

学校代码: 10394

图书分类号: G622

学 号: QSZ20220946

密 级: 公开



专业学位硕士学位论文  
面向工程思维培养的小学科学教学实践研究——以“做个生态瓶”为例  
Research on Primary School Science Teaching Practice Oriented to the Cultivation of Engineering Thinking --Taking "Making an Ecological Bottle" as an Example

论 文 作 者: 吴春玉

指 导 教 师: 孔艺

学 科 专 业: 小学教育

研 究 方 向: 小学学科教学改革

学 习 形 式: 全日制

培 养 单 位: 福建师范大学

提 交 时 间: 2024 年 6 月 3 日

## 摘要

STEM教育主张打破学科教学间的知识壁垒,强调多学科融合育人,其将科学、技术、工程和数学等四个学科进行整合以发展学生的高阶思维和综合运用知识的能力。在当前的教学背景下,STEM教育受到了学界的广泛关注,开始成为当下主流的教育教学理念。在其发展过程中,工程学科的优势开始显现,工程思维也逐渐进入了人们的视野。2022年,我国发布了新版的科学课程标准,新课标将“技术、工程与社会”作为科学核心概念之一,主张通过培养工程思维以发展学生的科学素养。对小学工程思维展开教学实践研究,不仅可以为小学工程教学设计提供一定参考,还能丰富工程教学和科学教学的研究内容,扩宽小学工程思维的培养方式。为了促进小学生工程思维的发展,本研究采用文献分析法和课堂观察法,试图将科学、工程、生物、技术等学科知识加以有机整合,展开培养工程思维的教学设计与实践,探究其培养工程思维的有效性,提出培养小学生工程思维的教学建议。

本研究首先结合工程思维培养的相关课程标准、工程设计流程等理论、6E设计型学习模式等教学模式,对工程思维培养的教学内容、教学目标、教学过程和教学评价进行设计,最终构建了面向工程思维培养的小学科学教学框架。其次,以小学六年级科学教材的“做个生态瓶”一课为例展开面向工程思维培养的具体教学设计。最后,选取了Q小学六年级学生作为教学对象并在小学科学课堂开展了总计四个课时的实践。在教学实施后,通过课堂观察、工程学习单和自我评价单等评价方式分析教学结果,从而检验本研究在培养学生工程思维方面的有效性。

研究发现,面向工程思维培养的小学科学教学实践研究有助于学生获得、理解并综合运用工程知识,有助于学生发展工程思维,有助于学生形成良好的工程态度。对教学设计和实施进行总结得出了以下结论:培养工程思维的教学框架具备合理性,本研究具备培养工程思维的有效性,教学设计与实践具备学科深度整合的特性。此次教学设计与实施中也存在一定的问题,为了优化教学效果,本研究提出了以下建议:明晰思维构成,提倡学科知识的深度整合;优化评价机制,开发教学评一体化的评价方式;突出工程迭代过程,完善工程思维的培养环节;合理选择策略,构建高效的合作化课堂。

**关键词:** 工程思维; 工程素养; 教学设计; 小学科学

## Abstract

STEM education advocates breaking down the knowledge barriers between subject areas and emphasizing multidisciplinary education. It integrates four disciplines, namely science, technology, engineering and mathematics, to develop students' higher-order thinking and comprehensive knowledge application ability. In the current teaching background, STEM education has attracted extensive attention from the academic community and begun to become the mainstream educational philosophy. In its development process, the advantages of engineering disciplines have gradually emerged, and the cultivation of engineering thinking has gradually entered people's vision. In 2022, China issued a new version of the science curriculum standards, which takes "technology, engineering and society" as one of the core concepts of science, and advocates the cultivation of students' engineering thinking to develop their scientific literacy. This study aims to explore the teaching practice of engineering thinking in primary schools, not only to provide some references for the design of primary school engineering teaching, but also to enrich the research content of engineering teaching and science teaching, and broaden the ways of cultivating primary school engineering thinking. In order to promote the development of primary school students' engineering thinking, this study uses the method of literature analysis and classroom observation to integrate science, engineering, biology, and technology subjects in an organic way, conduct a teaching design and practice study on cultivating engineering thinking in primary school science, explore the effectiveness and feasibility of cultivating engineering thinking, and propose teaching suggestions for cultivating primary school students' engineering thinking.

This study firstly combined the relevant curriculum standards, engineering design process and other theories and teaching models, and designed the teaching content, teaching objectives, teaching process and teaching evaluation of engineering thinking training, and finally constructed the primary school science teaching framework for engineering thinking training. Secondly, the specific teaching design for engineering thinking training was carried out with the lesson "Make an Ecological Bottle" in the sixth-grade science textbook as an example. Finally, sixth grade students in Q primary

school in Fuzhou were selected as teaching objects and a total of four class hours of practice was carried out in the primary school science classroom. After the implementation of the teaching, the teaching results were analyzed through classroom observation, engineering learning list and self-evaluation list, so as to test the effectiveness of this study in cultivating students' engineering thinking.

The study found that the practical research on primary school science teaching for engineering thinking training is helpful for students to obtain, understand and apply engineering knowledge, help students develop engineering thinking, and help students form good engineering attitude and responsibility. The following conclusions are drawn from the summary of instructional design and implementation: the teaching framework for cultivating engineering thinking is reasonable, this study has the effectiveness of developing students' engineering thinking, and the teaching design and practice have the characteristics of deep integration of disciplines. In order to optimize the teaching effect, this study puts forward the following suggestions: clarify the thinking structure and advocate the deep integration of discipline knowledge; optimize the evaluation mechanism and develop the evaluation method of integrated teaching and evaluation; highlight the engineering iterative process and improve the cultivation of engineering thinking; select strategies reasonably and build an efficient cooperative classroom.

**Keywords:** Engineering Thinking; Engineering Literacy; Instructional Design ;  
Primary School Science

# 目录

摘要 .....	I
Abstract .....	III
绪论 .....	1
一、研究由来 .....	1
(一) 时代需求促进了小学工程教学的发展 .....	1
(二) 义务教育科学课标主张培养学生的工程思维 .....	2
(三) 工程思维的培养在小学科学教学中存在现实困境 .....	3
二、研究目的与问题 .....	3
(一) 研究目的 .....	3
(二) 研究问题 .....	4
三、文献综述 .....	4
(一) 工程思维培养的相关研究 .....	4
(二) 小学培养工程思维的实践研究 .....	9
(三) 文献述评 .....	13
四、研究意义 .....	14
(一) 理论意义 .....	14
(二) 实践意义 .....	14
五、研究思路与方法 .....	15
(一) 研究思路 .....	15
(二) 研究方法 .....	16
第一章 核心概念界定与理论依据 .....	17
第一节 核心概念界定 .....	17
一、工程思维 .....	17

二、工程素养·····	19
三、工程思维与工程素养·····	20
第二节 理论基础·····	21
一、建构主义学习理论·····	21
二、教学评一体化·····	21
第三节 面向工程思维培养的教学模型·····	22
一、工程设计流程·····	22
二、6E 设计型学习模式·····	23
三、克罗多纳双循环模型·····	24
第二章 面向工程思维培养的小学科学教学框架构建·····	27
第一节 工程思维培养的教学框架分析·····	27
一、教学框架构建的依据·····	27
二、教学框架构建的原则·····	28
三、教学框架构建的步骤·····	29
第二节 工程思维培养的教学框架设计·····	31
一、教学内容的选择·····	32
二、教学目标的设计·····	34
三、教学步骤的设计·····	41
四、教学评价的设计·····	43
第三章 面向工程思维培养的小学科学教学设计与实施·····	51
第一节 培养工程思维的“做个生态瓶”教学设计·····	51
一、教学对象分析·····	51
二、教学目标设计·····	52
三、教学内容分析·····	56
四、评价工具开发·····	58

五、教学活动设计 .....	60
六、教学工具 .....	65
第二节 培养工程思维的“做个生态瓶”教学实施 .....	66
一、第一课时：识别工程问题 .....	66
二、第二课时：角色分工与工程设计 .....	70
三、第三课时：工程制作与初步检验 .....	75
四、第四课时：工程评价与总结反思 .....	78
第四章 面向工程思维培养的小学科学教学结果评价 .....	83
第一节 教学结果的评价方式 .....	83
一、课堂观察发现 .....	83
二、自我评价单的数据整理 .....	84
三、工程学习单的整理 .....	85
第二节 教学评价结果 .....	89
一、工程知识得到综合运用 .....	89
二、工程思维培养程度不均 .....	91
三、工程态度获得发展 .....	97
第五章 面向工程思维培养的小学科学教学总结反思与建议 .....	99
第一节 培养工程思维的教学设计与实施的总结反思 .....	99
一、教学设计与实施的总结 .....	99
二、教学设计与实施的反思 .....	100
第二节 培养工程思维的教学建议 .....	102
一、明晰思维构成，提倡学科知识的深度整合 .....	102
二、优化评价机制，开发教学评一体化的评价方式 .....	103
三、突出工程迭代过程，完善工程思维的培养环节 .....	103
四、合理选择策略，构建高效的合作化课堂 .....	104

总结与展望 .....	105
一、研究总结 .....	105
二、不足与展望 .....	105
附录 .....	107
附录一 自我评价单 .....	107
附录二 小组设计图检验单 .....	109
附录三 产品检验单 .....	110
附录四 小组设计单 .....	111
附录五 生态瓶制作步骤说明单 .....	113
附录六 观察记录单 .....	114
附录七 用户需求说明 .....	116
附录八 材料简介 .....	117
附录九 个人设计单 .....	118
参考文献 .....	119
致谢 .....	125
个人简历 .....	127



## 绪论

### 一、研究由来

#### （一）时代需求促进了小学工程教学的发展

经济的发展促进时代的变革与发展，而科学技术又是推动社会生产力和发展经济的重要因素和重要力量<sup>[1]</sup>。这一推论在世界各国的发展趋势中得到了印证，例如中国、美国、英国、日本、新加坡、以色列等国将科学技术作为重要的发展点，许多国家在国家发展规划之中增加了对科学技术和科技人才的需求。因此，在这样的背景下，科学教育教学开始发生变革，产生了许多更有助于形成高阶、综合、系统的科学素养的教学方法，其中之一便为工程教学。

工程教学具备多学科融合育人的优势，其能为学生提供综合学科知识、分解复杂问题和建立知识框架的途径，其所培养的工程思维指向科学高阶思维的发展，这是一种运用多学科知识和技能以分析和解决实际问题的能力，因此近年来逐渐受到了各国及其学者的关注。美国在其先后发布的《K-12 科学教育框架》（Standards for K-12 Engineering Educating）和《新一代科学教育标准》（Next Generation Science Education Standards）中将科学与工程实践”作为科学教育的三维度之一。随后又在近几年发布的《2030 愿景》（National Science Board Vision 2030）中指出要继续遵循科技大战略的设计方向，并将科学工程实践作为着力点之一。<sup>[2]</sup>此外，STEM 教育的兴起也为工程教学提供了广阔的发展空间，STEM 是科学（Science），技术（Technology），工程（Engineering），数学（Mathematics）四门学科英文首字母的缩写，工程被广泛运用于科学教学实践之中。

我国的全民科学素质行动为工程教学提供了发展的可能性，工程教学在小学科学教育中的占比也逐渐提高。国务院在 2021 年印发的 2021-2035 年期间的《全民科学素质行动规划纲要》中提出了发展我国学生科学素养的办法，其中的“鼓励以工程师进校园”这一形式不仅能培养中小学生的科学兴趣，而且增加了工程教学在

[1] 简新华,王裕国,马骁,刘锡良,孟捷,陈龙,李萍,王擎,盖凯程,毛中根.学习阐释中国共产党二十大报告笔谈[J].财经科学,2022(11):1-26.

[2] National Science Board. Vision 2030[EB/OL].(2020-05-20)[2021-11-22]. <https://www.nsf.gov/nsb/publications/2020/nsb202015.pdf>.

中小学课堂的出现次数。<sup>[1]</sup>工程教学受到了各国的关注，其在国内外得到了快速的变革与发展，开始成为科学教育中不可或缺的组成部分，在社会生活中，工程教学也通过科技节、编程大赛、机器人大赛等方式进入人们的视野。小学工程教学在现实中得到了发展，在提倡知识组合的背景下，工程教学将在未来的小学科学课堂中得到更为深入的发展。

## （二）义务教育科学课标主张培养学生的工程思维

我国义务教育课程的改革重点呈现在强调素养导向、优化课程内容组织方式和突出实践育人三个方面<sup>[2]</sup>，在此影响下小学科学教学也体现出知识组合、重视实践和强调素养的趋势。在这样的背景下，工程教学因其具备多学科融合育人的优势，开始受到广泛的关注。工程教学以学生实际生活或真实情境中的问题为教学媒介，以动手操作、解决问题和改造世界为教学目的，重在引导学生将所学知识与真实世界相结合，能通过真实问题建立起学科与生活的联系，帮助学生将所学的知识、能力和思维迁移到真实世界的问题解决之中。

从国家在 2001 年至 2022 年期间颁布的义务教育阶段的科学课标来看，工程教学主要经历了三次变革。2001 年颁布的课程标准增加了“科学探究”维度<sup>[3]</sup>，其为工程教学在小学阶段的发展奠定了基础，“科学探究”的出现意味着小学科学课程进入了探究式时代，这呼应了工程教学的实践特性。2017 年颁布的小学科学课程标准明确增加了“技术和工程”方面的内容并做出了相对全面的解释<sup>[4]</sup>，这一改动使得技术和工程教学进一步进入小学教师、学生和家长的视野，技术和工程开始作为独立的领域并在小学科学课堂得到了较为全面的发展与探索，如何培养学生的技术素养和工程思维开始成为小学课堂亟需解决的问题。2022 年的义务教育科学课标将“技术、工程与社会”作为核心概念之一并将工程实践作为培养科学探究能力的途径之一<sup>[5]</sup>，这意味着工程教学在小学科学教学的比重增加，工程思维的培养得到了更为密切的关注，工程实践成为小学科学课的重要组成部分。新课标的这一转

[1] 中华人民共和国中央人民政府.国务院关于印发全民科学素质行动纲要(2021-2035 年)的通知[EB/OL].(2021-6-3)[2023-4-24].[http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content\\_5623051.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5623051.htm).

[2] 余慧娟,钱丽欣.为培养时代新人构建高质量育人体系——教育部教材局局长田慧生详解义务教育课程方案和课程标准(2022 年版)[J].人民教育,2022(09):13-17.

[3] 中华人民共和国教育部.科学(3~6 年级)课程标准(实验稿)[S].北京:北京师范大学出版社,2001.

[4] 中华人民共和国教育部.义务教育小学科学课程标准[S].北京:北京师范大学出版社,2017.

[5] 喻伯军.《义务教育科学课程标准(2022 年版)》的主要特点与教学建议[J].教学月刊小学版(综合),2022(05):17-21.

变既表明了小学工程教学的重要性，也突出了义务教育科学课标对培养学生工程思维的重视，同时也意味着工程实践正逐渐成为我国小学工程教学的中心。

### （三）工程思维的培养在小学科学教学中存在现实困境

受时代背景的影响和科学课标的推动，工程教学在小学科学课堂得到了更为充分的体现，更为重要的是小学科学教材已将工程内容编写为较为独立的教学模块，但是工程思维的培养在小学科学教学中仍然存在一定的现实困境。

工程思维培养存在现实困境的原因在于教学时间和教师教学经验不足。工程思维的培养依赖于小学科学课堂，然而科学课程的总课时在小学培养计划中的课时占比不高，再加上“技术、工程与社会”领域之外的科学教学内容的容量较大，因此教学时间不足，学生的工程思维很难得到充分的培养。再者，工程教学在 2017 年才正式被纳入科学课标，其发展时间较短，与其有关的教学方法、策略、模式都还在探索之中，因此从总体上看，缺少工程思维培养的经验和具备教学经验的教师。此外，与工程思维培养有关的小学科学教学存在教学边界模糊、教学方法混淆、教学体系不明的现象。不少教师在实际教学中忽略了工程教学的特点，简单地认为工程教学就是科学教学，在教学方法上沿用科学教学方法，表现为仍采用纯探究的方式开展工程教学。因此，零散的教学时间和不成独立体系的教学使得工程教学价值难以得到深层次的挖掘，工程思维的培养难以得到全面的展开。不少教师即使能够认识到工程教学所蕴含的工程教学特性和学科整合特性，但也很难在工程教学中开展学科深度整合的教学设计和实践。

总体而言，工程思维的培养在小学科学教学中仍有充足的发展空间，如何在有限的教学时间和教学经验中展开具备学科有机整合特性的教学设计和实践成为重要问题。

## 二、研究目的与问题

### （一）研究目的

时代的发展对科学技术类人才提出了更高的要求，因此科学教育应为学生提供面对新挑战的关键素养。本研究以培养小学生的工程思维为目标，依据已有的理论和实践研究整理、分析并总结工程思维的研究现状，依托工程思维教学的理论基础

和相关课标的要求进行教学设计与实践，旨在为工程思维培养中的现实问题提供一定的解决思路，丰富工程教学形式和教学案例。通过分析面向工程思维培养的小学科学教学中存在的问题与不足，形成反思并提出改进意见，以期为一线教师提供一定的思路和经验。

## （二）研究问题

在新时代背景下，培养学生工程思维的紧迫性日渐提高，考虑到工程思维的特性及当下教学形式，本研究确定了借助小学科学教学来培养学生工程思维的目标，期望以小学科学教学为载体，通过设计具体的教学案例和展开真实的教学实践，探究培养学生工程思维的有效性，提出培养小学生工程思维的教学建议。基于此，本研究确定了以下研究问题：

问题一：小学工程思维的内涵及其要素？

问题二：如何构建面向工程思维培养的小学科学教学框架？

问题三：如何分析和评价教学实践结果？教学实践后，学生工程思维的表现如何？

## 三、文献综述

### （一）工程思维培养的相关研究

#### 1. 工程思维培养的发展概述

工程思维的发展历程与各国颁发的相关课程标准或文件密不可分。美国的《新一代科学教育标准》从科学和工程实践、跨学科概念和学科核心概念等三个方面将科学课程串联起来<sup>[1]</sup>，其中科学工程实践涉及自然界研究、工程师设计、创造发明等内容，有助于学生灵活运用多学科知识。基于 NGSS 的推动，工程思维受到了人们的广泛关注，随后美国又分布了专门针对工程思维培养的标准，规划了美国 PreK-12 学生技术与工程素养的发展路径<sup>[2]</sup>，在此期间颁布的《技术与工程素养

[1] National Research Council. Next Generation Science Standards [M]. Washington D C: The National Academies Press, 2013: 94-96.

[2] National Assessment Governing Board Technology and engineering literacy framework for the 2014 national assessment of educational progress [M]. Washington D C: NAGB, 2013: 10-12.

标准：技术和工程在 STEM 教育中的作用》（Standards for Technological and Engineering Literacy: The Role of Technology and Engineering in STEM Education, 简称 STEL）也推动了工程思维培养教学。

可见，NGSS 和 STEL 的发布直接奠定了工程思维的发展基础，在美国的影响下，工程思维培养也成为了英国科学课程的重要组成部分，其重心在于培养学生适应未来技术发展、创新思维方式和改善生活质量的能力<sup>[1]</sup>。我国也意识到了工程思维培养的重要性和紧迫性，从我国新颁布的义务教育阶段的科学课标来看，工程思维培养成为小学科学课的重要组成部分，新课标将其相关内容作为培养科学素养的重要途径之一<sup>[2]</sup>。

可见，工程思维已经受到了国内外的广泛关注，大部分国家认可工程思维对培育新型技术人才、促进科学教育转型的重要价值。

## 2. 工程思维培养的理论研究

### （1）工程思维的培养价值

针对工程思维培养的理论研究首先是对其培养价值的探讨。相关研究认为，工程思维培养的价值主要表现为学科导向价值和生活导向价值，学科导向价值主要表现为对科学学科、数学学科、技术学科等学科知识的再发展作用；生活导向的价值是工程思维对于学习者性格、未来工作、社会生活等产生的影响。

学科导向价值主要表现为工程思维对科学学科、数学学科、技术学科等学科知识的再发展作用。研究表明，工程思维能促进工程知识的学习与理解、工程能力的获得和提高以及工程素养的发展和深化。在工程知识理解上，朔伊布勒（Schauble）等人提出的工程教学模型已被证实其能够帮助学生理解科学实验原理<sup>[3]</sup>，在该研究中，工程教学作为一种过渡手段以促进学生实现从工程向到科学的转换从而在此过程中利用二者共有的知识以达成理解；在工程能力的获得上，温德尔（Wendell）基于教学研究得出工程教学能帮助学生培养反思性能力<sup>[4]</sup>，其构建的启发式教学模

[1] National Curriculum for England: Science Curriculum [EB/OL].(2015-05-06)[2023-6-22]. <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study>.

[2] 喻伯军.《义务教育科学课程标准(2022年版)》的主要特点与教学建议[J].教学月刊小学版(综合),2022(05):17-21.

[3] Schauble et al. Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation [J]. Journal of Research in Science Teaching.1991,28(9):859-82.

[4] Wendell,Kristen Bethke;Wright, Christopher G. Paugh, Patricia. Reflective Decision-Making in Elementary Students' Engineering Design[J].Journal of Engineering Education,2017,106(3):356-397.

式 (Reflective Decision-making, 简称 RDM) 能在课堂中引发学生对问题产生的深入思考; 在工程思维的发展上, 尼特 (Nyet) 等人在实践过程中开发并实施了 PjBL-STEM 课程, 通过分析教学结果发现工程教学课程能够有效发展学生的科学创造力<sup>[1]</sup>。

值得注意的是在工程思维获得发展的同时, 学习者对工程学习的兴趣和工程师的身份认同感也能得到一定程度的提升, 而这属于生活导向价值的范畴。有学者通过采用工程身份认同发展的量表进行教学效果测试, 发现对儿童展开早期的工程教学有助于其了解工程师的职业与工作, 从而更有意愿成为一名工程师<sup>[2]</sup>。此外, 工程教学还有助于消除社会中的一些性别偏见从而促进男女学生在学习权力上的平等。

## (2) 工程思维培养的教学模式研究

工程思维的培养依赖于工程教学, 因此工程教学模式在一定程度上也能作为工程思维的培养模式, 此外还以此为依托发展出了适用于科学学科的工程教学模式。

针对工程教学基本模式的相关研究多集中于 CDIO 模式和 OBE 模式。CDIO 模式是构思 (Conceive)、设计 (Design)、实现 (Implement) 和运作 (Operate) 的简称, 这也是 CDIO 模式的教学环节。在具体实践中可以根据这四个基本环节进行加工和设计, 使其符合对应学科的要求<sup>[3]</sup>, 因此 CDIO 模式并不专用于哪一学科。这一模式强调社会情境与工程产品, 主张个体在真实的社会情境背景之中对于产品的设计、制作和检验。<sup>[4]</sup>OBE 模式的基础是学习的产出过程, 产出指标由学生获得的知识与能力进行评估<sup>[5]</sup>, 这里的学习产出与 CDIO 模式的真实情境和工程产品构成了相对完整的工程教学环节, 因此学者在研究或实践中大都将 CDIO 模式和 OBE 模式加以结合。除此之外, 还有部分学者在结合多种模式的基础上提出了适用性更广的工程教育模式。吴婧姗基于研究, 将“三螺旋”、主动学习以及项目式课程等与工程教育课程有关的模式加以整合, 最终提出了一种集成工程教育模式<sup>[6]</sup>。

以基本模式为依托, 还发展出了适用于科学学科的工程教学模式。坎宁安

[1] Siew Nyet Moi, Ambo Norjanah. Development And Evaluation of an Integrated Project-based and STEM Teaching and Learning Module on Enhancing Scientific Creativity Among Fifth Graders[J]. Journal of Baltic Science Education, 2018, 17(6).

[2] So Yoon Yoon, Anne M. Lucietto, Brenda M. Capobianco, Melissa Dychouse, Heidi A. Diefes-Dux. The Effects of Integrated Science, Technology, and Engineering Education on Elementary Students' Knowledge and Identity Development[J]. Effects of Integrated STEM Education on Students, 2014 114(8):380-391.

[3] 李曼丽. 用历史解读 CDIO 及其应用前景[J]. 清华大学教育研究, 2008, (05):78-87.

[4] 陈冬松, 孙阳春. CDIO 工程教育模式下的工科院校人才培养途径[J]. 现代教育管理, 2011, (11):34-37.

[5] 顾佩华, 胡文龙, 林鹏, 包能胜, 陆小华, 熊光晶, 陈严. 基于“学习产出”(OBE)的工程教育模式——汕头大学的实践与探索[J]. 高等工程教育研究, 2014, (01):27-37.

[6] 吴婧姗. 基于集成的工程教育模式研究[D]. 浙江大学, 2014.

(Cunningham)指出:学生应在有序的条件下经历特定的工程分析过程、工程设计过程、工程制作过程、工程迭代过程和工程评价过程,以提出并权衡工程问题的解决方案<sup>[1]</sup>,这五个环节构成了培养工程思维的基本教学模式。

### 3. 工程思维培养的实践研究

#### (1) 工程思维的培养研究

由于起步较早,国外针对工程思维培养的实践研究已较为成熟。在过去二十年中,美国有40多个州开设了工程思维的独立课程,其在工程思维的培养上已形成了一套较为系统的方案。还有一些国家虽未形成培养工程素养的独立课程,但也开始关注学生的工程思维发展。如澳大利亚加强了对工程思维的关注和培养,其在技术教育领域增设了新的课程以培养学生的工程思维。我国自2017年以来,对工程思维培养的关注度也日渐提高。

通过对国内外相关研究进行整理,可以发现工程设计成为培养工程思维的重要环节与组成部分。有学者将科学素养、技术素养、工程设计和数学思维以滑轮的形式加以组织,并在实践中研发了STEM的学科整合模型,该模型以情境认知理论为基础并将工程设计作为核心。<sup>[2]</sup>美国“K-12 年级工程教育标准”编写委员会在统计了八个权威工程报告后获得了中小学工程教学的核心构成要素,其中“工程设计”被提及了八次<sup>[3]</sup>,这可以表明八个报告都较为认可“工程设计”是学生在工程学习中应掌握的核心技能。

“工程设计”作为工程思维的核心,其最大限度地体现了工程教育的特性,虽然不同的研究角度存在着不同的工程设计版本,但其步骤大致都需经历定义问题、背景研究、想象、计划、创造、测试与评估、重新设计和交流等环节<sup>[4]</sup>。摩根(Morgan)提出了由7个步骤构成的工程设计流程(Engineering Design Process 简称EDP)<sup>[5]</sup>,这七个步骤分别是识别问题、前期研究、初步构思、分析想法、建造模型、检验优化和交流反思。海因斯(Hynes)提出了工程设计的过程模型,由

- 
- [1] Cunningham C M, Lachapelle C P, Brennan R T, et al. The impact of engineering curriculum design principles on elementary students' engineering and science learning[J]. Journal of Research in Science Teaching, 2020, 57(3).  
[2] Kelley T R, Knowles J G. A conceptual framework for integrated STEM education[J]. International Journal of STEM Education, 2016, 3(1):1-11.  
[3] Nation Academy of Engineering and National Research Council. Standards for K-12 Engineering Education? [M]. Washington, D.C.: National Academies Press, 2010:35-36.  
[4] Jolly Anne. STEM Activities for Grades 4-8[M]. Taylor and Francis: 2016-06-10.  
[5] James R M, April M M, Luciana R B. Engineering Better Projects, chapter, STEM Project-Based Learning[M]. Sense Publishers, 2013:30-33.

确定需求、分析需求、制定方案、选择方案、建造模型、测评方案、交流方案、优化设计等步骤组成。<sup>[1]</sup>

## （2）工程思维的评价研究

工程思维的评价需要借助適切性的评价工具，但从已有研究来看，国内外针对工程思维评价的研究不多，因此评价工具较少。最具权威性的评价工具是美国的 NAEP 项目（National Assessment of Educational Progress，以下简称 NAEP），NAEP2019 以独立题和场景题两种形式对技术与工程素养（Technology and Engineering Literacy）进行了测试与评价<sup>[2]</sup>，其中就包括对工程思维的评价。NAEP 编制了独立题和情景题，独立题以客观选择题的形式出现，题目之间并不存在关联性，而情景题更趋向于结构不良的问题，以实际生活作为情境，以视频、图画、文字等形式导入问题，以线性的流程展开任务。通过对独立题和情景题的分析可以测评学生的工程思维程度。除了以编制题目的形式评价学生的工程思维外，还可借助工程教学实践中的录像、录音以评价工程思维的培养情况<sup>[3]</sup>，或借助设计图分析并评价学生的工程思维<sup>[4]</sup>。

国内学者对于工程思维的评价研究依托工程思维的培养研究，即在培养研究的过程中结合实际情况以设计评价工具的形式来评价学生工程思维的变化。其评价主体多为教师和学生，教师一般采用课堂观察和分析量表的形式评价学生的工程思维，学生以填写自我评价量表的形式展开自评。采用这两种评价方式的前提是明确工程思维的构成要素，即制定评价维度和标准，王颖就以这样的评价体系展开了工程思维的培养研究<sup>[5]</sup>。宋蕊沿用了这一体系，以编制前测和后测试题的形式评价工程实践对学生工程思维的培养情况<sup>[6]</sup>。陈航编制了工程思维评价的问卷表和观察表，他将工程思维划分为工程思维能力和工程思维倾向，以基础、熟练、优异为等级对工程思维进行评价。<sup>[7]</sup>

值得注意的是，当前国内外并未形成通用的工程思维评价体系或评价框架，针

[1] Hynes, M., Portsmore, M., Dare E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. Infusing engineering design into high school STEM courses[J]. National Center for Engineering & Technology Education, 2011:8-9.

[2] NAEP.SCIENCE Framework for the 2019 National Assessment of Educational Progress [EB/OL]. (2019-10-30)[2024-3-21]. <https://www.nagb.gov/content/nagb/en/documents/publications/frameworks/science/2019-science-framework.pdf>

[3] Mc Cormick M E, Hammer D. Stable beginnings in engineering design[J]. Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER), 2016, 6(1):4.

[4] English L D, King D T. STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace[J]. International Journal of STEM Education, 2015, 2(1):14.

[5] 王颖.普通高中机器人教学中培养学生工程思维的行动研究[D].南京师范大学, 2015.

[6] 宋蕊.促进初中生工程思维发展的科学课程整合工程实践的实证研究[D].华东师范大学, 2019.

[7] 陈航.高中通用技术学科核心素养之工程思维的评价研究[D].南京师范大学, 2020.



对工程思维评价的研究多集中于初中或高中阶段，很少有针对小学阶段的评价研究。但从已有研究中能够总结出适用于小学工程思维评价的通用思路。首先根据实际情况划分工程思维的维度，其次基于维度以编制问卷、观察单或评价单并加以赋值，最后进行结构评价。值得注意的是，随着教学改革深入，针对工程思维的评价开始从教师评价转向学生评价，从结果评价转向过程评价，从单一评价转向多元评价。

## （二）小学培养工程思维的实践研究

### 1. 小学生工程思维的培养路径研究

学科教学在一定程度上加深了学科壁垒，使得密切联系的知识、思维、能力产生了割裂，因此单一的学科并不能成为培养工程思维的载体。随着研究的逐步深入，当前的工程思维培养的重心越发倾向于学科深度整合的形式<sup>[1]</sup>。塔玛拉（Tamara）指出：工程思维的培养必须将工程领域知识技能与科学、技术、数学领域等学科的知识与技能加以整合<sup>[2]</sup>，杨玉琴等人也表示学科整合能发展学生的高阶的工程思维<sup>[3]</sup>。

科学与工程相结合是我国小学工程思维培养的切入点之一，如白雪双以 STEM 理念为基础研究小学科学课程教学设计，选择小学科学五年级的《冷空气与热空气》进行教学设计并实施<sup>[4]</sup>，潘华靖以《环境和我们》单元为例进行了基于科学实践的小学科学教学设计研究<sup>[5]</sup>，此外，王浩也将该单元作为教学内容展开了项目教学法这一的以具体教学情境、教学方法和教学内容为基础的教学设计<sup>[6]</sup>。科学与工程结合也是国外开展小学工程思维培养教学的重点，有学者提出了工程与科学的结合方案，指出可以在阐明约束条件的前提下进行科学探究和工程学习以开发、证明并优化解决方案<sup>[7]</sup>，但研究表明科学与工程的简单结合并不能产生良好的效果。

STEM 教育也是小学工程思维培养的培养路径。当前对小学培养工程思维的研究集中于跨学科学习领域，主张在工程思维培养教学中融入 STEM 或 STEAM 理念，

- 
- [1] Tamara J. Moore. A Framework for Quality K-12 Engineering Education: Research and Development [J]. Journal of Pre-college Engineering Education Research. 2014, 4(1):1-13.  
[2] Tamara J. Moore. A Framework for Quality K-12 Engineering Education: Research and Development [J]. Journal of Pre-college Engineering Education Research. 2014, 4(1):1-13.  
[3] 杨玉琴,倪娟. 工程设计:STEM 课程整合的有效途径[J]. 上海教育科研, 2017, (10):45-49.  
[4] 白雪双. 基于 STEM 的小学科学课程教学设计[D]. 陕西师范大学, 2018:47.  
[5] 潘华靖. 基于科学实践的小学科学教学设计研究[D]. 导师:潘洪建. 扬州大学, 2017.  
[6] 王浩. 项目教学法在小学科学课程教学中的应用研究[D]. 宁夏大学, 2014.  
[7] MD Burghardt. Interconnected STEM with Engineering Design Pedagogy[J]. jce.asce.org, 2013.

