

## 第肆章 結果與討論

本章共分為四部份進行研究結果之呈現與討論，第一部分為第一節至第五節，進行學生學習成就量化分析，第二部份為第六節至第七節進行學生心智模式質性分析，第三部份於第八節與第九節分析學生對模型的觀點，第四部份於第十節討論本研究所達成之學習成效。

### 第一節 三組學生前測答題表現分析

本研究的前測試題共33題，分概念性試題28題與計算題5題，此部份分析分兩部份進行，首先比較三組學生在試題總答對之差異，第二部份比較三組學生在概念試題與計算題的前測表現。

#### 一、總答對率分析

本分析針對三組學生前測平均總答對率進行單因子變異數分析，結果如表4-1-1所示，三組學生在前測部份總答對率p值未達顯著水準 ( $p=.130$ )，三組學生前測總答對率變異數同質性考驗結果如表4-1-2所示，在變異數同質性檢定中  $p=.375$ ，並未違反變異數同質性假定，表示三組學生在教學前其答題表現並未達顯著差異。

表4-1-1 三組學生前測總答對率單因子變異數分析

組別	人數	平均總答對率	標準差	F值	顯著性
巨觀教材組	10	54.85	6.77		
微觀教材組	10	59.09	5.76	2.199	.130
建模微觀教材組	10	53.94	4.91		

表4-1-2 三組學生前測總答對率變異數同質性考驗

	Levene Statistic	df1	df2	顯著性
總分	1.070	2	27	.357

#### 二、概念試題與計算題答對率分析

本分析針對三組學生前測概念試題與計算題答對率進行單因子變異數分析，結果如表4-1-3所示，三組學生在概念試題答對率p值未達顯著水準 ( $p=.177$ )，

計算題答對率p值亦未達顯著水準（ $p=.962$ ），三組學生前測平均總答對率變異數同質性考驗結果如表4-1-4所示，概念試題部份變異數同質性檢定 $p=.359$ ，計算題部份變異數同質性檢定 $p=.463$ ，皆未違反變異數同質性假定，表示三組學生在教學前在概念試題及計算題的答題表現並未達顯著差異。

表4-1-3 三組學生前測概念試題與計算題答對率單因子變異數分析

	組別	人數	平均答對率	標準差	F值	顯著性
概念試題	巨觀教材組	10	60.71	9.52	1.845	.177
	微觀教材組	10	65.72	7.93		
	建模微觀教材組	10	59.28	5.64		
計算題	巨觀教材組	10	22.00	19.89	.038	.962
	微觀教材組	10	22.00	14.76		
	建模微觀教材組	10	24.00	20.66		

表4-1-4 三組學生前測概念試題與計算題答對率變異數同質性考驗

	Levene Statistic	df1	df2	顯著性
概念試題	1.065	2	27	.359
計算題	.792	2	27	.463

### 三、小結

由學生前測結果單因子變異數分析可知三組學生在前測總答對率表現上無顯著差異，如將題本分為概念試題與計算題學生的答題表現也無顯著差異，表示所有學生在教學前對所測概念的瞭解程度是相同的。

## 第二節 三組學生後測答題表現分析

本研究的後測試題為與前測相同的試題共33題，分概念性試題28題與計算題5題，此部份分析分兩部份進行，首先比較三組學生在試題總答對之差異，第二部份比較三組學生在概念試題與計算題的後測表現。

### 一、總答對率分析

本部份分析以後測總答對率進行單因子變異數分析，另為排除前測影響進行單因子共變數分析。

#### 1.後測單因子變異數分析

本分析針對三組學生後測總答對率進行單因子變異數分析，結果如表4-2-1所示，三組學生在後測總答對率 $p$ 值達顯著水準 ( $p=.000$ )，表示三組學生在後測總答對率表現上有差異，平均總答對率微觀建模教材組>微觀教材組>巨觀教材組。接著以謝佛 (Scheffe) 檢定法進行事後多重比較檢驗，結果如表4-2-2所示，總答對率微觀教材組與優於巨觀教材組，建模微觀教材組優於巨觀教材組，且皆達顯著差異 ( $p=.000$ )，而建模微觀教材組優於微觀教材組，但未達顯著差異 ( $p=.938$ )。

表4-2-1 三組學生後測總答對率單因子變異數分析

組別	人數	平均總答對率	標準差	F值	顯著性
巨觀教材組	10	72.73	11.34		
微觀教材組	10	89.70	4.09	18.043	.000*
建模微觀教材組	10	90.91	5.15		

\* $p<.05$

表4-2-2 三組學生後測總答對率單因子變異數分析事後比較

組別(I)	組別(J)	平均差異 (I-J)	標準誤	顯著性	代表意義
巨觀教材組	微觀教材組	-16.97	3.38	.000*	微觀教材組>巨觀教材組
	建模微觀教材組	-18.18	3.38	.000*	建模微觀教材組>巨觀教材組
微觀教材組	建模微觀教材組	-1.21	3.38	.938	微觀教材組=建模微觀教材組

\* $p<.05$

## 2. 單因子共變數分析

為排除前測之差異，本部份分析另採用單因子共變數分析，用以考驗在調整前後測的影響後，三種不同教學是否對學生後測有不同學習成效的影響。結果如表 4-2-3 所示，在調整過後三組學生後測成績有顯著差異，之後以謝佛 (Scheffe) 檢定法進行事後多重比較檢驗，結果如表 4-2-4 所示，總答對率微觀教材組與優於巨觀教材組，建模微觀教材組優於巨觀教材組，且皆達顯著差異，而建模微觀教材組優於微觀教材組，但未達顯著差異，表示本研究所使用之微觀教材與模型微觀教材對學生的影響是相同的，兩者皆可有效幫助學生提升對氣體動力論的學習成效，且效果皆優於巨觀教材組。

表 4-2-3 調整前後測答對率，三組不同教學法對學生學習成就之單因子共變數分析摘要表

SV	SS	df	MS	F
教學法	2042.55	2	1021.27	17.18*
誤差項	1545.65	26	59.45	

\*p<.05

表 4-2-4 調整前後測得分之後，各組後測之平均值與標準誤

組別	人數	調整平均答對率	標準誤	F 值
巨觀教材組	10	72.70	2.46	22.01*
微觀教材組	10	89.77	2.58	
巨觀教材組	10	72.70	2.46	27.62*
模型微觀教材組	10	90.87	2.50	
微觀教材組	10	89.77	2.58	0.09
模型微觀教材組	10	90.87	2.50	

\*p<.05

### 二、概念試題與計算題答對率分析

本分析針對三組學生後測概念試題與計算題答對率進行單因子變異數分析，結果如表 4-2-5 所示，比較三組學生在後測概念試題平均答對率發現微觀建模教材組>微觀教材組>巨觀教材組，p 值達顯著水準 (p=.000)，表示三組學生在後測概念試題答對率表現上有差異。接著以謝佛 (Scheffe) 檢定法進行事後多重比較檢驗，結果如表 4-2-6 所示，概念試題平均答對率微觀教材組與優於巨觀

教材組，建模微觀教材組優於巨觀教材組，且皆達顯著差異（ $p=.000$ ），而建模微觀教材組優於微觀教材組，但未達顯著差異（ $p=.954$ ）。

計算題部份結果如表4-2-5所示，平均答對率建模微觀教材組>微觀教材組=巨觀教材組，但三組表現並未達顯著差異（ $p=.972$ ）。

表 4-2-5 三組學生後測概念試題與計算題答對率單因子變異數分析

	組別	人數	平均答對率	標準差	F值	顯著性
概念試題	巨觀教材組	10	77.14	12.85	23.202	.000*
	微觀教材組	10	97.14	3.28		
	建模微觀教材組	10	98.22	2.52		
計算題	巨觀教材組	10	48.00	23.48	.029	.972
	微觀教材組	10	48.00	13.98		
	建模微觀教材組	10	50.00	25.39		

\* $p<.05$

表4-2-6 三組學生後測概念試題與計算題答對率單因子變異數分析事後比較

題目類型	組別(I)	組別(J)	平均差異(I-J)	標準誤	顯著性	代表意義
概念試題	巨觀教材組	微觀教材組	-20.00	3.48	.000*	微觀教材組>巨觀教材組
		建模微觀教材組	-21.07	3.48	.000*	建模微觀教材組>巨觀教材組
	微觀教材組	建模微觀教材組	-1.70	3.48	.954	微觀教材組=建模微觀教材組
計算題	巨觀教材組	微觀教材組	.00	9.63	1.000	微觀教材組=巨觀教材組
		建模微觀教材組	-2.00	9.63	.979	建模微觀教材組=巨觀教材組
	微觀教材組	建模微觀教材組	-2.00	9.63	.979	微觀教材組=建模微觀教材組

\* $p<.05$

### 三、小結

比較三組使用不同教材的學生在教學後所進行的後測答題表現可發現學生的答題表現有所差異。如圖4-2-1三組學生在不同類型試題後測答對率比較所示，在總答對率與概念試題表現方面三種教材對學生學習成就有不同的影響，建模微觀教材組答題表現優於微觀教材組，最差的則是巨觀教材組，但建模微觀教材組與微觀教材組並無顯著差異，在計算性試題方面，三組的學習並無顯著差異。表示本次的三種教材中，微觀教材與建模微觀教材對學生的影響是相同的，微觀的教材幫助學生學習氣體動力論的概念，但對於學生在計算解題的能力上並無顯著的影響。

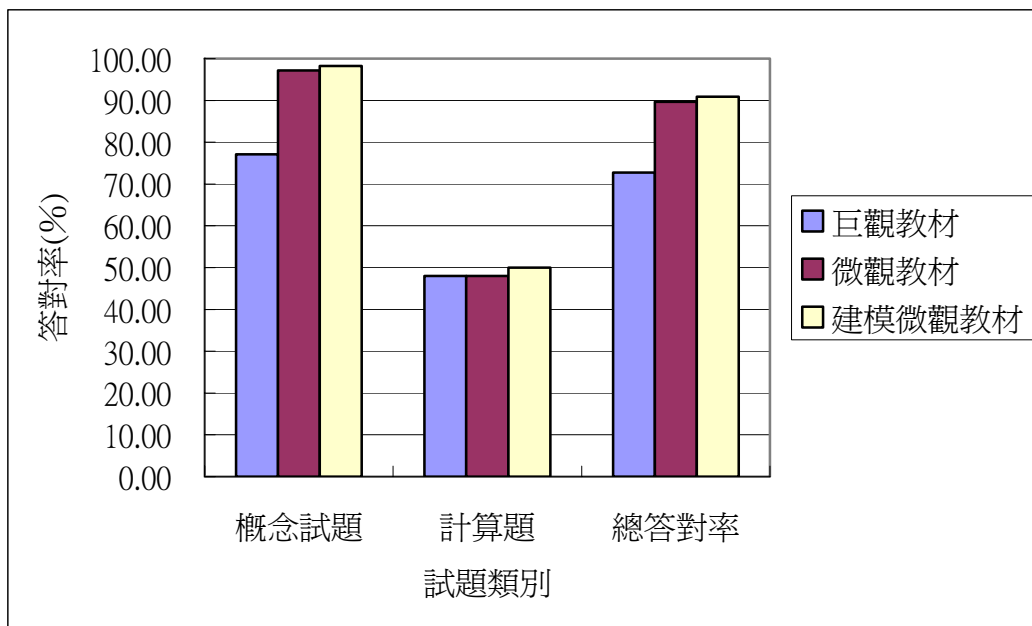


圖 4-2-1 三組學生在不同類型試題後測答對率比較

### 第三節 三組學生前後測答題表現比較分析

本研究的前測試題為與後測相同的試題共33題，分概念性試題28題與計算題5題，在研究者以不同教材進行三組不同教學後，比較三組學生前後測答題表現，此部份分析分兩部份進行，第一部分討論教材對學生的影響，討論三組學生在學習後總答對率是否有進步，第二部分分兩段討論，首先比較三組學生在試題總答對前後測之差異，再比較三組學生在概念試題與計算題的前後測表現。

#### 一、三組學生前後測比較

為檢驗本實驗之教學是否有成效，瞭解學生在學習之後是否有進步，因此進行t考驗，結果如表4-3-1所示，三組學生的後測總答對率均優於前測總答對率，且均達顯著差異，表示本研究所使用的三種不同教材對學生均有幫助，學生在學習之後對氣體動力論的概念有所增長。

表4-3-1 學生概念試題總答對率前後測Pair-Sample T Test差異比較

		平均	標準差	t值
巨觀教材組	前測	54.85	6.77	-4.359*
	後測	72.73	11.34	
微觀教材組	前測	59.09	5.76	-14.624*
	後測	89.70	4.09	
建模微觀教材組	前測	53.94	4.91	-13.871*
	後測	90.91	5.15	

\* $p < .05$

#### 二、三組學生不同進步程度比較

此部份分兩段討論，首先比較三組學生在試題總答對前後測之差異，第二部份比較三組學生在概念試題與計算題的前後測表現。

##### (一) 總答對率分析

本分析將學生後測總答對率與前測總答對率相減，得出總答對率進步比率，再針對三組學生總答對率進步比率進行單因子變異數分析，結果如表4-3-2所示，三組學生平均總答對率進步比率p值達顯著水準 ( $p = .001$ )，表示三組學生在前後測的總答對率進步比率有差異，平均總答對率進步比率微觀建模教材組>

微觀教材組>巨觀教材組。接著以謝佛(Scheffe)檢定法進行事後多重比較檢驗，結果如表4-3-3所示，總答對率進步比率微觀教材組與優於巨觀教材組，且達顯著差異(p=.024)，建模微觀教材組也優於巨觀教材組，且亦達顯著差異(p=.001)，而建模微觀教材組略優於微觀教材組，但未達顯著差異(p=.356)。

表4-3-2 三組學生後測總答對率進步比率單因子變異數分析

組別	人數	平均總答對率進步比率	標準差	F值	顯著性
巨觀教材組	10	17.88	12.97		
微觀教材組	10	30.61	6.62	10.015	.001*
建模微觀教材組	10	36.97	8.43		

\*p<.05

表4-3-3 三組學生後測總答對率進步比率單因子變異數分析事後比較

組別(I)	組別(J)	平均差異(I-J)	標準誤	顯著性	代表意義
巨觀教材組	微觀教材組	-12.73	4.34	.024*	微觀教材組>巨觀教材組
	建模微觀教材組	-19.09	4.34	.001*	建模微觀教材組>巨觀教材組
微觀教材組	建模微觀教材組	-6.36	4.34	.356	微觀教材組=建模微觀教材組

\*p<.05

## (二) 概念試題與計算題答對率分析

本分析針對三組學生前後測概念試題與計算題答對率進步比率進行單因子變異數分析，結果如表4-3-4所示，比較三組學生在前後測概念試題平均答對率進步比率發現微觀建模教材組>微觀教材組>巨觀教材組，p值達顯著水準(p=.000)，表示三組學生的前後測概念試題答對率進步比率有差異。接著以謝佛(Scheffe)檢定法進行事後多重比較檢驗，結果如表4-3-5所示，概念試題平均答對率進步比率微觀教材組與優於巨觀教材組，達顯著差異(p=.015)，建模微觀教材組優於巨觀教材組，亦達顯著差異(p=.000)，而建模微觀教材組優於微觀教材組，但未達顯著差異(p=.307)。



計算題部份結果如表4-3-4所示，平均答對率進步比率三組同為26.00%，表示三組在計算題方面進步的比率沒有差異（ $p=1.000$ ）。

表 4-3-4 三組學生後測概念試題與計算題答對率進步比率單因子變異數分析

	組別	人數	平均答對率進步比率	標準差	F值	顯著性
概念試題	巨觀教材組	10	16.43	15.26	11.534	.000*
	微觀教材組	10	31.43	7.86		
	建模微觀教材組	10	38.93	6.83		
計算	巨觀教材組	10	26.00	25.03	.000	1.000
	微觀教材組	10	26.00	16.47		
	建模微觀教材組	10	26.00	25.03		

\* $p<.05$

表4-3-5 三組學生後測概念試題與計算題答對率進步比率單因子變異數分析事後比較

題目類型	組別(I)	組別(J)	平均差異(I-J)	標準誤	顯著性	代表意義
概念試題	巨觀教材組	微觀教材組	-15.00	4.77	.015*	微觀教材組>巨觀教材組
		建模微觀教材組	-22.50	4.77	.000*	建模微觀教材組>巨觀教材組
	微觀教材組	建模微觀教材組	-7.50	4.77	.307	微觀教材組=建模微觀教材組
計算題	巨觀教材組	微觀教材組	.00	10.08	1.000	微觀教材組=巨觀教材組
		建模微觀教材組	.00	10.08	1.000	建模微觀教材組=巨觀教材組
	微觀教材組	建模微觀教材組	.000	10.08	1.000	微觀教材組=建模微觀教材組

\* $p<.05$

### 三、小結

比較三組使用不同教材的學生前後測的答對率差異可發現學生的進步幅度有所差異。如圖4-3-1三組學生在不同類型試題前後測答對率進步比率比較所示，在總答對率與概念試題表現方面，建模微觀教材組的進步幅度是最多的，其次是微觀教材組，進步最少的則是巨觀教材組，但建模微觀教材組與微觀教材組並無顯著差異，在計算性試題方面，三組的進步比率相同。

在此可回答研究問題3-3「建模教學對學生氣體動力論的概念成就有何影響？」本次的三種教材中，三種教材都可幫助學生學習氣體動力論的概念，但微觀教材與建模微觀教材的幫助較大，兩學生的進步比率優於巨觀教材組，其中又以建模微觀教材組幫助最大。但在計算解題的能力上，三組學生並沒有進步，或許是教學過程中研究者強調概念的學習，且學生課後並沒有練習計算解題，因此學生在計算題的表現上並沒有進步。

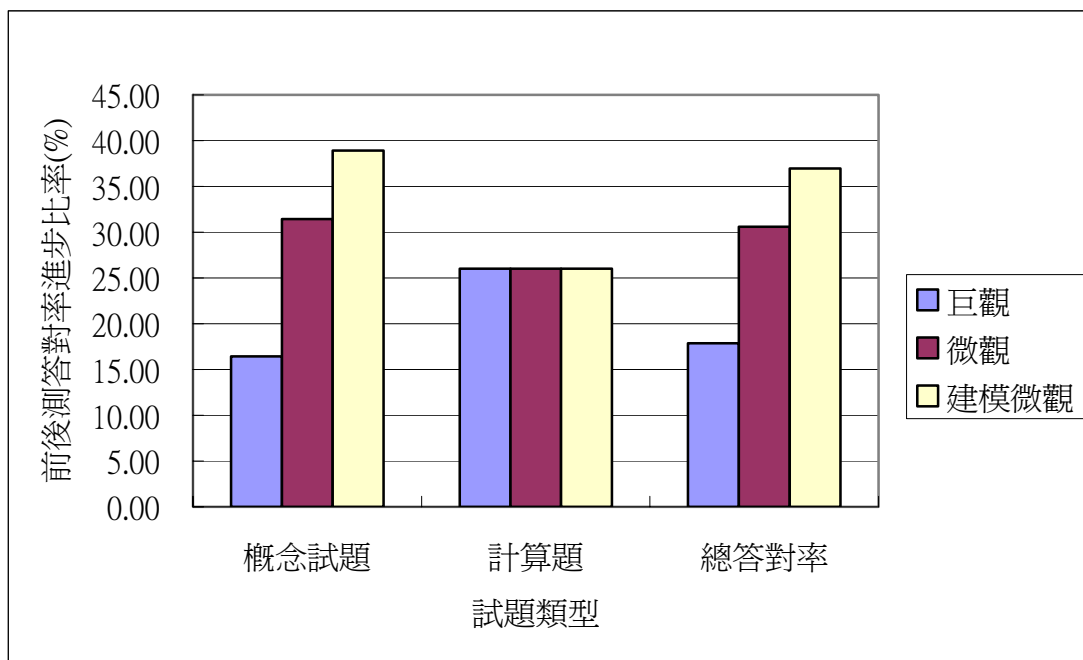


圖 4-3-1 三組學生在不同類型試題前後測答對率進步比率比較

#### 第四節 三組學生延宕後測答題表現分析

在教學結束一個月之後進行延宕測驗，以瞭解學生在教學結束一段時間過後學習成效是否可延續。延宕測驗測試題為與前測和後測相同的試題共33題，分概念性試題28題與計算題5題，此部份分析分兩部份進行，首先比較三組學生在試題總答對之差異，第二部份比較三組學生在概念試題與計算題的表現。

##### 一、總答對率分析

本分析針對三組學生延宕後測總答對率進行單因子變異數分析，結果如表4-4-1所示，三組學生在延宕後測總答對率p值達顯著水準（ $p=.000$ ），表示三組學生在延宕後測總答對率表現上有差異，平均總答對率建模微觀教材組>建模巨觀教材組>巨觀教材組。接著以謝佛（Scheffe）檢定法進行事後多重比較檢驗，結果如表4-4-2所示，總答對率微觀教材組與優於巨觀教材組，建模微觀教材組優於巨觀教材組，且皆達顯著差異（ $p=.000$ ），而微觀教材組略優於建模微觀教材組，但未達顯著差異（ $p=.831$ ）。

表4-4-1 三組學生延宕後測總答對率單因子變異數分析

組別	人數	平均總答對率	標準差	F值	顯著性
巨觀教材組	9	72.39	8.50		
微觀教材組	10	91.52	3.44	31.152	.000*
建模微觀教材組	9	89.90	4.29		

\* $p<.05$

表4-4-2 三組學生延宕後測總答對率單因子變異數分析事後比較

組別(I)	組別(J)	平均差異 (I-J)	標準誤	顯著性	代表意義
總分	巨觀教材組	-19.12	2.65	.000*	微觀教材組>巨觀教材組
	建模微觀教材組	-17.51	2.73	.000*	建模微觀教材組>巨觀教材組
	微觀教材組	1.62	2.65	.831	微觀教材組=建模微觀教材組

\* $p<.05$

## 二、概念試題與計算題答對率分析

本分析針對三組學生延宕後測概念試題與計算題答對率進行單因子變異數分析，結果如表4-4-3所示，比較三組學生在延宕後測概念試題平均答對率發現微觀建模教材組>微觀教材組>巨觀教材組，p值達顯著水準（ $p=.000$ ），表示三組學生在後測概念試題答對率表現上有差異。接著以謝佛（Scheffe）檢定法進行事後多重比較檢驗，結果如表4-4-4所示，概念試題平均答對率微觀教材組與優於巨觀教材組，建模微觀教材組優於巨觀教材組，且皆達顯著差異（ $p=.000$ ），而微觀教材組略優於建模微觀教材組，但未達顯著差異（ $p=.731$ ）。

計算題部份結果如表4-2-3所示，平均答對率建模微觀教材組>微觀教材組=巨觀教材組，但三組表現並未達顯著差異（ $p=.946$ ）。

表 4-4-3 三組學生延宕後測概念試題與計算題答對率單因子變異數分析

	組別	人數	平均答對率	標準差	F值	顯著性
概念試題	巨觀教材組	9	75.40	8.83	43.993	.000*
	微觀教材組	10	98.57	1.84		
	建模微觀教材組	9	96.43	5.05		
計算題	巨觀教材組	9	55.56	32.83	.056	.946
	微觀教材組	10	52.00	21.50		
	建模微觀教材組	9	53.33	10.00		

