

融合：实现 STEM 教育的有效策略

文_叶兆宁 / 东南大学学习科学研究中心

STEM 教育出现于 21 世纪初，即科学 (Science)、技术 (Technology)、工程 (Engineering)、数学 (Mathematics) 教育的统称。但它并不仅仅是把这 4 个词堆叠在一起，而具有一定的深意、内涵和教育意义。

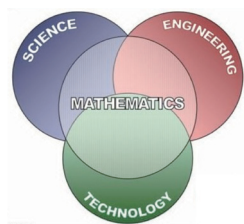
随着人类科学技术的不断进步，科学、技术、工程和数学领域的联系也越来越紧密，解决任何一个领域的问题都会涉及到其他三个领域；任何一个领域的发展都将为其他领域打开进步的空间；任何一个领域的素质都是未来公民的基本素质。因此，在 STEM 教育提出之初，人们就意识到 STEM 教育不仅对国家未来的创新能力和竞争力有决定性的影响，而且是社会进步的必要基础，公民的科学素质直接关系到 21 世纪的社会文化、价值取向和民主政治的实现^[1]。同时对儿童学习能力的科学研究则表明，儿童生而具有强大的学习能力，儿童缺乏的是知识和经验，而并不缺乏推理能力，儿童是主动的学习者，儿童可以在有效的引导下，学习更多的基本知识和技能^[2]。因而这些基本素质的培养都可在从幼儿园到高中毕业的学习期间逐步完成。

可是，在普通人眼中只有在理工科大学里才会出现的工程问题，能在中小学的课堂中研究吗？如何实现呢？要想解决这个问题，首先要理解科学、技术与工程的联系和区别，找出在小学学习阶段科学与工程教育的交集，再对教育进行反思，就不难理解如何将看似复杂的工程问题结合在 K-12 年级的课程中，帮助学生发展科学、技术、工程与数学的综合素质。

◎ 什么是技术、工程、技术和工程素养

2012 年发布的美国国家教育进展评估 (National Assessment of Educational Progress,

NAEP) 的《2014 年国家教育进展评估的技术和工程素养框架》报告对技术、工程，及其素养给出了广义的定义，如下^[3]：



技术：指任何为了满足人类需求而进行的对自然状态的改变或者对世界的改造。

工程：指为满足人类需求系统地、反复地设计对象、进程和系统的一种途径。

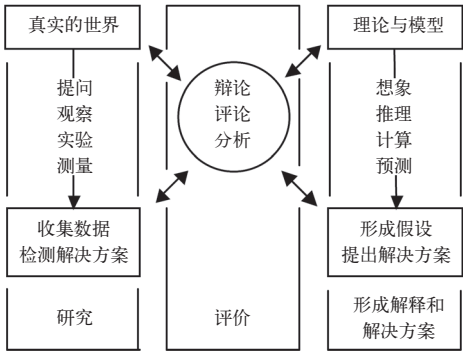
技术与工程素养：指使用、理解和评估技术的能力，以及理解开发解决方案和实现目标的技术原理和策略。

虽然有很多学者对技术素养、工程素养、技术和工程素养等给出不同的定义，但在这些不同范围的定义中都显示出技术和工程之间密不可分的关系。该框架提出 2014 年技术与工程素养评估的领域分为 3 个部分：技术与社会 (Technology and Society)、设计与系统 (Design and Systems)、信息与通信技术 (Information and Communication Technology)。

◎ 科学、技术与工程有怎样的联系与区别

科学、技术与工程，三者既紧密联系密不可分，同时又在目的、形式和任务、研究方式、成果和评价标准等各方面都有所不同。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。

