

为精品课程夯实基础--《机械制图》精品教材建设

一、教材建设的背景与理念

随着信息技术与传统工业的深度融合，机械制图在现代产品设计、制造领域中的应用状况发生了很大的变化，“中国制造 2025”、“工业 4.0”等先进制造发展战略都以智能制造为主攻方向，更使先进制造技术的发展趋势逐步清晰。同时，面对参与国际竞争的新挑战，各高等院校提出了新的人才培养目标，工科传统基础课机械制图的教学工作也面临着新的机遇和挑战。如何抓住机遇，与新的人才培养目标相适应，是该课程迫切需要解决的问题。

为了实现建设世界一流大学的宏伟目标，清华大学设立了多种人才培养项目，从转变教育观念入手，以建立研究型大学人才培养体系为目标，大力推进教育教学改革。确定了“综合性、研究型、开放式”的办学模式和培养“高素质、高层次、多样化、创造性”的骨干人才的培养目标，教育观念从以教师为中心向以学生为中心、教师为主导转变，从讲授型教学向研究型教学转变；本科教学体系从以单一学科背景下的“专业对口”培养为主，向以学科交叉与综合背景下的“通识教育为基础、通专结合”转变，并推动实施本科生大类培养模式，体现“宽口径，厚基础”的培养理念。

课程是体现教育教学理念的主要载体，在新形势下，必须大力改革机械制图原有的教学体系，使教学内容方法与新的人才培养目标一致。在清华大学 985 一期、二期人才培养和精品课建设项目的持续支持下，教学团队开展了“机械制图”课程体系、教学内容、教学模式及教学方法的研究与改革。于 2000 年开始在机械系 5 个班中进行教改实验，经过 4 轮试点之后，2004 年起在机械学院、航天航空学院、环境学院、土水学院等 30 个班级中推广实施，取得良好的效果。仅以 2004 年为例，本课程全部教师的教学评估成绩均为优秀，半数以上评估成绩排名位于全校前 5%，整体教学质量在全校名列前茅。

经过多年的教学研究及改革实践，逐步建立并完善了一套面向新的人才培养模式的“机械制图”新课程体系和教学模式，2006 年“机械制图”被评为北京市和国家级精品课。在精品课程的建设中，教材建设是核心，教材是体现教改成果的载体，更是课程可持续发展的基石。

随着改革的不断深入，新的知识体系和教学模式已经逐步建立起来，原有教材已经无法满足要求。为了体现教改成果，满足课程持续建设发展需要，从 2003 年起，在学校大力支持和推动下，开始组织编写本套面向新课程体系的立体化新教材，包括主教材、配套习题集和教学资源库（多媒体课件、习题解答、3D 模

型库等)。本套教材由清华大学国家级精品课程“机械制图”的主讲教授和骨干教师编写,一方面传承了清华大学机械制图教学长期形成的理论体系和积累的实践经验,另一方面体现了国家级精品课建设的经验和近来教学研究及改革的成果,在教材编写的指导思想为课程内容体系的与时俱进和可持续发展提供了有效的支持。

该套教材 2007 年 9 月出版第一版,2013 年 9 月出版第二版,在清华大学机械制图课程的改革和发展中发挥了重要作用,同时也成为十几年教改成果的最佳载体,并在教学实践中与时俱进,不断完善。该教材从 2007 年出版至今整整十年,一直在探索的问题是:在机遇与挑战并存的新形势下,基础课“机械制图”应该“教什么”?“怎样教”?当教学、科研双肩挑的青年教师承担量大面广、任务繁重的基础课时,如何保证课程的整体教学质量?如何保持课程的可持续发展?这些问题的答案就是一套好教材的核心内涵。解决上述问题的有效方法就是要在深入扎实的教学研究基础上,编写一套经得起时间检验、并且能够与时俱进的精品教材,使之成为精品课程持续健康发展的坚实基础和行动指南。

