



自我调节学习视角下工科生学习机理的质性研究——基于“一生一芯”人才培养实验

徐艳茹, 刘继安*

中国科学院大学 公共政策与管理学院, 北京 100049

摘要: 创新人才培养模式对于提升高等工程教育人才培养质量非常重要。同时, 深入理解高等工程教育情境下学生的学习过程及其内在机理, 对引导学生采取有效的学习策略、提升学习成效具有重要意义。本文借助自我调节学习的理论视角, 围绕成就目标设定、自我调节学习策略和自我效能感三个核心概念, 通过对“一生一芯”人才培养实验项目为期8个月的质性田野调查, 深描工科生的学习行为、学习体验及学习收获, 并揭示其学习的内在机理。研究发现, 工科生的成就目标设定经历了一个从“成绩目标”向“掌握目标”转变的过程, 而元认知在工科生自我调节学习策略的运用中起到了关键作用。此外, 学习中的正反馈显著提升了工科生的自我效能感, 进而强化了其内在学习动机。通过解析工科生学习过程与机理的“黑箱”, 从内隐的自我认知与外显的学习行为两个层面, 阐释了影响个体学习行为与成效的各因素间的相互作用机制, 从而丰富了自我调节学习理论的内涵。从营造教育教学环境、优化教育教学设计、强化教育过程监测三个方面, 提出了工科教学改革与人才培养的实践启示。

关键词: 工科生; 人才培养; 学习机理; 自我调节学习; 高等工程教育

中图分类号: G4

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2026)03-0358-12

引言

卓越工程技术人才对解决全球气候和能源危机、推进国家工业化与现代化进程具有深远意义。在全球

范围内, 在政府政策引导、工业界及其他关键利益相关者的推动下, 高等工程教育蓬勃发展^[1]。然而, 当前高等工程教育人才培养过程中存在“以教师为中心”“满堂灌”“重理论轻实践”等问题, 学生在学习

收稿日期: 2024-07-18 修回日期: 2024-12-18

基金项目: 教育部产学研合作协同育人项目: 产教融合培养研究生的实践进程与协同机制研究 (BINTECH-PY-20231124-01); 中央高校基本科研业务费专项: 科教融合培养关键核心技术人才的中美比较研究

作者简介: 徐艳茹 (1991—), 女, 博士, 助理教授, 研究方向为高等教育组织与管理, 创新人才培养, 科教融合育人, 高等教育社会学。E-mail: xuyanru@ucas.ac.cn

*刘继安 (1968—), 女, 博士, 教授, 研究方向为高等教育管理, 教育评估, 创新人才培养, 比较与国际教育。E-mail: jian.liu@ucas.ac.cn (通讯作者)

引用格式: 徐艳茹, 刘继安. 自我调节学习视角下工科生学习机理的质性研究——基于“一生一芯”人才培养实验[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2026, 18(3): 358-369. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20240094. CSTR: 32282.14.JES.20240094

XU Y R, LIU J A. A Qualitative Exploration of Engineering Students' Learning Mechanisms from the Self-Regulated Learning Perspective: The "One Student, One Chip" Talent Development Experiment[J]. Journal of Engineering Studies, 2026, 18(3): 359-370. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20240094. CSTR: 32282.14.JES.20240094

过程中的主体性和能动性往往被忽视^[2-5]。为提升我国高等工程教育人才培养质量,需在深入理解工科生学习过程与机理的基础上,有针对性地创新人才培养模式,激发学生自主学习的能动性,从而提高学习效果。尽管近年来高等工程教育研究发展迅速,但国内研究仍以描述性、总结性、思辨性及定量研究为主,教学一线的经验总结性论文占据主导地位^[6-7]。虽然借助学习科学理论视角来理解工科生学习过程与机理的研究逐渐增多^[8-9],但相关研究仍较为零散。例如,项聪^[10]总结工程学习经历了“学徒模式”“传播模式”“反思模式”“共同体模式”,其背后的理论机理分别为自然主义发展理论、行为主义发展理论、认知主义发展理论、情景主义发展理论。尽管作者将不同理论视角主张的个体学习理念迁移到工程学习领域,但尚缺乏实证数据支撑。Christie等^[11]和丁飞己^[12]从教学论和教育哲学角度论证主动学习对工科生学习的重要性,并基于问卷数据描述工科生主动学习的特征及影响因素。Bandura等^[13]和Cervin-Ellqvist等^[14]从自我调节学习理论视角,关注工科生的学习行为、策略与学业成就间的关系,研究方法多以量化研究范式下的问卷调查为主。然而,定量研究仅能回答工科生学习“是什么”以及结果“是什么样的”等问题,难以揭示学习过程“如何”发生以及“为什么”如此等深层机理。深度访谈和参与式观察能够在充分了解学习者学习情境的基础之上,深入了解其学习行为、体验与收获,从而揭示其学习机理,有助于打开工科生学习过程的“黑箱”。鉴于此,本文借助质性研究“深描”的优势,基于对中国科学院大学“一生一芯”人才培养实验项目为期8个月的参与式观察和半结构化访谈数据,以自我调节学习理论为分析视角,围绕成就目标设定、自我效能感、自我调节学习策略三个核心概念,从内隐性自我认知和外显性学习行为出发,探究工科学生的学习过程与机理,以期丰富工科生学习理论,并为国内工科教学改革与人才培养实践提供启示。

1 研究过程与资料整理

芯片技术是我国现阶段亟需突破的关键核心技术

之一,而培养相关领域人才是破解我国芯片“卡脖子”困境的关键。芯片技术相关专业具有显著的工科教育特征,不仅强调理论与实践相结合、注重“从做中学”,还重视设计与实验课程,着力培养学生面向经济与社会需求、解决实际工程问题的能力^[10]。中国科学院大学“一生一芯”人才培养实验项目团队在实践中探索出芯片人才培养的OOICCI模式。该模式包括开源式学生招募(open enrollment)、目标导向式培养体系(outcome-oriented procedures)、个性化成长阶段(individualized phases)、贯通式课程实践(coherent practices)、级联式学习共同体(cascaded communities)和引导式能力训练(inductive trainings),培养了一批芯片人才^[15]。

