

## 理化教師學科教學知識的探討－以酸鹼中和為例

\* 黃平屯 \*\* 郭重吉 \*\*\* 張惠博

### 摘要

本研究旨在探查兩位理化教師酸鹼中和主題教學的學科教學知識（Pedagogical Content Knowledge, PCK）面向內涵和關係。蒐集資料主要有：晤談與教學討論的錄音、教學設計稿、教學錄影。依紮根理論分 6 個步驟分析，包括：形成概念、精緻概念、編碼資料和概念、分類概念、統整展現各面向的教學要素、確認 PCK 各面向關係。研究發現如下：（1）教師展現 PCK 的主要面向和文獻相符，包括：教學取向、關於學生理解科學的知識、科學課程知識、教學表徵和策略知識與評量知識。所展現 PCK 的教學要素呈現相似與相異內涵，相異內涵是基於「教師如何教」、「學生學什麼和如何學」觀點。（2）教師展現 PCK 面向的關聯呈現階層性單向影響，教學取向為上階層，關於學生理解科學的知識和課程知識居中，教學策略和表徵知識與評量知識為下階層且相互影響。（3）教師展現 PCK 面向的關聯透過相關教學要素連結，其中「科學教學本質」、「教師角色」、「學習策略」和「學習疑難」是關鍵。（4）教師展現 PCK 品質倚賴於各個面向的統整程度。

**關鍵詞：**理化教師、學科教學知識、酸鹼中和

---

\* 黃平屯，臺中市向上國中教師（本文通訊作者）

\*\* 郭重吉，國立彰化師範大學榮譽教授

\*\*\* 張惠博，高雄市立空中大學校長

電子信箱：hptun1@gmail.com

來稿日期：2014 年 8 月 18 日；修稿日期：2015 年 7 月 15 日；採用日期：2015 年 8 月 11 日

# **A Study on the Pedagogical Content Knowledge of Two Physical Science Teachers: Using the Acid-base Neutralization as an Example**

\*Ping-Tun Huang \*\*Chorng-Jee Guo \*\*\*Huey-Por Chang

## **Abstract**

This study aimed to explore the contents of two teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) as it unfolded in teaching practice and to build up portrayals of their PCK on the teaching of a unit on acid-base neutralization. Interrelationships among contents in these dimensions were also investigated. Using qualitative methodology for data collection, a range of data were collected from transcripts of stimulated interviews and audio recordings of meetings, drafts of teaching plans, and transcripts of classroom videos. Analysis of data went through a series of steps, starting from analysis of collected data, to formation of concepts, categories, instructional elements, and finally to the formulation of research claims. The findings of this study are summarized as follows: (1) The main dimensions of the teachers' enacted PCK are consistent with literature including teaching orientations, students' understanding of scientific knowledge, curriculum, instructional representations and strategies, and assessment. There are similar and different characteristics between the instructional elements of case teachers' PCK along different dimensions. The different characteristics are based on teacher's knowledge about "how should teachers teach," "how should students learn" and "what should students learn". (2) There is a hierarchical and causal relationship between the various dimensions of PCK. Instructional orientation is located in the upper level. Knowledge of students' understanding of scientific and knowledge of curriculum are located in the intermediate level. The instructional representations and strategies and assessment are located in the low level, bearing mutual influence with each other. (3) The pattern of a case teachers' enacted PCK is an integrated result of the interrelationships among the instructional elements belonging to the various knowledge dimensions. Within the case teachers' PCK, there were four instructional elements including "nature of science teaching," "role of teacher," "learning strategies" and "students' learning predicaments" which were found to have strong impacts on teachers' PCK. Therefore the above four instructional elements are the keys to teachers' instructional decisions. (4) The quality of PCK depends on the degree of integration of the interrelationships among the various dimensions of PCK.

*Keywords:* physical science teacher, pedagogical content knowledge, acid-base neutralization

itepd

---

\*Ping-Tun Huang Teacher, Taichun Municipal Hsiang Shang Junior High School(Corresponding author)

\*\*Chorng-Jee Guo Emeritus Professor, National Changhua University of Education

\*\*\*Huey-Por Chang Principal, Open University of Kaohsiung

E-mail: hptun1@gmail.com

Manuscript received: August 18, 2014; Modified: July 15, 2015; Accepted: August 11, 2015

## 壹、前言

有關教師教學專業知能的議題，常回溯至 Shulman (1986, 1987) 的教師知識研究，Shulman 爲了澄清學科專家和教師的知識本質差異，引進學科教學知識的概念 (Pedagogical Content Knowledge, 簡稱 PCK)。PCK 整合內容和教學的知識成爲教學理解，是教師在教學、表徵和調適學生的多樣性時，如何組織特定主題、問題、議題的專業知能 (Shulman, 1987)。學科教學知識 (Carlsen, 1999; Shulman, 1987) 或名 subject-matter pedagogical knowledge (Grossman, 1990; Shulman, 1986)，國內外學界並無統一用法；甚至這兩種術語出現於同一篇文章 (Magnusson, Krajcik, & Borko, 1999, p.95, p.115)。本研究基於國內學界習慣翻譯 PCK 爲「學科教學知識」，故以此稱之。

學界對 PCK 組成的稱呼並不一致，通常稱爲「組成」(components) (Lee & Luft, 2008; Magnusson et al., 1999; Park & Oliver, 2008) 或「方面」(aspects) (Schneider & Plasman, 2011)；本文以「面向」(dimensions) 稱之，強調 PCK 在教學展現的不同面貌。文獻對 PCK 面向數量的主張並不一致，常見的面向包括：教學取向、關於學生對科學理解的知識、科學課程知識、教學策略和教學表徵知識、評量知識。另外，上述各面向在教學時所具體展現的內涵，通常稱爲「類別」(categories) (Park & Oliver; Schneider & Plasman) 或「要素」(elements) (Lee & Luft)；本研究稱爲「教學要素」(instructional elements)。例如「教學取向」面向有「科學教學的目標和目的」、「科學教學的本質」等教學要素。

近數十年來，關於科學教師 PCK 內涵的研究廣受科教學者重視，然而，有些學者也指出 PCK 研究的不足。其一不足是少關注探索實務教師在特定主題的教學實例，致使研究結果甚少成爲教學實務的核心層面以引導教師有目的性精煉教學技藝 (Loughran, Berry, & Mulhall, 2006)；只有少數研究探索科學教師的特定主題 PCK 內涵 (Loughran, Berry, & Mulhall; van Driel, Verloop, & de Vos, 1998)。另一不足是很少完整的探索 PCK 面向之間的統整 (Park & Chen, 2012)；一些研究僅探索特定面向如何影響其他面向 (Cohen & Yarden, 2009; Duffee & Aikenhead, 1992; Friedrichsen & Dana, 2005; Magnusson et al., 1999) 以及影響 PCK 展現與教學實務 (Hashweh, 1985; van Driel, Verloop, & de Vos; Wallace & Kang, 2004)。只有少數研究探索所有 PCK 面向的統整關係 (Lee & Luft, Park & Chen; Park & Oliver, 2008)，但是這些研究呈現面向之間影響方向和關聯性的主張存有差異。

綜合上述，科教研究甚少完整探索 PCK 面向之間的影響關係與提供主題 PCK 教學實例，探索 PCK 面向關係的研究結果也存有面向之間影響方向和關聯性的主張差異。職是，本研究將以兩位理化教師在酸鹼中和主題的教學來探討 PCK 面向內涵，並從中探索面向之間的關係。具體而言，本研究探討的問題如下：

- 一、兩位個案教師 PCK 展現的面向和內涵爲何？
- 二、兩位個案教師 PCK 展現的面向彼此之間的關係爲何？

## 貳、文獻探討

針對研究問題，文獻探討的重點如下：一是科學教師 PCK 在教學實務的表現，二是關於科學教師 PCK 面向的研究。

### 一、科學教師 PCK 在教學實務的表現

Shulman (1986) 先提出 PCK 有 2 個面向：教學策略和表徵、學生理解科學的知識；之後，學者陸續增列。Tamir (1988)、Grossman (1990) 先後增修而概括出 5 個面向，分別是：教學目的、學生理解、課程教學策略和表徵、評量。Marks (1990) 之後的一些學者逐漸將 PCK 面向擴增學科知識的教材、情境、教學、科學、資源等面向；另外，Park 與 Oliver (2008) 宣稱教師效能也屬 PCK 的面向。其中，最常被認同的 PCK 面向有 5 個，即是教學取向、關於學生理解科學的知識、科學課程知識、科學教學表徵和策略知識、評量知識。本文整理一些學者提出的 PCK 面向，如表 1。

教學取向是教師對教學、學習、學習者的通則性觀點 (Magnusson et al., 1999; Park & Oliver, 2008)。常見的內涵有：教學目的和目標 (Grossman, 1990; Magnusson et al.; Park & Oliver; Schneider & Plasman, 2011)、教學信念 (Friedrichsen & Dana, 2005)、理想的教學圖像 (Koballa, Glynn, Upson, & Coleman, 2005)、教師角色 (Cronin-Jones, 1991)、科學的教和學之本質 (Schneider & Plasman)。

教師擁有豐富的關於學生理解科學的知識，才能有效運用 PCK (Park & Oliver, 2008)。常見的內涵有：學生的學習動機、興趣或需求 (Lee & Luft, 2008; Magnusson et al.; 1999; Park & Oliver)、潛在性學習

困難 (Cohen & Yarden, 2009; Lee & Luft; Magnusson et al.; Park & Oliver; Wallace & Kang, 2004)、先備知識和迷思概念 (Lee & Luft; Magnusson et al.; Park & Oliver; Schneider & Plasman, 2011)、學生能力 (Lee & Luft; Wallace & Kang)。

課程知識是指特定主題或單元的教學實務中展現的課程知識，並非是指知識基礎的課程知識 (Shulman, 1986; 1987)；當然，這些特定主題或單元教學實務中展現的課程知識是教師知識基礎課程知識的一部分。常見的內涵有：教材知識 (Grossman, 1990; Lee & Luft, 2008; Magnusson et al., 1999; Park & Oliver, 2008)、和主題有關的縱向和橫向課程的知識 (Grossman; Park & Oliver; Schneider & Plasman, 2011)、核心課程知識 (Grossman; Park & Oliver)、課程的長、短期目標 (Magnusson et al.; Park & Oliver)、課程計畫知識 (Lee & Luft; Magnusson et al.)、對科學有用的課程資源 (Lee & Luft; Schneider & Plasman)、使用標準來指引計畫和教科學 (Schneider & Plasman)。

