

基于 OBE 理念的单片机综合实验教学设计 ——以“立方体卫星多机通信”项目为例

叶东，兰盛昌，刘北佳，张俐丽

哈尔滨工业大学电子与信息工程学院，黑龙江 哈尔滨 150001

DOI: 10.61369/ETR.2025460045

摘要：针对高校“单片机”类课程实践教学存在的普遍性问题，本文基于 OBE 理念，以培养“懂技术、会思考、有情怀”的航天电子人才为核心，反向设计《基于单片机的创新实践》的课程目标，设计了“立方体卫星多机通信”综合实验项目，形成课前蓄力、课堂聚焦、课后拔高教学模式。通过这一实验设计，学生在解决“多机通信”实际问题的过程中，既夯实单片机通信基础，又提升了航天工程认知能力，更厚植航天精神及家国情怀。实践表明，该项目设计目标明确，有利于增强学生的实践创新能力。研究结果可为高校实践课程的教学改革提供参考。

关键词：OBE；单片机；实践教学

Design of Comprehensive Microcontroller Experiment Teaching Based on OBE Concept

—A Case Study of the "CubeSat Multi-Machine Communication" Project

Ye Dong, Lan Shengchang, Liu Beijia, Zhang Lili

School of Electronic and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001

Abstract : In response to the common issues in the practical teaching of microcontroller-related courses in higher education institutions, this paper, based on the Outcome-Based Education (OBE) concept, takes the cultivation of aerospace electronic talents who are "technically proficient, critically thinking, and emotionally engaged" as its core. It adopts a backward design approach to define the course objectives of Innovative Practice Based on Microcontrollers, and designs a comprehensive experimental project titled "CubeSat Multi-Machine Communication". This project incorporates an improved BOPPPS model structured with three phases: pre-class preparation, in-class focus, and post-class enhancement. Through this experimental design, students not only strengthen their foundational knowledge of microcontroller communication while solving real-world problems related to "multi-machine communication," but also enhance their understanding of aerospace engineering and deepen their appreciation of aerospace spirit and patriotism. Practical results demonstrate that the project has clear objectives and is effective in enhancing students' practical and innovative capabilities. The findings of this study can serve as a reference for the reform of practical teaching courses in higher education institutions.

Keywords : OBE; single chip microcomputer; practical teaching

引言

作为电子信息类专业的核心课程，单片机教学在培养学生硬件设计、系统构建和工程实践能力方面具有不可替代的作用。然而，目前课程教学内容与实际工程脱节，多数仍以基础验证性实验为主；技术更新滞后，教学案例更新较慢，难以匹配产业技术发展速度；实践深度不足，实验课时占比较低，且多局限于基础硬件操作层面^[1-4]。这些结构性矛盾严重制约了学生系统级工程能力的培养。OBE(Outcomes based Education, 成果导向教育)理念以学生能力达成为核心导向，聚焦工程实践能力培养，通过重构实践教学体系实现从“知识传授”到“能力生成”的范式转换，有效契合新工科建设对创新型、复合型工程技术人才的培养需求^[5-7]。因此，作者团队依托学校双一流学科和国家一流建设专业平台，融航天精神传承于实践教学，以立方体小卫星多机通信为例打造一个以培养“航天工程领军人才”为目标的实践教学课堂，让单片机教学更富意义。

一、实验任务设计

本实验设计依托《基于单片机的创新实践》课程，该课程面向电子信息类本科专业大二学生开设，包含24学时实践教学。学生在前12实践学时围绕普中51-A7开发板利用STC89C516这一51内核的单片机已经完成常用IO输入、定时器、中断等实验内容。后12学时为综合设计，鼓励学生在已掌握知识的基础上，充分发挥学生的自主学习的特点，对单片机进行拓展，在课堂当中通过群体协作、自主探究的方式将3~5个单片机组合为“立方体小卫星”的模拟星载系统。

立方体小卫星虽体积小，但完整涵盖了航天系统的核心模块，本质是一个“麻雀虽小、五脏俱全”的微型航天器。这种特性使其成为多学科知识交叉融合的天然平台。其电子系统包含星载计算机、GPS导航接收机、测控数传系统、太阳敏感器等，硬件接口通常包括以RS422/RS485为代表的串行通信口。将这一内容引入课堂既富含工程热点元素，又具备高阶挑战难度，易激发学生兴趣，以“立方星（CubeSat）多机通信”这一案例作为切入点，由学生自由组队完成立方体卫星电子系统的模拟。

以立方体小卫星研制对学生能力的提升体现在“硬技能”与“软实力”双维度：

（1）硬技能：以航天工程为模板，强化综合能力；实验内容设计要求学生需独立完成硬件电路认知、电平转换、接口互联等工作，也可以进一步了解涉及抗辐射器件选型与空间环境适应性优化。软件层面，从底层驱动、中间件到应用层，需掌握嵌入式编程的应用，部分内容可能涉及到操作系统。通过桌面试验，掌握工程测试的基本方法与数据分析能力。