开展工程与多学科相结合的教学。在此趋势的影响下,研究者或教师往开始将多学科整合教学作为小学工程思维培养的教学设计与实践的切入点,并且形成了许多较为成熟的课程。我国基于互联网+的上海 STEM 云中心集结多方研究,开设了 25 门以 STEM 理念指导的科学课程,其中适合小学的有 16 门课程,侧重工程的有 7 门课程。

目前培养工程思维的小学科学教学模式的研究较少,但存在针对小学工程思维培养的教学模型,这能够为构建面向工程思维培养的小学科学教学模式提供一定的思路。王奇伟基于设计的教学模型和探究式学习模型,并对克罗多纳学习循环模型加以改造,最终得出了小学 STEM 教育中的工程思维培养模式,该模式由创设情景和问题提出、调查与探索、设计或再设计、评价与交流四阶段构成<sup>[1]</sup>。张泽晖构建了由工程决策、工程设计、工程实施、工程成果展示构成的培养小学生工程思维的教学模式。<sup>[2]</sup>从当前研究来看,面向工程思维培养的小学科学教学模式的依据仍是小学工程思维教学模式,大致要经历提出问题、分析问题、设计与再设计、制作与评估等流程。

## 2. 小学培养工程思维的实践案例

国内外的小学工程思维培养的实践案例十分丰富,这能够提供不同的工程教学实践经验,接下来将介绍关于小学工程思维培养上存在的独立课程、拓展类项目以及融合教育的相关案例。

美国出于对工程思维培养教学价值的关注,形成了专门的工程教育学校与独立的工程培养课程,其中最受关注的是 EiE (Engineering is Elementary) 工程课程项目,该项目已成为美国当前较为流行的工程教学课程。工程课程项目项目作为独立的工程思维培养课程,其有着广泛的实施空间,可以面对学前、小学、中学等不同学龄段的学生。该项目的主要目标在于使所有孩子接触到工程这一概念,引导其认识到工程和工程师在社会中所扮演的重要角色,以此激发孩子对学习工程与技术类技能,发展工程思维的兴趣,为学生打下未来急需参与工程学习或选择工程师作为职业的基础。该项目配备了 20 个具有相应主题、故事背景、课程资源的故事单元以展开教学,但并不存在共同的实施流程,大体由预备阶段和四个课时构成,具体

[1] 王奇伟.小学 STEM 课程中工程思维培养的教学设计研究[D].上海:上海师范大学,2016:26-45.

[2] 张泽晖.STEM 理念下面向小学生的工程思维培养活动模型设计与实践研究[D].河北大学,2019.

如表 1 所示。

表 1 EiE 的课程实施过程与内容<sup>[1]</sup>

课时过程	课时内容
准备阶段	设计工程教学内容
工程故事介绍阶段	创设工程教学背景，介绍工程问题和任务
拓宽工程视野阶段	通过实践了解工程师的工作和职业特色
数据收集与分析阶段	收集数据和信息，并以此为基础展开分析
工程设计阶段	经历提问、想象、计划、创造和改进五步循环

预备阶段的存在能为学生提供学习的基础，有助于逐一开展后四个课时。为了 EiE 课程更有效性，坎宁安等人提出了 EiE 教学的四类原则，分别是：第一，学习需存在于真实情境之中；第二，展示真实的工程实践设计挑战；第三，为学生的学习搭建一定的脚手架；第四，相信每个人都可以进行设计<sup>[2]</sup>。值得注意的是，EiE 课程提出了不同学段的工程设计要求，例如小学阶段的工程设计应包括“提问、想象、计划、创造、优化”等活动，因此将 EiE 课程的工程设计要求和坎宁安的教学原则相结合可以作为在小学阶段开展工程思维培养教学的经验。

除了上述独立课程以外，小学工程思维的培养还存在工程拓展项目（Outreach Programs）。该项目是发生在课堂教学以外的教育活动，大多由工程师和技术专家设计并加以管理<sup>[3]</sup>，这并不适用于小学阶段的学生，因此影响范围有限。但是工程拓展项目为小学工程思维培养教学提供了新的视角，可以采取与工程师或专业技术人才进行合作的形式开展相关教学。

此外，在小学阶段还存在工程思维培养的融合类教育。例如乐高（LEGO）教育就因其操作性强、吸引力高的特点开始成为培养工程思维的新途径。乐高教育的能引导学生在运用多种知识完成不同物体的搭建的过程中发展思维和能力。乐高教育与工程的结合有助于学习工程知识和原理，学生能在搭建工程产品的过程中思维方式和动手能力。

在我国，小学培养工程思维的实践常常与创客教育、机器人课程、智能硬件课

[1] Museum of Science, Boston. The Engineering Design Process[EB/OL].[2024-3-20].<https://www.mos.org/about>.  
[2] Cunningham, M., Lachapelle, C.P. Designing Engineering Experiences to Engage All Students[J]. Educational Designer,2016,3(9).  
[3] Sean. Brophy, Stacy. Klein, Merredth. Portsmouth, Chris.Rogers. Advancing Engineering Education in P-12 Classrooms[J]. Journal of Engineering Education, 2008, 369-387.

程等内容相结合。例如,邓玉超将创客教育与小学生工程思维培养相结合,设计了小学创客课程培养工程思维的教学设计,这为工程思维的培养提供了新思路<sup>[1]</sup>。袁晓静结合了机器人教育、小学生学习特点、工程思维培养特征构建了小学机器人教学中培养工程思维的框架<sup>[2]</sup>。可见,当前针对小学阶段的工程思维培养案例已经十分丰富,既有独立培养课程,还存在工程思维培养的融合教育类案例。

### 3. 小学培养工程思维存在的问题及解决办法

小学培养工程思维的载体在教学设计上易偏离学科整合的基本理念<sup>[3]</sup>,因此还存在一定的问题,表现为未能实现学科的深度整合,教学设计与实践仅仅停留于机械模仿和简单知识叠加的层面。

针对这一问题,肖恩(Sean)主张从教学内容和教学目标出发将工程教学划分为两种类型以区分教学的目的。第一种类型指向组织科学经验的工程活动,第二种类型指向用于学习科学经验的工程活动<sup>[4]</sup>。前者的学习工具为设计模型,表现为通过绘制设计图以达到科学经验的组织与学习,后者的学习工具为工程模型,强调通过建造实物以解释科学原理和概念,以此对工程思维培养的教学进行区分,从而增加整合的指向性。古泽(Guzey)提出了三种科学学科与工程学科整合的方式,分别为显性整合方式、隐性整合方式和插入式整合方式<sup>[5]</sup>,该学者经过三年的实践发现显性整合方式在培养学生工程思维方面能发挥出更为显著的作用。何善亮指出中小学工程教学在选择内容时要关注工程基本性质,了解设计过程以及相关工程核心概念等内容,并且这些内容要与具体的工程问题相结合。<sup>[6]</sup>

小学阶段的工程思维培养依赖小学科学学科和科学课堂,并且不少教师混淆了科学思维与工程思维的关系,因此工程思维培养的教学在小学中存在具体的实施问题。除此之外,小学科学教学中的工程思维培养存在一定的局限性,表现为教师经验不足、教学形式落后、教学评价单一<sup>[7]</sup>。苗莹莹则指出工程思维培养教学过于受

[1] 邓玉超.基于工程思维培养的小学创客课程教学设计与实践[D].宁夏大学,2023.

[2] 袁晓静.面向工程思维培养的小学机器人教学研究[D].上海师范大学,2020.

[3] 余胜泉,吴澜.证据导向的STEM教学模式研究[J].现代远程教育研究,2019,31(05):20-31+84.

[4] Sean. Brophy, Stacy. Klein, Merredth. Portsmouth, Chris. Rogers. Advancing Engineering Education in P-12 Classrooms[J]. Journal of Engineering Education, 2008, 369-387.

[5] Guzey S. S., Ring-Whalen E. A., Harwell M., et al. Life STEM: A Case Study of Life Science Learning Through Engineering Design[J]. Int J Sci Math Educ, 2019, (17):23.

[6] 何善亮.中小学工程教育的价值、内容与途径[J].教育科学研究,2020(10):70-72.

[7] 朱丽佳.小学科学课程的实施问题与对策研究[D].扬州:扬州大学,2020:40-47.

到科学理论思维的限制<sup>[1]</sup>。针对这些问题,不少学者认为应通过突出工程设计过程加以解决,在理论研究和展开教学的过程中,学者们得出了突出工程设计过程的教学方法。如通过设计的学习(Learning By Design,以下简称LBD)、基于设计的学习(Design-Based Learning,以下简称DBL)、基于设计的科学(Design-Based Science,以下简称DBS)。LBD由工程“设计一再设计”和科学探究两部分构成,认为设计与探究相联系。<sup>[2]</sup>学生需要在解决结构不良的问题过程中,反复经历循环、讨论和合作以完成决策、分析、论证、设计、调查、交流和结果分析等设计活动和探究实践。DBL在整合工程设计和科学探究的基础上更为强调抽象科学概念和工程知识的理解。<sup>[3]</sup>DBS主张将工程设计作为学生学习科学的工具,学生通过制作产品和作品以发展建造模型能力。<sup>[4]</sup>王长江认为工程思维培养可采取“基于设计”的项目式方法,采用小组合作学习的教学组织形式<sup>[5]</sup>。

### (三) 文献述评

通过对相关文献的梳理和分析可知,国内外较为重视工程思维的培养,在此推动下也产生了众多有价值的研究成果,形成了较为完整且全面的理论成果体系,并且开展了许多较为成熟且可供参考的工程思维培养的实践案例。国内外对工程思维展开了充分的研究与实践,大部分学者认为工程思维的培养存在学科导向价值和生命导向价值。经过多年的发展,当下工程思维培养的实践重心为学科整合和工程设计。当前研究与实践也存在一定的不足,仍有许多工程思维培养教学尚未真正实现学科知识间的深度整合,教学设计易偏离其跨学科教学理念,工程思维培养较易停留于机械模仿和简单知识叠加的层面,缺乏对教学内容的深度挖掘,表现为只强调跨学科理念的融合而忽略了运用跨学科学习的实际操作。本研究将基于已有研究成果和现实存在问题进行面向工程思维培养的小学科学教学的设计与实践,尝试将工程知识与其它学科知识进行更为密切的整合,以提出可供参考的教学设计与实践。

[1] 苗莹莹.小学科学课程中工程思想的研究[J].教育,2020(11):38.

[2] Kolodner J L, Camp P J, Crismond D, et al.Problem-based Learning Meets Case-based Reasoning in the Middle-school Science Classroom:Putting Learning by Design (tm) into Practice[J].The Journal of the Learning Sciences,2003(4):495-547.

[3] Apedoe X S, Reynolds B, Ellefson M R, Schunn C D.Bringing Engineering Design into High School Science Classrooms:The Heating/Cooling Unit[J].Journal of Science Education and Technology, 2008 (5) :454-465.

[4] Fortus D, Dershimer R C, Krajcik J, Marx R W, Mamlok-Naaman R.Design-based Science and Student Learning[J].Journal of Research in Science Teaching,2004(10):1081-1110.

[5] 王长江,盛洋,安秋.基础教育阶段的工程教育:目标框架与实施建议[J].天津师范大学学报(基础教育版),2019(04):40-45.

## 四、研究意义

### （一）理论意义

工程思维培养教学已受到了人们的关注，但在相关研究成果中，针对小学工程思维培养教学研究仍存在发展空间，因此对如何培养小学生的工程思维展开研究有助于加深一线教师及相关研究者对工程思维重要性和必要性的认识，在一定程度上推动小学工程思维培养教学的理论与实践研究，扩宽小学工程思维的培养方式，丰富工程教学和科学教学的研究内容。本研究经过阅读、整理以分析国内外有关工程思维培养的教学研究成果与实施进展，学习相关教学设计经验与实践知识，对比、总结得出的培养小学工程思维的教学框架丰富了教学设计的理论。教学框架构建分析中的依据、步骤、原则等内容能为相关框架构建提供参考，教学框架设计中的教学内容、教学目标、教学评价等内容能够作为教学设计的依据。此次面向工程思维培养的小学科学教学实践研究具备理论意义，其将丰富已有的研究成果。

### （二）实践意义

本研究立足国内外的科学相关课标和已有研究成果，所展开的研究与设计以培养学生的工程思维为目标，能够提供一定的思路和经验以解决工程思维培养所面临的现实困境，因此具备实践意义。此次面向工程思维培养的小学科学教学实践意在面向生活世界的问题，创设真实教学情境，能达到培养学习工程思维并且激发学生工程学习兴趣的意义。学生在学习过程中能够获得工程思维、工程态度、工程知识等维度的发展，从中学到工程设计、工程制作等方法与技能。本研究结合了生物、科学、工程等学科和实际生活等方面的知识和内容，在工程思维培养的教学设计中遵循学科深度整合的原则，最终形成的具备学科深度整合特性的教学研究能丰富工程思维培养的教学案例并积累工程思维培养的教学经验，为一线教师提供可供参考的范例。

五、研究思路与方法

（一）研究思路

本研究确定了提出问题、分析问题、解决问题的研究主线，并将研究主线与研究问题、研究内容和研究方法相互对应，最终形成了如图 1 所示的研究思路。

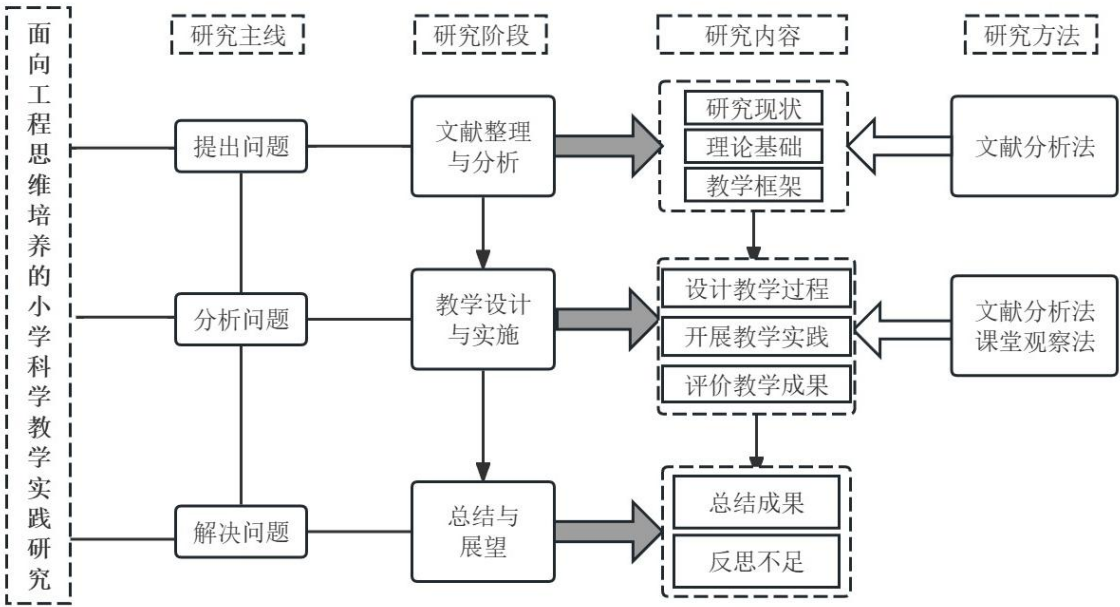


图 1 研究思路

首先是文献整理与分析阶段，该阶段为面向工程思维培养的小学科学教学设计与实践的研究提供方向。运用文献分析法收集并整理相关文献成果，通过阅读文献以总结国内外有关工程思维培养的研究与实施进展，通过分析已有理论寻找适合本研究的理论依据。

其次本研究将经历教学设计、实践、成果评价与反思等阶段。在教学设计中，从理论基础出发总结并得出适用于培养学生工程思维的小学科学教学框架并在此基础上确定教学的整体流程，展开基于小学科学六年级下册“做个生态瓶”一课的生物、科学、工程等学科相结合的教学设计。在教学实践中，利用课堂观察法开展教学实践并收集相关数据以分析、反思、总结本研究对培养学生工程思维的成效，探讨本研究开展小学科学教学设计与实践能否提高学生的工程思维，能否提供促进学生工程思维深化发展的动力和可能性，而后进行教学反思，总结教学设计与实践中的不足，得出面向工程思维培养的小学科学教学实践研究的建议。

最后是研究总结阶段，对此次研究进行总结，分析已有研究成果，反思研究过程的不足。

## （二）研究方法

### 1. 文献分析法

文献分析法是指在搜集与整理研究领域相关文献的基础上，对文献进行对比、总结之后形成新的认识的一种研究方法。本研究借助图书馆文献数据库、中国知网、万方数据库等多个渠道，查阅并收集了“工程思维”、“工程素养”、“工程教学”、“小学科学教学”等文献资料，而后进行整理与分析，以熟悉研究背景和国内外学者的观点，从而深入了解工程思维的培养现状和存在，明确了研究的方向，为形成面向工程思维培养的小学科学教学设计提供了基础。值得注意的是，文献分析法贯穿了本研究的全过程，在前期准备、文献收集、现状分析、教学设计、论文总结等阶段都使用了文献分析法。

### 2. 课堂观察法

课堂观察法是一种研究学生在真实课堂表现的教育科学研究方法。在本研究中，课堂观察法有助于从真实课堂情境中收集学生工程思维发展的材料与数据，从而根据该数据进行适当的研究与分析，进而得出观察结果。课堂观察法主要用于本研究的的教学实践阶段，即通过进入实际课堂的形式观察学生工程思维的培养情况。本研究的观察对象为教师和学生，主要观察教师的教学语言和教学行为以及教师对教学过程的引导程度。此外，学生的学习情况也在观察范围之内，需要在观察过程中关注学生如何开展工程学习、会不会展开独立和合作的两种形式的工程学习、学得如何等方面的情况。本研究将依据事先制定的观察目标和观察维度，以录像、录音、记录等形式对教师教学情况和学生学习情况展开观察，以收集相关数据和资料，从而为分析学生思维培养情况提供事实依据。



# 第一章 核心概念界定与理论依据

## 第一节 核心概念界定

### 一、工程思维

#### (一) 工程思维的内涵

在工程学习活动中，学生需要借助科学与工程原理、科学与工程规律、技术工具、技术方法实现对于工程问题的界定、研究、检验和评估，在此过程中形成了具备实践性、综合性、整合性、系统性等特点的工程思维。

工程思维是以系统分析和比较权衡为核心的筹划性思维<sup>[1]</sup>，其最具实践性与真实性<sup>[2]</sup>，表现为学习者或参与者需要在参与过程中思考“做什么”、“如何做”、“如何做得更好”等问题，其目的在于改造现实世界以改善人类的生活。徐长福也认为工程思维具有筹划性并将其定义为“专业层次的筹划型实体思维”<sup>[3]</sup>。工程思维是参与者在设计、迭代、制造社会或个人所需产品的过程中，遵循明确的目标和标准而产生的为实践提供指引的思维方式。工程思维是工程理性的表现，是以观察世界、判断标准、评估事物、构建理想化人工系统为目标的思维方式<sup>[4]</sup>。

本研究认为工程思维是工程学习者在工程的研究过程或实践活动中所形成的具备工程特性的思维方式，其在一定程度上能反映出学习者在解决工程问题过程中的思维与习惯。值得注意的是，本研究的工程思维能够基于一定的指标进行细分，落实到工程实践过程中表现为：具备工程思维的学习者在工程实践过程中能像工程师一样进行决策、设计、制作与总结，能对方案、思路、计划进行权衡比较，能基于一定的约束条件和设计要求展开设计与再设计活动，能综合运用各种知识和技能解决工程问题，从而实现工程的“物化”以创造出工程产品。

---

[1] 中华人民共和国教育部.普通高中通用技术课程标准(2017年版 2020年修订)[S].北京:人民教育出版社,2020.

[2] 骆晨.浅谈基于木工制作培养小学生的工程思维[J].现代教学,2019,(S2):63-64.

[3] 徐长福.理论思维与工程思维——两种思维方式的僭越与划界[M].上海:上海人民出版社,2002,58.

[4] 李永胜.论工程思维的内涵、特征与要求[J].洛阳师范学院学报,2015.34(04):12-18.

## （二）工程思维的结构要素

构成工程思维的要素并未统一，最早对工程思维进行结构要素探究的是美国在其 K12 教育阶段中提出的划分标准，其在《K-12 教育中的工程：理解现状和提升未来》中将工程思维划分为创造思维、系统思维、乐观主义、合作、交流、伦理态度<sup>[1]</sup>等工程思维和习惯。工程思维的构成要素虽未形成统一说法，但是从各学者的研究情况来看，不同研究所提出的构成要素存在一定的关联性和重复性。如王颖认为构成工程思维的要素为工程决策思维、工程设计思维、工程实施思维和工程评价思维。<sup>[2]</sup>赵美岚将工程思维具体划分为系统思维、整合思维、运筹思维、形象思维、双赢思维和美感思维。<sup>[3]</sup>

基于以上内容，本研究将工程思维的结构要素划分为工程决策思维、工程设计思维、工程制作思维和工程总结思维，这些结构要素能在一定程度上能反映学习者的在参与工程学习活动时的思维与习惯。

### 1.工程决策思维

工程决策思维是学生在进行工程决策阶段或参与工程相关决策活动时所形成的具备系统性的思维方式。工程决策思维包括目标决策和路径决策<sup>[4]</sup>，因此其由两个层面构成。第一层面是学生围绕工程任务所进行的整体规划和部署，第二层面是学生为了完成工程任务时所展开的方案制定。无论是整体规划还是方案制定，学生都需要将工程目标作为行动依据，充分考虑达成工程目标的约束条件与限制标准，学生在展开方案决策时常常需要从人文、用户需求、成本、技术、环境与生态保护等角度进行权衡考虑，因此需要进行综合权衡并形成筹划性的规划。

### 2.工程设计思维

工程的核心在于设计，工程设计思维也是工程思维的重要构成，本研究认为其是围绕工程设计阶段或相关设计活动展开的具备创造性的思维方式。针对工程设计

[1] National Academy of Engineering. Engineering in K-12 Education: Understanding the Status and Improving the Prospects[J].Insight,2010,13(3):8-10.

[2] 王颖.普通高中机器人教学中培养学生工程思维的行动研究[D].南京:南京师范大学,2014.

[3] 赵美岚.工程思维探析[D].南昌大学,2006

[4] 席西民.大型工程决策[M].贵州:贵州人民出版社,1988.

阶段而言，工程设计思维表现为学生能够将在工程决策阶段或活动中形成的整体规划分解成一系列具备逻辑关联的子系统，再根据子系统的子目标进行整体设计，在子系统规划时，学生可能会产生不同的解决方案，这时仍需借助工程决策思维以选择出合适的最优方案。针对工程设计活动而言，二维层面的工程设计图和再设计图是工程设计思维的重要体现，此外，学生在迭代的设计活动中也能获得工程设计思维的发展。

### 3.工程制作思维

工程制作思维是工程物化过程的体现，是工程决策思维和工程设计思维的延续。在工程制作阶段，学生需要对制作材料进行选择，再根据提前规划的方案和工程设计图完成工程产品的搭建，最后基于一定的检验标准检验工程产品的效果。值得注意的是，学生在工程制作过程中往往会发现一些在工程决策阶段和工程设计阶段没有考虑到的全新问题，在此种问题的解决过程中，学生能够学习到更多的工程相关知识和技能，这也意味着工程制作思维要求学生能发现搭建过程中的存在的问题并及时加以调整 and 解决。

### 4.工程总结思维

工程总结思维是学生在工程总结阶段的思维方式，其主要表现为对工程产品的检验、工程学习的综合评价以及整体反思。在工程学习活动的最后需要进行工程评价，学生根据产品检验的结果进行总体说明，学生需要对工程产品进行检验，能够评价工程产品是否符合用户需求与检验标准，还需清晰知道各自工程产品的优点与不足，能向他人分享制作心得。此外，学生对于自身在工程学习活动中的表现也是评价的部分，但由于每个工程参与者存在主体性，因此工程评价的结果往往是多样的。进行综合评价的过程也是学生整体反思的过程，学生需要对自己在工程决策、工程设计、工程制作等环节存在的问题加以思考并得出改进思路，从而形成工程整体的迭代。

## 二、工程素养

当前学界对于工程素养并未形成统一的定义，但从已有研究来看，技术与工程

素养和 STEM 教育中的工程素养有助于理解工程素养。技术与工程素养是使用技术、理解技术和评估技术的表现,也是提出完整解决方案以实践目标所需要的能力<sup>[1]</sup>,由此推知,工程素养应是提出最优方案以解决工程目标或工程任务所需要的知识、思维、能力和情感的综合。STEM 教育中的 E 则代表工程领域,在 STEM 教育中,工程素养是对技术的工程设计和开发过程的理解<sup>[2]</sup>。

工程素养可以概括为:人文情怀素养、系统思维素养、交流合作素养、设计创新素养、实践应用素养等五个维度<sup>[3]</sup>,也可以概括为工程知识、工程能力、工程意识、工程伦理等四个方面<sup>[4]</sup>。在 2022 版的义务教育科学课标之中,工程素养的基本内容表现在工程观念与工程本质、工程知识与工程技能、工程过程与工程思维等方面以及与之相关的创意实践活动<sup>[5]</sup>。工程素养的形成依赖于工程设计,工程设计是一种迭代的、阶段驱动的问题解决方法,被认为是工程活动的核心<sup>[6]</sup>。工程设计过程能将多学科知识与用户或目标人群的需求相结合以达到工程的目标。<sup>[7]</sup>这种动态的工程设计过程是工程素养的形成过程。

本研究认为工程素养是工程学习者参与工程实践活动并运用工程思维的结果,具体而言,工程素养是一种以工程眼光发现问题和分析问题,以工程思维解决问题并完成工程实践活动的综合素质,其是工程知识、工程思维、工程能力、工程态度与责任的总和。

### 三、工程思维与工程素养

从文献综述中可以发现,虽然国内外研究并未形成针对工程素养的统一界定,但是对工程素养构成的探讨具有相似性。经过整理与分析可以发现,大部分研究认为工程素养应涵盖工程知识、工程思维、工程能力三个要素。可见,工程素养与工程思维是上下位的关系,工程思维是工程素养的体现,工程素养是工程思维的集合。

[1] National Assessment Governing Board. 2018 Technology and Engineering Literacy Framework[EB/OL]. (2019-4-30)[2023-6-23] <https://www.nagb.gov/content/dam/nagb/en/documents/publications/frameworks/technology/2018-technology-framework.pdf>.

[2] 李艳燕,黄志南.STEM 创新教学模式与实践[M].北京:电子工业出版社,2019:4

[3] 张朝晖.“尚理”引领的工程素养培育特色高中建设探索[J].上海教育科研,2020.(11):28-31.

[4] 周玲,孙艳丽,马晓娜等.上海高校学生工程素养调查报告[J].高等工程教育研究,2016(5):106-111.

[5] 中华人民共和国教育部.义务教育科学课程标准(2022 年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022:90.

[6] Bucciarelli, L. L. Between thought and object in engineering design. Design Studies[M], 2002,23(3),219-231.

[7] National Academy of Engineering and National Research Council of the National Academies. Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects[R]. Washington, DC: National Academies Press,2009.

工程思维是构成工程素养的重要内容，可以通过分析学生的工程思维的培养情况以评价学生工程素养的发展情况。

## 第二节 理论基础

### 一、建构主义学习理论

建构主义学习理论的观点可以归纳为学习观、学生观、教师观和知识观。<sup>[1]</sup>建构主义强调学生学习的主体地位，对学生而言，学习是自身基于已有经验主动接受、分析、建构知识的过程，其认为学生的学习受到文化、制度、环境等社会性因素的影响和制约。建构主义主张教学应尊重学生，重视学生的不同看法，给予学生充分表达观点和想法的机会，鼓励学生在真实情境中进行学习。建构主义认为，学生的知识不是通过教师讲授而得，而是在个体在情境中通过主动建构而形成的，在这过程中，学生是学习的主体，教师仅仅承担组织者、帮助者、促进者、指导者等辅助角色。

工程是与社会密切联系的物化过程，其发生在人类社会之中，需要人类的参与才能实施，因此涉及工程的教学也具备社会性。小学工程教学情境往往来自于真实世界，小学工程教学要求学生结合情境或现实世界的约束条件展开自主化和团队化的活动，因此小学工程教学与建构主义学习理念相契合。在建构主义学习理论的学习观、学生观的指导下，小学工程教学的设计与实践需以学生为中心，鼓励学生发挥个体作用，使得学生能通过沟通交流活动发表自身看法，能在设计环节展示自己对于产品的理解，能借助生活经验展开分析用户需求、选择合适材料、界定工程问题等活动。值得注意的是，基于建构主义理论教师观的指导，在工程教学中，教师应承担合作者、观察者、引导者的角色，尤其在工程教学的中期环节中，教师应主动给予学生绝大部分的学习权力，允许学生独立自主或借助团队合作进行工程设计和工程制作。

### 二、教学评一体化

2017版的高中化学课程标准正式提出了教学评一体化的概念，随后教学评一体化开始逐渐被运用到其它教育阶段的研究和教学之中。教学评一体化强调“教”、

---

[1] 皮连生.教育心理学[M].上海:上海教育出版社,2002:12.

“学”、“评”在教学设计、教学评价和教学实践中的有效融合<sup>[1]</sup>，即评价设计要在教学设计之前，从“讲练为主”转向“学评为主”。

工程教学是搭建工程产品以解决问题的动态过程，单一的评价方式并不能真实测量教学效果和学习效果。此外，工程教学内容具有丰富性、系统性的特点，单一的课时难以支撑教学实施，而是要借助多个课时加以完成，因此如何确保教学设计的中教学目标、教学策略、教学评价的一致性是需要重点考虑的问题。教学评一体化因其独特性，它可将教学内容连点成线并将学与评的任务贯穿教学全程，有助于组织工程教学设计的具体实践环节与活动。

教学评一体化对本研究具备指导意义，本研究可在其指导下分成两个部分，分别是教学设计和教学实践。在教学设计中，形成了确定教学目标、制定评价标准、编写弹性教案的思路，在教学实践中，采取了教师评价和学生评价、过程评价和结果评价相结合的评价方式。

第三节 面向工程思维培养的教学模型

一、工程设计流程

摩根提出的“工程设计流程”（Engineering Design Process，简称 EDP）能够组织面向工程思维培养的小学科学教学过程，其由识别问题、前期研究、初步构思、分析想法、建造模型、检验优化和交流反思构成<sup>[2]</sup>，每个步骤及对应的具体内容如表 1-1 所示：

表 1-1 工程设计流程及其内容

步骤	内容
识别问题	结合情境或现实世界的限制条件以明晰问题和明确任务
前期研究	了解相关信息，通过研究获得后续获得所需的信息、知识等
初步构思	以团队为单位集思广益以合作寻找解决问题的思路
分析想法	全面分析不同的思路或方案并统整各方案的优点以寻找最优方案
建造模型	展开实际操作以制作产品实物或者模型

[1] 韦斯林,贾远娥.美国科学教育研究新动向及启示——以“学习进程”促进课程、教学与评价的一致性[J].课程·教材·教法,2010,30(10):98-107.

[2] James R M, April M M, Luciana R B. Engineering Better Projects, chapter, STEM Project-Based Learning[M].Sense Publishers,2013:30-33.

---

检验优化	结合限制条件对模型或产品加以评估、测试和优化，找到改进方法
交流反思	参与人员展开交流和总结，为产品改进或未来活动做准备

---

值得注意的是，这七个步骤并非是逐级上升的关系，而是从“识别问题”到“交流反思”的反复循环，这意味着工程思维的培养常常需要经历多次重复的学习过程才能达到预期的学习结果。这一设计流程的使用情形是：问题的解决方案需要经过设计以满足特定标准或完成特定任务的产品。

摩根提出的工程设计流程能为本研究提供一定的方法指导，有助于明确工程教学的实施过程，从而为本研究提供开展工程思维培养教学的思路。在工程教学设计与实践中，需要让学生对工程整体进行研究从而得出较为全面的实施方案的过程，并将研究过程以设计图纸的形式进行反映。设计图或设计理念在制作过程中会转化成真实的产品，接着产品就会进入运行、评估、更新、改造等阶段，这些阶段既是对产品的检验，也是对工程整体实施过程总结。值得注意的是，如果检验和评价结果并未达到预期目标，工程将在原有基础上进行局部调整或完全重建。因此工程教学设计与实践必须让学生经历迭代环节，引导学生在迭代中对工程设计图或工程产品形成反思。

从工程设计流程可知，实践方法并非一成不变，由于当前已知信息完全正确并科学的预估工程整体实施过程的走向，但如何基于当前信息判断实践方法仍然是重点。因此，在教学设计和实践中，工程教学需要引导学生全面了解工程活动所指向的工程是什么，基于此进行工程决策，即根据已知信息明确工程实践的目标，初步选择工程实践的方法。

## 二、6E 设计型学习模式

6E 设计型学习模式又叫 6E 教学模式，是由国际技术与工程教育学会（International Technology and Engineering Educators Association，简称 ITEEA）提出的一种适用于培养工程思维并带有跨学科特点的工程教学实践模式<sup>[1]</sup>。该模式由六个阶段构成，分别是：参与（Engagement）、探究（Exploration）、解释（Explanation）、工程设计（Engineering）、优化（Elaboration）、评价（Evaluation）。与 5E 教学模式相比，6E 模式开始关注与工程有关的教学，其增

---

[1] Burke, Barry N. The ITEEA 6E Learning by design[TM]Model: Maximizing informed Design and Inquiry in the Integrative STEM Classroom[J] Technology and Engineering Teacher, 2014,73(6):153-183.

