

戴爾的「經驗塔」(上)

——教學資源運用的原則

楊榮祥



戴爾(Edgar Dale)在1954年所出版「視聽教學法」(註1)一書中,曾用一錐體圖形(如圖一)說明了教學上相當實用的基本概念。他自己稱之為“The Cone of Experience”,我國教育家則譯作「經驗之塔」或「經驗的金字塔」(註2)。這個「塔」在科學教學上,不單闡釋最基本的一般學習途徑,也為科學教師提供其教學資源選擇與運用的一般原則。

當我們仔細觀察這個「塔」時,不難發現「塔」裏含有戴氏的兩個中心思想:

1 一般學生都用眼睛學習其大部分的教材。

2 教學通常都由「具體學習」開始,慢慢趨向「抽象學習」。

因此,只要了解:「最好的學習方式,就是自己學習」,那麼我們也不難了解這個「塔」裏各種教學方法與器材所分佔的相對地位。

「塔」底的三層,就是經由直接經驗的學習。這是「三次元」的學習經驗,學生要動用他所有的全部感官(all senses)來學習。學生有機會親自參與學習活動。

其次的三層,即第4~6層,也是三次元的學習經驗,學生可能運用其全部或一部分的感官去學習。這三層的學習經驗,要比最底三層來得抽象一些,因為學生並不能真正參與具體的學習活動。

再由塔底往上升,就是「電視」與「電影」等兩級。這是「二次元」的學習經驗,學生只能運用兩種(視覺與聽覺)感官去學習「別人」所表演的教材。其次「廣播節目」、「錄音」及「靜畫」,通常也都是「二次元」,經由一種(聽或看)感官的學習經驗。所學習的對象通常是「

符號」或「象徵」甚至「抽象的事物」,而不是「實體」。

就戴爾這個模型來看,也許我們可以這麼說:只要有足夠的時間、經費與勞力,教師應該儘可能選用「塔」基底部的教學方法。

最近十數年來,我們都在努力研究改善高初中的科學課程與教材。我國曾廣泛吸收世界各國尤其美國有關科學課程教材改革的經驗。但,教材改善以後,如果教學方法依舊不改,那麼可以說「前功盡棄」,任何為教材的修訂與革新所做的努力都要落空。

科學教師必須慎重選擇適當的教學資源與教學型態以充分發揮科學教材的潛能。如戴氏經驗之塔,愈接近塔基的教學型態,愈是具體的學習。當學生能親身參與具體的學習活動時,他們不單會有很高的學習動機與興趣,還可運用其所得之學習經驗為基礎,繼續發展其學習。

克服學習障礙

教學活動事實上是師生之間思想的交流。這就是所謂的「思想溝通(communication)」。教師為教室裏面溝通思想的主角(communicator),他不單要有效傳播思想或知識,也要藉以改變學生行為,同時還要培育學生的傳達思想或溝通思想的能力。香農與威伯(Claude Shannon and Warren Weaver,註3)認為任何型態的思想傳播或溝通的過程中,難免都會有干擾。這是最主要的學習障礙。教師的責任,就是要設法克服這些學習障礙(註4)。

