

# 基于OBE理念的金属材料工程综合实验教学设计 and 实践

聂洪波<sup>1</sup>, 李德贵<sup>1</sup>, 陈德勇<sup>2</sup>

<sup>1</sup>百色学院材料科学与工程学院, 广西 百色

<sup>2</sup>广西梧州港德硬质合金制造有限公司, 广西 梧州

收稿日期: 2023年1月20日; 录用日期: 2023年2月17日; 发布日期: 2023年2月24日

## 摘要

介绍了百色学院基于OBE理念的金属材料工程综合实验课程教学改革。金属材料工程综合实验具有涵盖知识全面和实验设计复杂的综合性特点, 是本专业的重要实验实践课程。该课程从培养目标和毕业要求为起点, 改革了课程目标和教学设计, 重构了考核内容和教学评价。经过教学实践, 证明能够支撑“研究”专业能力和“个人与团队”工程素养毕业要求的达成。

## 关键词

OBE, 教学改革, 金属材料工程, 综合实验

# Teaching Design and Practice of Comprehensive Experiments of Metal Material Engineering Based on OBE Concept

Hongbo Nie<sup>1</sup>, Degui Li<sup>1</sup>, Deyong Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Materials Science & Engineering, Baise University, Baise Guangxi

<sup>2</sup>Guangxi Wuzhou Gangde Cemented Carbide Manufacture Co., Ltd., Wuzhou Guangxi

Received: Jan. 20<sup>th</sup>, 2023; accepted: Feb. 17<sup>th</sup>, 2023; published: Feb. 24<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The teaching reform based on OBE concept of metal material engineering comprehensive experiments in Baise University is introduced. The comprehensive experiment of metal material engi-

neering contains the comprehensive specialist knowledge and involves complex experimental design, and is an important experimental practice course of this major. Starting from the goals of professional talent and the graduation requirements, this course has reformed the curriculum objectives and teaching design, and reconstructed the assessment content and teaching evaluation. Through teaching practice, it has been proved that it can support the achievement of graduation requirements including "Research" professional ability and "Individual and Team" engineering literacy.

## Keywords

OBE, Teaching Reform, Metal Materials Engineering, Comprehensive Experiment

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

OBE (Outcome-Based Education, 产出导向教育)是一种学习产出驱动整个教学活动和学生学习产出评价的结构与系统[1]。OBE 理念是工程教育认证的“学生中心、产出导向、持续改进”三大核心理念之一,也是新工科建设中目标导向一体化培养模式的重要理念[2]。2016 年以来,随着新工科的概念提出与建设以及中国工程教育认证的加速开展, OBE 理念也得到了广泛和深入的推广[3] [4]。基于 OBE 理念,高校工科学生学习产出的最终目标是在毕业 5 年后能够成为本行业的合格工程师,其中最重要的是具有解决复杂工程问题的能力[5] [6]。

解决复杂工程问题,就要求学生能够运用专业知识,独立或者借助团队,将可能性转化为现实。这种能力的培养,除了要求学生达成理论课程的理论知识学习目标之外,实验实践环节的课程学习也至关重要。“金属材料工程综合实验”在金属材料工程的实验实践课程体系中具有承上启下的作用,能够培养学生的实践动手能力、应用能力、创新思维和综合思维等,同时也培养学生的沟通和团队合作精神[7] [8]。本文结合百色学院的教学改革实践,从培养目标、毕业要求、实验实践课程体系、课程目标、教学设计和考核评价等方面,论述基于 OBE 理念的金属材料工程综合实验教学设计和实践。

## 2. 设定实验实践课程体系

2021 年,百色学院金属材料工程专业重新修订了人才培养方案和相应课程体系。首先,从人才市场的岗位需求和岗位职责要求中筛选本专业的人才需求及相应能力要求,结合学生、雇主、老师、校友、学校等调研意见,制订了本专业人才培养目标,要求本专业学生毕业后 5 年左右能够成为一名合格的工程师,同时应具备能够应用专业知识解决金属材料行业核心领域的复杂工程问题的专业能力。为了支撑上述人才培养目标,本专业的 12 条毕业要求中,“复杂工程问题”在其中 8 条中出现了 9 次,因此,课程体系的设置必须充分考虑本专业学生运用专业知识解决“复杂工程问题”毕业要求的达成。

