福州大学专栏

基于系统观点的机械设计综合课程设计教学改革探讨

陈　亮,潘　伶,王　伟

(福州大学 机械工程及自动化学院,福建 福州 350108)

[**摘要**]基于系统的观点,对机械原理、机械设计两门课程设计进行整合,形成了机械设计综合课程设计,将机器的原动机、传动装置和执行系统三个基本部分关联起来,在系统中将零件与零件、零件与机构、机构与机构和机构与系统间的联系整合起来,使学生能够从整机和系统的角度,完成产品的系统方案设计、机构设计、结构设计等完整的设计过程,经历整机设计的全过程训练。同时,设计过程中加强了计算机辅助设计与分析软件的应用。教改有利于培养学生的系统综合设计能力、创新设计能力和解决工程实际问题的能力。

[**关键词**]机械设计;综合课程设计;教学改革;创新设计能力

Discussion on Teaching Reform of Comprehensive Course Exercise of Machine Design Based on System Viewpoint

Chen Liang, Pan Ling, Wang Wei

(*College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108*)

Abstract: Based on system viewpoint, the course exercise of the machinery theory and the course exercise of machine design are integrated into one comprehensive course exercise, which relates motor, transmission device and operating mechanism, and organically relates part and part, part and mechanism, mechanism and mechanism, mechanism and system in a complete system. The students can finish the complete design process of system scheme design, mechanism design and structure design, and experience the whole process of machine design training from the perspective of the whole machine and system. Meanwhile, the application of computer aided design and analysis software are strengthened. It is beneficial to cultivate students' ability of system comprehensive design, creative design and solving practical engineering problems.

Key words: Machine design; Comprehensive course exercise; Teaching reform; Creative design ability

[**作者简介**] 陈亮(1963-),男,教授,博士。

[**通信作者**] 陈亮,E-mail:clfz2019@163.com。

随着经济全球化和科学技术的迅速发展，技术创新能力已成为企业生死存亡的关键。创新是一个国家的经济可持续发展的基石，拥有了大量具有创新能力的高素质人才，就具备了可持续发展的巨大潜力。为此，高等教育的一个重要职责就是要培养基础扎实、视野宽广、创新能力强、素质高的现代工程创新人才[1]。

一、基于系统观的机械设计综合课程设计与学生能力培养

机械原理与机械设计是机械类专业的两门重要的技术基础课，相应的课程设计是机械类系列基础课程重要的实践环节，是在学生学习专业课之前的一次重要综合性实践。在这个环节中，学生需要根据设计任务，在理论和教师的指导下，自行分析问题和查阅资料，找到解决方法。课程设计是学生充分发挥自身主观能动性、进行问题解决方案再创造的过程，实现了从以教师为中心向以学生为中心的转变，不仅有助于培养学生的知识获取能力、分析和解决问题的能力，还有助于提高学生的创新能力。

设计是人们的一种有目的的活动，是将人的需求和意图转变为一个具体的物理对象的过程。产品设计起始于人类的需求，然后经过一系列的映射(用户需求域、功能域、原理域、行为域和物理结构域等)，得到产品的物理实体对象，即产品系统。产品系统将从外界接收到的一定类型、形式和大小的输入量(通常是能量流、物料流和信息流)，在系统中进行处理和转换，输出满足任务需求的另一种类型、形式和大小的输出量(变化后的能量流、物料流和信息流)。要完成这种转换，产品系统要包含一系列的子系统，一般是原动机、传动装置和执行系统等三个基本子系统。所以，产品设计应从系统的观点出发，将机器的原动机、传动装置和执行系统三个基本部分融合为一个整体来考虑。

目前，机械类专业的课程设计包含了机械原理课程设计和机械设计课程设计等。机械原理课程设计在机械原理课程结束后进行，主要是进行机构的方案设计与分析；机械设计课程设计在机械设计课程结束后进行，主要是进行简单机械传动装置(减速器)的设计。两门课程设计分开进行，前者完成的机构与后者完成的原动机、传动装置关联性弱，机构设计与零部件结构设计脱节，这就导致学生对机器的完整设计过程缺乏系统的了解，从而不利于其综合设计能力、系统设计能力的锻炼和提高[2-4]。

鉴于此，我们基于系统的观点，将机械原理、机械设计两门课程设计整合为综合课程设计，将机器的原动机、传动装置和执行系统三个基本部分关联起来，使产品的原理方案与执行机构设计、传动方案设计、结构设计和计算机辅助设计与分析等有机结合起来，融合为一个整体。整合后的综合课程设计依托一个实际课题，以设计为主线，让学生完成包含原理方案设计、执行机构的设计、传动方案设计和结构设计的完整的机械设计过程，并加强计算机辅助设计与分析软件的应用。这样更符合实际情况，可以使学生从整机和系统的角度掌握机械产品设计的基本理论、方法和步骤，有助于发挥学生的创新潜能，提高学生的系统综合设计能力、创新设计能力、计算机运用能力和解决工程设计问题的能力。