2022年2月至9月,笔者深入“一生一芯”项目,通过参与式观察法收集了大量文字和音视频资料。具体包括:加入微信学习小组、旁听小组组会、参与项目管理团队例会、参加招生宣传与学员经验交流活动、浏览项目网站公开信息、收集学习论坛互动问答等。在此期间,笔者对项目团队带头人和学员共35人进行了5次深度追踪访谈。通过多来源、多类型数据的相互验证,有效提升了研究的信效度。基于丰富的一手资料,笔者通过归纳法抽提出芯片人才培养OOICCI模式的理路与机制,并结合归纳与演绎方法,深入探究其提升芯片人才胜任力的机理,展示“一生一芯”教学情境对学员学习过程和结果的显著影响。

2 理论视角:自我调节学习

自我调节学习理论源于学者对人类控制和调节行为的普遍研究兴趣。在自我调节学习理论提出之前,学界对学生学习行为与学业成就的解释主要经历了智力视角^[16]、社会环境塑造视角^[17]、课程与教学视角^[18]等阶段。然而,这些视角均将学习行为视为对教学行为的被动反应,忽视了学习者的主动性,因而难以解释为何一些在传统智力测验中得分较低、社会背景不利、无法享受优质教育资源的学生仍能取得较好的学业成就,而某些在各方面都占有优势的学生却遭遇学业失败^[19]。当研究者将关注点从学生的智力

和家校环境转向学生对自身作为学习者的认知及采取的学习策略时, 他们发现学习并非被动发生在学生身上, 而是由学生主动发起的过程。也就是说, 学习者对自身学习行为的积极主动调节是影响其学业成就的关键因素^[20]。因此, 学习者的自我调节学习逐渐受到研究者的重视。尽管不同学者基于具体研究问题和情境对自我调节学习的定义不尽相同, 并发展出多种理论模型, 但学习者对自我调节学习有效性的意识、基于学习效果反馈环路的内隐性自我认知和外显性学习行为的改变, 以及自我调节学习的动机维度, 均受到了普遍关注^[21]。其中, 齐默曼 (Barry J. Zimmerman) 的定义因其综合性而产生了广泛影响。他将自我调节学习定义为学习者基于一定的自我效能感, 从元认知、动机和行为等方面, 在学习过程中采取积极主动的策略, 以实现特定的学习目标^[22]。齐默曼认为, 成就目标设定、自我效能感和自我调节学习策略是影响个体自我调节学习水平的三个关键因素。成就目标设定指学习者在开始学习活动前根据自身情况设定目标, 并在学习过程中根据情况变化调整目标^[23], 这体现了学习者的学习动机。自我效能感指个体相信自己有能力完成某项任务, 反映了个体对自身能力的自信。作为受学习效果反馈环路影响的内隐性自我认知, 自我效能感能够影响个体对任务的选择、学习的努力程度, 以及在追求目标过程中的情绪体验和坚持性^[13]。自我调节学习策略指学习者为了习得知识或技能而采取的具体行动, 是受学习效果反馈环路影响的外显性学习行为, 主要包括元认知策略、动机策略和行为策略。元认知是以认知本身为对象的活动, 指主体对自身认知活动的知识, 以及对认知过程积极而自觉地监测和连续调节^[24], 体现了学习者对自我调节学习过程的意识。元认知包括静态的元认知知识、动态的元认知调节以及作为动静中介的元认知体验。元认知知识反映个体对认知活动及其影响因素的认识, 元认知调节指个体对当前认知活动的计划、监督、评估及基于此的调整^[25], 元认知体验则是连接静态与动态的桥梁, 指个体对认知活动相关情况的觉察与感受^[26]。在自我调节学习理论视角下,

已有实证研究验证了成就目标设定、自我效能感与自我调节学习策略三者之间的相互影响。例如, 自我效能感会影响学习行为和学习目标设定^[27], 拥有掌握成就目标的学生通常善于运用自我调节学习策略^[28], 而自我调节学习者往往表现出高水平的自我效能感和掌握成就目标^[29]。然而, 现有理论框架及相关实证研究对这三者的作用机理仍缺乏深入阐述。例如, 学习者的学习动机在学习过程中是如何变化的? 学习效果反馈环路如何作用于其自我效能感 (内隐性自我认知) 和自我调节学习策略 (外显性行为)? 元认知体验如何连接静态元认知知识与动态元认知调节? 由此可见, 在自我调节学习理论视角下, 学生学习机理这一“黑箱”尚未被完全揭示, 仍有待进一步探究。

本文将基于自我调节学习理论, 重点围绕自我调节学习策略、自我效能感、成就目标设定三个核心概念, 深入挖掘“一生一芯”学员在主体和行为层面的学习过程与机理。

3 “一生一芯”学员自我调节学习的过程与机理

3.1 成就目标设定: 从“成绩目标”到“掌握目标”的转变

成就目标可分为成绩目标和掌握目标两种类型, 不同的目标导向会引发不同的动机与行为模式。在成绩目标导向下, 主体的学习动机主要源于获得外部肯定性评价, 关注点在于是否超越他人以及最终是否取得成功。而在掌握目标导向下, 主体的学习动机则聚焦于获取新知识、提升技能水平, 学习者更重视学习过程本身^[30]。调研和分析表明, “一生一芯”项目学员的成就目标经历了从“成绩目标”到“掌握目标”的转变。

笔者在初次访谈时询问学员: “你参加‘一生一芯’时的预期目标是什么?” 大多数学员的回答是“当然希望流片^①” (TG; LYY)^②, “不想流片的肯定不会来呀” (WCK; YLM)。由此可见, 学员在项目初期更关注的是最终的学习成果——是否成功流

