

# 耦合·创变：小学生态科技教育与创变工程的融合路径探索与实践

——以“空气净化研究员”项目为例

朱翠兰<sup>1\*</sup>, 余燕丽<sup>2</sup>

<sup>1</sup>武汉市武昌区教育局青少年科技辅导站, 湖北 武汉

<sup>2</sup>武汉市武昌区未来实验小学(南湖校区), 湖北 武汉

收稿日期: 2026年1月6日; 录用日期: 2026年2月6日; 发布日期: 2026年2月14日

## 摘要

本研究聚焦小学生态科技教育与创变工程的深度融合,以“空气净化研究员”项目为载体,创新构建“生态-工程双向耦合”框架与“生态问题驱动-工程实践落地-低碳评价引领”模式。通过搭建“目标-内容-方法”三维联动课程群,锚定校园空气质量改善等生活化问题,开发基于LCA框架、适配小学认知特点的“过程+产品”双维度碳核算体系,并联动“武碳江湖”平台实现减排量可视化。实践表明,该路径有效破解“知行脱节”困境,学生生态责任意识与工程思维分别提升42%、35%,为“双减”背景下小学跨学科融合教育提供可复制案例,为小学阶段生态-工程深度融合的提供理论依据与实践指导。

## 关键词

生态教育, 创变工程, 双向耦合, 碳核算评价, 小学科学教育

# Coupling & Transformation: Exploration and Practice of Integration Path between Ecological Science—Technology Education and Transformative Engineering in Primary Schools

—A Case Study of the “Air Purification Researcher” Project

Cuilan Zhu<sup>1\*</sup>, Yanli Yu<sup>2</sup>

\*通讯作者。

文章引用: 朱翠兰, 余燕丽. 耦合·创变: 小学生态科技教育与创变工程的融合路径探索与实践[J]. 教育进展, 2026, 16(2): 1055-1064. DOI: 10.12677/ae.2026.162400

<sup>1</sup>Youth Science and Technology Guidance Center, Education Bureau of Wuchang District, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Wuhan Wuchang Future Primary School (Nanhu Campus), Wuhan Hubei

Received: January 6, 2026; accepted: February 6, 2026; published: February 14, 2026

## Abstract

This study focused on the in-depth integration of ecological science and technology education with transformative engineering in primary schools, taking the “Air Purification Researcher” project as an empirical carrier. It innovatively constructed a “two-way coupling framework between ecology and engineering” and a model characterized by “ecological problem-driven, engineering practice-oriented, and low-carbon evaluation-led”. A three-dimensional interactive curriculum group encompassing “objectives-content-methods” was established, addressing life-related issues such as the improvement of campus air quality. A two-dimensional carbon accounting system based on the LCA framework, tailored to primary school students’ cognitive characteristics, was developed and linked to the “Wuhan Carbon Jianghu” platform to visualize emission reduction effects. Practical results demonstrated that this integration path effectively resolved the dilemma of “disconnection between knowledge and practice”. Specifically, students’ ecological responsibility awareness and engineering thinking were enhanced by 42% and 35% respectively. This study provides a replicable case for interdisciplinary integrated education in primary schools under the “Double Reduction” policy, while offering theoretical basis and practical guidance for the in-depth integration of ecology and engineering at the primary school level.

## Keywords

Ecological Education, Transformative Engineering, Two-Way Coupling, Carbon Accounting Evaluation, Primary School Science Education

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

生态文明建设是国家层面的重要发展战略,“碳达峰、碳中和”目标的提出[1],为全社会绿色低碳转型提供了明确指引与强劲动力。基础教育作为培育生态责任公民的关键环节,承载着将生态理念融入青少年成长历程、夯实绿色发展人才根基的重要使命。《义务教育科学课程标准(2022 年版)》明确将科学观念、科学思维、探究实践及责任态度纳入核心素养培养体系[2],这一规定既深度契合国家可持续发展战略导向,也进一步确立了生态科技教育在小学阶段的基础性与核心性地位,为小学科学教育锚定生态育人方向、系统培育学生生态意识与可持续发展能力提供了坚实的政策依据与实践遵循。武汉市武昌区教育局深耕 20 余年“零废弃”教育实践,2023 年受邀全国生态文明教育大会分享成果,2024 年获评武汉市“江城科普特色活动项目”,其与生态环境监测站共建的生态文明科普教育基地,为小学生态科技教育的深化开展提供了优质实践平台。小学阶段作为生态认知启蒙和行为习惯养成的黄金时期[3],生态科技教育不仅是传授环境知识的重要载体,更是培育学生可持续发展理念、塑造生态责任担当的核心途径[4],对构建人与自然和谐共生的社会具有深远意义。

