

科学课程中设计 STEM 活动的有效方法 ——从工程和技术角度审视科学探究活动

文_肖 媛 叶兆宁 / 中国科协“做中学”科学教育改革实验项目教学中心（东南大学）

信息化时代的发展需要大量的工程与技术人才，因而 STEM 教育逐渐成为基础教育阶段国际科学教育的主流和一门新兴的课程，也越来越受到各国的关注和重视。但在我国目前的小学教育中，小学生的基本科学素养得到了一定的培养，但技术素养和工程素养却并没有得到足够的重视，STEM 教育的开展更是少之又少^[1]。为了提高国家未来的创新能力和竞争力，在小学阶段开展相关技术和工程教育的启蒙已迫在眉睫。

纵观小学科学课程，我们不难发现，几乎少有科学活动关注学生综合应用能力的培养。虽然存在一些技术类的实践活动，但由于缺少统一的教材和承载 STEM 教育的平台，科学课程的真正实施往往和 STEM 教育关联甚少。通过结合现有的科学课程，开发综合性的 STEM 课程，是提升学生 STEM 素养的有效途径。因此，小学阶段的科学教育中，一方面可以从工程和技术角度出发，结合相应的科学概念设计 STEM 活动；另一方面，也可采取将科学探究活动转化为 STEM 活动的形式。这样，不仅符合科学教育的原则，又能综合 STEM 的各个领域。

根据现有的科学探究活动，该怎样设计 STEM 活动呢？要解决这个问题，有必要先找出小学阶段科学探究活动、工程与技术活动之间的交集，并分析现有的科学探究活动缺乏的是工程与技术方面的哪些元素，这样，就不难理解如何从工程和技术角度设计科学探究活动了。鉴于此，本文首先分析了科学探究活动、工程与技术活动的联系与区别，随后试图阐述

如何设计科学课程中的 STEM 活动，以及设计过程中有哪些要求。由于大多数科学与工程活动均涉及数学，本文中未提及如何融入数学。

◎ 科学探究活动、工程与技术活动的联系与区别

科学在于认识世界，解释自然界的客观规律，而技术和工程则是在尊重自然规律的基础上，改造世界，实现对自然界的控制和利用，解决社会发展过程中遇到的难题^[2]。科学与工程、技术都尝试使用最合适的方法和工具来完成任务，它们都是创造性的过程，都不止使用一种方法，都具有重复性和系统性。

正是由于科学与工程、技术之间的这些异同，在目的和任务、形式、研究方式、成果、评价标准，以及与数学的联系等方面，科学探究活动与工程技术活动既存在一定的联系，又有所不同。下文的阐述主要依据 2012 年美国国家研究理事会（NRC）颁布的《K—12 年级科学教育框架》^[3]。

◎ 目的和任务上差异较大

科学探究活动是为了解释关于某个现象的问题，例如“天空为什么是蓝色的”或“为什么杯子里的热水会变凉”，学生的主要任务在于认识和解释科学概念；工程与技术活动则是解决一个由困难、需要或期望所引发的问题。例如“如何用 LED 灯设计一个有用的工具”或“怎样让房屋更保暖”，学生的任务是明确一个成功的方案应当达到的标准和面临的限制，并在理解科学概念的基础上，实现对其利用，

解决遇到的问题。

☛ 计划并开展实践是二者的共同形式

科学探究活动中，学生需要明确应记录什么，如果可以，还需要明确因变量和自变量分别是什么（变量的控制）；像科学探究活动一样，工程与技术活动中学生必须确定相关变量，决定怎样测量变量，并采集分析所需的数据。因而计划并开展实践是二者的共同形式。

☛ 研究方式上都需要用到模型、推理和辩论，都以实证为基础

科学探究活动、工程与技术活动都要用到模型和推理、辩论等。在科学中，使用模型使得超越可见范围、想象一个尚未看到的世界成为可能，而推理和辩论是识别一系列推论的优点与不足，以及找出自然现象的最佳解释的基础；工程上使用模型来分析现有体系以寻找哪里可能存在缺陷，或测试新问题的可能的解决方案，而推理和辩论是找出一个问题的最佳可能解决方案的基础。