① 流片是指通过一系列工艺步骤制造芯片。

② 为保护受访者隐私并遵循学术管理规范及伦理要求, 本研究对受访者进行匿名化处理。

片。在成绩目标导向下,学员的学习行为受外部动机驱动,他们始终关心是否比别人学得更多,任务是否完成得又快又好,以期最终获得流片机会。然而,“很多同学原本以为只需学习半年就能流片,后来发现事实并非如此。特别是对于基础薄弱的学生,需要学习的内容远超他们的预期,因此一些人难以坚持下去,中途退出。”(NRT)但仍有部分学员坚持了下来。当被问及“你为什么能够坚持学习?”时,这批学员纷纷回答,“觉得能够学到知识”(FHY; LZR),“觉得能够提高自己的能力”(BR; WYL)。这表明,尽管这些学员最初可能受外部动机驱使,以“流片”这一成绩目标为出发点,但最终他们实现了向掌握目标的转变。进一步分析发现,这些学员更重视在“一生一芯”项目中的学习过程本身,而非与他人一较高下——“学着学着就懂得要跟自己比较,而不是看其他人学到了什么程度。”(FHY)在掌握目标导向下,个体更倾向于接受挑战性任务,重视勤奋与努力,这促使他们采取积极主动的学习策略^[30]。本研究发现,“一生一芯”学员的学习过程与此相呼应。同时,元认知在学员执行自我调节学习策略的过程中起到了关键作用。

3.2 自我调节学习策略:元认知的关键作用

分析发现,学员在学习过程中不断地积累、丰富元认知知识,经历积极或消极的元认知体验,而元认知体验又为学员提供有关当前认知活动的反馈信息,进而促使学员采取一系列元认知策略调节学习行为。

3.2.1 元认知知识:认识到学习方法和学习态度的重要性 元认知知识是个体对自我认知活动的认知,它能够影响个体对“什么对学习是重要的”这一问题的看法^[24]。通过访谈发现,学员在参与“一生一芯”项目的过程中,逐渐认识到学习方法和学习态度的重要性,并因此获得了相应的元认知知识。从学习方法的角度来看,学员首先意识到,在向他人寻求学习帮助之前,独立思考是至关重要的。这主要是因为,“代码的逻辑比较复杂”(MJL),“会出现很多离奇的bug,也许其他人都没有遇见过”(LHZ),“虽然别人能看出你代码的整体框架,但每个人的实现逻辑还是有区别的”(WR)。在多次经历被学员戏称为“玄学”的情况后,学员们逐渐学会了在遇到问题时,

“首先自己思考,然后再与他人讨论,否则连讨论的内容都无法明确”(ZJ)。

其次,学员还意识到亲身实践的重要性。芯片相关专业具有工程学科的典型特征,“从做中学”的实践学习对工科学生的发展非常重要。然而,由于当前我国高校课程与教学方案中理论与实践训练的脱节^[31],学生真正体验实践学习的机会较少,难以体会其重要性。在“一生一芯”项目中,学员需要围绕环境、工具、数电、微结构和软件五个知识模块,完成贯通式实践学习任务。在此过程中,学员们发现“课本上有些东西过时了,和真正的实践是脱节的”(XH)。这一发现不仅让学员更踏实地“在做任务的过程中学习知识点”,也进一步提升了他们对校内实践学习的正确态度和积极性——“实验课不再是为了完成任务而完成,学习不再只为了绩点……更加珍惜每一次实验课的实践机会”(QJL)。

从学习态度维度来看,学员意识到细心和坚持的重要性。细心对计算机相关专业的学生尤为重要,因为“如果不了解程序的细节,遇到bug时将无从下手”(FHY)。项目组在学员的学习讲义和任务书中设置了许多“坑”。例如,本该是数字1的地方,讲义中故意写成字母L,学员稍不注意,“就会导致整个程序没有办法运行”(LHZ)。这些“坑”让学员深刻认识到细节的重要性,因为“任何一个细节错误都需要回头检查整个程序”(XX)。与此紧密相关的是,在一次次“爬坑”的过程中,学员体会到坚持的重要性——“开始阶段非常困难,遇到问题时毫无头绪,倍感痛苦……我们要做的就是咬牙坚持,寻找思路和解决方法,挺过这个节点后,许多问题都会豁然开朗”(LYM)。在项目学习过程中,学员不仅收获了静态的元认知知识,还经历了不同的元认知体验。

3.2.2 元认知体验:经历积极-消极-积极的情绪情感转变 元认知体验贯穿个体认知活动的始终。在认知活动开始时,个体主要获得有关任务难度、熟悉程度以及对能否完成任务的评估等体验;在认知活动过程中,个体主要获得有关认知活动进展、遇到的障碍或困难的体验;在认知活动结束后,个体主要获得关于目标是否达到、认知活动效果和效率以及收获的体验^[26]。元认知体验往往体现为个体积极或消极的情

绪情感^[32]。分析发现,学员在项目学习过程中经历了从积极到消极的元认知体验变化,而最终能够坚持下来的学员普遍能够从学习困难中体会到积极的元认知体验。

如3.1节所述,大部分学员在最初报名参加项目时,希望自己最终能够流片成功,此时他们的情绪是亢奋激动的,对学习的情感是正面的,态度和行为是积极的。然而,随着学习的深入,部分学员意识到想要流片,就需要持续不断地投入。但他们“注重短期收益,觉得要求完成的任务不是他们想要的,要流片不知道到猴年马月了”(WR)。再加上“他们遇到阻碍,做简单的尝试无果后,就直接放弃”(ZYX)。这些学员在学习过程中因期望与实际间的落差而感到失落,在面对困难时,他们采取了消极的态度和行为,最终选择放弃。

与之相反的是,在与笔者的对话中,坚持下来的学员不仅描述了自己遇到的困难,还提及了解决困难后积极的情绪情感体验,如“会遇到很多未知的bug……但当你看到它们真正跑起来的时候,那种成就感!”(DHW);“看着自己的处理器性能不断提高那种兴奋感”(NRT);“通过各种测试,完成一个阶段性目标,继续愉快地写代码”(XH)。元认知体验对个体的行为选择和投入产生重要影响^[32]。进一步分析发现,基于对学习方法和态度的正确认识,以及诸如“成就感”“兴奋感”“愉快”等积极的元认知体验,促使学员们脚踏实地、持之以恒地采取一系列元认知调节策略。