当前小学科学教育中,生态知识传授多停留于理论层面[5],工程实践则侧重技能操作,二者存在明显的割裂现象,导致学生虽具备基础生态认知,却缺乏将生态理念转化为实际问题解决方案的能力,难以形成“认知-实践-创新”的完整素养链条。本研究中所涉及的工程实践,其理论源流可追溯至建构主义学习理论、项目式学习(PBL)范式及工程教育认证(ABET)的核心思想,强调以真实问题为导向,通过“设计-制作-测试-迭代”的完整工程流程,实现知识应用与创新能力的协同发展,这一理念与国际工程教育中“基于问题的学习”“基于项目的学习”一脉相承,同时结合基础教育阶段的认知规律进行了适配性转化。

“耦合”源于系统科学理论,特指两个或多个系统通过相互作用、动态关联实现协同优化的过程,在教学动力学中具体表现为三重核心特征:其一,目标协同性,生态教育的“素养培育”与工程实践的“能力发展”形成双向支撑,生态目标为工程实践提供价值导向,工程目标为生态教育提供实践载体,二者共同服务于核心素养培育的总目标;其二,要素互动性,生态知识、工程技能、探究方法等教学要素形成动态反馈回路,如生态知识约束工程设计的方向,工程实践中发现的问题反哺生态知识的深度学习;其三,效能放大性,通过耦合作用使教学系统的整体育人效能大于单一学科效能之和,实现“1+1>2”的教育效果,如学生在工程实践中深化生态认知,在生态目标引领下提升工程创新的针对性。

本研究提出的“小学生态-工程双向耦合”,是指针对小学阶段认知特点,以生态问题为逻辑起点、工程实践为实施载体、素养共生为核心目标,通过“生态需求约束工程设计、工程创新反哺生态改善”的动态关联,实现生态认知、工程技能、责任意识三者深度嵌合的教育模式,其核心区别于传统跨学科融合的“单向辅助”关系,强调生态与工程的“相互定义、不可分割”。二者与生态科技教育存在天然的逻辑契合点:生态科技教育为工程实践提供明确的生态导向,确保工程实践不偏离可持续发展目标;工程实践则为生态科技教育搭建具象化的实践载体,让抽象的生态知识转化为可操作的工程任务。相较于传统生态教育“重认知轻实践”、工程实践“重技能轻导向”的割裂模式,推动二者深度融合并非简单的“知识+技能”叠加,而是构建“生态问题定义工程目标,工程方案反哺生态需求”的双向耦合关系,既是破解“知行脱节”教育困境的关键路径,也是落实核心素养培养要求的必然选择——让学生在生态目标引领下开展工程实践,在工程创新中深化生态认知,最终实现科学素养、工程思维与生态责任意识的协同提升。

从国际视角来看,环境工程教育在全球范围内已形成多元发展格局,其中 E-STEM (Environmental STEM)作为主流模式,强调将环境议题与科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)、数学(Mathematics)学科深度融合,其核心特征体现为“真实环境问题驱动、跨学科知识整合、工程化解决方案构建”[6]。国外相关实践已积累丰富经验:美国推行的“绿色学校计划”,通过 E-STEM 课程引导学生参与校园节能改造、垃圾分类等实践项目,注重跨学科知识的综合应用与社区联动;日本的“环境教育推进计划”将环境议题融入 STEM 教学,强调通过工程实践培养学生的环境问题解决能力,注重传统文化中生态智慧与现代工程技术的结合[7];新加坡的“可持续发展教育框架”则将 E-STEM 教育与国家可持续发展战略紧密对接,构建了从小学到中学的连贯课程体系,注重评价体系的系统化与标准化[8]。

本研究模式与国际主流 E-STEM 模式的共性特征主要体现在:其一,均以真实环境问题为核心驱动,摒弃脱离实际的纯理论教学;其二,强调跨学科知识的整合应用,打破学科壁垒;其三,注重通过工程实践实现问题解决,强化动手能力与创新思维培养。二者的差异则集中在三个维度:一是适配性侧重不同,国际 E-STEM 模式多兼顾不同学段的共性需求,而本研究聚焦小学阶段具象思维为主的认知特点,通过“生活化问题切入、模块化课程拆解、具象化工具支撑”实现精准适配,避免了成人化工程内容的简单降维;二是耦合深度不同,国际 E-STEM 模式中环境议题与 STEM 学科多为“议题+学科”的外在结合,而本研究构建“生态-工程双向耦合”框架,实现二者“相互定义、动态协同”的内在共生,明确生态目标对工程实践的约束作用与工程实践对生态改善的反哺机制;三是评价体系不同,国际 E-

