

於高中實施工程設計專題製作活動課程設計之探討

An Exploration of Project-based Engineering Design Curriculum in Senior High School

張芳瑜

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系 碩士班

Chang, Fang-Yu

National Taiwan Normal University

Department of Technology Application and Human Resource Development

摘要

依據十二年國民基本教育科技領域課程綱要草案，高中階段生活科技課程將「工程設計」視為重要內涵，強調藉由工程設計的專題製作活動，提供學生跨學科知識整合的學習，並藉此發展其在科技與工程領域的設計、創新、批判思考等高層次思考能力。本文將依據課程改革之理念，從工程設計專題製作活動的發展基礎、教學題材及策略與所應考量之面向，探討工程設計專題製作活動在高中生活科技課程中的定位及其所扮演的角色，並考量現行高中生活科技教學活動，舉出施行與生活議題相關之專題製作活動、將工程設計流程作為教學活動之主軸、及藉專題目標傳授工程設計核心概念等觀點，並針對工程設計專題製作活動之課程規劃提出具體建議。

關鍵詞：工程設計、專題活動、課程設計

壹、前言

十二年國教 107 課綱將科技與工程之內涵納入科技領域課程規劃中，並將生活科技課程的目標定位為：教導學生如何從生活中的需求中去設計與製作有用及適用的物品，且學生應在實作的過程中，學習如何從嘗試錯誤以至系統性思考（國家教育研究院，2016）。

依據十二年國民基本教育科技領域課程綱要草案（國家教育研究院，2016），科技領域包含生活科技與資訊科技兩個科目，高中階段之生活科技與資訊科技必修課程各為兩分，科技領域選修共八學分。

而在普通型高中的兩學分必修課程中，「科技的本質」、「設計與製作」、「科技的應用」及「科技與社會」四個類別的學習內容涵蓋：工程的概述、工程的內涵、工程、科技、科學、與數學的統整與應用、工程設計與實作、機構與結構的設計與應用、機電整合與控制的設計與應用、工程科技議題的探討等面向。可見高中階段生活科技課程將「工程設計（Engineering design）」視為重要內涵，強調藉由工程設計的專題製作活動，提供學生跨學科知識整合的學習，並藉此發展其在科技與工程領域的設計、創新、批判思考等高層次思考能力。

在新課綱正式實施前，探討工程設計專題製作活動在高中生活科技課程中的定位及其所扮演的角色，進而著手進行相關課程規畫是重要課題。本文將依據課程改革之理念，考量現行高中生活科技教學活動，從工程設計專題製作活動的發展基礎、教學題材及策略與規劃工程設計專題製作活動所應考量之面向等，探討如何進行課程設計，以達成上述教育目標。

貳、施行與生活議題相關之專題製作活動

依據生活科技課程之目標，高中階段的工程相關學習內容應重視課程與生活環境的相關性，以及學生在日常活動中的應用與實踐。既欲達成課程目標，課堂活動即應與學生的生活相關且能營造學習需求與使用所學的環境。借鏡國外工程教育對專題導向學習（Project-based learning）的研究，可以發現專題導向的活動普遍聚焦於探討真實世界的議題，以尋求解決方案，並且提供考量現實情況的評估歷程，且活動中應用和整合先備知能的過程有助於學生驗證已習得的知識（Chandrasekaran, Littlefair, Joordens, & Stojcevski, 2012）。

除此之外，由於專題較問題解決實作活動更接近真實情況，以專題製作活動作為教學媒

介，在動機和學習者的參與程度上，專題能提供學生持續進行自我導向學習的過程，以發展個人參與動機、興趣和經驗，而教師的角色也從向學生傳遞知識轉變為促進學生學習，有助於培養學生自主學習，並將課堂所學實際應用於生活中（Kolmos, 1996；Mills & Treagust, 2003）。