实践是科学、技术与工程的重要特征和需求。参与科学实践可以帮助学生理解科学知识



如何建构，可以让学生认识到调查、模仿和解释世界的各种方法；参与工程学实践同样帮助学生理解工程师的工作，以及工程学和科学之间的关系。上图来自于 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》，它描述了科学家和工程师的工作。不论是科学家还是工程师，他们的主要活动是调查和实证探究；他们的工作的本质是建构解释或利用推理、创造性思维和模型进行设计，形成解决方案，分析、辩论和评价则是科学和工程学研究得到认可的唯一途径。在这些活动和辩论中科学家

和工程师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，都不只使用一种方法，都具有重复性和系统性^[4]。

可见，科学、技术与工程学之间有着一种很强的共通性和互补关系，是辩证统一的整体。它们的交集就是人类社会的进步与发展。哪怕是最简单的科学现象和问题，都可以在人类生活中找到它的影子，找到它转化为技术和工程的途径。而当人类在解决实际生活问题时，想到的不仅是技术、是设计、是工程，同样也必须考虑其中涉及的科学原理和规律，只有遵循这些原理和规律，才能真正找到问题的本质。从这一点来看，他们之间的交集足以支持在从幼儿园到高中的学习过程中将科学、技术与工程联系起来开展教育活动。

◎ 将 STEM 教育引入科学课堂时，有什么样的标准

教育过程毕竟不同于真实的科学研究和工程实践，教师关注的是将 STEM 引入科学课堂时，技术和工程部分的教学目标是什么，标准

表 1

工程设计		
4 年级的孩子应该开始通过解决简单但系统性的设计挑战尝试回答 “科技是怎样被用于创造材料的” 这个问题；8 年级学生应该能够使用更复杂的工程设计工序，包括定义问题、原型应用、测试、重复和权衡；12 年级的学生应该对问题有更深入的理解，想出一系列的解决问题方法，选出最优解。		
4 年级	8 年级	12 年级
学生知道 工程设计是应对挑战时系统性和有创造性的过程。通常情况下一个设计挑战有多条解决途径，每一条在某特定情况下可能优于其他途径。比如，这个方法比较安全而另一个方法则比较经济。	学生知道 工程设计是一个系统性的创造性的反复性的以满足人类需求和欲望的过程。它包含明确挑战、孕育想法、选择最优解决方案、制作并测试模型和原型、重新设计。通常一个问题有若干不同的解决措施。	学生知道 工程设计是个复杂的过程，其中创新脚步必须扎实地站在知识和对挑战的研究基础上。作出折中衷决定涉及对一切可能的损失和利益的比较，最终的做法是可能包括为了最优化设计而进行重新设计。
设计的要求包括产品或系统的理想特点和设计本身的限制，如某种材料是可以获得的。	设计的要求由成功的标准和诸如时间、金钱、材料等的限制组成，设计经常涉及在有竞争力的要求和想要的设计特征中作出权衡和选择。	明确化包括可能在许多方面予以衡量的尺度，以及包括自然法令和可利用的科技手段在内的约束。评估是评定一个解决方案多大程度上满足要求的过程。
学生能够 运用系统方法对简单问题设计解决方法。	学生能够 通过明确尺度和限制，构思出设计过程来解决不是特别困难的问题，明确它们怎样影响问题解决，探讨并产生想法，通过权衡在所有备选方案中取舍。	学生能够 面对复杂的挑战，能够通过识别尺度和限制预计它们如何影响问题解决，探讨并产生想法，权衡和考虑竞争价值从而选出最佳解决措施。
构建并测试一个简单的模型来测定它是否满足问题的要求。	构建并测试一个模型并搜集数据检测它是否满足问题的要求。	构建并测试几个模型以测定它们是否满足问题的要求，组合模型的特性以得到最优解。
通过画图和模型交流设计结果。	交流设计进程，通过口头和可视化的方法清楚表达设计决策背后的原因。理清设计的优势和可能的未知结果。	就问题定义交流整体设计进程以估量最终设计，将相关的评价标准和限制纳入考虑，包括美学原理、宗教因素和单纯的法律决策。

