

國立臺灣師範大學科技與工程學院

科技應用與人力資源發展學系

碩士論文

Department of Technology Application and Human Resource Development

College of Technology and Engineering

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

高中生複雜問題解決能力量表之發展

Development of a Scale for Assessing High

School Students' Complex Problem-Solving

Skills

陳柔君

Jou-Chun Chen

指導教授：林坤誼 博士

Advisor: Kuen-Yi Lin, Ph.D.

中華民國 113 年 1 月

January 2024

誌 謝

在研究所三年的學習裡，碩士論文研究能如期完成，過程中受到許多貴人的幫助，在此獻上最高的敬意。

首先最感謝我的指導教授林坤誼博士的諄諄教誨，悉心給予指導與協助，提供豐富的研究資源，使得研究能夠順利進行，為其開明的指導風格感到由衷的敬意，很高興能夠成為您的學生，未來也會繼續為科技教育努力不懈。

同時感謝口試委員張美珍教授與游光昭教授，兩位教授皆提供我論文研究許多寶貴的提點與研究建議，使得我的論文能更加完善；還要感謝協助完成這項研究的每一位專家、教師與同學，沒有你們的細心回饋，這篇論文就無法如此順利完成；另外也要感謝系上的教授們、林曉鈴助教、系上的助教與學長姐們，總是在我迫切需要幫助的時候伸出援手。

最後要感謝在研究所期間不斷給予我支持與力量的家人與朋友們，沒有你們的關心與鼓勵，我想我沒辦法在碩士期間既完成論文又考上正式教師，也謝謝沒有放棄的自己。

陳柔君 謹誌

民國 一百一十三年 一月



高中生複雜問題解決力量表之發展

研究生：陳柔君

指導教授：林坤誼

中文摘要

為提升學生適應未來能力，教育部提出 21 世紀關鍵能力，其中包含複雜問題解決能力，常見的複雜問題包含工程問題，而複雜工程問題大多需要透過工程設計將問題分析並解決。臺灣高中階段的科技課程即包含工程設計為主軸的專題實作課程，目標為培養學生知識與能力的整合，讓學生進行系統性的思考，與複雜問題解決所需能力有相符的部分。為使高中生在學習工程設計的流程時能與生活會遇到的複雜問題做連結，提早了解工程問題與複雜問題的關聯對未來實際應用工程設計流程會有所幫助。因此本研究以臺灣高中階段科技教育工程設計實作專題為背景，旨在發展一份高中生複雜問題解決能力之量表，探究學生透過工程設計實作專題課程的學習，會具備哪些複雜問題解決能力。本研究邀請 3 位科技教育專家組成內容審查小組，以協助完成量表的指標及題項審查，發展量表的形式能帶入各個實作活動，方便不同單元使用。為使高中生清楚作答，本研究以橋梁結構的工程設計專題實作課程為情境導入，在學生完成橋梁實作後可依照學習的結果量測自己複雜問題解決能力。最終發展的複雜問題解決能力指標包含六大構面，依序為「目標解構」、「探究並提出假設」、「動態預測」、「計畫與決策」、「監控與評估」以及「自我反思與調節」，同時亦依據研究結果編制 13 項能力指標。

關鍵詞：科技教育、工程設計、複雜問題解決能力



Development of a Scale for Assessing High School Students' Complex Problem-Solving Skills

Author: Jou-Chun Chen

Adviser: Kuen-Yi Lin

ABSTRACT

The study aims to develop a scale for assessing high school students' complex problem-solving skills. Complex problem-solving is one of the key competencies of the 21st century. Common complex problems include engineering problems, and most of them require problem analysis and solution through engineering design. The goal of engineering design-based thematic practical courses is to cultivate the integration of students' knowledge and abilities and to allow students to think systematically, which aligns with the abilities required for complex problem-solving. To enable high school students to connect with the complex problems they will encounter in life when learning the engineering design process, understanding the relationship between engineering problems and complex problems early will be helpful for the actual application of the engineering design process in the future. This study invited three technology education experts to form a content review team to assist in completing the index and item review of the scale. This study uses the course on the engineering design of bridge structures as the context introduction. The finally developed complex problem-solving skills include six major aspects, namely "goal deconstruction", "exploring and proposing hypotheses", "dynamic prediction", "planning and decision-making", "monitoring and evaluation" and "self-reflection and adjustment", and also compiled 13 indicators based on the research results.

Keywords: technology education, engineering design, complex problem-solving skills



目 錄

誌 謝	i
中文摘要	iii
ABSTRACT	v
目 錄	vii
表 次	ix
圖 次	xi
第一章 緒論	1
第一節 研究背景與動機	2
第二節 研究目的與待答問題	4
第三節 研究範圍與限制	5
第四節 重要名詞釋義	7
第二章 文獻探討	9
第一節 複雜問題解決內涵	9
第二節 高中科技教育與複雜問題解決之關聯	16
第三章 研究方法	25
第一節 研究流程	25
第二節 研究對象	29
第三節 研究工具	30
第四節 資料分析與詮釋	36
第四章 研究結果與討論	37
第一節 高中科技教育複雜問題解決能力量表之發展	37
第二節 高中科技教育複雜問題解決能力量表之信效度	40
第三節 綜合討論	47
第五章 結論與建議	51

第一節 結論.....	51
第二節 研究建議.....	53
參考文獻.....	57
一、中文部分.....	57
二、外文部分.....	57
附 錄.....	63
附錄一.....	65
附錄二.....	74
附錄三.....	83



表 次

表 2-1 複雜問題種類.....	10
表 2-2 複雜問題解決程序及對應之能力表徵.....	14
表 2-3 工程設計流程之能力表現.....	17
表 2-4 科技教育複雜問題解決能力指標－目標解構.....	20
表 2-5 科技教育複雜問題解決能力指標－探索並提出假設.....	20
表 2-6 科技教育複雜問題解決能力指標－動態預測.....	21
表 2-7 科技教育複雜問題解決能力指標－計畫與決策.....	21
表 2-8 科技教育複雜問題解決能力指標－監控與評估.....	22
表 2-9 科技實作專題複雜問題解決能力指標－自我反思與調節.....	23
表 3-3-1 科技教育複雜問題解決能力指標第一階段修改.....	30
表 3-3-2 科技教育複雜問題解決能力指標第三階段修改.....	35
表 4-1 能力量表量尺樣式.....	39
表 4-2-1 高中科技教育複雜問題解決能力量表預試項目分析.....	40
表 4-2-2 高中科技教育複雜問題解決能力量表預試描述性統計分析....	42
表 4-2-3 高中科技教育複雜問題解決能力量表預試各題項次數分配表	42
表 4-2-4 高中科技教育複雜問題解決能力量表預試探索性因素分析....	43
表 4-2-5 高中科技教育複雜問題解決能力量表驗證性因素分析.....	44
表 4-2-6 高中科技教育複雜問題解決能力量表各構面之 AVE 平方根相關矩陣.....	44
表 4-2-7 高中科技教育複雜問題解決能力量表之配適度分析結果.....	45
表 4-2-8 高中科技教育複雜問題解決能力量表各構面與題項描述性統計分析.....	46
表 4-2-9 高中科技教育複雜問題解決能力正式量表各題項次數分配表	47



圖 次

圖 3-1 研究流程.....	26
圖 4-1 驗證性因素分析模型.....	45





第一章 緒論

美國國家工程院和許多企業領導者認為需要培養有能力處理複雜、開放和不明確的現實世界問題的工程設計師 (Dym, 2005)，隨著產業、工程專業組織等更加重視解決複雜的工程問題，修習工程專業的學生畢業即需將所學應用於解決生活中工程問題，然而部分學生卻無法清楚分辨複雜工程問題，導致問題無法被解決，因此，學生知道如何判斷和定義他們正在處理的工程問題是一個複雜的問題相當重要 (Fernando et al., 2022)。國際間對於複雜問題解決有越來越多研究，近期 OECD 出版的期刊闡述 21 世紀能力相互關係，研究包含複雜問題解決歷史與評量的向度，探討科學和工程領域問題解決能力的教學與評量，期望能指出未來研究的趨勢，可看出教育 21 世紀能力的重要性 (Foster & Piacentini, 2023)。國際對於複雜問題解決的研究相較臺灣早且數量多，教育部將複雜問題解決能力訂為 21 世紀關鍵能力之一，但對於複雜問題、複雜問題解決能力的內涵與定義卻不清楚，根據文獻探討得出複雜問題為一般常規行為無法達到的不明確目標，需要將知識、策略與創造性整合，且解決方案通常較為複雜 (Dörner & Funke, 2017)。複雜問題中包含工程問題，為解決複雜的工程問題大多需要透過工程設計分析並解決問題 (Fernando et al., 2022)。為使高中生在學習工程設計的流程時能與生活會遇到的複雜問題做連結，提早了解工程問題與複雜問題的關聯對未來實際應用工程設計流程會有所幫助。本研究旨在將國際對複雜問題相關文獻作分析與整理，提出針對臺灣高中生在科技教育融入工程設計實施的實作課程中，可以培養哪些複雜問題能力。本章將分為四節，分別說明本文研究之(1)研究背景與動機；(2)研究目的與待答問題；(3)研究範圍與限制；(4)重要名詞解釋。分節闡述說明如下：

第一節 研究背景與動機

為因應全球化快速變遷及科技進步的趨勢，許多國家皆針對公民應具備的能力提出相關方針，臺灣教育部亦於 2014 年提出 21 世紀五項關鍵能力，其中包含團隊合作、溝通技巧、複雜問題解決、批判性思考及創造與創新（教育部，2014），以提升學生未來的國際競爭力，可見，具備複雜問題解決能力日益彰顯。同時，這五項關鍵能力與十二年國民基本教育新提及之核心素養概念其學習方向相呼應。核心素養是指一個人為適應現在生活及未來挑戰所應具備的知識、能力與態度（教育部，2018），為培養學生具備核心素養，教師在教學上會與生活情境結合並提供能夠實踐力行之相關課程，讓學生以專題模式學習。許多文獻亦提及採用專題模式學習有助於學生提升問題解決、溝通、批判性思考、創造力與合作方面的能力（Beckett & Miller, 2006; Bell, 2010; Larmer et al., 2015; Microsoft Partners in Learning et al., 2013; Trilling & Fadel, 2009）。而臺灣高中階段科技教育即著重學生透過系統性的流程、專題式課程模式以解決課堂上與生活中的問題與任務，與複雜問題解決有相同目標。因此，本研究將以臺灣高中科技教育工程設計實作專題課程為背景，探討高中生在學習後可具備哪些複雜問題解決能力。以下針對研究背景與動機作詳細說明：

一、複雜問題解決能力為 21 世紀關鍵能力之一

美國二十一世紀關鍵能力聯盟 Partnership for 21st Century Skills (P21) 除了提出的 21 世紀三大面向能力，包含學習與創新能力、數位能力、生活與工作能力，而學習與創新能力內涵為 4C 能力，即批判性思考（critical thinking）、合作（collaboration）、溝通（communication）、及創造與創新能力（creativity and innovation）。臺灣教育部為因應二十一世紀關鍵能力發展的趨勢，於推動「中小學數

位輔助學科閱讀計畫」時，將學生應具備之二十一世紀關鍵核心能力增加複雜問題解決（Complex problem-solving）能力，成為臺灣教育的5C 關鍵能力，分別為團隊合作、溝通技巧、複雜問題解決、批判性思考及創造與創新（教育部，2014）。

問題解決被視為一種目標導向的高級認知過程，須有效協調注意力、感知、學習與記憶等（Funke et al., 2018），運用並整合知識與技能才能將問題解決。問題具有許多分類，除了簡單、複雜外，還有靜態、動態及高風險、低風險等區分法，基於問題情境形式不同，思考的層次也會有所不同，加上生活中所面臨的問題與解決方法隨科技進步日趨多元，具備整合運用知識、技能及系統化思考的複雜問題解決能力尤為重要。目前研究複雜問題之專家學者已著手研究與實際生活情境中連結的複雜問題，並透過教育場所讓學生學習解決方法的設計及批判性思維，進一步探究知識、策略與直覺在複雜問題解決中的作用（Kluge, 2019）。臺灣科技教育亦著重於培養學生解決問題的能力，透過實作課程將知識與技能結合，並呈現出結果，加上高中階段運用具系統性的工程設計流程，學生在現實生活中能具備複雜問題解決能力的可能性相較增加，因此以高中科技教育工程設計實作專題課程作為研究的背景相當合適。

二、臺灣缺少對複雜問題解決之相關研究

複雜問題解決能力為現代人應具備的能力之一，許多研究與文章皆提出複雜問題解決能力的重要性（Dörner & Funke, 2017; Griffin & Care, 2015; National Research Council [NRC], 2011），雖已有不少探討複雜問題解決能力的研究，但針對此能力的力量表卻鮮少發展。目前臺灣尚未有針對高中生的複雜問題解決力量表開發之相關研究，因此，發展具有信度及效度之複雜問題解決力量表為本研究之重點，

藉此協助學生了解自己在複雜問題解決能力上的表現，更可作為日後教師在培養學生複雜問題解決能力的教學參考、教學策略的應用，亦幫助教師建構對複雜問題解決的認知。

108 新課綱在科技領域中強調融入情境的實作課程，透過課程的設計幫助學生與生活中的問題聯結，而高中階段專題實作課程以工程設計流程為主軸，目標為解決工程問題，工程問題在生活中屬複雜問題之一，學生在專題實作過程的問題解決能力為何、其表現程度為何，皆是本研究開發之能力量表所欲量測的部分。本研究嘗試建立複雜問題解決能力之相關構面，針對複雜問題解決能力的定義、發生機制及評量方法進行文獻蒐集，經整理、分析後，推導出複雜問題解決能力的要素，編製以其為基礎的量表問卷，藉此了解高中生在科技教育實作專題學習下的複雜問題解決能力表現。

第二節 研究目的與待答問題

綜合前述研究背景與動機，本研究之研究目的為發展高中科技教育複雜問題解決能力量表。藉由蒐集複雜問題解決相關文獻，探討複雜問題解決的理論基礎，分析其內涵並得出構面及能力表徵，發展複雜問題解決能力量表架構，進而與高中科技教育應培養學生的能力表現對照，找出關聯性，編製有助於學生了解自身複雜問題解決能力之量表。

一、研究目的

本研究主要目的如下：

- (一) 發展高中科技教育複雜問題解決能力量表。
- (二) 驗證高中科技教育複雜問題解決能力量表信度與效度。

二、待答問題

依據研究動機與目的，以下茲提出本研究之待答問題：

(一) 高中科技教育複雜問題解決構面及內涵為何？

(二) 高中科技教育複雜問題解決能力量表信度與效度為何？

第三節 研究範圍與限制

本節將說明本研究涵蓋之研究範圍，並分別就研究對象、研究方法與工具說明研究設計、實施與結果推論上的限制。

一、研究範圍

本研究目的為發展高中科技教育複雜問題解決能力之量表，在文獻分析方面，以複雜問題、複雜問題解決能力、複雜問題解決評量等相關文獻為主，蒐集文獻包含探討解決複雜問題心理層面因素及工程問題與複雜問題的關聯。本研究與科技教育相關，故邀請高中實施工程設計專題實作課程之現職科技領域教師、工程與科技領域專業教授作為專家審查代表。本研究量表之施測對象為現任高中生，須經歷過橋樑結構工程設計實作課程，施測量表前須完成過至少一項橋樑結構實作作品，考慮時間及方便性，以普通型高級中學之學生為主要抽樣對象，進行量表預試及正式量表調查。

二、研究限制

(一) 研究對象限制

高中科技教育複雜問題解決能力量表之預試及正式施測時，研究對象為正在修習或修習過高中必修生活科技課程之高中學生，且須完成橋樑結構之工程設計實作專題，因此，本研究之研究結果對於解釋未在科技教育中接受工程設計實作教學之高中學生，則應小心。

(二) 研究方法與工具限制

1. 發展高中科技教育複雜問題解決能力量表，邀請工程與科技領域專業教授及高中實施工程設計專題實作課程之現職科技領域教師等，進行能力量表之專家審查。其中，高中各校在科技教育中推動的教學活動及應用之教學策略可能有所差異，因此以有實施工程設計專題實作課程之現職高中科技教師為主，為確保參與研究之專家較具有複雜問題解決經驗，現職高中科技領域教師以有帶學生參加過 FRC 機器人競賽為主。
2. 高中科技教育複雜問題解決能力量表之預試及正式施測，無法對全國高中學生皆進行施測，因此以立意取樣方式進行，施測對象以普通型高級中學之學生為主要抽樣對象，並須經歷過橋樑結構工程設計實作活動課程之學生，以提升樣本之代表性。
3. 本研究主要發展適合高中生科技教育學習下是否具備複雜問題解決能力之量表，因針對在科技教育學習之結果進行量測，其他領域科目不在本研究的探討範圍之內，故研究結果無法應用至其他領域科目。
4. 本研究所使用之科技教育複雜問題解決能力量表為自陳式量表，填答者易受社會期許影響而產生測量誤差，造成研究得到之結果未必能反映出真實情況，故採用不具名方式填答，使受試者能放心填答，提高回收資料的有效性，研究者亦會以填答說明降低填答者對題項的理解偏誤以減少填答結果的偏誤。

第四節 重要名詞釋義

本研究之重要名詞定義分述如下：

一、科技教育工程設計實作專題

本研究將高中科技教育工程設計實作專題定義為主要應用工程設計流程（engineering design process-based, EDP-based）進行實作的課程活動，108 課綱主要推廣將實作課程專題化，因此本研究不特別探討專題模式進行之科技教育課程，如選修課程之工程設計專題。主要是指在科技課程實作活動的學習過程中會歷經問題發現、設計規劃、決策、問題解決等程序，並涉及知識的轉化和建構，透過主動參與和自主學習以解決過程中遇到的問題。

