

工程教育专业认证中 毕业要求分解指标点的利弊

戴先中

【摘要】在我国工程教育专业认证实践中,每项毕业要求均需要分解为若干指标点。毕业要求指标点的分解及其支撑课程的确定,一直是专业认证工作中最困难、也是最有争议的。本文通过分析我们所处的教学系统架构与实际运行过程,深刻理解基于毕业要求分解指标点构建的“教学系统运行流程”不仅极其复杂、而且缺乏可操作性,进而得出毕业要求分解指标点弊远大于利的结论;然后在遵循《华盛顿协议》和把握我国《认证标准》精髓的基础上,提出优化、简化教学系统运行流程的思路,使其真正可控、可操作。

【关键词】工程教育认证 教学系统 毕业要求 指标点

一、引言

如果有人问,什么是工程教育专业认证准备工作中最复杂、最难把握、分歧最大、意见最难统一的任务,相信已通过或正在开展认证工作的大多数专业都会这样认为:毕业要求指标点(或称观测点)的分解及其支撑课程的确定。

两所相近学校的同一专业(开设的课程差别不大),分解的(符合标准要求的)毕业要求指标点及其支撑课程,很可能差别极大。同一学校同一专业,两批不同的教师各自独立工作,分解的(符合标准要求的)毕业要求指标点及其支撑课程,仍可能差别极大。

从开展工程教育专业认证工作以来,我国已有近 2000 个专业点通过了认证,但至今未有哪个专业(完整反映认证准备工作)的自评报告能被公认为“模板”,原因或许也在此。

那能否不分解指标点呢?这正是本文重点讨论的。

二、指标点分解问题的由来

熟悉《华盛顿协议》^[1]和我国《工程教育认证标准》(简称《标准》^[2])的都知道,对于培养目标、毕业要求,《华盛顿协议》给出的是粗线条的框架,

各成员国可依据实质等效原则制定符合各国国情、可操作性的具体认证标准。我国制定的《标准》就是这样具体化、细化而来,参见表 1。显然,无论是《华盛顿协议》还是我国《标准》,均没有对指标点分解的具体要求。

但在我国认证实践中,还进一步“细化”了标准,对每项毕业要求提出了分解指标点的“硬性规定”,参见表 1 与《工程教育认证通用标准解读及使用指南》(简称《指南》)^[3]。

对指标点分解,《指南》^[3]是这样解释的:“指标点是经过选择的,能够反映毕业要求内涵,且易于衡量的考查点。通过毕业要求指标点可以判断专业对于通用标准 12 项基本要求的内涵是否真正理解,可以判断专业建立的毕业要求达成评价机制是否具有可操作性和可靠性,也可以判断专业是否根据培养目标设计自身的毕业要求”。

可见,毕业要求分解指标点的初衷是希望内涵表达明确、易衡量,具可操作性和可靠性,这听起来相当有道理。确实,12 项毕业要求表达比较宏观,精心地分解指标点后可使表达更明确具体、更易衡量,但是否更具可操作性却是有疑问的。原因在于,如真按毕业要求指标点进行达成分析

表 1 《华盛顿协议》和我国《标准》对培养目标、毕业要求的规定与要求对比表

		华盛顿协议 (2013 版)	我国认证标准		我国认证实践(大多数专业)
			标准(2017 版)	标准使用指南(2020 版)	
培养目标	培养目标	无明确要求	有明确要求	要求具体化;毕业 5 年职业与专业成就	主目标
	子目标	无	无	无	若干子目标
毕业要求	毕业要求	12 项	12 项	12 项,要求具体化	覆盖 12 项毕业要求
	指标点	无	无	每项毕业要求要求分解指标点	每项毕业要求分解若干指标点

收稿日期: 2021-11-01

作者简介: 戴先中,东南大学自动化学院教授、博士生导师,工学博士。

并“试图实施”持续改进,将使本来就很复杂的教学系统更加复杂(详见后面分析),难以实施持续改进,也即实际上根本不具可操作性。

至少到目前为止,作者并没有看到有关毕业要求分解指标点后能有效提高教学质量的确切“数据”,也没有看到对分解指标点利弊的深度分析文章。

在缺乏直接“证据”的背景下,本文通过深入研究我们所处的教学系统,深度分析指标点分解对教学系统运行带来的负面影响,进而得出分解指标点弊大于利的结论;并采用将教学系统与控制系统做类比的方法,来间接“证明”分解指标点弊远大于利。