金属材料工程是研究金属材料的组成、结构、合成与制备、性质与使役性能等基本要素及其相互关系的学科。根据人才培养目标和毕业要求对学生专业能力的要求,百色学院的本专业理论课程设置了材料科学基础、材料力学、材料工程基础、材料性能学、热处理原理及工艺、金属材料学和材料现代分析技术等专业课程,而在实验实践模块设置了金工实训、专业见习、专业实习和大学物理实验、金属材料基础实验(I~III)、金属材料工程综合实验、毕业设计(论文)等课程。少部分实验教学则设置在相应的理论

课程中,例如“金属腐蚀与防护”和“铝材检验技术”设置了课程实验。

金属材料工程属于实践性较强的工科专业,需要通过专业实验培养学生的动手能力、分析能力,激发学生的研究兴趣、创新意识,提高分析问题,解决问题的能力。金属材料基础实验(I~III)主要针对金属材料的组成、结构、合成与制备、性质与使役性能等某一基本要素进行设置,是培训某种具体试验设备操作和掌握某方面专业知识,对运用专业知识解决“复杂工程问题”的能力培养欠缺。例如,“金属材料基础实验(I)”主要设置的是金相显微镜、金相样品制备和金相观察等,“金属材料基础实验(II)”设置的是金属材料的力学性能和物理性能测试实验,而“金属材料基础实验(III)”则是物相分析、电子显微结构分析和综合热分析等现代分析技术实验。“金属材料工程综合实验”正好可以弥补上述基础实验的不足,充分发挥实验课程的“综合性”来培养学生解决“复杂工程问题”的能力。金属材料工程综合实验的“综合性”体现在两个方面:一是实验所涵盖的知识内容既包括金属材料的组成、结构、合成与制备、性质与使役性能等基本要素,也包括它们的相互关系,具有系统性;二是实验内容既包括实验设计、设备操作、原材料选择、样品制备和性能测试,又包括材料组成、结构、制备和性能相互关系的分析,具有协同性。

根据“金属材料工程综合实验”的“综合性”特点,我校金属材料工程专业在课程体系设计中将“金属材料工程综合实验”与其他相关课程一起,共同支撑毕业要求中“研究”与“个人与团队”的达成,具体见表1。在表1中,毕业要求4“研究”属于目标分类中的认知领域,在认知向度方面归类于“创造”,属于布鲁姆(BLOOM)法则的高阶层次[9]。“金属材料工程综合实验”作为主要课程,支撑了毕业要求4“研究”中两项指标点的达成。此外,本课程部分实验需要学生分组结伴进行,所涵盖的不同实验项目还需要在不同实验室开展,牵涉到诸多实验室管理人员的协调与沟通,因此,本课程作为辅助课程,还支撑了毕业要求9“个人和团队”的达成。“个人和团队”归于目标分类中的情感领域,在认知向度方面归类于“记忆、理解和应用”,属于低阶层次[9]。根据“金属材料工程综合实验”支撑的两项毕业要求为起点,重构课程教学目标、内容、考核和评价等教学设计。

**Table 1.** The division of graduation requirement index points and the related supporting curriculum

**表 1.** 毕业要求指标点分解表与相关支撑课程

序号	毕业要求	毕业要求指标点	支撑课程
1	毕业要求 4, 研究: 能够基于科学原理并采用科学方法对材料成分、结构、工艺与性能等相关的复杂工程问题进行研究, 包括设计实验、分析与解释数据、并通过信息综合得到合理有效的结论。	4.3 能够根据实验方案, 构建材料制备、结构表征和性能检测等金属材料相关的实验系统, 安全地开展实验, 正确地采集实验数据。	金属材料基础实验(I)、金属材料基础实验(II)、金属材料基础实验(III)、金属材料工程综合实验
2		4.4 能对金属材料工程领域的实验结果进行分析和解释, 并通过信息综合得到合理有效的结论。	金属材料基础实验(II)、金属材料基础实验(III)、金属材料工程综合实验、数据处理与分析
3	毕业要求 9, 个人和团队: 能够在金属材料工程及相关多学科背景下的团队中承担个体、团队成员以及负责人的角色。	9.2 能够在材料、冶金、化学、物理和机械等多学科背景下的团队中独立或合作开展工作。	机械制图训练、材料性能学、金属材料工程综合实验、军事技能、专业实习

