

“四融合”模式下的“最优化理论与算法” 课程教学改革探索

帅天平

北京邮电大学理学院, 北京

收稿日期: 2023年9月21日; 录用日期: 2023年10月19日; 发布日期: 2023年10月26日

摘要

本文结合“思政、科教、创教、产教”四融合, 对研究生课程“最优化理论与算法”内容体系和教学方法进行了探索, 分析了课程中存在的问题和教学改革的必要性, 重构了课程内容体系、提出互动探究式教学、思政融合、科教融合、加强过程考核等举措, 激发学生学习热情, 明确学习目标, 提高课程教学质量和育人成效。

关键词

最优化理论与算法, 教学模式, “四融合”教学质量

Exploration of Teaching Reform of the Course of “Optimization Theory and Algorithm” under the “Four Integration”

Tianping Shuai

School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing

Received: Sep. 21st, 2023; accepted: Oct. 19th, 2023; published: Oct. 26th, 2023

Abstract

This paper explores the content system and teaching methods of the postgraduate course “Optimization Theory and Algorithms” by combining the integration of “ideology and politics-education, scientific research-education, innovation-education, and industry-education integration”. It analyzes the problems existing in the course and the necessity of teaching reform, reconstructs the content system of the course, proposes measures such as interactive inquiry-based teaching, integration of teaching thinking, integration of scientific education, and strengthening of process as-

assessment. These measures aim to stimulate students' enthusiasm for learning, clarify learning objectives, and improve the quality of course teaching and educational effectiveness.

Keywords

Optimization Theory and Algorithm, Teaching Module, "Four Integration" Teaching Quality

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

本为主动应对新一轮的科技革命和产业变革,支撑“中国制造 2025”等国家战略,国家在 2017 年初提出了“新工科”的工程教育改革战略[1]。随后,“复旦共识”、“天大行动”、“北京指南”新工科建设的三部曲奏响了人才培养的主旋律[2]。为进一步拓展深化新工科建设,北京邮电大学提出了“三贯通”教学改革[3]和思教、科教、创教、产教“四融合”新工程教育体系[4]。在这一体系指导下,学校不断加强“理工融合”和“科教融合”,在教学实践活动中加强对学生实证思维、逻辑思维、计算思维的培养,变革学生的学习方式与学习内容,引导学生进行自主、合作、探究式学习,促进学生创新和协作能力的整体提升。将创新创业教育融入新工程教育人才培养全过程。加强政产学研协同育人,取得了丰硕的成果。与之相对应,如何加强新工科体系下研究生的教育与培养,面向新工科时代,推动研究生教育全方位、高质量发展具有重要的实际意义。

研究生教育是满足新时期经济社会发展对高层次人才需求的重要途径,是国家人才竞争和科技竞争的重要支柱,是实施创新驱动发展战略和建设创新型国家的核心要素,是科技第一生产力、人才第一资源、创新第一动力的重要结合。加强研究生教育是全面落实《中国教育现代化 2035》,培养高层次人才的主要任务之一。在研究生教育中,课程学习是保障研究生培养质量的基础环节,具有全面、综合和基础性作用。为提高研究生课程教学质量,国务院学位委员会组织专家编写出版了《学术学位研究生核心课程指南(试行)》(高等教育出版社,2020)。其中《最优化理论与方法(法算)》是信息与通信工程学科中的核心课程之一[5],也是我校信通、计算机等专业的硕士或博士研究生核心课程,对各专业研究生的后续课程的学习和科研工作开展具有重要的基础作用。本文试图从新工科要求出发,探索在思教、科教、创教、产教“四融合”的新工程教育体系下如何改进《最优化理论与算法》课程的教学与建设。我们将以“思教、科教、创教、产教”四融合为根本途径,对《最优化理论与算法》课程的内容体系、教学模式、教学过程等方面进行改革,坚持以学生为中心,一切从更好地让学生掌握最优化的基本理论和方法出发,让学生领悟最优化理念,增强学生的数学优化思维和利用优化方法解决实际问题的能力,提高课程教学质量和教育成效,为培养国家急需的高质量新工科创新人才服务。

2. 本课程特点与教学现状

2.1. 课程特点

最优化(数学优化)是研究优化问题的数学理论和方法的一门学科。数学优化是数学的一个重要学科方向,是应用数学的重要组成部分,也是运筹学的一个重要分支,是管理科学的基本方法和技术之一[6]。著名的数学家欧拉曾经说过:“宇宙间万物无不遵循着某种最大或最小原则”。最优化理论与方法在国防、