3.2.3 元认知调节:计划、监督、评估、调整的学习策略 元认知调节过程包括计划、监督、评估和调整等环节。计划是指个体为达成学习目标而选择合适策略及分配资源等行为过程;监督是指个体对自身学习策略、过程与进展的观察与监视等行为过程;评估是指个体对自身学习过程与结果的评价与反思等行为过程;调整则是指个体基于前述行为活动所获信息,不断优化自身学习行为的动态过程^[33]。分析发现,学员在项目学习过程中的计划策略表现为:明确学习计划与节奏、协调校内学业与项目学习时间;监督策略表现为:通过书面形式记录学习进展,并以此作为自我观察学习的依据;评估策略表现为:学员对自身学习收获与成长的评价,以及在面对失败时对自身行为

的反思;调整策略表现为:学员基于评估与反思,不断优化自己的学习策略与目标。笔者在访谈中发现,部分学员中途放弃是因为“无法兼顾学校内的学业与‘一生一芯’项目学习”(LAD)。由此可见,学员在项目学习过程中首先需要平衡好校内学习与项目学习的关系。而坚持下来的学员则能够在二者之间实现优势互补——“在项目中着重学的是在学校没有办法接触到的……学校里学过的,在项目里就不会花太多精力”(WYL)。此外,他们往往会投入大量课外时间于项目学习,“除了课上的学习时间外,所有的空余时间都搭在项目上了”(SRX);“晚上和周末的时间基本上都花在‘一生一芯’上”(XX)。除了合理分配时间精力外,学员严格遵循项目组要求,详细记录学习过程。通过记录思考方式与努力过程,学员不仅“肉眼可见地获得了成长”(YZH),实现了自我监督——“有时候看到这周记录写得不好,会想如果不好好写,那不是白来了嘛!就会继续认真地写”(ZJ)。“一生一芯”项目组秉持开源理念,招收学员时不设学习基础门槛。对于基础较差甚至零基础的学员而言,“开始时需要查漏补缺的太多了,吃的苦比别人多很多”(DHW)。然而,学员们会在学习过程中持续评估自己的进展与收获——“之前是完全理解不了,但慢慢感觉到自己理解了。虽然难度在提升,但是debug的手段也在提高”(MJL)。除了对自身进展和收获有清晰认知外,学员在面对失败时会首先反思“为什么这个方案不行?”(DYM),并基于反思评估是否应该继续坚持。“当我遇到困难失败时,我会想它是否值得继续做下去,如果值得,我就重新评估我能否接着做下去,如果只是我在钻牛角尖,那我就换个其他的任务做”(WYL)。基于计划、监督、评估等元认知过程中获得的信息,学员最终能够有针对性地调整学习策略——遇到问题时,“改一改这个地方,那个地方,或者变一变编译参数,就差不多能把问题解决”(DYM);优化设计时,“根据自己的需求或者边界条件,编写自己的测试集,对自己的代码负责,让CPU处理器更完美”(FHY);甚至在无法达成预期目标时,“先给自己换一个较低的目标,后面持续地往高阶目标走”(DHW)。而驱动学员采取这一系列元认知学习策略的关键因素,正是积极的情

绪情感体验所带来的自我效能感。

3.3.3 自我效能感：成功经验的正反馈提升内在学习动机 自我效能感代表主体对自己能力的自信心。高自我效能感的学生倾向于接受挑战性任务，并能够付出更大的努力，在没有达到目标时也能控制自己的焦虑和紧张，而成功经验是自我效能感的一个重要来源^[13]。从上述分析可以看出，学员在项目学习中以“掌握目标”为导向，通过独立思考和实践积累经验。尽管在学习过程中可能会经历一些消极情绪，但他们能够从克服困难中获得成就感和兴奋感，并主动运用元认知调节策略。究其原因，学员在学习过程中持续积累成功经验，从而提升了自我效能感，继而保持了内在学习动机。通过对学员学习记录的追踪观察发现，最初记录内容中类似“看也看不懂”的抱怨较多（MJL），学员常常怀疑“自己能不能坚持下来？”（MXL），这表明学员在项目学习初期的自信心相对不足。然而，随着学习的深入，记录中关于解决问题的能力内容逐渐增多，这反映出学员通过项目学习提升了解决问题的能力。成功经验为学员提供了正向反馈，学员由此觉得“自己很牛”（LFF）。同时“技术上提

升了，兴趣好像也变得越来越浓郁”（LYM）。在不断增强的自信心中，学员的自我效能感得到强化，由此“愿意坚持”（YZH）“想继续学”（ZYX）且“有信心和意愿去挑战所遇到的问题”（DYM）。由此可见，基于成功经验强化的自我效能感成为学员学习行为的内在驱动力，对促进学员由“成绩目标”向“掌握目标”的转变起到了关键作用。图1展示了主体和行为层面下，“一生一芯”人才培养新模式下学员的自我调节学习过程与机理。

4 结果与讨论

我国是工程教育大国，但是工程教育研究无论深度广度都远远不能适应工程教育发展的需要。而且当前的研究多偏宏观问题探讨，对学生的学与教师的教等微观研究主题关注较少^[34]，且现有偏微观的研究更多是经验总结，缺乏深入的机理探究^[35]。针对这些问题，本文基于自我调节学习理论视角，围绕成就目标设定、自我调节学习策略、自我效能感三个核心概念，扎根中国工程教育实践情境，试图通过中西

