

漫谈系统与amp;控制

控制科学漫谈——学科的思考

席裕庚 上海交通大学

【作者按】本人在2003年曾写随笔“自动化学科浅谈”，对自动化学科相关问题谈了一些认识与amp;观点，其内容曾在2006年全国自动化专业系主任会议上报告。此次对原文略加修改整理，由于篇幅所限，没有具体展开，期待大家批评指正。

1 控制科学与工程学科的性质

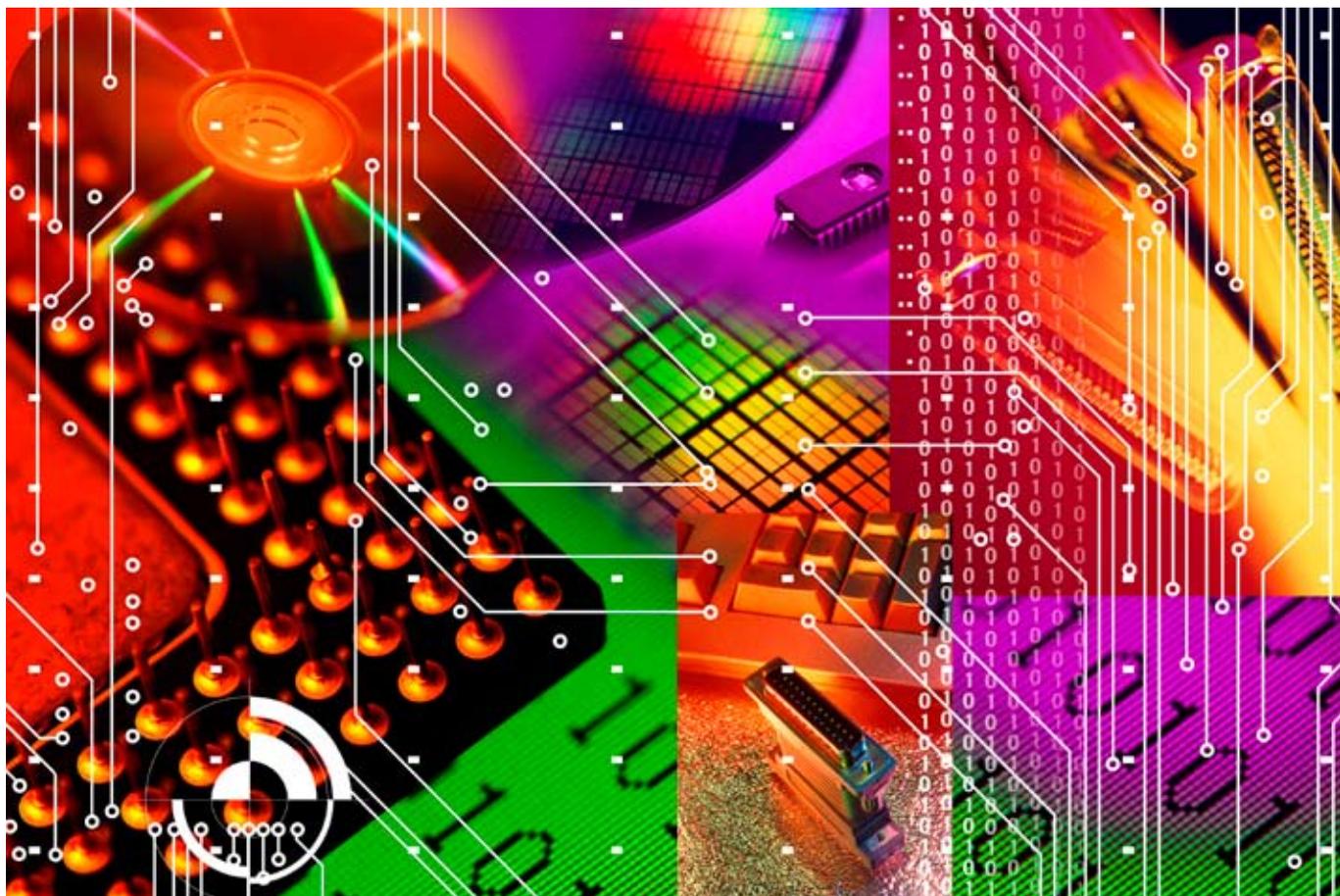
控制科学与工程是一个覆盖面宽、层次跨度大的一级学科，它由控制理论与amp;控制工程、模式识别与amp;智能系统、系统工程、导航、制导与amp;控制、检测技术与amp;自动化装置五个二级学科组成，这些二级学科之间本身就存在着交叉。近年来，随着学科授权单位获准自设二级学科，已出现了更多的、覆盖面更宽的二级学科。