二、工程設計流程（engineering design process-based, EDP-based）

本研究提及之工程設計流程，是將 Hynes 等 (2011)及范斯淳與游光昭 (2016)所提出之工程設計流程整合，形成工程設計八步驟，包含(1)識別與界定問題；(2)研究需求或問題；(3)發展方案；(4)預測分析；(5)選擇方案；(6)建構模型；(7)測試與評估；(8)最佳化。

三、複雜問題

本研究將複雜問題定義為，定義不明確或結構模糊的問題，與許多因素具有關聯性且具有不只一種解決方案的非常規問題，需整合應用多元的認知、技能及策略等，解決策略會隨解決的過程進行調整。

四、複雜問題解決能力

本研究將複雜問題解決能力定義為，透過 Greiff 與 Fischer (2013) 提出之複雜問題解決六步驟解決複雜問題的能力，包括(1)目標解構，制定具體的目標；(2)探索、提出假設，與先備知識相關，也可透過因果學習收集數據；(3)動態預測；(4)計畫與決策；(5)監控與評估；(6)自我反思與調節。



第二章 文獻探討

本章將彙整與研究相關之文獻資料，共分為兩節進行探討，首先探討複雜問題解決內涵，釐清複雜問題的定義，建構複雜問題解決的歷程及能力表現，再探討高中科技教育工程設計實作專題與複雜問題解決之關聯，最後總結前述內容，提出高中科技教育實作專題複雜問題解決能力量表之能力指標。

第一節 複雜問題解決內涵

一、複雜問題定義

Funke (2012) 認為複雜問題的特點為(1)問題情境的複雜性，與影響因素的數量相關；(2)影響因素之間具有相互依賴關係；(3)問題會隨著時間與解決歷程產生變動；(4)問題具有不透明性，並非所有影響因素皆可透過直接觀察得出；(5)問題具有多個目標且部分目標之間會產生解決順序之衝突。Dörner 和 Funke (2017) 重新定義複雜問題為一般常規行為無法達到的不明確目標，需要將知識、策略與創造性整合，且複雜問題的解決方案通常較為複雜，因解決的過程需具備認知、情感和動機等層面，也需要與人合作。

複雜問題需要經過系統性思考，解決方法不只有固定一個方案，不會僅使用一個策略就將問題解決，相同的解決方法在這一刻是明確且有效，但在下一刻可能變得沒有效用，此一特性也與簡單問題有很大差異。也就是說，當問題的條件發生變化時，須不斷調整對問題的理解，同時尋找新的解決方案 (Seel, 2012)。Quesada 等 (2005) 提出複雜問題可能的種類，主要分為形式特徵與心理特徵兩大類，將其提出之複雜問題相關特徵進行整理，請見表 2-1。

表 2-1
複雜問題種類

形式特徵	心理特徵
一、時間相關	1. 技能—計畫
1. 動態—靜態	技能：反應行為，無意識、自動的；
動態：事件驅動(離散)或時間驅動(連續)而發生變化；	計畫：預測行為，有意識、使用經驗。
靜態：只有參與者干預才會發生變化。	2. 知識專一—知識多元
2. 時間緊迫程度	3. 解決問題過程中學習—不學習
二、變量相關程度	學習：過程有多項決策；
1. 連續—離散	不學習：一次性決策問題。
2. 線性—非線性	4. 理解—搜索
線性：輸入和輸出結果呈正比。	理解：具體化任務目標，生成問題。
三、系統行為相關	5. 可依限制分解問題
1. 透明—不透明	6. 定義明確—定義不明確
不透明：隱藏的變量影響輸出變量。	定義不明確：問題定義隨著新的表述變化。
2. 隨機—固定	
隨機：事件不因狀態而突然產生。	
3. 延遲反饋—即時反饋	
即時反饋：直接或間接獲得明確反饋。	

註：整理自「Complex problem-solving: A field in search of a definition?」Quesada 等，2005，*Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(1), 5-33.

將以上學者提出對複雜問題的定義進行統整，所謂複雜問題即是涵蓋許多不確定因素，解決方法須隨時間或條件的改變進行相對應調整，過程中需要具備多元知識與技能。無法使用同一個策略解決所有問題，先前採用的策略會影響後續的決策發展，可透過結構明確的問題與定義不明確的問題進行比較，幫助問題具象化。而複雜問題的種類不同，所採取的解決方案亦會有所改變，形式特徵的問題多與問題本身相關，心理特徵的問題則是與解決者如何處理問題有所關連。複

雜問題常出現於現實情境中，要能成功將問題解決，須具備豐富的知識、高度動機及面對困難仍開放的心態。

二、複雜問題解決歷程

Dewey (1910) 將問題解決流程視為一個思考的心理活動歷程並進行邏輯分析，得出以下流程：發現問題、界定問題、提出假說、演繹推理、驗證假說。D'Zurilla 與 Goldfried (1971) 將問題解決分為以下流程：問題定向、問題界定與構成、產生替代方案、做決定、解決方案執行與確認。Brandsford (1986) 提出 IDEAL 框架，將問題解決分為以下流程：定義問題、明確目標、收集可能解決方法、預期結果與實踐、問題解決後回顧並學習。根據上述學者對問題解決流程之內涵整理得出，問題解決流程為一種基於一定知識理論，運用系統化的流程，透過分析問題的本質提出解決方案，執行並修正後得出使自己或他人產生共識的結果。

而複雜問題解決與上述問題解決的定義稍有不同，複雜問題為問題的一種，Frensch 和 Funke (1995) 將複雜問題解決定義為，通過行為、認知及多項步驟來克服既定狀態和期望目標狀態之間的複雜障礙，且問題解決過程是充滿變化、不透明的。而問題解決者與任務情境之間和其具備的認知、情感、社交能力等相關。複雜問題解決不僅是一個認知過程，也是一個情感過程，並強烈依賴個體動機 (Spering et al., 2005)。此與 Dörner 和 Funke (2017) 提及相同概念，在解決複雜問題時須具備強烈解決動機，可提升問題解決的成功率。Dörner (1980) 提出在處理複雜的問題時，認知系統會產生與平時不同的反應，導致訊息處理方式轉變，如逃避、認知下降等，導致無法順利解決問題。Jansson (1994) 亦認為計畫和行動發生失敗的機率隨問題複雜度增加而提高，可能的原因為以下七點，(1)直接根據當前反饋行

動，未思考可能的潛在影響；(2)未經系統性思考即提出計畫；(3)對策略的控制不足；(4)缺乏自我反思；(5)片面性蒐集信息導致必要信息缺漏；(6)未經分析即做決策；(7)偏離目標。對問題的根本沒有考慮全面使得當問題的複雜度提升，失敗的機率亦會提升，因此，應先將問題進行背景限制及影響因素的探討，獲取相關知識，再系統性的規劃解決策略。

Ramnarayan 等 (1997) 指出在處理不確定性問題時會發生的典型錯誤，(1)沒有制定足夠的計畫；(2)缺乏背景控制；(3)被刻板印象影響思考；(4)缺乏動機。因複雜問題的定義並非明確且穩定，當使用既有認知解決問題時須避免被舊經驗思考框架局限。Funke (2001) 提出知識獲取 (knowledge acquisition) 和知識應用 (knowledge application) 兩個概念，知識獲取為理解問題，而生成問題解決方案即是知識應用，兩者之間的聯繫使得問題能被概念化的處理。之後，Kröner 等 (2005) 提出複雜問題解決能力有知識識別、獲取知識和知識應用三個向度，知識識別為理解問題目標後能知道解決問題所需具備的知識概念為何。在複雜問題解決過程中具備足夠知識及能應用適當解決策略相當重要。Wüstenberg 等 (2012) 認為以有效的探索策略收集與問題相關資訊是成功解決問題的關鍵之一。Kretzschmar 和 Süß (2015) 亦認為解決策略與知識彼此間具有關聯，當透過知識整合與應用，則可提高對複雜情境理解並解決的能力。透過在解決過程中學習新經驗，轉換分析問題切入點，則可以得到不同解決方案與結果。

Dörner (1986) 提出有效解決複雜問題須執行的步驟，如：信息生成與整合、目標拆解與權衡、計畫制訂與決策、靈活變通的自我調節等。透過建構信息、做出預測並產生系統化的計畫與決策可有效解決複雜問題。有學者認為解決複雜問題時通常與先備知識相關，如，類

似問題解決的經驗，或相關問題的解決流程（Novick & Bassok, 2005），以經驗為基礎歸納問題提及之規則或限制，建構解決問題可行的方案（Simon & Lea, 1974），形成假設並進行測試驗證（Klahr & Dunbar, 1988），過程中可藉由歸納影響問題解決之因果，學習其涉及之知識概念（Buehner & Cheng, 2005）。Funke（2010）認為複雜問題解決需要一系列複雜的認知操作，例如，計劃、執行、模型建構及自我調節。Greiff與Fischer（2013）根據先前文獻分析整理歸納出複雜問題解決六階段，包括(1)目標解構，制定具體的目標；(2)探索、提出假設，與先備知識相關（Novick & Bassok, 2005），也可透過因果學習收集數據（Buehner & Cheng, 2005）；(3)動態預測；(4)計畫與決策；(5)監控與評估；(6)自我反思與調節（Wirth & Leutner, 2008）。許多學者提出複雜問題解決程序，大致皆可分為五個向度，包括系統（問題）探索、信息縮減、模型建構、動態變化的控制、目標處理的優先級，其中理解目標、訂定目標優先順序和權衡目標相當重要（Fischer et al., 2012; Funke, 2001; Greiff & Fischer, 2013; Herde et al., 2016; Schoppek & Fischer, 2015）。

複雜問題被視為是一個動態的解決歷程（Funke, 2001），因此解決的策略有不同方法，Bühner等（2008）採用單一項目進行測量複雜問題解決能力且每個因素間的關係不會產生變動（單輪控制）。亦有學者提出多項目測試（Greiff et al., 2012）和多輪控制（Wüstenberg et al., 2012），透過不同因素間的相互影響，測量學生是否具備能在解決過程中不斷獲取知識並應用的能力。Ren等（2019）認為在涉及多個目標的複雜問題的情況下，可能無法充分考慮每個目標，因此會權衡每個目標處理的先後順序，亦可能會犧牲一個目標來換取另一個目標，或是以達到最大效益為目標。這些策略皆強調目標處理之先後順序的重要

性 (Funke, 2010)。無論是單一項目或多項目測試，其目標處理的優先順序皆須經系統化思考與權衡。

三、小結

問題解決的流程為一個心理活動歷程，透過自身的認知、技能整合從發現問題、定義問題至發展解決方案、選擇及執行最佳方案，最後回顧整個問題解決的過程並學習其中經驗。無論是解決簡單問題還是複雜問題皆會使用一套系統性流程，差別在於同時考慮面向的多寡。依據本節之文獻探討可歸納出複雜問題解決為通過行為、認知、策略的整合以克服非常規目標的過程，過程是充滿變化且與個人知識、情感及社交能力相關。因 Greiff 與 Fischer (2013) 提出之解決步驟與大多學者相似且較為完整，故以此文獻作為複雜問題解決能力構面，並將上述文獻進行整理，統整各解決流程中的能力表徵，請見表 2-2。

表 2-2
複雜問題解決程序及對應之能力表徵

複雜問題解決程序	能力表徵	出處
1. 目標解構	動機生成，不受經驗固著	Ramnarayan等(1997)、Sperring等(2005)、Dörner和Funke (2017)
	根據先備知識、類似經驗、任務特徵定義問題的組成	Dörner (1986)、Novick和Bassok (2005)、Fischer等(2012)
	目標拆解與權衡	Dörner (1986)
	減去多於的複雜信息	Fischer等(2012)
	目標解構，訂定具體目標	Greiff與Fischer (2013)

(續)

	訂定目標先後順序	Funke (2010)、Herde等 (2016)、Schoppek和Fischer (2015)、Ren等 (2019)
	考慮情境建構假設	Dörner (1986)、Klahr和Dunbar (1988)
	蒐集完整相關訊息	Jansson (1994)、Wüstenberg等 (2012)
2.	探索並提出假設	獲取多元知識理解問題 Funke (2001)、Kröner等(2005)
	因果歸納學習	Buehner和Cheng (2005)
	建構模型	Simon和Lea (1974)、Funke (2010)、Fischer等(2012)
	行動前經系統化思考	Jansson (1994)
3.	動態預測	檢驗假設 Dörner (1986)、Klahr和Dunbar (1988)
	根據動態變化作決策	Fischer等(2012)
	訂定完整系統化計畫	Dörner (1986)、Ramnarayan等 (1997)、Funke (2010)
4.	計畫與決策	應用知識生成解決方案與策 略 Funke (2001)、Kröner等(2005)、 Kretzschmar和Süß (2015)
	能控制假設、策略及背景變項	Jansson (1994)、Ramnarayan等 (1997)
5.	監控與評估	評估解決過程 Funke (2001)
	評估各項干擾或定義不明確 目標	Fischer等(2012)

(續)

	自我反省	Dörner (1980)、Jansson (1994)
6.	自我反思與調節	懂得靈活變通的自我調節
		Dörner (1986)、Funke (2010)
	自我反思與調節	Wirth 和 Leutner (2008)

註：作者自行整理。

第二節 高中科技教育與複雜問題解決之關聯

接續前言，為建構適用高中科技教育之複雜問題解決能力評量量表，須先找出科技教育與複雜問題解決之關聯，確定個別能力表徵，並將其相互對應。

一、科技教育內涵

十二年國教科技領域課程綱要中提及其課程理念為引導學生透過觀察與體驗生活，提出生活中遇到的需求及問題，並運用科技加以解決，在科技專題製作及問題解決的過程中，提升學生的科技知能（教育部，2018）。新課綱中增添核心素養概念，其各面向中的項目與 21 世紀關鍵能力有些相似之處，像是藉由專題活動課程能讓學生進行設計規劃、執行、批判反思與創新以解決情境問題，或是以團隊合作方式進行專題活動，提升學生溝通協調能力等，在高中階段科技教育則強調工程設計的專題實作教學模式培養學生科技素養，提供學生跨學科知識整合的學習。

臺灣高中階段科技教育主要以工程設計為主的專題實作課程，因此本研究將提及之實作專題定義為工程設計歷程（engineering design process-based, EDP-based）模式進行教學之課程。專題式學習是以學生為中心的長時間課程活動，由真實且複雜的任務組成，過程中學生需要發想規劃、設計、解決問題、擬定決策或實驗研究，最終完成實際成品或報告（Thomas, 2000），Barak（2012）提出專題式學習可以幫助學生促進自我調節的學習，並可以在記錄和反思學習過程中提升概念

知識。而工程設計流程為工程師用以尋找問題解決方案的循環且系統性歷程，本研究將 Hynes 等（2011）及 范斯淳與游光昭（2016）所提出之工程設計流程加以整合，形成工程設計八步驟，包含(1)識別與界定問題；(2)研究需求或問題；(3)發展方案；(4)預測分析；(5)選擇方案；(6)建構模型；(7)測試與評估；(8)最佳化。

將 Hynes 等（2011）及 范斯淳與游光昭（2016）提出工程設計流程各階段之能力表現做整理，請見表 2-3。

表 2-3
工程設計流程之能力表現

工程設計歷程	能力表現
1. 識別與界定問題	運用批判性思維定義不明確、開放式問題，釐清解決問題所需之條件、背景、限制
2. 研究需求或問題	探索研究的背景及蒐集資料以更加瞭解問題，獲得解決問題所需具備的認知，此過程可能會發現新的限制及調整原先的想法，以重新定義問題
3. 發展方案	透過腦力激盪進行創意發想並將知識轉化，在限制條件下建構明確方案，通常會培養學生的創造力及與他人溝通表達的能力
4. 預測分析	系統性思考方案的可行性，找出可能的問題，預測結果
5. 選擇方案	比較分析結果選擇較合適的解決方案並能證明選擇的方案是目前最合適的
6. 建構模型	將解決方案的抽象概念作具體化表達，在實作過程的失敗中汲取經驗

(續)

-
- | | |
|----------|---|
| 7. 測試與評估 | 根據問題的需求與限制測試模型的成效，測試的程序可能會影響結果，可透過結果發現建構模型的缺失 |
| 8. 最佳化 | 將設計的缺失優化直到得出滿足所有需求和標準並通過測試與評估 |
-

註：整理自 Hynes 等 (2011) 及 范斯淳與游光昭 (2016)

本研究會根據工程設計歷程所培養之能力表現，與複雜問題解決能力表徵對照，以形成高中科技教育實作專題複雜問題解決能力量表指標之題項。

二、實作專題與複雜問題解決之關聯

臺灣高中科技教育著重培養學生問題解決能力，面對現實生活中的複雜問題，學生在認知、策略與技能上的整合運用相當重要。Bell (2010) 認為專題導向學習可以教授學生多種適應 21 世紀重要的能力，學生通過主動探究的自主學習，並藉由與他人合作研究，應用自身知識完成項目，可從收集新的、可行的知能，到成為熟練的溝通者和問題解決者。專題式學習讓學生能深入學習不同主題內容，培養批判性思考的能力，進行一系列自主學習過程，如計劃學習、組織研究和實施多種策略以解決問題。支持學生自主性學習，培養學生的創新能力 (Martín et al., 2017)，藉由獲得新知識的過程，學生以他們想要的方式實踐想法，可以提高他們的創新能力。21 世紀關鍵能力亦強調要具備溝通、合作、批判性思考、問題解決及創新等能力，透過專題式學習皆有機會能培養學生相關知能。

生活中存在許多複雜問題，培養學生具備此項適應未來的能力，教學活動應融入生活情境，在臺灣，高中階段的專題學習模式與工程設計流程的課程設計皆強調融入情境。而好的專題課程設計須符合幾項黃金原則，(1)選擇具有挑戰性的問題；(2)學生能夠持續深入研究；

(3)專題內容與生活情境連結；(4)學生能闡述說明選擇的解決方式；(5)學生能進行反思；(6)學生能彼此討論以進行修正；(7)學生須做成果發表 (Larmer et al., 2015)。根據以上黃金原則設計工程設計專題課程，可幫助學生建立從問題探究至解決問題的系統化過程，同時，專題式學習模式的教學亦強調 4Cs (批判思考、溝通、協同合作、創造與創新)，其正是美國提出二十一世紀關鍵能力中的學習與創新能力。

