

公立中小學統合科學課程： 其問題與趨勢

—卓播禮博士在師大科教中心講題之四—

郭鴻銘譯 國立臺灣師範大學

近幾年來，世界各國中等學校（國中及高中程度）之課程發展有一現象，就是趨向於發展統合性科學課程（integrated or unified Science）。雖然早在1950年就有人在統合科學課程方面，從事一些起步性的工作，但直到最近，大家才開始認真的試圖將各個不同學門之科學統合起來。這種新趨勢之起因為何？並不太清楚，我們只能臆測一些可能的原因。

古時候，一個人可能瞭解所有的科學，這種情形一直維持到18世紀中葉仍然為真。在此一時期，一個受過教育的人除了瞭解科學之外，他可能同時是一位哲學家、政治家、甚或又是神學家。

或許我們可以說最近大家熱衷於統合性科學課程之一個可能原因是太空探險的結果。太空探險使人類意識到他們所居住的世界是一個獨一整體的世界。的確，從月球上看到懸浮於太空中之地球的景色，影響人類之觀點頗鉅。它使大家意識到人類互助合作，有效利用地球上僅存之有限資源的必要性。地球的獨一整體性，已成為人類生活上確知的事實。

近年來，大家又體認到，如果科學遠離一般大眾，大家不瞭解其用途及其對社會的影響，那麼科學必定不能有所作為。近年來，學問的發展愈來愈專門化，在研究及工技方面，尤其如是。

因此之故，每當科學上之新發現被用來解決工技方面技術性的問題時，其所附帶產生的工技危害，常被一般大眾誤解、怪罪到科學家身上去。專門化的結果，已經產生了人們互通訊息的鴻溝。此種情形，更加重我們須要考慮世界問題，不僅僅為科學方面的問題，同時也是社會、經濟及人文方面的問題。

近來，大家又開始認為中等教育應為通材教育，不應為職業教育或專門學科之教育。這對於國中程度之教育的確是事實，對於高中教育或許就沒那麼肯定了。除此之外，大家也很關心注意「科學素養」的想法。這裡所談的科學素養並非指科學專門人材的科學素養，而是指深受科學、工技化生活方式之好壞影響的一般大眾而言。

大家也瞭解到科學的知識、內容，不是一天可造成的，而是經過長時間有系統的科學過程（Science Process）所達成的。因此須要將科學知識與科學過程統合起來的事實，也就愈來愈明顯了。

各個不同年級程度的統合科學課程均有人發展，最新之統合科學課程，可能是紐約大學一個研究小組所發展的國小程度的統合科學課程。此課程的概念結構，強調各門科學的統合本性（Integral nature of all Science），其名稱為「概念取向的小學科學」（Conceptually Ori-

ented Program in Elementary Science)，簡稱COPEs。領導人是紐約大學的夏姆博士 (Morris Shamos) 和巴納博士 (Darrell Barnard)。

COPEs課程採用五個概念綱領 (Conceptual Scheme) 作為限制概念，螺旋式設計之課程的架構。這五個概念綱領是(1)宇宙的構造單位，(2)交互作用與變化，(3)能量守恆，(4)可用能量的減少 (The Degradation of Energy) 和(5)自然的統計觀 (The Statistical View of Nature)。為了使大家明白看出這五個概念綱領中的科學統合本性，我們簡短地敘述各個概念綱領之內容於下：

1 宇宙的構造單位 (The Structure Unit of The Universe)。

科學家繼續不斷的在探求、瞭解自然界物質 (生物或無生物) 的本質。這些研究的結果，使得一般科學家均認為「宇宙是由許多構造單位組成的」這個概念是正確的。大家相信宇宙是由許多各個不同之物質單位所組成的。從大尺度的觀點看，星球 (Star) 及其行星 (Planet) 可視為宇宙的構造單位。和我們大家共存的每一棵植物或每一隻動物，從某一階層之組織的觀點看，可視為地球上生命界的構造單位。從另一個較小階層之組織的觀點看，生命體之構造單位為細胞。再進入更小之階層，我們可視晶體、分子、原子為宇宙之構造單位；電子、質子、中子等為原子中更小的單位。迄至今日，科學家仍然繼續不斷的在找尋更小、更多的物質之基本單位。