加了“工程设计”阶段，注重工程思维的培养<sup>[1]</sup>，因此该模式更适合带有工程性质的科学课程。

参与阶段的主要目标在于引导学生将注意力集中于工程任务，以此形成工程学习的生长点，引发学生形成展开学习的兴趣和热情。在这一阶段需要创设真实的工程学习情境并让学生参与到情境中来，明白工程任务的需求，了解工程挑战，明确工程目标。

探索阶段的主要目的是让学生在教师的指导下，通过以往相关学习中获得的知识和经验，积极建构工程知识的意义，并以同伴合作的方式收集有关资料和信息并做出初步的规划，以便更好地基于已有信息和经验对工程任务和工程问题做出判断。

在解释阶段，学生需要围绕工程任务提出多个解决方案并对方案进行评估。在评估过程中，学生需要对方案展开综合比较，再结合实际从中选择最优、最适合、最匹配的方案作为最终的实施依据。值得注意的是，在该阶段中必须遵循学生的主体地位，教师仅承担引导者的角色。

在工程设计阶段中，学生的行动需要依据上一阶段得出的最优方案，在此过程中，学生需要进行设计与再设计活动。学生在这一阶段的设计与再设计活动并没有次数的限制，如若可以，应尽可能开展多次的设计活动。

优化阶段的重要特征表现为迭代。为要经历迭代的过程，进一步改进和优化模型或产品，使其更符合工程任务的目标和要求。在优化的过程中，应注重引导学生对工程任务形成更深入、更全面的认识。

在评价阶段中，由教师评估学生的学习情况。值得注意的是，该教学模式的评价主体多为教师，但在实际教学中应采取多样化的评价形式和评价主体。

### 三、克罗多纳双循环模型

克罗多纳双循环模型是一种基于设计的科学探究式循环模型，该模型是克罗多纳（Kolodner）设计的指向科学学习和科学实践的教学模式<sup>[2]</sup>。克罗多纳利用这一模型进行了“运动和力”的教学设计，引导学生通过反复设计、建模、评估的过程制造出能在特定地形上前行一定距离的微型汽车，从而发展了学生的科学能力和工程能力。克罗多纳双循环模型中的“设计-再设计”与“调查-探索”的循环构成了

[1] 黄桦.STEM教育深度融入科学课程教学的实践路径[J].现代教育技术,2018,28(05):121-126.

[2] Janet, L. Kolodner. Facilitating the Learning of Design Practices: Lessons Learned from an Inquiry into Science Education[J]. ISU Re D: Research and e Data,2002,39(3).



期主要的教学过程，在“设计-再设计”中，学生要经历设计、展示、建模、分析等循环环节，而在“调查-探索”循环中则是围绕问题展开，经历明确问题、作出假设、设计调查、进行调查、分析结果、展示与分享等循环过程。该模型的具体构成如下图 1-1 所示。

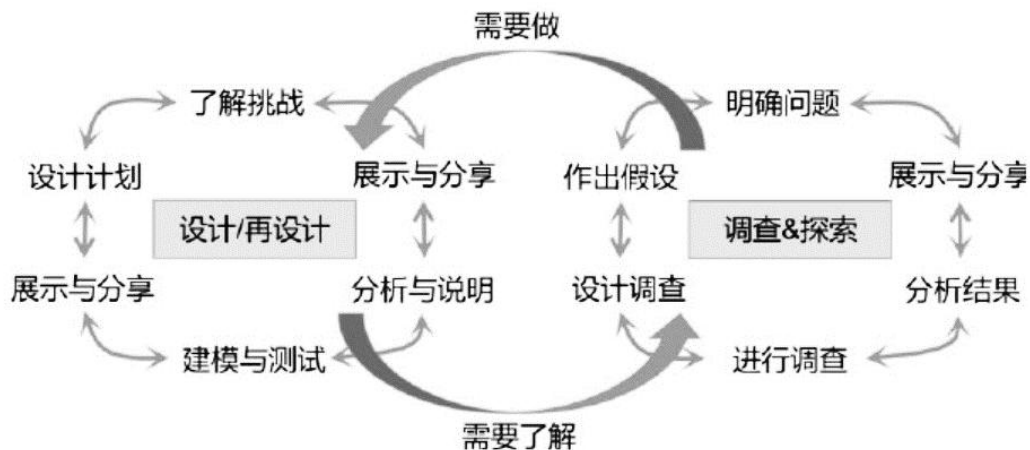


图 1-1 克罗多纳双循环模型

如图 1-1 所示，该模型存在“设计-再设计”循环和“调查-探索”循环，这两个循环圈并没有先后顺序，二者也不是简单机械的重合，而是彼此融合的互相迭代。克罗多纳经过研究发现，这种双循环的形式可以有效发展学生的科学探究能力，其中的“设计-再设计”循环还能帮助学生像工程师一样思考，习得工程思维和技能。基于克罗多纳双循环模型，此次以“做个生态瓶”一课为例的面向工程思维培养的小学科学教学应经历以下步骤：第一，学习生态瓶相关的科学知识、生物知识和工程知识；第二，学习工程技术知识，结合第一步所学知识运用于真实的工程任务之中；第三，设计并制造满足用户需求的水生生态瓶产品。学生如若在第三步遇到了问题和困难，则需要回到第一步和第二步，并再次经历第三步，如此循环。

6E 设计型学习模式与克罗多纳双循环模型具有一定的关联之处，二者的“工程设计”开始于问题的发现，这能对应工程学习中“工程问题的提出”环节，学生为了解决所发现的问题，需要经历多次循环的过程以得出最优方案，这能对应工程学习中“工程设计”和“工程制作”阶段。6E 设计型学习模式与克罗多纳双循环模型的工程设计环节能够为本研究开展培养工程思维教学提供一定的借鉴，并以此为基础进行教学设计，有利于教师了解学生在工程学习中的思维活动，从而形成引导学生解决工程问题的初步预设，因此 6E 设计型学习模式与克罗多纳双循环模型能够作为本研究进行教学设计和实施的依据。



## 第二章 面向工程思维培养的小学科学教学框架构建

建构主义学习理论、教学评一体化和工程设计流程等理论基础为构建工程思维培养的小学科学教学框架提供了指导思想和设计原则，6E 设计型学习模式和克罗多纳双循环模型提供了框架的主要内容。基于此，本研究构建了由“教学内容的选择、教学目标的设计、教学过程的设计和教学评价的设计”组成的面向工程思维培养的教学框架。

### 第一节 工程思维培养的教学框架分析

#### 一、教学框架构建的依据

面向工程思维培养的小学科学教学框架是以 6E 设计型学习模式和克罗多纳双循环模型为依据，以建构主义学习理论、教学评一体化和工程设计流程为指导所构建的。

6E 教学模式具备跨学科的优势，能在真实情境中利用工程设计过程开展学习，能将学生的培养目标落实到教学活动之中。工程设计过程是 6E 设计型学习模式的关键环节，该模式将科学探究学习和工程思维学习结合起来，强调工程学习对于解决实际问题的价值。而克罗多纳双循环模型则更具工程特色，双循环模型所采用的“设计-再设计”和“调查-探索”两条互相渗透的循环能够帮助学生在展开工程设计的同时开展探究活动。6E 设计型学习模式和克罗多纳双循环模型可以对应工程思维培养教学中的设计环节和制作环节，并且能提供制定工程设计和工程制作环节中具体步骤的思路。在 6E 设计型学习模式和克罗多纳双循环模型的指导下，形成了由初步构思和分析想法的工程设计阶段以及由建造模型和检验优化的工程制作阶段。这两个阶段是学生运用科学知识、工程知识、生物知识进行实践的过程，学生需要展开全面深入的思考才能最优设计方案和最优制作方案的选择。

建构主义学习理论强调情境性和建构性，这符合工程教学理念，因此能够成为构建教学框架的依据。在实际的教学课堂中，教师应创设真实的工程学习情境，通过自主化和合作化相结合的活动引导学生真正参与到工程学习的全过程，遵循学生中心原则。素养培养的教学活动围绕解决工程任务展开，这一过程往往是反复性的，

单一的评价机制并不能评估学生的工程思维发展情况，因此应在教学评一体化的指导下形成多样化的评价。

依据教学评一体化，本研究形成了多主体评价、多过程评价、多形式评价的评价开发思路。此外，虽然本研究的工程思维培养教学存在诸如生物知识等工程学科以外的内容，但仍要求学生经历完整的工程学习过程，因此教学框架的构建还需依据摩根提出的工程设计流程的七个步骤作为 6E 设计型学习模式和克罗多纳双循环模型的补充，从而构建出更完整、更具工程特色的教学框架。

## 二、教学框架构建的原则

### （一）面向真实世界问题

实践性是工程学习的重要属性，而只有面向真实世界所存在的问题才可以发挥出这一属性。工程教学的重点不在于学生学到了什么知识或了解了什么技术，而在于学生是否发展了工程思维以及获得的工程思维能否帮助学生解决问题，因此工程教学指向现实生活世界，其来源并服务于现实生活和真实情境。工程教学所设计的工程任务、所创设的工程情境应来自于学生的实际生活和真实世界，反映生活、社会乃至世界的问题，从而使得学生在真实的问题情境中进行工程实践。在教学设计和教学实践的过程中，应在面向真实世界问题的基础上，引导学生将工程任务与真实情境联系起来。

### （二）突出工程设计过程

工程设计是工程思维的重要组成部分，也是工程过程性学习的重要体现。突出工程设计过程要求关注工程设计的特殊性。工程设计过程一般包括识别问题、前期分析、初步构想、分析方案、建造产品、优化迭代、总结反思等环节。每个环节对应不同的任务，教师应针对不同环节布置不同的工程任务，学生应明确工程任务目标并完成任务，借助评价表或学习单以检验学生的过程性成果。值得注意的是，工程设计过程与工程知识、科学知识、生物知识等理论知识相呼应，因此突出工程设计也需关注学科知识的运用，知识运用有助于联结工程设计过程。

### （三）统整多学科知识

随着新课程改革和新课标颁布，课程和教学的理念聚焦于知识的结构化。知识结构化是对知识点的统整，是指教师基于学科本质和主题情境对教学内容进行有逻辑地排序、整合并通过层次递进的教学活动以形成知识间相互联系、易于迁移的知识结构。<sup>[1]</sup>小学阶段的工程教学往往与科学教学相结合，而结合之后的知识范围更广且内容更为复杂，因此需要提炼核心的知识框架。此外，相互联系和易于迁移的知识结构还要求教学设计要考虑到学习的进阶性。<sup>[2]</sup>因此，面向工程思维培养的小学科学教学应该基于跨学科的理念将学科知识统整起来，在统整过程中既要保证学生对于单科知识的理解，又要引导学生形成系统分析的综合视角。值得注意的是，工程和工程知识应成为学科统整的中心，生物、科学、技术等学科是认识工程和工程知识的工具。

### （四）设计多元化评价

评价的作用不仅在于测量，更在于反馈学生的学习过程，然而工程实践过程很难在纸笔测试中得到充分的反映，因此在工程教学中应遵循评价多元化原则。这一原则表现为评价主体多元化、评价形式多元化和评价内容多元化。在评价主体采用教师评价和学生自我评价相结合的方式，在评价形式上将过程评价和结果评价相结合，在评价内容上将工程思维各要素相结合。

## 三、教学框架构建的步骤

建构主义学习理论是本研究的重要基础，其确定了工程思维培养的教学方向，即坚持以学生为中心原则，给予学生充足的学习机会。通过分析 6E 设计型学习模式与克罗多纳双循环模型为教学框架提供了构建的思路，在工程设计流程的补充下，教学框架的思路更加清晰。借助教学评一体化理论对工程教学的教、学、评等因素进行了组织，确定了教学目标、组织教学活动和设计评价方式。基于上述理论指导，本研究确定了构建工程思维培养的小学科学教学框架的步骤，由确定教学需要、设计学习活动、开发学习材料、实施教学计划、评价教学成果构成，值得注意的是，

[1] 张萌,陈旭远.知识结构化教学的实践策略[J].教育理论与实践,2023,43(11):43-46.

[2] 周玉芝.指向科学教学改进的科学实践活动课程的设计原则[J].化学教育(中英文),2018,39(11):10-14.

这五个步骤并非完全以线性方式进行，而是存在一定的重复与循环。

### （一）确定教学需要

教学实践往往会产生误差，而确定教学需要则能通过分析情境、教学内容、学习者、教学成果、限制条件等因素以减少教学误差。建构主义主张学习的社会情境性和学生的主体性，工程教学也具备情境性、伦理性、实践性的特点，因此在确定教学需要时应更多的考虑当前社会的需要以及学生个体的发展，即在工程教学中创设一个符合当下社会发展的学习情境，让学生在掌握知识、获得能力、习得价值观的同时感知学习与真实社会的联系。工程教学的内容应来源并服务于现实生活，使得学生在真实的问题情境中进行工程实践。值得注意的是，教学评一体化主张逆向的教学设计过程，因此还需考虑有关结果评价的问题，这一问题的落实办法是提前确定教学评价目标，将工程教学目标与工程评价方式相结合。

### （二）设计学习活动

工程教学遵循统整多学科知识的原则，因此在教学设计中需要依据教学内容进行教学活动的整体设计和逻辑排列。在确定了基本的教学过程后，还应制定各个阶段对应的教学目标、教学活动、教学工具、教学时间等，细化各阶段中的学习活动，包括课外延伸活动、教师要做什么、学生要做什么等内容。

### （三）开发学习材料

此次面向工程思维培养的小学科学教学的原始学习材料为小学六年级科学教材中“做个生态瓶”一课的教学内容，该课时所涉及的领域主要为科学学科，但为了达到学科整合、知识统整的目的，需要在原始材料的基础上进行扩充与开发，使得原有的科学知识能与工程、生物、技术等学科加以有机融合。

### （四）实施教学方案

实施教学方案对应工程教学的实践环节。在实施前，重点关注信息采集，收集学生对相关工程知识的了解程度和已有的知识基础。在实施过程中，重点关注生生互动情况，利用课堂观察法记录并收集学生的过程性学习情况。

（五）评价教学成果

工程教学指向最终的学习产出，如设计图、工程产品、工程实施方案等，因此应制定较为全面的评价维度和评价指标以反馈学生的学习过程。因此，评价教学结果并不是只发生在教学结束之时，而应贯穿于教学的始终。

第二节 工程思维培养的教学框架设计

本研究的教学框架设计如下图 2-1 所示。

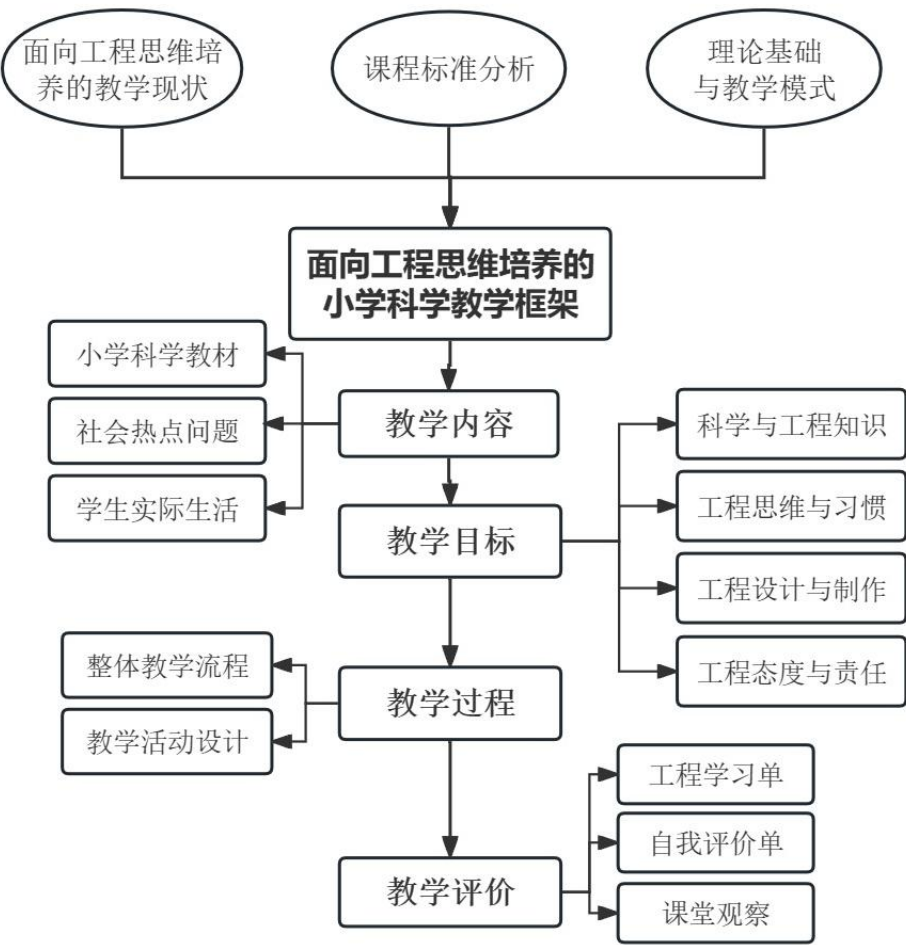


图 2-1 面向工程思维培养的教学科学教学框架

通过整理、分析已有研究成果的基础上明晰了面向工程思维培养的教学现状，在建构主义学习理论、教学评一体化、工程设计流程、6E 设计型学习模式和克罗多纳双循环模型等理论和教学模式的指导下明确了素养教学的教学理念和基本教学环节，结合我国 2022 版义务教育阶段的科学新课标、美国的科学教育课标、美国

的技术与工程素养标准，分析了教学内容、教学目标等实践要素，最终得出了由教学内容、教学目标、教学过程、教学评价等要素构成的培养学生工程思维的教学框架。

## 一、教学内容的选择

### （一）教学内容选择来源

#### 1. 小学科学教材

教材是依据课程标准编制并能反映系统内容的教学材料，具备全面、系统、准确的特征，小学科学教材是科学课程标准的具体化，涵盖了学生应在小学阶段掌握或达成的科学方面的知识、思维、能力及情感，因此小学科学教材仍是主要的教学内容来源。就面向工程思维的培养来说，小学科学教材中存在许多可供开发或再次设计的学习材料，但由于工程学生具备较大难度，要求学生具备一定的认知基础和学习经验，小学三年级及以上的学生更适合开展工程学习，因此三年级以上的科学教材更适合作为教学内容的选择来源。基于此，本研究以江苏教育出版社所出版的三至六年级的科学教材为例，整理出了如表 2-1 所示的可供实施工程思维培养的教学课例及其对应的工程主题。

表 2-1 三至六年级科学教材中适合实施工程思维培养教学的课例

分册	课例	工程主题
三年级上册	认识空气	走马灯
	人的呼吸和消化	呼吸系统模型
三年级下册	声音的奥秘	制作乐器、制作防噪产品
	身边的材料	保温产品
	观测天气	风向仪、雨量器
四年级上册	简单电路	LED 手环、照明电路模拟
四年级下册	太阳、地球和月亮	地月模型



	昆虫	昆虫屋
五年级上册	光与色彩	万花筒
	热传递	太阳能灶
	地球的表面和内部	地球内部模型
五年级下册	仿生	仿生装置
	简单机械	机械省力装置
六年级上册	科技改变生活	蒸汽小船
六年级下册	神奇的能量	能量转换装置、电动机、发电机
	生物和栖息地	生态瓶
	自然资源	太阳能小车

2. 社会热点问题

工程教学内容还来自于当下社会所存在的热点问题，社会热点问题还与民众需求和社会需要息息相关，这往往产生于在社会中引起普遍关注、产生广泛讨论、获得舆论追踪等引发强烈反响的问题或事件，例如环境问题、食品安全问题、医疗为生问题等。结合工程教学特性和社会热点领域，可将适合展开工程教学的社会热点问题分为两大类，第一类是社会生活主题，如在倡导垃圾分类的背景下就可以开发出“制作智能分类垃圾桶”、“制作垃圾分类小屋”、“制作厨余垃圾发酵机”等主题的工程教学；第二类是生态环境主题，如针对水资源短缺这一问题以开发“制作污水回用装置”、“制作节水装置”等主题的工程教学。

3. 学生实际生活

工程教学强调实践性，工程教学应从课堂走向学生的生活，在教学内容的选择上应主张“生活引入课堂，课堂走向生活”的教学理念。此外，从学生实际生活选题更有助于激发学生的学习兴趣和经验，引起学生产生充足的思考和积极的体验。可以从学生所处的地域出发选择工程教学内容，例如借助学生所处区域存在地势落

差大、多山地和河流的地形特点开发“制作水能和电能的能量转换装置”的工程主题，还可以从学生的学习和生活中进行工程主题的开发。

## （二）教学内容选择依据

工程教学内容的选择应依据对应阶段的科学课程标准和学习者特征。

一方面，课程标准是实施教学的依据。课标包含了课程总目标、不同学段的课程教学内容、实施教学的建议和要求等等，因此基于课标选择教学内容有助于教学者从整体上把握教学内容。虽然当前缺少工程学科的课程标准，但是可以将义务教育阶段的科学课标作为教学内容的选择依据，此外，还可以在依据我国科学课标的基础上参考国外的相关课标作为补充。值得注意的是，当前强调学习的进阶性，因此还应在参考课标的基础上，选择存在更多进阶可能的教学内容以联结小学、初中甚至是高中的学习，为未来的深入学习打下基础。

另一方面，在选择工程教学内容时还应充分考虑学习者特征，工程教学内容是否合适只有联系到学生的年龄特征、认知水平、思维深度、认知经验等方面才能进行判断。工程学习难度较大，学生需要一定的认知基础和学习经验，因此小学三年級以上的学生更适合进行工程学习。

## 二、教学目标的设计

### （一）教学目标

当前对于小学科学的教学目标需要围绕内容、思维、探究、实践、态度、责任等维度展开，值得注意的是，内容维度的要求不再是单纯地要求理解知识，而是在此基础上追求综合运用和指导实践的作用。在教学目标的制定上，本研究主要结合了我国 2022 版《义务教育科学课程标准》（以下简称 2022 版科学课标）以及美国的《新一代科学教育标准》（以下简称 NGSS）和《技术与工程素养标准：技术和工程在 STEM 教育中的作用》（以下简称 STEL），其中 2022 版科学课标是本研究制定教学目标的重要依据，美国的两个相关标准仅作为补充。

从小学科学教学目标出发，结合工程思维培养教学的特点，本研究将确立了四个层面的教学目标，分别为“科学与工程知识”层面、“工程思维与习惯”层面、“工程设计与制作”层面和“工程态度与责任”层面，其中“工程思维与习惯”和

“工程设计与制作”两个层面的教学重点在于培养学生的工程思维和工程能力，因此围绕这两个层面展开的教学活动是学生工程思维培养的重要支撑。

这四个层面的教学目标于教学过程相呼应，重点在于引导学生习得相关知识和概念，提升学生的工程思维和培养学生的好习惯，引导学生在工程设计与制作中习得思维、能力和技能等内容，进而激发学生对工程学习产生的兴趣，养成良好的态度与责任意识。基于此，结合“做个生态瓶”一课，本研究将此次面向工程思维培养的小学科学教学目标确定为如表 2-2 所示的内容。值得注意的是，由于此次面向工程思维培养的小学科学教学所涉及的教学内容较多，因此将通过以多个课时加以呈现。表 2-2 所展示的教学目标为整体目标，除此之外，本研究还会在具体的教学设计与实施过程制定具体课时目标。

表 2-2 面向工程思维培养的小学科学教学目标

层面	具体内容
科学与工程知识	进一步认识工程和工程师，了解工程师对社会的重要作用，能够在用户需求和检验标准的约束下分析工程问题。
工程思维与习惯	能基于已有信息展开设计，学会设计的多种方法，在设计中发展系统思维和反思意识，学会正确看待工程设计的困难。
工程设计与制作	能基于设计图进行实际制作，发展运用证据与事实的能力以及动手操作能力，能对水生生态瓶产品进行检验，及时发现并解决问题，体会创造的意义和乐趣。
工程态度与责任	发展回答问题能力和提问能力，能承担工程角色对应的责任，表现出对工程学习的兴趣，学会倾听并乐于与他人分享自身的发现。

接下来，本研究将从我国的 2022 版科学课标以及美国的 NGSS 和 STEL 出发，具体介绍表 2-2 中教学目标的制定依据。

（二）教学目标的设计依据

在“科学与工程知识”层面，本研究主要确定了认识工程和工程师以及二者的重要性的目标，这一目标主要来源于我国的科学课程标准。2022 版科学课标中关于科学观念的学段目标要求学生需要“知道简单工程存在一定约束条件及验收标准”，因此这一层面的目标重在培养学生对于工程师的角色意识，认识到工程与工

程师对于科学、生活、世界的促进作用。

“工程思维与习惯”层面和工程设计与制作层面的主要目的在于培养学生的工程思维和工程能力。前者侧重于思维和习惯的理论学习，通过已有标准进行设计并从中学习到工程的思维习惯、设计方法等内容；后者则趋向于学生亲身获得的关于工程的直接经验，要求学生能通过实践过程形成工程思维和工程能力，从而发展自身的工程思维。借助我国的 2022 版科学目标中科学思维维度的“基于科学原理提出有一定新颖性和合理性的观点”和“能进行初步的创意设计，并利用影像、文字或实物表达自己的创意”等两点学段目标确定了“能基于科学知识和工程标准展开设计，学会设计的多种方法”这一思维目标，以及基于态度责任维度的“在好奇心驱使下，表现出对现象发生原因的因果感兴趣”的要求确定了“在设计中发展系统思维和反思意识，学会正确看待工程设计的困难”这一习惯目标。

依据美国的 NGSS 确定了工程设计与制造层面的目标，基于科学和工程实践的“建立并使用模型”、“设计并实施调查”和“运用数学思维”以及 STEL 的“系统思维”、“创新”、“批判”、“制造及制作”等内容确定了能基于设计图进行实际制作，发展运用证据与事实的能力以及动手操作能力，能对生态瓶产品进行检验，及时发现并解决问题，体会创造的意义和乐趣。

工程态度与责任层面的依据分别是我国 2022 版科学课标和美国相关标准中关于“态度”、“责任”、“兴趣”等价值观取向的内容，总结出了“发展回答问题能力和提问能力，能承担工程角色对应的责任，表现出对工程学习浓厚兴趣，学会倾听并乐于与他人分享自身的发现”的教学目标。这四个层面的教学目标主要来源于：

## 1. 我国 2022 版义务教育科学课标的指导

我国 2022 版义务教育科学课程标准将科学观念、科学思维、探究实践和态度责任作为达成科学课程目标的四个维度，四维度是科学学科育人价值的综合体现<sup>[1]</sup>。

首先是科学观念及相关学段目标。科学观念对科学世界的总体认识，要求学生能认识科学领域和技术与工程领域的具体观念，理解科学相关性和可验证性等科学本质，发现科学与世界、社会、环境之间的相互关系，灵活运用科学观念解释现实社会的现象及解决真实存在的问题。科学观念的学段目标包含了相应的工程类教学

[1] 中华人民共和国教育部.义务教育科学课程标准(2022 年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022.

目标和“做个生态瓶”一课的科学类目标，如表 2-3 所示。

表 2-3 科学观念内容及对应目标

内容	工程类目标	科学类目标
具体观念的认识、科学本质的认识、科学关系的认识、解释现象和解决问题	①知道利用技术与工程能提高生产效率和工作效率②知道技术与工程对科学发展有促进作用③知道简单工程存在一定约束条件及验收标准	简单描述生物与生物、生物与环境之间的相互依存关系，以及生物的多样性和进化现象

就五至六年级而言，这两个年级的工程类目标表现出了一定的难度，由低年级的简单了解转化为灵活运用。相关工程类目标要求学生能够清晰的认识到工程对科学发展的促进作用。值得注意的是，学生在认识到工程作用的同时还需明确工程受到的约束条件以及验收标准，并能利用学过的工程知识提高生产效率和工作效率。此外，科学观念也提到了“做个生态瓶”一课所需达到的科学类目标，要求学生能简单描述生物与生物、生物与环境之间的相互依存关系和生物的多样性。

其次是科学思维及相关学段目标，科学思维维度由模型建构、推理论证和创新思维构成。随着工程教育的发展，模型建构和推理论证也逐渐发展成为必备的工程素养，因此这三个内容在一定程度上也可看作是工程思维。模型建构要求根据科学问题和情境，基于客观事物的抽象和概括而建立的反映事物特征和本质的认识手段和思维方式，在建构过程中以经验事实为基础，需要运用抽象和概括思维进行分析、解释和描述，有助于学生经历完整的认知过程从而发展模型的建构能力和使用能力。推理论证和创新思维则分别代表了推理论证能力和创新能力，前者利用逻辑思维推测并解释科学事实，最终获得合理的结论，后者则通过批判或质疑以完善推理论证。思维具有特殊性，其的培养并不只依赖于某一课的教学内容，而是广泛存在于科学课堂的教学中，受此影响表 2-4 仅罗列了工程类目标。

表 2-4 科学思维内容及对应目标

内容	工程类目标
模型建构、推理论证和创新思维	①能使用或建构模型，解释有关科学现象和过程②针对具体问题提出假设，基于交流情境提出观点，建立证据与假设或观点之间的联系③基于科学原理提出有一定新颖性和合理性的观点④能进行初步的创意设计，并利用影像、文字或实物

### 表达自己的创意

由表 2-4 可知,科学思维中的工程类目标以使用模型、证明假设、提出观点和创意设计为主要内容。在使用模型上,要求借助抽象、简化、假设等方法重现事物或现象的本质特征,即解决问题的过程中借助或利用文字、图像、公式等表征方式来解释事物或现象发生的过程。证明假设的关键是证据的收集,要求学生通过实践将科学内容、技术和实际生活联系起来,从而展开收集数据、处理证据和信息、设计调查、提出方案等活动。在提出观点上,要求学生达成两方面的目标,一是对能较为深入地了解科学原理,知道有关科学的概念、原理等信息;二是基于科学原理提出新颖性和合理性观点,合理性是学生是否掌握科学原理的标准,而新颖性则是创造性的表现,学生需要做到有效产生、评价和改进想法,从而形成原创的解决方案并提升想象力。创意设计是提出观点的进一步目标,要求学生将想法或观点不断延伸并以图像和文字加以呈现和诠释,正是由于合理性和创造性观点的产出促进了动脑认知向动手操作的转变。

接着是探究实践及相关学段目标。科学探究围绕科学探究能力、技术与工程实践能力和自主学习能力展开,探究使得知识指导实践成为可能。学生在经历获得知识-提出问题-制定并实施计划-解释并评估结构的过程发展了评估、交流、反思能力。学生技术与工程实践中经历获得知识-提出并实施方案-修改迭代-展示成果的过程中发展解决实际问题的能力。自主学习能力是科学探究和科学实践的归宿,表现为确定目标-选择策略-自我监控-反思学习的过程。探究实践相关目标如下表 2-5 所示:

表 2-5 探究实践内容及对应目标

内容	工程类目标	科学类目标
科学探究、技术与工程实践、自主学习	①初步具有从事物的结构、功能、变化及相互关系等角度,提出问题和制定比较完整的探究计划的能力②初步具有获取信息、运用科学方法描述和处理信息并得出结论的能力③初步具有交流探究过程和结果,并进行评价、反思与改进的能力④具有初步的构思、设计、实施、验证与改进的能力	①能运用观察、实验、查阅资料等方式获取信息,能用科学语言等方式记录信息②采用不同方式呈现探究过程与结果,尝试运用科学原理进行解释

由表可知，探究实践的工程类目标和科学类目标都以动脑思考、动手操作为主要内容，其中更多的侧重于学生的亲身的经历、体验和实践。在工程类目标中，要求学生能够制定方案并基于已有信息选择最优方案并加以实施；在科学类目标中，要求学生在探究前能够用自己的方式收集信息，在探究时能记录有价值的信息并呈现探究的过程信息和结果信息。

最后是态度责任及相关学段目标。新课标明确将态度责任作为四大素养之一，体现了对于科学态度和社会责任的重视，态度责任是学生基于对科学观念的理解、科学思维的指导以及探究实践的支撑形成科学素养和工程思维，这是社会主义核心价值观的体现。科学和工程在这一维度的目标存在一定的重合，科学教学和工程教学以发展学生的终身学习能力为目的，再者关于态度责任这样的目标在科学教学和工程教学中并未存在明显的界限，因此表 2-6 所呈现的教学目标涵盖了科学类和工程类目标，是整合之后的结果。

表 2-6 态度责任内容及对应目标

内容	科学类/工程类目标
科学态度观、 社会责任感	①在好奇心驱使下，表现出对现象发生原因的因果感兴趣②能以事实为依据作出独立判断③善于有依据地质疑别人的观点④初步具有创新的兴趣⑤了解科学、技术、社会、环境之间的相互影响，以及科学研究和技术应用中需要考虑伦理道德⑥愿意采取行动保护环境、节约资源

由表可知，态度责任的科学类目标和工程类目标要求学生形成用改变世界的责任感，提高参与度以并体会学习的乐趣，以保持热情、大胆质疑、学会合作等为代表的科学态度和以珍爱生命、热爱自然、关心时事等为代表的社会责任有助于形成正确价值和社会责任，从而打下终身学习的基础。

2. 美国 NGSS 和 STEL 的启发

美国在 2013 年出版的 NGSS 具有三个重要理念，分别是学科知识的概括性、知识教学的连续性和科学教学的实用性，其中实用性表现在指导学生的实践和提升科学素养两方面，而这三个理念通过科学和工程实践、跨学科概念和学科核心概念三条主线串联起来。在 2020 年发布 STEL 则系统规划了美国 PreK-12 学生技术素养与工程思维的发展路径，STEL 提出的核心学科标准、技术和工程领域的实践与

功能、应用的领域等内容反映了 STEL 在 STEM 中的学科整合作用，主要由技术与工程实践、技术与工程情境和核心学科标准三个内容构成。NGSS<sup>[1]</sup>和 STEL<sup>[2]</sup>的三大主线对比如表 2-7 所示。

表 2-7 NGSS 和 STEL 的三大主线对比

NGSS		STEL	
<b>科学和工程实践</b>	提出（科学）并明确（工程）问题；建立并使用模型；设计并实施调查；分析和解释数据；运用数学思维；建构解释（科学）和设计解决方案（工程）；获取并运用证据；评估和交流信息	<b>技术与工程实践</b>	系统思维；创新；制造及制作；批判；乐观；协作；沟通；关注伦理
<b>跨学科概念</b>	类型；因果；结果和功能；系统和系统模式；循环和守恒；范围比例和数量；稳定和变化	<b>技术与工程情境</b>	计算、自动化、人工智能和机器人基数；材料转换与加工；运输和物流；能源与动力；信息与通讯；人工环境；医疗与健康相关的技术；农业与生物技术
<b>学科核心概念</b>	源自物质科学、生命科学、地球和空间科学以及工程和技术四个主要领域的 11 条概念	<b>核心学科标准</b>	技术与工程的本质和特点；技术与工程的核心概念；知识、技术和实践的融合；技术的影响；社会对技术发展的影响；技术史；技术与工程教育中的设计；应用、维护与评估技术产品及系统

由表 2-7 可知，NGSS 的三大主线相对构成了一个相对完整的培养科学素养的结构，其主要围绕科学内容与科学实践展开，而 STEL 则以培养技术和工程思维为中心，可将其作为 NGSS 中“工程与技术部分”的延伸与拓展。NGSS 和 STEL 与我国的科学课程标准具有相似之处，三者都围绕内容、思维、探究、实践、态度、责任等维度展开。内容维度在 NGSS 中表现为“学科核心概念”和“跨学科概念”，在 STEL 中则表现为“核心学科标准”，其从科学和工程内部的学科基本结构和关系出发重视以跨学科为主要特点的核心概念，减少了知识间的重复。在实践

[1] National Research Council. Next Generation Science Standards [M]. Washington D C: The National Academies Press, 2013: 94-96.

