

ADVANCE AMERICA! LONG LIVE THE CAUSE OF INNOVATION!
¡AVANCE AMÉRICA! ¡QUE VIVA LA CAUSA DE INOVACIÓN!
前進吧，亞美利加！ 創新的事業萬歲！



為工程與技術教育推動一個流線型的、緊密銜接的、功能齊全的、最優化的、終生的、適應性強的、可調整的（SCHOLAR STEAM K12 Plus）模式，貫穿從幼兒園通過社區學院到研究生院或公司世界的整個生涯

Freedom and opportunities! You will have the right to a high quality K12 science, technology, engineering, arts and mathematics (STEAM) education!

¡Libertad y oportunidades! ¡Usted va a tener el derecho a una K12 educación de alta calidad en ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matematica (CTIAM)!

自由和機會！妳們將擁有接受高質量的、貫穿幼兒園到中小學階段的科學、技術、工程、藝術和數學教育的權利！

《爲了以工程爲著重點建設一個流線型的、緊密結合的、
最有效率的中小學科學、技術、工程、數學課程的模式建議書》
(Proposed Model for a Streamlined, Cohesive, and Optimized
K-12 STEM Curriculum
with a Focus on Engineering)

論文作者：駱南植 (Edward Locke)

最初發表：

維吉尼亞理工學院 (The Virginia Institute of Technology) 學術雜誌
《技術研究雜誌》 (The Journal of Technology Studies) 2009 年冬季第 2 期，第 23 至 35
頁 (網址：<http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JOTS/v35/v35n2/pdf/locke.pdf>)

再次發表：

美利堅合衆國聯邦政府教育部 (The United States of America Department of Education)
所屬研究機構教育科學院 (The Institute of Education Sciences) 網站 (網址：
<https://eric.ed.gov/?id=EJ906150>)

維吉尼亞綜合理工學院 (The Virginia Polytechnic Institute) 網站 (網址：
<http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JOTS/v35/v35n2/pdf/locke.pdf>)

EBSCOhost Connection 網站

(網址：<http://connection.ebscohost.com/c/articles/69712612/proposed-model-streamlined-cohesive-optimized-k-12-stem-curriculum-focus-engineering>)

原文爲英文，並由原作者翻譯爲中文。

爲了中文表意的流暢，作者在不違反原文意思的前提下，做了少量“技術性”修補。

摘要

這篇文章根據對全國以及州政府的規定的學業表現標準 (performance standards) 預設要求的 (pre-requisites) 數學運算技能和科學知識的掌握程度，提出了一個清晰地描述在選擇分析原則和預測性技能方面、各個年級的中小學生的年齡上可能學習的工程知識內容的模式；以及一種流線型的、緊密結合的、最有效率的中小學科學、技術、工程、數學課程，依據一種從幼兒園抑或小學開始、在初中得到加強、在高中分科、通過二年制社區學院流線型地融入四年制大學、並且把對於特定的分析性機能的牢固的掌握同通用性的工程設計程序相結合的連貫的學習過程。這篇文章是建立在一個曾經在佐治亞大學 (the University of Georgia) 約翰·馬提伏博士 (Dr. John Mativo) 的贊助下在肯塔基州路易斯

維爾市 (Louisville, Kentucky) 舉辦的國際技術教育協會第71屆年會 (International Technology Education Association's 71st Annual Conference) 上發表過的“遠景規劃論文”的基礎上的。希望這篇文章中所探索過的許多意見可以提供一些答案，幫助解決許多個月之後、在2009年9月8日由全國工程學院 (The National Academy of Engineering) 和全國研究理事會 (The National Research Council) 所聯合設立的中小學工程教育委員會 (The Committee on K-12 Engineering Education) 發表的、題為《中小學工程教育：理解現狀和改善前景》 (Engineering in K-12 Education: Understanding the Status and Improving the Prospects) 的權威性的報告裏所討論的、目前中小學工程教育的實踐中所存在的問題，其中包括連貫性的中小學工程課程體系不存在、和缺乏發展健全的教學標準。

引言

在最近的十多年中，同中小學科學、技術、工程和數學教育 (K-12 STEM education) 有關的學者們和行政官員們、以及關注這個領域的工商界領袖們覺察到，美國大學中工程專業畢業生缺少的問題必須解決。事實上，在過去的20年當中，美國大學中獲得工程學位的學生數量是相當少的。全國科學基金會2008年統計 (The National Science Foundation Statistics 2008) 表明，在1985年到2005年間，獲得學士學位的人數大約在60,000人到80,000人之間徘徊；獲得碩士學位的人數大約在20,000人到34,000人之間徘徊；獲得博士學位的數量大約在3,700人到6,000人之間徘徊。魏克蘭 (Wicklein, 2006年, 第29頁) 指出在美國，“目前，工程教育有著將近50%的學生退學率。[...] 佐治亞州目前從本州之外的源流中招聘50%的工程專業工作者”。在解決這個問題的努力中，美國各地中小學校已經開始把工程設計納入技術教育課程。希爾 (Hill, 2006年) 指出“把工程設計納入技術教育課程領域的提議越來越明顯”。史密斯 (2007年, 第2至3頁) 在提到“把工程設計納入中學技術教育課程”時肯定了美國各地高中至今所取得的成就，但是也指出“支離破碎的焦點”和“缺乏清晰的課程設置的框架”已經成為“發揮這個領域的潛在能量的不利因素，並且已經阻礙了為達到已經宣示過的所有學生都掌握技術技能 (technological literacy for all students) 的目標所做的努力”。在2009年9月8日由全國工程學院 (The National Academy of Engineering) 和全國研究理事會 (The National Research Council) 所聯合設立的中小學工程教育委員會 (The Committee on K-12 Engineering Education) 發表的、題為《中小學工程教育：理解現狀和改善前景》 (Engineering in K-12 Education: Understanding the Status and Improving the Prospects) 的權威性報告證實了目前的中小學工程課程中類似問題的存在。說得更加具體一些，中小學工程教育委員會 (The Committee on K-12 Engineering Education, 2009年) 發表的報告中所探討的中小學工程教育中所存在的最嚴重的問題包括 (a) 中小學工程課程缺乏整體性 (“工程設計作為工程活動的中心，在大多數中小學課程和專業發展項目中占有優勢地位。對於關鍵的工程概念 - 其中的許多是同工程設計緊密相關的 - 的處理，則非常非常地更不平衡”，第7至8頁, 第151頁)；(b) 缺乏發展健全的標準 (“在中小學校教授工程課程仍然在很大程度上是一項正在進行的工作...還沒有發展出全國的或州一級的評估學生成績的標準” (第2頁))。本文作者曾經在佐治亞大學 (The University of Georgia) 約翰·馬提伏博士 (Dr. John Mativo) 的贊助下，在國際技術教育協會第71屆年會 (International Technology Education Association's 71st Annual Conference) 上提出了一個模式，用來解決如下問題：

- 一個對於適合中小學校學生年齡的工程知識內容的清晰的描述：在為各個年級的學生選擇適合中小學校學生年齡的工程分析原理和預測性技能（engineering analytic principles and predictive skills）的時候，必須以對作為先決條件（prerequisites）的數學技能和科學（尤其是物理和化學）知識的掌握為基礎，正如全國的和州一級的對於前一個或目前的年級所規定的成績表現的標準所要求的那樣。
- 一個流線型的、緊密結合的、最有效率的中小學科學技術工程數學課程的模式：這是一個緊密結合的、連貫性的教育過程，從幼兒園和小學開始，在初中得到加強，在高中實行分科，並且通過二年制社區學院，流線型地融入四年制大學，可以為美國工程教育中存在的許多問題提供解決方案。這個流線型教育過程的原則同樣地可以適用於科學、技術、工程、和數學（STEM）的各個不同的領域（參見圖1和圖2）。取得中小學工程教育的效益的最大化的途徑包括（a）把特殊的分析性和預測性原理和技能與通用的工程設計過程的各種不同的模式相結合，使這兩者都可以同大學裏的工程教育相融合，（b）把傳統的以解題公式為基礎的分析性的計算和實體的實驗室試驗活動同現代的數碼模擬技術相結合。本文作者所建議的課程設置的宗旨是，通過讓中小學校裏學到的工程知識內容可以在大學一級的工程課程所應用，把中小學工程技術教育課程同大學工程教育課程天衣無縫地銜接起來；這就是現存的中小學科學、技術、工程、和數學（STEM）課程設置的各種模式中被忽視的“缺失的E字母”（即engineering，或“工程”）。