2 交互作用與變化 (Interaction and Change)。

根據多年觀察的結果，科學家相信整個宇宙在不斷的變化。他們相信這對於星球 (恆星)、地球及地球上所有的生物體均為真。有些改變，如地質的改變，須時甚久，另一些改變如爆炸時的化學變化，則可在瞬間

完成。科學家確信，這些變化均為宇宙構造單位彼此發生交互作用的結果。

3 能量守恆 (The Conservation of Energy)。

「宇宙之總能守恆不變」是近代科學家所相信的最基本且影響最深遠的信念。他們相信能量可從一種形式轉換成另一種形式，但其總值不變。當他們做實驗時，每當他們發現有某些能量失去時，他們老是努力的去找尋另一種新的形式的能量以求補償。事實證明，此種信念在科學上確曾導引出重大的發現，如果無此信念，此類發現將為不可能。

4 可用能的減少 (The Degradation of Energy)。

這個概念與能量改變的方向有關。科學家發現自然過程的趨勢是使能量的改變朝著一個方向走，此方向是使能量所能作的有用功，愈來愈少。總能量雖然不變，但部份能量轉變為熱能，而使得可用能減少。

5 自然的統計觀

科學家相信，我們對自然事件在基本根源上是不能肯定作預測的。我們只能從統計的基礎上去作預測。對自然以統計的觀點看，使我們能對諸如：放射性、遺傳特性的世代傳遞和分子運動等的自然事件做預測。當然這只能在有許多類似事件發生的情況下，方才可用。(註一)。

除了概念的統合統整外，COPEs並重複的使用分析、分類、傳達、實驗、解釋、數學推理、測量、觀察和預測，將這些科學過程編織於整個課程中。使學生能體會到科學過程與科學概念的統合本質。

第二個使用統合科學觀念之小學科學課程是美國加州大學的「科學課程改進研究」(Science Curriculum Improve Study) 簡稱SCIS。SCIS自稱其課程目標是發展學生之科學素養。科學素養的一個重要意義是對生物及物理科學之

基本概念，具有足夠的知識與瞭解，使其能有效參予廿世紀的現代生活。科學素養的另一涵義是發展出自由且追根究底的態度，並能應用理性過程從事決策。

在 SCIS 的課程裡，兒童有充份的心智自由去學習。老師尊重學生的想法，兒童能自己做實驗測試自己的構想。他們學得根據自己的觀察結果而非根據師長的權威意見來判斷新構想的正確性。在理想的情形下，這些學習經驗將能遷移到他們生活上的其他領域內，使兒童能客觀的衡量事實證據，從事有理性的決定。

SCIS 採用以材料、教具為中心的方式進行教學，因此教室成為實質上的實驗室。在教學過程中，兒童處理、身歷科學方法的三種層面，即探索、發明與發現。首先兒童探索新的觀念；在

此一層面的活動裡，教師或給予指導或讓兒童完全自由的操作、觀察適當選擇之教具，使兒童有直接與自然現象接觸的新經驗。其次，教師引進新的概念解釋兒童剛剛觀察、接觸之新經驗，這一層面的教學活動稱為發明教學。接著，教師更提供給學生有更多新經驗的教具操作活動，讓學生擴大瞭解並應用，教師所引進的新概念於這些新的學習活動中。這一層面之教學活動稱為發現教學。我們預期發現教學的過程能使兒童瞭解新學到的概念能應用在許多新的情況，換句話說，發現教學的層面，能增強、精煉並擴大新概念的領域。（註二）。

為顯示 SCIS 將物理科學與生物科學統合之特性，他們將教材設計為六年使用，每年各包含有一個物理及生物科學之主題，其順序如下：

物 理 科 學	生 物 科 學
第一年：物體與物質	生物體
第二年：交互作用與系統 (Interaction and System)	生命循環 (Life Cycle)
第三年：次系與變因 (Subsystem and Variable)	族群 (Population)
第四年：相對位置與運動	環境 (Environment)
第五年：能源	群落 (Community)
第六年：電磁交互作用、模型	生態系 (Ecosystem)