[2] National Assessment Governing Board Technology and engineering literacy framework for the 2014 national assessment of educational progress [M]. Washington D C: NAGB, 2013: 10-12.



维度上，NGSS 表现为“科学和工程实践”，STEL 表现为“技术和工程实践”，二者均强调科学实践对于发展科学思维、科学能力、科学素养、工程思维的必要性。通过实践将科学内容、技术和实际生活联系起来，重点关注科学技术在收集数据、处理证据和信息、设计调查、提出方案等方面的运用。而 STEL 则为实践创设了具体的情境，这八个情境与社会生活、人类健康和周围环境息息相关，可见 STEL 的实践更加倾向于实际问题的解决，这也加强了工程技术与科学生活的联系。

工程的核心在于设计，此次教学设计应该以如何引导学生进行工程设计为中心，必须充分思考如何将工程设计与“工程思维与习惯”和“工程设计与制作”两个层面的目标相结合，此外还应突出探究过程和工程活动两个部分，其中强调探究过程的目的在于拓宽学生已有的科学素养和工程素养，为工程学习提供更多的生长点。本研究的教学设计是小学科学学科教学内容的延伸，而工程活动又有别于科学教学活动，工程活动以设计过程和产品成果为主，学生应在教师创设的问题情境中分析工程元素和工程任务以突出工程学习的“设计—反思—再设计”的过程，必须有效实现学科知识的逻辑重组和深度整合以平衡二者的教学设计要素。在这一思路之中，教学目标与评价目标相互影响相互制约，二者同时影响工程教学的过程，这一过程以“迭代”为主要特点，学生要经历重复多次的决策、设计、制作、总结的过程以得出更优化的解决方案。

三、教学步骤的设计

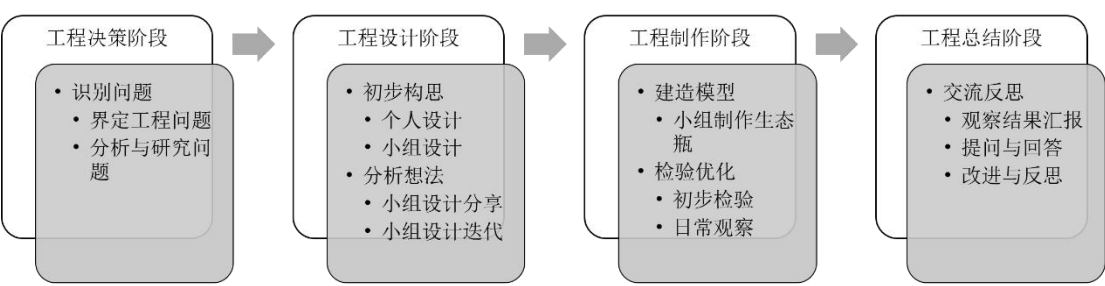


图 2-2 面向工程思维培养的教学过程

以工程设计为基础的工程教学过程实施需要满足的四点要求，分别是：第一，突出问题意识；第二，工程设计问题的结果与种类多样；第三，需展开合作学习；第四，学生真实参与。结合前文提到的工程设计流程、6E 设计型学习模式、克罗

多纳双循环模型以及相关理论基础，本研究结合“做个生态瓶”一课设计了如图2-2所示的教学过程，分别是工程决策、工程设计、工程制作和工程总结等阶段。

这四个阶段适用于培养工程思维的大部分工程教学内容，工程决策阶段的识别问题、工程设计阶段的初步构思和分析想法、工程制作阶段的建造模型和检验优化、工程总结阶段的交流反思也能够作为组织工程教学内容的参考。围绕教学过程，本研究设计了对应的四个课时，分别是识别工程问题、角色分工与工程设计、工程制作与初步检验、工程评价与总结反思。

基于对工程设计流程中的“识别问题”和“前期研究”两个步骤、6E设计型学习模式的“参与”和“探索”两个阶段、克罗多纳双循环模型的“调查-探索”循环的整合形成了工程决策阶段。这一阶段的主要任务是识别问题即要求学生在工程情境中认识、界定、分析并研究工程问题，要求学生能在识别问题的过程中认识到制作生态瓶这一工程任务的设计要求和检验标准，认识到需求、成本、技术、材料和生态保护对于生态瓶这一工程产品的制作限制，认识到生态瓶的初步检验标准和日常检验标准。

基于对工程设计流程中的“初步构思”和“分析想法”两个步骤、6E设计型学习模式的“解释”和“工程设计”两个阶段、克罗多纳双循环模型的“设计-再设计”循环的整合形成了工程设计阶段。该阶段主要包括初步构思进而分析想法两个活动，先要求学生独立思考并进行个人设计图的绘制，再在小组中交流设计想法并且进行小组设计图的绘制及其迭代。

基于对工程设计流程中的“建造模型”和“检验优化”两个步骤、6E设计型学习模式的“优化”阶段、克罗多纳双循环模型的“调查-探索”循环的整合形成了工程制作阶段。学生需要完成建造模型和检验优化两个环节，一是基于设计图制作生态瓶产品，二是通过初步检验标准和日常检验标准观察生态瓶产品是否达到了设计要求。

基于对工程设计流程中的“交流反思”步骤、6E设计型学习模式的“评价”阶段的整合形成了工程总结阶段。工程总结阶段是交流与反思的过程，学生需要基于设计图、生态瓶产品、观察结果汇报各自小组的生态瓶制作总体过程及结果，回答其他小组提出的问题，提出反思和改进建议。

四、教学评价的设计

本研究的教学评价方案如下图 2-3 所示。

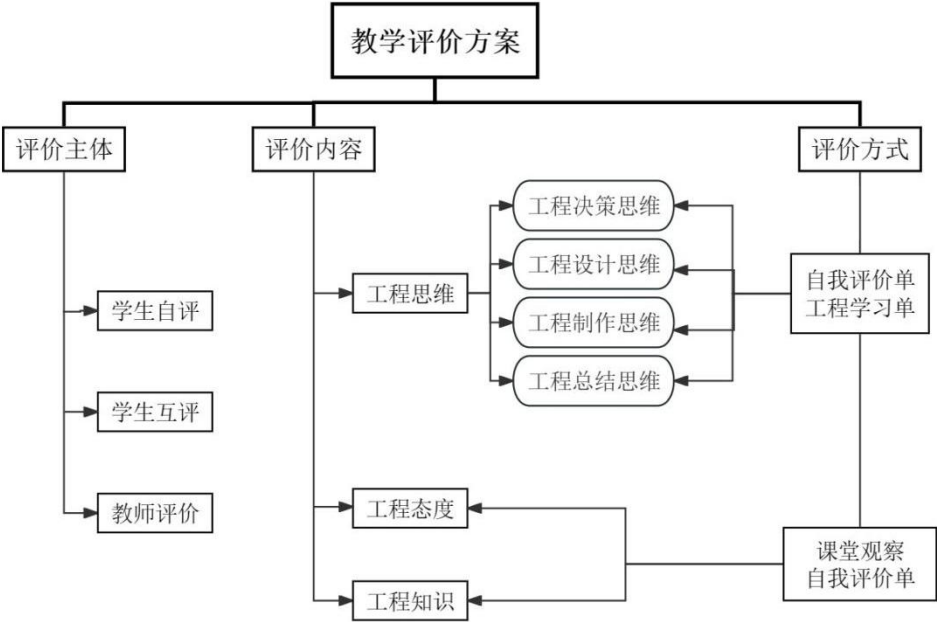


图 2-3 教学评价方案

教学评一体化主张教学目标指导评价目标、评价目标体现教学目标的评价开发原则，因此在教学评价的开发与设计上，必须充分结合依据课程标准、教学内容、学习者特征所制定的教学目标，使得教学目标能够在不同的教学评价内容中得到体现，从而能够测量教学目标的达成程度。遵循教学评一体化的指导，本研究制定了指向评价主体、评价内容和评价方式的教学评价方案，旨在测量和评估本研究对于学生工程思维的培养情况。

（一）评价主体

1. 学生自评

学生作为工程学习的主体，需要对自身在整个工程学习活动中的表现进行自我分析和评价。学生自评的目的是引导学生形成工程学习的总结与反思，从而促进工程总结思维的形成，其的评价工具是自我评价单，通过自身工程学习的实际情况对表中的客观题和主观题进行填写。

## 2. 学生互评

工程学习活动借助小组合作的形式展开，学生对工程的决策、设计、制作和总结都发生在与同伴产生合作的过程中。小组作为工程学习的共同体，为学生提供了互评的场景和机会，学生在合作中的交流、沟通等内容都是学生互评的依据。

## 3. 教师评价

在工程学习活动中，教师是工程学习的引导者，是学习环节的构建者，也是工程学习活动中重要的评价主体。与学生相比，教师清楚评价的维度与指标，能从较为专业的角度展开评价，其依据是课堂观察结果以及学生工程学习单的填写情况，更倾向于质性的评价。

### （二）评价内容

评价内容指向说明“评价什么”的问题。在设计评价内容时，本研究充分结合了教学目标的要求，设计了指向教学目标的评价内容，主要包括工程思维、工程态度、工程知识三个维度。

#### 1. 工程思维

本研究将工程思维的结构划分为工程决策思维、工程设计思维、工程制作思维和工程总结思维，将教学过程设计为由工程决策阶段、工程设计阶段、工程制作阶段和工程总结阶段构成的流程，工程思维就体现在其中。本研究综合了王玉<sup>[1]</sup>、吴迪<sup>[2]</sup>、张泽晖<sup>[3]</sup>等人提出来的工程思维指标并结合实际研究目的进行修改，形成了本研究的工程思维评价指标

如表 2-8 所示，该评价指标有助于分析学生的工程思维在工程学习过程的发展情况，但无法从整体上把握学生的工程思维培养情况，为此本研究设计了评价整体工程思维的自我评价单作为补充。

[1] 王玉.六年级学生工程思维培养的实证研究[D].重庆师范大学,2021.

[2] 吴迪.面向学前儿童工程思维培养的 STEAM 活动设计研究[D].广州大学,2022.

[3] 张泽晖.STEM 理念下面向小学生的工程思维培养活动模型设计与实践研究[D].河北大学,2019.

表 2-8 工程思维评价指标及表现

教学过程	一级指标	二级指标	表现及对应等级		
			高级	中级	初级
工程决策阶段	工程决策思维	确定目标	能分层分类理解工程任务，明确工程目标的各个层级	能充分理解工程任务，明确工程目标构成	能理解工程任务，明确工程目标
		分析问题	能结合约束条件和检验标准对工程任务进行全面分析，与知识联系密切	能较为全面地对工程任务进行分析，与知识产生一定联系	能对工程任务进行分析但不全面，不与已有知识产生联系
		制定方案	能够根据工程任务制定多个合理的解决方案并选择最优方案加以实施	能够根据工程任务制定多个合理的解决方案并选择实施	能够根据工程任务制定一个合理的解决方案并实施
工程设计阶段	工程设计思维	产品结构	结构科学合理，可操作性强	结构合理，可操作性较强	结构合理，具有可操作性
		功能设计	能在体现产品的功能之外存在创新	能体现产品的功能	能体现产品的一定功能
		设计过程	经历了迭代的设计流程，能优化设计思路，在能完成所有设计任务之外还有拓展	设计流程和思路清晰，能完成所有设计任务	设计流程和思路较清晰，能完成基本设计任务
工程制作阶段	工程制作思维	材料选择	能从成本、需求、标准等维度考虑材料间的适配性，精选材料	能够基于一定需要选择适合搭建产品的材料	能够选择搭建产品的材料
		产品搭建	在规定时间内完成工程产品的搭建并能在调整中发现新方法	在规定时间内完成工程产品的搭建并能加以调整	在规定时间内完成工程产品的搭建

		产品 检验	能对产品进行全面的 检验，能系统讲出产 品的优缺点	能对产品进行较 为全面的检验， 能讲出产品的优 缺点	能对产品进行 检验，完成检 验任务
工程 总结 阶段	工程 总结 思维	评价 成果 反思 表现	能借助实例进行评价 并提出看法 能充分结合程学习过 程对自身的表现形成 全面的反思	能从多个角度展 开评价 能结合工程学习 过程对自身的表 现形成较为全面 的反思	能从一个角度 展开评价 能对自身的表 现形成一定的 反思
		迭代 优化	能结合自己和他人的 产品情况提出可操作 迭代优化思路	能结合自己产品 实际情况提出多 条迭代优化思路	能提出产品的 迭代优化思路

## 2. 工程态度

工程态度是在工程学习活动过程中形成的认知、理解、判断等较为稳定且持续的心理倾向，要求学生能认识工程的作用、价值、影响等，要求学生能对工程及工程学习产生兴趣，能在学习过程中保持积极的学习态度能在工程实践过程承担学习的责任，自觉遵守工程的约束条件。该内容的评价方式主要为课堂观察，涵盖了兴趣、责任、价值观等评价维度，其具体表现如表 2-9 所示。

表 2-9 工程态度评价指标及表现

评价 指标	表现及对应等级		
	高级	中级	初级
兴趣	能积极参与工程学习活动并表现出好学乐学的学习态度	能主动参与工程学习活动	能参与工程学习活动
责任	能像工程师一样完成工程任务，在合作中积极承担责任	在完成自己的工程任务时还能帮助他人	能完成对应的任务，承担一定责任
价值观	认可并能对工程和工程师的重要作用提出看法	知道并认可工程和工程师的重要作用	知道工程和工程师的重要作用

值得注意的是，不能仅仅局限于学习当下的工程态度的评价，更重要的是评价学生的工程态度的未来走向。针对工程态度这一评价内容，本研究认为有三个标准：第一，学生的参与度与主动性；第二，能否能承担对应角色的工程责任；第三，能否认识到工程和工程师的重要作用。

3. 工程知识

工程知识是学生在解决工程任务、参与工程实践、制作工程产品过程中需要理解、掌握并运用的工程、科学、生物、技术等知识，因此，本研究的工程知识并不特指工程学科知识，而更倾向于完成工程任务所需要的工程类知识。它指向学生学习的全过程，贯穿在工程实践的各个环节，可以作为评价工程思维的内容之一。在习得上，学生的工程知识应具备课堂内习得和课堂外习得两种途径，前者要求学生能在课堂上间接获得、理解、运用工程知识，如从书本包含的知识、从网络获得的信息、从教师讲授中获得的经验。后者要求学生能在绘制设计图、制作工程产品这样的动手操作的过程中习得的直接经验。对于工程知识的评价方式为课堂观察，其评价维度包括三个方面，分别是习得、理解、运用，因此本研究认为在评估工程知识时有三个标准，第一，学生习得知识的途径；第二，学生知识的掌握程度；第三，学生对知识的综合运用情况。工作知识评价指标及其表现如表 2-10 所示。

表 2-10 工程知识评价指标及表现

评价 指标	表现及对应等级		
	高级	中级	低级
习得	能在动手操作的过程中获得直接经验	能通过多种途径获得间接经验	能在阅读材料中获得间接经验
理解	能够形成工程知识的认知结构	能发现工程知识的内在联系	能识别工程知识
运用	能综合运用工程知识，形成整合、统整与迁移	能灵活运用工程知识解决工程实践问题	能运用工程知识解决简单的工程问题

根据表 2-8 至表 2-10 中的工程思维评价指标、工程态度评价指标和工程知识评价指标可以分析本研究在不同教学阶段中对学生工程思维的培养情况和发展情况，为了便于最终结果的分析，本研究对表中的指标等级做一定的说明。表 2-8 至表

2-10 中的“高级”、“中级”和“初级”也可以对应具体的分值，其分别对应 3 分、2 分、0 分或 1 分。

值得注意的是，上述评价指标的设计目的不在于量化学生的工程思维，而只是作为探究本研究在培养工程思维成效的工具。除了量性的评价方式，本研究还设计了相应的工程学习单这样的质性评价以评估学生的工程思维发展程度。

### （三）评价方式

#### 1. 自我评价单

自我评价单是评价学生工程思维整体发展情况的重要方式。如附录一所示，自我评价单分为 20 道客观题和 4 道主观题，客观题采用李克特五级量表计分，让学生对客观题进行“完全符合”、“基本符合”、“一般符合”、“基本不符合”和“完全不符合”等五个等级的选择，该等级分别对应 5 分、4 分、3 分、2 分和 1 分。自我评价单的设计基础是张泽晖等人的关于学生工程思维的评价表<sup>[1]</sup>，在此基础上结合实际需要进行改编，从教学目标层面和教学评价内容两个方面出发以设计题目。

自我评价单的主观题总计四道，分别为：第一，通过这两周总计四课时的生态瓶的设计、制作等活动，你印象最深刻的地方是什么？第二，在四课时的学习中，你觉得你哪里做的最好？为什么？第三，在四课时的学习中，你觉得你哪里做的还不够？第四，此次的学习，你最大的收获是什么？这些主观题在一定程度上也可作为评价“工程态度”的依据。自我评价单中客观题如表 2-11 所示。

表 2-11 “自我评价单”的客观题题目设计

题号	题目
1	我能够理解生态观察员提出的任务情境，能联系实际并明确在制作生态瓶过程中需要解决的问题。
2	我能在用户需求、成本、材料等约束条件下完成生态瓶的设计和制作工程，认识并掌握影响生态瓶制作的要素。
3	我知道这次学习任务是生态观察员制作水生生态瓶，能将大任务分解成多个小任务加以实施。

[1] 张泽晖. STEM 理念下面向小学生的工程思维培养活动模型设计与实践研究[D].河北大学,2019.



- 4 我能想象出很多种生态瓶的样子，能将我脑海中想到的生态瓶样子画下来。
- 5 我能反思设计是否符合要求和检验标准，能够发现设计中的不足并加以修改与优化，能全面考虑约束条件的影响。
- 6 在设计过程中，我用到了食物链、生态系统等知识。
- 7 在设计过程中，我学会了设计的方法和技巧，知道文字可以辅助设计，使得设计图变得更好理解。
- 8 从多次的设计中，我不畏惧设计中遇到的困难，能够找到办法解决困难，体会到了设计对于工程制作的重要性。
- 9 我和我的小组能按照设计图进行制作，然后根据实际情况不断完善、修改设计图。
- 10 在制作中，我们有清晰的制作方案和步骤。
- 11 在制作过程中，我能和我的同伴开展良好的合作，我们有充足的沟通和交流。
- 12 在制作过程中，我和我的小组能根据实际情况搭配材料，尽可能用较少的材料达到较好的效果。
- 13 在制作生态瓶的过程中，我和我的小组能积极动手，不怕失败。
- 14 在制作完成后，我们有对生态瓶进行初步的检验，能够评价生态瓶是否符合要求。
- 15 我们能在日常中坚持观察生态瓶，能及时发现它的变化，能和同伴合作做好观察记录工作。
- 16 我们能清晰地知道小组生态瓶的特色、制作过程、优点和不足，能向别人分享在设计和搭建过程中的心得和体会。
- 17 我能从其他小组的发言中得到优化生态瓶的启发，知道生态瓶的改进办法。
- 18 我喜欢工程的设计与制作，我以后还想参与这样的活动。
- 19 我认为我学到了很多知识，这些知识能运用到别的学科中。
- 20 我觉得工程和工程师很重要，工程师能为社会做很多贡献。
- 

## 2. 工程学习单

工程是过程评价和结果评价相结合的重要体现，其既能呈现学生的学习过程，

还能为学习结果提供评价依据。此次工程教学将采取分角色的工程学习单来记录学生的工程学习过程。工程设计者的角色单即为“小组设计单”，工程制作者的角色单为“生态瓶制作步骤说明单”、工程检验者对应的学习单为“小组设计图检验单”与“产品检验单”，工程介绍者对应的学习单为“观察记录单”。不同的角色单均需要对应的工程角色进行阅读、填写、设计或实施操作，工程学习单的设计需结合具体的教学内容，因此本研究将在面向工程思维培养的“做个生态瓶”教学设计中具体介绍工程学习单的构成及其设计。

值得注意的是，小组设计图检验单与产品检验单的评价需分别统计“符合”与“不符合”与“笑脸”、“平静脸”、“哭脸”的数量，再结合工程思维评价指标、工程态度评价指标和工程知识评价指标进行评价。小组设计图检验单所获得“符合”数量与评价指标中的等级对应情况如表 2-12 所示。

表 2-12 “小组设计图检验单”评价说明

等级	获得“符合”数量
高级	获得“符合”数量为 10 及以上
中级	获得“符合”数量为 6-9 个
初级	获得“符合”数量为 5 个及以下

产品检验单所获得“笑脸”、“平静脸”数量与评价指标中的等级对应情况如表 2-13 所示。

表 2-13 “产品检验单”评价说明

等级	获得“笑脸”、“平静脸”数量
高级	获得“笑脸”数量达 7 个及以上
中级	获得“笑脸”数量为 5-6 个，获得“平静脸”数量达 2 个及以上
初级	获得“笑脸”数量低于 4 个及以下，但获得“平静脸”数量达 5 个及以上

### 3. 课堂观察

课堂观察是评价工程态度这一内容的重要方式。课堂观察是对工程学习加以记录的过程，常常利用摄像工具、录音工具对学生的互动、交流、发言等情况加以记录。在此次的教学研究中，采用全程录音录像的形式对工程学习实施的课堂加以记录，与此同时做好相应的笔记作为课堂观察分析材料的补充。

## 第三章 面向工程思维培养的小学科学教学设计与实施

面向工程思维培养的小学教学设计与实施是在本研究所提出的教学框架的基础上进行的,结合了具体思维小学科学课例加以设计和实施,因此是理论转向实践的阶段,主要包括教学设计和教学实施部分。

### 第一节 培养工程思维的“做个生态瓶”教学设计

#### 一、教学对象分析

##### (一) 教学对象的确定

本研究的教学对象为东南部省会城市的 Q 小学六年级某班的 33 名学生,以该班学生为教学对象的主要原因有以下两点。

第一, Q 小学的六年级学生具备一定工程学习经验和工程学习能力,而这恰恰是本研究开展面向工程思维培养的“做个生态瓶”教学设计和实践的基础。学生的科学教材版本为苏教版,这意味着学生们在六年级上册时已经初步认识了工程师这一角色,并在此基础上学习了工程设计的主要内容、基本流程等知识。基于前五年的科学学习,学生已经具备了基本的自主学习、解决问题、团队合作等能力,总体而言,学生的思维和能力都得到了较大的发展且趋于稳定化。因此,选择六年级学生作为教学对象较为合适。

第二,教学内容决定教学对象。“做个生态瓶”一课的科学教学目的是引导学生在认识生物栖息地和食物链的基础上建构生态系统和生态平衡的概念,从而认识到自然生态的重要性,激发对共同家园的保护之情。原教材安排了三个教学活动,分别是认识生态系统、探究生态系统的组成并了解生态平衡和理解并学习如何保护生态系统,这三个活动之间存在着递进关系,本身难度较大,在结合工程学科、科学学科、生物学科和技术学科进行工程思维培养教学后,学习难度增大,因此选择了六年级学生。

## （二）学情分析

六年级的学生很有可能在生活中听说过或者看到过生态瓶本体或者类似品，例如鱼缸，因此学生有一定的认知经验。从整体来看，学生已在过往学习中经历了工程设计的过程，了解了工程设计的基本步骤，因此具备一定的工程素养、工程能力和工程思维。通过“土壤与生命”、“植物与环境”和“生物与环境”单元及本单元的学习，学生对生物生存环境、动植物生长、栖息地等知识有了一定的了解，学会了观察和记录方法，但学生对生态系统的组成、生态平衡等知识还缺乏系统的了解。例如，学生可能会缺少如何维持生态瓶平衡、如何确定生态瓶大小、恰当选择适量的生物与非生物数量比例、品种、大小等方面的知识。

六年级学生经过前期的科学学习以及部分的工程学习，已经形成了科学能力和科学思维以及一定的工程能力和工程思维，并且能够将这些思维与能力运用到解决问题的过程中。此外，在前期与老师和学生的沟通交流中发现学生们对此次生态瓶的工程学习产生了浓厚的兴趣，这有助于教学实践的展开。但从交流中发现，学生此前的工程学习实践仍停留在较为机械化的水平，表现为学生没有深入参与工程设计环节，因此可以预估学生个人设计迭代和小组设计迭代时会遇到一定的困难。

## 二、教学目标设计

工程思维培养的“做个生态瓶”教学设计预计通过四个课时完成，因此本研究将教学框架中设计的教学总体目标加以进一步的细化和延伸形成了各个课时的教学目标，四个课时教学目标如下所示：

### （一）第一课时教学目标

第一课时对应工程决策阶段，该课时将达成“科学与工程知识”、“工程思维与习惯”和“工程态度与责任”等层面目标，其中较为侧重于“科学与工程知识”和“工程态度与责任”层面。值得注意的是，由于第一课时尚未涉及工程制作等内容，因此并未涉及“工程设计与制作”层面中关于“制作”的教学目标。

### 1. “科学与工程知识”层面的目标

通过师生对话的形式，认识工程及工程师的重要意义，明白工程师对社会的发展会产生深远影响；了解影响工程整体的各种因素，如人力、物力、材料等；能基于所学知识选择水生生态瓶内所需的材料，明白生态瓶的工作原理。

### 2. “工程思维与习惯”层面目标

养成系统思维，知道系统之间的相互影响，能从整体上进行规划；能借助整体眼光清晰地界定和分析任务，发展工程决策思维，提出制作生态瓶所要解决和思考的问题；基于一个目标原则将任务分解成多个具体问题，养成分步骤、有计划地解决工程问题的好习惯。

### 3. “工程设计与制作”层面目标

能够基于已有科学概念和工程知识进行初步的设计与方案的规划。

### 4. “工程态度与责任”层面目标

发现工程学习的乐趣和意义，愿意与他人交流，学会正确评价自己与他人的想法与观点。

## （二）第二课时教学目标

第二课时对应工程设计阶段，其将达成“科学与工程知识”、“工程思维与习惯”、“工程设计与制作”和“工程态度与责任”等层面目标，其中侧重于“工程设计与制作”中的设计层面。在第二课时中，学生还无需制作工程产品，因此该课时并不存在与“制作”有关的教学目标。

### 1. “科学与工程知识”层面教学目标

知道设计包括一系列步骤，完成一项工程设计需要分工与合作并需要考虑多种因素，与此同时明白工程的关键是设计；掌握生产者与消费者之间的供氧关系，了

解生态瓶内植物产生的氧气需大于动物消耗的氧气。

## 2. “工程思维与习惯”、层面教学目标

能通过信息以获取证据，通过推理以得出结论，通过有效表达与他人交流自己的探究结果和观点；在设计过程中，能够在统整思维和系统思维的启发下发现设计会受多方面影响，充分考虑设计的整体性，发展科学与工程思维；发展设计与再设计能力，能用图画和文字的形式呈现设计图，并且能在沟通交流中进行修改，认识到修改对设计的重要性和必要性。

## 3. “工程设计与制作”层面教学目标

能兼顾创新性和实用性，掌握设计的多种方法，设计图的呈现形式尽可能多样；再设计与初次设计能够有明显的区别，再设计成果能够优于初次设计，弥补初次设计的不足。

## 4. “工程态度与责任”层面教学目标

乐于参加科学和工程活动，能克服困难并完成预定任务，正确看待学习中的挫折与失败；知道合作与分工的重要性，培养完成自我工作的责任意识和与人合作的集体意识；具备评价意识，正确评价自己与他人。

### （三）第三课时教学目标

第三课时对应工程制作阶段，其将达成“工程思维与习惯”、“工程设计与制作”和“工程态度与责任”等层面目标，其中侧重于“工程设计与制作”中的制作层面。在第三课时中，学生并不需要再次进行设计或二次设计，因此该课时只涉及与“工程设计与制作”层面中与“制作”有关的教学目标。此外，该课时以学生动手操作为主，因此也不设计“科学与工程知识”层面的教学目标。

## 1. “工程思维与习惯”层面教学目标

基于实际需要，统整并综合认知、观察、规划等整体行为以发展动手操作能力，

能够熟练使用工具，有效率地完成生态瓶的制作；发展评价能力与表达能力，能够对工程产品给予客观的点评。

## 2. “工程设计与制作”层面教学目标

结合设计图进行生态瓶的制作，在制作前能够合理选择所需的材料和工具，在制作过程中能够遵循一定的步骤并且能同伴开展合作。

## 3. “工程态度与责任”层面教学目标

乐于动手进行创造，体会工程对社会和生活的重要影响；能用积极的态度直面问题和失误并找到解决办法。

### （四）第四课时教学目标

第四课时对应工程总结阶段，其将达成“科学与工程知识”、“工程思维与习惯”和“工程态度与责任”等层面目标。在第四课时中，学生主要以交流、沟通、反思等形式进行总结，因此该课时不涉及“工程设计与制作”层面的教学目标。值得注意的是，这一课时的目的在于帮助学生回顾自身和小组在整个工程学习过程的体验，对于各个层面的目标来说也是一个总结的过程，因此在这一课时，上述所涉及三个层面的教学目标皆为重点。

## 1. “科学与工程知识”层面教学目标

结合三个课时的经历，能够理解工程与技术的重要作用，认识到工程师和工程意义，能在头脑中形成完整的工程学习流程。

## 2. “工程思维与习惯”教学目标

通过对生态瓶的自评和互评活动，发展评价能力与表达能力，进一步提高工程思维，具备权衡决策、统筹思考、迭代优化等意识。

3. “工程态度与责任” 教学目标

在课后能坚持观察和记录，发展良好的学习态度；乐于与他人交流，养成倾听和表达的好习惯。

三、教学内容分析

（一）教学内容的确定

本研究将工程、科学、生物、技术等学科知识作为学科整合的生长点，其中将科学学科和生物学科作为教学内容的选择来源，从学习进阶的要求以及相关教材出发，选择了小学科学、初中科学和初中生物共有的生态类知识作为主要学习材料。基于此，最终确定了苏教版的小学六年级下册科学教材中的“做个生态瓶”一课作为教学内容，同时加入了工程、生物、技术等学科的知识内容展开此次面向工程思维培养的小学科学教学设计。

（二）教学内容的选择依据

此次教学内容充分考虑了科学教材、社会热点问题和学生的实际生活，在此基础上还结合了课程标准中对进阶学习的要求。从课程标准出发制定教学的进阶起点与终点，以期通过此次的工程学习为学生在初中阶段乃至高中阶段的学习打下进阶的基础。在小学与初中阶段的科学教材中与生态系统相关的教学内容以及对应课程标准如表 3-1 所示：

表 3-1 教学内容的进阶情况

学科	小学科学（工程）	初中科学（工程）	初中生物
教学内容	科学：生物的栖息地、动植物链状关系	科学：食物链、食物网、生态系统、生物圈、生物群落	生物与环境、生态系统的结构与功能、食物链与食物网的关系
	工程：定义简单工程问题、初步设计、利用工具制作简单实物模型	工程：定义简单的实际工程问题、预估并优化方案、利用工具制作实物模型、根据结果进行迭代改进	



课程 标准	义务教育科学课程标准（2022 年版）	义务教育生物学课程 标准（2022 年版）
----------	---------------------	--------------------------

备注：小学科学（工程）的含义是小学科学中包含工程内容的部分，初中科学（工程）同理

基于表 3-1 的教学内容，本研究最终选择了小学六年级“做个生态瓶”一课作为教学内容。该课与小学科学有关的原生态内容是：生物栖息地、动植物链状、生态系统的组成等；穿插在其中的工程教学内容是：工程的定义与界定、工程设计、工程制作等，这两方面的知识内容作为进阶起点而存在，与此同时也是主要教学内容。

本研究的学习进阶表现为相关知识点的复杂程度由小学到初中逐渐增加，如学习内容难度的增加。科学知识由生物栖息地、动植物链状这样零散的知识点转换为食物链、食物网、生态系统、生物圈和生物群落这样组块的知识点，初中的工程知识相较于小学而言，其对学生的工程能力、工程思维和工程素养提高了要求，初中生物知识在小学科学知识的基础上提出了更高的要求，学生需要全面系统的掌握生物与环境、生态系统的结构与功能、食物链与食物网的关系。

此外，从坎宁安总结的工程实践内容来看，工程学习具备社会实践性、科学性和跨学科性的特点<sup>[1]</sup>，在选取和确定教学内容时应优先考虑其能否呈现工程学习的特征与价值。学习进阶的高阶认知目标指向问题解决和思维的螺旋发展，其强调某一主题的分阶段学习，即先学的知识应成为未来学习的基础<sup>[2]</sup>，这与工程教学的目标具有一定的契合度。此外，突出学习进阶的小学工程教学还应包括工程观念、工程原理及设计过程三方面内容，因此在选择教学内容的过程中应对科学与工程的概念、原理、观念等进行分析<sup>[3]</sup>，再者考虑到学生在低年级和中年级两个年段中已达成了义务教育科学课标所规划的“知道地球是人类和动植物的共同家园”等科学观念目标、“能在教师引导下，用二维方式表达三维空间的物体”等科学思维目标、“初步具有参与技术与工程实践的意识及使用常见工具的技能”等探究实践目标和“了解科学技术对人类生活方式和生产方式有影响”等态度责任目标<sup>[4]</sup>。因此将此次教学对象定为六年级学生并选取了“做个生态瓶”一课作为教学内容。

[1] Cunningham et al. Epistemic Practices of Engineering for Education[J]. Science Education, 2017, 101(3).

