

以“精准滴灌、融合贯通”为主线的机械原理教学改革与实践

罗继曼* 郑夕健 王 丹 赵德宏

沈阳建筑大学机械学院, 沈阳

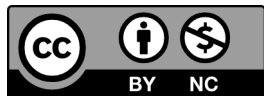
邮箱: syljm2004@163.com

摘 要 | 为了培养学生对复杂机械系统的分析能力、设计能力和机构创新能力, 机械原理课程以“金课”建设的“高阶性、创新性、挑战度”为引领, 开展了教学改革研究。构建了“精准施教”的教学模式, 通过“内容精准定位、团队精准组合、过程精准施教”这三要素开展核心知识点的精准教学; 以“学生”为中心, 按照认知规律进行教学设计, 以“导学”为导引, 以“导练”为强化, 以“导用”为提升, 利用“三导教学法”具体实践人才培养模式。形成了融合贯通、知识内化、能力持续强化的全课程知识体系; 基于边界再设计的思想, 重塑课程内容, 着力解决课程内、课程间核心内容的融合; 交叉应用各种教学环节、方法和手段, 持续进行知识传授与能力培养的强化, 为一流课程建设奠定基础。课程改革从核心知识点入手, 强调知识到技能的内化, 为学生今后从事机械方面的设计、研究和开发奠定重要的基础。

关键词 | 机械原理; 精准滴灌; 融合贯通; 三导教学法; 教学改革

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

课程是人才培养的核心要素, 教育部提出各高校要全面梳理各门课程的教学内容, 打造具有“两性一度”的金课。“机械原理”课程是机械类专业非常重要的核心专业基础课, 是机械类人才培养的重要环节, 对培养学生的分析、设计、综合和创新等核心能力起到至关重要的作用。本着“走进新时代, 推进新课改”的理念, 我们朝着“新素养、新结构、新方法”的方向进行了大胆改革。

沈阳建筑大学是一所培养工程应用型人才的教学型综合性大学, 机械设计制造及其自动化专业是国

家级特色专业，通过了国际工程教育专业认证。在新工科的理念指引下，综合我校机械专业人才培养定位，基于国际工程认证要求，依据专业培养目标，在课程体系、课程内容及实践环节、教学质量评价等方面开展研究，从而形成了以“精准滴灌”和“融合贯通”为2条主线的课程教学总体思路，构建了“以学生为中心”开展课程教学的人才培养模式。为培养具有较强解决工程复杂问题能力的应用型高层次人才提供依据和支撑^[1-3]。

2 总体教学设计思路

从人才需求出发，结合学校定位，基于课程目标，以“精准滴灌、融合贯通”两条主线开展教学，以实现学生“从知识到能力的内化”的核心任务，并以质量闭环跟踪反馈为管理手段，最终达到人才培养目标。教学改革总体设计框图见图1。

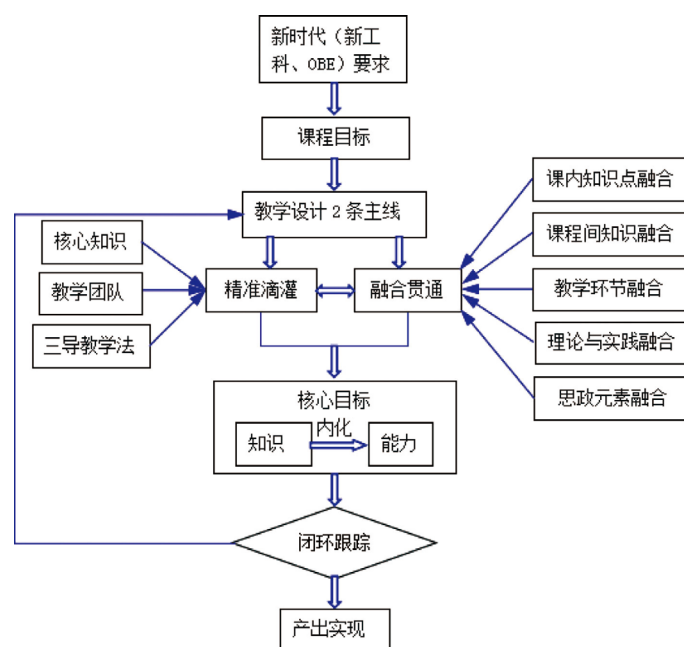


图1 机械原理新教改总体设计框图

Figure 1 Block diagram of the overall design of the new education reform on Theory of Machinery