三、指标点分解使本身很复杂的教学系统更加复杂,难以真正实现持续改进

高等工程教育是在我们可称之为“开放的教育教学系统(简称为教学系统)”中完成的,教学系统中除了教室、教材、实验设备等“有形物”和培养方案、教学大纲等“无形物”外,教育者(教师)和受教育者(学生)都是活生生的人,而且是一群不同的人。

为了理清教学系统中各部分功能及其相互之间的关系。在工程教育专业认证背景下,可构造图1所示的教学系统运行流程图来表示教学系统运行全过程。

从系统运行——控制的角度,教学系统是典型的“负反馈闭环控制”系统,包含三个环:

(负反馈)内环是“课程学习获得能力环”,基于课程目标达成评价构成负反馈,通过调整课程大纲(相当内环控制器)、教师教学方法(相当执行器),实现控制目标——课程目标(实质是学生课程学习获得能力);

(负反馈)中环是“毕业能力环”,基于毕业要求达成评价构成负反馈,通过调整教学计划(相当中环控制器)、课程目标(进而控制内环),实现中环的控制目标——毕业要求(实质是毕业时的学

生能力);

(负反馈)外环是“培养目标环”,基于培养目标达成评价形成负反馈,通过调整毕业要求(相当外环控制器,进而控制中环再控制内环),实现外环的控制目标——培养目标(实质是毕业5年后的毕业生职业成就)。

因此,基于“负反馈闭环控制”原理,从理论上讲,只要精心设计好3个“控制器(分别对应教学系统中的毕业要求、教学计划与课程大纲)”和控制好“执行器(对应教学系统中的教师)”,应该能达到控制目标(对应图1教学系统中的培养目标)。

这儿要指出的是,我们说教学系统是一个三环负反馈控制系统,只是方便理解、方便抓住问题的本质。实际的教学系统,在专业认证背景下,专业培养目标通常分解为多个子目标,相应的达成评价的反馈通道就不是图1中的一条;同样毕业要求达成评价的反馈通道也不是一条。

图2给出了(对应图1)比较完整的“教学系统运行流程图”。图中,假定培养目标分解为4个子目标,从而达成评价有4条(相同结构、并行的)反馈通道;假定12项毕业要求各分解3个指标点,从而毕业要求达成评价有36条(相同结构、并行的)反馈通道;进一步可计算,课程目标约有3百个(假定36个指标点对应80门左右课程,每门课对应3~4个课程目标),从而课程目标达成评价将有约3百条(相同结构、并行的)反馈通道。这是一个多么复杂的“负反馈闭环控制系统”,虽然从控制原理上,它仍然可归纳为(简化为)图1所示的三环负反馈控制系统。

需要强调的是,图2给出的教学系统运行流程图只是图1“三环负反馈控制系统”覆盖的一大类运行流程图中的一种。如培养目标子目标为3个,就对应着另一种运行流程图;如毕业要求指标点为30个,又对应着一种运行流程图;即使培养目标子目标为4个、毕业要求指标点为36个(即

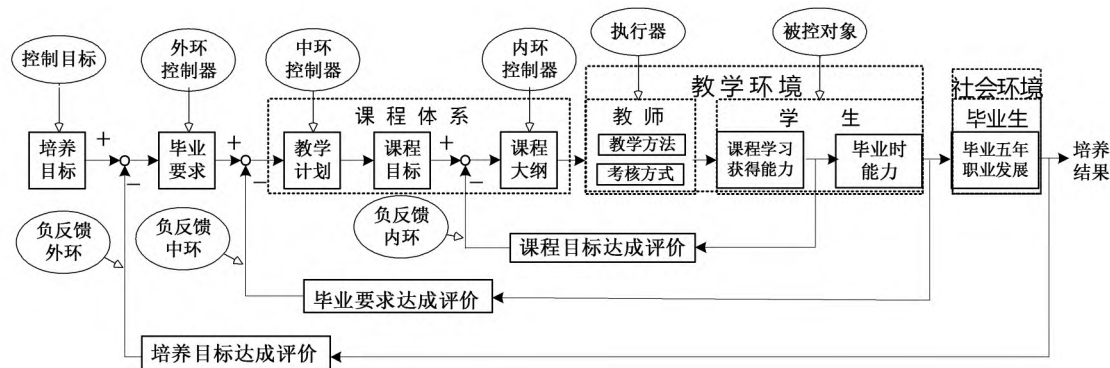


图1 专业认证背景下仿照“负反馈闭环控制”思想给出的简化的“教学系统运行流程图”