控制科学是以控制论、信息论、系统论为基础的，它研究的是人们利用信息技术实现有目的行为的一般原理和方法，用通俗的话说，就是怎样把事情做成，怎样把已做成的事做得更好。在这个意义上，控制科学对于人们认识自然、改造自然具有普遍的意义，工程控制论固然是其中最重要也最富有成果的分支，但随着人类社会不断发展与amp;进步，控制科学也在广泛的非工程领域得到应用，如人口控制论、经济控制论、生物控制论等。控制科学的精髓是它的原理和方法，特别是作为其核心的模型、控制、反馈、优化等原理和方法，几乎被应用于所有领域的科学研究中，而这些原理和方法，正是哲学中认识自然、改造自然的一般原理的具体化。可以说，控制学科与其它技术学科相比较，具有更鲜明的方法论特点，具有更强的基础性，它的成就是通过其原理和方法在各应用领域中的具体实现来体现的，这是控制学科不可替代的作用和价值所在，但也正因为它是一门Hidden Technology（Astrom语），往往使其成为“幕后英雄”而得不到正确认识与amp;评价。

控制工程是控制论一般原理在工程系统中的具体体现，这种工程系统包括各类传统和先进的制造系统、电力系统、核工程系统、航空航天系统等。控制在这些工程系统中的重要地位，甚至还促成了相应专业领域内独立

的工程控制学科。由于控制原理和方法所具有的普遍意义，今天的工程控制系统已广泛地延伸到社会经济的各个分支，如农业、建筑、物流、环境、金融等。控制工程作为控制科学原理的具体实现，不但要提出实现目标的理论与方法，而且要使相应的工程系统在控制作用下实际运行，因此必然涉及到各行各业的技术和工艺背景，并且要从工程系统角度进行技术集成。从宏观上讲，控制系统只是整个工程系统中的一部分，但要实现工程系统既定的目标，如保证工艺条件、优化资源、提高产量、降低能耗、抗御干扰等，却是关键的部分。从微观上讲，控制系统的实现不仅需要有良好的控制思想和方法，而且要与传感技术、信息传输与处理技术、执行机构紧密结合，否则就只能纸上谈兵。因此，控制工程从来就不是控制学科的专利，它应该也必须在与各工程领域的结合和各种相关技术的集成中得到发展。

从上面的介绍可以知道，控制科学与工程作为一门通用的技术学科，并没有明确的行业背景，但在各行各业均起着重要的作用，而且其基础理论研究、技术发展、应用开发各层次有着完全不同的特色和评价体系。用通俗的话来说，这一学科包含的内容“软硬俱全”，“软”可以在抽象层面上以数学和逻辑为工具研究控制系统的一般规律，如能控性、能观性、最优性、稳定性、离散系统状态变迁等；“硬”可以完全与硬件打交道，用元器件、电路板搭建控