（2）软实力：团队协作与工程管理

小卫星研制通常需组建跨专业团队，负责电子、软件、载荷等分系统，学生通过担任“总师”“分系统负责人”等角色，学习需求沟通、进度协调与冲突解决，培养领导力与团队意识。同时从研制计划制定到文档规范，遵循航天工程标准，提前适应工程项目的规范化管理要求。

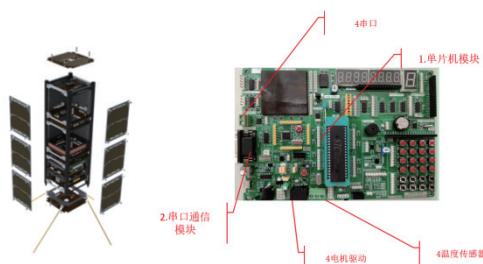


表1 开发套件可选的部分功能电路

| 标号 | 模块名称 | 功能 | 与立方体卫星的关系 |
|----|--------|---------------|----------------------|
| 1 | 单片机模块 | STC89C516最小系统 | 实验核心器件，模拟星载计算机和系统下位机 |
| 2 | 串口通信模块 | 串口通信用的硬件模块，课 | 模拟立方体卫星的系统总线 |

| | | | |
|---|--------|---------|---------------|
| 3 | 光敏传感器 | 采集光强信息 | 模拟太阳敏感器 |
| 4 | 北斗模块 | 采集经纬度坐标 | 模拟北斗导航传感器 |
| 5 | 温度传感器 | 采集温度信息 | 模拟热控系统温度遥测 |
| 7 | 电机驱动模块 | 提供转动惯量 | 模拟姿态控制系统反作用飞轮 |

围绕对立方体卫星的模拟，实验内容包含基础任务和进阶任务。其中基础任务是以使用80C51为代表的单片机实现与电脑端的通信，模拟遥测控过程；主要目的在于巩固串口通信的基本原理、基本格式、波特率和传输协议等相关知识，能够掌握基本的串口通信协议设计。进阶任务要求学生了解立方体卫星的电子系统组成，明确上位机和下位机概念；学生能够利用单片机自主构建立方体卫星的电子系统，设计协议，支持广播/点对点通信；同时要求协议设计融合通信可靠性考虑，自定义帧结构，包含起始位、地址码、命令字、数据域、CRC校验等。学生在进阶任务中自由组队，分组设置“总师”“硬件工程师”“软件工程师”等角色，模拟航天型号研制中的协同流程，强化“全局观”。

| 任务安排 | 实验内容 |
|------|---|
| 基础任务 | <p>将开发板通过USB转串口连接电脑；学生依据学号尾数n与4的余数，选取波特率： 若整除，波特率设置为9600bps； 若余1，波特率设置为4800bps； 若余2，波特率设置为2400bps； 若余3，波特率设置为1200bps；</p> <p>（1）通过串口调试助手发送的单字节ASCII命令：0xEB；返回姓名缩写和学号后6位； 当接收到其他指令时，返回“错误”提示。</p> <p>（2）通过串口调试助手发送的ASCII命令：0xEB 90 55 xx；若四字节正确，则返回数据帧：姓名缩写+学号后6位+命令帧最后一字节xx；当接收到其他指令时，返回“错误”提示。</p> |
| 进阶任务 | <p>学生自愿组队，依据立方体卫星的电子系统结构，依据表1中的对应关系，开放性选择构建立方体卫星的电子系统。将单片机开发板视作其中一节点，利用串口通信及拓展模块RS485总线拓展，完成多节点通信，实现远程实时控制。完成后学生演示“地面指令→主控→载荷/执行器→状态反馈”全链路流程。</p> |

二、教学设计与实施

教学设计应紧密结合航天器电子系统的最新技术和发展趋势，引入前沿性的实践类专题，使学生在学习过程中能够接触到最真实的行业问题；其次，搭建与课程内容配套的线上系统，方便学生自主学习和互动学习，提高学习效率；再次，采用鼓励学生使用生成式人工智能工具，知识迁移，促进高阶知识构建的跨越发展。充分发挥生成式AI技术的主体性和交互性优势，构建高阶思维和强化工程伦理道德，对于人工智能给出的答案和材料能够评判筛选、辩证思考；最后，通过个性化考核评估，促进学生之间的交流与合作，培养团队精神和沟通能力，帮助他们在未来的职业生涯中具备强大的竞争力。为此，我们采用了教学设计采用与项目学习相适应的BOPPPS改进模型。BOPPPS教学模式是