據個人之瞭解，這些單元之教學，有適量的物理—生物之跨科學習。學生在整個課程中，將學到許多同時與這兩個不同領域之自然科學有關之概念與科學過程。

為了說明統合科學的須要性，我們將舉出一個須要合科知識之實際問題的例子。一個可能的例子是空氣污染的問題，此問題是世界上任何國家所共有之問題。

從物理的領域看此問題，舉凡研究氣體運動的物理、大氣環流的模式、大氣中熱量與溫度的變化、穩定性之變化及大氣動力學等均屬物理的範疇，並代表着各種影響地球大氣之重要因素。

從化學的觀點看，侵蝕為污染影響之一例。二氧化硫氣體對橡皮、衣料、塗料等物質之影響；大氣中鹽份對鐵、鋁等金屬之影響等均屬化學範疇內的問題。又如發動機產生的臭氧及至今尚

未能完全明白，但確知可能與氮肥、二氯二氟代甲烷 (freons) 及超音速客機之影響有關之破壞臭氧過程，以及烟瘴 (smog) 之產生等問題均屬化學的問題。

從生物學的觀點看，空氣污染可能引起癌症、肺氣腫及其他肺病之感染；也可能影響植物的生長及光合作用之進行。雲層之掩蔽、太陽輻射之改變及紫外線等也會影響植物的成長。空氣中臭氧含量的減少，會提高紫外線輻射量，人類皮膚癌之感染或許是其影響之一例。

從上面的敘述中，可說明大氣的獨一整體性。我們應從整體的觀點去學習它，不宜像一般學校所常做的，以零碎分割的方式來教學。

美國初級中學地球科學課程計畫 (Earth Science Curriculum Project Course) 是在 1965 年開始發展的，它是大力推動包括數種學

科之合科課程並注重邏輯上相互關聯之科學原理的先驅課程之一。此課程之統合性主題(unifying theme)是：(1)研究人類的環境，(2)以地球科學作為探究過程。此課程經由探求更新、更精確之地球科學知識，致力於使學生瞭解科學之探究本質。為達成此目標，課程設計者所選擇之教材和實驗研究活動，強調時間的觀念、證據的不完整性以及暫時、臆測性結論的必要性。

ESCP非常注重地球各種系統間界面的觀念，如岩石圈與水圈的界面、水圈與大氣圈、大氣圈與太空領域的界面等。課程結構以概念主題為骨架，配以水循環、岩石循環(Rock cycle)為中心的科學內容。其所包含之部份概念主題是：變化的普遍性，宇宙中能量的傳遞，對環境改變的調適，質能守恆，時空中之地球和過程的均勻性。一個歷史性質的概念主題強調追求新知是人類努力探求的目標。探究主題則包括有瞭解尺寸比例(scale)、模型(model)、預測(prediction)、不準確性(uncertainty)及相關之技能、態度。

此課程之教本的名稱為研究地球(Investigating the Earth)，全書分成四個主要單元，下分26章。第一單元將地球視為動力系統(dynamical system)處理，第二單元探討地球自然過程的各種循環本質，第三單元則發展地球為歷史之記錄的主題，第四單元則探討宇宙與地球之關係。

ESCP亦為以學生活動為中心之課程。學生須要給予自由並鼓勵他們自己去思索、探究。大部份的實驗探究，其內容均無固定之結果，使學生有機會形成多種不同的假設。達成課程目標的教學形態是鼓勵學生發問、解釋、推理、思索之探究式教學。

ESCP開始時是一個機構，它負責創立一個以指導下之探究學習為模式，且適合時代需要之地球科學課程。在ESCP之前，美國地球科學教學之進展甚為緩慢。美國第一個地球科學課程是在紐約、賓州、康州使用，此約教了15~20年