\* $p<.05$

## 三、小結

比較三組使用不同教材的學生在教學後所進行的延宕後測答題表現可發現學生的答題表現有所差異。如圖4-4-1三組學生在不同類型試題後測答對率比較所示，在總答對率與概念試題表現方面三種教材對學生學習成就有不同的影響，微觀教材組答題表現優於建模微觀教材組，最差的則是巨觀教材組，但建模微觀教材組與微觀教材組並無顯著差異，在計算性試題方面，三組的學習並無顯著差異。表示本次的三種教材中，微觀教材與建模微觀教材對學生的影響是相同的，微觀的教材幫助學生學習氣體動力論的概念，但對於學生在計算解題的能力上並無顯著的影響，即使在經過一個月之後的延宕測驗研究結果仍與後測相去不遠。

表4-4-4 三組學生延宕後測概念試題與計算題答對率單因子變異數分析事後比較

題目類型	組別(I)	組別(J)	平均差異 (I-J)	標準誤	顯著性	代表意義
概念試題	巨觀教材組	微觀教材組	-23.17	2.69	.000*	微觀教材組>巨觀教材組
		建模微觀教材組	-21.03	2.76	.000	建模微觀教材組>巨觀教材組
	微觀教材組	建模微觀教材組	2.14	2.69	.731	微觀教材組=建模微觀教材組
計算題	巨觀教材組	微觀教材組	3.56	10.71	.946	微觀教材組=巨觀教材組
		建模微觀教材組	2.22	10.99	.980	建模微觀教材組=巨觀教材組
	微觀教材組	建模微觀教材組	-1.33	10.71	.992	微觀教材組=建模微觀教材組

\*p<.05

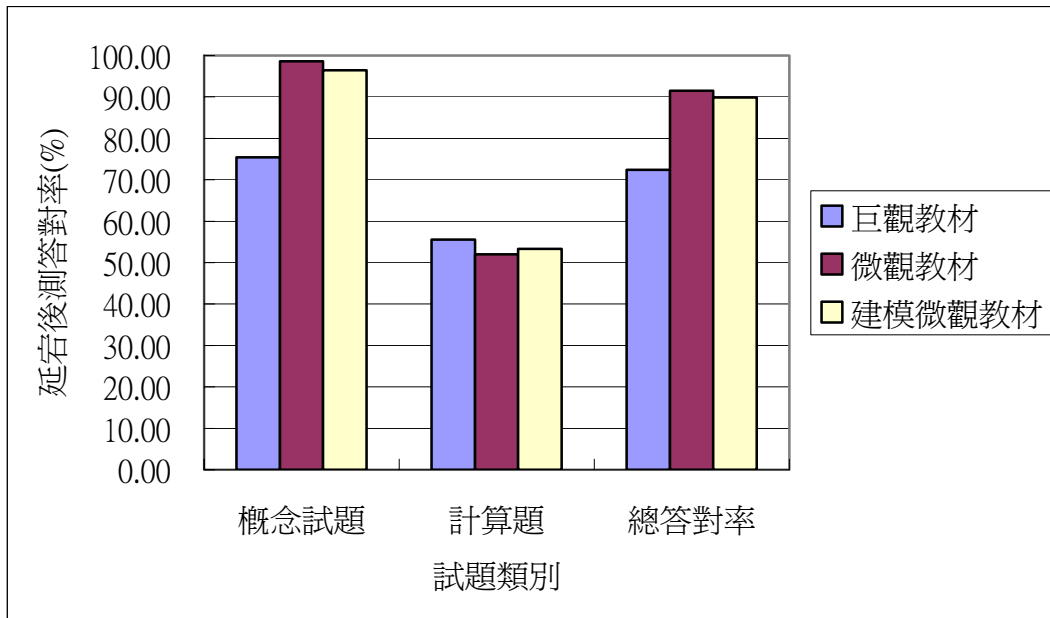


圖 4-4-1 三組學生在不同類型試題延宕後測答對率比較

將三組學生在前測、後測與延宕後測的總答對率畫成折線圖可發現，如圖 4-4-2 所示，三組學生的後測與延宕測驗皆優於前測，表示此次教學有達到教學成效，學生的學習成效在學習後仍可保留一段時間，並非短暫的記憶。

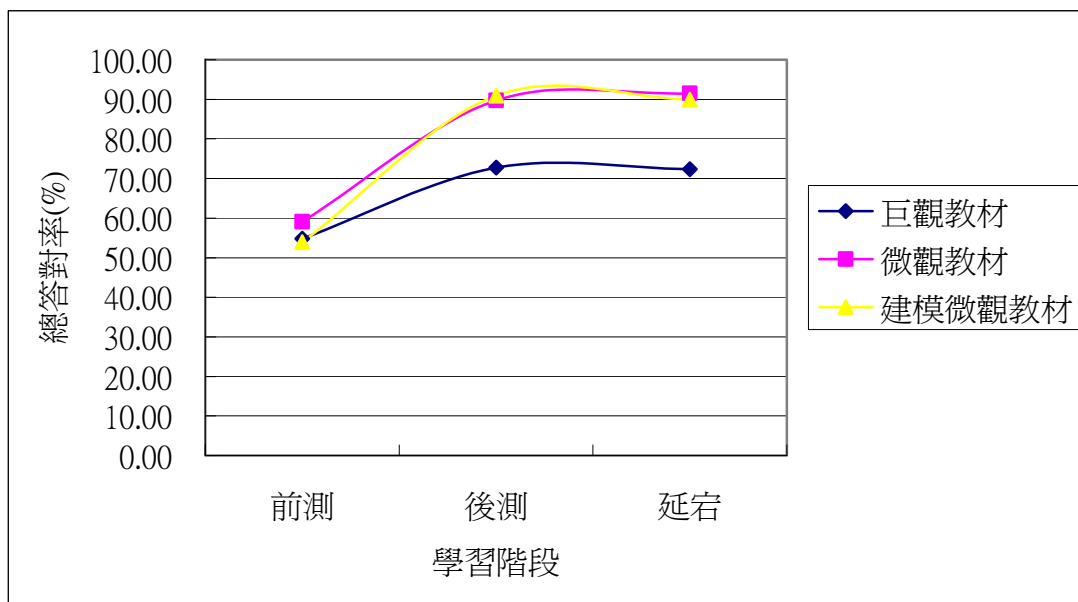


圖 4-4-2 三組學生在前測、後測與延宕後測答對率比較

## 第五節 學生對模型的觀點與其學習成就之差異

本節討論學生對模型的觀點是否會影響其氣體動力論的學習成就，並回答研究問題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？」與研究問題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？」

本節分析將學生分為六組，依所使用之三種不同教材以及學生本身對模型的觀點，分別為巨觀教材組低模型觀點，巨觀教材組高模型觀點，微觀教材組低模型觀點，微觀教材組高模型觀點，模型微觀教材組低模型觀點，模型微觀教材組高模型觀點，為表格呈現方便，如表4-5-1所示使用以下代號表示。

表4-5-1 研究對象三種不同教材ABC三組學生與模型觀點組別說明

	巨觀教材組A	微觀教材組B	模型微觀教材組C
低模型觀點1-2	A 1-2	B 1-2	C 1-2
高模型觀點2-3	A 2-3	B 2-3	C 2-3

### 一、總答對率分析

首先在教學前進行前測分析發現，結果如表4-5-2所示，不同模型觀點的學生1-2組與2-3組在教學前測的總答對率沒有顯著差異。

表4-5-2 不同模型觀點學生使用不同教材前測總答對率單因子變異數分析

組別	人數	平均總答對率	標準差	F值	顯著性	
巨觀教材組	1-2	5	55.15	7.24	1.172	.352
	2-3	5	54.55	7.11		
微觀教材組	1-2	5	56.97	6.91		
	2-3	5	61.22	3.95		
建模微觀教材組	1-2	5	52.73	6.29		
	2-3	5	55.16	3.32		

在教學後針對不同模型觀點學生使用不同教材後測總答對率進行單因子變異數分析，結果如表4-5-3所示，學生的成績有差異，之後以謝佛（Scheffe）檢定法進行事後多重比較檢驗，結果如表4-5-4所示，使用巨觀教材高模型觀點之學生總答對率顯著低於使用微觀教材與建模微觀教材的學生，巨觀教材組低模型觀點學生表現也低於微觀教材與模型微觀教材組的學生，但未達顯著差異。另外使

用微觀教材組的學生與模型微觀教材組的學生，不論其模型觀點高低，後測答對率均沒有差異，因此表示本研究中的學生其對模型的觀點與看法並不影響其氣體動力論之學習成就，本研究之學習成效差別主要在於學生所使用之不同教材，整體而言微觀的教材對學生學習成就的提升優於巨觀教材。

表4-5-3 不同模型觀點學生使用不同教材後測總答對率單因子變異數分析

組別	人數	平均總答對率	標準差	F值	顯著性	
巨觀教材組	1-2	5	76.37	9.19	7.496	.000*
	2-3	5	69.09	13.10		
微觀教材組	1-2	5	89.70	5.07		
	2-3	5	89.70	3.45		
建模微觀教材組	1-2	5	91.52	6.21		
	2-3	5	90.30	4.49		

\*p<.05

表4-5-4 不同模型觀點學生使用不同教材後測總答對率單因子變異數分析事後比較

組別(I)	組別(J)	平均差異 (I-J)	標準誤	顯著性	代表意義
巨觀教材組 低模型觀點 A 1-2	A 2-3	7.27	4.85	.809	
	B 1-2	-13.33	4.85	.223	
	B 2-3	-13.33	4.85	.223	
	C 1-2	-15.15	4.85	.123	
巨觀教材組 高模型觀點 A 2-3	C 2-3	-13.94	4.85	.184	
	B 1-2	-20.60	4.85	.014*	A2-3<B1-2
	B 2-3	-20.60	4.85	.014*	A2-3<B2-3
	C 1-2	-22.42	4.85	.006*	A2-3<C1-2
微觀教材組 低模型觀點 B 1-2	C 2-3	-21.21	4.85	.011*	A2-3<C2-3
	B 2-3	.00	4.85	1.000	
	C 1-2	-1.82	4.85	1.000	
微觀教材組 高模型觀點 B 2-3	C 2-3	-.61	4.85	1.000	
	C 1-2	-1.82	4.85	1.000	
建模微觀教材組 低模型觀點 C 1-2	C 2-3	-.61	4.85	1.000	
	C 1-2	1.21	4.85	1.000	

\*p<.05



## 二、概念試題答對率分析

首先在教學前進行前測分析發現，結果如表4-5-5所示，不同模型觀點的學生在教學前測的概念試題答對率沒有顯著差異。

表4-5-5 不同模型觀點學生使用不同教材前測概念試題答對率單因子變異數分析

組別	人數	平均答對率	標準差	F值	顯著性
巨觀教材組	1-2	5	61.42	11.68	1.030 .422
	2-3	5	60.00	8.15	
微觀教材組	1-2	5	62.86	8.96	
	2-3	5	68.57	6.39	
建模微觀教材組	1-2	5	57.85	4.65	
	2-3	5	60.71	6.68	

\*p<.05

在教學後針對不同模型觀點學生使用不同教材後測概念試題答對率進行單因子變異數分析，結果如表4-5-6所示，不同組別學生的成績有差異，之後以謝佛（Scheffe）檢定法進行事後多重比較檢驗，結果如表4-5-7所示，使用巨觀教材高模型觀點的學生概念試題答對率低於使用微觀教材與建模微教材的學生，且達顯著差異；巨觀教材組低模型觀點學生表現也低於微觀教材與模型微觀教材組的學生，但未達顯著差異。另外使用微觀教材組的學生與模型微觀教材組的學生，不論其模型觀點高低，概念試題後測答對率均沒有差異，因此表示本研究中的學生其對模型的觀點與看法並不影響其氣體動力論之概念試題學習成就，本研究之學習成效差別主要在於學生所使用之不同教材，整體而言微觀的教材對學生概念性試題學習成就的提升優於巨觀教材。

表4-5-6 不同模型觀點學生使用不同教材後測概念試題答對率單因子變異數分析

組別	人數	平均答對率	標準差	F值	顯著性
巨觀教材組	1-2	5	80.71	13.51	9.362 .000*
	2-3	5	73.57	12.53	
微觀教材組	1-2	5	97.14	2.99	
	2-3	5	97.14	3.91	
建模微觀教材組	1-2	5	97.86	3.19	
	2-3	5	98.57	1.96	

\*p<.05

表4-5-7 不同模型觀點學生使用不同教材後測概念試題答對率單因子變異數分析事後比較

組別(I)	組別(J)	平均差異 (I-J)	標準誤	顯著性	代表意義
巨觀教材組 低模型觀點 A 1-2	A 2-3	7.14	5.02	.840	
	B 1-2	-16.43	5.02	.095	
	B 2-3	-16.43	5.02	.095	
	C 1-2	-17.14	5.02	.073	
	C 2-3	-17.86	5.02	.056	
巨觀教材組 高模型觀點 A 2-3	B 1-2	-23.57	5.02	.005*	A 2-3<B 1-2
	B 2-3	-23.57	5.02	.005*	A 2-3<B 2-3
	C 1-2	-24.29	5.02	.004*	A 2-3<C 1-2
	C 2-3	-25.00	5.02	.003*	A 2-3<C 2-3
微觀教材組 低模型觀點 B 1-2	B 2-3	.00	5.02	1.000	
	C 1-2	-.71	5.02	1.000	
	C 2-3	-1.43	5.02	1.000	
微觀教材組 高模型觀點 B 2-3	C 1-2	.71	5.02	1.000	
	C 2-3	-.71	5.02	1.000	
建模微觀教材組 低模型觀點 C 1-2	C 2-3	-.71	4.85	1.000	

\*p<.05

### 三、計算題答對率分析

首先在教學前進行前測分析發現，結果如表4-5-8所示，不同模型觀點的學生1-2與2-3組在教學前測的計算題答對率沒有顯著差異。

表4-5-8 不同模型觀點學生使用不同教材前測計算題答對率單因子變異數分析

組別	人數	平均總答對率	標準差	F值	顯著性	
巨觀教材組	1-2	5	20.00	24.49	.055	.998
	2-3	5	24.00	16.73		
微觀教材組	1-2	5	24.00	16.73		
	2-3	5	20.00	14.14		
建模微觀教材組	1-2	5	24.00	16.73		
	2-3	5	24.00	26.08		

在教學後針對不同模型觀點學生使用不同教材後測計算題答對率進行單因子變異數分析，結果如表4-5-9所示，學生的成績亦沒有差異。表示持有不同模型看法的學生在使用三種不同教材後，其計算解題能力並沒有差異。表示學生的計算解題能力之差異在本研究所設計的三種不同教材中，對學生計算解題能力沒有不同影響。

表4-5-9 不同模型觀點學生使用不同教材後測計算題答對率單因子變異數分析

組別	人數	平均總答對率	標準差	F值	顯著性	
巨觀教材組	1-2	5	52.00	17.89	.219	.951
	2-3	5	44.00	29.66		
微觀教材組	1-2	5	48.00	17.89		
	2-3	5	48.00	10.95		
建模微觀教材組	1-2	5	56.00	26.08		
	2-3	5	44.00	26.08		

## 第六節 學生在不同問題情境下所持有心智模式分析

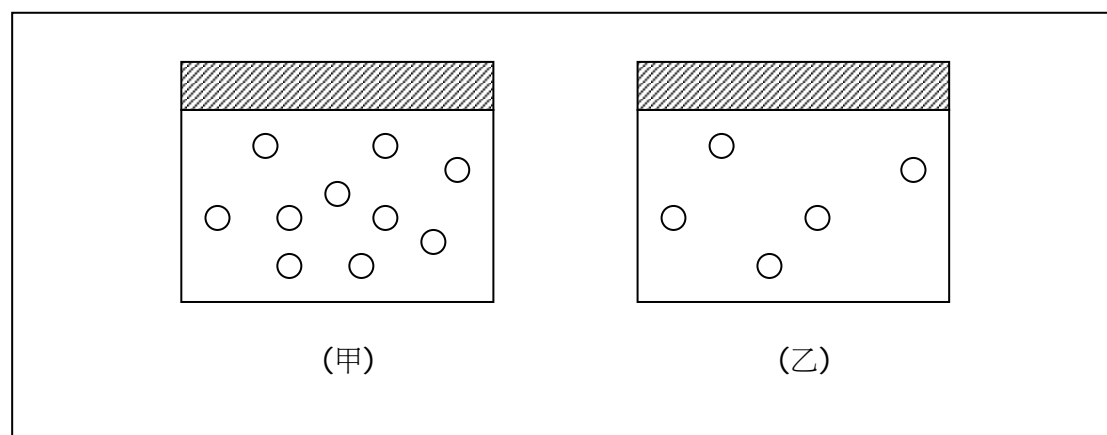
本研究透過前測晤談、壓力概念教學後、體積溫度概念教學後、波以耳定律教學後、查理定律教學後、理想氣體動力論教學後及後測晤談等七個時間點收集學生在四種情境下口語資料，並轉成逐字稿，以分析學生對氣體粒子運動的心智模式。

學生在不同情境下，對每個現象的解釋及預測會有不同的敘述，所持有的心智模式也不相同，以下的分析先說明問題情境，之後列舉科學模式與錯誤的模式，以圖示法呈現學生在不同情境之心智模式，並輔以學生的口語資料加以說明。之後分析各情境下在不同學習階段學生所持心智模式人數多寡為何。

### 一、情境一：同溫同體積下粒子數目對壓力的影響

以下是問題情境一的題目敘述：

下圖（甲）與（乙）為兩個大小相同的密閉容器，在溫度相同的條件下，兩容器裡面裝有種類相同但數量不同的氣體分子，請問哪一個容器的壓力大。



此情境下學生的心智模式有以下幾種分類，分別為正確的科學模式，錯誤的粒子擠壓模式、粒子互相碰撞模式、重量模式與外界擠壓模式共五種。

#### （一）科學模式（S）

氣體壓力來自於氣體粒子與器壁之間的碰撞，粒子數目越多則器壁受撞擊的次數越多，所以壓力越大，反之氣體數目少則器壁所受撞擊少，因此壓力小。此心智模式如圖 4-6-1 所示：

