
第二章 初识自动化类专业 .....	15
2.1、适合不适合学习自动化专业? .....	15
2.2、新形势下选择自动化专业的原因分析 .....	17
第三章 自动化专业的学生们 .....	20
3.1、学生对专业的评价 .....	20
3.2、学生故事选录 .....	27
3.3、优秀学生常见简历选录 .....	30
扩展阅读：自动化专业在中国 .....	34
第二部分 写给自动化专业的本科学生 .....	37
第四章 自动化专业的学习 .....	37
4.1、课程体系 .....	37
4.2、何为控制理论 .....	42
第五章 自动化专业的就业 .....	60
5.1、专业优势分析 .....	60
5.2、就业方向与职位 .....	62

5.3、自动化行业介绍.....	65
5.4、控制工程师介绍.....	73
3.5、如何成为一名优秀的工程师.....	77
第六章 自动化专业的深造.....	81
6.1、考研相关经验.....	81
6.2、专业深造方向.....	85
6.3、自动化学科在国外.....	87
6.4、导师选择问题.....	91
第三部分 写给继续研究的老司机.....	94
第七章 如何做研究.....	94
7.1、关于研究的一些体会.....	94
7.2、专业相关期刊.....	96
第八章 图解控制理论.....	102
第九章 对控制理论几个问题的讨论.....	108
9.1、控制理论的基础：模型问题.....	108
9.2、控制理论的应着眼点：系统特色.....	110
9.3、控制理论的初心：系统调控.....	114
9.4、控制理论的研究：基本流程.....	117
9.5、控制理论的实现：控制工程师.....	120
9.6、总结.....	121
后记.....	123

## 第五版前言

随着人工智能热潮的兴起，自动化学科受到了前所未有的关注。但对于这个学科，每年在各大网站上都会出现一些相似的问题。比如自动化专业是学什么的？出来能干什么？对于自动化学科的核心——控制理论的未来在哪里，这些问题的来源主要是报考高考志愿的学生、自动化专业就读的学生以及自动化学科的研究者。

为了给这些问题提供一些参考，我个人从 2018 年开始，在知乎网上陆陆续续写了一百余篇文章，对于一个个特定问题给出自己的粗浅见解，但囿于载体，读之不成体系，因此，体系化的整理成了必须。

从 2020 年开始算，这是第五个版本了，这次更新主要在于调整了适用群体，手册分为“写给选择专业的新人”、“写给自动化专业的本科生”和“写给继续研究的老司机”，拓宽了涵盖范围，对知乎网上近期文章也做了分类。

当然由于能力有限。不可避免的会出现一些认识的偏差，因此这本小册子仅供参考。如果有意见或建议，欢迎联系。

中国自动化学会会员

中国自动化学会普及工作委员会委员

知乎用户：@系统与控制

## 第一部分 写给选择专业的新人

### 第一章 初识自动化类专业

#### 1.1、我们为何要搞自动化

每一门学科都有情怀,像天文探索宇宙奥秘,生物感受生命惊奇,机械探究巧妙设计,计算机了解代码宇宙,数学探寻公式要义。独有自动化,仿佛除了宽口径就业和大篇幅宣传的未来前景,并没有其他的谈资。情怀,仿佛是不存在的。

从人类用手折下一支树枝开始,工具一直伴随我们左右,远古时期火山,地震,洪水,每一次灾害都会带走千百条生命。人类也许从那时开始就在做一个梦,什么时候我们才能操纵自然?

一部分人开始了思考,为何太阳东升西落,为何水会从高处流下,为何人的伤口会自己愈合,可以说,如果人们没有了好奇,没有了征服自然的狂想,也就没有了后来这么多的学科。

渐渐的,人们发现了许多规则,依靠规则,辛勤劳动,取得了许多的成绩。但人是生物,生物并不适合每时每刻都劳动,比起操纵世界的狂想,有人能替自己干活,成了一些人的新追求。有人选择利用势力使自己成为奴隶主,而有些人没有势力,但是他还打算省点力气。此时,一个想法出现在他脑海里,能不能制造一个像人一样的东西呢?没有人使唤,我就自己造一个机器仆人。

一位天才在纸上写下了第一个设计结构,从而制造出了第一个自动装置,比如漏壶,指南车,但这项技术的缺点就是设计太复杂,要很多天才想法,普通人既没有实力也没有那么高的智力,所以尽管自



动装置出现很早，他并没有引来全球性的变革。

就这样，自动化思想一直在人们心中延续下来，只不过它和操纵世界一样，是那樣的遙不可及。

这一等就是一千年。

随着工业革命，设计精巧的机械从某些学派的独门秘术走向了人们的生产和生活，那些几百年前可以被视为神迹的机器在工业革命中被大量制造，其中也少不了自动装置。

物理学家从书房中走出，偶然发现了这些自动装置，比起常人的惊叹，他们则更多的思考这些装置到底是因为什么原理，就是这看似偶然的一个想法，一个新学科的大门开始敞开。

通过对古代机械设计图纸的分析，物理学家很快意识到，在繁杂的机械结构下面，隐藏着一个古代能工巧匠经常利用，但没有出现在任何一本理论书籍上的奥秘，反馈。

利用反馈的观点和深厚的数学功底，物理学家们很快破解了古代自动机械的奥秘。

他们又接着将反馈应用于其他过程，初步整理出来了系统的设计方法，控制技术大门敞开了一半。

随着工业革命的不断深入，技术的不断发展，自动装置变得越来越复杂，一直到了第二次世界大战。

二战时，美国军方提出了自动防空火力系统的需求，对于这个系统来说，由于操作复杂，需要精准判断，人力已经无法完成，这之前的自动装置有着很大的区别，因为之前的自动装置是在完成人类也

能够完成的工作。

战争结束后，该系统的主要设计者维纳陷入了深思，古代自动装置利用反馈来减轻劳动自己设计的防空火力系统，使用反馈来完成人类完不成的动作，那么，是否可以这样想，我们工作的本质不就是造出一个类人甚至超人的机器吗？

维纳敏锐的意识到一个新学科要来了，从行为智能反馈信息等方面入手，写成了他最著名的一本书，控制论，在动物与机器中通讯与控制的科学。

正是由于这本书使得控制科学的大门完全敞开，同时也打开了人工智能的行为主义学派的大门。

也正是从这时起，制造出全方位模仿甚至超越人类自身的机器，成为了控制科学的长期追求。

控制科学作为一门方法学科，有些研究高深到了哲学领域，而为了控制论更好的服务于工业生产，一位拥有工程背景的杰出科学家站了出来，那就是工程控制论的作者钱学森，控制科学与工程相结合也诞生了自动化专业。

控制科学作为一门研究使用当前时代的最先进的技术手段来制造类人机器和超人机器的学科，它对人类的模仿程度逐渐加深，从模仿能工巧匠操作，到模仿生产团体的配合，再到模仿人类组织的通信和智能，控制科学的研究领域在不断的加深，而一个重要的特征是，它总是和最先进的技术站在一起。

如果说仿生学侧重于对人类和动物身体结构的模仿，那么控制科

学的主要目标是为了模仿人类的灵魂。

我们传承于古代能工巧匠的天才设计，我们追求使普通人也能了解掌握和超越那些古代天才的设计，利用现在的最先进的技术为我们的生活服务。

有人说，自动化专业是设计生产线的，没什么大用，我们想说的是，基本生产线，它是自动化的一个阶段，但自动化不是固步自封，不是一成不变，以往的自动化关注点在于怎样模仿？个体怎样模仿单独一条线？在现在这个即将万物互联的时代，自动化与人工智能技术可以深度融合，共同为制造出能和人类团结协作相媲美的现代化，智能化机器而努力，以更好的姿态，改变日常的生活。

如果你对于先进技术和实体器件相结合的智能产品，类人甚至超越人的智能机器这个领域比较感兴趣，那么，控制科学将是一个不错的选择。面对时代的洪流，每个专业都有自己的坚守，而我们的坚守，就是一直与最先进的技术站在一起。

世界上没有任何一门特定的技术会被一直称为自动化技术，自动化专业，自诞生之日起，就是一门使用先进技术来实现自我目的的专业，我们也诚挚的欢迎来自不同领域的研究者加入这个阵营，为研究智能机器而共同奋斗。人们需要脚踏实地，但在迷茫不解的时候也需要适当的仰望星空。



## 1.2、从对比中了解自动化专业的定位

很久之前，在宇宙国的一个角落里，有一个叫做地球的居民小区，小区里有一家叫做机械工程的商铺，主要售卖各种工具。机械工程商铺经过无数年的发展，产品不断更新换代，一直过着旱涝保收唯我独尊的舒坦生活。

也许是闪电刺激到了某些年轻人，有一天机械工程商铺的老板打开门，等了半天也没见有顾客。不对吧？往常都是排老长的队的。老板带着疑问跑到小区门口一看，才发现不知道什么时候来了一家新店，一位年轻人在门口喊着，欢迎大家来到我们电子工程商铺。看着日趋减少的客流，机械工程商铺与电子工程商铺展开了互掐。

就这样斗了几年，结果发现，谁也没办法将对方彻底消灭。于是双方不约而同想到合作，联合成立了一家名为机电工程的新店，这引发了双方老员工的不满，双方的一部分老员工拒绝合并成立了传统机械工程商铺和电气工程商铺。

为了更好的适应合并需要，机电工程商铺联合一些技术人员成立了产品研发部，开发了许多控制模块。

为了便于机电结合，一些技术人员联合数学家成立了控制理论部，负责研究控制方法。

此时居民小区内部爆发严重冲突，需要分析处理许多数据，为应对新的需要，产品研发部设计了计算数据的计算机。在冲突中取得不错的成绩。

控制理论部设计了许多应用于冲突的新武器。

冲突最终结束，在进行总结时，产品研发部负责设计计算机的工作人员提出，计算机应用很多。不能局限于机电工程，这部分技术人员脱离了机电工程商铺，出去自己成立了计算机工程商铺。

随着产品越卖越多，系统越来越复杂，有不少顾客去控制理论部咨询怎么设计方案，控制理论部部分人士也脱离了机电工程商铺，成立了控制方案咨询中心。负责各种产品的组合与总体设计。

此时的小区里，由一家机械商铺，发展到了传统机械，电气，机电工程，计算机四大商铺和一个控制方案咨询中心。

他们在各个领域合作，也存在着竞争，主要有：

①机电工程商铺设置了要把传统机械商铺合并的战略目标。传统机械商铺市场不断缩小。

②电气工程商铺学习各种技术，能源领域一家独大。暂时没有可取代的店。

③计算机与机电工程合作发展，软件硬件分工合作。简单的软硬件综合系统方案已经实现自己设计。

④控制方案咨询中心意识到一些简单系统的方案咨询业务已经归于计算机与机电工程两家，为了维持生存空间，提出专做复杂系统大系统方案设计的目标。近年来与计算机商铺合作，推动了新产品新方案人工智能的大卖，受到小区居民一致好评。

如今，小区内一片欣欣向荣之象，偶尔会听到“

人工智能是我控制中心提出的概念，属于我！

胡说！我用计算机语言实现的，该归我！

闭嘴，要没有我机电工程商铺的镇店之宝芯片，你能实现？所以这人工智能之父的名字。。。

没错，属于我们数学家！”的吵架声。偶尔还有撕打。

故事讲完了，相信大家对于这些专业怎么来的也有了一个模糊的认识，下面来具体对比一下：

### ①自动化与计算机

计算机的课程体系，主要是各种算法的实现，从本质上讲就是学习如何更好的使用计算机这一人类伟大的发明。该专业主要关注点在于编写程序和综合软件，很少涉及硬件的实现，在当今的人工智能行业，纯软件的人工智能的业务是由计算机专业主导的。

相较于计算机，自动化的特点在于不仅关注软件设计，同时关注硬件，讲求软硬结合。这一点决定着自动化专业往往倾向于在编程基础上从事实体的开发，这一点是计算机专业所不具备的。

### ②自动化与电气

虽然大家经常混淆自动化与电气，但是在本质上他们的区别比较大，电气的主要功能是供配电，而除去发电厂不算，其他工厂电力供应是控制领域最不关注的点，大家基本上默认大型电力部分已经做好了。所以不做比较。而且对于强电的活来说，属于弱电的自动化毫无优势。

### ③自动化与机械或者电子

对于机械类，主要研究的是机械结构的设计，材料的选取，关注点在于力学和结构。电子控制只是其中的一小部分。而且控制理论的

深度也不如自动化。电子类同理

#### ④自动化与应用数学

为什么提到应用数学，因为深层次的控制论几乎是纯数学，理论基础比工科的自动化要好的多，但是缺点在于实践能力较差。

综上所述，自动化的独特优势在哪，两点，软硬结合，控制理论与生产实际结合。因此可以得出一个容易理解的定义：

自动化是一门研究数学及现代技术综合应用，以设计综合软硬件系统为目的的新兴学科。

### 1.3、自动化专业培养目标

上一节里初步介绍了自动化专业的概念，本节继续深入，介绍培养目标和专业方向

自动化专业是以数学与自动控制理论为主要理论基础，以电子技术、计算机信息技术、传感器与检测技术等为主要技术手段，利用各种自动化装置分析与设计各类控制系统，为人类生产生活服务的一门专业。

本专业讲求计算机硬件与软件结合、机械与电子结合、元件与系统结合、运行与制造结合，集控制科学、计算机技术、电子技术、机械工程为一体的综合性学科专业。它具有"控（制）管（理）结合，强（电）弱（电）并重，软（件）硬（件）兼施"鲜明的特点，是理、工、文、管多学科交叉的宽口径工科专业。

#### （1）培养要求

该专业学生主要学习电工技术、电子技术、控制理论、自动检测与仪表、信息处理、系统工程、计算机技术与应用和网络技术等较宽广领域的工程技术基础和一定的专业知识，具有自动化系统分析、设计、开发与研究的基本能力，综合素质高，具有坚实理论基础和创新能力。

#### （2）主要课程

电路、信号与系统、模拟电子技术、数字电子技术、自动控制原理、现代控制理论、微机原理及应用、软件技术基础、电机与拖动、电力电子技术、计算机控制技术、系统仿真、计算机网络、运动控制、



过程控制、单片机与嵌入式系统原理、计算机辅助设计、专业英语、智能控制，计算机编程 C 语言，C++语言。

对于专业方向，这里做简单介绍：（就业部分详细展开）

（1）工业控制方向：

以自动控制、计算机技术为支撑，针对实际工业生产过程实现自动控制，由信号检测与变换、过程控制、计算机控制系统、智能控制和现场总路线控制技术等组成方向主干课。

（2）硬件应用方向：

主要利用各种现有硬件和成熟的设计模块等技术设计消费电子产品，主要涉及到各类嵌入式硬件的学习和练习。

（3）嵌入式算法方向：

比硬件应用方向更加贴近底层，比较类似于计算机算法岗，重点在于各类硬件的驱动，是嵌入式的核心所在。主要负责嵌入式驱动算法的开发。

（4）智能算法方向：

以信息处理与模式识别的理论技术为核心，以数学方法与计算机为主要工具，研究对各种媒体信息进行处理、分类和理解的方法，并在此基础上构造具有某些智能特性的系统；由计算机编程语言、机器学习算法、模式识别导论、应用统计学组成方向主干课。

## 第二章 初识自动化类专业

### 2.1、适合不适合学习自动化专业？

每个专业都有自己的适用人群，自动化也不例外

提起什么样的学生适合学习自动化，很多人回答很简单，男生适合，女生不适合，这是一个偏见，因为在行业里，有很多男生干着干着转行，也有一些女生热爱工作业绩突出，因此，性别不是问题，每个人的不同才是问题关键

自动化专业的核心基础课是数学，电子技术，计算机语言，控制理论，其中，控制理论可以理解成数学在工程上的应用，因此，一个学生的数学，电子，计算机这三个方面的特质，决定了他是否适合学习这门专业

首先说数学，到了中后期学习中数学的作用越来越突出，会涉及到自动控制理论，现代控制理论等相关课程，而且在人工智能和计算机算法学习中数学也有着重要作用

其次说电子技术，电子技术是实现控制学从理论走向实体化的关键，当然，这里说的电子技术不是局限于电路，而是包括电路，模电，数电，电力电子，单片机，plc，DSP，FPGA等，别管这些听说过，或者没听说过。他们应用很广，无论无人机，机器人，自动驾驶，智能家居在硬件设计上都脱离不了这些基础，而且自动化专业讲求软硬结合软件指的是控制算法，数学理论，而硬件的就是电子技术

最后说计算机语言，相较于计算机专业，自动化主要使用计算机技术，一些控制理论也需要通过计算机语言真正落实，而且也有开设

单独计算机控制课程，因此，计算机编程在自动化中也占据着重要地位

三大基础的作用已经说明，但并不代表必须对三大基础都擅长的人才适合学习自动化专业，自动化专业拥有许多发展方向  
比如，

数学有兴趣，可以继续深造，从事控制理论的研究，或者从事系统理论，金融等方面的研究，

电子技术有兴趣，可以从事实体设计，也是自动化专业的主流方向，  
如果对计算机感兴趣，可以从事计算机控制算法的研究和人工智能技术的应用

结论也很明显，如果对于数学，电子技术和计算机这三个，都没有太大兴趣，谨慎选择自动化专业和其他类似的工科专业。

有些问题问到，高中数学成绩不好或物理成绩不好，适合不适合学习自动化专业？其实高中的数学和物理成绩与大学的学习并没有多大的关系，如果对于专业感兴趣，下功夫去学的话，都能够掌握，因为自动化专业是一门应用学科，他并不像物理，电子等学科，追求从微小处完全清楚每一个部分的原理，有些东西理解最好，会用也行，主要看兴趣。

## 2.2、新形势下选择自动化专业的原因分析

近年来，机器人工程专业的热度不断提高，很多媒体把它称为最高层次的自动化专业。因此，有不少考生产生了疑问，机器人工程专业与自动化专业到底有什么区别？

其实这个问题还可以再广一些，那就是既然有了电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机器人工程、电子信息工程、航空航天工程等等。

那么为什么还要开设自动化——这个看似把它们都合并起来的，一个大而宽泛的专业呢？

这个问题在以前还可以这样回答，因为自动化专业是做机器人的，没有单独的机器人专业。但这种论断随着机器人工程专业的产生，也显得有些站不住脚了。因此，这个问题需要重新讨论。

（当然，由于目前机器人工程专业，往往基于机械类，从整体上偏向于机器人的总体设计。而自动化专业或者以自动化专业为基础开设的机器人工程专业。则更多的偏向于机器人的一些算法设计，而不会去过多的考虑机械结构问题，这里面有一些区别。）

首先从设立专业的初心说的话。自动化专业其实是有着自己的对应行业和岗位的。那就是传统的工业控制领域。对于考生来讲，如果对工业控制这个词不熟悉。可以拿到自动化专业的培养方案，对比着工厂里的生产线进行了解。或者更加直接的，去任意一个招聘网站搜索自动化工程师这个岗位，都可以。当然，由于工业控制领域的一些特性，不常被人重视，在自动化专业的就业当中往往讨论不多。

随着技术的发展，为打造宽口径专业的需要，自动化专业产生了许多新的方向，根据院校特色，与其他专业有一定的重合。

但相较于一些更为具体深入的专业来说，知识体系广度是可以了，深度不够。这也导致了一段时间里自动化专业的风评往往是万金油、啥都学啥都不会这类，近几年，随着人工智能热潮的兴起，人工智能与自动化学科之间存在着一定关系，这才导致风评有一点好转。

因此，对于不打算从事工业控制、工业 4.0 行业的考生来说，选择自动化专业的理由在哪里？

我们选择大学专业填报高考志愿时，每个人都有自己的标准，但在最终确定专业填报顺序是，会考虑个人的兴趣，很多人都说，一定要报你自己感兴趣的专业。但往往，找到自己感兴趣的东西是一件困难的事情。尤其是对于，刚刚经历完两耳不闻窗外事，一心只刷高考题的考生来说。再加上人的兴趣随着认识的深入。有可能发生变化。因此，这就带来一个很关键的问题。怎样才能选择一个自己感兴趣并且愿意去学习的一门专业。

我们来分类讨论一下：

一些学生对于自己的兴趣十分明确。比方说我就想学金融，学会计，学计算机，学法律。学医学等等。那么最适合的自然是在报考相应的专业。因为这个专业对于你的梦想的助力是最大的。

一些学生可能是高考后填报志愿时才接触到了大学专业。看着眼花缭乱。对这个也有兴趣，对那个也有兴趣。那怎么办？

一般来说有两种方法。



一种是在短短几天内迅速确定自己最感兴趣那门专业。

另外一种则是退而求其次，先选择一个方向多的专业，然后给自己一点时间用来挑。

这种自身方向比较多的专业有很多。自动化专业就算一个。

选择这个专业，能够给自己一个寻找兴趣挑选方向的机会，而不用考虑转专业限制的相关问题。但有利也有弊。得到这个机会，就会失掉一些内容。比方说，在课程体系上往往就不会太过深入，需要自己的一些自学。

从以上的分析中，我们可以得出自动化专业适合于哪类考生？

- 1、对工业控制、智能制造、工业 4.0 感兴趣的考生。
- 2、或者对于计算机、电气、机械、数学等相关学科交叉有兴趣。
- 3、具有一定的规划能力和自学能力。