二、机械设计综合课程设计的选题

为了实现上述目标，合适的选题必不可少。设计题目应源于工程实际，且具有较强的综合性和系统性。教师要对实际工程问题进行适当简化，提取出多组设计参数供学生选择。经过多年的探索，我们从晶体管管脚自动上锡机、酱类食品灌装机、冲压式蜂窝煤成型机、糕点切片机、玻璃瓶印花机、麦秸打包机、干粉压片机、简易刨床、抽油机和印刷机等实际的机械产品中凝练出一系列综合课程设计题目。另外，教师可以从往届毕业设计的题目中节选出合适的机构及传动装置部分作为综合课程设计题目，同时结合自己的科研工作和横向开发项目，对综合课程设计题目进行不断地丰富和完善，设计题目每几年就更新一次，以避免学生模仿和抄袭往届学生设计的情况发生[5]。教学中也鼓励学生自主选题，变以往的“要我做”为“我要做”，以调动学生的积极性和主动

性，培养他们的创新意识和创新能力。在此过程中，教师积极参与指导，以保证题目和设计内容的合理性。综合课程设计是在机械设计课程结束后集中4周时间来进行，教师可以尽早布置，让学生提早收集资料和构思方案，这就将课程学习和课程设计自然地联系起来，保证了课程的连续性和系统性，效果也更好。

三、机械设计综合课程设计的内容和实施

从系统的观点来看，满足设计要求的解决方案均应包含原动机、传动装置和执行系统三个基本部分，覆盖完整的设计过程，同时突出各部分的方案构思和设计。

（一）系统总体方案拟定

以往学生一般用类比的方法拟订方案，创新性不足，创新设计和综合设计能力无法得到有效培养。为此，我们用系统设计理论和方法指导学生进行方案设计，以系统要实现的功能为出发点，让学生根据系统工作要求或执行构件的运动和动力要求，考虑原动机、传动装置和执行系统间的连接关系，空间位置、运动参数和动力参数间的协调，以及执行机构系统中多个机构间的协调配合，以系统的观点进行整机系统方案设计。学生要建立系统的功能结构，通过功能—原理—行为—结构（机构）的迭代映射和形态学矩阵，拟定系统方案。学生要提出至少3种方案，然后组织方案研讨会，分析比较各方案的优劣，进行方案的评价与决策，择优确定最终方案，并画出系统总体方案简图。机械系统方案设计中的建立功能结构、寻求工作原理及构思原理方案等环节都是富有创造性的工作，因此机械系统方案设计是产品设计中最具创新性的阶段，是决定产品开发成败与否的关键阶段，非常有利于学生综合分析问题能力和创新能力的培养，有助于促进学生积极主动地思考。比如冲压式蜂窝煤成型机的设计要求学生完成上料、煤饼冲压成型、成型煤饼脱模、冲头和脱模杆的底部扫屑、工作盘间歇运动和成型煤饼的输送等六个工艺动作，其中，加料和输送的动作比较简单，而脱模和冲压动作可以一起完成，因此学生要重点考虑冲压和脱模、扫屑和工作盘间歇转动。学生先要根据蜂窝煤生产率选择原动机（电机），按照工艺动作要求，建立冲压式蜂窝煤成型机的功能结构（包含减速、连续转动变往复移动、连续转动变间歇转动和往复移动变平面运动等功能）；然后通过形态学矩阵构思各功能实现方案，即将电机转速转换为蜂窝煤生产率要求的传动系统方案（包含带传动、齿轮传动和链传动等的多级传动等），实现各工艺动作要求的执行机构方案（如曲柄滑块机构、六杆机构、移动从动件凸轮机构、滑块摇杆机构、槽轮机构、不完全齿轮机构等）及多个机构间的协调配合方案；进而组合出诸如“电机—带传动—齿轮传动—对心曲柄滑块机构—固定凸轮移动从动件机构—槽轮机构”“电机—齿轮减速器—开式齿轮传动—对心曲柄滑块机构—滑块摇杆机构—不完全齿轮机构”“电机—齿轮传动—链传动—偏置曲柄滑块机构—棘轮机构”等多种系统总体方案；最后通过分析比较各种方案的优劣，选择最终方案。