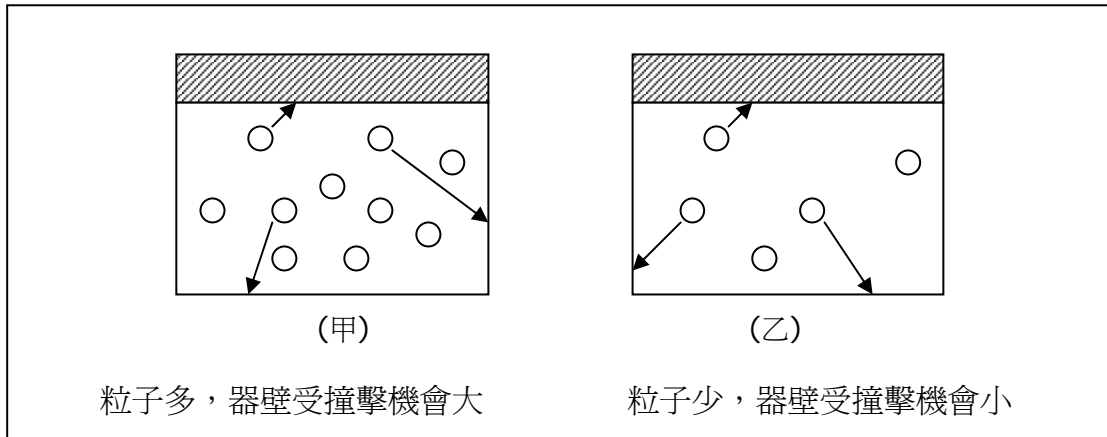


圖 4-6-1 情境一科學模式

以下是學生 C34 在後測的晤談資料：

研(研究者，以下以研代替)：第一題，甲乙兩個容器內氣體壓力哪個大？

生(學生：以下以生代替)：甲。

研：為什麼？

生：因為甲的粒子比較多，而且他們體積一樣，所以甲碰撞器壁的機率比較大，所以壓力比較大。

研：你說甲碰撞什麼比較大？

生：器壁。

研：裡面氣體去碰撞容器的機會比較多？

生：對。

## (二) 錯誤模式

### 1. 擠壓模式 (P)

氣體壓力的來源是氣體粒子的擠壓所造成的，比較多的粒子比較擁擠，所以壓力大。此心智模式如圖 4-6-2 所示：

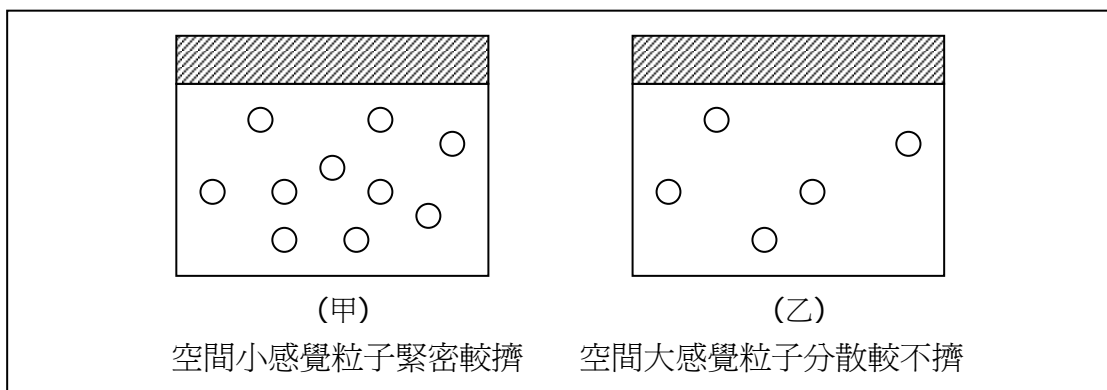


圖 4-6-2 情境一擠壓模式

以下為學生 C11 前測晤談資料：

研：第一題，甲乙兩個容器內氣體壓力哪個大。

生：甲。

研：為什麼？

生：因為比較多。

研：比較多壓力就比較大？

生：恩。

研：裡面是什麼造成影響產生壓力？

生：擠壓吧。

研：所以比較多感覺比較擠？

生：恩。

研：擠壓是指氣體粒子互相的擠壓嗎，

生：恩。

## 2. 氣體粒子彼此碰撞模式 (PC)

氣體粒子在容器中會運動，彼此碰撞產生壓力，數目較多的氣體碰撞機會較大，所以壓力較大。此心智模式如圖 4-6-3 所示：

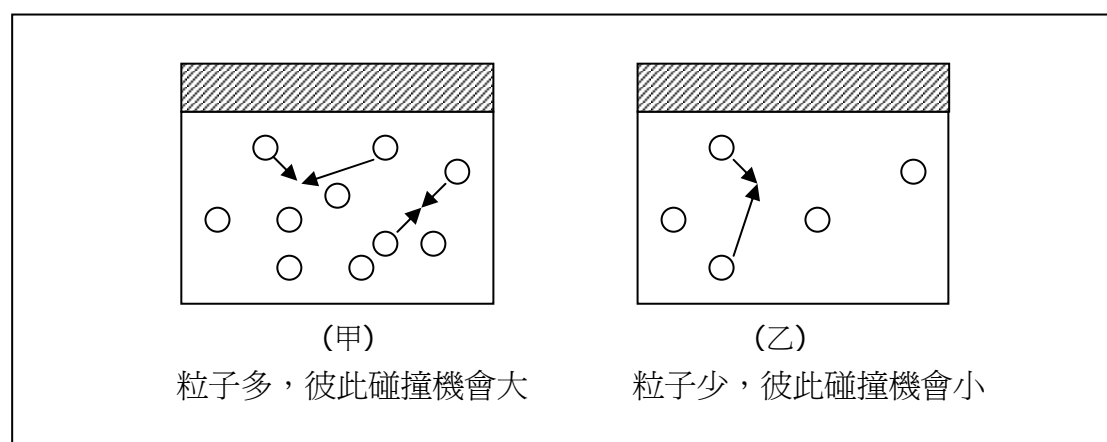


圖 4-6-3 情境一氣體粒子彼此碰撞模式

以下是學生 A31 前測晤談資料：

研：密閉容器中的壓力來源是什麼？

生：應該是它們碰撞的時候產生的。

研：氣體粒子碰撞產生壓力？

生：對。

研：第一題甲乙兩個容器內氣體壓力哪個大？

生：應該是甲。

研：為什麼？

生：因為甲的那個分子比較多，可能比較容易碰觸到，造成的壓力會比較大

研：所以碰撞次數越多壓力會比較大。

### 3.重量模式 (W)

氣體壓力來源是因為氣體的重量，數目越多的氣體重量越大，所以壓力越大，因此容器甲的壓力大於乙。此心智模式如圖 4-6-4 所示：

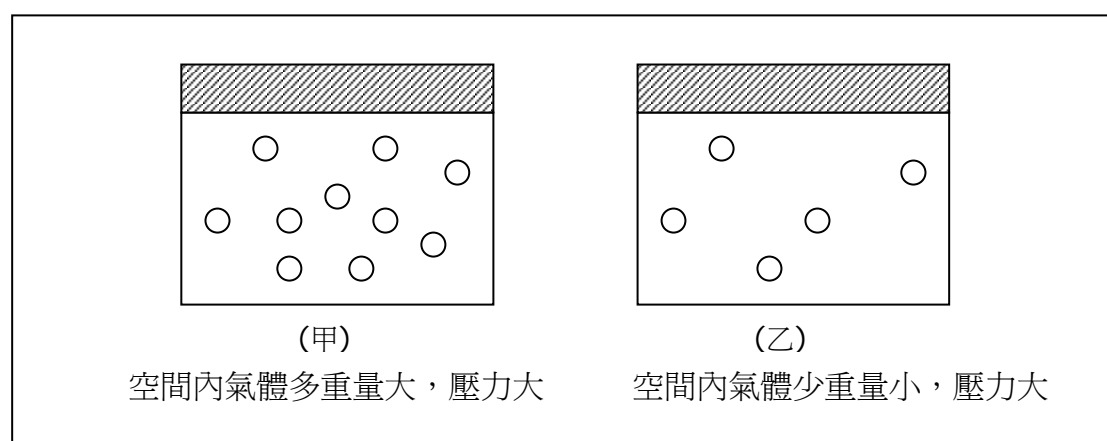


圖 4-6-4 情境一重量模式

以下是學生 C12 前測晤談資料：

研：什麼是壓力？

生：壓力喔，就是空氣的重量。

研：第一題，甲乙兩個容器內氣體壓力哪個大？

生：甲大。

研：為什麼？

生：因為氣體粒子比較多，比較多壓力比較大。

研：壓力就是因為重量？

生：應該吧。

### 4.受外界擠壓 (O)

容器的氣體會受到外面的空氣擠壓，相同容器大小內，壓力一樣大。此心智模式如圖 4-6-5 所示：

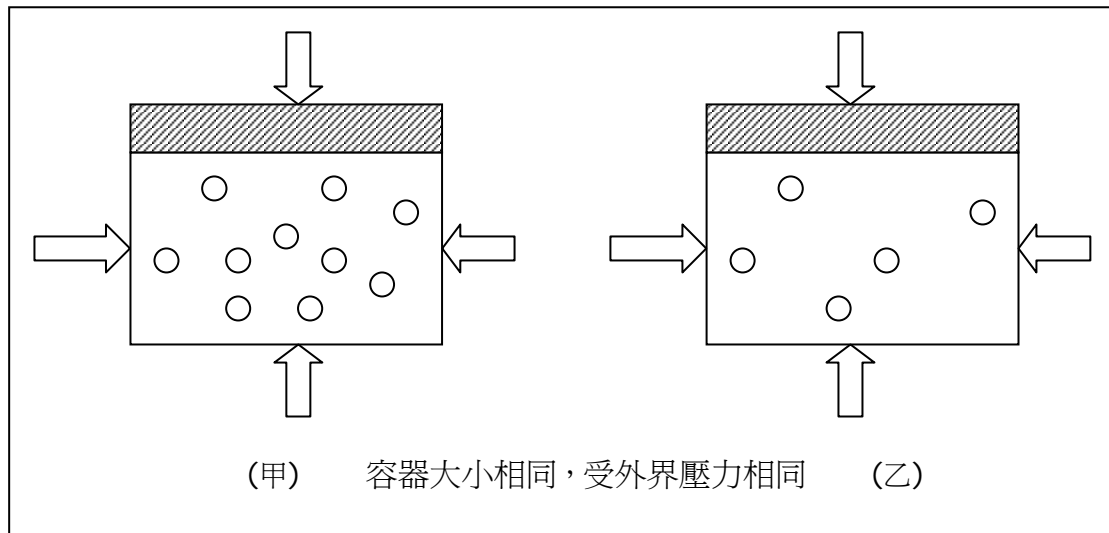


圖 4-6-5 情境一外界擠壓模式

以下是學生 C14 前測晤談資料：

研：第一題，甲乙兩個容器內氣體壓力哪個大？

生：一樣大吧！

研：為什麼？

生：因為我覺得溫度還有體積一樣的話壓力會相同。

研：壓力的來源是什麼？

生：因為在同一個體積內，受空氣擠壓。

研：所以你覺得它們的壓力來源是受外面的空氣擠壓？

生：對。

### (三) 學生在情境一下各學習階段所持有之心智模式

學生在情境一下各學習階段所持有之心智模式如表 4-6-1 所示，前測有十七位學生持有擠壓模式，粒子互相碰撞模式四人，重量模式三人，外界擠壓模式三人。在壓力概念教學後，微觀教材組與模型微觀教材組學生心智模式轉科學模式，巨觀教材組學生最多仍是擠壓模式有七人，其次是重量模式兩人，粒子互相碰撞模式一人。在之後的溫度體積教學與第二階段的波以耳定律、查理定律和理想氣體方程式教學之後，學生的心智模式沒有太大的改變。後測部份微觀教材組與模型微觀教材組學生心智模式皆為科學模式，巨觀教材組學生最多仍是擠壓模式有七人，其次是粒子互相碰撞模式有兩人，重量模式有一人，而外界擠壓模式在壓力教學之後，學生便不再持有此錯誤的心智模式。



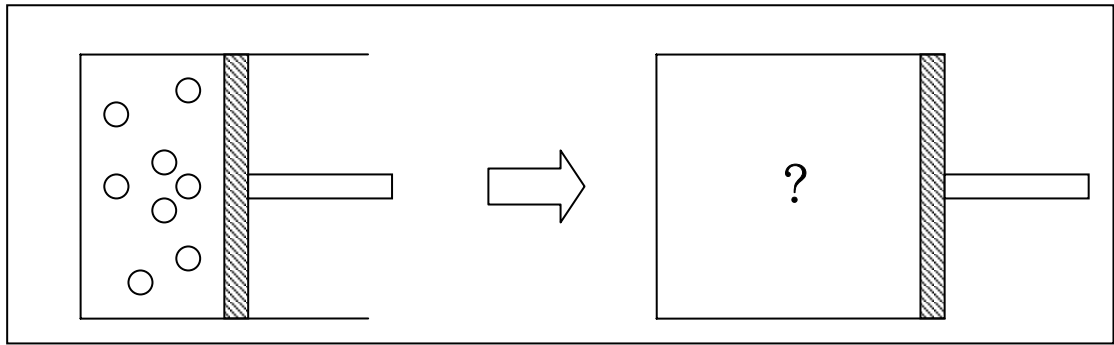
表 4-6-1 學生在情境一下各學習階段心智模式

	科學模式 S	擠壓模式 P	粒子互相碰撞 PC	重量模式 W	外界 O
前測		A12 A13 A14 A15 A32 A33 A34 B14 B31 B32 B33 B34 C11 C15 C32 C33 C35	A31 B13 B35 C13	A11 A35 B12 B15 C12 C34	B11 C14 C31
人數	0 人	17 人	4 人	6 人	3 人
壓力	BC	A12 A13 A14 A15 A32 A33 A34	A31	A11 A35	
人數	20 人	7 人	1 人	2 人	0 人
溫度 體積	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34	A13 A31	A11 A35	
人數	20 人	6 人	2 人	2 人	0 人
波以 耳	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34	A11 A13 A31	A35	
人數	20 人	6 人	3 人	1 人	0 人
查理	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A11 A13 A31		
人數	20 人	7 人	3 人	0 人	0 人
理想	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A13A31	A11	
人數	20 人	7 人	2 人	1 人	0 人
後測	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A13 A31	A11	
人數	20 人	7 人	2 人	1 人	0 人

## 二、情境二：同溫下容器體積擴大對定量氣體壓力的影響

以下是問題情境二的題目敘述：

標準狀況下，有一裝有定量氣體的容器，今在保持恆溫狀態下，拉動活塞將容器的體積拉至原來的兩倍，請問容器內的壓力會改變嗎？有何改變？



此情境下學生的心智模式有以下幾種分類，分別為正確的科學模式，錯誤的類科學模式、擠壓模式、粒子互相碰撞模式、重量模式 A、重量模式 B 與外界擠壓模式共七種。

(一) 科學模式：氣體粒子碰撞器壁模式 (S)

在溫度不變的情形下，當氣體體積減少時，容器內的氣體密度會增加，單位體積內將有較多的氣體粒子，因此氣體粒子碰撞機會也隨之增加，導致器壁所受撞擊增多，因此氣體壓力會增大。此心智模式如圖 4-6-6 所示：

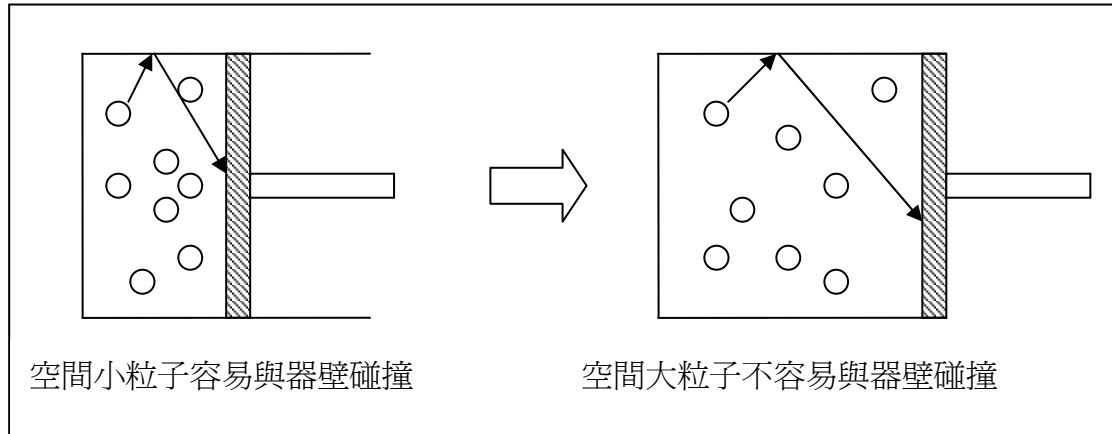


圖 4-6-6 情境二科學模式

以下是學生 C11 在體積溫度教學後的晤談資料：

研：第二題，體積擴大壓力怎麼變？

生：變小，因為空間變大。

研：所以...

生：所以撞擊次數比較少。

研：撞擊次數？

生：器壁。

研：你覺得為什麼空間變大撞擊次數會變少？

生：因為它活動空間變大，所以它就會比較少去撞到旁邊。

## (二) 錯誤模式

### 1. 氣體碰撞器壁模式之錯誤推論 (CCW)

學生瞭解氣體壓力是因為氣體粒子碰撞器壁所產生的，但因為粒子數目不變，且粒子運動速度也沒改變，所以壓力並沒有改變。

以下是學生 C32 在壓力教學後的晤談資料：

研：第二題，容器體積擴大後壓力會變嗎？

生：不變。

研：為什麼？

生：因為粒子數還是一樣多。

研：因為粒子數一樣多所以壓力不變？

生：恩！

研：所以撞擊器壁的機會一樣多...

生：如果它的移動速度一樣的話，粒子又一樣多，所以這個面接受撞擊的次數還是一樣，因為粒子一樣多嘛，就是粒子一樣多沒有增加也沒有減少，

研：恩

生：那不是它撞擊這個面就會有壓力阿，那同樣的粒子，就一樣多的粒子撞阿，那壓力還是一樣。

### 2. 擠壓模式 (P)

氣體的壓力來自於氣體粒子之間的擠壓，當容器空間變大之後，氣體的擠壓程度變小，因此壓力變小。此心智模式如圖 4-6-7 所示：

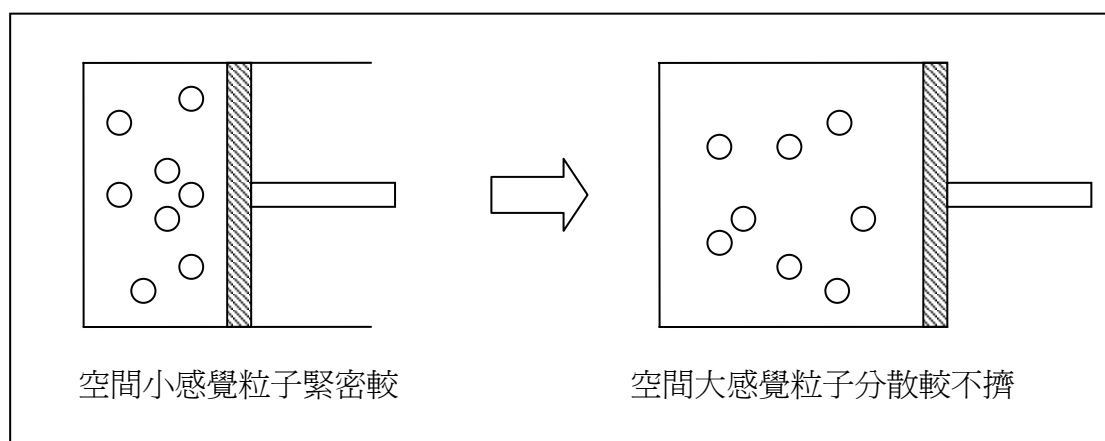


圖 4-6-7 情境二擠壓模式

以下是學生 C11 前測晤談資料：

研：第二題，體積擴大後壓力會變嗎？

生：變小。

研：為什麼？

生：因為空間變大。

研：所以...

生：擠壓程度比較小。

研：所以壓力比較小？

生：對。

### 3. 氣體粒子彼此碰撞模式 (PC)

氣體粒子彼此碰撞產生壓力，當容器體積擴大之後，氣體粒子不容易碰撞到彼此，因此壓力變小。此心智模式如圖 4-6-8 所示：

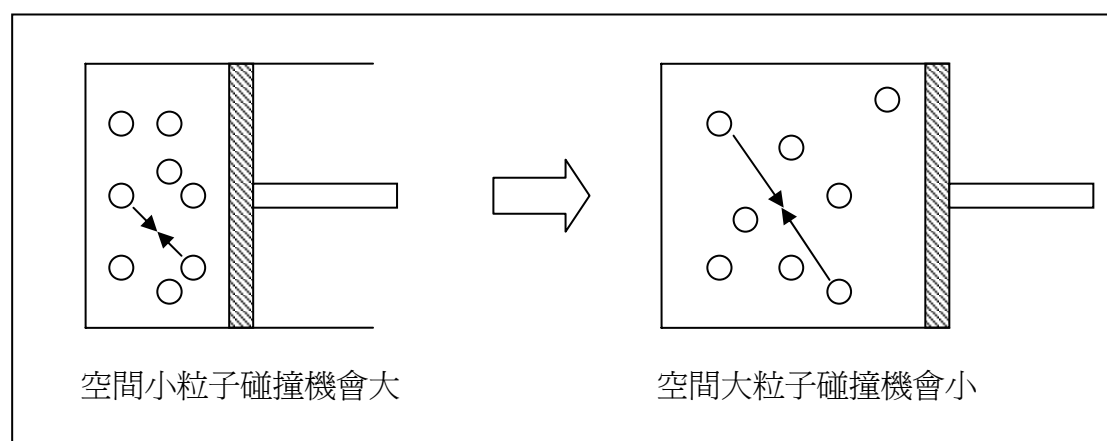


圖 4-6-8 情境二氣體粒子彼此碰撞模式

以下是學生 A31 前測晤談資料：

研：第二題，體積擴大壓力怎麼變？

生：擴大，應該會變小。

研：為什麼？

生：因為它的空間變大了，然後碰撞的機會會比較小。

研：所以壓力會變小？

生：對。

#### 4.重量模式 (W)

學生認為壓力就是來自於氣體的重量，因此粒子的重量多少才會影響壓力的大小，而分粒子運動等其它的因素。而重量又分為兩類，一類是較嚴謹的重量模式 A 密度模式，此類是考慮單位體積內的重量，另一類重量模式 B 則單純考慮容器中的氣體總重。

##### (1) 重量模式 A (密度)

壓力來自於氣體的重量，壓力的大小與單位體積內的重量(重量密度)有關，單位體積內粒子數目越多，則重量越大，壓力也越大。此心智模式如圖 4-6-9 所示：

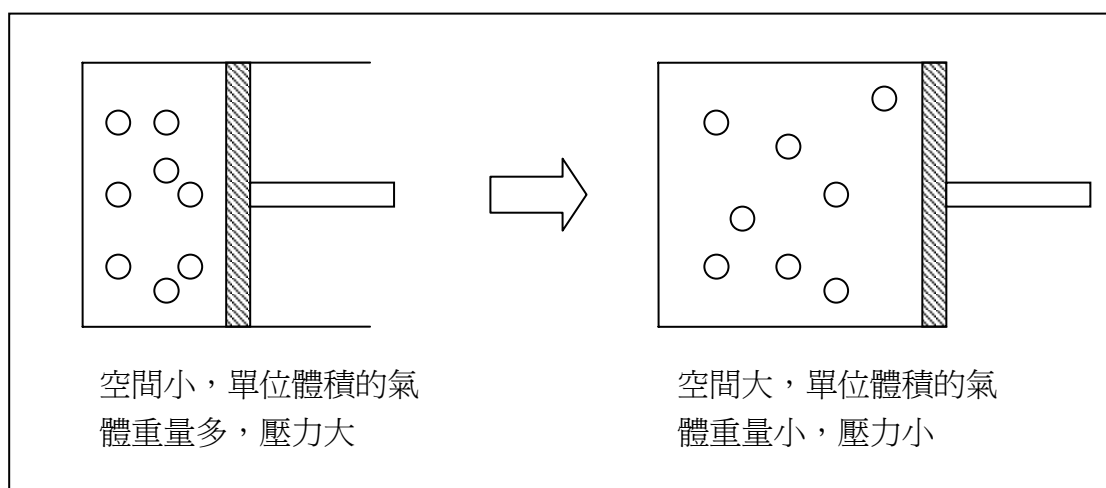


圖 4-6-9 情境二重量模式 A

以下是學生 C12 前測晤談資料：

研：第二題，體積擴大壓力會變嗎？

生：應該會變。

研：為什麼？

生：它空間變大，作用比較分散。

研：有相同的重量但是他分散在比較多的空間內。

生：所以壓力比較小。

##### (2) 重量模式 B(重量)

壓力來自於氣體的重量，當容器內的粒子數目不變時，因為氣體重量不變所以壓力不變。

以下是學生 A11 前測晤談資料：

研：什麼是壓力？

生：空氣的重量。

...