主題特定的教學策略和表徵是教師以學生最容易理解的方式呈現教學內容的知識 (Shulman, 1986)。亦即，使用不同的教學方法、提升動機的活動與有效率的活動 (Lee & Luft, 2008)，運用表徵 (如模型、圖解、類比、隱喻、電腦動畫、圖表、實例) 和示範與活動 (如實驗、疑難、事例)，來協助學生的學習 (Magnusson et al., 1999; Park & Oliver, 2008)。

形成性評量是教師和學生用來認清和反映其學習的過程，以增助學習 (Bell & Cowie, 2001)。常見的內涵有：評量方式 (Hashweh, 2005; Schneider & Plasman, 2011)、評量內容

(Magnusson et al., 1999; Tamir, 1988)、評  
量策略和時機 (Hashweh)、評量結果的解釋  
(Schneider & Plasman)。

表 1  
一些學者提出科學教師 PCK 面向的比較

學者	PCK												
	教學 取向	關於學 生理解 科學	科學 課程	教學策 略和表 徵	媒體	評量	學科 教材	教學 情境	教學法	教師 效能	科學	課程 組織	資源
Shulman (1987)		PCK		PCK									
Tamir (1988)		PCK	PCK	PCK		PCK							
Grossman (1990)	PCK	PCK	PCK	PCK									
Marks (1990)		PCK		PCK	PCK		PCK						
Smith & Neale (1989)	PCK	PCK		PCK									
Cochran et al. (1993)		PCK					PCK	PCK	PCK				
Geddis, Onslow, Beynon, & Oesch (1993)		PCK	PCK	PCK									
Fernandez-Balboa & Stiehl (1995)	PCK	PCK		PCK			PCK	PCK					
Magnusson et al. (1999)	PCK	PCK	PCK	PCK		PCK							
Hasweh (2005)	PCK	PCK	PCK	PCK		PCK	PCK	PCK	PCK				
Loughran et al. (2006)	PCK	PCK		PCK			PCK	PCK	PCK				
Park & Oliver (2008)	PCK	PCK	PCK	PCK		PCK				PCK			
Lee & Luft (2008)	PCK	PCK				PCK			PCK		PCK	PCK	PCK
Schneider & Plasman (2011)	PCK	PCK	PCK	PCK		PCK							
次數比例	9/14	14/14	7/14	12/14	1/14	6/14	5/14	4/14	4/14	1/14	1/14	1/14	1/14

資料來源：修改自 "Revisiting the conceptualization of pedagogical content knowledge (PCK):  
Pedagogical content knowledge as a conceptual tool to understand teachers as professionals,"  
by S. Park, & S. J. Oliver, 2008, *Research in Science Education*, 38(3), p.279.



## 二、關於科學教師 PCK 面向的研究

近數十年來，關於科學教師 PCK 內涵的研究廣受科教學者重視，然而，有些學者也指出 PCK 研究的不足。其一不足是少關注探索實務教師在特定主題的教學實例，致使研究結果甚少成為教學實務的核心層面以引導教師有目的性精煉教學技藝（Loughran, Berry, & Mulhall, 2006）。關於科學教師 PCK 的 3 種層次：學科特定，領域特定，主題特定（Veal & MaKinster, 1999）；只有少數研究探索科學教師的特定主題 PCK 內涵（Loughran, Berry, & Mulhall; van Driel, Verloop, & de Vos, 1998）。以酸鹼中和主題為例，關於 PCK 的實徵性研究數量少，且多分佈在教學表徵（Drechsler & Van Driel, 2008; Furió-Más, Calatayud, Guisasaola, & Furió-Gómez, 2005）、教學策略（Demircioglu, Ayas, & Demircioglu, 2005）、教材知識（Boz, 2009）；顯現科教学研究關於此主題 PCK 教學實例的不足。

另一不足是很少關切 PCK 面向的統整。Magnusson 等人（1999）認為研究 PCK 面向的內涵是必要的，但是理解其面向如何互動和影響教學也是同樣重要。雖然學者強調 PCK 面向關聯和如何影響實務的重要性，很少研究能完整探索所有 PCK 面向的影響關係（Park & Chen, 2012）。

關於 PCK 面向統整的研究可略分成 3 類。第 1 類探索特定面向如何影響其他面向。Magnusson 等人（1999）提出 5 個面向呈現 PCK 的模式，卻只強調教學取向和其他組成的相互作用，忽略其他 4 個面向之間的影響。Friedrichsen 與 Dana（2005）檢視 4 位資深中學生物教師的科學教學本質和來源，發現教師持有教學信念、學習信念、

學習者信念影響教師如何教和如何因應特殊情境。Cohen 與 Yarden（2009）發現教師缺乏細胞主題的課程知識時，限制其教學策略的運用。Geddis、Onslow、Beynon 與 Oesch（1993）提出“核心課程”來解釋資深教師如何決定重要概念來教。Clermont、Borko 與 Krajcik（1994）發現經驗教師探討更多的另類化學示範，且提供更多細節，呈現更多變化；生手教師常探討不適宜的示範。

第 2 類探索特定面向和 PCK 構念、實務之間的關係。Hashweh（1985）比較資深教師教專精學科的主題與不熟悉學科的主題時的教學差異，主張學習者知識和科學知識影響教學知識。van Driel、Verloop 與 de Vos（1998）指出關於學生理解科學的知識能協助 PCK 發展，如特定領域中的先備概念、推理方式、學習困難。Wallace 與 Kang（2004）發現教師所持有學生在學習內容的侷限性、成熟度、學習困難的信念，會影響其探究教學實務。張世忠、蔡孟芳與陳鶴元（2012）以問卷調查臺灣國中科學教師的 PCK，並檢驗科學教學導向和 PCK 組成的關聯；發現講述式教師的教學策略知識和科學教學導向之間有顯著的負相關，且評量知識和活動導向式教學有顯著相關。

第 3 類完整探索面向之間如何相互影響的關係。Park 與 Oliver（2008）探查 3 位資深科學教師在 3 個教學單元中展現 PCK 面向，發現教師 PCK 展現 6 個面向，且相互影響，如圖 1。這模式雖然以 PCK 面向之間相互影響來描述面向關係，卻呈現出直接和間接的影響關係；以科學課程知識為例，此模式僅能呈現其和教科學的取向與關於學生理解科學的知識的直接影響，和其他面向的關係則呈現間接的影響。

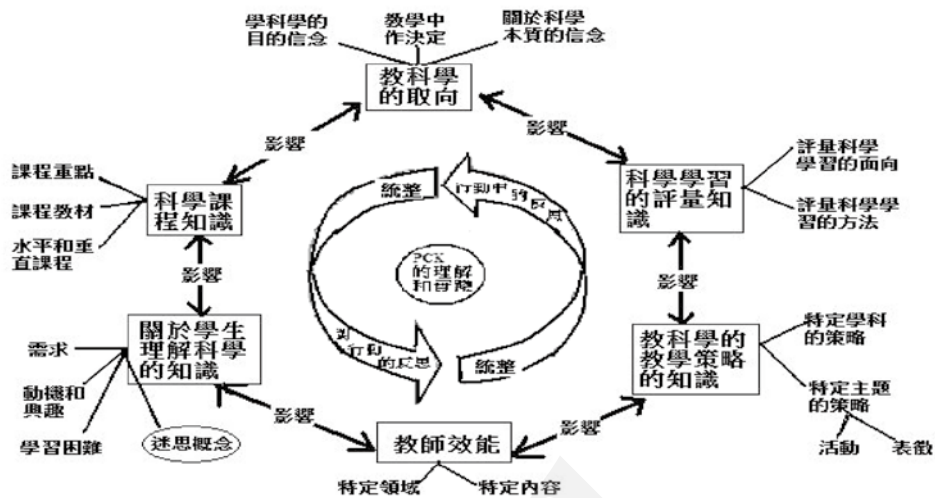


圖 1 Park 與 Oliver (2008) 的學科 PCK 展現面向的關係

翻譯自 "Revisiting the conceptualization of pedagogical content knowledge (PCK): Pedagogical content knowledge as a conceptual tool to understand teachers as professionals," by S. Park, & S. J. Oliver, 2008, *Research in Science Education*, 38(3), p.279.

Lee 與 Luft (2008) 運用紮根理論探索 4 位科學教師的 PCK 內涵和關係，其結果暗示個案教師 PCK 面向具有階層性，且各面向之間兼具雙向和單向的影響。Park 與 Chen (2012) 探索 4 位生物教師在特定主題教學時的 PCK 面向關係，他們基於 Park 與 Oliver (2008) 提出面向之間相互影響的觀點，探討 PCK 面向連結疏密與強度；結果顯示教學取向指導教學策略和表徵，且抑制教學策略和表徵與其他面向的連結；此暗示 PCK 面向之間具單向影響的關係。

綜合上述，科教研究甚少完整探索 PCK 面向之間的關係與主題 PCK 教學實例，在一些完整探索 PCK 面向關係的研究結果中，也存有面向之間影響方向和關聯性的主張差異。職是，本研究旨在探索特定主題教學 PCK 的內涵以提供教學實務的實例，並從中探索 PCK 面向的統整關係；如此，理解 PCK 所有面向相互影響的過程，

將更能洞察 PCK 發展的本質，也將有助於設計師資教育學程的架構和科目以支持教師 PCK 發展 (Park & Chen, 2012)。

## 參、研究方法

### 一、研究設計

研究場域是臺中市某一所國中的專業討論活動，研究者經營熱絡的對話氛圍，讓教師充分表達想法，並錄影教學；且得以個案研究法探索教師 PCK 面向內涵和關係。

有 3 位教師參與活動，其中 2 位是個案教師，以甲、乙替代姓名；R 是研究者，基本資料如表 2。甲師個性幽默，很受學生歡迎。乙師個性開朗，樂於助人，是學區「名師」。研究者是科學教師，屢次指導學生科展且獲獎，長期參與多項國科會的科教研究；在本研究中兼具完全觀察者和



表 2  
參與研究的教師基本資料

教師	性別	教學年資	學歷	授課	職稱	年齡
甲	男	1	物理研究所進修	理化、地科	專任教師	27
乙	女	20	大學物理系	理化、地科	專任教師	43
R	男	21	科學教育研究所	理化、地科	導師	44

表 3  
討論活動的日期、內容

日期	內容
3/23	酸鹼中和的實驗問題
3/30	酸鹼中和的教學計畫
5/25	段考結果的討論

參與者即觀察者（黃瑞琴，1991），參加討論時是參與者，分析教學錄影時是完全觀察者。另外有 2 個觀察班，甲師的 A 班較不重視成績，喜歡和教師互動；乙師的 B 班很重視成績，秩序良好。

專業討論活動從 2010 年 10 月到 2011 年 6 月，時間定上課日時兩週一次的週五上午第一、二節，討論內容包括八年級整學年理化教材的教學疑難、實驗設計與科學知識；如此，研究者可經由長期和個案教師互動過程，以深入理解其教學知識。關於酸鹼中和的討論活動日期、內容，整理如表 3。