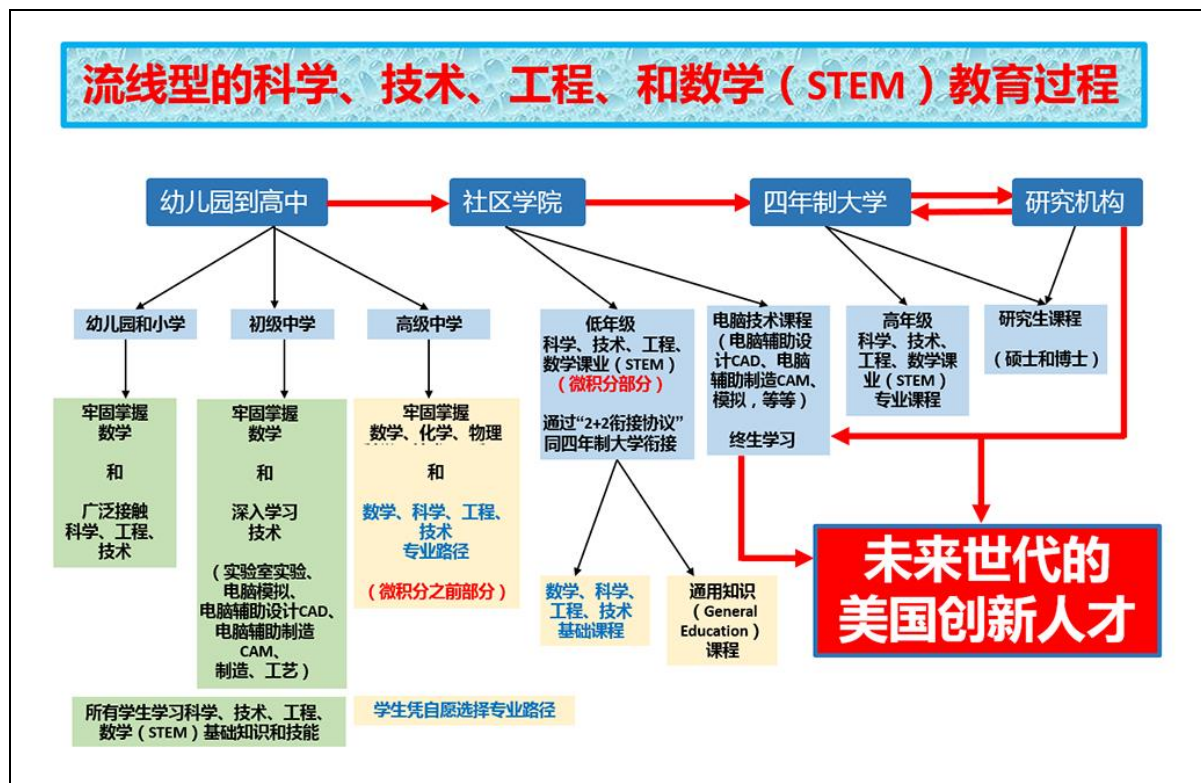


圖 1. 一個流線型的、終生的科學技術、工程、和數學（STEM）教育的遠景設想。

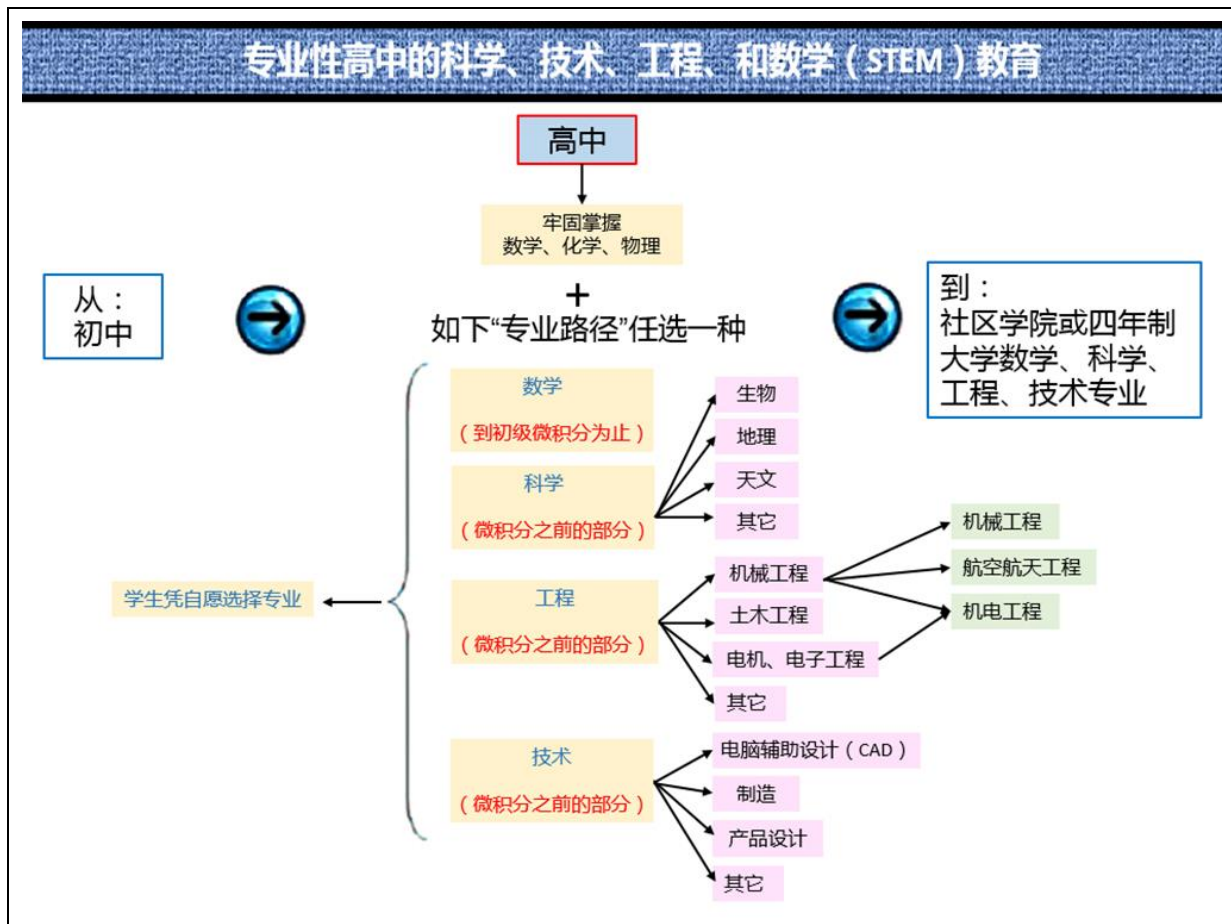


圖 2. 一個流線型的科學、技術、工程、和數學 (STEM) 教育模式。

本文提出的模式可能對於中小學工程教育委員會 (The Committee on K-12 Engineering Education) 報告 (2009年) 所描述的各种問題的解決做出貢獻。