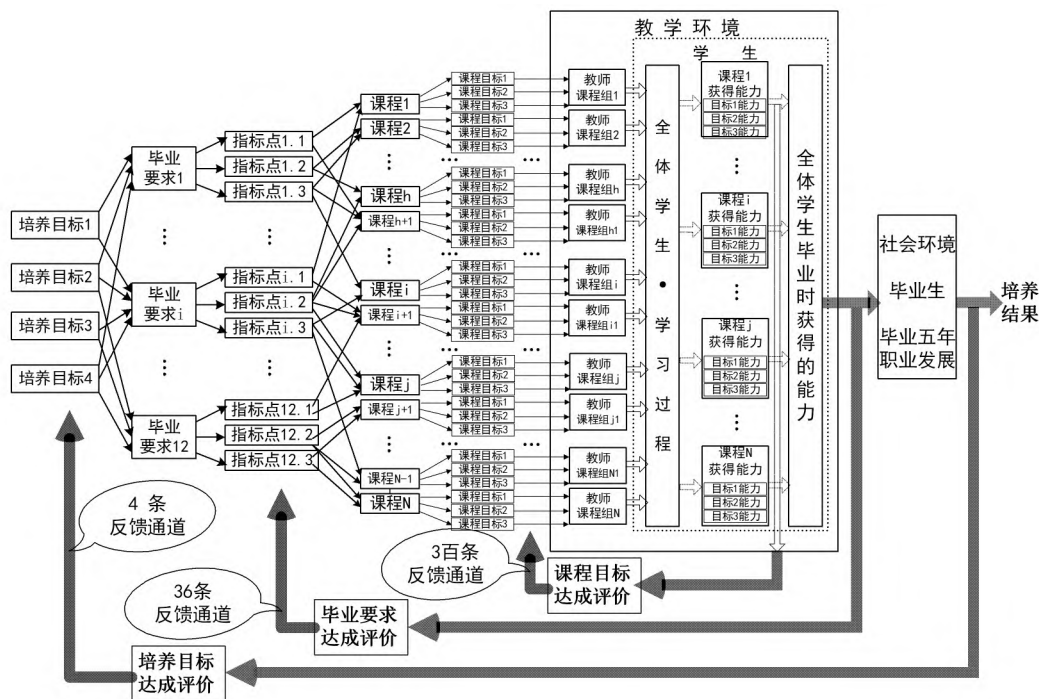


图2 专业认证背景下仿照“负反馈闭环控制”思想给出的一种比较完整的“教学系统运行流程图”

同图2),但子目标与指标点的对应关系不同,或指标点对应的课程不同(对不同的专业这是大概率事件),则又可演绎出N种不同的运行流程图。

也就是说,(正如本文绪论所述)即使对同一个专业(教学环境、教师和学生完全相同)、同样的培养目标,不同的设计人员依据不同的设计理念,可以设计出各不相同的教学系统运行流程图——各不相同的“控制结构”。而最让人头疼(也就是本文绪论所述最难把握、最吃不准)的是,很难判断(更缺乏标准)这各不相同的运行流程谁优谁劣。这就是目前的现状——分歧最大、意见最难统一,说是乱象,一点也不过分。

综上所述,当前各认证专业较普遍采用的教学系统运行流程图的总体框架是一样的——三环负反馈控制系统(图1所示),虽具体“控制结构”千差万别(几乎找不到完全相同的,图2只是其中一例),但均极其复杂。其复杂程度随着培养目标分解越细、毕业要求指标点分解越多而越高。

笔者从事自动控制系统研究设计数十年,从没有见过如此复杂的“控制结构”,也没有见到有文献介绍这样复杂的系统,更不要说能控制好这么复杂的系统。

实际上,图1、2所示系统还隐含着——在控制系统中极难处理的问题——时间滞后,简称时滞(有关时滞的详细介绍安排在下一节)。在教学系统中,从调整毕业要求(相当控制器)到学生毕业需4年,毕业后还要5年,才能获得培养目标