二、資料收集與分析

收集資料以教師思考和行動的模式（Clark & Peterson, 1986）為架構，資料來源多元化。從 2010 年 10 月至 2011 年 1 月期間的觀察與互動中，個案教師逐漸習慣暢談其教學作為，且理解本研究焦點。在 2011 年 2 月時，研究者先收集對個案教師

的半結構性晤談之錄音檔以理解其教學取向，內容涵蓋學習經驗、教學經驗、科學教學觀點、理想教學圖像、教師和學生角色、實驗教學觀點。

從 2011 年 3 月至 9 月，研究者收集酸鹼中和教學的前、中、後期間的多元資料。在教學前收集資料有：教學計畫檔、教學討論的錄音檔。個案教師先寫出教學計畫並寄給其他成員，討論時說明其計畫和理由，也接受他人提問；藉此引導教師寫出、說出教學觀點。教學中收集資料有：教學錄影檔；研究者先在教室後面架設攝影機，當教師進入教室後開始攝影，研究者隨即離開，因為教師不習慣被觀察。教學錄影日期與節數的對照，如表 4。

教學後收集資料有：訪談錄音檔與單元學習問卷。前者是影帶分析後的刺激回憶晤談，後者是請學生回憶和寫出關於教師「令人印象深刻教學技巧和特色」、「這些教學技巧協助了解的學習內容」、「教學的有趣和需要改進的部分」、「學習後

仍覺得困惑的問題」。另外，研究者也作研究筆記，記錄教師觀點、疑難、教學現象。

從上述研究資料得到的文件有文字稿和錄影分析稿。文字稿包括半結構性晤談、刺激訪談和會議錄音的轉譯稿，與教學計畫、研究筆記等文件。錄影分析稿分成 PCK 實例分析稿和教學轉譯稿。分析影帶時，研究者先觀看每節課錄影，再分割幾小段作為分析單位，並註明內容概要和來源，表 5 是關於甲師的一些分析單位。研究者反覆觀看每一分析單位並寫出「教什麼」、「怎麼教」、「學生反應」、「展現 PCK 面向和教學要素」想法，再交叉比較文字稿的分析結果以澄清「為何要教」理由，此即是 PCK 實例分析稿；且從資料不足、模糊部分形成教學後刺激訪談的問題。另外，當發現教師話語能清楚呈現教

學要素特性時，研究者將此話語轉譯，此即教學轉譯稿，例如乙師說：「無論如何，5 個酸，你們要給我記住化學式。我叫你們背 5 個酸的化學式，就是要你們會寫出酸鹼中和的化學反應式。又不會考太多的酸，就這 5 個酸而已。」此呈現教學要素「要求熟記」。

採取質性分析，研究者將文件資料依個案教師來分類，再開放編碼。採用紮根理論 (Strauss & Corbin, 1998/2001)，將詮釋資料的概念匯流成類別，由類別匯流成教學要素；若形成的教學要素能符合文獻的教學要素名稱時，則繼續沿用；若是沒有對應的名稱，則研究者冠上能呈現此教學要素性質的名稱；之後，參酌文獻探討的教學要素歸類成 PCK 面向。例如分析時顯示「學生不會主動複習」的教學要素，

表 4  
個案教師的教學錄影的日期（節數）

教師	日期
	錄影日期（教學節數，# 含實驗課）
甲	4/11（1）、4/12（1）、4/14（2）、4/15（1）、4/19（2#）
乙	4/11（1）、4/14（2）、4/15（2#）、4/18（2）

表 5  
教學錄影的分析單位示例

內容概要	資料來源
複習常用的指示劑與 pH 值	甲 -TV-20110411-2-00:00-03:00
以乳頭滴管代替滴定管，操作說明實驗操作技術和指示劑變化。	乙 -TV-20110411-2-03:07-13:59

惟文獻中無此名稱，則依其性質稱之「學習態度」，並歸類於關於學生學習科學的知識。依 6 個步驟分析，說明如下。

(一) 形成概念

先完整閱讀文件以理解內文脈絡，再逐段、逐句的分析，在關鍵字句下方畫線，且在註解欄寫出解釋的概念。例如當問甲師為何以離子反應式作解題策略時，他說：「因為這是從離子出發的，溶液真正反應是離子。」研究者解釋為「以離子反應式作計量是因為真正反應粒子是離子。」當有解釋疑慮時，即和指導教授討論，並尋求個案老師澄清；例如當甲師斥責 A 班秩序混亂後，隨即以講述法介紹鹽類性質，研究者解讀是生氣所致，教授建議向甲師

求證，發現是他認為鹽類性質是記憶性知識，只需講述介紹和畫重點即可。

(二) 精緻概念

研究者將研究資料形成的概念寄給教授和個案教師，檢閱其合理性和真實性，依據回應再修改。

(三) 編碼資料和概念

編碼資料是依據資料來源、日期、頁數、行號來註記，格式為：資料來源 - 西元日期（年 / 月 / 日） - 頁 - 行 - 行，例如會議資料格式為：會議記錄（C） - 西元日期（年 / 月 / 日） - 頁 - 行 - 行；其概念的格式為：概念（C） - 會議記錄（C） - 西元日期（年 / 月 / 日） - 頁 - 行 - 行。編碼格式，如表 6。

表 6  
資料和概念的編碼格式

代碼 資料	資料格式 實例	概念格式 實例
會議錄音 轉譯	C 會議記錄 - 日期 - 頁 - 行 - 行 C-20110223-1-1-3	概念 (C) - 會議記錄 - 日期 - 頁 - 行 - 行 C-C-20110223-1-1-3
晤談轉譯	I 晤談 - 日期 - 頁 - 行 - 行 I-20110223-1-1-3	概念 (C) - 晤談 - 日期 - 頁 - 行 - 行 C-I-20110223-1-1-3
教學設計	TP 教師 - 教學設計 - 單元 - 頁 - 頁 甲 -TP-acid-1-1	概念 (C) - 教師 - 教學設計 - 單元 - 頁 - 頁 C- 甲 -TP-acid-1-1
單元學習 問卷	TKQ 教師 - 學習問卷 - 日期 - 班級 - 學生座號 甲 -TKQ-20110523-A-4	概念 (C) - 教師 - 學習問卷 - 日期 - 班級 - 學生座號 C- 甲 -TKQ-20110523-A-4
研究筆記	RN 研究筆記 - 日期 - 頁 - 行 - 行 RN-20110330-1-3-1	概念 (C) - 研究筆記 - 日期 - 頁 - 行 - 行 C-RN-20110330-1-3-1
教學影帶 轉譯	TV 教師 - 教學影帶 - 日期 - 節次 - 開始時間 - 終止時間 乙 -TV-20110411-1-03:29-06:59	概念 (C) - 教師 - 教學影帶 - 日期 - 節次 - 開始時間 - 終止時間 C- 乙 -TV-20110411-1-03:29-06:59

表 7  
編碼、類別、教學要素的關係

面向	編碼	類別	教學要素
教學取向	C-I-20110826-4-8-9	教師是引導者，不斷詢問引導學生統整相關概念。	教師角色是引導者。
	C-I-20110826-7-9-13		
	C-I-20110826-2-31-31	教師和學生角色互調，教師提問讓學生思考和解釋，以促使學生統整概念。	
	C-I-20110826-2-33-38		
	C-I-20110826-3-1-3		

表 8  
甲師的教學要素和理由的示例

名稱	內涵	理由
教師角色	引導者	培養學生思考和解決問題的能力

(四) 分類概念

研究者分類概念時，採用紮根理論從下到上匯流的觀點，將概念群分成類別群，再由類別群形成教學要素。形成類別時，研究者先彙集概念，反覆閱讀、比較和分析，不斷調整修正，尋找相似、相同的概念，逐漸形成一些特定概念群；再從特定概念群屬性形成類別的概念，如表 7 的編碼欄和類別欄；若同一概念可分類在不同類別時，則此概念將出現在不同類別。

形成類別後，研究者彙集類別並反覆閱讀、比較和分析其內涵和關連性；若發現類別內涵和關連性有矛盾時，則與教授和研究群討論以修改原類別的概念；再從概念屬性的相同、相似、相異關係，合併或獨立形成類別群，再從類別群的屬性形成教學要素，如表 7 的類別欄和教學要素欄。之後，研究者參考文獻 PCK 面向的教學要素，並歸類成不同面向；若類別無法分類

在特定面向時，則先擱置，隨著資料分析，再檢視是否可能浮現新面向。

另外，在脈絡化 PCK 面向內涵時，研究者從教學要素的相關類別或概念中，尋找形成教學要素的理由，以推理 PCK 面向關係。表 8 示例甲師的教學要素和理由。

(五) 統整展現面向的教學要素

研究者寫研究結果時，以面向為單位；以教學要素作描述架構，例如教學取向以「教師角色」、「科學教學的本質」等作架構；選擇類別屬性的關係形成段旨，裁剪概念群成段落內容；挑揀文件資料作佐證。如此，先開展出每一教學要素內涵，再將教學要素統整成 PCK 面向內涵，且整理教學要素的理由。當完成 5 個 PCK 面向內涵後，由指導教授和個案老師檢閱內容的合理性和真實性，根據回應再修改，以回應研究問題一。

### （六）確認 PCK 各面向關係

研究者將教學錄影分成幾段教學內容，以段為單位，先寫出「教學概況」，再分析相關教學要素和面向。分析時先確認課程知識與關連面向內涵，再確認教學策略和表徵知識與關連面向內涵，繼以確認評量知識與關連面向內涵，再由上述關連面向內涵和理由來確認教學取向和關於學生學習科學的知識之內涵。最後，研究者由這些展現的教學要素內涵和理由來確認或推理 PCK 面向的關連性。當初步完成 PCK 面向關係後，由指導教授和個案老師檢閱合理性與真實性，依據回應再修改。當確認 PCK 面向的關連性之後，研究者將每一面向之間的連結強度當作 1，統計各面向之間連結數，即是面向之間總連結度；這是依據 Park 與 Chen（2012）統計面向之間連結強度的作法，他們認為雖然每一連結的強度可能不同，但是基於分析的方便，可假設每一連結強度都相同，且當作是 1。最後，依據 PCK 面向的關連性和連結度以回應研究問題二。

## 三、研究效度

本研究強調內在效度和外在效度（潘淑滿，2003）。內在效度強調真實性，研究結果需為「真」，即是 Guba 的可信性（credibility）；可行作法有：長期參與、持續觀察、同儕簡報、三角校正、蒐集「參照適切的材料」、參與者檢核（高敬文，1999）。研究者和個案教師長期相處與討論，能充分理解其意旨；在研究期間定期在學術研究群中報告，並酌採組員建議來修改；也邀請個案教師與指導教授分析資料。另外，本研究以多種方法來收集在不同時間與來源的資料，包括：多次晤談和會議錄音，