一种以教育目标为导向，以学生为中心的新型教学模式^[9]。本案例教学将传统的线性BOPPPS模型与基于项目学习有效结合，以项目学习为框架，将BOPPPS模块进行整合，形成课前蓄力、课堂聚焦、课后拔高的BOPPPS改进模型，详见图1。

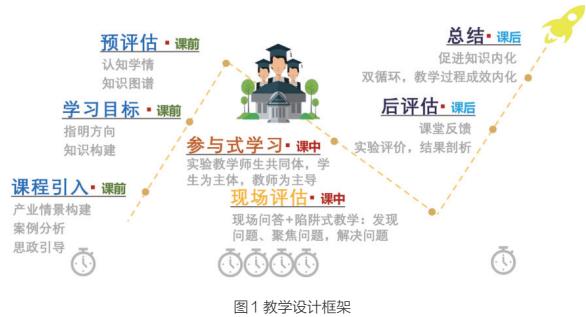


图1 教学设计框架

■课程引入 (bridge in)

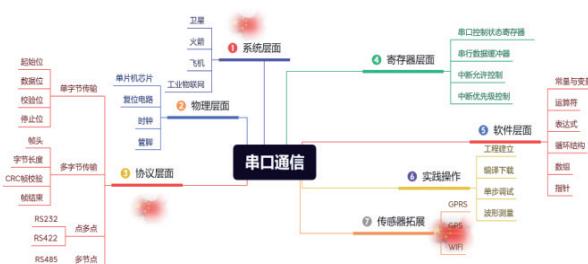
情景插入：学生应在课前通过雨课堂获取本次实验的内容和要求；学生通过网络查找串口通信在工业领域（特别是打造大国重器的航天、大飞机、空间机器人）领域的应用案例；深度融合思政元素，激发学生自主了解串口通信在工业领域主要应用场景、使用方法、存在的重难点问题和对应的解决方案。对上述问题和方法进行归纳总结，与实验任务要求进行对比分析；

教师引导：讲解小卫星总线特点，发放《立方体卫星电子系统设计任务书》模板。

■学习目标 (Objective)

实验教学从学生角度出发，集合了理论知识、工程素养、操作技能三个层面的目标。

在知识层面上，学生结合前期授课知识点，进一步巩固串口通信的知识点，阅读开发板原理图及芯片手册，单片机串口通信相关电路；明确案例涉及知识点；在工程素养方面，能够通过将课程前期实验项目成果，如温度传感器使用、光敏传感器等，有效引入到本次实验内容中，提升实验项目的可达度，促进学生理解工程项目的可移植性；在技能上，引入SPOC教学环节，叫学生掌握示波器、万用表等现代工程工具的使用方法，能够完成基本的软硬件调测试工作。



■预评估 (Pre-assessment)

教师在云平台进行课前问题汇总、学情评估。了解学生对本课题的兴趣及先备知识，根据学生的受训能力，把握有限实验学时和实验难度的控制。依据 Pre-assessment 的结果，由教师对汇总问题进行解答，对实验内容进行讲解。

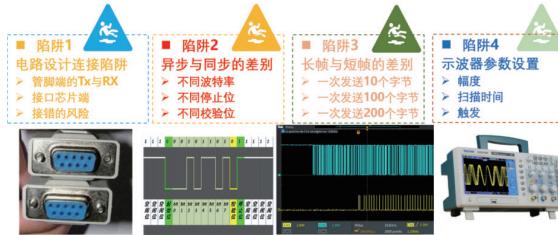
■参与式学习 (Participatory Learning)

实验教学充分体现“以学生为主体，教师为主导”，教师引导学生理解主要知识点，鼓励学生不断探索、发现问题、解决问题、升华问题。实验中既包含个人完成的必选项目，也包含团队完成的拓展项目；实验中预留了开放性空间，由学生自主选择高阶挑战任务，如学生可以选择GPS模块、电机控制模板等提升难度。以3MT（三分钟演讲）等方式引导学生积极参与到学习活动中来，进一步加深学生对所学内容的理解程度，同时也强化了学生的语言表达能力、沟通能力及合作能力等素养的培养^[10]。

利用交互式自我学习系统，实现知识点学习和总结、自动设计工具的使用等模块，以满足项目需要，助力未来职业发展。鼓励学生使用LLM模型下的代码自动生成技术，合理利用AI工具辅助实验任务完成，记录使用过程；

■现场评估 (Field-assessment)

现场评估在于教师能够依据实验课堂即时教学效果及时进行教学评估，采用陷阱式教学法，由教师根据常见问题设置陷阱、引导学生深究问题、走出陷阱，见图5；结合实验中出现的学生实验内容完成进度不一致、学生知识点理解不到位、现场仪器设备误操作等问题，能够进行有效教学反思整改，及时调整教学设计，从而更好地达成教学目标。