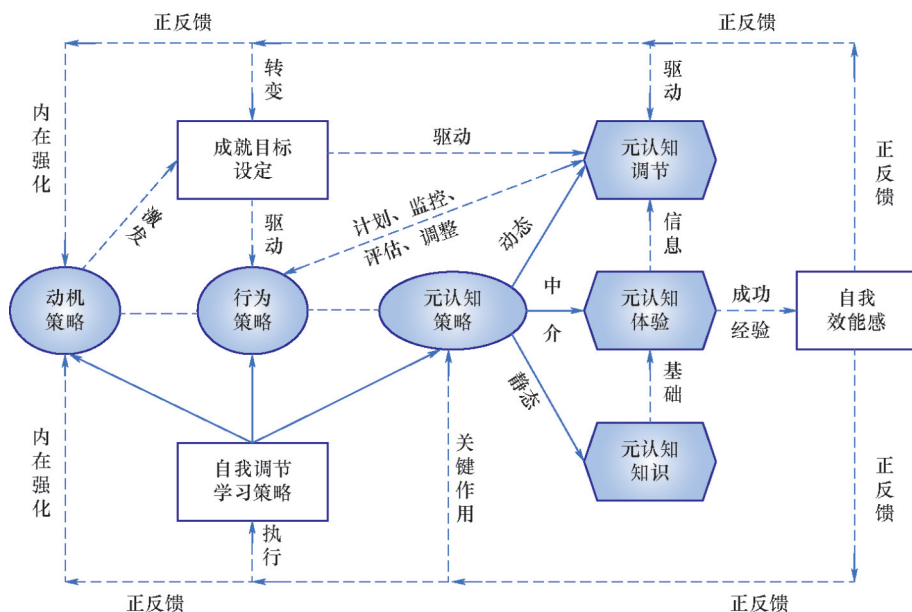


图1 “一生一芯”项目学员的自我调节学习过程与机理（阴影与不同形状实线展示本文借鉴的自我调节学习理论视角，虚线表示“一生一芯”项目学员自我调节学习过程，箭头表示学习机理作用方向）

Figure 1 The self-regulated learning process and mechanism of students in the "One Student, One Chip" Project (Shaded areas and different solid lines illustrate the theoretical perspectives of self-regulated learning referenced in this paper. Dotted lines represent the self-regulated learning process of students in the "One Student, One Chip" project. Arrows indicate the direction of the learning mechanisms)

实践与理论对话, 总结中国工程教育教学改革与人才培养创新经验, 打开工科生学习过程与机理的微观“黑箱”, 探讨对我国工程教育的启示。

4.1 拓展高等工程教育研究的理论探索

研究发现, “一生一芯”项目学员在学习过程中, 首先收获有关独立思考和亲身实践等学习方法, 以及细心和坚持等学习态度重要性的元认知知识, 学员经历的“积极-消极-积极”的元认知体验, 为其提供当前认知活动的信息, 进而促使其采取计划、监控、评估、调整等一系列元认知策略调节学习行为, 学员在此过程中不断收获成功经验的正反馈, 形成由成功经验的正反馈链接的学习环路。具体表现为, 首先, 成功经验的正反馈提升学员自我效能感, 强化其内在学习动机, 这在激发学员最终由“成绩目标”向“掌握目标”的转变中起到了关键作用。其次, “掌握目标”和自我效能感又同时进一步驱动学员积极主动地采取系列元认知调节行为策略。此外, 成功经验的正反馈也使学员意识到自我调节学习策略的有效性, 进而促使其在学习过程中保持动机策略、执行行为策略、发挥元认知策略的关键作用。

综上, 成功经验的正反馈首先直接作用于“一生一芯”学员内隐性自我效能感。基于此形成的正反馈环路对学员外显性自我调节学习行为的不同方面产生相应作用(如图1所示)。由此, 本研究不仅拓展了自我调节学习理论的应用情境, 也丰富了自我调节学习理论的内涵。

4.2 对工科教育改革实践的启示

个体发展是主体、行为、环境等相互作用的过程^[13], 学习环境和教育教学过程对学生主体学习动机、学习行为策略及学习效果具有重要的影响^[36-38]。分析发现, “一生一芯”项目在教学环境营造、教学设计和教学过程监测方面, 为我国工程教育改革提供了启示借鉴。

4.2.1 营造“以学生学习为中心”的教育教学环境, 激发学生“掌握目标”导向的学习动机 “以学生学习为中心”的教育教学理念重视学习的内在价值, 承认学习既是教育的中心, 又是学生所有活动的中心^[38]。然而, 当下高校学生普遍被“焦虑”“内卷”所

困, 从入学起就关注学习的工具价值, 刻意选择“容易”“给分高”的课程以提高绩点, 最终获得保研名额^[39], 而学习的内在价值被严重忽视。这背后反映的是当下我国高等教育系统过度竞争的教育教学环境。

“一生一芯”项目“以学生学习为中心”营造“非竞争性”教育教学环境。招募时不对学员的学校、年级、知识基础做筛选, 为了保证学员学习效果, 对其学习过程进行监督, 但不设置任何选拔性质的考核^[38]。这使得学员拥有足够的心理安全感, 能够“跟自己比较”(FHY) 而不是关注自己是否比他人优秀, 由此激发学员“掌握目标”导向的学习动机, 使学员专注于积累知识和提高技能。

这对工科教学改革与人才培养的启示是, 营造“以学生学习为中心”的教育教学环境, 塑造“以学生学习为中心”的教学质量文化, 完善体制机制设计, 鼓励教师通过知识和能力导向的评价方式激发学生“掌握目标”导向的学习动机, 从而使将学习本身作为其所有活动的中心。

4.2.2 完善“以学生发展为中心”的教育教学设计, 强化学生自我效能感的驱动效果 “以学生发展为中心”强调以学生当前状态为基础, 一方面通过帮助学生完成阶段性发展任务, 另一方面通过发掘学生潜力, 以促进学生全面发展^[39]。学生的认知发展具有两种水平, 一是现有水平, 即不借助外部协助个体能独立达到的水平。二是潜在发展水平, 即个体基于自身能力和现有条件, 在外部力量的协助下可能达到的水平, 而两者之间的差异是“最近发展区”^[40]。虽然学生的发展都是不断跨越“最近发展区”而达到下一个发展水平的深化过程, 但由于个体差异, 每个学生的“最近发展区”不尽相同。