時間常構成學習障礙。學生很難了解過去的思想。例如,高中生物課本裏面,有關凡赫芒(

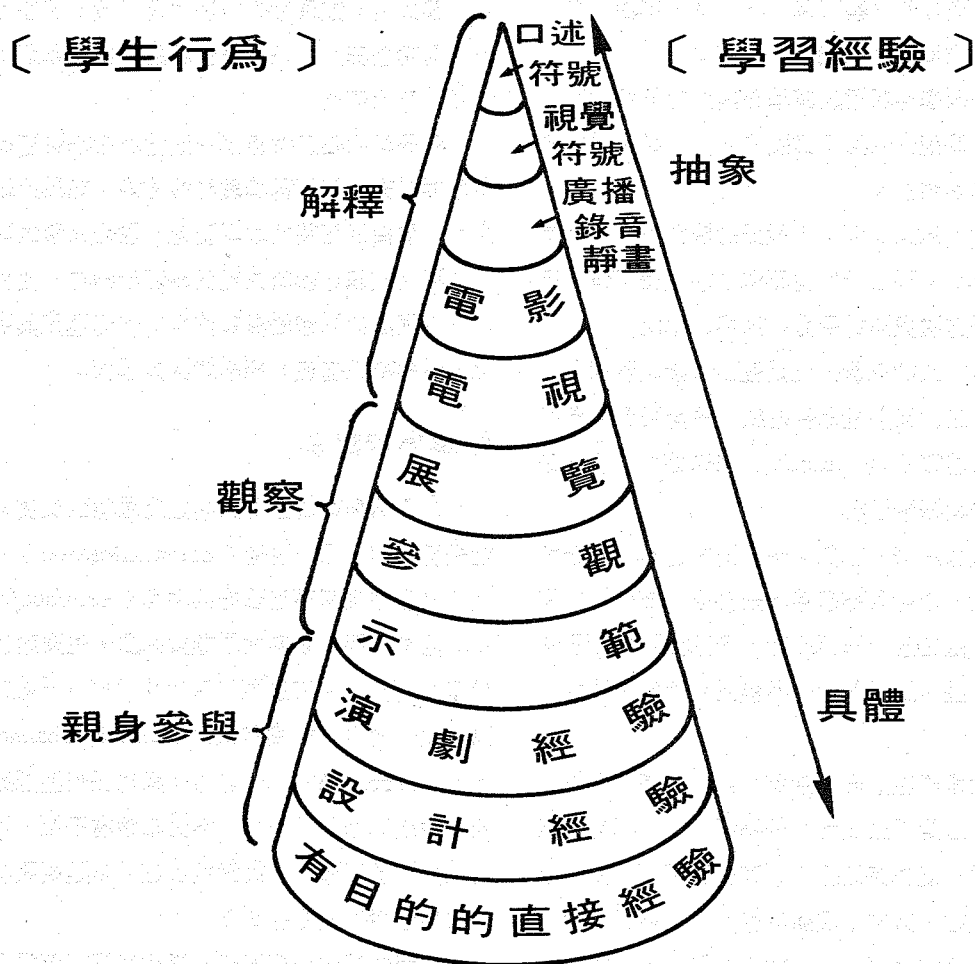
J. B. van Helmonc, 1577—1644) 柳樹的實驗。當時人們還相信亞里士多德的理論，說：「植物吸收土壤而長大，植物體所增之重量，等於土壤所失之重量」。凡赫芒柳樹的實驗推翻此說，改稱：「水可轉變為生命物質」。此教材要說明「實驗科學」的重要性，但，往往教師很難使學生了解這幾個不同時代人們的思想。學生甚至認為亞里士多德、凡赫芒都是「笨科學家」，並認為課本之中，不應該有如此「幼稚」的教材！教師應如何溝通這些思想？讓學生看一部適當的電影，或用戲劇法（後述）讓學生們「親身經歷

」後再討論也許較適合。

此外，性別可能也是常見的障礙。有很多「事情」女生絕不願意同男教師交談，但她們却非常樂意和女教師談論。男生亦有同樣的現象。另外，也許是「天性」所致，一般說來，女生較不喜歡物理、化學或機械。怎樣使她們發生興趣？讓學生們親手實驗或操作，也許可以提高其學習效果。

家庭背景的不同，也可能構成一種學習障礙。一般科學教師都出身「小康」之家，或許會忽略較特殊家庭所出身的學生。他們的需要、興趣

戴爾的經驗塔



圖一 戴爾的「經驗塔」

以及能力，常常都不同。大多數學生可能不一定將來都要專攻科學，有些還不一定要（或能夠）升學。教師必須設法安排適當的學習環境，包括適當的教學資源與教學方法，配合學生們的需要、興趣以及能力，使學生們都能得到適當的學習經驗。當然，有些時間與空間上的限制是無法克服的障礙，但教師應能選擇並妥善運用適當的器材與方法（技術）以替代，使學生獲得有意義的學習經驗（meaningful experiences）。

在討論教學方法選用原則之前，我們先要研討幾個問題：

一、所選用的教學方法，是否能為學生提供精確的觀念？

例如：我們要示範說明毛細管現象，將一塊方糖浸在墨水中，就說：「這個實驗證明土壤能吸水」。顯然學生並不能從這項示範實驗中得到精確的觀念。這項實驗中所表現的只是墨水為方糖所吸收而已。學生還要了解這項示範中方糖究竟怎樣「代表」土壤，墨水怎樣「代表」土壤中的水。

二、所選用的方法，是否能提供學生所需要的知識資料？

例如：有許多教師不願意運用營養素缺乏症的實驗來教學。因為以白老鼠為材料所做的這些實驗結果，並不一定就是學生所需要的知識。學生所要知道的是人類自己的營養缺乏症，學生並不願意也不習慣將自己「當」做白老鼠來想這個問題。

