

最优控制与状态估计课程思政融合探索与实践

张亮¹ 马利^{1*} 赵宁¹ 王新勇¹ 张浩岩¹ 牛奔²

1.渤海大学 控制科学与工程学院

2.大连理工大学 控制科学与工程学院

DOI:10.32629/er.v9i7.7224

[摘要] 最优控制与状态估计是控制学科研究生培养中的核心必修课程，在最优控制、状态估计、智能控制以及动力学等多个研究方向均具有重要的理论支撑作用和广泛的工程应用价值。在课程传授专业知识、夯实学生专业功底的过程中，融入课程思政内容具有重要意义。一方面可以培养学生道德修养，树立主动担当的社会责任意识；另一方面可以帮助学生找准个人发展定位，把自身科研理想同国家重大发展需求、社会发展目标紧密结合。课程所强调的严谨求实的科学精神、系统分析能力和创新意识，与思政教育倡导的责任担当、服务国家和勇于创新等价值理念高度契合。通过专业知识学习与价值引领相结合，可以促进学生形成正确的价值取向，不断提升综合素养，为服务国家科技创新和社会高质量发展奠定坚实基础。

[关键词] 课程思政；最优控制与状态估计；教学方法改革；航天器轨迹优化

中图分类号：C934.1 **文献标识码：**A

Exploration and Practice of Integrating Optimal Control and State Estimation Courses with Ideological and Political Education

Zhang Liang¹, Ma Li^{1*}, Zhao Ning¹, Wang Xinyong¹, Zhang Haoyan¹, Niu Ben²

1 College of Control Science and Engineering, Bohai University

2 College of Control Science and Engineering, Dalian University of Technology

Abstract: “Optimal control and state estimation” is a core compulsory course in graduate education in Control Science and Engineering, providing fundamental theoretical support and extensive engineering applications across multiple research areas, including optimal control, state estimation, intelligent control, and dynamics. Integrating ideological and political education into the teaching process while imparting professional knowledge and strengthening students' disciplinary foundations is of great significance. On the one hand, it helps cultivate students' moral character and foster a strong sense of social responsibility and commitment. On the other hand, it enables students to clarify their personal development goals and align their academic aspirations with major national strategic needs and long-term social development objectives. The rigorous scientific attitude, systematic analytical thinking, and innovative awareness emphasized throughout the course are highly consistent with the values advocated by ideological and political education, such as responsibility, dedication to national development, and the pursuit of innovation. By integrating professional knowledge with value-oriented education, the course facilitates the development of sound values and comprehensive competencies, thereby laying a solid foundation for cultivating high-quality talents capable of contributing to national scientific and technological innovation and high-quality social development.

Keywords: “Curriculum ideological and political education”; optimal control and state estimation; reform of teaching methods; spacecraft trajectory optimization

引言

近年来，国家高度重视高校思想政治教育与专业课程建设的协同发展。在2024年9月召开的全国教育大会上，习近平总书记指出，教育工作必须坚守正确政治导向，落实立德树人根本任务，着力培养担当民族复兴大任的时代新人，为新时代高校课程思政建设进一步明确了目标要求^[1]。教育

部办公厅2023年5月印发的《基础教育课程教学改革深化行动方案》提出，应深化基础教育课程改革，强化学生核心素养培养，提高教师教学设计能力，积极探索探究性、实践性以及跨学科综合性教学模式，为课程内容与价值引领深度融合提供了重要的政策依据^[2]。在“最优控制”专业课程中融入思政育人元素，契合国家新时代教育核心使命，对研究

生个人综合素质的培育具有重要意义^[2]。最优控制是控制学科面向研究生开设的高阶专业课程，融合控制理论、数学优化方法与工程建模等知识，研究在系统约束条件下控制输入的最优设计问题，其目标是在满足性能指标的前提下实现系统运行效率最优或综合成本最低^[3]。随着智能制造、无人系统、智慧交通等国家战略性新兴产业的快速发展，最优控制理论在工业自动化、航空航天、机器人及智能系统等领域发挥着越来越重要的作用^[4-7]。因此，将课程思政元素融入最优控制课程的教学过程中，不仅有助于学生深入理解专业知识的工程背景和应用价值，还能够引导学生将个人专业发展与国家重大需求紧密结合，进一步增强科技报国意识和社会责任感。