爲了清晰地描述適合中小學校學生年齡的工程知識內容所提出來的一個模式

理解如何科學地、理性地、和有效地把工程分析的知識內容和設計過程注入中小學校的課程設置的關鍵，是同對於如下四種基本關係的理解相關聯的：

(1) 數學、科學、工程、和技術之間的關係：數學爲在科學、工程、和技術方面進行預測性的分析提供計算的工具；這是決定能不能將任何的科學、工程、和技術的課題注入在任何年級教授的任何課程的主要的“門衛”。科學 (物理、化學、生物學，等等) 所關注的是發現和傳輸知識；它們構成了工程和技術的基礎；除此之外，科學 (尤其是物理和化學) 構成了二級的“門衛”式的決定因素。工程師們把通過科學研究過程獲得的知識應用在創意性的產品和系統設計中，以便解決日常生活中所碰到的各種問題；他們並且是科

學、技術、工程、和數學（STEM）體系中，通過創新的過程，把“純粹的”知識轉化為有用的、並且在財務上可以盈利的資產（產品和系統）的重要的環節。技術是應用、維護、和安排產品和系統，以便解決日常生活中所碰到的各種問題的技能。基于這樣的理解，為任何年級的學生選擇工程課題，都必須建立在預先掌握了數學和物理課程中所學習的必要的原理和技能的基礎上。

（2）特定的工程分析的知識內容同通用的工程設計過程之間的關係：掌握足夠數量的特定的工程分析的知識內容（原理、概念、使用公式和電腦模擬軟件的計算技能、以及實驗和研究方法），構成了有意義的工程設計的基礎；相比之下，工程設計為學生提供綜合運用在各種專業的工程課程中所學到的知識和技能、找到切實可行的解決方案、創造和維護有用的產品和系統的機會。基于這樣的理解，要把工程作為一種有意義的科目納入中小學課程，就必須把它建立在一種在教授特定的工程分析知識內容同培養使用工程設計過程的能力之間維持適當的平衡的基礎上。

（3）不同的設計模式和中小學學生的智力發育的不同階段之間的關係：設計過程可以包括下列不同的模式。

- 創意性和概念性的設計（Creative and Conceptual Design）：這種模式的例子包括概念性的想象（conceptual imagination）、構思（ideation）簡單的產品和工具（例如，日用物件，比如購物袋、長凳子、椅子、和桌子）。幼兒園和小學學生只要稍微訓練一下就能夠具備良好的狂野的想象能力，但是在這個年齡階段，他們剛剛開始學習基礎的數學和科學知識；因此，這個模式可以在幼兒園到小學第五年級運用。
- 技術教育設計（Technology Education Design）：這一種設計模式是建立在“反複試驗”的“試錯法”（trial-and-error）、或叫作“假設和求證”（hypothesis-and-testing）的基礎上的；這是科學探索中的一種重要的方法。這種模式的一個可能的例子是，根據一種理性的假設並且通過試驗驗證或否定假設，設計、制作、和試驗一些複合材料。這種模式可以在中小學校第六年級到第八年級使用。
- 解析約簡（Analytic Reduction）：這種模式對於解決結構良好的、簡單的、在通常情況下屬於封閉型的（closed-ended）工程設計問題而言是一種好模式（比如說，設計一組用來改變速度和旋轉運動的方向的齒輪，這種設計所要著重解決的是各種科學技術問題）。它適合于涉及特別的成套的知識內容、獨立設置的工程基礎課或特定的專業課。這種模式可以在中小學校第九年級到第十一年級使用。
- 系統思維（Systems Thinking）：這種設計模式對於解決結構不良的、開放型的、複雜的、涉及到不僅僅好多個門類的科學和工程知識、而且還涉及到許多社會科學領域如文化與經濟、環境保護、和藝術的工程設計問題而言是一種好模式。它一般來說可能導向產生可以滿足最初的設計要求的多種結果。這是現實世界裏的工程設計中最常使用的模式。這種模式的例子包括許多典型的大學本科工程專業的高年級設計項目。對於中小學校第十二年級或畢業年級的“壓頂石”（capstone）設計課

程來說，這種模式將是最合適的模式；不僅如此，它可以用于中小學校所有年級的課外的、跨科系的設計作業。

讓中小學生加入設計過程是可行的。以前由福利爾（Fleer，2000年）在堪培拉大學（The University of Canberra）和澳大利亞課程開發公司（The Curriculum Corporation of Australia）資助下爲了開發一項技術課程所做的研究得出結論，認爲幼小三歲到五歲的兒童也可以進行口頭的或者視覺的計劃，作爲利用原材料制作物件的過程的一部分；他們所做的計劃涉及到使用列表和設計他們想要制作的東西。克雷克斯頓（Claxton）、帕內爾斯（Pannells）、和若德斯（Rhoads，2005年）指出達到發育成熟的水平發生在五歲到六歲的年齡之間；創新能力的高峰（creative peak）發生在十歲到十一歲的年齡之間；“在十二歲之後，創新能力的逐漸的但是穩定的上升發生在整個成年期間，直到在大約十六歲的年齡達到第二次高峰”（第328頁）。

（4）幼兒園與小學教育同中學教育之間的關係：貫穿整個幼兒園到小學六年級期間，學童們剛剛開始學習科學、技術、工程、和數學（STEM）、英語、以及其它規定必修的課程的基礎知識和技能；他們的數學技能非常有限，不足以進行工程分析和同預測有關的計算；因此，在一般科學課程中，提供一種綜合性的科學、技術、工程、和數學（STEM）學習過程，廣泛地接觸各種各樣的科學、工程、和技術課題，將是非常適合學童年齡的。在中學階段，學生要麼已經掌握了或者處于正在掌握更加深入的、特殊的數學技能（代數、幾何、三角），並且已經掌握了一些爲理解工程分析的原理所需要的基本的科學原理；因此，更加廣泛地學習工程課題是切實可行的；在這裏，可以強調深度和專業性。

選擇適合中小學年齡的分析性原理和技能的方法

至今爲止，各種工程課程中的“硬件核心”（hard-core）內容，例如靜力學、動力學、流體力學，一般來說，直到進入大學本科課程，並沒有系統性地教授給學生。盡管如此，這類課程中所使用的課本，可以拿來分析，以便確定其中所包含的各種課題對於預先掌握數學和科學（尤其是物理和化學）技能的要求。這些技能只要已經在中小學的各個年級預先掌握，有關的工程課題就可以選擇在更高的年級進行教學試驗，以便確定它們是否適合某個年齡。本文作者曾經在2009年春季學期在佐治亞大學（The University of Georgia），進行對於適合高中學生的靜力學和流體力學課題的研究，使用了如下步驟：

- （1）選擇在大學本科工程系靜力學和流體力學課程中最受歡迎的課本和教師解題手冊；
- （2）認真閱讀正文文本中的每一個段落，以便找出並且記錄學習每個課題前必須預先掌握的科學知識內容（尤其是物理和化學）；
- （3）找出相關的計算公式，以便確定並且記錄所需要的數學技能；並且
- （4）把記錄過的信息同選定的一個州政府的《教育廳數學與科學學業表現標準》（Performance Standards for Mathematics and Sciences of the Department of Education）規定相比較，以便確定把這個課題納入哪一個年級。

以前做過的這個研究表明，使用美國國內“學業表現低”（low performing）的州當中的一個的州政府《教育廳數學與科學學業表現標準》中的規定，大學本科靜力學和流體力學課程所使用的教科書中的全部課題當中，大約50%是建立在中學九年級之前已經學完的微積分以下的數學技能和科學原理的基礎上的；因此，它們可以教授給九年級的學生。對於其它大學本科專業通用的工程基礎課程（如動力學、材料力學、材料科學、傳熱學、熱力學、工程經濟學、和空氣動力學）而言，按照本文作者使用同樣的標準所作的粗略估計，這個百分比的數值在30%至50%之間。