之後，至1965年才有ESCP之發展。迨至ESCP發展出來後，全美國之中學均採用ESCP或對其略作修改之地球科學課程。

此課程特殊性之目標是創造一個課程材料，能引使師生間有更開放及互信的關係，並促進師資訓練及自由教育計畫的進行。此計畫之內容強調發展能使學生自行負起學習責任和注重個別差異及以學生活動為中心之教學。其重要之特色為：(1)本課程處理科際間邊界之分類與消除師生間之隔閡，(2)視科學為眾多之人類活動，不能分割為不相干之部份，(3)教師的地位是輔導學習者或為顧問，而非知識灌輸者或經理，(4)老師與學生均被視為具有多重興趣並有個別特性之完整個人，兩者均應在有愛、有信之情況下，給予發展之機會。

1954年凡諾斯傳出版公司(Van Nostrand and Publishing Co.)出版了一冊由何格(Hogg)，格羅斯(Cross)和理德(Little)三人所著物理科學一書。此書為首次有人試圖將物理與化學統合合科之嘗試。本書有其缺點，我們將在討論師資教育時提及。僅有美國東北部少數幾個學校採用，它從未達到被全國使用或認可之程度。

第二次嘗試創立中學統合科學課程是在1955至1960年間。布蘭杜溫(Paul Brandwein)為Harcour, Brace Co.所寫之課本。該課本主張分四年教科學，由九年級開始教(相當於我國初三程度)，課本名稱分別稱為科學Ⅰ、科學Ⅱ、科學Ⅲ及科學Ⅳ。作者編著此課程之理由與現今大家主張統合科學課程之理由相似。但正如以前此類課程之命運一樣，其理由並不為一般高級中學所接受，結果僅有美國中西部少數一、二間學校採用。

較晚近的中學統合科學課程是由威斯康辛州蒙樂那一葛羅夫高級中學(Monona Grove High School)所發展的，名為「中學之概念中心課程」(Concept Centered Curriculum for High School)。該課程之計畫主持人為派

霍 (Care Pfeiffer)，課程之總目標是為該高級中學發展出一統合性，以概念為中心之科學課程，用以取代各科之科學課程。

此計畫之重要特徵之一是：他們相信統合性的課程比傳統分科課程更能使學生達到學校對學生所要求達成之教育目標。(註三)

課程所採用之主要教學方法計有：自己學習 (Independent study)、實驗探究 (Laboratory investigation)、演講 (Lecture)、研討會 (Seminar)、討論會 (Discussion session) 及資料中心計畫 (Resource center Program) 此外並設有顧問，協助採用此教材之教師。整個課程是由老師們採用協同教學 (teaming teaching) 進行的。

1970 年馬麗蘭大學之蓋德納博士 (Dr. Majorie Gardner) 發起並主持編制一化學課程，名為「科際趨向之化學」(Interdisciplinary Approach to Chemistry)。他們的目標是在化學的範圍內統合其他有關的科學學科，此與傳統化學課程之單元設計方式不同。(註四)。此計劃之總目標是設計一個更有興趣，更能調適配合地域狀況及時代要求的課程，期使化學課程能廣為學生所喜愛接受。特殊目標則是為高中及大一程度發展一個包括有許多可互換之組合性單元 (modules) 的化學課程，使其更具有彈性、研究性、相關性、新奇性、探究取向性及更有趣

該課程並試圖給教師有選擇之餘地，任其選用該教材作不同之教學，如：使學生自步學習 (self pacing)、獨立學習 (independent study)、小型短課程 (mini course) 或傳統長課程等。本計畫之重要特色之一是教材由組合性單元 (modules) 組成的。課程設計企圖吸引主修科學及非主修科學之學生來選修，內容包含有生物化學、地球化學、環境化學等科際領域，它大大的擴充了化學教學之領域。實驗融會於教材中，成為一個整體，實驗之內容、材料均與學生日常生活所能接觸者有關。

此課程自發展以來，即以穩定之速度推廣，

迄今已有數百個學校採用。課程雖尚未有最後之評量資料，但它一般均顯得能滿足計畫目標。雖然此課程之統合性僅限於以化學為基礎之範圍內，它却也能代表美國企圖統合各傳統分科課程計畫之一例。

