

第三章 研究方法

本章共分五節，主旨在說明本研究使用的研究方法，其中包含「研究對象」、「研究設計與流程」、「研究工具」、「資料分析方法」以及「研究範圍與限制」五個部分來說明。

第一節 研究對象

本研究主要是配合由國科會贊助，國立台灣師範大學委託執行之「鷹架式建模數位學習環境對學生科學學習影響之研究」整合型計畫（2005）。該計畫由三位國立台灣師範大學的教授籌備研究小組，在台北縣內某國立高中實行，除研究者外，還有兩位博士班研究生、一位研究助理以及該高中一位地科教師共同參與課程規劃與進行。

鷹架式數位建模學習計畫（以下簡稱「空污建模課程」）是在台北縣內一所國立高中內進行，正好配合該高中地科教師申請的教育部社區化數理探索課程計畫，以類似營隊的形式，讓社區內各高中的學生自行報名參加，共有 34 位學生報名，分別來自三所不同的高中，但報名者多數為原學校學生。報名學生中高一年級學生共 31 人，高二學生共 3 人；其中男生共 26 人，女生共 8 人。在該地科教師協助下，將學生分為十組，每組 3~4 人，分組原則為：(1)盡量只將兩個同班的學生編在同一組，亦即大多數組別的學生至少來自兩個不同的班級；(2)女生較少且落單較不便，因此兩個女生編在同一組；(3)高二學生僅 3 人，均編為同一組（第四組）。各組人數及學生資料如表 3-1.1 所示：

表 3-1.1 空污建模課程各組人數及學生資料表

組別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
人數	3	4	4	3	3	3	3	3	4	4
性別	3 男	2 男	4 男	3 男	3 男	1 男	1 男	3 男	4 男	2 男
資料		2 女		(高二)		2 女	2 女			2 女

因為其中有 2 位學生（分別為第三組及第九組）未完成所有課程且沒有進行後測與後晤談，因此本研究的有效樣本為 32 位學生。由於人力以及攝影器材的限制，本研究僅挑選四組作為焦點組進行活動過程的拍攝與錄音，以紀錄學生課堂學習及活動進行的情況。挑選焦點組的依據為：(1)均為同校的高一學生；(2)兩組均為男生，兩組男女各半。此四個焦點組分別為第二組、第八組、第九組和第十組，共 15 位學生，此 15 位學生也同為本研究個案晤談對象。但其中第九組有 1 位學生因故未參與最後一次課程，亦沒有進行後測與後晤談，無法與前測及前晤談作比對，不列入本研究個案。因此，本研究個案對象共 14 位學生，此 14 位個案學生的基本資料與學習狀況描述列於表 3-1.2。

表 3-1.2 14 位個案學生基本資料與學習狀況描述

組別	編號	性別	基測自然科成績		個案學習狀況描述
			第一次	第二次	
二	S1	男	48	60	主要操作電腦、上台發表者。有時未專心聽講而自己寫學習單，很少與其他人討論，別人詢問其意見會回答。
	S2	男	52	48	常發呆、整理頭髮，極少參與討論，寫學習單都在其他人討論完後才抄寫。整個課程都不太投入。
	S3	女	46	44	上課會聽教師講解，但常與 S4 聊天，寫學習單時偶會跟 S4 討論，或問 S1 的意見。
	S4	女	46	44	上課會聽教師講解，但常與 S3 聊天，寫學習單時偶會跟 S3 討論，或問 S1 的意見。討論時會針對自己不懂的地方再次詢問同儕或教師。
八	S5	男	53	55	上課時專心聽講或寫學習單，較為安靜。偶有提問和發表。較常與 S7 討論。下課時會找第二組 S1 討論課程學習單。
	S6	男	42	-	積極舉手提問以及上台發表。常上課程討論區進行討論與回答問題。與同組其他兩人較少互動，遇到問題常直接詢問教師。
	S7	男	53	47	主要電腦操作者，較少提問和發表。偶會與 S5 討論學習單內容。
九	S8	男	60	48	上課專心聽講，教師課堂提問時會表達想法，與組員討論時偶會發表自己的意見。
	S9	男	50	52	上課專心聽講，遇到問題時會積極使用網路搜尋資源或詢問教師。積極參與討論，最常詢問 S10 的意見。

	S10	男	49	55	很有自己的想法，若與其他人討論時意見不同，會積極辯護自己的答案。
十	S11	男	44	38	小組討論時極少表達意見，偶與 S12 聊天，靜靜抄寫 S13 的學習單
	S12	男	53	48	上課時會聽教師講解並回答問題，參與小組討論時有自己的想法，但有時會聽音樂或與 S11 聊天，抄寫 S13 的學習單，
	S13	女	46	-	主要填寫學習單者，先與 S13 討論並完成學習單後，再借 S11 和 S12 抄寫。上課聽講並回答教師課堂提問問題。
	S14	女	38	42	主要使用電腦查資料與操作軟體，常與 S13 討論但與其他男生互動少。上課聽講並回答教師課堂提問問題。

本研究中研究者扮演「作為參與者的觀察者 (observer-as-participant)」(Fraenkel & Wallen, 1990/2003) 之角色，參與課程研發且偶而進行教學指導，但大多數的時間以作教室觀察為主。

第二節 研究設計與流程

本研究採個案研究法，研究流程共可分為三個階段，分別為「準備階段」、「資料收集階段」與「結果分析階段」(參閱圖 3-2.1)，各階段的工作項目與內容分述如下：

一、準備階段

從 2005 年 9 月到 2006 年 4 月為準備階段。在蒐集相關文獻，確定自己的主題與研究問題後，配合鷹架式數位建模學習計畫的進行，參考文獻中學生的空污與大氣運動相關概念學習的內容，發展空污概念測驗試題、探究測驗試題以及空污建模課程。在發展過程中，經過兩位相關領域專家學者以及兩位高中地科教師的審查修正，並在 2006 年 5 月初於台北市某公立女子高中進行前導性測試(pilot study)，以修正課程內容、實施程序以及測驗與晤談的問題。

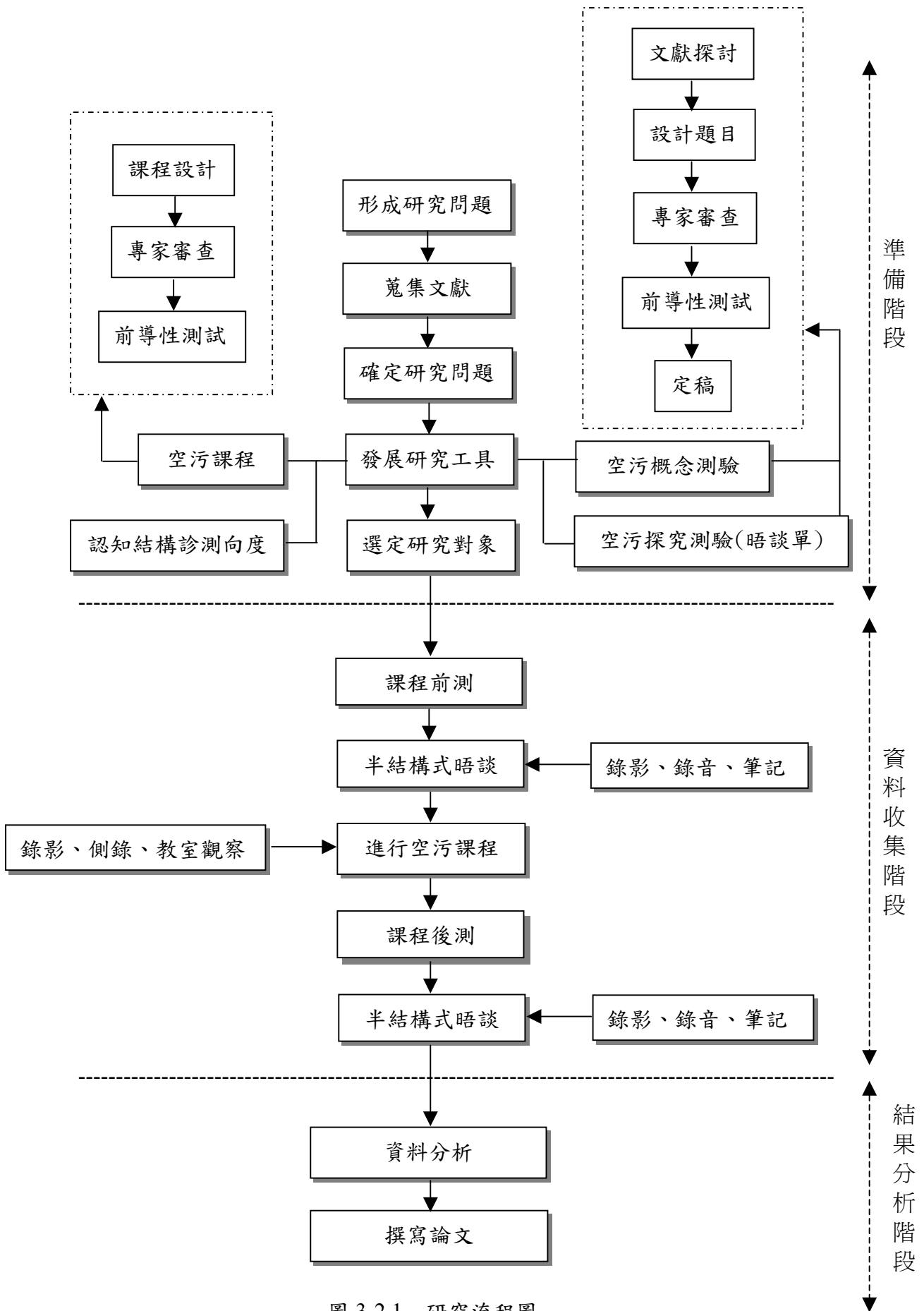


圖 3-2.1 研究流程圖

二、資料收集階段

從 2006 年 10 月底到 2007 年 1 月初為資料收集階段。其中的工作內容包括「課程前測」、「前測晤談」、「課程前置訓練」、「空污建模課程教學」、「課程後測」、「後測晤談」，共六個步驟。步驟流程與內容如表 3-2.1 所示：