[2] 刘晟, 刘恩山. 学习进阶: 关注学生认知发展和生活经验[J]. 教育学报, 2012(2): 81-87.

[3] 杨晨. 基于学习进阶的小学工程教育内容框架建构的研究[D]. 导师: 顾建军; 冯毅. 南京师范大学, 2021.

[4] 中华人民共和国教育部. 义务教育科学课程标准(2022 年版)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022.

## 四、评价工具开发

教学评一体化主张教学目标指导评价目标的评价设计原则，强调评价目标对教学目标的反映，因此在教学评价的设计上，必须充分结合课程标准、教学内容、学习者特征，使得教学目标能够在不同的教学评价方式中得到体现。为了最大限度地测量学生工程思维的培养情况，本研究设计了工程学习单等质性评价载体以分析学生的工程思维、工程态度、工程知识的发展情况。

### （一）工程检验者：小组设计图检验单和产品检验单

“小组设计图检验单”如附录二所示，“产品检验单”如附录三所示。二者对应的教学目标层面为“科学与工程知识”、“工程思维与习惯”“工程设计与制作”以及“工程态度与责任”。

小组设计图检验单的检验对象是工程设计者绘制的小组设计图，其要求工程检验者对小组工程设计者所绘制的设计图进行检验，工程检验者需要依据题目内容进行判断。产品检验单的检验对象是工程制作者所完成的生态瓶产品，工程介绍者的观察记录单是其的辅助检验工具，产品检验单是工程检验者对于工程制作者所完成的工程产品的初步检验和日常检验。

工程检验者利用小组设计图检验单与产品检验单并基于一定的标准与约束检验设计图与产品是否合格。在检验小组设计图时，工程检验者需要判断小组设计图是否符合用户需求、成本、材料、技术和环境等方面的要求，并且通过文字描述小组设计图达到设计要求以及未达到设计要求的部分分别是什么。

产品的检验分为初步检验与日常检验。初步检验的标准为六条，分别是：第一，是生态瓶的成本不超过 45 元；第二，生态瓶内的植物搭配有美感，高低错落有致；第三，所制作的生态瓶应与设计图一致；第四，生态瓶的制作时间不超过 15 分钟；第五，生态瓶内至少要有 4 种不同类型的动植物；第六，生态瓶内的水、小石子、水草泥的比例需要合理。日常检验的标准有四条，分别是：第一，生态瓶的运转时间不少于 7 天；第二，生态瓶内的植物能够存活；第三，生态瓶内的动物能够存活；第四，第 7 天时，生态瓶内的水要保持清澈的状态。工程检验者需要结合实际情况给出评价，为了方便检验者检验，在产品检验单中优秀、良好和合格分别对应笑脸、平静脸和哭脸。

工程检验者需要熟知用户需求、设计要求和检验标准并且在组内外同学的监督下进行检验与填写，因此这两份材料不仅可以评价工程检验者的责任意识，还可以评估其对工程相关知识的理解。

## （二）工程设计者：小组设计单

“小组设计单”如附录四所示，其对应的教学目标层面为“工程思维与习惯”和“工程设计与制作”。

工程设计者需在小组设计单中完成小组设计图的初次设计和二次迭代设计。小组设计单一式两份，第一份用于小组完成初次设计，第二份用于小组完成再设计，第一份小组设计单的重点在于形成完整的小组设计，第二份小组设计单的重点在于对初次设计的评价、反思、总结与迭代。与个人设计单相比，小组设计单的优点在于两份设计单各有侧重且能匹配不同的教学阶段，其不足之处在于缺乏一定的时效性，原因在于学生完成小组设计单可以随时在课后进行修改，因此难以缺乏过程性的评估依据。个人设计单与小组设计单相辅相成，借助这两份材料可以分析学生的工程思维。

## （三）工程制作者：生态瓶制作步骤说明单

“生态瓶制作步骤说明单”如附录五所示，该说明单对应的教学层面目标为“科学与工程知识”和“工程设计与制作”。

生态瓶制作步骤说明单将给出易于学生理解的制作生态瓶的大致步骤以帮助工程制作者理清思路。生态瓶制作步骤说明单用于辅助工程制作者制作水生生态瓶。其呈现的大致步骤为：检查材料是否完备-放入底沙与小石子-用镊子种植水草-加入水与小鱼-拧紧瓶盖。此外，该说明单也包含底沙、水草、种植方式、加水速度等思考问题，要求工程制作者加以思考并回答，以此帮助其能够获得制作的注意点以提高工程产品的质量。

## （四）工程介绍者：观察记录单

观察记录单如附录六所示，其对应的教学层面“工程思维与习惯”和“工程态度与责任”。工程介绍者带领小组成员一起观察和讨论生态瓶的变化的工具，其周

期为一周，学生需要判断并勾选生态瓶内动物、植物和颜色的变化情况并用文字记录小组成员们的发现。观察记录单是工程介绍者最为重要的资料，其由小组成员工程完成，观察周期为一周，学生需要根据实际情况记录水生生态瓶的变化。借助观察记录单可以有效评估产品是否合格，同时从产品的合格程度评价学生的学习情况。

除上述工程学习单之外，本研究还设计了“用户需求说明”、“材料简介”、“个人设计单”等纸质学习材料作为工程学习单的补充，这三个补充材料分别如附件七、附件八、附件九所示。其中“用户需求说明”的作用在于帮助学生了解用户的基本需求和生态瓶的检验标准；“材料简介”的作用在于帮助学生了解并恰当选择制作材料，辅助设计；“个人设计单”用于学生个人独立设计及初次设计迭代。

## 五、教学活动设计

教学活动围绕教学框架中提出的教学整体过程展开，基于工程决策阶段、工程设计阶段、工程制作阶段和工程总结阶段，本研究确定了识别工程问题、角色分工与工程设计、工程制作与初步检验、工程评价与总结反思等四个课时。这四个课时教学活动构成了完整的工程学习过程，使得学生能够在先后获得相关的工程知识，获得统筹规划、权衡决策、迭代优化等工程思维和相应工程能力，形成积极的工程态度和责任意识，最终发展工程思维。课时教学目标与教学活动如下所示：

### （一）第一课时：识别工程问题

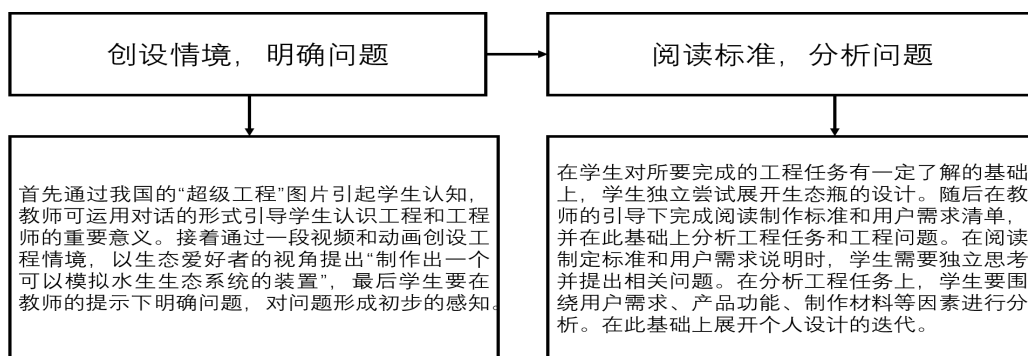


图 3-1 第一课时教学活动

第一课时对应工程决策阶段，其的意义表现为帮助学生尽可能清晰地认识与界定工程任务，因此该课时的主要内容在于给出用户需求和检验标准以便学生更真实地经历并体验工程师这一角色。教学活动由五个环节构成，分别是：第一通过图片

认识工程和工程师的重要意义；第二，引导学生认识到工程师对生态环境的重要作用；第三，通过视频提出工程任务，创设工程情境；第四，学生阅读标准，分析问题，开展初次设计；第五，学生阅读生态瓶的检验标准和用户需求说明，围绕其提出自己的问题。第一课时的教学活动如图 3-1 所示。

### 1. 创设情境，明确问题

建构主义学习理论表明新知识的学习建立在学生的旧知识之中，因此在教学中应该积极寻找学生的认知生长点。通过我国“超级工程”的图片能将学生的实际生活与工程联系起来，还能唤醒存在于学生认知结构中关于工程、工程师等概念知识，从而促使学生产生进一步的认知。以生态观察作为学习情境的创设点有助于将工程学习与学生实际生活联系起来，“什么装置可以模拟水生生态系统”这一问题还能引导学生将此前学过的生物的栖息地、动植物链状关系作为思考这一问题的基础。此外，建构主义强调学习情境性，该课时“为生态观察员制作一个模拟水生生态系统的装置”这一学习情境受到当下社会中所存在的生态问题的启发，学生在这—的情境中能够触“境”生情，有感而发。

### 2. 阅读标准，分析问题

建构主义学习理论指出，教学者应提出具备整体性的学习任务，引导学生进行问题的解决。在工程教学中，教师以生态观察员的口吻提出了工程任务，因此学生整个工程学习所做出的行动均是为了完成工程任务。在完成工程任务的过程中，学生应自己发现并解决完成整体任务所需的子任务，在这一的过程中学生的各级工程知识、工程思维、工程能力得到了相应的培养。工程活动具有约束性，在实际的工程教学中，可设置一定的决策环节帮助学生认识到用户需求、社会环节、成本材料、资金成本等因素对工程的限制。“阅读标准”所阅读的是教师提供的用户需求、设计要求和检验标准等文字材料，这意味着学生可以在其的限制下更有针对性地去分析“什么装置可以模拟水生生态系统”这一问题，还能从需求、成本、材料等因素出发更好地认识到工程活动的约束性。

## (二) 第二课时：角色分工与工程设计

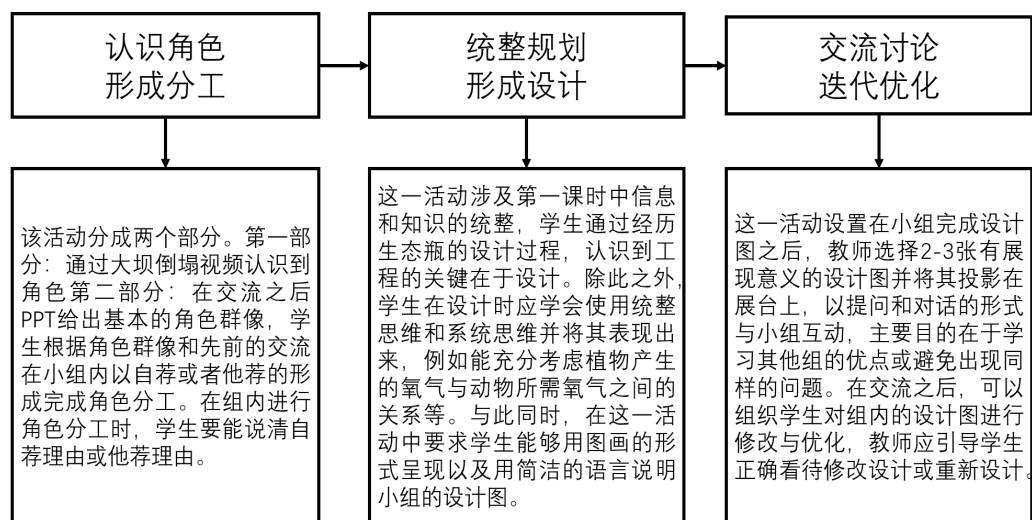


图 3-2 第二课时教学活动

如图 3-2 所示，第二课时对应工程设计阶段，学生需要在第二课时中认识到团队合作与分工的联系并在个人设计的基础上开展小组设计并形成小组设计图。因此，这一课时的重点应是让学生经历完整的设计与再设计过程，从而对个人设计图和小组设计图形成思考并从中选择最优化的设计方案，其意义在于引导学生认识到工程设计的在工程之中的核心地位。学生需要在角色分工之后开始展开小组设计，随后围绕设计图这一材料进行交流讨论并形成二次迭代与优化。第二课时的活动由七个环节组成，分别是：第一，认识团队合作的重要性；第二，角色分工，明确各自任务；第三，个人设计交流；第四，小组设计；第五，展示并评价有代表性的设计图；第六，小组设计图迭代与优化；第七，正确认识设计中挫折与失败第二课时的教学活动有认识角色与形成分工、统整规划与形成设计、交流讨论与优化设计。

### 1. 认识角色，形成分工

建构主义学习观既主张个人的独立建构，又强调社会协商和相互作用，而摩根提出的工程设计过程的初步构思则主张以团队为单位集思广益以合作寻找解决问题的思路。因此，在工程教学中可以开展个体独立学习和小组合作共存的教学知识形式以达成更好的教学效果。通过对“大坝倒塌视频”的分析学生可以认识到个体和团队的关系，而角色分工这一环节则促进了个体和团队的统一，角色分工之后，学生既清楚了自身所承担的工程职责，又明白了小组合作的内容。

## 2.统整规划，形成设计

工程设计是 6E 设计型学习模式的重点环节，也是克罗多纳双循环模型的重要组成部分，摩根所提出的工程设计流程中“分析想法”的载体便是工程设计图，三者均在强调工程设计是工程活动的核心，主张在工程学习活动中应让学生经历充足的设计过程。学生通过图画的形式呈现以及用简洁的语言说明小组的设计图的过程中，既能认识到工程的关键在于设计，又能发展其的设计思维与设计能力。

## 3.交流讨论，迭代优化

建构主义的学习方法表明，有意义建构建立在提出各种假设并加以验证的基础上，而协作学习中的相互协商过程则能提高有意义建构的效率和质量。因此，通过提问和对话的形式进行的交流讨论能引发学生的协作学习，在交流讨论中能将学生对水生生态瓶设计的问题引向深入，启发学生发现各自小组在设计中的优缺点，从而为再次设计提供思路。

摩根提出的工程设计流程是指出工程活动一个循环反复的过程，这意味着工程学习需要经过多次的迭代与优化。在教学中，需要引导学生结合工程的约束条件和现下情况对进行评估和优化，因此设置设计图的迭代优化环节必不可少，这能让教学活动更加完整。

### （三）第三课时：工程制作与初步检验

第三课时对应工程制作阶段，是二维的工程设计图转变为三维的工程产品的过程，也是学生在小组合作中发展动手能力的过程。制作和检验工程产品是该课时的重要内容，学生需要根据设计图和所选材料进行生态瓶的制作与组装，并且在制作完成后生态瓶进行评价。这意味着学生需要回顾设计要求和用户需求，进一步认识到植物与动物的数量会影响到供氧关系和水生生态瓶的成本问题，并且明白制作的注意点。第三课时主要由四个环节构成，分别是，第一，回顾用户需求说明；第二，学生选择材料；第三，学生制作生态瓶；第四，生态瓶的介绍与初步检验。具体活动如下图 3-3 所示。

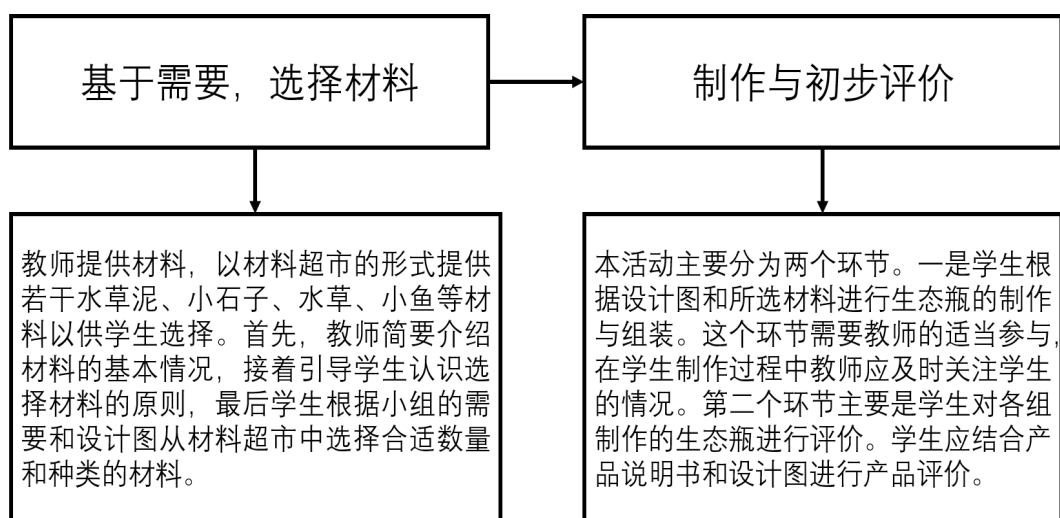


图 3-3 第三课时教学活动

### 1. 基于需要，选择材料

材料是影响工程质量的重要因素，在教学中，围绕“如何选择材料以提高工程产品质量”这一问题引发学生思考，能够让学生从数量、搭配、特性等因素全面考虑所选材料对水生生态瓶的影响，这有利于培养学生的系统思维。

### 2. 制作与初步评价

“建造模型”是工程设计流程的重要一环，它要求工程参与者需要展开实际操作以制作产品。学生根据设计图和所选材料进行生态瓶的制作与组装有助于培养学生的动手操作能力，而对水生生态瓶展开初步评价则可以引发学生的思考，从评价中获得初步的产品改进想法。

## （四）第四课时：工程评价与总结反思

第四课时对应工程总结阶段，是对工程产品和工程学习过程的总结与反思。学生需要根据日常观察结果对各自小组所制作的水生生态瓶这一工程产品进行分析与交流，此外还要回顾自身在工程学习过程中的收获，总结并反思自身的表现。该课时的教学活动主要由四个环节构成，分别是：第一，各小组展示生态瓶和汇报观察结果；第二，学生发表评价意见；第三，三个小组展示生态瓶和汇报观察结果；第四，教师总结。具体活动如图 3-4 所示：



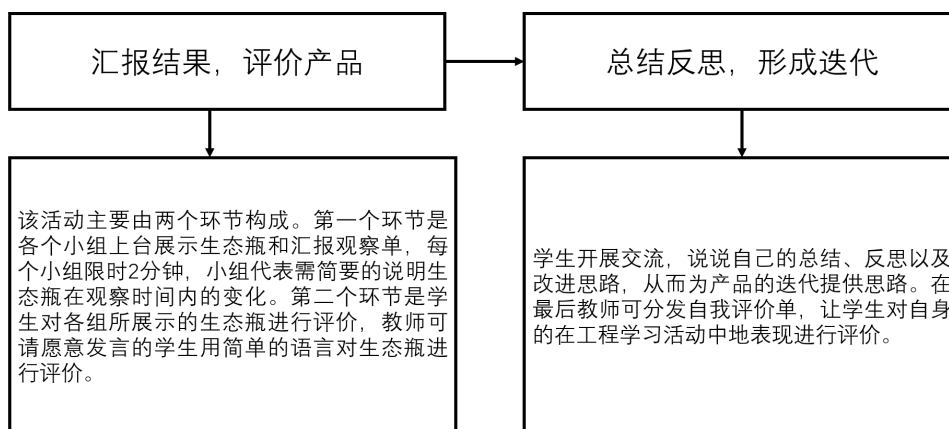


图 3-4 第四课时教学活动

建构主义表明协商发生在学习学习过程的始终, 而会话是协商过程必不可少的环节, 其学生观强调学生交流与质疑具有重要价值。尤其在教学过程的后期, 需要借助一定的展示、交流、讨论等协商环节引起学生的反思。通过小组展示生态瓶和汇报观察单的形式可以让学生发现其它小组与自身小组的差异, 这种思维成果可以为整个班级共享, 促使全班同学集思广益, 寻找更好的迭代办法。此外, 汇报结果与评价产品、总结反思与形成迭代两个活动都属于交流反思的范畴, 摩根表明交流反思是参与人员展开交流和总结并为产品改进或未来活动做准备的过程, 学生在分享各自的总结、反思以及改进思路的过程中也对工程活动有了进一步的认识。

以上四个课时为此次教学的具体教学活动, 这四个课时相辅相成, 以完成教学目标为共同指向。第一课时是此次工程教学的基础课, 学生工程思维的发展离不开相关工程知识和科学原理的支撑。对学生来说, 从第一课时中获得的工程师角色、团队合作等工程意识为其在后续的设计、制作、反思等阶段提供了脚手架。第四课时是工程教学的总结课时, 也是学生在工程学习中的回顾与反思, 在经历第四课时相关活动的过程中, 学生能形成对工程师角色、职业的进一步认识, 在自我评价的过程中感受到成功的喜悦, 从而深化对于工程学习的动力, 为学生在未来进一步开展工程相关学习打下基础。第二课时和第三课时是此次工程教学的重要部分, 这两个课时也是发展学生工程思维的重要支撑, 是学生获得相关的工程能力与思维的主要来源。

## 六、教学工具

教学工具是包含工程学习单和自我评价单在内的所有教学工具, 其中第一课时、

第二课时与第四课时的教学工具以工程学习单为主，而第三课时所需的教学工具多为生态瓶制作材料，如圆柱塑料瓶、镊子、水草泥、沙子、小石子、芝麻萍、牛毛坭草、珍珠坭草、雪花草、斑马鱼、三角灯。其中，塑料瓶、镊子为操作工具，其余生物与非生物材料用于模拟生态系统的生物因素与非生物因素，这些材料用于工程制作者带领小组成员制作水生生态瓶的过程中。

## 第二节 培养工程思维的“做个生态瓶”教学实施

### 一、第一课时：识别工程问题

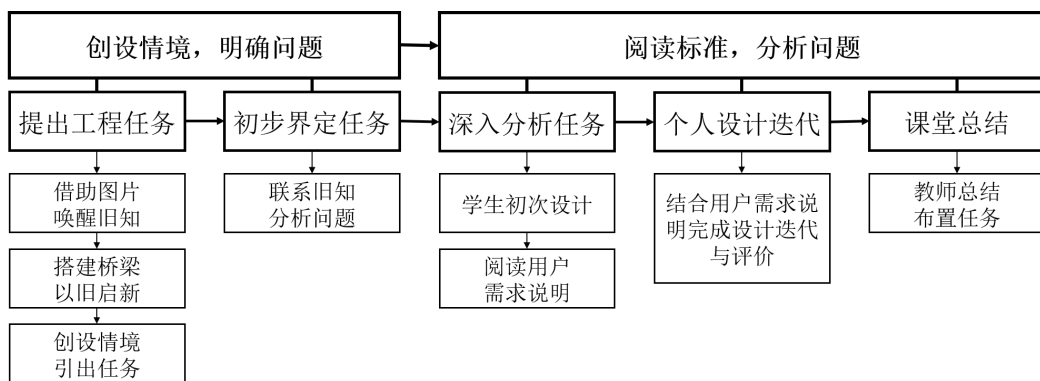


图 3-5 第一课时实践过程

如图 3-5 所示，第一课时的教学内容主要为科学与工程的概念、原理、概念等知识的学习，这些知识为学生开展工程学习提供了脚手架。

#### （一）创设情境，明确问题

##### 1. 提出工程任务

###### ● 环节一：借助图片，唤醒旧知

教师以我国的超级工程为话题进行设问“你知道我国的超级工程吗”，随后展示十大超级工程及部分图片并介绍工程师这一角色，引导学生说说自己对于工程及工程师的理解。

###### 【教学分析】

学生在五年级时已经经历了完整的工程学习过程，有一定的认知经验因此超级工程能够作为学生的认知生长点，有助于学生回溯并联系已有经验并为新知识打下

基础。

### ● 环节二：搭建桥梁，以旧启新

围绕“工程师可以做什么”这一中心问题展开，在教师的引导下，学生通过阅读 PPT 所展示的气候危机背景认识到工程师对于生态环境的重要作用。

#### 【教学分析】

在此之前，学生已经从宏观上知道了工程师的重要作用及工程师所制作的超级工程对于我国的重要意义，但此时的认知还不足以充分激发学生完成“制作水生生态瓶”这一工程任务的兴趣，必须引导学生认识到工程师对于生态环境的重要作用。因此，这一环节是“超级工程-水生生态瓶”与“工程师的宏观作用-工程师微观作用”间的桥梁，有利于充分激发学生的兴趣从而提出此次工程学习的任务，并使得学生认识到工程师可以设计和制作出有利于保护生态的产品。

### ● 环节三：创设情境，引出任务

以生态观察员带来的“神秘的水生世界”视频作为创设情境的依据，在此基础上由生态观察员作为第一视角提出“制作出模拟生态系统的装置”这一任务，随后教师引导学生认识到生态瓶就可以用来模拟生态系统。

#### 【教学分析】

建构主义学习理论表明教学要为学生搭建认知桥梁。水生世界的视频与水生生态瓶之间存在内在联系，能够起到较为自然的过渡作用，与此同时，视频能够吸引学生的兴趣以便为任务的提出奠定基础。此外，生态观察员作为此次工程学习的用户，以他作为任务的直接提出者能够营造更为真实的工程学习情境。

## 2. 初步界定任务

### ● 环节一：联系旧知，分析问题

教师围绕水生生态瓶的简介和生态观察员的需求对学生展开提问，组织学生谈谈对此的想法，随后设问“一个自然的水生生态系统有什么”，通过问答法引导学生借助生物与非生物间的关系、食物链、生态系统等相关知识对“水生生态系统”的构成进行分析。

#### 【教学分析】

这一环节的背后涵盖了三层目的，其中对于“一个自然的水生生态系统有什么”是该环节的重点内容。第一，通过简介和需求帮助学生进一步认识生态瓶及其作用；

第二, 检验学生对于生态系统相关知识的掌握情况, 搭建新旧知识间的桥梁, 学生对于水生生态系统的分析有利于学生初步感知水生生态瓶与自然水生生态系统间的相同点; 第三, 通过组织学生认识水生生态瓶和自然水生生态系统有什么关联可以引导认识到自然中的水生生态系统动植物的多样性、生物与非生物的关系和非生物因素的影响, 从而使得学生能够初步得出水生生态瓶的基本构成要素。

## (二) 阅读标准, 分析问题

### 1. 深入分析任务

#### ● 环节一: 学生初次设计

教师分发个人设计单第 1 页, 学生基于前几个环节对于生态系统、水生生态瓶和二者基本构成的认识开展个人的第一次设计。在设计后, 开展个人第一次设计的自我评价。

#### 【教学分析】

此时, 学生对于生态瓶的设计还停留在主观认识阶段, 设计的灵感与评价源于学生自身的思维, 因此该环节有利于帮助教师掌握学生的认知情况, 并且能够与个人的第二次设计形成较为直观的对比。

#### ● 环节二: 阅读用户需求说明

教师在 PPT 中以“材料超市”的形式向展示制作材料的名称、大小和价格, 如塑料瓶、镊子、水草泥、水草、小鱼等等。在展示过程中, 教师对材料进行介绍并强调材料间的搭配问题, 小结后在 PPT 展示生态瓶的设计要求, 如表 3-2 所示。

表 3-2 水生生态瓶的设计要求

因素	具体要求
用户需求	1. 生态瓶必须满足密封且便于观察的特点; 2. 生态瓶内应包含生物和非生物两种成分; 3. 利用生物关系等知识得生态瓶的水保持清澈状态并保证生物的活力, 即保证生态瓶至少能在 7 天内正常运转;
成本	1. 控制生态瓶的成本在 35 元至 45 元之间; 2. 在不影响生态瓶质量的情况下尽可能降低成本;
材料	1. 材料的选择应考虑生物品种的搭配与数量问题; 2. 生态瓶的容器应适中, 切忌过大; 3. 所选的材料应尽可能模拟真实的水生生态系统;

技术	1. 应考虑生态瓶的美观；2. 设计时应考虑产品的实施与制作难度；3. 在设计种应标出材料的名称与数量；
环境与生态保护	1. 避免资源浪费，尽可能选择可循环利用的原材料；2. 考虑生态瓶制作完成后的处理，如应如何妥善安置小鱼；

接着，教师在 PPT 展示水生生态瓶在用户需求、成本、材料、技术、环境与生态等方面的检验标准并对此进行一定的介绍，如表 3-3 所示。

表 3-3 水生生态瓶的检验标准

检验时间	具体标准
初次检验	1. 生态瓶的成本不超过 45 元；2. 生态瓶内的植物搭配有美感，高低错落有致；3. 所制作的生态瓶应与设计图一致，如材料、植物摆放等；4. 生态瓶的制作时间不超过 15 分钟；5. 生态瓶内至少要有 4 种不同类型的动植物；6. 生态瓶内的水、小石子、水草泥的比例必须合理，水>水草泥>小石子；
日常检验	1. 生态瓶的运转时间不少于 7 天；2. 生态瓶内的植物能够存活；3. 生态瓶内的动物能够存活；4. 第 7 天时，生态瓶内的水要保持清澈的状态。

随后将用户需求说明（材料清单、设计要求、检验标准）分发给学生，通过设问“看了用户需求说明，你对设计有了哪些新认识”，引导学生借助用户需求说明和个人设计单的指引，完成个人设计的第二次评价。

### 【教学分析】

该环节将学生对于水生生态瓶构成和用户需求的初步感知过渡为清晰的文字认知，清晰的文字说明材料能引导学生更为系统的分析工程任务，有利于帮助学生明确设计的方向，从而能自然地站在用户的角度进行思考和设计。此外，从主观评价过渡为客观评价，使得学生能够借助客观的标准进行分析，有利于学生形成更好的决策思维和分析能力。

## 2. 个人设计迭代

### ● 环节一：结合用户需求说明，完成设计迭代与评价

教师提出个人设计的迭代任务并口头表达设计要求，个人二次设计完成后，组织学生间的交流与讨论活动，学生对自己和他人的二次设计提出看法与意见以此形

成第三次评价。

### 【教学分析】

有依据的设计迭代使得学生深入思考并改进、优化和完善设计图，加深学生对于产品和用户需求的理解，有利于帮助学生形成迭代思路，从而更好地贴近用户的需求，为后续的环节奠定基础。