“一生一芯”项目“以学生发展为中心”, 遵循学员认知发展规律, 承认学员知识储备和能力的差异, 秉持“因材施教”的理念, 为学员提供三条不同的学习发展路线, 设计适合学员已有认知水平和潜在水平的学习目标。学员在适合自己的学习路线中, 运用一系列自我调节学习策略不断跨越自己的“最近发展区”, 由此不断获得学习结果的正反馈, 进而增强自我效能感, 驱动内生学习动机, 最终不断实施积极的学习行为策略。

这对工科教学改革与人才培养的启示是,完善“以学生发展为中心”教育教学设计,承认学生主体差异,基于学生“最近发展区”实施精准教学,并在此过程中采取过程性评价,对学生的学习成果给予及时正反馈,使学生看到自身成长进步,强化其自我效能感。

4.2.3 加强“以学习效果为中心”的教育过程监测,充分发挥学生元认知的关键作用 “以学习效果为中心”的教育教学理念强调学生的主体性对学习效果的决定性作用,而教师负责营造学习环境、设计教学活动、辅导学习过程^[40]。“一生一芯”项目创新性的教育教学方案设计首先在思想上使学员意识到自主学习的重要性。项目注重充分发挥学员自主性,为学员提供引导式能力训练,而非具体指导,以此提升学员重视学习态度和元认知知识。

“以学习效果为中心”的理念将学生学习效果作为判断教学工作成效的主要依据,重视追踪、收集、测量学生学习过程数据,建立有效及时的反馈机制,帮助学生调节学习行为,帮助教师调节教学行为。“一生一芯”项目紧抓过程管理,要求学员每1~3天按指定格式在项目网站上提交学习记录。助教每周日组会前会先了解学员学习记录,跟踪学员学习进展,会后在其工作日志中就学员学习态度和效果进行评价。对学习态度不积极和学习效果不理想的学员,助教会及时了解情况、分享经验,鼓励学员反思其学习行为,使学员基于自身需求调整学习行为,进而提高学习效果。同时,项目组也注重收集学员对教学安排的意见和建议,及时完善学习讲义、调整教学安排。

这对工科教学改革与人才培养的启示是,加强“以学习效果为中心”的教育过程监测,注重收集学生和教师双方对教学效果的反馈意见,研制循证的教育教学创新方案。

5 结论与展望

理解工科学生的学习过程与内在机理,对于破解高等工程教育中“重理论轻实践”“学生主体性缺失”等痛点具有重要的理论价值与现实意义。本研究借助自我调节学习理论的透镜,通过对“一生一芯”这一典型教改项目的质性深描,深入探究了工科学生在复

杂工程实践中的学习机理。研究发现,工科生的学习过程并非简单的知识堆砌,而是一个在特定教育生态中,由内隐认知与外显行为持续交互构成的动态循环系统。学员的成就目标设定经历了从“成绩目标”向“掌握目标”的根本性蜕变,元认知在学习策略的执行中扮演了核心枢纽角色,而基于成功经验的正向反馈则构成了驱动自我效能感与内在动机的关键引擎。

具体而言,工科生学习机理呈现出三个层面的深度耦合。首先,在动机维度,学员的成就目标并非一成不变,而是经历了一个显著的“转型期”。项目初期,受既有教育惯性影响,学员多持“成绩目标”,关注点在于“能否流片”及“排名高低”。然而,在“一生一芯”所营造的非竞争性、以学习为中心的环境中,学员逐渐摒弃了与他人比较的外部动机,转而聚焦于知识的获取与技能的精进。这种向“掌握目标”的转变,使得学员更愿意主动拥抱挑战,在遇到困难时表现出更强的坚持性,从而在行为上确立了以探索和理解为核心的内在驱动力。

其次,在行为调节维度,元认知发挥了不可替代的关键作用。这种作用不仅体现为静态的“元认知知识”(即对有效学习方法的认知),更体现为动态的“元认知调节”过程。研究发现,学员在“做中学”的过程中,重构了对“有效学习”的认知,深刻领悟到独立思考、亲身实践、细心与坚持的重要性。同时,学员普遍经历了“积极期待-消极挫败-积极成就感”的情绪波动,这种元认知体验成为触发调节的信号。基于此,学员主动采取了计划(平衡校内与项目时间)、监督(撰写日志)、评估(反思失败)和调整(优化方案)等一系列策略,形成了一个由认知驱动行为、行为反馈认知的闭环。

最后,在心理机制维度,自我效能感构成了连接学习行为与学习成效的内在纽带。研究证实,学员的内在动机并非凭空产生,而是建立在坚实的成功经验基础之上。在项目初期,面对复杂的芯片设计任务,学员普遍伴随着自我怀疑。但随着“爬坑”过程的推进,每一次微小的成功(如代码通过测试、BUG被修复)都构成了正向反馈。这种持续的正反馈显著提升了学员的自我效能感,使其从“怀疑自己能不能”转变为“觉得自己很牛”,进而强化了面对更高阶挑

战的意愿。由此,本研究构建了一个完整的学习机理模型:掌握目标引导下的元认知调节行为,不断积累成功经验,进而提升自我效能感,最终反哺并强化了内在的学习动机。

本研究通过打开“一生一芯”学员的学习过程黑箱,不仅验证了自我调节学习理论在高等工程教育情境下的适用性,更丰富了其内涵,特别是揭示了“目标-策略-效能感”三者间的动态交互路径。在实践层面,工科教学改革应致力于营造“以学生学习为中心”的非竞争性环境,通过设计符合学生认知规律的

进阶式任务(最近发展区),并强化过程性的监测与反馈,从而激发学生的主体性,使其在“做”中实现从“要我学”到“我要学”的根本转变。

当然,本研究也存在一定的局限性。由于样本主要来源于“一生一芯”这一特定的精英项目,其结论在普通工科教育情境中的普适性仍有待检验。此外,本研究主要聚焦于个体心理机制,未来研究可进一步引入社会文化视角,探讨同伴互动、导师引导以及学科文化等外部因素对工科生学习机理的复杂影响,以构建更加全面和立体的工程教育学习理论框架。