☛ 由于目的和任务不同，其成果也不同

科学探究活动的成果主要是在活动中观察和收集到一些数据，被用来检验现有的理论和解释，或修正并发展新的理论和解释；而工程与技术活动的成果则是在多个研究方面之间寻求平衡，提出一系列解决方案，并有一个最优之选。所获得的用来明确设计标准或参数的必要数据能够检验他们的设计在一系列条件下的效果、效率和持久性。

☛ 在不同的目的和任务下，对学生的评价标准也会有所不同

科学探究活动中对学生的评价标准包括：学生能够结合他们当前对科学或科学模型的理解，对某一现象建构逻辑上连贯的解释，并且这种解释应当与可取得的证据保持一致；学生必须能够清晰而令人信服地传达他们的发现，并能了解他人的发现；学生能够通过口头和书面方式，使用表格、图表和公式，与其他学生一起参与讨论，交流观点和探究的结果。而工程与技术活动中对学生的评价标准包括：学生的解决方案需要满足很多方面的标准，诸如预期功能、技术可行性、成本、安全性、美感，以及对法律的遵守；学生必须清晰而令人信服地交流各自设计的优点；学生应能够通过口头

和书面方式，使用表格、图表、绘画或模型，与其他学生一起参与讨论，来表达他们的观点。

☛ 二者都与数学有密切联系

数学作为重要的研究工具，对科学探究活动和工程技术活动来说都是不可缺少的。科学探究活动中产生的数据必须经过分析才能呈现意义，数学和计算是表达物理变量及它们之间关系的基本工具。它们被用于多种任务，如统计分析数据、表达数量关系，以及结合一系列的数学工具（包括表格、图表解析）找出数据的重要特征和模式。在工程与技术活动中，从研究和对其设计所进行的测试中所获得的数据，能帮助学生确定在既定限制下哪种设计能最完美地解决问题，以及能否在可接受的预算内完成。同时，用数学或计算方法对已经建立的关系和原理进行表征是整个设计的一个组成部分。与在科学探究活动中一样，工程技术活动也需要一系列数学工具来确定主要模式并解释结果。

◎ 如何设计科学课程中的 STEM 活动

一个好的 STEM 活动，不仅要有富有吸引力的内容，还要体现以学生为中心的教育理念和科学、技术、工程、数学的相互碰撞，更应着重培养学生综合解决问题的能力 and 创新能力。因此，STEM 活动的设计并不是简单地将科学与工程、技术组合起来，而是要把学生学到的零碎的知识与机械过程转变成一个探究世界相互联系的不同侧面。

☛ 要吸收工程与技术活动的思路和方法

工程与技术活动的思路和实施方法大多围绕相应的科学本质，之所以和科学探究活动看似有很大的不同，是因为科学探究活动源于自然，源于某一现象的问题，如“为什么杯子里的热水会变凉”，而工程与技术活动源于工程学中需要解决的某个难题，如“怎样让房子更保暖”，这两个活动的科学本质都是热学中能量的传递问题，是一条隐形的线索。围绕这条隐形的线索设计 STEM 活动，就可以将科学与工程有效地结合在一起。再如，根据水垢与酸会发生反应，酸性越强反应越快的知识，可以带领学生开展“如何尽可能快地去除水壶中水垢”的活动；通过调查学习工厂净化