儘管高中學生有可能學習工程課題，這並不自動地意味著他們將有足夠的精力投放其中。因為許多因素，中小學課程表已經塞滿了許多規定的必修課；並且用來推行工程教育的教學資源是相當有限的。因此，說實在的，只有最重要的工程分析的知識內容，能夠被嘗試納入課程中。有關各種不同的課題的相對的重要性的專家意見，有可能通過“五點裏克特量表”（Five-point Likert Scale）和“四輪德爾菲調查”（Four-round Delphi Survey）來收集。這種調查可以用來確定各種不同的工程分析原理和計算技能的相對的重要性，以便納入一種切實可行的中小學工程課程，並且最終建立全國的、或者各州的中小學工程課程教學標準。

關於一個流線型的、緊密結合的、最有效率的 中小學工程課程的模式建議

以上述的用來發展一個清晰地描述適合中小學學生年齡的工程知識內容的機制為基礎，作者謹在本文中建議採用一種流線型的、緊密結合的、合乎邏輯的、最有效率的中小學工程課程的新模式，它同樣地可以作為一種通用的模式應用在包括數學和科學在內的理科（STEM）領域（如圖1和圖2所示）。這個新的模式可以提供一種切實可行的框架，用於把貫穿整個中小學工程教育的必須修習的基本知識和技能強有力地、系統地組織起來並且編列先後次序，讓未來的中小學工程課程最大限度地同大學水平的工程教育、以及現實世界中的實踐銜接起來，並且最終導致建立起正式的全國和各州的中小學工程教育的教學標準（learning standards）、或指導方針（guidelines）。

建議中的模式將包括兩個組成部分：一個“正規課程”（Regular Curriculum，如表1所示）供所有在中小學工程課程（K-12 Engineering Curriculum）或“職業路徑”（Career Pathways）注冊的學生使用，和一個供入選的學生使用的“課外加強學習項目”（Extracurricular Enrichment Program）。

第一個組成部分 - 正規課程 (Regular Curriculum)

路易斯（Lewis，2007年）指出，“如果想要在學校裏更加根深蒂固的話，工程教育就必須具備學校裏的學科的各種特征，並且用對兒童有什麼益處的話題爭辯”（第846頁）。除此之外，路易斯（Lewis，2007年）探討了如下需要：（a）建立一種“經過編纂整理的整體的知識體系（codified body），它可以貫穿所有年級排列次序並銜接”，並且集中

地嘗試把工程中的最新技術系統化、使它們能夠在學校中可以轉換（而不是在短時期內把努力的著重點放在某一個課題或單元），並且，（b）使工程教育變成一個緊密結合的整體，具備為學科的領域創制的教學內容的標準，如同科學和技術教育那樣（第 846 至 848 頁）。

如表 1 所示，正規課程（Regular Curriculum）是為所有的對科學、技術、工程、和數學職業路徑（STEM Career Pathways）有興趣的、並且能夠在基礎的數學技能方面得到充分的訓練的學生所設計的；其宗旨是有步驟地實施工程設計程序，從簡單的到複雜的、從容易的到困難的、從廣泛的到深入的、從一般的到特殊的、漸進地、合乎邏輯地、有系統地、遵循緊密結合的序列向前推進。這樣做是建立在適合學齡的、深度地尊重歷經時間證明的傳統的教學方法、同時吸收最近幾十年間在教學技術上、尤其是在數碼建模和模擬技術方面所取得的各種積極的成果。這種課程是分為幾個階段，每一個階段同在某一個中小學教育的時期注入的工程設計相對應：（a）幼兒園和小學；（b）初中；（c）高中；和（d）高中畢業年級。

在第 K 年級到第 5 年級（幼兒園和小學）：所有的學生將入門學習科學、工程、和技術，同時建立牢固的數學基礎。學生們將會有機會（a）廣泛地接觸各種不同領域的科學、工程、和技術（“廣度”）；（b）培養創意性的想象能力（“野性”）；（c）培養把互動的、互相聯系的各種技術體系有系統地、整體地觀察的能力。在下列科目中，學生們將掌握某些與傳統上大學工程和技術課程所要求的相同的知識內容：科學、工程和技術入門課；工程倫理課；以及合適的工程技術課。這個階段將與過去十多年中美國許多中小學校的實踐相類似。它在通過概念式的、動手的、和創意的設計活動，注入適合學齡的工程知識內容方面，將可能做出最小規模的修改。

在第 6 到第 8 年級（初中）：這個階段所包括的課程必須對所有的學生開放，並且由所有有志于學習科學、技術、工程和數學的學生（STEM-oriented）修習。在這個階段，所有的學生將鞏固他們的數學和科學基礎，並且通過更加專門的和獨立的課程，探索傳統和現代的技術的基礎知識。學生們將掌握同工程有關的現代技術的基本知識和技能，如電腦輔助繪圖（CAD）和立體建模。傳統和電腦數值控制（CNC）的制造過程，等等。這類課業將為他們做好從事同科學、技術、工程和數學有關的終生職業做好準備。對於非科學、技術、工程和數學專業意向的學生而言，在本文所建議的模式中的這一部分所包括的技術課程，將仍然有可能幫助他們獲得實用技能而終身獲益。本文所建議的模式中的這一部分當中，數學和科學的部分，除了知識內容將變得更加專門和更加強化、納入某些相關聯的工程課題（作為“應用題”或袖珍研究項目作業），將仍然同美國大多數中小學校在過去所實行的相類似。除此之外，將提供專門的、加強的、同工程有關的技術課程。

表1.中小學正規工程課程 (Regular K-12 Engineering Curriculum) 流程圖

第K年級至第5年級 (Grades K-5, 幼兒園 到小學) →適用所有學生	第6年級至第8年級 (Grades 6-8, 初中) →適用所有學生, 尤其是 學業方向為科學、技術、 工程和數學 (STEM) 者	第9年級至第11年級 (Grades 9-11, 高中) →適用所有選擇“工程路 徑”(Engineering Pathway)的學生	第12年級 (Grade 12, 高中畢業年級) →適用所有選擇“工程路徑” (Engineering Pathway)的學生
知識內容 (課業)			
<p><u>科學、技術、工程和數學 (STEM) 課程</u> (2門課; 貫穿第K年級至第5年級的所有年級)</p> <p>第1課 (第K年級至第5年級的所有年級) - 數學課</p> <p>第2課 (第K年級至第5年級的所有年級) - 科學、技術、和工程綜合課: <ul style="list-style-type: none"> 科學、工程、和技術的一般原理; 科學、工程、和技術的多種課題; 生態可持續的科學、工程、和技術的應用; 科學、工程、和技術的職業和倫理。 </p> <p style="text-align: right;">→</p>	<p><u>數學和科學課程</u> (2門課; 貫穿第6年級至第8年級的所有年級)</p> <p><u>技術</u> (8門科目, 組成4門一整年的課程; 每年/每年級1課)</p> <p>第1課 (第6年級) - 產品設計和制作: <ul style="list-style-type: none"> 工程繪圖、實體造型和產品設計; 制造系統。 </p> <p>第2課 (第7年級, 是對第6年級科學課程的延續) - 人類和環境: <ul style="list-style-type: none"> 電力和能源; 建築系統。 </p> <p>第3課 (第8年級) - 技術美學和人機工程學: <ul style="list-style-type: none"> 電腦圖案設計和產品美學; 人機工程學、性能安全、和合適的技術開發。 </p> <p>第4課 (第8年級, 作為科學課程的一部分教授) - 電子學和控制技術: <ul style="list-style-type: none"> 電路設計、零部件選擇、和設計模擬; 機器人組裝和編程。 </p> <p style="text-align: right;">→</p>	<p><u>數學和科學</u> (2門課; 貫穿第9年級至第11年級的所有年級), 在科學科目中, 物理和化學是必修課。</p> <p><u>工程基礎</u> (多種科目組成3門課; 每學期1課):</p> <p>第1課 (第9年級, 第1學期) - 工程力學 (上): <ul style="list-style-type: none"> 靜力學和動力學。 </p> <p>第2課 (第9年級, 第2學期) - 工程力學 (下): <ul style="list-style-type: none"> 流體力學和空氣動力學; 傳熱學和熱力學。 </p> <p>第3課 (第10年級, 第1學期) - 工程材料: <ul style="list-style-type: none"> 材料強度; 材料性質、處理和選擇。 </p> <p><u>工程路徑 (Engineering Pathway)</u>, 3門課; 每學期1課; 第10年級第2學期, 第11年級第1和第2學期) →</p> <p>備注: 對於非工程的路徑 (科學、技術和數學) 而言, 基礎課程 (Foundation courses) 和路徑課程 (Pathway courses) 將是不同的。</p>	<p><u>設計“頂石”課程 (Design “Capstone”)</u>, 2門課, 第12年級)</p> <p>第1課 (第12年級, 第1學期) - 工程設計“頂石”課 (上) (Engineering Design Capstone I): <ul style="list-style-type: none"> 袖珍課 (Mini Lesson): 工程經濟學、和同設計項目有關的其它課題; 設計活動 (團隊作業)。 </p> <p>第2課 (第12年級, 第2學期) - 工程設計“頂石”課 (下) (Engineering Design Capstone II): <ul style="list-style-type: none"> 設計活動 (團隊作業)。 模型制作活動 (團隊作業)。 </p> <p>備注: 對於非工程的路徑 (科學、技術和數學) 而言, 設計“頂石”課程 (Design “Capstone” courses) 將被改為研究或制作“頂石”課程 (Research or Manufacturing “Capstone”)。</p>
設計過程的模式			
<p>創意的、概念性的、和輕度的分析 (作業)。</p> <p style="text-align: right;">→</p>	<p>工程和技術實驗 (作業)</p> <p style="text-align: right;">→</p>	<p>解析約簡 (Analytic Reduction), 解決結構良好的問題, 如“袖珍頂石” (“Mini Capstone”) 或每一課的期末設計或研究作業。</p> <p style="text-align: right;">→</p>	<p>系統思維 (Systems Thinking), 解決結構不良的問題, 如“頂石”畢業項目作業 (“Capstone” graduation project)。</p>