### 3. 创新教学设计

课程目标是课程本身要实现的具体目标和意图, 是连接课程教学设计和毕业要求的桥梁。我校“金属材料工程综合实验”的课程目标有 3 个, 分别是: 课程目标 1, 能够根据自己所拟定的实验方案, 构

建材料制备、结构表征和性能检测等金属材料相关的实验系统，安全地开展实验，正确地采集实验数据；课程目标 2，能够结合相关文献，对实验所获得的实验结果进行分析和解释，并通过信息综合得到合理有效的结论；课程目标 3，能够组成团队独立或合作开展实验，能够与实验室人员协调，在相关实验室完成实验。

我校“金属材料工程综合实验”课程在第 7 学期开设，共包括 4 个平行模块：1) 碳钢热处理工艺 - 组织 - 性能的系统实验，2) 铝基复合材料的粉末冶金制备综合实验，3) 二元合金熔炼及显微组织观察与分析实验，4) 铝合金轧制/时效 - 显微结构 - 性能的系统实验。每次开课根据当年实验室资源和任课教师情况，择优开设上述其中的两个模块，各占 50%学时和学分，共 48 学时、2 学分。本文以“铝基复合材料的粉末冶金制备综合实验”为例，讲述“金属材料工程综合实验”课程的教学设计，另 3 个模块也均采用类似的设计。

“铝基复合材料的粉末冶金制备综合实验”模块是以“粉末冶金法制备 CoCrFeNi/7075Al 复合材料是结构与性能”为主题开展的。这个综合实验将新材料 CoCrFeNi 高熵合金和 7075 铝合金的最新科研成果引入到课程教学中，培养学生科研和创新思维[10] [11]。该综合实验主要分 3 个子模块：实验准备与方案设计、实验开展与数据采集以及结果分析与报告撰写，具体见表 2。

**Table 2.** Correspondence between teaching contents and course objectives

**表 2.** 教学内容与课程目标的对应关系

序号	实验子模块	支撑的课程目标	课程教学内容
1	实验准备与方案设计	课程目标 1 课程目标 3	1. 粉末冶金文献和教学视频的预习 2. 粉末冶金知识的现场讲解 3. 实验室和相关仪器操作安全知识讲解 4. 实验内容的布置与讲解，包括： 4.1 分组称量、配置 CoCrFeNi/7075Al 粉末原料，CoCrFeNi 的重量百分比可以为 10%、20%和 30%，每组三选一 4.2 7075Al 和 CoCrFeNi/7075Al 粉末原料的湿磨、真空干燥和擦筛制粒 4.3 根据成形压强计算压机成形压力，压制成形 7075Al 和 CoCrFeNi/7075Al 的压坯以及测量压坯密度，计算压坯相对密度 4.4 真空烧结或者(SPS)制备 7075Al 合金和 CoCrFeNi/7075Al 复合材料样块 4.5 排水法测量合金密度，计算合金的烧结后相对密度 4.6 金相制样和金相观察 4.7 测试两种合金硬度(布氏硬度或洛氏硬度，二选一) 5. 制订实验方案和评审
2	实验开展与数据采集	课程目标 1 课程目标 3	6. 根据实验方案开展实验和过程考核 7. 正确测量和收集成形压力、压坯密度、合金烧结温度、烧结时间、合金密度、合金金相和硬度等
3	结果分析与报告撰写	课程目标 2	8. 查阅文献结合实验数据对实验结果进行综合分析，撰写和提交实验报告 9. 实验报告评审

为保证实验仪器和场地能够满足上课需要，在开课前将同一个班级的学生分为 AB 两组，由两个任课老师同步平行开展教学，每个组上完一个 24 学时综合实验模块后，交换上另一个模块的综合实验。在