经济、工程、管理等等领域有着广泛而直接的应用，因此《最优化理论与算法》(类似的课程名为《最优化理论与方法》《最优化方法》《工程最优化》《数学规划》《凸优化》等等)是很多理工科专业研究生的核心课程或学位课程。也是一门开设最为广泛的研究生重要基础课程，在研究生培养中具有基础地位。最优化理论与算法主要讲授最优化的基本模型、基本概念、理论和方法，核心内容包括线性规划及其基础理论、非线性规划的基本理论与算法。该课程有与其他数学课程的不同特点，使得学生掌握起来较为困难。

1) 基础知识多，抽象性强。课程需要微积分、凸分析、代数、几何、数学建模、科学计算等数学领域的基本知识和计算机程序设计作为基础[7] [8]，要求学生具有较强的分析和计算基础，且还要具备算法编程实现能力，这些要求增加了课程学习难度。

2) 最优化内容丰富繁杂。最优化不仅包括基本的线性规划、非线性规划、动态规划，还有整数规划、智能优化、随机优化、多目标优化和复合优化等更深层次的内容。学生要很好的掌握这些内容较困难。特别的，由于课时有限，传统的最优化课程只能涉及基本的内容，很多优化方法不能讲透，更是很少涉及优化建模(尽管这是解决实际问题的核心之一)，由此导致对学生的优化理念引导不够，学生很难准确完整的理解优化思想、很难深入的掌握优化各知识点。

3) 最优化理论抽象，缺乏几何直观，理解起来困难。最优化理论是最优化的核心和算法设计的基础，在课程中具有重要的基础性地位，涉及到较深的凸分析、多元微积分等数学知识，理论抽象，几何直观性不强，理论证明较为深奥，是学生学习课程的拦路虎，因此有的教师会弱化优化理论的讲授，但这对优化有迫切需求且有较高要求的学科的研究生来说，不讲或少讲优化理论会对今后研究与发展带来不利。

4) 最优化除了理论外，算法也是其核心内容，是更加实用性的部分。讲授优化算法时需要针对各种最优化模型基于逼近思想设计各种有效算法，并分析算法的收敛性和收敛速度。这些也需要较好的数学基础，增加了学习难度。

5) 最优化交叉性强，应用广泛。很多学科的核心问题都可以化为最优化问题，同样由于课时原因，很少有教师会从学科应用角度展开教学，使得学生不能很好的运用优化知识于自己的学科问题。这些特点使得最优化理论与方法成为工科研究生中一门重要但又难以掌握的数学课程。

2.2. 教学现状

现有的教学模式基本以教师课堂讲授为主，以指定教材按照课程大纲讲授相关内容。课堂教学以讲授概念、定理及其证明推导、算法介绍及其分析演算，然后举几个简单的例子来展示算法计算过程。强调学生对概念的理解，记住定理和算法流程，会用算法求解优化问题(多是函数优化问题，偶尔涉及简单的应用题)，简单介绍算法代码(多以 Matlab 或 Lingo 为主)及程序实现。整门课程全为板书时学生还能跟上老师的讲授步伐，但采取多媒体 ppt 进行教学时，进度快，学生不易跟上老师的思路。使用 ppt 模式使得每堂课的教学内容更多，信息量更大，课堂上师生互动也较少，这种教学模式使得学生思考少、动手少，导致很多学生跟不上进度，听不懂老师所讲的内容而放弃课堂学习，课堂教学效果不好。另一方面，由于课时少，内容多，使得老师只能讲理论知识，没有时间来讲透算法细节及编程实现，缺乏使用实际案例展示应用优化方法求解实际问题的过程，缺乏理论与实践结合[9]-[16]。在这种教学模式下，学生仅了解优化的皮毛，弱化了使用优化解决实际问题的能力，也使得学生放弃学得真知识，变成以通过课程考核拿到学分为目标，学生主观能动性不强，这样降低了该课程在研究生培养中的基础作用。为了克服传统教学的不足和课时少内容多的困难，需要结合现代技术手段，特别是移动互联网技术、人工智能技术，充分利用互联网资源，探索线上线下结合、翻转课堂、慕课、微课等教学手段，结合学生实际更新教学模式，提高教学效果，使得最优化课程能为新工科研究生人才培养起到积极的作用。