基于以上总体设计思想，机械原理教学团队经过8年的实践与探索，探讨了“精准滴灌”三要素，研究了“融合贯通”多渠道，形成了“三导式教学方法”等新的教学模式和方法，提升了学生综合素养与创新意识，特别是解决复杂工程问题的能力；提高了教学质量，为培养具有“新素质、新能力、新结构”的应用型高层次人才提供依据和支撑。

3 “精准滴灌”三要素

借用习主席的“对症下药、精准滴灌、靶向治疗”的经典语句，在机械原理课程改革中也要实现“精

准滴灌”，即在有限的时间里获得更强的学生能力、更高的教学质量。教学团队按照“滴灌什么”“谁来滴灌”和“如何滴灌”这三要素，开展了相应的教学改革与建设。“精准滴灌”教改模型图见图2。

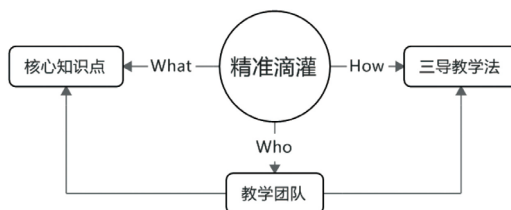


图2 “精准滴灌”教改模型图

Figure 2 Block diagram of the new education reform about “Precise Teaching”

3.1 精准定位核心知识点

为了在有效的时间内让学生掌握有用的理论和方法，教学团队按照“边界再设计”的思想，准确把握课程目标，依据 OBE 理念，确定了课程的核心知识点。

“机械原理”课程主要培养学生掌握机构学和机械动力学的基本理论与方法，使学生具有进行机械系统方案创新设计的能力。以培养学生的分析、设计等核心能力为导向，在课程基本内容中确定出 40 个核心知识点（表1），建立了 820 个练习的习题库，构建了丰富的教学资源库，用于清华大学出版社的网上课堂平台。通过对核心知识点的精准定位与提炼，老师们进一步明确了“教什么”问题。

表1 《机械原理》知识单元与核心知识点

Table 1 Knowledge unit and core knowledge points on Theory of Machinery

| 知识单元 | 核心知识点 | 知识单元 | 核心知识点 |
|-----------|--------------|-------------|---------------------|
| 平面机构的结构分析 | 机构的组成 | 齿轮机构 | 渐开线齿廓 |
| | 机构运动简图绘制 | | 渐开线直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸 |
| | 平面机构自由度分析 | | 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动 |
| | 平面机构的高副低代 | | 渐开线齿廓的加工及根切 |
| | 机构的组成原理和结构分析 | | 渐开线变位齿轮 |
| 平面机构的运动分析 | 瞬心法 | | 渐开线直齿圆柱齿轮的传动设计 |
| | 相对运动图解法 | | 斜齿圆柱齿轮机构 |
| | 运动分析解析法 | | 蜗杆蜗轮机构和圆锥齿轮机构 |
| 平面机构的力分析 | 移动副中的摩擦 | | 直齿圆柱齿轮参数测定的若干方法 |
| | 转动副中的摩擦 | 轮系设计 | 定轴轮系的传动比 |
| | 机构的受力分析 | | 周转轮系的传动比 |
| | 机械的效率和自锁 | | 复合轮系的传动比 |
| 连杆机构 | 平面连杆机构的类型及演化 | | 行星轮系各轮齿数和行星轮数的确定 |
| | 平面四杆机构的工作特性 | 机械的平衡 | 刚性转子的平衡计算 |
| | 平面四杆机构的图解法设计 | | 平面机构的平衡设计 |
| | 平面四杆机构的解析法设计 | 机械运转和速度波动调节 | 机械的等效动力学模型 |
| 凸轮机构 | 从动件的常用运动规律 | | 机械的动力学方程 |
| | 凸轮机构基本参数的确定 | 机械系统方案设计 | 机械运转速度波动的调节 |
| | 图解法设计凸轮轮廓 | | 机构的组合 |
| | 解析法设计凸轮轮廓 | | 机械执行系统的方案设计 |