### 【学生个人设计图展示】

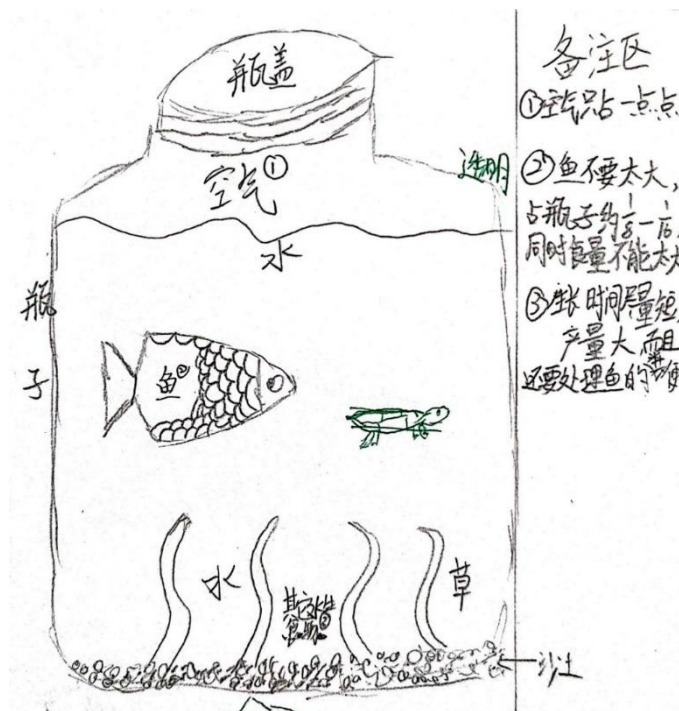


图 3-6 学生个人设计图

## 3. 课堂总结

教师组织学生对这一课时进行总结，谈谈自己的想法。随后，教师布置课后任务，要求学生在课后通过上网、看书等途径查阅水生生态瓶的更多资料。

### 【教学分析】

学生对所学知识进行归纳总结能促进学生掌握知识、总结规律，有利于学生从整体上把握工程、工程师、工程设计等方面的知识。

## 二、第二课时：角色分工与工程设计

第二课时的教学内容为小组设计与再设计。在小组设计前，需要开展工程角色的分工，在小组设计后需开展交流活动与设计迭代活动，在此过程中，学生的相关

工程思维与工程能力将得到锻炼。该课时主要教学实践过程如图 3-7 所示。

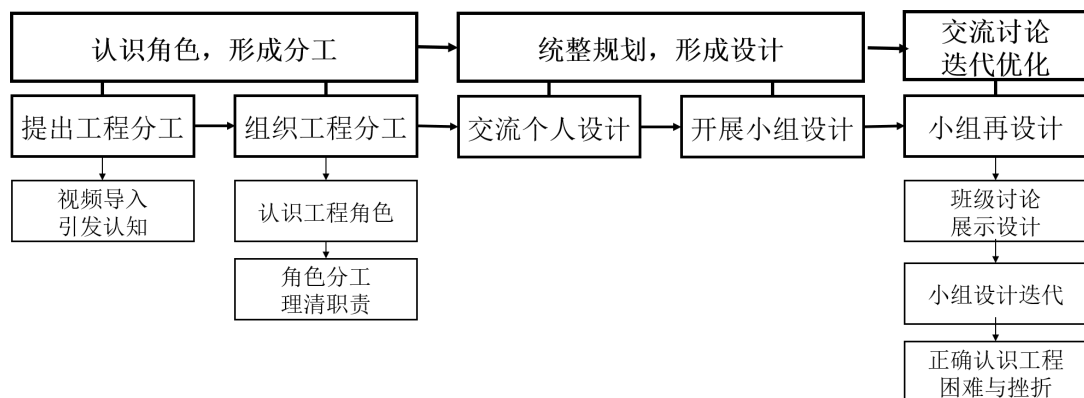


图 3-7 第二课时实践过程

### （一）认识角色，形成分工

#### 1. 提出工程分工

##### ● 环节一：视频导入，引发认知

播放大坝倒塌视频，引导学生带着问题在视频中寻找需要角色分工的原因与重要性。教师提问“如果你是福尔瑟姆大坝的工程师，你会怎么做”，同时，引导学生认识到个人的力量是有限的，只有合理的分工才能最大程度的减少失误。

##### 【教学分析】

建构主义学习理论指出，学习是学习者的主动建构过程，因此教学应该激发学生学习积极性。通过视频导入的教学方式能够调动学生的听觉、视觉等感官，使得学习更加快速有效，让学生意识到工程设计的每一环节、每一个角色都很重要，有利于引导学生认识工程师的重要意义。

#### 2. 组织工程分工

##### ● 环节一：认识工程角色

PPT 呈现基本角色群像，如下图 3-8 所示。教师提问“工程团队的分工与合作重要吗”引发学生思考，随后简要介绍每个工程角色最重要的特点并提出分工任务及其要求。

##### 【教学分析】

通过呈现角色群像引导学生认识到完成一个工程所需要的基本角色，有利于学

生更好地认识到个体应承担的角色。

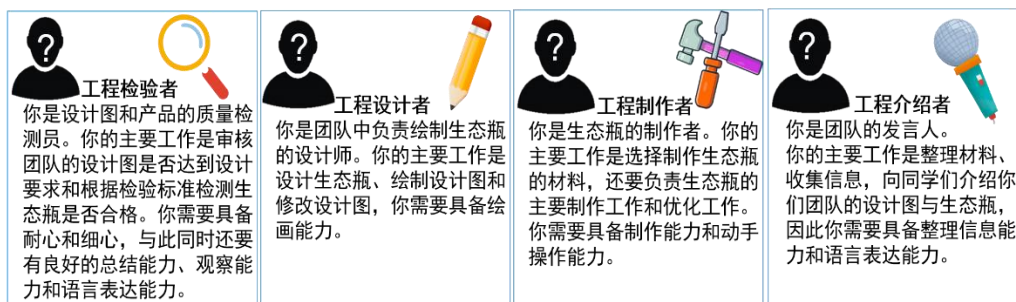


图 3-8 角色群像

### ● 环节二：角色分工，理清职责

学生组内讨论，形成工程的基本角色。组内成员以自荐或者他荐的形式进行角色的分工，随后学生分享各自分工的过程以及是否遇到问题，如若有，应如何解决。

#### 【教学分析】

在建构主义学习理论之下，教师不再是单纯的知识传授者，而是学生学习的引导者和帮助者，教师应为学生营造出有助于建构的学习环境。通过自荐或他荐的形式进行工程角色的分配，学生主导各自的分工，在遇到问题时也需要主动进行协商，有助于完整地认识到角色分工的重要性，进行主动的学习。

## (二) 统筹规划，形成设计

### 1. 交流个人设计

采用采用随机抽签的方式决定上台展示的同学，展示的同学围绕设计图进行分享，说明第一次设计和第二次设计间的区别及其改进思路。

#### 【学生分享】

**S1:** 这是我的第二次设计，图里这是巴西龟、斑马鱼、这上面是漂浮状的一些水草，在第二次设计里，我加入了材料里没有的树枝，因为我觉得生活中的池塘里面会有树枝。

**S2:** 我第一次设计的时候没有选择小石头，后面觉得如果没有小石头固定水草的话，水草可能会漂浮起来，所以在第二次设计时加了小石头。我的设计里还有一些材料里没有的东西，我不知道这样符不符合用户的需求。

从上述发言可以看出，学生的设计中加入了材料以外的事物，这种意外情况成为了教学资源，可以借助这一资源促使学生对材料、需求、成本等约束条件进行再



思考,从而调动学生的思维。因此,在教学实践中,教师进行了提问,引导学生思考这一问题。

### 【教师围绕学生分享进行提问】

**教师:** 刚刚两位同学的设计的东西有的是我们材料中没有的,这也是工程中非常常见的现象,也就是超出预算的部分,如果是你,你会怎么做呢?

**S3:** 我觉得要有什么材料我们就要怎么设计。如果设计图里有的是材料以外的东西,很容易让我们做出来的水生生态瓶不符合用户的需求和检验标准。

**教师:** 是的,而且在我们制作水生生态瓶的过程中,还有一个检验标准是成本不能超过 45 元,如果使用了材料外的东西就很有可能达不到这个标准。

理清是否能使用材料以外的东西以及可能造成的影响后,教师提问“同学们对刚刚几位同学分享的设计图还有什么想法吗”,学生围绕设计方法展开了交流,最终得出了标注材料、备注信息、注明成本等方法有助于形成更完善的设计图。

## 2. 开展小组设计

小组开始绘制小组设计图。在设计过程中,工程设计者结合组内同学的个人设计图进行修改与优化从而形成小组的初次生态瓶设计图。设计图展示如图 3-9 所示。



图 3-9 小组初次设计图

### （三）交流讨论，迭代优化

#### 1. 小组再设计

##### ● 环节一：班级讨论，展示设计

学生围绕设计图进行交流讨论。各个小组轮流上台分享设计图，对设计图展开了详细的解释，分享进行提问与回答的对话环节。随后，教师通过提问引导学生认识该小组的设计图有什么地方值得学习或哪里做的还不够，最后小结各组在完成设计图过程中表现出得优点与不足。小组再设计图展示如图 3-10 所示。

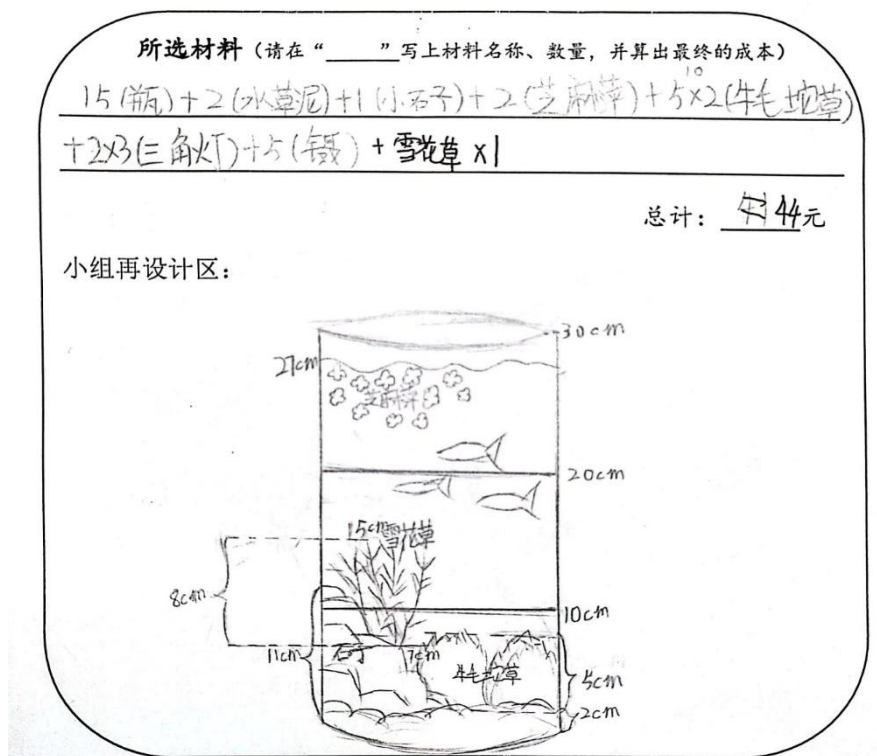


图 3-10 小组再设计图

##### 【教学分析】

建构主义强调学习的社会协商性，班级层面的交流就是社会协商的一种形式。通过展示设计图这一环节营造出有利于学生交流的氛围，从而促使思维的交流。不同的小组有着不同的设计思路和设计方法，不同的小组对一个问题也有不同的解释，因此班级讨论有利于学生们集思广益，与此同时有助于锻炼学生的提问能力、表达能力、与人相处能力。

##### ● 环节二：小组设计迭代

学生在交流分享之后，教师提出再设计任务，工程设计者带领小组成员结合刚刚的收获与启发进行重新设计并画在再设计图区域。

### 【教学分析】

工程设计是工程的核心，而再设计是工程设计的重要组成部分。因此设计迭代是工程学习活动必不可少的环节。通过组织学生们展开再设计活动，能让学生对设计图进行深入分析，有利于培养学生的优化思维、统整思维、分析能力等工程思维和工程能力。

### ● 环节三：正确认识工程困难与挫折

借助案例视频《通信卫星工程的曲折发展》引导学生认识工程要经历许多挫折和失败才能成功，引导学生正确看待设计过程及之后中遇到的困难与失败。

### 【教学分析】

工程的成功往往建立在无数次失败的基础上，就像我国的卫星工程的发展一样，其的成功往往要经历无数次的设计与再设计，甚至要经历无数次的失败。因此，通过这个案例视频能让学生勇于面对困难，有利于激发学生继续开展工程学习的信心。

## 三、第三课时：工程制作与初步检验

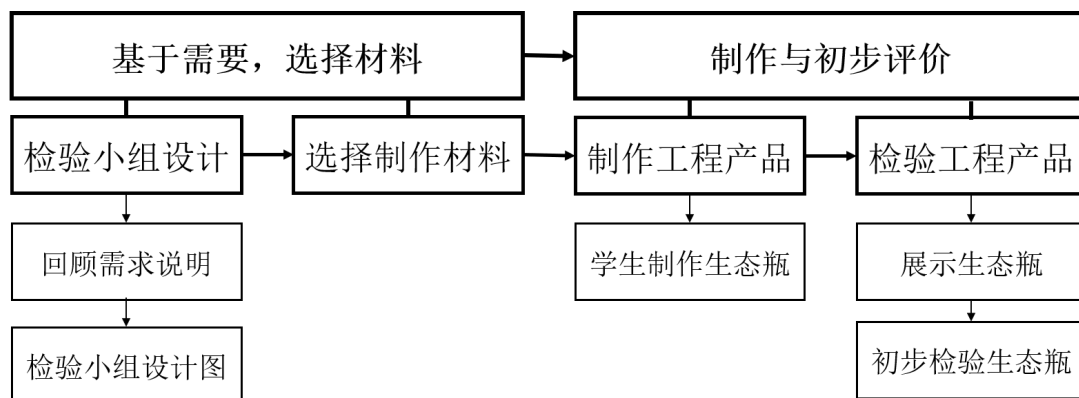


图 3-11 第三课时实践过程

第三课时是工程产品的制作过程，也是发展学生工程思维的重要支撑，是学生获得相关的工程能力与思维的主要来源。学生需要经历选择材料、制作产品、检验产品的过程以发展统整思维、系统思维、动手操作能力、表达能力等思维与能力。该课时主要教学实践过程如上图 3-11 所示。

## （一）基于需要，选择材料

### 1. 检验小组设计

#### ● 环节一：回顾需求说明

教师展示待选材料，结合物品图进行提问，引导学生再次明晰植物与动物的数量会影响到供氧关系和水生生态瓶的成本问题，学生回顾用户需求说明中关于生态瓶的设计要求、检验标准等内容。

#### 【教师提问】

**教师：**我们再回头看看用户需求和检验标准我们会发现同学的设计还有需要注意的地方，比如水生生态瓶的成本应该如何控制，我发现部分小组有一个把钱全部花光的观念，请大家再考虑一下，成本越高越好吗？第二，用户需求和检验标准要求生态瓶的容器要适中且切忌过大，那么，我们应该选哪种型号的瓶子？第三，同学们选择的动植物是否做到了搭配恰当？植物的最大作用是什么？

#### 【学生回答】

**S4：**净化水质，提供氧气。

**S5：**太多鱼的话会使得植物产生的氧气不够鱼儿存活，而太多植物和一条鱼又太浪费了。

从学生的回答中可以看出经过对材料、成本等问题的思考，学生对于如何选择制作材料有了更清晰的认识。

#### ● 环节二：检验小组设计图

给学生两到三分钟的时间，进行小组的交流讨论，认真思考刚刚说的几个问题，需要再次修改设计图的小组迅速在迭代后的设计图进行修改。随后教师分发小组设计图检验单，工程检验者对照着上面的检验标准，采用交叉检验的形式检验小组设计图是否合格。

#### 【小组设计图检验情况】

**S6：**我所检查的小组设计图合格，符合设计要求和检验标准。

**S7：**觉得第二小组的设计图存在一定的问题，他们没有达到生态瓶容量适中这个标准，我认为他们应该选择中号的瓶子。

各个小组根据工程检验者给出的意见进行下一步活动，合格的小组可以在工程制作者的带领下开始讨论如何基于自己的需要进一步选择最合适的材料，设计图还

存在问题的小组请继续修改，修改后给工程检验者再次检查。

## 2. 选择制作材料

教师说明以下选择材料要求：第一，根据小组设计图选择材料，在选择材料时必须进行交流；第二，材料有限，每位同学应该仔细保护，做到小心使用；第三，材料应满足设计要求、检验标准和小组设计图等的要求。随后学生基于设计图和实际情况选择制作水生生态瓶的材料。

### （二）制作与初步评价

#### 1. 制作工程产品

##### ● 环节一：学生制作生态瓶

在制作开始前，教师展开提问：你觉得在制作过程中有什么地方需要特别注意的呢？植物应该如何种植？随后学生在工程制作者的带领下开始制作水生生态瓶。与此同时，教师进行巡视，一方面观察学生在制作过程中是否有人人参与，另一方面为一些遇到问题的小组提供适当的指导。学生制作水生生态瓶过程如图 3-12 所示。



图 3-12 学生制作水生生态瓶

【教学分析】

建构主义学习理论强调在教师指导下的，以学生为中心的学习。在教学中应该在强调学习者主体作用的同时也主张教师的指导作用。在学生制作水生生态瓶时教师给予一定的指导与帮助，有利于学生更好地开展制作活动。

【学生制作水生生态瓶】

2. 检验工程产品

● 环节一：展示生态瓶

各个小组将制作完成的水生生态瓶放在讲台上展示。

● 环节二：初步检验生态瓶

在各个小组制作完成之后，教师提示“在最终封瓶前还有一次调整机会，可以利用课后时间对制作完成的水生生态瓶进行调整，请在今天之内封瓶”。封瓶后，工程检验者借助产品检验单对水生生态瓶进行初步检验，根据检验标准判断水生生态瓶是否初步符合标准。随后教师再分发观察记录单并布置观察任务，学生在封瓶后的七天对水生生态瓶展开观察，在观察过程中在观察记录单上做好记录。

四、第四课时：工程评价与总结反思

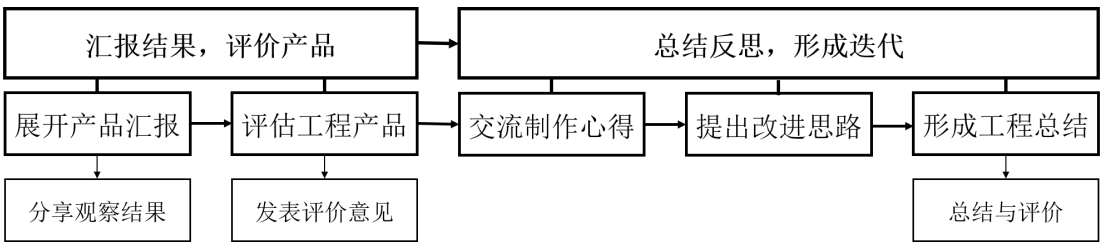


图 3-13 第四课时实践过程

工程评价与总结反思对应工程总结阶段，在该课时中，各个小组需要基于设计图、生态瓶产品、观察结果汇报生态瓶制作总体过程及观察结果并回答其他小组提出的问题。该课时的目的在于提出反思和改进思路，其主要教学实践过程如上图 3-13 所示。

## （一）汇报结果，评价产品

### 1. 展开产品汇报

#### ● 环节一：分享观察结果

各组一起交流在这一段时间中的观察情况。全组的工程师一起上台，由工程介绍者主讲，其他工种进行补充。PPT呈现以下要求：第一，每个小组限时2分钟；第二，简要描述生态瓶的变化和结果；第三，如果有重大发现，请和我们分享。

#### 【部分小组观察结果汇报与学生提问】

##### 汇报一：

**S8：**这是我们小组的生态瓶，经过七天的观察，它的主要变化是：三角灯一只死亡，斑马鱼存活，水草全都存活，因为水草全部都活着，有它在净化水质，所以生态瓶内的水质还是很干净。我们的汇报到此结束，请同学们提问。

**S9：**你们觉得三角灯死亡的原因是什么？

**S8：**由于水中有沙子、水草泥，再加上我们制作的时候没有清洗沙子，倒水的时候也比较快，所以一开始的水质很混浊，我们猜测三角灯可能不能适应混浊的环境，所以死了。

**S10：**你们原先有几只鱼？

**S8：**两只三角灯，三只斑马鱼。

**S10：**三角灯怎么没有全部死亡呢？为什么另一只三角灯可以适应混浊的环境？

**S8：**我们觉得后面水里的水草净化了水质，再加上水中的杂质沉淀了，所以水变干净了，另一只三角灯也就活了下来。

##### 汇报二：

**S11：**因为在制作中我们没有把水草种得很深，所以我们的生态瓶内的水草已经漂浮起来了，一部分水草已经开始腐烂了，大家也可以看见瓶内比较混浊。我们的鱼死了两只，和第一小组一样，死亡的鱼是三角灯，所以我们猜测三角灯的生命力不如斑马鱼。我们还和其他有加沙子和小石子的小组对比了一下发现：没有沙子和石子会让水质变得更清澈。我们的汇报完毕，请各位同学提问。

**S12：**水草泥是人工合成的，如果没加沙子和石头能真实地模拟水生生态系统吗？

**S11：**我们觉得还是可以的，因为瓶子里还有水草和小鱼这样的动物和植物。

**S12:** 但是自然中的水生系统是没有水草泥的,我觉得你们不放沙子和石子不能模拟现实生活中的水生生态系统,所以我觉得你们做的生态瓶不符合用户需求。

**汇报三:**

**S13:** 在刚做好的时候,它里面的水质比较混浊,后来慢慢变得清澈了。在我们的观察的第一天,瓶内的小鱼们很活跃,水草也非常有生机,后来三角灯死了一只,我们推测原因可能是因为它钻进了雪花草里,游不出来,所以最终死亡了。所以我们发现如果生态瓶内的水草太多的话,也对小鱼的生命造成影响。我们的汇报完毕,请各位同学提问。

**S14:** 为什么你们的三角灯因为雪花草死亡?

**S13:** 因为雪花草太多了,使得小鱼的活动空间变少了。

**汇报四:**

**S15:** 4月14日的时候,刚开始的时候水也非常浑浊,后来经过一定时间的沉淀就变得清澈了。在水很浑浊的时候,小鱼们有点不太活跃,后来水变清澈之后,小鱼就活跃的多了。在前几天的时候,三角灯和斑马鱼都比较活跃,没有出现死亡。周六周日两天后面的4月17日,生态瓶里的小鱼们仍然没有死亡,我们小组觉得非常惊讶,因为别的小组都有小鱼死亡了,我觉得小鱼没有死亡的原因是我们的生态瓶里的水草较少,这给小鱼们提供了充足的活动空间。4月18日时,生态瓶里的小鱼和水草仍然富有生机。对比其他小组后,我们的生态瓶的状态非常好,我觉得它已经是一个合格的模拟水生生态系统的装置了。此外,我们组还制作了一个“小鱼公墓”,因为我们觉得也要给死亡的小鱼一个家。我们的汇报完毕,请各位同学提问。

**S16:** 除了水草少这个原因,你们觉得还有其他原因让小鱼们没有死亡吗?

**S15:** 我们觉得和水也有关系,我们选用的水是瓶装纯净水,它没有经过消毒,所以对小鱼不含有害的氯化物。

## 2. 评价工程产品

### ● 环节一: 发表评价意见

在各个小组展示完成之后,教师引导学生对各组的汇报结果和水生生态瓶的运行情况展开评价。随后对各组的水生生态瓶进行评选,选出运行情况好、汇报过程清晰的工程小组。



### 【教学分析】

建构主义主张合作学习，强调学生间的交流互动。各组在评价自己小组的生态瓶时源于自身的理解，存在一定的片面性，因此展开班级层面的评价活动可以使各个小组看到具有差异形的观点，这有利于思维的碰撞，也为小组提出该改进思路奠定了基础。学生所制作的水生生态瓶如图 3-14 所示。



图 3-14 “水生生态瓶”产品

## （二）总结反思，形成迭代

### 1. 交流制作心得

#### 【教师总结】

看来经过一周的观察，各个小组都有所发现。从刚刚同学们的汇报来看，除了一个小组的小鱼没有死亡外，其他小组都多多少少出现了小于死亡的情况，我想问问大家，还有没有同学想对刚刚的汇报进行追问的呢？或者有什么想法呢？

#### 【学生回答】

**S17:** 从刚刚第六小组的汇报我发现了一个小问题，那就是不同的水质也会影响生态频率小鱼和水草的存活情况，如果我们能从大自然中的小河或小湖中取水，可能生态瓶能运转的更好，因为这些水是自然的水，更适合小鱼和水草们生存。

教师：是的，像我们的自来水它往往经过了消毒，水中有很多氯化物，这些化学物质不利于动植物生存。还有其他同学提问吗？

### 【学生追问】

S17：我想问一下第六小组他们是不是有过养鱼的经验？

S15：是的，我家里有养金鱼。我爸爸和我说自来水并不适合小鱼的生长，所以我们小组生态瓶的水用了纯净水。

教师：看来要成为一名好的工程师，制作出更符合用户需求的产品，我们还需要从生活中或者从他人那里吸取经验。

S18：我发现状态比较好的几个生态瓶里的小鱼和水草的搭配都比较合理。

上述的对话与交流互动引发了学生的新认识。在交流过程中，学生对运行情况较好的小组进行提问，最终引发了学生对于“水对生态瓶的影响”的思考。在这样的对话交流活动中，学生相互尊重，自由表达，不仅有了新发现和新认识，还在对话的过程中启发了彼此。

## 2. 提出改进思路

在对话互动结束后，各小组在组内进行总结与反思，交流各自的想法以及一些改进思路。

## 3. 形成工程总结

### ● 环节一：总结与评价

教师带领学生回顾第一课时至第四课时的学习流程，引导学生说说自己的体会。教师分发自我评价单，学生根据自身及小组在工程活动中的表现填写自我评价单。随后，教师进行总结并提问“如果再做一次生态瓶，你觉得哪些方面需要进行改进”，学生对这个问题进行思考。请同学们在课后思考这个问题。

### 【教学分析】

建构主义观主张学生的自我评价。在学生完成工程任务之后进行自我评价有利于促使学生通过自省的形式展现其在解决任务过程中所运用的知识、思维、能力等情况。总结与反思也是工程实施的重要环节，有利于为改进产品做准备。

## 第四章 面向工程思维培养的小学科学教学结果评价

本章节是对教学设计与实施结果的评价，即基于在教学实践中收集的数据与材料分析本研究在培养学生工程思维方面的成效。借助围绕工程思维、工程知识、工程态度等评价内容而制定的评价指标，以及课堂观察、工程学习单、自我评价单等评价方式对教学结果进行评价，从而探讨此次教学实践对学生工程思维的培养情况。

### 第一节 教学结果的评价方式

#### 一、课堂观察发现

此次以制作生态瓶为主题的工程教学活动总计四个课时，笔者作为观察者全程参与了教学。工程教学过程中遵循学生主体性原则，在教学设计中考虑到了学生的差异性，既有难度较高的设计活动，又有较为简单的检验环节，使得全体学生都能有所体验，有所收获。

本次教学不仅达成了基本的教学目标，学生在经历决策、设计、制作、总结的工程学习获得中获得了科学知识、工程知识，养成了良好的工程思维与工程习惯，掌握了工程相关技能，发展了工程能力，形成了对工程与工程师的深刻认识，更为重要的是奠定了学生未来进一步参与工程学习获得乃至成为工程师的可能性。在四个课时之中皆有涉及科学知识、生物知识、工程知识、技术知识的教学，科学知识表现为生态瓶工作原理、动植物链状关系等内容，生物知识表现为生态系统的结构、生物与环境等内容，工程知识表现为工程及工程师的重要性、工程的约束关系、工程设计方法等内容，技术知识则表现为工程产品的制作要点等。本着学科间深度整合的原则，教学设计将科学与工程专业知识进行了较深化且科学的整合，例如将生态瓶的工作原理、碳氧关系等科学知识结合到水生生态瓶的检验标准之中，而在教学之中，学生在反复分析、比对、整合用户需求、设计要求和检验标准的过程中，科学与工程知识得到了整合。而对学生而言，基于课堂教学获得的科学概念、科学规律、科学原理等内容丰富了学生的科学观念，学生能够在此基础上理解、掌握知识以解决实际问题。

## 二、自我评价单的数据整理

自我评价单是分析工程思维培养情况的重要依据，其题目设计与“工程思维”、“工程态度”、“工程知识”相对应。自我评价单的发出时间为工程总结阶段，即教学实践的第四课时，回收时间为第四课时结束后，其总计发出 33 份，回收 32 份。

### （一）自我评价单客观题分类

依据“工程思维”、“工程态度”、“工程知识”等评价内容与评价指标，对表 2-11 中“自我评价单”中的客观题分成如表 4-1 所示的类别。

表 4-1 “自我评价单”的客观题分类

所指向的教学目标	所指向的评价内容	题号
科学与工程知识	工程知识	6、19
工程思维与习惯/工程设计 与制作	工程思维	1、2、3、4、5、7、9、 10、11、12、14、16、17
工程态度与责任	工程态度	8、13、15、18、20

### （二）自我评价单的赋分结果

在客观题的数据处理上，采用李克特五级量表进行赋分，“完全符合”到“完全不符合”等五个等级分别对应 5 分、4 分、3 分、2 分和 1 分，客观题赋分后的数据如表 4-2 所示。

表 4-2 “自我评价单”客观题赋分结果

题号	平均分	题号	平均分	题号	平均分
1	4.844	8	4.594	15	4.875
2	4.781	9	4.781	16	4.657
3	4.688	10	4.718	17	4.750
4	4.635	11	4.813	18	4.875
5	4.657	12	4.750	19	4.625
6	4.469	13	4.875	20	4.875
7	4.750	14	4.781		

自我评价单总计 20 道客观题，其中的第 6、19 题围绕“工程知识”进行设计，第 1、2、3、4、5、7、9、10、11、12、14、16、17 题围绕“工程思维”设计，第 8、13、15、18、20 题围绕“工程态度设计”，对不同评价内容的题目的得分进行整理发现，“工程知识”类题目的总平均分为 4.547 分，“工程思维和工程能力”类题目的总平均分为 4.739 分，“工态度与责任”类题目的总平均分为 4.819 分。

### 三、工程学习单的整理

此次面向工程思维培养的工程学习单在设计时与小学科学的一线教师进行了充分的交流与沟通，结合该教师的建议，工程学习单前后经历了 4 次的修改才最终确定。在正式投入使用前，本研究展开了小范围的工程学习单填写测试，测试结果表明学习单内容可被学生理解，学生能在学习单的引导下展开工程学习。工程学习单于课上发放，根据教学环节安排学生在对应的时间内进行填写，填写完成后进行回收，并根据工程思维评价指标、工程态度评价指标、工程知识评价指标进行相应的等级划分。

#### （一）工程学习单评价举例

本研究将通过具体的实例以说明如何依据工程思维评价指标、工程态度评价指标、工程知识评价指标对工程学习单进行等级划分，从而评价“工程思维”、“工程态度”、“工程知识”等评价内容的发展和培养情况。以下评价实例的样本来自于此次的教学对象。

##### 1. “工程决策思维”评价实例

工程决策阶段对应教学实践中的第一课时。在第一课时之中，通过教师讲解、观看视频、学生自主阅读材料等形式，学生获得了科学与工程上的观念、原理、概念等知识。这些知识提供了基础和经验，为学生开展设计打下了基础，学生能利用这些知识分析设计图就是工程决策思维发生作用的过程。

问题一：你认为你的设计图的哪些方面符合“用户需求说明”里的设计要求呢？请举例说明。

答：①雪花草给鱼空气，不会让鱼死掉。②透明的瓶子便于观察。③生物：鱼、草，非生物：沙子、小石子。生物和非生物都有。④水草可以吸收水中的脏东西，让水保持清澈。⑤成本最高5元，一共25元。⑥13cm的瓶子不大也不小，刚好是个合适的大小。⑦真实的模拟了水中的环境。

图 4-1 “工程决策思维”举例

如图 4-1 所示，该学生的回答体现了“成本”、“材料”、“用户需求”等内容对设计图进行了全面的分析，在分析过程中还能与“植物产生制造氧气”、“生态系统由生物与非生物两部分构成”这样的知识产生密切联系。因此，根据工程思维评价指标，该学生满足二级指标中的“能结合约束条件和检验标准对工程任务进行全面分析，与知识联系密切”的要求，所以该生在工程决策思维中的“分析问题”的培养程度是高级，对应分数为 3 分。

## 2. “工程设计思维”评价实例

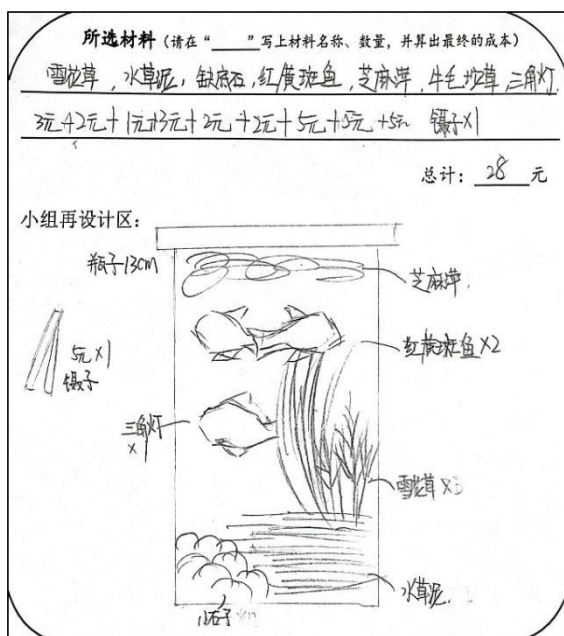
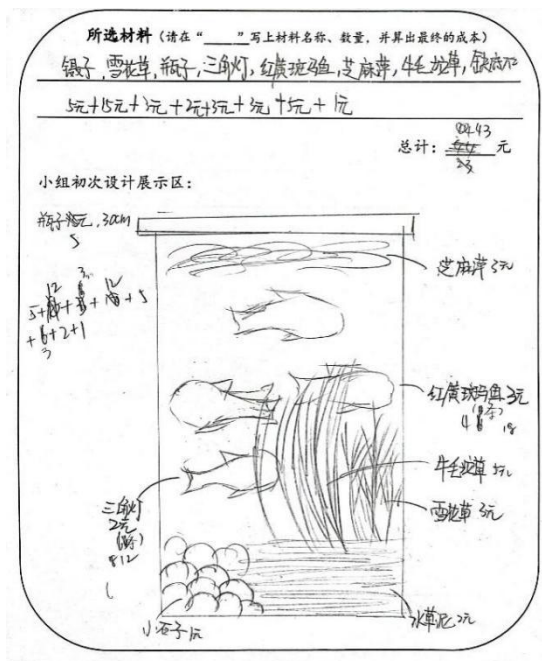