“铝基复合材料的粉末冶金制备综合实验”模块上课前，任课老师首先将表 2 中列出的粉末冶金文献和教学视频通过“雨课堂”发送给班级学生，学生提前对相关知识进行学习。粉末冶金的教学视频分两部分，均 10 分钟左右。第一部分视频是任课老师讲述的理论知识，第二部分是讲授本地区某个金属粉末冶金企业的生产设备、工艺流程和检测车间实景，以及粉末冶金企业重要的安全注意事项等，由该企业的工程师讲授，可以让学生更真切地知道生产实际。在正式上课时，任课老师结合相关视频的内容对粉末冶金知识再次进行现场讲解，同时回答学生预习时遇到的问题。首次课程最为重要环节是第三级安全培训，任课老师结合实验室和相关仪器进行安全知识讲解和操作培训，培养学生具有安全实验的意识。在首次课程的最后将表 2 中列出的实验内容布置给学生。课后学生根据相关实验内容分组进行准备，每组 2~3 人，共同提交 1 份实验方案。实验方案应包括实验目的、实验原料和设备、实验步骤和实验预期等。特别是制订实验预期，可以培养学生运用所学的基本原理和知识来分析金属材料工程领域复杂工程问题的能力。在提交实验方案之前的后续时间，学生可以根据实验准备需要和自身情况，预约相关实验室管理人员对实验室和设备进行了解、熟悉和操作练习，相关实验活动的时间均计入课时。

在提交实验方案之后，任课老师进行审阅打分，并对其中的错误和不足与相关小组学生进行讨论。实验方案修改和确认后就可以分组进行实验。在实验结束后，每个学生独立进行实验结果陈述和数据分析，撰写并提交实验报告。

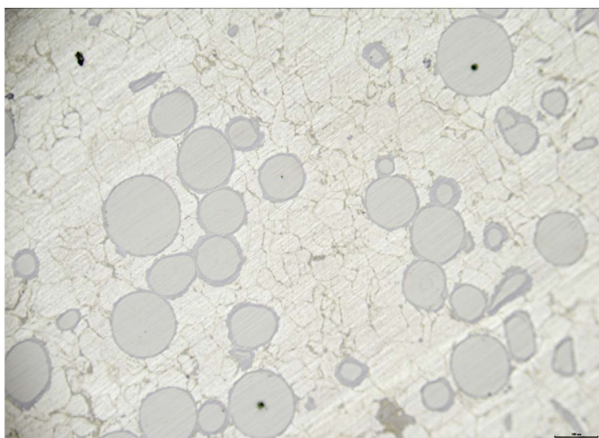
#### 4. 重构考核内容和教学评价

课程考核和评估是 OBE 理念中学习产出的评价基础，也是工程教育“持续改进”的前提。“铝基复合材料的粉末冶金制备综合实验”3 个子模块的课程分数占比分别为 10%、20%和 20%，并且考核方式不同。其中，子模块 1“实验准备与方案设计”和子模块 3“结果分析与报告撰写”这两部分是根据实验方案和实验报告两个书面报告进行给分，主要评估学生“研究”专业能力的达成。这两部分合格，说明学生不仅具有运用所学的基本原理和知识来分析金属材料工程领域复杂工程问题的能力，以及根据实验预期目标设计实验方案，还能够结合相关文献，对实验所获得的实验结果进行分析和解释，并通过信息综合得到合理有效的结论。例如，有些同学实验方案中的实验预期是“通过向 7075 铝合金粉末中加入 CoCrFeNi 高熵合金粉末，压制、烧结制备出具有 CoCrFeNi 颗粒弥散结构的铝基复合材料，这种材料具有比 7075 铝合金更高的硬度”。最终在实验结果中果然获得了具有弥散颗粒结构的合金金相，见图 1。同时经过布氏硬度测试对比，这种合金的硬度确实比 7075 铝合金的略大一些。又例如，部分同学将自己制备并测试的 7075 铝合金和 CoCrFeNi/7075Al 复合材料布氏硬度，与同学制备的不同 CoCrFeNi 含量(10%、20%和 30%)的合金硬度进行比较，发现测试值差异并没有想象的那么大，因此分析给出该类型合金的硬度主要与基体 7075 铝合金的连续性相关，这说明学生已经初步具备了运用材料学知识分析金属材料工程领域复杂工程问题的能力。

子模块 2“实验开展与数据采集”也是评估学生“研究”专业能力的达成，但采取现场过程考查的方法进行考核。考查内容包括压机成形压力计算、粉末压片机操作、粉末装模、压坯外观完整性、压坯重量测量、压坯尺寸测量、压坯体积和密度计算、压坯相对密度计算、烧结设备和工艺设定操作、排水法测试合金密度、硬度计操作和硬度值测算等。所有考查内容记录在同一张现场考查登记表中，在课程结束时装订放入课程考核档案。上述考核主要是评估学生是否能够根据自己所拟定的实验方案，构建材料制备、结构表征和性能检测等金属材料相关的实验系统，安全地开展实验，正确地采集实验数据。如果该过程考核合格，说明学生已实现安全地开展实验和正确地采集实验数据专业能力的达成。