STEM 模式评价多侧重工程效能与学科知识应用, 本研究创新构建“过程 + 产品”双维度碳核算体系, 并联动碳普惠平台实现生态素养的量化评价, 填补了小学生态素养评价的空白。

本研究的独特贡献在于: 在跨文化语境下, 将东方教育中“知行合一”的理念与西方工程教育的系统化方法相结合, 形成兼具文化适应性与科学规范性的融合路径; 在特定学制背景下, 针对我国小学阶段“双减”政策要求与核心素养培养目标, 构建了“课程 - 任务 - 评价”三位一体的可操作模式, 解决了我国小学跨学科教育中“形式化融合”的突出问题, 为国际环境工程教育提供了基于中国国情的创新案例, 也为不同学制、不同文化背景下的小学环境工程教育融合提供了可借鉴的思路。

国内外在相关领域已积累部分优秀经验, 但仍存在明显局限: 多为“单向结合”(生态知识辅助工程任务), 缺乏系统的耦合框架; 评价方式以定性描述或单一效能评估为主, 难以量化生态素养; 实践场景多为宏大叙事或成人化工程降维, 未充分适配小学生认知特点。因此, 面向小学阶段的专属耦合路径与适配性评价体系仍有待深化探索, 特别是亟需构建能够兼顾生态目标与工程实践的系统化、可操作的实施模式, 以填补当前小学跨学科融合教育中生态工程深度协同的实践空白。

本研究以“空气净化研究员”项目为载体, 立足小学教育阶段的认知特点(具象思维为主、抽象逻辑薄弱), 系统探索生态科技教育与工程实践的耦合机制(如表 1 所示)。通过构建“目标 - 内容 - 方法”三维联动的课程群、锚定“校园教室空气质量改善”这一生活化生态问题设计双驱动任务、创新基于 LCA 框架的“过程 + 产品”双维度碳核算评价体系, 并结合武汉市“武碳江湖”碳普惠平台实现减排量可视化, 形成“生态问题驱动 - 工程实践落地 - 低碳评价引领”的完整融合路径。研究核心创新在于突破传统跨学科“形式化融合”的局限, 让生态工程从“外在拼接”走向“内在共生”, 为小学阶段跨学科融合教育提供可复制、可推广的实践案例的同时, 为小学阶段生态工程深度融合提供理论依据和实践经验。

**Table 1.** Comparison between traditional ecological engineering education and the integration model of this study

**表 1.** 传统生态工程教育与本研究双向耦合模式的对比

维度	传统模式	本研究双向耦合模式
核心逻辑	生态知识辅助工程实践(单向辅助)	生态 - 工程相互定义、动态协同(双向耦合)
目标侧重	单一目标(工程技能或生态认知)	双目标共生(工程可行性 + 生态有效性)
课程设计	学科平行独立, 形式化拼接	三维联动课程群, 工具化嵌入
任务设计	以“完成作品”为核心, 无生态约束	以“解决生态问题”为核心, 双约束嵌入
评价方式	定性描述(如“有环保意识”)或单一效能评估(如“净化效率”)	双维度碳核算 + 碳普惠联动, 量化 + 分层评价

## 2. 生态科技教育与创变工程的融合指导思想

本项目以“生态与工程共生”[9]为核心指导思想, 坚持生态导向与工程实践相统一, 通过课程架构、问题导向、评价创新三维度的协同发力, 实现生态科技教育与工程实践的深度耦合。核心要义在于以生态需求定义工程目标, 以工程实践回应生态诉求, 并非对成人工程或中学课程的简单降维, 而是针对小学生认知特点的原创性适配——通过“生活化问题切入、模块化课程拆解、具象化工具支撑”, 让“耦合”逻辑可感知、可操作, 让学生在“认知生态问题——设计工程方案——优化生态效能”的过程中, 实现科学素养、工程思维与生态责任意识的协同提升, 既契合《义务教育科学课程标准(2022 年版)》要求, 又为“双减”背景下科学教育提质增效提供方向指引。

针对小学生具象思维为主、抽象逻辑薄弱的认知特点[10], 本研究明确“生态 - 工程耦合”的三大适



配原则: ① 问题生活化原则(聚焦校园/家庭可感知的生态问题); ② 任务阶梯化原则(从“认知-设计-优化”逐步提升难度); ③ 工具具象化原则(将碳核算等抽象逻辑转化为可视化清单/表格), 填补小学阶段生态-工程深度融合的理论适配空白。