制器，与传感器和执行机构组合成一个实实在在的控制系统。因此，不同特长的人在这门学科里都能找到自己发挥才能的兴趣点，是一门内涵丰富、外延宽广的综合性技术学科。

2 控制与自动化

目前在许多场合，控制与自动化似乎是同义词，在我国学位体系下，采用的是控制科学与工程学科的名称，但在科研体系下，更多采用自动化的提法，如基金委信息科学部设置的学科名称为自动化，国家863计划曾把自动化作为其中一个领域，而在各种成果和评审体系下，有采用自动化，也有采用自动控制名称，如此等等，两者区分并不显著。

严格说来，控制与自动化的含义是不同的，控制既可以是自动的，也可以是人工的，其最简单的例子就是我们手动操作某个阀门来控制水位，此外如经济控制、人口控制等，均无自动可言，但这些例子在控制的意义上是完全符合的，因为它应用了控制的原理和方法去实现有目的的行为，不管这种实现是依靠人还是自动机器。另一方面，自动化最直接的含义是使系统自动运行，这里并非一定需要有控制行为，其典型例子就是上世纪90年代因微机的普及推广而出现的办公自动化热潮，它仅仅是用计算机和网络实现信息的自动处理以取代人工的各种文件和报表，这里并没有控制的要求。

如果我们仔细体验一下控制和自动化两个词的应用场合，不难发现控制较强调科学思想和方法，自动化则较强调整个系统的具体实现。例如，我们常说闭环控制、自适应控制、鲁棒控制等，这里的控制显然不能用自动化代替，而在冶金自动化、化工自动化等表述中，我们所理解的就是相关行业中某些生产过程或生产装置的自动

运行，其中不仅包含控制系统的设计，而且需要从整个生产过程自动化的角度考虑从数据采集到控制实施的全过程。

虽然控制与自动化的含义存在一定差异，但两个词的宏观应用（如在学科名称中）却常常是一致的。对于控制来说，我们往往希望它能自动实现以减少人工控制的负担和随意性，事实上，我们所说的控制系统，除少数社会经济系统外，通常都有相应的技术手段实现全部或部分的自动化，特别在工程控制系统中更是如此。而对于绝大多数自动化系统来说，我们不但希望其能自动运行，而且从一开始就是从实现优质高产节能等目标出发来规划设计的，所以必然会把控制系统的设计与实现作为其核心内容。在这种趋同的理解下，不论用控制还是自动化的表述，都同时包含了控制的原理和系统的自动化实现。

3 自动化学科的技术特征及其在信息学科中的地位

信息技术是由信息获取、信息传输、信息处理和利用四部分组成的。在网络通信技术高度发展的今天，大部分自动化系统已包含了以上所有内容，这正是为什么自动化专业人才必须具有计算机、通信、信号处理和控制的全面知识，并往往可以在不同信息技术领域就业的原因。但需要指出的是，以控制为基础的自动化虽然涉及到信息技术的全部，但其重点是在信息的利用上，即如何利用信息去实现有目的的行为。信息的获取、传输和处理，则是为了实现这一目的的手段和工具。因此，自动化离不开计算机、通信和信息处理，但与这些信息技术相比，自动化更体现了人类改造自然的直接目的。在这个意义上，自动化技术显然是信息技术中促成信息物化的关键技术。

在信息大学科中,自动化学科有着十分鲜明的技术特征。首先,自动化是信息科学与技术的重要组成部分,它是在信息获取、传输和处理的基础上,实现信息的利用,是人类改造自然目标的最终落实;其次,自动化不仅包含利用信息实现目标的原理和方法,而且包含作为其载体的技术和装备,并最终将它们集成在自动化系统中,涉及到从理论、方法、技术到设备的各个层面,具有包容数学、软件、电子、电气及各类专业技术人才的特点;第三,自动化是以控制论、系统论、信息论为基础的通用科学技术,其理论、方法和技术对各行各业具有普适性,与各领域具体实践相结合,可形成各门各类的自动化,如机械制造自动化、化工自动化、核工程自动化、农业自动化等;第四,自动化的水平和程度不仅取决于控制的思想和方法,而且与检测技术、执行装置,特别是各类信息技术密切相关,因而在信息技术飞速发展的今天,始终面临着新的挑战而充满发展生机。

