

國際理科教育中科學探究理念的發展路徑

王晶瑩

首都師範大學物理系

北京 100048

電郵：wangjingying8018@126.com

收稿日期：二零一零年十一月廿八日

(於二零一一年五月廿三日再修定)

內容

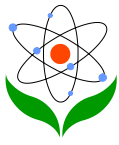
- [摘要](#)
- [引言](#)
- [標準之前的科學探究](#)
- [基於標準的科學探究](#)
- [標準之後的科學探究](#)
- [結論](#)
- [參考文獻](#)

摘要

科學探究一直是國際科學教育領域的熱點問題，本文以國際科學教育的綱領性檔，即美國《國家科學教育標準》為界，分析科學探究內涵的發展路徑，並對科學探究內涵的變遷展開反思。

關鍵字：科學探究；科學教育；科學素養

本文系教育部基礎教育課程教材發展中心承擔的科技部“創新方法工作專項”專項“中小學科學探究學習與創新人才培養實驗研究”(2009IM010300)子課題“基礎理論研究”的階段性成果。



引言

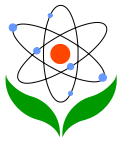
科學探究一直是國際科學教育領域的熱點問題，從杜威 1909 年首次提出科學應該作為思維方式和認知的態度，將科學知識、過程和方法納入學校課程以來，至今已有一個世紀，從最初的杜威、施瓦布、加涅以及後來的一大批學者，直到綱領性檔的頒佈，科學史、科學哲學和科學社會學的深入研究也產生了巨大的影響，人們對科學本質的認識不斷深化，對科學探究也賦予不同的意義，它不僅僅是課程與教學的方式問題，更不是價值中立或價值無涉的，不同歷史時期科學教育改革所宣導的科學探究具有不同的價值取向。^[1] 本文主要以國際科學教育的綱領性檔——美國《國家科學教育標準》為界，探析科學探究理念的發展路徑，反思其意義的演進，以期對科學探究的實踐研究提供借鑒。

標準之前的科學探究

科學探究在學校科學課程中興起近一百年，在 1900 年之前，多數學者將科學視為知識的總體，學生經由直接的教學來學習這些知識。對於這種觀點的批判起於 1909 年，當時杜威在給美國科學促進學會的信中指出，科學教學太過於強調知識的累積，卻對科學作為思考的途徑及心智的態度等方面的教育欠缺。縱觀美國近一個世紀的科學探究的研究過程，杜威、施瓦布、布魯納、薩奇曼、盧瑟福……以及之後的 2061 計畫和科學教育標準都凝聚了數代學者對科學探究的探索。畢比 (Bybee) 在總結科學探究的發展史時談到，科學探究涉及到課程內容、教學策略、學生活動等多個方面；在基礎科學教育領域，科學探究不論作為一種教與學的方式，還是教學目標與內容，都有不同的理論基礎和價值取向。

(一) 杜威的科學探究目標

杜威(Dewey)最早提出了在學校科學教育中要用探究方法，並將探究納入到 K-12 科學課程，作為他教育哲學的核心。他認為科學教育不僅僅是讓學生學習大量的知識，更重要的是要學習科學研究的過程或方法，最好的方法就是從做中學。他指出科學教育的目標應該發展學生的思維和推理、學習科學和認識科學的過程。^[2] 他提出反省性思維過程的“疑難——問題——假設——推斷——驗證”五個階段，不僅科學方法是工具，概念、理論也具有工具性，他推崇近代科學的方法，並不是停留在操作層面，而是認為科學體現了一種新的精神與態度、瓦解舊的信念、樹立新的信念；杜威強調的是近代科學在實驗方法上對傳統思維方式反叛的思維品質，近代科學發展的核心動力是依靠懷疑、探究、假設的精神，他將懷疑和假設作為科學方法的核心。