本文以航天器燃料消耗与轨迹优化问题为教学案例，将专业知识讲授与思政教育相结合，在开展最优控制理论教学的过程中，引导学生关注国家重大工程需求和科技创新成果。在促进研究生专业知识体系的构建，提升科研创新能力和工程实践意识的同时，充分发挥思想政治教育在研究生培养中的育人功能，引导学生树立正确的价值取向，增强服务国家重大战略需求的责任意识，为培养德才兼备的高层次创新人才奠定基础^[8]。具体教学目标和教学方案如下。

1 课程融入思政元素的必要性

最优控制与状态估计是控制领域相关专业的重要专业基础课程，具有较强的理论性和工程应用价值，在智能交通、无人驾驶以及智能制造等领域得到广泛应用。随着新一代信息技术和智能控制技术的快速发展，课程内容已经不仅局限于理论分析和算法设计，更与国家重大工程建设、产业升级以及社会可持续发展密切相关。对于控制领域研究生而言，在掌握专业知识和研究方法的基础上，还需要深入理解控制技术在解决复杂工程问题中的实际价值。将课程思政融入最优控制与状态估计的课程教学，有助于学生从国家战略需求和社会发展需求的角度认识专业学习的重要意义，在提升专业素养和创新能力的同时，还可以进一步增强科技报国意识、工程伦理意识以及社会责任感。

《中国制造 2025》行动纲领的实施，以及 2024 年国务院政府工作报告中关于智能制造、人工智能等战略性新兴产业发展的相关部署，对控制学科人才培养指明了新的方向。面对国家科技创新和产业转型升级对高层次人才提出的新要求，课程教学过程中有必要将思政教育与专业知识讲授相结合，引导学生深入理解控制理论与国家重大需求之间的内在联系。在讲授专业知识的同时，通过典型工程案例分析和国家重大科技成果介绍，使学生不断增强家国情怀、系统思维和辩证思维能力，进一步认识控制理论在推动科技创新、服务国家战略以及促进经济社会高质量发展中的重要作用，

从而不断提升使命意识和责任担当。

2 课程融入思政元素的具体方案

2.1 问题的引出

随着我国经济、科技的不断发展，最优控制与状态估计作为控制领域的重要专业课程之一，其理论体系不断完善，应用领域也日益拓展^[9]。在最优控制与状态估计课程教学过程中，航天器轨迹优化讲授是最优控制理论的典型案例之一。该案例以航天器飞行任务为背景，要求在满足飞行约束条件和任务需求的前提下，合理规划飞行轨迹，使航天器能够准确到达预定目标，同时尽可能降低燃料消耗。围绕这一问题，学生需要综合运用变分法、庞特里亚金极大值原理以及动态规划等最优控制理论，对系统控制输入进行分析与优化，并进一步理解最优控制方法在复杂工程问题中的应用价值。为便于后续分析，假设航天器动力学可采用如下简化二阶系统进行描述：

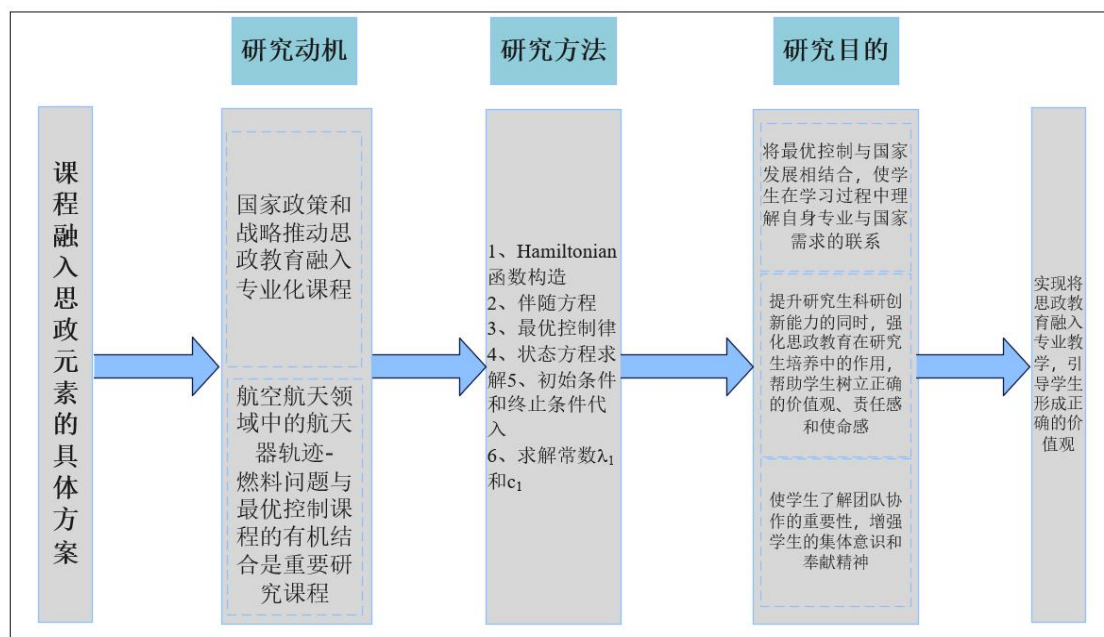
$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= v(t) \\ \dot{v}(t) &= u(t)\end{aligned}$$

