高中學生物理解題歷程之研究

陳章正[1]、江新合[2]
[1]高雄市立左營高級中學、[2]國立高雄師範大學科學教育研究所
c1994726@ms29.hinet.net、shingho@nknucc.nknu.edu.tw

摘　要

從歷年大學入學考試來看，大部份高中學生對物理「解題」最感困擾，不只要看懂題意，還必須運用正確的概念及數學技巧，才能順利解題。許多研究都發現學生開始解題時不諳方法，且缺乏有系統的策略來引導他們的解題行動，形成解題困難，究竟學生進行物理解題時困難為何？能否建構有效的分析工具，以了解學生解題困難的類型呢？是本研究的重點。

研究對象為高雄市某高中二年級第二類組學生 25 人和第三類組的學生 38 人，實施為期二年的物理解題教學，採用質性資料分析的方法，研究資料有教學歷程檔案、教學原案、晤談記錄、學生回饋之心得與意見、教室行為觀察的資料等。

研究結果初步建構「解題歷程分析表」，可以有效分析高中學生物理解題的困難，作為教師發展物理解題策略的參考。

關鍵詞：高中物理解題、解題歷程、解題困難

一、 前言

從歷年大學入學考試的成績來看，高中學生對物理的「解題」存在許多困難，不只要看懂題意，還必須運用正確的概念及數學技巧，才能順利解題。許多研究都發現學生開始解題時不諳方法，且缺乏有系統的策略來引導他們的解題行動(Reif, Larkin & Brackett, 1976；Schoenfeld, 1978)，形成解題困難，究竟學生進行物理解題時困難為何？能否建構有效的分析工具，以了解學生解題困難的類型呢？是本研究的重點。

研究者曾選擇在某單元教學結束後，舉行平時考，發現學生成績不佳，存在許多解題的困難，經以開放式問卷全班施測，探查學生的解題困難，獲得學生的物理解題困難有 11 項(陳章正、江新合，2005)。然而，在隨後實施學生及專家教師的深度晤談後，發現該項研究可能有所遺漏，例如一位學生在問卷中寫著：「題目看不懂(SOQ95- 16)？」，但晤談後發現：不是題目看不懂，而是物理量的定義不清楚(SIV95205)，如此可能遺漏學生反應困難的資料。

本研究將經由文獻的探討，廣泛蒐集物理解題的相關研究資料，形成較為完整的解題歷程分析工具，再以此探究學生的解題困難，並做適當的分類，期望有效涵蓋高中學生物理解題的困難。

二、 文獻探討

教師如何協助學生解題呢？許多研究都提出解題的教學模式(Polya, 1945；Kilpatrick, 1967；Champagne, Klopfer & Gunstone, 1982；Hestenes, 1987；Lippert, 1988；Watson, 1994；張俊彥、翁玉華，2000)，著重在解題策略的發展。然而，教師與學生對解題的後設認知，以及考量「應用」的教學均是重要的策略。本研究則希望藉由文獻的探討建構一份有效的分析工具，協助教師了解高中學生的解題困難，作為選擇教學策略的參考。

(一)後設認知的重要性

許多教育學者認為發展「後設認知知識」的目標層次，是高於基礎「陳述性知識」及「程序性知識」。Flavell (1979)和 Treagust(2003)都認為後設認知應包含：1.思考的覺知(awareness)、2.認知過程的主動監控、3.認知過程的規則、4.將啟發式教學應用到有條理的問題解決等，因此，學生的解題應注意認知過程，且具有自我調整的能力來幫助自己得到資訊、決定學習內容、對學習目的進行反思和監控，以朝向目標發展（Bruning，Schraw，& Ronning，1995）。所以運用後設認知作為解題策略，應能促進物理解題的能力。Chi, Feltovich 和 Glaser（1981）等人在解題方面的研究，發現專家對於相似的問題，可能會具有屬於該類問題的基模（Problem schemas），而生手對於類似的問題則較缺乏可應用的相關基模，所以解題時常顯得窒礙難行。如何在教學中，引導學生聯結概念和運用各種思考方法解出答案，並建構解題的問題基模和後設認知(Nersessian, 1992)，實為重要的課題。

(二) 解題教學模式的階層性

早在 1945 年，Polya (1945)就曾以其教學及解題的經驗，針對數學的解題發展了四個步驟的架構：1.理解與表達題意、2.解題計畫、3.執行計畫、4.回顧與檢核(looking back)，將啟發式教學法運用到數學的解題中，且接受如此步驟教學的學生，都顯示出相當的進步，不過這些研究的對象與時間都很不足(Maloney, 1994)。1987 年，Hestenes 發展出一套力學的解題模式，分為四個階段：1.描述階段(Description)、2.形成階段(Formulation)、3.分枝階段(Ramification)、4.確認階段(Validation)。此外，Larkin(1983)、Lippert(1988)等許多學者亦曾建構相關的解題教學模式，均包含明確的階層性。