最后多说一点。其实对于任何一个大学专业来说，规划能力和自学能力都是比较重要的。因为，市场需求在不断变化。技术要求在不断变化，行业门槛也在不断变化。就算是目前炒得最为火热的计算机专业，也需要在课下做一些自学工作，才能够适应就业市场的要求。

最后，祝各位考生，金榜题名！

## 第三章 自动化专业的学生们

### 3.1、学生对专业的评价

从 1998 年自动化专业这一名称正式进入高等教育体系，已经过去了二十多年，这二十多年的过程中自动化专业都经历了什么，无数学者和专家做了大量研究，作者注意到，这二十年也是互联网跨越式发展的二十年，因此有一个问题让人好奇，每一年当人们在网络上谈论自动化专业时，他们会说些什么呢。

以下，本文将借用百度搜索引擎的限定网页时间功能，试图了解这二十年中网民口中的自动化专业都是什么样。

#### 2003-2004 年

2003 年的一篇招生文章中，一位自动化学生这样形容专业：

计算机课程开设得相当丰富，就其水平来说也不比计算机专业的学生差，我们比计算机专业的同学多了自动化这一专业背景的优势，也就是说，我们既具有专业理论知识，又能利用计算机这一重要资源，能在计算机上进行编程、模拟仿真，真是如虎添翼，我们学到的东西将受益终身。

我们建立系统的原则是稳定，受干扰的波动要小，那么我们的社会，稳定也是极其重要的。因此我们自动化人中有很多从事经济、政治领域或继续深造攻读其他专业的都相当容易，并且取得了不俗的成绩。

在同年的十二月份，出现了这样的一篇专业方向提问：

我是一个自动化专业的学生，现在大二，但是我到现在都不明白

我所学的专业具体是做什么的，不知道将来的方向，问过学长，他说你们自动化的就是学开机器，关机器的。。郁闷ing... 我们现在还没有开专业课，下学期就开，我现在想明确一下自己的未来，依次来确定自己的奋斗目标，我现在只知道PLC与单片机是自动化发展的两个好方向，所以我现在迫切想知道请自动化的前辈们指点指点我这个迷途的人，给我示以明灯。谢谢。

看看后面的回复

我在年初参加的高级电工的“应会”考核中，题目就是一个PLC的简单的顺序控制（只用基本指令就可实现）。由此：我想PLC今后将是普通电工应该掌握的，所以，我建议你在学习PLC的同时，还是认真的学好单片机吧，本科生应该追求点难度高的东西。我没有见过PLC，现在也是在自己学习。一家之言，说错了，别骂我。

2003年12月31号，出现了一篇对于就业的吐槽贴，算了算，差不多就是第一批自动化专业毕业参加工作一年的时间，吐槽的点在于工厂，仪表和工控，但对单片机方向多多少少有些向往：

我也是自动化，三流学校毕业。2年了，搞单片机。项目做过很多，usb, pc上vc, 平时用汇编写固件。前途还是有的，自己要把握。现在买了个51仿真器，自己在家搞些小玩意。曾经在数码相机厂做过软件，感觉工厂、仪表、工控都很没前途！还是单片机好啊。

另外在2004年的回复当中，有位作者也说明了里面的基本矛盾

现在自动化企业要的是专业型全面人才，你要是想做研发就要在专业课程上下功夫，没有基础，做研发那是天方夜谭，而且最好在学

校有几个搞过的课题有点成果。如果你不想做研发，也可以做系统集成，做系统集成也需要专业知识，而且知识面要广比如 PLC、DCS、组态软件等自动化知识、计算机知识、计算机网路知识、通讯知识等等，最好精通 1 门计算机语言。如果你也不作那只能做做维护或售后服务或者去搞销售。

## 2005 年-2006 年

与上两年大体相同，但也有自身的特色，比如 2005 年的一篇询问就业的帖子里，已经呈现了万金油特色，从帖子里逐渐嗅到了自动化特有的迷茫气息

呵呵 自动化就业面灰常广的~~只要是 *electronical engineering* 就可以~~不过我现在做 ERP~~跟学的专业一点关系都没有~~我们班同学有去电信的、移动、联通之类的运营商，也有去一些电子研究所的、电子制造业的（这个范围就多去了）... 还有搞汽车电子的、钢铁军工的、软件研发的..... 不一而足~~~万金油啊~~

值得注意的是，在同年一篇帖子里，楼主表示图简单考研报考了模式识别，没有报双控，就业前景黯淡，很多回复帖也表示赞同，今天反过来了。

2006 年 6 月份，同样是一篇吐槽就业贴，一位层主说出了一段至今看来也不错的话

自动化的一个好处是，你可以调整自己的方向，社会需要什么，你就能够适应什么，而不象其他行业，容易隔行如隔山，它是一个不太容易失业，又不太容易赚钱的行业，一定要有很灵的鼻子，在社会

需要以前,就学这种本事,如智能住宅的单片机部分,智能家电,DSP..

13 年后的 2019 年,这段话被简单的总结为自动化=自动向热门方向转化。

## 2007-2008 年

2007 年的搜索结果中出现了转专业:

自动化能否转计算机等专业

请问:自动化专业的本科生,能否转专业转到计算机、通讯工程、电子信息工程专业? 难度大么? 谢谢

同年的一篇博文中表明,那时别的专业对于自动化的了解已经是做机器人的专业了。

说到自动化,我就有种奇怪的感觉。已经不知有多少个人问过我“自动化是学什么的”了。每次都是支支吾吾的不知如何回答,然后就人云亦云的说:搞机器人的。记得第三届校运会的时候,我们学院的同学拿到了一万米的冠军时,我们同学都说,不愧是搞机器人的,连跑步都是那样,居然匀速跑了一万米到了最后速度也不减!

其他的帖子内容一如既往,值得注意的是,在 08 年的帖子里面,一些参与吐槽的毕业生向往的岗位是销售,他们所说的自动化也限定在电气维护上,单片机或者说嵌入式,已经很少被提到

## 2009 年-2010 年

这个时间段,从网民到自动化学会,几乎都在分析为什么自动化专业这么多吐槽

网民:



自动化这个专业由来已久。在上个世纪，大多数此专业毕业的学生必杀技便是 PLC。因为行业属于工业范畴，属于那种发展不瘟不火的行业。一套 PLC 设备的寿命一般会超过十年。很多大公司的 PLC 产品也已垄断市场，也就注定了这个行业的人才需求量不会太大。另外，因为中国并没有自己的 PLC 研发公司，而外企也不会把这部分放到中国，所以大学生进入这个行业的一半都是在第一线从事 PLC 的编程和维护工作，工作环境一般比较差。不过薪水颇丰，我认识一个自动化本科毕业的学生，毕业后进入西门子从事 PLC 相关工作。月薪超过 1W8。不过要是去一般的工业型企业做应用维护的话，你的工资恐怕就只能糊口了。仪器仪表就好很多，随着各种创业公司的建立，小型仪表有了飞速的发展。不过利润率都偏低，仅仅依靠工资是很难混的很好的。不过如果有幸进入上海自动化仪表，国核自仪等国企，那就不在讨论范畴了。

自动化学会调研：

我国相当多的学校自动化专业不开设必修的信息学、化学、生态学，不利于对学生基础综合素质与能力的培养；专业基础与专业课程方面最缺乏的是有关自动化的职业教育，相对与社会需求脱节。

也是在这个时间段里，一些高校自动化系主任在开会时汇总了材料，提出了废除自动化专业的提议，当然，他们并未成功。

## 2011 年-2012 年

这一时间段，由于经历过废除危机，加上计算机技术的一些突破，自动化的相关讨论中计算机的前景方面内容略有增加，但不多，提到

较多的新岗位是智能楼宇。以下是 2011 年博文

我对自动化专业的评价是这样的：知识面基本能涵盖计算机、电子、信号、机械和电机年这几大工科领域，同时具有一定的数学建模、系统分析能力。自动化专业同学的长处，在于软硬件结合能力。自动化的同学擅长确定系统中各个模块的各自功能、明确模块间相互作用的途径；而各个模块的具体实现，也许相关专业的同学可以完成而自动化的同学却非常吃力。

因此，自动化专业本科直接就业的同学，在单片机开发、嵌入式系统应用、系统驱动开发这些行业都比较对口。而在网络、通信、电力方面，单从知识结构方面，就有些吃亏。而其中一个比较具有误区的就是工业控制方面的岗位了，我曾经作为跟班，跟着做设备维修的姨父去过许多工厂，觉得工厂里设备的控制原理都已经是厂家成熟的解决方案了，主要的任务就是设备维修，而需要自动化相关知识的设备改造基本上一年到头屈指可数：因此我觉得工业控制方面的岗位也不是特别对口。

谈谈模式识别与智能系统这一个方向。很多近期非常热门的技术都是来自这个方向，计算机视觉、声音识别、指纹虹膜等生物特征识别、智能学习系统等等。而计算机视觉的应用层面，简单的从“花季护航”、相机防抖、扫描识别到比较复杂的医学图像处理、机器视觉检测。

总觉得我即将从事的是一个由人类好奇心推动的新的领域，在能源、生物学发生革命之前，它一定是能让大众察觉的最科幻的一门学

科。

控制理论与控制工程、系统工程这两个方向偏向于理论。在本科学学习阶段,对于各种电路的数学模型、各种电机传动系统的数学模型,我一直因为几乎没有构建过而对他们保持着敬畏的心态。总觉得这两个专业需要的数学功底非常深厚、同时需要对很多数学软件、建模方法、仿真模拟方法轻车熟路。这两门学科虽然看似比较枯燥,但是如果真的研究深了,必然是大牛:庸俗一点说尤其是涉及到金融、投资领域,被企业请为高参的时候;学术一点说是当在某些理论,如神经网络、模糊控制等让人听了就觉得深奥的学说上有所突破的时候。

这个时间段里,在各个论坛讨论最多的是控制界评院士事件。

## 2013-2018 年

经过搜索,这五年的帖子基本一致,虽然 2009 年已经从上到下讨论过自动化专业的缺点,但一直到现在,还是吐槽不断,另一方面,吐槽的声音随着对专业的认知深入和计算机、人工智能的逐渐升温而减少,这一时期的总体趋势就是实力院校的毕业生对于自动化的吐槽逐渐减少,但新设自动化专业的毕业生意见依旧保持常态,然而、对于电气维护、工控行业这一方向来说,意见与十几年前基本一致。

## 2019 年

之所以把 2019 年单独拿出来,是因为华为,华为高调宣布了八位高薪博士,它的本意也许是吸引人才,奖励贤才,宣传实力,但两位拿到最高薪的、都带有自动化背景的博士,无疑使得这个幕后专业受到了前所未有的关注。期待未来十年。

### 3.2、学生故事选录

紫冬花是清华大学对于自动化的称呼，平时在知乎上看惯了自动化的大佬各种秀操作，但是对于自动化专业的普通人都去哪里了这个问题很少有涉及，希望刚进入自动化这个专业的新人从这些比较常见的经历上学点什么吧。

如果世界上有一成不变的东西，那就是“任何事物都是在不断变化的”这条真理。

—— 斯里兰卡

#### 专业限制不了我的发展

A君来自于普通家庭，像多数人一样，在高考填报志愿前，除了清北和本地高校，不知道其他大学，更别说开设什么专业。

每年当地都会出一本高考志愿指南，看了看自己的分数与名次后，A君大体选了几个学校，至于专业，他犯了愁，父母问了问几位亲戚，有的说学啥都一样，有的说看兴趣，有的则推荐说学土木、机械。

A君仔细整理了理科专业，发现了很多带有自动化的专业，机械自动化、电气自动化等，终于他看到了自动化专业，在他的感觉中这个专业似乎包含了其他带自动化的专业，因此也就优先考虑，最终进入了一所双非一本学习自动化专业。

大学期间，随着在学生会不断和各个部门打交道，他开始接触社会，见识到了各色人物，也锻炼了自己的社交能力，也选修了几门管理、演讲等课程。

经过几年的学习呢，成绩不好不坏，也没打算考研，就业也不打算干自动化的活，但论起谁社交能力强，整个专业谁也比不上他。

毕业前应聘去了某企业做销售，由于业绩比较好，几年时间成家立业，不久前还升了职，拿的待遇在同学会里不说第一，也得前三。如果你不认识他，第一次见要不看档案，很难知道他是工科出身。但事实就是如此。

### 本专业真的有那么吃香吗

B 君的条件比 A 君好点，由于家里有相关的从业人士，选择自动化也是经过分析和推荐的，平时喜欢动手，一入校就加入了学校里的机器人社团。

但是和大多数人一样，他也有一个从中学养成的习惯，上课教的学，不涉及的一般不看，就算是机器人社团，所用的也是 51 等课本的知识。

时间过得很快，B 君面临着找工作，他去了招聘会看了看，发现很多企业要求一些本科课程并不学习的技能，比如 ARM 等，他感觉十分困惑，匆忙学习了一点基础后参加了面试，表现并不理想。

后来随着校园招聘去了一家制造业企业，干了半年车间后，辞职参加了网页开发培训班，正式加入了程序员大军，经过自己的努力，待遇还算不错。

### 名校硕士

C 君则属于那种强烈向往名校的大佬，从入学就一直努力学习，又参加比赛、又发表论文的，最后也是获得了推免名额，去了本省一



所 985，研习仪器仪表方向。

无意间他看到了实验室的师兄师姐就业去向，一堆 JAVA 岗，刚开始他不明白，总觉得 985 的专业，哪个就业不好？学了一阵才知道仪器的难处，开始学习 JAVA，毕业后像 B 君一样，加入程序员大军。

### 考研及留学

D 君入学时与 A 君情况差不多，上到了大三有了考研的想法，考研这事有了想法很难放弃，D 君属于那种比较执着的人，考研三次，第三次仍然无缘一志愿，无奈调剂上岸，研究生毕业进入体制内工作，也算个好出路。

E 君的经历与 D 君极其相似，考研二战没上，由于英语比较好，去了新加坡读研读博，入职一所 211，算是混的比较好的大佬了。

### 总结

紫冬花每年都会凭借它的名气吸引来众多学子，每个学子都将伴着花香书写自己的故事，听着前辈的故事，找着自己的道路，掌握自己的人生，这也许就是教育的最终目的。加油！

### 3.3、优秀学生常见简历选录

每年开学季，为了树立榜样，各个学校的新生辅导员们都会拿出一些往年优秀学长学姐的官网报道来激励萌新，这些报道中的学生有没有共同之处，或者说在各大高校眼中，优秀的自动化学生是什么样子的？

（为保护个人隐私，所有涉及到的学生姓名以英文字母代替，并对所在学校作了模糊处理）

#### A 同学

某 985 高校自动化学院本科生。大学期间曾任学生会信息部副部长。参加智能车、Robocup、大学生英语竞赛，锻炼了探索的能力。大二时参加 srtip 课题“摄像机标定”和 srtip 课题“可穿戴式盲人助行系统”。大二暑假，赴加州大学伯克利分校 6 个星期学习。大三分方向后，研究兴趣放在了模式识别上。加入了 VCL 实验室，最终被宾夕法尼亚大学录取。

#### B 同学

某 211 高校自动化学院本科生。曾获“飞思卡尔”杯智能车竞赛全国总决赛一等奖，“恩智浦”杯智能车竞赛东北赛区一等奖，全国大学生电子设计竞赛赛区一等奖，“西门子”杯自动化挑战赛全国总决赛二等奖，“飞思卡尔”杯智能车竞赛东北赛区二等奖，“TRIZ”杯创新方法大赛全国三等奖。最终推免天津大学

#### C 同学

某 211 高校自动化学院本科生。大学期间荣获国家奖学金，“学

习标兵”称号，校一等奖学金 5 次，省数学建模比赛校二等奖。接触并学习了 Matlab、VC++、Multisim、Quartus II、Keil C、CAXA、Altium Designer、MASM 等软件进行电路原理设计、软件编程、辅助设计、仿真验证、参数整定等工程设计环节。曾在连云港杰瑞电子公司和中船重工第 716 所参加社会实践。研究“一种对流式电采暖器”获得国家专利。发表普刊论文一篇。最终推免清华大学。

#### D 同学

某电力院校自动化学院本科生，曾任自动化工程学院学生会副主席，校科技协会副主席等职务；曾获邮储杯中国互联网协会全国大学生网络商务创新应用大赛三等奖、暑假“三下乡”社会实践暨“百基千队服务万村行动”“优秀团队奖”、固纬杯第三届控制技术创新大赛三等奖、2014 年省国防科技体育总决赛“优秀工作者”称号；曾获得优秀学生奖学金、社会工作奖学金、优秀学生干部标兵、优秀工作者、优秀运动员等荣誉称号。现签约大唐某热电厂。

#### E 同学

某一流学科高校自动化学院本科生，荣获：世界 APEC 电脑鼠大赛中国赛区选拔赛最快速度奖、美国大学生数学建模竞赛 Meritorious Winner 奖（一等奖）、全国大学生 ROBOCON 机器人比赛北方赛区三等奖，市大学生机器人竞赛一等奖、市大学生物联网创新与工程应用设计竞赛三等奖、市大学生电脑鼠走迷宫竞赛二等奖、中国工程机器人暨国际公开赛二等奖、全国大学生数学竞赛二等奖。熟练掌握：c 语言、c++语言基于 KEIL、IAR、VS 环境（包括 OPENCV

库)的编程、MATLAB、SIMULINK 软件的模型建立以及 51, 32 系列单片机使用方法。推免华中科技大学。

## F 同学

某校自动化学院本科生。曾任学院大学生科技协会竞赛部副部长,在校期间,一次性通过大学英语四、六级考试,数学建模联赛一等奖,全国大学生数学竞赛省二等奖,全国大学生电子设计大赛省二等奖。通过国家计算机二级考试,连续三年获得校一等优秀学生奖学金和“三好学生”荣誉称号,先后获得国家励志奖学金、“省三好学生”、“优秀团员”等荣誉称号。最终推免中南大学。

先说说感受,为了准备这篇文章,翻了翻一些大学的学院网,所报道的学生,或者有学生会经历,这个很正常,因为报道稿就是学生会写的嘛,高校对一些学生会干部模范也会适当的宣传和鼓励。或者经历很多,最后推免或者出国。推免生一直是报道的主力,最后就是考研标兵,本想着挑几个考研标兵介绍,看了看一些报道,几乎全文都在说怎么准备考研,没什么其他的经历,即使放上来也没什么可写的。

再看挑选出的这六位同学的简历,虽然细节不同,但总体上很相似,主要有四点。

1、都有比赛经历,大学生英语竞赛,飞思卡尔”杯智能车竞赛,“恩智浦”杯智能车竞赛,全国大学生电子设计竞赛,“西门子”杯自动化挑战赛(现在好像改名了),各类数学建模比赛,数学竞赛,全国大学生 ROBOCON 机器人比赛,中国工程机器人暨国际公开赛,这

些比赛自动化学生都可以参加。

2、出色的软件与硬件设计能力，这六位同学所参加的比赛大多数需要软硬兼顾，做出实体产品，这也说明出色的软件与硬件设计能力也是优秀的自动化学生的一个重要品质。有了实体产品，专利、论文都不再遥远。

3、全面发展，在采访文章中大多数同学不仅在学习，在社团、社会活动上也有涉猎，这也是现代工程师的要求，工程技术人员社交、管理、财务能力都是职业发展中不可缺少的能力，以前的专栏文章里提到国外也有自动化类专业，意大利甚至有一模一样名字的专业，他们的自动化专业教育与国内内容上基本一致，国内教授的课程他们都学，不同的是，他们特色一在于系统工程教育，二在于工程师基本能力教育，包括管理、财务、社交能力的培养。

4、自我认识能力和出色的计划与执行能力。知道自己想要什么，知道自己怎么获得，这些能力需要在大学尤其是本科期间重点培养。人们常常提到眼界问题，什么是眼界，这个问题有很多讨论，但最基本的就是信息获取能力，一部分信息是你知道，别人也知道的，一些信息，你知道，大多数人不知道，这就拉开了差距，就像有些人本科已经做到的事情，一些人毕业十年都未必知道有这回事。

所以，刚刚进入这个领域的新人们，知道怎么做了吧，无论未来上得上不了报道，至少与报道中的人物接近吧。也许到了那天，你会觉得上个官网报道没什么了不得的。虽然大一时视若神明。

## 扩展阅读：自动化专业在中国

相信许多填报过理科志愿的学生，翻开志愿书浏览后感觉都是这样一句：这么多自动化是啥意思，我到底选哪个自动化，要不选个最少字的？（滑稽）。

大致理一理，主要有机械设计制造及其自动化、电气工程及其自动化、农业机械化及其自动化。我们有个说法，万物皆可自动化。不过这些一切的一切都有一个最初的问题，自动化这三个字是怎么进入中国大学的？它又是怎么发展到今天的。

所有的所有，要归到这个起点。

新中国成立前，国内有电气工程，机械工程等学科，学习的是欧美的专业设置。并没有自动化这个词，也没有类似专业。解放后，新中国通过自身建设及苏联援助，建立了许多工业企业，比较著名的就是苏联援建的 156 项工程。

156 项工程是苏联对于中国的大型工业体系援助项目，然而，由于多种原因，里面缺少了仪器仪表与自动化技术的相关援助。针对这个情况，国家成立了相关技术领导小组，开始着手自己建立相关产业，培养相关人才。