美國中學走向完全合科科學課程之運動，是由俄亥俄州立大學發展組成之統合科學教育聯盟 (Federation for Unified Science Education 簡稱 FUSE) 所開始的。該聯盟由蕭瓦特博士 (Dr. Victor Showalter) 主持。(註五)。自從 FUSE 在 1966 年開始以來，它們主張自幼稚園至第 14 年級 (K—14) 之科學課程主要之教育目標應為通材教育。FUSE 亦主張發展地區性統合科學課程，是達成通材教育目標之最佳途徑。

FUSE 更有一基本的瞭解，認為沒有一組固定之教材及課程發展計畫，能適用於每一個不同的學校，亦即 FUSE 認為每一個學校在學生人數、教學設施及師資方面具有唯一性。

由於 FUSE 承認上述多樣性之存在，因此它對統合科學本身的觀點與別人稍有不同，也就不足為奇了。無論如何，FUSE 之成員同意在科學之各門各科中，具有某些共有之科學特性。這些共同之特性包括有：價值觀、科學過程和概念。

在多樣性之表面下有其合一性的另一證據是，當我們比較不同之研究小組所列舉之各科通用特性時，所有之不同小組均指認：質疑態度之價值、解釋資料之科學過程和系統之概念。

FUSE 有一致之觀點，承認專門科學對科學家而言頗有價值，但是傳統科學學科之教學過於分離不相關，以致不能幫助達成通材教育之教育目標。採用統合科學能提供機會發展計畫，使學生能把整個科學視為單一的人性努力，能瞭解科學整個之範圍及其限制，避免學科學習之重複，使學生能以更多不同的方式 (與傳統課程相比) 學習科學，並且更能發展出對科學正面積極的態度。

統合科學教育中心 (Center for Unified

Science Education) 簡稱CUSE) 之人員, 在協助有意推廣統合科學計畫之學校時, 他們建議採用下列九個步驟來進行。

1. 將關心並負有課程責任之老師組成工作小組, 此小組應包含有K—12年級之老師, 或儘可能的包含各個年級的老師。
2. 整個小組一起研究, 瞭解統合科學教育之觀念及其所孕育出來之各型各類之特殊計畫。
3. 檢討或修訂整個科學計畫之目標與目的, 此時應考慮美國科學教師聯盟課程委員會(NSTA curriculum committee) 所列教育目標對各該使用地區所具之特殊意義。
4. 以現有之教育目標及目的評估現有之科學課程計畫。評估時儘可能量化, 如有須要可作定性評估, 但千萬不要陷入從事冗長資料收集之泥淖。
5. 組織小組以外之諮詢顧問小組。此小組之成員應包含大學之科學及教育專家, 曾經有過統合科學經驗及地方上關心科學課程改革之人士。
6. 建立整個統合科學計畫之指導原則, 計畫進程表及所需之經費來源。並計畫每年只做一個年級。
7. 以組合單元為基本部份之方式設計課程(將於下面說明)。隨時以第六步驟中所建立之指導原則評量課程, 此應為計畫整體之一部份。實際擔任新課程之教師應親身參予此步驟之工作。
8. 編制教材。
9. 臨床實驗。(實際到學校實驗教學)。

以上九個步驟應被視為嚐試性的, 實際採用時會有些許改變是必然的。

組合性單元之本質

(Nature of a Modular Unit)

每一個組合性單元是一個為期四至八週的學習單元, 它是課程之基本成份。一學年之教材通

常包含有五至九個連續性之組合單元。每一個組合單元是環繞著下列四個主題之一組織設計的, 即過程、概念、持續性問題及現象。在每一組合性單元之內又包含有數個小單元或教學活動, 且每一小單元均能促進學生達成整個單元之目標。這些單元目標數目不宜多, 應為教學之基本要求而不應企求過高。