（二）各组成部分的详细设计

1.原动机选择与传动装置设计

学生要选择原动机类型（通常是电动机），确定原动机的具体型号和参数。之后，学生要根据选定的原动机和执行机构的运动和动力参数，确定传动装置传动比、运动参数和动力参数；根据各级传动间的协调关系，进行传动比分配和各级传动的运动参数和动力参数计算；进行各级传动的设计计算，对零部件结构尺寸进行验算和参数调整（鼓励利用计算机辅助设计和分析软件进行）；手工绘制0号装配草图一张（包括主视图和俯视图）；利用CAD软件（AutoCAD或三维CAD软件）绘制传动装置装配图（一张0号图纸，包含3个视图，利用三维CAD软件的学生主要完成传动装置的三维建模和装配）及部分零件的零件图（两张2号图纸）。手工绘图一是为了加强学生绘图能力的训练，二是在确定了结构设计的正确性后，提高CAD软件绘图的效率，同时避免抄袭。

各级传动的设计计算阶段的重点是零部件的结构设计。零部件的设计不仅仅是分析计算和查阅资料，还要考虑工艺性和经济性等。如轴的结

构设计强调轴上零件定位固定、装拆工艺性、加工工艺性和尺寸偏差形位公差选择的合理性;轴承组合设计强调定位固定、游动、装拆、调整、支承和密封润滑等的合理性。所以,分析计算是前提,查阅和运用资料是手段,而正确合理的结构设计图则是目标。这部分设计目的是培养学生分析计算、查阅运用资料和结构设计的综合能力。鉴于学生掌握的结构设计知识不足,教学中可以通过参观机械陈列室、进行机器拆装和测绘等方式提高学生对零部件结构的感性认识;并通过大量结构正误图的比较分析,加强学生对结构设计的认识。

2.执行机构的分析与设计

学生要进行各主执行机构协调关系设计,画出机构的工作循环图;对各主执行机构进行尺度综合,必要时建立主执行机构优化设计模型,用优化方法确定相关构件的尺寸,画出机构运动简图(一张 2 号或 3 号图纸);用解析法通过编程对主执行机构进行运动分析(由老师提供基本杆组分析等子程序包),或者利用分析软件(如 Adams、Solidworks 等)建立执行机构系统的分析模型,进行机构的运动学动力学分析;根据计算机计算结果画出主执行构件的位移图、速度图和加速度线图(一张 3 号图纸)并进行特征分析,检验是否符合工作要求;编程实现机构动画仿真或利用三维运动学软件进行运动仿真,检验主执行机构间的协调关系是否符合工作要求。

对机构运动方案进行结构化设计时,学生要构思主执行机构的各种可能的结构方案,并通过分析比较确定较优方案;之后合理选择零件材料,确定零件的质量、质心和转动惯量等,对该执行机构进行动力学分析,进行动平衡计算和速度波动及调节计算等,确定零件的受力情况;再利用有限元等软件对关键零部件进行应力分析和强度验算,画出执行机构的结构装配图及部分零件图等。由于学生缺乏机械结构设计的实践和经验,且缺少像齿轮减速器设计那样的完整系统的资料,再加上机构种类繁多、要求各异,所以设计难度较大。教师可引导学生通过查阅资料、分析、思考和讨论,对各类运动副和构件的结构特点进行分析,并通过功能结构分解及变换组合法启发学生进行结构创新设计等,进而逐渐生成结构方案。比如针对冲压式蜂窝煤成型机的“电机—齿轮减速器—开式齿轮传动—对心曲柄滑块机构—滑块摇杆机构—不完全齿轮机构”的系统方案,学生要完成对心曲柄滑块机构、滑块摇杆机构和不完全齿轮机构的结构设计,并通过实际调研、查阅和分析资料,对各类运动副和构件的结构进行分析,构思出结构方案:机架采用对称框架结构,框架的立柱作为对心曲柄滑块机构中滑块的导轨;对心曲柄滑块机构中滑块采用横梁结构,以便与框架立柱形成移动副;开式齿轮传动中的大齿轮兼作对心曲柄滑块机构中的曲柄,连杆采用双杆合并结构,以便与横梁形成转动副;冲头和脱模杆则固接在横梁上。另外,横梁也兼作滑块摇杆机构中的滑块(原动件),连杆和摇杆均采用简单的杆状结构,各构件间以转动副联接;转动副采用滑动轴承式结构,也可采用滚动轴承式结构;扫屑刷设置在连杆上。不完全齿轮机构中的大齿轮兼作工作盘,在上面加工出工作孔位;不完全齿轮与机架间以转动副联接,转动副采用推力轴承式或向心推力轴承式结构。

