

# 以中西雙方之科學史哲來統整中小學自然科學教材的理論研究

林財庫

高雄師範大學物理系所

(最後修改日期 86 年 3 月 15 日

接受刊登日期：86 年 4 月 10 日)

## 摘要

本文簡要的回顧統整理論的大略發展過程，強調這是牛頓綱領之機械化約自然觀與系統哲學之有機系統整體觀兩種理論間的競爭。我們由科學之歷史的發展經驗提出統整理論需要兩者的互補，因為中國文化的思想體系就是一種有機的系統哲學，它含有一種特殊的邏輯思辯內涵，可作為統整理論之邏輯判斷、推理及統合各種對立之邏輯方法(例如比較與分類、分析與綜合、演繹與歸納等方法)的輔助基礎。因此只要吸收現代科學的實證結果來驗證和豐富這種邏輯思辯的內涵，我們即可嘗試以此作為統整理論的重要指導原則。

**關鍵詞：**科學史哲、統整理論、教材教法

## 一、歷史回顧 (統整理論需要機械化約觀和有機系統觀的互補)

自本世紀三十年代起，R.Carnap(1938) H.Putman & P.Oppenheimer (1958) 等，嘗試以機械化約論的自然觀來建構統整理論，結果失敗。四十年代之後，以有機系統的整體自然觀為核心思想的系統工程論、方法論、運籌學及管理哲學等，在二次世界大戰、美國與蘇聯的太空競賽、登錄月球、大型企業的生產與管理、電腦及其網路的理論、應用、架設、經營和管理等等領域的顯著成效，使得統整科學的夢想再度受到重視。六十年代，I.L.Slesnick & V.Showalter (1961)、J.V. de Rose (1965)、G.M.Francis & C.W.Hill (1966) 等，嘗試以系統的整體觀點來發展國、高中的統整科學課程；聯合國科學文教組織(UNESCO)也在 1969 年進行一個大規模的統整科學之教學計畫(PIST)以協助各會員國建構其具自身文化及區域等特色的統整教材和相關之師資培育。在其指導之下三十幾個國家舉行了很多研討會、出版了很多相關的書籍來解決理論和實務上的各種困難(楊冠正，1980)。尤其是美國、英國、日本、澳洲、印度等最為積極，東南亞方面則有位於馬尼拉的亞洲科學與數學教育中心進行編撰適合東南亞地區初中的統整科學課程，中國大陸的上海市則在九十年代全面的進行統整教材的實驗教學。

遺憾的是所有這些國家的努力並沒有獲得令人鼓舞的結果，其最重要的原因之一是未能為統整理論建立一套適用於科學之各分科的邏輯思維體系(即能

適用於科學之各分科的共同基本範疇(概念)、共同的基本原則、共同的基本原理等)、邏輯思維原則(用以輔助判斷和推理等)及科學認識論與方法論。解決上述這些具有高度普遍性(一般性)的問題，顯然需要從哲學與數學的抽象高度來著手。而在所有的努力當中，以六、七十年代興起的結構主義及近二十年來發展較為成熟的現代系統哲學(包含系統論、控制論、信息論、耗散結構論、協同論、超循環論、突變論、渾沌論、碎行學等等數十門新興的、跨科系的、綜合性科學技術理論)等最具有提供解決方法的潛力。結構主義是一種源自法國，以結構為共同的觀點來研究語言學(de Saussure； Chomsky 1957)、社會學(Levi-Strass, 1969)、心理學(Piaget, 1968, 1972)、歷史學(Foucault, 1966)、人類學(Levi-Strauss, 1963, 1966)、政治學、經濟學、教育學(Faucault, 1966)、文藝(Barthes, 1971)、美學、文學批評(Eco, 1966)、物理、生物(Piaget, 1968, 1972)、數學(Bourbaki, 1948)、符號學(Eco, 1968)； Kristeva, 1967)、哲學(Piaget, 1949)等等，幾乎涵蓋所有科學領域的科學方法論。它在六十年代之後取代盛極一時的存在主義成為西方哲學界最重要的思潮之一。結構主義雖然影響深遠，但它並不是一個統一的、有組織的哲學流派。在所謂結構主義者的著作中，既不重視有關世界之構造的本體論，也沒有闡明認識和真理問題的認識論；既沒有一定的組織體系，也沒有統一的理論基礎，學者甚至對於"結構"的定義也不一致。因此把不同領域中之不同的結構主義者連結在一起的，只是各個具體學科中某些固定的研究方法 and 方向，而這種方法和方向在離開各具體學科之專門對象後並不能單獨存在。這種情形顯然無法解決統整主義所面對的問題。幸好皮亞傑(Jean Piaget, 1896-1980)對此缺點做出關鍵性的貢獻，他從數學及邏輯學中給"結構"下了一個嚴謹、且廣泛適用(具有哲學之普遍層次)的定義，並嘗試建立各種學科之結構的共同原型(例如以數學之群、體、環等理論為代數結構之原形)。皮氏不把自己侷限在語言學、心理學、及其他社會科學、人文科學等的領域，他嘗試把結構主義擴及數學、邏輯學、自然科學與科學技術等領域，為統整理論提供嚴謹的認識論與方法論的基礎。他在這方面的代表作 <<結構主義(1968)>> 和 <<發生認識論(1972)>>，不但用到了數學、邏輯學、生物學及心理學，也吸收了屬於現代系統科學之一般系統論(Bertalanffy, 1968)和控制論(Wiener, 1963)的思想精華，這使得他的理論更具有統整的潛在功能。就統整理論的發展過程而言，皮亞傑的這種統整路線可被歸之於"動力系統路線(Dynamic system approach)" 以之與"計算系統路線(Computational system approach)" 相區別。這兩條路線是所謂認知科學(Cognitive Science)的兩大分支(洪裕宏, 1995)。粗略而言，動力系統的發展路線是以邏輯學、生物學、神經科學、人工神經網絡理論等為基礎，吸收系統論及控制論的精華，以之作為建構統整科學之教材與教法的理論依據；而計算系統的發展路線則是以計算機理論、認知心理學等為基礎，吸收一般系統論與信息論的精華。後者成為早期統整理論最活躍的發展園地，並因此導致現代認知科學的誕生。