通过以上分析,为了有效提高课程的教学和学习质量,我们从课程内容和教学模式(教学方法)两方面着手进行改革。一方面,通过调研国内外最优化课程教学现状,分析现有课程内容体系的优点和不足,结合各学科对最优化的需求,对课程内容体系进行改革,建立更加适合新工科培养要求的课程内容体系。另一方面,对现有的教学方式(教学模式)进行分析研究,反思其不足,结合学生实际,开拓新的教学方式(教学模式),积极发挥学生的主观能动性,让学生主动参与到课堂教学和课程学习中来,提高教学效果和教学质量,提高学生的学习积极性和获取知识的能力,为学生之后的学习研究打下厚实的最优化理论基础和熟练运用优化方法的能力,为培养高质量的研究生提供服务支持。

另一方面,培养创新人才是新时期提高高等教育质量的迫切要求,也是高等学校人才培养模式改革的重心所在。当前,信息与通信技术(ICT)已经成为人类社会最具影响力的技术之一。为了更好的培养高层次 ICT 创新型人才,北京邮电大学提出并建设了 ICT 领域思教、科教、创教、产教“四融合”的新工程教育体系。《最优化理论与方法》是国务院学位委员会组织编写的信息与通信学科学术学位研究生核心课程之一,在四融合的新工程教育体系下进行教学改革具有重要的实际意义。通过调研和分析我校所实施的四融合新工程教育体系,我们以思教融合和科教融合为主,创教融合、产教融合为辅进行最优化课程教学改革探索。

3. 课程教学改革探索

基于对现有教学模式的分析和历届选课学生的沟通交流,参考已有最优化教学改革文献[9]-[16]中的成果,总结以往教学之得失,结合学校提出的四融合新工程教育体系,我们探索在以下几个方面进行教学改革,以期提高教学质量,让学生主动的投入课堂学习,提高课堂育人成效。

1) 以学生为中心,理顺课程内容体系。以往的教学中,一般是选定一门教材,然后按照教材内容进行教学,侧重于最优化的基本理论和算法,很少考虑学生的专业需求和优化方法的实际应用案例,使得学生不清楚最优化到底有何用,怎么用。为此,我们首先对课程内容体系进行了梳理,以“模型-理论-算法-实践”为主线,进行课程内容重建。将最优化建模思想融入课程,通过实际案例展现最优化的建模过程和思想方法,让学生熟悉建模的要素和核心思想。其次,重视最优化的基础理论知识,从最优性条件的刻画到算法性能的理论分析,建立完备的优化理论体系,让学生对优化理论有较深入的理解。再次,重视优化算法的设计与分析,对算法进行模块化处理,以统一的“改进搜索”算法框架贯穿优化算法始终。让学生熟悉最优化的核心思想,同时又根据对不同优化算法的分门强调之间的联系与差异。注重各知识点之间的层次关联,注重不同优化方法和思想之间的联系,将优化知识、方法和思想按层次递进的成串地给学生讲授,而不是孤立的教给学生相应的知识点、方法和思想。再其次,根据选课学生的专业背景,适时增加或者删减教学内容,例如针对通信方面的学生,增加凸优化方面的知识,对大数据和机器学习方向的学生还可以增加复合优化方面的内容。最后,加强理论与实践的结合,重视算法实践环节,加强实践内容构建,通过具体案例来展示如何应用优化理论和算法来求解实践问题,锻炼学生的实际应用能力和算法实现能力。

Table 1. Curriculum content system

表 1. 课程内容体系

模块	内容	层次	备注
最优化概述 与建模	1) 最优化问题概述 2) 优化模型的建模技术 3) 优化模型举例与分类 4) 优化模型语言简介	模型	介绍最优化的历史和发展、给出最优化问题的定义,通过具体例子介绍优化模型建立的过程和建模技术,介绍几个有代表性的优化模型,并基于此模型对最优化进行分类,最后介绍两个优化模型语言 CVX 和 AMPL。