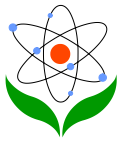


(二) 施瓦布的探究式科學教學

施瓦布(Schwab)主張教師和課本都應該以探究為主，以探究的形式來教。他認為當今的科學家不再把科學作為靜止的真理，而是看作探究的原理、對新證據概念修正的結構，他將探究分為穩定的(stable enquiry)探究和動態的(fluid enquiry)探究，他們的目的和方法都不同。穩定的探究用以解釋當前科學知識不斷增長的空白，動態的探究是概念結果的引發帶來的科學革命。穩定的探究是將教化式的教育作為知識的整體教授給學生，主要是指在一定的科學原理指導下，利用常規的研究方法，發現並積累關於某個問題或現象的科學知識的過程；用於指導探究實踐的科學原理本身在這一探究過程中被認為是正確的。動態的探究與穩定的探究不同，它沒有現成的科學原理或方法作為探究實踐的依據和效仿的物件。它常出現在穩定探究遇到問題的時候，即當穩定的探究利用現有理論或方法不能解決實際問題。動態探究的根本理念是發展一種與傳統認識和做法不同的新概念和方法，甚至是理論體系。施瓦布提出“探究的探究”即是教師給學生提供關於研究的材料，學生參與到問題、資料、技術、解釋、科學家得出結論等方面的討論中，進行多種解釋、實驗、關於假設的爭論、事實的運用等。施瓦布還解釋了課堂中的探究和敘述探究(Narrative of Enquiry)，前者可以看作一種教學方式，還可以看作是課程內容的教學；而敘述探究意味著可以將作為課程內容的探究擴大化，作為教學的探究縮小化，它需要開放性思維，發展結論的準確性和探究的可行性，敘述探究後來發展成個人經驗的研究方法。

(三) 布魯納、薩奇曼和盧瑟福的貢獻

布魯納(Bruner)吸取了德國格式塔和瑞士皮亞傑發展心理學的觀點，在批判繼承杜威教育思想的基礎上，逐漸形成了發現學習的模式和理論。布魯納在歸納推理和問題解決方面的著作，提供了發現學習的基礎，他最有影響力的作品《教育的過程》(The Process of Education)，強調教師應該鼓勵學生利用探究科學的活動來發展直觀(intuitive)和分析(analytic)的技巧。學生在學習情境中必須經過自己主動的探索和來獲得知識的答案，他們應該按照自己的方式去學習。薩奇曼(Suchman)主要從事培養探究能力的小學理科課程研究，他設計了旨在培養學生探究能力、讓學生學會探究的“探究訓練模式”，並提出了展示問題情境、建立假設與收集資料、獲得解釋和反思探究過程的四個基本階段的主張。他認為知識是探究的結果，應該從過程與結果兩個維度評價學生的科學探究能力，注重學生知識獲得的過程以及知識的生成性。他宣導探究教學應該為學生有效地探究做準備，使學生熟悉和掌握科學探究的內在邏輯，親歷探究過程，自主地建構知識，培養科學精神與科學素養。盧瑟福(Rutherford)認為探究既是一種科學內容，也是一種科學觀念。他主張所有的科學教師都應該瞭解科學史和科學哲學，具備較高的科學史和科學哲學素養，能勝任作為探究的科學教學。在他看來，科學過程與科學內容的對立、二分是人為造成的，科學在本質上並非如此。結論與產生結論的過程密不可分，學生不可能脫離一方面而認識另一方面。^[3] 在盧瑟福看來，科學探究的含義是雙重的，一方面探究是科學內容，作為科學事業的探究；另一方面探究是教學技巧，用來學習科學的一



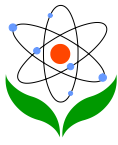
種方法。他認為作為學習方法的探究與作為科學本質的探究是有區別的，只有在確定所要達到的狀況和探究程度的情境下，探究作為內容和操作的前提才能被理解。不按照探究過程所進行的探究方法也同樣可以學到科學探究，只有在仔細分析實驗內容對已知探究的適用性後，才能培養學生關於探究某方面或者某些要素的體驗。

(四) 加涅的科學探究技能和層級

心理學家加涅(Gagne)提出的科學過程方法課程，是用來培養學生的科學過程技能，理念來自於加涅的學習層次(hierarchy of learning levels)。在 20 世紀 60 年代初期，加涅的觀點發展成低年級學習的基本科學過程技能(如測量、推理、預測)和中高年級以上學習的統整的科學過程(如 形成假設、控制變數、解釋資料)；^[4]他認為儘管科學家的探究過程各異，但探究活動存在一些相同的關鍵特徵或要素，如觀察、分類、描述、操作定義、假設、控制變數、實驗、解釋資料、形成結論等，如果學生掌握了這些過程技能，就能逐漸掌握複雜技能，直至從事複雜的科學探究。加涅按照八類學習的複雜性程度，提出了學習的層次理論。基本論點是：學習任何一種新的知識技能，都是以已經習得的、從屬於它們的知識技能為基礎。他把學習理論研究的結果運用於教學實踐，提出從低級到高級八類學習，依次為信號學習、刺激反應學習、動作鏈索、言語聯想、辨別學習、概念學習、規則學習和問題解決。後四種學習在學校教育中最為重要，具體到探究教學中，與基本過程技能和綜合過程技能密切相關。