(对应控制目标)达成情况,这4+5=9年就是从“控制器”动作到“被控目标”有反应的时间滞后(时滞)。

对这么复杂且大时滞的系统,坚持要采取图1、2所示的负反馈闭环控制(以实现持续改进)是极其困难的。也就是说,目前声称按照图1、2所示进行负反馈闭环控制(持续改进)的专业实际根本没有真正实施,完全是两张皮。

回到本文讨论的主题——分解指标点的利与弊。虽然从分析角度(纸上谈兵)、从“局部”的角度,分解指标点后可使毕业要求表达更明确具体、似乎也更易衡量,但放到“全局”,使原本复杂的系统更加复杂,根本无法有效控制,也即不具可操作性、更谈不上可靠性。因此,要想控制好教学系统,决不能采用图1、2所示的“控制结构”,必须简化和优化。

但如何简化、优化呢?先回顾传统的教学系统运行流程图如图3所示,结构简单,只有一个培养目标(覆盖了当前的培养目标与毕业要求),且不形成闭环。从控制角度,这样的系统容易控制,虽控制效果(学生能力提高)差强人意,但不会发生控制效果极差(严重教学质量)问题。当然,这样的结构不符合毕业要求持续改进的认证理念,因此也必须改进。

为获得简化、改进灵感,下面我们将比对常见的流量控制系统。通过对同一对象、同一控制目标,研究采用不同的控制结构,观测其不同的控制

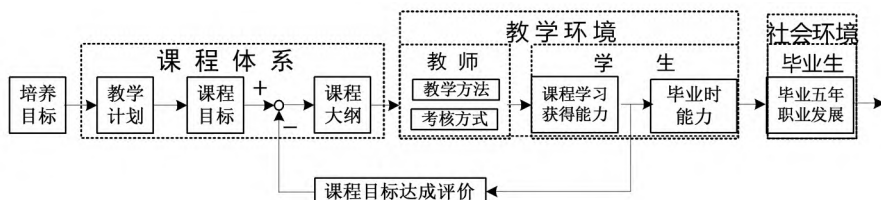


图3 传统的“教学系统运行流程图”——简化图

性能,期望为寻找教学系统合适的“控制结构”提供可借鉴的思路和方向。

四、对位流量控制系统、寻找教学系统合适控制结构的思路

常见的流量控制系统如图4所示。控制目标是“终端流量”既快又准又稳地跟踪“希望流量”(控制流程图如图5所示),当管道不长如几米时,“终端流量”近似等于“输出流量”。而控制手段是:调节输入阀门的开度来控制“输入流量”(注:输出阀门开度不变),从而控制“输出流量”。

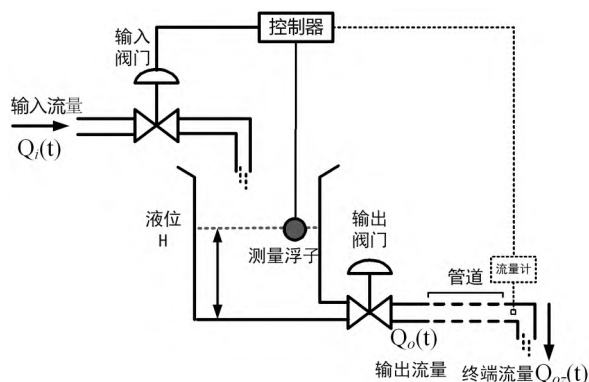


图4 水箱流量控制系统示意图

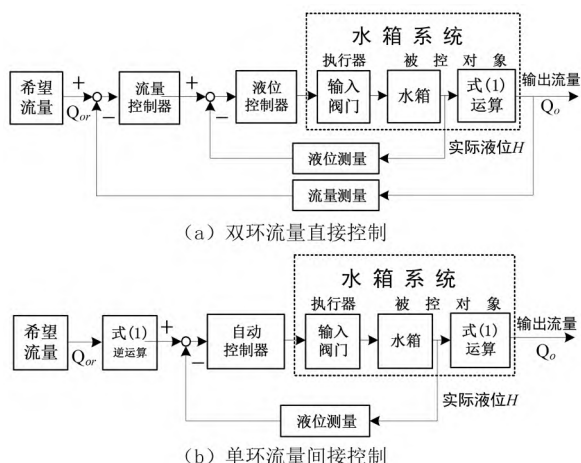


图5 两种不同控制结构的流量控制工作流程图

同样的控制目标与控制手段,系统的控制结构可不同,图5给出了两种:图5a所示的双闭环流量直接控制,内环控制液面高度,外环控制输出流量;图5b所示的单闭环流量间接控制,这是基于输出流量与液位 \$H\$ 的式(1)关系,从而可通过