在人类社会走向信息化的今天,计算机、通信、信息处理技术正为越来越多的人所熟悉和掌握。这些信息技术的发展,极大地提高了人们获取、传输和处理信息的能力,使人们对信息的掌握无论在数量、维度、层次上都达到了空前的程度,并正在深刻地改变着人类的生活和社会活动。但面对从网络获取的大量信息,有着处理能力不断提高的新型计算机,我们毕竟不能把数据、文字、图像或影像当作真实生活的全部,不能沉浸在手机或电脑提供的虚拟世界中,要解决社会和经济中的许多实际问题,还必须有效地利用信息,实现信息的物化。我们提出的以信息化带动工业化,仅仅实现计算机联网、建立数据仓库、打印报表、大屏幕监控生产过程是远远不够的,必须对传统工业从企业结构到生产过程

进行优化,实现资源配置、科学管理、高产优质、节能减排及快速应变等,在这里,正是自动化技术提供了各种改造传统工业的实体技术。因此,在以信息化推动工业化的进程中,以信息为特征的计算机、通信、信息处理技术固然重要,以控制为特征的自动化技术更不可缺少,而且是最终体现工业化水平的关键技术。可以说,没有自动化,以信息化推动工业化就是一句空话。

4 自动化学科是与时俱进、充满机遇和挑战的学科

自动化是要实现过程或系统的自动运行,但它比用机械取代人的肢体劳动即机械化有着更深更广的含义,不仅包含了人类肢体行为的机械化延伸,而且包含了人类高级传感行为和思维行为的信息化延伸。

人类对自动化的追求,可以追溯到远古时代,如早期的指南车和三国时期的木马流牛,都可以说是自动化设备的雏形,但真正以控制原理实现的自动化设备,是工业革命时期瓦特发明的离心调节器。工业革命有力地推动了各类机械系统的自动化,使人类社会进入了机械化时代,但直到20世纪40年代维纳提出控制论后,以信息和控制为特征的自动化才正式进入了科学技术舞台。

自动化科学和技术的发展,大致经历了这样几个阶段,20世纪40年代出现的经典控制理论,为自动化学科奠定了理论基础。它采用频域方法描述和分析设计系统,通过对系统输入输出的频域测试,建立系统模型,并通过设计前馈补偿和反馈校正,使系统稳定运行,并使输出达到期望值。这通常被认为是自动控制的第一代理论。20世纪60年代,随着航空航天事业的发展,出

现了以状态空间法为基础的现代控制理论,这一理论通过深入到系统内部对状态进行描述,从信息层面上更深刻地刻画了系统的特征,在此基础上发展起来的状态空间设计方法不仅可以处理多变量系统的控制问题,而且在控制中开始渗入优化的概念,为实现高质量的自动化提供了有力的手段。在此期间,自动控制理论和应用得到了蓬勃发展,系统辨识、最优控制、自适应等新理论和新思想不断涌现,并在航空航天、工业、工程领域得到了广泛的应用。20世纪70年代以来,随着计算机技术的发展和普及,人们加工复杂信息的能力得到了显著加强,从而有力地推动了自动化技术的全方位发展,其最主要的应用领域是以计算机控制为代表的工业过程控制和工业机器人,以计算机集成信息处理为代表的制造系统CIMS。在此期间,由于信息处理能力的加强,解决高维大系统控制、优化问题的大系统理论、解决带有不确定性控制问题的鲁棒、自适应控制理论、解决难以数学建模系统控制问题的智能控制理论等都成为自动化研究领域中的新热点,并迅速在各领域中得到了应用。本世纪以来,随着网络、通信与数据处理技术的飞速发展,人们获取信息的能力大大加强,在这种背景下控制系统获取和处理信息的模式出现了新的特点,又推动了分布式控制理论、网络化控制系统等的发展,信息物理融合系统(Cyber-Physical System, CPS)等也应运而生。