3.2 精心打造教师团队

要完成“精准滴灌”的艰巨任务，就需要有只精锐的、能打硬仗的团队。团队建设上，通过“老带新”，促进年轻教师快速成长；通过“多关心、常交流”构建良好氛围；通过集体备课、教学沙龙等教研活动，交流教学方法和技巧，达成教学共识；通过共同完成教学资源建设，在实战中共同成长，提升教学能力，为“精准滴灌”提供了保障。

为了提升团队整体水平，采取了有效举措，常年派出教师参加教学方法的学习和培训，如教育部高教指导委员会主办的骨干教师高级研修班、卓越工程师培训班、高教司举办的“机械创新人才培训班”、国家精品课程师资培训班等；坚持参加全国的机械原理、机械设计和机械基础年会，与同行加强交流；担任省级机械创新设计大赛评委指导大赛；常年指导队员参加青年教师基本功大赛等。多位教师获得学院、学校的教学大赛、多媒体课件比赛奖项，团队获得学校的“五四集体”荣誉称号，使得教学模式的开展水到渠成。

课程负责人带领团队教师开展课程的教学研究，在课程体系完善和知识脉络梳理的基础上，建设了课程习题库，制作了辅助教学软件、微课，编写了由清华大学出版社出版的《机械原理知识点融合的例题精解》教材和《机械原理学习指导与分级练习》的云教材。由此，团队教师对教学边界的设计更加清晰，教学内容理解更加透彻，使教学质量得到提高。

3.3 精确设计教学法

以学生为中心，按6阶认知规律进行教学设计，形成“三导教学法”；该教学法在具体实施时，按照“融合贯通”的教学思路，从多种渠道分阶段、分步骤，多手段、多方法组织教学活动，实现精准施教。

根据布鲁姆提出的6阶认知层级理论，设定了“记忆、理解”“应用、分析”和“评价、创造”三类从低阶到高阶的教学目标，以“导学”为先导，用工程案例导引知识点，启发、引导学生完成低级目标；以“导练”来实现学生对所学知识的深入、灵活的掌握，已达到中级目标；以“导用”来达成知识、能力、素质的融合，实现高级目标。“三导教学法”通过下面的多种渠道，实现融合贯通，达到培养目标（图3）。

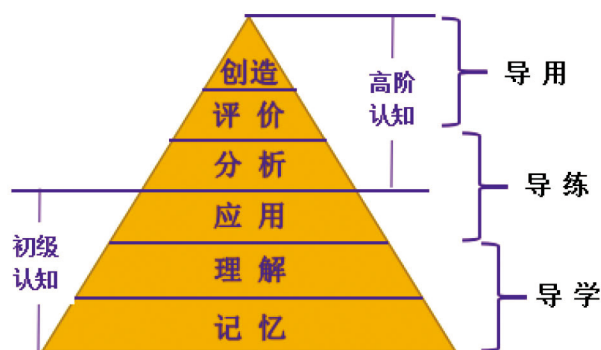


图3 布鲁姆认知层级与“三导”关系图

Figure 3 The relationship diagram of Broome's cognitive hierarchy and "three guidance teaching method"

“三导教学法”在具体实施时,根据不同阶段和环节采用了多种手段、方式和方法,组织了不同的教学活动。例如,在导学阶段,以工程案例为引领,引导学生掌握基本的概念和方法,因而,借助“云班课”的教学平台推送工程案例、机构动画、工作视频、扩展知识链接等,使学生对工程实例有初步的感官认识,提高学习兴趣;按节点推送国家精品课、慕课等学习资源,让学生对课程内容有初步认识。在导练阶段,根据核心知识点中的难点,自作了微课,精讲容易混淆的概念、精练难度较高的习题。在导用阶段,为机构分析、凸轮设计和齿轮组设计等模块训练环节编制了相应的交互式软件,让学生的分析与设计能力在具体的解决机构设计问题中得到巩固和提升,强化了学生工程应用能力和创新能力培养。