是什么。

《2014 年国家教育进展评估的技术和工程素养框架》对技术与工程素养评估的 3 个部分给出了具体的内容和分年级评估框架，该框架非常有利于帮助科学教师在进行教学设计时思考如何制订出适合技术与工程素养的教学目标和教学方案。这里以“设计与系统”中的“工程设计”为例，介绍其分年级评价框架，详见表 1。

而《K-12 年级科学教育框架》从“实践”的角度分析了科学与工程的不同要求，也是科学教师考虑教学计划 and 策略时不可或缺的参考，读者可参阅《中国科技教育》2012 年第 2 期《在 K-12 阶段教育中的科学与工程实践》一文。

◎ 将 STEM 教育引入科学课堂时，教学是怎样的

有了教学目标，教师更关注的是如何实现 STEM 的各项目标。其实，STEM 的各个方面都相互关联，只有将它们融合起来，才能高效地实现所有维度的目标和要求。那么，如何融合呢？笔者认为这不仅离不开科学课程这个载体，也需要更多的教育教学方法与策略。

科学问题本就源于自然，源于某一现象的问题，如“为什么杯子里的热水会变凉？”工程学则源于需要解决的某个难题，例如“怎样让房子更保暖？”这两个貌似不相同的问题，其本质却都是热学中能量的传递问题。当教学围绕这个本质展开时，就有了一条隐形的线索，将科学和工程问题有效地结合在一起。可见，STEM 的教学并不是简单地将科学与工程组合起来，而是要把学生学习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的过程。

● 基于科学情境，结合技术与工程活动——小小建筑师

“小小建筑师”是“做中学”科学教育改革实验项目为低年级（1—2 年级）小学生开发的教学模块。该模块围绕如何使结构更加稳固开展设计与技术的教学活动。这是一个科学和技术交织在一起的案例，结构的稳固性中既有科学原理，又蕴含着工程设计和操作技术。

学生首先探索三角形和正方形的特点，尝试加固正方体和立方体，了解结构的对称性和稳定

表 2		
课题	活动	内容介绍
第一课：搭建基本结构	活动 1：工具和材料	介绍吸管和回形针，并探究各种连接的方法
	活动 2：搭建三角形和正方形	使用吸管和回形针搭建三角形和正方形等平面结构
	活动 3：加固正方形	探究如何对正方形进行加固，学习三角形加固的方法
	活动 4：搭建和加固立方体	使用吸管和回形针搭建立方体并对其进行加固，巩固三角形加固的方法
	活动 5：测试我们的立方体	对加固后的立方体进行承重测试，记录测试结果，分析倒塌原因，改进加固方法
	活动 6：这些结构稳固吗	预测不同立体结构的稳固性，动手制作立体结构并加固
第二课：结构的稳定性	活动 1：参观校园里的建筑	带领学生参观校园，考察各种建筑结构的功能、材料、形状、大小、组成等特点与建筑稳定性的关系
	活动 2：有趣的搭建	通过有趣的搭建游戏，引导学生思考基座、形状、连接方式等对结构稳定性的影响
第三课：我们自己的建筑	活动 1：设计我们喜欢的建筑	分小组设计一个喜欢的建筑模型，思考所需的材料和搭建的步骤
	活动 2：搭建我们喜欢的建筑	根据设计动手搭建模型，进行承重测试并改进
	活动 3：展示我们的作品	展示各个小组的作品，交流制作的心得和体会



上海华林小学的学生在尝试用三角形加固结构

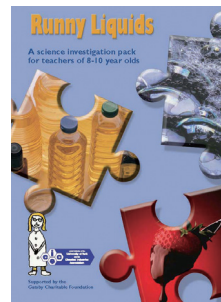


南京莫愁湖小学的学生在搭建自己设计的结构

性，理解三角形是一种稳定的结构，理解结构的稳固性与结构的形状、所用材料的材质、连接的方式等有关。最后通过设计和制作搭建建筑，运用三角形的稳定性，探索建筑物的稳固性。