在第9到第11年級（高中）：在分開的科學、技術、工程和數學職業路徑（STEM Career Pathways）中注冊的學生必須修習這個階段所包括的選修課；如圖2所示，這些“職業路徑”，根據變化中的全國或各州的需要，可以是任何科系的科學（生物學、化學、物理職業路徑等）、技術（電腦輔助繪圖、制造、產品設計，等等）、工程（機械、土木、電機和電子，等等）。在這個階段中，學生們將根據自己的選擇分支到不同的科學、技術、工程、和數學“職業路徑”（STEM “Career Pathways”）中，選修一系列以學習微積分前必修的數學課程（precalculus）為基礎的、緊密聯系的專業課程。專業的科學、技術、工程、和數學“職業路徑”（STEM “Career Pathways”）課程將讓學生們通過“跨機構的轉學抑或銜接協議”（cross-institutional transfer and/or articulation agreement），直接地、流線型地融入兩年制社區學院或四年制大學裏相關的科學、技術、工程、和數學專業（STEM majors），這些協議可能將包括技術課程如工程繪圖和電腦輔助設計與電腦輔助制造（CAD/CAM）的“高中與大學雙重學分”（dual high school and college credits）、以及在某一個特定的科學、技術、工程、和數學專業領域的“高中考核證書”（High School Certificate Examination），證明已經完成了某些課程（如科學、工程和技術入門、工程倫理、適當的技術，等等）、或其中的微積分之前的部分。在未來，可以參照“工程基礎考試”（Fundamentals of Engineering，縮寫為FE）制定特殊的考試，以便考核高中畢業生的解決微積分之前的水平的（precalculus-level）工程問題的能力。對於通過了這類考試的學生，可以實行特殊的方便照顧措施，例如，他們仍然將在某些大學本科工程課程中注冊，繼續學習他們在高中還沒有學到的、微積分之後的部分的相關的課題，但是，他們將被免除同微積分之前的部分課題有關的特定的作業和測驗，允許他們把時間專門用在以微積分為基礎的課程學習材料、和工程設計與研究項目上。

在第12年級（高中畢業年級）：本文中建議的模式當中的數學與科學的部分仍然將同美國大多數中小學校在過去的十數年間所施行的、讓學生從高中畢業並且進入大學教育的政策相類似。在中小學教育的最後一年，在科學、技術、工程和數學“職業路徑”（STEM “Career Pathways”）中注冊的學生們將花費兩個學期，完成一項研究課題或一種設計“頂石”（design “Capstone”）項目，以便顯示自己有能力把在以前完成的各種不同的課程中所學到的知識內容，以“系統思維”的模式（“System Thinking” mode），綜合應用于解決一個開放性的、複雜程度合理的、現實世界中的實際問題。這個項目可以構成學生的“學術作品選集”（academic portfolio）當中的代表作（masterpiece）。教師們將為學生提供諮詢建議、指導、和評價的服務，並且教授同“頂石”項目相關的額外的課題。

核心的工程概念“超越使用工具的技能，…並且超越在過去的二十多年中已經引起了專業人士興趣的數碼技能。工具將發生變化但是甚至更加重要的是認知內容（cognitive content）和獲取知識的過程（intellectual processes），它們對於有效地解決技術問題和讀寫能力（literacy）而言是不可或缺的”（桑德斯，Sanders，2008年，第6頁）。關於一種以微積分之前的數學為基礎的、但是屬於“硬件核心”的（“hard-core”）高中工程課程的理念，作為本文所提議的模式的核心部件，是切實可行的。實用的工程師日常工作中經常使用的大多數同工程設計有關的基礎的科學原理和分析技能，都是建立在微積分之前的數學（三角、代數、幾何、和方程）的基礎上的，某些時候需要初級的微積分（積分和微

分)、以及對線性代數的相當大量的需要。傳統上,“硬件核心”的(“hard-core”)工程課題是在大學本科低年級課程中教授的。盡管如此,因為微積分之前的數學是在美國大多數高中教授的,在合理的程度上有可能把傳統的大學程度的工程知識內容的某些部分,下載給高中學生,以便使他們通向工程職業的路徑更加通暢。因此,開發並推行一種可以同大學的工程教育無縫地連接起來的高中工程課程是切實可行的。

本文所建議的中小學工程教育課程模式(The Proposed Model for K-12 Engineering Curriculum)是為了解決美國長期短缺工程專業畢業生的問題而設計的,它將通過為中小學生提供一種更好的準備工作以便進入大學工程專業;它能夠有選擇地教授高中學生合適的、至今為止停留在大學本科工程教育課程的領域裏的工程知識內容(“微積分之前的部分”,即“precalculus portions”)。采用這個模式可以讓完成工程技術課程的高中畢業生掌握足夠的、可以融入大學本科工程課程的工程分析技能,因此,他們可以花費數個星期的時間複習課程教學材料中的“微積分之前的部分”,然後集中精力學習難度更高的需要微積分的部分。這樣做將(a)為學業上碰到困難的高中學生提供更好的機會、做為“早起的鳥兒”(early bird)捷足先登追求工程專業、因而增加國內學生在各種大學本科工程專業的入學率;(b)為美國大學本科工程專業的學生提供同樣的“早起的鳥兒”捷足先登的利益、使他們相對於許多其它國家的學生具有優勢地位;(c)為大學工程教授提供管理教學進度的更好的方式。學生們將會更加充分地準備好處理課業,這將改善大學本科工程教學質量並且降低退學率。

第二個組成部分: “課外加強學習項目” (*Extracurricular Enrichment Program*)