致谢

研究工作受教育部计算机系统与处理器芯片课程虚拟教研室支持。

参考文献

- [1] Jesiek B K, Borrego M, Beddoes K. Advancing global capacity for engineering education research (AGCEER): Relating research to practice, policy, and industry[J]. *Journal of Engineering Education*, 2010, 99(2): 107-119.
- [2] 王超, 李冰冰, 晋媛媛. 卓越工程师培养机制中“实践不实”现象的诱发因素研究: 基于参与者视角的扎根理论分析[J]. *中国高教研究*, 2022(9): 46-52.
Wang C, Li B B, Jin Y Y. The factors contributing to the phenomenon of "incomplete practice" in the cultivation mechanism of excellent engineers: Grounded theory analysis based on participant perspective[J]. *China Higher Education Research*, 2022(9): 46-52.
- [3] 胡波, 冯辉, 韩伟力, 等. 加快新工科建设, 推进工程教育改革创新: “综合性高校工程教育发展策略研讨会”综述[J]. *复旦教育论坛*, 2017, 15(2): 20-27, 2.
Hu B, Feng H, Han W L, et al. Accelerating the establishment of new engineering and technical disciplines and promoting the innovation in engineering education: A review of the symposium on the strategy of developing higher engineering education[J]. *Fudan Education Forum*, 2017, 15(2): 20-27, 2.
- [4] 李培根, 许晓东, 陈国松. 我国本科工程教育实践教学问题与原因探析[J]. *高等工程教育研究*, 2012(3): 1-6.
Li P G, Xu X D, Chen G S. On practical teaching of undergraduate engineering education in China: Problems and causes[J]. *Research in Higher Education of Engineering*, 2012(3): 1-6.
- [5] 马涛, 何仁龙. 高等工程教育: 迎接学科交叉融合的挑战: 从工业界诉求看我国高等工程教育改革的方向与策略[J]. *复旦教育论坛*, 2007, 5(2): 65-69.
Ma T, He R L. Higher engineering education, ready for the challenge of multi- inter-disciplinary: Reform of higher engineering education from the view of industry needs[J]. *Fudan Education Forum*, 2007, 5(2): 65-69.
- [6] Lohmann J, Froyd F. Chronological and ontological development of engineering education as a field of scientific inquiry[M]//Aditya J, Barbara M O. *Cambridge Handbook of Engineering Education Research*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014: 3-26.
- [7] 宋亚峰, 孙晶, 郝海霞. 高等工程教育研究的世界图景与中国特色[J]. *高等工程教育研究*, 2022(6): 186-192.
Song Y F, Sun J, Qie H X. The world picture and Chinese characteristics of higher engineering education research[J]. *Research in Higher Education of Engineering*, 2022(6): 186-192.
- [8] Johri A, Olds B M. Situated engineering learning: Bridging engineering education research and the learning sciences[J]. *Journal of Engineering Education*, 2011, 100(1): 151-185.
- [9] Heywood J. *Engineering Education: Research and Development in Curriculum and Instruction*[M]. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2005.
- [10] 项聪. 工程学习: 模式变迁与理论阐释[J]. *高等工程教育研究*, 2015(4): 55-63.
Xiang C. Engineering learning: Pattern reforming and theoretical explanation[J]. *Research in Higher Education of Engineering*, 2015(4): 55-63.