三、小結

依據本節之文獻探討可歸納出，無論是專題式學習或工程設計流程，其在實作專題中皆為達成一個具體目標而採用的學習模式及策略，在過程中時常會遇到問題，此時問題解決即為一項重要能力，而通常工程設計專題會融入情境，使得目標變得複雜，因此可透過這些實作專題培養學生複雜問題解決能力。釐清複雜問題解決概念的定義性特徵後，將文獻探討內容整理之複雜問題解決能力表現，與此節之工程設計流程進行對應，可看出相似之處，但工程設計流程及實作專題所培養之能力並無探討複雜問題解決的能力，根據文獻探討後的複雜問題解決能力表現仍有所不同。以下表格皆為參考科技領域課程綱要之學習表現，將複雜問題解決能力表徵做符合科技教育之文字描述，以形成科技教育複雜問題解決能力指標，以下分別將各構面做整理描述。

複雜問題解決能力構面中目標解構與工程設計流程的識別與界定問題階段大致相同，皆須釐清問題的背景、條件及限制，為符合在高中科技教育中複雜問題解決的目標解構能力，將目標解構能力表徵參考高中科技領域課綱中的學習表現調整文字敘述，即得出表 2-4 科技教育複雜問題解決能力在目標解構的能力指標。

表 2-4

科技教育複雜問題解決能力指標—目標解構

複雜問題解決能力構面	能力表徵	科技教育複雜問題解決能力指標
1. 目標解構	1-1 具備良好的問題解決動機	1-1-1 能具備良好的問題解決動機
	1-2 找出具有影響的外在與潛在因素，理解背景限制與目標問題	1-2-1 能根據先備知識理解目標問題
	1-3 權衡各項限制及因素，歸納問題處理的先後順序，並具體化目標	1-2-2 能找出具有影響的外在與潛在因素，並理解背景限制 1-3-1 能權衡各項限制及因素，歸納問題處理的先後順序 1-3-2 能訂定具體的解決目標

註：作者自行整理

複雜問題解決能力構面中探索並提出假設與工程設計流程的研究需求或問題、發展方案兩階段大致相同，皆須先對問題進行探索，以蒐集相關知識，在探索過程可能會發現新的背景限制，甚至重新定義目標問題，並針對問題目標提出可行的解決方案，為符合在高中科技教育中複雜問題解決的探索並提出假設能力，將探索並提出假設能力表徵參考高中科技領域課綱中的學習表現調整文字敘述，即得出表 2-5 科技教育複雜問題解決能力在探索並提出假設的能力指標。

表 2-5

科技教育複雜問題解決能力指標—探索並提出假設

複雜問題解決能力構面	能力表徵	科技教育複雜問題解決能力指標
2. 探索並提出假設	2-1 藉由探索目標問題，蒐集解決問題所需具備的相關知識	2-1-1 能透過探索目標問題，運用科技蒐集完整相關知識
	2-2 將先備知識或蒐集的資訊整合，運用系統化思考問題並提出可能的解決方案	2-2-1 能整合解決問題所需的知識 2-2-2 能根據問題的背景限制、條件等，系統化思考並提出可能的解決方案

註：作者自行整理

複雜問題解決能力構面中動態預測與工程設計流程的預測分析階段大致相同，皆須系統化思考並預測分析可行的解決方案，為符合在高中科技教育中複雜問題解決的動態預測能力，將動態預測能力表徵參考高中科技領域課綱中的學習表現調整文字敘述，即得出表 2-6 科技教育複雜問題解決能力在動態預測的能力指標。

表 2-6
科技教育複雜問題解決能力指標－動態預測

複雜問題解決能力構面	能力表徵	科技教育複雜問題解決能力指標
3. 動態預測	3-1 系統化思考、預測執行解決方案可能產生的結果 3-2 檢驗解決方案的可行性 3-3 思考影響因素與可能的影響後果以靈活變通，適時調整解決方案	3-1-1 能系統化思考、預測執行解決方案可能產生的結果 3-2-1 能運用科技檢驗解決方案的可行性 3-2-2 能在檢驗解決方案過程中學習新知識 3-3-1 能根據檢驗結果重新理解問題以建構可行的解決方案

註：作者自行整理

複雜問題解決能力構面中計畫與決策與工程設計流程的選擇方案、建構模型階段大致相同，皆根據預測分析的結果建構可行的解決方案，為符合在高中科技教育中複雜問題解決的計畫與決策能力，將計畫與決策能力表徵參考高中科技領域課綱中的學習表現調整文字敘述，即得出表 2-7 科技教育複雜問題解決能力在計畫與決策的能力指標。

表 2-7
科技教育複雜問題解決能力指標－計畫與決策

複雜問題解決能力構面	能力表徵	科技教育複雜問題解決能力指標
4. 計畫與決策	4-1 規劃完整且合適的系統性解決方案	4-1-1 能依據檢驗結果、習得的知識，規劃完整且合適的系統性

(續)

4-2 決定執行解決方案時應用的知識、策略及操作程序	解決方案 4-2-1 能決定執行解決方案應用的知識 4-2-2 能決定執行解決方案應用的策略 4-2-3 能決定執行解決方案的操作程序
----------------------------	--

註：作者自行整理

複雜問題解決能力構面中監控與評估與工程設計流程的測試與評估階段大致相同，皆實際測試解決方案並同時做調整再測試，為符合在高中科技教育中複雜問題解決的監控與評估能力，將監控與評估能力表徵參考高中科技領域課綱中的學習表現調整文字敘述，即得出表 2-8 科技教育複雜問題解決能力在監控與評估的能力指標。

表 2-8
科技教育複雜問題解決能力指標－監控與評估

複雜問題解決能力構面	能力表徵	科技教育複雜問題解決能力指標
5. 監控與評估	5-1 控制目標問題可能的影響因素，解決過程中產生的突發狀況 5-2 應用知識執行解決的策略，注意解決問題的進度，在過程中評估解決的策略是否合宜	5-1-1 能控制影響因素、背景限制及條件 5-1-2 能解決過程中產生的突發狀況 5-2-1 能應用知識執行解決策略 5-2-2 能在過程中評估解決的策略是否合宜

註：作者自行整理

複雜問題解決能力構面中自我反思與調節與工程設計流程的最佳化階段大致相同，皆為實際操作解決策略後針對產生的結果進行調整，為符合在高中科技教育中複雜問題解決的自我反思與調節能力，將自我反思與調節能力表徵參考高中科技領域課綱中的學習表現調整文字敘述，即得出表 2-9 科技教育複雜問題解決能力在自我反思與調節的能力指標。

表 2-9

科技實作專題複雜問題解決能力指標－自我反思與調節

複雜問題解決能力構面	能力表徵	科技教育複雜問題解決能力指標
6. 自我反思與調節	6-1 根據解決目標問題過程中獲得的結果調整解決策略 6-2 判斷是否回到前一解決步驟以獲得所需的新知識或概念	6-1-1 能反思執行的每一個動作 6-2-1 能根據解決過程中獲得的結果調整解決策略

註：作者自行整理

將根據此節所有表格中科技教育複雜問題解決能力指標，建立高中科技教育複雜問題解決能力之評量量表，從複雜問題解決流程可看出在解決複雜問題時，應具備的行為表現與特徵，因此以複雜問題解決流程為構面，其中包括目標解構、探索並提出假設、動態預測、計畫與決策、監控與評估、自我反思與調節六個構面，以各構面下共 22 項能力指標作為量表題項，並採用 5 等尺度作為評量向度。

根據本節文獻探討可知目前高中階段所習得的工程設計流程與複雜問題解決能力有相似之處，但在情境的使用下仍有所差異，藉由華盛頓協議了解一般工程問題與複雜工程問題的不同，華盛頓協議定義複雜工程問題須包含第 1 點及第 2 至 7 任何 1 點，(1)沒有深入的工程知識就無法解決；(2)涉及廣泛或相互衝突的技術、工程和其他問題；(3)沒有明顯的解決方案，需要抽象思考和獨創性的分析來建立合適的模型；(4)涉及不常遇到的問題；(5)專業工程實務標準和規範所包含的外部問題；(6)讓具有廣泛不同需求的不同利害關係人群體參與其中；(7)高級問題包括許多子問題 (IEA, 2021)。複雜問題著重於知識獲取與知識應用，而本研究將複雜問題解決能力結合工程設計能力並以高中階段為背景所形成的能力量表，僅能呈現部分複雜問題解決能力，無法完整列出超出高中能力範圍的能力指標，但在能力量表中的情境融入時會參考華盛頓協議複雜工程問題定義設定情境。



第三章 研究方法

本研究為探討適用於高中科技教育的複雜問題解決能力指標，將透過專家審查、預試問卷統計分析、驗證正式問卷之信度與效度等，發展高中科技教育複雜問題解決能力量表。據此，本章將研究方法分為以下四節進行說明：研究流程、研究對象、研究工具、資料分析與詮釋。

第一節 研究流程

本研究之研究流程如圖 3-1 所示，分四個階段：研究計劃、研究發展、研究實施以及研究分析階段。研究計畫階段包含確定主題、確定目的與待答問題、擬定研究流程；研究發展階段包含文獻探討、編製能力量表、專家審查評量能力量表；研究實施階段包含能力量表的預試及正式施測；研究分析階段進行資料分析及作成結論，最後為研究報告撰寫。

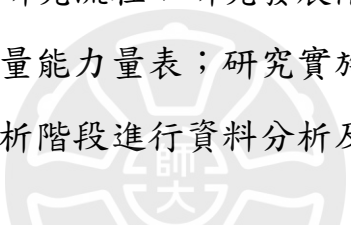
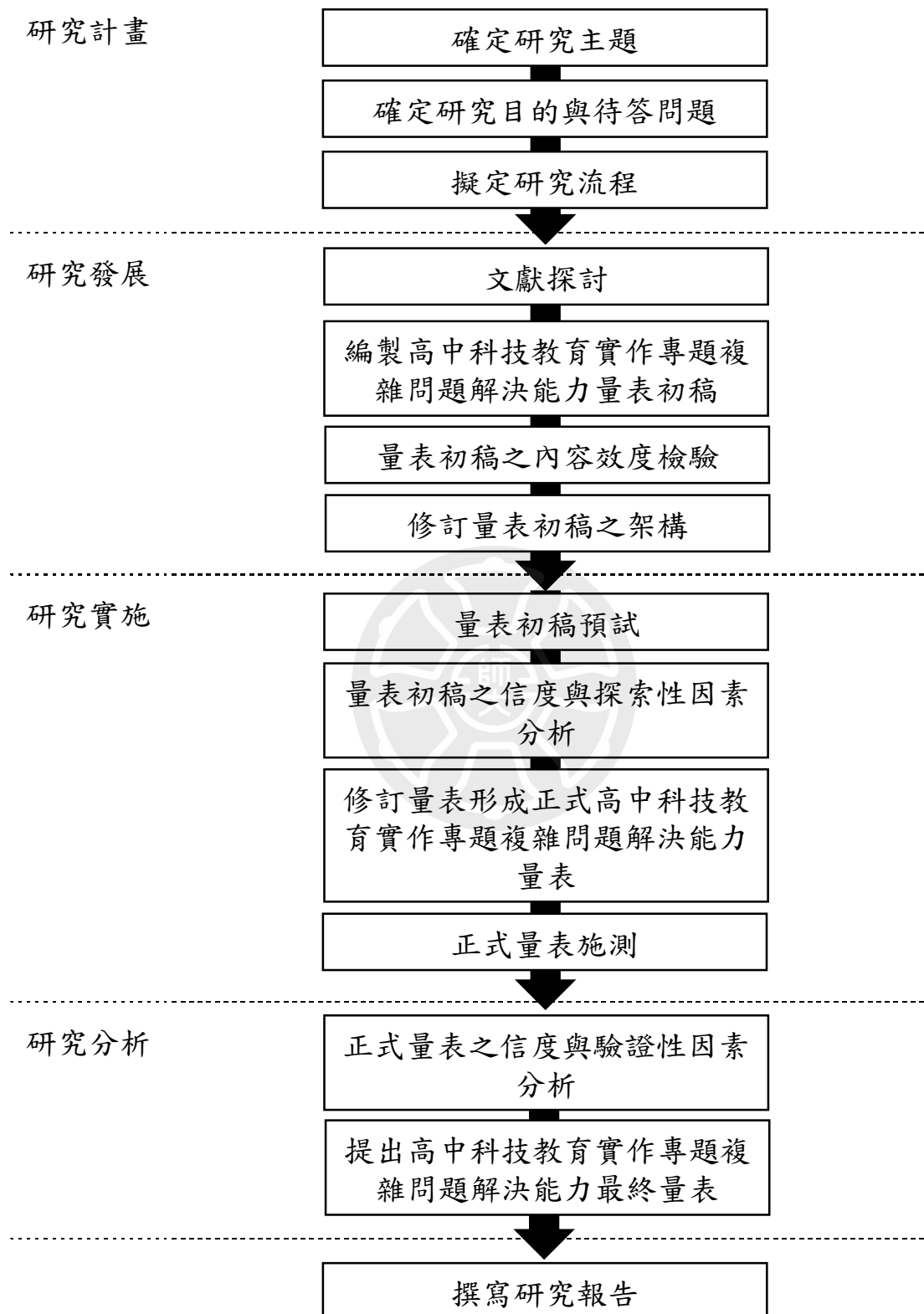


圖 3-1
研究流程



一、研究發展

本研究以蒐集與分析相關文獻、專家諮詢審查兩種方式形成量表的各項構面及其題項之初稿，以下就文獻分析與專家諮詢分別做說明：

(一) 文獻探討

主要蒐集文中含有「複雜問題」、「複雜問題解決」、「複雜問題解決歷程」、「複雜問題評量」、「複雜問題解決行為」等內容之相關期刊、論文或專書等文獻，經彙整分析、篩選出符合研究需求之內容，以作為本研究的理論基礎及發展量表的依據。根據提及複雜問題的定義、解決行為與表現等篩選標準，將蒐集之文獻刪減後得到自 1974 至 2019 年間相關文獻約 30 篇，根據文獻內容分析結果發現，複雜問題解決相關表現可整理為以複雜問題解決流程為各構面之能力指標，因此，本研究以 Greiff 與 Fischer (2013) 提出的複雜問題解決步驟為構面，將各文獻內容與其構面內涵相對應，並將關鍵詞做正向敘述，共得出六大構面及 22 項能力指標。再將能力指標與高中工程設計能力表現做對照，並參考科技領域課綱學習表現之敘述，調整複雜問題解決能力指標以符合高中科技教育實作專題內涵。

(二) 量表初稿編製、專家諮詢與專家審查

研究者在制定完量表之構面與能力指標後，將結果形成量表初稿，以 5 等第為向度並說明各題項中奇數等第之評分標準，邀請 1 位工程與科技領域教授、課堂中有執行工程設計實作活動之 3 位現職高中科技領域教師等先做專家諮詢，確認問卷的表面效度，根據諮詢結果修正量表初稿，再邀請 2 位工程與科技領域教授、1 位實施工程設計專題實作課程並且有帶學生參加過 FRC 機

器人競賽之現職高中科技領域教師作為專家，針對量表正確性、需要性、適切性、適讀性等層面進行審查，根據專家提供之建議修改量表內容，依此進一步建立量表之內容效度。

二、研究實施

研究實施共分為問卷預試及正式施測兩個步驟。本研究樣本為經歷過工程設計實作課程之公立高中學生，依據預試回收資料分析結果，針對量表試題作適當調整，形成正式量表再進行一次施測。本節內容將分成預試並分析資料及編製正式施測量表兩部分做說明：

(一) 量表預試並分析資料

在進行正式量表施測前須預先測試量表之信度與效度，本研究以在科技教育中有進行工程設計實作活動之高中學生為施測對象。受試者應為題目數量的 5~10 倍（吳明隆、涂金堂，2011），且因素分析須達 100 份以上資料。因此，預計回收有效問卷約 100 份，將問卷資料先以項目分析做獨立樣本 t 檢定，確認題項是否具有鑑別度，針對各構面做高低分組分別是第 27 個百分位數以及第 73 個百分位數，若達顯著則該題項具有鑑別度，接著以最大變異轉軸法進行探索性因素分析，評估各因素構面及題項對該構面的因素負荷量，確定題項的保留與否，再採用 Cronbach's α 係數檢驗量表內部一致性，測量量表構面及各題項間之內部一致性程度，信度應大於 0.7（Nunnally, 1978），根據此三項分析結果預測量表之效能，並修改量表以符合測量目的。

(二) 編製正式施測量表

根據預試回收資料之統計分析結果檢視量表各題項之效能並修改不適切題項之措辭，完成正式施測量表。

三、研究分析

發放正式量表並以在科技教育中有進行工程設計實作專題之高中生為施測對象，預計回收有效問卷約 200 份，將資料透過 Cronbach's α 係數檢驗量表內部一致性，測量正式量表構面及各題項間之內部一致性程度，以 KMO & Bartlett 球型檢定取樣適切性，以主成分分析法抽取因素特徵值設為 1，並以最大變異法做直交轉軸，確認正式量表題項之分項。最後進行驗證性因素分析，驗證量表之模型配適度指標與建構效度，建構效度包含收斂效度及區別效度。根據 Fornell 和 Larcker (1981) 評估收斂效度的標準，其中所有的標準化因素負荷 (λ) 估計值要大於 0.5，且 t 值須達到顯著水準，組合信度值 (CR) 應為 0.6 以上，而平均解釋變異量 (AVE) 須大於 0.5 以上，若達此標準則表示各題項均可顯著被因素所解釋，也就是各題項均收斂於相對應的構面。根據 Hair 等 (2010) 的建議，兩個不同構面間的相關係數應小於每一構面的平均解釋變異量 (AVE) 之平方根。將不同的兩個構面進行量測，將其結果進行相關分析，若其相關程度皆很低，表示兩個構面間具有區別效度，最後根據統計分析結果做進一步探討與修正。