1952 年，在全面学习苏联的背景下，高等教育也开始了转变，参考苏联教育体系改革专业设置，拉开了院校调整的大幕，经过调整后，基于工业实际需求，设立了工业企业电气化专业。

1955 年苏联相关专家来到中国，在哈尔滨工业大学正式设立了自动控制专业，因此哈尔滨工业大学作为国内自动控制专业的发源地



是有着一定理由的，而由于苏联援助的性质，我国的自动化专业起源于苏联的自动学与远动学专业也是可以确定的。

这里多说一句，很多同学认为自动化专业是中国和前苏联独有的，事实上除了中俄，自动化类专业在欧洲、南美等地区也广泛分布。除了工业企业电气化和自动控制外，一些相关专业也相继出现，比如化工自动化，热工自动化等，它们也赋予了自动化专业重视实践的优点。

1956 年，国家召开知识分子工作会议，发出了向科学进军的号召，随后组织了一些专家学者制定了我国第一个十二年科学规划，在规划中，钱学森前辈作为综合组的组长，将自动化技术作为六大核心任务写入了规划。自动化事业的发展得益于这一决定。

为了加快人才培养进程，同年，中科院组织了自动化进修班，对相关产业人员进行技术培训，自动控制专业和相关专业也在全国重点院校迅速铺开。

1961 年中国自动化学会成立，这标志着中国自动化事业的正式形成。

60 年代中期，工业企业电气化专业更名为工业电气化与自动化

1977 年为了适应发展需要，将工业电气化与自动化专业又改名为工业电气自动化，而自动控制专业保持不变。

1977 年到 1982 年，自动化类专业快速发展，五年间有四十多所学校设立了自动化类专业，就像这几年全国各地设立人工智能专业一样，是实打实的热门专业。

1993 年，国家教委颁布了本科专业目录，从此开启了专业大合并的序幕。

首先，1993 年，国家教委将工业电气自动化与生产过程自动化合并，称为工业自动化，归于电工类，由机械工业部管理。自动控制专业名称不变，归为电子信息类，归于电子工业部管理。

仅仅隔了两年之后，国家教委发布工科专业引导目录，首次将工业自动化与自动控制专业合并，两大分支合流，自动化专业这个概念正式提出。但是由于此次是引导性，并不是强制性的专业目录。

1998 年，为了适应宽领域发展的需要，在新修订的专业目录中，正式将工业自动化、自动控制专业、部分液压控制专业、部分电气技术专业、部分飞行器制导专业合并，自动化专业正式创立。同时将电工类与电子信息类合并为电气信息类。沿用至今。

值得注意的是，在 1998 年目录中，将电工类剩余专业合并成立电气工程及其自动化专业，因此自动化与电气工程及其自动化是同时诞生的。

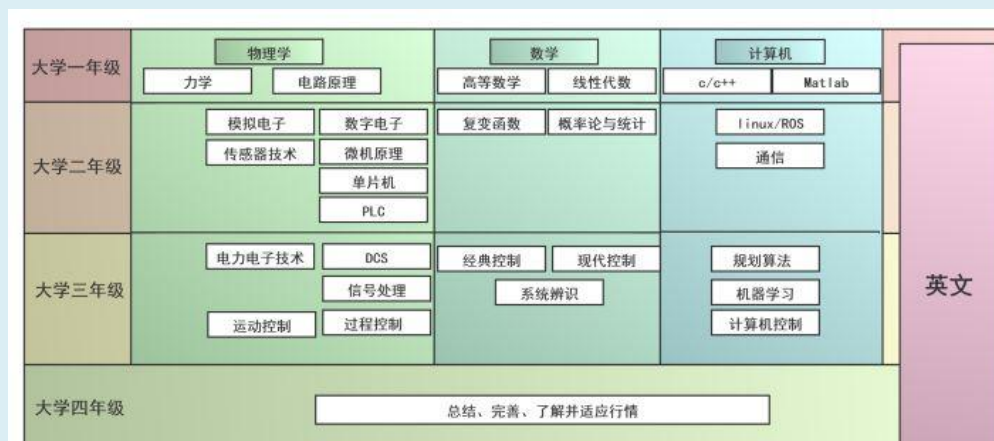
理清这个历程，对于理解不同学校的自动化含义不同是有帮助的，因为工业自动化专业是偏向强电，自动控制偏向弱电，举个例子，如果这个学校是由工业自动化改为自动化的，它一定带有强电背景，课程体系也会偏向电自动化。

上面提到的历程是大多数学校的发展历程，当然，一些学校存在着特例，比如浙江大学，浙江大学的自动化专业来自于化学生产操纵及检验仪器（化工自动化）专业，不做赘述。

## 第二部分 写给自动化专业的本科学生

### 第四章 自动化专业的学习

#### 4.1、课程体系



随着近年来人工智能热度的增加，自动化专业也越来越被人们熟知。除了前面介绍过的自动化专业是学什么的之外，另外一个问题就是这个专业该怎么学习？这里就来按照时间表，详细的说一下。

#### 大学一年级

大一这一年安排的课程很多，和专业相关的可以分为自动化导论、数学课、计算机语言、外语、大学物理。

#### 自动化导论：

这门课一上来可能觉得无所谓，但从专业性质来说，这门课反而比一些专业课重要的多，所要解决的问题有两个，也是大一或者前期的关键问题：

1、自动化专业干什么的。2、我以后打算干什么（模糊点也行）

按照之前的分类，主要是智能硬件方向，计算机软件方向，工业控制方向，运筹与系统工程方向，其中选择纯计算机软件方向，也就是互联网应用方向的同学，在大一上学期的主要任务是争取转专业，

因为绝大部分的自动化专业还是以硬件为主，以开发实体产品为目的。下文也是基于带点硬件的系统开发而设计的。

当然如果做用到实体上的机器学习技术，比如机器人的视觉这块的话，属于智能硬件。此时只需要有个模糊认识就行，因为具体方向确定还是要到上手学才知道。

## 数学课

弄清楚了自动化导论，无论选择哪个方向，都要学习的就是数学课，按照一般的划分也就是高等数学、线性代数、概率论与数理统计。首先要控制一个东西，必须要知道它的性质，一般性质都是用数学公式表示的，数学这些课就是用来处理这些公式的。

我们从小就学数学，到了大学仍然需要数学，对于这门课程的学习方法相信都有很多认识，要利用好大学 MOOC 和优秀的电子教材（比如最近比较热门的清华大学采用的线性代数教材）资源，同时也要多加练习。

## 计算机语言

一般来说，自动化专业本科大一安排的课程以数学课为主，也有不少院校开设了计算机课程，掌握一门计算机语言是大一的另外一个任务，以 C 和 MATLAB 为主。另外也可以通过报名参加数学建模大赛来锻炼 MATLAB 应用能力。

## 英语

英语的作用不必多说，四六级是基本要求。

## 大学物理

因为力学高中基本学过，这门课重点掌握电磁学部分新增内容，以后的电机学、检测技术会用到。

经过大学一年级的学习，应该具有的是一定的数学基础、C 语言和 MATLAB 的基本使用，英语达到四级水平，对自动化专业和自己的意向职业有一个大概认识。

## 大学二年级

大二这一年安排的课程，和专业相关的可以分为电路类、单片机及 PLC 类，重点锻炼基本的开发能力。

### 电路类

进入大学的第二年，就要与电打交道了，一开始就是电路类，包括电路、模电、数电。知乎上有许多这三科怎么学的答案，可以参考。电子技术是自动化的重要工具和实现手段，也是选择做硬件与工业方向需要下功夫的科目。

### 单片机及 PLC 类

单片机作为大学接触到的第一种控制器，是将自动化从书本的抽象概念变成自己生活中触手可及事物的一种媒介。种类很多，可以先从 51 入手，到 STM32。重点掌握控制命令，管脚功能，通信协议。掌握程度应该是能独立设计出基于单片机的一些小功能的开发。在这个阶段里，可以提前学习一些传感器原理和数据处理和 PCB 板的画法。

经过大二这一年的学习后，应该具备的是能独立设计具有一个简单功能的单片机系统（非毕业设计那种）的原理图、PCB 板图、并制

作实物。同时英语水平接近或达到六级。

为了达到这个目标，需要充分借助实验室或者学校社团的条件，在课余时间不断练习，掌握程度较好的可以参加电子设计大赛等。即使是以后打算从事运筹的同学，也需要了解一些，因为这个的主要目的是拥有一个可以简单理解的工程模型，对日后的控制相关理论学习有较大帮助。选择工业控制的同学此时也可以学习基本的 PLC 开发相关。

## 大学三年级

古人说实践出真知，相信经过大二一年的电子开发锻炼，在设计和制作过程遇到了很多困难，比如很多功能实现的并不理想，复杂功能不知道怎么实现。大三或者说自动化专业的核心就是解决这些问题。

大三这一年安排的课程，和专业相关的可以分为控制理论、具体控制技术

### 控制理论

包括经典控制和现代控制，这门课是自动化本科的灵魂，是无数前人经验的总结，也是许多院校的考研课程，学习这门课时需要注意与自己的经验结合来看，把课本的知识运用到实际例子和自己的开发中，重点放在频域部分和后面的状态空间。

### 具体控制

过程控制、运动控制（电机学一部分），计算机控制与计算机语言课程相关，主要的目的在于控制理论推导的算法怎么转换成程序的



问题。检测技术主要学习一些传感器的知识，这几门课是实现复杂功能的基础，此时就可以在大二的简单实物上加入优化和延伸，处理一些略微复杂的问题。

到了大三往深处走，方向的作用出现了，在大一大二的基础学习过程中觉得自己哪方面特长就走哪方面，毕竟人不是万能的，学习也有取舍和自学加深的过程，比如搞硬件就要继续大二的探索，不断练习，不断提高难度，结合大三课程，自己钻研。选择控制理论的同学，大三就要重点掌握控制理论尤其是现代控制理论的推导，也要记着一些电子开发经验，利用大二做的成品和数学方法反复推敲理解控制理论。选择工业控制的同学要重点突破 PLC 工具和电机，

大三下学期面临着考研，如果有锻炼能力想法的同学，又打算考研，可以安排在大三上学期。

大三的学习要求就因人而异了，总体上说应该具有某个领域的基本理解和应用能力。

## 大学四年级

一般按照考研的复习流程，大四上学期应该属于强化和冲刺阶段，在自动化本科学习里大学第四个年头，也是属于强化阶段，为工作或深造做准备，当然出国深造的同学要提前准备一下。

## 4.2、何为控制理论

作为自动化学科的核心内容，这里先讲个控制理论的故事，具体讨论放在第三部分。

### ①经典控制理论

小张选择了一片空地。准备建设自己的家园。空地旁有条河流。每次用水的时候都需要他自己去挑，但随着需求的增加，这样的方式越来越累，想雇个人又没有钱，于是，小张去河边看了看，找了个合适的地方安装了一条水管，这样每次当他需要用水时，打开水龙头就可以了。因为打开水龙头不需要什么其他的操作，一条线下来就可以了，所以这种方式也被称为开环控制。

水的来源解决了，接水时又出现了一个问题，因为容器的容量是有限的，所以接水时，小张需要在旁边随时观察着水位情况，每天有很多的时间花费在这个方面，处理这个问题的一种思路是引入定时器，通过生活经验可以知道接满一个具体的容器大概需要多长时间，然后设定定时器，到点自动关，这是另一种开环控制。

但对于不同容器情况，不再适用了，小张分析了接水过程，发现其中一个重要的环节就是测水位然后把信号再送回人，人再去关闭水龙头，随后使用了机械结构或者水位传感器实现了这些功能，这种机制后来被称为反馈，因为把过程画成图后，可以画出一个圆圈，又被形象的称为闭环控制。

这样，小张获得了一个可以控制水位的系统，别的不说，去接水时就很舒服，水龙头一扭，需要时直接拿走，不用担心其他问题。等

的这段时间就可以做其他事情了。

过了不久，又有了一个需求：水虽然有了但是凉的，能不能接点热水？这样喝水时比较方便，一开始的思路很简单，在水管上开了一个分支，加入了一个加热器，剩下的都相同，这样出来的就是热水了，在安装完成后，小张接了一杯，刚拿起来差点就掉在地上，因为温度实在太高，于是他就想能不能直接出温水？这样也不需要再晾一会儿。

刚想到这个需求时，小张梳理了一下，温水？好办，设计两个管子，一边加冷水，一边加热水，随时检测温度，温度高了加冷水，温度低了加热水。这样不就行了。这种简单闭环的设计思路被称为开关控制，很快搞了出来，然后投入使用。

但使用时发现，这个开关控制的思路存在着一些问题，比如这种设计理论上很好，实际中，尤其是到温度线那里时，温度差一点，一开热水，温度上升很快，然后一加冷水，温度又迅速下降，就是个振荡过程。等到温度差不多了。估计出来的水都能装满一个池塘了。

为了摸清楚里面的机理，小张决定拿上温度计，自己手动去调节，看看怎么得到温水。经过一系列的实验后，烫了不少次手，浪费了不少水后，小张总结了里面需要用到的一些技巧，比如在温度比较低时，把热水开关开大，随着温度的升高，逐渐关小热水开关，以控制温度上升速度，如果温度超过期望值，则逐渐打开冷水开关。简单来说，需要关注的量，就是温度的差值和温度的变化速度。

摸清楚这个机理之后，小张在原有的反馈机制里，加入了求导和

积分环节，模仿自己手动操作，用来处理变化速率问题。这也就是至今仍然在广泛运用的 PID 控制算法。

数学系的小王听说了这件事情，感觉非常好奇，因此拜访了小张，仔细听过小张的经验介绍后，小王提出了一个问题，你怎么能够确定，经过你这个调节方案，能够达到你所期望的值呢？小张一时难以回答，因为他在工程实践中确实也发现，一些调试方案不能达到预期的效果。

小王感觉到这是一个值得讨论的话题，回到学校后，和同事讨论了起来，他们首先画了整体的图，然后找了几组变量，列出了再熟悉不过的微分方程，然后就开始解，解完又求了各种参数，还探讨了几种新解答。

不过微分方程向来不好解，此时有人提出，哎，咱们可以只盯着输入输出啊，里面的机理暂时不用管，我记得拉普拉斯他老人家好像有个变换，可以简化微分方程，然后一顿操作，得出了一个输出与输入的比值函数，这是一个只关于  $S$  的函数，它反映了这个系统的基本性质，至于叫法不同，有的叫传递函数，有的叫系统函数。

拿到这个函数，要分析它什么性质成为一个问题，小王看了看现场需要，发现现场总是需要经过控制达到一个输出稳定的状态，比如输出恒温的水，输出稳定的电流，保持一定的水位，而这种状态，转化成数学，就是当时间趋于无穷时函数是否有一个固定值，如果有，就可以规定这个函数是稳定的。

人们很快发现，对于传递函数来说，当它的极点位于  $S$  轴左边时，

它是稳定的。又通过数学的证明，尤其是借鉴了克拉莫法则后，得出了著名的劳斯稳定判据，和一些系统指标的计算公式。比如上升时间、调节时间、超调量等

带着这些理论，小王又一次拜访了小张，听完这些之后，小张对于自己的系统也有了更清晰的了解，尤其是提出的指标体系更加细化，感觉到了数学帮助人思考的重要作用，但他又向小王提问了一个问题：在一些设计方案中，输出的水温比较稳定，但和期望值有点差距，比方说需要 39 度的水，可能输出的一直就是 20 度的水，这让他感到很困惑。

小王感觉到这里面一定有秘密，通过分析，他发现，这是一个系统性质。被称为稳态误差，并且总结了一个误差表，剩下的则给出了计算稳态误差的公式，被称为终值定理。

到这里，似乎理论已经齐备了，但是，数学上暂时没问题不一定其他地方没有不足，最主要的是，小张并不喜欢看公式，每个人在现场待久了，都喜欢看图，看仪表的数字，或者直接看状态，我就是烧个水，你这边直接摆一堆公式，当然不怎么被人接受。所以一个很自然的想法就有了，能不能把公式变成图呢？

在和同样来自工程界的小文探讨了很长时间后，提出了一种方法，叫根轨迹法，它的思路是这样的：我们前面聊到，零极点的位置会影响系统的性能，而系统的参数又是可以变化的，这就会导致零极点位置的变化，那就可以思考这样一个问题，能不能以某一参数为自变量，画出来零极点的变化图，从而分析系统。

他们把开环系统某一参数从零变到无穷时，闭环系统特征方程式的根在  $s$  平面上变化的轨迹称为根轨迹。并且总结了一系列绘制步骤，根轨迹法由此诞生。根轨迹比公式是要直观的，只要得出了根轨迹图，就可以直观的看出系统的极点什么时候会出左半平面，而前面提到过，出不出左半平面又与系统稳定息息相关。

因此，有了根轨迹，工程师们只需要看图，嗯，轨迹没出左半平面，很好。稳定的！这速度比用劳斯判据判断，快了半顿盒饭的时间。就是记画图规则有些麻烦，有时还要考虑这是常规的，参数的，还是零度的。不过对于计算机技术来说，这些都是小事情啦，进而也开发了基于根轨迹的对指标的调节方法，也称为校正。

对于直流电来说，以上的分析方法是比较实用的，但对于交流电的场合，小张犯了难为，他也做了一些实验，发现在经过控制系统后，交流电不仅幅值发生了改变，它的相角也发生了改变，有人就说了，相角改变有什么大不了的，我们可以考虑典型的正弦波图形，有正有负，如果相角改变的很凑巧，那么就有可能把一个原本设计预想的正的信号改变为一个负的信号，从而导致反馈时明明是负反馈，结果效果变成了正反馈。

除了把交流电变为直流电这种方法之外，能不能直接基于交流电进行处理呢？这时候小张主动的去学校里找到了小王，到了现场以后，小王首先注意的不是系统，而是小文的根轨迹图，一边看一边赞叹，还是你们工程师会玩。一会我学学，看看推导公式后能不能化成图。



拿到熟悉的传递函数和熟悉的正弦函数输入，小王陷入了沉思，怎么才能联系起来呢，一般的正弦函数是  $A\sin\omega t$ ，传递函数又是拉氏变换的结果，看着拉普拉斯变换，不由自主想起来傅里叶变换，于是有了一个大胆的想法，手一挥。令  $S=j\omega$ ，从拉普拉斯变换退回傅里叶变换，代入传递函数，然后得到了两个式子，后世称为幅频特性与相频特性。

不就是画图吗，我也会，小王看了一眼小文的成果，这样， $\omega$  为零时为起点，无穷为终点，画了一条曲线，后世称为幅相特性曲线。

然后老惯例，稳定性判断。小王看着自己画的幅相特性曲线，抄起一本复变函数分析开始推导，得出了一些有用的结论：

首先这个幅相特性曲线不怎么完整，如果系统含有积分环节或者等幅振荡时要补圆，补完之后经过严格论证，发现以下结论是成立的：

设系统的开环右极点数为  $P$ ，当  $\omega$  从  $-\infty$  变化到  $+\infty$  时，系统开环频率特性曲线  $GK(j\omega)$  及其镜像所组成的封闭曲线，顺时针包围  $(-1, j0)$  点的次数为  $N$  圈 ( $N>0$ )，若逆时针包围则  $N<0$ ，封闭曲线绕  $(-1, j0)$  点旋转  $360^\circ$  即包围一次，则系统的闭环右极点的个数  $Z$  为： $Z=N+P$ 。当  $Z=0$  时，系统稳定； $Z>0$  时，系统不稳定。（奈奎斯特稳定判据）

小张利用这些结论解决了很多问题，但他发现这个图像有时候过于复杂，在工程当中不能普遍应用，因此小王又在基础上对这种方法进行了改进，将幅频与相频分开画，并取对数渐进线，解释了许多东西（伯德图）

小王发现，在控制系统分析中，除了稳定性，有时候也需要考虑裕度问题，系统能够忍受一定范围的变化，而改进的方法可以直观的表现出幅值裕度和相角裕度。这是他的一个优势

小王还发现由于伯德图可以做实验得到，而图像又反映了系统的一些基本环节，因此可以利用这个工具，对一些控制对象，直接写出它的传递函数。在工程当中也是很方便的。

到了这里，现场安静了一些，时域频域都有了分析方法，小张按部就班的处理日常事务。遇到困难时域pid频域用校正，一切都挺好。不过没持续多久，新的问题又来了。

## ②线性系统理论

我们回到小张的家园，此时有了新的需求，接温水时不需要人去时刻关注水位，到了线自己停。一个很简单的处理思路是，在原先的接水反馈控制系统的基础上，加一个储存温水的容器，于是小张从商场里进了一台锅炉，接在水管的一条分支上，锅炉的控制既要保持水的温度，同时也要保持水位。它的输出涉及到了两个变量，势必要列出许多个微分方程。这种情况下用传递函数去处理有些困难。

小张看着方程组正发愁时，小王又一次登门拜访，主要是来这里看看自己理论的具体效果，看着小张正在对着方程组发愁，上前问明白了原因，小王想起来解方程时经常涉及的矩阵和线性变换，顿时来了灵感，于是找了几张纸开始了推导