表 3-2.1 教學流程表

流程步驟 (週次)	時間 (分)	工作內容	地點
課程前測 (第一週)	10	1.課程與測驗說明	地科教室
	50	2.空污概念測驗	
	60	3.空污探究測驗	
前測晤談 (第一、二週)	30/人	根據探究測驗內容晤談(15 位)	一般教室
課程前置訓練 (第三週)	10	1.科學園註冊登錄	地科教室
	10	2.線上討論區及學習資料說明	
空污建模課程教學 (第三~九週)	110	1.課程一：空氣品質	地科教室
	150	2.課程二：大氣運動與污染物擴散	
	150	3.課程三：大氣穩定度與煙流型態	
	150	4.課程四：建模軟體—「建模」階段	
	150	5.課程五：建模軟體—「測試」階段	
	150	6.課程六：建模軟體—「應用」階段	
	150	7.課程七：建模軟體—「個案」階段	
課程後測 (第十週)	60	1.空污探究測驗	地科教室
	50	2.空污概念測驗	
	120	3.小組成果發表與頒獎	
後測晤談 (第十週)	30/人	根據探究後測內容晤談(14 位)	一般教室

課程進行時間為每週六上午九時至十二時，共進行十週。第一週由該高中地科教師說明課程內容與進度後，請學生作答空污概念評量測驗與探究測驗。測驗完成後的剩餘時間以及第二週，則由包含研究者等四位計畫研究生依據學生所填寫的探究測驗內容進行焦點組學生的前測晤談。

第三週首先請學生於科學園完成註冊登錄的工作後，即開始空污建模課程之教學。課程由第三週起至第九週，分為七個模組活動：活動一至活動三為奠定空污相關的內容知識（Content Knowledge），發展重要知識概念的基礎課程（Benchmark Lessons）；活動四至活動七則操作線上建模軟體，運用前述之內容知識，進行建模過程中重要的變因確認及關係測試，建立程序知識（Procedural Knowledge）。詳細之活動內容介紹請參閱本章第三節。

最後，於第十週再一次請學生作答空污概念評量測驗與探究測驗，並延長時間至下午兩點進行小組成果發表與頒獎。成果發表期間由原四位晤談者根據學生所填答的探究後測內容進行焦點組學生的後測晤談，瞭解學生於課程後的學習狀況，藉以作前後比對。

三、結果分析階段

從 2007 年 3 月到 6 月則為結果分析階段，此階段任務為「資料分析」以及「撰寫論文」。主要在分析學生的前後測概念學習情形、學習單填寫內容、討論區的內容與使用狀況，並將前後測的晤談資料轉錄成文字稿加以編碼，進行歸納分析以了解學生的認知結構類型與課程前後認知結構改變情形，最後進行論文的撰寫。

第三節 研究工具

本研究工具可以分為三類，分別為教學工具、測驗工具以及診測工具。教學工具即為「空污建模課程」，測驗工具則包括「空污概念診斷測驗」、「空污探究測驗」與「晤談單」，診測工具即是「基模-概念圖」與「認知結構向度」。茲將上述各研究工具的發展原則、流程與內容，詳細說明如下：

一、空污建模課程

(一) 課程發展原則與流程

在發展空污建模課程之前，先進行國中與高中關於空氣污染、大氣現象與運動相關內容的分析(詳見文獻探討第四節之介紹)，作為本研究課程設計的參考。歸納後發現，雖然國內的中學地科教育課程提及空氣污染內容，也對地球大氣現象及特性作介紹，但卻未能將兩者之間的因果關係綜合討論。因此，在設計空污建模課程時，概念知識學習的主旨即在統整空氣污染主題與地球大氣課程，更增添一般空污課程中少見的污染物擴散與傳播的內容。另外，本研究所配合的「鷹架式數位建模學習計畫」研發建模工具軟體，經由網際網路讀取資料庫中的氣象數值資料以模擬各變因影響空氣污染的傳播情形，目的在建置以真實情境為出發的探究活動，培養重要的科學過程技能。

本課程的教材內容初步建置完成後，曾在 2006 年 4 月諮請兩位空氣污染與大氣領域專家(一位為台大大氣系教授，另一位則為中研院環境變遷中心博士後研究員)進行內容效度的審查，根據專家提供的意見，進行內容的修正。並於同年 5 月初於台北市某公立女子高中進行前導性測試(pilot study)，參與學生為一班共 35 人，之後請該校及正式施測學校的地科教師根據測試結果共同合作完成課程內容與實施程序的最後修訂，以做為正式施測教學之用。

(二) 課程設計內容

本課程以高一、二學生為設計對象，共有七個模組活動，每個活動進行時間為三堂 50 分鐘的課程，透過教師講授、演示實驗，學生分組討論填寫學習單（見附錄一）、操作模擬軟體等方式，使用者將學習重要的空氣品質相關科學概念，並建立探究能力。活動一至活動三為奠定空污相關的內容知識（Content Knowledge），發展重要知識概念的基礎課程（Benchmark Lessons）；活動四至活動七則操作線上模擬軟體，運用前述之內容知識，進行建模過程中重要的變因確認及關係測試，建立程序知識（Procedural Knowledge）。各活動內容詳述如下：

1. 內容知識

活動一課程請學生進行生活經驗分享，舉例說明生活週遭的空氣品質狀況及其可能影響因素（或聽過的空氣污染事件及發生原因）。介紹學生認識及使用環保署的「空氣品質監測網」，根據污染物濃度與污染副指標值對照表判斷目前的 PSI 值與空氣品質狀況，活動一內容知識概念圖如圖 3-3.1 所示。

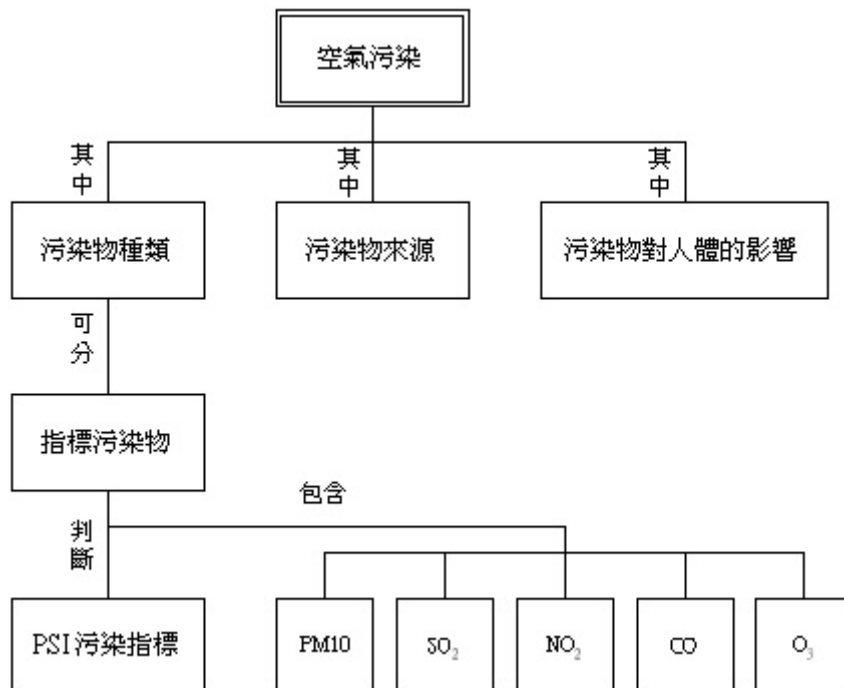


圖 3-3.1 活動一內容知識概念圖

活動二課程首先介紹地表大氣的風場，了解大氣邊界層的範圍與地表風速的作用，並利用噴放香水活動體會氣體分子的擴散運動和擴散現象，其後藉由高雄中油煙囪排放之影片引導至污染物擴散行為的介紹，包含污染物的水平擴散與垂直擴散。另運用線香活動呈現渦流擴散（Eddy diffusion）對大氣污染物的擴散行為影響，之後介紹本課程的核心概念：大氣穩定度的狀況與條件，並讓學生操作大氣穩定度的模擬動畫（如圖 3-3.2）以釐清概念及加深印象。