二、教材的创新性成果

1. 教材内容创新—突出基础性,体现前沿性

教材是为课程服务的,教材的内容决定了课程的内容。好教材的内容不是对同类教材的简单模仿或选取,而是深入钻研、反复实践的结晶。

机械制图是工科基础课程,建立牢固的基础是保障“厚基础”的必要条件。同时,技术飞速发展,新知识层出不穷,学生在有限的时间内,最重要的是建立科学的知识体系,站得稳、看得远,具有自主拓展知识的基础、能力和眼界,好的教材就应该帮助学生建立这样的知识体系。

因此,本套教材在内容上突出基础性,体现前沿性。以教学改革和精品课建设成果为基础,深入研究本门课程的核心内涵和学术地位,加强机械制图的核心内容,对基本理论、基础知识和基本技能给予充分的重视,同时注重体现现代设计制造技术发展的前沿理念。在投影理论的基础上,将二维视图、轴测草图、三维实体模型等典型产品设计构思与表达手段有机地结合在一起,将徒手绘图、仪器绘图与计算机绘图结合在一起。以现代产品设计制造过程为应用背景,以形体构造和图形表达为核心内容,着重培养学生深厚的学科基础、较强的实际应用能力及自主知识拓展能力。

2. 教材体系结构创新—突出模块化,支持研究型、实践性和网络化教学模式

在教材的组织结构上,采用单元模块化结构。根据知识点的内在联系,将全书内容划分为机械制图的基本知识和基本技能、几何元素的投影、体的构成及投

影、形体的表达方法、机械零部件的表达方法等 5 个单元。各单元之间既相对独立，又彼此联系，前后呼应，有机结合。

教材每个单元都有相对独立的知识内容和明确的阶段目标，并给出学习导引。学生通过学习每个单元的内容，循序渐进，在学习过程中保持清晰的思路和目标，前后知识紧密相联，避免学习过程中的盲目性。教师以单元阶段目标为线索设置研究专题或研究型题目，开展研究型教学活动。

例如，在“体的构成及投影”单元中，可以布置以下研究型专题。

将发表在《Nature》杂志上的模块化机器人研究成果介绍给学生（如图 1），学生在无比惊奇中直观形象地了解形体切割及组合的意义，进而主动研究该形体的构成和表达方法（如图 2）。



图 1 模块化机器人

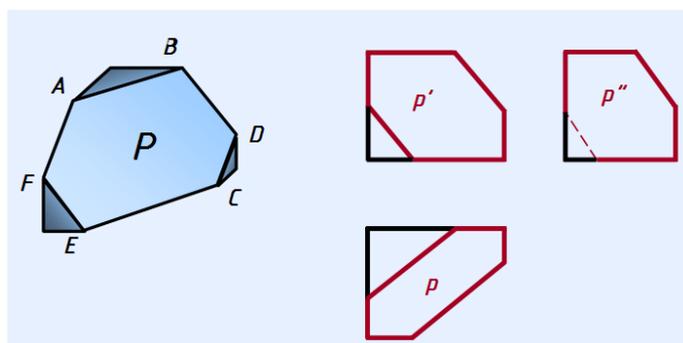


图 2 从模块化机器人中提取的切割形体

再给出一个实践性教学活动示例。

在学习形体相交时，如何采用辅助平面法找到形体的共有点是课程的重点和难点。借鉴快速成型加工的思想，布置学生亲自动手制作形体相交的立体模型(如图 3~5)，在设计制作每一张卡纸图形的实践中，深入理解辅助平面法的原理和方法。