人们一直把控制系统看做黑箱，只关注进去什么出来什么，至于里面具体发生了什么，没怎么关心，但是要想进一步研究，脱离不了

内部结构，把方程组的系数列为矩阵，或者反过来说把矩阵看作实行一种变换，这样就能够了解到它的内部结构，也就得到了所谓的状态空间方程。

由于微分方程的系数、先后顺序、形式等区别，状态空间方程可能有多种形式，但我们知道，表面上不同的微分方程组，很有可能表达的是同一件事物，也就是说需要提出一个规范形式问题，同时为了后面更好的处理，也有着相应的容易处理的形式，统一的称为标准型问题。

状态空间方程的解自然是人们所关心的问题，所谓状态方程的解，就是看看这个方程描述的系统到底是如何变化，小王经过推导得到了一些相关结论，比如系统解的基本表达式和状态转移矩阵。而所谓状态转移矩阵是描述系统运动状态的另一种方式，他把系统的运动看作是各种状态之间的转移。

除此之外，由于涉及到多个输入量和输出量，之间的关系较单输入单输出来说，比较复杂，于是就有了一个问题，有哪些输出量可以控制，有哪些输入量可以由输出量唯一确定。后来被称为能观能控性，提出了一些判据，最常用的是秩判据。对于不能观测的状态，也提出了观测器的说法，比较著名的是龙伯格观测器。龙伯格观测器的主要思路是对系统进行仿真，同时利用反馈使得仿真接近于真实系统的状态，从而得到一个准确的观测量。

既然得到了能控性和能观测性，那么有一个问题就摆在了小王的面前，如果一个系统是不能控不能观测，能不能得到它某一部分是能

控能观的表达式，这就是所谓的结构分解。

接下来就到了核心问题，怎么控制，说起怎么控制，小张就比较擅长了，两个字，反馈，当然由于涉及到状态空间，所以说和之前的反馈有一些区别，也就是状态反馈，由于系统的极点能够影响系统的性能，那么就依据前面的基本思想，设计状态反馈，配置极点。

得到了一种控制方案后，自然要判断它的稳定性。由于不是传递函数形式，之前的一些结论都不能使用了，因此稳定性的判断变得有些困难。

小王想起来之前讨论过的传递函数的稳定性，引入状态空间描述后，有了描述系统内部结构的工具，因此也很自然的联想到对于稳定性来讲有没有相应的区别。既然传递函数和状态空间方法的区别在于一个描述外部，一个描述结构，相应的，稳定性也可以分为外部稳定性和内部稳定性。外部稳定仅仅是规定了输出是有界的，而内部稳定才要求是渐进的，相应的内部稳定的条件更强。经过仔细的推导，利用了状态转移矩阵，小王得到了关于外部稳定性和内部稳定性的一些判据。

这样一来，对于状态空间方程的应用工具基本搞定，相应的也可以用来处理同时保持温度和水位的问题，但小张的需求明显不止这些，比如一个很显然的问题，就是能量问题，烧水是需要能量的，换句话说是需要燃料的，燃料是需要花钱的，因此找到既能够满足需求，又能够最少的消费的控制方案变得十分的重要，这在数学上是一个优化问题。这在控制上被称为最优控制问题

谈到优化，那是小王的老本行，只要你给出目标函数，给出约束的条件，数学上有很多说手法用来处理这些问题，因此关键问题在于寻找到最优控制问题的目标函数，小王利用自己的数学基础和对问题的仔细思考，提出了一种线性二次型最优控制方法，它是以泛函为基础的，这种方法可以通过求取黎卡提方程来解决。

在之后的发展中，小张作为一个工程师，把非参数模型（截断的阶跃曲线）放入线性二次型最优控制的架构下，成功地解决了解决了多变量、滞后补偿和约束控制问题。提出了动态矩阵控制，也就是大名鼎鼎的模型预测控制的一种。

到这里，以状态空间方法和最优控制为核心的新型方法，在处理一些复杂问题时，发挥了自己的潜力，因此也被称为现代控制理论。

小张掌握了状态空间理论后，尤其在经过对比后，发现自己习惯用的经典控制理论比较得心应手，因此，他就在琢磨一件事情，如何将经典控制理论和现代控制理论结合起来，还是对于自己需要的系统来说，它的输入是水量和燃料，它的输出是水位和温度，用状态空间方法时候需要同时考虑，结合传递函数输入输出的思想，小张突然有了一个新的想法，能不能分开的比，拿任意一个输出比任意一个输入，这样下来就能得到四个方程，把这个方程按照状态空间的方法写在矩阵里，就得到了传递函数矩阵。

小张把他的思想告诉小王后，小王去找了一些研究方法，他发现虽然传递函数所代表的比值构成的矩阵没有深入研究过，但可以经过一系列操作，把传递函数矩阵表示成用矩阵分式描述，得到了一个多



项式矩阵，而多项式矩阵的研究较为深入，小王针对多项式矩阵进行了深入研究，结合了之前提出的一些经典控制理论的分析方法，进行了推广，得到了一些不错的结果，这也被称为现代频域分析方法。

### ③非线性控制

小张在分析锅炉的内部机理时，发现了之前方法存在的一个重大问题，无论是经典控制理论，还是前面提出的线性系统理论，针对的都是线性系统，而对于锅炉的一些环节来说，它的特性是非线性的，因此前面理论除了 PID 外，基本不再适用，对于一些强的非线性环节来说，PID 有时也达不到很好的效果。

对于非线性，小王也很少研究，但他想到了同事小宋，好像在这方面有了一些深入的见解，因此他就拉着小宋来到了现场。小张先是介绍了自己遇到的一些非线性环节，比如摩擦、饱和、死区、间隙和迟滞，以及他通过实验发现的一些非线性特性，比如多平衡点，极限环，混沌等。

多平衡点，顾名思义，就是系统存在多个平衡点，混沌这个概念或多或少也都听说过，对于初始条件的微小差异，非线性系统会表现出一种称为混沌的现象，这意味着系统输出对初始条件极其敏感。混沌的本质特征是系统输出的不可预测性。即使我们有一个精确的非线性系统模型和一台极其精确的计算机，从长远来看，系统的响应仍然无法很好地预测。

混沌必须与随机运动区分开来。在随机运动中，系统模型或输入含有不确定性，因此无法准确预测输出的时间变化（只有统计方法可



用)。另一方面,在混沌运动中,所涉及的问题是确定性的,在系统模型、输入或初始条件中几乎没有不确定性。

而很少听说过的,就是小张提到的极限环问题,非线性系统在没有外界激励的情况下可以显示固定振幅和固定周期的振动。这些振荡被称为极限环或自激振荡。

听完小张介绍,小宋心里大体也有了数,他也介绍了自己的一些研究工作,首先对于一种特殊的非线性系统,二阶系统,有一种称作相平面法的图形化方法,用图形来解二阶常微分方程,这种方法的核心就在于在二维平面上画出不同初始值的系统运动轨线,从而分析系统。

其次,对于如何寻找极限环,判断极限环到底存不存在,也有一种比较经典的方法,我们介绍过频率响应方法,但是这种方法不能直接用于非线性系统,因为对于非线性系统来说不能定义频率响应函数,然而对于某些非线性系统,可以对频域方法进行扩展,即后面所说的描述函数方法,它可以用来近似的分析和预测非线性特性,由于缺乏系统的非线性系统分析工具,使得它在实际工作当中不可缺少,在工程应用中描述函数方法,主要用来预测非线性系统的极限环。

描述函数法的基本思想就是假设极限环存在,把系统分为线性部分和非线性部分,同时对于非线性部分进行线性化,得出它的频率表达式即描述函数,而判断极限环是否存在利用了推广后的奈奎斯特稳定判据。

接下来就是核心问题,也就是对于非线性系统进行控制,小宋和

同事们也是主要研究这一块，提出了很多控制策略，比如将开关控制和最优控制结合起来的 bang-bang 控制、增益调度，反馈线性化法等。

增益调度思想是选择分布在系统工作范围内的一组工作点，然后对任意一个工作点，求出其时不变线性近似系统，对每个线性近似系统设计一个线性控制器。在工作点之间，补偿器的参数用差值法（或称为调度法）确定，这样就得到了一个全局的补偿器。

而反馈线性化的基本思想是利用反馈消掉系统中的非线性环节，人们之前处理非线性问题，一个基本思路是利用泰勒展开式把非线性在某一点附近看作近似的线性，但这种思路处理不了大范围的问题，反馈线性化方法也是针对这种缺点提出。

得到了控制方案后，关键问题就变成了稳定性判断，由于方程复杂，非线性系统的稳定性成为一个难题。小宋在这个问题上也花费了不少时间，直到有一天他发现了物理系很久之前毕业的学生小李的毕业论文，小李也在毕业论文中提出了一种基于物理启发的稳定性理论，也就是一个很简单的思想，如果一个系统的能量必然耗尽，那么这个系统必然趋于稳定。这种思想转化成数学语言，就是能量函数正定其导数负定。（李雅普诺夫稳定性理论）

相应的，对于之前提出的外部稳定性和内部稳定性，也有小李意义下的稳定性和渐进稳定性，这种思想引入控制系统稳定性分析之后，线性系统和非线性系统的稳定性问题得到了一个很大的改革，这里提一句，还记得前面提到过的线性二次型控制器吗？那里仅仅保证了最优性，却没有涉及到稳定性，在后来用小李的理论推导下，导出

了和线性二次型最优控制推导过程中同样出现的一个黎卡提方程，换句话说，线性二次型控制总是稳定的。这是线性二次型控制的一个重要贡献：把最优性和稳定性连到一起。

特别的，对于非线性系统，针对实际工程当中遇到的困难，即选取的能量函数常常不满足条件，利用不变集理论进行了扩展，也就是所谓的高级稳定性理论。涉及到概念有绝对稳定性，超稳定性，也是非线性控制里面较为经典的结果，给后面提到的自适应控制等打下了基础。

稳定性理论虽然是一种验证工具，但我们反过来想一想，如果我们设计的控制器直接从保持它的稳定性出发，是不是设计起来就比较简单？因此也产生了很多种基于稳定理论的控制器设计的方法。

小张利用以上提出的这些针对不同情况的方法，对自己的设计的系统进行了分析和改进，得到了不错的效果，但控制理论的发展是问题导向，在对锅炉模型进行深度的分析和思考之后，小张意识到了两个问题，一、模型具有不确定性，也就是说建立的模型不能描绘系统的状态，因为系统的状态参数可能会发生一些未知的改变，第二个，一些环节的动态很复杂，小张暂时搞不清楚里面到底是什么原理，因此也无法实行传统的控制

针对模型的问题产生了很多种方法，小张首先想到的就是龙伯格观测器里面的蕴含的思想，建立一个基本的模型，根据与实际模型的差距，不断修改自己的参数，进而达到能够反映真实情况的地步，这种思想与控制思想结合在一起，便产生了自适应控制，控制器结构根

据被控过程的变化自动调整、自动优化。

另外一种则是鲁棒控制器，所谓鲁棒性，就是应对参数变化仍然保持原有性能的能力，这一点让人想到了在经典控制理论中提出来的裕度问题，鲁棒控制器也可以用来处理模型的不确定性。

针对一些环节难以建模的问题，有一个专门的学科叫做系统辨识，近年来随着技术的发展，也可以利用大量数据进行建模，这是目前的一个发展方向。这里多提一句，很多人以为系统辨识技术属于万能的，只要模型一出来，加上我们已经掌握了控制理论，足以解决问题，实际上系统辨识技术在工程实践中存在着很多问题，正如一句经典的话，你解决多少问题，就带来多少问题，

#### ④计算机与网络控制

上面很多介绍都是属于理论分析和设计方法，并没有过多的考虑控制器件本身的性质，随着技术的革新，小张对控制器件本身也进行了多次更新，从机械结构到继电器、到芯片再到计算机，尤其是发展到用芯片控制时，面临着一个由连续到离散的问题。

要是数字控制就是简单的连续系统离散化，计算机控制也就没有什么了不起。离散控制带来了一些连续控制所不可能具备的新特点，这就是：差分方程用清晰界定的时刻之间的关系来描述动态过程。

这说明了离散模型的一个重要特质：预估能力。所有预报模型都是建立在离散模型的这个预估能力上，不管是天气预报，还是经济预测，还是自动控制里有滞后的过程的控制。比如最著名的史密斯预估补偿器

数字控制的另一特质是可以实施一些不可能在连续时间实现的控制规律。离散控制可以“看一步、走一步”的特性，是连续控制很难模仿的，也是在实际中极其有用的。

相应的针对离散情况下控制器的设计原则有两个思路，一是先设计好控制器，然后再离散化二直接针对离散情况设计控制器，

控制器离散化有多种方法，主要是得出了一个  $s$ ，也就是传递函数中的  $s$  和  $z$  变换的  $z$  之间的关系表达式，从而把拉普拉斯变换转化为  $z$  变换，得到离散模型

另外一种方法是直接针对离散情况进行设计，最经典的方法是最少拍控制设计方法，所谓的最少拍，是说系统在典型输入信号下经过最少个采样周期使系统的稳态误差为零，本质上属于时间的最优控制。

往往在处理滞后系统时，因为系统本身限制，快速性要求比较宽泛，而对稳定性超调量都有严格要求，对于这种需求，我们可以构建出理想的传递函数，然后再去寻找在目前基础上怎么设计才能达到，类似于我们算出来要得到一百，目前只要有 45，再去构建 55 加上去。这就是有代表意义的大林算法。

随着计算机技术的快速发展，小张也对自己的系统进行了再一次的升级改造，设计了多个系统，并且之间用网络联系在一起，构成了一种网络化系统，网络化系统的产生对控制理论提出了新的挑战。他的代表就是网络化控制，拥塞控制是在网络中使用反馈的早期例子。在保持高吞吐量的同时，对向网络中注入数据包的速率进行调节以避



免拥塞。

随着网络安全技术的发展，网络安全与控制科学之间的结合点也变得越来越热门，小张也对自己设计的网络化系统的安全性存在担忧，因此也做了很多研究。但有时不能很好的结合网络安全的研究成果。

这些成果共同推动了网络物理系统（CPS）的发展，CPS是小张和小王最近新提出的新概念，随着通信技术的不断应用，以及控制系统设计和操作中软件的复杂度和复杂性的增加，控制、计算和通信之间的交互更加紧密。它还促进了大规模控制系统的发展。正如前一个时代的情况一样，继模拟和数字控制之后，第三次潜在的平台革新也正在创造一个严格设计框架的需要。

另一方面计算机尤其是机器学习技术的突破，以及它在很多领域的应用，也使得小张产生了一些兴趣，虽然由于机器学习技术一些特定原因，小张不敢在工程上直接应用，但他和小王的讨论当中，时不时就会涉及机器学习技术，在辅助控制或者具有人类智能的控制器上的应用。

当然对于计算机控制来说，涉及到很多硬件技术上的东西，比如可编程逻辑控制器、DCS、现场总线等，不属于本期所涉及的内容，也就不做过多展开了。

## ⑤总结

从上面这个过程中，我们可以看到控制理论的发展是由需求的不断细化而推动的，针对在工程中出现了很多精细化问题产生的控制理



论，在这个思路指引下，我们也能够理解，为什么一些控制理论明明在一些场合实验效果要好的多，但没有被采用的原因，因为在这个需求进化过程中，在大多数情况下，我们仅仅到某一步就可以了，就拿本文的例子来说，在生活中我们一般到经典控制理论，范围内需求就已经基本得到满足了，不会过多的考虑精细化问题，但对于一些场合，比如航天等领域，他们的控制理论采用的相当多。

另外一个原因就是复杂度的问题，我们可以看到，随着需求的不断细化，对应的控制理论工具的数学复杂度越来越高，带来的难度和成本也越来越高，因此，在实际的设计当中还需要考虑成本的问题。第三个原因是我们目前对于世界的了解还不透彻，就拿非线性来说，处理的系统还是与实际系统有着差距。当然这些都是控制理论未来发展需要解决的问题，我们在这个过程中可以看到控制理论的发展，结合了很多数学技术上的新思想新成果，这也给我们学习和运用控制理论带来了一些启示，当然我们也可以看到，控制理论本身是工程导向的，一切的一切不能脱离工程应用的实际问题，不能自己制造问题，这一点和数学有着明显的区别，数学体系不能追求实用性，因为追求实用性会错失很多有意思的成果。更深入的内容。

## 第五章自动化专业的就业

### 5.1、专业优势分析

自动化能干什么一直是困扰学生的问题之一，毕竟每个行业都有人家自己的专业。就像编程招计算机，机械厂招机械，电网招电气，学校招数学老师。

自动化之所以让人迷茫是因为它没有一个挂靠行业大部门，中央从来没有设立过自动化部。

在说明自动化适合干什么之前，先来说一下现在情况，人工智能技术借着 2012 年图像识别比赛的一鸣惊人从冰河醒来，迎来了自己的第三春，没错。第三。

人工智能大热，直接带来了计算机的再次热门，数据显示，2018 年各单位秋季招聘人工智能的岗位爆发，人才缺口很大。其中纯软件的岗位很多，这直接导致许多人开始自学人工智能编程，考虑到目前人工智能的初级门槛和有转行人工智能想法的普通程序员的数量，可以预料到在不久的将来，纯软件上的人才缺口将会被大量填充。

随着人工智能在其他领域的应用，不可速成的人工智能实体系统的开发逐渐产业化，包括自动驾驶，智能机器人，安全监控，无人机，带图像识别的实体系统等，为了简要称呼这些产业，本文将其统一称为智能机器。

智能机器领域要求设计者具有先进的控制理论功底，出色的实践能力，善于将理论现实化，这些特点，与自动化的专业优势是相匹配的。

有人会问智能机器不就是智能机械吗，机械需要结构，这活自动化肯定干不了。首先，本文之所以称其为智能机器，而不是机械，是为了说明在新兴的智能机器领域，其主要矛盾已经不是具体机械结构的设计，而是基于传统结构的智能改造，其主要内容在将先进控制理论与实际结合。这点是自动化的特色和主要优势。

而且重要的是，相较于纯软件方向，智能机器方向在可预见的时期内不会出现低谷期，从业人员较编程人员稳定，行业发展更替较慢，因为一个控制算法必然经过大量经验才能在实体中广泛应用。

考虑到钱学森前辈设立自动化专业为工业服务的目的，因此可以得出，虽然自动化存在许多方向，被称为工科预科，但在可预计的将来，在充分发挥专业优势的前提下，最适合的是智能机器领域。

## 5.2、就业方向与职位

### (1) 机器人产业

提起自动化专业的适合就业方向，不少人第一个就说，机器人，有些高考志愿书上甚至把新设立的机器人工程专业称为最高层次的自动化专业，但很多人往往并不知道机器人相关岗位有什么。

首先，随着科技的发展，分工的不断精细，对于刚入行的从业者来说，不会说让你一个人负责机器人系统的设计生产全过程，上来就当总工。分出来了许多工作，从一开始说吧。

#### ① 机器人运动控制

假设交给你一个任务，让你设计一个机器人，第一步干啥呢？看看人体结构，先把大的结构敲定，用到仿生学或者机械设计相关知识，然后研究利用电机怎么让他动起来。这一个方向被称为机器人运动控制方向。

这个方向要求有力学与机械知识及必要的算法能力，在相关的招聘网站上对于运动控制岗位的条件例如：

适合于电机学相关知识扎实，具有基本的嵌入式开发能力的学生。

#### ② 环境感知与路径规划

拿到了一个能动的机器人，接下来问题是怎么动，即环境感知与路径规划，最近这个大方向很火，原因也是因为机器学习带动的视觉革命，在机器学习没火之前，环境感知主要依靠传统传感器，利用多

传感器融合技术，而路径规划算法的历史更早。

这个方向主要依靠算法，也是目前为止机器人领域最贴近于计算机的方向，或者说就是计算机，岗位也分两种，传统感知类与视觉感知类，视觉感知类待遇相对好一些。

适合于算法相关知识扎实的学生。一些岗位对于学历有要求。

### ③集群机器人

设计的机器人能动了，也知道怎么动了，看样子任务完成了，此时上面下了一个新要求，举个例子，物流行业，一用就是许多台机器人，它们怎么配合？或者无人机，一群无人机怎么联动。这就是集群机器人方向。

这个方向更加依靠数学，依靠算法，随着应用的机器人数量越来越多，该方向的热度逐渐上升。

适合于数学、算法相关知识扎实的学生。对于学历有要求。

### (2) 嵌入式

嵌入式，这个方向与其他方向有重合，如前文所说，有两个主流方向，一种利用现成的模块和硬件设计产品，一种是从事嵌入式驱动开发，比较考验硬件能力，对各型号的单片机掌握，对基本控制算法的掌握，以后发展的方向也是硬件工程师，社会上对于嵌入式有很多培训机构，在大学期间也可以自主学习。