第二節 研究對象

本研究之研究目的為發展高中科技教育複雜問題解決能力量表，探討高中學生在科技教育之工程設計專題實作學習下，複雜問題解決能力之表現。本研究以立意取樣方式抽取臺灣普通型高中在學學生，作為量表預試及正式施測對象，減少研究之潛在變項，參與研究之學生須具有在科技教育中以工程設計實作專題教學模式進行學習之相關經驗。預試之受試者為中部與南部某兩所高中學生，正式施測之受試者為北部與中部某兩所高中學生。

第三節 研究工具

本研究使用的研究工具為「高中科技教育複雜問題解決能力量表」，採用問卷調查方式蒐集專家對此能力量表之建議，共分為三階段以形成能力量表。第一階段與指導教授討論指標與題項內容；第二階段向專家諮詢，確認指標與題項內容的適讀性以建構表面效度；第三階段專家審查，問卷內容包含評量指標與題項、題項中各等第評量規準、題項融入實作情境的敘述等，專家針對以上做建議回饋，並確認指標與題項內容的正確性、需要性、適切性、適讀性，以此階段建構量表題項與題項中各等第評量規準之內容效度，根據專家給予之回饋調整量表，以上三階段詳述如下：

一、訂定能力量表指標與題項

本研究首先蒐集相關文獻進行整理歸納，並定義高中科技教育複雜問題解決能力內涵與指標題項內容，根據文獻分析後得出高中科技教育複雜問題解決能力六大構面及 22 項能力指標，與指導教授討論後刪除類似指標、修改不適切指標內涵並調整文字敘述，形成六大構面 12 項能力指標，如表 3-3-1。

表 3-3-1
科技教育複雜問題解決能力指標第一階段修改

科技教育複雜問題解決能力構面	原 22 項能力指標	修改後 12 項能力指標
1. 目標解構	1-1 能理解問題的重要性	1-1 能理解問題的重要性（保留）
	1-2 能根據先備知識理解目標問題	1-2 能理解背景限制，提出具有影響的外在與潛在因素（1-2 和
	1-3 能找出具有影響的外在與潛在因素，並理解背景限制	1-3 合併，調整敘述）
	1-4 能分類各項限制及因素，權衡、歸納問題處理的先後順序	1-4（刪除）

(續)

	1-5 能訂定具體的解決目標	1-3 能訂定具體的解決目標 (保留)
	2-1 能透過探索目標問題，運用科技蒐集完整相關知識	2-1 能透過探究目標問題，運用科技蒐集完整相關知識(保留)
2. 探索並提出 假設	2-2 能整合解決問題所需的知識	2-2 能整合解決問題所需的知識，系統化思考提出可行的解決方案(2-2 和 2-3 合併，調整敘述)
	2-3 能根據問題的背景限制、條件等，系統化思考並提出可能的解決方案	
	3-1 能系統化思考、預測執行解決方案可能產生的結果	3-1 能系統化思考、預測執行解決方案時可能產生的結果，或運用科技檢驗解決方案的可行性(3-1 和 3-2 合併，調整敘述)
	3-2 能運用科技檢驗解決方案的可行性	
3. 動態預測	3-3 能在檢驗解決方案過程中學習新知識	3-2 能根據預測或科技檢驗的結果，重新理解問題以建構可行的解決方案(3-3 和 3-4 合併，調整敘述)
	3-4 能根據檢驗結果重新理解問題以建構可行的解決方案	
	4-1 能依據檢驗結果、習得的知識，規劃完整且合適的系統性解決方案	4-1 (刪除)
4. 計畫與決策	4-2 能應用「知識」決定解決方案與執行	4-1 能應用「知識」決定解決方案與執行(保留)
	4-3 能應用「策略」決定解決方案與執行	4-3 (刪除)
	4-4 能應用「操作程序」決定解決方案與執行	4-2 能應用「操作程序」決定解決方案並執行(保留)
	5-1 能控制背景限制、條件及影響因素	5-1 能控制問題(情境)背景限制、條件及影響因素(保留，調整敘述)
	5-2 能解決過程中產生的突發狀況	5-2 能在實作中評估解決策略是否合宜，並能解決製作過程中的突發問題(5-2 和 5-4 合併，調整敘述)
5. 監控與評估	5-3 能應用「知識」，以正確的「操作程序」執行解決「策略」	5-3 (刪除)
	5-4 能在實作中評估解決策略是否合宜	5-4 (和 5-2 合併，調整敘述)

(續)

6. 自我反思與調節	6-1 能在完成後評估執行的每一個動作 6-2 能根據解決過程中獲得的結果調整解決策略	6-1 能在實作完成後，反思解決步驟中執行的每一個動作 6-2 (刪除)
------------	--	---

註：作者自行整理

二、專家諮詢確認表面效度

經過第一階段與指導教授討論過後，將原先訂定的 22 項能力指標更改為 12 項。因本研究最終為發展高中生使用的量表，為讓高中生能夠理解各指標的評量規準，將能力指標題項與高中科技教育工程設計實作活動結合，說明各指標題項的內容，貼近學校實際的課程活動。目前高中科技教育課程包括結構、機構、電子電路等，本研究量表以必修之結構單元為主軸，敘述橋樑建構的情境，因大部分高中課本皆有提到橋樑建構的實作活動，且橋樑是最簡易可以讓學生將結構的力學原理結合建模軟體測試模擬的項目，同時也是生活中常見的結構之一，是故將橋樑建構作為本研究工具的情境導入。根據高中科技課本的內容，敘述各能力指標題項的評量規準，並邀請 1 位工程與科技領域教授、課堂中有執行工程設計實作活動之 3 位現職高中科技領域教師等做專家諮詢。根據諮詢結果調整問卷題項敘述及評量規準五等第的敘述，以下將整理簡述專家在諮詢後針對每一構面下各題項之表現規準提出的修改建議。

(一) 目標解構

1. 說明包含了理解問題的重要性的積極主動的態度，但規準只有提到重要性，可以加入對於態度的描述。
2. 能理解問題的重要性是在問「能不能理解？」還是問「問題重不重要？」。

針對上述建議回覆，此力量表主要為評量能力非態度，因此將題項內容說明刪除「具備積極主動解決的動機與態度」，減

少對該題項評量內容的誤解。能理解問題的重要性主要評量學生認為解決該目標問題的重要程度，藉此瞭解學生對問題處理的輕重緩急順序。

(二) 探索並提出解決方案

1. 「探索」一詞多為科學界在使用。
2. 運用科技蒐集完整相關知識評量規準中需要列出完整相關知識需要包含哪些面向嗎？

針對上述建議回覆，此構面改為「探究」並提出解決方案，將固有的科學知識融合科技解決技術，探究可行的解決方案。本研究將高中科技課本中所提及的學科內容知識定義為高中學生須學習到的完整知識，若具備所有課本中包含的理論知識，即為擁有高中程度複雜問題解決內涵中知識獲取的能力，因此根據不同情境背景提及的學習內容主軸，翻閱高中科技課本可得到該主軸下的學科內容知識，若能蒐集課本以外的知識即擁有高中以上程度知識獲取能力。

(三) 動態預測

1. 能系統化思考、預測執行解決方案可能產生的結果等評量規準說明模糊不清。

針對上述建議回覆，已修正評量規準的說明，將五等第的規準內容以數據做量化，方便學生選擇較符合自己在科技教育工程設計實作課程中，所具備的能力為何。

(四) 計畫與決策

1. 是否將實作專題中包含的知識、操作程序等列出，方便學生評斷是否運用到全部知識或操作程序等。

針對上述建議回覆，本研究將實作專題中所包含的知識定義為高中科技課本中提及的學科內容知識，因此未將所有可能包含的知識全部列出，操作程序則為學生依照工程設計流程的步驟，評斷自己是否能應用全部操作程序以解決目標問題。

(五) 監控與評估

1. 學生判斷解決策略是否合宜、目標問題是否為真完成，會因具備的知識不同而影響到判斷標準。

根據上述建議回覆，這一點為自評量表可能產生的誤差之一，但此能力量表主要為實作完成後根據結果評量自身的複雜問題解決能力，因此在實作完成進行測試階段時，即可根據測試結果清楚知道自己是否有達到該構面下的評量規準，若測試結果不理想則代表在某個構面下未達到最好的表現。

三、專家審查建構內容效度

量表題項以蒐集並分析關於複雜問題解決能力文獻及參考相關問卷等方式建構，並與高中科技教育實作專題之內涵相符，進而提出各項構面及能力指標。此階段的問卷主要詢問專家在閱讀完題項後針對其內容是否有建議回饋。每一構面各題項下評量規準設計為 5 等尺度，並於奇數等第提出評量規準，幫助學生進行等級評斷與填答，詢問專家對於各等第的表現基準是否有建議回饋。專家審查詳細內容見本研究第四章第一節，以下為依據審查結果後修正問卷初稿，將原 12 項指標增加為 14 項，如下表 3-3-2。

表 3-3-2

科技教育複雜問題解決能力指標第三階段修改

科技教育複雜 問題解決能力 構面	原 12 項能力指標	修改後 14 項能力指標
1. 目標解構	1-1 能理解問題的重要性	1-1 能理解問題的重要性 (保留)
	1-2 能理解背景限制, 提出具有影響的外在與潛在因素	1-2 能理解背景限制, 提出具有影響的外在與潛在因素 (保留)
	1-3 能訂定具體的解決目標	1-3 能訂定具體的解決目標 (保留)
2. 探究並提出假設	2-1 能透過探究目標問題, 運用科技蒐集完整相關知識	2-1 能透過探究目標問題, 運用科技蒐集完整相關知識 (保留)
	2-2 能整合解決問題所需的知識, 系統化思考提出可行的解決方案	2-2 能整合解決問題所需的知識, 系統化思考提出可行的解決方案 (保留)
	3-1 能系統化思考、預測執行解決方案時可能產生的結果, 或運用科技檢驗解決方案的可行性	3-1 能預測解決方案可能產生的結果 (將原 3-1 拆為兩個題項)
3. 動態預測	3-2 能根據預測或科技檢驗的結果, 重新理解問題以建構可行的解決方案	3-2 能運用科技模擬、檢驗解決方案可行性 (將原 3-1 拆為兩個題項)
	3-3 能根據預測或科技檢驗的結果, 重新理解問題以建構可行的解決方案	3-3 能根據預測或科技檢驗的結果, 重新理解問題以建構可行的解決方案
4. 計畫與決策	4-1 能應用「知識」決定解決方案與執行	4-1 能應用「知識」決定解決方案與執行
	4-2 能應用「操作程序」決定解決方案並執行	4-2 能應用「操作程序」決定解決方案並執行
5. 監控與評估	5-1 能控制問題 (情境) 背景限制、條件及影響因素	5-1 能控制問題 (情境) 背景限制、條件及影響因素
	5-2 能在實作中評估解決策略是否合宜, 並能解決製作過程中的突發問題	5-2 能在實作中評估解決策略是否合宜 (將原 5-2 拆為兩個題項)
		5-3 能解決製作過程中的突發問題 (將原 5-2 拆為兩個題項)
6. 自我反思與調節	6-1 能在實作完成後, 反思解決步驟中執行的每一個動作	6-1 能在實作完成後, 反思解決步驟中執行的每一個動作

註：作者自行整理

第四節 資料分析與詮釋

本研究之量表發展主要先以專家審查建構內容效度，再將回收資料使用統計軟體 SPSS 23.0 版本做項目分析、探索性因素分析、內部一致性分析，JASP 0.16.1.0 版本做驗證性因素分析與模型繪製，分析方法說明如下：

一、內容效度分析

量表題項及評量規準制訂形成問卷初稿後經專家學者審查，進行內容效度與適切性評鑑，針對建議修正題項及規準以形成量表預試問卷。

二、項目分析

將蒐集的預試資料以項目分析做獨立樣本 t 檢定，檢驗每一構面下各題項的鑑別度，若達顯著則代表該題項具有鑑別度。

三、探索性因素分析

以最大變異數轉軸法萃取主要因素構面，評估各構面及題項之因素負荷量，根據分析結果修改題項的措辭，若題項確實不恰當或無需求則予以刪除。

四、內部一致性分析

信度採用 Cronbach's α 係數檢驗量表內部一致性，檢驗各構面下每一題項間的內部一致性程度。

五、驗證性因素分析

使用結構方程模型做一階的驗證性因素分析，確認量表的組合信度與建構效度，檢驗每一構面下各題項的配適度。

第四章 研究結果與討論

本研究以複雜問題解決能力為主旨，發展高中科技教育複雜問題解決能力量表，藉由文獻歸納分析與問卷蒐集並統計分析建構能力量表的指標與題項。本章共分為三節說明：第一節為高中科技教育複雜問題解決能力量表之發展；第二節為高中科技教育複雜問題解決能力量表之信效度；第三節為綜合討論。

第一節 高中科技教育複雜問題解決能力量表之發展

本研究欲發展「高中科技教育複雜問題解決能力量表」，先以文獻分析取得複雜問題解決能力評量之構面與題項，並發展初稿，經過專家諮詢與專家審查後進行題項增刪或修正，最後編制成預試問卷。預試完成後進行信、效度確認與分析，以作為題項增刪與修訂依據，最後形成「高中科技教育複雜問題解決能力量表」完稿，並做正式施測，探討高中生在工程設計實作專題課程下複雜問題解決能力表現。

一、「高中科技教育複雜問題解決能力量表」內容編制

(一) 蒐集相關文獻與評量方式

本研究先蒐集與複雜問題解決能力相關文獻進行整理與分析，蒐集文獻範圍包含複雜問題解決步驟、複雜問題解決能力表徵、複雜問題解決評量等內容，並與工程設計的能力表現整合，定義出高中科技教育複雜問題解決能力表徵。再依據上述表徵歸納出高中科技教育複雜問題解決能力的構面與指標題項，使用 Greiff 與 Fischer (2013) 提出的複雜問題解決六大步驟為基礎構面，參考相關評量表現的方式，發展「高中科技教育複雜問題解決能力量表」。

能力量表分為六大部分：「目標解構」、「探究並提出假設」、「動態預測」、「計畫與決策」、「監控與評估」、「自我反思與調節」，與指導教授討論後訂定出 12 個題項。因複雜問題解決能力不易學生理解，故加入情境說明各題項內容，幫助學生填答，本研究參考高中科技課本內容，以結構單元為主軸，融入橋梁建構的情境。

(二) 專家諮詢與專家審查

完成「高中科技教育複雜問題解決能力量表」指標及題項後，先請三位具備工程與科技教育的高中教師與一位工程與科技領域教授進行指標的諮詢，確認指標內容的可讀性，以完成表面效度檢驗，專家諮詢紀錄可見本研究第三章第三節所述。

接著邀請兩位工程與科技領域教授以及一位具備工程與科技教育教學資歷且帶過學生參加 FIRST Robotics Competition (FRC) 機器人競賽的高中科技教師審查，審查問卷初稿內容，以此達成專家效度檢驗。

本次專家審查方式為，先寄送邀請函確認三位專家的審查意願。待確認專家意願後，透過郵件寄送問卷初稿給兩位專家，讓專家透過自身專業知識與教學經驗題出指標內容建議，研究者在整合專家的修改建議，調整指標內容、題項敘述與評量等第，以此建立「高中科技教育複雜問題解決能力量表」預試問卷。依據本次專家審查結果，三位專家主要提出兩部分的審查建議，如下所述：

1. 題項敘述融入問題情境
2. 表現規準五等第間的評斷標準模糊

綜合上述專家諮詢與專家審查修正建議的結果，本問卷從研究者編制的「高中科技教育複雜問題解決能力量表」指標與題項初稿中的 12 個能力指標，調整和修改為 14 個能力指標，並以此作為預試施測問卷的題項。再將各題項說明融合本問卷中橋樑倒塌問題情境，如：我可以根據（橋梁倒塌、結構斷裂等）狀況，判斷出（此建築）可能面臨的問題以及（橋梁建構）的限制。表現規準中五等第的評斷標準模糊，以至於無法清楚區別能力表現，針對此回饋將難以辨別程度的表現規準根據高中科技課本所提及的內容做量化，並調整原先已量化但有問題的表現規準。

(三) 能力量表使用情境

本研究能力量表適用於做過工程設計實作課程之學生，為幫助學生了解複雜問題解決能力，加入高中常見實作專題活動-橋梁建構，作為情境導入與題項說明，因此受試學生須在科技教育課程中經歷過橋樑實作，並且以工程設計流程為主軸完成實作作品。

(四) 量尺說明

本研究能力量表量尺樣式，如表 4-1 所示。量表設定為五等尺度，各等第分數表示填答者在該題項表現程度高低，分別為 1 分、2 分、3 分、4 分、5 分，在奇數等第下文字說明表現規準。

表 4-1
能力量表量尺樣式

題項 說明	量尺分數與表現程度描述				
	1	2	3	4	5
1. 我認為（重建一座結構良好的天橋，讓大家能安全行走）是重要的。	我認為解決這個問題不重要	↔	我認為解決這個問題重要	↔	我認為解決這個問題非常重要

第二節 高中科技教育複雜問題解決能力量表之信效度

本節將分為兩大部分敘述預試及正式問卷的統計分析結果，預試問卷採用探索性因素分析，根據結果修正問卷的內容形成正式問卷，正式問卷則採用驗證性因素分析建構能力量表的效度。

一、預試問卷統計分析結果

本次預試樣本採用立意取樣，樣本來源為中部及南部某公立高中高三學生，發放問卷 108 份，扣除無效問卷後，有效施測問卷 101 位學生，回收率 94%。預試問卷以紙本方式讓受試學生填寫，內容呈現方式為五等尺度量表，由有學習過橋樑建構工程設計實作專題課程之學生填答，依據題項敘述與自身經驗填答學習過程中及學習過後的能力表現。表 4-2-1 為將原始資料透過分析測量模型呈現指標項目分析之結果。