在實際作業時, 要發展一個組合單元須要下列三個步驟, 即決定主題、建立單元目標、選擇及編制組成單元之教學活動。前二步驟亟須設計小組創造性之努力, 第三步驟則可利用既有之教材順利完成。一般稍有經驗者, 均能看出組合性單元在各種科學課程中之可行性。實際上, 愈來愈多之科學教材採用組合性單元的形式。

組合性單元之觀念是統合科學課程(Unified Science) 之基本概念, 它隱涵著每一小單元終將為其他單元所取代換新的意義。整個大單元也是組合性的, 它也應受檢討及取代。組合性單元之此種基本特性, 使課程能無限制的隨時間而發展; 它賦予任課教師不斷檢討改進的責任, 使課程跟上時代。

由於聯合國科學文教組織(UNESCO) 統合科學教學計畫(Unesco Program in Integrated Science Teaching) 之影響, 國際上對統合科學之興趣, 增進甚速。(註六), 此項計畫包括有在世界各地之各種不同的計畫活動。這些活動由各該會員國之教育專家及聯合國科教專家的指導。此計畫緣起於1969年, 目的在協助UNESCO 各會員國促進國小、國中統合科學之教學及相關之師資訓練。它們出版了一系列的出版資料, 並舉行地域性及全國性之研習會, 研習統合科學教學之特殊問題。

全世界至少有十幾個國家鄭重其事的實驗統合科學計畫。這些計畫之名稱與內容, 可由AAAS Clearing house報告中查到(註六)。下面所列為一些計畫之例子。

1. 澳洲科學教育計畫(Australian Science Education Project, ASEP)。

- 2 加納統合科學之科學教師計畫協會。
(Ghana Association of Science Teachers Project for Science Integration)。
- 3 統合科學課程計畫(日本)
(Integrated Science Curriculum Project)
- 4 尼日尼亞統合科學計畫(NISP)
Nigerian Integrated Science Project
- 5 公立學校統合科學計畫 (英國) SCISP
School Council Integrated Science Project
- 6 西印度科學課程革新計畫 (WISCIP)
West Indian Science Curriculum Innovation Project

所有上述之計畫均甚活躍，即有資料描述計畫目標及特徵。可直接寫信給各該計畫主持人而獲得詳細資料。主持人名單詳見 AAAS Clearinghouse Report 中之記載。(註六)

面對著要將百年來歷史性發展之各門科學真正統合起來的前景，它實在是一件困難的工作。一個可能的解決辦法是採用計畫圖表。在圖表之上端橫列出一些中等學校之標準及傳統性之學科課程名稱，在圖表之左邊列出這些學科中常處理的一些主題，如：能量、進化、物質結構、科學過程、物質之統計本質……等等。然後仔細檢查各學科教科書之內容，如此我們應能指出這些主題之重點及重點範圍。瞭解這些之後，利用網路連接，可以設計出一個包含基本主題之統合課程，其內容穿引橫跨傳統課程各學科，並由這些學科提供基本主題之事實資料。

對於此點，我們在討論師資教育時將再提及。一個明顯而迄今尚難解決之問題是如何訓練熟悉數種學科之師資，使他們勝任統合科學之課程。

師資教育

將來世界各國統合科學課程之成敗關鍵繫於

師資教育之培養方式。美國之師資教育把老師訓練成生物、化學、物理、數學、地球科學之學科專家。在前一篇「師資教育」之講稿中，我們提及之 AAAS 的指導原則，仍然建議師資教育注重主修某一專門學科，另外再輔修一兩門其他學科。這在本質上是傳統模式。此種訓練統合科學課程之師資教育的缺點是老師們自己認為或被別人認為只專長於某一狹窄之學科，他們不會把自己視為「科學教師」，而把自己視為生物、化學、物理或地科教師。他們的「教學自我」的確顯得受此限制，這是因為老師們總覺得作為某一學科專家可提高身份，作為一般科學教師好像就矮了一截似的。

如果師資教育之方式仍然維持不變的話，那麼要求統合科學教學成功，將很困難。我們或許可認為高中教師之師資教育有必要維持現狀，但對於國中之師資教育，則斷然必須要另謀辦法。國中教師須受有較廣之訓練，較廣之意義並非僅僅多學一些不同之科目，而是這些科目還須是真正統合性的。單單選修物理、化學、生物、氣象、天文、地質、海洋及其他學科是不夠的，這些課程必須是統合性教學才行。