Continued

基本概念 与算法框架	<ol style="list-style-type: none"> 1) 改进搜索 2) 局部最优、全局最优 3) 下降方向、可行方向 4) 无约束最优性条件 5) 算法收敛性、收敛速度 	基础	<p>通过一个优化实例介绍改进搜索的基本框架和求解过程,并由此给出局部最优、全局最优、下降方向、可行方向、无约束优化最优性条件,算法收敛等概念,并适时引入相关数学概念。</p>
优化理论	<ol style="list-style-type: none"> 1) 凸分析 2) 最优性条件 3) 对偶理论 	理论: 根据专业实际需要选择讲授内容	<p>介绍凸集与凸函数等凸分析基本内容,给出线性规划可行域的基本性质。给出一般约束优化最优性条件,凸规划最优性条件、线性规划互补松弛定理,对偶理论,将对偶线性规划融入一般的对偶规划进行讲解,以注解的方式给出所需相关数学概念。</p>
无约束优化	<ol style="list-style-type: none"> 1) 一维搜索 2) 梯度搜索、BB法、次梯度法 3) 牛顿法 4) 拟牛顿法 5) 共轭梯度法 6) 信赖域法 7) 无导数优化方法 8) 最小二乘 9) 软件求解介绍 10) 应用举例 	算法: 根据专业实际需要选择讲授内容	<p>介绍一维搜索、梯度法、BB法、次梯度法、牛顿法、拟牛顿法、共轭梯度法、信赖域法、最小二乘、无导数优化等。强调不同算法的共同点和差异。根据不同专业和学生层次进行内容取舍,给出在人工智能、机器学习、通信等中的应用案例。介绍相关算法研究进展。根据课时安排课内或课后的上机实践。</p>
约束优化	<ol style="list-style-type: none"> 1) 罚函数法 2) 拉格朗日乘子法 3) 线性规划(单纯形法、对偶单纯形法、内点法) 4) 可行方向法 5) 软件求解介绍 6) 应用举例 	算法: 根据专业实际需要选择讲授内容	<p>罚函数法、乘子法、线性规划求解算法、可行方向法等。根据不同专业和学生层次进行内容取舍,给出在人工智能、机器学习、通信等中的应用案例及参考文献。介绍相关算法研究前沿进展。根据课时安排课内或课后的上机实践。</p>
凸优化	<ol style="list-style-type: none"> 1) 凸规划模型及应用举例 2) 凸规划对偶理论 3) 内点法 4) 半正定规划(SDP) 5) 二阶锥规划(SOCP) 	<p>理论: 基础概念及定理 算法: 根据需求要选讲本算法</p>	<p>共轭对偶、lagrange 对偶与锥优化、中心路径、原始对偶内点法、SDP 的求解、SDP 松弛及应用、凸二次约束二次规划。根据课时安排课内或课后的上机实践。</p>
复合优化	<ol style="list-style-type: none"> 1) 近似点梯度法及近似点算法 2) 分块坐标下降法 3) 对偶算法 4) 交替方向乘子法 5) 随机优化方法 6) 软件求解介绍 7) 应用举例 	算法: 根据课时和专业需求选择讲授内容	<p>近似点梯度法、Nesterov 加速算法、近似点算法、分块坐标下降法、对偶算法、交替方向乘子法、随机优化方法。根据不同专业和学生层次进行内容取舍,给出在人工智能、机器学习、通信等中的应用案例。介绍相关算法研究前沿进展。根据课时安排课内或课后的上机实践。</p>
其它优化算法	<p>启发式方法 局部搜索 遗传算法 禁忌搜索 模拟退火算法</p>	算法: 根据课时和专业需求选择讲授内容	<p>介绍启发式算法和一些经典智能优化算法,拓展优化算法内容,为进一步学习研究打下基础。根据课时安排课内或课后的上机实践。</p>

2) 互动、探究启发式教学。以往的教学基本以灌输式为主, 必须改变传统的教师讲授, 学生被动听取的单一模式。结合学生专业和研究方向, 针对课程内容, 进行互动、探究启发式教学, 让学生参与到教学过程中。例如, 在讲授最优性条件时, 可以从同学们在高等数学中就很熟悉的条件极值出发, 回顾高等数学里求解条件极值的方法并提问, 为什么这样求出来的是极值(高等数学一般不讲这个原理)? 由此展开讨论并最后归纳总结, 得出等式约束的 KKT 条件, 然后由此讨论如何对一般的约束进行推广, 讨论函数不同光滑性下如何保证解的最优性。这样通过讨论面向现实中的具体问题, 探究解决问题的思路和方法, 不仅能加深学生对数学概念和性质的理解, 还能激发学生对知识的综合运用和创新思维。在线性规划章节, 可以从具体的食谱(营养素)问题出发, 展开讨论, 由此建立线性规划模型, 然后研讨如何寻找求解方法, 给出图解法及几何刻画, 由此得到线性规划的几何性质并基于此, 研讨如何将几何性质代数化, 给出基本解、基本可行解的概念并得到线性规划最优解必在基本可行解上达到, 由此出发, 进一步分析探讨, 建立单纯形算法, 然后考虑如何实施该算法, 这样让学生参与其间, 共同探究, 更好的让学生理解最优化算法, 更快的掌握知识。在线性规划中, 继续选取食谱问题作为例子来讲授对偶理论及对偶单纯形算法等等, 通过同一个例子的探究加深学生对线性规划单纯形算法和对偶理论的理解。