## 2.1. 顶层设计课程群, 构建耦合基础框架

为破解传统跨学科课程“各讲各的、互不关联”的形式化问题, 通过目标、内容、方法三重耦合机制构建模块化课程群, 实现知识、技能、理念的深度嵌合。在目标层面上, 将生态素养培育与工程能力发展列为同等重要的核心目标, 精准对接《义务教育科学课程标准(2022 年版)》中“依据科学原理设计和制造物品”的具体要求, 避免单一目标导向导致的融合失衡; 在内容层面上, 横向覆盖“生态科技基础”“空气净化原理”“环保材料应用”“工程设计基础”四大模块, 纵向形成从基础认知到实践创新的螺旋式梯度, 确保不同年级学生均能获得适配性成长; 在方法层面上, 以项目化学习<sup>[11]</sup>(PBL)为统整载体, 融合科学探究与工程实践方法。

各模块通过“前置铺垫-同步实施-后置延伸”的机制实现深度衔接, 且配套专属工具确保耦合落地: 以四年级为例, ① 前置工具(科学课): 《空气净化原理思维导图》, 明确活性炭吸附、滤网过滤等核心原理; ② 同步工具(劳技+信息课): 《材料加工技能清单》, 标注“废纸箱切割”“低功耗电路连接”等适配技能; ③ 后置工具(生态课): 《低碳方案自评表》, 引导学生反思材料选择的生态影响。这种工具化设计避免了跨学科“各讲各的”, 构建起“原理支撑-技能保障-理念引领”的立体耦合网络, 为二者融合奠定坚实基础。

## 2.2. 立足工程项目, 锚定真实生态问题

工程实践以真实生态问题为导向, 通过“设计-制作-测试-迭代”的完整流程实现问题创造性解决, 这一特性使其成为生态科技教育的理想实践载体。与传统工程任务中“重作品完成、轻生态目标”不同之处在于, “空气净化研究员”项目以“生态问题解决”为核心驱动, 工程目标与生态目标不可分割——项目任务并非“制作一台净化器”, 而是“通过工程设计解决教室  $\text{PM}_{2.5}$  超标这一生态问题”。项目具备明确的改善目标(降低  $\text{PM}_{2.5}$  浓度)、双重约束条件(工程约束: 预算  $\leq 100$  元、小学生可操作; 生态约束: 降低碳足迹、使用可回收材料)和完整的工程流程。

实践中, 学生常面临“工程约束”与“生态目标”的冲突平衡, 如某小组在方案设计中遇到“塑料外壳(工程优势: 易加工、成本低)”与“纸板外壳(生态优势: 低碳、可回收)”的冲突, 通过碳核算工具计算得出: 1 个塑料外壳(约 0.2 kg)碳足迹为 0.46 kg  $\text{CO}_2$ , 1 个纸板外壳(约 0.3 kg)碳足迹为 0.3 kg  $\text{CO}_2$ , 且纸板可通过校园回收再利用。最终该小组选择“纸板+加固胶带”方案, 既满足“小学生可操作”的工程约束, 又实现生态目标。通过将抽象的生态问题转化为具体可操作的工程任务, 帮助学生建立“生态改善需要科技支撑与工程实现, 工程设计必须回应生态需求”的认知, 形成“问题即任务”的耦合逻辑, 让学生在平衡中理解耦合逻辑, 让融合实践有明确的落脚点。

## 2.3. 碳核算评价, 创新生态素养培育载体

碳核算评价是实现二者深度融合的核心创新点, 填补了小学阶段生态素养“难以量化、难以评价”的空白。基于生命周期评价(LCA)理论框架<sup>[12]</sup>, 构建“过程+产品”双维度评价模式, 但并非照搬成人 LCA 框架, 而是针对小学生认知特点进行“简化-分层-具象化”原创设计。过程评价聚焦制作环节碳排放, 参照《省级温室气体清单编制指南(试行)》简化模型, 补充小学生可理解的“基础材料碳排放数据”(如 1 kg 塑料生产过程中产生 2.3 kg  $\text{CO}_2$ , 1 kg 纸张生产过程中产生约 1 kg  $\text{CO}_2$ ), 计算材料生产、运