其中 $x(t)$ 表示航天器的位置（如径向距离）； $v(t)$ 表示航天器的速度； $u(t)$ 为由推力产生的控制输入（加速度）； $t \in [0, T]$ 是飞行时间， T 表示航天器到达目标的终止时刻。

目标函数（燃料最小化）：航天器飞行过程中，希望在满足任务要求的前提下尽可能减少燃料消耗。由于推力大小与燃料消耗近似成正比，因此可将控制输入 $u(t)$ 作为优化对象，相应的目标函数可表示为：

$$J = \int_0^T u^2(t) dt$$

通过求解最优控制输入 $u(t)$ ，使得航天器在满足系统动力学约束及任务要求的条件下，实现燃料消耗最小的控制目标。在组织学生分析航天器轨迹优化问题的过程中，教师不仅可以引导学生掌握最优控制理论在工程实践中的应用方法，还可以结合航天科技的发展历程，引导学生思考航天技术在和平利用太空、推动人类科技进步等方面所承担的重要使命。与此同时，可进一步结合国际航天合作、全球空间治理以及我国航天事业取得的重要成就，引导学生认识我国航天科技在国际航天领域中的地位和贡献，帮助学生形成更加开阔的国际视野，增强服务国家重大战略需求的责任意识和使命担当。



2.2 具体解决方案

如何将航天器轨迹优化问题通过系统建模, 从而转化为控制领域的最优控制问题, 进而通过一些步骤进行优化求解的过程就是最优控制与状态估计课程的重要应用。学生们通过模拟航天器轨迹优化的实际工程问题, 开展团队项目, 让学生在合作中深刻理解国家重大工程背后团队协作的重要性。通过项目实践, 增强学生的集体意识和奉献精神也是一个重要目的^[10]。

Hamiltonian 函数构造:

我们首先构造最优控制问题的 Hamiltonian 函数:

$$H = u^2 + \lambda_1 v + \lambda_2 u$$

其中, $\lambda_1(t)$ 和 $\lambda_2(t)$ 是状态方程的伴随变量, 分别对

应于位置 $x(t)$ 和速度 $v(t)$ 的约束。

2. 伴随方程:

根据庞特里亚金极大值原理, 伴随变量的动态满足:

$$\dot{\lambda}_1 = -\frac{\partial H}{\partial x} = 0 \Rightarrow \lambda_1 = \text{常数}$$

$$\dot{\lambda}_2 = -\frac{\partial H}{\partial v} = -\lambda_1$$

因此 $\lambda_2(t) = -\lambda_1(t) + c_1$ (其中 c_1 是一个常数)。

3. 最优控制律:

最优控制 $u(t)$ 可以通过最大化 Hamiltonian 来求解:

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 2u + \lambda_2 = 0 \Rightarrow u(t) = -\frac{1}{2}\lambda_2(t)$$

带入 $\lambda_2(t) = -\lambda_1(t) + c_1$

$$u(t) = \frac{1}{2}(\lambda_1 t - c_1)$$

4. 状态方程求解:

我们现在可以求解状态方程:

$$\dot{x}(t) = v(t)$$

$$\dot{v}(t) = \frac{1}{2}(\lambda_1 t - c_1)$$

对速度方程积分得到:

$$v(t) = \frac{1}{4}\lambda_1 t^2 - \frac{1}{2}c_1 t + c_2$$

其中 c_2 是另一个积分常数。

再对位置方程积分得到:

$$x(t) = \frac{1}{12}\lambda_1 t^3 - \frac{1}{4}c_1 t^2 + c_2 t + c_3$$

初始条件和终止条件代入:

利用初始条件 $x(0) = 0$ 、 $v(0) = 0$:

$$x(0) = 0 \Rightarrow c_3 = 0$$

$$v(0) = 0 \Rightarrow c_2 = 0$$

利用终止条件 $x(T) = x_f$ 、 $v(T) = v_f$:

$$v(T) = \frac{1}{4}\lambda_1 T^2 - \frac{1}{2}c_1 T = v_f$$

$$x(T) = \frac{1}{12}\lambda_1 T^3 - \frac{1}{4}c_1 T^2 = x_f$$

3 结语

作为最优控制与状态估计课程的授课教师,不仅要培养学生分析问题、解决问题的能力,同时还要将思想政治教育融入专业课程教学,引导学生形成正确的世界观、人生观和价值观。即思想政治教育不仅是思想政治理论课教师需要研究的问题,同时也是非思想政治理论课教师需要探索的课题。经过初步尝试后发现,有些抽象的知识在通过引入思政元素并采用辩证思维方式讲解后,学生的接受程度更高,学习兴趣和学习效果明显提高,同时能够有效增强学生的责任感和担当。

【参考文献】

- [1]教育部办公厅.《基础教育课程教学改革深化行动方案》.2023年5月印发.教育部.
- [2]石书臣.正确把握“课程思政”与思政课程的关系[J].思想理论教育,2018,11:57-61.
- [3]胡寿松,王执铨,胡维礼.最优控制理论与系统[M].北京:科学出版社,2017.
- [4]曾祥远.研究生最优控制课程教学思考与实践1[J].力学与实践,2019,41(3):330-332.
- [5]曾祥远,温童歌,李俊峰.成果导向教育的教材建设初探——以《最优控制》为例[J].力学与实践,2023,45(6):1385-1392.
- [6]唐光义,高俊峰,李继革.课程思政在专业课程中的实践探索:以《软件项目管理》课程为例[J].高教学刊,2019(19):103-105.
- [7]任华玲.最优化与最优控制课程的教学改革建议[J].教育教学论坛,2017(16):141-142.
- [8]魏伟,刘载文.“以学生为中心”的最优控制课程优化与实践[J].中国现代教育装备,2021(15):110-112.
- [9]范文茹.“最优化理论与最优控制”课程思政探索[J].教师,2022(33):3-5.

[10]梁卫征,张瑞成,王晓爽,等.研究生“最优控制”课程教学案例建设研究[J].科技风,2023(8):49-51.

作者简介:

张亮(1987-),男,汉,辽宁盘锦,博士,渤海大学控制科学与工程学院副教授,研究方向:最优控制方法研究、系统稳定性分析、系统状态可达集综合等。

马里(1994-),男,汉族,辽宁阜新,博士,渤海大学控制科学与工程学院副教授,研究方向:无人系统状态估计、智能控制等。

赵宁(1991-),男,汉,内蒙古呼伦贝尔,博士,渤海大学控制科学与工程学院副教授,研究方向:网络化系统智能控制、事件触发控制等。

王新勇(1993-),女,汉,吉林通化,博士,渤海大学控制科学与工程学院讲师,研究方向:切换系统采样控制,预设性能控制等。

张浩岩(1995-),男,汉,辽宁铁岭,博士,渤海大学控制科学与工程学院副教授,研究方向:切换系统优化控制等。

牛奔(1982-),男,汉,山东济南,博士,大连理工控制科学与工程学院教授,研究方向:切换系统智能控制等。

*通讯作者: 马里

基金项目:

- 1.渤海大学研究生教育教学改革项目, YJG2025015, 新时代控制学科拔尖创新研究生“导师引领+平台支撑+项目驱动”培养机制实践, 2025。
- 2.渤海大学研究生教育教学改革项目, YJG2025024, 新工科背景下AI赋能的智能控制研究生培养模式改革研究, 2025。
- 3.辽宁省本科教学改革研究项目, 2025YBXM0600, 跨学科融合下控制类本科拔尖创新人才选拔培养机制实践, 2025。
- 4.辽宁省本科教学改革研究项目, 2025YBXM1416, 课程思政在电气类专业课程建设中的研究与实践, 2025。
- 5.辽宁省兴辽英才青年拔尖人才支持计划项目, XLXC2503110, 面向工业生产的随机系统可达集估计与智能安全控制研究, 2026。。