將各學科分開，各作深入及仔細之教學，將無法使學生獲得統合(Integrated)的觀念，亦不能使其認出貫穿各學科之線引。此種師資教育之困難一直存在，如果我們希望統合科學教育能盛行，那麼我們就必須解決此問題。

如何解決這些問題呢？為了引起大家解決這些問題之熱誠與興趣，並對解決之道有一合理、結合性之作法，我將對師資教育及實際行政兩方面待決之問題作一些建議。

(一)在師資教育方面：

- 1 國中科學教師職系教育之大學課程必須是統合性的(integrated instruction)。這將是難以解決的問題。傳統上，大學教師之知識非常專門化，他們對職前教師所設計教學之課程也隨之頗為專門化，常常包含有許多數學運算，其目的通常是增加學科之深度並

- 包含有許多支離之知識。解決之道或許是選擇一些具有適當性格及教育目標之教授相互合作從事協同教學。另一可能之辦法是經常邀請能給予學生統合性觀點之專門人士至課堂上講課。
- 教科書必須是真正統合性的。至今我個人尚未看過真正完全統合之教科書。我個人相信除非學生能閱讀課程補充資料並瞭解科學統合本質之道理，否則他們將無法自行統合智識，也無法成功的獲得科學真正統合的概念。
 - 我們也須要花費心力將科學與數學統合起來，因為此兩者是相互糾結、相互依賴的。數學教師應對科學有所了解，科學教師對與各該學科有關之數學也應知道。
 - 師資教育之課程必須有某種程度之平衡（物理、化學、生物、地科、數學及其他科學學門間之平衡）。這樣才能符合訓練科學教師之要求。隨之而產生的問題是如何提高以此種方式訓練出來的教師之地位。這將是一件困難之事，但是如果老師們能利用有待發展之新教學技巧統合課程，這或許能使通材科學教師有提高地位之榮譽感。
 - 職前師資教育之專業訓練部份，應利用微教學（micro teaching）經驗，使學生有機會實習對統合科學之教學。只有經過這一類的實習，學生才能培養出所必須之思想過程和概念聯結，其後當他們受聘為國科科學教師時，他們才能將此知識、能力遷移到實際教學的情況。
 - 應該給予學生對某一課程，設計其他教學途徑的機會。此種練習可在「課程發展」（Curriculum development）之類的課程中教給未來的老師。解決的辦法是，利用許多小的微課程（mini or micro courses），讓老師們選擇、設計自己的教學計畫。俄亥俄州立大學之 FUSE 及科際趨向之化學（IAC）均採用此辦法。
 - 科學課程之行爲目標應從統合之觀點編寫。利用大家知曉之編寫行爲目標的技巧，我們應能設計強調科際統合主題之適當目標。
 - 對師資訓練及國中教育之內容也須修改，使注重統整合科之知識。考試領導教學仍然是千真萬確之事，如果考試之內容注重科學內容之統合性及科學過程，那麼學生爲了考好試，也將注重這方面之學習。
 - 或許授予學士學位之大學教育應分成兩類，一類是給予預備成爲國中教師的學生統合全科教育，另一類是給予不準備作老師之學生傳統式之專門科學教育。
 - 整個課程之設計應給予學生擴充知識領域之機會。因此整體課程應包括有能真正達成全科教育之各類教育如包括閱讀、社會科學、音樂、美術、國語、文學、特殊教育……等等。
 - 課程應採用人性教育的教義。它應包括：注重個別差異、學生自步學習（self pacing）、自我評鑑、滿足成就慾，發展積極正面之自我概念（self concept）、及其他展示人性之因素。
 - 課程應承認才能是多樣性的道理。強調人類之個別性本質，瞭解人類學識能力並非天生平等，但卻各有同等價值之其他屬性。我們應該對人類創造力，解決問題能力，社交能力及其他特性之多樣才能，就其合乎人性及價值予以認可。
 - 應採用能顯示科學發展之綜合本質的歷史性發展方式編制課程或從事教學。歷史上，亞理斯多德、伽里略、哥白尼、牛頓及其他如布諾勒斯基（Jacob Bronowski）、史諾（C.P. Snow）等近代之科學家，均能顯示他們知識領域之廣度及包羅萬象之本質。許多科學家均能了解科學成就對社會的意義，對於此點吾人應予以特別強調。
 - 我們也應該使未來的老師注意到許多成名科學家改變其事業、興趣的例子。諾貝爾獎得

