

第參章 研究方法

本章分為六節闡述本研究的研究方法，包括研究設計、研究對象、氣體動力論概念、研究工具、研究流程及資料處理與分析。

第一節 研究設計

台灣現行高中教科書在氣體動力論的教學上，所使用的教材為從巨觀角度出發的巨觀教材，忽略了從微觀角度出發的微觀氣體粒子概念，為探討巨觀教材與微觀粒子教材對學生學習氣體動力論的影響，本研究設置兩組「巨觀教材組」與「巨觀+微觀教材組」進行教學，分別討論學生在不同教材教學下，所產生的氣體動力論的學習成就與所形成的心智模式；另外為了進一步探討學生對模型的觀點對其氣體動力論心智模式的形成有何影響，另設置了「巨觀+微觀+模型教學組」，先進行模型教學，再進行氣體動力論教學。最後討論三組學生的學習成就與心智模式之差異。

本研究為了完整收集研究對象在教學過程中心智模式的演進，並配合晤談資料的收集方便性，因此由研究者對於研究對象進行個別教學，除了前測與後測晤談，教學過程中亦進行晤談，以記錄研究對象在研究過程中心智模式的改變。教學內容與教學時間如表 3-1-1 所示，「巨觀教材組」與「巨觀+微觀教材組」授課時數同為兩節，「巨觀+微觀+模型教學組」為二點五節，三組所使用的教學文本為研究者自行設計之三種版本教材。

表 3-1-1 教學時間與教學內容

教學內容	組別		
	巨觀教材組	微觀教材+巨觀教材	巨觀+微觀+模型教學組
模型觀點	0	0	0.5
壓力、溫度與體積概念	1	1	1
氣體動力論 (波以耳定律、查理定律、理想氣體方程式)	1	1	1

第二節 研究對象

本研究的研究對象為台北市三所高中一年級學生，學生學習過高一基礎物理及基礎化學，根據模型測驗工具將學生分為高模型能力與低模型能力，另因學生來自不同學校，考慮其起始能力可能不同，因此依前測氣體粒子概念測驗試題成績選出成績落在平均以及平均以下一個標準差之間的學生為研究對象共三十人，之後隨機分配至「巨觀教材組」、「巨觀+微觀教材組」及「巨觀+微觀+模型教學組」三組，由研究者本身進行個別教學。研究樣本資料如表 3-2-1。

Grosslight 等人 (1991) 將學生對模型的看法分為三種層次，第一層次將模型視為玩具或是實體的簡單複製品。第二層次學生瞭解模型的構成有明確清楚的目的，也瞭解建模者是有意識的透過模型達成某種目的。但主要仍是強調模型與實體的關連性而非模型所描繪的概念。第三層次接近專家對模型的看法，瞭解模型是為了發展或測試概念，接近科學上對模型使用的看法。該研究也提到一般學生對模型的看法可能是混和層次的，並非完全屬於第一層次、第二層次或第三層次，多數學生是屬於第一層次與第二層次混和，或是第二層次與第三層次混和，因此本研究依模型測驗工具將學生對模型的看法分為主要兩類，第一類高模型觀點表示學生對模型的看法混和了第二層次與第三層次的看法，以代號「2-3」表示之，第二類低模型觀點表示學生對模型的看法混和了第一層次與第二層次的看法，以代號「1-2」表示之。