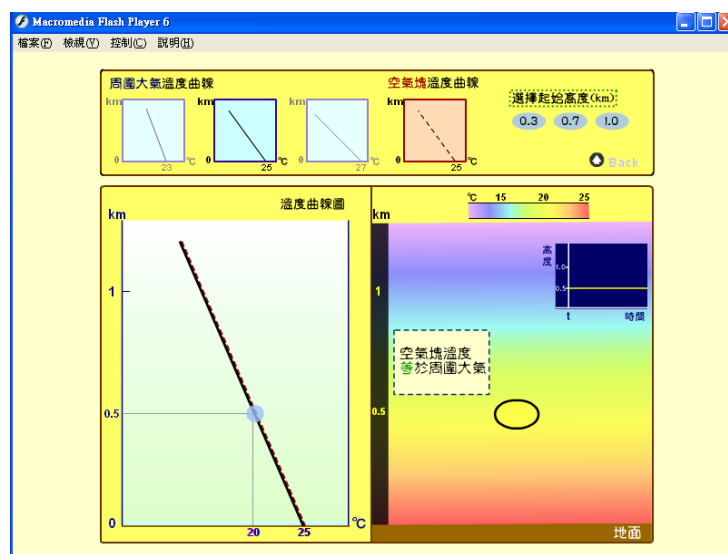


圖 3-3.2 大氣穩定度模擬動畫

活動三延續活動二之大氣穩定度的概念，複習溫度梯度對大氣垂直運動的影響，並將大氣穩定度與污染物煙流型態結合，讓學生判斷不同的穩定度狀況下，煙囪排放的空氣污染物可能呈現出何種煙流型態。活動二及活動三的內容知識概念圖如圖 3-3.3。活動一至活動三的學習目標與對應之國內課程標準如表 3-3.1。

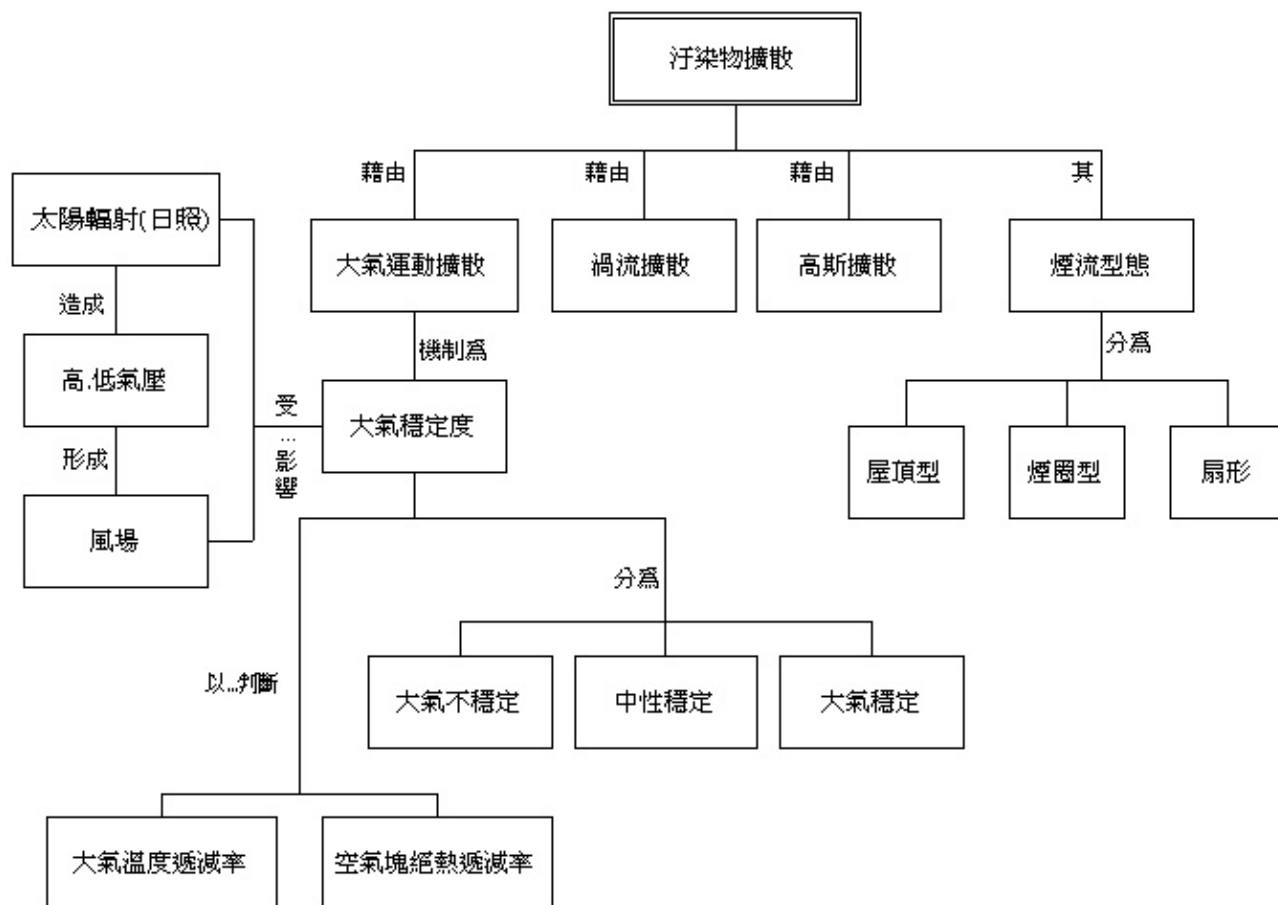


圖 3-3.3 活動二及活動三之內容知識概念圖

表 3-3.1 活動一至三相關概念與國內課程標準之對應

先備知識	各活動學習目標	對應之高中課程標準(95)
<u>九年一貫</u> 空氣污染與防治 2b. 知道什麼是空氣污染。 3d. 體察空氣受到污染會對生物產生的影響，並能知道空氣污染防治的簡易方法。 4d. 能夠收集資料歸納空氣污染的種類及污染來源，並比較防治與改善方法。	活動一： (1) 學生能舉例說明生活週遭的空氣品質狀況及其可能影響因素。 (2) 學生能說出空氣污染物的種類、來源及其對人體的影響。 (3) 學生能指出空氣品質的指標污染物 (PM10, SO ₂ , NO ₂ , CO, O ₃) 及 PSI 污染指標的意義。 (4) 學生能依據空氣品質觀測值來判斷 PSI 值及空氣品質狀況。	<u>高一暫行化學課程綱要</u> 3-2 以一般常見的大氣污染現象說明污染物及其來源 3-3 大氣污染對環境的影響及其防治方法 <u>高一暫行地科課程綱要</u> 知道各種污染(水、空氣、酸雨、土壤...)的嚴重性。

<p><u>九年一貫</u> 天氣圖 3c.認識天氣圖上高、低氣壓、鋒面、颱風等符號及其表現的天氣現象。 台灣的天氣 4b.知道高、低氣壓推移流動的性質。</p>	<p>活動二： (1) 學生能指出影響污染物濃度的氣象條件(風場、大氣穩定度等)。 (2) 學生能說出大氣擴散概念與擴散行為(高斯擴散、渦流擴散)等定義。 (3) 學生能說明風場與太陽輻射如何影響大氣穩定度。 (4) 學生能指出大氣穩定與不穩定的狀況及條件，並能辨識所提供實例的大氣穩定狀況。</p>	<p><u>高一暫行地科課程綱要</u> 了解大氣層垂直氣溫、氣壓的分布特性 了解高、低氣壓系統與風向、風速、大氣垂直運動的關係，及其與天氣變化的關係。 <u>高二暫行化學課程綱要</u> 氣體的擴散</p>
	<p>活動三： (1) 學生可以解釋不同的溫度遞減率對煙流的影響</p>	<p><u>高一暫行地科課程綱要</u> 了解大氣層垂直氣溫、氣壓的分布特性 了解高、低氣壓系統與風向、風速、大氣垂直運動的關係，及其與天氣變化的關係。 <u>高二暫行化學課程綱要</u> 氣體的擴散</p>

2. 程序知識

活動四至活動七著重於建模過程的變因釐清與關係測試，並期望學生詮釋與解釋資料後形成結論，此四個活動均需利用空氣污染線上模擬軟體完成。活動四運用實體模型將煙流垂直剖面轉換為水平分布；活動五利用新聞報導情境引發各變因探究過程，從列舉、分類、釐清影響變因，至瞭解變因間關係；活動六進一步討論變因綜合影響，首先以到木柵動物園出遊為情境，測試附近焚化爐的污染物排放在不同氣象條件影響下的空氣品質，選擇最適當的出遊時間，接著評估山谷地形與海陸交界處等不同地形如何影響空氣品質，選擇最適當的出遊地點，對照的建模過程相當於解釋及詮釋資料並形成結論。將活動四~七的學習目標與建