在过程考查的时候也发现了一些问题。例如，部分同学对动手操作有抵触心理，认为自己以后不会做这些工作；少数同学无法快速对游标卡尺之类的测量工具进行读数；部分同学不能根据目标成形压强

(MPa)计算样品所需成形压力(吨力, Tf)和压机的操作压力(吨力, Tf)等。在过程考核中发现这些问题后,任课老师都会及时辅导或开解,让学生能够正确掌握相应知识和技能。



**Figure 1.** Metallographic photo of CoCrFeNi/7075Al composite prepared in the course  
**图 1.** 课程中制备的 CoCrFeNi/7075Al 复合材料的金相图像

此外,子模块 1“实验准备与方案设计”和子模块 2“实验开展与数据采集”还支撑毕业要求 9“个人和团队”的达成。在实验准备与方案设计中,小组内部成员存在讨论和协商,共同完成实验报告。在实验开展与数据采集中,学生需要与实验室人员预约试验,在实验室人员指导和监督下安全操作设备开展试验,同时还存在小组内部的分工和协作,小组之间数据的交流、分享与比对等。上述活动贯穿了整个课程,因此,在这两个模块考核中,设置了固定比例的分数用于考核“个人和团队”工程素养毕业要求的达成,不单独进行考核。

综上所述,OBE 理念具有非常强的目标导向和严谨的内在逻辑,百色学院基于 OBE 理念的金属材料工程综合实验改革,从培养目标和毕业要求为起点,重建了实验实践课程体系,创新了课程目标和教学设计,重构考核内容和教学评价,经过两年教学实践,证明能够支撑“研究”专业能力和“个人与团队”工程素养毕业要求的达成。

## 基金项目

广西高等教育本科教学改革工程重点项目“基于 OBE 理念的地方高校工程教育专业认证改革研究与实践——以金属材料工程专业为例”(项目编号:2021JGZ157);百色学院本科教学改革工程项目“基于 OBE 理念的专业导论课程思政教学设计与实践——以金属材料工程专业为例”(项目编号:2022JG62);百色学院校级一流课程(课程思政示范课程)建设项目“金属材料工程专业导论”(项目编号:2022KC78)。

## 参考文献

- [1] 李志义. 成果导向的教学设计[J]. 中国大学教学, 2015(3): 32-39.
- [2] 顾佩华. 新工科与新范式: 概念、框架和实施路径[J]. 高等工程教育研究, 2017(6): 1-13.
- [3] 吴爱华, 侯永峰, 杨秋波, 郝杰. 加快发展和建设新工科 主动适应和引领新经济[J]. 高等工程教育研究, 2017(1): 1-8.
- [4] 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.
- [5] 蒋宗礼. 本科工程教育: 聚焦学生解决复杂工程问题能力的培养[J]. 中国大学教学, 2016(11): 27-30, 84.

- [6] 林健. 如何理解和解决复杂工程问题——基于《华盛顿协议》的界定和要求[J]. 高等工程教育研究, 2016(5): 17-26, 38.
- [7] 戚琳, 程从前, 史淑艳, 赵杰, 邹龙江. 基于专业认证的“金属材料工程与技术综合实验”课程建设与实践[J]. 实验室科学, 2018, 21(5): 130-133.
- [8] 臧树俊, 张建斌, 贾建刚. 金属材料工程专业综合实验教学的改革与探索[J]. 实验科学与技术, 2019, 17(1): 118-122.
- [9] 李志义. 中国工程教育专业认证的“最后一公里” [J]. 高教发展与评估, 2020, 36(3): 1-14.
- [10] 王永强, 李娜, 斯松华, 朱国辉, 李维火. 新时代金属材料工程专业高素质本科人才培养教学改革与实践[J]. 华北理工大学学报(社会科学版), 2019, 19(3): 86-90.
- [11] Liu, Y.Z., Chen, J., Liu, J.N., Zhang, P. and Wang, Y.Q. (2021) Core-Shell Structure Mediated Microstructure and Mechanical Properties of High Entropy Alloy CoCrFeNi/Al Composites. *Vacuum*, **192**, Article ID: 110454. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2021.110454>