输及能源消耗等碳足迹; 产品评价侧重净化装置的生态效能, 创新采用“净化效率/单位能耗”指标, 既体现工程效能, 又量化生态效益。

结合武汉市“武碳江湖”碳普惠平台的生活化减排标准[13], 建立校本化换算关系(如学生设计的净化器每降低 1 W 能耗, 对应“武碳江湖”0.525 kg 碳积分), 让学生的工程创新成果直接转化为可视化、可积累的“生态贡献”。针对不同年级认知差异, 设计分层评价方式: 低年级采用高、中、低碳方案三色分类法(直观感知), 高年级采用五星级评定法(量化分析), 并转化为“低碳材料选择清单”“能耗星级评定表”等具象化工具。表 2 为四年级适用的碳核算简易清单, 实现抽象逻辑的具象化转化。

**Table 2.** Simplified carbon accounting checklist for pupils' low-carbon schemes  
**表 2.** 小学生低碳方案碳核算简易清单

材料选择	重量 (g)	单位碳足迹 (kg CO <sub>2</sub> /kg)	该材料碳足迹 (kg CO <sub>2</sub> )	能耗设备	功率 (W)	预估使用时长 (h/d)	日能耗碳足迹 (kg CO <sub>2</sub> )
纸板外壳	300	1.0	0.3	低功耗风扇	38	2	0.0399 <sup>1*</sup>
活性炭滤网	100	0.8 (生物质材料简化值)	0.08	太阳能板	5	4 (光照时长)	0 (清洁能源)
合计	/	/	0.38	/	/	/	0.0399
低碳星级评定 <sup>2*</sup>	/	/	三星	/	/	/	/

注: <sup>1\*</sup>核算依据为  $38\text{ W} \times 2\text{ h} \times 0.000525\text{ kg CO}_2/\text{W}\cdot\text{h}$ ; <sup>2\*</sup>低碳星级评定参考武汉市“武碳江湖”碳普惠平台生活化减排标准及小学教育实践适配性原则, 一星(高碳)总碳排放量  $> 1.0\text{ kg CO}_2$ ; 二星(中高碳)  $0.8\text{ kg CO}_2 < \text{总碳排放量} \leq 1.0\text{ kg CO}_2$ ; 三星(中碳)  $0.5\text{ kg CO}_2 < \text{总碳排放量} \leq 0.8\text{ kg CO}_2$ ; 四星(中低碳)  $0.3\text{ kg CO}_2 < \text{总碳排放量} \leq 0.5\text{ kg CO}_2$ ; 五星(低碳)总碳排放量  $\leq 0.3\text{ kg CO}_2$ 。

通过该工具, 学生能直观建立“方案选择 - 碳排放”的关联, 以评价创新引领生态素养培育, 推动融合实践向纵深发展。

**2.4. 构建“生态 - 工程”耦合路径模型**

基于上述指导思想, 构建“生态 - 工程”双向耦合路径模型, 核心逻辑为“生态问题定义为工程目标, 工程方案回应生态需求”, 形成“生态需求 - 科技支撑 - 工程实现 - 评价反馈”的闭环逻辑(模型示意图如图 1 所示)。



**Figure 1.** The constructed “Ecology-Engineering” coupling path model  
**图 1.** 构建的“生态 - 工程”耦合路径模型

设计阶段通过三重机制保障耦合效果：以校园空气污染等真实生态问题驱动工程项目设计，确保实践的生态导向；在工程目标中嵌入低碳效能要求，强化生态约束；将碳核算评价贯穿设计全过程，从方案构思到材料选择均考量生态影响。同时构建包含科技原理、工程约束、生态目标的三维测量模型(如表 3 所示)，为融合实践的有序开展提供清晰的理论指引，确保生态与工程的耦合贯穿始终，而非阶段性叠加。

Table 3. Three-dimensional measurement model  
表 3. 三维测量模型

维度	核心考量要素	具体指标
科技原理维度	滤网材质效能、净化技术适用性	过滤效率(%）、吸附容量(mg/g)、技术操作难度
工程约束维度	成本控制、安全性、可操作性	预算成本 ≤100 元、材料无毒无害、小学阶段可独立完成制作
生态目标维度	环保性、能耗水平、碳足迹	可回收材料占比(%）、单位能耗(W)、碳排放量(kg CO <sub>2</sub> e)

3. 生态科技教育与创变工程的融合实践

为将生态科技教育与工程实践的耦合理念转化为具体教学成效，“空气净化研究员”项目以“生态问题驱动 - 工程实践落地 - 低碳评价引领”的路径为指引，精心设计“提出问题 - 方案设计 - 制作测试 - 迭代优化 - 多元评价”的完整实践链条，通过问题链与任务群的层层递进，将耦合逻辑深度嵌入每一个实践环节，推动二者从理论层面的协同走向实践层面的深度融合，让学生在沉浸式体验中实现科学素养、工程思维与生态责任意识的同步提升。