(五) 美國的科學探究綜合專案

20 世紀 70 年代後期和 80 年代早期，美國科學基金會(NSF)資助了一個綜合性的全美調查項目，評價和研究科學教育在美國的地位。其中一個主要部分是由韋爾奇、克勞夫、艾肯海和羅賓遜(Welch, Klopfer, Aikenhead & Robinson)負責調查探究在科學教學中的實踐情況。^[5]他們的研究表明，在科學家群體中，探究一詞以多種方式使用，包括一般意義上作為內容的探究和作為教學技術的探究，但是這些術語的概念並不清楚。儘管教師強調探究的正面價值，但是他們覺得更有責任教授科學事實、與考試有關的知識基礎和結構以及學科規範。在調查的教師當中，大多數人將探究作為一種教學技術，而不以探究的方式教授科學或引入知識內容，他們不是利用探究的經驗。教師對此給出了很多原因，有管理課堂的問題、滿足州政府的要求、獲得教學儀器和設備的困難、擔心學生損壞儀器、質疑探究是否真的有效等。研究報告指出，在改革實踐中，大部分教師都是表面贊同而不是付諸於實踐，教師支持探究教學的最大障礙是他們的意識。教師對課堂中探究意義的認識存在混淆，對於學科的關注以及學生進行下一階段學習程度的擔憂，對教授科學事實的追求以及遵從大學教授的模式，都是阻礙改革進行的負面因素。畢比等人認為雖然遇到了困難，但是探究教學方式可以推及中學的其他學科，他們號召將科學作為探究的方式進行教學，注重科學課堂的實踐。他們認為在課堂中進行探究的三個重要因素是：①教師必須明確地認識什麼是科學探究；②教師必須充分認識生物學本身的結構；③教師必須熟練掌握探究教學技術的技能。他們的主張



明確區分了兩個方面，即探究作為內容被教師和學生認識，探究作為技術來幫助學生學習科學。

(六) 2061 計畫中的科學探究

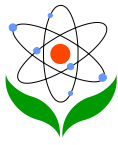
2061 計畫是美國科學促進協會(AAAS)為改革 K-12 科學教育而進行的一項長期計畫，它對科學教育目標的定位，表達了這樣一種理念，即通過對中小學生進行科學教育，使科學素養成為未來美國公民的一種內在品質。盧瑟福首先發起了 2061 計畫，他曾提出將科學本質和科學史作為思維方式的培養途徑。^[6]2061 計畫包括《面向全體美國人的科學》、《科學素養的設計》、《科學教育改革的藍本》、《科學素養的基準》、《科學素養的導航圖》、《科學素養的資源》等一系列出版物，它們是一套完整的科學教育改革工具。

基於標準的科學探究

當我們看到或者聽到科學探究時，大都會想到它是科學教育中一種特殊的教與學方式，這僅是它的一個重要應用，美國科學教育標準所闡述的科學探究不僅包含從事探究的能力，還包含對探究本身的認識以及探究何以導致科學發現的認識，旨在讓學生懂得人類是如何獲得已有知識，以及怎樣的證據能夠支援我們的認識。

(一) 科學教育標準的闡述

1996 年美國全國科學研究協會公佈了《國家科學教育標準》，這是有史以來政府支持制定的第一個全國性科學教育標準，它的突出特徵是對探究的認識。“探究”用於學生層面的時候，它的使用就有兩種不同的方式：其一，它表示學生需要發展的設計和實施科學實驗研究的能力以及應該獲得的對科學探究本質的認識；其二，它表示一種能使學生通過調查研究掌握科學概念的教與學的策略。這樣，標準就將科學知識與科學方法以及科學本質的學習聯繫了起來，也將科學與課堂中的探究聯繫了起來，闡述了師生怎樣通過探究來學會“做科學”，從而學習科學知識、瞭解科學本質。^[7]標準認為，科學探究的內容包含從事探究的能力，對探究的認識以及探究何以導致科學發現的認識。探究的認識與科學知識的關係包括兩個方面：①探究的能力以及對探究的認識不可能憑空產生和發展，探究與科學問題緊密相聯，學生需要運用他們已經掌握的知識進行探究，並且在探究過程中增長知識；②無論是科學家還是學生，他們的探究活動都是與科學知識融為一體的，他們通過對自然界的觀察與研究，建立起新的認識，從而深化自身的科學知識。在參與探究時，學生需要描述物體和事件，提出問題，做出解釋，根據現有的科學知識對做出的解釋加以檢驗，並能把自己的看法和意思傳達給他人；學生會提出自己的假設，運用判斷思維和邏輯思維，考慮各種可能的解釋；學生這樣做可以把科學知識與推理和思維的技能結合起來，從而能動地獲得對科學的認識。