以上兩條統整路線有幾個明顯的共同點，例如，(1)都是以系統、整體的世

以上兩條統整路線有幾個明顯的共同點，例如，(1)都是以系統、整體的世界觀(而非機械化約觀)來研究事、物、現象、認知、思維等等；(2)都用到了現代系統的綜合性理論(而非只注重分析、歸納的邏輯方法)；(3)都強調系統的整體性、層次性、調空性、同構性等動態關係原則等。這些都是有機系統思想的主要內容

我們在〈科學認識論及方法論之機械化約觀與有依系統觀〉一文中，從西方的科學史和科學哲學(HPS)中比較、分類、概括、整理此兩思想體系的歷史發展過程，對其邏輯思維的理論體系進行系統的比較，以之作爲統整理論之科學認識論與方法論的基礎。並指出雖然著重分析性、局部性、孤立性、機械性、封閉性、分散性等的機械化約觀點與著重綜合性、整體性、關連性、有機性、開放性、動態性等的有機系統關形成強烈的對比。但兩者並非對立衝突而是互補互助、相反相成。唯有彈性的兼顧兩者之專長我們才能對大自然的實質及其變化的內在規律作深入的刻畫，才能對大自然有整體的瞭解。因此統整理論的世界觀應是這兩種自然觀的互補。

我國目前中小學自然科學的教材主要是以機械化約觀來編寫。他們都具有千錘百鍊、簡明扼要、且易於進行教學的優點。但也存在一些可再改進的缺失，例如

1. 以經典力學(機械化約觀)的思想框架來介紹相對論及量子論(這兩種理論應以有機系統觀來介紹(參表一))；
  2. 機械化約觀的思想框架不適合用來瞭解現代之綜合性及複雜性的科學和技術理論(例如遠離熱平衡狀態、非線性系統、開放系統等等，參表一)；
  3. 對科學方法論不夠重視。未能根據科學史的發展過程，對曾經產生關鍵重要性之科學方法，進行系統、明晰的分析和介紹；
  4. 過度著重物質知識的堆積，缺乏能使物質與精神相結合的人文、社會等內涵(例如未包含科學史、科學哲學、及未嘗試使科學-技術-社會-人文一體化)；
  5. 各科之間缺乏聯繫(各有不同的研究方法和理論體系)，甚至同一科目的不同部份也存在不相統屬的情形。例如物理學的各個分支；
  6. 未能吸收科教研研究的合理內涵，缺乏雙向或多向互動的反省機制；例如著重機械性的刺激(輸入)和反應(輸出)，未能把師生間、學生本身、學生與學校、社會、家庭等之間的互動，合理的列入考量。
- 以上現有中小學教科書的優缺點都應該在統整理論中列入考量。

表一、物理學之機械化約觀與有機系統觀之比較

機械化約觀(經典力學)(MR)	有機系統觀(OS)(現代物理及現代系統論)(MST)
1.核心概念：存在實體、作用	1.核心概念：事件、信息、關聯(RT、QM、MST)