在无约束优化中我们可以选取数据拟合问题(线性/非线性最小二乘)作为例子展开研讨, 并由此给出梯度法、牛顿法、共轭梯度法、拟牛顿法等求解方法, 针对同一个问题的求解结果展示不同算法的优缺点以及在实际数值计算中的一些计算技巧。

在约束优化中可以选取基追踪问题进行研讨, 或者更简单的, 考虑一个目标函数为二次, 约束为线性函数的优化问题展开研讨, 探讨可行方向法、罚函数法、增广拉格朗日函数法等方法求解。

总之, 通过让学生积极参与, 从一个简单的实例出发, 探讨研究相关算法, 加深学生的理解, 更好的掌握课程知识, 增强学习热情。同时, 也根据课程选课人数适当采用翻转课题等新型教学手段开展教学, 提高学习成效和教学质量。

3) 科教融合, 基于课程开展研究训练。最优化是一门应用广泛、交叉性强的学科, 在教学中, 将科学研究与之融合, 基于课程内容, 设计研究主题, 拓展学生的学术思维和交叉研究能力。已有文献讨论了将研究性融入课堂教学[14][15]或者开展专题教学[16]。我们进一步将研究训练与课程教学相结合, 与本科生相比, 研究生已经具备一定的科研素养, 在教学中根据讲授内容和学生的专业背景, 提出一些开放性、研究性问题让学生结合课程进行研究, 转变传统的过于强调以学科知识教学为核心的教育模式, 更加注重教会学生综合运用多学科知识、以创新思维解决现实问题的能力。例如在讲授梯度法时让学生进一步思考如何对梯度法进行改进, 比如 BB 方法中步长的选取策略的进一步研究、机器学习一中阶优化算法的改进与拓展, 探讨一阶优化方法的加速、非凸、并行和分布式实现等等问题。进一步, 可以与研究生的创新创业活动相结合, 例如考虑计算机通信网络中的相关优化问题, 通过阅读相关文献, 找出优化目标, 进行算法设计与分析, 改进已有结果, 提高求解性能, 拓展最优化方法应用领域等等。这一举措既能让让学生更好的熟悉最优化理论与算法, 又能锻炼学生的科研能力, 对研究生的培养具有非常积极的作用和价值。

4) 思政融合, 将课程思政融入课堂。课程思政是落实立德树人任务的根本途径之一, 教师除了传授基本的专业知识, 也要通过言传身教, 培养学生的思想品德, 帮助学生树立正确的世界观、人生观、价值观, 最终培养德智体美劳全面发展的合格的社会主义建设者。学生不仅要学会专门的专业知识, 还需要有健全的人格, 正确的世界观、人生观、价值观, 有独立思考, 明辨是非的能力, 有爱国主义精神, 有大局观, 有乐于奉献、团结合作的集体主义精神。而这些能力的培养除了专门的思政课程外, 也需要在专业课程中加入思政元素, 加强三全育人成效。在教学过程中根据课程内容设计思政专题, 充分挖掘

课程内容中的思政元素,培养学生探索未知,追求真理、勇攀科学高峰,勇于创新的精神、增强学生的责任感和使命感,激发学生科技报国的家国情怀和使命担当。

5) 加强过程考核。学习是一个循序渐进的过程,为了督促学生学习,避免仅为了期末考试过关,拿个学分的情况,我们将把考核重点放在平时,放在课堂参与上,加大平时成绩在综评成绩里的比重,并且要将平时成绩评定真正落实起来,使得只有上课认真听讲积极参与,课后独立完成一定难度的作业才能取得合格的平时成绩,避免以往主要以期末成绩来考核学生,导致学生平时参与度不高,仅仅是在考前几天进行突击复习来完成期末考试,出现虽然成绩合格但实际上对课程内容并未掌握,混学分的情况。在平时作业中,除了布置一些基础题外,还将布置一些综合性、开放性题目以及小组项目形式的课题,布置一些经典优化文献给学生阅读(读原文原著),写读后总结,锻炼学生利用优化处理实际问题的能力和深刻理解优化的核心思想,了解研究成果的创新过程。