三、所選用的方法，是否合乎學生的興趣、需要與能力？

例如，邀請一位有名的工程師或專業科學家，來向國中學生演講。儘管其內容新穎豐富，但往往使學生們興趣索然，一無所得。又如，教學影片的選擇，如為高三的學生放映有關吸煙之害的影片，所得的反應也可能是冷淡的，因為他們早就知道吸煙之害。

四、所選用的方法，是否能幫助學生思考、

或啟發其思想？

無論用什麼教具或方法，如果不能讓學生思想，那一定是白費努力浪費時間，教學的目的就是啟發學生思想改變行為。例如，運用一套精美的人體骨骼標本（或模型），固然使學生興緻勃勃，但如果只讓學生記憶每一塊骨頭的名稱與位置，而沒有任何進一步的思想，究竟會有多少教育意義？

五、所選用的方法，是否值得耗費那些時間、費用與勞力？

這也是教師的重要職責之一。教師要能估計每一個教學活動所需要的時間、經費與勞力。如果覺得不值得耗費那麼多時間、經費或勞力，應改用其他的方法。

直接經驗

在戴爾的經驗之塔裏面，凡由學生親身參與的學習活動，都屬於直接經驗（direct experiences），包括「有目的的直接經驗」「設計經驗」與「演劇經驗」等三級。在這些教學活動的型態中，教師的地位通常只是「輔導者」，而不是「講師」。學生才是活動的主角，這都是所謂「學生為中心的活動（student-centered activities）」。

教師只要隨時啟發學生思想，幫助學生「發現」，使學生真正能由經驗中學習。

1. 有目的的直接經驗（Direct, Purposeful Experiences）

如果你要教學生怎樣使用天平，最好的教學方法，就是給他天平，讓他使用。如果要教學生怎樣燒彎玻璃管，就給他材料與工具，讓他練習，讓他燒紅以後，彎成他所需要的角度。假如，教師只顧教學生記憶顯微鏡的各部名稱與功能，而不讓學生去操作，學生永遠不會用顯微鏡。不只這些儀器操作問題，凡教學活動中任何操作，包括思想操作，都要由學生親自經驗的，都屬於「有目的的直接經驗」。

在戴爾的「塔」裏，這是「塔基」，也就是

最基本而具體實在的學習方法。學生要做到「從做中學習 (learning by doing)」，也就是說：學生要「教他自己 (teaching himself)」。

科學實驗室就是此項教學方法的最適當場所。學生在實驗室裏經由「直接經驗」來學習。學生們要自行組織問題、建立假說，並驗證所建立的假說。在這種「有目的的直接經驗」的學習過程中，教師必須是輔導者，他要隨時啟發學生思想、鼓勵學生自行發現。除非有危險性或重大的影響，教師要完全尊重學生的自由行動 (freedom of action)，切忌限制，甚至干涉學生的探討活動。

如果教師在整個實驗活動中，有太多的規定，強要學生遵照一定的步驟，一步步照做以證明已知的知識，學生就毫無思想與操作的自由，縱而能得到預定的「結果」，這種實驗就成為美國人所謂的「食譜」實驗 (“ cookbook ” laboratory)，毫無意義、浪費時間與金錢的活動。

在真正的「有目的的直接經驗」的學習中，學生的活動才是中心，換言之，每一位學生都必須有充分的機會去參與，也有機會自由探討，學生們在這種直接經驗的學習活動中，能親眼觀察、能聽、能嗅、能嚐、能觸及所學習的對象，也能自由思想、探討，由親身體驗中去發現新的科學概念。

十數年來，世界各國所積極發展的科學教學的新模式，所謂的「發現式教學 (discovery learning)」或「探討式教學 (inquiry learning)」都屬於此類的教學方法。關於這種教學過程中的學習活動當可摘要如下：

(1) 熱烈而頻繁的師生間交互作用。教師要隨時發問以啟發學生思想，刺激並鼓勵學生積極探討。

(2) 學生要有充分的參與機會。教師要提供充分的器材、場地與時間，使每一位學生都能具體參與。

(3) 教師要隨時輔導，但必須尊重學生的自由

探討，宜多鼓勵、多提示、多啟發；少規定、少限制、少干涉。(註5)