研：第二題體積擴大後壓力會變嗎？

生：不會。

研：為什麼？

生：因為它擴大之後裡面氣體不會變多。

研：數量一樣？

生：對。

### 5. 受外界擠壓(O)

氣體受外界擠壓，容器小表示壓得比較緊，壓力比較大，容器大壓得比較鬆，壓力小。此心智模式如圖 4-6-10 所示：

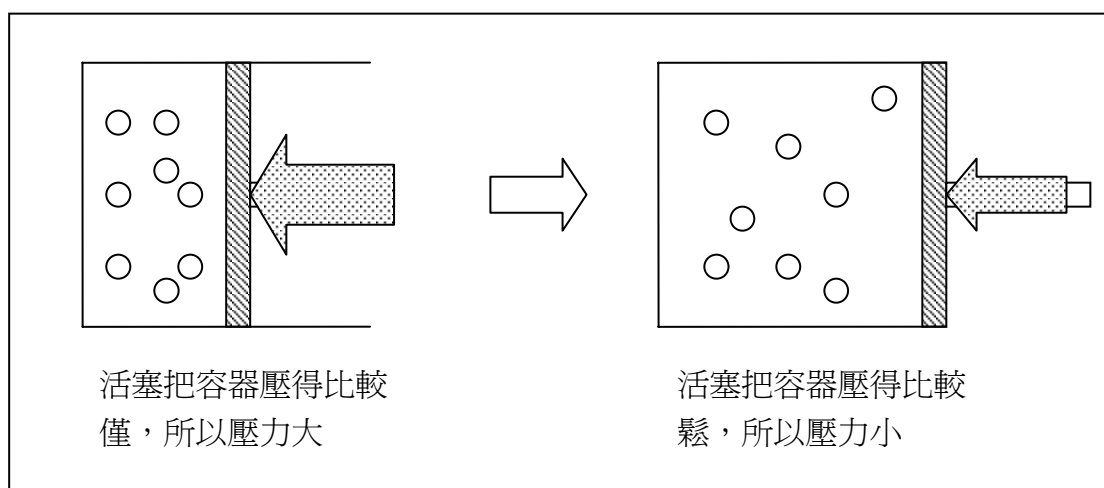


圖 4-6-10 情境二外界擠壓模式

以下是學生 C14 前測晤談資料：

研：第二題，體積擴大壓力會變嗎？

生：壓力會變。

研：怎麼變？

生：會變小。

研：為什麼？

生：因為這樣擠壓的話壓力會比較大，放開後就比較多空間吧，所以壓力變小。

表 4-6-2 學生在情境二下各學習階段心智模式

	科學模式 S	類科學 CCW	擠壓模式 P	粒子互相 碰撞模式 PC	重量模式 W		外界 O
					A	B	
前測			A12 A13 A14 A15 A32 A33 A34 A35 B14 B31 B32 B33 B34 C11 C15 C32 C33 C35	A31 B13 B35 C13	B12 B15 C12 C34	A11	B11 C14 C31
人數	0 人	0 人	18 人	4 人	4 人	1 人	3 人
壓力	BC (C31 C32 C33 除外)	C31 C32 C33	A12 A13 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A31		A11	
人數	17 人	3 人	8 人	1 人	0 人	1 人	0 人
溫度 體積	BC (C31 C33 除外)	C31 C33	A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A13A31		A11	
人數	18 人	2 人	7 人	2 人	0 人	1 人	0 人
波以 耳	BC		A12 A13 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A11A31			
人數	20 人	0 人	8 人	2 人	0 人	0 人	0 人
查理	BC		A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A11A13 A31			
人數	20 人	0 人	7 人	3 人	0 人	0 人	0 人
理想	BC		A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A11A13 A31			
人數	20 人	0 人	7 人	3 人	0 人	0 人	0 人
後測	BC		A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A13A31		A11	
人數	20 人	0 人	7 人	2 人	0 人	1 人	0 人

(三) 學生在情境二下各學習階段所持有之心智模式

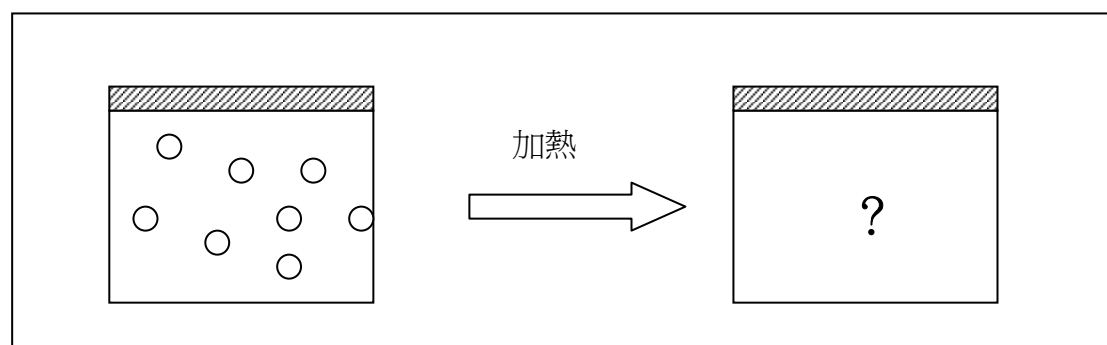
學生在情境二下各學習階段所持有之心智模式如表 4-6-2 所示，前測有十八位學生持有擠壓模式，粒子互相碰撞模式四人，重量模式五人，外界擠壓模式三人。在壓力概念教學後，微觀教材組與模型微觀教材組學生有十七人心智模式轉為正確科學模式，三人為類科學模式，巨觀教材組學生最多仍是擠壓模式有八

人，其次是重量模式一人，粒子互相碰撞模式一人。在之後的溫度體積教學學生心智模式沒有太大改變。波以耳定律教學後，微觀教材組與模型微觀教材組學生心智模式皆為正確的科學模式，查理定律和理想氣體方程式教學之後，學生的心智模式沒有太大的改變。後測部份微觀教材組與模型微觀教材組學生心智模式皆為科學模式，巨觀教材組學生最多仍是擠壓模式有七人，其次是粒子互相碰撞模式有兩人，重量模式有一人，而外界擠壓模式在壓力教學之後，學生便不再持有此錯誤的心智模式。

### 三、情境三：加熱固定體積容器中的定量氣體對氣體壓力的影響

以下是情境三的問題敘述：

在標準狀況下，有一裝有定量氣體的密閉容器，在容器體積固定的狀況下，將之加熱使溫度上升至原來的兩倍，請問容器內的壓力會改變嗎？有何改變？



此情境下學生的心智模式分類較前兩種複雜，因為此情境加入溫度這項變因，學生對於加熱後氣體的運動速度變化和粒子體積大小有不同的迷思概念，因此學生回答此問題有許多不同的解釋出現。

學生在不同學習階段主要的心智模式有以下幾種分類，分別為正確的科學模式，錯誤的類科學模式、氣體粒子擠壓模式、分子距離擴充模式、氣體粒子彼此碰撞模式、重量模式六大類，其中類科學模式又可細分為四種，粒子擠壓模式可分為三種，氣體粒子彼此碰撞可分為五種，重量模式可分為兩種，總共有十六種不同的心智模式。

#### (一) 科學模式(S)

氣體的壓力來自氣體粒子與器壁之間的碰撞，定量氣體，當我們對容器加熱，使氣體粒子的溫度升高，則氣體粒子運動速度會增加，因此氣體粒子撞擊器壁的頻率增加，且撞擊力更大，因此氣體壓力會增加；反之，如果溫度降低，則氣體粒子運動速度減慢，因此氣體粒子碰撞器壁的頻率減少，因此氣體壓力會減少。此心智模式如圖 4-6-11 所示：



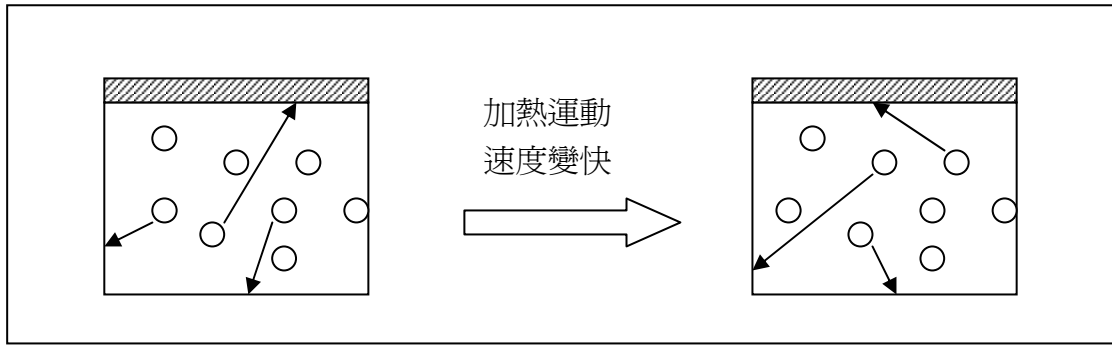


圖 4-6-11 情境三 科學模式

以下是學生晤談資料：

研：第三題，加熱後壓力會變嗎？

生：加熱的話然後因為它容器體積不變，加熱的話粒子活動速率比較快，撞擊器壁的機率增大，壓力跟著增大。

## (二) 錯誤模式

### 1. 氣體粒子擠壓模式 (P)

#### (1) 擠壓模式 A/氣體粒子大小改變/壓力變大

容器內氣體壓力來源是因為氣體粒子的擠壓，當容器內的氣體粒子受熱後，粒子大小變大，因此擠壓程度更劇烈，所以壓力變大。此心智模式如圖 4-6-12 所示：

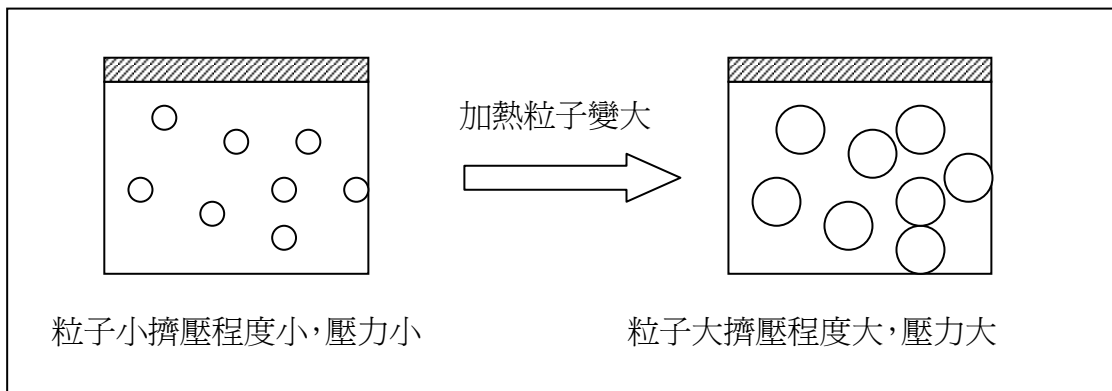


圖 4-6-12 情境三 擠壓模式 A

以下是學生 C11 前測晤談資料：

研：第三題，粒子會移動嗎？

生：會。

研：持續嗎？  
 生：對。  
 研：加熱後粒子大小會不會變？  
 生：會變大。  
 研：壓力怎麼變？  
 生：變大。  
 研：為什麼？  
 生：因為體積變大。  
 研：體積變大，所以更擠了？  
 生：對。

(2) 擠壓模式 B/氣體粒子大小改變/壓力不變

容器內氣體壓力來源是因為氣體粒子的擠壓，受熱粒子大小變大，因此擠壓程度更劇烈，但是壓力仍不變，因為只是粒子稍微擴大。此心智模式如圖 4-6-13 所示：

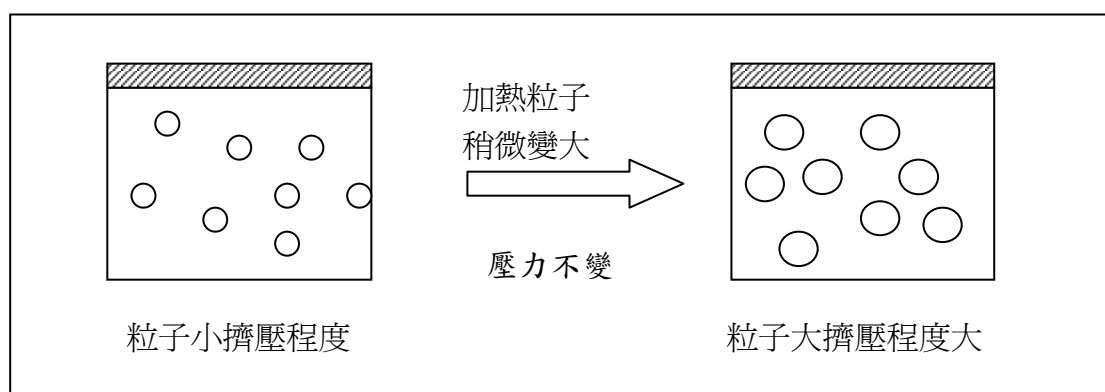


圖 4-6-13 情境三 擠壓模式 B

以下是學生 A34 前測晤談資料：

研：第三題，粒子大小會變嗎？  
 生：受熱會膨脹。  
 研：壓力會不會變？  
 生：應該不會吧，我記得我寫不變。  
 研：為什麼不變？  
 生：因為它變大的話它還是會有空隙讓它變大，就是它不會整個擠滿。  
 研：所以壓力不變？  
 生：對。

### (3) 擠壓模式 C/氣體粒子大小不變/壓力不變

容器內氣體壓力來源是因為氣體粒子的擠壓，受熱後氣體粒子大小不變，所以擠壓程度不變，所以壓力不變。此心智模式如圖 4-6-14 所示：

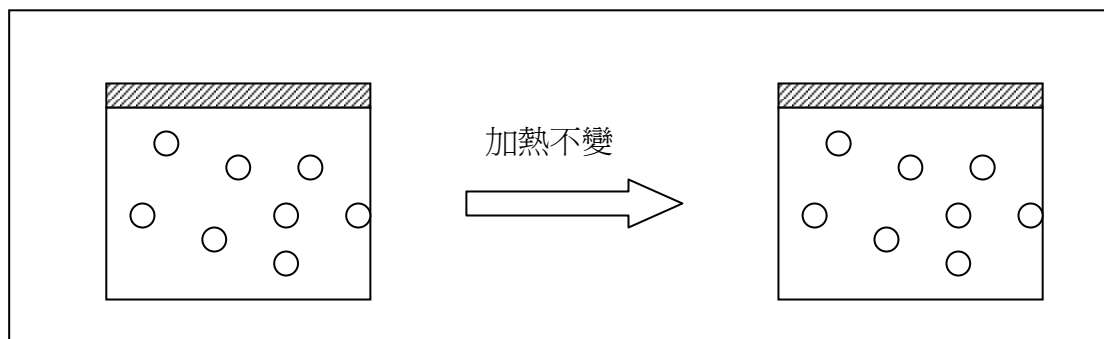


圖 4-6-14 情境三 擠壓模式 B

以下是學生 C32 前測晤談資料：

研：第三題，加熱粒子大小會變嗎？

生：我覺得不會變。

研：壓力會變嗎？

生：不會變。

研：沒有影響？

生：我覺得沒有影響。

### 2. 分子間距離擴充模式/粒子大小不變 (D)

受熱氣體粒子大小不變，但分子間距離要擴大，所以氣體體積要膨脹，所以壓力變大。此心智模式如圖 4-6-15 所示：

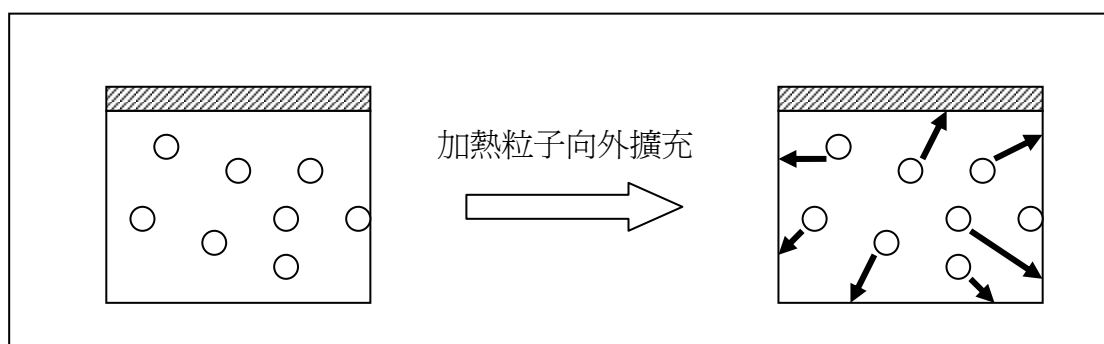


圖 4-6-15 情境三分子間距離擴充模式

以下是學生 C34 前測晤談資料：

研：第三題，加熱粒子大小會變嗎？  
 生：不變。  
 研：粒子會運動嗎？  
 生：會，不規則亂動。  
 研：加熱壓力會變嗎？  
 生：會變。  
 研：怎麼變？  
 生：變大。  
 研：為什麼？  
 生：它們之間距離變大，所以壓力變大。  
 研：距離變大，所以加熱改變的是分子間的？  
 生：距離。  
 研：所以你覺得距離變大，空間？  
 生：空間沒有變。  
 研：空間沒有變，為什麼壓力會變大？  
 生：不知道，感覺有膨脹的感覺。  
 研：但是有膨脹不是粒子大小膨脹，是距離膨脹，所以壓力會變大？  
 生：是。

### 3. 氣體粒子彼此碰撞模式 (PC)

#### (1) 氣體彼此碰撞模式 A/氣體受熱粒子大小變大/運動速度變慢/壓力變小

氣體壓力來自於氣體彼此的碰撞，氣體粒子受熱以後因為氣體粒子變大所以運動變遲緩，導致彼此碰撞機會變小，所以壓力變小。此心智模式如圖 4-6-16 所示：

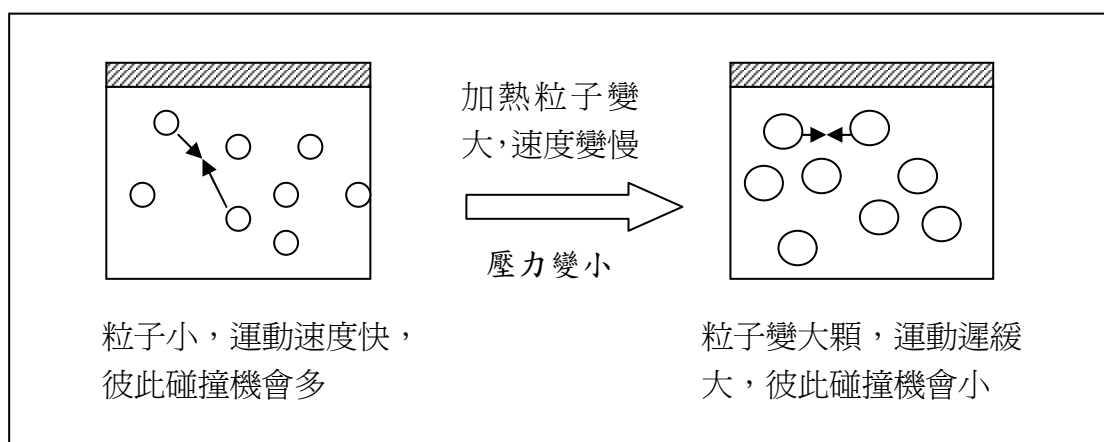


圖 4-6-16 情境三氣體彼此碰撞模式 A

以下是學生 C13 前測晤談資料：

第三題，加熱粒子大小會變嗎？

生：會吧。

研：怎麼變？

生：會變比較大。

研：什麼效應嗎？

生：熱漲冷縮，應該會變，但不知道會怎樣。

研：加熱壓力會變嗎？

生：應該會吧。

研：怎麼變？

生：應該也是會變小。

研：為什麼？

生：因為加熱活動會比較緩慢，所以比較不容易碰撞。

研：所以壓力比較小？

生：應該是吧。

## (2) 氣體彼此碰撞模式 B/氣體受熱粒子大小變大/運動速度變快/壓力變大

氣體壓力來自於氣體彼此的碰撞，氣體粒子受熱以後因為氣體粒子變大，而且運動速度變快，所以彼此碰撞機會變大，所以壓力變大。此心智模式如圖 4-6-17 所示：

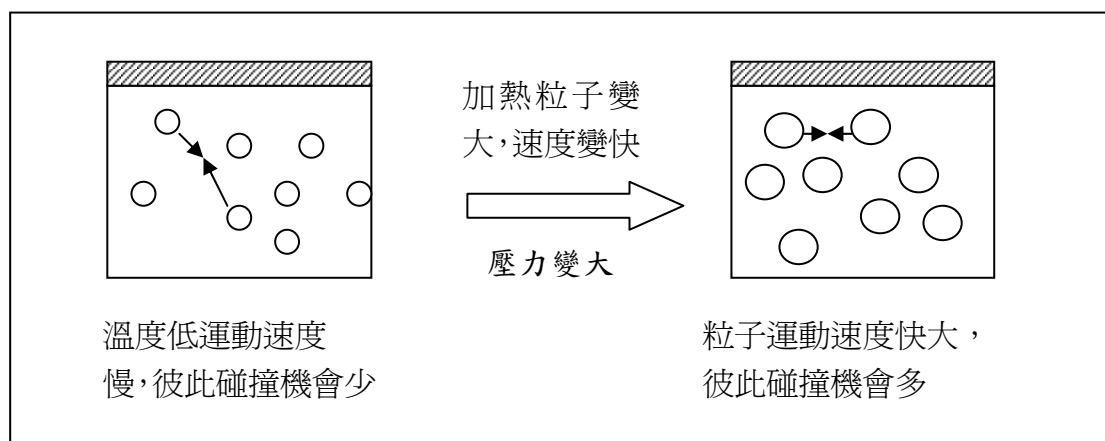


圖 4-6-17 情境三氣體彼此碰撞模式 B

以下是學生 A11 在溫度體積壓力教學後晤談資料：

研：第三題，加熱以後壓力怎麼變？

生：壓力會變大。

研：為什麼？

生：剛剛那個絕對溫度，它加熱的時候動能會增加，所以壓力會比較大。

研：動能跟壓力有什麼關係，為什麼動能大壓力大？

生：因為就是動能增加的話，分子跟分子之間碰撞的機會會比較大，加上它加熱之後，體積會增大，所以壓力會變大。

### (3) 氣體彼此碰撞模式 C/氣體受熱粒子大小不變/運動速度變快/壓力變大

氣體壓力來自於氣體彼此的碰撞，氣體粒子受熱以後因為氣體粒子不變，但運動速度變快，所以彼此碰撞機會變大，所以壓力變大。此心智模式如圖 4-6-18 所示：

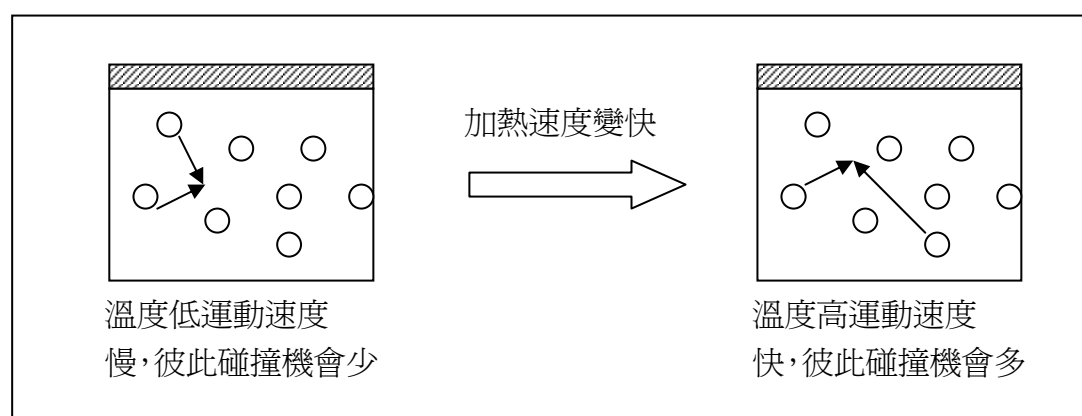


圖 4-6-18 情境三氣體彼此碰撞模式 C

以下是學生 B35 前測晤談資料：

研：粒子加熱之後會不會變大顆？

生：我覺得不會變。

研：所以他不會受到熱漲冷縮的影響？

生：對。

研：再問你氣體的狀態？

生：會一直運動。

研：加熱之後他們的運動有什麼改變，會對氣體有什麼改變？

生：不會有影響。

研：那壓力會變嗎？

生：會，壓力會變大。

研：為什麼？

生：運動會很激烈。

研：加熱後運動會變激烈？

生：對。

研：因為撞擊？

生：對，機會增加。

(4) 氣體彼此碰撞模式 D/氣體受熱粒子大小不變/壓力變小

氣體壓力來自於氣體彼此的碰撞，加熱以後分子間距離會擴大，因此不容器碰撞到彼此，所以壓力變小。

以下是學生 B13 前測晤談資料：

研：壓力會變嗎？

生：會吧。

研：為什麼？變大還是變小？

生：我覺得，壓力會變小。

研：為什麼？

生：因為加熱就是氣體之間的距離會比較大，所以就覺得壓力會變小，因為如果像冰，不就是那種感覺，固體比較小，氣體比較大，加熱後，距離會變大，壓力會變小。

(5) 氣體彼此碰撞模式 E/加熱氣體粒子變大/運動速度減慢/壓力變大

氣體壓力來自於氣體彼此的碰撞，加熱後因為粒子體積變大，所以運動速度減慢，但因為粒子變大碰撞機會增加，所以壓力變大。此心智模式如圖 4-6-19 所示：

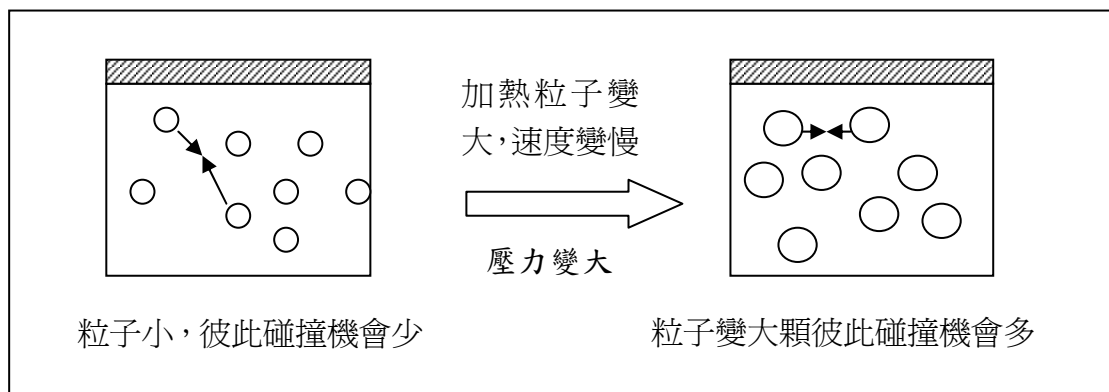


圖 4-6-19 情境三氣體彼此碰撞模式 E

以下是學生 A31 前測晤談資料：

研：第三題，氣體粒子會運動嗎？

生：應該會。

研：加熱之後粒子的大小會改變嗎？

生：我覺得會變大。

研：像熱漲冷縮那樣？

生：對。  
 研：加熱後壓力會變嗎？  
 生：應該會，因為它變大了，所以說碰撞的機會就變大。  
 研：加熱之後運動速度有改變嗎？  
 生：可能會變慢吧。  
 研：為什麼？  
 生：因為它們體積變大了。  
 研：比較遲緩？  
 生：對。