教學計畫、教學心得、學習問卷、教學影帶；這些資料都是由個案教師和學生親自說出、寫出和教學作為，是第一手研究資料。

外在效度強調應用性，能依據不同情境的符合程度作相當程度的遷移，即是 Guba 的遷移性（transferability）；可行作法有：蒐集豐富的描述性資料、採取理論取樣或特定目的的取樣、豐厚的描述情境（高敬文，1999）。研究者收集詳細、豐富資料，並且逐字轉譯成稿，協助真實描述個案教師 PCK 內涵；並以教學影帶分析稿、片段轉譯稿、比較、分析教學錄影帶來描述其 PCK 面向內涵與關係。

具體而言，研究者長期浸潤研究情境中和個案教師互動良好，從中以多種方法取得不同時間的多元來源的資料，也請教授、個案教師參與資料分析；從不同的方法、時間、資料來源與分析者來做多元的三角校正，以厚實內在效度。另外，分析和描述課室教學錄影佐助情境描述，以厚實外在效度。

## 肆、研究結果和討論

本節報導個案教師在酸鹼中和主題教學的 PCK 內涵和關係。

### 一、個案教師 PCK 的內涵

甲師 PCK 特色是：以學生為主體，重視學生學習疑難和學習態度，強調教學的科學知識和典範的科學知識一致，教學內容從離子開始，探討酸鹼中和的離子交互作用；以模型、圖形、示範、提問等組成教學活動，從師生互動、學生討論和實作評估學生理解。其 PCK 面向內涵與理由，如表 9，括弧內是面向和教學要素的代號。



表 9  
甲師展現 PCK 面向的教學要素、內涵和理由

教學要素面向	名稱	內涵	理由
教學取向(1)	教學目的和目標(1-a)	培養學生解決問題和思考能力以應付未來生活 (1-a-1)	學習經驗
	科學教學本質(1-b)	教學要有趣，使學生參與；以圖像表徵概念的抽象性，讓微觀更具體 (1-b-1)	物理學科觀點 學生理解科學的途徑
	教師角色(1-c)	引導者 (1-c-1)	引導學生思考和統整概念
	理想教學圖像(1-d)	先討論開放性問題，探索抽象的理論，再作實驗 (1-d-1)	學生討論以提升思考和解決問題能力
	實驗教學觀(1-e)	以實驗證明理論的正確 (1-e-1)	學生才能知道實驗意義
關於學生理解科學的知識(2)	學習策略(2-a)	學生要思考和統整已學過相關概念 (2-a-1)	酸鹼中和統整許多先備知識
		學習酸鹼中和要從觀察巨觀現象到推理離子交互作用 (2-a-2)	學習科學過程由巨觀到微觀，從觀察反應現象到推理粒子作用
	學習疑難(2-b)	誤認原子變離子之後，質子數和中子數、質量數會改變 (2-b-1)	教學經驗
		誤認鹽就是食鹽，呈中性且是白色 (2-b-2)	教學經驗
		誤認反應式的係數比＝反應物和生成物的質量比 (2-b-3)	教學經驗
		誤認在終點時，酚酞必須深紅色 (2-b-4)	學習經驗
		不清楚酸鹼物質解離後離子種類和數目的關係 (2-b-5)	教學經驗
	學習態度(2-c)	不會解題酸鹼中和計量 (2-b-6)	教學經驗
		多數學生不會主動複習 (2-c-1)	教學經驗
科學課程知識(3)	和主題有關的縱向和橫向課程的知識(3-a)	數學不好，理化也學不好 (2-c-2)	教學經驗
		橫向和電解質解離、離子、酸鹼性質、體積莫耳濃度、指示劑有關，縱向和莫耳數、化學反應式、原子、離子有關，也是電化學電池正負極半反應的先備知識 (3-a-1)	教科書內容
		認識酸鹼中和與離子反應式 (3-b-1)	和主題有關的縱向和橫向課程的知識
	具體教學目標(3-b)	了解酸鹼中和的巨觀與微觀關係，探討指示劑變色性質 (3-b-2)	和主題有關的縱向和橫向課程的知識
		利用反應式係數、已知濃度、體積，去推測未知濃度 (3-b-3)	和主題有關的縱向和橫向課程的知識
	教材知識(3-c)	了解鹽類定義與認識生活常見鹽類 (3-b-4)	和主題有關的縱向和橫向課程的知識
		從離子出發，探討酸鹼物質解離的離子交互作用 (3-c-1)	理解酸鹼中和的物質變化，須從離子理解微觀粒子交互作用
		以酸提供 H <sup>+</sup> 數＝鹼提供 OH <sup>-</sup> 數的關係作為酸鹼中和的解題策略 (3-c-2)	核心概念是離子，須引導學生從離子觀點理解酸鹼反應現象，所以要用離子反應式解題
		酸鹼指示劑的變色性質應聚焦在巨觀性質，不必深入討論微觀粒子交互作用的原理 (3-c-3)	指示劑變色範圍知識涉及高中的緩衝溶液
		使用滴定管的技巧和判斷終點準則很重要，決定實驗結果的準確性 (3-c-4)	實驗需準確印證理論
		課室教學的科學知識須一致於科學知識 (3-c-5)	擔心教學內容有缺陷

(續下頁)



表 9(續)

教學要素	名稱	內涵	理由
面向			
教學策略和表徵知識(4)	使用模型和圖形(4-a)	用拉塞福原子結構圖和離子模型說明原子、離子和電解質的關係(4-a-1) 用離子模型組合電解質粒子和引導出離子反應式，並用模型和圖型說明滴定时參與離子的數目消長關係(4-a-2)	學生難理解化學符號的抽象意義，需將符號圖像化，以圖形和模型來解釋
	示範實驗、使用實物和圖形(4-b)	演示各種指示劑在不同酸鹼度時的顏色，取滴定管和畫出圖形來解說操作(4-b-1)	避免學生先面對抽象的酸鹼中和理論，並熟悉實驗操作技巧
	實例引導，並提供化學計量步驟(4-c)	以不同的酸鹼中和反應為例，講解步驟化解題，並提供學生練習(4-c-1)	學生學習困難
	講述和勾畫課本的重點(4-d)	直接帶學生看課本圖片、內容，並勾畫重點(4-d-1)	記憶性知識，不需要特別講解
評量知識(5)	形成性(5-a)	師生互動，引導提問讓學生回答(5-a-1) 學生討論，完成實作(5-a-2) 學生實作題目之後，再師生互動探討(5-a-3)	讓學生參與和理解學習
	診斷性(5-b)	紙筆測驗(5-b-1)	理解全班的學習

乙師 PCK 特色是：以教師為主體，重視學生學習疑難和學習態度；強調應付考試，重視科學知識在教學情境中的一致性與簡明性，教學內容從化學式開始，探討酸鹼中和的純物質粒子交互作用；以圖形、示範、舉例、講述、敘述經驗等組成教學活動；從提問、學生實作和教師巡迴觀察評量學生理解和教學合宜性。其 PCK 面向內涵和理由，如表 10，括弧內是面向和教學要素的編碼。

表 10  
乙師展現 PCK 面向的教學要素、內涵和理由

教學要素 展現面向	名稱	內涵	理由
教學取向 (1)	科學教學目的和目標 (1-a)	培養學生從科學的因果關係來思考和解決問題 (1-a-1)	科學是嚴謹客觀的思考模式
	科學教學本質 (1-b)	考試領導教學，成績是學習機制 (1-b-1) 秩序是教學的重要條件 (1-b-2)	升學考試政策 秩序失控減少上課時間
	實驗教學觀 (1-c)	實驗是讓學生體驗而引發學習興趣和驗證理論 (1-c-1)	學生實驗能力不足，但是實驗經驗可提升興趣
	教師角色 (1-d)	理想角色是導遊 (1-d-1) 現實角色是教授者 (1-d-2)	科學本質是思考歷程 學生人數多、學習興趣低
	理想教學圖像 (1-e)	詳細介紹酸鹼中和理論和實驗技能，學生再做實驗印證 (1-e-1)	讓學生最容易學懂的方式
關於學生 理解科學 的知識 (2)	學習策略 (2-a)	必須精熟化學式 (2-a-1) 學習酸鹼中和要會寫化學反應式以推理純物質粒子作用 (2-a-2)	影響學習化學的成效 化學計量的基礎
	學習疑難 (2-b)	誤認鹽類都是白色、易溶解於水，水溶液是中性 (2-b-1) 很難學會化學計量 (2-b-2)	教學經驗 教學經驗
	學習態度 (2-c)	多數學生不會主動複習 (2-c-1)	課程內容難度高，降低學習興趣
		沒有耐性作滴定操作，常導致實驗失敗 (2-c-2)	教學經驗
科學課程 知識 (3)	和主題有關的縱向和橫向課程的知識 (3-a)	統整前面許多單元內容，是未來學習化學的基礎 (3-a-1)	教科書內容
	具體的教學目標 (3-b)	學習酸鹼中和化學反應式的寫法 (3-b-1)	學生不熟悉寫化學反應式
		以化學計量的方式計算酸鹼中和 (3-b-2)	計算是學生感覺困難部分
		判斷鹽類酸鹼性和常見鹽類性質 (3-b-3)	學生難分辨鹽類有弱酸、弱鹼及中性，與難溶於水的鹽類
	教材知識 (3-c)	操作酸鹼中和實驗 (3-b-4)	需要練習實驗技巧，及熟悉實驗過程
		從化學式出發，探討酸鹼物質交互作用時的粒子關係 (3-c-1)	準備酸鹼中和的計算
		以酸鹼的化學反應式的關係作為酸鹼中和的解題策略 (3-c-2)	學生熟悉化學反應式的化學計量方法
		以考題內容來選擇和組織教學內容和重點 (3-c-3)	學生會解題和考高分時會有成就感
		課室的科學知識須明確和簡化，不一定要符合典範的科學知識 (3-c-4)	應付考試
		酸鹼中和實驗的技巧很重要，決定實驗結果的準確性 (3-c-5)	學習經驗和教學經驗
教學策略 和表徵知識 (4)	畫圖形解釋 (4-a)	解釋酸鹼反應的微觀粒子交互作用，和終點時酚酞突然變色原因 (4-a-1)	輔助課本說明酸鹼中和的離子交互作用
	以實例引導學習 (4-b)	寫出酸鹼反應式和平衡係數、推理鹽類中文名稱、酸鹼中和的化學計量 (4-b-1)	是考試焦點，引導作為學習鷹架
	示範實驗技巧 (4-c)	示範操作滴定管和實驗技巧 (4-c-1)	實驗技巧是實驗成功的原因
	敘述經驗 (4-d)	敘述求學的實驗經驗和生活經驗 (4-d-1)	提醒學生關於實驗技巧和注意事項
	講述和畫重點 (4-e)	講解課本內容和圖片，並勾畫重點 (4-e-1)	學生回家後可依據課本勾畫重點來複習
	要求熟記 (4-f)	要求學生熟記化學式和鹽類知識 (4-f-1)	基本、常考的知識
評量知識 (5)	形成性 (5-a)	教師提問，師生互動回答 (5-a-1)	理解學生是否精熟重要的化學式，再決定考試逼迫讀書
		學生上講台實作，教師巡迴指導 (5-a-2)	透過實作和觀察，理解學生學習和檢視教學合宜性
		學生在座位上實作，教師巡迴指導 (5-a-3)	依據學生答對比例和回應來理解教學成效和評估再講解的需要
	診斷性 (5-b)	選擇題的紙筆測驗 (5-b-1)	理解不同程度學生的學習，評估補救的需要