表 3-2-1 研究對象人數分佈

	巨觀教材組	微觀教材+巨觀 教材	巨觀+微觀+ 模型教學組
高模型觀點 (2-3)	5	5	5
低模型觀點 (1-2)	5	5	5
總計	10	10	10

第三節 氣體動力論概念

本研究參考現行高中課程內容，配合高中生認知發展能力，進行氣體動力論教學，所教學的概念內容如下如表 3-3-1。

表 3-3-1 氣體動力論教學內容

概念教學內容	相關科學命題
壓力 (P)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 氣體壓力是氣體給器壁的力除以器壁受力面積 $P=F/A$ 2. 壓力來自氣體分子與器壁的碰撞(圖示) 3. 活潑運動、呈混亂狀態的氣體分子會產生較大的力，並導致較大的壓力。(同 A) 4. 增加固定空間內的氣體分子的數目會對器壁產生較大的力，並產生較大的壓力，因為有較多的分子撞擊器壁。
體積 (V)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 氣體所佔有的空間
溫度 (T)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 溫度是氣體分子平均動能大小的一種量度 2. 溫度跟理想氣體分子的平均平移動能成正比 3. 溫度的高低反映出分子運動的激烈程度
PV 關係： 波以耳定律 Boyle's law	<ol style="list-style-type: none"> 1. 波以耳 J 型管實驗 2. 定溫下，定量氣體的體積與壓力成反比 $V \propto 1/P$；同理 $P \propto 1/V$ 3. 圖示法 4. $PV=const$ 導入計算 5. 當氣體體積減少，同一體積內將有較多的氣體分子，因此會產生較多的碰撞，導致器壁所受撞擊增多，因此壓力增加。(圖示)
VT 關係： 定壓查理定律 Charles' law	<ol style="list-style-type: none"> 1. 定壓下的定量氣體，體積與溫度(絕對溫度)成正比。 2. 為了維持固定的壓力，活塞必須向外移動，以增加空間讓氣體粒子運動，因此當溫度上升時，氣體粒子的體積會增加。
PT 關係： 定容查理定律 Charles' law	<ol style="list-style-type: none"> 1. 定體積下的定量氣體，其壓力與溫度(絕對溫度)成正比。 2. 定容下的定量氣體，當氣體粒子的溫度升高，粒子的平均速度會增加，因此氣體粒子撞擊器壁的頻率增加且撞擊力更大，因此壓力會增加。
nV 關係： 亞佛加厥定律 Avogadro's law	<ol style="list-style-type: none"> 1. 定溫定壓下，定量氣體分子佔有相同的體積 2. $V \propto n$
理想氣體方程式 $PV = nRT$	<ol style="list-style-type: none"> 1. $PV=nRT$ 公式推導 2. R 值

第四節 研究工具

配合本研究之研究目的，本研究設計了三種不同版本的教材，並發展三份測驗工具。

一、教材設計

本研究教材設計分為三種形式，分別為「巨觀教材」、「巨觀+微觀教材」及「巨觀+微觀+模型教學」三種版本，利用不同的模型來進行建模教學。巨觀教材組主要使用公式模型，微觀教材組與建模微觀教材組使用相同的微觀氣體粒子運動模型來解釋氣體動力論，建模微觀教材組另增加半節模型概念教材，以增進學生對模型的瞭解。

三種教材為研究者自行設計，完成之後交由一位高中物理教師、一位高中化學教師以及一位科學教育博士班學生進行專家效度檢驗，並由兩位高一學生參與試讀，以求教材設計符合所欲達成之教學目標並適合高一學生閱讀。

(一) 巨觀教材 (附錄一)

參考現行高中化學物質科學化學篇及高中物理教材內容為設計巨觀教材，以巨觀的方式進行教學，利用觀察與實驗所得的歸納與公式幫助學生獲得氣體動力論的概念。

以龍騰版高中化學第二章第二節「氣體體積和壓力的關係」為例，其課文敘述如下：

氣體體積和壓力間的關係，最早由英國科學家波以耳在西元1662年提出，此一關係稱為波以耳定律，即定量氣體，定溫時，其體積（V）與壓力（P）成反比。其數學式為

$$P = k \frac{1}{V} \quad (k \text{ 為常數})$$

$$\text{即 } PV = k$$

$$\text{或 } P_1V_1 = P_2V_2$$

表 2.2 為 32.0 克氧在 0°C 時，測定其體積與壓力間變化關係的實驗數據，根據此表可以看出，壓力逐漸變大時，其體積逐漸變小，且壓力與體積的乘積為一常數，即 $PV=22.4$ ，或寫成 $PV=k$ 。而圖 2.6 為根據表的數據繪製成的曲線圖，則更表明了氣體壓力和體積成反比的關係。

巨觀教材中，波以耳定律之巨觀教學以定量氣體在同溫時壓力與體積的變化關係實驗引出波以耳定律，並以 $PV=k$ 的公式幫助學生學習，並沒有解釋氣體粒子的微觀運動模型。