实践并非采用通用的“工业污染治理”等宏大场景，而是聚焦“校园教室空气质量”这一学生可感知、可干预的生活化场景，同时联动武昌区空气质量监测站、环保企业等校本资源，形成“校园小场景 - 社会大生态”的衔接，让学生在监测教室 PM<sub>2.5</sub> 数据的过程中，关联城市空气质量治理的社会需求，使工程实践既是“校园问题的解决方案”，也是“生态责任的践行载体”，破解传统实践“场景脱离生活、成果难以迁移”的困境。

3.1. 提出研究问题，激活生态工程思维

问题来源于课堂讲授与学生对校园生态现象的直接观察。课堂上，教师展示清新空气与雾霾天气的对比图片，引导学生认识到雾霾的危害与 PM<sub>2.5</sub> 的科学原理；结合课堂所学，学生开展校园空气质量监测，连续 30 天记录不同区域数据(如教室平均 PM<sub>2.5</sub> 浓度为 78 μg/m<sup>3</sup>，操场为 62 μg/m<sup>3</sup>，绿化区为 45 μg/m<sup>3</sup>)。这些数据引发热烈讨论，学生最终聚焦于“设计助力校园优化空气质量的方案”，某小组提出“教室靠近马路 PM<sub>2.5</sub> 值高，用过滤原理做净化器”，清晰体现“生态观察 - 问题聚焦 - 工程创变”的思维链条，实现生态认知向工程思维的转化。

3.2. 设计方案，融合生态科技与工程需求

设计方案时采用表 3 所示的“三维考量模型”进行系统论证，确保生态目标、科技原理与工程约束的协同适配：科技原理维度论证滤网材质效能与净化技术适用性，工程约束维度平衡成本控制与操作安全性，生态目标维度重点评估材料环保性与碳足迹。研学实践成为耦合的重要支撑，学生参观武昌区空气质量监测站，掌握颗粒物监测的科学原理；在环保企业研学中，获得“多级过滤”的技术灵感，并深刻理解“高效低碳”的社会需求。某小组利用计算机计算“活性炭用量与净化效率关系曲线”，发现 100 g 活性炭对 PM<sub>2.5</sub> 的吸附容量可达 85 mg/g，最终形成“废纸箱外壳(可回收材料，降低碳足迹) + 活性炭滤网(吸附技术，保障净化效能) + 太阳能辅助供电(低碳能耗，契合生态目标)”的方案，实现生态目标、

科技原理与工程约束的深度融合。

### 3.3. 制作测试，深化工程实践与生态评估

制作测试强调“用数据说话”的实证精神，同步记录工程效能与生态指标：学生通过对比实验测试净化效果(如  $\text{PM}_{2.5}$  浓度变化)，同时填写“碳核算数据记录表”，详细记录能耗、材料碳足迹等生态指标。某小组发现初始方案风扇能耗达 70W，碳足迹较高，更换为低功耗型号后能耗降至 38W，净化效率无显著差异(从 72%降至 70%)；同时将塑料外壳更换为可降解纸板，材料碳排放量从 2.3 kg  $\text{CO}_2$  降至 1 kg  $\text{CO}_2$ ，明显下降。通过不同方案的对比可见：采用“充电电池 + 塑料外壳”的传统方案，总碳足迹为 1.2 kg  $\text{CO}_2$ ，净化效率为 65%；优化后“低功耗风扇 + 纸板外壳”方案，总碳足迹降至 0.41 kg  $\text{CO}_2$ ，净化效率提升至 70%，实现生态与工程效能的双重优化，这一过程充分体现“科技解决问题、数据支撑优化、生态引领方向”的耦合特征，让学生直观感受到工程调整对生态效益的影响。

### 3.4. 迭代优化，实现生态友好型创新设计

迭代优化的动力源于双重数据反馈——工程测试层面，部分小组存在净化效率偏低的问题(平均为 68%)；碳核算层面，充电电池的碳足迹偏高(单节 1.2 V 充电电池碳足迹约 0.15 kg  $\text{CO}_2$ )。针对这些问题，学生展开针对性优化：一方面，通过增加无纺布滤网、调整滤网层数(从 2 层增至 3 层)等方式提升净化效率，使平均净化效率提升至 82%；另一方面，将高碳足迹的充电电池替换为太阳能板 + USB 备用电源，其中“阳光组”还额外加装电容储能装置，有效解决了太阳能供电不稳定的问题(供电时长从 2 小时延长至 6 小时)，既保留了低碳特性(碳足迹降低 60%)，又提升了设备运行稳定性(学生最终完成的科创作品如图 2 所示)。最终，所有成果均通过“效能 - 成本 - 碳排放”三维评估，充分证明生态友好与工程可行性能够实现有机兼顾，达成“以工程创新推动生态改善”的创变目标。