模過程對應呈現於表 3-3.2。

表 3-3.2 活動四至活動七學習目標與建模過程之對應

課程	學習目標	對應之建模過程 (建模軟體階段)
活動四	(1) 學生能由垂直煙流分布轉換成水平煙流分布。 (2) 學生能說明空氣污染物三度空間的分布。 (3) 學生能利用電腦模擬軟體驗證和修正污染物垂直與水平轉換。 (4) 學生能操作空污軟體。	
活動五	(1) 學生能指出空氣污染的變因，並說明變因對空氣品質的影響。 (2) 學生能運用先備知識預測變因之間的關係。 (3) 學生能利用電腦模擬軟體驗證和修正所預想的變因關係。	舉出相關變因 釐清影響變因* 瞭解變因間關係* 預測並驗證* (建模、測試階段)
活動六	(1) 學生能瞭解變因（地形與氣象）的加成影響效果。 (2) 學生能應用各變因影響機制解釋或預測空氣污染事件。 (3) 學生能解釋模擬結果的圖表資料。	解釋及詮釋資料* 形成結論 (應用、個案階段)
活動七	(1) 學生能根據研究問題，提出研究計畫。 (2) 學生能根據研究問題，提出資料分析的方法。 (3) 學生能根據氣象（風場）、地形變因資料，解釋氣象（風場）、地形變因對空氣品質的影響。	整合建模過程

*空氣污染線上模擬軟體可對應之建模過程

空氣污染線上模擬軟體於各階段操作時可建立不同的能力：「建模」階段經由設定不同的變因條件，檢驗該變因對污染物分布的影響；「測試」階段建構影響空氣品質的變因關係，並利用電腦模擬軟體檢驗和修正所預想的變因關係，活動五則以此特性設計各變因的預測與測試驗證練習；「應用」階段依據所提供的變因條件，探討多個變因對污染物分布的影響，培養使用者解釋及詮釋資料的能力；「個案」階段由天氣個案資料作電腦模擬運算所得的污染物空間與時間分布圖，比較不同大氣條件下污染物分佈的差異，活動六便利用情境設計課程，引導使用者分析判斷後形成結論。

(三) 空氣污染線上模擬軟體

本軟體操作需進行使用者註冊並執行登入，以便記錄各階段測試與解釋資料過程。學習軟體包含四個階段，分別為建立變因間關係（建模）、測試獨立變因（測試）、多變因應用模擬（應用）以及案例分析（個案），除第一個階段外，其它階段的介面均相似，故茲舉第一及第四階段介面說明，並佐以各功能差異簡述如下。

1. 第一階段—「建模」介面

圖 3-3.4 框架出本介面的三大操作區塊。

(A)階段橫幅區塊：各階段任務標示及提示，告知使用者目前所在位置及學習目標。

(B)Help 區塊：提供此介面的使用說明動態檔案，協助使用者在無教師指導下自行學習該介面操作方式及瞭解學習目標。以上階段橫幅及 Help 兩區塊屬於軟體操作鷹架，因此均存在於各階段介面，後不贅述。

(C)主畫面區塊：設定了六項變因種類，使用者以滑鼠選取不同的變因條件，改變其數值變化(↑為增加，↓為減少，x 為不變)，並預測該變因的改變對煙囪兩側不同位置的污染物濃度之影響。其後於軟體的各階段檢驗後，可再回此階段重複修改。使用者每次建模完成後，需按「儲存」鍵，即可於各階段中的建模結果區塊顯示其儲存結果。



圖 3-3.4 建模軟體「建模」階段介面的各區塊框架圖

2. 第四階段—「個案」介面

圖 3-3.5 框架出本介面的五大操作區塊。

- (A)模擬畫面區塊：預設模擬之空氣污染物質為由工廠所排放的二氧化硫（SO₂），濃度值以色塊表示。空氣污染傳播模擬測試將以某一固定高度的水平空間傳播結果呈現，區域面積涵括 12 公里×12 公里，屬於小尺度規模。此區塊分為左右兩畫面，便於同時顯示兩種模擬結果以比較之，新的模擬畫面出現於左方，舊的模擬結果則移往右側。各畫面的左上角 (田) 圖樣點入後，會列出該模擬畫面的各項變因數值，提醒該模擬圖之相關資料。右上角則可選擇顯示出不同垂直高度（0 至 100 公尺）的污染物分布圖。「個案」階段更可進一步呈現該模擬案例的地形圖。
- (B)功能選項區塊：「測試」及「應用」階段的功能包含單滑鼠點選、雙滑鼠點選、目前差值、垂直剖面四項，「個案」階段去掉垂直剖面後，再增加單點折線圖、對照折線圖、逐時差值，共達六項功能。滑鼠點選功能提供使用者任意點選模擬區域，得知該處之空氣污染物濃度數值，雙滑鼠點選則可同時得知兩模擬結果同一處的污染物濃度值。目前差值功能則用於以圖像表徵顯示兩模擬結果的濃度差值。垂直剖面功能顯示出垂直剖面的污染物濃度分布，濃度值以色塊表示。折線圖功能提供使用者瞭解該案例 48 小時內污染物的濃度變化，對照折線圖即是兩模擬案例的 48 小時濃度變化折線比較。逐時差值功能以動態圖像呈現兩模擬案例的濃度差值，在 48 小時內的差異變化。
- (C)變數輸入區塊：「測試」、「應用」、「個案」三階段的學習目標各異，造成此區塊樣貌略有不同，但皆將跳出單獨視窗提供使用者輸入操作。「測試」階段目標為測試獨立變因，故將分別就排放源特性、風場、大氣穩定度三類項目進行各單獨變因資料設定。「應用」階段目標為多變因應用模擬，因此使用者將可一次輸入所有變因資料，直接得到自行設定變數的模擬結果。「個案」階段的案例分析內建三種個案的氣象場條件（東北風、

西南風、海陸風），以及設定不同區域的地形條件（無地形、6 個不同地點、地勢高低）。

(D)建模結果區塊：呈現「建模」階段完成儲存的變因對污染物分布與濃度影響之關係圖，在模擬的過程中，使用者可隨時按（編輯）鍵回「建模」階段修改該變因的影響，其後即呈現新儲存的結果圖。

(E)資料解釋區塊：依各階段學習目標所設計之評量區塊，包括選擇與文字輸入型態。

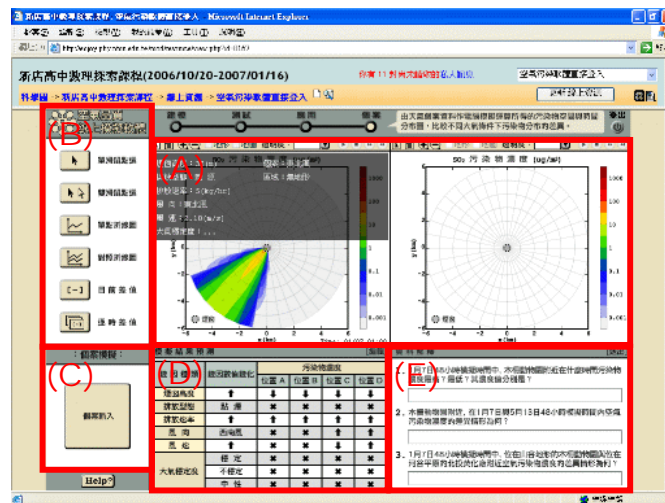


圖 3-3.5 建模軟體「個案」階段介面的各區塊框架圖

(四) 科學園課程工具

科學園是由師大黃福坤教授所建構之網站，此網站是一個針對科學學習所設計的網路線上課程系統。教師可以申請開設課程，並可在課程內添加各種教學資源（網頁、動畫、圖片文字或連結等）、設計學習檔案（學習單、題庫、作業、問卷等）、建立討論區、使用聊天室等線上教學工具，學生透過課程所提供的線上資源參與學習活動和討論以輔助學習。此外，學生瀏覽檔案、發表文章的時間與次數以及線上測驗的成績等，都會自動紀錄在系統中，教師可隨時觀看學生學習的情況。在本研究中，也於此平台設立一線上課程，提供課程資料如學習單和上課簡報，並設計與主題知識相關的問題，利用討論區讓學生進行腦力激盪與討論。

二、測驗工具

(一) 空污概念測驗 (見附錄二)

發展此評量測驗的目的在用以評量學生對空氣污染與大氣運動相關概念的理解程度。題目內容設計依據國內現行九年一貫課程綱要以及高中 95 年暫行課程綱要，選擇有關空污與大氣運動主題的知識內容，共分為三大主要學習概念，分別為空氣污染源及其排放種類、大氣垂直溫壓結構與大氣穩定度，以及大氣運動與污染物的擴散，並配合課程教學目標與認知層次設置雙向細目分析表 (表 3-3.3)。題目形式為封閉式的單一選擇題，題目總數共 30 題。本測驗在內容效度方面，經由三位師大教授 (分別為地球科學系、物理系、科教所的教授) 以及一位高中地科教師指導修正而成。