(二) 標準中科學探究的兩條主線

標準中的科學探究主要包括作為課程內容的探究和作為教學方式的探究。作為課程內容的探究是將探究視作教學的目標，強調科學即探究；科學不是知識的堆積，而是一種認識世界的方式，這種認識方式的具體內涵體現在“作為探究的科學”內容標準之中，包括探究能力和對探究的認識兩個方面。作為教學方式的探究要求 K-12 科學教師認識探究是學生必須發展的一系列認知能力，科學家從事科學研究所使用的方法，有助於學生學習科學探究、發展探究能力、理解科學概念的多種教學策略。儘管教學標準明確指出，探究並非科學教師所要採取的唯一策略，但各種策略在標準中的地位並不相同，探究顯然是教學標準的核心。

標準之後的科學探究

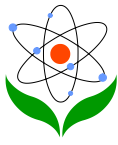
教育學者對科學探究的認識主要是通過對科學探究過程的描述和探討來體現的，他們認為，掌握科學並不僅僅是瞭解科學概念和知識，學生需要發展探究能力，學會科學的思維方法，能夠在試圖解決問題之前細緻地描述問題，判定哪些資訊可以用來分析問題，以及決定描述和分析問題的步驟。通過科學探究，學生能夠獲得新的資料，以改變他們原來的看法，或者加深他們對重要科學原理的理解，發展推理、觀察以及邏輯分析等方面的重要能力。標準之後的科學探究更強調“識別科學問題”、“科學地解釋現象”和“使用科學證據”三個基本維度，並以科學勝任力為核心。

(一) 與科學本質相關的科學探究

標準之後基礎科學教育領域對科學探究的焦點轉為探究教學如何整合“認識探究”與“做探究”兩個方面。因此，在涉及“認識探究”的時候，研究者強調科學探究的本質，將其看作與科學本質相關的科學認識論的組成部分；於是，“科學探究”用來指科學知識發展過程的特徵，涉及到發展、接受和使用科學知識的若干慣例；它是人們認識科學本質和科學素養的仲介，是作為知識建構和確認的方法 (Duschl, 1990)。在討論探究教學的時候，研究者將科學探究與教學相聯繫，看作是“做探究”的過程，即課堂中的探究活動 (Flick & Lederman, 2004)。

(二) 科學發展過程的知識論

萊德曼(Lederman, 2007)指出，科學探究是科學家尋求問題解決的系統取向，他通過長期的實證研究和教學實踐總結了與美國科學教育標準相一致的科學探究的內涵，他認為科學探究應該包括以下八個方面的分析框架：①科學研究都是從問題開始的，但並不都是檢驗假設的；②在科學研究中沒有單一的模式和步驟，科學研究的方法具有多樣性；③探究過程以問題的提出為指導；④科學家即使採用同樣的步驟也不一定能得到相同的答案；⑤探究過程影響到研究的結果；⑥研究的結論必須與資料的收集過程相一致；⑦科學資料與科學事實是不同的；⑧解釋來自於對資料的收集和研究者的已有認



識。儘管科學探究與科學過程有很大的聯繫，但是科學探究並不僅僅是過程技能的發展，它還包括觀察、推斷、分類、猜測、測量、質疑、解釋和資料分析等。^[10] 科學探究包括傳統的科學過程，但是也包括這些過程同科學知識、科學理性和批判思維的融合而發展和生成的科學知識。