适合于硬件、基本算法相关知识扎实的学生。尤其是硬件相关知识。

### (3) 工业现场

提起工业现场，虽然说自动化专业来源于工业，但学生往往不会选择工业现场，一是因为环境差，二是因为待遇低，三是因为各种加班，比 996 有过之而无不及。

但是由于各种原因，最后很多人还是去了工业现场。

工业现场对于新招收的自动化学生有以下几种岗位：

### ①学徒工类

第一年在车间锻炼，做一些装配工作，逐渐跟着厂里师傅学 PLC，电气控制等活，这种一般是本科生。

### ②初级工程师

如果 PLC 等相关器件掌握较好，有些企业会让新进的学生迅速参与设计与调试，常年出差，不过待遇比学徒工类要好一点。本科生居多。

### ③上位机类

如果通信、上位机编程掌握较好，一般会负责一些现场的上位机软件设计，也可以去一些专门做这块的公司，同样需要常年蹲现场和出差。

做了几年后，拥有了工作经验，才有资格参加许多公司的高级岗位招聘，拿一些巨头企业招聘来说，很多岗位都要求三到五年经验，这个行业非常看重经验。

比较适合热爱这行、能沉下心锻炼自己、具有一定的不断学习能力的学生。（毕业短期内没有或较少经济压力，毕竟慢热行业）



### 5.3、自动化行业介绍

#### ①生产活动的发展阶段

谈到人类生产活动的发展过程，很多人就说啊，这个简单，手工业，机械化，电气化，信息化，智能化。这个概括的不错。从具体工具上看是这样。

那么问题来了，自动化放在哪里？这个问题一出来，就产生了尴尬。

机械也有自动化，电气也有自动化，工业网络也有自动化，人工智能也在搞自动化，那么问题来了，自动化放在哪里？

仔细分析这四个词和自动化这个词，我们会发现，无论是手工业还是到最新的智能化，都是特别限制了生产工具的具体特点，这种划分方式比较直接，但最大的缺点是很难基于这个划分预测未来，比如你问一个蒸汽机时代的人，他对未来的预测很难会想到电的作用。

但是如果我们按照每种工具的优势来比较分析，就会发现，这个时代是朝着工具越来越像人的大方向前进的。

基于这个判断，我们就可以大胆预测，如果有一日工具全面赶上了人，人的地位就会受到威胁。那么人类那时该怎么办，或者说人类对这种趋势有什么预防措施。答案就是人机融合，只有促使工具与人融为一体，才会消除工具带来的威胁。

有人说这纯属扯淡，这都是多远的事了，不错，真正的融合固然很远。但是值得注意的是现在已经出现了人机融合的前身。多数学者也在强调要实现人机初步混合。这也印证了本文提出的预测并非毫无

根据。

## ②逐渐升温的产业升级潮

稍微看一些新闻的人都知道，近几年，智能制造或者叫智能化越来越火，各种企业纷纷升级，这里面有什么原因，中国到底发生了什么？

企业的核心是利益，而不是新奇，所以人工智能技术刚起来的时候，多数企业并没有当回事，因为什么？升级改造成本太高，得不偿失。继续维持原来的技术也能挣钱。

但这两年来，一些劳动力密集的企业开始觉得不对劲了，最大的特点就是找不到足够的工人了。这是个危险的信号。老板去村里一问，工人去哪了，去打工了，创业了，或者再厉害点的去编程序去了，年轻人进厂进流水线成了最后没办法的选择。

企业再好没人可不行，现实又招不到多少人，所以不少企业开始想法维持生产，于是想起了提升自己的层次，比如由手工走向机械自动化，到电气自动化，到数字化。

这个想法不错，但问题是成本太高，有资本的企业花钱保平安，没有资本的逐渐沦落，大企业再挤压一下市场，就这样，原本一场理论上可能皆大欢喜的升级潮流，就因为成本问题变成了淘汰兼并潮。而这仅仅是个开始。

2019 年底，随着疫情的影响，用工荒较以往更甚，同时以机器人为代表的先进技术也彰显了巨大的优势，形势倒逼作用日益突出，

产业升级潮明显加速。

以上说了劳动力密集的企业危机，如果仅仅是劳动力密集的企业危机，那么就很简单了。问题是，并不是这样。

比起劳动力密集型企业，那些已经进入电气化或者数字化的企业明显能招到人，按理说他们不愁发展啊，怎么他们也在搞智能制造？

原因就在于他们虽然能招到人，但留不住，人往往是逐利的，这些企业虽然招人不愁，但人才严重缺乏。再加上竞争这么激烈，迫使他们无法停止，只能继续升级改造，要不他们就会被更强大的对手所挤压，越高级的企业越明显。比如，推进智能制造最上心的，无一例外是大企业。

### ③ 机器换人风潮

工业机器人原先一直不温不火，由于工业升级的需要，2016年广东、浙江牵头开始了机器换人进程，并且逐步升温。值得注意的是，随着2018年初用工荒的爆发，无人工厂为人所熟知。机器换人进程大大加快。

但在2018年年中至年末，机器换人风潮遇到了许多问题，最主要的有两个：一是对机器人要求比较高，那些有钱升级的企业里容易替代的岗位已经实现了机器换人，其余的要不成成本难以支撑，要不机器人不符合要求。二是国外的巨头吞噬，以往国内应对巨头的吞噬，一般采取价格战策略，质量赶不上你就按价格胜，这种策略曾经屡屡得手。

然而在如今机器人行业，这种策略失效，因为国内的制造者发现，国外的产品不仅质量好价格还便宜，因此国外公司顺利收割了这波机器换人的红利。工业机器人这个领域内的竞争也十分激烈，在工信部公布的满足行业规范的工业机器人企业名单中，仅有 23 家上榜，而经初步调查显示，仅广东一省机器人企业就高达 800 余家，山东省也存在有 300 余家机器人企业。

基于上面说的技术原因和成本原因，随着贸易争端的爆发，经济下行压力加大，综合导致了国内的机器换人风潮放缓，数据统计表明：国内工业机器人产量从 2018 年 9 月开始经历了连续 13 个月的下滑，直到 2019 年 10 月为止才转正。

2019 年末，随着争端缓和，工业机器人产量回血，紧接着突如其来的疫情对机器人产生了大量的需求，一些原来摇摆不定的企业行业，因为疫情的原因和后续影响，纷纷采用了机器人技术，对于这一点，一线企业感受最为明显。

援引相关报道：

“能明显感受到整个下游制造业对自动化需求的提升”，3 月 12 日，拓斯达相关负责人向财联社记者表示。拓斯达为下游制造业客户提供工业自动化整体解决方案及相关设备，下游客户主要集中在 3C、汽车、新能源几个行业。“这段时间一些企业会跟我们提出需求，普遍的意向是未来自动化率要提高。一方面是应对突发事件的需要，另一方面则是为了提高生产效率和良品率”，该负责人说道。

而在此次疫情防控工作中，服务机器人凭借自身的独特优势发挥

了积极作用。大疆的“御2”被社区、道路检查点用于远程体温检测，赛为智能的“赛鹰”被用于消杀工作和疫情防控宣传喊话。在湖北武汉仁和站点到第九医院，京东配送机器人能够完成超过50%的订单量。

机器换人风潮在缓慢前行了十三个月后，终于开启了加速跑。

#### ④工业互联网：未来的发展方向

随着机器换人风潮的发展，电气化逐渐全面铺开，接下来的问题就是进入数字化、进而进入智能化阶段，而由于数字化与智能化都依赖于计算机，有着两步并作一步走的现实基础，因此，相应的提出了工业互联网概念与规划。

2018年，有一个非常重要的事件，该年6月7日，工业和信息化部正式将建成工业互联网基础设施和产业体系列为目标，也标志着工业互联网这一概念正式出现在人们眼前。

和传统互联网不同，工业互联网主要是要解决在传统工厂当中的运行管理调度最优的问题，实现定制化、最优化智能工厂。

对工厂实施数字化改造，是为了使工厂的生产过程、管理流程当中的一些数据发挥其有用的价值，工业是一个复杂系统，我们在现阶段不可能用数学完整的描述出工业生产过程的每一个细节，因此我们必须依靠这些采集到的数据，对工业生产进行实时、智能的调整和优化，这是工业互联网的一个基本目的，当然定制化生产等也是趋势。

不少人认为，只要将工业当中的数据传到服务器或者云平台，就算是数字化了，这是不正确的，传统的计算机互联网和移动互联网实现了每个个体之间的数据传输，但工业互联网不仅仅需要数据的传

输，她还需要数据分析和整理，如果单纯的把工业生产过程中的数据传输到某个界面显示，然后不加以数据分析判断的话，基本上也不会产生多么重要的辅助作用

这和近几年兴起的大数据分析技术有些相似，因此如果非要说计算机和自动化有什么共同点的话，那么工业的数字化和智能化是计算机和自动化的有力结合点，互相离不开。

计算机擅长分析数据，构建软件系统

自动化擅长于获得数据特征后，该怎么对实体系统进行调整

在完整的工业生产过程中，二者是相互配合的关系。

分析以上这个过程可以看出，如果要使得这个工业系统性能好的话，最关键的因素是什么？数据的传输速度。

而 2019 年最大的一件事情就是 5g 技术的商用，5g 技术的高速如果单纯用来下载电影应用软件，显得有些大材小用，5g 的优势在于它的传输速度，而传输速度则意味着延迟要降低，这就和高精度的控制结合在一起，因此可以期望的是，5g 技术将为工业的数字化和智能化改造贡献出自己的重要力量。

当然，不可否认的是，工业互联网面临的主要问题在于刚起步，诸多标准、平台不统一，没有形成良好的技术条件，目前还是处于资本大量涌入不断淘汰的竞争阶段。

## ⑤新时期新基建

进入 2020 年，由于贸易争端、疫情、产业升级需要、智能制造目标许多因素的联合推动，新基建成为一个热门词汇，这个“新基建”，



不是最近才出现的新概念。2018 年 12 月召开的中央经济工作会议明确提出“加快 5G 商用步伐，加强人工智能、工业互联网、物联网等新型基础设施建设”。

以前我们谈基础设施，脑海中浮现的是“全部通上电，信号都覆盖，生活更美好，出行也方便。”这个新基建包括什么呢？它主要以 5G、人工智能、工业互联网、物联网为代表的新型基础设施，本质上是信息数字化的基础设施。

有人说了，这个为什么要单独拿出来，前几年也整天报道像人工智能呀、物联网啊这些。这次有些特别，特别到值得单独分析。

生产活动的阶段性跨越是需要资金与关注度的，而此次提出新基建，配套的是一大批投资计划，这是其一，其二也是未来机遇所在的是基础设施的提法，不再局限于某个行业，是针对全局的考虑，就像以前的工业化建设一样，也要进行全国性的数字化建设。

在这一大堆投资以及可能带来的机遇里，工业机器人、工业互联网、以及各个自动化领域，基本包含在内，因此，这又是一个新机遇。

## ⑥结束语

与自动化相关的一个是工业机器人，一个是工业互联网，上文初步展示了它们的发展情况、机遇和存在的问题：

对于机器人领域，此次抗击疫情中展现的巨大潜力令人印象深刻，综合来说，工业机器人技术尤其是核心技术的突破，需要较长的时间，高精度减速器，高性能伺服电机，驱动器，高性能控制器等关键零部件的质量稳定性和批量生产能力有待提高，另一方面对于要求

高的一些行业，机器人企业要扩展业务方向，与市场 and 现实需要不断适合，才能更好地实现工业机器人产业的良好发展。

对于工业互联网领域，需要注意的是，它是一个管理控制决策系统，它与传统的控制，电气，工业工程，计算机都有区别，要以互联网技术为手段，以控制论为核心，以工业原理与工业工程为基础，三者缺一不可，更要充分认识到，机械化电气化是单纯对具体工具的升级，而目前进行的数字化与即将到来的智能化，是更加侧重于管理调度上的创新与升级，由基础自动化走向先进自动化。

当然，人工智能技术对于工业升级是十分重要的，文中将其融入了工业机器人与工业互联网中，目前来看，可以将目前的人工智能技术看成一种传感器和控制器，引入各个领域。就像电力一样，如果用的好，会赋予其他产业巨大能量。

纵观过去数年，电气与控制产业风起云涌，变换多样，展望明天，一场又一场风暴在悄然生成，唯有不忘初心，不改使命，才能百战不败，百折不挠，以团结一致之勇气，迸发无穷力量，带来又一个美好春天！

## 5.4、控制工程师介绍

### ①控制理论的用处

在聊控制工程师这个职业之前，先来说说一个大家都比较关心的问题，那就是控制理论到底有没有用，我们都知道，PID 算法被一些人奉为灵丹妙药，号称解决了 95%以上控制问题，为什么 PID 算法能够脱颖而出，因为他不需要精确的模型，而无论是时域分析法，频率分析法，校正法，再到状态空间中的 LQR 等经典算法，都对于系统的模型有要求。

而在公司里很少有专门搞模型辨识的人才，模型辨识和后续的控制算法设计往往交给了一个人或者一个团队，而这个团队里大部分都是以设计软件出身，由于一些现场中模型辨识的难度、模型的复杂度，以及对于模型本身的分析能力的不足，导致了现场工程师往往比较倾向于采用万能算法，而不是针对某种特定的模型进行特定的开发。

但关键的问题有两个：

一、万能算法看似适用于大部分场合，它的效果是否能够比针对有模型的算法还要好，如果是这样的话，我们仅仅需要学会 PID 就可以了，不需要再去深究什么模型的分析，反正你们费劲分析出来的结果也没有我调参调出来的好

二、这种被大多数人叫做万能算法的东西，能否和它的名称一样真的万能？如果是这样的话，我们也可以舍弃一些精确性来降低设计的难度，进而快速进行开发

可惜这两个问题的答案都是否定的，

首先对于PID算法,可以拿,不少工程师觉得花里胡哨没啥用的,戏称为“卡尔曼的数学把戏”的状态空间方法里经典的线性二次型最优控制来比较。

其次,我们也可以看到在一些工程中常规的PID算法没法应用,有些人看到这里就比较不服了,他们说,只要你那些花里胡哨的控制算法能用的,我用PID都可以,既然都这样说,学计算机的讲究摆代码,咱们控制就拼一下工程项目的效果吧:

可以参考:

科学网-水泥工业,我们来了! - 朱豫才的博文

还有很多例子,没办法在这里具体介绍,比方说对波士顿动力公司机器人,它的控制方法的一些猜测和论文,很多例子表明控制理论,尤其是那些被称为数学把戏的,看上去比较复杂点的控制理论的算法还是有些用处的。

## ②控制工程师的需求

当然本文的主题并不是单纯的讨论哪种控制方法更好使,这东西做过项目都有自己的体悟,而是讨论一个大家更容易见到的问题,很多人在控制理论研究或者控制工程实践中,体会了各种各样方法的独特优势,但在找工作的时候却没有发现这一点。

前几天在邀请中看到了这样一条问题,就是作为一个控制理论的学生,该怎么去找工作?看到这个问题,脑海中浮现出:如果严格限制在控制理论应用里,有没有相应的工作呢?

带着这样一个疑问,打开了目前来说主流的招聘网站,(仅做分

析用)

我们可以看到，在招聘要求中写出控制理论方面的要求，尤其是需要研究生阶段学习掌握的控制理论方面的要求的岗位还是不少的，大体归类就是机器人领域，无人机领域和汽车领域，在传统的 plc 领域也发现了一则招聘信息，但是经过查阅，占的比例是不多的。如果在这一领域需要用到控制算法的话，大多数还是需要化工工程师比较多，这里就不展开了。

对于机器人领域大范围的分析，上面已经做了一些基础的分类，这里也就不多谈了，重点看一下为什么无人机领域和汽车领域对于控制算法的需求这么多，从中也能了解到控制算法到底在什么条件下才能产生大量需求，以及控制理论的学生如何找到理想中的职位

### ③从公式到产品

学过控制理论或者使用过控制理论的，大多都知道这样一个事实，那就是，我们所采用的控制方法是基于系统特性，是基于对系统整体性能的把握而选择的，因此，一个好的控制工程师，首先得是一个合格的系统分析师，无论采用数学建模的方式，系统辨识的方式还是基于现在机器学习与控制论的结合点，用机器学习的方法来进行辨识的方式，获得系统的模型

无论是无人机还是汽车，他们的动力学模型，经过长期的实践，已经开发成了成熟的体系，尤其是汽车领域，去年年底我在知乎提出了一个问题，其中一条转发量很多，点赞数更多的回答，从一定程度上揭示了汽车行业的一些特性，截取一段

我在公司里费劲千辛万苦推广 MATLAB/Simulink 的 Model-based design 解决方案，也是不出所料的被各种鄙视，遇到各种阻力。尽管我苦口婆心的解释：现在路上跑的车里面 90% 以上用的都是 Simulink 自动生成的代码，自己手写的代码是没有办法通过 ISO26262...

对于 MBD 方法，国内的一些公司已经采取了应用，但很多公司呢，还是像原回答中说的一样使用 C/C++ 这种情况的来面试，国内这种情况我们还需要讨论。



### 3.5、如何成为一名优秀的工程师

反复查看以上的对于控制工程师的工作要求，结合本身的特点，总结出了以下几点

1、首先核心是控制理论，最基本的要求是给定一个模型，给定一个需求，你能够通过自己所学的控制算法（不仅仅是PID等课本上提到的，还包括特定领域的一些工程控制算法），比较精确地完成这个需求，或者尽力的靠近这个需求。

（在这一点上本科毕业仅仅是触摸到了皮毛，如果对这点感到有疑问的话，可以阅读一下由王广雄老师出的控制系统设计这本书的前言，读完就会明白本科所涉及的控制理论处于整个体系当中的什么部分）

2、对于大部分的企业来说，没有引入MBD这种设计模式，控制工程师除了满足第1个要求以外，还需要

①掌握一门计算机语言和一门自己认为用处较多的控制器，当然这里提到控制器是指的是控制器件，不是说通过理论推导出来的控制器，这是两个概念。

②特定岗位的一些基础，比方说无人机的动力学、机器人学当中的理论推导，车辆中的车辆动力学模型，电机的一些常用特性，工业原理等等一些概念。

3、对于MBD设计模式感兴趣的可以深入了解它的具体操作流程和职业需求，这也是未来的一个发展趋势。相信未来会有很多企业采用这种设计模式，尤其是机器学习导致的辨识技术取得突破之后

4、对于机器学习，作为控制工程师要重点关注它在系统辨识上的应用，以及它为系统的辨识开发出来的一些工具，或者他在调整参数时候的一些应用，不要带有“机器学习是计算机的主场，我们不用这种不靠谱的东西”这种思想，鉴于目前机器学习在模式识别中的应用，个人对于机器学习在系统辨识上的应用持乐观态度。

最后具体从事何种工作还要看个人兴趣而定，比如同样是做机器人除了基本的控制，还可以做环境感知，集群调度等相关工作。

此外，对于工程师来说，还有一些比较通用的建议：

(1) 不要把毕业当成学习的结束，而应该是学习的开始，也不要光指望别人带，一开始进入公司，有人带还好，没人带的话，大概会体会到什么是功利主义，同事不怎么教，老板默认你会，这个时候最考验人。

(2) 好好规划自己的路，慎重安排自己的轨迹。逐渐对该行业深入了解，不要过于频繁的跳槽，要记住，自动化能教给你的是广泛的知识，而不是什么都学一点就能发财的思想，对哪个行业都没有摸透，就永远是新手！

(3) 做技术的同时要了解行业和市场情况，切不可长期沉湎于某一种特定技术骄傲自满。因为比起大学四年，你的工作至少会持续四十年，四十年技术更新的历史都能出书了，但不是说不深入学习。

(4) 不要只做技术大佬，还要做综合素质大佬。务必培养自己多方面的能力，包括财务，管理，亲和力，察言观色能力，公关能力等，技术以外的技能才是更重要的本事！古今中外，一律如此！

(5) 多交社会其他领域的朋友!了解他们的经历,思维习惯,爱好,学习他们处理问题的模式,了解社会各个角落的现象和问题,学会构建自己的圈子并不断扩大,这是以后发展的巨大的本钱,毕竟你不是全能的,没有这些以后可能就会遇到重重困难,交不少学费,成功的概率大大降低!

(6) 适应多种岗位的锻炼!适当时候要转变,以前搞技术也没有白搞,以后还用得着。搞管理可以培养自己的领导能力,搞销售可以培养自己的市场概念和思维,同时为自己以后发展积累庞大的人脉。

(7) 逐渐克服自己的心理弱点和性格缺陷!多疑,敏感,天真,犹豫不决,胆怯,多虑,脸皮太薄,心不够细,教条式思维。。。这些工程师普遍存在的性格弱点必须改变!不克服这些缺点,一切不可能,甚至连项目经理都当不好——尽管你可能技术不错!

(8) 建立自己的工作环境!及早为自己配置一个工作环境,装备电脑,示波器(可以买个二手的),仿真器,编程器等,业余可以接点活,一方面接触市场,培养市场感觉,同时也积累资金,更重要的是准备自己的产品,搞自动化的没有别的,只有技术,技术的代表不是学历和证书,而是产品,拿出象样的产品,就可技术转让或与人合作搞企业!

(9) 要学会善于推销自己!不仅要能干,还要能说,能写,善于利用一切机会推销自己,树立自己的品牌形象,很必要!要创造条件让别人了解自己,不然老板怎么知道你能干?外面的投资人怎么相信你?提早把自己推销出去,机会自然会来找你!搞个个人主页是个好注

意!特别是培养自己在行业的名气,有了名气,高薪机会自不在话下,更重要的是有合作的机会.

(10) 该出手时便出手!永远不可能有 100%把握!!!条件差不多就要大胆去干,去闯出自己的事业,不要犹豫,不要彷徨,干了不一定成功,但至少为下一次冲击积累了经验,不干永远没出息,而且要干成必然要经历失败。不经历风雨,怎么见彩虹,没有人能随随便便成功!