图3 快速成型机

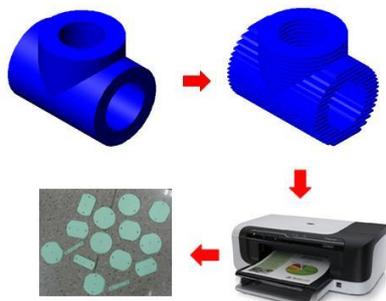


图4 制作过程

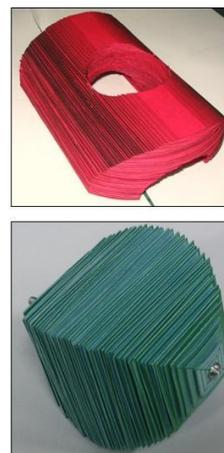


图5 学生制作的卡纸叠加模型

学习了复杂形体三维建模方法后，可以布置以下实践性课题。

通过项目训练，体验产品开发流程，了解和掌握现代设计方法。学生以小组为单位，综合利用图学知识和现代设计技术，设计一个能实现 2~3 个自由度运动的手动或电动玩具。图6~7为学生制作的部分数字化模型和3D打印实物模型。

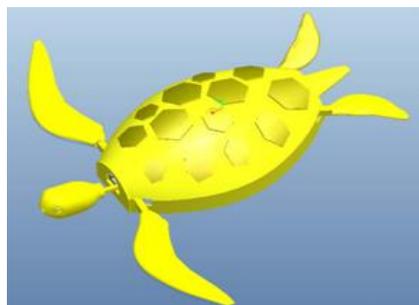


图6 游动的海龟

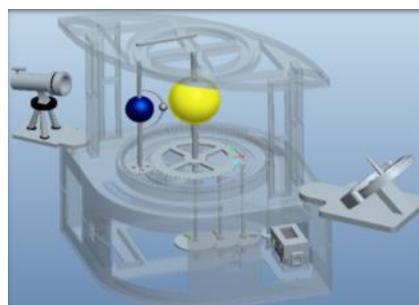


图7 自转与公转

利用单元结构知识点清晰、教学目标明确的特点，还可以开展混合教学，布置学生利用线上慕课学习知识点，在线下课堂上开展讨论，把更多的时间用在分析问题和解决问题能力的培养上。

3. 技术创新—以教材为核心，建立了多维度教学支撑平台

高水平、多维度的教学支撑平台是课程建设的重要载体，对课程教学的规范化、促进整体教学水平的提高具有重要意义。平台的结构如图 8 所示：

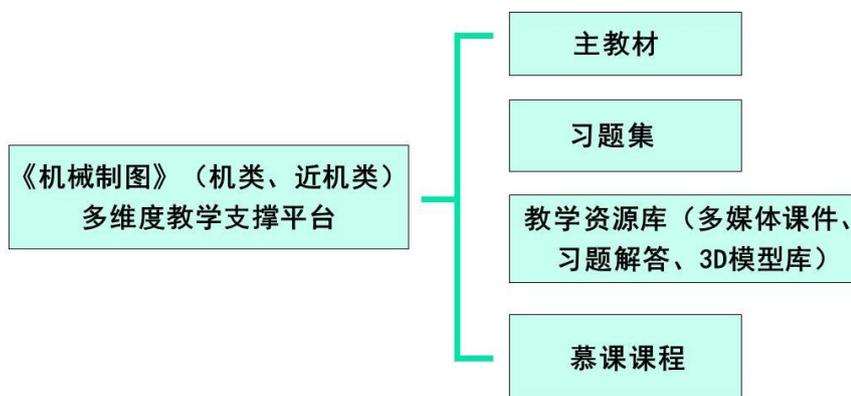


图 8 多维度教学支撑平台结构

习题集来源于清华大学制图课程教学改革和实践长期积累的成果，一部分是经受教学实践检验的典型题目，另一部分是根据新的教学理念设计的研究型题目，由老教师亲自编写、试做、解答，是新教师和自学者的好帮手。

教材中所给出的课件由经验丰富的老教师亲自设计开发，不仅涵盖了教材的全部内容，更是多年来制图教师集体智慧的结晶，其中包含了大量的教学思想、教学设计和教学经验，凝结了教学改革的成果。