图 4-2 “工程设计思维”（迭代前）      图 4-3 “工程设计思维”（迭代后）

工程设计思维的重要体现是学生的设计图与再设计图。如图 4-2 与图 4-3 所示的小组初次设计图与再设计图，该小组经历了迭代的设计环节，在设计中，通过调

整动植物间的数量关系及适配性达到了成本的降低，但是没有存在设计任务之外的拓展。根据工程思维评价指标，该小组满足二级指标中的“设计流程和思路清晰，能完成所有设计任务”，所以该组学生的工程设计思维中的“设计过程”的培养程度是中级，对应分数为2分。

3. “工程制作思维”评价实例

工程制作思维是工程物化过程的体现，是工程决策和工程设计的延续，学生制作的水生生态瓶是学生运用工程制作思维的集合。产品检验单是工程检验员的工程学习单，从该学习单中可以看出各组对水生生态瓶的检验情况，从而推测学生的工程制作思维的培养程度。根据工程思维评价指标及表 2-13 中对产品检验单评价的说明，本研究整理了产品检验单中的检验情况及对应等级，如表 4-3 所示。

表 4-3 “产品检验单”数据统计

组别	笑脸数量	平静脸数量	哭脸数量	等级与分数
第一小组	6	3	1	中级/2 分
第二小组	5	3	2	中级/2 分
第三小组	7	2	1	高级/3 分
第四小组	5	3	2	中级/2 分
第五小组	0	7	3	初级/1 分
第六小组	6	3	1	中级/2 分
第七小组	5	3	2	中级/2 分

由表 4-3 可知，在工程制作思维中，各小组获得的最高等级为高级，最低等级为初级，其中等级为高级的小组有 1 个，等级为中级的小组有 5 个，等级为初级的小组有 1 个。

4. “工程总结思维”评价实例

工程总结思维的主要表现为学生对工程设计图、工程产品、学习表现等方面的评价与反思。如下图 4-4 所示，该生能从“用户需求”、“材料”、“美观性”等角度评价自己的设计图，但并没有提出自己的看法。根据工程思维评价指标，该生满足二级指标中的“能从多个角度展开评价”，所以该组学生的工程总结思维的



“评价成果”的培养程度是中级，对应分数为 2 分。

问题二：请你用简短的语言评价你的设计图。

总在我的瓶子中大致符合了用户需求，水源也是使用纯净河水，加入两种鱼，并用雪花草来美观生态瓶。

图 4-4 “工程总结思维”举例

## （二）工程学习单的赋分结果

结合评价方案的指标与具体表现，本研究对此次参与工程学习的七个小组所提交的工程学习单均进行了如上文所示的整理与赋分。此次赋分过程是在与授课教师的合作中完成的，当针对同一内容出现不一样的赋分结果时，采取重新赋分的形式加以修正。此次围绕“工程思维”、“工程态度”、“工程知识”等评价内容的赋分情况与结果如表 4-4 所示。

表 4-4 “工程学习单”赋分结果

一级指标	二级指标	总分	平均分	总平均分（满分 3 分）
工程决策思维	确定目标	16	2.286	2.048
	分析问题	17	2.429	
	制定方案	10	1.429	
工程设计思维	产品结构	20	2.857	2.143
	功能设计	14	2.000	
	设计过程	11	1.571	
	选择材料	13	1.857	
工程制作思维	产品搭建	15	2.143	1.667
	产品检验	7	1.000	
	评价成果	15	2.143	
工程总结思维	反思表现	19	2.714	2.048
	迭代优化	9	1.286	

由表 4-4 可知，在一级指标中，七个工程学习小组所获得的最高平均分为 2.143 分，对应的指标为工程设计思维，最低平均分为 1.667，对应的指标为工程制作思维。在二级指标中，所获得的最高平均分为 2.857 分，对应的指标为产品结构，最低平均分为 1.000 分，对应的指标为产品检验。



## 第二节 教学评价结果

### 一、工程知识得到综合运用

#### （一）课堂观察分析

通过课堂观察可以发现，学生能在整合知识的基础上主动开展探究。学生在不同课时中面临不同的任务，学生能够在其中获得不同的知识、思维、能力、技能、价值观等学习结果。在第一课时的教学内容更多地集中于工程知识、工程观念、工程概念等理论知识地铺垫，因此对学生来说需要更多的耐心和时间参与学习。例如在分析“什么装置可以模拟水生生态系统”这一问题时，学生需要系统参考用户需求、设计要求和检验标准并兼顾材料特性，这些材料的文字较多且互相呼应，学生需要反复比对才可得出结论。学生在第一课时获得了丰富的科学、工程、生物等学科的知识，更为难得的是学生能将相关知识加以整合，使得这些知识具备迁移或跨学科运用的可能性。

此外，学生在工程实践过程中遇到的很多问题能利用所学的工程知识加以解决。例如，在小组设计与再设计环节中，学生没有完全理解“在不影响生态瓶的情况下尽可能降低成本”这一设计要求，只遵循了“成本不超过 45 元”这一标准，因此许多小组的设计图存在动植物数量不匹配造成浪费的现象。但在教师提出这一问题后，学生能迅速结合工程知识对设计图存在的问题进行修改，进一步优化了动植物的数量问题，以下是课堂实录部分：

**教师：**我们再回头看看用户需求和检验标准我们会发现同学的设计还有需要注意的地方……请大家再考虑一下，成本越高越好吗？第二，用户需求和检验标准要求……第三，同学们选择的动植物是否做到了搭配恰当？植物的最大作用是什么？

**S4：**净化水质，提供氧气。

**S5：**太多鱼的话会使得植物产生的氧气不够鱼儿存活，而太多植物和一条鱼又太浪费了。

可见，学生从材料适配性、工程成本、碳氧平衡等工程知识对产生的问题进行思考，对如何更好地达成用户需求和检验标准有了更为清晰地认识，从而解决了动

植物数量不匹配造成浪费的问题。此外，学生在此次工程学习获得中发展了问题意识。在工程问题学习过程中，学生能够自主探讨工程问题和工程任务，并积极思考教师提出的问题。在工程学习伊始，学生首先对生态观察员提出的“制作一个模拟水生生态系统的装置”这一工程任务产生了“什么样的装置可以模拟水生生态系统”这样的思考。此外，学生还在交流、讨论的过程重敢于发现问题，能在工程学习过程中解决问题。

### 【学生思考问题】

**教师：**刚刚听清楚了吗，生态观察员需要什么？

**学生：**需要一个模拟水生生态系统的装置。

**教师：**那大家对这个装置有什么想法吗？这个装置是什么样的？

**S18：**我觉得这个装置要有水生的动物和植物，把草、鱼这样的动植物都装进去。

**S19：**我觉得我们可以做一个生态瓶来模拟水生生态系统。

### 【学生针对小组设计图提出问题】

**问题一：**你们只放了沙子，会不会导致水里没有足够的养分供水草生长？

**问题二：**两种鱼的习性是一样的吗，把它们放在同一个瓶子里会不会出现问题？

**问题三：**你们为什么放了水草泥、小石子和沙子三种作用差不多的材料？

### 【学生针对水生生态瓶观察结果提出问题】

**问题一：**你们觉得三角灯死亡的原因是什么？

**问题二：**水草泥是人工合成的，如果没加沙子和石头能真实地模拟水生生态系统吗？

**问题三：**除了“水草少”这个原因，你们觉得还有其他原因让小鱼们没有死亡吗？

可见，学生能够明确问题，对问题做出思考，进而以实际行动解决工程学习中的问题，具备问题意识。

## （二）自我评价单分析

从自我评价单来看，工程知识的评价指标为习得、理解、运用的培养程度均为高级。学生在第6题“在设计过程中，我用到了食物链、生态系统等知识”和第

19题“我认为我学到了很多知识，这些知识能运用到别的学科中”的自我评分达到了4.469分和4.625分。

从这些数据可以推测，学生不仅拓展延伸了已有知识，还习得了新的知识。一方面，学生借助生物与非生物间的关系、食物链、生态系统等相关知识对水生生态系统的构成进行分析，认识到自然水生生态系统与水生生态瓶之间的关联，从而思考并获得生态瓶这一产品的基本构成、制作材料和科学原理等信息。学生对于水生生态系统的分析有利于学生初步感知水生生态瓶与自然水生生态系统间的相同点，从而能在学习中统筹动植物的多样性、生物与非生物的关系、非生物因素影响等知识。另一方面，学生在参与工程实践的过程中获得了观察、制作、表达、绘图等直接经验，这些知识以应用性和综合性为主要特征，能被广泛运用于社会生活与其它学科之中。可见，此次教学研究在工程知识中的培养程度高，学生在“工程思维”、“工程态度”、“工程知识”等评价内容中的分值高，对应培养程度均为高级，可见，此次面向工程思维培养的小学科学教学实践研究具备有效性。

## 二、工程思维培养程度不均

### （一）自我评价单分析

工程思维的一级指标分为工程决策思维、工程设计思维、工程制作思维和工程总结思维。

在“工程决策思维”指标中，学生“确定目标”的程度是高级的，表现为学生能够分层分类地理解工程任务，明确工程目标的各个层级。例如，在自我评价单中，学生对第3题“我知道这次学习任务是生态观察员制作水生生态瓶，能将大任务分解成多个小任务加以实施”的自我评分达到了4.688分。学生“分析问题”的程度是高级的，表现为学生能在“生态瓶必须满足密封且便于观察的特点”等用户需求，在“控制生态瓶的成本”等约束条件，在“生态瓶的运转时间不少于7天”等检验标准的限制下对工程任务进行全面分析，最终完成了水生生态瓶的设计和制作。例如，在自我评价单中，学生对第1题“我能够理解生态观察员提出的任务情境，能联系实际并明确在制作生态瓶过程中需要解决的问题”以及第2题“我能在用户需求、成本、材料等约束条件下完成生态瓶的设计和制作工程，认识并掌握影响生态瓶制作的要素”的自我评价达到了4.844分和4.781分。学生“制定方案”的程

度是高级的,表现为学生能够根据工程任务制定出多个合理的解决方案。例如,在自我评价单中,学生在第4题“我能想象出很多种生态瓶的样子,能将我脑海中想到的生态瓶样子画下来”和第10题“在制作中,我们有清晰的制作方案和步骤”的自我评价中分别达到了4.635分和4.718分。可见,此次教学有效地培养了学生的工程决策思维。

在“工程设计思维”指标中,学生在“产品结构”、“功能设计”、“设计过程”等二级指标的程度是高级的,表现在三个方面。第一,设计的水生生态瓶产品的结构科学合理并具备可操作性强的特点;第二,学生的设计图能够体现水生生态瓶在模拟水生系统、观察生态的功能,还具有各自的特色;第三,学生经历了设计与再设计的迭代过程,能够形成改进思路并在再设计的过程中解决了初次设计的问题。例如,学生在与之相应的第5题“我能反思设计是否符合要求和检验标准,能够发现设计中的不足并加以修改与优化,能全面考虑约束条件的影响”、第16题“我们能清晰地知道小组生态瓶的特色、制作过程、优点和不足,能向别人分享在设计和搭建过程中的心得和体会”、第7题“在设计过程中,我学会了设计的方法和技巧,知道文字可以辅助设计,使得设计图变得更好理解”和的自我评价中分别得到了4.657分、4.657分、4.750分。可见,学生工程设计思维得到了有效的发展。

在“工程制作思维”指标中,学生在“材料选择”、“产品搭建”、“产品检验”等二级指标的达成程度是高级的。学生能从材料适配性的角度选择材料,能在15分钟内完成水生生态瓶的制作工作,能对产品进行“生态瓶成本不超过45元”、“所制作的生态瓶与设计图一致,材料、摆放等”的初步检验,还能在为期七天的日常观察中对水生生态瓶进行“生态瓶运转时间不少于7天”、“生态瓶内的植物能存活”、“生态瓶内的动物能存活”等较为全面的日常检验。例如,在自我评价单中,与之对应的第12题“在制作过程中,我和我的小组能根据实际情况搭搭配材料,尽可能用较少的材料达到较好的效果”、第14题“在制作完成后,我们有对生态瓶进行初步的检验,能够评价生态瓶是否符合要求”的自我评分分别达到了4.750分和4.781分。可见,学生的工程制作思维得到了发展。

在“工程总结思维”指标中,学生在“评价产品”、“反思表现”、“迭代优化”的二级指标的自我评价属于高级的程度。学生能对所制作的水生生态瓶提出看法,能结合自己小组的水生生态瓶的总结情况和他组的汇报想到改进水生生态瓶的办法。例如,在自我评价单中的第17题“我能从其他小组的发言中得到优化生态

瓶的启发,知道生态瓶的改进办法”中,学生的自我评价达到了4.750分。可见,学生的工程总结思维得到了发展。

综上所述,从自我评价单分析可以发现,学生达成了“工程思维”这一评价内容的一级指标和二级指标,从自我评价单的自评分数情况来看,学生在一级指标中,也就是工程决策思维、工程设计思维、工程制作思维、工程总结思维的发展程度为高级,可见此次教学研究在工程思维中的培养程度较高。

## (二) 工程学习单分析

由表4-4可知,一级指标赋分结果的总平均分分别为2.048分、2.143分、1.667分、2.048分,其中最高分与最低分相差0.476分,这些分数之间的起伏较大,不同的一级指标间存在一定的差距。因此可以推测学生的工程思维培养程度存在较大的差异,表现为工程决策思维、工程设计思维、工程制作思维和工程总结思维的培养程度不均。

工程思维培养程度不均的原因在于各工程教学阶段的教学时间与教学重点不同。工程设计是工程教学的核心,也是工程思维的重要组成部分,因此此次面向工程思维培养的小学科学教学在设计上突出了工程设计环节,并且为此安排了较多的设计活动,在实际课堂中,学生能有更多的时间以习得、锻炼工程设计思维。而相应的,针对工程决策阶段、工程制作阶段、工程总结阶段的教学时间就少于工程设计阶段的教学时间,因此工程决策思维、工程制作思维、工程总结思维的培养程度就与工程设计思维的培养程度产生了较大的差异。由于此次教学对象为六年级学生,其学习任务较多,可供展开教学研究的时间较少,在这样的背景下,本研究选取了工程设计阶段为重点教学阶段,以工程设计思维为重点教学内容展开教学实践研究。

### 1. 工程设计思维培养程度高

由表4-4可知,学生在“工程设计思维”这一指标的得分最高,达到了2.143分,二级指标的“产品结构”也在同级指标中所得分数最高,为2.857分由此可以看出,学生的工程设计思维培养程度高。经过此次教学研究,学生的工程设计思维得到了发展,工程设计能力得到了提升,习得了设计方法。

工程设计思维培养程度高的原因在于学生多次的设计与再设计活动。在工程学

习过程中,学生经历了个人的初次设计与多次的个人再设计,还在工程设计者的带领下开展了多次小组设计与再设计。学生的个人设计与小组设计分别体现在个人设计单和小组设计单之中。设计单是学生在情境与问题之中所产生的思考的延续,它体现了学生的统筹决策思维到创造性设计思维及个人探究将上升为创造性的设计思维。学生将科学、技术、工程、数学、生物、美术等学科加以整合,从而将头脑中的观念、想法、创意等子系统转变为较为完整的设计图事物。学生将生态瓶产品以图画的形式呈现在设计图上,此外还借助文字标注的形式突出了产品的特点,能对设计图进行评价。在展开工程设计的过程中,学生不仅呈现出了更加优化和完善的设计图,还充分结合了数学、科学、工程和技术等学科的知识,能进一步认识生态系统、动植物链状关系、生态瓶原理等知识并将这些知识运用于设计活动之中。

因此,此次教学研究对于工程设计思维的培养程度高,学生的工程设计思维与工程设计能力得到了发展,学生习得了设计方法,具备迭代设计的能力。

## 2.工程制作思维培养程度低

由表 4-4 可知,“工程制作思维”这一指标所得分数最低,的二级指标“产品检验”的总分仅达到 7 分,这与最高分的“产品结构”相差了 13 分。可见,“工程制作思维”中的“产品检验”是产生差距的主要原因。从表 4-3 中关于产品检验单的数据统计也可印证这一推论。从表 4-3 可知,获得等级为高级的小组有 1 个,等级为中级的小组有 5 个,等级为初级的小组有 1 个,所以小组间的等级差距较为明显。产品检验单是评估工程产品是否合格的依据,因此应对其进行探究。

从产品检验单中“初步检验”和“日常检验”的填写情况来看,各组在初步检验所获得的“笑脸”、“平静脸”、“哭脸”数量相当,而在“日常检验”中所获得的数量存在较大的不同,因此可以推测工程思维的培养程度存在差异的原因来自于水生生态瓶的日常运转情况,日常检验情况拉低了小组获得“笑脸”的数量。从观察记录单可以了解学生的日常观察情况。

如下图 4-5 所示的 4 月 14 日,水生生态瓶维持情况较好,表现为动物“活跃”、植物“生机勃勃”、瓶内“清澈”。但如下图 4-6 所示的 4 月 18 日,水生生态瓶出现了动物全部死亡、瓶内变得浑浊的现象。

时间	4月14日10时32分		天气	晴	温度	25℃	记录人	17
具体情况 1	动物	活跃 <input checked="" type="radio"/>			适中 <input type="radio"/>	微弱 <input type="radio"/>		
	植物	生机勃勃 <input checked="" type="radio"/>			适中 <input type="radio"/>	叶片枯萎 <input type="radio"/>		
	颜色	清澈 <input checked="" type="radio"/>			适中 <input type="radio"/>	浑浊 <input type="radio"/>		
	我们的发现	请将你们发现的细节写在这里吧！ 没有任何坏情况。						

图 4-5 4 月 14 日观察结果

时间	4月18日8时6分	天气	晴	温度	21℃	记录人	17
具体情况 5	动物	活跃●		适中●		微弱●✓	
	植物	生机勃勃●		适中●✓		叶片枯萎●	
	颜色	清澈●		适中●		浑浊●✓	
	我们的发现	请将你们发现的细节写在这里吧！ 水浑浊 鱼全死了					

图 4-6 4 月 18 日观察结果

观察结果在一定程度上证明了工程思维培养等级存在较大差异的原因在于水生生态瓶的日常运转情况不好。此外，从观察记录单和小组汇报来看，大部分小组的水生生态瓶的日常运转情况并不理想，出现了小鱼死亡数量较多的情况。对于学生来说，完成水生生态瓶的制作并不难，但如何确保水生生态瓶能长时间的维持运转却需要学生展开更深入的思考，这需要学生基于第一次的制作水生生态瓶的经验再次展开工程决策、工程设计、工程制作和工程总结的过程。

3.具体的工程思维得到培养

此外，从工程学习单的填写情况还可以看出此次教学研究还发展了学生具体的工程思维，如迭代优化思维、工程整合思维、权衡决策思维等。

(1) 迭代优化思维

工程教学要求学生具备基本的工程思维,“设计与再设计”是培养工程思维的重要环节,其放映了学生的迭代优化思维。在工程学习过程中,学生的迭代优化思维在经历多次的设计与迭代之后得到了相应的发展。

学生在多次设计的过程中进一步认识到了用户需求、成本、材料、技术、环境与生态保护等因素对于产品设计的要求。有的学生能够改变水草间的搭配以降低制作生态瓶的成本;有的学生能做出猜想和假设,认为通过调整水草与鱼的数量可以更好地维持生态瓶内的碳氧平衡;有的学生能够结合用户需求和检验标准选择合适的材料和工具。多次的设计与再设计让学生在迭代中优化自身的设计思路并学习他人的设计的方法,从而能更加全面地思考设计问题,在设计中发展迭代优化思维。

## (2) 工程整合思维

工程整合思维首先表现在工作知识的理解与应用。在开展个人设计之前,教师分发了“用户需求说明”和“材料简介”等两份包含工程知识的学习材料。在这份学习材料之中,工程产品的适配性、工程的用户需求和约束条件、工程产品的设计要求和检验标准等内容为工程学科知识;动植物的关系、生态瓶原理、水生生态瓶的构成等内容为科学学科知识;认识生态系统以及探究生态系统的组成等内容为生物学科知识;产品的实施与制作难度、考虑生态瓶的美观等内容为技术学科知识。学生需要通过自行阅读或与同伴讨论的形式以获得、整理、理解其中所包含的知识,并在学习过程中加以综合运用。

此外,生态瓶制作步骤说明单给出了生态瓶制作的基本步骤并在此基础上给出了一系列的思考问题,学生需要基于说明上的文字以及小组的交流与讨论进行填写。学生能通过收集和分析资料对给出的制作步骤进行思考与探究,从而得出思考问题的答案,在这样的过程中,学生能够进一步明确制作步骤的注意点,在交流、思考、讨论、回答的过程中不断提升整合思维的缜密性和完整性。

## (3) 权衡决策思维

在工程实践中,学生难以找到既能有效控制成本,又不影响水生生态瓶质量的最优解,因此只能在各自工程约束条件中做出权衡与比较,以寻找一个大致符合约束条件的结果。学生在面对设计要求与检验标准时需要进一步认识任务,学生需要考虑的因素随之增加,工程决策将进一步统筹化,相应的学生需要进行更加完善的权衡去决策,由此决策思维能得到了一定的发展,在此过程中也锻炼了学生的决策能力。



### 三、工程态度获得发展

#### （一）课堂观察分析

在课堂观察的过程中，学生的参与度高并表现出了好学乐学的态度。此次以制作生态瓶为主题的工程教学活动总计四个课时，笔者作为观察者全程参与了教学。遵循发挥学生主体性原则，在教学设计中考虑到了学生的差异性，既有难度较高的设计活动和检验环节，又有较为简单观察任务，使得全体学生都能有所体验，有所收获。实际的课堂教学以个人思考、小组合作和班级交流的混合形式展开，这意味着学生既能在个人学习活动之中形成思考，又能在小组合作中获得同伴的帮助，还能在以班级为单位的讨论环节或展示环节中获得成就感。因此在整体的教学过程之中，学生的参与度较高，大部分学生表现出了好学乐学的态度，能够直面困难并积极寻找办法解决困难和问题。

此外，在经历工程实践的过程中，学生能像工程师一样完成工程任务。与第一课时不同的是，学生在第二课时的学习中发展了更加具体的责任。在第二课时的教学中，角色分工是其中一个教学重点，其目的在于引导学生认识到工程团队与工程师个体的关系，即工程的成功离不开团队的合作，更离不开每个工程师的各司其职。一方面，在播放大坝倒塌的视频后，学生对该事故都做出了分析，发现事故的发生原因在于工程设计者的失误，既认识到了个体对工程的重要性，又认识到了工程的成功离不开团队合作。因此，在角色分工的过程中，学生能够根据自身的特长或个性特点选择合适的角色，学生认识到了作为工程师的团队责任和个体的责任。工程师的责任还表现为通过更少的成本、更快的速度、更高的质量以解决用户的需求，学生也达到了这一责任的要求，其认识到了不畏困难的工程师品质以及做到了设计与再设计的工程师责任在反复的设计中学生找到了控制成本的方法，也知道通过选择不同的动植物增加水生生态瓶的美观，在充分的讨论中学生吸收并结合了不同的优点提高了产品的质量，可见学生能够在体验工程师角色的过程中认识并发展了工程师对产品精益求精的责任。

在第三课时，笔者发现学生在选择材料和制作生态瓶的过程中都能严格以设计图为标准。在第三课时结束后，学生对各自制作的水生生态瓶进行了长达七天的观察，从各组提交的观察记录单以及笔者的观察可以看出，学生能认真、仔细地记录

水生生态瓶的变化过程，能根据观察结果清晰表达生态瓶的变化过程。而在第四课时的总结之中，各组学生能基于观察记录单实事求是地汇报结果，能基于结果进行思考、提问与回答。总体来看，已经具备了工程师的基本品质。

## （二）自我评价单分析

工程态度的评价指标为兴趣、责任、价值观，从自我评价单来看，这三个评价指标的培养程度均为高级。例如学生在与之相对应的第 18 题“我喜欢工程的设计与制作，我以后还想参与这样的活动”、第 8 题“从多次的设计中，我不畏惧设计中遇到的困难，能够找到办法解决困难，体会到了设计对于工程制作的重要性”、第 20 题“我觉得工程和工程师很重要，工程师能为社会做很多贡献”中分别获得的自我评价分数是 4.875 分、4.594 分、4.875 分。

从这些数据中可以推测，在总计四个课时的教学中，学生能够积极地参与到教学活动之中且具备较高的学习热情，每个学生都能作为不同的工程角色以真正参与到工程任务中，这意味着学生有发挥的机会与空间，其能在学习的过程中获得展示的机会。此外，此次的工程学习从真实的社会情境出发，学生能够基于自身已有的经验和同伴的帮助参与学习的全过程。因此，对学生来说，整个学习变得更有吸引力，学生也更乐于参与到思考、交流、讨论等活动，学生对于未来的工程学习表现出了明显的兴趣和很高的期待。可见，从教学过程中学生的表现和教学后的自我评价单中可以发现，此次的教学实践能够激发学生的学习兴趣，这对于学生进一步参与工程学习或发展其工程思维都具备推动作用。可见，此次教学研究在工程态度中的培养程度高。

## 第五章 面向工程思维培养的小学科学教学总结反思与建议

本章将对此次教学研究进行总结反思和建议，总结教学设计和实践的实施情况，分析其中存在的不足与问题并以此为基础提出具体的教学建议，以期为培养工程思维的小学科学教学提供一定的参考。

### 第一节 培养工程思维的教学设计与实施的总结反思

#### 一、教学设计与实施的总结

##### （一）培养工程思维的教学框架具备合理性

本研究基于文献分析，在建构主义学习理论、教学评一体化、工程设计流程、6E 设计型学习模式和克罗多纳双循环模型等理论和教学模式的指导构建的教学框架具备合理性，能够借助该框架进行面向工程思维培养的教学设计和实践。

一方面，依据“工程决策-工程设计-工程制作-工程总结”四个阶段构成的教学过程设计了“做个水生生态瓶”的教学目标、教学活动、学习单等内容，并且该教学设计顺利在小学课堂得到了实践，在实践过程中学生能在教师的引导下开展对应的工程学习活动。另一方面，通过分析学生的课堂表现、工程学习单和自我评价单等指标后发现学生在此次教学活动之后，工程知识与科学知识得到了整合，工程思维与习惯得到了培养，工程能力整体有了提升，与此同时还激发了学生对工程学习的兴趣，因此教学实践达成了教学目标。此外，在对工程学习单和自我评价单进行分析后，发现学生的工程思维都在不同程度上得到了培养与提升，这也印证了教学框架具备合理性，有助于培养并发展学生的工程思维。

##### （二）有助于发展学生的工程思维

工程思维的完整培养过程包括识别问题、前期研究、初步构思、分析想法、建造模型、检验优化和交流反思等环节，因此若要达到发展学生工程思维的目的则需

要在教学中安排完整的教学环节。而此次的工程教学设计与实践就涵盖了完整的环节，学生不仅需要运用科学知识与工程知识分析真实存在的问题，还需要在分析的过程中与同伴进行交流讨论以收集相关信息或发现新的问题，更需要掌握工程活动的整体设计理念并形成系统分析和比较权衡。在这样的过程中，学生的工程思维得到了发展与提升。

### （三）教学设计与实践具备学科深度整合的特性

此次教学研究遵循知识结构化的原则和跨学科教学理念，整合并统整了科学、工程、生物、技术等学科的相关知识，以此加强学科间的有机联系，通过工程产品的制作以培养学生的工程思维和工程能力，以多学科的知识介入发展学生综合运用各学科知识的能力。在教学过程的组织上，以小学科学教材中的“做个生态瓶”一课作为原始的学习材料，以“工程决策-工程设计-工程制作-工程总结”这样的阶段作为教学过程，以生物、工程、科学等学科知识作为脚手架，促使学生在制作水生生态瓶的过程中形成了学科知识的统整。从教学结果的评价情况来看，学生达到了综合运用知识的水平，可见此次教学设计与实践具备学科深度整合的性质。

## 二、教学设计与实施的反思

“做个生态瓶”的教学设计与实施通过引导学生经历较为完整的工程设计过程以发展学生的工程思维，本研究的教学设计与实施能够发挥作用且具备合理性。此外，学生在此次工程学习中获得的知识、能力、思维、价值观等内容将为其在初中阶段乃至高中阶段的生物、科学等学科学习打下基础。然而，本研究在设计和实施中也存在一定的问题。

### （一）学习单存在设计误区

在设计上，学习单内容不够简约，相关学习单的设计不够精炼且缺乏更为明确的引导性，使得学生难以通过学习单知道学习的重点与目的。此外，学习单的目标不够明确，影响了学生的自主学习和独立思考。此外，工程学习单数量偏多，这在一定程度上增加了学生的学习负担，还容易影响学生的学习兴趣。在设计上，应进一步体现教学评一致性原则，进一步将学习单的评价目标与教学目标联系起来，使

得评价方式能涵盖多种教学目标，增加学习单在对评价内容的指向性，从而达到精简评价学习单，减轻学生负担的作用。

### （二）缺少更为深入的总结与迭代活动

六年级学生即将毕业，学习任务较多且学习负担较重，在加上小学科学在每周的课时安排较少，因此从整体上看可供本研究开展的教学时间是有限的，这在一定程度上影响了教学活动展开。在“工程评价与总结反思”这一课时的“总结反思，形成迭代”的活动中，虽然部分小组已取得了较好的成果，但由于教学时间有限，学生对于水生生态瓶迭代的思路与办法仅通过口头表达和交流讨论的形式呈现，而不是将迭代思路加以实践，从而对水生生态瓶进行重新设计与制作，因此这一活动在实施上存在不足。但是，针对设计图的设计与再设计的迭代活动得到了深入的展开，学生在第一课时和第二课时中进行了多次的设计与再设计并呈现了相关思路，设计获得了较为深入的多次迭代。

### （三）教师引导作用的发挥存在不足

在实施教学过程中，教师搭建的学习支架作用不明显，缺少对工程知识、原理等基本概念进行深入讲解的环节，没有深入分析工程的用户需求、设计要求等限制条件，导致学生对工程限制条件的认识难以深入，例如学生认为只要成本不超过45元即可，而不考虑如何在不影响产品质量的前提下尽可能降低成本。因此在工程教学中，在给予学生自主性的同时应加强对教学内容的识别，针对不同的教学内容开展不同的引导，更好地发挥教师的引导作用，从而能够选择更好的教学方法。

### （四）教学秩序难以把控，课堂易混乱

小组合作学习是教学的主要组织形式，教学实施过于依赖学生的交流、讨论、对话，再加上部分学生不够自觉，会接着合作的机会做一些与课堂无关的事情，例如走神、开小差，课堂纪律难以长时间保持稳定，教学秩序易混乱，教学活动的推动也被影响。这增加了教师的教学负担，教师需要额外花更多的时间来维持正常的教学进度。

## 第二节 培养工程思维的教学建议

从上述总结与反思来看,当前的教学设计与实施存在一定的问题。基于此,本研究结合教学设计与实施过程中的教学过程、教学目标、教学活动、教学评价进行说明并针对现存问题提出四点教学建议,以期对未来进一步研究或相关研究提供基础。

### 一、明晰思维构成,提倡学科知识的深度整合

在素养教学中,无论是教学框架的构建还是教学过程的设计都需要明晰素养的具体构成。就工程思维而言,如若将其整体作为目标进行教学设计则会增加难度,与此同时也易造成教学评价结果过于宽泛,易忽视细节。因此,需要在分析当前文献和理论的基础上探究工程思维的构成。在工程思维的结构上,本研究将工程思维划分为工程决策思维、工程设计思维、工程制作思维和工程总结思维,在其的评价上,本研究将其设计为工程思维、工程知识、工程态度等内容,并将各内容作为小目标落实到工程学习单和自我评价单之中,这在降低设计难度的同时也保证了评价结果能有效反映培养工程思维这一总目标。

明晰思维构成还体现在教学目标的设计上。本研究将教学目标分为“科学与工程知识”层面、“工程思维与习惯”层面、“工程设计与制作”层面和“工程态度与责任”层面,这四个层面与工程思维的构成也存在一定的对应关系。从评价结果来看,此次教学研究在达成评价目标的同时也反映了教学目标。例如,通过课堂观察发现学生的问题意识得到了发展,能在整合知识的基础上主动开展探究,这一评价目标的达成呼应了“科学与工程知识”这一层面的教学目标。