巨觀教材中的教學內容如表 3-3-2 所示，分成八個小單元，第一次教學內容為前三單元壓力、體積與溫度等基本概念，第二次教學為後五單元為氣體動力論的重要相關理論，分別為波以耳定律、查理定律、亞佛加厥定律與理想氣體方程式教學。

表 3-3-2 巨觀教材氣體動力論教學內容

單元	教材內容	教學次序
1.壓力 (P)	1. 氣體壓力是氣體給器壁的力除以器壁受力面積 $P=F/A$	1
2.體積 (V)	1. 氣體所佔有的空間	1
3.溫度 (T)	1. 溫度是氣體分子平均動能大小的一種量度 2. 溫度跟理想氣體分子的平均平移動能成正比	1
4.PV 關係： 波以耳定律	1. 波以耳 J 型管實驗 2. 定溫下，定量氣體的體積與壓力成反比 $V \propto 1/P$ ；同理 $P \propto 1/V$ 3. 圖示法 4. $PV=const$ 導入計算	2
5.VT 關係： 定壓查理定律 Charles' law	1. 定壓下的定量氣體，體積與溫度（絕對溫度）成正比。	2
6.PT 關係： 定容查理定律	1. 定體積下的定量氣體，其壓力與溫度（絕對溫度）成正比。	2
7.nV 關係： 亞佛加厥定律	1. 定溫定壓下，定量氣體分子佔有相同的體積 2. $V \propto n$	2
8.理想氣體方程式 $PV = nRT$	1. $PV=nRT$ 公式推導 2. 定義 R 值	2

(二) 微觀教材+巨觀教材 (附錄二)

巨觀教材設計與「巨觀教材組」相同，微觀教材參考大學基礎物理與基礎化學用書，以粒子微觀的方式進行教學，以波以耳定律 $PV=k$ 為例，微觀教材以圖形說明當氣體體積變小，同一體積內將有較多的氣體分子，因此會產生較多的碰

撞，導致器壁所受撞擊增多，因此壓力增加。圖 3-4-1(A)表示體積較大時，壓力較小；圖 3-4-1(B)表示體積較小時，壓力較大。

微觀教材中的教學內容如表 3-3-3 所示，分成八個小單元，第一次教學內容為前三單元壓力、體積與溫度等基本概念，第二次教學為後五單元為氣體動力論的重要相關理論，分別為波以耳定律、查理定律、亞佛加厥定律與理想氣體方程式教學。

(三) 微觀教材+巨觀教材+建模教學 (附錄三)

本教材在氣體動力論概念部份和「巨觀+微觀教材組」相同，並在概念教學前進行模型概念教學，幫助學生瞭解模型在科學上的應用及模型的本質認識，以幫助學生更加瞭解模型，以期學生能更有效地使用模型來學習科學概念。

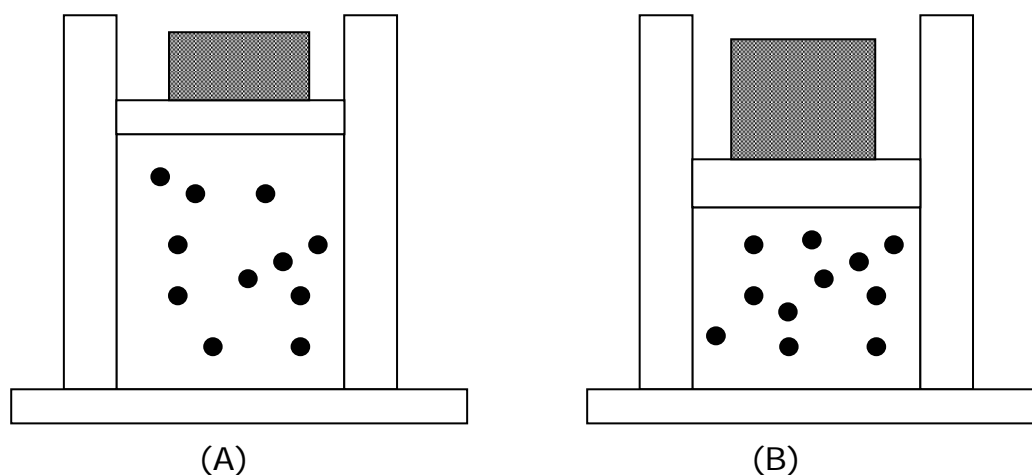


圖 3-4-1 PV 關係圖

表 3-3-3 微觀教材氣體動力論教學內容

單元	教材內容	教學次序
1. 壓力 (P)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 氣體壓力是氣體給器壁的力除以器壁受力面積 $P=F/A$ 2. 壓力來自氣體分子與器壁的碰撞(圖示) 3. 活潑運動、呈混亂狀態的氣體分子會產生較大的力，並導致較大的壓力。(同 A) 4. 增加固定空間內的氣體分子的數目會對器壁產生較大的力，並產生較大的壓力，因為有較多的分子撞擊器壁。 	1