- [11] Christie M, de Graaff E. The philosophical and pedagogical underpinnings of active learning in engineering education[J]. *European Journal of Engineering Education*, 2016, 42(1): 5-16.
- [12] 丁飞己. 工科本科生主动学习特征及其影响因素分析[J]. *江苏高教*, 2020(3): 23-29.
Ding F J. The characteristics of active learning of engineering undergraduates and its influence factors[J]. *Jiangsu Higher Education*, 2020(3): 23-29.
- [13] Bandura A. *Social Foundations of Thought and Action: A Social Cognitive Theory*[M]. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1986.
- [14] Cervin-Ellqvist M, Larsson D, Adawi T, et al. Metacognitive illusion or self-regulated learning? Assessing engineering students' learning strategies against the backdrop of recent advances in cognitive science[J]. *Higher Education*, 2021, 82(3): 477-498.
- [15] 徐艳茹, 刘继安, 解壁伟, 等. 科教融合培养关键核心技术人才的理论与机制——OOICCI芯片人才培养方案解析[J]. *高等工程教育研究*, 2023(1): 20-26+43.
Xu Y R, Liu J A, Xie B W, et al. Practices and mechanisms for cultivating talents of core technologies through research-teaching-study nexus: An analysis of OOICCI Model[J]. *Research in Higher Education of Engineering*, 2023(1): 20-26+43.
- [16] Cronbach L J. The two disciplines of scientific psychology[J]. *American Psychologist*, 1957, 12(11): 671-684.
- [17] Bloom B. Stability and change in human characteristics[J]. *American Journal of Psychology*, 1966, 79: 167.
- [18] National Commission on Excellence in Education. *A Nation at Risk: The Imperative for Educational Reform*[M]. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2013
- [19] Zimmerman B J. Models of self-regulated learning and academic achievement[M]//Zimmerman B J, Schunk D H. *Springer Series in Cognitive Development*. New York, NY: Springer New York, 1989: 1-25.
- [20] Zimmerman B J. Becoming a self-regulated learner: Which are the key subprocesses?[J]. *Contemporary Educational Psychology*, 1986, 11(4): 307-313.
- [21] Puustinen M, Pulkkinen L. Models of self-regulated learning: A review[J]. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 2001, 45(3): 269-286.
- [22] Zimmerman B J. A social cognitive view of self-regulated academic learning[J]. *Journal of Educational Psychology*, 1989, 81(3): 329-339.
- [23] Zimmerman B J, Campillo M. *Motivating self-regulated problem solvers*[M]//*The Psychology of Problem Solving*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003: 233-262.
- [24] Flavell J H. *Metacognitive aspects of problem solving*[M]//*The Nature of Intelligence*. London: Routledge, 2024: 231-236.
- [25] Brown A. *Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms*[M]//Weinert F, Kluwe R. *Metacognition, Motivation, and Understanding*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum, 1987
- [26] 汪玲, 郭德俊. 元认知的本质与要素[J]. *心理学报*, 2000, 32(4): 458-463.
Wang L, Guo D J. The nature and components of metacognition[J]. *Journal of Chinese Psychology Acta Psychologica Sinica*, 2000, 32(4): 458-463.
- [27] Zimmerman B J, Bandura A, Martinez-Pons M. Self-motivation for academic attainment: The role of self-efficacy beliefs and personal goal setting[J]. *American Educational Research Journal*, 1992, 29(3): 663-676.
- [28] Ford J K, Smith E M, Weissbein D A, et al. Relationships of goal orientation, metacognitive activity, and practice strategies with learning outcomes and transfer[J]. *Journal of Applied Psychology*, 1998, 83(2): 218-233.
- [29] Wolters C A, Yu S L, Pintrich P R. The relation between goal orientation and students' motivational beliefs and self-regulated learning[J]. *Learning and Individual Differences*, 1996, 8(3): 211-238.
- [30] Ames C, Archer J. Achievement goals in the classroom: Students' learning strategies and motivation processes[J]. *Journal of Educational Psychology*, 1988, 80(3): 260-267.
- [31] 余东升, 胡善姣, 邹雪城, 等. 研究型大学集成电路人才培养的难点及破解策略: 华中科技大学集成电路设计与集成系统专业教改案例研究[J]. *高等工程教育研究*, 2022(3): 52-59.
Yu D S, Hu S J, Zou X C, et al. Difficulties and solving strategies of integrated circuit talents training in research university: Case study of integrated circuit design and integrated system major in Huazhong University of science and technology[J]. *Research in Higher Education of Engineering*, 2022(3): 52-59.
- [32] Efklides A. Interactions of metacognition with motivation and affect in self-regulated learning: The MASRL model[J]. *Educational Psychologist*, 2011, 46(1): 6-25.
- [33] Kluwe R. H. *Executive decisions and regulation of problem solving*[M]//Weinert F, Kluwe R. *Metacognition, Motivation, and Understanding*. Hillsdale: Erlbaum, 1987: 31-64.
- [34] 任令涛, 余东升. 中国工程教育研究国际地位和影响力研究: 基于5种SSCI期刊载文的分析[J]. *高等工程教育研究*, 2018(6): 182-187.
Ren L T, Yu D S. Research on the international status and influence of China's engineering education research[J]. *Research in Higher Education of Engineering*, 2018(6): 182-187.

Abstract: Understanding the learning processes and mechanisms of students in higher engineering education is of significance to facilitate effective learning strategies, thus improving academic achievements. Drawing on the theoretical perspective of self-

regulated learning, especially the notions of goal-setting, self-regulated strategies and self-efficacy, this article is a qualitative study based on eight-month fieldwork on the “One student, One Chip” program, deeply describing the learning behaviors, experiences and gains of students in engineering. In this way, students' learning mechanism will be explored. It is found that students' goal setting has transformed from performance-orientated to mastery-oriented; meta-cognition has played crucial role in self-regulated strategies; and the positive learning feedback has promoted students' self-efficacy, thus inspiring their internal motivation. Specifically, this study found that under the guidance of mastery-oriented goals, individuals tend to be willing to accept challenging tasks, value diligence and hard work, and to adopt proactive learning strategies. Throughout the learning process, students continuously accumulate and enrich their metacognitive knowledge, experiencing both positive and negative metacognitive experiences. These metacognitive experiences, in turn, provide students with feedback on their current cognitive activities, which further prompts them to adopt a series of metacognitive strategies to adjust their learning behaviors. Ultimately, guided by the mastery-oriented goal in project-based learning, students persist in independent thinking and hands-on practice. Although they may experience some negative emotional experiences, they are able to derive a sense of accomplishment and excitement from overcoming difficulties, and actively adopt a series of metacognitive adjustment strategies. The reason behind this is that students continuously gain successful experiences during the learning process, which enhances their self-efficacy and in turn sustains their intrinsic motivation for learning. This article illustrates the interactive mechanisms of vital factors influencing students' learning behaviors and effectiveness. This is achieved through the analysis from dimensions of covert perceptions and overt behaviors. In the learning process of the “One Student, One Chip” program, students first gain metacognitive knowledge about the importance of learning methods such as independent thinking and hands-on practice, as well as learning attitudes such as carefulness and perseverance. The “positive-negative-positive” metacognitive experiences that students undergo provide them with information about their current cognitive activities, prompting them to adopt a series of metacognitive strategies such as planning, monitoring, evaluating, and adjusting to regulate their learning behaviors. Throughout this process, students continuously receive positive feedback from their successful experiences, forming a learning loop linked by positive feedback from successful experiences. This manifests in the following ways.

Firstly, the positive feedback from successful experiences enhances students' self-efficacy, strengthening their intrinsic motivation for learning, which plays a crucial role in motivating students' ultimate shift from “performance-oriented goals” to “mastery-oriented goals”. Secondly, both “mastery-oriented goals” and self-efficacy further drive students to proactively adopt a series of metacognitive regulation strategies. Additionally, the positive feedback from successful experiences also makes trainees aware of the effectiveness of self-regulated learning strategies, encouraging them to maintain motivational strategies, execute behavioral strategies, and leverage metacognitive strategies in their learning process.

The theoretical contribution of this study resides in the enrichment of the framework and application situations of self-regulated theory through opening the black box of learning processes and mechanisms for students in engineering. Practically, this article offers implications in three aspects: constructing educational environment, improving educational design and strengthening educational monitoring.

Keywords: students in engineering; talents cultivation; learning mechanisms; self-regulated learning; higher engineering education