因此,教學模式中相關的階層性能否作為檢核教師解題教學的工具呢？研究者綜合上述文獻的探討，初步形成解題的四大階層：1.理解題意(Understanding Problem)、2.提取概念(Retrieve Conception)、3.選擇概念(Option Conception)、4.反思(Reflection)。但就學習理論的觀點，學生在獲得相關概念之後，仍舊需要連結概念的練習，或日常生活中物理現象的應用(施良方，2001)。

(三)建構應用階層

Toulmin(1972)認為科學知識傳播的共同屬性有科學教師的共同學習、分享、應用與批判，才有所謂真正的概念理解。又說：科學若只學到詞彙和公式，便受到學習的侷限，

只有學會概念與公式的應用，才能真正理解科學的意義。蘇明俊(2004)也認為科學的學習過程中，應用是重要的階段，並形成科學學習模式中的重要階段，此外，他也主張解題有所心得之後，必須將解題歷程模式化，以廣泛應用到其他相關的解題，強調後設認知對於解題的重要性。

顯然，概念的應用在科學學習上具有階層性的地位。

(四) 建構初步的解題歷程分析表

綜合上述的探討，研究者立基於初步所建構的解題四大階層之上，強調「後設認知」的作為，再融入應用階層，完成解題階層的建構工作，並將這五大階層作為解題策略。再根據 Lippert（1988）的解題理論，將每個解題階層依陳述性知識和程序性知識，再分為解題概念和解題行動兩部份。

然而，不同階層的解題概念與解題行動，是否有什麼相異之處，仍待進一步研究。

三、 研究方法

本研究旨在提出分析解題歷程的工具，並探討其有效性。採用「假設－驗證」的研究模式，先藉由研究者的教學與研究經驗，透過文獻探討建構初步的五大解題階層，作為解題策略教學之用，假設此工具能夠協助教師反思自己的解題教學行動，藉以獲得教學中可以改進的事項，並透過解題策略進行教學的實徵研究，精煉此解題歷程分析工具，茲分述如下：

（一）「解題歷程分析表」的建構

1.研究對象：研究對象為高雄市某高級中學二年級第二類組的學生 25 人，男生 18 人、女生 7 人。
2.資料分析的方法：研究者以五大解題階層作為解題之策略進行教學，並將影音資料轉成文字稿(原案)，提取關鍵詞，反覆比對由原案提取的關鍵詞及所隸屬的解題階層，再萃取出更精煉的語意代表該階層在解題概念與解題行動方面的元素，建構更完整的分析工具—「解題歷程分析表」。

（二）運用「解題歷程分析表」進行教學

1.研究對象：研究者運用「解題歷程分析表」進行教學與資料分析，對象為高雄市某高級中學二年級第三類組的學生 37 人(男生 23 人、女生 14 人)。
2.資料分析的方法：為蒐集教學資料轉錄為解題教學原案，請專家根據「解題歷程分析表」協助搜尋學生的困難，且實施分類，與研究者的分類加以比對，以增加信度。質性資料的來源有：教學歷程檔案、教學原案、晤談記錄、學生回饋之心得與意見、教室行為的觀察資料等。

四、研究結果：

(一)　完成「解題歷程分析表」的建構

本研究自行建構的解題歷程分析工具共分為五大階層，以此作為解題策略，每一階層再細分為「解題概念」和「解題行動」的相關元素。研究者以教學原案提取關鍵詞句，持續比較修正，萃取出教學實務中引導學生解題的關鍵元素，如表一所示：

表一 解題歷程分析表

解題階層	解題概念（C）	解題行動（A）
第五階層 應用	聯結(C5) 聯結事例，增添概念	練習(A5) 演練類題，比較異同
第四階層 反思	整理(C4) 整理解題概念與程序	檢核(A4) 檢核解題過程與答案
第三階層 選擇概念	轉換(C3) 根據已知量和未知量選擇公式或圖形關係	運算(A3) A3-2：運算求解 A3-1：選用單位和判定方向列方程式
第二階層 提取概念	蒐尋(C2) 蒐尋相關理論公式	分析(A2) 由變因分析子問題，提出解題計畫或假設
第一階層 理解題意	詮釋(C1) 詮釋題意判斷已知量、未知量及其範圍	表達(A1) 用圖形符號與數值表示題意