本測驗於正式施測前在台北市某公立女子高中進行前導性測試 (pilot test)，所得到學生其 KR20 信度值為 0.984，正式施測的 KR20 信度值為 0.968。學生在課程進行前後，會分別作答此測驗，空污概念測驗內容如附錄二所示。

表 3-3.3 空污概念測驗雙向細目分析表

認知層次 概念	知識	理解	應用	分析
空氣污染源及其排放種類	能說出空氣污染物的種類、來源及其對人體的影響(對人體影響部份不列入評量) 01,05	1.能舉例說明生活週遭的空氣品質狀況 2.能舉例說明可能影響空氣品質的來源		
	能指出空氣品質的指標污染物 (PM10, SO ₂ , NO ₂ , CO, O ₃) 及 PSI 污染指標的意義 02,03	一次污染源與二次污染源的產生機制 04	能依據空氣品質觀測值來判斷 PSI 值及空氣品質狀況	

大氣垂直 溫壓結構 與大氣穩 定度	能指出影響大氣穩定度的因子	能說明單純條件下，地表接收到的太陽輻射強弱與大氣穩定度的關連 29,30	能依據所提供太陽輻射的資訊預測大氣穩定度的狀況(結合日照量的圖表，預測不同時間的相對穩定度)	
	能夠說出大氣穩定與不穩定的狀況及條件	能辨識所提供實例的大氣穩定狀況 06,07,12,13	由大氣溫度遞減率的圖表判斷大氣穩定度的狀況 08,18,19,20,21,22,15,16	提供溫度遞減的數值以分析大氣穩定的狀況
大氣運動 與污染物的 擴散	能說出大氣擴散概念與擴散行為等定義 14	能夠知道 Eddy diffusion 對大氣污染物的擴散行為 27,28		
	能指出大氣穩定度為影響大氣中污染物擴散行為的主要因素 17	可以說出風速和溫度梯度對污染源分布的影響 09	能依據大氣穩定度及擴散行為預測污染物的分布狀況 10,11,23,24,25,26	可以分析、解釋實驗結果(提供實驗數據，讓學生分析和解釋結果。)

(二) 空污探究測驗

為了瞭解學生的探究能力表現以及空污相關知識的應用，於是發展此探究測驗。本測驗內容設計依據科學家進行研究的探究過程：釐清變因、設計實驗、進行預測、解釋與詮釋、提出結論和應用等，設計一系列問題，並涵括本課程中主要的知識應用問題(表 3-3.4)，均以問答題的形式呈現。題目總數共 11 大題，有些大題包含 2 至 3 小題，限制作答時間為 60 分鐘。在課程實施前後讓學生作答本測驗，其後並進行晤談以輔助深入瞭解。本研究主要分析空污探究測驗 1、2、9、10、11 題(見附錄三)。

表 3-3.4 空污探究測驗設計依據對應表

設計依據	題號
釐清變因	2
設計實驗	3、4、5
進行預測	6
解釋與詮釋	7
結論應用	8
主要知識應用	1、2、9、10、11

(三) 晤談單

本研究共進行兩次晤談，分別在前測與後測結束後進行，採半結構性晤談方式。兩次晤談的目的在於瞭解學生所回答的探究測驗內容，並依據學生的填寫內容作更細部的問答以確定學生的理解程度，因此晤談問題與學生所作答的探究測驗問題大致相同。由於晤談者非僅研究者一人，還包含計畫群的研究生與助理共四人，為確保每個晤談者提問的一致性，因此設置了晤談注意事項，除列舉出各晤談題目的細部提問小題，也盡量統一晤談者的提問技巧。晤談對象均為焦點組學生，前測晤談人數共 15 人，後測晤談人數共 14 人，每人晤談時間約 30~40 分鐘。晤談單與晤談注意事項見附錄四，詳細晤談內容範例見附錄五。

第四節 資料分析

本研究所使用的資料分析方法與分析內容列於表 3-4.1，並詳述如下：

表 3-4.1 資料分析方法

研究問題	研究假說/內容分析	分析資料	分析方法
學生在學習前對空氣污染與大氣運動相關概念的瞭解	1. 根據概念測驗得分情形，分析學生具有的先備知識。 2. 搭配學生的探究測驗以及晤談，分析其概念型態。	1. 概念測驗前測 2. 探究測驗前測、前測晤談資料	• 描述統計 • 分析內容
學生在學習前後的 concept 成就表現	1. 比較學生在概念前後測驗得分差異情形。 2. 學生在概念後測得分顯著高於前測得分。	1. 概念測驗前、後測成績	• 描述統計 • Paied-t-test
學生在學習前後的 concept 認知結構改變情形	1. 依據學生的探究測驗與晤談內容進行認知結構分類。 2. 學生在認知結構後測得分顯著高於前測得分。	1. 探究測驗前、後測 2. 前、後測晤談資料	• 分析內容 • Paied-t-test
不同認知結構改變類型的學生其 concept 學習狀況	1. 分析不同認知結構改變類型的學生在課程中的 concept 學習狀況。 2. 前後測認知結構改變佳的學生，課程學習狀況佳。	1. 學生學習單 2. 課程內容 3. 課堂錄影與測錄資料	• 描述統計 • 分析內容

一、量的分析

(一) 空污概念測驗分析

- 1.根據學生的概念前測與後測得分，以描述統計分析學生得分的分布情形、平均數值、標準差以及變異數值等統計資料，作為前後比對。
- 2.依概念測驗雙向細目分析表(表 3-3.3)，題目設計可分為三大主要學習概念，以描述統計分別分析學生在各主要學習概念的得分情形。
- 3.以成對樣本 t 考驗 (Paired-t-test) 比較學生在完成課程後，概念測驗的前後測得分是否有顯著差異。
- 4.比較個案學生在概念測驗的前後測得分改變情形。

(二) 空污探究測驗與晤談資料分析

- 1.根據本研究設計的認知結構向度評分標準，將個案學生在探究測驗與晤談單前後測的 1、2、9、11 題之回答內容加以評分，以成對樣本 t 考驗 (Paired-t-test) 比較學生在完成課程後，認知結構各向度的前後測得分是否有顯著差異。

(三) 學習單分析

- 1.依據空氣品質概念分類架構(圖 3-3.6)，將個案學生所填寫的課程學習單內容依主要概念類型編碼，並計算每位學生在各主要概念的出現次數。

(四) 統計分析的假設考驗與原則

Steven (1996) 指出在進行 Paired-t-test 時，必須滿足「樣本獨立性」(independent)、「常態性分布」(normally distribution) 與「變異數同質性」(homogeneity of variance)。

本研究使用的統計分析方法考驗「空污概念測驗」以及「認知結構向度」，檢定內容敘述如下：

- 1.常態性檢定：使用 Kolmogorov-Smirnovz 考驗是否為常態性時，
- 2.變異數同質性檢定：通過考驗。

二、質的分析

(一) 空污探究測驗與晤談資料分析

- 1.分析探究測驗與晤談的前測資料，可以作為依概念測驗分析學生先備知識的佐證與修正依據。
- 2.將個案學生的探究測驗與晤談前後測資料，繪製成其模一概念圖，分析學生的認知結構類型，並探討課程前後的認知結構改變情形。

(二) 課程內容與學習單分析

- 1.依據空氣品質概念分類架構，分析課程內容的設計。
- 2.分析學生在課程中，學習單與作業的填寫狀況。

(三) 課堂錄影與側錄資料分析

- 1.轉錄課堂錄音、錄影與側錄資料，依據鷹架使用與認知投入編碼項目，取學生課程進行中所發生的事件（events）為分析單位，例如討論同一主題、教師指導與學習行為的段落（分析單位範例見附錄七），加以編碼分析次數頻率以瞭解學生的課堂學習狀況。

(四) 認知結構型態分析

為了瞭解學生於課程進行前後所具有的認知結構型態，研究者依據 Champagne、Gunstone 和 Klopfer（1983, 1984）所提出的知識結構四要素稍加修改後，將與空氣品質相關的知識概念分類，分類項目與說明如表 3-4.2，而概念架構如圖 3-4.1 所示。

表 3-4.2 基模—概念分類項目說明表

項目	說明	範圍性	複雜度	本研究中所使用的知識範例		
基模	具最大概念範疇，亦即本研究的中心學習主題。	大 ↓ 小	高 ↓ 低	空氣品質		
次基模	<ul style="list-style-type: none"> • 附屬於基模下的小型基模，即影響中心學習主題之下的次主題。 • 每個次基模之下涵括許多概念以及由概念和概念連結而成的命題。 			氣象場	污染源特性	地理條件
主要概念	隸屬於次基模主題的要領概念。			氣壓、風	污染來源、污染物	地勢高度、地形
次要概念	主要概念下的附屬概念。			高氣壓、低氣壓、風向、風速...等	汽機車、一氧化氮、碳氫化物...等	盆地、山、高、低...等