2.體積 (V)	1. 氣體所佔有的空間	1
3.溫度 (T)	1. 溫度是氣體分子平均動能大小的一種量度 2. 溫度跟理想氣體分子的平均平移動能成正比 3. 溫度的高低反映出分子運動的激烈程度	1
4.PV 關係： 波以耳定律	1. 波以耳 J 型管實驗 2. 定溫下，定量氣體的體積與壓力成反比 $V \propto 1/P$ ；同理 $P \propto 1/V$ 3. 圖示法 4. $PV = \text{const}$ 導入計算 5. 當氣體體積減少，同一體積內將有較多的氣體分子，因此會產生較多的碰撞，導致器壁所受撞擊增多，因此壓力增加。（圖示）	2
5.VT 關係： 定壓查理定律	1. 定壓下的定量氣體，體積與溫度（絕對溫度）成正比。 2. 為了維持固定的壓力，活塞必須向外移動，以增加空間讓氣體粒子運動，因此當溫度上升時，氣體粒子的體積會增加。	2
6.PT 關係： 定容查理定律	1. 定體積下的定量氣體，其壓力與溫度（絕對溫度）成正比。 2. 定容下的定量氣體，當氣體粒子的溫度升高，粒子的平均速度會增加，因此氣體粒子撞擊器壁的頻率增加且撞擊力更大，因此壓力會增加。	2
7.nV 關係： 亞佛加厥定律	1. 定溫定壓下，定量氣體分子佔有相同的體積 2. $V \propto n$	2
8.理想氣體方程式 $PV = nRT$	1. $PV = nRT$ 公式推導 2. 定義 R 值	2

二、測驗工具

本研究測驗工具有三種，分別為氣體粒子概念測驗試題、晤談資料收集問卷、模型測驗工具。配合前測、教學後測及一個月後的延宕測驗，分別進行三組學生的施測，施測流程如圖 3-4-2 所示。

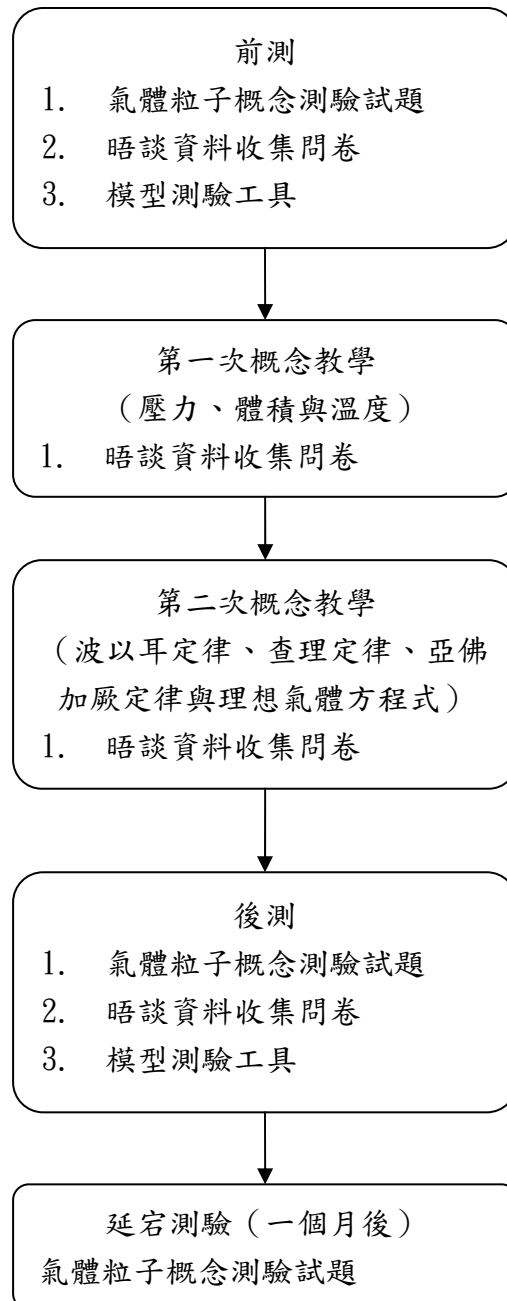


圖 3-4-2 施測流程

(一) 氣體粒子概念測驗試題 (附錄四)