總之，這種直接經驗的學習，毫無疑問地，是為最好的學習方法，但，也有一個問題，那就是時間、經費及場所的限制。學生要耗費很長的時間來學習，學校要耗費大量金錢來購買材料，教師要消耗很多時間來準備和「善後」。

2. 設計經驗 (Contrived Experiences)

在「設計經驗」的教學型態中，所運用的教具有：一般模型 (model)、實體模型 (mock-up)、實物 (object) 與標本 (specimen) 等。模型是學校一般標本室或科學教室中常見的教具。在教學上模型的用途很廣，甚至還有「有目的的直接經驗」中所無法達成的效果。譬如，人類眼球的構造。我們無法讓學生都親手解剖人的眼球，以直接觀察其構造。一方面材料來源幾乎不可能，另一方面解剖及觀察所需要的技術，也遠超過高初中學生的能力限度。這時如用模型，效果要好得多。市面上，在標本儀器行裏，常買得到可以自由裝拆的眼球模型，如能由學生自由裝拆以觀察，其效果如同「直接經驗」。

當我們學習微小物體的構造，如原子的構造，或學習巨大物體的結構，如太陽系或地層構造時，無法「拿」實物來直接學習，這時我們退而求其次，讓學生用模型來學習。模型可以忠實地提供原物的縮影，改變其尺寸，或簡化其結構，表達其最重要的部份，使學生易以瞭解，其學習效率反而更高。

模型還可以「改變」時間。很多科學教室或標本室裏陳列著北京人的頭骨模型、恐龍化石的模型、或古代顯微鏡的模型等。模型還可以表達抽象的結構，例如，各種複雜的幾何模型或DNA的分子構造等。

實體模型可以說就是「能動作」的模型。例如物理實驗室裏常見的內燃機，或能看到活塞動作的汽缸或吸取唧筒的模型都是。

此外標本也是科學教室中常用的教具。因季

節或地區關係無法得到的實物，可預先做成標本，以供學生運用。譬如，在冬季要學習蛙的內部構造，當可用液浸標本來代替。

標本之使用，不一定就是「設計」的或「代替」的學習經驗。如果使學生用以解剖，這項活動仍應屬於「直接經驗」的學習。

關於模型與標本等「設計經驗」的教學中，有下面幾點仍然需要特別注意：

(1)學生要積極參與。學生要能親手操作模型或標本。如果教師用一個模型演講，那只是「示範」，不是「設計經驗」。

(2)教師要隨時啟發學生思想，幫助學生從經驗中，活動中去發現新的概念。

在這種「設計經驗」的學習活動中，①學生仍有機會具體參與，由親身經驗中來學習，所以他們仍然是「自己教自己(learning on his own)」，②學生們運用其全部的感官(all senses)來學習，③他們所學習的對象仍然是「三次元」的物體。

3. 演劇經驗(Dramatized Experiences)

所謂戲劇，包括話劇、木偶戲、布袋戲、默劇、傀儡戲等等，一向為科學教師所忽略的教學方法。也許科學教師認為戲劇的娛樂成份較高，不適合「嚴肅」的科學教育。

最近在中學階段的科學教學中，出現有兩個特別的教學方法名稱，所謂「模擬遊戲(Simulation game)」與「扮演角色(role playing)」，這也屬於演劇經驗的學習方法。在這種學習中，學生們都要扮演一個腳色(角色)，在「演戲」活動中學習。例如，國中一年級生物課本內有三個學習單元：「演化的模型」、「逢機選擇」及「非逢機選擇」等，都可以用「模擬遊戲」來進行學習活動。例如，由一位學生扮演「大鳥(代表掠食動物)」，由一群學生扮演「深色蛾」，另由一群學生扮演「淺色蛾」，再由另一批學生來擔任「環境」，或主管「記錄」，在遊戲

中，各人名按照其個人所任「角色特性」執行「任務」，以學習演化的機制有關科學概念。

這種模擬遊戲法更適合培養學生合作精神及價值判斷(valuing)與決策(decision making)等能力。在現代化的社會生活中，常有價值觀的衝突，例如，水庫或高速公路的開發問題等。做為現代自由民主國家的公民，必須具有民主而科學的價值判斷能力，以及果斷而理智決策的能力。