6) 创教、产教融合,培养学生创新能力。根据课程特点,与研究生数学建模竞赛相结合,从大学生和研究生数学建模竞赛的历年赛题中抽取与优化相关的题目,进行适当修改后布置给学生,以小组形式共同完成,或者在赛题的基础上进一步拓展研究,训练学生应用知识的能力,培养学生的创新意识。结合研究生的创新创业计划,布置小组项目作业,推动学生的创新思维,锻炼学生的创新能力。创教融合方面,通过向其他学科老师请教,把优化课程与学校信息通信特色相结合,通过创新创业计划训练学生应用最优化方法的能力,并形成丰富的实例,不断提高创教融合水平。产教融合方面,通过在教育部产学合作协同育人项目平台、黄大年茶思屋等平台以及企业发布的相关课题上查找与最优化相关的合适项目,带领有兴趣的学生参与相关研究,提高产教融合水平,把最优化理论用到实处。

4. 总结

本文首先分析了最优化理论与算法课程目前的教学现状与存在问题,在新工科教育体系下,结合思政、科教、创教、产教四融合思维,对课程内容体系和教学方法进行了探索。通过调查国内外高校最优化课程的教学经验和教学研究论文,结合我校实际,重构了课程内容体系、探索创新互动探究式教学,强化授课效果、融合思政提高三全育人水平、加强过程考核、基于课程进行研究训练,注重授课内容与学生专业及研究领域相互交叉融合,使学生能利用优化知识解决其研究中的实际问题,激发其学习热情,明确学习目标,提高课程教学质量和育人成效。

不同时代不同学生的知识背景和专业需求使得教学改革是一个动态的持续改进的过程,只有紧跟时代发展,在教学过程秉承以学生为中心,努力寻找适合学生学习的教学模式,为培养符合国家需要的高层次人才服务。

基金项目

北京邮电大学研究生教育教学改革与研究重点项目“新工程教育体系下的《最优化理论与算法》课程体系与教学模式研究与实践”(2021Y030),北京邮电大学研究生基础课程建设项目“最优化理论与算法”(2021ZY124)。

参考文献

- [1] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.
- [2] 林健. 面向未来的中国新工科建设[J]. 清华大学教育研究, 2017, 38(2): 26-35.
- [3] 乔建永. 构建“四融合”新工程教育体系的探索[J]. 中国高等教育, 2021(2): 4-6.
- [4] 乔建永. 面向新工科的“三贯通”教学改革[J]. 中国高等教育, 2021(17): 21-23.

- [5] 国务院学位委员会第七届学科评议组编. 学术学位研究生核心课程指南(试行) (二) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2020: 220.
- [6] 中国科学院. 数学优化[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [7] 陈宝林. 最优化理论与算法(第二版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [8] 袁亚湘, 孙文瑜. 最优化理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [9] 张襄松, 马元魁. 最优化方法课堂教学模式探索[J]. 教育教学论坛, 2020(8): 251-252.
- [10] 孙杰宝, 吴勃英, 张达治. 《最优化方法》课程教学法研究与实践[J]. 大学数学, 2017, 33(3): 120-124.
- [11] 张晓伟, 吕恕, 张勇. 高等院校最优化方法课程改革的思考与实践[J]. 大学数学, 2022, 38(3): 61-68.
- [12] 渐令, 孙清滢, 邵红梅, 等. 最优化方法实验课程创新设计[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(10): 223-225, 309.
- [13] 王文静, 王福胜. 高师院校最优化理论与方法课程教学改革——以太原师范学院为例[J]. 教育理论与实践, 2013, 33(15): 54-56.
- [14] 朱婧, 明春英, 郑连存. 基于研究型教学理念的数学建模和最优化课程建设[J]. 大学数学, 2014, 30(1): 87-91.
- [15] 范慧玲, 袁玉萍, 李欣. 研究性教学在最优化方法教学中的应用[J]. 高师理科学刊, 2014, 34(6): 77-79.
- [16] 贺素香, 周树民. 最优化方法课程中融入专题研究型教学方法的探索与实践[J]. 大学数学, 2022, 38(4): 52-57.