續下表

## 續上表

a. 時間、空間與實體都是絕對的、獨立的、真實的(可感知)	a. 時間、空間與實體都是相對的，彼此為有條件之統一體及容許超感覺的認知(RT、GRT、MST)
b. 空間內一無所有(真空)	b. 空間中充滿場、能量(元氣)
c. 交互作用主要是線性的	c. 交互作用(關聯)主要為非線性
2. 核心理論：原子論、機械力學(線性因果律)	2. 核心理論：場論(單子論、中國元氣論等)、現代系統理論
3. 基本原則：	3. 基本原則：
a. 化約論原則(個體性原則)	a. 有機論原則(整體性原則)(MST)
b. 單值決定論、單向因果律(必然性、可預測性)	b. 多值機率論(SG,DS,BFC)、統計因果論、互為因果論、因果網絡論、因果長鍵論，必然與偶然統一論(QM、QFT、MST)
c. 實在論原則(主體與客體分離)	c. 主客體統一(MST)
d. 可逆性原則(對稱與守恆)	d. 可逆與不可逆統一(SG、DS)，對稱與對稱破缺統一(QCD、QED)，守恆與不守恆統一(MST)
e. 簡單性原則(理論、自然律的客觀簡單性)	e. 簡單性與複雜性統一(MST)(一與多統一，理—萬殊)
f. 連續性原則(所有主要的物理量都是連續的)	f. 連續與斷續統一(QM、MST)
g. 精確性原則(任何不確定皆可克服)	g. 容許不確定，認其不會影響精確性原則(QM、MST)
4. 邏輯思維之特性：	4. 邏輯思維之特性：
a. 比較重視邏輯分析法、歸納法及實證法	a. 比較重視邏輯綜合法、演繹法，並在無法實證的情況下(例如微觀、宇觀)接受邏輯思辯的結果。
b. 外因論(外力論)(精神被動，消極反映)	b. 內因論與外因論統一(自發與受迫綜合、組織與自組織共存)(MST)(精神能動，主觀進取)
c. 靜態循環變化觀(平面性)	c. 動態循環進化觀(立體層次性)(OS)
d. 局部、片面、個體	d. 全局、全面、整體(OS)
e. 邏輯思辨內涵不明顯，若有則以“二律背反”為主要思辯原則	e. 有邏輯思辯內涵，且以相反相成、互補互助、對立統一為主要的思辯原則(MST、DS)
f. 封閉系統，熵增加，均勻亂度大，近熱平衡狀態	f. 開放系統(MST),熵可正可負(DS)，有結構秩序性高(MST)可遠離熱平衡狀態(DS)
g. 否定方向性及目的性	g. 具有方向性及目的性(CN)

## 續下表

續上表

<p>h. 整體為個體之和(物質、能量等之守恒)</p>	<p>h. 整體大於個體之和(MST)(物質與能量等守恒，整體之結構與功能等不守恒)(MST)</p>
<p>i. 主要為宏觀層次</p>	<p>i. 適用於所有層次(MST)(渺觀(QFD、QCD)－微觀(QM)－宏觀－字觀(RT、GRT))</p>
<p>j. 部份對整體具決定作用及單向因果關係</p>	<p>j. 整體具主導作用，整體觀念具先導作用，整體與部份存在雙向因果交流(回饋)(MST)</p>
<p>k. 整體是由部份建構(堆積)而成；整體的一切活動取決於其結構；整體之功能係根據因果關係之直線鏈。</p>	<p>k. 整體是由部份成長而成；整體之結構取決於其過程(動態的過程導向)；整體之功能取決於“反饋環”之信息交流的循環型態(透過相依性的反饋環相互作用，非線性之增強)(ST、CN、DS、IT)</p>

符號說明：

- |            |            |
|------------|------------|
| MR=機械化約論   | OS=有機系統論   |
| RT=相對論     | GRT=廣義相對論  |
| SY=系統論     | QM=量子力學    |
| QFD=量子場論   | QCD=量子色動力學 |
| QED=量子電動力學 | SM=S 矩陣理論  |
| BT=靴化理論    | CAT=突變論    |
| SG=協同論     | DS=耗散結構論   |
| CBN=控制論    | HC=超循環論    |
| FT=碎形學     | IT=信息論     |
| MST=現代系統論  | CT=渾沌論     |
| BFC=分叉理論   |            |