“課外加強學習項目”可以按照兩種形式推行。

把工程課題注入中小學數學和科學課程中

除了通過特設的“職業路徑”(Career Pathway)課程教授工程分析與設計之外,合適的工程內容可以納入正常的初中和高中數學、化學、和物理課程中,作為補充的教學材料,應用題、和簡單的設計作業。例如,在幾何課中,可以向學生解釋各種三角形在工程中的應用,比如說,三角形是“堅不可摧”的(“indestructible”),除非邊長被改變,形狀將不會變化。除此之外,構成三角形的部件在結構設計中廣泛使用;橋梁設計項目作業可以由網站中可以找到的學習材料配合、納入學習“力平衡”(force equilibrium)的課題中,使用“西點橋梁設計”軟件(West Point Bridge Design,網址:<http://bridgecontest.usma.edu/>)模擬設計橋梁,並且建造縮尺模型。除此之外,因為各種三角形都有一個直邊同一個銳角相對應,它們可以適應立體空間中的各種不同的形狀並且用于不規則形狀和彎曲面的構成中;因此,可以教授某些工程板金設計課題,給學生一個機會,設計一個過渡件(transition piece),如圖3所示。在化學課中,可以納入材料選擇的課題。其它合適的工程課題可以由工程和技術教授以及研究生根據完善的標準加予選擇,並且作為補充的學習材料,通過使用初步研究(pilot study)或其它教學試驗機制的

過程，逐步地加進中小學數學、物理、和化學課程。這個方式是簡單易行的，並且沒有風險。它將不太可能造成對於常規的中小學數學與科學課程教學程序的幹擾。

表 2. 佐治亞大學 (the University of Georgia) 各種工程專業的本科低年級通常共有的基礎課程，根據在德裏弗特米爾工程中心 (Driftmier Engineering Center, 地址: Athens, Georgia 30602) 得到的《本科工程教育課程表》 (Undergraduate Engineering Program Handouts) 所提供的資訊整理

佐治亞大學 (The University of Georgia) 工程教育	佐治亞大學工程基礎課程								
	ENGR1120 繪圖與設計 (Graphics & Design)	ENGR 2120 靜力學 (Statics)	ENGR 2130 動力學 (Dynamics)	ENGR 2140 材料強度 (Strength of Materials)	ENGR X 流體力學 (Fluid Mechanics)	ENGR 3140 熱力學 (Thermodynamics)	ENGR 3150 傳熱學 (Heat Transfer)	ENGR 2920 電路 (Electrical Circuits)	ENGR 2110 工程決策 (Engineering Decision-Making)
農業工程科學士學位 (B. S. in Agricultural Engineering)									
電機與電子系統 (Electrical & Electronic Systems)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
機械系統 (Mechanical Systems)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
自然資源管理 (Natural Resource Management)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
結構系統 (Structural Systems)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
過程操作 (Process Operations)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
生物工程科學士學位 (B. S. in Biological Engineering)									
環境專業 (Environmental Area of Emphasis)	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
生物化學專業 (Biochemical Area of Emphasis)	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
生物醫學專業 (Biomedical Area of Emphasis: • Biomechanics Track • Instrumentation Track)	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓

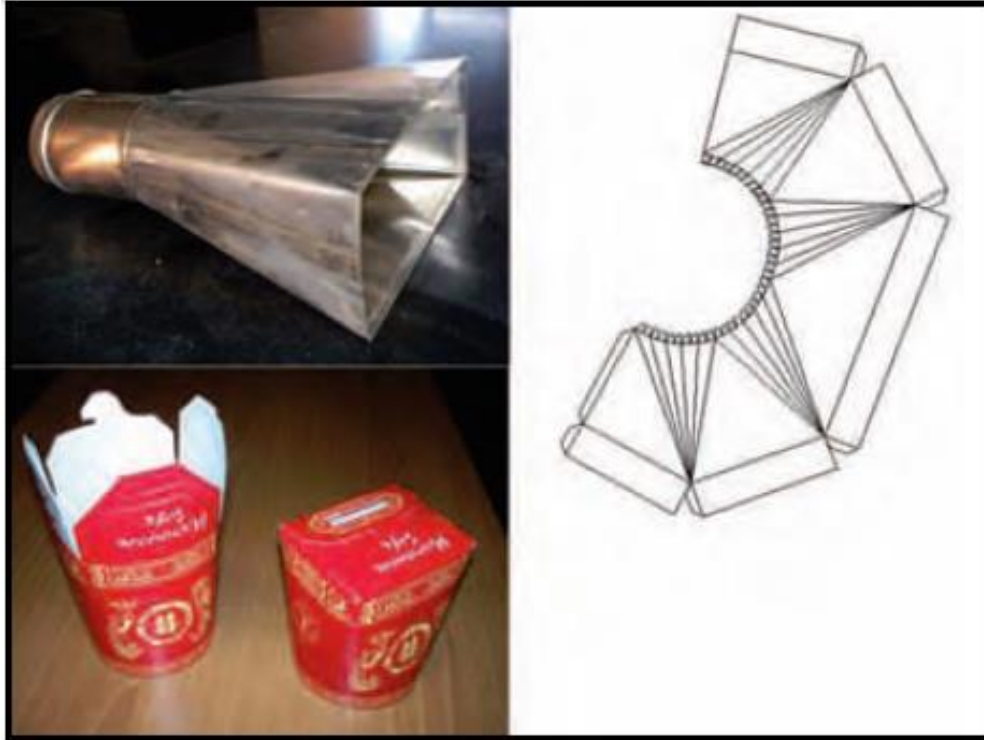


圖 3. 從圓形到方形的過渡件的實例（板金連接件和餐館外賣食物容器）。

跨科系的設計項目 (Interdisciplinary Design Projects)

涉及取自各種不同的課題的知識與技能的工程設計項目可以通過課余俱樂部活動、或暑假訓練班加予推行。這類“加強學習項目”（Enrichment Program）可以為在“科學、技術、工程、和數學路徑”（STEM pathways）中注冊的學生提供機會，以便（a）複習以前學過的科學原理和技能，同時學習同設計項目有關的新的東西；（b）綜合運用取自各種不同的科學、技術、工程、和數學課題的原理和技能、以及非科學、技術、工程、和數學課題的知識（如社會研究和藝術等等），找到實用的設計解決方案；（c）培養把工程設計過程中的“解析約簡”（analytic reduction）和“系統思維”（system thinking）這兩種模式綜合運用的能力，以現實世界的方式解決現實世界的各種問題。馬提伏和西林特裏克奇（Mativo and Sirinterlikci, 2005 年）為第 7 年級至第 12 年級（Grades 7-12）的學生制定了一個“動物電子”（Animatronics）設計項目。它包括一個開放型的、創新性的項目，設計一個仿生的、娛樂性的機器人，或動態的、互動的玩具，包括一個機械電子團塊、企鵝、機器人垃圾桶、以及一個人類和怪物混血的雜種動物。這些構件可以在一種有趣的、創意的團隊環境中，巡航、揮舞寶劍、拍動翅膀、閃亮眼睛。它們綜合了來自如下的各自不同但是又互相關聯的學科中的分析和設計技能：（a）機械工程（材料和制造程序的選擇、包括金屬、陶瓷、塑料和複合材料、機械設計、杠杆和曲柄的組裝，等等）；（b）電子（執行器、傳感器、和控制器）；（c）微型控制器結構與編程；（d）新型技術如肌絲（muscle wires）、空氣肌肉（air muscles）、微型和納米控制器（micro- and

nanocontrollers)；(e) 平面和立體美術（利用布料和橡膠膠乳制作服裝、造型建模）；以及(f) 工業產品設計。如圖 4 所示，這個項目的推行表明學生的學業表現在跨科系的工程設計項目中得到改善了。綜上所述，在“正規課程”（Regular Curriculum）之外，“課外加強學習項目”（Extracurricular Enrichment Program）將是一種行之有效的增補構件，可以幫助鞏固學生對於基礎知識和創意設計能力的掌握。