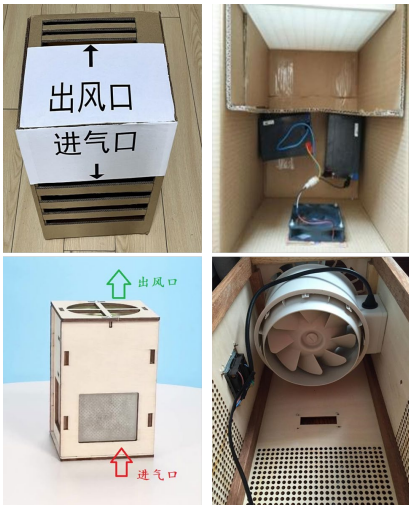


Figure 2. Students' final STEM projects  
图 2. 学生最终完成的科创作品

### 3.5. 多元评价，构建三维架构，完善耦合闭环反馈

为完善项目耦合闭环反馈，构建“结果指标 + 过程指标 + 思维指标”三维多元评价体系，兼顾实践成果验收、核心能力发展与高阶思维提升。体系涵盖五项加权核心指标，各指标定位与权重明确：过程参与聚焦方案讨论、动手操作的投入程度(权重 30%)，重点评估学生在融合实践中的参与深度；作品效



能核心关注净化效率及装置运行稳定性(权重 30%), 检验工程实践的核心成效; 低碳实践锚定武汉“武碳江湖”碳普惠标准, 通过校本化换算关系量化评估低碳践行成效(权重 20%), 凸显生态目标的达成度; 团队协作侧重评估成员间沟通协同质量(权重 10%); 思维层次参照 SOLO 分类理论, 评估学生问题解决与创新思维水平(权重 10%)。

在实施层面, 采用“教师观察 + 实际测试 + 学生自评 + 同伴互评”的综合方式开展评价。例如, 学生通过自评反思方案设计中生态与工程的平衡思路, 同伴互评聚焦碳核算数据的准确性与优化方案的创新性, 教师观察则重点记录学生在实践中的思维转化过程。项目实施前后, 对参与的 320 名学生(3~6 年级)进行核心能力测评: 生态责任意识(量表评分, 满分 10 分)从 6.2 分提升至 8.9 分, 工程思维(基于 SOLO 分类理论的等级评定, 1~5 级)平均等级从 2.1 级提升至 3.7 级, 科学探究能力(实验操作 + 数据解读得分, 满分 100 分)从 68 分提升至 85 分。这一多元评价模式不仅能精准检验项目的耦合效果, 更能引导学生在实践中主动关联“个人行动 - 生态价值”的内在联系, 最终形成“实践 - 评价 - 反思 - 优化”的完整闭环反馈, 推动融合素养的持续提升。

#### 4. 结语

本研究通过“空气净化研究员”项目实践, 成功探索出“生态问题驱动 - 工程实践落地 - 低碳评价引领”的耦合路径: 以真实生态问题为起点, 以工程化项目为载体, 以碳核算评价(结合“武碳江湖”平台)为核心纽带, 以多元评价为保障, 实现“生态观察 - 问题聚焦 - 方案设计 - 工程实践 - 迭代优化 - 素养提升”的闭环发展。

这一耦合路径的育人价值在于: 突破传统单一学科教育的局限, 培养学生基于证据的理性思维、系统设计与优化能力、低碳可持续观念, 以及融合多学科知识解决复杂问题的能力。其核心创新体现在三个层面: 理论层面, 首次构建针对小学阶段的“生态 - 工程双向耦合”理论框架与三大适配原则, 明确耦合在教学动力学中的目标协同、要素互动与效能放大特征, 填补了低龄段生态 - 工程深度融合的理论空白, 实现从“外在结合”到“内在共生”的质变; 实践层面, 通过“课程三维联动、任务双驱动、场景校本化”的创新设计, 配套具象化工具与生活化场景, 破解跨学科教育“形式化融合”的难题, 该路径已在武昌区 3 所小学推广, 覆盖 28 个班级 1100 余名学生, 92% 的教师认为“课程群耦合机制”解决了跨学科教学协调难的问题, 87% 的学生能主动运用碳核算工具优化方案; 评价层面, 原创“双维度碳核算 + 碳普惠衔接”的量化体系, 开发小学适配的具象化评价工具, 解决了小学生态素养难以量化的学术难题, 让抽象生态素养转化为可操作、可量化、可迁移的实践能力。实践数据显示, 85% 的学生能在方案设计中主动兼顾工程约束与生态目标, 78% 的学生能通过碳核算工具优化方案的低碳性, 相较于融合前, 学生的生态责任意识评分提升 42%, 工程思维评分提升 35%, 直接印证了融合路径的育人成效。