## 第六章自动化专业的深造

### 6.1、考研相关经验

考研还是就业，是每一个本科生都会考虑的问题，保研大佬可以忽略这部分。

#### (1) 自己需要什么？

每个人在选择之前都应该找到自己的定位。

如果个人目标是从政、经商、对专业没兴趣、想从事一个与专业不同的工作、觉得读研浪费时间不如去社会中历练自我。那就不要选择考研，至少不选本专业。因为显然考研这个选择并不会给你的目标带来助力。

如果以后从事专业高技术工作，或者就是单纯的因为各种目的而需要研究生学历，那就坚定信念，选择考研。因为这就是你需要的，

有人会说，我上了四年大学，对自己以后想干什么还没有规划，那我的建议也是考研，至少有两到三年来定位自己。前提是你确实喜欢这专业。

如果既不喜欢本专业，又不清楚规划，我个人的建议是先把考研就业放放吧，思考一下自己，规划一下未来，再来做决定。

#### (2) 考研和就业的利弊

##### ① 考研

优点：提高自己理论水平，学历优势。

缺点：两到三年时间，考研的难度。

## ②就业

优点：提高自己实践能力。

缺点：工资问题，岗位限制学历。

## (3) 学校专业选择

选择学校的几个基本原则

定下了考研的信念，下一个问题是什么？考哪里。

一般来说有几个选择方案：

### ①个人职业定位

比如，以后就打算去某个城市发展，那么选择范围就应该是那个城市或者城市所在省的高校。毕竟每个省的高校在自己当地的认可度知名度都比较高。

### ②学校的品牌实力

211，985，双一流。目标工作需要这些，那就从211，985这些高校里选。

### ③专业实力

比如，想读一个实力比较强的专业，那就翻开学科评估或者去论坛查资料，中国有一部分人热衷于各学校专业排名，从中不难发现，你要考的专业，在中国，有哪几个高校是业内大佬。

### ④难度

这个相当常见，比如，单纯需要一个研究生学历，难度不高那种，那就选个差不多的吧。

选择学校时可以综合以上原则，认真筛选。



#### (4) 学硕、专硕

专业的话，依照个人兴趣与个人实力，就可以选的差不多。重点是学硕还是专硕。

学硕和专硕的区别各个学校不同，一般来说有几种情况。

##### ①学制不同

有些学校的学硕是三年，专硕是两年。

##### ②培养方式不同

有些学校学硕培养主要是实验和论文，专硕有一年的企业实习

##### ③难度不同

大部分学校学硕考数学一，专硕考数学二。数学一比数学二多一门概率论。但是并不是说专硕简单。有些学校的专硕比学硕的分高。

结合每个学校的特点进行选择，毕竟考研的难度取决于选择学校专业难度。

#### (5) 初试准备

目标学校学长学姐联系方式的获取

要说除了学校的研究生院老师还有谁对这个学校这个专业考研情况有了解，那就是这个学校往年考上的学长学姐，这里介绍一下几种联系到他们的方式。

##### 1. 本科学校往年考上的

这个是最好的，因为他和你的经历基本相同，联系方式也比较好获取，所以选择学校有一条重要经验就是看看往年的学长学姐都考的什么学校？

## 2. 考研论坛，考研帮 app，考研群

通过论坛等找历年学长是一种途径，并且如果你考的学校比较冷门，或者上几届根本没有报考的，这种方式基本上是唯一途径，不过，这种途径有一个基本环节，就是身份识别。拿着学校的录取名单去对照，往往能识别出哪个才是你要找的学长。

找到了往年的学长学姐，专业课和复试的问题就可以咨询他们了，在此文不再详述，毕竟各学校专业课重点和复试都不一样。

## 6.2、专业深造方向

自动化专业对口学科为控制科学与工程，主要有以下十个小方向

### (1) 复杂系统

纯控制理论，要求数学功底，数学功底，数学功底。重要的事情说三遍。发展方向主要是科研人员。

### (2) 智能系统

偏理论，要求一定的数学功底，可以结合计算机能力搞人工智能。发展方向：科研人员，程序员。

### (3) 模式识别

计算机类方向，偏软件。发展方向：人工智能行业从业者，简称程序员。

### (4) 智能检测

传感器检测技术方向，偏硬件。发展方向：科研人员，现场工程师

### (5) 系统工程

偏文科及理论，主要研究各种系统的控制，看导师，有的系统工程导师主要研究管理学。

### (6) 嵌入式

偏硬件，嵌入式工程师。

### (7) 机器视觉与机器人

机器人方向，偏硬件。对于机械基础有要求。发展方向，机器人工程师，科研人员。

#### (8) 生物信息处理

生物医学工程，大数据处理。纯软件。发展方向，可以转行码农

#### (9) 物联网

物联网涉及到网络化控制，偏向于计算机类。

#### (10) 导航制导

军工，航天较多，民用的也涉及。

不同学校可能有细微差别。

### 6.3、自动化学科在国外

大概每一个自动化专业的学生都听说过一个事，那就是只有国内有自动化专业，国外没有，想去国外留学？你就只能选择转行。不少人听到这感觉，转行？那我本科不白学了？还是在国内吧。

之前我也是这个想法，一直到学到了自动控制原理，看着控制原理里一个又一个大佬的名字，突然想起来一个事，难道国外这些大佬没有传承吗？显然不是。后来认真的去国外官网找了找，才发现，在国外，控制也是一支不容小觑的力量。下面分地区介绍典型例子。

由于主要涉及自动化专业毕业深造问题，所以本文主要探讨硕博，本科一般不涉及，另一个原因也是国外较少单独设立控制本科。

#### 欧洲

##### (1) 英国

如果在任何一个留学中介网站搜索控制或者 control，出来的第一个肯定是英国院校，以手机 APP myoffer 为例，搜索 control，第一个是帝国理工学院。

帝国理工学院设有控制系统硕士与控制相关的博士：

除帝国理工学院外，曼切斯特、谢菲尔德等也有类似设置，以谢菲尔德为例：

谢菲尔德设立有单独的自动控制与系统工程系：

设立有控制类的本科、硕士、博士项目，

总体来说，英国的控制类专业设置与国内较为类似，由于这一特点，

英国也成为了控制类留学的较为热门选择，可以参考他们的培养方

案，提高自己。

## （2）法国

法国的大学教育制度和我国不同，大学分为国立大学和精英学院，精英学院有的一年大概需要上千欧的学费，费用比较高的。而且很难申请，需要参加专业课的考试以及面试，入学后淘汰率很高大概在 80% 左右。

法国的自动化专业设置多在工程师学院，比如法国国立高等电子及电子应用学校、法国高等计算机、电子及自动化学校，具体可以参考《法国信息与自动化主要科研机构和研究课题简介》这篇老文章。

另外等法国有一个比较著名的研究机构，法国国家信息与自动化研究所（INRIA），里面有一部分从事控制理论与应用研究：

## （3）德国

以德国的慕尼黑工业大学为例，慕工大设立有控制工程系，但是没有单独的控制专业，控制研究依托于电气工程专业下。

这是一个普遍现象，有些同学会有这样一个疑虑，就是我本科学的控制，硕士申请专业叫电气或者机械，是不是就是从头开始学了？不是，国外的一个特点就是名字不重要，干啥才重要。挂着电气名搞机器人，人工智能的多了去了。

## （4）瑞士

以苏黎世联邦理工学院为例，该校设立有单独的控制专业：

苏黎世联邦理工学院比较知名的是它的自动控制实验室：

## （5）芬兰



以芬兰阿尔托大学为例，设立有电气工程与自动化系：

设立有控制类硕士项目：

#### (6) 捷克

以捷克技术大学为例，捷克技术大学的电气工程学院(faculty of EE)是该领域全球五大研发和教学机构之一。电力牵引与控制是捷克技术大学教学和科研的强项学科。

该校设立有单独的控制工程系，设立有控制类硕博项目：

#### (7) 意大利

以米兰理工大学为例，该校设立有自动化工程学士项目：

自动化与控制工程硕士项目：

信息工程—系统与amp;控制博士项目：

#### (8) 俄罗斯

以圣彼得堡国立技术大学为例，该校设立有生产自动化专业：（国内也曾经学习苏方设置过）

到这里，欧洲部分结束，可以清晰的看到，欧洲地区的控制类专业往往独立成系，大多数设立有单独的硕博项目，一部分设立有本科项目，这一点和中国大陆情况是相似的。

### 亚洲

#### (1) 新加坡

以南洋理工大学为例，该校设立了计算机控制与自动化硕士项目：

#### (2) 日本

以东京工业大学为例，该校设立有系统与amp;控制工程系，

并开设有系统与amp;控制工程本科、amp;士专业。

另外，在日本地区，控制类专业是一个十分热门的专业，应用上研究水平也较高。

## 美洲

### (1) 美国

美国的情况比较特殊，大部分学校没有单独设置控制专业，分到了航天、机械、电子、电气系中，主要看导师，例如著名的麻省理工学院，但是零零散散有部分学校设置了单独的专业，

如：

加州理工学院：（控制与动力系统）

加州大学圣地亚哥分校：（智能、机器人、控制）

### (2) 加拿大

以滑铁卢大学为例，许多专业的小方向涉及到控制，从机械到化工，没有单独设置控制专业，这一点受美国影响较大。

到这里，美洲部分结束，可以清晰的看到，美洲地区多数没有单独的控制硕博项目，但是不可否认的是控制类研究相当发达，可以参考。

## 6.4、导师选择问题

值得深思的是，高校硕博相关新闻频频出现在了热搜上，这些时不时出现的新闻都在说明一个道理：导师选择问题直接决定了研究生阶段的质量和成就。

古人云“知己知彼，百战不殆”，对于导师选择问题也是一个道理，在推免和考研阶段，考生往往第一考虑的是某个院校，然后再在特定院校里选择导师，大多数院校的方向比较全的，但导师基本一人一个小方向，在进入这个阶段后，就需要考生深入考虑自己的兴趣了。

经过大学四年的学习，考生或多或少对控制科学的一些方向有了自己的模糊认识，但可能并不深入，尤其是导师介绍里采用一些特别专业的、特别大的名词的时候，往往会出现看哪个导师介绍都觉得感兴趣的现象。

之前 6.2 节解释了一些方向主要是做啥的，对各位导师的方向也有一个模糊的了解，也能够知道自己更乐于从事哪个方向，接下来的问题就是如何评价一个导师。

对于这个问题，这里提出三个指标：学术水平、工程能力、个人信息。

首先说学术水平，包括导师水平和课题组水平，有些时候我们可能把这两个混淆，但需要承认的是，有些导师的论文水平很好、但课题组的硕博论文水平不行，这种现象是存在的，尤其是导师在当年读博时和带学生后往往出现的论文档次明显降低的现象。

以控制领域为例，对于学术期刊，有普遍接受的一套标准（可以参考 7.2 节），和分区那种有些区别，可以用来衡量学术水平这个指标，（特别要关注近几年的成果）：

对于偏向于应用的导师来讲，单纯的数论文计算级别的单一标准并不可靠，需要结合横向课题数量和资金多少来判断，首先，对于这个横向与企业相关，反映了一定的工程能力，当然横向多的课题组研究生需要干的活多一些。

到了这里，可以大致摸清导师的学术水平和工程能力，但有些时候，尤其是对于中年教授，同一个领域，看论文和横向的话，互相之间区别并不是太大，这个时候就需要进行比头衔（包括获得的国家自然科学基金的档次），虽然这样说可能感觉比较俗：

学术界的升级线路图是什么样的？

80 赞同 · 10 评论回答

经过这三步，明面上的比较结果应该已经出来了，如果只是对研究感兴趣，想关注几个课题组用来看论文，到这里就可以了。但对于学生、而不是导师研究的关注者，需要进行信息搜集和比较，而这些工作，对于考生来说，往往是最重要的。

**第一个、去主流搜索引擎、新闻媒体搜搜导师的名字。**

大部分导师其实很少出现在媒体里，尤其是自动控制领域，毕竟没那么热门，如果经常出现在媒体中、而且喜欢宣讲各种概念、而且频频出现在不同的领域场合，借鉴近年新闻报道的教训，可以移出考虑名单。

## 第二个、匿名评价

像导师推荐网信息比较全。如果有许多差评,可以移出考虑名单。

大多数导师是没有评价的。

## 第三个、最直接的,往届师兄师姐:

这种最直接,对导师也最熟悉,但需要注意的有几点:

- 1、注意问法,避免出现“导师怎么样”“研究方向有什么用处”等一些问题,可以采用旁敲侧击的方法,
- 2、有些问题可以自己发现,比如近几年论文的作者排序问题,是一个很好的反映人品的指标。

这里面需要花的精力比较多,但好处也是有的,科研这条路,像越野一样,引路人往哪带直接决定着学生阶段的质量。

### 第三部分 写给继续研究的老司机

#### 第七章 如何做研究

##### 7.1、关于研究的一些体会

做研究，没有说光看课本的，要在看课本的基础上，多看期刊论文，而且上手尽量是顶级期刊，别拿着国内的一些普刊来学习。

结合研究方向多看一些相关文献，多阅读一些控制领域高水平期刊像 Automatica, TCST, TMECH, TIE 上发表的论文，比如对机器人有兴趣，可以在机器人领域顶级期刊和会议找些文章来阅读学习，掌握英文科技文献阅读能力。

有人说了，这些期刊是英文的，我也找不到，怎么办？首先，对于研究生来说，英文口语、论文阅读、论文写作这三个能力是必须具备的。其次关于英文论文怎么找，可以在校内通过 web of science 等网站查询。

有人就说了，顶刊我看了，里面一堆公式，看不懂，其实这样看顶刊，有点心急了。

要入门一个方向，首先要把经典入门教材看懂，其次看顶刊也有区别，第一先看大佬在此方向的综述，综述真是个好东西，看完了教材和综述，对这个领域一些概念性问题搞清了，这样再看论文，至少知道论文是解决的什么问题。

接下来准备一个本子，认真分析每一篇论文，重点记下来什么呢？主要有三个点

一、该论文解决的什么问题



二、该论文怎么解决的这一问题

三、该论文为什么这样解决问题

然后自己再思考第四个问题：该论文所提出的问题有没有更好的解答。

这是一个长期的过程，没有人能一口吃个大胖子，研究生阶段上课和自学是为了打下知识基础，看论文也是一种学习，看看别人怎么做的，最终目的不是让你记住第一点问题是什么和第二点答案是什么，而是要掌握第三点怎么想到的，探索第四点有没有更好的，多读文献，慢慢就知道遇到相似问题，用什么手法，怎么解答，文献量上去了，融会贯通后就知道用哪种手法效果好一点。

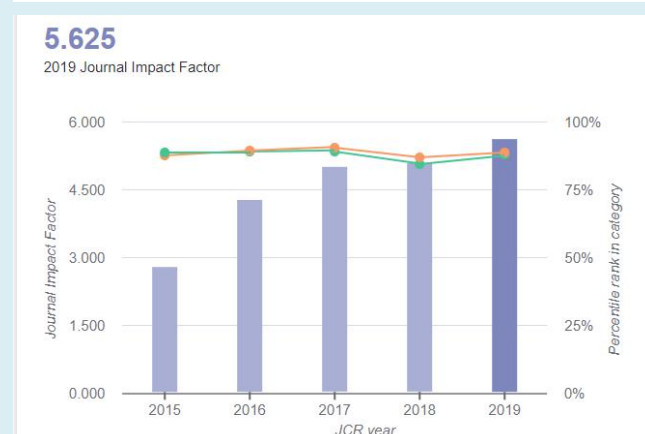
有人到这会问了，文献我也看了，他们怎么解决的我知道了，就是提出不了新的怎么办，这个感觉就像做数学题卡壳一样，总想着某种固定的方法，纠结在那老半天，这个问题没有什么万能答案，但一般经验是，碰到这类问题，多交流多沟通，锻炼自己的社交能力，研究不是闭门造车，多问同仁，多问大佬，尤其是不要忽视不同领域的同仁，学科间相互参考借鉴，在交流中获得新想法，当然这不是一定有的，这个阶段是划分研究者的阶段，谁新方法想到的快，谁的科研成绩就好。当然这是后话。

## 7.2、专业相关期刊

### Annual Reviews in Control



### IEEE Transactions on Automatic Control



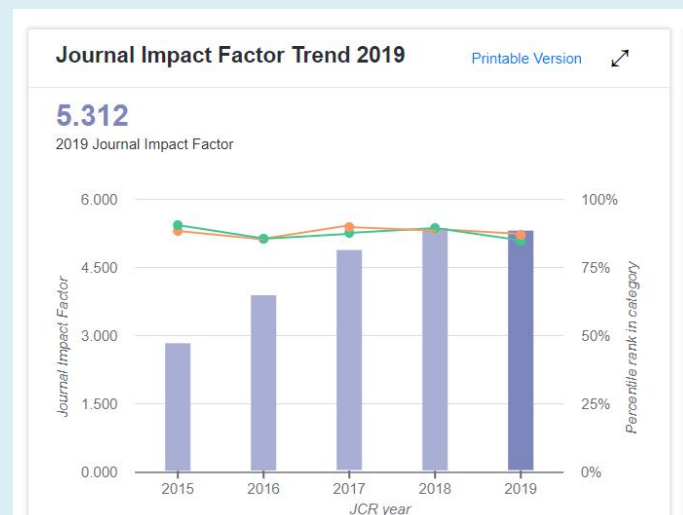
### Automatica



## SIAM Journal on Control and Optimization



## IEEE Transactions on Control Systems Technology



## Systems & Control Letters



## International Journal of Control



## INTERNATIONAL JOURNAL OF ROBUST AND NONLINEAR CONTROL



## IEEE Transactions on Control of Network Systems



## Control Engineering Practice

**3.193**

2019 Journal Impact Factor



## Journal of Process Control

**3.624**

2019年 Journal Impact Factor



## IET Control Theory and Applications

**3.343**

2019年 Journal Impact Factor



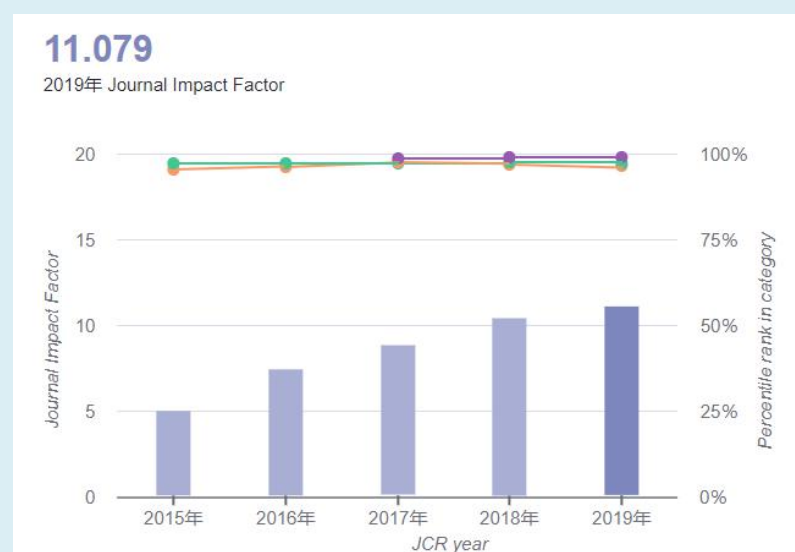
## IEEE Transactions on Industrial Electronics