3D 模型库采用了先进的模型轻量化技术，包含了教材及习题集的所有模型。利用简便易用的浏览器，就可以自由浏览和旋转模型，可以从任何角度观察模型，还可以根据需要给出剖切的模型，为学习者提供了随时随地浏览模型的条件。图 8 是零件库的可视化主界面，选中需要浏览的零件，就可以直接打开浏览。图 9 显示的是在研究零件表达方法时，二维工程图和三维实体模型配合使用的情形。图 10 则是利用来自于科研的技术成果建立的复杂装配图装配仿真模型。



图 8 3D 零件库

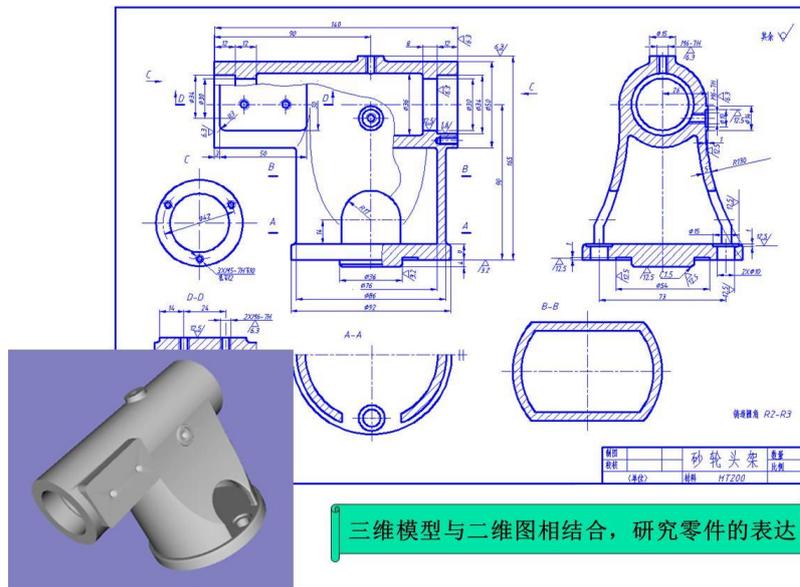


图 9 二维工程图和 3D 实体模型的匹配

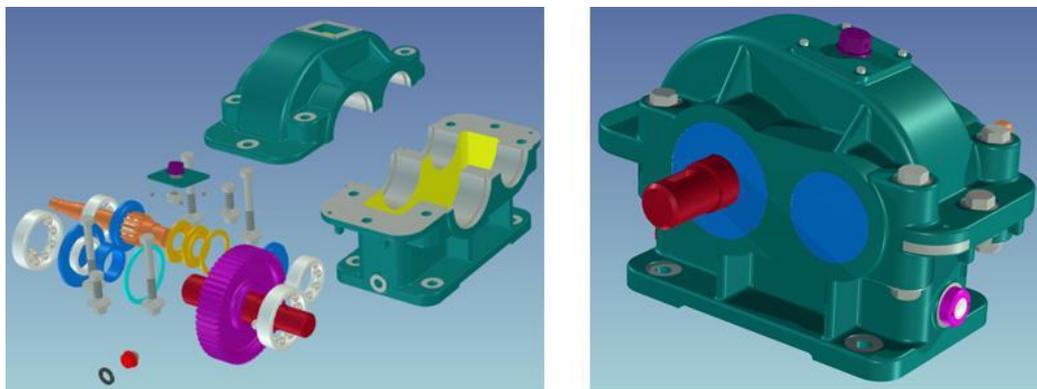


图 10 复杂装配体的拆装过程演示

三、教材的特色

本教材的特色总结如下：

1. 基础性

加强机械制图的核心内容，充分重视基本理论、基础知识和基本技能，同时注重体现现代设计制造技术发展的前沿理念。将二维视图、轴测草图、三维实体模型等典型的产品设计构思及表达手段有机地结合，将徒手绘图、仪器绘图与计算机绘图结合在一起。为学生进一步后续课程和开展机械工程研究及实践奠定良好基础。