值得注意的是，曾有學者提出若活動的待解決問題並未涉及計畫與評估，則僅可稱為主題導向活動，而不能算是專題導向活動之疑慮（Olsen, 1993），因此，若要讓學生透過工程設計的專題製作活動發展在科技與工程領域的設計、創新、批判思考等高層次思考能力，教師除了提供學生適合探討的議題，還需要適切的教學設計與引導策略。

參、將工程設計流程作為教學活動之主軸

於普通型高中實施工程設計專題製作活動的目的，應在於將生活科技的課程內涵與專題結合，並以工程設計的系統化思考歷程貫串教學活動，使學生在專題製作活動中既習得相關知識技能，亦可針對議題進行有深度的思考，並實際動手解決問題。

工程設計是一套設計者生成、評估並決定構想的系統化、合理化程序；而其產物：裝置（device）、系統（system）或程序（process）的型態及功能，需在符合特定條件限制的情況下滿足客戶目標或使用需求（Felder & Silverman, 1988）。教師在安排專題製作活動流程時，可參考課綱中列舉的界定問題、蒐集資料、發展方案、預測分析、測試修正、最佳化等步驟，亦或是依據教學內涵與實作活動的性質採用不同工程設計程序。換言之，可將工程設計視為解決問題所採用的步驟或流程，重視分析、計畫及評估，教學重點在於透過系統化的思考歷程來發展解決方案，而非傳授一套正確的工程設計步驟供學生依循（Morgan, 2012）。

就性質而言，工程設計專題製作活動將課程內容與待解決之問題相結合，使學生能夠實際運用知識技能進行議題探索及實作活動以達成目標。然而，工程問題往往包含多方評估、涉及較複雜的取捨關係，加上與工程相關的知識概念，常具多層次的架構，對專業背景及經驗不足的學生而言，在知識獲取及建構上可能不足以符應工程問題的規模與系統（Mills & Treagust, 2003），而解決問題的過程中，需要相當程度的內容知識（Content knowledge）以進行批判性思考，並依據有限的知識在短時間內找出解決方案，因此，教師必須教導學生哪些

知識過去曾經成功地解決問題，及其背後的原因 (Carson, 2007)。是故教師以工程設計流程引導學生著手解決問題的過程中，亦需適時引入活動所欲傳授之核心概念。

肆、藉專題目標傳授工程設計核心概念

為與學科知識充分連結，如何適時融入課綱中所規範的學習領域，串聯「科技的本質」、「設計與製作」、「科技的應用」及「科技與社會」四個類別的學習內容，以教授學生必要的工程設計相關概念是教師規劃課程時所應考量的重要因素，因而工程設計專題製作活動的目標必須明確，使學生能夠在有限的時間和範圍內完成議題探索並且實際動手執行。

至於如何透過專題製作活動來傳授工程設計概念，一項旨在為「專題式設計導向學習」(Project oriented design based learning) 發展教學架構的工程教育研究，比較來自不同大學工程教育工作者的看法，發現教師對於「工程設計」一詞的內涵與學生能從專題式設計導向學習活動中習得的知能各有見解，除了認識工程設計流程、了解工程相關專業知能並透過實際的問題來強化學習、整合應用各學科專業知識，與促使學生積極主動地解決生活周遭的相關問題等核心價值，各類課程所聚焦的設計面向不盡相同，且多數教師都有其獨特的教學方式 (Connor et al., 2014)。也就是說，只要能正確傳遞課程目標所設定的核心概念，工程設計專題製作活動中的教學素材並無限制，是故現職教師仍能保有其教學自由度，可依照個人專長並考量學生背景挑選適切的教學題材。