4 融合贯通：多渠道

知识的掌握不能是零散的,能力的培养也不能是孤立的。机械原理课程形成了“多渠道融合贯通”的全课程知识体系。依据新工科思想提出的“新素养、新结构、新手段”等要求,通过思政元素融入,提高学生素质;通过课程内、课程间知识点的融合,重塑教学内容;通过教学多环节融合,理论与实践、线上与线下结合等新手段开展教学实践,实现了对学生的知识、能力和素质的综合培养(图4)。

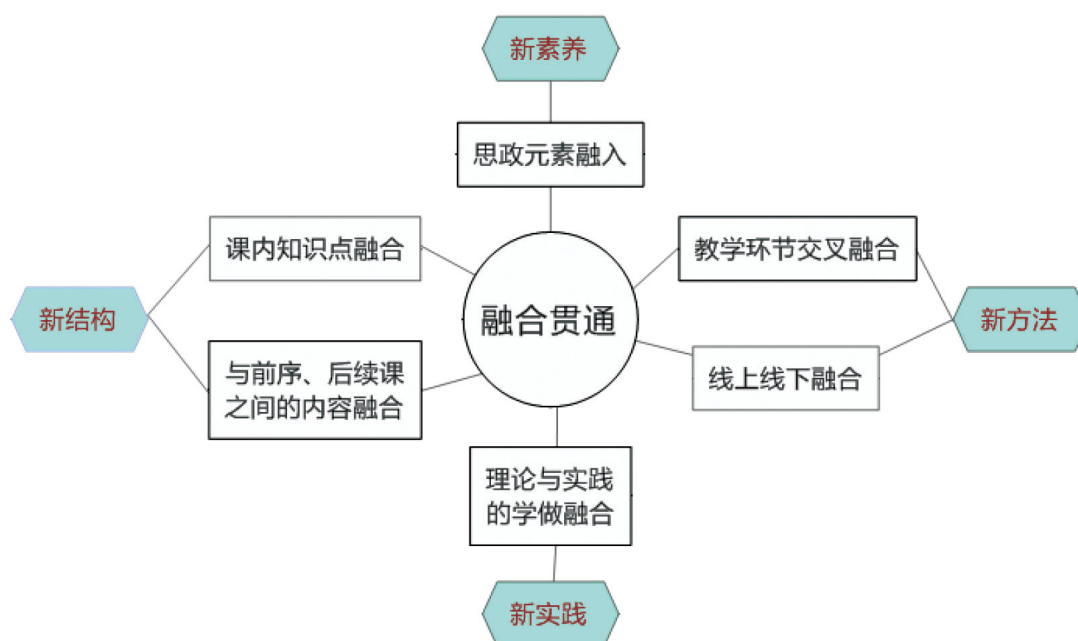


图4 “融合贯通”教改模型图

Figure 4 Block diagram of the new education reform about “Integration”

4.1 课内知识点的有机融合

基于各章核心知识点,按照能力培养的需求,将课程内容总体整合,形成核心知识点的全课程关联与交叉融合,强化知识的内化与技能的提升;在对知识点进行融合中,既保持知识点的独立性,又贯通知识点之间的联系。部分课内知识点融合的案例见表2。

表2 课内知识点融合案例表(部分)

Table 2 Table of In-class knowledge points integration case (part)

| 分析对象 | 内容 | 知识点与方法 | 目的 |
|-------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| 双摇杆机构 | 分别求解死点位置与极限位置、机构发生自锁的临界位置。 | 连杆机构运动特性、动力特性, 连杆受力分析, 自锁条件; 用作图法 | 强化了易混淆的知识点区别与联系 |
| 特殊廓线的盘型凸轮机构 | 分析该类凸轮的结构特点、运动和动力性能。 | 几何推导法、高副低代法、瞬心法和混合法 | 灵活应用多种不同方法解决问题 |
| 齿轮传动设计 | 将标准齿轮传动改为正传动时的设计 | 变位齿轮传动无侧隙啮合条件下的重合度计算、根切的判断、过渡曲线干涉验算 | 重要知识点的综合理解和应用 |