此外,在越发强调跨学科理念的当下,我们更应发挥工程的综合性特点,在教学设计时遵循结构化原则以整合多学科知识。本研究整合了工程、科学、生物、技术等学科的相关知识,使得学生在单次的学习过程中获得并掌握了多学科知识,发展了学生综合运用知识的能力。值得注意的是,在进行学科整合时,应避免出现知识间的胡乱堆砌、简单罗列、机械重组等现象,而应基于一定的理论深入思考学科知识间的逻辑关系以寻找整合的生长点,从而将学科间知识有机地联系起来。

## 二、优化评价机制，开发教学评一体化的评价方式

传统的评价方式难以全面对工程思维展开评价，因此需要围绕教学目标和评价目标进行学习单或评价单等评价方式的设计与开发。本研究在此次面向素养培养的教学中，遵循教学评一体化的理念设计了工程学习单和自我评价单。不同的工程学习单对应着不同的工程角色，其的评价重点各不相同，例如“小组设计单”重在评价学生工程思维的培养程度及具体的工程思维的发展情况，产品检验单和小组设计图检验单重在评价学生工程能力的培养程度及具体工程能力的发展情况。因此，采取评价目的分类的评价方法能够从不同角度评价此次教学研究与实践对培养工程思维的有效性。本研究从工程思维、工程态度、工程知识等内容出发进行自我评价单中客观题的设计，每一道客观题都能有所对应，这是评价目标和教学目标相互影响的表现，这也在一定程度上增加了评价的针对性和有效性。

此外，本研究的评价设计遵循了多主体、多过程、多形式的设计原则。在评价主体上，本研究从评价目的出发，选择了授课教师、学生以及教学之外的观察者，即笔者本人作为评价者，多主体评价能丰富评价结果，但也会影响评价结果的指向性。在评价过程上则采用了过程评价和结果评价相结合的形式，这符合工程学习过程性和实践性的特点，能够从多方面反映学生的学习过程，从而探究学习结果背后的原因。在评价形式上，借助课堂观察、工程学习单、自我评价单进行分析，增加了评价的准确性。

但是，本研究中评价方式也存在一定的问题，表现为没有深入思考如何评价水生生态瓶的日常运转情况。在借助产品检验单评估学生的工程能力时，由于水生生态瓶的日常运转情况不好使得日常检验结果偏差，从而对工程能力培养程度的评价造成了较大的影响。因此在进一步或相关研究中，应该进一步完善评价机制，在设计评价方案时应对产品的初步检验和深入检验加以区分。

## 三、突出工程迭代过程，完善工程思维的培养环节

本次教学突出了工程设计与再设计的过程，引导学生在重复多次的设计中学习设计方法，发展设计能力，提升设计思维，但是由于教学时间有限并未设计重新制作水生生态瓶的产品迭代环节，对“水生生态瓶”这一工程产品的总结与反思仅停

留在表层，这使得难以探究学生工程思维的进一步培养情况。

因此，可在现有过程及相关活动的基础上完善工程思维的培养环节，可以从以下两种思路加以改进。第一，在原有的“工程总结阶段”后增加“产品迭代阶段”并从迭代产品的需要出发设计相应的教学活动；第二，带领学生重新经历“工程决策-工程设计-工程制作-工程总结”这一完整的工程学习过程。这两种方法各有优缺点，第一种的优点在于学生仅需经历“产品迭代”这一阶段，也就是说学生只需根据检验结果和观察发现重新制作一个水生生态瓶即可，该种思路所需课时较少，适用于检验情况较好的情况，但对工程思维的再评价效果低于第二种思路。第二种思路适用于检验结果较差的情况，学生需要重新进行决策、设计、制作、总结以便从整体上改进水生生态瓶的制作，所需的教學时间较多，但能对学生工程思维的进一步培养情况进行评价。对于教学设计者来说，需要根据学生初次的产品检验结果和实际教学时间来选择使用何种思路以完善培养环节。

#### 四、合理选择策略，构建高效的合作化课堂

构建合作化课堂为学生在工程学习的过程中提供了相互了解、相互交流、相互了解的机会。每个学生都能在作为工程师的基础上表达意见与想法，学会以开放的心态倾听他人的意见，从而相互学习长处和短处，共同提高自己的工程师素质。但是在真实课堂中，合作化学习存在一定的弊端。在教学过程中的很多环节似乎是合作的，却不是真正意义上的小组合作，表现为小组内部的工程师缺乏沟通和课堂秩序的混乱。因此，教学者应采用一定的策略以构建高效化的合作学习课堂。一方面，教师仍然要发挥引导者的作用，在学生开展合作学习时把握小组合作的内容及方向；另一方面，教师要帮助学生明确合作的目标和任务，在教学中强调良好的合作习惯，使得学生小组形成较为正规的学习机制。真正高效的合作化课堂能帮助学生形成更全面、更高层次的工程思维，作为教师，作为具备工程教学素养的教师应该积极探索在工程思维培养教学中开展合作学习的办法。



## 总结与展望

### 一、研究总结

本研究是以国内外相关文献与实践案例、建构主义等理论、6E 设计型学习模式等模型为依据,以制作“模拟水生生态系统的装置”为工程学习任务,以培养小学生工程思维为目标进行的教学尝试与探索,在研究过程中主要取得了以下成果:

第一,通过对国内外相关文献的分析,梳理了关于培养工程思维相关研究的理论进展和实践进展,明晰了工程思维的内涵及结构要素。通过对国内外文献的分析与整理,发现当前的工程思维培养教学得到了较为深入的发展,但针对小学阶段的工程思维培养教学研究较少。当下工程思维培养实践重心为学科整合和工程设计,但大部分的教学设计与实践存在未实现学科深度整合的问题,而这也成为了本研究的研究方向。

第二,基于工程思维培养的教学现状以及国内外相关课程标准的要求,建构主义、教学评一体化、工程设计流程等理论和 6E 设计型学习模式等教学模式的启发,本研究构建了面向工程思维培养的小学科学教学框架,包含了教学内容选择、教学目标设计、教学过程设计、教学评价设计等五部分内容。以该教学框架为基础设计并实施了“做个生态瓶”的教学案例,该案例包含前期分析、课时教学设计、工程学习单的开发、教学工具等方面的内容。从后期的教学评价结果来看,本研究所构建的教学框架和所设计的教学案例具备合理性,能培养学生的工程思维。

第三,“做个生态瓶”教学案例在小学展开了总计四个课时的实践,借助课堂观察、自我评价单、工程学习单等方式进行分析,发现学生在工程思维、工程态度、工程知识等维度都获得了不同程度的发展,更为重要的是学生对于工程和工程学习的兴趣得到了激发,这对于学生进一步参与工程学习或工程活动具备推动作用。最后,通过教学设计和实践中的总结与反思提出教学建议,希望为未来进一步研究或一线教师开展相关教学研究打下一定的基础。

### 二、不足与展望

从教学实践过程及教学评价结果来看,本研究取得了一定的成果,但作为培养

工程思维的教学尝试与探索，也存在许多不足之处。

第一，教学样本不足且来源不够丰富。本研究以 Q 小学的一个六年级毕业班作为研究样本，而市区小学学生的身心发展和认识经验与其它地区的学生存在差异，这可能导致教学评价的结果缺乏足够的代表性。后续研究应扩大样本，从而能够更全面地开展培养工程思维的小学科学教学设计与实践的研究。

第二，教学环节的设计存在一定问题。由于笔者缺乏实际教学经验，使得部分教学环节的设计缺乏针对性，因此实际教学过程出现了预设和生成上的误差，例如在教学过程中采取学生自主阅读“用户需求说明”的方式使得其对用户需求的理解不够深入。因此，在教学环节的设计上应进一步考虑学生的学情与认知经验，使得教学环节更具适切性。

第三，研究时间有限。由于六年级学生即将毕业，其学习任务较重，再加上人力、教学场地的限制，可供本研究展开教学实践的时间较短，因此有部分内容难以深入进行。后续研究应更好地统筹时间安排，使得教学实践活动更加完整和全面。

小学工程思维培养教学还存在丰富的研究价值和研究空间，希望未来有更多的研究者和一线教师能对其展开探讨与研究。

## 附录

### 附录一 自我评价单

亲爱的同学，你好！

姓名：

恭喜你完成了生态瓶的设计和制作工作，下面的题目可以帮助你认识到自身在此次学习中的表现。

**第一部分：**完全符合、基本符合、一般符合、基本不符合、完全不符合表示五个从高到低的等级，请你根据实际情况在对应等级下方“√”。

序号	题目	完全符合	基本符合	一般符合	基本不符合	完全不符合
1	我能够理解生态观察员提出的任务情境，能联系实际并明确在制作生态瓶过程中需要解决的问题。					
2	我能在用户需求、成本、材料等约束条件下完成生态瓶的设计和制作工程，认识并掌握影响生态瓶制作的要素。					
3	我知道这次学习任务是生态观察员制作水生生态瓶，能将大任务分解成多个小任务加以实施。					
4	我能想象出很多种生态瓶的样子，能将我脑海中想到的生态瓶样子画下来。					
5	我能反思设计是否符合要求和检验标准，能够发现设计中的不足并加以修改与优化，能全面考虑约束条件的影响。					
6	在设计过程中，我用到了食物链、生态系统等知识。					
7	在设计过程中，我学会了设计的方法和技巧，知道文字可以辅助设计，使得设计图变得更好理解。					
8	从多次的设计中，我不畏惧设计中遇到的困难，能够找到办法解决困难，体会到了设计对于工程制作的重要性。					

9	我和我的小组能按照设计图进行制作，然后根据实际情况不断完善、修改设计图。					
10	在制作中，我们有清晰的制作方案和步骤。					
11	在制作过程中，我能和我的同伴开展良好的合作，我们有充足的沟通和交流。					
12	在制作过程中，我和我的小组能根据实际情况搭配材料，尽可能用较少的材料达到较好的效果。					
13	在制作生态瓶的过程中，我和我的小组能积极动手，不怕失败。					
14	在制作完成后，我们有对生态瓶进行初步的检验，能够评价生态瓶是否符合要求。					
15	我们能在日常中坚持观察生态瓶，能及时发现它的变化，能和同伴合作做好观察记录工作。					
16	我们能清晰地知道小组生态瓶的特色、制作过程、优点和不足，能向别人分享在设计和搭建过程中的心得和体会。					
17	我能从其他小组的发言中得到优化生态瓶的启发，知道生态瓶的改进办法。					
18	我喜欢工程的设计与制作，我以后还想参与这样的活动。					
19	我认为我学到了很多知识，这些知识能运用到别的学科中。					
20	我觉得工程和工程师很重要，工程师能为社会做很多贡献。					

## 第二部分：请你根据实际情况回答下方的问题。

1. 通过这两周总计四个课时的生态瓶的设计、制作等活动，你印象最深刻的地方是什么？
2. 在四个课时的学习中，你觉得你哪里做的最好？为什么？
3. 在四个课时的学习中，你觉得你哪里做的还不够？
4. 此次的学习，你最大的收获是什么？

## 附录二 小组设计图检验单

亲爱的工程检验者你好！你需要借助这里的检验单对小组最终的设计图进行检验，请秉持公平公正原则。

分类	设计要求	意见
用户需求	1. 设计满足密封且便于观察的特点。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
	2. 设计包含了生物和非生物成分。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
	3. 在设计过程中运用到了生物关系、食物链等相关知识。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
成本	1. 控制生态瓶的成本，不超过 45 元。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
	2. 在不影响生态瓶质量的情况下尽可能降低了成本。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
材料	1. 材料的选择考虑到了生物品种的搭配与数量问题。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
	2. 生态瓶的容器适中，既不会太大也不会太小。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
	3. 所选择的材料能够模拟真实的水生生态系统。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
技术	1. 设计的生态瓶很美观。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
	2. 设计时考虑到了产品的实施与制作难度。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
	3. 设计中标出了材料的名称与数量。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
环境	1 设计时选择了可循环利用的材料。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
	2. 考虑了生态瓶制作完成后的处理问题，如应如何妥善安置小鱼。	<input type="radio"/> 符合 <input type="radio"/> 不符合
<p>意见与评价：</p> <p>小组的设计是否达到了设计要求？哪些方面达到了设计要求，哪些方面没有达到呢？请工程检验者做出简要评价。</p> <p>因此，我认为这个设计图<input type="radio"/>可以 <input type="radio"/>不可以进行制作。          签名：</p>		

## 附录三 产品检验单

亲爱的工程检验者你好！请你结合实际以打“√”的形式进行检验。（笑脸、平静脸和伤心脸分别表示从高到低的等级。）

	标准			
初步检验	生态瓶的成本不超过 45 元。 说明：20-30 元得笑脸，30-40 元得平静脸，40 以上得伤心脸。			
	生态瓶内的植物搭配有美感，高低错落有致。 说明：动植物的颜色、摆放、搭配都合适得笑脸，有两种合适得两平静脸，只有一种合适或都不合适得伤心脸。			
	所制作的生态瓶应与设计图一致，材料、摆放等。 说明：生态瓶与设计图完全一致得笑脸，大部分一致得平静脸，基本一致得伤心脸。			
	生态瓶的制作时间不超过 15 分钟。 说明：15 分钟以内得笑脸，15-20 分钟得平静脸，20 分钟以上得伤心脸。			
	生态瓶内至少要有 4 种不同类型的动植物。 说明：超过 4 种得笑脸，4 种得平静脸，1-3 种得伤心脸。			
	生态瓶内的水、小石子、水草泥的比例必须合理，水>水草泥>小石子。 说明：水的总量大于水草泥且不超过三分之二得笑脸，水的总量大于水草泥但超过三分之二得平静脸，水的总量与水草泥的总量大致相等得伤心脸。			
日常检验	生态瓶的运转时间不少于 7 天。 说明：7 天得笑脸，4-6 天得平静脸，4 天以下得伤心脸。			
	生态瓶内的植物能够存活。 说明：所有植物都存活得笑脸，一种植物腐烂或死亡得平静脸，两种或超过两种腐烂或死亡得伤心脸。			
	生态瓶内的动物能够存活。 说明：所有小鱼都存活得笑脸，一只小鱼死亡得平静脸，超过两只死亡得伤心脸。			
	第 7 天时，生态瓶内的水要保持清澈的状态。 说明：保持 7 天得笑脸，4-6 天得平静脸，4 天以下得伤心脸。			
小组：		检验者：		

## 附录四 小组设计单

小组名称：\_\_\_\_\_ 设计者：\_\_\_\_\_ 第1页

请工程设计者结合组内成员的个人设计图，取长补短地画出小组的设计图。请用铅笔画出设计图。在设计图上标出你所使用的材料及其对应的名称与数量，可在旁边备注注意事项。

所选材料（请在“\_\_\_\_\_”写上材料名称、数量，并算出最终的成本）

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

总计：\_\_\_\_\_元

小组初次设计展示区：

小组名称：\_\_\_\_\_ 设计者：\_\_\_\_\_ 第2页

在听了其他小组的分享后，请思考并完成以下问题：

**问题一：**结合“用户需求说明”你们小组所设计的生态瓶好在哪里？有哪些不足？请举例说明？

**问题二：**这些不足可以怎么改进呢？请在下方以再设计的形式呈现你们优化后的小组设计图。

**所选材料**（请在“\_\_\_\_\_”写上材料名称、数量，并算出最终的成本）

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

总计：\_\_\_\_\_元

小组再设计区：

现在，请**工程检验者**借助“检验单——小组设计图”对优化后的设计进行检验。

你知道吗？一项工程需要经历无数次的失败并突破重重困难才能成功，正视失败，不畏困难也是工程师的重要品质哦！



## 附录五 生态瓶制作步骤说明单

亲爱的工程制作者你好！

请你阅读下面的参考步骤，思考对应的问题，并在相应位置写出你的回答。

温馨提示：在制作过程中你可以参考以下的制作步骤，但还是要结合用户需求、检验标准以及你们小组的基本情况进行制作哦。



步骤	思考问题	你的回答
检查材料是否完备		
放入底沙与小石子	要放入多少底沙？合适的厚度是多少？底沙是否需要保持平整？	
用镊子种植水草	用镊子夹起水草时有哪些注意点呢？	
加入水与小鱼	需要注意加水的速度吗？应该快速加水还是缓慢加水呢？水应该加多少？	
拧紧瓶盖	拧紧瓶盖前需要重新检查生态瓶的内部情况吗？如需，哪些需要检查？	

作为工程制作者，你需要形成自己的产品制作思路，现在请将你的思路展现在下方，可以用文字、流程图等样的形式表现。

## 附录六 观察记录单

亲爱的工程介绍者你好！

为了了解生态瓶的变化，你需要在每天带领小组成员一起观察和讨论生态瓶的变化，下方的记录单可以帮助你完成每天的记录工作。（○处打请打“√”）

注：周六、周日两天可不用记录，但是要在“具体情况 2”处备注这两天的变化

时间	月__日__时__分	天气		温度		记录人	
具体情况 1	动物	活跃○ 适中○ 微弱○					
	植物	生机勃勃○ 适中○ 叶片枯萎○					
	颜色	清澈○ 适中○ 浑浊○					
	我们的发现						
时间	月__日__时__分	天气		温度		记录人	
具体情况 2	动物	活跃○ 适中○ 微弱○					
	植物	生机勃勃○ 适中○ 叶片枯萎○					
	颜色	清澈○ 适中○ 浑浊○					
	我们的发现						
时间	月__日__时__分	天气		温度		记录人	
具体情况 3	动物	活跃○ 适中○ 微弱○					
	植物	生机勃勃○ 适中○ 叶片枯萎○					
	颜色	清澈○ 适中○ 浑浊○					
	我们的发现						

时间	月__日__时__分	天气		温度		记录人	
具体情况 4	动物	活跃○ 适中○ 微弱○					
	植物	生机勃勃○ 适中○ 叶片枯萎○					
	颜色	清澈○ 适中○ 浑浊○					
	我们的发现						
时间	月__日__时__分	天气		温度		记录人	
具体情况 5	动物	活跃○ 适中○ 微弱○					
	植物	生机勃勃○ 适中○ 叶片枯萎○					
	颜色	清澈○ 适中○ 浑浊○					
	我们的发现						

## 附录七 用户需求说明

设计 要求	<p><b>用户需求:</b></p> <p>1.生态瓶必须满足密封且便于观察的特点; 2.生态瓶内应包含生物和非生物两种成分; 3.利用生物关系等知识使得生态瓶的水保持清澈状态并保证生物的活力, 即保证生态瓶至少能在 7 天内正常运转。</p> <p><b>成本:</b></p> <p>1.控制生态瓶的成本; 2.在不影响生态瓶质量的情况下尽可能降低成本。</p> <p><b>材料:</b></p> <p>1.材料的选择应考虑生物品种的搭配与数量问题; 2.生态瓶的容器应适中, 切忌过大; 3.所选的材料应尽可能模拟真实的水生生态系统。</p> <p><b>技术:</b></p> <p>1.应考虑生态瓶的美观; 2.设计时应考虑产品的实施与制作难度; 3.在设计中应标出材料的名称与数量。</p> <p><b>环境与生态保护:</b></p> <p>1.避免资源浪费, 尽可能选择可循环利用的材料; 2.考虑生态瓶制作完成后的处理, 如应如何妥善安置小鱼;</p>
检验 标准	<p><b>初步检验:</b></p> <p>1.生态瓶的成本不超过 45 元。</p> <p>2.生态瓶内的植物搭配有美感, 高低错落有致。</p> <p>3.所制作的生态瓶应与设计图一致, 如材料、植物摆放等。</p> <p>4.生态瓶的制作时间不超过 15 分钟。</p> <p>5.生态瓶内至少要有 4 种不同类型的动植物。</p> <p>6.生态瓶内的水、小石子、水草泥的比例必须合理, 水&gt;水草泥&gt;小石子。</p> <p><b>日常检验:</b></p> <p>1.生态瓶的运转时间不少于 7 天。</p> <p>2.生态瓶内的植物能够存活。</p> <p>3.生态瓶内的动物能够存活。</p> <p>4.第 7 天时, 生态瓶内的水要保持清澈的状态。</p>

## 附录八 材料简介



名称：圆柱塑料瓶  
高度：30cm、13cm、5cm  
直径：8cm  
单价：15元/个、5元/个、3元/个



名称：镊子  
长度：30cm  
单价：5元/个



名称：水草泥  
单价：2元/份



名称：沙子  
单价：2元/份



名称：小石子  
单价：1元/份



名称：芝麻萍  
直径：1cm  
单价：2元/份



名称：牛毛坨草  
高度：5cm  
单价：5元/份



名称：皇冠草  
高度：30cm  
单价：9.9元/株



名称：珍珠坨草  
面积：2平方厘米  
单价：4元/份



名称：雪花草  
高度：8cm  
单价：3元/份



名称：红/黄斑马鱼  
长度：2cm  
单价：3元/只



名称：三角灯  
长度：2cm  
单价：2元/只



名称：孔雀鱼  
长度：10cm  
单价：15元/只



名称：巴西龟  
长度：13cm  
单价：15元/只



名称：泰国青椒  
高度：7cm  
单价：3元/份

**镊子：**用于种植生态瓶所需的植物

**水草泥：**用于模拟水生生态系统中的泥沙，可以用来固定植物，帮助植物生长。为人工合成产品，有肥力。

**沙子：**功能类似于水草泥，更接近水生生态系统的泥沙，但缺乏肥力。

**小石子：**用于更好地固定植物，使其不易飘荡。

注：在选择材料时必须考虑设计要求和检验标准哦！材料的成本与适配性也需要慎重考虑哦！自然中（池塘、小溪、小河）水源是最适合的，尽量不要选择自来水作为生态瓶的主要用水。



## 参考文献

### 标准

- [1] 中华人民共和国教育部.科学(3~6 年级)课程标准(实验稿)[S].北京:北京师范大学出版社,2001.
- [2] 中华人民共和国教育部.义务教育小学科学课程标准[S].北京:北京师范大学出版社,2017.
- [3] 中华人民共和国教育部.普通高中通用技术课程标准(2017 年版 2020 年修订)[S].北京:人民教育出版社,2020.
- [4] 中华人民共和国教育部.义务教育科学课程标准(2022 年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022.

### 著作

- [1] National Research Council. Next Generation Science Standards [M]. Washington D C: The National Academies Press,2013.
- [2] National Assessment Governing Board Technology ang engineering literacy framework for the 2014 national assessment of educational progress[M]. Washington D C: NAGB,2013.
- [3] Nation Academy of Engineering ang National Research Council. Standards for K-12 Engineering Educating? [M]. Washington, D.C.: National Academies Press,2010.
- [4] Jolly Anne. STEM Activities for Grades 4-8[M].Taylor and Francis:2016.
- [5] James R M, April M M, Luciana R B. Engineering Better Projects, chapter, STEM Project-Based Learning[M]. Sense Publishers,2013.
- [6] 徐长福.理论思维与工程思维——两种思维方式的僭越与划界[M].上海:上海人民出版社,2002.
- [7] 李艳燕,黄志南.STEM 创新教学模式与实践[M].北京:电子工业出版社,2019.
- [8] Bucciarelli, L. L. Between thought and object in engineering design. Design Studies[M],2002.
- [9] 席酉民.大型工程决策[M].贵州:贵州人民出版社,1988.

[10]皮连生.教育心理学[M].上海:上海教育出版社,2004.

## 学术期刊

- [1] 简新华,王裕国,马骁,刘锡良,孟捷,陈龙,李萍,王擎,盖凯程,毛中根.学习阐释中国共产党二十大报告笔谈[J].财经科学,2022(11):1-26.
- [2] 余慧娟,钱丽欣.为培养时代新人构建高质量育人体系—教育部教材局局长田慧生详解义务教育课程方案和课程标准(2022年版)[J].人民教育,2022(09):13-17.
- [3] 喻伯军.《义务教育科学课程标准(2022年版)》的主要特点与教学建议[J].教学月刊小学版(综合),2022(05):17-21.
- [4] 李曼丽.用历史解读 CDIO 及其应用前景[J].清华大学教育研究,2008,(05):78-87.
- [5] 陈冬松,孙阳春.CDIO 工程教育模式下的工科院校人才培养途径[J].现代教育管理,2011,(11):34-37.
- [6] 顾佩华,胡文龙,林鹏,包能胜,陆小华,熊光晶,陈严.基于“学习产出”(OBE)的工程教育模式——汕头大学的实践与探索[J].高等工程教育研究,2014,(01):27-37.
- [7] 杨玉琴,倪娟.工程设计:STEM 课程整合的有效途径[J].上海教育科研,2017,(10):45-49.
- [8] 余胜泉,吴澜.证据导向的 STEM 教学模式研究[J].现代远程教育研究,2019,31(05):20-31+84.
- [9] 何善亮,中小学工程教育的价值、内容与途径[J].教育科学研究,2020(10).70-72.
- [10] 苗莹莹.小学科学课程中工程思想的研究[J].教育,2020(11):38.
- [11] 王长江,盛洋,安秋.基础教育阶段的工程教育:目标框架与实施建议[J].天津师范大学学报(基础教育版),2019(04):40-45.
- [12] 骆晨.浅谈基于木工制作培养小学生的工程思维[J].现代教学,2019,(S2):63-64.
- [13] 李永胜.论工程思维的内涵、特征与要求[J].洛阳师范学院学报,2015.34(04):12-18.
- [14] 张朝晖.“尚理”引领的工程素养培育特色高中建设探索[J].上海教育科研,2020.(11):28-31.
- [15] 周玲,孙艳丽,马晓娜等.上海高校学生工程素养调查报告[J].高等工程教育研究,2016(5):106-111.
- [16] 韦斯林,贾远娥.美国科学教育研究新动向及启示——以“学习进程”促进课程、教学与评价的一致性[J].课程·教材·教法,2010,30(10):98-107.



- [17]张萌,陈旭远.知识结构化教学的实践策略[J].教育理论与实践,2023,43 (11):43-46.
- [18]周玉芝.指向科学教学改进的科学实践活动课程的设计原则[J].化学教育(中英文), 2018,39(11):10-14.
- [19]刘晟,刘恩山.学习进阶:关注学生认知发展和生活经验[J].教育学报,2012(2):81-87.

## 学位论文

- [1] 王颖.普通高中机器人教学中培养学生工程思维的行动研究[D].南京师范大学,2015.
- [2] 宋蕊.促进初中生工程思维发展的科学课程整合工程实践的实证研究[D].华东师范大学,2019.
- [3] 陈航.高中通用技术学科核心素养之工程思维的评价研究[D].南京师范大学,2020.
- [4] 吴婧姗.基于集成的工程教育模式研究[D].浙江大学,2014.
- [5] 白雪双.基于 STEM 的小学科学课程教学设计[D].陕西师范大学,2018.
- [6] 潘华靖.基于科学实践的小学科学教学设计研究[D].导师:潘洪建.扬州大学,2017.
- [7] 王浩.项目教学法在小学科学课程教学中的应用研究[D].宁夏大学,2014.
- [8] 王奇伟.小学 STEM 课程中工程思维培养的教学设计研究[D].上海:上海师范大学,2016.
- [9] 张泽晖.STEM 理念下面向小学生的工程思维培养活动模型设计与实践研究[D].河北大学,2019.
- [10]邓玉超.基于工程思维培养的小学创客课程教学设计与实践[D].宁夏大学,2023.
- [11]袁晓静.面向工程思维培养的小学机器人教学研究[D].上海师范大学,2020.
- [12]朱丽佳.小学科学课程的实施问题与对策研究[D].扬州:扬州大学,2020.
- [13]赵美岚.工程思维探析[D].南昌大学,2006.
- [14]王玉.六年级学生工程思维培养的实证研究[D].重庆师范大学,2021.
- [15]吴迪.面向学前儿童工程思维培养的 STEAM 活动设计研究[D].广州大学,2022.
- [16]杨晨.基于学习进阶的小学工程教育内容框架建构的研究[D].导师:顾建军;冯毅.南京师范大学,2021.

## 电子文献

- [1] National Science Board. Vision 2030[EB/OL].(2020-05-20)[2021-11-22]. <https://www>

w.nsf.gov/nsb/publications/2020/nsb202015.pdf.

- [2] 中华人民共和国中央人民政府.国务院关于印发全民科学素质行动纲要(2021-2035 年)的通知[EB/OL].(2021-6-3)[2023-4-24].[http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content\\_5623051.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5623051.htm).
- [3] Museum of Science, Boston. The Engineering Design Process[EB/OL].[2024-3-20].<https://www.mos.org/about>.
- [4] National Curriculum for England: Science Curriculum [EB/OL].(2015-05-06)[2023-6-22]. <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study>.
- [5] NAEP.SCIENCE Framework for the 2019 National Assessment of Educational Progress [EB/OL].(2019-10-30)[2024-3-21].<https://www.nagb.gov/content/nagb/en/documents/publications/frameworks/science/2019-science-framework.pdf>
- [6] National Assessment Governing Board. 2018 Technology and Engineering Literacy Framework[EB/OL]. (2019-4-30)[2023-6-23] <https://www.nagb.gov/content/dam/nagb/en/documents/publications/frameworks/technology/2018-technology-framework.pdf>.

## 外文文献

- [1] Schauble et al. Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation [J]. Journal of Research in Science Teaching.1991,28(9):859-82.
- [2] Wendell, Kristen Bethke; Wright, Christopher G. Paugh, Patricia. Reflective Decision-Making in Elementary Students' Engineering Design[J]. Journal of Engineering Education,2017,106(3):356-397.
- [3] Siew Nyet Moi, Ambo Norjanah. Development And Evaluation of an Integrated Project-based and STEM Teaching and Learning Module on Enhancing Scientific Creativity Among Fifth Graders[J]. Journal of Baltic Science Education,2018,17(6).
- [4] So Yoon Yoon, Anne M. Lucietto, Brenda M. Capobianco, Melissa Dyehouse, Heidi A. Diefes-Dux. The Effects of Integrated Science, Technology, and Engineering Education on Elementary Students' Knowledge and Identity Development[J].Effects of I

- Integrated STEM Education on Students,2014 114(8):380-391.
- [5] Cunningham C M, Lachapelle C P, Brennan R T, et al. The impact of engineering curriculum design principles on elementary students' engineering and science learning [J]. Journal of Research in Science Teaching,2020,57(3).
- [6] Kelley T R, Knowles J G.A conceptual framework for integrated STEM education[J]. International Journal of STEM Education,2016,3(1):1-11.
- [7] Hynes M., Portsmore M , Dare E.,Milto E., Rogers C, Hammer D,Carberry A. Infusing engineering design into high school STEM courses[J].National Center for Engineering & Technology Education,2011:8-9.
- [8] Mc Cormick M E, Hammer D. Stable beginnings in engineering design[J]. Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER),2016,6(1):4.
- [9] English L D, King D T. STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace[J]. International Journal of STEM Education,2015, 2(1):14.
- [10]Tamara J. Moore. A Framework for Quality K-12 Engineering Education: Research and Development[J]. Journal of Pre-college Engineering Education Research.2014,4 (1):1-13.
- [11]Tamara J. Moore. A Framework for Quality K-12 Engineering Education: Research and Development[J]. Journal of Pre-college Engineering Education Research.2014,4 (1):1-13.
- [12]MD Burghardt. Interconnected STEM with Engineering Design Pedagogy[J].jee.asee.org,2013.
- [13]Cunningham, M., Lachapelle, C.P. Designing Engineering Experiences to Engage All Students[J]. Educational Designer,2016,3(9).
- [14]Sean. Brophy, Stacy. Klein, Merredth. Portsmore, Chris.Rogers. Advancing Engineering Education in P-12 Classrooms[J]. Journal of Engineering Education,2008,369-387.
- [15]Guzey S. S., Ring-Whalen E. A., Harwell M., et al. Life STEM: A Case Study of Life Science Learning Through Engineering Design[J].Int J Sci Math Educ,2019,(17):23.
- [16]Kolodner J L, Camp P J, Crismond D, et al. Problem-based Learning Meets Case-bas

- ed Reasoning in the Middle-school Science Classroom: Putting Learning by Design (tm) into Practice[J]. The Journal of the Learning Sciences,2003(4):495-547.
- [17]Apedoe X S, Reynolds B, Ellefson M R, Schunn C D. Bringing Engineering Design into High School Science Classrooms: The Heating/Cooling Unit[J]. Journal of Science Education and Technology,2008(5):454-465.
- [18]Fortus D, Dershimer R C, Krajcik J, Marx R W, Mamlok-Naaman R.Design-based Science and Student Learning[J].Journal of Research in Science Teaching,2004(10):1081-1110.
- [19]National Academy of Engineering. Engineering in K-12 Education:Understanding the Status and Improving the Prospects[J]. Insight,2010,13(3):8-10.
- [20]Burke, Barry N. The ITEEA 6E Learning by design[TM] Model: Maximizing Inform ed Design and Inquiry the Integrative STEM Classroom [J]. Technology and Engineering Teacher,2014,73(6):156-183.
- [21]Janet, L, Kolodner. Facilitating the Learning of Design Practices: Lessons Learned from an Inquiry into Science Education[J]. ISU Re D: Research and e Data,2002,39(3).
- [22]Cunningham etal. Epistemic Practices of Engineering for Education[J]. Science Education,2017,101(3).

## 报告

- [1] National Academy of Engineering and National Research Council of the National Academies. Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects[R]. Washington, DC: National Academies Press,2009.