而根據 Kolmos 的研究，課堂中的專題活動 (project work) 按專題議題與學科之間的連結性做區隔，可分為三種類型：任務型專題 (Assignment project)、學科型專題 (Subject project) 及疑難型專題 (Problem project)。舉例而言，假設以「解決 X 生產廠內某老舊機器的噪音問題」為專題目標，若教師將此活動設定為任務型專題，學生被賦予的課題是：測量該老舊機器的噪音級別、計算所需的降噪幅度，並找出適切的消音器以降低生產廠內噪音；若是學科型專題，則開放學生採用多元方法解決該老舊機器噪音過大的問題；而疑難型專題，則是僅以生產廠內的噪音過大為題，由學生自行找出產生噪音的源頭，並設法解決。三種型態的專題活動皆涵蓋分析、界定問題、解決問題、總結和發表等歷程，階段性的實施不同類型專題可幫助學生建構工程相關知能。其中，任務型專題活動的特點在於專題活動的議題與解決問

題所需要的學科知識由教學者預設，由於欲探討的範圍與內容相當明確，學生在進行專題活動時，所選擇的解決方法可說是經過教師設計安排的，教學目標容易掌控（Kolmos, 1996）。

因此，在兩學分的必修課程中採用任務型專題的模式來安排工程設計專題製作活動，不僅容易連結欲傳授的學科知識，學生能立即驗證所學，教師亦可掌握學生的學習歷程；而強調加深加廣的選修課程則較適合實施開放學生在學科內容中自由選擇議題，或在指定的問題下，自行發展解決辦法的學科型專題與涉略範圍廣泛且考量層面多元的疑難型專題。

伍、 規劃工程設計專題製作活動所應考量之面向

舉常見的建造橋樑活動為例，課程通常是從介紹幾種橋樑結構開始，認識相關受力分析方法，接著帶到活動的目標與限制，然後進行實作活動並測試結果。活動主題橋樑雖與學生的生活經驗相關，但若將活動目標設定為建造一座橋梁，就偏離了能活用所學的本意，而取其連接和支撐的特性，尋找能夠運用之處加以設計製作是較為適切的作法。

同理，在限制條件下達成活動目標的流程設計，雖然能藉由分析測試結果來探討橋梁設計的關鍵因素，但如果單純依據理論建造出理想上最耐重的模型，又沒有測出極限，就無法深入研究成功達成目標的原因。

由於專題活動目標是要成功解決問題，而學生必須設法避免失敗，所以傾向以最安全、最保守的設計來達成任務，因此也就很難創新。但在工程設計的思維中，參考過去的失敗經驗一直是非常重要的環，因為在大部分的實例中，過去成功的例子並不保證在新的項目中也能通過考驗，失敗的例子則提供了線索，讓我們真正了解到材料、結構、建造及使用方式上的限制等，提醒設計者應該考量的因素與面向，而這些是實驗室裡的測試結果或簡單的模擬計算所無法做到的（Petroski, 1985）。如此一來，既要學生發揮創意，又要求其成功達成目標，勢必得提供使學生能夠大膽嘗試的機會，在達成目標前，讓學生願意提出創新的想法，嘗試進行思考與實驗，在探索、實驗和失敗的經驗中同時強化認知、技能及態度面向的成長，直至成功達成任務。

另外，雖然基於建構學習的觀點，學者普遍同意在教學時提供專題導向的問題，讓學生藉由思考、探索和實驗的方式發展出能達成具體目標的解決方案，有助於促使學生主動學習，

但教師在引導學生解決問題的過程中，卻可能因為預設立場，導致學生在發展構想的方式和類別上，受預期結果所影響而產生限制，因而並沒有真正培養學生發散思考或展現創造力（Chandrasekaran, Littlefair, Joordens, & Stojcevski, 2014）。唯有當教師支持學生從失敗經驗中學習，重視失敗後的檢討分析，學生才有機會多嘗試一些出乎意料之外的構想，也更能藉由探索和試驗來學習，長遠看來對於學習者的學習效果可能更有助益。

陸、結論

總結而言，專題製作活動本身提供學生跨學科知識整合的學習情境，因而在規劃活動時，應以欲傳授的課程內容為主，訂定專題的學習目標，挑選合適的議題，透過工程設計歷程進行活動，而設計、創新、批判思考等高層次思考能力，需從活動過程中的嘗試、實驗與分析、檢討，以及成果報告和經驗分享中培養，教學時可由議題出發，藉專題導出欲傳授的知識，引導學生思考、蒐集資料、分析及定義問題，進而發展構想、實際執行。