■后评估 (Post-assessment)

课后测验是判断学生是否达到预期的重要环节。该阶段的目的是验收学习成果。要求在课后或者教学过程中及时评估教学效果。

以实际工程项目验收为模板；鼓励能力强的同学挑战高阶；帮助实践能力弱的同学捅破窗户纸；正向鼓励帮助基础差的同学迎难而上

■总结 (Summary)

以学生的实验报告中创新点总结、云平台课后优秀作品展示等环节为主，由教师引导学生对于串口通信的知识点进行总结，完成对优秀作品的互评。

以一个实验项目的教学为小周期循环，内部进行理论知识、工程素养、操作技能深度交融，进而成效内化；以一轮次课程教学大周期循环内体系优化再构、意义创造，通过小周期循环的不断验证、反馈，从而超越实验教学的前次建构，坚持“价值塑造、知识夯实、能力突破”为目标，在持续改进的双循环框架下，相依而促进，迭代而升华。

三、实验评估

通过完善过程管控、教学活动组织、学习成效评价，并基于

评价结果持续改进，形成“实施－评价－反馈－改进”闭环在综合设计环节。该项目，将实践教学“能力导向”与AI技术赋能”、思政的“价值引领”深度融合，以培养“航天工程领军人才”为目标的实践教学课堂。建设“微纳卫星工场”，学生按航天工程组建PI机制国际化研究团队，自主研制系列微纳卫星，提升解决复杂工程问题的能力，深刻感悟航天精神，培养学生始终心怀家国、厚植服务国防航天事业的使命担当意识。其中，哈工大紫丁香学生微纳卫星团队成为科教融合育人模式的典范，获得第24届“中国青年五四奖章”（集体），《黑龙江日报》、《精神文明报》等多家媒体竞相报道。2021年度研究生参与各项创新实践系列赛事累计获奖215项，其中国家级一等奖38项，二等奖52项，三等奖45项，省部级一等奖37项，二等奖43项。13人获得全国“做

出突出贡献的工程硕士学位获得者”，15人获得全国“工程硕士实习实践优秀成果获得者”。

四、结语

面向电子信息类高年级专业课实验教学的现状，本文提出了在传统BOPPS模型的基础上进行了优化，强调现场评估的重要性，通过实验教学设计让学生深化对单片机及小卫星等相关知识点的理解，引入学科前沿和工程热点元素，解决“多机通信”实际问题的过程中，既夯实单片机通信基础，又提升了航天工程认知能力，更厚植航天精神及家国情怀。实践表明，该项目设计目标明确，有利于增强学生的实践创新能力。

参考文献

- [1] 王涵余, 龚忠友, 吴允平. 单片机实验报告短视频化的教学改革与效果分析——以“中断”实验为例 [J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(03): 153–156. DOI: 10.19927/j.cnki.syjt.2025.03.029.
- [2] 林瑾. TOPCARES-CDIO 模式的《单片机原理与接口》课程教学改革 [J]. 计算机工程与科学, 2019, 41(S1): 81–84.
- [3] 马春燕, 郑剑海, 王淑红, 等. 基于“口袋机”的“单片机原理与接口技术”课程开放式教学探索 [J]. 实验技术与管理, 2020, 37(04): 16–19+27. DOI: 10.16791/j.cnki.sjg.2020.04.005.
- [4] 张伟. 单片机与接口技术课程研究型教学模式研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(06): 190–194. DOI: 10.13718/j.cnki.xsxb.2018.06.030.
- [5] 刘微容, 李炜, 鲁春燕, 等. 能力导向、一体双模、虚实协同“控制理论与工程实践”课程群建设探索 [J]. 高等工程教育研究, 2024, (01): 58–64.
- [6] 陈鑫, 赵宝成, 范存新, 等. OBE 理念下工科专业课程持续改进机制设计与实践 [J]. 实验室研究与探索, 2023, 42(12): 161–169. DOI: 10.19927/j.cnki.syjt.2023.12.030.
- [7] 付麦霞, 段宇乐, 杨六栓等. 新工科背景下电子信息类专业产教融合模式思考与探索 [J]. 高教学刊, 2023, 9(31): 87–90.
- [8] 万邦睿, 李生林, 钱鹰. OBE 理念指导软件项目实践课程教学方法 [J]. 高等工程教育研究, 2024, (03): 92–97..
- [9] 邱燕燕, 范嘉盈, 夏青, 等. 融入 BOPPS 的混合式形态学实验教学探索与实践 [J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(01): 136–140. DOI: 10.19927/j.cnki.syjt.2025.01.026.
- [10] 于晓慧. 元话语视角下中英学者三分钟英语论文演讲对比研究 [D]. 烟台: 鲁东大学, 2023.