控制液位间接控制输出流量

$$Q_o = \alpha \sqrt{H} \quad (1)$$

显然单闭环结构简单,不需要图4中虚线所示的“流量计”,实践证明控制性能很好,是目前采用最多的控制结构。而图5a所示的双环结构复杂,需要用到“流量计”,成本高;更重要的是,虽然从理论上对流量控制的精度优于单环间接控制,但由于液位不可控带来的液体溢出的风险,实际很少采用此种控制结构。

据此得出本节的第一个结论:不是控制结构越复杂控制性能越好,有时适得其反。

接下来,我们讨论控制系统设计中极其重要的“控制性能指标”。前面讨论时,只是确定了控制目标为输出流量能既快又准又稳地跟踪希望流量。但什么叫既快又准又稳,需要具体的控制性能指标。图6给出了最通用的对阶跃输入响应的控制性能指标示意图,一般包括如下几方面:

上升时间:在希望流量阶跃式改变(改变幅值记为1)下,输出流量从0.1到0.9的时间,越短越好;

峰值时间:在希望流量阶跃式改变下,输出流量从0到最大值的时间,越短越好;

超调量:实际输出流量最大值超过阶跃式改变值的百分比,越小越好;

稳态误差:波动结束后,输出流量与希望流量的相对误差,越小越好,通常设为2~5%。

调节时间:输出流量从0到落入稳态误差相对值区间的时间,更希望越短越好。

以上5个控制性能指标可以看作是总控制目标下的5个“控制子目标”。

从原理上讲,按5个“控制子目标”来分别控制,控制效果应该很好,但实际应用中几乎没有人按此思路来设计控制器,原因有以下2方面:

5个控制子目标相互牵连、甚至相互制约。如想要上升时间小,超调量必然大;想控制超调量小,上升时间必然大。同样稳态误差与调节时间也是一对矛盾。除非特别有经验的设计师分时间段、变控制参数才有可能兼顾,或采用发展中的智能控制方法,但两种情况均改变了控制结构,不再是图5所示的负反馈闭环结构。

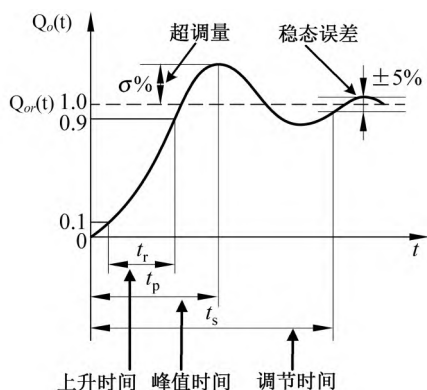


图6 控制系统常用的(对阶跃输入响应的)控制性能指标示意图

控制手段“输入阀门”只有1个。可以想象,当5个控制子目标都争着控制1个“输入阀门”,难免不打架,控制效果很难保证,控制实践充分证实了这一点。

那实际系统又是如何满足控制性能指标呢?答案是将调节时间、超调量和稳态误差3个性能指标综合考虑成一个“二阶响应曲线的总目标”(其它2个间接控制),如图6曲线所示,通过精心设计“控制器”来逼近该二阶响应曲线(感兴趣读者可参考控制理论书籍),这是目前普遍采用的控制器设计方法。

由此可见,不是将控制目标分解越细(从而控制子目标越多)控制性能越好,相反由于控制子目标多了系统更难控制,控制性能反而更差。这是本节得出的第二个结论。

接下来我们对控制系统的一种特殊现象——时间滞后(时滞)做较深入分析,以明白为什么大时滞系统很难控制。

假定图4的流量控制系统的输出管道数百米长,考虑到液体在管道内的平均流动时间 T_0 。“终端流量 $Q_{oz}(t)$ ”不再近似等于“输出流量 $Q_o(t)$ ”,而是有 $Q_{oz}(t) = Q_o(t - T_0)$ 。这 T_0 时间就是时滞。如管道数百米长, T_0 很大,称为大时滞系统。