## 二、統整理論需要互補的邏輯科學方法(比較與分類、分析與綜合、演繹與歸納、邏輯與歷史的辯證綜合)

“物極必反，循環反覆”，這是人類歷史發展的一般規律，也是科學史、哲學史等的發展過程中普遍遵守的法則。人類早期的思想家常常同時擁有樸素的機械化約思想和有機整體思想，而不會感受到任何的衝突。只有在政治、宗教等勢力強行介入之後，這種情形才發生比較明顯的改變。就西方而言，在宗教統治時期，比較重視邏輯的綜合、演繹方法的有機系統觀佔優勢；文藝復興之後，比較重視邏輯的分析、歸納方法的機械化約觀是思想的主流；自本世紀以來有機系統思想又逐漸抬頭，不過這次的有機系統觀不是一種復古，而是站在過去機械化約觀之分析與實證的基礎上所建立起來的“新的綜合”，具有

統合兩種思想體系的思辯內涵。我們在〈系統認識論與方法論之思想體系初探〉一文中，探討西方現代系統理論之哲學的思想體系(即以比較、分類、抽象(以上為分析)、概括(歸納)、類推(演繹)、集合、聯繫、綜合、統一等為環節的螺旋進化體系)，做為統整理論的科學認識過程和方法。我們也從科學史中提出明確的證據說明，近三百年來科學理論之進一步的發展與產業技術的革命等，都是建立在綜合、統一過去看似對立的事物、現象、方法、思維等的基礎之上。根據這些歷史經驗，未來之統整理論的科學認識論與方法論，也應該是各種邏輯方法的互補，並從中西雙方之科學史、哲中去尋求互補和統一的可行路徑和靈感。

### 三、統整理論需要有科學實證基礎的邏輯思辯

邏輯思辯如果沒有科學的實證予以支持則常會淪為知識的陷阱。中西雙方之科學史上都不乏令人警醒的例子。但近代的所謂科學實證也並非是獲得真理的唯一途徑，同樣來自科學史的眾多證據亦指出，創造性的思維常常需要藉助兩種互補的模是來完成，一是以邏輯、抽象為特徵的西方理性思維；另一是以直覺、內省為特徵的東方傳統思維(邏輯思辯)。著名的哲學家 Bergson 說：「直覺是發明的根源。所謂直覺是一種理智的交融，這種交融使主體與客體合一，使主體能深入的瞭解客體的內在本質」。愛因司坦進一步的闡釋這個論點，指出：「自古以來，西方之科學理論的建立常常是以假設開始，然後逐步的推理、證明。這些作為理論之基石的基本假設並不能從經驗材料的邏輯歸納中得出，而是直覺(靈感)的思維產物，但這種直覺思維並非是主觀隨意的，而是以對經驗的共鳴理解為依據」。在他們看來直覺(靈感)的思維在高度的發展之後，也可以成爲一種可與邏輯思維相比擬的理性思維，且這兩種思維方式都能只看到真理的一側面，因而真正能較完整的呈現事實的思維方式，應該是兩者的互補。我們在〈皮亞傑建構主義之思想體系研究及其在中小學科學教育之統整理論上的應用〉一文中指出，現代哲學(例如現代系統理論的系統哲學、現代物理學之過程哲學、皮亞傑之建構主義等)一致指出：「互爲一體之不同概念(例如“陰陽概念對”的邏輯思辯)，可用以描述實體的不同測向和層面，而無須將任何層次的現象化約爲其他層次的現象(機械化約論)。」在該文中我們以系統哲學來擴大皮亞傑之建構主義的思想體系，提出以系統哲學爲統整理論之邏輯思維體系和邏輯思辯內涵的基礎。並且在〈中國傳統哲學思想之公理化體系初探及其在中小學科學教育之統整理論上的應用〉一文裡，我們指出中國有最早、最完整的邏輯思辯體系。這種思辯體系被很多現代系統理論的原創者(例如 Berlanffy(1968), Prigogine (1977), Haken(1983), Thom(1977)等)視爲是其所欲建構之系統哲學的靈感泉源，甚至是“道之以一貫的哲學基礎”(F. capra, 1982)。此顯示中國傳統的有機系統哲學如果能利用現代系統理論的實證結果來提煉其合理的內核、去其糟粕，以之來建構統整理論的的邏輯思維體