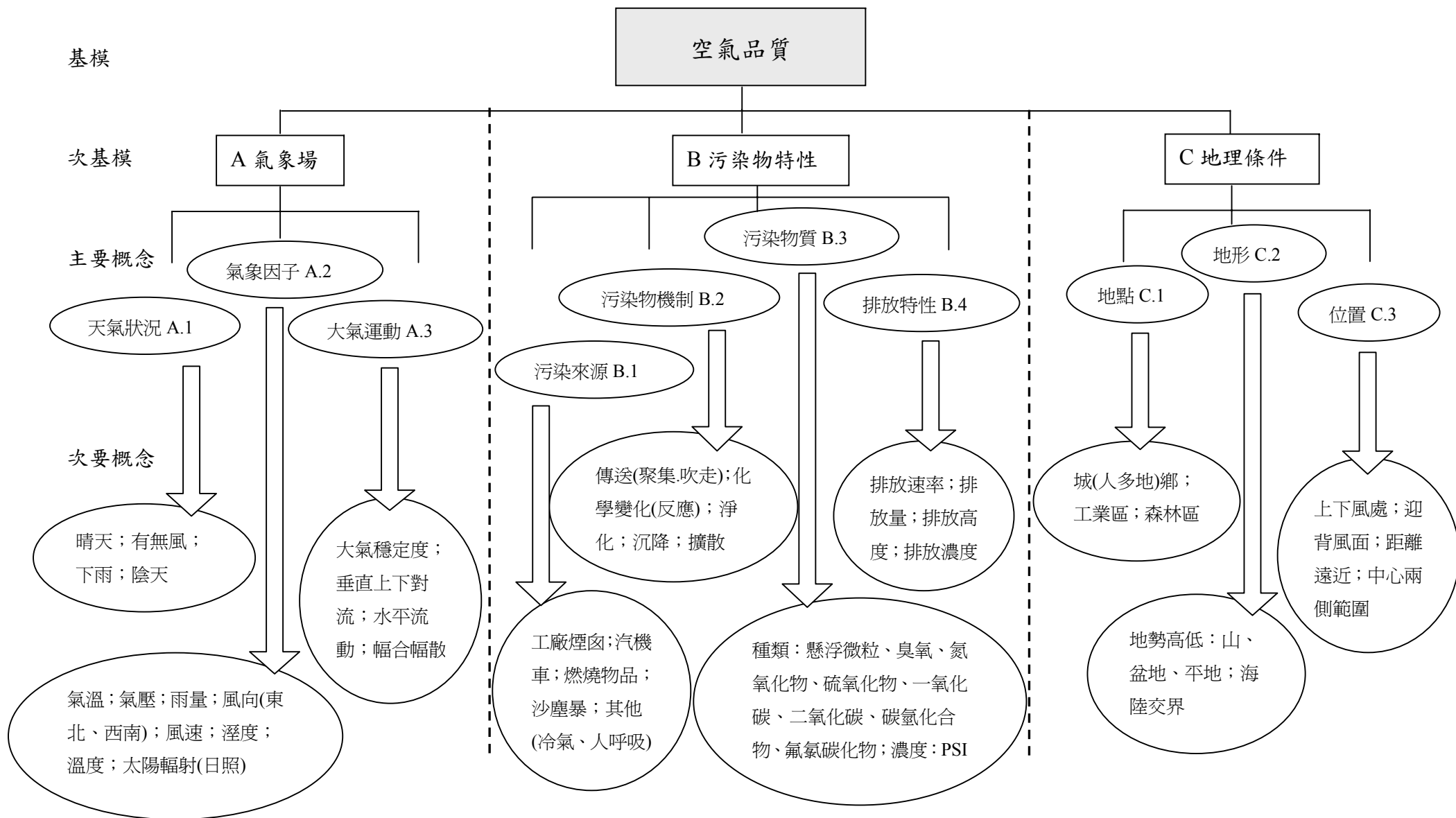


圖 3-4.1 空氣品質概念架構

此概念分類架構在內容效度方面，採用專家效度的方式，在發展過程中諮詢兩位相關領域的教授學者（一位為台大大氣系教授，另一位為中研院環境變遷中心博士後研究員）進行專家審查。其後即依據此分類，針對學生所作答的探究試題內容與晤談內容中有關於主要知識應用的題目（1、2、9、10、11 題）進行分析編碼，分析單位為命題，並將學生的知識結構以「基模—概念結構圖」呈現，如圖 3.4-2。若出現錯誤的命題，則呈現的命題框線為虛線，此錯誤命題所包含的次要概念框線亦為虛線。藉由課程進行前後所呈現圖形的差異，探討學生的概念學習狀況與成效。分析編碼的流程如圖 3-4.3 所示。