控制理论告诉我们,大时滞的存在,使控制器设计十分复杂,稍有不慎,根本无法实现输出液流的稳定控制。为说明这一点,我们以图5b所示的

间接流量控制结构(注:图中未给出 Q_{oz})予以说明。

设 t_0 时刻系统稳定,即有 $Q_{oz} \approx Q_{or}$ 。当希望流量从 Q_{or} 增加到 $Q_{or} + \Delta Q_{or}$ 时,计算出希望液位从 H_r 增加到 $H_r + \Delta H_r$,在控制器作用下输入控制阀门开度增大(增加输入流量 Q_i),从而实际液位逐渐从 H 增加到 $H + \Delta H$,相应的输出流量也逐渐从 Q_o 增加到 $Q_o + \Delta Q_o$,并在 $t_0 + T$ 时刻再次稳定。但由于管道很长原因,终端流量 Q_{oz} 并没有立刻跟随增加,而要延迟 T_0 时间。也就是说,要到 $t_0 + T + T_0$ 时刻,终端流量才从 Q_{oz} 增加到 $Q_{oz} + \Delta Q_{oz}$,并使得 $Q_{oz} + \Delta Q_{oz} \approx Q_{or} + \Delta Q_{or}$,系统再次稳定。

由上分析可知,采用图5b控制结构来控制流量大时滞系统,虽不会发生不可控问题,但控制性能不佳,且时滞时间 T_0 越大,控制性能越差。但对于图5a结构,则当改变输入控制阀门(改变 Q_i)从而改变液位高度时,并没有立刻引起终端流量 Q_{oz} 的改变,而是要在 T_0 时间后才发生改变。而在这 T_0 时间内,液位一直在增高,如 T_0 很大,液位可能高到从水池中溢出,更不要期望终端流量的平稳控制。

现代控制系统设计均采用预测或预估方法来处理大时滞问题(感兴趣的读者可参考控制理论书籍)。在图5b基础上增加一个流量(超前)预测环节(如图7所示),可有效改善大时滞对控制的影响。流量预测越准确,大时滞对控制的影响越小。

由此得出本节的第三个结论:时滞问题产生的危害极大(导致控制性能极差),带预测环节的(流量)间接控制是解决大时滞问题的有效方法。

五、建议的符合认证标准、具可操作性的教学系统运行流程

基于以上讨论,可得出2个明确结论:分解指标弊远大于利,培养目标只能开环控制。

相应,作者建议的符合认证标准、且具可操作性的“教学系统运行流程”简化版与完整版分别如图8与9所示。对照图1和图2原复杂的“控制结构”,可以看出简化和改进主要在培养目标外环