主鮑林 (Linus Pauling)、格雷塞 (Donald Glaser) 及其他科學家如蕭克雷 (Schockley)、凱普勒斯 (Kaplan) 等，他們在其專門學識獲得相當成就之後，改變其事業之方向。

15. 應採用「計畫」的方式進行教學。安排實際存在而有興趣之環境問題給學生作為待解決之問題計畫，讓學生解決此計畫之問題。沒有比以解決實際環境問題的方式進行教學更具有研究性及統合性。現在美國許多學校均採用此類技巧教學。他們讓大學生到外面去作為期數個月之研究，解決諸如下列之問題：社區需要、污染及其他臨急之社會問題等。
16. 對於已在職之教師應該設立輔導服務，對已習慣於傳統分科教學並缺乏信心移向合科教學之教師，幫助他們解決困難。

(二) 在行政方面：

在行政方面為配合統合科學教育，應考慮：

1. 現時大學入學資格之要求應由原來注重某些專門學科之成績改為注重受過多少年之科學教育。大學對中學科學教育之影響至鉅，它們一向控制中學科學課程之發展。直到最近，中學對課程及計畫發展之創造處理方式，才超越了大學之影響。
2. 在合科教育中，七、八、九年級之概念學習應避免教材重複。此問題實際上就是 1940 及 1950 年代老的通材科學課程失敗的原因。各年級教科書幾乎是互為翻版，他們錯用了螺旋式教學的概念。對七、八、九年級之教科書應仔細審查，使得課程內容能反應青少年與時俱進之心理發展，同時兼顧各學科之合科本質。
3. 或許明確反應統合因素的新課程名稱應發展出來。例如「資源」、「污染動力學」、「環境學」等新的課程應予創設。威斯康辛州綠灣州立大學 (The Wisconsin State University at Green Bay) 正實驗一種全新的行政結構，他們有許多新的系，其系名之新，只能略微令人覺得與傳統科系如物

理系、化學系、生物系、地質系及其他科系有關。

4. 我們亦須要加強研究其他國家在國中統合科學課程及師資教育方面的措施。前面所列的一些外國統合科學計劃，應能幫助大家獲得在這方面之信心與能力。
5. 為了推展統合科學教育，每一個國中應發展建立資料中心。因為並非所有學門之合科本質均能在課堂中討論說明，教師有時須要要求學生到資料中心去參考某些特別資料，俾使他們獲得所須之概念。
6. 最後，在計畫實施一個新的中學統合科學課程或師資訓練計畫時，我們應記得設計形成、診斷及總結評量。這一階段，在過去 20 年中美國課程發展改革中常被忽略。我們沒有足夠之資料判斷新的課程，教材與傳統課程孰優孰劣。因此，在原始計畫之中即應設入獲取所須訊息之複雜系統，以確定計畫目標確已達成。

註一：J. Darrell Barnard "COPEs, The New Elementary Science Program" Science and Children Nov. 1971.

註二：Science Curriculum Improvement Study, Eighth Report of the international clearing house on science and mathematics curricular Developments, Univ. of Maryland, 1972.

註三："The Development and Implementation of a Four Year Unified Concept-centered Science Curriculum for Secondary School" AAAS Clearing house Report 1972.

註四：Ibid, AAAS, 1972.

註五：Victor Showalter "Symposium: Ways to Integrate Science" The Science Teacher, February, 1973.

註六：Ibid, AAAS Clearing house Report, 1972.