本研究參考史嘉章(2002)碩士論文所發展的氣體粒子運動二階層試題及陳盈吉(2004)碩士論文所使用之氣體粒子概念試題，設計本研究所使用的氣體粒子概念試題，並由一位高中物理教師、一位化學教師、一位物理系教授及一位化學背景科學教育研究所教授進行專家效度檢驗。本研究工具之信度為預試 33 名高一學生所得， α 值=0.7052。另外為了比較學習成效與施測的方便，本研究前測、後驗與延宕皆使用相同的試題。

此題本共有三十三題，題目類型皆為單選題，共分為七大題，每大題有四到六小題不等，第一至第六大題為概念性試題，共 28 小題，第七大題為應用氣體動力論之計算題，共有五小題。題目與所測概念之雙向細目表如表 3-4-1 所示，三十三題題目對應八項概念。

表 3-4-1 概念試題檢核表

	壓力	溫度	PV 關係	PT 關係	VT 關係	nV 關係	PV=nRT	粒子性質
1	v							
2	v							
3	v							
4	v							
5								v
6								v
7			v					
8			v					
9								v
10								v
11			v					
12	v							
13								v
14								v
15				v				
16		v						
17		v						

18								v
19								v
20					v			
21		v						
22		v						
23								v
24								v
25				v				
26		v						
27		v						
28		v						
29			v					
30					v			
31						v		
32							v	
33							v	

(二) 晤談資料收集問卷

本晤談資料收集問卷為半結構式晤談，分別在前測、兩次教學後（後測）及一個月（延宕）後進行晤談，晤談中學生除了口語說明，並要求學生以繪圖、模型操作方式來表達對氣體動力論的想法，最後將晤談結果轉成逐字稿口語資料，加以分析學生對氣體動力論的心智模式為何，並比較研究過程中，學生心智模式的變化情形。

(三) 模型測驗工具（附錄五）

本研究透過模型測驗工具，檢驗學生對模型的看法，藉此瞭解學生對模型的看法與微觀氣體粒子模型的建立有何關連。

本測驗參考 Grosslight 等人（1991）、Treagust 等人（2002）與 Saari（2003）的研究中所使用的問卷設計而成，所有題目共三十五題，分為五個子量表，所測的項目可分類為：模型是一種精確的複製品（exact replicas, ER）、模型是一種多重表徵（multiple representations, MR）、模型是解釋的工具（explanatory, ET）、模型在科學上的使用（use of scientific models, USM）以及模型可改變的本質（changing nature of models, CNM）等五項。試題與所測子量表之雙向細目表如表 3-4-2 所示。

表 3-4-2 模型測驗工具子量表雙向細目表

	複製品	多重表徵	解釋工具	科學使用	可改變
1. 我同意模型必須是一個精確的複製品。	V				
2. 我同意模型必須是可以呈現或解釋科學現象。			V		
3. 我同意模型可以清楚地呈現概念之間的關係。			V		
4. 我同意許多模型說明同一現象的不同面向。		V			
5. 我同意模型可以用來解釋科學現象。			V		
6. 我同意模型可以用來呈現某物的縮小版。	V				
7. 我同意許多模型可以用來呈現不同的資料是如何被使用。		V			
8. 我同意模型可以用來幫助人們在心中建立科學事件的影像。			V		
9. 我同意許多模型可以用來呈現物體的不同面或形狀。		V			
10. 我同意模型可以用來幫助科學的概念和理論的形成。				V	
11. 我同意模型可以用來呈現一個概念。			V		
12. 我同意模型可以用來預測科學事件與檢驗科學事件。				V	
13. 我同意許多模型可以用來呈現個人對物體形象及其功能的多元概念		V			
14. 我同意許多模型可以藉由呈現一個物體不同角度的看法來表達科學現象的特徵。		V			
15. 我同意模型提供我們一個詞彙來討論科學的結構或性質。				V	
16. 我同意模型可以呈現模型在科學研究中是如何被使用。				V	
17. 我同意模型可以是從實體上或是視覺上呈現某物。			V		
18. 我同意不同模型可以呈現物體的不同部份。		V			
19. 我同意模型可以是圖形、地圖、圖表或照片。			V		
20. 我同意模型與真實事物越接近越好。	V				
21. 我同意模型需要精確的接近真實的事物,如此才不會有人提出反駁。	V				
22. 我同意模型的每一部分必須可讓人分辨出它所要呈現的東西。	V				