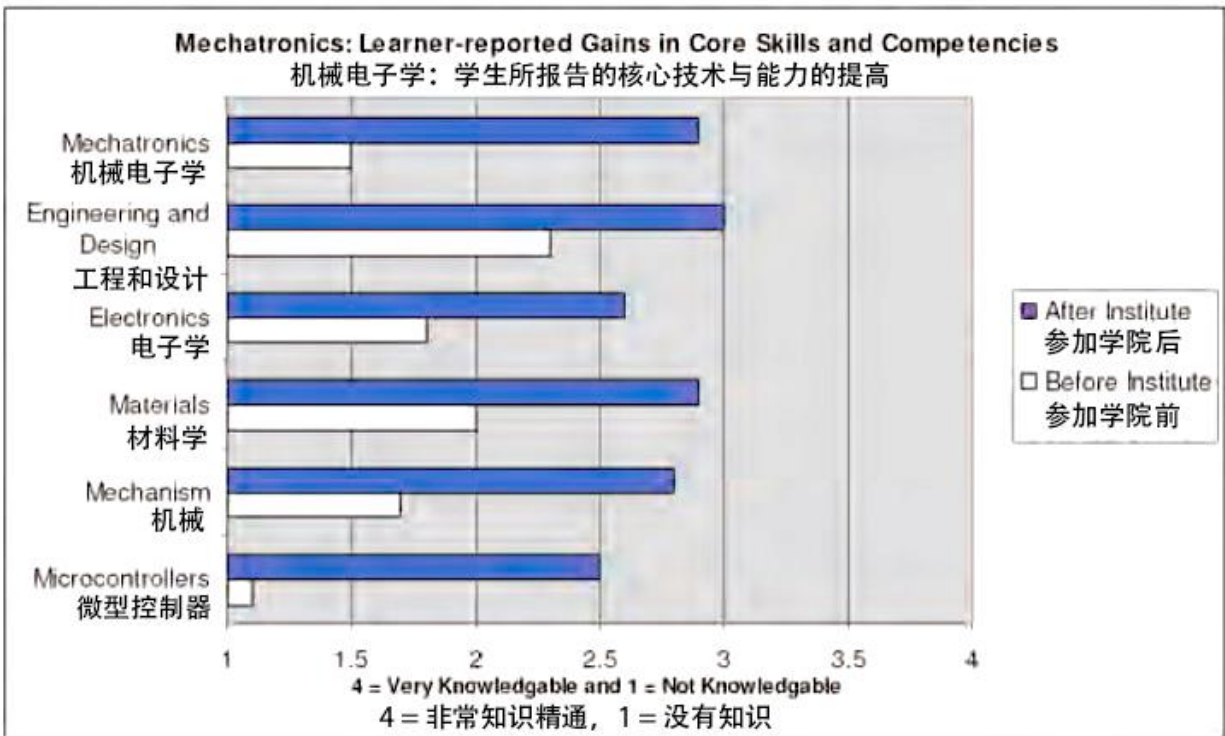


圖 4. 西林特裏克奇 (Sirinterlikci) 和馬提伏 (Mativo) 的動物電子 (Animatronics) 設計項目，通過注入工程設計，幫助學生改善科學、技術、工程和數學學業表現 (Mativo & Sirinterlikci, 2005a)。

潛在地能夠實現的學生學習成果

(Potentially Realistic Students' Learning Outcomes)

對於在中小學工程課程裏注冊的學生來說，當他們從高中畢業的時候，他們有可能實現的預期的目標將包括 (a) 為微積分之前的數學和科學打下牢固的基礎；學到同工程有關的工藝技術和電腦立體模型制作以及模擬技術有關的基礎知識；(c) 掌握足夠的、大量的、以微積分之前的數學為基礎的工程分析原理和預測性的計算技能；而且 (d) 熟悉各種模式的工程設計程序。這些潛在地能夠實現的學生學習成果，將給這些學生從如下各項中選擇的自由：

(1) 在大學工程專業中注冊做全時間 (full-time) 學生，具備對於基礎課程中微積分之前的部分的牢固的掌握、以及實用的工程設計和研究技能，或

(2) 進入就業市場做技術雇員，如使用電腦輔助設計軟件的、具備設計簡單的產品（如家具、工具、含有電子部件的玩具、和含有某些簡單的電路和機械部件的廚房用具）的能力的、入門級的繪圖員 (CAD drafters)，同時做半時間 (part-time) 的學生，攻讀工程和技术專業，包括兩年制技術證書或四年制科學學士學位；或者

(3) 進入非工程的大學本科專業（例如科學和數學），具備對終生的職業發展有用的能力和技術；例如，一個未來的科學家或數學家將有能力設計並制作器具方便實驗或教學。

請注意上述的各種選項僅僅是方便的建議而已，並且絕對不是構成“學業分等級”

(academic tracking) 的意念。如果本文所建議的模式能夠適當地推廣，那麼，在“中小學科學、技術、工程、和數學職業路徑” (K-12 STEM Career Pathways) 中學習的所有的學生（不管他們的學業成績如何），都將能夠爲了攻讀大學科學或工程專業做出更好的準備。因此，本文所建議的模式將被視爲一種追求平等的（但是是向上流動的和靈活的）模式，它將從學術的角度上促進學生們平等地準備進入大學工程專業；它將讓學生們自願地選擇自己的職業生涯。本文所建議的模式的最終目的，是教育培養新的幾代的富有創新精神的工程師或其它領域的專業人才。這個目標可以通過盡早地把中小學生送上工程專業的軌道、以便使他們能夠在生活中盡早地培養分析和創新能力來實現。由于新知識和新技術、尤其是同數碼建模和模擬 (digital modeling and simulation) 有關者的爆炸性發展，現代工程教育比從前更加複雜。除此之外，傳統的工程教育因爲對於微積分爲基礎的數學、物理、和工程課程的繁重的要求，在某種程度上已經對學生們構成挑戰。因此，讓學生盡早地走進“工程職業路徑” (Engineering Career Pathways) 將是明智的。本文作者的指望並不是所有的中小學學生都在一瞬間成爲 機器人設計家或飛行器工程師（雖然，必須爲他們當中的學業成績最優秀者提供充足的準備，以便從事這類攸關國家重大利益的職業）。這種指望是遠遠超過他們的智力成熟程度的（唯一的例外是，在某些高成就的社區，經濟的和學習的條件將有可能神奇般地允許這樣的奇迹發生）；相反地，我們的目標應當是把中小學工程和技术教育同一般的中小學生的智力發育程度相匹配。以機械工程職業路徑 (Mechanical Engineering Career Pathway) 爲例，應當指望從這一項目畢業的學生具備某些創新能力和分析技能，以便設計並制作包含簡單的機械和電子部件（或者是自己設計的、或者是從貨架上買來）的、符合專業水平的、做好投產或安裝準備的日用產品或系統的模式；這些可以包括玩具、器皿、家具、衣服、和固定裝置。這樣做，對於典型的高中畢業生來說可能是切實可行的。但是他們不應當被指望設計機器人，除了非常簡單的、利用從貨架上買來的零部件組裝的以外。對中小學生指望得太多而又沒有合理的獲得成功的希望，將不會是幫助他們做好準備從事輝煌的工程職業的最佳方式。這一條思路，是同波能森 (Benenson, 2001年, 第730至732頁) 在介紹他的長達10年的“城市技術項目” (City Technology Project) 時所解釋的、在廣義上界定“技術這個術語包括日常生活的器物以及環境和系統”、“把重點放在日常生活的技術”、以及允許學生們“解決在他們的生活中有著實際意義的問題”的“日常的技術”的想法相吻合的。