#### 4.類科學氣體碰撞器壁模式 (CCW)

##### (1) 氣體碰撞器壁模式 A/氣體受熱粒子大小不變/運動速度變慢/壓力變小

氣體壓力來自於氣體粒子與器壁的碰撞，粒子受熱以後粒子大小不變，但運動變遲緩，所以碰撞器壁機會變小，所以壓力變小。此心智模式如圖 4-6-20 所示：

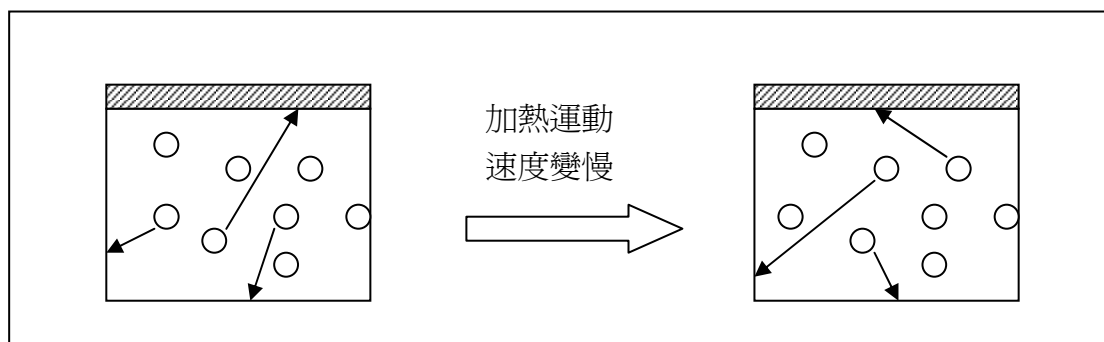


圖 4-6-20 情境三氣體碰撞器壁模式 A

以下是學生 C13 壓力教學後晤談資料：

研：第三題，粒子大小會改變嗎？  
 生：不會。  
 研：加熱後壓力會改變嗎？  
 生：會吧，因為加熱後活動比較緩慢，所以碰撞器壁比較少。  
 研：所以壓力會變小？  
 生：對。



(2) 氣體碰撞器壁模式 B/氣體受熱粒子大小不變/運動速度不變/壓力不變

氣體壓力來自於氣體粒子與器壁的撞擊，加熱後氣體粒子大小不變，且運動速度不變，所以碰撞器壁機率不變，壓力不變。此心智模式如圖 4-6-21 所示：

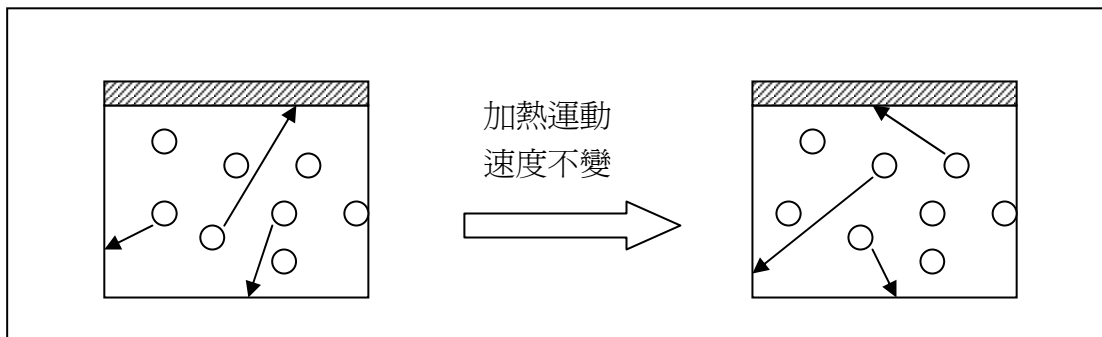


圖 4-6-21 情境三氣體碰撞器壁模式 B

以下是學生 C33 壓力教學後晤談資料：

研：加熱氣體會變嗎？

生：不會。

研：壓力會變嗎？

生：不會。

研：為什麼？

生：因為空間一樣，他碰撞器壁的次數還是一樣。

研：因為粒子沒有改變嗎？

生：對。

(3) 氣體碰撞器壁模式 C/氣體粒子變大/運動速度變快/壓力變大

氣體壓力來自於氣體粒子與器壁的撞擊，加熱後氣體粒子大小會變大，且運動速度加快，因此碰撞器壁機率變大，壓力變大。此心智模式如圖 4-6-22 所示：

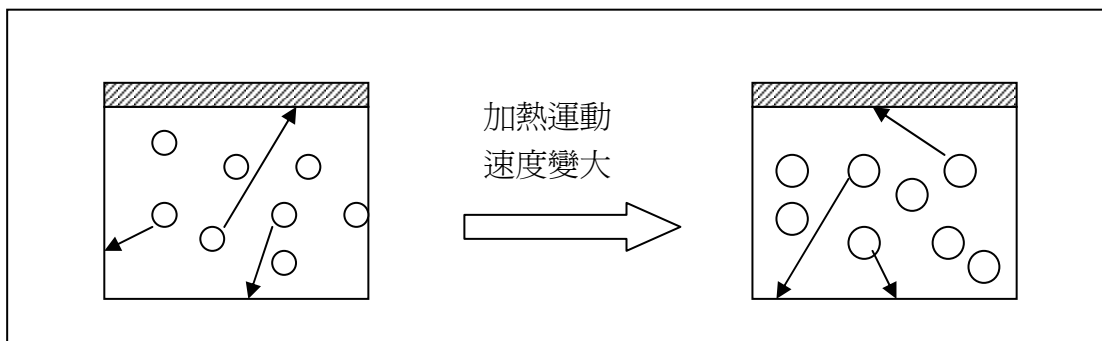


圖 4-6-22 情境三氣體碰撞器壁模式 C

以下是學生 B33 後測晤談資料：

研：加熱後壓力會變嗎？

生：加熱之後壓力變大。

研：恩。

生：因為它粒子變得比較活潑，所以它移動速率比較快，所以它碰到器壁的機率可能就增加。

研：粒子受熱會膨脹嗎？

生：應該，我寫變大。

研：粒子會變大變小嗎？

生：應該會。

研：對壓力有什麼影響？

生：可能會變大吧。

研：所以加熱之後壓力變的原因可能除了粒子碰撞機會變多之外，還有可能是因為？

生：粒子變大顆。

研：所以壓力變大？

生：你是說還有一個因素是這樣嗎？

研：我是說你覺得粒子變大顆對壓力有影響嗎？

生：會。

研：什麼影響？

生：因為它變大之後可能原本只是這樣，接觸面只有這樣，然後它如果變大顆，接觸面就變成這樣，所以壓力可能會變大。

研：所以壓力會變大？

生：對。

#### (4) 氣體碰撞器壁模式 D/氣體受熱粒子大小不變/運動速度變快

氣體壓力來自於氣體粒子與器壁的撞擊，加熱後氣體粒子大小會不變，運動速度變快，但是壓力不變，因為學生把壓力視為單顆氣體的表現，並非全部氣體的作用，所以壓力不變。

以下是學生 C31 溫度體積教學後晤談資料

研：第三題加熱後壓力會變嗎？

生：粒子大小不變，速度變快，壓力不變。

研：為什麼？

生：因為粒子撞器壁的機會一樣，加入會使撞擊速度變快，撞擊的次數每顆都相同，所以一樣。

#### 4.重量模式 (W)

##### (1) 重量模式 A

氣體壓力來自於氣體的重量，本情境因為氣體數目不變，重量不變所以壓力不變。

以下是學生 A11 前測晤談資料：

研：加熱氣體粒子大小會改變嗎？

生：加熱體積會變大。

研：膨脹，熱漲冷縮？

生：對。

研：氣體在容器會運動嗎？

生：如果加熱的話會運動。

研：如果沒有加熱？

生：應該是也會運動只是沒有那麼劇烈。

研：所以加熱運動會變激烈？

生：對。

研：分佈情形是怎樣？

生：均勻分佈。

研：壓力會變嗎？

生：壓力不會變。

研：因為？

生：重量沒有變。

##### (2) 重量模式 B

氣體壓力來自氣體的重量，學生認為加熱後空氣會變輕，所以重量變小，壓力會變小。

以下是學生 B12 前測資料：

研：加熱壓力會不會變？

生：會變。

研：怎麼變？

生：變大。

研：為什麼？

生：因為比較熱。  
研：比較熱壓力大？  
生：不對。  
研：為什麼？  
生：應該不變。  
研：為什麼？  
生：壓力應該不會變，因為沒有什麼差別。溫度沒什麼關連。  
研：恩。  
生：不對，加熱空氣會變輕，所以，壓力會比較小。

### (三) 學生在情境三下各學習階段所持有之心智模式

學生在情境三下各學習階段所持有之心智模式如表 4-6-3 所示，前測有十八位學生持有擠壓模式，粒子互相碰撞模式五人，重量模式四人，距離模式三人。

在壓力概念教學後，微觀教材組與模型微觀教材組學生有十二人心智模式轉為正確科學模式，八人為類科學模式，因為學生不瞭解溫度對粒子大小與粒子運動速度的影響，產生錯誤的推論，巨觀教材組學生最多仍是擠壓模式有六人，其次是重量模式一人，粒子互相碰撞模式一人，距離模式兩人。

在溫度體積教學後，微觀教材組與模型微觀教材組學生心智模式已有十九人轉為正確的科學模式，只有一人還是類科學模式。波以耳定律教學後，微觀教材組與模型微觀教材組學生心智模式皆為正確的科學模式，查理定律和理想氣體方程式教學之後，微觀教材組與模型微觀教材組學生的的心智模式皆為正確的科學模式，而巨觀教材組心智模式沒有太大改變。

後測部份微觀教材組與模型微觀教材組學生心智模式除一人為類科學模式，其他皆為科學模式，巨觀教材組學生最多仍是擠壓模式有六人，其次是粒子互相碰撞模式有兩人，距離模式有兩人。重量擠壓模式模式在壓力教學之後，學生便不再持有此錯誤的心智模式。

表 4-6-3 學生在情境三下各學習階段心智模式

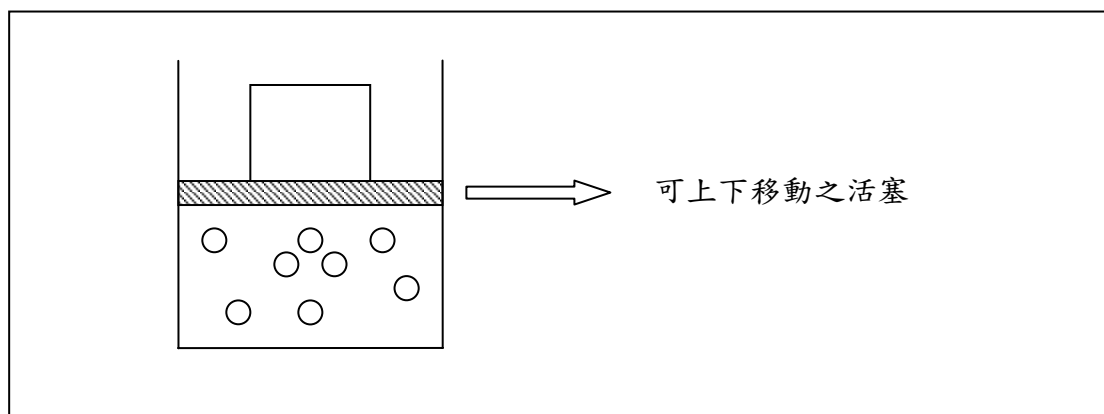
	科學模 式	類科學 CCW				擠壓模式 P			距離 D	氣體彼此碰撞 P					重量模式 W	
		A	B	C	D	A	B	C		A	B	C	D	E	A	B
前 測						A13 A14 A15 A33 B14 B31 B32 B34 C11 C15 C31 C33 C35	A34 A35 B11	B33 C32	A12 A32 C34	C13	C14	B35	B13	A31	A11 B15 C12	B1 2
人 數	0 人	0 人	0 人	0 人	0 人	13 人	3 人	2 人	3 人	1 人	1 人	1 人	1 人	1 人	3 人	1 人
壓 力	BC 共 12 人	C13	B31 B33 B34 C14 C31 C32 C33			A13 A14 A15 A33 A34	A35		A12 A32					A31	A11	
人 數	12 人	1 人	7 人	0 人	0 人	5 人	1 人	0 人	2 人	0 人	0 人	0 人	0 人	1 人	1 人	0 人
溫 度 體 積	BC(C31 除外)				C31	A14 A15 A33 A34	A35		A12 A32		A11 A31	A13				
人 數	19 人	0 人	0 人	0 人	1 人	4 人	10 人	0 人	2 人	0 人	2 人	1 人	0 人	0 人	0 人	0 人

波 以 耳	BC					A14 A15 A33 A34	A35		A12 A32		A11 A31	A13				
人 數	20人	0人	0人	0人	0人	4人	0人	0人	0人	0人	2人	1人	0人	0人	0人	0人
查 理	BC					A14 A15 A33 A34 A35			A12 A32		A11 A31	A13				
人 數	20人	0人	0人	0人	0人	5人	0人	0人	0人	0人	2人	1人	0人	0人	0人	0人
理 想	BC					A14 A15 A33 A34 A35			A12 A32		A11 A31	A13				
人 數	20人	0人	0人	0人	0人	50人	0人	0人	2人	0人	2人	1人	0人	0人	0人	0人
後 測	BC(B33 除外)			B33		A11 A14 A15 A33 A34 A35			A12 A32		A31	A13				
人 數	19人	0人	0人	1人	0人	6人	0人	0人	2人	0人	1人	1人	0人	0人	0人	0人

#### 四、情境四：加熱定壓之定量氣體對其氣體體積的影響

以下是問題情境四的題目敘述：

在標準狀況下，有一裝有定量氣體的密閉容器，在壓力固定的狀況下，將之加熱使溫度上升至原來的兩倍，請問容器的體積會改變嗎？有何改變？（即活塞是否會上下移動。）



此情境下學生的心智模式分類較前兩種複雜，與情境三類似，因為此情境亦加入溫度這項變因，學生對於加熱後氣體粒子體積大小有不同的迷思概念，因此學生回答此問題有許多不同的解釋出現。

學生在不同學習階段主要的心智模式有以下幾種分類，分別為正確的科學模式，錯誤的類科學模式、氣體粒子擠壓模式、氣體粒子彼此碰撞模式四大類，其中科學模式有兩種解釋類型，類科學模式又可分為三種，粒子擠壓模式可分為三種，氣體粒子彼此碰撞可分為兩種，總共有十種不同的心智模式。

##### (一) 科學模式 (S)

###### 1. 科學模式 A

在壓力固定的情況下，如果將容器加熱使氣體溫度上升，則容器內的氣體粒子運動速度會增加，以較激烈的方式運動，氣體粒子並對活塞產生比溫度升高前更大的壓力。此時活塞上重物所提供的壓力會小於氣體粒子所提供的壓力，因此活塞會向外推移，使得氣體的體積漸漸增加，直到氣體對活塞產生的壓力與活塞

上的重物所提供的壓力相等。也就是說，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，氣體的體積會增加；反之，如果使氣體溫度下降，則容器內的氣體粒子運動速度會變慢，以較和緩的方式運動，為了維持固定的壓力，活塞會向內移動，減少氣體粒子運動的空間，因此當溫度減少時，氣體粒子的體積會減少。此心智模式如圖 4-6-23 所示：

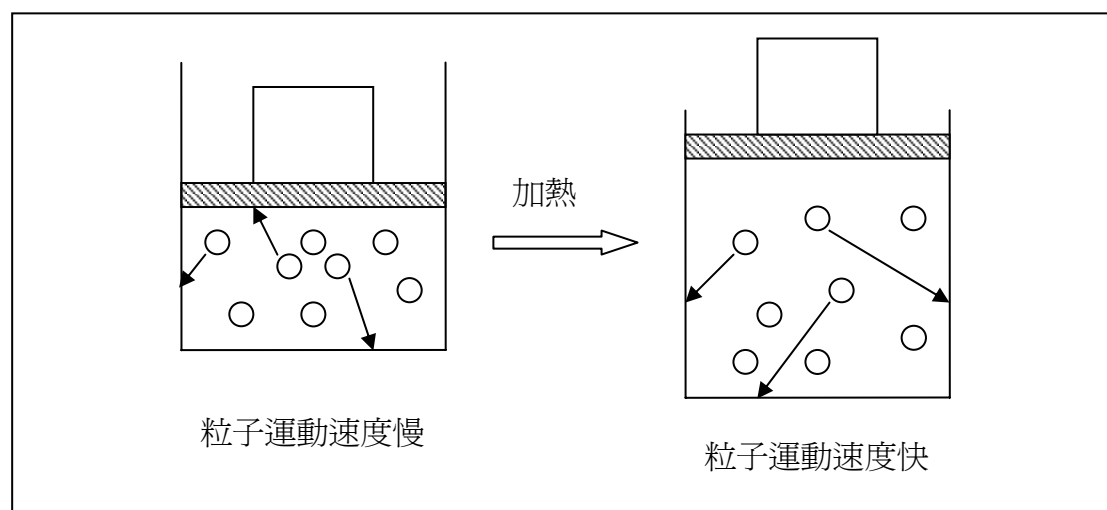


圖 4-6-23 情境四科學模式

以下是學生 C33 在波以耳定律教學後晤談資料：

研：第四題，對容器加熱容器體積會變嗎，也就是活塞會不會動？

生：會，加熱之後壓力會變大，就會把它推上去，壓力會變大是因為溫度變高，撞擊器壁次數會增加，增加之後壓力會變大。

研：推上去之後，它是一直上去，還是會在某個地方停止？

生：會在某個地方停止。

研：停止是怎樣？

生：兩個已經平衡。

研：裡面壓力跟外面是一樣的，所以你的意思是說加熱體積會擴大，壓力會...

生：取得一個平衡。

研：所以他的壓力會在降下來？

生：你是說不再持續加熱？

研：對，壓力會降嗎？

生：對。

研：所以降到跟原本一樣？

生：對。



研：所以體積擴大之後他的壓力就會？

生：會回復。

以下是學生 C11 在波以耳定律後晤談資料：

研：第四題，容器加熱容器體積會變嗎，也就是活塞會不會動？

生：容器的體積會往上變大。

研：為什麼？

生：因為它速度加快，又要保持一樣的壓力，所以它會往上跑，讓空間變大。

研：讓它有比較大的空間去跑？

生：對。

## 2.科學模式 B：以分子間距離作解釋

加熱之後，氣體分子本身體積不會改變，而是分子間的平均距離增加，因此會把活塞往上推，讓容器的體積擴大，此概念為高一基礎物理課程中第三章熱學部份「熱膨脹」之內容，部份學生在進行本研究教學時已接受過此課程，因此持有此科學的心智模式解釋。

以下是學生 C12 前測晤談資料：

研：第四題，其他狀況不變下，如果對容器加熱，活塞會移動嗎？

生：會。

研：怎麼動？

生：應該氣體間距離會變大，把它推上去。

研：所以加熱你覺得分子間距離會變大？

生：對。

### (二) 錯誤模式

#### 1.氣體擠壓模式 (P)

##### (1) 擠壓模式 A/氣體變大模式

氣體的壓力來自於容器內氣體粒子的擠壓，當容器加熱之後，氣體受熱粒子體積變大，擠壓程度變大把活塞往上推。此心智模式圖示如圖 4-6-24 所示：

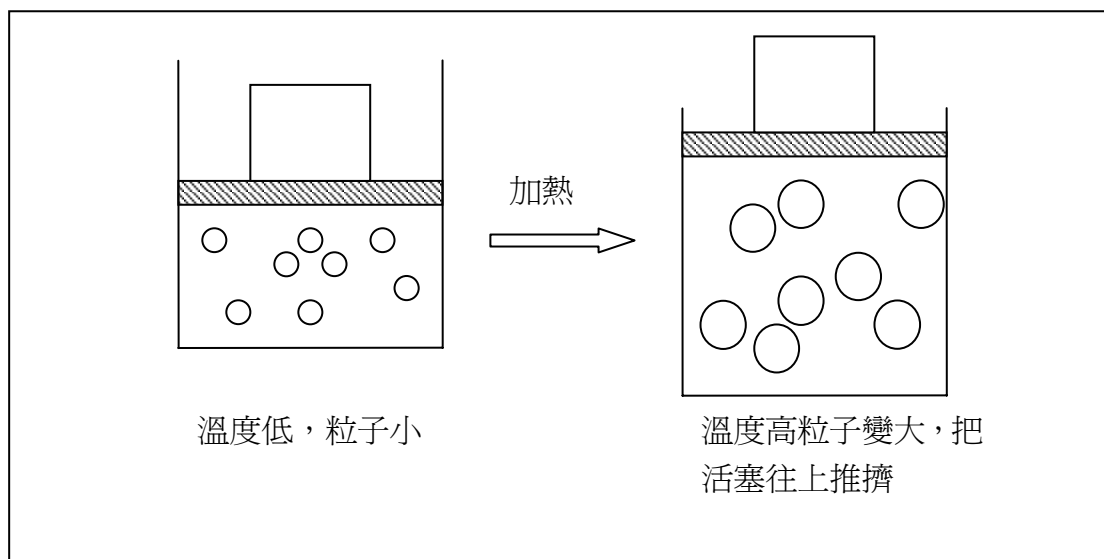


圖 4-6-24 情境四擠壓模式 A

以下是學生 C11 前測晤談資料：

研：第四題，加熱以後容器體積會不會改變？

生：體積會變大。

研：為什麼？

生：因為有加熱。

研：有加熱，所以粒子體積會變大，那活塞會不會移動？

生：會阿，會往上。

研：為什麼會往上？

生：因為壓力要固定。

研：壓力要固定？

生：對。

研：為什麼會往上？

生：因為它膨脹。

研：所以要讓它有空間活動？

生：對。

## (2) 擠壓模式 B/氣體粒子大小改變/壓力不變

氣體的壓力來自於容器內氣體粒子的擠壓，受熱粒子體積變大，因此擠壓程度更劇烈，但是壓力不變，因為粒子只是稍微擴大，並沒有擠滿容器。此心智模式圖示如圖 4-6-25 所示：