以下說明各階層的意義：1.第一階層－理解題意：由經驗或類比的方式，引導學生在讀完題目後，能詮釋題意，確認已知量和未知量，且用符號、圖形或文字表達題目中的已知量和未知量。2.第二階層－提取概念：能由變因的種類和變化情形，思考解題方法，分析出待求的子問題，並蒐尋相關的概念，提出解題計劃和假設。3.第三階層－選擇概念：根據上一階層所提取的概念，和已知條件及待求物理量，選擇合適的公式或圖形關係，將物理量以適當的符號，單位和向量轉換至公式中或圖形，再加以運算求解。4.第四階層－反思：能將解題時分析問題的方法、運用的相關概念、解題程序和運算技巧重新整理，並依題意檢核解題程序及答案的合理性。5. 第五階層－應用：本階層引導學生根據反思所得的解題概念，再聯結相關概念應用於生活事例或解類似題，並比較異同，以拓展知識建構的深度與廣度。

今以第四階層為例說明「解題概念」和「解題行動」元素的形成過程。

1.整理（C4）：引導學生歸納解題歷程中較難理解或原先不知道的概念，從中建立新概念，和解題的基模，有助於下次再遇到類題時，能以順向思考的方式正確地提取相關概念解類似題。

●11-5ALL

20 生：不需要用汽化熱，如果是水蒸汽才要用。（很多學生表示意見）

21 師：很好，水變成水蒸氣才要考慮汽化熱；反過來說，水蒸氣變成水也要考慮凝結熱，這一題是 100℃的沸水不是水蒸氣，所以不用考慮汽化熱或凝結熱。

22 師：解完這題，想想看有什麼要注意的部分？

23 生：先畫出溫度變化圖比較容易理解。（很多學生回答）

24 生：末溫是有範圍的（很多學生回答）

25 生：有溫度變化時，$\Delta H=ms\Delta t$

沒有溫度變化時，$\Delta H=mx$，x 是潛熱（很多學生回答）

26 生：利用冰吸收的熱量等於沸水放出的量。（很多學生回答）

●1-5 S12

9.師：要注意，這算出來只是比例，不是真正的時間，那麼要怎麼算才對？

10.生：要先算出前半程時間

2. 檢核（A4）

引導學生回顧與檢核解題所運用的程序和運算技巧,還要考量運算結果是否符合待求物理量的範圍。

●11-5 ALL

17 師：嗯！很好！40℃在 0℃和 100℃之間，所以這就是答案

18 生 16：汽化熱沒有用到耶！

19 師：需要用到汽化熱嗎？如果不用，那是為什麼？

28 生：解出來是負的耶！可是 t 應該在 0℃和 20℃之間。

29 師：請大家想想看在生活當中，如果把一杯冰塊加入一些冷水，冰塊會馬上熔化嗎？

30 生：不會，所以這一題表示冰塊還沒完全熔化，所以末溫是 0℃

●1-5 S12

15.師：要取那一個答案呢？

16.生：（沈思了一會兒）要怎麼看呢？

17.師：因為跳高後還會掉下來，所以求出的時間代表兩次經過 0.5m 處的時間。

18.生：所以跳高時的時間應該取 $\frac{\sqrt{20}-\sqrt{10}}{10}\cong 0.13$秒，後半程的時間

$0.13\div 0.4\cong 0.32$

20.生：先用 v-t 圖算出時間比，再用公式算出跳高的初速，再求前半程的時間。

(二）第二階段：運用「解題歷程分析表」之實例

研究者運用初步建構的高中物理五大解題階層，作為反思的依據，重新分析高中學生的解題困難。分析的方法有：1.藉由解題五大階層的理論負載(theory laden)，重複搜尋開放式回饋問卷；2.實施解題教學及教室觀察；3.邀請專家教師協助釐清學生的解題困難及其分類；4.深度晤談(專家教師及選取需要了解的學生作為晤談對象)，發現高中學生的物理解題困難共 20 項，並依據五大解題階層區分為五大類(如下表二) ，使得分析結果更為完整。