目前的問題解決教學活動，若能融入生活情境和課堂外的延伸價值，從小處著手探尋能夠發展之處，重視過程中所應考量的面向、衡量各項相關條件以取得適切的解決辦法，審慎規劃過後實際動手執行，即可成為工程設計專題活動。

而欲透過工程設計專題活動培養學生系統化思考及相關工程設計概念，關鍵在於依照學生的背景規劃教學題材及活動目標，透過專題製作活動，引導學生發掘並設法解決生活周遭的問題，同時養成學生自主學習的習慣，教師可以依照自己的專長設計課程，不需十項全能。

綜合上述所言，欲實施工程設計專題製作活動，可依下列面向進行規劃：

1. 在教學議題上，選擇與生活相關或對生活產生影響的問題，尋找能夠運用，且最終成果可回饋予生活之處，作為供學生進行探索、評估與設計製作的專題活動，題材不限。
2. 在內容知識上，課程需包含生活科技課程之重要學習內容，在活動中授予學生相關的知識技能，藉由專題情境引導學生進行系統化思考，在工程設計過程中同時進行學習與反思。
3. 在教學策略上，依據工程設計程序引導學生進行活動，重視從失敗經驗中習得的經驗，鼓勵學生提出創新的想法，嘗試進行思考與實驗，並依學生程度給予指導和協助。

4. 在活動安排上，讓學生藉由團隊合作來解決問題，並盡可能提供學生自主發展的空間，養成學生自主學習的習慣。

參考文獻

- Carson, J. (2007). A problem with problem solving: Teaching thinking without teaching knowledge. *The Mathematics Educator*, 17(2), 7-14.
- Chandrasekaran, S., Stojcevski, A., Joordens, M., & Littlefair, G. (2012). "Learning through projects in engineering education", in: *The 40th SEFI Annual Conference 2012*, Thessaloniki, Greece.
- Chandrasekaran, S., Littlefair, G., Joordens, M., & Stojcevski, A. (2014). A comparative study of staff perspectives on design based learning in engineering education. *Journal of Modern Education Review*, 4(3), 153-168.
- Connor, A. M., Berthelsen, C., Karmokar, S., Marks, S., Kenobi, B., & Walker, C. (2014). An Unexpected journey: Experiences of learning through exploration and experimentation. In: *DesignEd Asia Conference 2014*. Honk Kong Design Institute, Honk Kong.
- Felder, R. M., & Silverman, L. K. (1988). Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering education*, 78(7), 674-681.
- Hynes, M. M. (2012). Middle-school teachers' understanding and teaching of the engineering design process: A look at subject matter and pedagogical content knowledge. *International journal of technology and design education*, 22(3), 345-360.
- Kolmos, A. (1996). Reflections on project work and problem-based learning. *European Journal of Engineering Education*, 21(2), 141-148.
- Mills, J. E., & Treagust, D. F. (2003). Engineering education – Is problem-based or project-based learning the answer? *Australasian Journal of Engineering Education*, 3(2), 2-16.
- Olsen, J. B. (1993). *Kreativ voksenindlæring: En indlæringspsykologisk og videnskabssteoretisk analyse og nyvurdering af problemorienteret projektarbejde på Åben Universitet* (Creative Adult Learning: A Learning Psychological and Epistemological Analysis and Reevaluation of Problem-Centered Project Work at Open University), Aalborg Universitetsforlag, Aalborg.
- Petroski, H. (1985). *To engineer is human: The role of failure in successful design*. New York, N.Y: St. Martin's Press
- 國家教育研究院 (2016)。十二年國民基本教育課程綱要—中小學暨普通型高級中等學校—科技領域課程綱要草案。2016年8月30日，取自：
http://www.naer.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/92/pta_10229_131308_94274.pdf