23. 我同意模型需要在每一方面都很精確,除了在大小上。	V				
24. 我同意模型需要接近真實的事物,藉由給予正確的訊息並呈現出事物應有的樣子。	V				
25. 我同意如果有新的理論或證據提出,則模型會跟著改變。					V
26. 我同意如果有新的發現,則模型會跟著改變。					V
27. 我同意如果資料或信念有所改變,則模型會跟著改變。					V
28. 我同意如果模型有錯,則模型可以被改變。					V
29. 我同意許多模型可以用不同的方式呈現某物體。		V			
30. 我同意模型能模擬真實世界實際運作的情形及其特徵。			V		
31. 我同意科學家可以對相同的一個東西產生不同的模型		V			
32. 我同意化學式是模型的一種。				V	
33. 我同意數學公式是模型的一種。				V	
34. 我同意模型可以用來教學,去幫助學習者瞭解科學。			V		
35. 我同意模型的建立是為了要發展或測試某一個現象的概念及解釋。				V	
總題數	7	8	9	7	4

第五節 研究流程

本研究分三階段進行，第一階段為準備階段，第二階段為正式實施階段，第三階段為資料分析及論文撰寫階段，完整研究流程如圖 3-5.1 所示。

第一階段首先確定研究方向，接著進行國內外相關文獻探討，由此形成研究問題，接著設計研究進行架構並發展本研究所使用之研究工具，研究工具包括所使用之教材及測驗工具，為研究者參考相關文獻及現行高中化學教材自行設計，並商借高一學生進行反覆預試及專家效度檢驗而完成。第二階段為正式實施階段，首先商借台北市三所高中高一學生七班共 297 人，進行大型的前測施測，測驗項目包括以模型測驗工具測驗學生對模型的看法，以及以氣體粒子概念測驗工具測驗學生在教學前對氣體動力論的概念，再由其中挑出符合本研究之研究目的之研究對象三十人，分為三組進行三組不同教材的個別教學，本研究採動態評量方式進行測驗，在不同教學階段收集學生前測、後測及延宕測驗資料，並於教學過程中進行學生個別晤談以收集口語資料。第三階段為資料分析及論文撰寫階段，首先將學生晤談錄音資料轉成逐字稿，進行編碼並將學生在不同學習階段之心智模式分類，並以 SPSS 軟體進行相關統計分析，最後依此質性及量化資料撰寫論文。