表 1 不同案例中 STEM 的融合

案例		内容与任务	科学 (S)	技术 (T)	工程 (E)	数学 (M)
1	设计 3D 眼镜	利用 3D 眼镜的科学原理, 用红色和蓝色的塑料纸、硬纸板等设计 1 副 3D 眼镜, 用 3D 图片进行测试 (图 1)	红色镜片 (左眼) 和蓝色镜片 (右眼) 使 2 只眼睛看到的不同影像在大脑中重叠, 呈现出 3D 立体效果	各种工具的使用, 制作的方法和技巧	解决如何使眼镜具有 3D 效果的问题, 设计、制作、测试、调整, 进行创造性的构建, 通过设计使成品更美观、更实用	计算产品的大小、比例, 正确测量产品的尺寸
2	制作“最坚固的桥”	用 20 根吸管和 2 米长的胶带设计和制作“最坚固的桥”, 可以有多种方案 (图 2)	桥的分类, 不同种类桥梁的结构及受力特点, 合理的桥的结构 (结构的稳定性)		通过设计解决如何合理使用材料可以发挥最大效果的问题, 使桥更美观	
3	设计“可以自己回来”的罐子	利用铁丝、螺母、橡皮筋等设计、制作 1 个“可以自己回来”的罐子, 测试并加以改进 (图 3)	重力与重心, 物体重心越低越稳定; 重心移动, 物体会随之运动		通过设计解决如何使罐子能“自己回来”的问题	
4	制作 1 朵花	根据已有的关于花的知识制作 1 朵花, 可以是同样大小的, 也可以是等比例放大或缩小的	关于花的相关知识, 不同花的构造, 花的不同部位等	各种工具的使用, 计划和使用不同的材料进行构建的方法和技巧	解决如何制作 1 朵花的模型的问题, 通过判断 1 朵花的特征进行创造性的设计和构建	按照实物的比例放大或缩小, 花的不同构件的数量
5	制作人体模型	根据已有的关于人体的知识制作人体模型, 可以是同样大小的, 也可以是等比例缩小的, 并可以细化到制作消化系统、呼吸系统等	关于人体的相关知识, 人体的结构、各个系统		解决如何制作人体模型的问题, 设计和构建不同类型的人体模型	按照人体的比例放大或缩小
6	用废弃物制作动力车船	用废弃物制作动力车船	车 (或船) 的种类, 制作车 (或船) 的不同材料的性能, 结构的稳定性, 使其具有动力的原理		通过设计解决如何使车 (或船) 具有动力的问题, 以及如何合理使用材料可以发挥最大效果, 使车 (或船) 更美观、更实用	计算车 (或船) 的大小、比例, 正确测量车 (或船) 的尺寸



水的原理, 可以让学生设计并制作一个简易净水器。

➤ 要善于发现身边的工程与技术, 综合 STEM 的多种视角

激发儿童的好奇心和学习积极性是基础教育课程的共性, STEM 活动的设计也要具有开放性。教师需要善于利用身边任何常见的事物开展 STEM 活动, 通过解决问题或任务的方法将科学、技术、工程和数学结合起来, 如表 1 中给出的 6 个案例。这些案例均来源于 2014 年 6 月举办的第 5 期“做中学”高级研修活动。

➤ 要实现科学探究向 STEM 的转变, 以及科学、工程与技术的共同发展

通过科学本质这条隐形的线索, 科学探究活动可以很容易地转变为 STEM 活动。如“做弹球” (——见本期专题文章《一个有趣的

STEM 活动实例: 做弹球》) 和“巨型肥皂泡”活动, 如果只是让学生做出一个弹球或配置泡泡液吹出泡泡, 仅仅涉及了科学与技术; 但要求学生思考方法, 如调整弹球配方或泡泡液配方, 使弹球弹得更高或吹出更大的泡泡, 就融入了工程, 转变为一个 STEM 活动, 不仅使活动得以深入, 也起到了促进 STEM 共同发展的作用。

类似的可以转变为 STEM 活动的科学探究活动还有很多, 如“温度怎样影响球的弹跳”可以转变为“如何使球弹得更高”; “水温怎样影响泡腾片小火箭的飞行高度”可以转变为“怎样使泡腾片小火箭飞得更高”。还有其他形式的科学探究活动, 如调查类活动“教室外的噪音调查”, 可以转变为“如何降低教室内的噪音”; 如交流与辩论类活动“蒸馏法淡化