## IEEE Transactions on Industrial Informatics



## IEEE Transactions on Cybernetics

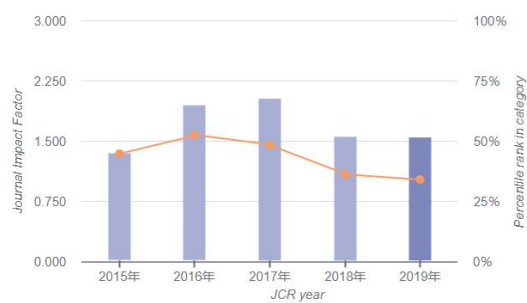




## EUROPEAN JOURNAL OF CONTROL

**1.540**

2019年 Journal Impact Factor



## INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS SCIENCE

**2.149**

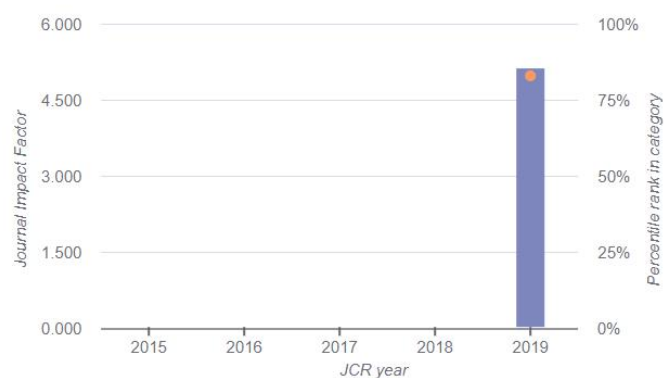
2019年 Journal Impact Factor



## 自动化学报英文版 (IEEE-CAA Journal of Automatica Sinica)

**5.129**

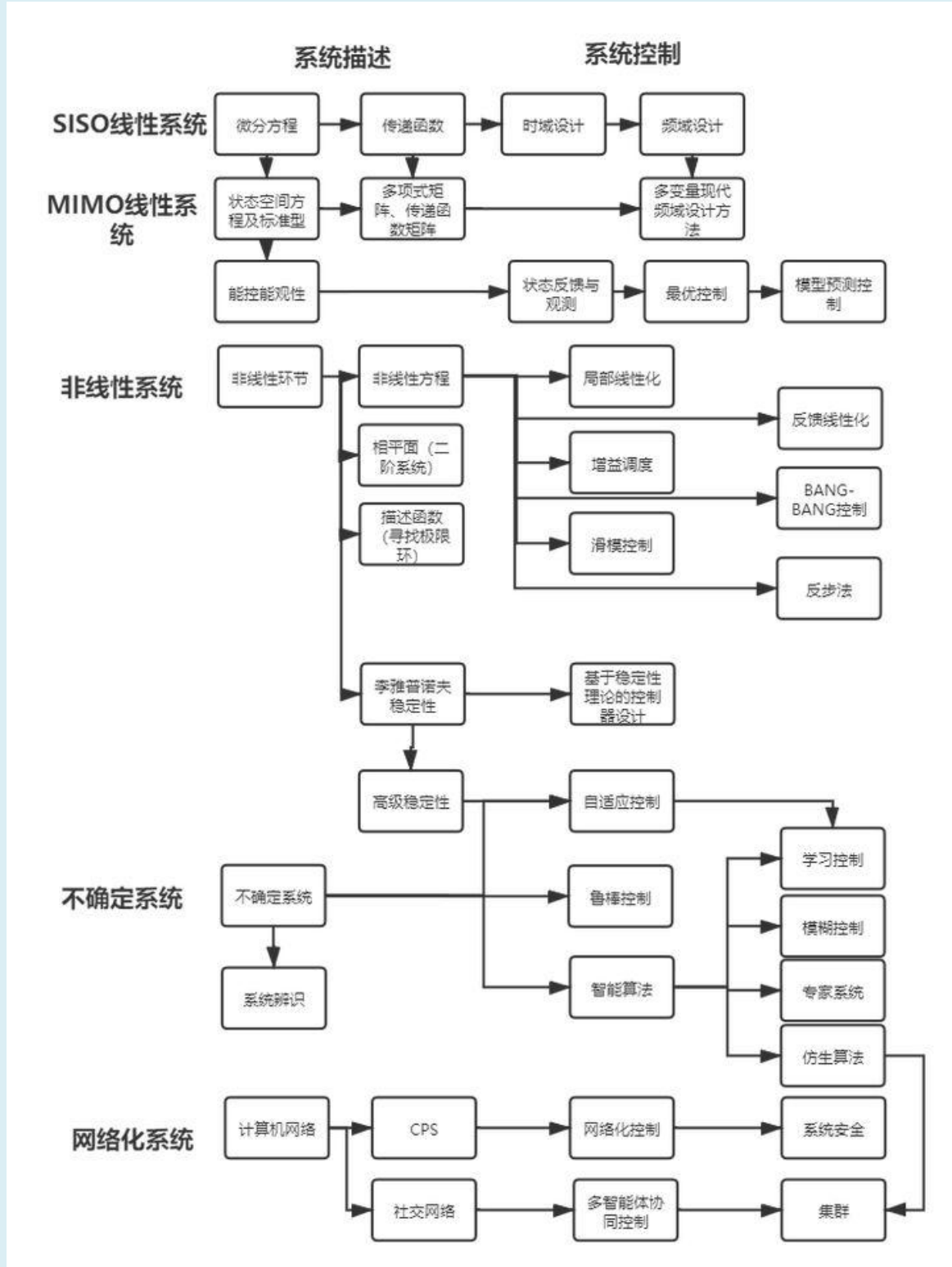
2019 Journal Impact Factor



## 第八章 图解控制理论

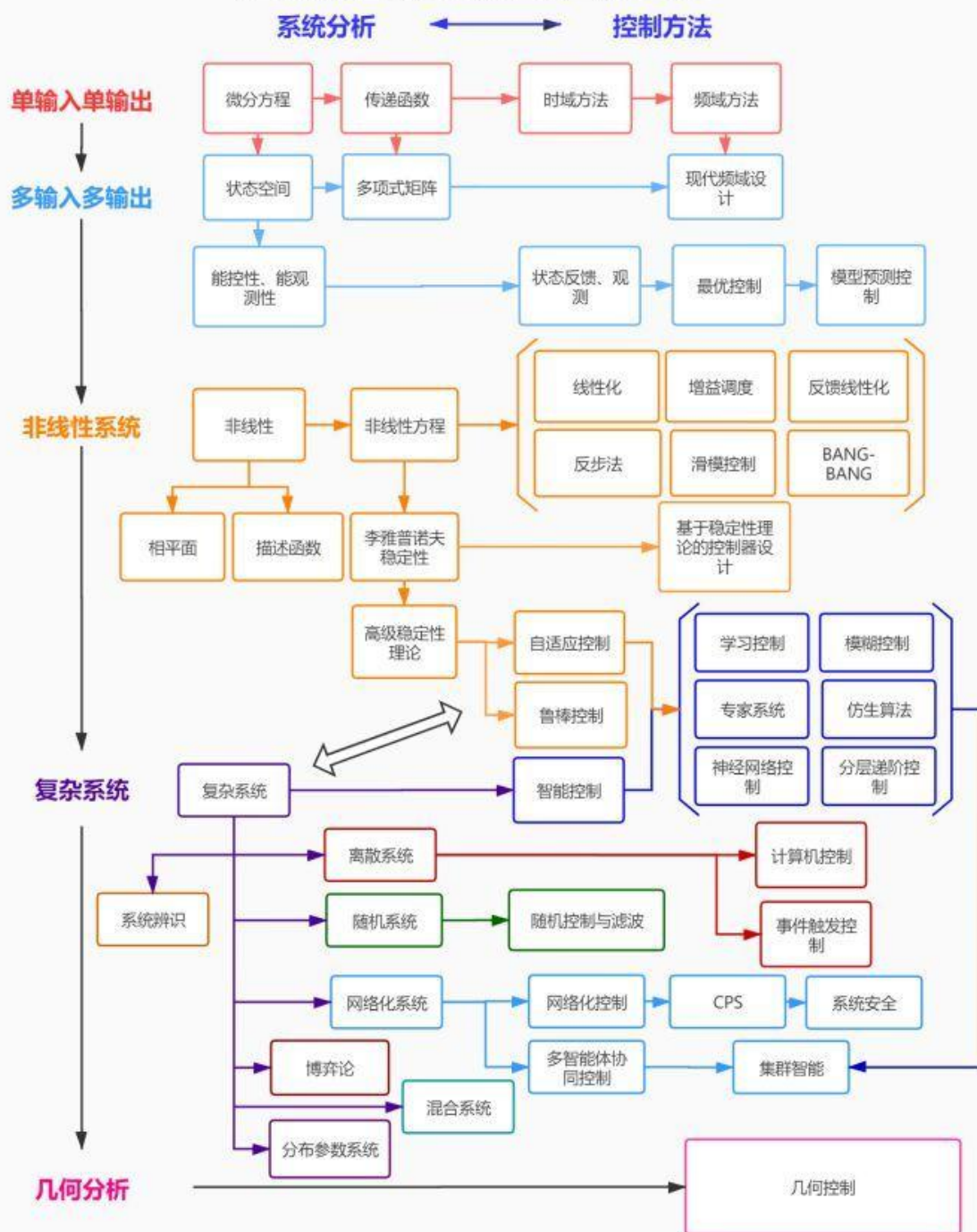
本章展示控制理论结构图的系列版本，供参考

第一版

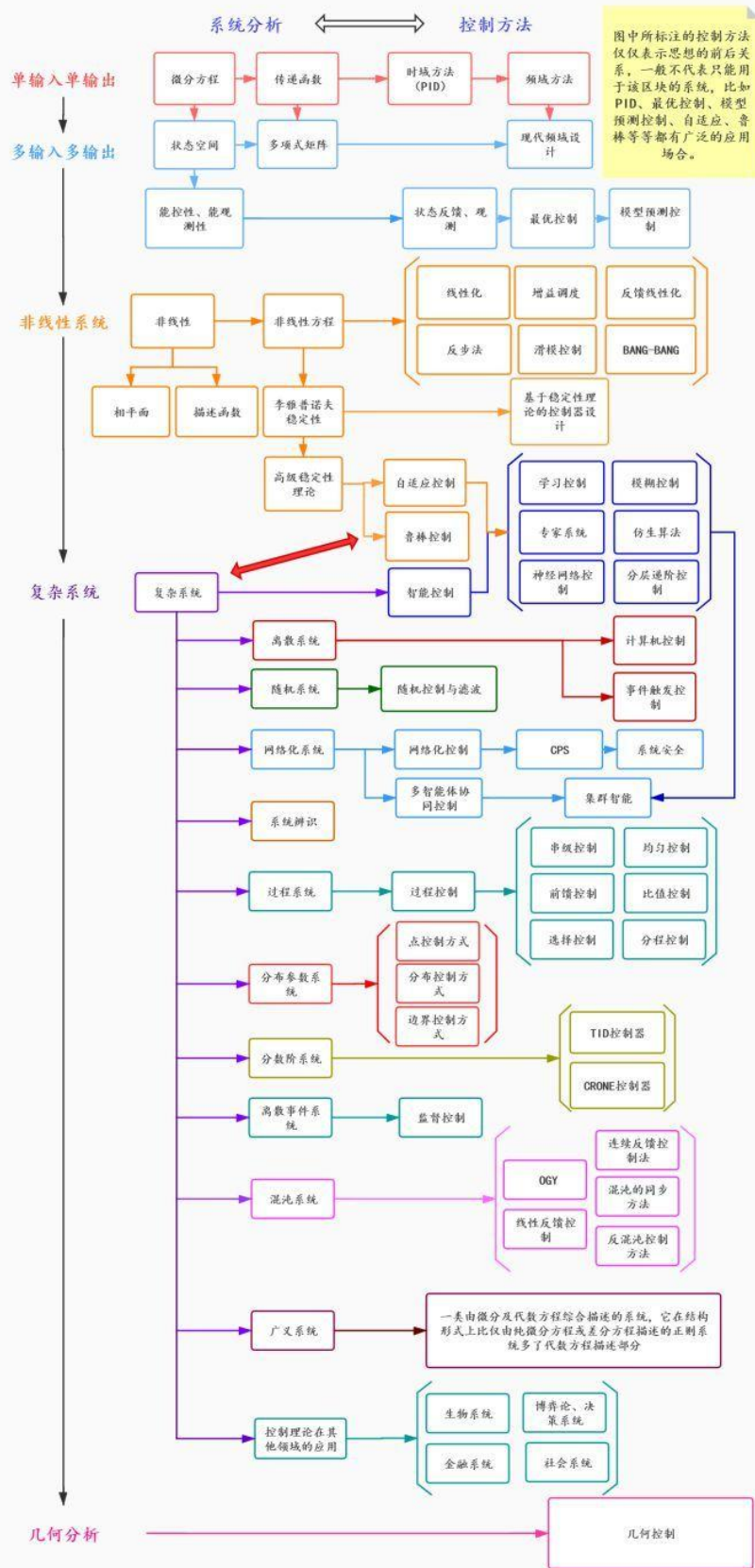


## 控制理论结构图V2.0

知乎@System control



# 控制理论结构图 V3.0 知乎@System control



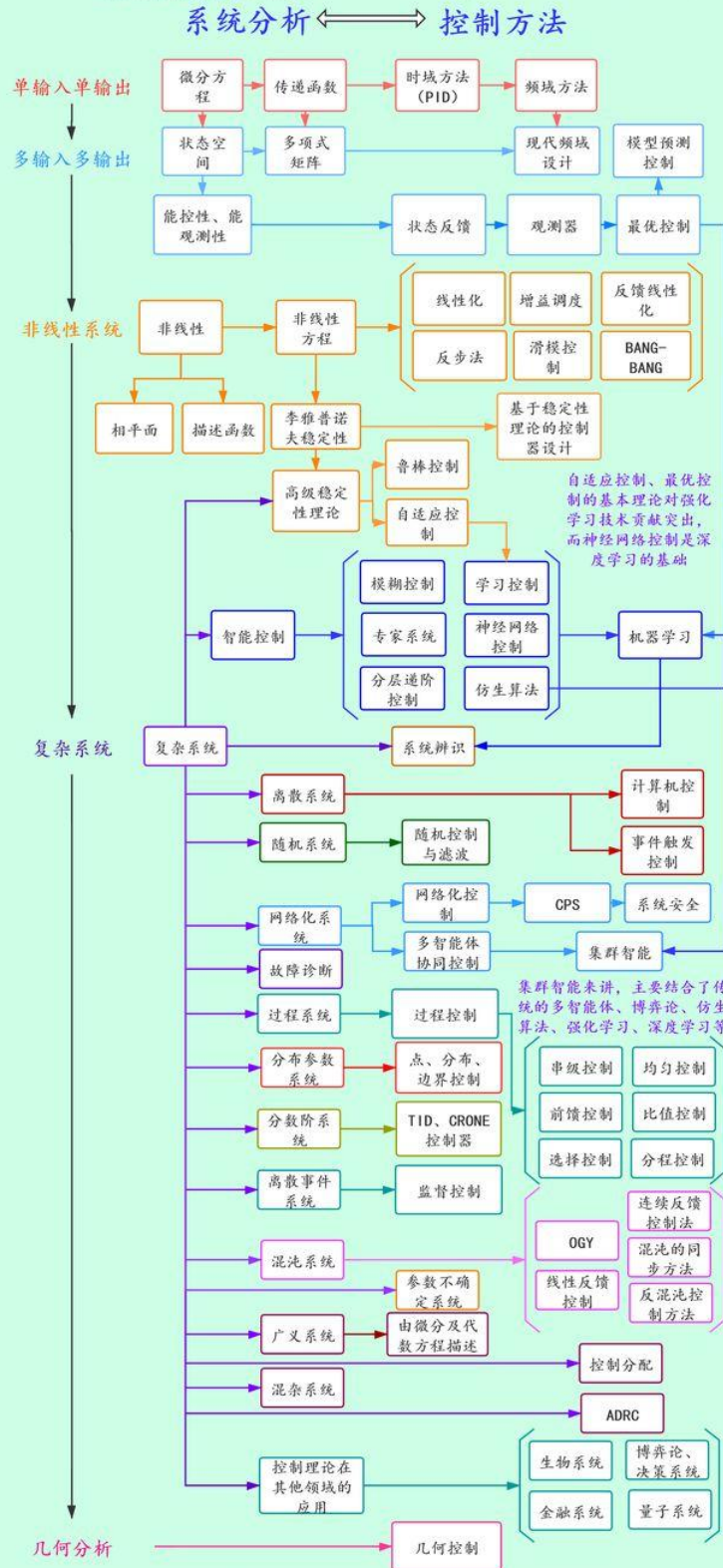
# 第四版

## 控制理论结构图

V4.2

图中标注的控制方法仅表示思想的前后关系，  
一般不代表只能用于该区块的系统

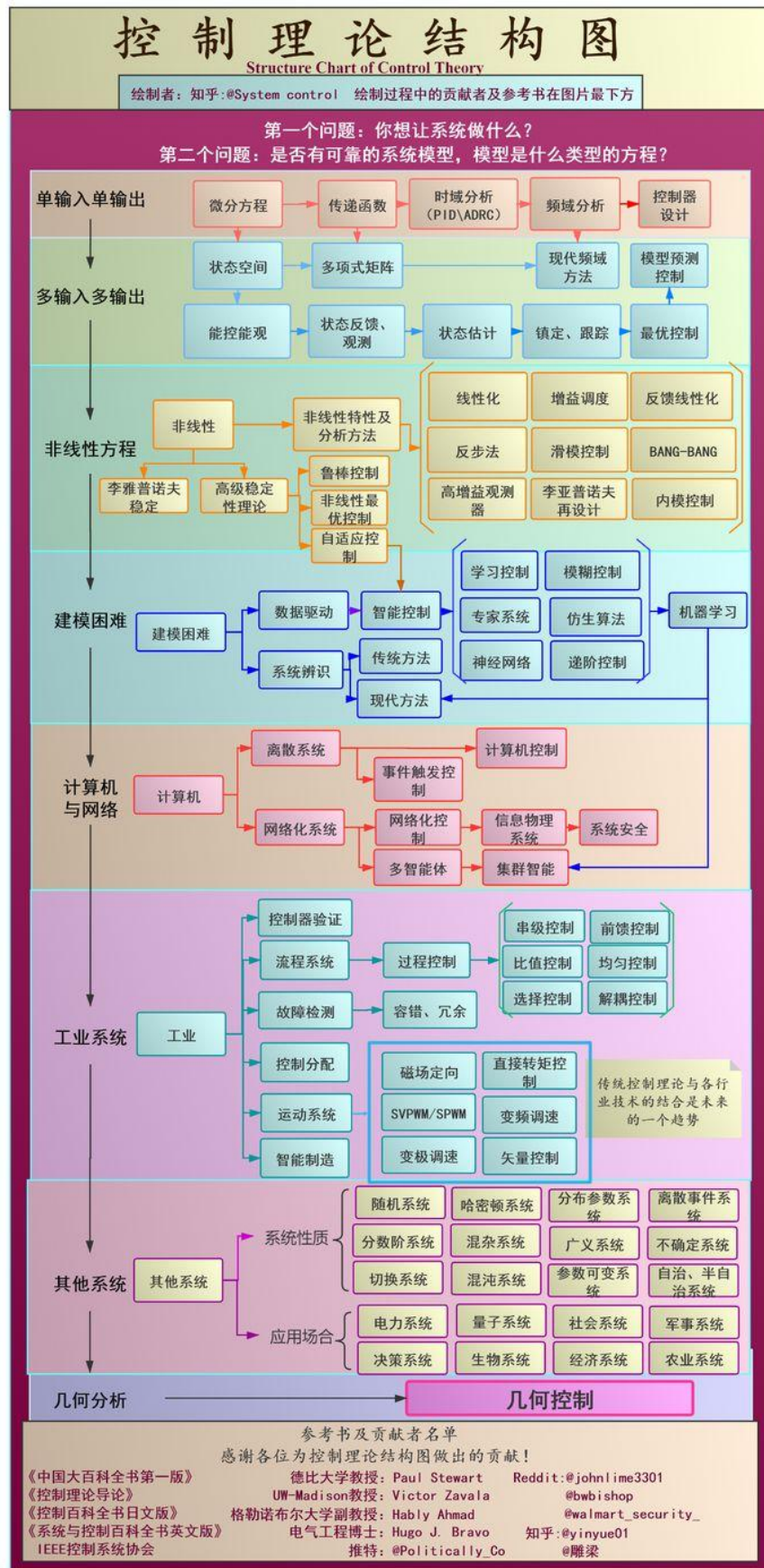
绘制者：知乎@System control (中国自动化学会会员)  
贡献者：Habibly Ahmad (圣马丁大学副教授)  
Victor Zavala (威斯康辛大学麦迪逊分校教授)  
Paul Stewart (德比大学教授)  
Hugo J.Bravo (电气工程博士在读)



控制理论将走向何方？我们又会遇到怎样的困难，这是一个问题，  
但我相信，我们能够克服一切困难，前路漫漫，未完待续



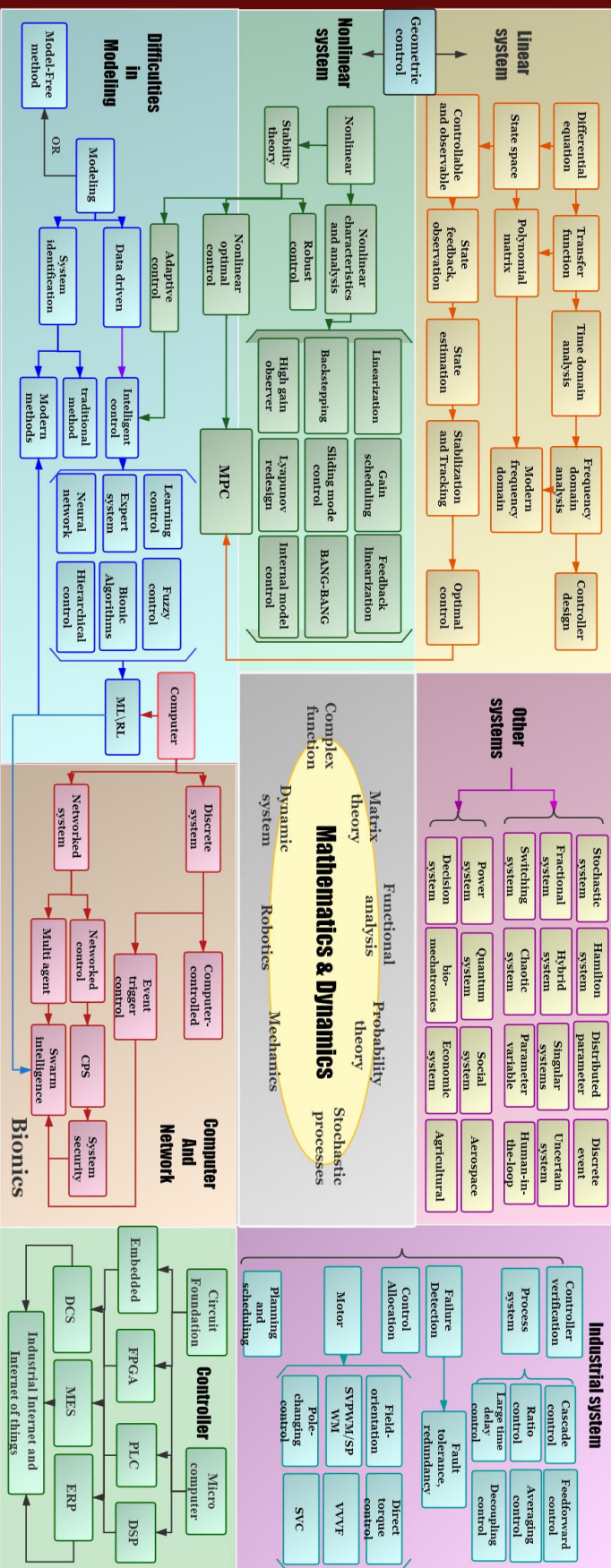
## 阶段性成果





# Map of System & Control

Twitter: @System control  
知乎: @系统与amp;控制  
Member of IEEE and CAA



最终成品

Where is the future of system and control community?