本研究的学术贡献在于: ① 探索构建了针对小学阶段的“生态 - 工程双向耦合”理论框架, 明确了耦合在教学动力学中的具体表现, 为低龄段生态 - 工程深度融合提供了一定的理论依据; ② 实践了“简化 - 分层 - 具象化”的碳核算评价体系, 解决了小学生态素养难以量化的学术难题; ③ 通过与国际主流 E-STEM 模式的对比分析, 明确了本研究在适配性、耦合深度与评价体系上的独特性, 为跨文化、特定学制下的小学环境工程教育提供了创新路径; ④ 形成了“课程 - 任务 - 评价”三位一体的可操作模式, 为跨学科教育从“形式化融合”走向“深度化融合”提供了新路径。同时, 该路径既响应了“双减”政策对“科学教育加法”的要求, 又契合“碳达峰、碳中和”战略对公民生态素养培育的需求, 凸显了基础教育服务国家战略的时代价值。

本研究仍面临部分挑战: 碳核算指标的适切性需要根据不同年级学生的认知水平进一步细化调整, 跨学科教师协作机制尚需完善以提升融合教学的专业性。展望未来, 笔者计划 2026 年将项目拓展至“校

园微水环境治理”课程, 丰富融合实践的场景与内容; 同时建立跨学科教师成长机制, 通过专题培训、教研交流等方式提升教师的耦合教学能力, 持续完善“生态-工程”耦合路径, 最终形成覆盖小学全年级的生态科技教育课程体系。通过持续探索, 本路径有望为小学多学科融合教育提供更具深度的实践案例, 为培养具有生态意识、创新精神与工程能力的未来公民奠定坚实基础。

## 基金项目

湖北省教育科学规划重点课题《生态文明教育校本化实施的效果评测及协同路径研究》课题, 立项编号: 2024GA088。

## 参考文献

- [1] 王永中. 碳达峰、碳中和目标与中国的新能源革命[J]. 人民论坛·学术前沿, 2021(14): 88-96.
- [2] 陈凯, 林佳依. 指向“科学育人”的《义务教育科学课程标准(2022年版)》: 基于文本挖掘技术的研究[J]. 科学传播与科学教育, 2024(3): 32-49.
- [3] 石潇, 杨春风, 贾伟, 等. 新时代小学生生态文明素养测评模型构建与应用研究[J]. 中国电化教育, 2024(3): 92-100.
- [4] 李桂婷. 智创未来: 科技节与思政教育的双向赋能机制研究[J]. 启蒙, 2025(8): 75-76.
- [5] 陈俊芳. 智能时代教师角色转型: 从知识传授到素养培育的挑战与应对[J]. 黄冈师范学院学报, 2025, 45(3): 108-114.
- [6] 王岗, 徐连满, 施天威, 等. 以解决工程真实问题为导向的材料力学课程与科研融合教学改革探索[J]. 中国教育技术装备, 2024(22): 145-147.
- [7] 任群, 胡冰, 徐岩, 等. 基于 AI+ 生态的电磁场课程项目式教学改革探索[J]. 教育进展, 2025(9): 962-967.
- [8] 刘传莉, 马勇军, 王元凯. 跨学科课程整合的内在逻辑与推进路径[J]. 当代教育科学, 2024(11): 36-43.
- [9] 黄秀蓉. 人与自然和谐共生的现代化: 我国生态文明演进目标及其发展图景[J]. 观察与思考, 2025(6): 112-120.
- [10] 石桂娣. 小学生空间思维的培养策略[J]. 福建教育, 2024(5): 49-50.
- [11] 夏雪梅. 指向核心素养的项目化学习评价[J]. 中国教育学报, 2022(9): 50-57.
- [12] 翟一杰, 张天祚, 申晓旭, 等. 生命周期评价方法研究进展[J]. 资源科学, 2021, 43(3): 446-455.
- [13] 杨珂玲, 罗雨. 碳普惠背景下居民绿色低碳行为的影响因素分析——以武汉市为例[J]. 湖北经济学院学报(人文社会科学版), 2023, 20(7): 36-38.