表 4-2-1
高中科技教育複雜問題解決能力量表預試項目分析

題項	Levene 檢定顯著性	獨立樣本 <i>t</i> 檢定顯著性
目標解構 01	採用相等變異數	.000
	不採用相等變異數	.000
目標解構 02	採用相等變異數	.054
	不採用相等變異數	.000
目標解構 03	採用相等變異數	.588
	不採用相等變異數	.000
探究並提出假設 01	採用相等變異數	.097
	不採用相等變異數	.000
探究並提出假設 02	採用相等變異數	.599
	不採用相等變異數	.000
動態預測 01	採用相等變異數	.268
	不採用相等變異數	.000
動態預測 02	採用相等變異數	.525
	不採用相等變異數	.000

(續)

動態預測 03	採用相等變異數	.942	.000
	不採用相等變異數		.000
計畫與決策 01	採用相等變異數	.016	.000
	不採用相等變異數		.000
計畫與決策 02	採用相等變異數	.181	.000
	不採用相等變異數		.000
監控與評估 01	採用相等變異數	.307	.000
	不採用相等變異數		.000
監控與評估 02	採用相等變異數	.903	.000
	不採用相等變異數		.000
監控與評估 03	採用相等變異數	.737	.000
	不採用相等變異數		.000
自我反思與調節 01	採用相等變異數	.266	.000
	不採用相等變異數		.000

註：作者自行整理

項目分析主要為確認各題項的鑑別度，以獨立樣本 t 檢定分析，分為高分組與低分組分析兩組間的差異性，得到 Levene 檢定值，若顯著性 $< .001$ 則對照採用相等變異數之獨立樣本 t 檢定之 p 值；若顯著性 $> .001$ 則對照不採用相等變異數之獨立樣本 t 檢定之 p 值，由結果可看出各構面下的題項 p 值均 $< .001$ 為顯著關係，故鑑別度高，不須刪除題項。

本能力量表之內部一致性信度方面 Cronbach's α 為 .88，因刪減構面目標解構題項 1 前信度為 .87，刪減後信度變為 .88，若刪除目標解構題項 1 信度會略微增加，根據預試資料分析結果發現受試者對該題項作答的表現規準眾數為 5，對分辨學生表現程度沒有幫助，且在專家審查時，有一位專家提出建議刪除偏向態度評量而非能力評量的題項 1 相關回饋，是故刪除目標解構題項 1，個題項的描述性統計分析結果與次數分配表見下表 4-2-2 及表 4-2-3。

表 4-2-2

高中科技教育複雜問題解決能力量表預試描述性統計分析

題項	數值	平均值	眾數	標準差	偏態	峰態	百分位數		
							25	50	75
目標解構1		4.347	5	0.9	-1.168	0.686	4	5	5
目標解構2		2.921	3	0.935	0.01	-0.241	2	3	4
目標解構3		2.871	3	0.966	0.331	0.038	2	3	3
探究並提出假設1		3.109	3	1.029	-0.11	-0.279	2.5	3	4
探究並提出假設2		2.921	3	0.987	-0.03	-0.029	2	3	3
動態預測1		2.792	3	1.013	0.019	-0.453	2	3	3
動態預測2		3.129	3	1.026	0.077	-0.371	2	3	4
動態預測3		3.257	4	1.074	-0.039	-0.915	2	3	4
計畫與決策1		2.871	3	0.879	0.076	0.351	2	3	3
計畫與決策2		3.337	3	1.07	-0.113	-0.235	3	3	4
監控與評估1		3.248	3	1.09	-0.037	-0.462	3	3	4
監控與評估2		3.277	3	1.078	-0.039	-0.071	2.5	3	4
監控與評估3		3.129	3	0.935	0.338	-0.163	3	3	4
自我反思與調節1		3.198	3	0.97	0.463	-0.127	3	3	4

註：作者自行整理

表 4-2-3

高中科技教育複雜問題解決能力量表預試各題項次數分配表

題項	等第				
	一	二	三	四	五
目標解構1	1	1	20	19	60
目標解構2	6	26	43	22	4
目標解構3	6	29	45	14	7
探究並提出假設1	7	18	42	25	9
探究並提出假設2	9	20	48	18	6
動態預測1	11	27	39	20	4
動態預測2	5	21	42	22	11
動態預測3	3	26	27	32	13
計畫與決策1	6	24	52	15	4
計畫與決策2	6	10	47	20	18
監控與評估1	6	16	42	21	16
監控與評估2	4	21	34	27	15
監控與評估3	2	22	48	19	10
自我反思與調節1	2	18	54	12	15

註：作者自行整理

接著將能力量表進行探索性因素分析，不確定各因素間是否有關連，故採用主成分分析的直交轉軸法，萃取因素的標準為特徵值 >1 ，因素負荷量 >0.5 ，得出適切量（KMO）檢定為0.83， $p < .001$ 為顯著關

係，累積解釋變異量達 79%，見下表 4-2-4。

表 4-2-4
高中科技教育複雜問題解決能力量表預試探索性因素分析

題項	因素	因素						共同性
		1	2	3	4	5	6	
目標解構	02			.892				.908
	03			.554				.766
探究並提出假設	01				.896			.845
	02				.614			.748
動態預測	01		.629					.772
	02		.824					.818
	03		.791					.794
計畫與決策	01					.732		.823
	02					.597		.667
監控與評估	01	.814						.714
	02	.731						.789
	03	.731						.818
自我反思與調節	01						.731	.809
特徵值		2.194	1.838	1.771	1.764	1.531	1.172	
解釋變異量 (%)		16.881	14.135	13.624	13.566	11.775	9.019	
累積解釋變異量 (%)		16.881	31.016	44.639	58.205	69.980	79.000	

註：作者自行整理

根據無效問卷填答狀況發現，問卷中評量能力表現各規準間的敘述會讓部分填答者產生混淆，故修正問卷，將問卷的偶數等第依照奇數等第辦理，撰寫文字敘述，形成正式問卷。

二、正式問卷統計分析結果

本次正式樣本採用立意取樣，樣本來源為北部及中部某公立高中高一及高三學生，發放問卷 184 份，扣除無效問卷後，有效施測問卷 177 位學生，回收率 96%。正式問卷以紙本方式讓受試學生填寫，內容呈現方式為五等尺度量表，由有學習過橋樑建構工程設計實作專題課程之學生填答，依據題項敘述與自身經驗填答學習過程中及學習過後的能力表現。將原始資料透過分析測量模型呈現指標內部一致性信度 Cronbach's α 為 .89，接著進行驗證性因素分析，表 4-2-5 為驗證性因素分析之結果。

表 4-2-5
高中科技教育複雜問題解決能力量表驗證性因素分析

題項	因素負荷量	CR	AVE	Cronbach's α
目標解構	.783 .793	.766	.621	.811
探究並提出假設	.773 .734	.725	.568	.648
動態預測	.622 .781 .842	.796	.569	.772
計畫與決策	.670 .876	.753	.608	.728
監控與評估	.786 .739 .750	.803	.576	.795

註：作者自行整理

根據表 4-2-5 驗證性因素分析結果顯示，本研究發展的評量工具各構面題項之標準化因素負荷量均大於 0.5，組合信度 CR 值均大於 .60，可看出每一構面具有一定信度，且平均解釋變異量 AVE 均大於 .50，表示各題項均收斂於相對應的構面。表 4-2-6 兩個不同構面間的相關係數皆小於每一構面的平均解釋變異量 (AVE) 之平方根，表示兩個構面間具有區別效度。圖 4-1 為本研究之驗證性因素分析模型。

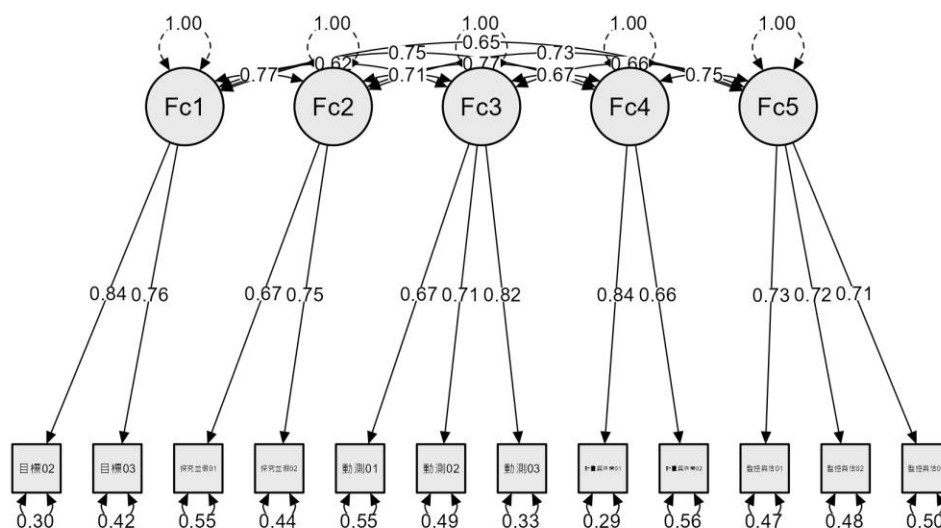
表 4-2-6
高中科技教育複雜問題解決能力量表各構面之 AVE 平方根相關矩陣

構面	目標解構	探究並提出假設	動態預測	計畫與決策	監控與評估	自我反思與調節
目標解構	(.788)					
探究並提出假設	.554**	(.754)				
動態預測	.510**	.527**	(.754)			
計畫與決策	.575**	.525**	.503**	(.78)		
監控與評估	.508**	.528**	.525**	.552**	(.759)	
自我反思與調節	.337**	.432**	.382**	.335**	.389**	

註：括號內數字為當構面 AVE 之平方根，未括號數字為各構面的相關係數。

** $p < 0.01$

圖 4-1
驗證性因素分析模型



本研究高中科技教育複雜問題解決能力量表之配適度分析結果，如表 4-2-7 所示，卡方自由度比(χ^2/df) < 3、GFI > 0.9、SRMR > 0.9、CFI > 0.9、IFI > 0.9、NFI > 0.9、RFI > 0.9，綜合上述分析結果，本研究能力量表之配適度皆在適合標準中，各項指標皆達到良好標準，因此本研究發展之能力量表具有合理的配適度。

表 4-2-7
高中科技教育複雜問題解決能力量表之配適度分析結果

配適指標	分析結果	判斷標準與解釋
X^2	53.349	
X^2/df	1.212	<3 (Kline, 2005)
GFI	0.953	>0.9 (黃芳銘, 2007)
SRMR	0.035	<0.08 (邱皓政, 2011)
CFI	0.989	>0.9 (李茂能, 2006)
IFI	0.989	>0.9 (黃芳銘, 2007)
NFI	0.94	>0.9 (邱皓政, 2011)
RFI	0.91	>0.9 (黃芳銘, 2007)

註：作者自行整理

構面六自我反思與調節僅有一個題項，無法做驗證性因素分析，但此構面根據第二章文獻探討中，文獻整理分析為複雜問題解決重要

能力之一，發展能力量表建構指標及題項進行專家效度檢驗時也無專家認為該題項需刪除，經過資料統計分析結果，該構面之題項在項目分析中具備良好的鑑別度，進行探索性因素分析時特徵值 >1 ，因素負荷量 >0.5 ，解釋變異量為 9.019，因此予以保留。

將高中科技教育複雜問題解決能力量表做描述性統計調查，調查結果如表 4-2-8 所示，可由表 4-2-9 看出各構面與題項的眾數看出填答者在每一題項的能力表現皆趨於中間值，而在「目標解構-能訂定具體解決目標」、「探究並提出假設-能整合解決問題所需的知識，系統化思考提出可行的解決方案」、「動態預測-能根據預測或科技檢驗的結果，重新理解問題以建構可行的解決方案」、「計畫與決策-能應用『知識』決定解決方案與執行」、「計畫與決策-能應用『操作程序』決定解決方案並執行」以上五個題項的表現平均較低，將在本章第三節中討論。

表 4-2-8
高中科技教育複雜問題解決能力量表各構面與題項描述性統計分析

構面	題項	平均數	眾數	標準差	偏態	峰態	百分位數		
							25	50	75
目標解構	02	3.04	3	.828	0.351	0.027	2.5	3	3.5
	03	2.955	3	.845	0.258	-0.314	2	3	3.5
	平均	2.997	3	.757	0.278	-0.268	2.5	3	3.5
探究並提出假設	01	3.407	4	.913	-0.219	-0.509	3	3	4
	02	2.91	3	.894	0.227	-0.274	2	3	3
	平均	3.158	3	.784	-0.045	0.057	2.5	3	3.5
動態預測	01	3.113	3	1.011	-0.062	-0.519	2	3	4
	02	2.91	2	1.089	0.128	-0.765	2	3	4
	03	3.277	3	1.07	-0.01	-0.666	3	3	4
	平均	3.1	3	.874	-0.029	-0.16	2.667	3	3.667
計畫與決策	01	2.983	3	.920	-0.011	-0.354	2	3	4
	02	2.876	2	.981	0.179	-0.593	2	3	4
	平均	2.929	2.5	.839	-0.001	-0.367	2.5	3	3.5
監控與評估	01	3.441	3	1.044	-0.235	-0.523	3	3	4
	02	3.294	3	.956	-0.027	-0.596	3	3	4
	03	3.107	3	1.042	0.149	-0.659	2	3	4
	平均	3.281	4	.835	-0.018	-0.301	2.667	3.333	4
自我反思與調節	01	3.198	3	1.082	0.197	-0.848	2	3	4

註：作者自行整理

表 4-2-9

高中科技教育複雜問題解決能力正式量表各題項次數分配表

題項	等第				
	一	二	三	四	五
目標解構2	2	42	89	35	9
目標解構3	3	52	78	38	6
探究並提出假設1	2	29	58	71	17
探究並提出假設2	6	54	74	36	7
動態預測1	9	40	64	50	14
動態預測2	15	55	51	43	13
動態預測3	7	35	64	44	27
計畫與決策1	8	45	73	44	7
計畫與決策2	10	59	59	41	8
監控與評估1	6	26	59	56	30
監控與評估2	3	35	64	57	18
監控與評估3	7	47	62	42	19
自我反思與調節1	5	47	60	38	27

註：作者自行整理

第三節 綜合討論

將正式問卷結果分析後，得到的統計結果皆達到標準值，本研究能力量表具有良好的信、效度，故於第一次正式問卷施測後即結束本研究的資料收集。本節將根據專家諮詢、專家審查、預試問卷及正式問卷統計分析結果進行綜合討論。最終本研究能力量表將原先根據文獻探討得出的 22 項能力指標修改為 13 項，刪除的指標題項也會於本節說明。

一、「科技教育複雜問題解決能力量表」題項修訂

因目前臺灣研究複雜問題解決能力的相關文獻較少，建立本研究的能力量表多參考國外的研究，將蒐集到的文獻做整理歸納，初步得出六大構面及 22 項能力指標，經與專家諮詢及審查結果修改為六大構面及 13 項能力指標，其中刪除的 5 項能力指標分別為：「目標解構-能分類各項限制及因素，權衡、歸納問題處理的先後順序」、「計畫與決策-能依據檢驗結果、習得的知識，規劃完整且合適的系統性解決方案」、「計畫與決策-能應用『策略』決定解決方案與執行」、「監控與評

估-能應用『知識』，以正確的『操作程序』執行解決『策略』」、「自我反思與調節-能根據解決過程中獲得的結果調整解決策略」，以下分別說明刪除的原因。

「目標解構-能分類各項限制及因素，權衡、歸納問題處理的先後順序」與「計畫與決策-能依據檢驗結果、習得的知識，規劃完整且合適的系統性解決方案」此兩個題項刪除的原因為，在「探究並提出解決方案」構面中包含運用科技蒐集完整相關知識並系統化思考提出可行的解決方案、在「動態預測」構面中包含根據預測或科技檢驗的結果，重新理解問題以建構可行的解決方案，與此兩個題項能力有部分雷同，為簡化量表題項而刪除；「計畫與決策-能應用『策略』決定解決方案與執行」與「監控與評估-能應用『知識』，以正確的『操作程序』執行解決『策略』」此兩個題項刪除的原因為，在「計畫與決策」構面中包含應用知識與操作程序以執行解決方案，與此兩個題項的能力有部分雷同，為簡化量表題項而刪除；「自我反思與調節-能根據解決過程中獲得的結果調整解決策略」此題項刪除的原因為，在「監控與評估」構面中包含評估實做中使用的解決策略是否合宜，並能解決突發的問題，與此題項能力有部分雷同，為簡化量表題項而刪除。

二、學生在科技教育學習下複雜問題解決能力表現

本研究所訂定的能力量表有依據高中科技課本的內容導入情境做問卷內容敘述的撰寫，但與情境相關的敘述內容可以隨課堂上工程設計實作專題活動教學情境做調整與替換，是一份可以於科技課程中廣泛運用的能力量表，加上經文獻探討後發現複雜問題解決能力與工程設計培養的能力有些許相關，因此本能力量表對於高中生而言在填答上不會有許多問題，能理解各題項所表達的意思。

本章第二節針對正式問卷資料做統計分析調查結果表 4-2-7 發現，

在「目標解構-能訂定具體解決目標」、「探究並提出假設-能整合解決問題所需的知識，系統化思考提出可行的解決方案」、「動態預測-能根據預測或科技檢驗的結果，重新理解問題以建構可行的解決方案」、「計畫與決策-能應用『知識』決定解決方案與執行」、「計畫與決策-能應用『操作程序』決定解決方案並執行」以上五個題項的能力表現平均較低，根據表 4-2-8 次數分配表也可看出大多受試者的填答傾向集中在表現規準 2 至 4，也就是量表的中間值。

綜合統計結果探討上述幾項學生在科技教育複雜問題解決能力表現上較低，及填答大多落在表現規準 2 至 4 的原因，若能將下述探討的結果作教學上的改善，或許可提升學生在該題項的能力表現。