结构的稳固性是一条有效的线索，它连接着与稳固性和结构相关的科学原理和工程技术。具体教学活动如表 2。

● 基于实际工业情境，融合科学问题与工程技术——流动的液体



这是一个非常有效的方法，利用儿童日常生活中可能接触到的工业情境，融合科学问题和工程技术，例如在 2012 年 11 月举办的第 3 期“做中学”高级研修活动中用到的关于胶水、关于冷却的实例，

以及本期专题中介绍的“流动的液体”等。

● 基于生活情境，巧妙结合科学、技术和工程问题——自封袋^[5]

这是来自《Everyday Engineering: Putting the E in STEM Teaching and Learning》一书中的一个实例——探索自封袋。

自封袋是学生生活中常见的用品，通过不同的连接方式，使两个部分牢固地锁在一起，起到密封的作用。这其中包括有材料的特征和特性、连接的方式和方法、受力的控制等科学原理和工程技术。学生通过观察和研究常见的各种自封袋，了解力可以通过多种方式进行传递，可以用一些装置控制力，以实现自由地打开和闭合；了解这样的装置中有的部分需要能移动和旋转、有的部分必须牢牢地固定住；理解在设计结构时要考虑其用途和条件的限制，要考虑材质的选择和链接的方法。

在这个案例中，解决自由地打开和闭合这个实际问题成为一个贯穿始终的线索，将科学学习、设计和技术运用结合起来见表 3。

◎ 融合是将 STEM 教育引入中小学科学课堂的有效策略

从本专题的实例中，读者不难看出在科学、

表 3

活动方案：探索自封袋
● 引入 1. 有些人用塑料包装纸包三明治，有些人用铝箔，有些人用塑料袋。你会用什么包三明治？ 2. 看一看老师给你的各种自封袋，试着打开和封上。再用放大镜观察这些自封袋的构造。注意它们有什么共同点和不同之处。 3. 画出至少两种不同自封袋的构造。写一写这些自封袋是如何工作的。和同伴、老师分享你的发现和思考。 ● 探索 1. 设计一个能将文件夹封住的自封装置，绘制计划草图。 2. 在老师同意的计划之后，使用你能得到的材料建构一个工作模型。 3. 进行模型测试后再进行修改，最终得到你的最佳文件夹模型。 安全提示：在实验过程中佩戴安全护目镜 ● 解释 1. 解释你的结构是如何将文件封住的。包括描述其中的受力，通过画图的形式用箭头表示出受力的情况。 2. 将你的设计和你之前观察的自封袋相比较。写出它们的共同点和不同点。你做的是单轨、双轨还是多轨的结构？ 3. 在班级分享你的模型和解释，讨论用于封住文件夹的不同方法。 ● 评价 选择你使用或观察的一个方法，发明一个新的结构，写下并解释你的创造。

技术、工程、数学之间存在着一种相互支撑、相互补充、共同发展的关系。如果要了解它们，尤其是它们之间的关系，就不能独立其中任何一个部分，只有在交互中，在相互的碰撞中，才能实现深层次的学习、理解性学习，也才能真正培养儿童各个方面的技能和认识。

可见，当教师在考虑如何将 STEM 教育引入中小学科学课堂时，必须将它们看作 4 种彩线，交织在一起，融合在一起，才能织出绚丽的画卷。

参考文献

[1] 韦钰. 美国正在建设优秀 STEM 项目数据库. 中国科技教育. 2012 (9)

[2] John D. Bransford, et al. Committee on Developments in the Science of Learning, National Research Council. How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School. 2000

[3] National Assessment Governing Board. Technology and Engineering Literacy Framework for the 2014 National Assessment of Educational Progress. P1-4

[4] Committee on Conceptual Framework for the New K-12 Science Education Standards, National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Ideas. 2012

[5] Richard H. Moyer and Susan A. Everett. Everyday Engineering: Putting the E in STEM Teaching and Learning. NSTA press. 2012. P49-54