本研究在課程進行前先對大氣與空污相關領域專家進行晤談，並將專家晤談內容依空氣品質概念架構繪出其基模—概念結構圖，如圖 3-4.4，以作為專家對照圖。

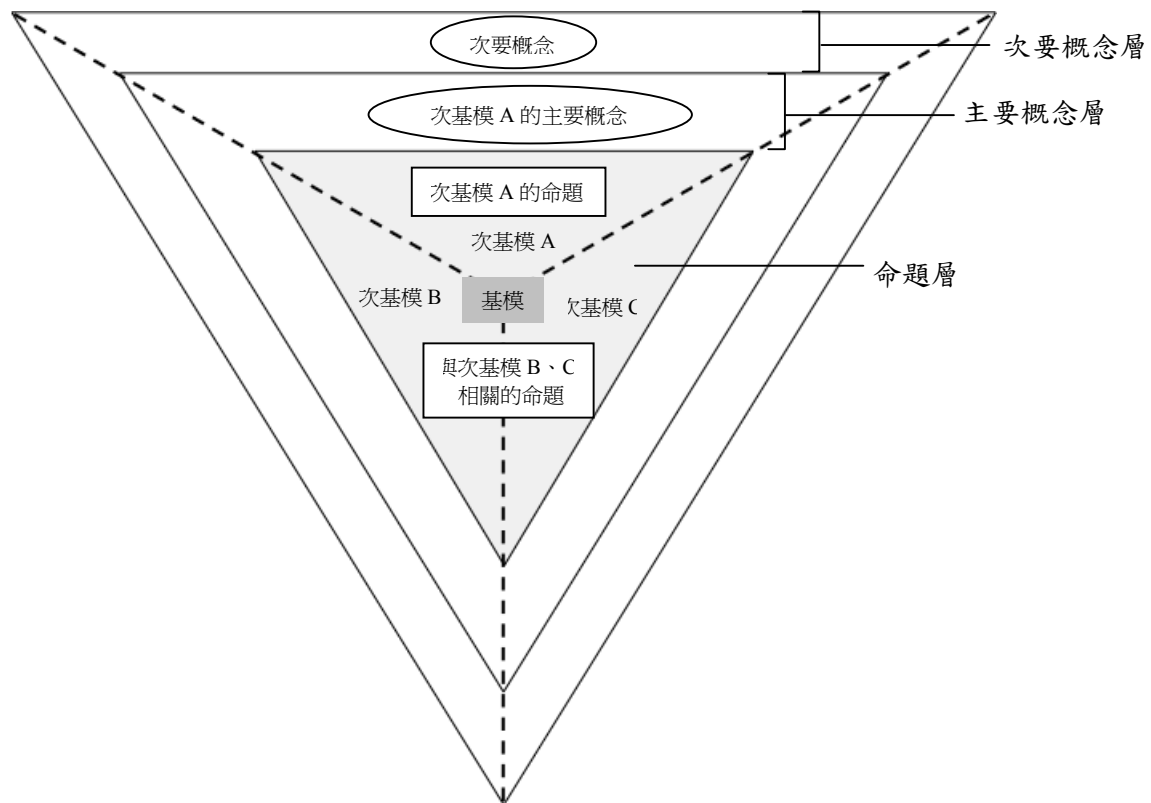


圖 3-4.2 基模—概念結構圖

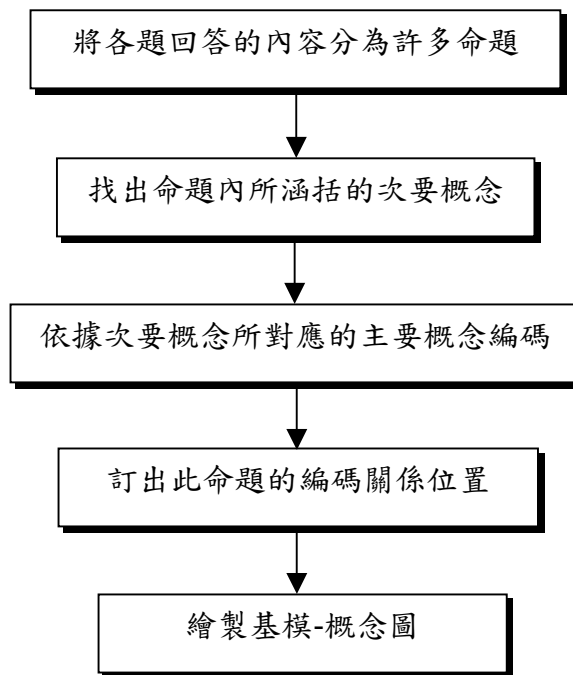


圖 3-4.3 概念命題分析編碼流程圖

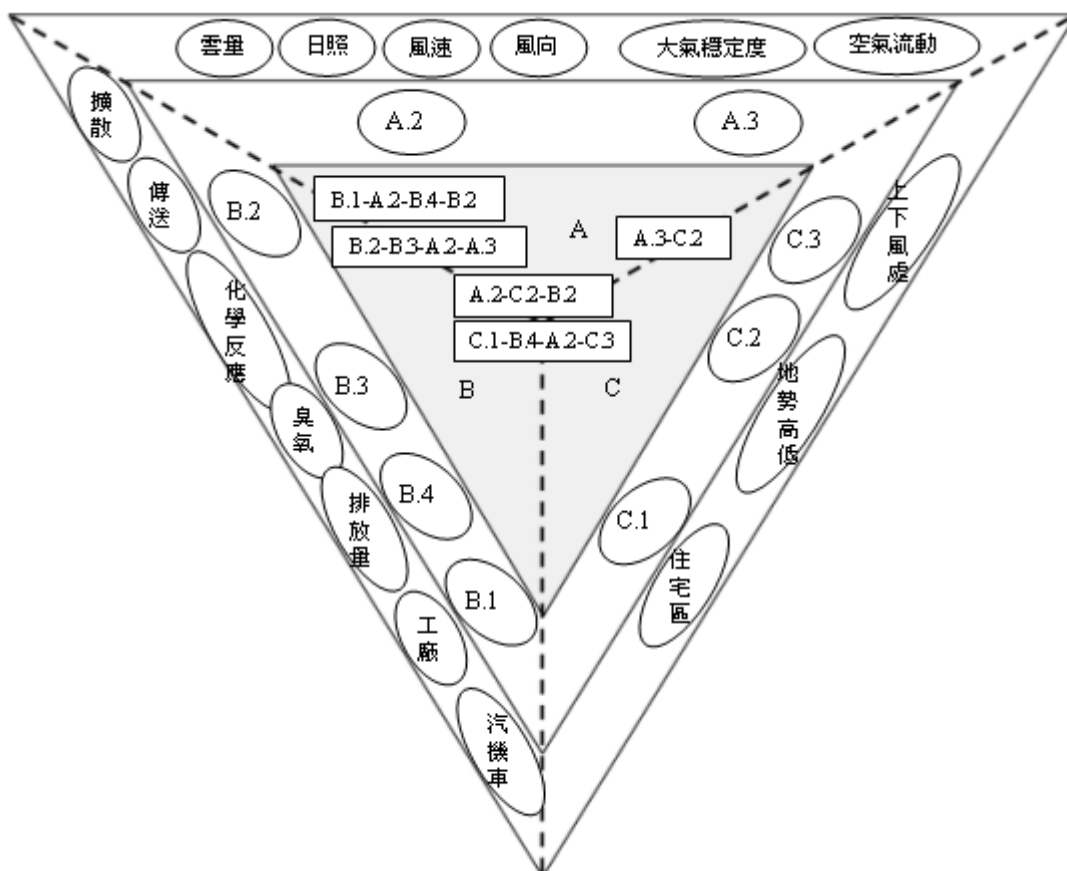


圖 3-4.4 專家基模-概念結構圖

學生的作答內容在描述時往往會出現不同的表達字句，經過研究者和協助進行互評者信度的科教組研究生討論過後，對此分類架構中的各概念意涵以及編碼技巧均達成共識（命題編碼說明見附件六），再進行互評，關於次要概念數的互評者信度為 0.902 (Pearson $r = 0.902$)，而命題關係位置的互評者信度為 0.873 (Spearman's $\rho = 0.873$)，兩者皆達到 0.01 的顯著水準。

(五) 認知結構向度分析

本研究中使用三個診測向度以分析學生所具之認知結構，分別為「概念廣度」、「概念連結關係」以及「概念解釋模式」。以下即詳述此三個向度的評測方法與評量標準。

1. 概念廣度

(1) 評測方法

此診測向度的主要目的為瞭解學生所具有的次基模以及所涵括的概念多寡與類型。分析的資料為空污探究測驗與晤談的第二題和第十一題，題目內容摘要與設計理念如表 3-4.3。

表 3-4.3 空污探究測驗與晤談第二、十一題之內容摘要與設計理念
題號 2

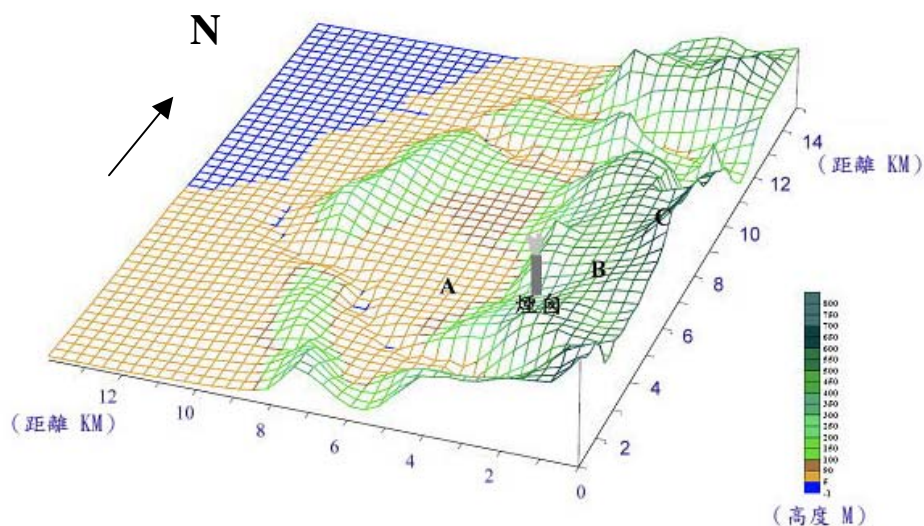
內容摘要	根據「大台北地區空氣品質隨季節和地點的變化為何」這個研究問題，你認為可能涉及到這個研究問題的變因有哪些？其中有哪些變因會影響到空氣品質？並說明它們如何影響空氣品質。
設計理念	此題大致可分為兩個小問題，用來診測概念廣度的為第一個小題，讓學生自由列舉出影響空氣品質的相關變因概念，以瞭解學生在空氣品質這樣的複雜基模下所具有的概念數多寡及類型。而第二個小題則請學生說明其所列舉的變因如何影響空氣品質，可寫出這些變因的關聯性，用以診測概念連結關係。

題號 11

內容摘要 如圖是某地區的立體地形圖，圖中 A、B、C 分別代表位於山谷、山腰與山頂的三個測站。在不考慮南北方向上風的影響且假設此煙囪為 24 小時排放的情況下，試根據煙囪所在的位置，回答下列問題：

a. 夜晚時，A、B、C 三測站的污染物濃度大小關係？並說明理由。

b. 白天時，A、B、C 三測站的污染物濃度大小關係？並說明理由。



設計理念 此問題的設計構想為提供學生實例，於題目中先設定好部份情境以及地形圖等訊息，讓學生探討不同時間點且不同位置的污染物濃度（即空氣品質狀況），並請學生說明造成污染物濃度大小變化的理由。可依回答內容瞭解學生是否運用所提供的訊息作為影響污染物濃度的變因，或是以其他變因來判斷，可診測出學生所具的概念廣度；而其回答中提及變因間的關連性則可用以診測概念連結關係。

(2) 評量標準

由於影響空氣品質的變因概念數多且繁雜，研究者即先將所有可能的影響變因分層次及類型（如圖 3-4.1），在各次基模中包含不同的主要概念，每個主要概念下則涵括許多次要概念，而此診測向度以主要概念的類型及數量計分，當出現的主要概念類型為 A.1（天氣狀況）、B.1（污染來源）、C.1（地點）時，即歸類為較為具體的日常概念，各給 1 分；而其他主要概念類型則歸類為較為抽象的理論概念，各給 2 分。其後即計算此兩題中所出現的主要概念數，依不同類型給分並加總。對於「概念廣度」的評分標準如表 3-4.4 所示。

表 3-4.4 「概念廣度」評量標準

評分依據	給分
理論概念（其他主要概念類型）	2
日常概念（主要概念類型：A.1、B.1、C.1）	1

以個案 S4 學生的前測基模—概念圖（如圖 3-4.5）為例，在主要概念層中出現了 A.1、B.1、C.1 三個日常概念，計為 1 分*3，以及 A.2、A.3、B.2 三個理論概念，計為 2 分*3，因此 S4 學生的前測概念廣度得分為 3+6=9 分。