自动化学科的发展历史,表明它是一个与时俱进、充满机遇和挑战的学科。它的机遇首先来自社会经济发展进程中不断出现的新需求。当前,随着经济全球化及市场竞争的日趋激烈,自动化作为一种高科技,其作用已远不止传统理解上的以自动机器取代人工劳动,而成为优质高产、节能降耗、快速应变、整体优化的关键技

术,不仅传统工业领域,而且各种新兴工业领域,乃至诸多社会工程,如建筑、交通、物流、港口、环保、通信等,以及农业、经济、生物等广泛领域,都对自动化提出了以提高效率、实现优化为目标的各种要求。今天,自动化在工业企业优质高产、节能减排、城市交通控制、环境污染治理、新能源综合管理、登月探索、新型飞机舰船研发、医学诊断与医疗、生物基因分析等诸多领域发挥着重要作用,正是这种需求的体现。其次,科学技术的进步,包括新的研究领域和各行各业中新工艺、新技术的不断涌现,也为自动化带来了新的发展机遇。我们可以看到,几乎所有新工艺、新技术和新领域的出现,如新制造工艺、无线通信、分布式计算、大数据、复杂网络等,都伴随着自动化技术的迅速切入,这种切入是双向的、互动的。一方面,自动化以先进的控制技术保障这些新工艺、新技术的实施,以控制特有的思想和方法推动这些新领域的研究,如模型预测控制用于汽车壳板喷涂成型新工艺中金属熔料的喷射调节、约束优化用于无线基站选址和通信网络拥塞控制、结构可控性用于复杂网络牵制控制的分析等;另一方面,在汲取和融合这些新技术的过程中,自动化系统也在不断更新换代,向功能更全、效率更高、应用面更广、竞争力更强的方向发展,如各种网络化、分布式、嵌入式自动化系统和产品的出现、无线传感网技术催生新一代物流自动化系统等。可以说,社会发展提出的新需求和技术进步开拓的新空间,从不同角度为自动化学科的发展注入了新的活力,使这一学科永远充满发展生机。

5 自动化学科的人才培养要求

自动化学科的人才培养要求,必须充分体现自动化学科的优势与特色,适应社会对自动化

人才的需要。

自动化学科的人才需要掌握控制科学的基本观点，包括：

— 系统的观点：从系统整体和信息集成的角度来观察和研究对象；

— 优化的观点：明确目标，不但追求把事情做成，而且追求把事情做好；

— 反馈的观点：以实际可获取的信息为出发点，并充分加以利用；

— 方法的观点：重视和发展解决难点问题的创新理念和模式。

这样，在与具体领域的专业人才相比较时，才能站得更高，做得更好，落得更实，想得更深。

自动化学科的人才还需要掌握自动化系统实现的基本知识和技术，包括：

— 信息大平台的基础知识和通用技术；

— 控制理论、技术与系统方法论；

— 用于建模、控制、优化的信息技术；

— 有选择的面向行业的领域自动化系统和技术知识。

这样，在各行各业对自动化系统提出要求时，才能通过提炼其中的信息链，具体有效地完成系统架构设计、算法设计、系统实施，使系统按要求自动运行。

自动化学科的人才也许不像有具体行业背景的专业技术人才那样，可以从容应对招聘者关于该专业领域“你会什么”、“你做过什么”的询问，也许他们会给人“听上去知道不少，实际上不知道擅长什么”的印象，初入职场时他们甚至觉得自己真的懂得很少，但是经过一段时间对领域知识的熟悉之后，他们的后劲就会表现出来，他们对存在问题的挖掘能力和解决问题的思维方式会不断带来后发效应，使原来未做的事情做

成，原来已做的事情做得更好。自动化学科的人才应该用这种标准去练就自己，用这种结果去证明自动化人才是对专业领域发展具有长期效用的关键人才，用这种事实去把人们对自动化人才的理解从“万金油”提升为“变形金刚”。