例如: 在学习平面连杆机构中, 以双摇杆机构为例, 将曲柄存在条件、死点位置、极限位置、受力分析、自锁条件等多知识点融合在一起, 通过作图分析比较了死点位置与极限位置、机构发生自锁的临界位置, 强化了区别与联系, 明晰了易混淆的知识点。

4.2 课程间断点的有序融合

本课程与前序的力学课程、后续的设计课程关联较大。课程间融合很有必要。针对本课程与理论力学、机械设计之间核心知识的断点问题, 与相关教师一起采取了沙龙活动、核心内容研讨, 实现各课程间的核心内容的连续贯通与融合(表3)。

表3 机械原理与理论力学、机械设计课程之间的三连通融合(部分)

Table 3 Table of the three-connected integration case between Theory of Machinery and Theoretical Mechanics and Mechanical Design courses

| 门类 | 理论力学 | 机械原理 | 机械设计 |
|-----|------------|----------------|------------|
| 运动学 | 刚体的运动方程 | 机构速度、加速度分析 | 链传动多边形效应 |
| | 速度、加速度合成定理 | 科氏加速度分析 | 齿轮、蜗杆的滑动速度 |
| | 刚体平面运动原理 | 基点法、瞬心法; 轮系反转法 | 齿轮啮合传动 |
| 力分析 | 约束、约束力 | 自由度计算; 约束反力求解 | 轴承支承反力 |
| | 平面、空间力系 | 刚性转子平衡分析 | 轴的弯扭计算 |
| | 力的平移定理 | 动态静力分析 | 轴系受力分析 |
| 动力学 | 动能定理 | 等效动力学模型 | 齿轮传动动力学分析 |
| | 动量矩定理 | 机械运动方程式 | 流体动压滑动轴承 |
| | 达朗贝尔原理 | 机构动态静力分析 | 机械系统动力学分析 |

4.3 教学环节的交叉融合

基于对核心知识点的精准定位和知识点融合思想, 在课程内设置了训练环节, 通过从知识到能力内化的实施框架(表4)将教学的不同环节交叉组合, 持续强化知识传授与能力培养。通过“能力模块训练”“综合实验”“实训”等环节实现知识学习和能力提高并举。针对各训练模块, 开发、编制了相应的软件系统, 用于学生验证分析设计的结果。

表4 知识到能力内化的实施框架

Table 4 Implementation framework of knowledge change into competence

| 基于 OBE 的能力培养目标 | 能力 | 知识单元 | 能力模块训练、实验、实训 |
|---|------|------------|---------------------------------------|
| 1. 掌握机械工程基础知识和方法 2. 具有分析求解和论证的能力 3. 具有基本的机械系统方案设计能力 4. 通过综合性实验培养学生的研究能力 5. 通过撰写文稿、设计资料、陈述发言等方式,培养学生具备整合思维、写作和交流的能力 6. 对复杂机械工程问题进行研究的能力 7. 具有自主学习、继续学习能力 | 分析能力 | 机构的结构分析 | 干草压缩机执行机构综合分析;机构运动简图测绘和分析实验 |
| | | 机构的运动分析 | |
| | | 机构的力分析 | |
| | | 机械平衡 | |
| | | 机械系统动力学 | |
| | 设计能力 | 连杆机构设计 | 机械连杆与凸轮组合实验 |
| | | 凸轮机构设计 | 压床机械供油凸轮机构的设计 |
| | | 齿轮机构 | 牛头刨床中二级齿轮机构设计;齿轮几何参数的综合实验 |
| | | 轮系 | |
| | 综合能力 | 机械系统运动方案设计 | 工程机械执行端机构方案设计;机械运动创新方案拼接实验;慧鱼机构创新组合实训 |