结构方案是多样的,不同学生构思的结构方案可能存在差异,学生在确定了自己的结构方案后要绘制出装配图和几个关键零件的零件图。教师在选择设计题目时要考虑时间因素,合理安排工作量和难度,不一定要全面铺开,可以主要针对学有余力的学生。与充分利用资料进行减速器结构的模仿设计相比,学生在执行机构的结构设计中要经历从机构运动简图到结构装配图和零件图的转换过程,这对学生而言具有一定的挑战,因此对学生创新设计能力的锻炼和提高效果也就更为显著。

设计完成后,学生要整理、撰写设计说明书一份(字数为 8 000～10 000 字),之后进行小组答辩。各小组抽出本组好的学生和差的学生参加大组的优辩和差辩,最终确定成绩优秀者与及格者。

（三）制作设计模型，设计—制造一体化，理论联系实际

机械设计的最终目的是通过制造将设计思想变成机械实体装置。在设计完成后，我们鼓励有余力的学生将自己的设计结果在创新设计模型制作室中组合装配或加工制作出来，以检验设计的可行性和合理性。创新设计模型制作室为学生提供了一个开放的、可以自己动手制作的实践性教学环境，配备了慧鱼创意组合模型和用于加工制作的各种设备、仪器、工具和原材料等。慧鱼创意组合模型是工业标准的基本构件（机械元件/电气元件/气动元件），辅以传感器、控制器、执行器和软件的配合，形成的模块可扩充和反复拆装。学生可以利用慧鱼创意组合模型将自己的课程设计方案实际组合装配起来，并通过机电控制实现运动要求。逼真地呈现设计方案的运动情况，有助于加深学生对设计的理解和对机电一体化流程的全面认识，也有助于培养学生的创新思维和实践能力。对于部分学有余力的学生，教师可以让他们绘制符合制造工艺规范的图纸，编制加工工艺，进而加工制作出各个零件，装配出系统方案的实物模型（缩小版的机器模型，但功能完全相同），并通过调试检验是否满足设计要求，以及时发现设计中存在的问题并加以研究解决。设计制作使学生深刻体会了制造与设计的关系，将设计、制造和装配调试有机结合起来，从而做到理论联系实际，增强创新意识和创新能力，提高分析问题和解决问题的能力，锻炼动手能力，强化工程意识。

四、机械设计综合课程设计的教学成效

机械设计综合课程设计教学改革基于系统的观点，将机械原理、机械设计两门课程设计进行整合，使机器的原动机、传动装置和执行系统三个基本部分关联起来，使产品的原理方案与执行机构设计、传动方案设计和结构设计等有机结合起来，将两个关系密切的实践环节融合为一个整体，加强了课程间的内在联系和各知识点的联系，克服了机构设计不考虑结构、而零部件结构设计又与机构设计脱节的缺点，加强了零件与零件、零件与机构、零件与系统、机构与机构、机构与系统间的联系，形成了完整的系统，使学生经历了整机设计的全过程训练。综合课程设计有利于培养学生的综合设计能力、创新设计能力和解决工程实际问题的能力。同时，引入现代设计理论和方法指导学生进行机械系统方案设计和结构设计，可以弥补学生经验不足的问题，加强计算机辅助设计与分析软件（如 AutoCAD、SolidWorks、ADAMS 和 MATLAB 等）的应用，有利于学生掌握现代设计手段和提高设计能力，也有利于与后续专业课程学习及现代企业设计要求接轨。在有条件的情况下，课程设计的时间可以向后延伸，使学生经历从设计到制造的全过程训练，实现理论联系实际，这必将大大提高学生分析问题和解决问题的综合能力。多年的实践表明，机械设计综合课程设计效果良好。由于设计题目切合工程实际，侧重系统设计和方案设计，学生做设计的积极性和兴趣大大提高，他们普遍反映收获较大。机械设计综合课程设计使学生得到了一次系统全面的训练，有助于培养学生的创新意识、综合设计能力和创新能力，为后续创新设计、专业课程学习、毕业设计及今后的工作奠定了良好的基础。

（文字编辑：李丽妍）

参考文献：

[1] 杨学义.提升大学创新能力，服务国家战略大局[J].中国高教研究，2010(3)：60-61.

[2] 秦小屿.提高机械设计课程教学效果的几点思考[J].高等教育研究，2009，26(1)，63-64.

[3] 江连会.提高机械设计课程教学效果的探索与实践[J].教育教学论坛 2014，(39)：186-187.

[4] 王顺，王聪慧，寇尊权.从系列课程角度考虑机械原理与机械设计课程的内容设置[J].大学教育，2013，(2)：55-56.

[5] 徐小兵，彭三河，周传喜.机械设计课程实践教学改革探讨[J].中国现代教育装备，2012(5)：72-74.