綜合兩位個案教師在酸鹼中和教學展現的 PCK 內涵，顯示其 PCK 的主要面向有：教學取向、關於學生對科學理解、科學課程、教學策略和教學表徵、評量。教學取向內涵有：教學目的和目標、科學教學本質、教師角色、理想教學圖像、實驗教學觀；實驗教學觀是教師持有實驗教學功能的觀點。關於學生理解科學的知識內涵有：學習疑難、學習策略、學習態度；學習疑難包括學習困難和迷思概念。學習策略是教師持有關於學生學習特定單元的先備知識與便利法則，學習態度是教師持有關於學生的學習性情。科學課程知識內涵有：和主題有關的縱向和橫向課程的知識、具體教學目標、教材知識。教學策略和表徵的內涵有：使用模型和圖形、示範、實例、講述、敘述經驗、熟記。評量知識有：形成性和診斷性評量。

另外，兩位個案教師教學展現 PCK 的教學要素內涵也有異同，以下將敘述其差異。

（一）教學取向的「科學教學本質」、「教師角色」有差異，甲師以學生為主體，乙師以教師為主體。

「科學教學目的和目標」部分，甲師希望透過學習科學培養學生思考和解決問題能力以應付未來生活；乙師則是透過學習科學來培養學生從科學上的因果關係來思考和解決問題，讓學生以嚴謹客觀的思考模式面對未來人生；兩者理念都是著重在從科學學習來培養思考和解決問題的能力。「實驗教學觀」部分，甲師和乙師都主張以實驗來驗證科學理論。

「科學教學本質」部分，甲師主張教學要營造有趣的氛圍，將抽象概念具體化，引導學生思考和討論，讓學生理解概念。他

「不喜歡單調、無趣和枯燥，」（RN-20110412-1-2-6）重視教學有趣使學生參與（C-RN-20110412-1-15-15），學生感受「老師把上課氣氛炒熱，讓我更用心聽他教的課。」（甲-TKQ-20110523-A-4）另外，甲師認為粒子概念需以圖像來具體化，「微觀的東西，盡量圖像化。」（I-20110826-11-28-28）

乙師認為考試成績為學習的機制，「他們成績考不出來，後面就不想學了；就是要有成就，才學得下去。」（I-20110911-2-20-21）她常以考試重點作為教學內容，就是要讓學生有學習成就（C-I-20110911-9-24-25）。另外，良好秩序是她教學的首要條件，「像秩序不好，上課時間就會少。」（I-20101216-17-29-29）所以教學「考慮最基本的是讓他們安靜下來。」（I-20101216-7-1-1）

「教師角色」部分，甲師自認是引導者，經由提問，引導學生思考和統整相關概念以理解酸鹼中和（C-I-20110826-4-8-9），學生感受他「引導同學討論、思考」（甲-TKQ-20110523-A-29）。乙師「覺得自己是教授者，」（I-20110911-1-24-24）主導和介紹內容概念（C-I-20110911-2-6-9），「上課完全要引導思考是不容易，所以大部分還是做傳遞。」（I-20101216-20-27-28）

（二）關於學生學習科學的知識在「學習策略」和「學習疑難」有差異；甲師強調學生從離子觀點理解酸鹼中和的交互關係，乙師著重從純物質粒子觀點理解酸鹼中和的交互關係。

「學習策略」部分，甲師認為學生應該以酸鹼反應現象與解離理論來推理離子交互作用，因為「學生習慣先看巨觀的東西，再講微觀的東西。」（I-20110826-1-13-13）乙師卻強調學生必須精熟化學式（C-C-20110525-2-27-30），需從化學反應式關係推

理純物質粒子交互作用，因為「1 個化學反應式對他們來說，頭就很大了，要他們同時思考 3 個反應式（指化學反應式、酸鹼的解離反應式、中和的離子反應式），我覺得增加困難度和教學難度。」（I-20110911-10-16-18）基於化學式是寫化學反應式的基礎（C-I-20110911-13-35-36），所以她「一開始，教他們寫出酸鹼反應式，反應式在後面的計算是很重要的。」（C-20110330-10-16-16）

「學習疑難」部分，他們都注意到關於鹽類性質的迷思，包括鹽類顏色、酸鹼性、溶解度。另外，甲師關注學生難理解酸鹼解離的離子種類和數目（C-I-20110826-1-35-38）、交互作用關係（C-甲-TP-acid-2-2）、酸鹼中和計量（C-甲-TP-acid-2-2）、酚酞變色性質（C-I-20110826-5-11-13）。乙師關注學生難學會化學計量（C-乙-TP-acid-2-2），「學生學習困難是因為忘記之前學習的（化學式），所以，如果只是單純做計算，其實是做不出來的。」（I-20110911-1-27-28）

（三）課程知識的「具體教學目標」和「教材知識」有差異，是基於學生應從離子或純物質粒子觀點來認識酸鹼中和的主張。

在「和主題有關的縱向和橫向課程的知識」部分，兩位教師都認為酸鹼中和單元是統整以前學過許多章節的概念，包括原子、離子、物質數量、莫耳、莫耳濃度、解離、酸鹼性質、酸鹼指示劑性質，也是未來電化學和高中化學的學習基礎。

「具體教學目標」部分，兩位教師對鹽類部份的觀點一致；其他部分，甲師強調從離子觀點認識酸鹼中和反應，再連結化學計量與莫耳濃度的計算，訓練學生組織推理能力（C-甲-TP-acid-1-1）；乙師重

視從純物質粒子觀點認識酸鹼中和，強調學生要會寫化學反應式，再連結化學計量與莫耳濃度的計算（C-乙-TP-acid-1-2）。

「教材知識」部分，他們認同實驗技巧對實驗準確性的重要，但是，其他部分有差異。甲師強調從離子探討酸鹼中和，「因為這是從離子出發，真正反應是離子。」

（I-20110826-8-24-24）另外，他認為課室的科學知識必需符合典範的科學知識，所以在教學討論時，他提出教學疑難是關於自製的教學模型只適用於離子化合物電解質，不適用分子電解質，因此無法概括電解質的解離原理（C-C-20110330-2-12-18）。

乙師強調從純物質粒子探討酸鹼中和（C-乙-TP-acid-1-2），這是基於以化學反應式做化學計量是前一章的內容，若學生沿用此法進行酸鹼中和化學計量，將比較容易學會（C-I-20110911-7-32-34）。她以試題重點作為教學內容（C-I-20110911-9-19-23），「我備課時把所有考卷、課本和講義題目通通看過，然後把題目有考到的概念寫在課本。」（I-20101216-6-2-4）

另外，她認為課室的科學知識不一定需符合典範的科學知識（C-C-20110330-6-21-23），在討論幾個爭議：難溶解於水的鹽類是否電解質（C-C-20110330-6-30-31）、純水是否電解質（C-C-20110330-5-25-35），她堅持只要給學生能應付解題的明確定義即可，不必完全符合典範的科學知識。

（四）教學策略和表徵都呈現多元化型式；差異是甲師偏好運用模型、實物和畫圖交互解釋，乙師慣用課本圖片和畫圖解釋與要求熟記。



甲師使用模型和圖形交互解釋離子交互作用，例如以離子模型表示  $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$  的物質化學式，逐步以模型導出離子反應式  $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$  (C-甲-TV-20110412-1-08:49-22:57)。他常用實物對照圖形來說明，例如取滴定管對照課本圖片，介紹滴定管結構與演示使用滴定管 (C-甲-TV-20110414-1-03:51-12:38)；展示指示劑變色性質 (C-甲-TV-20110411-1-29:01-30:00)，並以實例說明化學計量的解題步驟，再舉例練習 (C-甲-TV-20110414-1-24:53-30:09)。

乙師多以畫圖和使用課本圖片作解釋，例如畫圖講解滴定管結構 (C-乙-TV-20110414-1-02:58-08:35)。並以實例說明化學計量的解題步驟和題目變化，例如以醋酸和氫氧化鈣反應為例，說明如何寫化學反應式、計算未知濃度和鹽類莫耳數 (C-乙-TV-20110414-1-10:20-15:14)；卻少運用實物示範，只在實驗課示範使用滴定管 (C-乙-TV-20110415-1-03:02-06:19)。每完成一段教學後，她必講述課本和勾畫重點，這是其教學習慣 (C-I-20110911-4-29-34)，學生知覺「老師教每單元的方式都一樣，內容講完換畫重點和寫講義。」(乙-TKQ-B-11) 她也要求學生熟記常用化學式，「無論如何，5 個酸，你們要給我記住化學式。」(乙-TV-20110411-1-26:57-27:23)

(五) 形成性評量的型式類同，都是融入教學活動中；差異是甲師偏重師生互動，旨在讓學生參與，乙師傾向教師主導，意圖理解學生學習。

甲師採取「師生互動，教師引導提問」、「學生討論，並完成實作」、「學生實作題目之後，師生再互動探討」作法。例如他提問和引導學生區分原子和離子的差異 (C-甲-TV-20110411-1-03:29-06:59)；指定學生上台討論

電解質化學式，並用離子模型組合電解質粒子 (C-甲-TV-20110411-1-19:13-21:25)；另外也示範酸鹼中和計量的解題，將鹽酸改成硫酸和硝酸，要求學生練習，之後，師生互動探討其中差異 (C-甲-TV-20110414-2-00:54-02:37)。其形成性評量特色是師生互動頻繁，促使學生參與學習 (C-I-20110826-12-31-34)。