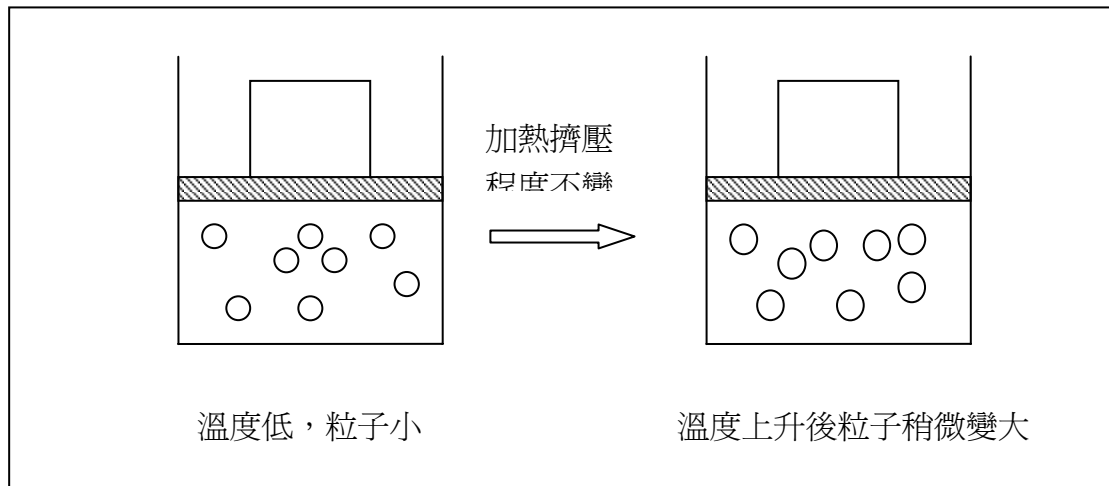


圖 4-6-25 情境四擠壓模式 B

以下是學生 34 前測晤談資料：

研：第四題，加熱以後容器體積會不會改變？

生：你說活塞會不會動嗎？

研：對。

生：加熱之後？

研：對。

生：應該不會吧。

研：不會，為什麼？

生：因為它體積變大。

研：加熱後粒子氣體體積會變大。

生：對阿。

研：那整個容器的體積呢？

生：我覺得不會變。

研：為什麼？

生：因為它變大，因為這些氣體並沒有跑太遠，所以不會把它撞開。

研：所以你覺得氣體的運動只是在附近而已？

生：對。

### (3) 擠壓模式 C/氣體粒子大小不變

氣體的壓力來自於容器內氣體粒子的擠壓，受熱粒子大小不變，所以擠壓程度不變，所以體積保持固定。此心智模式圖示如圖 4-6-26 所示：

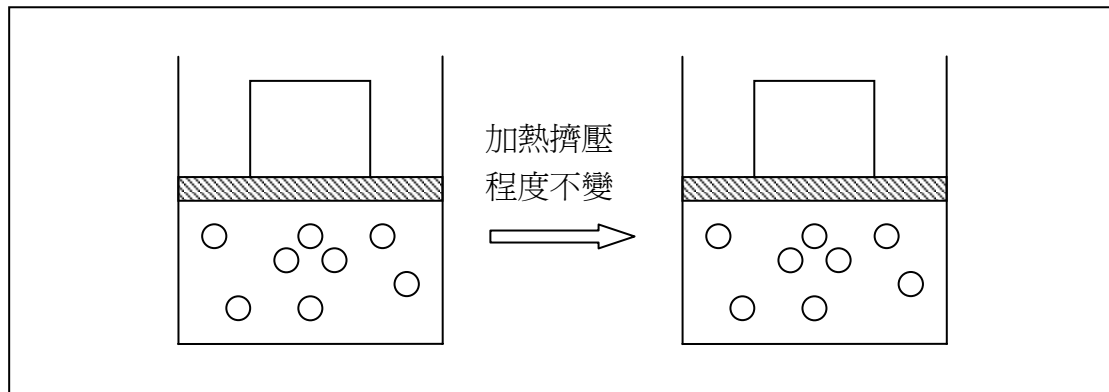


圖 4-6-26 情境四擠壓模式 C

以下是學生 C32 前測晤談資料：

研：第四題，加熱以後容器體積會不會改變？

生：你是說加熱？

研：活塞會移動嗎？

生：會吧。

研：怎麼動？

生：往上。

研：為什麼？

生：因為....我講不出來。

研：你覺得要有比較多空間嗎？

生：可能下面會擠壓吧。

研：你覺得粒子加熱後有什麼改變嗎？

生：氣體嗎？

研：恩。

生：我覺得它不會變大顆。

研：粒子在裡面有運動嗎？

生：會。

研：加熱前後運動有什麼變化嗎？

生：可能加熱會移動速度變快。

研：所以你感覺體積會變大？

生：等一下，不變。

研：壓力固定下，體積不變？

生：有加熱嗎？

研：對。

生：不變。

研：跟剛剛一樣沒影響？

生：對。

## 2.類科學氣體碰撞器壁模式 (CCW)

### (1) 氣體碰撞器壁科學模式 A/運動速度變慢

氣體壓力來自於氣體粒子和器壁之間的碰撞，加熱以後粒子運動會變遲緩，所以碰撞器壁機會變小，導致壓力變小，活塞往下移使容器體積變小。此心智模式圖示如圖 4-6-27 所示：

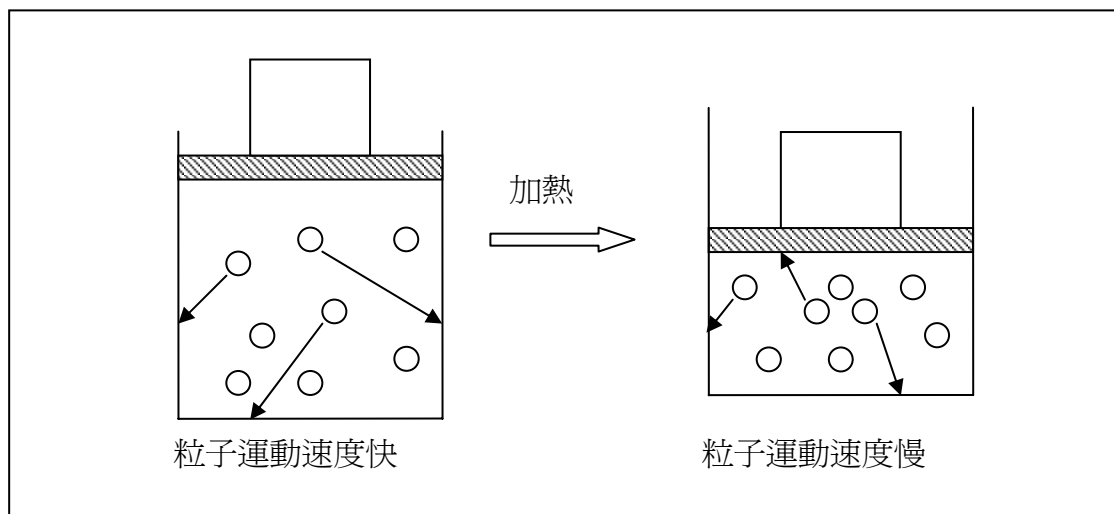


圖 4-6-27 情境四氣體碰撞器壁科學模式 A

以下是學生 C13 壓力教學後晤談資料：

研：第四題，加熱以後容器體積會不會改變？

生：活塞會向下。

研：為什麼？

生：因為加熱活動變比較慢，壓力變比較小，因為內外要平衡所以會掉下來。

### (2) 氣體碰撞器壁模式 B/運動速度不變

氣體壓力來自於氣體粒子和器壁之間的碰撞，加熱以後粒子運動速度不變，所以碰撞器壁機會相同，所以壓力可以保持一定，容器體積不會改變。此心智模式圖示如圖 4-6-28 所示：

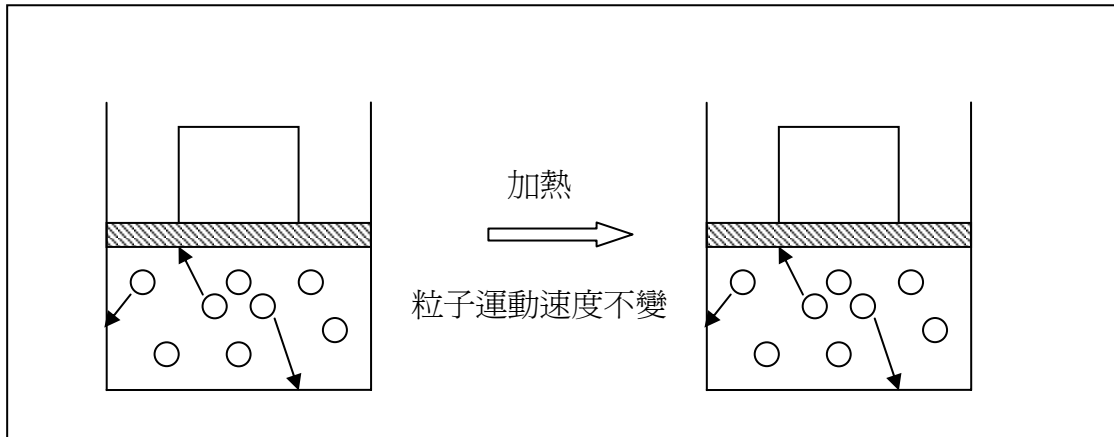


圖 4-6-28 情境四氣體碰撞器壁模式 B

此為學生 B31 壓力教學後晤談資料：

研：第四題，加熱以後容器體積會不會改變？

生：不變，粒子不會受溫度影響，所以不變。

研：之前呢？

生：之前會覺得粒子會熱漲冷縮，所以體積會變大。

### (3) 氣體碰撞器壁模式 C/粒子變大/速度變快

氣體壓力來自於氣體粒子和器壁之間的碰撞，加熱後氣體粒子變大顆，速度亦增快，兩項因素影響下，因此需要比較大的活動空間來運動，便把活塞往上推動，當體積擴大後，粒子有較多活動空間，因此器壁受撞擊的機會下降，回來跟原來相同的壓力狀態。此心智模式圖示如圖 4-6-29 所示：

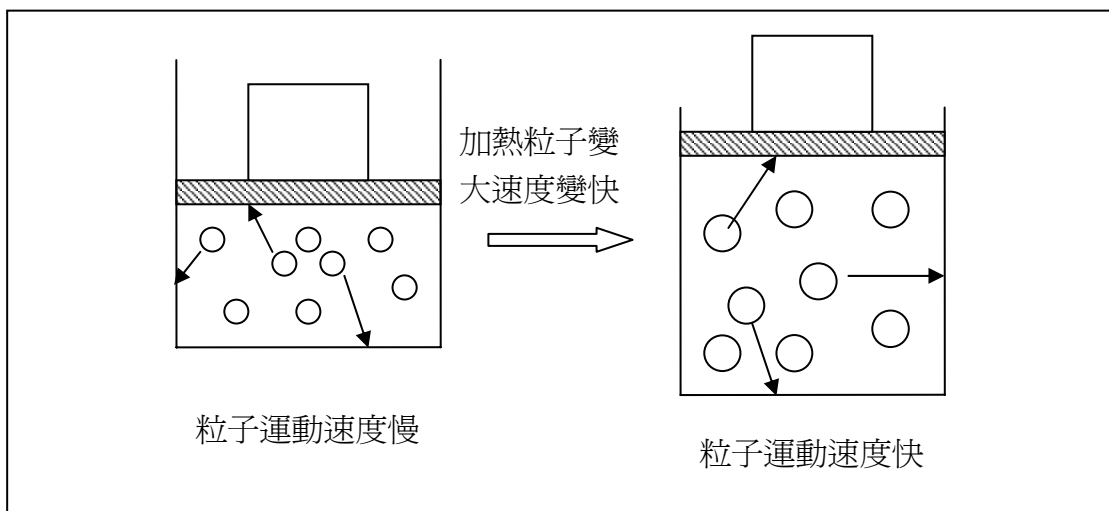


圖 4-6-29 情境四氣體碰撞器壁模式 C

以下為學生 B33 在後測的晤談資料：

研：第五題，加熱後容器體積會變嗎？

生：會，因為它粒子受熱之後需要大一點的空間來活動，所以它可以移動活塞，體積變大。

研：為什麼加熱需要大一點的體積來運動？

生：因為它是有一個固定的模式在跑，所以加熱之後，它就會變得很想要跑，所以它需要大一點的空間來跑。

### 3. 氣體彼此碰撞模式 (PC)

#### (1) 氣體粒子彼此碰撞模式 A/ 氣體受熱粒子大小變大/ 運動速度變快

氣體壓力來自於氣體粒子彼此的碰撞，當氣體受熱之後，氣體粒子體積變大，且運動速度加快，增加彼此碰撞的機會，因此壓力變大粒子彼此碰撞，慢慢把活塞往上推，直至壓力再度回到原來的壓力為止。此心智模式圖示如圖 4-6-30 所示：

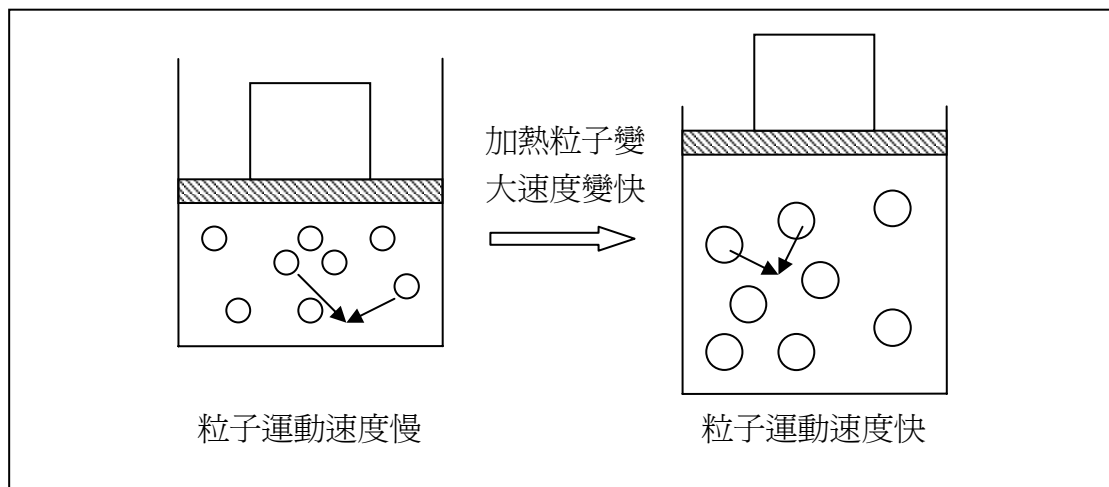


圖 4-6-30 情境四氣體粒子彼此碰撞模式 A

此為學生 C14 前測晤談資料：

研：第四題，加熱以後容器體積會不會改變？

生：往上動。

研：為什麼？

生：因為氣體粒子快速的移動，碰撞，就需要比較大的空間。

研：你是說彼此碰撞？

生：快速的運動。

研：粒子會變大顆嗎？

生：會。

研：對容器體積有影響嗎？

生：因為它快速碰撞，就壓力可能會變大，變大以後所需要的體積比較大。

研：需要比較多的空間？

生：對。

## (2) 氣體彼此碰撞模式 B/ 氣體受熱粒子大小不變/ 運動速度變快

氣體壓力來自於氣體粒子彼此的碰撞，當氣力受熱之後，氣體粒子體積不變，但運動速度加快，增加彼此碰撞的機會，因此壓力變大把活塞往上推，要讓粒子有更多空間可以活動，才可以維持定壓。此心智模式如圖 4-6-31 所示：

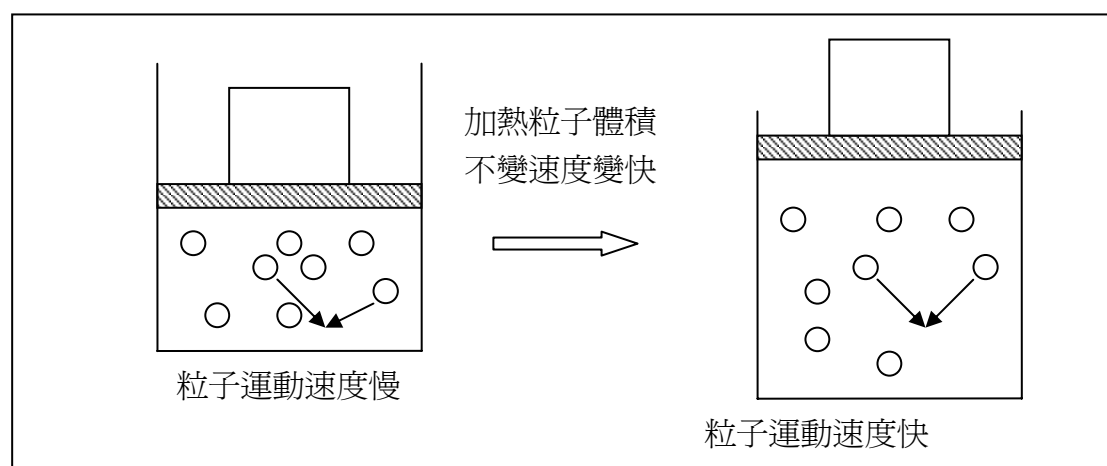


圖 4-6-31 情境四氣體粒子彼此碰撞模式 B

以下是學生 B35 前測晤談資料：

研：你知道氣體裡面為什麼會有壓力？

生：一直碰撞。

研：所以會產生壓力，因為粒子一直撞擊？

生：對。

研：所以這就可以解釋剛剛為什麼會有壓力產生？

生：喔。

研：第四題先問你粒子加熱之後會不會變大顆？

生：我覺得不會變。

研：所以它不會受到熱漲冷縮的影響？

生：對。

研：再問你氣體的運動狀態？

生：會一直運動。



研：加熱之後他們的運動有什麼改變，會對氣體有什麼改變？  
生：運動會很激烈。  
研：加熱後運動會變激烈？  
生：對。  
研：因為撞擊？  
生：對，撞擊機會增加。  
研：所以加熱後，容器體積會不會改變？  
生：我覺的會變大。  
研：為什麼？  
生：空間要多一點。  
研：讓它運動這樣？  
生：對。

### (三) 學生在情境四下各學習階段所持有之心智模式

學生在情境四下各學習階段所持有之心智模式如表 4-6-4 所示，前測有四位學生具有科學模式 B，二十三位學生持有擠壓模式，粒子互相碰撞模式三人。

在壓力概念教學後，微觀教材組與模型微觀教材組學生有十四人心智模式轉為正確科學模式，六人為類科學模式，因為學生不瞭解溫度對粒子大小與粒子運動速度的影響，產生錯誤的推論，巨觀教材組學生有兩人為科學模式 B，最多的類型仍是擠壓模式有八人。

在溫度體積教學後，微觀教材組與模型微觀教材組學生心智模式已有十九人轉為正確的科學模式，有一人是科學模式 B。波以耳定律教學後，微觀教材組與模型微觀教材組學生心智模式沒有改變，直至查理定律教學後，微觀教材組與模型微觀教材組學生心智模式皆為科學模式 A，理想氣體方程式教學之後，微觀教材組與模型微觀教材組學生的心智模式皆保持為正確的科學模式

巨觀教材組學生在溫度體積教學之後，有兩人為正確科學模式 B，四人為粒子擠壓模式，四人轉為粒子互相碰撞模式；波以耳定律教學後持有科學心智模式學生保持一定，擠壓模式曾為五人，粒子互相碰撞模式減為三人；查理定律與理想氣體方程式教學後學生心智模式保持一定。

後測部份微觀教材組與模型微觀教材組學生心智模式除一人為類科學模式，其他皆為科學模式，巨觀教材組學生最多仍是擠壓模式有六人，其次是粒子互相碰撞模式有兩人，科學模式 B 有兩人。

表 4-6-4 學生在情境四下各學習階段心智模式

	科學模式 S		類科學 CCW			擠壓模式 P			粒子互相 碰撞 PC	
	A	B	A	B	C	A	B	C	A	B
前測		A12 A32 C12 C34				A11 A13 A15 A31 A33 A34 B14 B15 B31 B32 C11 C13 C15 C31 C33 C35	A14 A35 B11 B12 B34	B33 C32	B13 C14	B35
人數	0 人	4 人	0 人	0 人	0 人	16 人	5 人	2 人	2 人	1 人
壓力	B11 B12 B13 B14 B15 B35 C12 C14 C15 C34 C35	A12 A32 B32 C11 C32	C13	B31 B33 B34 C31 C33		A11 A13 A15 A31 A33 A34	A14 A35			
人數	11 人	5 人	1 人	5 人	0 人	6 人	2 人	0 人	0 人	0 人
溫度 體積	BC(C32 除外)	A12 A32 C32				A14 A33 A34	A35		A11 A15 A31	A13
人數	19 人	3 人	0 人	0 人	0 人	3 人	1 人	0 人	3 人	1 人
波以 耳	BC(C32 除外)	A12 A32 C32				A14 A15 A33 A34	A35		A11 A31	A13
人數	19 人	3 人	0 人	0 人	0 人	4 人	1 人	0 人	2 人	1 人
查理	BC	A12 A32				A14 A15 A33 A34 A35			A11 A31	A13
人數	20 人	2 人	0 人	0 人	0 人	5 人	0 人	0 人	2 人	1 人
理想	BC	A12 A32				A14 A15 A33 A34 A35			A11 A31	A13
人數	20 人	2 人	0 人	0 人	0 人	5 人	0 人	0 人	2 人	1 人
後測	BC(B33 除外)	A12 A32			B33	A11 A14 A15 A33 A34 A35			A31	A13
人數	19 人	2 人	0 人	0 人	1 人	6 人	0 人	0 人	1 人	1 人

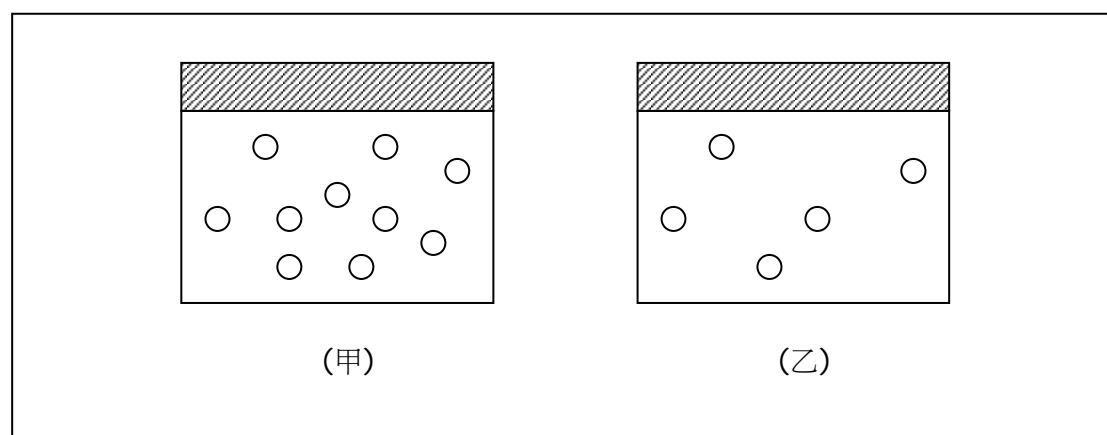
## 第七節 學生在學習歷程中心智模式演變的情形

本節分四個情境討論學生在學習歷程中心智模式演變的情形，每個學生接受七次晤談，分別在前測、壓力概念教學後、體積與溫度概念教學後、波以耳定律教學後、查理定律教學後、理想氣體方程式教學後以及後測時進行晤談。並回答研究問題 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？」