表二　高中學生物理解題困難彙整表

類別	高中學生物理解題的困難	解題階層與說明
理解題意困難類	不瞭解物理題目的意義	無法憑著經驗和關鑑詞理解題意
	不會運用圖形表示題意	無法用物理概念的示意圖呈現題意
	不會運用符號表示題意	無法將題目中的用適當題意的符號表示
	不知道題目要求些什麼?	不理解待求物理量的定義。例如體積流量速率
提取概念困難類	不知道要怎麼構想解題的計劃	無法分析出子問題定出解題計畫
	不知道有哪些相關的公式	無法根據題意提取相關的公式
	不知道和哪些觀念有關	無法正確的提取相關概念
	比較難或沒見過了題目就不會做	對於新的題目不知如何思考
	解題時有些觀念不知道	對於學習單元缺乏整體認知
	不知道怎麼問問題?	因為不知問題出在哪裡所以不會問問題
選擇概念困難類	不知道要使用哪個公式	無法根據已知量和未知量來選擇公式
	不知道要如何列方程式	無法根據已知量和未知量列出方程式
	不知道要如何運算	無法善用數學運用技巧來解題
	不知道要用哪一種單位	因為單位的多樣性，故不知要以哪種單位為準
反思困難類	題目解答後再遇到類似的題仍舊不會解題	無法從解題中建立後設認知，所以每次都像解新題目
	數學不好	對數學不夠精熟，以至於影響物理解題
	不知道要怎樣直接解題	無法像專家般熟悉解題的程序
應用困難類	為何類似的題目解法又不同	因為已知量和未知量的改變，所選擇的公式就不同
	不確定會解題了沒有	無法確認自己理解的情形
	學到的物理概念不會運用	無法將學到的概念與題目做連結

(三)其他研究發現

本研究經由文獻探討，形成較為完整的解題歷程分析表，再以此探究學生的解題困難，並做適當的分類，研究期間因為五大解題階層的教學，相關的發現如下：

1. 學生能夠對於物理解題養成反思的習慣，並增進解題能力。

教師若提供「反思」的鷹架，例如：剛剛我們是怎樣解這一題的呢？學生可能回答：「我們用比例的方式解題。」如此可以養成學生對解題反思的習慣。

2. 學生能夠提取解題的公式，增進解題能力。

例如：等加速度運動公式有好幾個，解題教學時根據「已知項」與「未知項」，讓學生能夠提取正確的解題公式，增進解題能力。

3. 學生能夠自行建構解題方法。

例如教師若選擇畢氏定理解決三角形的問題，學生可以自行建構出三角函數的解法。

4. 學生的解題歷程必須以前面三個解題階層為基礎。

對於概念不清楚但努力解題的同學，誤以為努力做題目就能得到好成績，結果成績不如預期，因此，解題的歷程必須循序漸進，按照階層性的順序解題是必要的。

五、結論與建議

本研究藉由文獻的探討發展出有效的「解題歷程分析表」，涵蓋理解題意、提取概念、選擇概念、反思、應用等五大階層，除了能夠萃取出較為完整的學生物理解題困難外，更能具體作為分類的標準，提供教師選擇適當教學策略的參考。

基於研究歷程的心得，建議高中物理教師在解題教學時，除了必要的解題步驟(例如前三大階層)外，應當強調「解題後的反思」，以及「解題後的應用與練習」，藉以建立解題基模，提高認知的目標層次，促進解題能力的發展。

六、參考資料：

（一）中文部分

施良方(2001)。***學習理論***。台北：麗文文化公司。

張俊彥、翁玉華(2000)。我國高一學生的問題解決能力與其科學過程技能之相關性研究。***科學教育學刊***，第八卷第一期，頁35-55。

陳章正、江新合(2005)。發展高中物理教學模式之初探性研究。***科學教育研究與發展***(41)頁 1-16。台北：台北市立教育大學。

蘇明俊、江新合(2004)。歸納式野外探究教學模式。***新竹師院學報第十八期***，頁 323-361。新竹：國立新竹師範學院。

（二）英文部分

Flavell, J.H. (1979). Meta-cognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive developmental inquiry. American Psychologist, 34, 906-911.

Larkin，J.H，& Reif，F.（1979）.Understanding and teaching problem solving in physics. European Journal of Science Education，1（2），191-203.

Lippert, R.(1988). Linking Recent Research in Cognitive Science and Problem Solving to instructional Practice: New Possibilities. Paper Presented at the annual American Educational Research Association (New Orleans, LA, April 5-9, 1988).

Maloney, D. P.(1994). Research on Problem : Physics. in *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, edited by D. Gabel _MacMillan, New York.

Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In Giere, R. N. (ed.) *Cognitive Models of Science*. 5--22. University of Minnesota Press. Minneapolis, MN.

Polya, G.(1945). How to solve it. Garden City, NY:Doubleday.

Treagust, D.F.(2003). Scientific literacy, meta-cognitive capabilities and explanatory frameworks. International Conference on Science & Mathematics Learning. NKNU Taipei Taiwan.