- (一) 學生對於遇到問題後，思考問題最終要解決至什麼目標以及問題的背景限制較無想法，可能的原因包含對這個工程設計實作活動主題不熟悉、長期接受到的教育方式、缺少問題解決動機等，而 Fernando 等（2022）提到，部分學生無法清楚分辨複雜工程問題，導致問題無法被解決，讓學生知道他們正在處理的工程問題是一個複雜的問題相當重要。
- (二) 學生對於整合知識能力較弱，可能的原因包含缺乏知識與問題的連結、缺少在生活中的實際應用等，進而導致無法將獲得到的資訊做處理，重新思考問題可以如何解決。
- (三) 學生在計畫與決策構面下能力表現均較低，可能的原因之一即為不知道如何應用知識，知識包含學科知識及操作知識，當無法將知識應用於解決問題中，此構面的能力表現即較低。

Kretzschmar 和 Süß（2015）認為解決策略與知識彼此間具有關聯，當透過知識整合與應用，則可提高對複雜情境理解並解決的能力。

(四) 學生大多選擇中間值作為填答結果，可能的原因為不清楚自己是否有達到這些表現，以至於無法審視自己的能力，因能力量表表現規準多以量化的方式呈現，若清楚羅列這項工程設計實作活動會使用到的相關知識與技能，或許可以幫助學生在學習過後了解自身的複雜問題解決能力表現。



第五章 結論與建議

本研究為發展高中科技教育複雜問題解決能力量表，發展此能力量表須先訂定出能力的指標，本研究採用專家審查及問卷調查法，並將蒐集到的資料做統計分析，確認本研究發展的能力量表具備良好的信、效度，以完成此能力量表。擬定能力量表指標與題項階段共邀請 7 位專家做審查，包含 4 位現職高中科技教師與 3 位工程與科技領域專業教授，經過一次專家諮詢及一次專家審查，根據諮詢與審查後提出的建議與回饋修訂指標與題項，最後建立六大構面與 13 項能力指標。本研究希望透過此能力量表之發展可以讓更多教師及學生認識複雜問題解決能力，除了工程設計能力外，在高中階段科技教育的學習可以培養更多 21 世紀所需具備的關鍵能力。

以下將根據本研究結果分為兩節做討論，第一節結論，針對最終發展的科技教育複雜問題解決能力量表的構面與指標題項內容進行說明；第二節研究建議，依據第四章第三節綜合討論提出實務解決看法及未來研究方向的建議。

第一節 結論

本研究最終發展的高中科技教育複雜問題解決能力量表之能力指標共 6 大構面 13 項能力指標。針對本研究的代答問題，提出以下兩個結論及能力量表的使用時機，分別為高中科技教育複雜問題解決構面及內涵；高中科技教育複雜問題解決能力量表之信、效度；高中科技教育複雜問題解決能力量表使用建議。

一、高中科技教育複雜問題解決構面及內涵

本研究最終發展的能力量表有六大構面，依照問題解決的流程分別為，「目標解構」、「探究並提出假設」、「動態預測」、「計劃與執

行」、「監控與評估」及「自我反思與調節」，各構面下的內涵即為能力指標題項如下所示。完整的題項說明可見附錄一的專家審查問卷。

(一) 目標解構

1. 能理解問題背景限制，提出具有影響的外在與潛在因素。
2. 能訂定具體的解決目標。

(二) 探究並提出假設

1. 能透過探究目標問題，運用科技蒐集完整相關知識。
2. 能整合解決問題所需的知識，系統化思考提出可行的解決方案。

(三) 動態預測

1. 能系統化思考、預測執行解決方案時可能產生的結果。
2. 能運用科技檢驗解決方案的可行性。
3. 能根據預測或科技檢驗的結果，重新理解問題以建構可行的解決方案。

(四) 計劃與執行

1. 能應用「知識」決定解決方案與執行。
2. 能應用「操作程序」決定解決方案並執行。

(五) 監控與評估

1. 能控制問題（情境）背景限制、條件及影響因素。
2. 能在實作中評估解決策略是否合宜。
3. 能解決實作過程中的突發問題。

(六) 自我反思與調節

1. 能在實作完成後，反思解決步驟中執行的每一個動作。

二、高中科技教育複雜問題解決能力量表之信、效度

將預試問卷蒐集的資料經統計分析後可知預試問卷的題項信、效

度良好，因項目分析之獨立樣本 t 檢定分析，各構面下的題項 p 值均 $<.001$ 為顯著關係，鑑別度高，而內部一致性信度 Cronbach's α 為.88，具有良好信度，探索性因素分析採用主成分分析的直交轉軸法，萃取因素的標準為特徵值 >1 ，因素負荷量 >0.5 ，得出適切量(KMO)檢定為 0.83， $p < .001$ 為顯著關係。

最後將正式問卷蒐集的資料經統計分析後可知正式問卷的題項信、效度良好，因內部一致性信度 Cronbach's α 為.89，具有良好信度，各題項之標準化因素負荷量均大於 0.5，組合信度 CR 值均大於.60，平均解釋變異量 AVE 均大於.50，有良好收斂效度，兩個不同構面間的相關係數皆小於每一構面的平均解釋變異量(AVE)之平方根，構面間具有區別效度，驗證性因素分析配適度分析結果，卡方自由度比 (χ^2/df) <3 、GFI >0.9 、SRMR >0.9 、CFI >0.9 、IFI >0.9 、NFI >0.9 、RFI >0.9 ，各項指標皆達到良好標準，具有合理的配適度。

三、高中科技教育複雜問題解決能力量表之使用建議

本研究最終發展的能力量表為一份可以更換情境，以符合課堂實作活動的量表。將括號中的敘述與課堂中的實作活動根據實作的流程做修改，即可成為一份針對課程內容的複雜問題解決能力量表，方便各個現職高中科技教育教師使用，也提升量表的普遍接受性。

第二節 研究建議

複雜問題解決能力培養目的之一為解決生活中遇到的問題，若無法將學習到的多元知識整合並應用，在面對非考試內容或非單一解決方法的問題時，則會有較高機率失敗。目前 108 課綱科技領域推廣工程設計及專題式學習，以上兩個教學模式與學習表現，皆希望學生能夠具備知識整合應用的能力。本研究將所獲得的研究結果在未來科技

教育課堂上的使用及未來相關研究方面提出以下兩點建議，第一點為依據第四章第三節綜合討論提出實務解決看法，第二點為未來研究方向的建議。

一、實務解決看法

本研究第四章第三節綜合討論中發現，學生在界定問題、知識的整合與應用上能力表現較低，可能的原因包含長期接受的教育屬於針對考試的教學方式、缺少將知識進行整合並應用於生活中、處於被動解決問題的情境以至於缺乏解決問題的動機，根據上述問題以下提出幾點解決看法。

(一) 界定問題

本研究第二章文獻探討發現，問題解決動機的生成會影響到問題解決的成敗，在本研究發展的能力量表「界定問題」構面中，雖然將問題解決動機題項刪除，因屬於態度層面的能力，非本研究發展的能力量表重點，但問題解決動機也確實會潛在的影響學生對於界定問題的能力。目前科技教育課綱中以實作為主軸，將舊有的講述教學模式更改為專題實作，藉由增加學生自主學習的機會，或許可以改善學生對於問題的解決動機。

(二) 知識整合與應用

本研究第二章文獻探討發現，在複雜問題解決能力中，「知識獲取」、「知識應用」為主要內涵之一，在本研究發展的能力量表「計畫與決策」構面中，主要量測學生是否能將學習到的知識應用在執行解決方案上。知識整合與應用是目前素養導向教學強調的重點，而跨領域學習也可以培養學生知識整合的能力，若透過以上兩種教學方法或許可以提高學生此項能力。

二、未來研究建議

(一)增加與複雜問題解決相關國內研究

本研究在發展複雜問題解決能力量表所蒐集到的相關文獻皆為國外文獻，但臺灣教育部早在 2014 年即將複雜問題解決能力訂定為 21 世紀關鍵能力之一，因國內研究複雜問題的學者較為稀少，使得複雜問題解決的內涵無法普及，也無從了解如何於教育中培養學生具備此項關鍵能力。本研究僅根據約 30 篇左右的過去文獻做整理與分析，發展出科技教育中複雜問題解決能力的指標，經過國外文獻的蒐集發現，複雜問題解決能力應用相當廣泛，在不同領域中皆會出現複雜問題，關於複雜問題的研究仍不斷在更新，後續研究者可以做不同領域、不同年段的能力表現等與複雜問題相關的研究。

(二)更多元的評量工具發展

評量複雜問題解決能力需要建構較為複雜的情境與問題，非一般學術考試的紙筆測驗，如何讓學生具備複雜問題解決能力及如何評量學生複雜問題解決能力皆可再多方研究，畢竟透過工程設計實作活動培養學生複雜問題解決能力只是其中一種方法，本研究發展的能力量表為自評量表，對於高中階段學生具備的複雜問題解決能力並無法全面量測，也需要將量表的表現規準敘述做更清楚的說明，如，列出更為詳細的知識與技能項目，因此，探討更多培養學生複雜問題解決能力的方法及發展多元的評量方式，皆是未來研究者可以參考的方向。



參考文獻

一、中文部分

李茂能 (2006)。結構方程模式軟體 Amos 之簡介及其在測驗編製上之應用。心理。

吳明隆、涂金堂 (2011)。SPSS 與統計應用分析。五南。

邱皓政 (2011)。結構方程模式：LISREL 的理論、技術與應用 (二版)。雙葉書廊。

范斯淳、游光昭 (2016)。科技教育融入 STEM 課程的核心價值與實踐。教育科學研究期刊，61(2)，153-183。

[https://doi.org/10.6209/JORIES.2016.61\(2\).06](https://doi.org/10.6209/JORIES.2016.61(2).06)

教育部 (2014)。教育部中小學數位閱讀計畫 104 年度成果發表會。

https://depart.moe.edu.tw/ed2700/News_Content.aspx?n=727087A8A1328DEE&sms=49589CE1E2730CC8&s=532F622196CFEC29

教育部 (2018)。十二年國民基本教育課程綱要國民中小學暨普通型高級中等學校科技領域。臺北市：教育部。

黃芳銘 (2007)。結構方程模式理論與應用 (五版)。五南。

二、外文部分

Barak, M. (2012). From 'doing' to 'doing with learning': Reflection on an effort to promote self-regulated learning in technological projects in high school. *European Journal of Engineering Education*, 37, 105–116.

Beckett, G. H., & Miller, P. C. (Eds.) (2006). *Project-based second and foreign language education: Past, present, and future*. Greenwich, CT: Information Age Publishing.

Bell, S. (2010). *Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the*

- Future. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies. Issues and Ideas*, 83(2), 39-43. <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>
- Bransford, J. D., & Stein, B. S. (1986). *The IDEAL problem solver*. Freeman.
- Buehner, M. J., & Cheng, P. W. (2005). Causal Learning. In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 143–168). Cambridge University Press.
- Bühner, M., Kröner, S., & Ziegler, M. (2008). Working memory, visual–spatial-intelligence and their relationship to problem-solving. *Intelligence*, 36(6), 672-680.
- Dewey, J. (1910). *How we think*. Heath. <https://doi.org/10.1037/10903-000>
- Dörner, D. (1980). On the difficulties people have in dealing with complexity. *Simulat. Gam.* 11, 87–106.
<https://doi.org/10.1177/104687818001100108>
- Dörner, D. (1986). Diagnostik der operativen Intelligenz. [Diagnosis of operative intelligence.]. *Diagnostica*, 32(4), 290-308.
- Dörner, D., & Funke, J. (2017). Complex Problem Solving: What It Is and What It Is Not. *Frontiers in psychology*, 8, 1153.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01153>
- Dym, C.L., Agogino, A.M., Eris, O., Frey, D.D. and Leifer, L.J. (2005). *Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning. Journal of Engineering Education*, 94, 103-120.
<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00832.x>
- D' Zurilla, T. J., & Goldfried, M. R. (1971). Problem solving and behavior modification. *Journal of Abnormal Psychology*, 78(1), 107–126.
<https://doi.org/10.1037/h0031360>
- Fernando, A. R., Vergara, J. G. U., & Canlapan, C. A. D. (2022). *Work in Progress: Perception of complex engineering problem among capstone design students*. [Conference presentation]. 2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Tunis, Tunisia.

- <https://doi.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766721>.
- Fischer, A., Greiff, S., & Funke, J. (2012). The Process of Solving Complex Problems. *The Journal of Problem Solving*, 4 (1), 19-42.
<https://doi.org/10.7771/1932-6246.1118>
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39–50. <https://doi.org/10.2307/3151312>
- Foster, N., & Piacentini, M. (Eds.) (2023). *Innovating Assessments to Measure and Support Complex Skills*. OECD Publishing, Paris.
<https://doi.org/10.1787/e5130341-en>
- Frensch, P. A. & Funke, J. (1995). Definitions, traditions, and a general framework for understanding complex problem solving. In P. A. Frensch & J. Funke (Eds.), *Complex problem solving: The European perspective* (pp. 3-25). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Funke, J. (2001). Dynamic systems as tools for analysing human judgment. *Thinking & Reasoning*, 7(1), 69-89.
<https://doi.org/10.1080/13546780042000046>
- Funke, J. (2010). Complex problem solving: a case for complex cognition? *Cognitive Processing*, 11(2), 133-142.
<https://doi.org/10.1007/s10339-009-0345-0>
- Funke, J. (2012). Complex problem solving. *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, 38, 682–685.
- Funke, J., Fischer, A., & Holt, D. V. (2018). Competencies for Complexity: Problem Solving in the Twenty-First Century. In E. Care, P. Griffin, M. Wilson (Eds.), *Assessment and Teaching of 21st Century Skills* (pp. 41-53). Springer, Cham.
- Greiff, S., Wüstenberg, S., & Funke, J. (2012). Dynamic problem solving: A new measurement perspective. *Applied Psychological Measurement*, 36 (3), 189-213.

- Greiff, S., & Fischer, A. (2013). Measuring complex problem solving: an educational application of psychological theories. *Journal for Educational Research Online*, 5, 38-58.
- Griffin, P., & Care, E. (2015). The ATC21S method. In E. Care, P. Griffin, M. Wilson (Eds.), *Assessment and Teaching of 21st Century Skills* (pp. 3-33). Springer, Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-9395-7_1
- Hair, J. F. Jr., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data analysis: A Global Perspective*. (7th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson University Press.
- Herde, C. N., Wüstenberg, S., & Greiff, S. (2016). Assessment of complex problem solving: what we know and what we don't know. *Applied Measurement in Education*, 29 (4), 265–277.
<https://doi.org/10.1080/08957347.2016.1209208>
- Hynes, M.M., Portsmore, M., Dare, E.A., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A.R. (2011). Infusing Engineering Design into High School STEM Courses.
- International Engineering Alliance [IEA]. (2021). *Graduate Attributes and Professional Competences*.
<https://www.ieagrements.org/assets/Uploads/IEA-Graduate-Attributes-and-Professional-Competencies-2021.1-Sept-2021.pdf>
- Jansson, A. (1994). Pathologies in dynamic decision making: Consequences or precursors of failure? *Sprache & Kognition*, 13(3), 160–173.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1–48.
https://doi.org/10.1207/s15516709cog1201_1
- Kline, R. B. (2005). *Principles and practice of structural equation modeling* (2nd ed.). New York: Guilford.
- Kluge, A. (2019). Complex problem solving research and its contribution to

- improving work in High Reliability Organisations. *Journal of Dynamic Decision Making*. 5. <https://doi.org/10.11588/jddm.2019.1.69295>
- Kretzschmar, A., & Süß, H. -M. (2015). A study on the training of complex problem solving competence. *Journal of Dynamic Decision Making*. 1, 1-14. <https://doi.org/10.11588/jddm.2015.1.15455>
- Kröner, S., Plass, J. L., & Leutner, D. (2005). *Intelligence assessment with computer simulations Intelligence*, 33(4), 347-368.
- Larmer, J., Mergendoller, J., & Boss, S. (2015). *Setting the standard for project based learning: A proven approach to rigorous classroom instruction*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Martín, P., Potočnik, K., & Frás, A.B. (2017). Determinants of students' innovation in higher education. *Studies in Higher Education*, 42(7), 1229-1243.
- Microsoft Partners in Learning, Pearson Foundation, and Gallup. (2013, May 30). 21st century skills and the workplace. Retrieved from <https://www.gallup.com/services/176699/21st-century-skillsworkplace.aspx>
- National Research Council. (2011). *Assessing 21st Century Skills: Summary of a Workshop*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13215>.
- Novick, L. R., & Bassok, M. (2005). *Problem Solving*. Cambridge University Press.
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric Theory (2nd ed.)*. McGraw-Hill.
- Quesada, J., Kintsch, W., & Gomez, E. (2005). Complex problem-solving: A field in search of a definition? *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(1), 5–33. <https://doi.org/10.1080/14639220512331311553>
- Ramnarayan, S., Strohschneider, S., and Schaub, H. (1997). Trappings of expertise and the pursuit of failure. *Simulat. Gam.* 28, 28–43.

- <https://doi.org/10.1177/1046878197281004>
Ren, Y., Luo, F., Ren, P., Bai, D., Li, X., & Liu, H. (2019). Exploring Multiple Goals Balancing in Complex Problem Solving Based on Log Data [Original Research]. *Frontiers in Psychology, 10*.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01975>
- Schoppek, W., & Fischer, A. (2015). Complex problem solving-single ability or complex phenomenon? *Frontiers in Psychology, 6*.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01669>
- Seel, N. M. (2012). Problems: Definition, Types, and Evidence. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 2690-2693). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_914
- Spering, M., Wagener, D., & Funke, J. (2005). The role of emotions in complex problem- solving. *Cognition & Emotion, 19* (8), 1252–1261.
- Simon, H. A., & Lea, G. (1974). Problem solving and rule induction: A unified view. In L. W. Gregg (Ed.), *Knowledge and cognition*. Lawrence Erlbaum.
- Thomas, J. W. (2000). *A Review of Research on Project-Based Learning*. Autodesk Foundation.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st Century Skills: Learning for Life in Our Times*. John Wiley & Sons.
- Wirth, J., & Leutner, D. (2008). Self-regulated learning as a competence: Implications of theoretical models for assessment methods. *Zeitschrift für Psychologie / Journal of Psychology, 216*(2), 102-110.
- Wüstenberg, S., Greiff, S., & Funke, J. (2012). Complex problem solving – more than reasoning? *Intelligence, 40*(1), 1–14.