乙師採取「教師提問，師生互動回答」、「學生上講台實作，教師巡迴指導」、「學生在座位上實作，教師巡迴指導」作法。例如她提問讓學生回答酸化學式 (C-乙-TV-20110411-1-26:57-30:09)、鹼化學式 (C-乙-TV-20110411-2-00:00-02:20) 與鹽類中文名稱 (C-乙-TV-20110411-2-06:32-11:07)；在完成酸鹼中和反應式的教學後，她要求學生上台寫 4 種酸鹼中和反應式，同時，她巡迴指導台下學生的解題 (C-乙-TV-20110414-1-02:43-07:04)。其形成性評量特色是師生互動較少，意圖理解學生學習狀況和評估教學合宜性，所以她會調查學生作答狀況，例如調查學生的化學計量解題答對率 (C-乙-TV-20110414-2-04:22-06:43)。

「我的教學有規律現象，就是講了一個東西，就讓學生練習，在練習過程，我想要知道學生學會了沒有，一方面也想知道進度有沒有太快。」(I-20110911-4-13-15) 因為「我要知道多少人會，看是否需要再講一次。」(乙-TV-20110414-1-29:58-30:25)

## 二、個案教師 PCK 面向的連結關係

本小節先以乙師的「重要的酸鹼化學式」教學為例，說明如何探索展現的 PCK 面向內涵與關係；再報導個案教師的 PCK 面向關係的類型；最後整合連結度，描述個案教師在本主題教學展現 PCK 內涵和關係。

### (一) 探索個案教師展現 PCK 面向內涵與關係的示例說明

關於乙師「重要的酸鹼化學式」教學展現 PCK 面向內涵與關係，以下先描述教學概況，再說明如何確定相關教學要素，最後推出各面向關係。

#### 1. 教學概況

乙師複習重要的 5 種酸的化學式，先提問後，再指定學生說出化學式；當發現學生不熟悉時，要求學生只熟記  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HNO}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{H}_2\text{CO}_3$  (C-乙-TV-20110411-1-26:57-30:09)。接著，她複習重要的 3 種鹼化學式： $\text{NaOH}$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{NH}_4\text{OH}$ ，並提問學生背出化學式 (C-乙-TV-20110411-2-00:00-02:20)。爲了逼學生熟背化學式，她宣布 2 天後小考，考不好的再補考，直到考好爲止 (C-乙-TV-20110411-2-00:00-02:20)。

#### 2. PCK 面向的內涵

這段教材是重要的酸鹼化學式，因爲乙師認爲會寫化學式和化學反應式將影響學習酸鹼中和的化學計量 (C-C-20110330-10-17-18)。此內容源自教材知識「從化學式出發，探討酸鹼物質交互作用的粒子關係」、具體教學目標「學習寫出酸鹼中和的化學反應式」；也受學習策略「學生必須精熟化學式」、學習疑難「很難學會化學計量」影響。她選擇常考的酸鹼化學式，要求學生背熟，是受教材知識「選擇考題內容來組織教學內容和重點」、「課室的科學知識須明確和簡化」與科學教學本質「考試成績是促使學習的機制」影響。由此可知，這段教學內容統整課程知識的 4 類教學要素，且受教學取向「科學教學本質」與關於學生學習科學的知識「學習策略」的影響。

乙師「要求熟記」酸鹼化學式，此教學策略和表徵受教材知識「從化學式出發，探討酸

鹼物質交互作用的粒子關係」、具體教學目標「學習寫出酸鹼中和的化學反應式」、科學教學本質「考試成績是促使學習的機制」、教師角色「教授者」影響；也受學習策略「學生必須精熟化學式」、學習疑難「很難學會化學計量」影響。由上述可知，教學取向、課程知識、關於學生學習科學的知識影響教學策略和表徵。

乙師以「教師提問，師生互動」評量學生是否熟記化學式。評量內容受教材知識「從化學式出發，探討酸鹼物質交互作用的粒子關係」、具體教學目標「學習寫出酸鹼中和的化學反應式」、學習策略「必須精熟化學式」影響；評量方式融入「要求熟記」的教學活動。評量目的在理解學生是否熟悉化學式，乃基於化學式是寫化學反應式的基礎，熟悉度影響化學計量的考試成績 (C-I-20110911-13-35-36)，所以受教學取向「考試成績是促使學習的機制」影響。職是，課程知識、關於學生學習科學的知識、教學策略和表徵與教學取向影響評量內容、型式和目的。另外，當她評估學生尚未熟記化學式時，採取以考試促使學生熟記化學式，「考試其實就是逼他們讀書。」(I-20101216-7-33-33) 所以，此評量結果影響教學策略和表徵「要求熟記」。

上述關於學生學習科學的知識有學習策略「學生必須精熟化學式」，是基於學生對化學式的熟悉度會影響考試成績，所以可推理是受教學取向「考試成績是促使學習的機制」影響。

#### 3. PCK 面向的關係

從 PCK 面向內涵的影響，可知面向之間關係如下：(1) 教學取向影響所有其他面向；(2) 關於學生學習科學的知識受教學取向影響，也影響課程、教學策略和表徵、評量知識；(3) 課程知識受教學取向、關於學生學習科學的



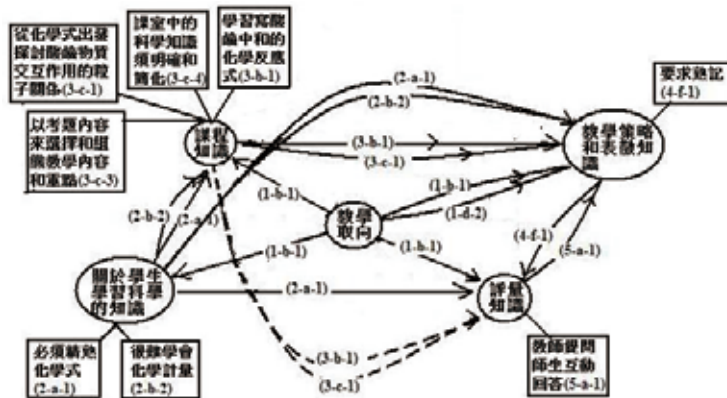


圖 2 乙師在「重要的酸、鹼化學式」教學中展現 PCK 面向的關係

知識影響，也影響教學策略和表徵和形成性評量；(4) 教學策略和表徵受教學取向、關於學生學習科學的知識、課程知識、評量結果的影響，也影響評量型式；(5) 形成性評量受所有其他面向影響，評量結果也影響教學策略和表徵。

綜合上述關係，以圖 2 表示，其教學展現完整 PCK 面向，且密切連結；其中，實線和虛線單箭頭指出單向影響方向，虛線表示平面下存有連結關係；線段連結該面向的教學要素，括弧內的編碼對應表 10 的教學要素。

## (二) 個案教師 PCK 面向關係的類型

依據上述方法探索個案教師的各段教學內容，得其 PCK 面向關係的類型如下。

### 1. 甲師 PCK 面向關係的類型

甲師的 6 段教學內容中展現 3 類 PCK 面向關係，如圖 3、4、5。圖中的括弧內編碼對應表 9 的教學要素。第 1 類是展現完整 5 個 PCK 面向，整體 PCK 的面向連結緊密。圖 3 顯示在「原子、離子、電解質」教學中展現 5 個面向，且面向之間有單向影響，使整體 PCK 面向連結緊密。其關連性有：(1) 教學取向影響其他面向，例如甲師的「教學要有趣，使學生

參與(1-b-1)」信念影響其評量目的是要「讓學生參與學習」；(2) 關於學生學習科學的知識受教學取向影響，影響課程知識、教學策略和表徵、評量知識，例如甲師基於「不清楚酸鹼物質解離後離子種類和數目的關係(2-b-5)」的學習疑難，採取「要學生用離子模型組合電解質粒子」的評量方法；(3) 課程知識受教學取向、關於學生學習科學的知識影響，影響教學策略和表徵、評量知識；(4) 教學策略和表徵受教學取向、關於學生學習科學的知識、課程知識的影響，影響評量知識；(5) 評量知識受其他面向影響。

第 2 類是展現完整 5 個 PCK 面向，整體 PCK 面向連結疏鬆。圖 4 顯示在「鹽類性質」教學中展現 5 個面向，只有一些面向之間有單向影響與連結，整體 PCK 面向連結呈現疏鬆。其關連性有：(1) 教學取向影響評量知識；(2) 關於學生學習科學的知識影響課程知識、評量知識；(3) 課程知識受關於學生學習科學的知識影響，影響教學策略和表徵與評量知識；(4) 教學策略和表徵受課程知識影響；(5) 評量知識受教學取向、課程知識、關於學生學習科學的知識影響。

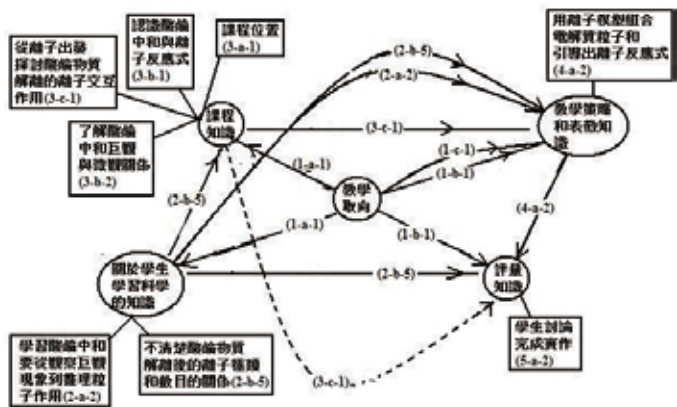


圖 3 甲師在「原子、離子、電解質」教學中展現 PCK 面向完整且連結緊密

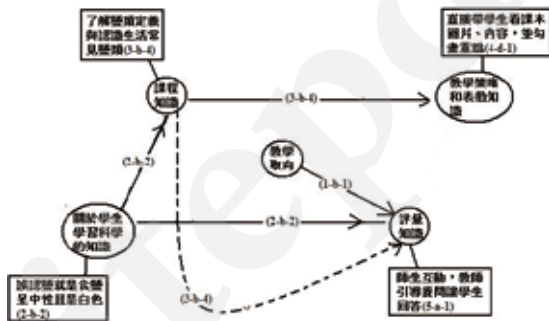


圖 4 甲師在「鹽類性質」教學中展現 PCK 面向完整且連結疏鬆

第 3 類是展現不完整的 PCK 面向，整體 PCK 面向連結疏鬆。圖 5 顯示在「酸鹼中和實驗操作」教學中只展現 4 個面向，面向之間除了教學策略和表徵與評量知識相互影響，其餘都是單向影響，由於缺乏關於學生學習科學的知識面向使整體 PCK 面向的連結疏鬆。其關連性有：（1）教學取向影響其他面向；（2）課程知識受教學取向影響，影響教學策略和表徵、評量知識；（3）教學策略和表徵受其他面向影響，影響評量知識；（4）評量知識受其他面向影響，影響教學策略和表徵。