為區分兩種主要的教材「巨觀教材」與「微觀教材」對學生在學習歷程中心智模式轉變的影響，以下心智模式演變圖分兩類型呈現，一是巨觀教材組學生的心智模式轉變，一是微觀教材和模型微觀教材組學生的心智模式呈現。

### 一、情境一：同溫同體積下粒子數目對壓力的影響

下圖（甲）與（乙）為兩個大小相同的密閉容器，在溫度相同的條件下，兩容器裡面裝有種類相同但數量不同的氣體分子，請問在溫度相同的條件下，請問哪一個容器的壓力大。



#### （一）情境一中學生心智模式轉變

學生在情境一下的心智模式轉變如圖 4-7-1 與 4-7-2 所示，以下分七個時間點分別討論學生的心智模式轉變。

##### 1. 前測晤談

前測時人數比例最多的心智模式類型為擠壓模式，共有十七位學生的心智模式為擠壓模式，其次是重量模式，有六位學生選擇，粒子互相碰撞模式有四位，外界施予模式有三位。

## 2. 壓力教學

在壓力教學後，可發現學生的心智模式類型有很大的改變，使用微觀模型教學的學生在壓力概念教學後，因為已經瞭解氣體壓力的來源為氣體粒子與器壁之間的碰撞，因此可以使用科學模式來回答情境一的問題。至於使用巨觀教材的A組學生心智模式沒有太大改變。

## 3. 溫度體積教學

此階段教學後學生心智模式沒有太大變動，只有學生A13由擠壓模式演變至粒子互相碰撞模式。推測因為溫度教學後學生學得動能概念，表示粒子之間有運動，因此開始有粒子互相碰撞的心智模式產生。

## 4. 波以耳定律教學

此階段教學後學生A11由重量模式轉變至粒子互相碰撞模式，其他學生沒有改變。學生A11會有此轉變是因為學生會使用粒子互相碰撞模式回答其他情境下的問題，因此研究者提出碰撞模式在此情境下的影響，如以下晤談資料所示，學生的回答便轉向碰撞產生壓力模式。

研：第一題哪一個容器壓力大？

生：一樣大。

研：為什麼？

生：因為它裡面，不對，是甲。

研：為什麼？

生：氣體重量比較大，所以壓力比較大。

研：跟碰撞有沒有關係？

生：有。

研：有什麼關係？

生：就是如果氣體分子比較多的話，互相碰撞的機率會比較大。

研：碰撞會有壓力產生？

生：對。

## 5. 查理定律教學

此階段教學後學生A35由重量模式轉變至擠壓模式，其他學生沒有改變。

## 6. 理想氣體方程式教學

此階段教學後學生 A11 的心智模式回到原本的重量模式，其他學生沒有改變。

## 7. 後測

後測部份學生的心智模式沒有改變，仍與最後一次教學時進行的晤談相同。

### (二) 小結

綜合以上結果可發現，對使用微觀教材的學生影響最大的教學為壓力概念的教學，如圖 4-7-2 所示，學生的心智模式演變大多發生前測與壓力教學之間，情境一為比較粒子數目對壓力的影響，甲乙兩容器的體積溫度是相同的，因此接受微觀教材的學生在壓力教學後即有正確的心智模式。至於使用巨觀教材的 A 組學生其心智模式轉變如圖 4-7-1 所示，因其原有的心智模式即可回答情境一的問題，因此大部分學生的心智模式在教學過程中並沒有改變。這也顯示學生的心智模式在同一情境內具有一致性，可以使用同樣的心智模式解釋相同情境的問題。

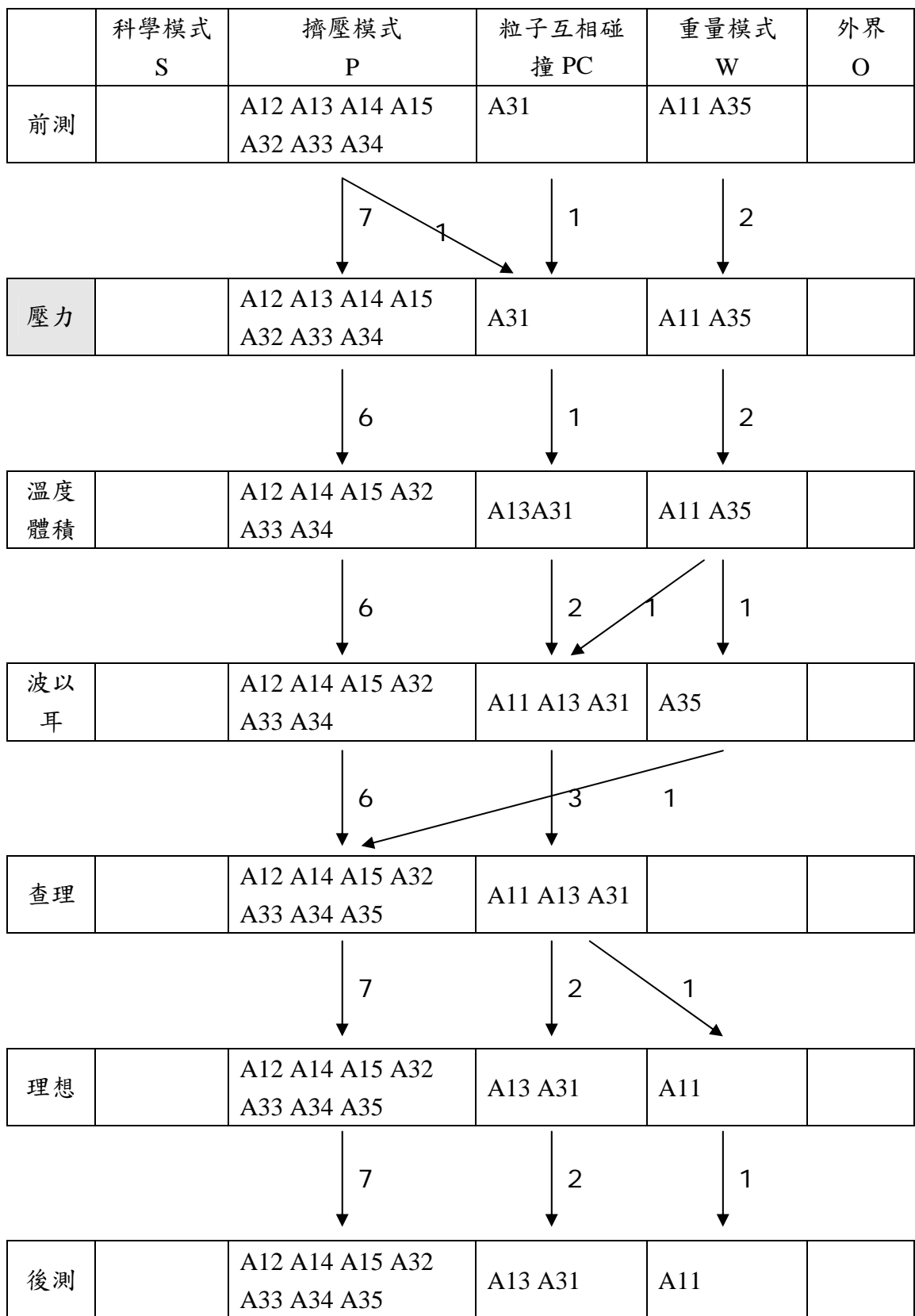


圖 4-7-1 具觀教材組學生於情境一在不同學習階段心智模式演變圖

	科學模式 S	擠壓模式 P	粒子互相碰撞 PC	重量模式 W	外界 O
前測		B14 B31 B32 B33 B34 C11 C15 C32 C33 C35	B13 B35 C13	B12 B15 C12 C34	B11 C14 C31

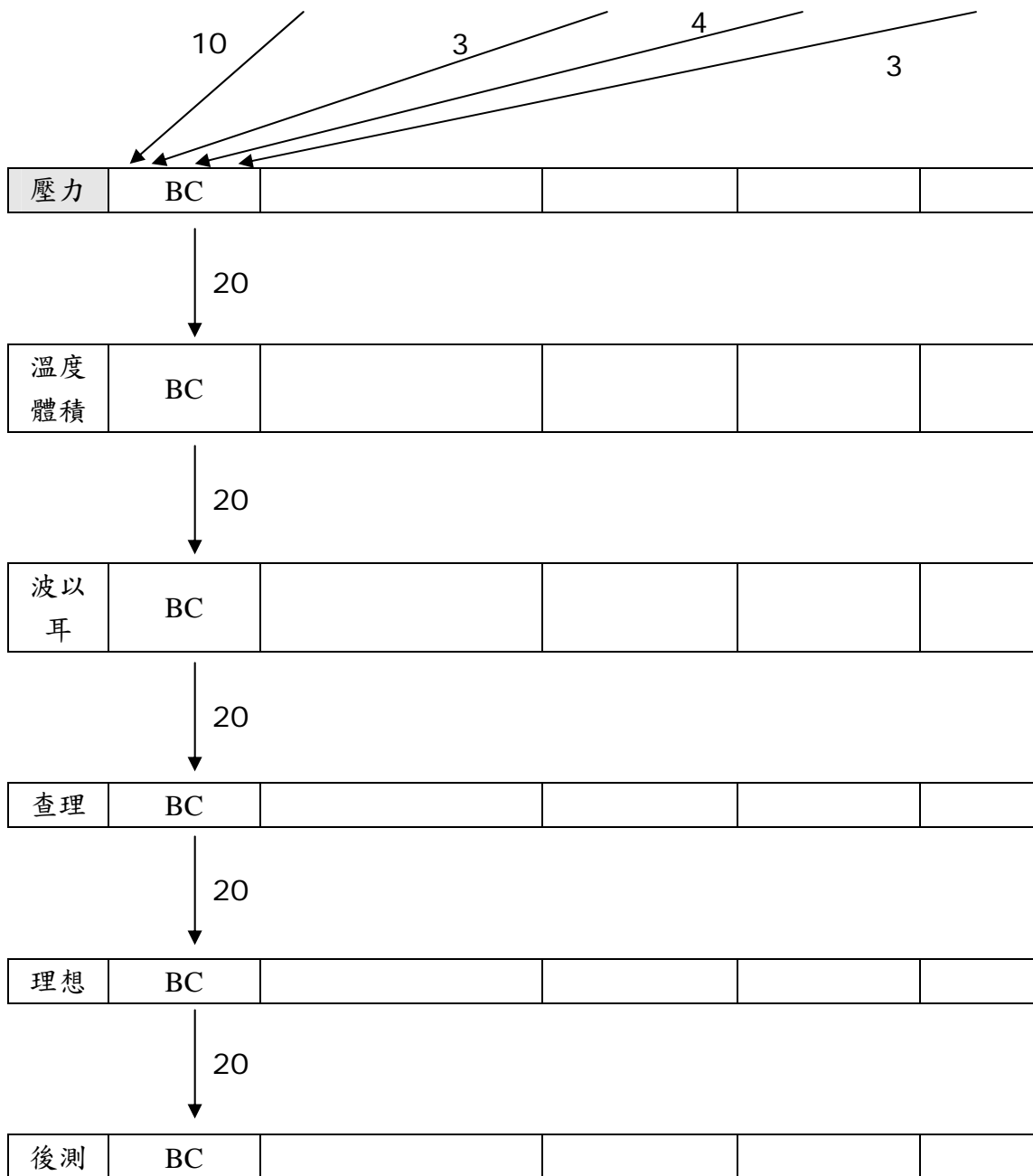
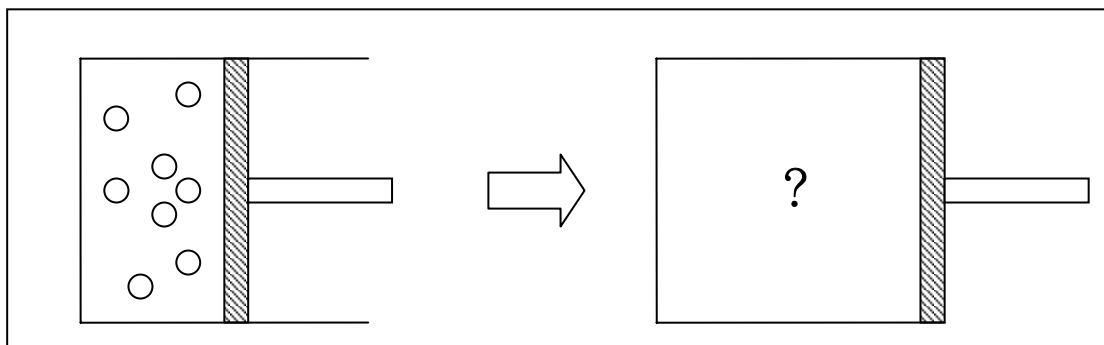


圖 4-7-2 微觀教材與模型微觀教材組學生於情境一在不同學習階段心智模式演變圖

## 二、情境二：同溫下容器體積擴大對定量氣體壓力的影響

標準狀況下，有一裝有定量氣體的容器，今在保持恆溫狀態下，拉動活塞將容器的體積拉至原來的兩倍，請問容器內的壓力會改變嗎？有何改變？



學生在情境二下的心智模式演變如圖 4-7-3 與 4-7-4 所示，以下分七個時間點分別討論學生的心智模式轉變。

### (一) 情境二中學生心智模式轉變

#### 1. 前測晤談

前測時人數比例最多的心智模式類型為擠壓模式，共有十八位學生的心智模式為擠壓模式，其次是重量模式，有五位學生選擇，粒子互相碰撞模式有四位，外界施予模式有三位。

#### 2. 壓力教學

在壓力教學後，可發現學生的心智模式類型有很大的改變，使用微觀模型教學的學生在壓力概念教學後，因為已經瞭解氣體壓力的來源為氣體粒子與器壁之間的碰撞，因此可以使用科學模式來回答情境二的問題，只有三位出現類科學模式的錯誤模式。至於使用巨觀教材的 A 組學生心智模式沒有太大改變。

#### 3. 溫度體積教學

溫度體積教學後學生心智模式大致上沒有改變，使用微觀教材的學生只有學生 C32 由類科學模式轉至科學模式，巨觀教材組學生 A13 由擠壓模式轉至粒子互相碰撞模式。

#### 4. 波以耳定律教學

波以耳定律教學後，使用微觀教材組的學生心智模式都轉成正確的科學模式，符合波以耳定律的概念，容器體積擴大之後氣體壓力變小。使用巨觀教材組



的學生 A11 原有的重量模式無法解釋波以耳定律，因此心智模式發生改變成為粒子彼此碰撞模式，A13 則由擠壓模式轉為粒子彼此碰撞模式。

#### 5. 查理定律教學

查理定律教學後學生的的心智模式沒有改變，因為學生之前的心智模式已可以解釋情境二的問題，因此不需要改變心智模式。

#### 6. 理想氣體方程式教學

理想氣體方程式教學後學生的的心智模式亦沒有改變，因為學生之前的心智模式已可以解釋情境二的問題，因此不需要改變心智模式。

#### 7. 後測

後測部份大多數學生沒有改變心智模式，只有學生 A11 回到了重量模式 A，但此重量模式與該生原本的有所差異，以非單純的用氣體總重量去解釋壓力，而是更進一步使用單位體積的重量大小去解釋壓力，以符合波以耳定律容器體積變大壓力變小的概念。

### (二) 小結

綜合以上結果可發現，在此情境中對學生影響最大的教學為壓力概念的教學，如圖 4-9-4 所示，使用微觀教材的學生的的心智模式演變大多發生在壓力教學之後，在因為情境二為比較容器體積對壓力的影響，氣體的溫度是相同的，因此接受微觀教材的大部分學生在壓力教學後即有正確的心智模式，此結果與情境一相類似，只有三位學生持有類科學的錯誤模式，雖然學生在壓力教學後瞭解壓力的來源，可以使用氣體粒子碰撞器壁的模式解釋壓力來源，但影響壓力的大小之原因學生沒有徹底的瞭解，在後來的波以耳定律微觀模型教學後學生才瞭解容器體積對壓力的影響。

至於使用巨觀教材的 A 組學生如圖 4-9-4 所示，其原有的心智模式即可回答情境二的問題，因此大部分學生的的心智模式在教學過程中並沒有改變，只有學生 A11 在學習過程中因原有的重量模式無法解釋波以耳定律因此改變了原有的心智模式，但該生最後在後測時仍回到原來的重量模式。

本情境與情境一結果類似，顯示學生的的心智模式在同一情境的不同教學階段具有一致性，可以使用同樣的心智模式解釋相同情境的問題，只要此心智模式符合巨觀的現象或是符合公式即可，如圖 4-9-3 與圖 4-9-4 中心智模式類型以灰底表示的科學模式、擠壓模式、粒子碰撞模式與重量模式 A，此皆為符合體積變大壓力變小的波以耳定律之心智模式，因此學生在波以耳定律教學後其心智模式便只出現這些心智模式，而類科學與重量模式 B 等模式則消失在學生的的心智模式類型中。。

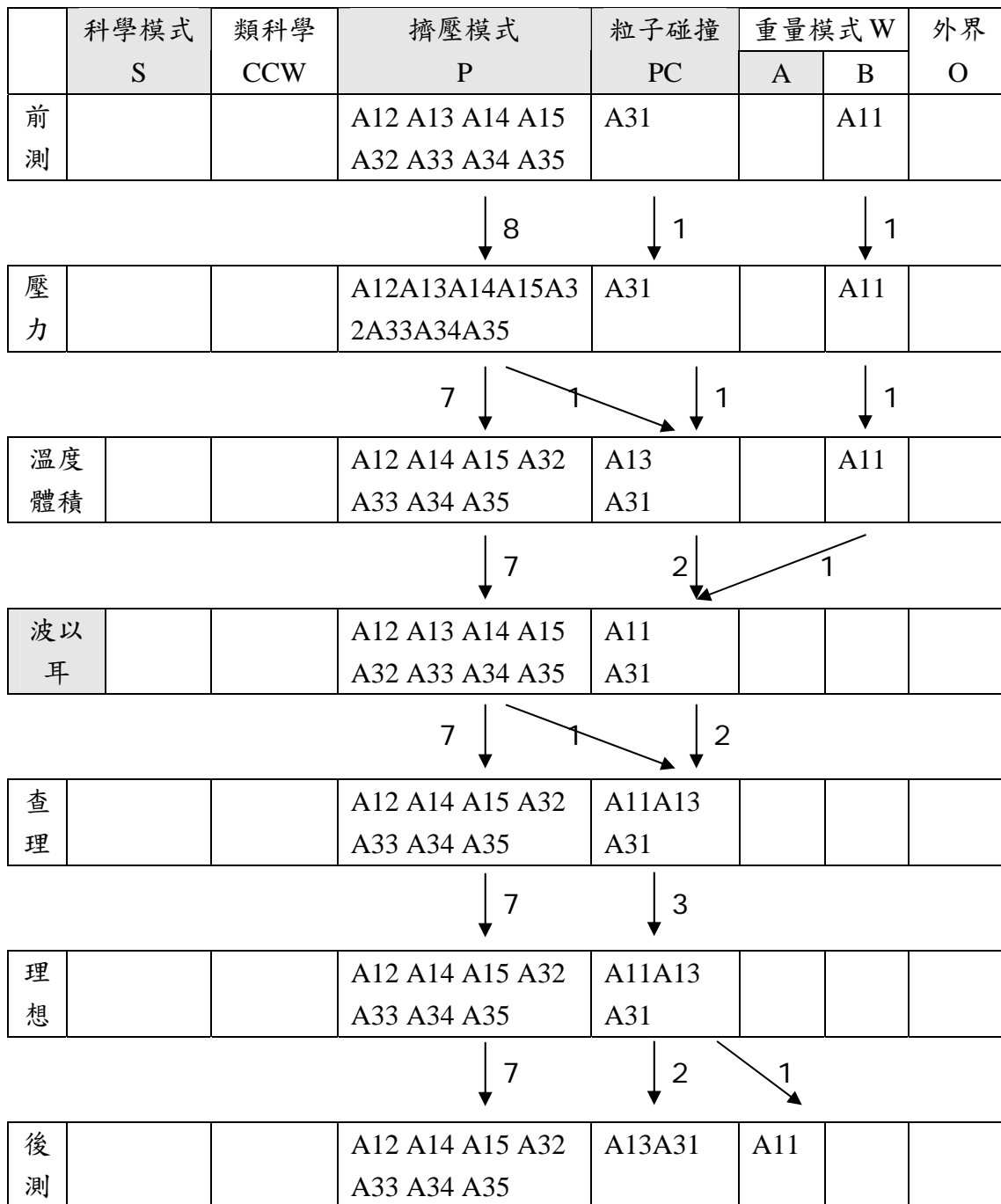


圖 4-7-3 巨觀教材組學生於情境二在不同學習階段心智模式演變圖

	科學模式	類科學	擠壓模式	粒子碰撞	重量模式 W		外界
	S	CCW	P	PC	A	B	
前測			B14 B31 B32 B33 B34 C11 C15 C32 C33 C35	B13 B35 C13	B12 B15 C12 C34		B11 C14 C31