例如,干草压缩机执行机构综合分析项目要求学生根据干草压缩机的机构参数,画出机构简图,对其进行结构分析,剖析机构的组成,巩固对机构的组成原理的掌握;再进行运动分析,做出速度、加速度图,分析机构尺度参数变化对运动的影响;又进行力分析,画出机构不同位置下的力矢量图,分析随着机构型位变化时力的变化规律。通过该任务的设置,让学生将机构分析的内容加以应用,加深对知识点的理解,提升了机构分析能力。

4.4 理论与实践的“学做融合”

课程设计中开展了创新项目设计^[4-6],坚持“学中做”,以学为主,实践创新,并择优推送参加机械设计大赛。开展第二课堂,通过创新小组形式组织学生参加机械设计创新大赛、工程实训竞赛、机器人大赛等活动,实现“学做融合”,强化核心知识与工程应用能力。

机械原理课程设计紧紧结合工程项目和生活实际,坚持传统设计题目和创新设计题目并举,参照全国机械设计创新大赛主题,设置了开放式设计课题;学生通过拟定机械运动方案的训练,初步具备机构选型与组合、确定运动方案的能力。从2015年起在课设中开展创新项目已有5年,取得了丰硕的成绩,产生了众多较新颖的作品,如:红枣去核机、水稻插秧机、自动盖章机构等,同学们对新的机构进行了机构方案设计,并用三维模型表达出设计后的效果。以下图片是部分设计方案,反映出学生对所学知识能进行综合应用,将创新思维和方法应用其中,创新能力得到训练。

创新方案在课程的理论学习中萌芽,在课设环节中生根,在大赛实践操作中结果,培养了学生的科技创新意识和实践能力,反过来也促进学生课内对专业知识的学习,课内、课外产生良性互动,理论、实践融合贯通。学生获得了多方位锻炼,近年来学院学生在机械设计创新大赛、机器人大赛等国赛、省赛多次获得优异成绩。

4.5 教学手段的线上、线下相融合

教学手段通过线上、线下相融合,实现教学目标^[7-10]。借助“云班课”的线上平台,课前推送工程案例、

机构动画等,使学生对工程实例有初步的感官认识,提高学习兴趣;课堂上引入典型机构实例为对象,由浅入深提出问题、组织讨论,开展探究式学习;课后开展线上测试与答疑。通过线上线下多联动,激发学生主动性。编写了云教材《机械原理学习指导与分级练习》,通过云班课推送给学生,有效地强化了对核心知识点的训练(图5)。



图5 机械原理“云班课”

Figure 5 Cloud class of Theory of Machinery

4.6 思政元素的自然融入

“立德树人”是教育的宗旨,工科类的专业课程同样担负着课程思政的职责。教学团队结合课程思政目标深挖思政元素,并以“润物细无声”的方式融入到课堂。例如在讲解机构发展史的内容时,通过引入中国古代战车、木牛流马等图片和工作原理,介绍我国古代的发明创造,激发学生民族自豪感;在讲齿轮机构内容时,对比西方工业革命时期的快速发展,简要说明近代中国落后现状,教育学生“为振兴中华而学习”“青年当自强”等。

5 闭环跟踪,持续改进

为了客观地评价学生的学业水平,采用了多环节、多测点的考核方式,全方位、及时反馈学生的学习状况,跟踪教学效果,不断改进教学方式,保证教学水平的稳步提高。

多环节考核包括过程考核与期末考试相结合(表5)。采取多测点反馈跟踪,通过云班课开展每课一测(基本概念),每章一练(基本理论和方法),云班课线上讨论、线下答疑,分层次、分阶段地反馈学生对核心知识点的掌握情况,及时发现问题,利用课前十分钟精讲犯错率高的知识点,帮助学生及时改正错误;利用课后时间帮助学生解惑;在过程跟踪与检测中动态调整教学进度、方法,保证教学的持续改进。

表5 课程成绩构成

Table 5 The composition of course grades

| 考核环节 | 平时成绩 | 能力考核:模块训练 | 期末考试 |
|------|-------------------------|--------------------------|------------------|
| 主要内容 | 云班课中签到、讨论、小测试成绩,课后练习成绩等 | 模块训练大作业,包括机构分析、凸轮设计和齿轮计算 | 采用百分制考试方式 |
| 考核目标 | 注重过程管理和动态跟踪 | 注重原理方法掌握,强化专业技能训练 | 注重理论方法的综合分析与熟练运用 |
| 所占比例 | 10% ~ 20% | 40% ~ 30% | 50% |