2. 研究型

每个单元都有明确的阶段目标，通过学习相应的内容，循序渐进，使学生最终掌握完整的机械制图的基础理论、基本知识和基本技能。教师可以阶段目标为线索设置研究型题目，开展研究型教学活动，习题集中增加了适量的综合性题目，培养学生自主研究问题和解决问题的能力。

3. 实践性

教学过程中，结合各单元阶段目标安排动手实践环节或实践专题，开展实践性教学活动，培养学生理论联系实际意识，增强实践能力，进而，增强学习的兴趣、主动性和自觉性。在习题集中设计部分应用性题目，满足实践性教学的要求。

4. 完整性

本教材为立体化教材，不仅包括印刷版主教材、习题集，还出版了电子版课件、习题解答、虚拟模型库，建立了配套的在线课程（网址：https://www.xuetangx.com/courses/course-v1:TsinghuaX+20120143X+2018_T1/about），不仅为本校教师和学生提供丰富的教学和学习资源，也为兄弟院校师生提供了一个资源共享、相互学习的平台。

四、教材的应用情况

本套教材是清华大学国家级精品课和国家级精品资源共享课“机械制图”的使用教材，同时，是清华大学慕课（MOOC）课程“工程制图”的使用教材，出版十年来，在清华大学制图精品课建设、青年教师培养、教学质量保障中发挥了重要作用。

本套教材第一版重印5次，教材和习题集共印22200本，已使用19268本；第二版重印6次，教材和习题集共印26500本，使用25114本；累计印刷48700本，使用44382本。在清华大学机械学院、航天航空院、环境学院、土水学院等42个班级中使用，学生数每年约1100人，已使用10年，作为“机械设计基础1”、

“机械制图实践”、“机械工程学导论”、“设计与制造基础实践”等4门必修课程的使用教材，为面向大类培养、面向工程教育认证、新工科建设等一系列课程改革发展提供了有力的支撑。

该教材也获得了兄弟院校的高度评价，被北京师范大学、首都师范大学，四川理工大学、石家庄铁道大学、沈阳理工大学、西安科技大学、宁波大学、南方科技大学、上海海事大学等83所高校选为教材或教学参考书，受到广泛好评。

在清华大学的评教系统中，学生反映：“教材对学生学习很有帮助”，“能把很抽象很难理解的机械制图轻易地讲明白”，“很有系统性，条理清晰，对学习方法的指导很实用”，“与教材配套的习题很有针对性，有助于学生对课程内容的掌握”。

国家级教学名师、北京理工大学焦永和教授评价“该教材一方面加强了机械制图的核心内容，另一方面也注重体现机械工程技术发展对图学教育的新需求，符合新的人才培养目标的要求。同时，积极推进研究性和实践性的教学新模式，体现了教材对教学改革和课程发展的引领作用。”

湖南大学制图课程负责人黄星梅教授评价“该教材是一本学术水平高、体系结构新、实用性强的优秀教材。理论性和系统性强，在体系结构上有创新性，具有较高的学术价值。对机械制图的基本理论和基本方法进行了全面深入的论述，严谨准确、清晰易懂，便于读者自学。”

国家级教学名师、清华大学傅水根教授评价“该教材配套开发并出版了内容丰富的教学资源库，包括高水平的教学课件、习题解答和技术先进的3D模型库，实现了对讲课、辅导、自学的全面支持。课件由经验丰富的老教师亲自编写，将保存于老教师头脑中的隐性知识显性化，使之成为共享资源，为青年教师的发展搭建了更高的平台。”

致谢：

衷心感谢承担清华大学机械制图平台课程组的全体老师：田凌、冯涓、吴志军、黄利平、李铁民、刘辛军、付成龙、杨东超、牟鹏、吴军、徐静、谢富贵，感谢他们在教材的使用和不断完善的过程中提出的宝贵建议、提供的应用案例和贡献的先进思想。特别感谢助教博士生武园浩、刘果、陈俊宇和郑孟蕾，感谢他们将最新的网络和计算机技术应用于传统工科基础课教材及教学资源建设中，为教材配套资源建设做出了重要贡献。