附錄





附錄一

高中科技教育複雜問題解決能力之能力指標（專家諮詢問卷）

【問卷背景說明】

親愛的教育先進您好：

本問卷主要目的為了解高中學生在以工程設計流程為主軸的實作學習後，具備何種複雜問題解決的相關能力，特編製「高中科技教育複雜問題解決能力之能力指標」乙份，包含複雜問題解決流程中的六步驟下的能力指標 22 題，及各項能力指標下的表現規準，以五等第表示。

為建構本問卷之專家效度，懇請您惠賜卓見，感謝您的協助。

敬祝

健康平安

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

研究生 陳柔君 敬上

指導老師 林坤誼 教授

2022

臺灣教育部於 2014 年提出五項 21 世紀關鍵核心能力，其中之一為複雜問題解決能力。根據文獻分析與研究，透過情境式的實作專題等課程，藉由解決貼近現實層面的問題，並以專家角度思考解決方法，能培養學生複雜問題解決能力。工程問題中也包含複雜問題，在解決工程問題的同時勢必能獲得複雜問題解決能力。因此，本研究以接受科技教育工程設計流程實作之學生為調查對象，評量學生經學習後獲得的相關能力。

本研究以 Greiff 與 Fischer (2013) 提出的六個複雜問題解決程序為構面，及多篇文獻提及之能力表徵為能力指標，再根據工程設計流程各階段能力表現做對照，提出構面下針對高中工程設計實作的複雜問題解決能力指標共 22 項。六個複雜問題解決程序說明為以下：

- (一) 目標解構：理解問題限制、背景，並找出可能會影響結果的因素等。
- (二) 探索並提出假設：依據問題（背景）限制及條件，獲取所需知識，提出假設的解決方法。
- (三) 動態預測：應用相關知識、技能，檢驗假設的解決方法是否合宜。
- (四) 計畫與決策：根據檢驗結果制定相較成功的解決策略。
- (五) 監控與評估：執行解決策略並同時進行評估。
- (六) 自我反思與調節：反思解決的過程，調整解決策略。

【填答說明】

1. 請您就每一題項之適切性、需求性、及內容涵蓋等面向加以衡量，在「保留」、「修正」、「刪除」空格內打「V」。
2. 若您認為該題項須進行修正，請您於該題下方空格處給予專業的建議。
3. 若標題、題項、說明等有語意不清、文句不順、分類不適或任何建議事項，請您利用追蹤修訂功能、或是以不同顏色的文字在問卷上直接加以訂正或標示您的建議，感謝您的協助。
4. 本研究結果日後將編製成高中生自評量表，若方便的話，希望您也能以學生角度衡量內容之適讀性，提供專業建議，再次感謝您的協助。

【問卷內容】

為方便作答，以科技教育工程設計實作為例，說明各個複雜問題解決能力指標的內涵及。

情境：突然的地震讓連接校舍的天橋受損、斷裂，為重建結構更安全的校舍，請設計並建構出兩棟5層樓建築，並在3樓有天橋相互連接的校舍。若要重建校舍則需要將地震這個因素可能造成的危害及抗震建築的設計考量進去，請根據情境及條件限制，設計規劃解決方案。

指標題項				保留	修正	刪除
1. 目標解構（類似工程設計流程的識別與界定問題步驟）						
1-1 能理解問題的重要性				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能理解問題的重要性，並具備積極主動的解決動機與態度，解決抗震建築實作專題面對的問題。						
修正：						
表現規準	認為不重要	↔	沒有想法	↔	認為很重要	
程度	1	2	3	4	5	
修正：						
1-2 能根據先備知識理解目標問題				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能夠運用已具備的結構及建築知識將問題（情境）進行分析，並判斷出問題（情境）必要的資訊。						
修正：						
表現規準	無法根據問題判斷出任何可能與此相關的資訊	↔	可以根據問題判斷出任何可能與此相關的資訊	↔	可以清楚針對問題提出必要資訊	
程度	1	2	3	4	5	
修正：						

指標題項			保留	修正	刪除
1-3 能找出具有影響的外在與潛在因素，並理解背景限制			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能夠根據問題（情境）的描述思考可能影響建築倒塌、結構斷裂的因素及建構上的限制。					
修正：					
表現規準	無法根據問題找出任何需要考慮的限制與影響因素	↔	可以根據問題找出任何可能需要考慮的限制與影響因素	↔	可以清楚針對問題提出重點限制與影響因素
程度	1	2	3	4	5
修正：					
1-4 能分類各項限制及因素，權衡、歸納問題處理的先後順序			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能將所有建構限制及因素分類，並排出處理的先後順序。					
修正：					
表現規準	無法根據問題的限制與影響因素提出問題解決的先後順序	↔	可以根據問題的限制與影響因素提出大概的問題解決先後順序	↔	可以清楚針對問題的限制與影響因素提出明確的問題解決先後順序
程度	1	2	3	4	5
修正：					
1-5 能訂定具體的解決目標			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能根據問題（情境）訂定解決的目標。					
修正：					
表現規準	無法根據前面步驟提出具體的問題解決目標	↔	可以根據前面步驟提出具體但不確定的問題解決目標	↔	可以根據前面步驟提出具體且明確的問題解決目標
程度	1	2	3	4	5
修正：					

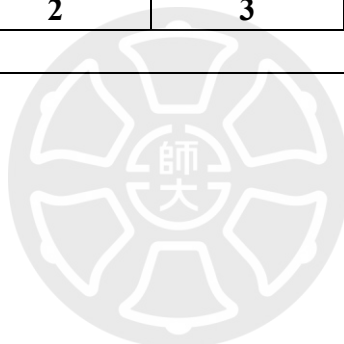
指標題項				保留	修正	刪除
2. 探索並提出假設（類似工程設計流程的研究需求或問題、發展方案步驟）						
2-1 能透過探索目標問題，運用科技蒐集完整相關知識				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能針對問題（情境）蒐集相關的資料，補充不足的結構力學等知識。						
修正：						
表現規準	無法蒐集相關知識	↔	可以蒐集部分相關知識	↔	可以蒐集完整相關知識	
程度	1	2	3	4	5	
修正：						
2-2 能整合解決問題所需的知識				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能整合結構工程的知識，了解各個結構特性與優缺點等，並了解相關地震可能產生的後果。						
修正：						
表現規準	無法將蒐集的相關知識與問題的背景限制及影響因素做整合	↔	可以將蒐集的相關知識與部分問題的背景限制及影響因素做整合	↔	可以將蒐集的相關知識與問題的背景限制及影響因素做明確整合	
程度	1	2	3	4	5	
修正：						
2-3 能根據問題的背景限制、條件等，系統化思考並提出可能的解決方案				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能根據建構的限制與條件，提出可行的結構系統。						
修正：						
表現規準	無法提出可能的解決方案	↔	可以提出可能的解決方案	↔	可以提出明確的解決方案	
程度	1	2	3	4	5	
修正：						

指標題項			保留	修正	刪除
3. 動態預測（類似工程設計流程的預測分析步驟）					
3-1 能系統化思考、預測執行解決方案可能產生的結果			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能先預測每個節點在搖晃下可能產生的受力結果（壓力、拉力等）。					
修正：					
表現規準	無法分析出任何執行解決步驟後可能產生的結果	↔	可以分析出部分執行解決步驟後可能產生的結果	↔	可以分析出完整執行解決步驟後可能產生的結果
程度	1	2	3	4	5
修正：					
3-2 能運用科技檢驗解決方案的可行性			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能運用軟體或設備模擬震度測試，檢驗結構的穩定度。					
修正：					
表現規準	無法運用科技分析、檢驗解決方法	↔	可以運用科技分析、檢驗部分解決方法	↔	可以運用科技分析、檢驗全部解決方法
程度	1	2	3	4	5
修正：					
3-3 能在檢驗解決方案過程中學習新知識			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能觀察到模擬結果的原因，學習關於結構上新的概念。					
修正：					
表現規準	無法在分析、檢驗解決方法的過程中習得重要知識	↔	可以在分析、檢驗解決方法的過程中習得部分重要知識	↔	可以在分析、檢驗解決方法的過程中習得全部重要知識
程度	1	2	3	4	5
修正：					
3-4 能根據檢驗結果重新理解問題以建構可行的解決方案			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能根據模擬的結果重新建構可行的結構。					
修正：					
表現規準	無法根據檢驗結果建構可行的解決方案	↔	可以根據檢驗結果建構可能可行的解決方案	↔	可以根據檢驗結果建構絕對可行的解決方案
程度	1	2	3	4	5
修正：					

指標題項			保留	修正	刪除
4. 計畫與決策 (類似工程設計流程的選擇方案、建構模型步驟)					
4-1 能依據檢驗結果、習得的知識，規劃完整且合適的系統性解決方案			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能根據模擬的結果以及新的結構知識概念，規劃最後完整的解決方法。					
修正：					
表現規準	無法規劃完整且合適的解決方案	↔	可以規劃相較完整且合適的解決方案	↔	可以規劃完整且合適的解決方案
程度	1	2	3	4	5
修改：					
4-2 能應用「知識」決定解決方案與執行			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能將具備的知識整合，運用在建構新的結構模型上。					
修正：					
表現規準	無法運用知識	↔	可以運用部分知識	↔	可以運用全部知識
程度	1	2	3	4	5
修改：					
4-3 能應用「策略」決定解決方案與執行			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能運用結構知識設計正確的執行的方法與工具。					
修正：					
表現規準	無法運用策略	↔	可以運用部分策略	↔	可以運用全部策略
程度	1	2	3	4	5
修改：					
4-4 能應用「操作程序」決定解決方案與執行			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能規劃適切的執行程序。					
修正：					
表現規準	無法規劃操作程序	↔	可以規劃部分操作程序	↔	可以規劃全部操作程序
程度	1	2	3	4	5
修正：					

指標題項			保留	修正	刪除
5. 監控與評估（類似工程設計流程的測試與評估步驟）					
5-1 能控制背景限制、條件及影響因素			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：在建構結構上能控制好會影響到結果的外在因素，如：鋸切誤差或膠合情形等，及問題（情境）背景的限制。					
修正：					
表現規準	無法控制限制條件與影響因素	↔	可以控制部分限制條件與影響因素	↔	可以控制全部限制條件與影響因素
程度	1	2	3	4	5
修正：					
5-2 能解決過程中產生的突發狀況			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能具備好的靈機應變能力，如：將突然產生的斷裂修補好等。					
修正：					
表現規準	無法解決實作中出現的任何突發問題	↔	可以解決實作中出現的部分突發問題	↔	可以解決實作中出現的所有突發問題
程度	1	2	3	4	5
修正：					
5-3 能應用「知識」，以正確的「操作程序」執行解決「策略」			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能運用與問題（情境）相關科技、科學等知識，以正確操作程序執行解決的策略。					
修正：					
表現規準	無法應用知識及正確操作程序執行解決策略	↔	可以稍微應用知識及正確操作程序執行解決策略	↔	可以完整應用知識及正確操作程序執行解決策略
程度	1	2	3	4	5
修正：					
5-4 能在實作中評估解決策略是否合宜			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能在實作過程中，邊做邊思考是否有策略、方法使用不妥當。					
修正：					
表現規準	無法在實作中評估任何解決策略	↔	可以在實作中評估部分解決策略	↔	可以在實作中評估所有解決策略
程度	1	2	3	4	5
修正：					

指標題項			保留	修正	刪除
6. 自我反思與調節（類似工程設計流程的最佳化步驟）					
6-1 能在完成後評估執行的每一個動作			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能在完成後評估與反思每個步驟，思考執行上是否合宜。					
修正：					
表現規準	無法評估任何執行完成的動作	↔	可以評估部分執行完成的動作	↔	可以評估全部執行完成的步驟
程度	1	2	3	4	5
修正：					
6-2 能根據解決過程中獲得的結果調整解決策略			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
說明：能了解自己在每個步驟下執行的行為應產生的結果，若無法達到預期則思考是否回到上一步，或是調整成別的解決策略。					
修正：					
表現規準	無法根據結果調整解決策略	↔	可以根據結果調整部分解決策略	↔	可以根據結果調整完整解決策略
程度	1	2	3	4	5
修正：					



若對整體問卷、指標題項、表現規準或研究內容有其他建議，請將您的寶貴意見填寫於下方框格中。

本專家諮詢問卷到此結束，由衷感謝您撥冗協助，謝謝。



附錄二

高中科技教育複雜問題解決能力之能力指標（專家審查問卷）

【問卷背景說明】本問卷複雜問題解決能力評量指標為分析國內、外文獻中提及的複雜問題解決的能力表徵編製而成。

親愛的教育先進您好：

本問卷主要目的為瞭解高中學生在經歷以工程設計流程為主軸的實作學習後，具備何種複雜問題解決的相關能力，特編製「高中科技教育複雜問題解決能力之能力指標」乙份，包含複雜問題解決流程中的六步驟下的能力指標 12 題，及各項能力指標下的表現規準，並以五等第表示。

為建構本問卷之專家效度，懇請您惠賜卓見，感謝您的協助。

敬祝 教安



國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系
研究生 陳柔君 敬上
chenrod0230@gmail.com
指導老師 林坤誼 教授
2023

臺灣教育部於 2014 年提出五項 21 世紀關鍵核心能力，其中之一為複雜問題解決能力，為培養學生成為 21 世紀人才，具備這些能力相當重要。根據文獻分析與研究，透過情境式的實作專題等課程，藉由解決貼近現實層面的問題，並以專家角度思考解決方法，能培養學生複雜問題解決能力。工程問題中也包含複雜問題，在解決工程問題的同時，是否能獲得複雜問題解決能力也是本研究探討重點之一。本研究以接受科技教育工程設計實作之高中學生為調查對象，評量學生經學習後獲得的相關能力。

本研究以 Greiff 與 Fischer (2013) 提出的六個複雜問題解決步驟作為評量指標的六個構面，並參考多篇文獻提及之複雜問題解決能力表徵為能力指標，對照 Hynes 等 (2011) 及 范斯淳與游光昭 (2016) 提出工程設計流程各階段能力表現，初步針對高中工程設計實作的複雜問題解決能力訂定出 12 項評量指標。本研究中，複雜問題解決能力評量指標的六個構面簡要說明如下：

- (一) 目標解構：理解問題限制、背景，並找出可能會影響結果的因素等。
- (二) 探究並提出假設：依據問題（背景）限制及條件，獲取所需知識，提出假

設的解決方法。

- (三) 動態預測：應用相關知識、技能，檢驗假設的解決方法是否合宜。
- (四) 計畫與決策：根據檢驗結果制定相較成功的解決策略。
- (五) 監控與評估：執行解決策略並同時進行評估。
- (六) 自我反思與調節：反思解決的過程，調整解決策略。

【填答說明】

1. 能力指標為依照文獻內容分析後對照工程設計能力所訂定；說明（學生用）為學生填寫問卷時會看到的敘述。
2. 請您就每一題項之適切性、需求性、及內容涵蓋等面向加以衡量，在「保留」、「修正」、「刪除」空格內打「V」。
3. 若您認為該題項須進行修正，請您不吝提供專業的修正建議。
4. 若構面、能力指標、說明、表現規準等有語意不清、文句不順、分類不適或任何建議事項，請您利用追蹤修訂功能、或是以不同顏色的文字在問卷上直接加以修正或標示您的建議。
5. 本研究結果將用於編製為一高中生自我評量表，是以，希望您能協助以高中生的角度衡量題項內容之適讀性，並提供您專業的建議。

再次感謝您的協助。

【問卷內容】

為方便作答，本份問卷將以高中科技課本常見主題「橋梁」為例，並設定一個情境的「工程設計實作活動」，說明每個複雜問題解決能力指標的內涵。

工程設計實作活動情境：突然的地震讓連接校舍之間的天橋因受損而斷裂，為重建一座結構安全的天橋，請重新設計並建構出連接校舍 3 樓的天橋。若要重建校舍則需要將地震這個因素可能造成的危害及相關抗震結構的設計考量進去，請根據情境及條件限制，設計規劃解決方案。

構面一：目標解構（類似工程設計流程的識別與界定問題步驟）

能力指標	說明（學生用）	表現規準					您的建議		
		1	2	3	4	5	保留	修正	刪除
1-1 能理解問題的重要性	我認為（重建一座結構良好的天橋，讓大家能	我認為解決這個問題不	↔	我認為解決這個問題重	↔	我認為解決這個問題非			

說明：能理解問題（情境）的重要性，以具備積極主動的解決動機與態度。	安全行走）是重要的。	重要		要		常重要			
1-2 能理解背景限制，提出具有影響的外在與潛在因素	我可以從（橋樑倒塌、結構斷裂等）狀況判斷出（此建築）可能面臨的問題及（橋樑建構上）限制。	我無法從情境判斷出可能面臨的問題與（重新建構橋樑）的限制	↔	我可以從情境判斷出至少一項可能面臨的問題與（重新建構橋樑）的限制	↔	我可以從情境判斷出兩項以上可能面臨的問題與（重新建構橋樑）的限制			
說明：能夠根據問題（情境）的描述，提出可能影響問題解決方案的背景限制或因素									
1-3 能訂定具體的解決目標	我可以根據（橋樑倒塌、結構斷裂等）狀況所提出（此建築）可能面臨的問題及（橋樑建構上的）限制，訂定出解決目標。	我無法提出具體的解決目標	↔	我可以提出解決目標，但仍需做調整	↔	我可以提出具體的解決目標			
說明：能根據前面步驟分析問題（情境）的結果，訂定出解決的目標。									
【針對構面一中指標與表現規準的修正或新增建議】									