6 结论

从人才需求出发,结合学校定位,形成了基于课程目标,以“精准施教、融合贯通”两条教改主线为引领,以实现“从知识到能力的内化”为核心任务,以质量闭环跟踪反馈为管理手段的人才培养总体教学设计思想,较为系统地探索实践了走进新时代的机械原理新课改。

基于OBE理念,在新素养、新结构、新手段和新实践等方面开展教学实践,通过“精准教学”传授核心知识点,开展三导教学,再通过“融合贯通”开展能力持续强化,两者结合实现了基于学生认知规律的“从知识到能力的内化”;通过过程跟踪,多点评价,形成了完整的教学闭环,以实现培养目标的达成。

项目基金

辽宁省本科教学改革研究项目课题“贯穿创新创业教育于机械类专业基础课的教学改革与实践”(2016-273)和辽宁省高等教育学会“十二五”高等教育科研课题“以核心课程为引领的机械专业人才培养与评价”(JG15DB340)。

参考文献

- [1] 顾佩华. 新工科与新范式:概念、框架和实施路径[J]. 高等工程教育研究, 2017(6): 1-13.
- [2] 李培根. 未来工程教育几个重要视点[J]. 高等工程教育研究, 2019(2): 1-6.
- [3] 顾佩华. 新工科与新范式:实践探索和思考[J]. 高等工程教育研究, 2020(4): 1-19.
- [4] 张文海, 王明贤. 基于核心素养培育的传统工科转型升级路径[J]. 高等建筑教育, 2019, 28(6): 7-12.
- [5] 王承鑫, 徐龙军, 张天伟. “新工科”背景下实验教学改革的探讨[J]. 高等建筑教育, 2019, 28(2): 101-105.
- [6] 李勇军. “双一流”建设与本科教学管理——从专业建设与课程建设两个维度, 高等工程教育研究[J]. 教育现代化, 2018.
- [7] 于歆杰. 一流课程的两个边界[J]. 中国大学教学, 2019.
- [8] 罗仲龙, 路曼. 基于工程应用背景下的机械原理教学改革与实践研究[J]. 教育现代化, 2019(12).
- [9] 罗玉梅, 陈志刚. 基于机械原理课程的教学改革研究与实践[J]. 教育现代化, 2019(64).
- [10] 黎书文. 基于机械原理课程的教学改革研究与实践[J]. 品牌研究, 2018(4).

Teaching Reform and Practice of Theory of Machinery Based on “Precise Teaching and Integration”

Luo Jiman* Zheng Xijian Wang Dan Zhao Dehong

School of Machinery, Shenyang Jianzhu University, Shenyang

Abstract: In order to cultivate students' ability of analysis, design and mechanism innovation for complex mechanical system, the teaching reform of Theory of machinery is guided by “high-level, innovative and challenging” in the construction of “golden course”. The teaching mode of “precise teaching” is constructed, and the precise teaching of core knowledge points is carried out through the three elements of “precise positioning of content, precise combination of teams and accurate teaching of process”. With “students” as the center, the teaching design is carried out according to the cognitive law, guided by “learning guidance”, strengthened by “guided practice”, promoted by “guided application”, and applied in the specific practice of talent training mode by “three guidance teaching method”. A whole course knowledge system integrating penetration, internalization of knowledge and continuous strengthening of ability is formed; based on the idea of boundary redesign, the curriculum content is reshaped and the core of curriculum is solved. In order to lay a foundation for the construction of first-class courses, we should integrate the contents, cross apply various teaching links, methods and means, and continuously strengthen the knowledge transfer and ability training. Starting from the core knowledge points, the curriculum reform emphasizes the internalization of knowledge to skills, which lays an important foundation for students to engage in mechanical design, research and development in the future.

Key words: Theory of machinery; Precision drip irrigation; Integration and penetration; Three guidance teaching method; Teaching reform