1. Get the physics right.
  2. After that, it is all mathematics.
- Rudolf Emil Kalman

## 第九章 对控制理论几个问题的讨论

### 9.1、控制理论的基础：模型问题

大概每个做控制的人都或多或少听过以下问题：控制理论与实践的差距为什么这么大？控制理论的前途在哪？控制理论应该基于模型还是应该基于数据？控制理论有什么作用，现在还有没有需求？等等等等。这些问题各个都不简单，即使是学术会议上讨论，有时也能吵起来。经过一段时间的思考，发现从头讨论会清晰一些。

我们仔细看控制理论研究的论文，无论是哪种控制理论，几乎全部都是类似于数学建模类文章，什么叫数学建模类文章？一般来说，上来给个背景，然后建个模型，基于模型和需求再进行相关讨论。

先不看下面，很多人在这地方就会提出一个问题，你这个模型符合实际吗，实际的那些被忽略的因素会不会造成影响，或者更严格的，模型都是不精确的，所以是不能用的。

为了解决这个问题，最近一些控制理论的文章，大量出现数据，学习等字眼，有人又会说了，不靠谱，不敢用，没意思。这些争论我们经常听到，但重点是，争论下面的核心问题是什么？

抛开表面上的不同，仔细思考，这实质上主要还是模型与实际的差距对控制系统性能要求影响的问题。这也就解释了为什么一些控制理论方法，你说它没用，模型不精确，它效果还是挺好，你说它有用，模型加点不能承受的变化，它就不能用了。还是一个度的问题，或者说鲁棒性，一句话，就是设计时忽略了可以忽略的，和忽略了不能忽略的区别问题。

因此，一种控制理论能不能投入使用震撼工业界，并不取决于数学推导多么精妙，而是是否考虑了所有应该考虑的东西。或者退一步，有些因素没考虑但对控制方案效果没有大的影响也可以。而准确了解和析出这些因素的影响，在这个系统越发复杂的年代，经验丰富的工程技术人员可以胜任。但控制理论又对数学基础有一定要求，因此这就是为什么历史上一些突破来源于数学基础较好的工程师。

数据驱动控制，尤其是深度学习，强化学习，深度强化学习算法，提供了一种试图解决这个问题的思路，使得一些没有工程经验的人利用数据分析和学习也能操控真实系统，相当于请了一个虚拟的工程师顾问，但它的问题在于由于基于数据，从本源上理解也是一种对系统的近似手段，与数学角度不同的是，很难确定数据分析出的结果品质，导致实际应用时有时不太顺利。

我们可以看到，目前的控制理论研究主流，沿着两条主线迈进，但通过前面的分析，他们的大的思路是一致的，因此它们之间不是对立关系，而是基于同一大的思想对同一个目标的不同尝试路线，应该互为补充，互为借鉴，互相促进。

## 9.2、控制理论的应着眼点：系统特色

谈到控制学科，它的目的是实现对系统的调控，那么它的核心基础就是对系统的认识和剖析，所以需要抓住所研究系统的特性进行进一步的讨论。以上这句话大概是每一个接触过控制学科的人都知道的，但是这里面仍然有一些值得思索的内容，比方说，拿到一个研究成果，它真的符合这句话吗？

随着许多前辈的工作和辛勤付出，控制理论的工具已经变得非常多，在我们之前所整理的控制理论结构图系列工作当中，一个个名词的堆叠，就足以让人眼花缭乱，挑选出任何一个名词去文献库中搜索，都能够发现成千上万篇的文章，带着这个题目，而其中大部分文章的区别仅仅是应用场景不同。

下面我们举一个例子，也是我个人比较熟悉的领域，那就是 20 世纪末兴起的多智能体系统研究，多智能体系统这个词听上去有些不太好理解，这样，我们来解释一下这个研究概念的兴起，当然，因为本篇回答不是专门讨论这个学术概念，所以这里就只简单的说一下。

多智能体系统的概念兴起于物理学研究，它是指通过多个个体之间的简单的交互，去试图描绘一种群体复杂行为的产生过程。用现在的话说，也叫群体智能，只不过在控制研究当中，大多数还是关注了多个个体和简单规则的耦合形式的一种数学模型。从这个角度上，和网络化系统相当相似。

我们可以在控制理论结构图当中任选一个名词，并且把它加上多智能体的前缀，放到任何一种文献库，里面都能搜到很多篇文章。我



们这时候回头再来看开头的一句话，就是这些文章的特色究竟是在什么地方？或者说的更清楚一点，就是这些处理方法，有没有抓住多智能体系统的特色？

为了说清楚这些问题，我们先来考虑一下多智能体系统，到底有什么特色？

多个个体之间耦合的关系，是包含在定义里面的最大特色，我们就从这一点开始出发，首先，相对于传统系统而言，里面包含有多个个体，这样即使多个个体离得非常近，我们也不可能把它视作一个整体，而忽略他们中间的相互联系。这种相互联系一般用网络的形式存在，而这种网络经常用图论的形式表达，这样就产生了第一个特点：

我能非常简单的画出来多智能体系统的结构，但是如果要给一个传统系统的方程，我可能得需要一些时间去分析它的结构，而且它的结构是不能轻易改变的，因为这些结构系数往往是由系统自身的物理定律决定了，而对于多智能体系统而言，它的结构取决于每个个体的关系，尤其是在信息物理系统概念下，改变两个个体之间的关系，从而改变系统的网络结构，是可以技术实现的。

这个特点代表着什么意思呢？也就是说，在传统系统当中，我们只能依靠设计的控制器去对设计后的系统进行状态上的改变，也就是系数矩阵的性质上做出改变，但是如果是多智能体系统，我们就可以直接通过给出一些网络结构的调整规则，去实现对系统状态的改变，将一些不稳定的系统变成稳定的，将一些不可控的系统变成可控的，

或者将一些没有达到我们设计目标的系统变成我们能够让他实现设计目的的系统，而这方面的工作数量是少数，2020 年发表在 TAC 上的一篇文章就比较直接的指出：

In our paper, instead, we deal with the open problem of modifying the structure of the network of interaction in a multi-agent systems such that to obtain arbitrarily selected clusters.

(Distributed control of multi-consensus. Lucia Valentina Gambuzza, Mattia Frasca, Senior, IEEE)

另外一点，就是模型的构建问题，很多研究当中，直接给出了多智能体系统方程，但是在实践当中，是不是可以达到的？这种直接给出模型的方式是建立在我们是作为上层观测者的角度上，也就是我们十分清楚这个网络结构的样子和每个个体所处的位置，那么很容易就会遭到一个反驳，就是你这种方式比我单独指挥每个个体到底有什么优势，或者说有什么不可替代的地方，即使有那么一些性能提升，不足以完全说服人。

如果我们把自己看成是一个个体，从个体角度去考虑这些事情的话，那么事情就完全不一样，这也就是基于观测或者叫完全分布式控制。

另外，你把这些个体放在一块，它们中间会有通信，而这个通信问题，是不是又尽力的去考虑呢？无论是时滞、丢包还是近两年应用较多的事件触发或者网络攻击，其实都是在通信上做了一些探索特



色。

我们回过头来去看这些开创性的工作,就可以很简单的得到一个道理,所有的开创性都是根据这个系统自身的特色而来,这对于控制研究来说就是一个启发,如果说你深刻的了解了系统的特色,抓住了这个系统的一些小小的特性,你就能够出一些开创的工作,进而去解决别人没有解决甚至没有意识的问题。

### 9.3、控制理论的初心：系统调控

对于控制学科的研究人员，尤其是学生来讲，往往会产生这么一种观点，就是我想着什么问题，都用学到的已有控制理论去解决，而把一些新事物视为换皮，实际上，作为控制理论来讲，它的每一个理论都是为了解决一类问题而生产出来的。没有说能解决所有的问题，能应对所有的任务。

再拿多智能体系统来说，很多人从单纯的控制角度出发，认为现在的讨论已经够多了，但从顶刊来看，这个字眼还挺多，我们就可以思考一下这种现象，一方面是大家都感觉研究已经做的差不多，另一方面，相关文章的数量也不断产生，那么只有一个解释，就是如果这种情况下数量上没有什么影响，研究重点上面应该是受非常大的影响，最近几年兴起的有关多智能体系统强化学习，多智能体系统的博弈分析、多智能体系统的社交网络建模和多智能体智能决策系统分析都印证这一观点。

很多人看到这几个题目就会想这些不都是别的学科的问题，为什么得到这么多人的重视？或者说这些问题为什么在这里非常的有意义？那我们就得回到这个问题的初心来看，我们要回到起点，深究当时提出多智能体系统这个概念到底是为了什么？

多智能体系统隐含的是这样一种问题：就是通过个体之间简单的交互，群体之间为什么就能够产生复杂的行为，这是一个物理学问题，并且经常出现在一些未被解决的物理学问题列表中，对于这个问题来说，我们扪心自问，控制理论能帮助解决这个的问题，但是单纯依靠

原有工具能彻底解决这个问题吗？

如果要揭示出这里面的机理，我们就必须这样找到呈现出这种机理的事物，那么除了生物集群来说，就是我们自己，对于社交网络来说，人与人之间的关系不是单纯的反馈，人的行为建模至少不应该是传统的线性系统。那么，学习、博弈、社交网络动力学这些因素的引入，往往是必然的，而不是说原有方向做不下去，然后我给他生搬硬套上去，而几乎是必然的现象。

在一个更大的问题框架下利用控制理论的思想和技术，也能探索实现更加符合时代的“系统”的可行性。1950年的飞机大炮工业生产需要维纳控制论，2050年的无人驾驶、无人工厂、联网基础设施、灾难救援动物保护等等也需要新的“控制论”，方法和技术手段不断在迭代适应新的基础设施和硬件条件，但归根结底还是对系统加以研究和分析以及实现，并没有脱离控制理论本身，兼收并蓄博取众长可能会是一个好的心态。

控制理论这个词，如果要准确的来说，应该叫做系统调控理论，控制理论每个时期都应该有不同的内涵，这是需要突破的，至少在认识上要突破，如果我们从已有的控制理论框架去思考问题，我们的思维就有可能局限于这个框架，心里往往想的是如何去继续做，然后产生一个好摘的果子都摘完的感觉，但是如过从研究初心出发，奔着解决问题去，不要排斥任何东西，强化学习也好，博弈论也罢，这些东西在他们各自领域闪闪发光，把他们搬过来，能不能用到我们这里？

但正如第二部分来说，如果我们在了解这个系统特色，并且借助一些观点的启发，而不是生搬硬套过来的话，那么这种学科交叉的魅力就会带来全新的感觉。举一个例子，机器学习和控制理论的交叉，大家试图去解决的问题核心点都在于，该把这个机器学习部分用到哪个部分，是建模还是去识别控制器，还是还是去调参数，这些都是一些尝试思路，但是从方向上，尤其是对于工作效果，抓住了重点做的工作才是效果不错的开创性的工作。

需要注意的是，控制理论不光包括控制算法的设计，就像卡尔曼所说，即使当时控制算法设计与发展相当成熟，在那个时候仍然忽略了一些最基本的问题，比方说可控性，卡尔曼提出了这个问题，有些人就会说，这基本上就属于正确的废话，因为我如果不知道能不能控制，我怎么设计控制器？但是卡尔曼之前的没有人意识到这个问题，从一定程度上来讲，相当于大家都在努力的制作永动机，但是能不能做成还没有理论证明。

对于多智能体系统、复杂网络系统包括带有博弈的社交网络系统，可控性发挥的是一个辅助的作用，那么，对于这方面研究来说的话，我们所要关注的重点就着眼于这个辅助作用，就是如何更快，更方便，更直接的去判断出来，这方面问题很基础，但也有意思的比较好的工作

这里说可控性，并不是要介绍这个领域，而是说即使要做一些小小的概念，也能做出来崭新的漂亮的结果，但是这些东西归根结底属于控制范畴。

#### 9.4、控制理论的研究：基本流程

一个传统的控制流程，第一步应该是建模，你想控制什么地方的哪些变量，就建一个这些变量对应的模型。但对于一些控制理论研究者来说，往往第一步就会卡住，因为搞控制的，关注点往往在解决问题，一般的模型都是给出的，建模技术可能研究不深。

于是需要花一些力气，用的可以是物理建模，也可以是数据驱动建模，反正最后得到了一个模型。如果是工程常见的模型，那值得庆贺，很多经典控制理论都可以用了。比如自控里的方法。如果是不那么常见的，就有点难度，第一个想到了PID，看看好不好使，很多人可能瞧不上PID，但到了工程大多都逃不过真香定律。

要是遇到要求高的地方，如果PID不能满足要求了。比如一些设备，如果是物理建模方法，可以转化成状态空间，可以试试基本的最优控制LQR等。或者从硬件上解决，换一些性能好的器件等等。如果到了这还是不行，到了需要翻论文了这一步，首先要干啥，要知道现在这个模型叫啥系统，才能有针对性的搜。说实话，给工业界出来的模型找个学术界习惯的名有点难度。需要有懂这行的指导。

找到了相关名词，去搜了论文，各种名词眼花缭乱，打开一看，一些控制理论研究论文，尤其是注重展示控制方法的论文，模型或多或少比较理想和简单。这就有个问题：这种简单模型推出来的方法到了实际能不能用？这方面的工作较少，一些搞理论的人说这有啥，不就是灌水嘛，没有新思想，不过就这情况而言，还是有意义的。前提是模型和工程实际更接近，而不是更远。并且有些时候，推广并不是

改改条件结论不变这种简单的事，翻车的有点多。

即使能用，又有一个新问题，能不能看懂，控制领域的一篇好论文应该是证明很漂亮，结论很简洁，但大多数控制方法的论文想用它的方法还是需要大量基础知识。

花了一些心血学了数学，可以读论文了，通过仿真和经验看了看，一些方案不成立，一些方案倒是可行，试了试提升不大，少数方案做的还算满意。拿到了一套公式，接下来的问题就是转化成代码。这块也很考验人。

历经了千辛万苦，到了工程运行这步，和仿真差不多自然是不错的结局，如果有些大的偏差，得，又回到上边重新开始。

所以，一篇控制理论论文想投入使用，必须满足各种因素，包括场合，模型，方法，工程师，实际现场条件等等。

那么，如何推进控制理论与实践的差距缩小呢？一步步的看，有没有改进的地方。

第一，找到合适的需求。根据上面的思路，可以看到，能走到需要搜论文这步，还是不容易的。所以第一个方向是做高精尖的东西。希望咱们的高精尖越来越多。

第二，系统建模与辨识课程。建模需要的力学和系统辨识，一般较少出现在自动化专业课程里。不知道现在改没改。涉及到一点的在自控的频域分析里面。这块需要加强。

第三，搞控制理论研究做新方法自然是好，希望有更多的控制理论加入大家庭，但现在的问题是方法很多，能用的少。希望模型比较



贴近工程实际的研究多一些，即使方法上没有什么所谓的新东西也是可以接受的。因为你证明这个方法在比较复杂的系统模型上能用就是一个有意义的创新。

第四，最重要的，理论学家和工程师要见面。控制理论家和控制工程师之间的各种输出已经很多了，天天说要在理论界与工业界之间架桥梁，但桥梁式人物一年能出几个？还是需要多交流：

其中控制理论家需要做的努力多一些，了解工程师们棘手的问题，做出解答，并参与实际方案设计，毕竟数学基础好一些。控制工程师需要做的就是提出问题和摆出需求，了解一下数学名词，告诉哪些是可行的，或者给出辅助的工程改进方案。毕竟工程经验在那。不过让两方互相妥协，难度有点高，首先要让控制理论家和工程师组成一个团队，这块寄希望于企业或者高校成果转化了。

有人说，我听到的说法有两种，一是控制理论研究超前于实践，二是控制工程很多问题亟待解决。那只让工程师们学数学赶快追不挺好

其实这里面有些误会，一方面我们的论文数量快速增长，一方面工程师们，即使是数学出身的工程大佬，有时也感叹在现在论文里找不到合适的方法。

这就像两个人在泥泞的道路上跑步，一个人给另一个人打电话，说你抓点紧，我都快到了，另一个人在地面上却没有看到脚印。然后回了一句，你跑哪条路上了？

## 9.5、控制理论的实现：控制工程师

除了对控制理论研究本身，更重要的是控制理论需求的问题，首先要解决的是定位问题，也就是正确认识控制理论在实践中的地位。更直接的说，什么是控制工程师？

控制工程师，从简单来说就是，基于客户所提出的要求，在特定的行业系统，特定的工作环境中，在团队合作下，设计出一套可行的解决方案并实施，从而满足客户的需求的一种职业。

首先，看一张总体图，了解一下工程中控制方案的出台过程。对于未来的主要工作也有自己一些清醒认识。

一个控制算法的得出，往往是综合考虑的结果，一些必须从硬件解决的，一些必须从算法中解决的，一些从算法中解决会更好的，一些从硬件上解决会更好的，一些成本低的，一些成本高但效果好的，说的高大上点，就是系统工程思想。

控制理论的框架趋于成熟，表达的意思并不是完美，而是突破速度放缓了。而规划，调度领域的突破明显增加，很多大佬感叹说 control 不如 planning 有需求，这里面说明了什么？企业什么时候对人才有需求？有问题有困难才有需求。这也反映了一个形势。

很多控制研究是丢了钥匙在路灯下找，即使不是丢在路灯附近换在这里，就是工业界需求的，困难的，做的少；相对成熟的，学术界做的多。其实这也不能批判什么，科研成为一种职业后，尤其是与吃饭挂钩后，就很难要求每个人都去一心做难题的，也不太现实。

## 9.6、总结

到此为止，全篇都在以多智能体系统为例，但是这种思考感悟并不局限于这个领域，而是对于一种系统，要问他有什么特色？要问你自己要实现什么目的？这种目的能不能用控制理论传统工具实现？这种特色有没有必要提出来一个新指标？

拿到一个系统，这些问题提出来，得到的成果跟别人提到，至少人家会觉得你至少提供一种参考思路，研究抓住了特色，给读者提供参考，本身就是研究最大的价值。

通过这些分析来看，我们也能够知道，在应用场景上，有些东西它并不是万能的，能感受时代在发展，社会在进步，技术问题层出不穷。有人也许会说你这些东西，无非就是基础理论能用到吗，基础理论研究要走的道路，如果我们不去做，别人就会做，然后他们做完之后，我们就有可能受其限制。

对于控制的研究来说，适当的引进数学人才对于控制的研究是相当有裨益的，但是，正如黄琳院士在一篇文章当中所深刻指出的那样：

这种理论与实际严重分离的现状有其一定的必然性，即数学家在研究控制问题时把着眼点放在数学的兴趣而不是控制工程问题的解决，使追求抽象化、一般化的理论成为时尚。但数学理论能严格证明的有应用价值的控制问题仅是浩瀚的控制领域数学问题中的个别现象，而且从现实的控制工程中提炼出可操作的理论问题并加以解决本身就是一项十分困难的任务。这就使得功底不深而体量较大的控制数学工作者转而走向另一个途径，即为已有的理论与方法配上

控制系统的例子以利发表科学价值不大的“论文”，并以此造成控制理论虚假的繁荣。面对这一怪象，重温“工程控制论”的思想与处理问题的方法是十分有益的。

如果我们做不到对系统特色、对研究初心、对创新意识的把握，那么我们就又一次了进入了黄老所指出的这种状态，即使文章再多也是虚假的繁荣。

祝好！

## 后记

这本小册子的内容陆陆续续发表在知乎专栏（自动化专业的一点个人认识、控制——一种视角等）中，但由于专栏内文章稍显混乱，为了理清思路，全方位介绍自动化学科的相关内容，整理成了这本小册子。

在文章写作时得到了许多行业同仁的指导与建议，没有他们的帮助与悉心指导，就没有这些文章的产生，在此一并表示感谢。

在技术进步的今天，自动化技术的地位变得越来越重要，但普通大众和刚进入专业学习的新人依然带着很多迷惑，希望这本小册子能够为解决迷惑提供一些参考，当然由于水平有限，不免产生错误与疏漏，仅供参考。

祝大家都有美好的前程！

知乎@系统与控制