構面二：探究並提出解決方案（類似工程設計流程的研究需求或問題、發展方案步驟）

能力指標	說明（學生用）	表現規準					您的建議		
		1	2	3	4	5	保留	修正	刪除
2-1 能透過探究目標問題，運用科技蒐集完整相關知識	我能夠運用科技蒐集相關知識（橋樑結構、基本力學等）	我無法運用科技蒐集相關知識（橋樑結構或計算基本力學等）	↔	我可以運用科技蒐集相關知識（橋樑結構或計算基本力學等）	↔	我可以運用科技系統性蒐集多元且最新的相關知識（橋樑結構或計算基本力學等）			
說明：能針對問題（情境）蒐集相關的資料，補充不足的知識。									
2-2 能整合解決問題所需的知識，系統化思考提出可行的解決方案。	我可以將蒐集到的知識（基礎結構力學等），根據（建構橋樑）限制與條件，提出可行的（橋樑結構）解決方案。	我無法透過蒐集到的知識（橋樑結構），提出可行的解決方案	↔	我可以透過蒐集到的知識（橋樑結構），提出至少一個可行的解決方案	↔	我可以透過蒐集到的知識（橋樑結構），提出三個以上可行的解決方案			
說明：能整合知識，根據問題（情境）的限制與條件，提出可能的解決方案。									
【針對構面二中指標與表現規準的修正或新增建議】									

構面三：動態預測（類似工程設計流程的預測分析步驟）

能力指標	說明（學生用）	表現規準					您的建議		
		1	2	3	4	5	保留	修正	刪除
<p>3-1 能系統化思考、預測執行解決方案時可能產生的結果，或運用科技檢驗解決方案的可行性</p> <p>說明：分析每個解決方案的步驟在執行時會產生的結果，運用科技模擬解決方案。</p>	<p>我可以預測（橋樑各節點在搖晃下可能產生的受力結果：壓力、拉力等），運用科技模擬（震度測試），檢驗（橋樑結構）的穩定度。</p>	<p>我無法預測（橋樑各節點的受力）結果，也不知道如何運用科技檢驗解決方法</p>	↔	<p>我可以預測至少一個（橋樑各節點的受力）結果，或是可以運用科技檢驗解決方法</p>	↔	<p>我可以預測三個以上（橋樑各節點的受力）結果，也可以運用科技檢驗解決方法</p>			
<p>3-2 能根據預測或科技檢驗的結果，重新理解問題以建構可行的解決方案</p> <p>說明：根據預測結果及科技模擬結果，重新建構可行的解決方案。</p>	<p>我可以根據預測及科技模擬（橋樑結構）的結果，重新建構可行的解決方案。</p>	<p>我無法根據預測或科技模擬（橋樑結構）的結果，重新建構可行的解決方案</p>	↔	<p>我可以根據預測或科技模擬（橋樑結構）的結果，重新建構可行的解決方案</p>	↔	<p>我可以根據預測及科技模擬（橋樑結構）的結果，重新建構可行的解決方案</p>			
<p>【針對構面三中指標與表現規準的修正或新增建議】</p>									

構面四：計畫與決策（類似工程設計流程的選擇方案、建構模型步驟）

能力指標	說明（學生用）	表現規準					您的建議		
		1	2	3	4	5	保留	修正	刪除
4-1 能應用「知識」決定解決方案與執行	我可以將（基礎結構力學等）知識應用在建構（橋樑結構）模型上。	我無法應用（基礎結構力學）知識建構（橋樑結構）模型	↔	我可以至少應用兩個（基礎結構力學）知識建構（橋樑結構）模型	↔	我可以應用三個以上（基礎結構力學）知識建構（橋樑結構）模型			
說明：能應用與問題（情境）相關科技、科學等知識。									
4-2 能應用「操作程序」決定解決方案並執行	我可以應用事先規劃好的操作程序，製作（橋樑結構）模型	我無法應用事先規劃好的操作程序製作（橋樑結構）模型	↔	我可以應用事先規劃好的操作程序製作（橋樑結構）模型，但仍需反覆調整	↔	我可以應用事先規劃好的操作程序製作（橋樑結構）模型			
說明：能以正確操作程序執行解決的策略。									
【針對構面四中指標與表現規準的修正或新增建議】									


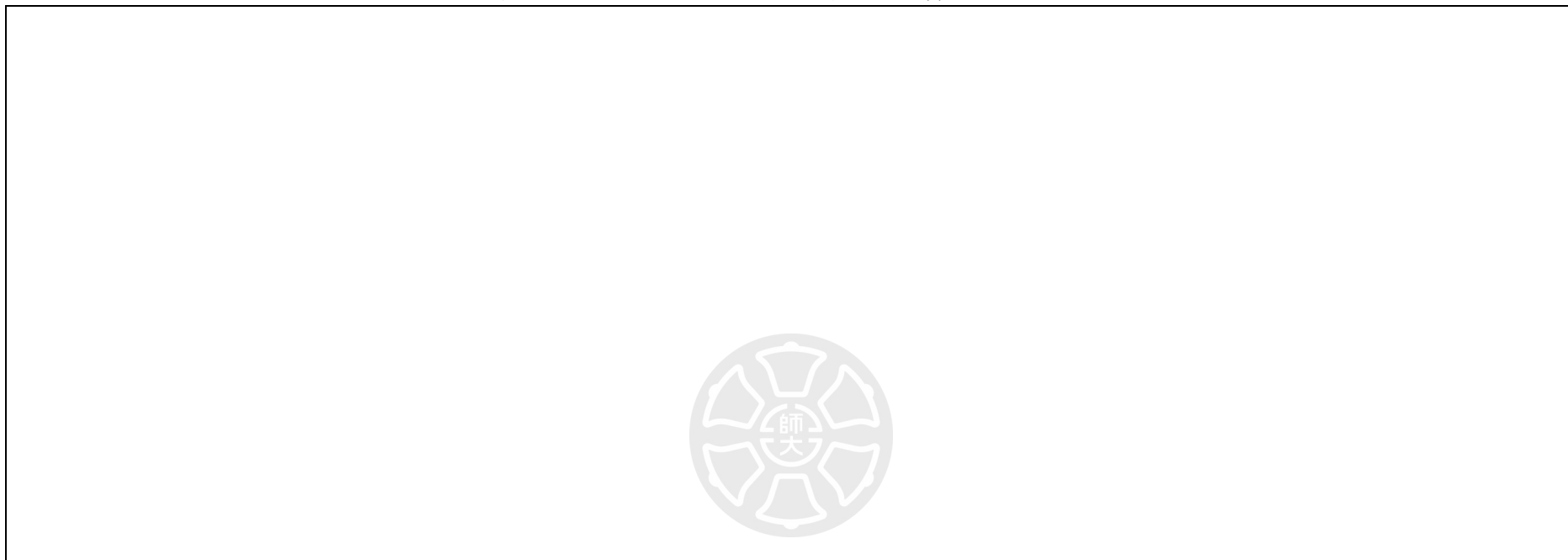
構面五：監控與評估（類似工程設計流程的測試與評估步驟）

能力指標	說明（學生用）	表現規準					您的建議		
		1	2	3	4	5	保留	修正	刪除
5-1 能控制問題（情境）背景限制、條件及影響因素	我可以在建構（橋樑結構）模型時，控制好會影響到結果的因素。（如：鋸切誤差或木頭膠合情形等。）	我無法控制在建構（橋樑結構）模型時要注意的地方（如：鋸切誤差、符合事先規劃）。	↔	我可以控制在至少一項在建構（橋樑結構）模型時要注意的地方（如：鋸切誤差、符合事先規劃）。	↔	我可以控制在三項以上在建構（橋樑結構）模型時要注意的地方（如：鋸切誤差、符合事先規劃）。			
說明：建構模型時能考量到背景限制與影響因素。									
5-2 能在實作中評估解決策略是否合宜，並能解決製作過程中的突發問題	我可以在建構（橋樑結構）模型時，邊做邊思考是否有策略、方法需要調整，也可以解決建構（橋樑結構）模型時遇到的問題，如：將（橋樑結構）突然產生的（斷裂）修補好等。	我無法在建構（橋樑結構）模型時，思考是否有需要調整的地方，或解決實作中突發問題	↔	我可以在建構（橋樑結構）模型時，思考是否有需要調整的地方，或解決實作中突發問題	↔	我可以在建構（橋樑結構）模型時，思考是否有需要調整的地方，並能解決所有實作中突發問題			
說明：能在實作過程中，邊做邊思考，並解決突發問題。									
【針對構面五中指標與表現規準的修正或新增建議】									

構面六：自我反思與調整（類似工程設計流程的最佳化步驟）

能力指標	說明（學生用）	表現規準					您的建議		
		1	2	3	4	5	保留	修正	刪除
6-1 能在實作完成後， 反思解決步驟中執行的 每一個動作	我可以在完成實作 （橋樑模型）後，反 思每個執行過的步 驟。	我無法反思 任何執行完 成的步驟	↔	我可以反思 至少三個執 行完成的步 驟	↔	我可以反思 每個執行完 成的步驟			
說明：能在實作完成後 反思每個步驟，思考執 行上是否合宜。									
【針對構面六中指標與表現規準的修正或新增建議】									

若對整體問卷、指標構面與題項、表現規準或研究內容有其他建議，請將您的寶貴意見填寫於下方框格中。



本專家諮詢問卷到此結束，由衷感謝您撥冗協助，謝謝。

附錄三

高中科技教育複雜問題解決能力之量表（正式問卷）

親愛的同學你好：

這份問卷主要目的是瞭解高中生在工程設計實作學習下，是否能培養複雜問題解決的相關能力。

本問卷採無記名的方式作答，所蒐集資料僅供學術研究之用，絕不對外公開，請依照你個人感受與想法安心作答。你的寶貴意見對本研究相當重要，請你耐心作答。

由衷感謝你的協助！

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

研究生 陳柔君 敬上

chenrod0230@gmail.com

指導老師 林坤誼 教授

2023

【基本資料】

1. 性別：男 女
2. 年級：高一 高二 高三

【填答說明】

1. 請依照問題情境並根據課堂情形圈選出最符合你自身狀況的選項，共有六大部分。
2. 問題情境可能與課堂使用情境不同，請根據你在實際課堂中是否有做到此量表各題項的標準作答即可。
3. 各選項沒有對錯之分，也不會影響到課堂分數，請依照你真實情況來作答。

【問卷內容】

為方便作答，本份問卷將以高中科技課本常見主題「橋梁」為例，並設定一個「工程設計實作活動」的情境，說明每個複雜問題解決能力指標的內涵。

工程設計實作活動情境：突然的地震讓連接校舍之間的天橋因受損而斷裂，為重建一座結構安全的天橋，請重新設計並建構出連接校舍3樓的天橋。若要重建校舍則需要將地震這個因素可能造成的危害及相關抗震結構的設計考量進去，請根據情境及條件限制，設計規劃解決方案。

【第一部分】

說明	表現規準				
	1	2	3	4	5
2. 我可以從（橋樑倒塌、結構斷裂等）狀況推論出（此建築）在（橋樑建構上）可能面臨的問題或限制。	我無法從情境推論出可能面臨的問題與（重新建構橋樑）的限制	我可以從情境推論出至少一個可能面臨的問題與（重新建構橋樑）的限制	我可以從情境推論出至少兩個可能面臨的問題與（重新建構橋樑）的限制	我可以從情境推論出三個以上可能面臨的問題與（重新建構橋樑）的限制	我可以從情境推論出四個以上可能面臨的問題與（重新建構橋樑）的限制
3. 我可以根據（此建築）可能面臨的問題及（橋樑建構上的）限制，訂定出解決目標。	我無法提出具體的解決目標	我可以根據至少一個可能面臨的問題，提出解決目標	我可以根據至少兩個可能面臨的問題，提出解決目標	我可以根據至少三個可能面臨的問題，提出具體解決目標	我可以根據四個以上可能面臨的問題，提出完整的具體解決目標

【第二部分】

說明	表現規準				
	1	2	3	4	5
4. 我能夠蒐集與問題相關知識（橋樑結構、基本力學等）。	我無法蒐集與問題相關知識（橋樑結構或計算基本力學等）	我可以藉由詢問他人蒐集與問題相關知識（橋樑結構或計算基本力學等）	我可以藉由學校教材蒐集相關知識（橋樑結構或計算基本力學等）	我可以自行透過不同方法蒐集與問題相關知識（橋樑結構、基本力學等）	我可以系統性蒐集多元且最新的相關知識（橋樑結構或計算基本力學等）
5. 我可以將蒐集到的知識（基礎結構力學等），根據（建構橋樑）限制與條件，提出可行的（橋樑結構或形式）解決方案。	我無法透過蒐集到的知識（橋樑結構或形式），提出可行的解決方案	我可以透過蒐集到的知識（橋樑結構或形式），提出至少一個可行的解決方案	我可以透過蒐集到的知識（橋樑結構或形式），提出至少兩個可行的解決方案	我可以透過蒐集到的知識（橋樑結構或形式），提出至少三個可行的解決方案	我可以透過蒐集到的知識（橋樑結構或形式），提出四個以上可行的解決方案

【第三部分】

說明	表現規準				
	1	2	3	4	5
6. 我可以預測（橋樑各節點在搖晃下可能產生的受力結果：壓力、拉力等）。	我無法預測（橋樑各節點的受力）結果	我可以預測至少一個（橋樑各節點的受力）結果	我可以預測至少兩個（橋樑各節點的受力）結果	我可以預測至少三個（橋樑各節點的受力）結果	我可以預測四個以上（橋樑各節點的受力）結果
7. 我可以運用科技模擬（震度測試），檢驗（橋樑結構）的穩定度。	我不知道如何運用科技檢驗解決方法	我可以運用科技檢驗至少一個解決方法	我可以運用科技檢驗至少兩個解決方法	我可以運用科技檢驗至少三個解決方法	我可以運用科技檢驗四個以上解決方法

8. 我可以根據科技模擬（橋樑結構）的結果，找出需修改的部分或重新建構可行的解決方案。	我無法根據科技模擬（橋樑結構）的結果，判斷目前的解決方案是否可行	我可以根據科技模擬（橋樑結構）的結果，判斷目前的解決方案是否可行	我可以根據科技模擬（橋樑結構）的結果，找出目前的解決方案哪裡需要修改	我可以根據科技模擬（橋樑結構）的結果，修改目前解決方案的部分問題	我可以根據科技模擬（橋樑結構）的結果，修改或重新建構可行的解決方案
---	----------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------

【第四部分】

說明	表現規準				
	1	2	3	4	5
9. 我可以將（基礎結構力學等）知識應用在設計與建構（橋樑結構）模型上。	我無法應用（基礎結構力學）知識設計與建構（橋樑結構）模型	我可以應用至少一個（基礎結構力學）知識設計與建構（橋樑結構）模型	我可以應用至少兩個（基礎結構力學）知識設計與建構（橋樑結構）模型	我可以應用至少三個（基礎結構力學）知識設計與建構（橋樑結構）模型	我可以應用四個以上（基礎結構力學）知識設計與建構（橋樑結構）模型
10. 我可以將解決方案規劃系統性的操作程序以製作（橋樑結構）模型。（如：繪製設計圖、材料加工的順序、模型組裝順序等）	我無法規劃解決方案的操作程序以製作（橋樑結構）模型	我可以將解決方案規劃出至少三個正確操作程序以製作（橋樑結構）模型	我可以將解決方案規劃出至少四個正確操作程序以製作（橋樑結構）模型	我可以將解決方案規劃出五個以上正確操作程序以製作（橋樑結構）模型	我可以將解決方案規劃出六個以上正確操作程序以製作（橋樑結構）模型

【第五部分】

說明	表現規準				
	1	2	3	4	5
11. 我可以在建構（橋樑結構）模型時，控制好會影響到結果的因素。（如：鋸切誤差或木頭膠合情形等。）	我無法控制在建構（橋樑結構）模型時要注意的地方（如：鋸切誤差、符合事先規劃）	我可以控制至少一項在建構（橋樑結構）模型時要注意的地方（如：鋸切誤差、符合事先規劃）	我可以控制至少兩項在建構（橋樑結構）模型時要注意的地方（如：鋸切誤差、符合事先規劃）	我可以控制至少三項在建構（橋樑結構）模型時要注意的地方（如：鋸切誤差、符合事先規劃）	我可以控制四項以上在建構（橋樑結構）模型時要注意的地方（如：鋸切誤差、符合事先規劃）
12. 我可以在建構（橋樑結構）模型時，邊做邊思考是否有策略、方法需要調整。	我無法在建構（橋樑結構）模型時，思考是否有需要調整的地方	我可以在建構（橋樑結構）模型遇到狀況時，思考需要調整的地方	我可以在建構（橋樑結構）模型遇到狀況時，立即調整	我可以在建構（橋樑結構）模型遇到狀況前，思考出是否有需要調整的地方	我可以在建構（橋樑結構）模型遇到狀況前，思考出是否有需要調整的地方並立即修正
13. 我可以解決建構（橋樑結構）模型時遇到的問題，如：將（橋樑結構）突然產生的（斷裂）修補好等。	我無法解決實作中突發問題	我可以解決至少兩個實作中突發問題	我可以解決至少三個實作中突發問題	我可以解決至少四個實作中突發問題	我可以解決所有實作中突發問題

【第六部分】

說明	表現規準				
	1	2	3	4	5
14. 我可以在完成實作（橋樑模型）後，反思每個執行過的步驟。	我無法反思任何執行完成的步驟	我可以反思至少兩個執行完成的步驟	我可以反思至少三個執行完成的步驟	我可以反思至少四個執行完成的步驟	我可以反思五個以上執行完成的步驟

結束！請再確認是否每個題目都有作答，再次謝謝你的合作！祝你學業順利！