(三) PISA 的科學勝任力和科學探究

PISA(The Program for International Student Assessment)是由經濟合作暨發展組織(OECD)所委託的計畫，於 20 世紀 90 年代末期對 15 歲學生的數學、科學及閱讀進行持續、定期的國際比較研究；目的是評價學生在完成義務教育之後，是否能夠掌握未來生活所需的知識與技能。評價主要分為三個領域：閱讀素養、數學素養和科學素養，最近的是 2006 年的第三次 PISA 調查，共有 57 國參加。PISA 2006 闡述了與科學相關的三個方面問題，即科學勝任力(Scientific Competencies)、科學知識和態度，並對科學框架的三個方面進行詳細說明，特別強調了科學探究、科學解釋和態度對科學勝任力養成的重要意義，^[11] 從 PISA 2006 的測量框架中可以看出標準之後科學探究的基本架構。

1、科學勝任力的三個維度

PISA 2006 確定了科學勝任力的三個維度，即識別科學問題、科學地解釋現象和使用科學證據。這三個維度詳細地解釋為：①可以識別能夠進行科學探究的議題，確定搜集科學資訊的關鍵字，識別科學探究的主要特徵；②在給定的情境中應用科學知識，科學地描述或者解釋現象並預測變化，確定合理的描述、解釋和預測；③解釋科學證據並做出結論進行交流，確定結論背後的猜測、證據和推理，反思科學和技術發展在社會生活中的應用。

2、關於科學的知識和態度

PISA 2006 特別強調有關科學的知識對科學勝任力形成的重要性，其中明確提出了科學探究、科學解釋的具體方面，並對探究的態度進行了說明。科學探究主要包括六個方面：①來源(比如科學性問題)；②目的(比如生成證據來幫助回答科學問題以及目前的觀點、模型或理論)；③實驗(比如不同的問題需要不同的科學探究和設計)；④資料(比如量化[測量]、質性的[觀察])；⑤測量(比如設備和過程內在的不確定性、可複製性、變化、準確性和精確性)；⑥結論的特徵(比如經驗性的、暫定的、檢驗的、證偽性的和自我修正的)。科學解釋包括四個方面的內容：①類型(比如預測、理論、模型和定律)；②形成(比如現存的知識和新的證據、創造力和想像力、邏輯)；③規則(比如邏輯的一致性、證據為基礎、基於歷史和當前的知識)；④結果(比如新知識、新方法、新技術和新探索)。關於探究的態度主要包括四個方面的闡述：①瞭解不同科學視角和爭論的重要性；②支援事實性資訊和推理性解釋的利用；③表現對得出結論的邏輯和過程需要；④能夠對人類行為造成的環境問題做出判斷。

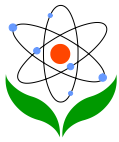


表 1 PISA 2006 的科學框架

科學勝任力	知識	態度
識別科學問題 科學地解釋現象 使用科學證據	科學知識： 物理系統 生命系統 地球和空間系統 關於科學的知識： 科學探究 科學解釋	科學興趣 支持科學探究 對資源和環境的責任感

(三) PISA 2006 的科學探究

畢比(Bybee)對 PISA 2006 的框架做了詳細分析(圖 1)，^[12] 他認為框架中的知識和態度都是實現科學勝任力的必要基礎，科學知識是以往強調的科學概念，“關於科學的知識”包括科學探究和科學解釋，比過程技能更具體和深刻；“對探究的態度”是對科學議題的反應，包括對科學探究的興趣、支持，責任感；情境是以往 PISA 科學素養評價的第三維度。

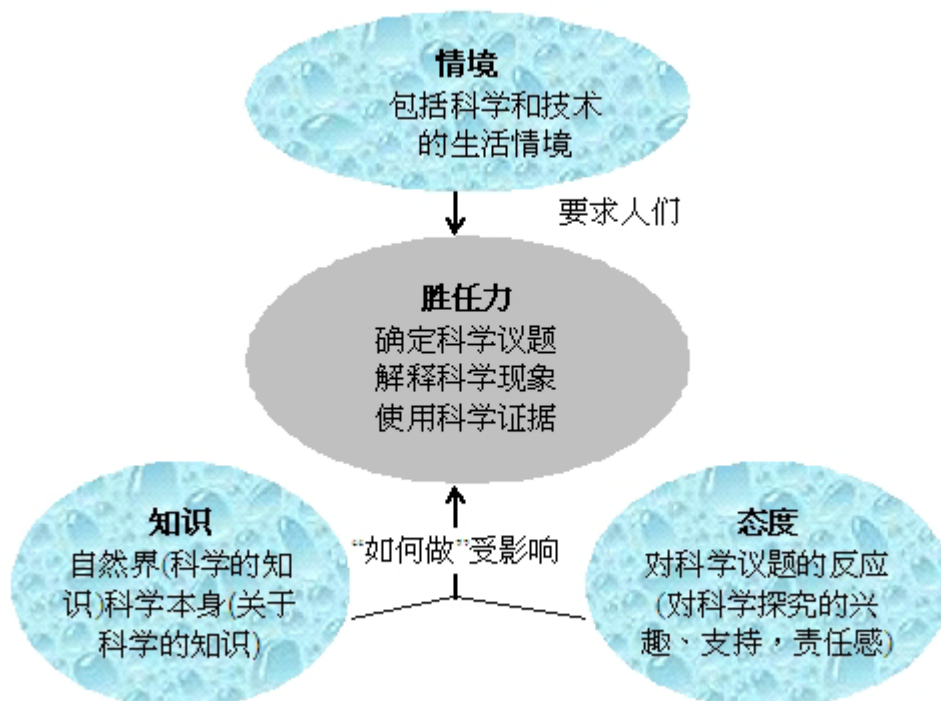
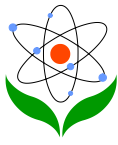