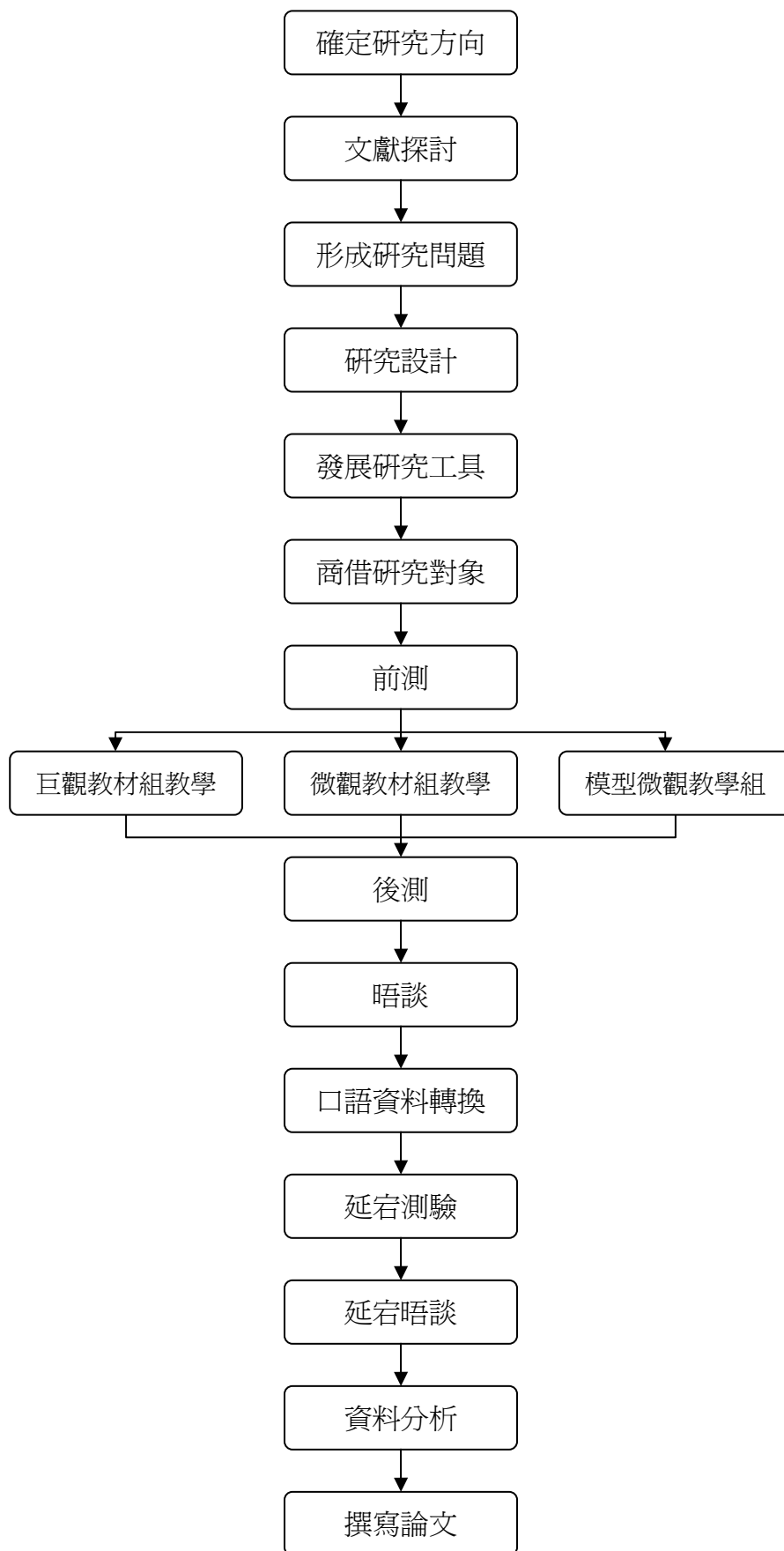


圖 3-5-1 研究流程

第六節 資料處理與分析

本研究分析主要分為兩大方面，第一部分為量的分析，比較三組在氣體粒子概念測驗試題表現的差異，第二部份為質性分析，利用晤談資料，分析學生對氣體動力論的學習。

一、量化分析

(一) 氣體粒子概念測驗試題

1. 前測資料

使用單因子變異數分析檢驗「巨觀教材組」、「巨觀+微觀教材組」及「巨觀+微觀+模型教學組」三組於氣體動力論概念表現上是否有顯著差異。

2. 教學後測資料

- (1) 使用單因子變異數分析 (One-way ANOVA analysis) 檢驗不同教材對教材對學生學習成效之影響：比較「巨觀教材組」、「巨觀+微觀教材組」及「巨觀+微觀+模型教學組」三組於氣體動力論試題總答對率是否有顯著差異。
- (2) 使用單因子變異數分析檢驗不同教材對教材對學生概念部份學習成效之影響：比較「巨觀教材組」、「巨觀+微觀教材組」及「巨觀+微觀+模型教學組」三組於氣體動力論試題概念試題答對率是否有顯著差異。
- (3) 使用單因子變異數分析檢驗不同教材對教材對學生計算解題學習成效之影響：比較「巨觀教材組」、「巨觀+微觀教材組」及「巨觀+微觀+模型教學組」三組於氣體動力論計算題答對率是否有顯著差異。
- (4) 使用單因子變異數分析檢驗不同教材對教材對學生學習成效之延宕效果影響：比較「巨觀教材組」、「巨觀+微觀教材組」及「巨觀+微觀+模型教學組」三組於氣體動力論試題延宕後測總答對率進步幅度是否有顯著差異。