海水的可能性”，可以转变为“如何快速淡化盐水”。

由此可见，根据问题和任务的不同出发点，融入工程与技术，依据其内在的科学原理，科学探究问题可以转化为STEM问题。又因为解决工程问题时必然会涉及到科学的知识 and 原理，所以从工程技术的角度出发设计的活动更容易达成科学、工程与技术的共同发展。

◎ 根据科学探究活动设计 STEM 活动有哪些要求

㊟ 要注意教学时间和教学内容的矛盾

例如，一个科学探究活动转变为STEM活动后，涉及的广度更大，如“温度怎样影响球的弹跳”转变为STEM活动“如何使球弹得更高”之后，除了温度之外，增加了很多可考虑的因素，如地面的软硬程度、球的充气量、拍打的力度等。如果给学生的限制条件太多，甚至直接要求学生探究温度，将大大减少对学生工程技术素养的锻炼，最终会流于形式而效果不佳。但要在1堂课的时间内展开这么多因素的探究，在教学时间上是不允许的，也无法达到预期的效果。

由于STEM活动涉及工程学方面的系统化流程，通常可以将1个STEM活动拆分为几个课时来开展，如用3堂课的时间分别来寻找解决方案和展开讨论，开展实验和进行调整，展示与交流等。还有一种方法是给学生1周或几周的时间思考方案或完成这个实验，最后在课堂中开展实验或展示交流。

㊟ 科学教师要提高自身 STEM 综合素养

STEM的教学需要多种知识（包括自然科学、社会科学等知识），需要精通科学方法和工程技术手段的整合。科学教师不仅要有创造性思维，在遇到设计问题时还要有设计的灵感。只有教师有创造性，学生才能有创造性。

工程技术是不断发展的，尽管已有许多非师范院校的理工科研究生或本科生充实到教师队伍中，但由于STEM的教学具有适用面广、实施条件灵活等特点，对科学教师的能力要求远远超过其他学科；STEM课程尚处于探索期，没有相关教材，内容没有其他学科成熟；学生的基础差别很大，需要教师根据学生情况灵活

调整；STEM课程是面向应用类的，因此需要经常充实新的内容，而大部分内容需要科学教师通过自学或者继续教育完成^[4]。

㊟ 要打破学科界限和内容限制

目前的科学课程和科学教材中的每个单元都对应于一个学科领域，如物质科学领域、生命科学领域等。教师容易受到学科界限和学科内容的限制，进行STEM活动的设计时容易受到思维的制约。

打破学科界限往往能取得更好的效果，如“制作1朵花”的活动，属于生命科学领域，但如果将其改为“制作1朵能自动打开的花”，就融入了物质领域中的“力与运动”，增加了工程设计的比重。随着世界各国对“工程设计”的强调^[5]，科学教师应当着重开发一些设计类的STEM活动，如利用LED灯设计一种实用的工具、设计一辆动力小车等。这样不仅能融合科学、工程与技术，更能激发学生的创造性思维。

◎ 总结

融入工程与技术是丰富现有科学探究活动的有效策略，是提高学生STEM素养，实现深层次学习、理解性学习的重要方式。我们应尽快将STEM教育引入科学课堂。只要了解科学探究活动、工程与技术活动，以及它们之间的关系，就一定能设计出精彩的STEM活动。教师们只有不断探索、不断实践，在课堂中发现问题、解决问题，才能开发出更多基于科学探究、可行和有效的STEM课程。

参考文献

- [1] 秦建军. 从STEM整体教学观的角度谈中小学技术教育. 中小学信息技术教育. 2013.
- [2] 叶兆宁. 融合: 实现STEM教育的有效策略. 中国科技教育. 2013.
- [3] National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Ideas. Washington, D, C: The National Academies Press. 2012.
- [4] Mark Sanders. STEM, STEM Education, STEM mania. The Technology Teacher. 2009.
- [5] NGSS Lead States. Next generation science standards: For States, By States. The National Academies Press. 2013. ■