所建議的模式潛在的各種益處

本文所建議的模式的最重要的益處，是把特定的工程分析知識內容、同各種各樣的通用的工程設計程序互惠互利地、共生地結合起來，因為不言而喻地，沒有教授中小學學生特定的、適合年齡的工程分析和預測方面的知識內容，他們將無法建立牢固的知識與技能的基礎，去進一步學習大學工程專業。同樣地，沒有給這些學生實踐適合年齡的工程設計的機會，他們將無法把各種門類的知識和技能綜合運用到解決真實世界中的問題的切實可行的方案中、並且培養適當的工程思維習慣。把工程分析和預測原理、以及計算技能注入一個切實可行的、有活力的中小學工程課程的目的，絕不是爲了把學生改造成爲計算的工具、或者鼓勵死記硬背工程分析原理和計算公式、或者以純粹的“解析約簡”（Analytic Reduction）的模式應用它們解決很少的幾個家庭作業中的問題（雖然以上所有的這些都是必須完成的任務）；儘管如此，本文所建議的模式目標是培養解決真實世界中的問題的實際技能，這涉及到對工程分析原理的綜合運用。它當然同樣地涉及到把來自各種課題的計算公式、以及來自美術、社會和環境科學、和其它領域的知識，綜合運用到一種“系統思維”（“system thinking”）的、全面而整體地解決問題的模式中。這樣以解決問題爲重點將能夠培養學生們在對必要的分析工具的牢固掌握的基礎上，進行創新性工程設計的真正技能。這樣做將允許他們運用通用的工程設計方法，創造真實世界中的高質量的、適合他們的年齡的、技術上可行的、對社會負責任的、有利于環境保護的產品和系統。

結論

本文已經提供了用來界定適合中小學生年齡的工程知識內容的一個框架，以及一個流線型的、緊密結合的、最有效率的、終生的美國中小學科學、技術、工程、數學課程的範例的大綱，這個範例以工程作爲著重點。想要得到有關本文所建議的模式更多的詳情，請同作者聯繫（電子郵箱：edwardnlocke@yahoo.com）。爲了改善中小學工程教育，謹在此提出如下的建議和計劃，供考慮、支持和實施：

（1）組織：建立一個利益攸關者的網絡，包括（a）聯邦和州一級的負責中小學科學、技術、工程、數學教育的政府官員；（b）全國科學和技術教育中心（National Centers for Engineering and Technology Education）、和其它負責中小學工程教育的權力機構的領導者；（c）大學和研究機構中工程和技術教育領域的學者；（d）學區行政主管官員和工程與技術教師；（e）企業界和非盈利機構代表；以及（f）大學工程系學生。這個網絡將能夠爲利益攸關者提供一個機會，探討爲了解決中小學工程教育委員會（The Committee on K-12 Engineering Education, 2009年）報告所開列的問題所應當采取的特定的政策、措施、和行動。它同樣地可以提供關於改善本文中所建議的模式批評和建議，以便使它最終能夠成爲一個集體的建議，爲各方面的或大多數的利益攸關者所接受。

（2）研究：繼續進行界定適合中小學年齡的工程知識內容，包括如下學科：動力學、材料力學、材料科學、傳熱學、熱力學、工程經濟學、空氣動力學、和機械設計；這將最終導致《適合中小學校的工程課題及其分析原理、計算公式和單位（包括數學與科學課題的

複習) 建議手冊》(The Handbook of Proposed Engineering Topics with Analytic Principles, Computational Formulas and Units for K-12 Schools (with Reviews for Mathematics and Sciences) 的發表。這項研究將構成實施本文中所建議的中小學工程課程的最重要的先決條件。它將成爲開發中小學工程教學材料和改善中小學工程和技術教師訓練項目的一本重要的參考書。[注1]

(3) 初步研究 (Pilot study) : 可以找到一些中小學校 (尤其是高中, 包括特許學校) 進行初步的教學實驗, 以便確定在不久的將來將要發表的上述《手冊》中所選定的所有的中小學可能適合的工程分析知識內容的實際上的合適性。[注2]

作者簡介

駱南植 (Edward Locke) 于2009年畢業于位于雅典市 (Athens) 的佐治亞大學 (The University of Georgia) 教育學院勞動力教育、領導與社會基礎系 (The College of Education, Department of Workforce Education, Leadership and Social Foundations), 並獲得教育專家學位 (Education Specialist degree)。

注釋:

[注1] 駱南植先生業已完成上述研究, 並且將研究成果發表在自己隨後創設的《中小學及終生科學技術工程藝術數學學者》(Scholar STEAM K12 Plus) 網站 (網址: <https://scholarsteamk12plus.weebly.com/>), 使這些研究成果進入“公共領域”成爲“人類命運共同體”的公共智慧財產。因此, 上述《適合中小學校的工程課題及其分析原理、計算法則和單位 (包括數學與科學課題的複習) 建議手冊》(The Handbook of Proposed Engineering Topics with Analytic Principles, Computational Formulas and Units for K-12 Schools (with Reviews for Mathematics and Sciences) 的發表計劃已經取消。

[注2] 美國洛杉磯地區已經有數家以拉丁裔學生爲主的中小學校領導表示願意合作。

【參考文獻】

Benenson, G. (波能森, 2001). The unrealized potential of everyday technology as a context for learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 第38 (7)期, 第730-745頁

Claxton, A. F., Pannells, T. C., & Rhoads, P. A. (克雷克斯頓、帕內爾斯、若德斯, 2005). Developmental trends in the creativity of school age children. *Creativity Research Journal*, 第17 (4) 期, 第327-335頁.

Committee on K-12 Engineering Education (中小學工程教育委員會, 2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects* (中小學工程教育: 理解現狀和改善前景). Washington, DC: National Academy of Engineering (全國工程學院) and the National Research Council (全國研究理事會).

Fleer, M. (福利爾, 2000). Working technologically: Investigations into how young children design and make during technology education. *International Journal of Technology and Design Education*, 第10期, 第43-59頁.

Hill, R. B. (希爾, 2006). New perspectives: Technology teacher education and engineering design. *Journal of Industrial Teacher Education*, 第43 (3) 期, 2009年2月2日下載於 <http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JITE/v43n3/hill.html>

Lewis, T. (路易斯, 2007). Engineering education in schools. *International Journal of Engineering Education*, 第23(5) 期, 第843-852頁.

Matavo, J., & Sirinterlikci, A. (馬提伏、西林特裏克奇, 2005a). AC 2007-730: *Innovative exposure to engineering basics through mechatronics summer honors program for high school students*. 2009年1月30日下載於 <http://www.coe.uga.edu/welsf/faculty/matavo/index.html>

Matavo, J., & Sirinterlikci, A. (馬提伏、西林特裏克奇, 2005b). *Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition: A Cross-disciplinary study via animatronics*. 2009年1月30日下載於 <http://www.coe.uga.edu/welsf/faculty/matavo/index.html>

Matavo, J., & Sirinterlikci, A. (馬提伏、西林特裏克奇, 2005c). 2006-2505: *Summer honors institute for the gifted*. 2009年1月30日下載於 <http://www.coe.uga.edu/welsf/faculty/matavo/index.html>

National Science Foundation. (全國科學基金會, 2008). *General science and engineering indicators of the digest of key science and engineering indicators 2008*. 2009年1月30日下載於 <http://www.nsf.gov/statistics/digest08/pages/figure8.htm>

Sanders, M. E. (桑德斯, 2008, December). Integrative STEM education: Primer. *The Technology Teacher*, 第68(4) 期, 第20-26頁.

Smith, P. C. (史密斯, 2007). *Identifying the essential aspects and related academic concepts of an engineering design curriculum in secondary technology education*. Unpublished internal research report, NCETE. 2009年1月30日下載於 <http://ncete.org/flash/publications.php>

Wicklein, R. C. (魏克蘭, 2006). Five reasons for engineering design as the focus for technology education. *Technology Teacher*, 第65(7) 期, 第25-29頁.