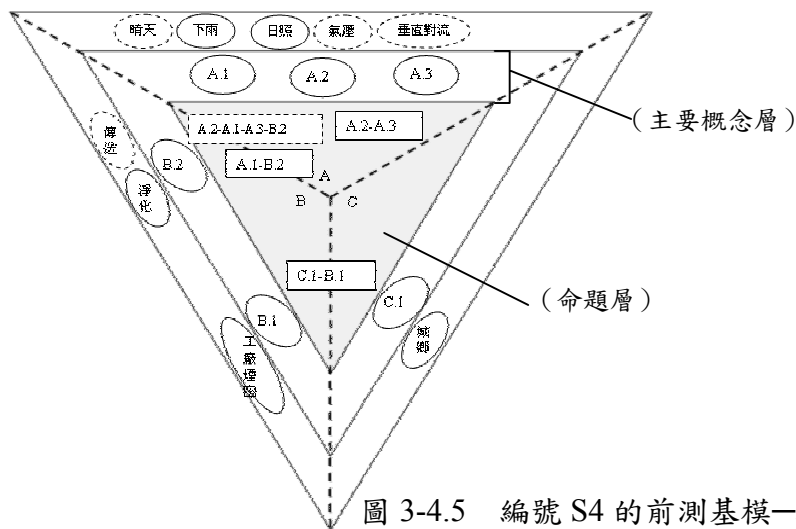


圖 3-4.5 編號 S4 的前測基模—概念圖

2. 概念連結關係

(1) 評測方法

此診測向度的主要目的為瞭解學生所具有之概念與概念間的連結情形以及關係的正確性。分析的資料與概念複雜度相同，亦為空污探究測驗與晤談的第二題和第十一題。

(2) 評量標準

依據命題敘述中出現的次要概念連結，定出其主要概念所屬的次基模連結關係位置，若屬於三次基模間的概念連結關係，給 3 分；雙次基模間的概念連結關係，給 2 分；單一次基模內的概念連結關係，給 1 分。但不管是哪一種概念連結關係，若概念關係錯誤（命題框線為虛線）則給 0 分，而若同題中重複出現相同的關係連結（如 A1-B2 出現了 2 次）則只記分一次。其後將各題內所有的概念

連結關係計分並加總。例如學生回答的命題為“排放速率很快，排放量會很多”，出現的次要概念有排放速率、排放量，其所屬主要概念均為 B4（排放特性），連結關係則定為 B4-B4，且皆屬於同一次基模 B（污染物特性）中，因此為單一次基模內概念連結，則給 1 分。對於「概念連結關係」的評分標準如表 3-4.5 所示。

表 3-4.5 「概念連結關係」評量標準

評分依據	給分
三次基模間概念連結	3
雙次基模間概念連結	2
單一次基模內概念連結	1
關係錯誤	0

同樣以個案 S4 學生的前測基模—概念圖（如圖 3-4.5）為例，A.2-A.3 為單一次基模內概念連結，計 1 分；A.1-B.2 以及 C.1-B.1 均為雙次基模間概念連結，計 2 分*2；另一虛線的命題不計分。因此 S4 學生的前測概念連結關係得分為 1 + 4 = 5 分。

3. 概念解釋模式

(1) 評測方法

此診測向度的主要目的為瞭解學生對某概念定義與解釋所運用的解釋模式，包括直觀敘述、比較與量化等分析元素。分析的資料為空污探究測驗與晤談的第一題和第九題，題目內容摘要與設計理念如表 3-4.6。

表 3-4.6 空污探究測驗與晤談第一、九題之內容摘要與設計理念

題號 1

內容摘要	若你要研究「大台北地區空氣品質隨季節和地點的變化為何」這個問題，你會如何定義空氣品質的好壞？
設計理念	這個問題的構想為讓學生寫出對空氣品質好壞的定義，即欲瞭解學生如何解釋何謂空氣品質好或壞。

題號 9

內容摘要	試回答下列與大氣穩定度有關的問題： a.何謂大氣穩定度？ b.判斷大氣是穩定還是不穩定的條件是什麼？請舉例說明。
設計理念	此題欲瞭解學生對大氣穩定度的定義與解釋，並請學生舉出判斷大氣穩定度的條件，說明並解釋如何為大氣穩定或大氣不穩定。

(2) 評量標準

分別就學生對空氣品質的定義與解釋，以及對大氣穩定度的定義與判斷條件之說明，運用直觀敘述、比較與量化等分析觀點，依據學生的回答內容加以分類與評分。研究者將概念解釋模式主要分為三種：一為科學模式，即綜合直觀敘述、相互比較以及量化概念來解釋；二為現象模式，指僅以直觀敘述的概念來解釋；三則是介於中間的模式，指以直觀敘述和比較性概念來解釋，但無量化概念。先判斷此兩題的學生回答內容中，各概念是屬於量化性、比較性或直觀敘述性概念，則分別給予 3 分、2 分以及 1 分，其後將各題內的所有概念類型得分加總。對於空氣品質與大氣穩定度的「概念解釋模式」評分標準，分別如表 3-4.7 以及表 3-4.8 所示。

表 3-4.7 空氣品質「概念解釋模式」評分標準

類型	評分依據	給分
量化性概念	<ul style="list-style-type: none">• 污染物含量濃度(PSI)• 標準界線值	3
比較性概念	<ul style="list-style-type: none">• 污染物的多寡比較• 提及不同等級• 不同因子造成影響的比較	2
直觀敘述性概念	<ul style="list-style-type: none">• 污染物質的有無• 能見度• 感覺不舒服• 對人類、生物的好壞	1

表 3-4.8 大氣穩定度「概念解釋模式」評分標準

類型	評分依據	給分
量化性概念	<ul style="list-style-type: none"> • 空氣塊與周圍大氣溫度變化率量化比較 • 以數值、圖形呈現 	3
比較性概念	<ul style="list-style-type: none"> • 垂直運動的難易(對流旺盛度) • 空氣塊與周圍大氣溫度、密度敘述比較 • 逆溫層 • 氣象因子的比較(壓力、溫度、風速、密度、日照量) 	2
直觀敘述性概念	<ul style="list-style-type: none"> • 空氣流動(空氣變動、上下或水平的運動) • 煙流形狀 • 污染物擴散情形 • 天氣狀況(陽光、雲、風、下雨、寒流等) 	1

(六) 課堂學習狀況分析

依據第二章提及的鷹架使用與學生認知投入策略發展編碼項目，藉以分析學生的課堂學習狀況。將編碼項目、內容描述以及範例說明整理如表 3-4.9。

表 3-4.9 課堂學習狀況編碼項目

編碼項目		內容描述	範例
教室對話 C	C.1 教師指導	教師單獨指導小組學習，並提供適當的引導與監控。	<p>師：你還沒寫測值，喔，S1 已經有讀了，你們先把每個測值找出來，再教你們怎麼算。你們會用內插法嗎？</p> <p>S3：不知道怎麼算。</p> <p>師：沒關係，等一下老師會教，先找學校最近的測站。</p> <p>S3：新店這附近的嗎</p> <p>師：對，找這附近的測站。</p>
	C.2 回答教師提問	學生口語回答教師於課堂中的提問，由教師提供回饋。	<p>師問全班：燃燒稻草要做什麼？</p> <p>S8：減少垃圾。</p> <p>S10：中性土質。</p> <p>師：對，可以讓土地偏鹼性，增加土壤營養度。</p>

	C.3 個人與小組發表	個人或小組進行全班性的發表，由教師提供回饋。	S10 發表：我以前聽過，因為冰山在冬天時會結冰，會把部分臭氧冰凍起來，然後等到夏天融化的時候會釋放出來，所以夏天比較高。 師：可是這個圖看起來卻是秋冬比較高喔，再想想。
同儕互動 I	I.1 組內討論	小組內進行具正向學習的互動討論。	S6：會影響擴散跟空氣流動的... S7：像老師剛剛噴，如果有東西擋住。 S6：所以還有障礙物。 S5：還有風有溫度，還有什麼？ S7：高度高低。
	I.2 組間討論	小組間進行具正向學習的互動討論。	組八：空氣塊的遞減率是一樣。 組二：交叉的這邊要怎麼表示 組八：交叉的地方，就是穩定的時候，它這邊溫度比較低就會往下，如果溫度比較高就會上升。
認知投入 E	E.1 尋求外在資源	學生主動尋求並覺知具價值的外在資源，包括教師、網際網路以及圖書等資源。	S9：趕快上網查一下，關於線香的擴散，看一下，等會可以補充。
	E.2 探討相異原因	探討自己的想法與他人想法相異之原因。	S3：我是這樣寫的 S4：我跟你寫的不一樣，可是我只有寫字，我沒有寫到數學。喔，我寫錯了，我寫的是敘述，要算遞減率。
	E.3 反思學習狀況	完成學習任務後，學生反思自我的學習狀況與成效。	S4：最後一題是多少，我還是不會...而且我看不懂。

第五節 研究範圍與限制

本研究以高一學生為主要研究對象，且為個案研究，基於有限的人力、時間以及受試者本身的影響，本研究結果的推論有以下之限制：

- 一、本研究以台北縣某國立高中參與數理探索課程計畫的一年級學生為主要研究對象，由於研究地區與研究樣本之限制，不宜將研究結果推論至所有的高一學生，僅適合對情境相似的學生做推論。
- 二、本研究的課程是以地球科學中的空氣污染與大氣運動相關概念為學習主軸，來探討學生的認知結構，故本研究之結果不宜推論至其他學科或其他地球科學課程。
- 三、本研究所選取之三個「認知結構診測向度」亦有所不足，「認知結構」絕對不僅止於依此三個向度來診測。