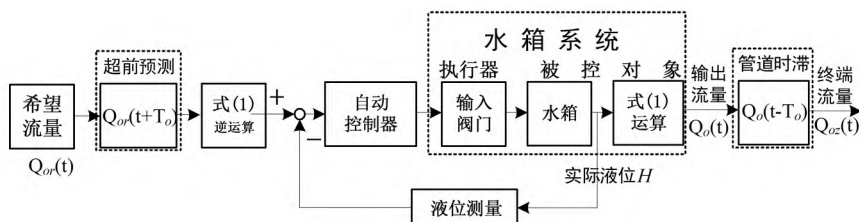


图7 大时滞流量系统采用“附加预测环节”的流量(间接)控制的流程图

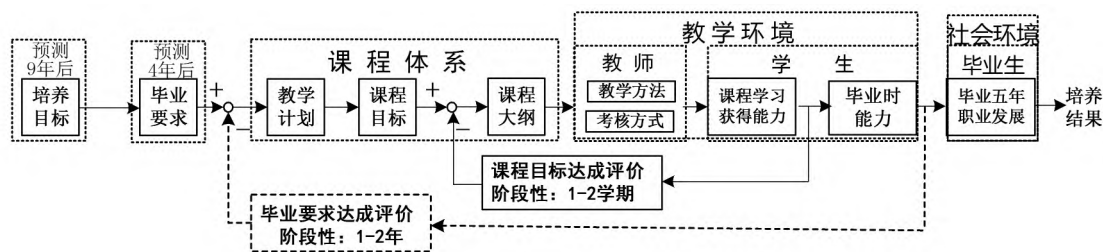


图 8 建议的“教学系统运行流程图”——简化图

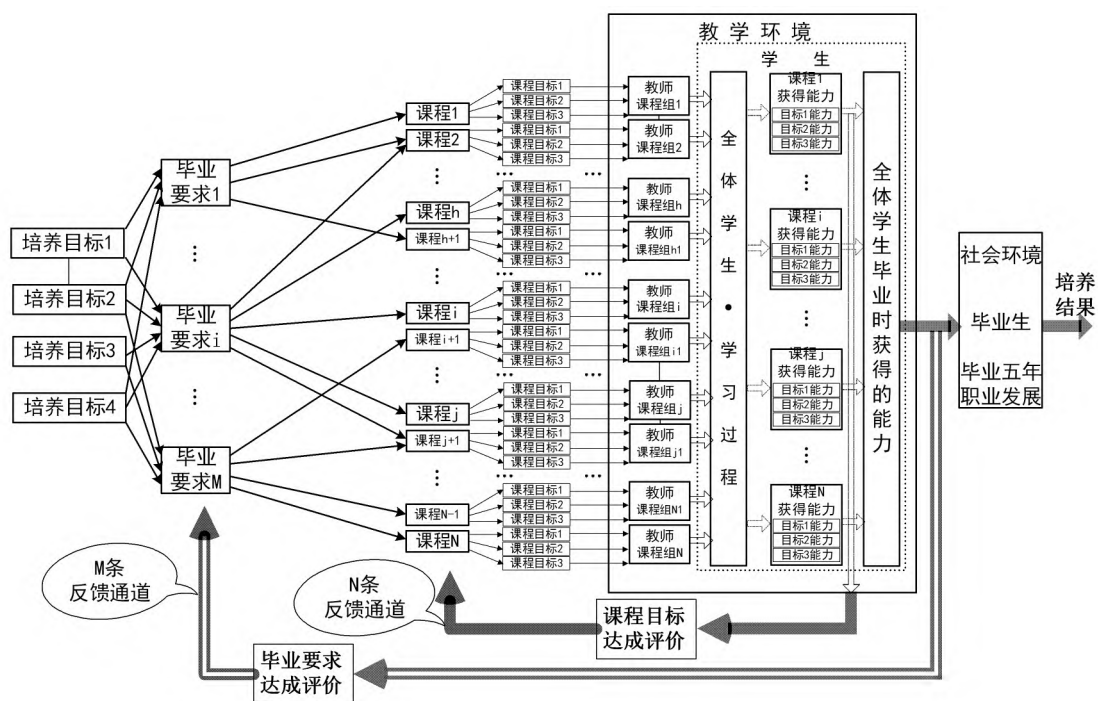


图 9 建议的“教学系统运行流程图”——完整图

和毕业要求中环,以下分别介绍。

1. 培养目标外环

将图 1 的培养目标闭环控制改为图 8 含预测环节的开环控制。这种控制方式实质是培养目标的间接控制,预测环节预测越准确,控制效果越好。需要指出的是,实践中不少专业为了证明能将培养目标达成评价用于持续改进,试图将培养目标外环闭起来进行负反馈闭环控制,这实际上是做不到的。例如假设 2019 年进行培养目标达成评价,其针对的毕业 5 年的毕业生是 2010 年入学的,培养依据的是 2010 年制定的培养目标、毕业要求。如依据 2010 版方案完成的评价又如何用于对 2019 版方案的持续改进;而依据 2019 版方案进行评价使评价结果丝毫不可信。在认证实践中,部分专业的自评报告,依据当前的培养目标进行达成评价,再对当前的培养目标进行持续改进,这纯粹文字游戏。

2. 毕业要求中环

(1) 毕业要求不分解指标点,大大简化教学

系统运行流程图(对比图 9 与图 2),也将大大简化毕业要求达成评价,从而使毕业要求闭环控制真正得以有效实现(而不是纸上谈兵)。

(2) 毕业要求中环采用“已完整执行 4 年且仍在执行的教学计划进行阶段性闭环控制”“尚未完整执行 4 年的教学计划进行含预测环节的开环(间接)控制”两种方式(在图 8 中用虚线表示,图 9 中用中空线表示)——简称“半闭环控制”。这是因为在任何一年的大部分时间点上总有 4 个年级的学生同时在校,他们执行着不同版本的培养方案(极端情况四种不同的版本),对不同年级需采用不同的“控制方式”。为帮助理解,我们设某专业每隔 4 年完整地修订培养方案,近 2 次为 2014 版和 2018 版,然后分析完整一个 4 年周期中不同年份的毕业要求达成评价是如何开展又是如何用于持续改进(闭环控制)的。