例如，在生態環境等教材單元中，德基水庫問題，也許可做為很好的模擬遊戲教材。學生所要扮演的角色很多，例如，「臺電的工程師」「水庫的管理人員」「臺電總經理」，「蘋果農」，「果農合作社理事長」「省議員」「省主席」「當地居民代表」等。教師儘量提供有關資料，學生按個人興趣選擇其所要扮演的角色，收集資料，寫信甚至求見或訪問其所扮演的對象人物。在定期「開會」中進行討論，以做個決定。教師除了充分供應資料之外，還積極輔導學生收集資料，經由討論後，由學生們自行做結論，以培養其「決策」能力。

在這種學習活動，應注意事項摘要如下：

- (1)活動主題之選擇，以切身問題(學生能感覺，也能理解的問題)為原則。
- (2)全體學生都要有積極而具體的參與。
- (3)每人都對自己所扮演的角色要有深刻的認識(否則變成娛樂遊戲，毫無學習效果)。
- (4)遊戲的進行規則要事先徹底瞭解。
- (5)活動進行中教師要尊重學生的自由參與，但也要隨時啟發思想，幫助學習。

- (6)活動之後，必須有個「決定」或「結論」。

總之，遊戲法因每人都可積極參與，而提高學生的學習興趣與學習動機。同時學生可學到「合作」、「價值判斷」以及「決策」的方法。學生還是親身參與，運用其全部感官，在「三次元」的實體中學習。

(未完待續)

(下接8頁)

此解稱為史瓦濟解。在星球外面的空間，運用此解，可以得到相當好的結果。此解從表面上看起來，會誤以為質量為 m 的星球，其半徑不得低於 r

$$= 2m, \text{ 因為當 } r = 2m \text{ 時, } g_{00} = 1 - \frac{2m}{r} = 0$$

$$, g_{11} = (1 - \frac{2m}{r})^{-1} = \infty. \text{ 事實上並非如此,}$$

因為經由座標轉換 $\tau = t + f(r)$, $\rho = t + g(r)$

$$\text{則史瓦濟解變成 } ds^2 = d\tau^2 - \frac{2m}{\mu(\rho - \tau)^{2/3}} d\rho^2 - \mu^2(\rho - \tau)^{4/3} (d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2)$$

上式中 $\mu = (\frac{3}{2}\sqrt{2m})^{2/3}$ 。當 $r = 2m$ 時，

$\rho - \tau = 4m/3$ ，可見在 $r = 2m$ 時，仍有解存在。經由解析連續 (analytic continuation) 得知當 $r < 2m$ 時亦有解。不過 $r < 2m$ 的區域無法把訊息傳遞至 $r > 2m$ 的區域，因為任何訊號要穿越 $r = 2m$ 界面時需要無限長的時間，所以在界面外的觀察者無法直接觀察到 $r < 2m$ 區域內所發生的事情，此區域叫做黑洞，因為物體只能掉入黑洞，但卻無法從黑洞跑出來 (本附錄所述係古典的理論，有關黑洞的量子理論參考本文第五節)。

主要參考資料

1 R. Penrose; Scientific American, May, 1972.

2 S. W. Hawking; Scientific American, January, 1977.

[作者現職：國立臺灣師範大學物理系教授]

(上接13頁，戴爾的經驗塔(上)——教學資源運用的原則)

[註釋]

註1：Edgar Dale, Audio-visual Methods in Teaching, New York: The Dryden press, 1954.

註2：方炳林，普通教學法，教育文物出版社，民國63年2月，P. 265.

註3：Shannon, C. E. and W. Weaver, The Mathematical Theory of Communication, Urbana: University of Illinois Press, 1963

註4：楊榮祥，思想傳播的模式，科學教育月刊第二十二期，師大科教中心，民國67年10月，P. 12-13.

註5：楊榮祥，探討式教學模式分析，科學教育月刊第二十三期，師大科教中心，民國67年11月，P. 17-26.

[作者現職：國立臺灣師範大學生物系副教授]

(上接23頁，百分位數和百分名次——一個自學的循序教材(中))

A. 42

累積次數表

x_i	$cf_{(A)}$	$cf_{(B)}$
18	20	20
17	19	20
16	18	20
15	15	19
14	12	17
13	11	14
12	10	8
11	4	6
10	3	4
9	2	2
8	2	0
7	2	0
6	1	0
5	1	0

A. 75

B班各組的上限與下限

B
16.5
15.5
14.5
13.5
12.5
11.5
10.5
9.5
8.5

A. 76

B班百分累積次數表

B	cf%
16	100
15	95
14	85
13	70
12	40
11	30
10	20
9	10
8	0

A. 81