圖 1 PISA 2006 的科學勝任框架



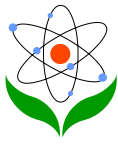
結語

綜上所述，在國家科學教育標準之前國際科學教育界將科學探究作為實驗和科學方法來學習科學知識，後來逐漸將其視為教學方式來發展科學概念；而科學教育標準中的科學探究是作為內容、能力和教學策略的內涵；科學教育標準之後的科學探究是作為一種科學勝任力的意義來理解的。科學探究涉及的範圍很廣，既指現代科學如何進行的基本原則，與科學本質密切相關的科學知識發展的過程和思維方式，還指教與學的過程。從杜威 1909 年提出科學方法和思維的重要性到現在已經有一個世紀之久，人們對於科學探究的追求在這一百年間從未停止過，從機械、靜態的“啓蒙理性”到經驗本質的“探索與實驗”，如今科學的“發現情境”和“辯護情境”的界限逐漸模糊；科學日益具有解釋與辯護的性質，它是一種動態變化且情境關聯有證據的思想。^[13]美國《國家科學教育標準》強調將科學探究作為教與學的方式、課程內容的雙重意義；標準之後的科學探究兼顧“識別科學問題”、“科學地解釋現象”和“使用科學證據”三個基本維度，並以科學勝任力為核心。“以科學探究為核心”已經成為國際基礎科學教育的共識，各國科學教育改革一直提倡探究式教學，其目的在於通過真實情境的探究過程來生成科學知識和技能，認識科學的本質，從而培養必要的科學素養。科學探究的內涵也在不斷演變，由此導致科學教育價值取向的變化，以至整個科學教育的“範式轉型”，科學探究既是我國科學教育的追求，也是必然的發展方向。

注：本文系教育部基礎教育課程教材發展中心承擔的科技部“創新方法工作專項”專項“中小學科學探究學習與創新人才培養實驗研究”(2009IM010300)子課題“基礎理論研究”的階段成果。

參考文獻

- [1] 丁邦平. 論基礎科學課程與教學中“科學探究”的價值取向[J]. 教育科學, 2006(2): 16-19
- [2] Dewey, John. (1910). *How We Think*. Lexington MA: D.C. Heath
- [3] Rutherford, F. J. (1964). The role of inquiry in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 2, 80-84
- [4] Gagne, R. M. (1963). The learning requirements for enquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 1(2), 144-153
- [5] Welch, W. Klopfer, L. Robinson, J. & Aikenhead, G.S. (1981). Inquiry in school science. In Harms, N. & Yager, R. (Eds.), *What research says to the science teacher*, Washington, D.C.: NSTA
- [6][7] National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press



- [8][12] Bybee, R. W. (2008). Teaching science as inquiry: A 40-year personal perspective. A Presentation for the 40th Anniversary of the Science Teaching Department at the Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel
- [9] 張海和. PISA 研究中科學素養評價的內容[J]. 生物學通報, 2005, 40(7): 41-42
- [10] Lederman, N.G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In Abell, S.K. & Lederman, N.G. (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-880). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates
- [11] OECD. (2006). *Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy*. Paris: OECD
- [13] 李雁冰. 科學探究、科學素養與科學教育[J]. 全球教育展望, 2008, 37(12): 14-18