3. 前後測比較

- (1) 使用 Pair-sample t 考驗檢驗不同教材對教材對學生學習成效之影響：分別檢驗「巨觀教材組」、「巨觀+微觀教材組」及「巨觀+微觀+模型教學組」三組於氣體動力論試題前後測總答對率是否有顯著差異，以驗證本研究之教材是否讓學生產生學習成效。
- (2) 使用單因子共變數分析檢驗不同教材對教材對學生學習成效之影響：比

較「巨觀教材組」、「巨觀+微觀教材組」及「巨觀+微觀+模型教學組」三組於氣體動力論試題後測總答對率經前測共變數調整後是否有顯著差異。

- (3) 使用單因子變異數分析檢驗不同教材對教材對學生學習成效之影響：比較「巨觀教材組」、「巨觀+微觀教材組」及「巨觀+微觀+模型教學組」三組於氣體動力論試題前後測總答對率進步幅度是否有顯著差異。

(二) 模型測驗工具

1. 使用單因子變異數分析比較不同模型觀點的學生其對氣體動力論學習成效之差異。
2. 利用單因子變異數分析比較學生在建模教學之後，「巨觀教材組」、「巨觀+微觀教材組」及「巨觀+微觀+模型教學組」三組學生其模型測驗工具分數是否有顯著差異。

二、質化分析

質性分析資料來源為晤談資料收集問卷所得的學生口語資料及學生繪圖資料，在完成晤談之後，將晤談口語資料轉成逐字稿，並進行編碼，編碼表如表 3-6-1 所示，主要將學生解釋壓力的來源分為六類，分別為正確科學模式、類科學模式，擠壓模式，粒子互相碰撞模式，重量模式與外界模式。每一模式中，學生對粒子體積大小、運動速度有不同解釋，因此還可細分為各類子模式，詳細心智模式於第四章第五節呈現研究結果。

表 3-6-1 學生口語資料編碼表

	科學模式	類科學模式	擠壓模式	粒子互相碰撞模式	重量模式	外界模式
代號	S (Scientific)	CCW (Collide Container/ Wrong inference)	P (Push)	PC (Particle Collision)	W (Weight)	O (Outside)
解釋 類型	氣體粒子 碰撞器壁	氣體粒子碰撞器壁 錯誤推論	氣體彼此 粒子擠壓	氣體粒子 互相碰撞	氣體重 量	外界擠 壓
正確 度	正確	不正確	不正確	不正確	不正確	不正確

本研究進行七階段的晤談，在找出學生在不同學習階段在不同情境中的心智模式後，將其心智模式進行分類，並整理出學生在不同情境下心智模式演變圖，以比較各教學階段對學生心智模式的影響。

三、研究問題與研究工具之對應

本研究希望透過所設計之研究工具回答研究問題，如表 3-6-2 所示，列出研究問題與所需要之研究工具之對應。

表 3-6-2 研究問題與研究工具之對應

研究問題	研究工具
1-1.不同模型觀點學生學習不同教材其氣體動力論的概念成就差異為何？	模型測驗工具 氣體粒子概念測驗試題
1-2.不同模型觀點學生學習不同教材其氣體動力論的計算解題成就差異為何？	建模測驗工具 計算解題測驗工具
1-3.學生在教學過程中氣體粒子運動心智模式的演變情形為何？	口語資料收集問卷
2-1.學生在建模教學前後其模型觀點是否有差異？	模型測驗工具
2-2.建模教學對學生氣體分子運動的心智模式有何影響？	口語資料收集問卷
2-3.建模教學對學生氣體動力論的概念成就有何影響？	氣體粒子概念測驗試題
3-1.教學前高中生持有三種不同階層的模型觀點之人數比例為何？	模型測驗工具
3-2.教學後高中生持有三種不同階層的模型觀點之人數比例為何？	模型測驗工具