2018 年毕业季,毕业要求达成评价显然针对 2014 年入学学生,其完整执行了 2014 版培养方案。评价结果可用于 2015-2017 年入学的学生正

在执行的 2014 版教学计划的闭环控制——相当于教学计划微调。

2019 年毕业季,同上对 2015 年入学学生进行毕业要求达成评价,评价结果用于 2016-2017 年入学的学生还在执行的 2014 版教学计划的闭环控制(教学计划微调)。于此同时,对 2018 年入学的学生执行的 2018 版培养方案采用“含预测环节的开环(间接)控制”,也即不做调整。这是因为 2018 版培养方案尚未完整执行 4 年,效果如何还无法判断。

2020 年毕业季,同上对 2016 年入学学生进行毕业要求达成评价,评价结果用于 2017 年入学学生还在执行的 2014 版教学计划的微调。对 2018-2019 年入学学生执行的 2018 版培养方案,采用的仍是“含预测环节的开环控制”。

2021 年毕业季,同上对 2017 年入学学生进行毕业要求达成评价,但评价结果不再用于闭环控制(此时,2014 版教学计划已执行结束),仅作为 2022 年制订新培养方案时参考。而对 2018-2020 年入学学生执行的 2018 版培养方案,仍采用“含预测环节的开环控制”。

六、对《指南》的修改建议

建议取消《指南》中对“毕业要求分解指标点”的限制性要求,理由扼要重复如下:

《华盛顿协议》和我国《标准》均没有类似的规定,《指南》不宜增加限制性的“额外规定”;

控制理论告诉我们,当控制手段(对教学系统就是教师、教材、教室、实验设备等)一定时,不是

将控制目标分解越细(从而控制子目标越多)控制性能越好,相反由于控制子目标多了,系统更复杂,更难控制,控制性能反而更差。将毕业要求分解成若干个指标点,相当于将控制目标分解成若干个控制子目标,将使本来就复杂的教学系统更复杂,更难有效控制。

教学系统是一个大时滞系统(教学计划从开始执行到能够全面评价执行效果至少需要 4 年),大时滞系统的负反馈闭环控制是控制科学发展至今一直未能得到有效解决的难题。实际上,图 2 所示的教学系统运行流程根本不可控、不具可操作性。很多专业自评报告中所谓的持续改进(即负反馈闭环控制)只是纸上谈兵。如毕业要求不分解指标点,毕业要求达成评价(即反馈通道)就减少到 12 条。再加上采用“已完整执行 4 年且仍在执行的教学计划进行闭环控制”“尚未完整执行 4 年的教学计划进行含预测环节的开环控制”两种不同控制方式,可有效解决大时滞系统的控制难题。

参 考 文 献

- [1] International Engineering Alliance. Washington Accord[EB/OL]. [2021-09-23]. <https://www.ieagrements.org/agreements/washington/signatories/>.
- [2] 中国工程教育专业认证协会秘书处. 工程教育认证标准(2017 版)[Z]. 2017.
- [3] 中国工程教育专业认证协会秘书处. 工程教育认证通用标准解读及使用指南(2020 版,试行)[Z]. 2020.

The Advantages and Disadvantages of the Indicator's Decomposition in Engineering Education Professional Certification

Dai Xianzhong

Abstract: In the practice of engineering education professional certification in China, each graduate attribute needs to be decomposed into several indicator points. This kind of decomposition and the determination of support courses have always been the most difficult and controversial in professional certification work. By analyzing the structure and actual operation process of the “teaching system” in which we are, this paper points out that the “teaching system operation process” based on the “indicator decomposition” is not only extremely complex, but also lacks operability. And then it is concluded that “indicator decomposition” does more harm than good. Finally, on the basis of following the Washington Accord and China's Certification Standards, the paper puts forward the idea of optimizing and simplifying the “teaching system operation process” so that it can be truly controlled and operational.

Key words: engineering education certification; teaching system; graduate attribute; indicator

(责任编辑 黄小青)