2. 乙師 PCK 面向關係的類型

乙師在 5 段教學內容中只展現 1 類 PCK 面向關係，即展現 5 個完整 PCK 面向且連結緊密。以「鹽類性質」教學為例，如圖 6，括弧內編碼對應表 11 的教學要素。圖中顯示 PCK 展現 5 個面向，除了教學策略和表徵與評量知識相互影響，其他是單向影響，整體 PCK 面向連結呈現緊密。其關連性有：（1）教學取向影響其他面向；（2）關於學生學習科學的知識受教學取向影響，影響課程知識、教學策略和表徵、評量知識；（3）課程知識受教學取向、關於學生學習科學的知識影響，影響教學策略和表徵、評量知識；（4）教學策略和表徵受其他面

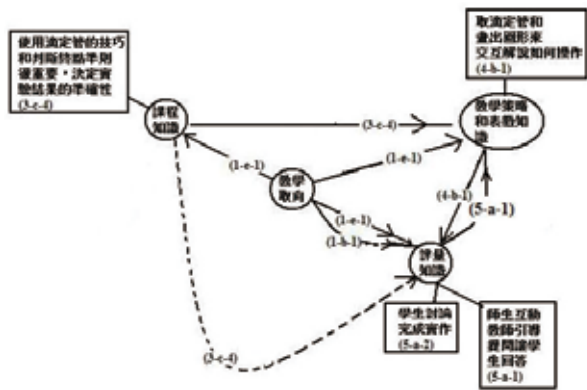


圖 5 甲師在「酸鹼中和實驗操作」教學中展現 PCK 面向不完整且連結疏鬆

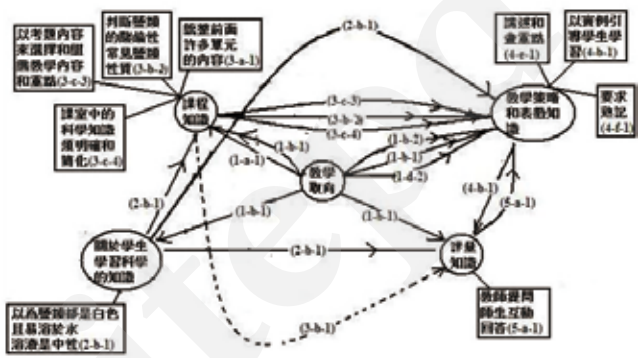


圖 6 乙師在「鹽類性質」教學中展現 PCK 面向完整且連結緊密

向影響，影響評量知識；（5）評量知識受其他面向影響，影響教學策略和表徵。

（三）個案教師在 酸鹼中和主題教學的 PCK 面向內涵和關係

本研究假設每一連結的強度均等且其值為 1，將個案教師在各段教學內容的 PCK 面向之間的連結次數加總後，即是其主題教學 PCK 面向總連結度，如表 11，括弧內數字為 PCK 面向的編碼。

整合個案教師在酸鹼中和教學展現 PCK 面向內涵、關連性與連結度形成 PCK 面向

關係，如圖 7 和圖 8。圖 7 顯示甲師 PCK 面向內涵和關係。以學生為主體的教學取向單向影響所有其他面向；關於學生學習科學的知識單向影響課程知識、教學策略和表徵、評量知識；課程知識單向影響教學策略和表徵、評量知識；教學策略和表徵與評量知識都受其他面向影響，且此兩者相互影響，顯示甲師從教學中的評量結果及時回饋教學策略和表徵。另外，各面向連結度落在 6 至 9，其面向之間連結強度約略均等。

表 11  
個案教師的 PCK 面向連結度

面向關連性	面向總連結度	
	甲師	乙師
教學取向（1）－關於學生（2）	6	8
教學取向（1）－課程知識（3）	6	9
教學取向（1）－教學策略（4）	8	15
教學取向（1）－評量知識（5）	8	8
關於學生（2）－課程知識（3）	9	7
關於學生（2）－教學策略（4）	8	9
關於學生（2）－評量知識（5）	7	6
課程知識（3）－教學策略（4）	8	14
課程知識（3）－評量知識（5）	7	9
評量知識（5）－教學策略（4）	6	11

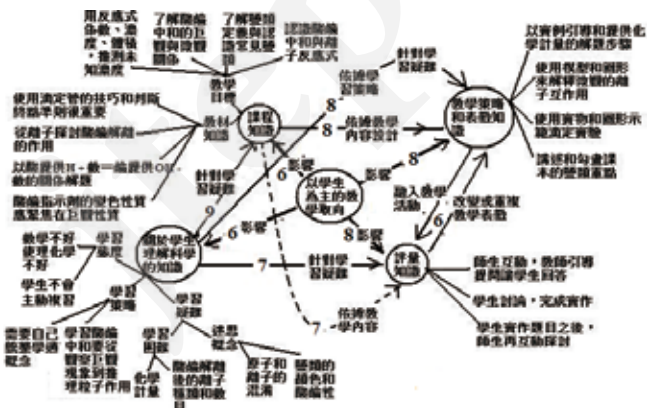


圖 7 甲師展現 PCK 面向內涵和關係

圖 8 顯示乙師 PCK 面向內涵和關係，以教師為主體的教學取向單向影響所有其他面向；關於學生學習科學的知識單向影響課程知識、教學策略和表徵、評量知識；課程知識單向影響教學策略和表徵、評量知識；教學策略和表徵與評量知識都受其他面向的影響，

且此兩者相互影響，顯示乙師從教學中的評量結果及時回饋教學策略和表徵。另外，各面向連結度落在 6 至 15，其中，強烈的連結呈現在教學策略和表徵與其他面向的關係，包括：教學取向、課程知識、評量知識。



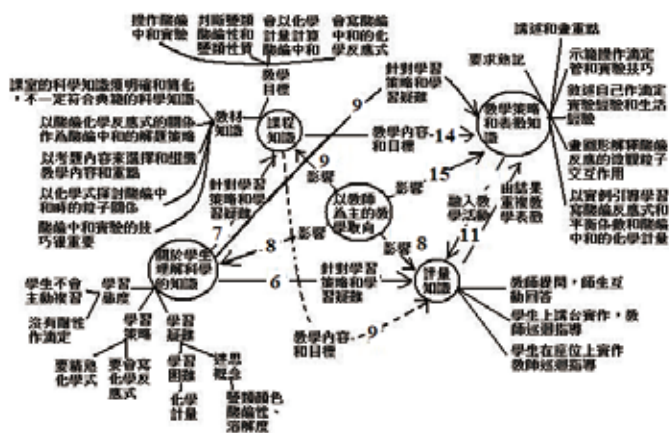


圖 8 乙師展現 PCK 面向內涵和關係

## 伍、結論和建議

本文以酸鹼中和主題教學為例，探討個案教師展現的 PCK，希望有助於瞭解科學教師 PCK 面向內涵和關係。底下綜述本研究的結論和建議。

### 一、結論

針對個案教師在酸鹼中和主題教學展現 PCK 面向的教學要素和關係，總結本研究的結果如下：

#### （一）個案教師 PCK 的面向和內涵

1. 兩位個案教師 PCK 的主要面向和相關文獻相符，其展現 PCK 各個面向的教學要素各呈現相似與相異內涵，相異內涵是基於「教師應該如何教」、「學生應該學什麼與如何學」的觀點；整體而言，甲師以學生為主體，乙師以教師為主體。

關於兩位教師 PCK 的主要面向，包括：教學取向、關於學生對科學理解的知識、科學課程知識、教學策略和教學表徵、評量知識；這些面向和相關文獻相符。各個面向的教學要素而言，呈現異同並存。關於教學取向，兩

位教師的「科學教學目的和目標」是培養思考和解決問題的能力，「實驗教學觀」是以實驗驗證科學理論，其「科學教學本質」、「教師角色」、「理想教學圖像」內涵差異是基於以學生或教師為主體。關於學生學習科學的知識，他們注意到鹽類性質的迷思概念和學生不會主動複習的性情；但在「學習策略」和「學習疑難」有差異，甲師強調從離子觀點理解酸鹼中和，乙師重視從純物質粒子觀點理解酸鹼中和。關於課程知識，他們對「和主題有關的縱向和橫向課程的知識」、鹽類的「具體教學目標」、酸鹼中和實驗技巧的「教材知識」觀點類似；在一些「教材知識」和「具體教學目標」內涵差異是基於從離子或純物質粒子認識酸鹼中和的主張。教學表徵都呈現多元化，其差異是甲師常運用模型、實物和畫圖共同說明，乙師習慣以畫圖和使用圖片說明。形成性評量型式類同且融入教學活動；但是，甲師偏重師生互動，旨在讓學生參與學習；乙師傾向教師主導，意圖理解學生學習成效。

#### （二）個案教師 PCK 面向的連結關係

1. 主題教學展現 PCK 面向之間的關聯呈現由上而下階層性的單向影響，教學取向為

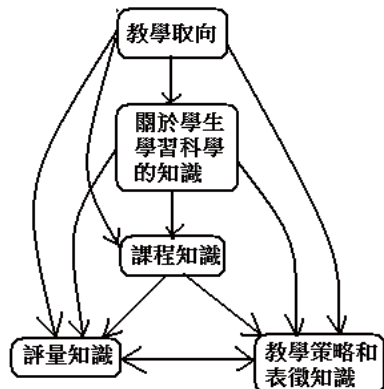


圖 9 主題特定 PCK 面向的階層影響關係

上階層，關於學生理解科學的知識和課程知識居中，而教學策略和表徵知識與評量知識為下階層，彼此之間呈現雙向影響。

依據圖 7 和圖 8，教學取向、關於學生理解科學的知識、課程知識都呈現單向影響關係；教學策略和表徵知識與評量知識兩者相互影響，且都受其他面向單向影響。據此，個案教師教學展現 PCK 面向的統整是由相關的教學要素連結，且具階層性，上階層是教學取向，下階層是教學策略和表徵與評量知識，階層之間呈現單向影響，如圖 9。此關係啟示教師的教學取向主導教學，通知其他知識運作，教學策略和表徵與評量知識接受其他面向的指揮。另外，乙師的每段教學內容的教學策略和表徵與評量知識都相互影響，甲師有一段教學內容的教學表徵和策略與評量知識相互影響；顯示教師在主題教學時的教學策略和表徵與評量知識相互影響。

關於探索 PCK 完整面向統整的文獻多宣稱 PCK 面向相互影響 (Park & Oliver, 2008; Park & Chen, 2012)，本研究發現科學教師在主題特定教學所展現 PCK 面向統整是階層性單向影響，此不僅確證

Grossman (1990) 提出「學科教學目的的概念」單向影響 PCK 其他教學要素的觀點，也呼應 Lee 與 Luft (2008) 研究呈現的 PCK 面向具階層性和面向之間存有單、雙向影響的關係。