系、邏輯思維原則及科學的認識論和方法論，使我們能以自己文化的眼光來瞭解現代科學，使科學-技術-社會-文化一體化，那麼根據過去科技發展的歷史經驗，這種整合將會造成科技與文化的開創性發展，再造如李約瑟爵士的研究所稱中國在宋代之前世界一流的文明(李約瑟, 1965-95)。我們在該文中正是遵循這種想法，以現代系統理論來整理〈氣一元論〉的公理化體系，以之建構具有中國文化特色之統整理論的邏輯思維體系、邏輯思維的原則和原理、及科學認識論與方法論，並把他們直接應用到統整中小學的自然科學教材之上。

#### 四、統整理論的實見需要一以貫之、深入淺出的統整理念

一個理論體系的各個組成及其間關連的環節常常是及啣抽象而難以掌握，因此提煉出能夠“一以貫之、深入淺出”的簡單理念，在實踐及應用上非常重要。我們在〈由中西雙方之科學史哲的一些關鍵實例看類比、同構在科學教育統整理論上的可能應用〉一文中，再一次的從中西雙方之科學史哲中歸納出以類比、同構作為貫穿統整理論各個環節的核心思想，使統整理論能深入淺出，以最親和的表象來進行統整的工作。此與懷德海(A.N. Whitehead, 1861-1947)之過程哲學以“對比”(具思辯內涵的類比)來貫穿上學的三个層次(經驗層次、歷史層次、系統層次)，作為形上學之各層次的結構與動力的內容和方法完全一致(沈清松, 1994)。我們從中西雙方之科學史哲中列舉眾多關鍵性的實例來證明，類比、同構是人類自古以來最普遍的邏輯思維方式。不論是機械化約觀和有機系統觀都是如此。不但是人類社會的發生和發展的歷史是如此，人類的技術、文學、藝術、科學理論、近代產業技術的革命、及重要科學哲學體系的建立等等，也都是如此(即以具思辯內涵的類比、同構作為主要的思維模式)。甚至現代的科學教育理論不論是在教導、學習、解難、教法、模型建構及創造性思維等等，也都廣泛使用類比、同構的理念。

#### 五、結論與討論

我們所提出的統整理論與現代科學教育的主流思想並不背離。它是皮亞傑結構主義即發生認識論之思想體系的延伸，是屬於認知科學之“動力系統進程”的一條發展路線。不過與前人之研究稍有不同的，我們不是以心理學、神經科學及人工智慧等等理論來進行研究，而是嘗試以中國固有的哲學思想和邏輯一元論、理一元論、心一元論等)結合現代系統理論的有機系統思想和邏輯思維原則等來進行統合，並從中西雙方之科學史哲中去尋求統整經驗 靈感和證據。

#### 參考書籍:

1. 李約瑟，〈中國之科技與文明〉台北：商務出版社，1965-1995年。



2. 李幼蒸譯，〈〈結構的時代〉〉台北：谷風出版社，1988年。
3. 坎培拉(F. Capra)，〈〈文明之轉捩點〉〉台北：牛頓出版社，1982年。
4. 林德宏、張相輪，〈〈東方的智慧〉〉南京：江蘇科技出版社，1995年。
5. 林財庫，〈科學認識論及方法論之機械化約觀與有機系統關的比較〉，〈〈科學教育學刊〉〉5卷第一期1-25頁，1997年。
6. 林財庫，〈系統認識論及方法論之思想體系初探〉，〈〈物理教育年會暨研討會論文彙刊〉〉，1996年。
7. 林財庫，〈皮亞傑建構主義之思想體系的研究及其在中小學科學教育之統整理論上的應用〉。(尋求發表中)。
8. 林財庫，〈中國傳統思想之公理化體系初探及其在中小學科學教育統整理論上的應用〉。(送審中)。
9. 林財庫，〈由中西雙方之科學史哲的一些關實例看類比、同構在中小科學教育之統整理論上的應用〉。(尋求發表中)。
10. 洪裕宏，〈科技整合的省思--以認知科學為例〉，〈〈科學月刊〉〉七月號1-10頁，1995年。
11. 沈清松，〈〈物理之後/形上學的發展〉〉台北：牛頓出版社，1994年。
12. 國科會科教處，〈〈學門資源整合規劃資料〉〉，1996年。
13. 愛因斯坦，〈〈愛因斯坦文集〉〉上海：商務出版社，1976年。
14. AAAS: Clearinghouse Report, 1972.
15. Bertalanffy, I. V., General system theory, George Braziller, 1968.
16. Piaget, J., The Structuralism, University of France, Paris, 1968.
17. Piaget, J., The principle of genetic epistemology, Routledge and Kegan, Paul, London, 1972.
18. Showalter V., Symposium, Way to Integrate Science, The Science Teacher, 1973.
19. Trowbridge, L., Integrated (unified) Science, 彰化教育學院演講, 1980.