2. 兩位個案教師 PCK 各面向的關聯係透過相關教學要素的連結，其中尤以「科學教學本質」、「教師角色」、「學習策略」和「學習疑難」等彼此環環相扣，深遠影響教學展現，是關鍵性 PCK 教學要素。

乙師的「科學教學本質」是考試成績和秩序對教學的重要，「教師角色」為教授者，「學習策略」是須精熟化學式和化學反應式，「學習疑難」是難學會化學計量。甲師的「科學教學本質」是學習科學途徑由巨觀到微觀，教學應以圖像表徵概念抽象性，要有趣使學生參與，「教師角色」為引導者，「學習策略」是學生需要思考和統整相關概念且從觀察巨觀現象到推理粒子作用，「學習疑難」有離子觀點的認知疑難、酚酞變色性質、化學計量等。兩位教師的這 4 類教學要素內涵環環相扣，且深遠影響課程知識、教學策略和表徵與評量知識的展現，是 PCK 的關鍵知識。Cronin-Jones (1991) 指出教師持有學生如何學習、學



生學習能力、教師角色的知覺是實施課程的重要因素，Gess-Newsome (1999) 提出「特定內容的教學取向」是教師基於特定場域用以組織知識架構的教學信念，影響教師認為學生應該要學哪些內容和如何學習的觀點。本研究的發現和 Cronin-Jones 宣稱相近，也吻合「特定內容的教學取向」意涵，但是本研究以 4 類教學要素說明，比較「特定內容的教學取向」的概念更具體明確。

3. 兩位個案教師的 PCK 品質倚賴於各個面向的統整程度。

就每段教學內容的分析顯示；乙師在各段教學中都展現完整的 5 個 PCK 面向，且各面向連結緊密形成高度統整，呈現穩定的品質；甲師的其中 2 段教學中展現 PCK 面向不完整和低連結度，形成面向之間的統整不足，呈現浮動的品質。就整體主題教學的分析顯示；乙師的 PCK 面向連結度強，特別表現於教學策略和表徵與其他面向的連結；此啓示著其 PCK 面向的高度統整，且落實教學。據此可知，PCK 的品質倚賴各個面向的統整程度；此呼應 Park 與 Chen (2012) 主張 PCK 品質決定於面向之間的緊密結合與各別面向的強度。

## 二、建議

依據上述結論，本研究提出一些建議：

(一) 基於「科學教學本質」、「教師角色」、「學習策略」和「學習疑難」是 PCK 的關鍵性教學要素，建議師資培育和專業成長活動應多考慮從理解教師在特定主題的「學習策略」和「學習疑難」知識開始，再探索對應的教學策略和表徵與評量作法，從教學實務的問題解決來提升教學知能，進而改變教師教學取向的「科學教學本質」、「教師角色」觀點。

(二) 本研究的對象為物理背景教師，後續可針對化學背景教師進行類似研究，由物理主題和化學主題教學展現 PCK 交叉比對物理和化學教師在教特定主題時，其 PCK 面向內涵與關係。

(三) 本研究情境是在一個特定主題的教學，結果呈現個案教師 PCK 面向具有階層性單向影響的關係，此發現不同於多個主題教學的研究所顯示 PCK 面向具雙向影響的關係 (Park & Oliver, 2008; Park & Chen, 2012)。據此，後續研究可探索特定教師在不同班級的同特定主題教學的 PCK 面向的統整性質以及探索特定教師在同一班級的多個主題教學的 PCK 面向的統整性質，將更能洞察 PCK 性質與面向影響關係。

## 參考文獻

高敬文（1999）。質化研究方法論。臺北市：師大書苑。

[Kau, C. V. (1999). *Qualitative research methodology*. Taipei, Taiwan: Shtabook.]

黃瑞琴（1991）。質的教育研究法（第四版）。臺北市：心理。

[Huang, J. C. (1991). *Qualitative research for education* (4th Ed.). Taipei, Taiwan: Psychological Publishing.]

潘淑滿（2003）。質性研究理論與應用（第五版）。臺北市：心理。

[Pan, S. M. (2003). *Qualitative research: Theory and applications* (5th Ed.). Taipei, Taiwan: Psychological Publishing.]

張世忠、蔡孟芳、陳鶴元（2012）。國中學科學教師的學科教學知識與科學教學導向之探討。科學教育學刊，20（5），413－433。

[Jang, S. J., Tsai, M. F., & Chen, H. Y. (2012). Exploring the Middle Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge and Science Teaching Orientations. *Chinese Journal of Science Education*, 20(5), 413-433.]

Bell, B., & Cowie, B. (2001). The characteristics for formative assessment in science education. *Science Education*, 85(5), 536-553. doi:10.1002/sce.1022.abs

Boz, Y. (2009). Turkish prospective chemistry teachers' alternative conceptions about acids and bases. *School Science and Mathematics*, 109(4), 12-22. doi:10.1111/

j.1949-8594.2009.tb18259.x

Carlsen, W. (1999). Domains of teacher knowledge. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Pedagogical content knowledge and science education* (pp.133-144). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic.

Clark, C. M., & Peterson, P. L. (1986). Teachers' Thought Process. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 255-296), New York, NY: Macmillan.

Clermont, C. P., Borko, H., & Krajcik, J. S. (1994). Comparative study of the pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(4), 419-441. doi: 10.1002/tea.3660310409

Cochran, K. F., DeRuiter, J. A., & King, R. A. (1993). Pedagogical content knowing: An integrative model for teacher preparation. *Journal of Teacher Education*, 44, 263-272.

Cohen, R., & Yarden, A. (2009). Experienced junior-high-school teachers' PCK in light of a curriculum change: The cell is to be studied longitudinally. *Research in Science Education*, 39(1), 131-155. doi:10.1007/s11165-008-9088-7

Cronin-Jones, L. L. (1991). Science teacher beliefs and their influence on curriculum implementation: Two case studies. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(3), 235-250. doi:10.1002/tea.3660280305

Demircioglu, G., Ayas, A., & Demircioglu, H.

- (2005). Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases. *Chemistry Education: Research and Practice*, 6(1), 36-51. doi:10.1039/B4RP90003K
- Dreschsler, M., & Van Driel, J. (2008). Experienced teachers' pedagogical content knowledge of teaching acid-base chemistry. *Research in Science Education*, 38(5), 611-631. doi:10.1007/s11165-007-9066-5
- Duffee, L., & Aikenhead, G. (1992). Curriculum change, student evaluation, and teacher practical knowledge. *Science Education*, 76(5), 493-506. doi:10.1002/sce.3730760504
- Fernandez-Balboa, J. M., & Stiehl, J. (1995). Effective professors' pedagogical processes. *Teaching and Teacher Education*, 11(3), 293-306.
- Friedrichsen, P. M., & Dana, T. M. (2005). Substantive-level theory of highly regarded secondary biology teachers' science teaching orientations. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 218-244. doi:10.1002/tea.20046
- Furió-Más, C., Calatayud, M. L., Guisasola, J., & Furió-Gómez, C. (2005). How are the concepts and theories of acid base reactions presented? Chemistry in textbooks and as presented by teachers. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1337-1358. doi:10.1080/09500690500102896
- Geddis, A. N., Onslow, B., Beynon, C., & Oesch, J. (1993). Transforming content knowledge: Learning to teach about isotopes. *Science Education*, 77(6), 575-591. doi:10.1002/sce.3730770603
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 3-20). Boston, MA: Kluwer. doi:10.1007/0-306-47217-1\_1
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York, NY: The Teachers College Press.
- Hashweh, M. (1985). *An exploratory study of teacher knowledge and teaching: The effects of science teachers' knowledge of their subject matter and their conceptions of learning on their teaching* (Unpublished doctoral dissertation). Stanford Graduate School of Education, Stanford, CA.
- Hashweh, M. Z. (2005). Teacher pedagogical constructions: A reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 11, 273-292.
- Koballa, T. R., Glynn, S. M., Upson, L., & Coleman, D. (2005). Conceptions of teaching science held by novice teachers in an alternative certification program. *Journal of Science Teacher Education*, 16(4), 287-308. doi:10.1007/s10972-005-0192-5

- Lee, E., & Luft, J. A. (2008). Experienced secondary science teachers' representation of pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1343-1363. doi:10.1080/09500690802187058
- Loughran, J., Berry, A., & Mulhall, P. (2006). *Understanding and developing science teachers' pedagogical content knowledge*. Rotterdam, Netherlands: Sense. doi:10.1007/978-94-6091-821-6\_2
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Netherlands: Springer.
- Marks, R. (1990). Pedagogical content knowledge: From a mathematical case to a modified conception. *Journal of Teacher Education*, 41(3), 3-11. doi:10.1177/002248719004100302
- Park, S., & Chen, Y. C. (2012). Mapping out the integration of the components of pedagogical content knowledge (PCK): Examples from high school biology classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(7), 922-941. doi:10.1002/tea.21022
- Park, S., & Oliver, S. J. (2008). Revisiting the conceptualization of pedagogical content knowledge (PCK): Pedagogical content knowledge as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261-284. doi:10.1007/s11165-007-9049-6
- Schneider, R. M., & Plasman, K. (2011). Science teacher learning progressions: A review of science teachers' pedagogical content knowledge development. *Review of Educational Research*, 81(4), 530-565. doi:10.3102/0034654311423382
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. doi:10.3102/0013189X015002004
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22. doi:10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411
- Smith, D. C., & Neale, D. C. (1989). The construction of subject matter knowledge in primary science teaching. *Teaching & Teacher Education*, 5(1), 1-20. doi:10.1016/0742-051X(89)90015-2
- Strauss, A., & Corbin, J. (2001)。質性研究入門：紮根理論研究方法（吳芝儀、廖梅花譯）。嘉義市：濤石文化。（原著出版於1998年）
- [Strauss, A., & Corbin, J. (2001). *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques* (C. Y. Wu & M. H. Liao, Trans.). Chiayi, Taiwan: Waterstone. (Original publication year: 1998)]
- Tamir, P. (1988). The relationship between

- cognitive preferences, student background and achievement in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(3), 201-216. doi:10.1002/tea.3660250305
- van Driel, J. H., Verloop, N., & de Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199808)35:6<673::AID-TEA5>3.3.CO;2-9
- Veal, W. R., & MaKinster, J. G. (1999). Pedagogical content knowledge taxonomies. *Electronic Journal of Science Education*, 3(4). Retrieved from <http://unr.edu/homepage/crowther/ejse/vealmak.html>.
- Wallace, C. S., & Kang, N. H. (2004). An investigation of experienced secondary science teachers' beliefs about inquiry: An examination of competing belief sets. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(9), 936-960. doi:10.1002/tea.20032

jitepd