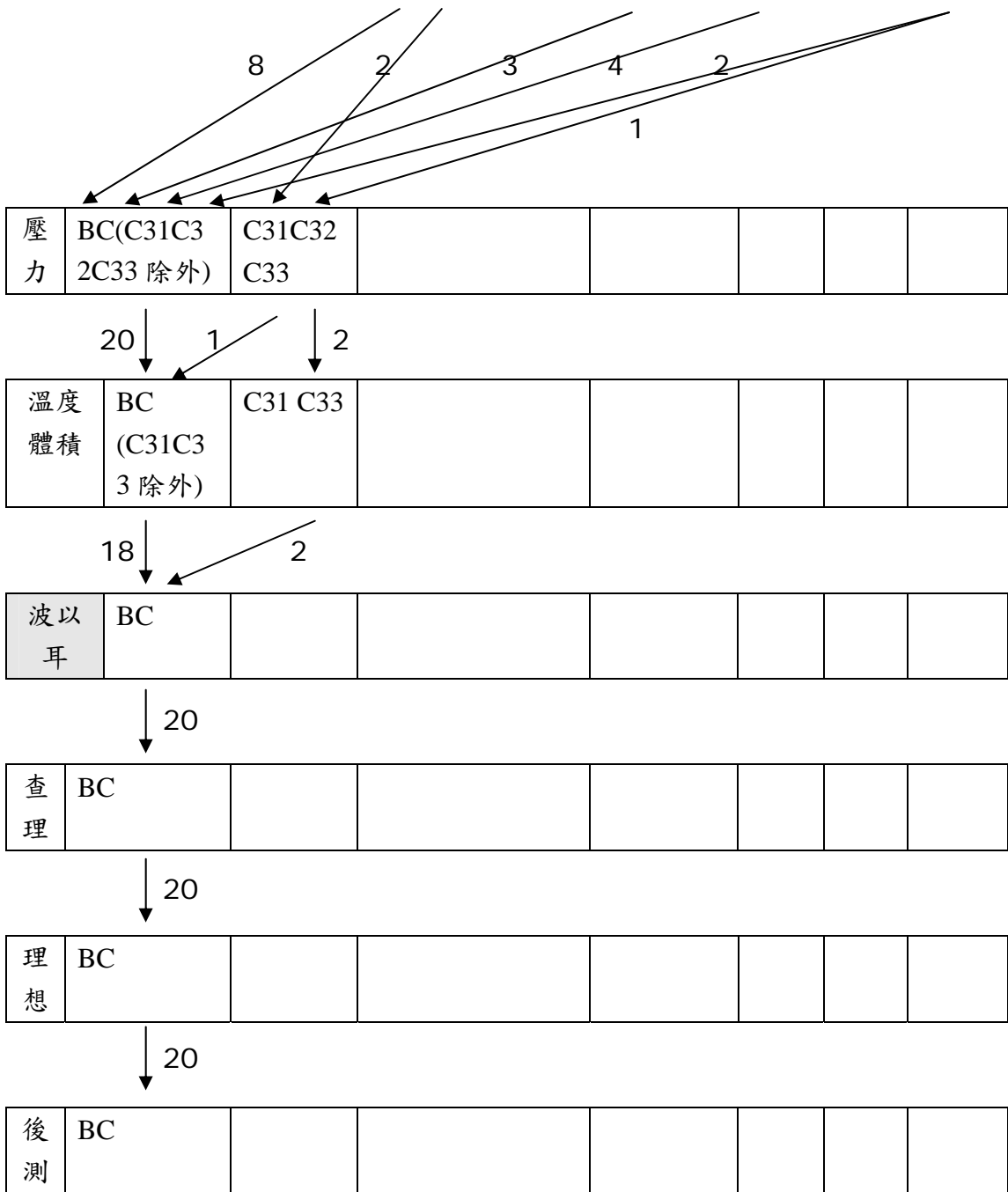
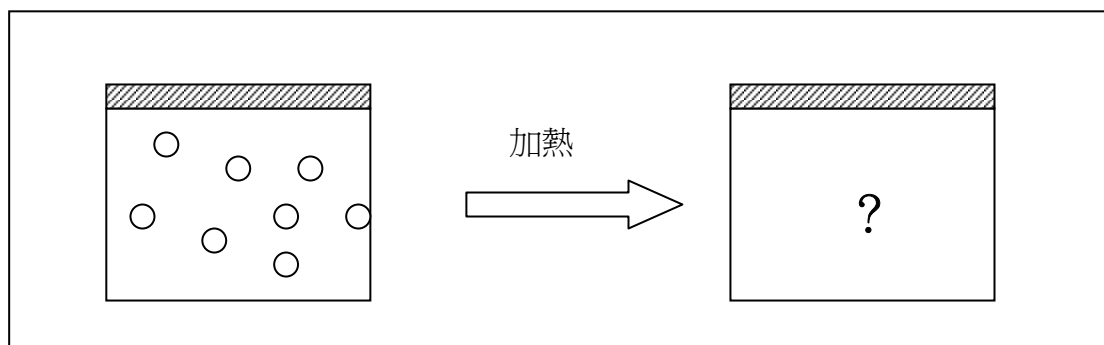


圖 4-7-4 微觀教材與建模微觀教材組學生於情境二在不同學習階段心智模式演變圖

### 三、情境三：加熱固定體積容器中的定量氣體對氣體壓力的影響

在標準狀況下，有一裝有定量氣體的密閉容器，在容器體積固定的狀況下，將之加熱使溫度上升至原來的兩倍，請問容器內的壓力會改變嗎？有何改變？



學生在情境三下的心智模式轉變如圖 4-7-5 與圖 4-7-6 所示，以下分七個時間點分別討論學生的心智模式轉變。

#### (一) 情境三中學生心智模式轉變

##### 1. 前測晤談

前測時人數比例最多的心智模式類型為擠壓模式，共有十三位學生的心智模式為擠壓模式 A，三位擠壓模式 B，兩位擠壓模式 C，分子間距離改變模式有三位，粒子互相碰撞模式 A、C、D、E 各有一位，粒子互相碰撞模式 B 有兩位，重量模式 A 有三位，重量模式 B 有一位。

##### 2. 壓力教學

在壓力教學後，可發現學生的心智模式類型有很大的改變，使用微觀模型教學的學生在壓力概念教學後，瞭解氣體壓力的來源為氣體粒子與器壁之間的碰撞，因此可以使用科學模式來回答情境三的問題，但與情境一和情境二不同的是，情境三牽涉溫度對氣體壓力的影響，因此如果學生不瞭解溫度與粒子運動速度之間的關係，則無法持有正確的科學模式，雖然仍是學生仍是採用壓力是因為氣體碰撞器壁的說法，但對於粒子運動速度和粒子大小有迷思概念，此時歸類至類科學的錯誤模式，因此有八位使用微觀教材的學生在壓力教學後持有類科學的心智模式。至於使用巨觀教材的 A 組學生心智模式沒有太大改變。

##### 3. 溫度體積教學

溫度體積教學後，學生瞭解溫度對氣體運動速度的影響，因此使用微觀教材的學生除了 C31 之外，心智模式皆為正確的科學模式，學生瞭解溫度上升對氣體

壓力的影響，而使用巨觀教材的學生心智模式沒有太大改變。

#### 4. 波以耳定律教學

波以耳定律教學後，使用微觀教材的學生心智模式皆為正確的科學模式，巨觀教材組的學生心智模式與之前相同沒有變化。

#### 5. 查理定律教學

查理定律教學後，使用微觀教材的學生心智模式仍保持為正確的科學模式，而巨觀教材組的學生 A35 因原本的擠壓模式 B 無法正確解釋查理定律，因此學生改變其心智模式成為擠壓模式 A，其他學生心智模式沒有變化。

#### 6. 理想氣體方程式教學

理想氣體方程式教學後學生心智模式皆沒有改變。

#### 7. 後測

後測時使用微觀教材的學生 B33 認為氣體受熱粒子有變大，因此用錯誤的類科學模式解釋情境三的問題，其他學生的心智模式則皆是正確的科學模式，至於使用巨觀教材的 A 組學生心智模式沒有太大改變，只有學生 A11 由氣體彼此碰撞模式轉為擠壓模式。

值得注意的是，學生 B33 在後測晤談情境三回答中，認為氣體受熱後粒子會變大，但在紙筆測驗中回答為粒子大小不變，兩種答案不一致，表示即使在學習整個課程之後，學生原有的氣體粒子會受熱膨脹的觀念仍根深蒂固，

### (二) 小結

總結以上的結果可發現，影響學生情境似的心智模式除了壓力的教學之外，溫度的教學也是重要的，由圖 4-9-5 巨觀教材組與圖 4-9-6 微觀教材 BC 組的心智模式演變圖可發現，學生的心智模式轉變在壓力教學後與溫度體積教學後的演變是較複雜的，之後的教學過程中學生的心智模式則沒有太大的改變。

另外由圖 4-9-5 與圖 4-9-6 也可發現，分類表格中以灰底標示的科學模式、類科學模式 C、擠壓模式 A、距離模式與粒子互相碰撞模式 B、C、E 是屬於符合查理定律的心智模式，也就是說學生可以用這些不一定是正確的心智模式去解釋溫度升高後壓力變大的巨觀現象，例如擠壓模式 A 學生認為加熱後氣體粒子會變大顆，擠壓程度更劇烈，所以壓力變大，如此的解釋是錯誤的，但它符合查理定律絕對溫度與氣體壓力成正比的概念。因此在查理定律教學後，學生的心智模式類型只剩下六種，其他不符合溫度上升氣體壓力變大的心智模式則消失在學生的回答中。

另外與情境一與情境二類似的是，學生的心智模式在不同學習階段可具有一

致性，以學生 A35 為例，由圖 4-9-5 可看出此學生心智模式在前測至波以耳定律教學之間皆為為擠壓模式 B，但因為查理定律教學後此心智模式無法符合查理定律溫度上升壓力變大的關係，因此學生心智模式改變為擠壓模式 A，但仍然為擠壓模式；又以微觀教材組學生為例，如圖 4-7-6 所示，即使在教學前二十位學生心智模式皆不相同，但在壓力教學後，學生的心智模式皆變成科學模式或類科學模式，以氣體碰撞器壁產生壓力的微觀氣體運動模式來解釋此情境的問題，雖然在溫度教學之前學生可能因為不瞭解溫度對氣體粒子運動速度和大小的影響無法正確的解釋查理定律，但其心智模式仍是以氣體粒子碰撞器壁來解釋其壓力的來源。因此我們可說學生在此心智模式出現一致性。

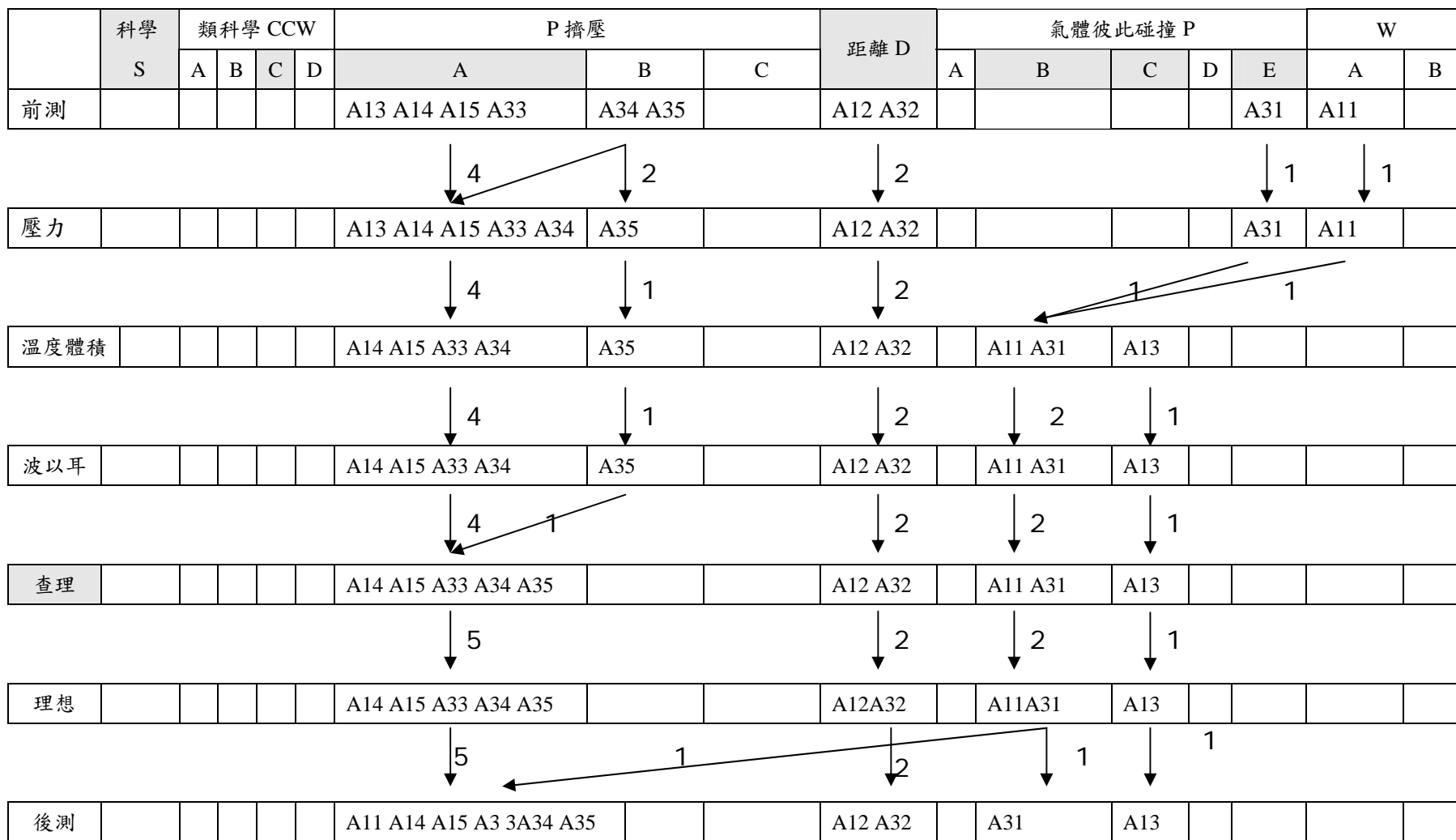
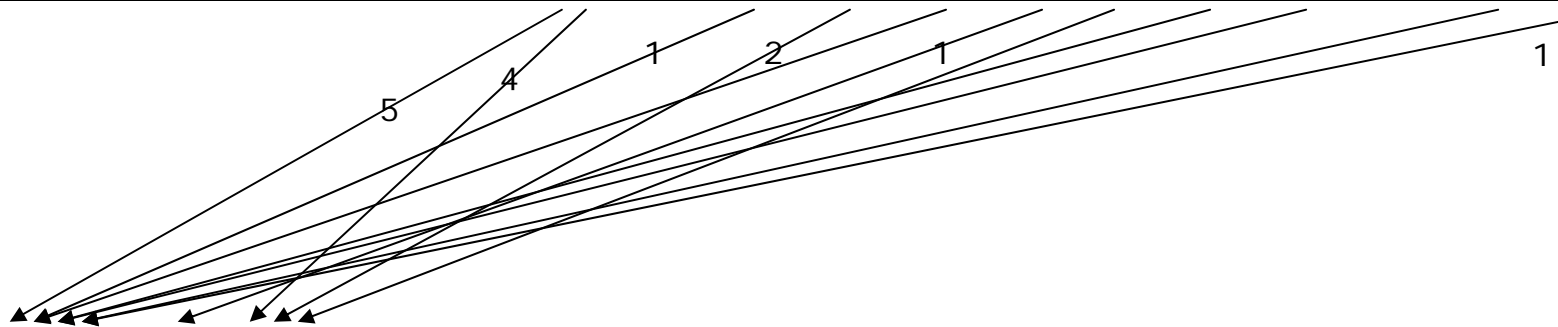
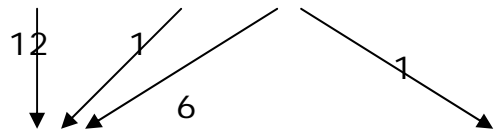


圖 4-7-5 巨觀教材組學生於情境三在不同學習階段心智模式演變圖

	科學 S	類科學 CCW				P 擠壓			距離	氣體彼此碰撞 P					W		
		A	B	C	D	A	B	C		D	A	B	C	D	E	A	B
前測						B14 B31 B32 B34 C11 C15 C31 C33 C35	B11	B33 C32 1	C34	C13 1	C14 1	B35 1	B13		2	B15C12	B12



壓力	B11 B12 B13	C13	B31 B33															
	B14 B15 B32		B3 C14															
	B35 C11 C12		C31 C32															
	C15 C34 C35		C33															



溫度	BC (C31 除外)				C31												
體積																	



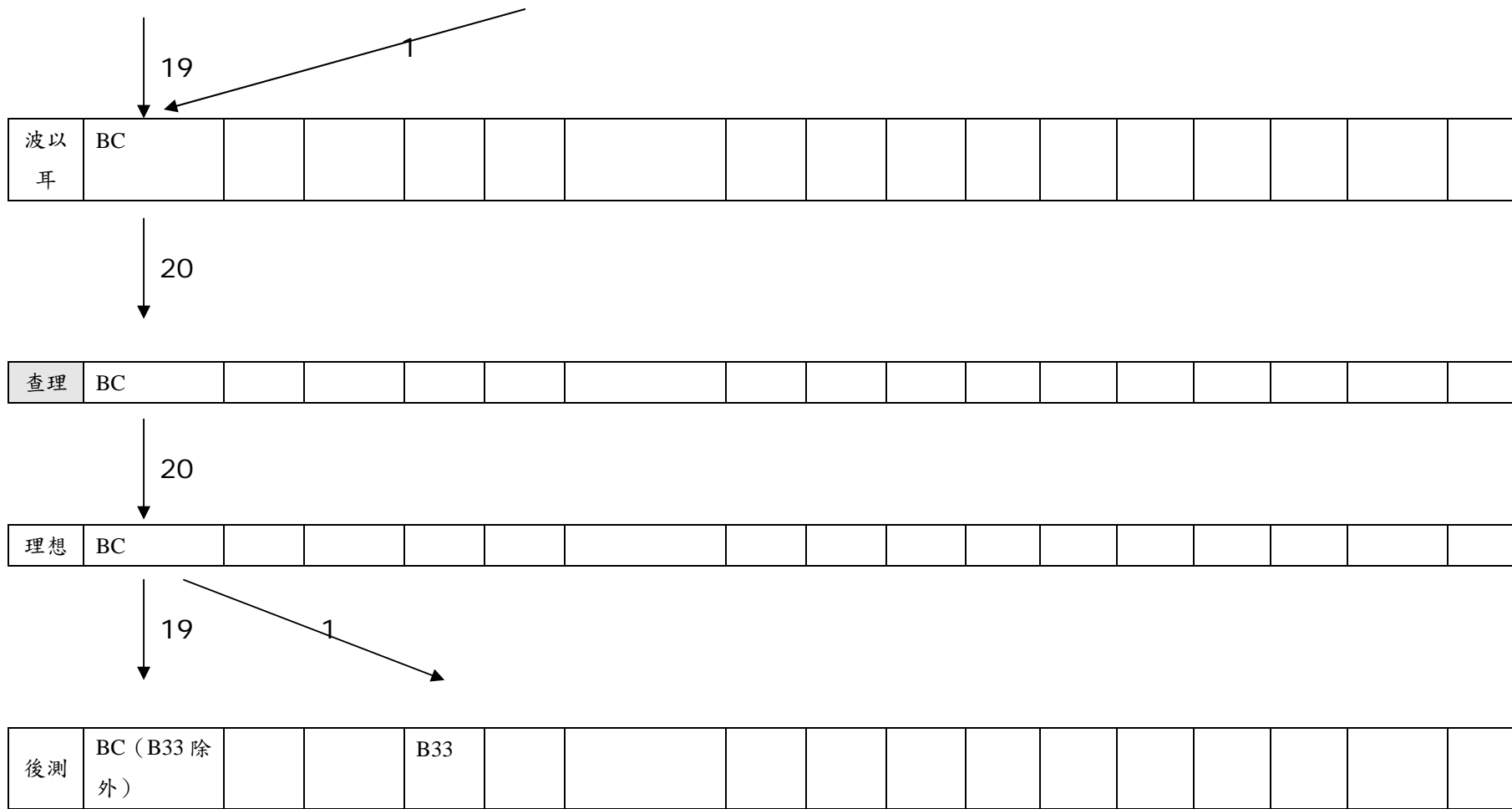
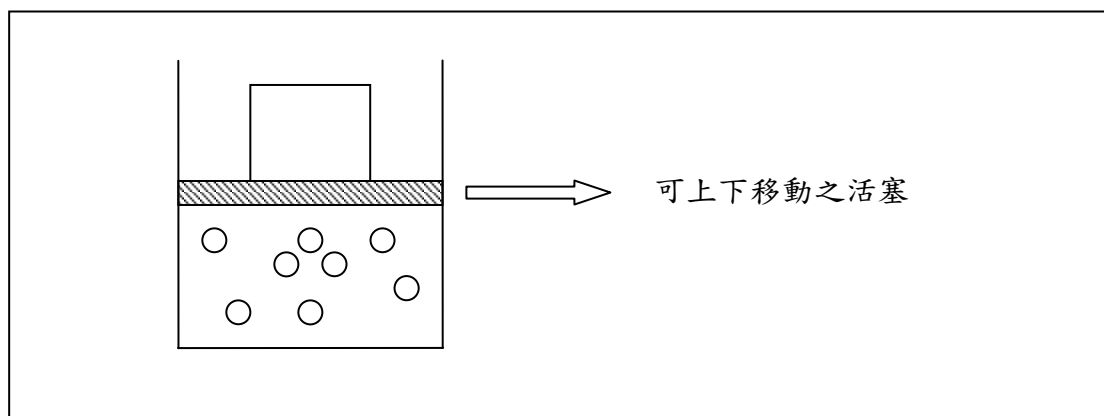


圖 4-7-6 微觀教材與建模微觀教材組學生於情境三在不同學習階段心智模式演變圖

#### 四、情境四：加熱定壓之定量氣體對其氣體體積的影響

在標準狀況下，有一裝有定量氣體的密閉容器，在壓力固定的狀況下，將之加熱使溫度上升至原來的兩倍，請問容器的體積會改變嗎？有何改變？（即活塞是否會上下移動。）



學生在情境四下的心智模式轉變如圖 4-7-7 與圖 4-7-8 所示，以下分七個時間點分別討論學生的心智模式轉變。

##### (一) 情境四中學生心智模式轉變

###### 1. 前測晤談

前測時人數比例最多的心智模式類型為擠壓模式 A，共有十六位學生的心智模式為擠壓模式，其次是擠壓模式 B，有五位學生選擇，擠壓模式 C 有兩位學生，粒子互相碰撞模式有 A 兩有位，粒子互相碰撞模式 B 有兩位，另有四位學生在前測持有受熱氣體分子間距離會膨脹使體積擴大的正確心智模式。

###### 2. 壓力教學

在壓力教學後，使用微觀教材的學生的心智模式類型有很大的改變，因為學生在壓力教學後瞭解氣體壓力的來源為氣體粒子與器壁之間的碰撞，因此可以使用科學模式來回答情境四的問題，產生合理的推論，但因為情境四中溫度為一重要的變因，如果學生不瞭解溫度對粒子運動速度的影響則會有類科學的錯誤模式出現，在此有六位使用微觀教材的學生出現類科學的心智模式。至於使用巨觀教材的 A 組學生心智模式沒有太大改變。

###### 3. 溫度體積教學

溫度體積教學後，學生瞭解溫度對粒子運動狀態的影響，因此使用微觀教材的 BC 組學生都可產生正確的科學心智模式。至於使用巨觀教材的 A 組學生在溫

度體積教學後，有四位學生接受動能與溫度有關的概念，加強了粒子運動的心智模式，因此由擠壓模式轉至粒子互相碰撞模式。

#### 4. 波以耳定律教學

波以耳定律教學後學生心智模式大致相同，因為此教學與情境四問題較無關連，因此不影響學生的心智模式。

#### 5. 查理定律教學

查理定律教學後，所有使用微觀教材的學生都使用科學模式中粒子碰撞器壁的心智模式去解釋容器體積擴大的機制，而使用巨觀教材的學生心智模式也有些許改變，學生 A35 轉成擠壓模式 A，此模式符合查理定律的概念，即加熱之後氣體體積會擴大，這表示學生瞭解絕對溫度和體積成正比的關係，只是用了錯誤的心智模式去解釋微觀的氣體行為。

#### 6. 理想氣體方程式教學

理想氣體方程式教學後學生的的心智模式沒有改變。

#### 7. 後測

後測時使用巨觀教材組只有學生 A11 由粒子互相碰撞模式轉變至擠壓模式，其他學生仍維持相同的心智模式。微觀教材組學生 B33 認為受熱氣體粒子變大且速度變快，因此心智模式為錯誤的類科學模式。

### (二) 小結

總結以上的結果可發現，影響學生情境四的心智模式除了壓力的教學之外，溫度的教學也是重要的，由圖 4-7-8 可發現，學生的心智模式轉變在壓力教學與溫度體積教學之間是較複雜的，壓力教學後有十四位學生心智模式為科學模式，但仍有六位使用微觀教材的學生心智模式為錯誤的類型，因此階段學生尚未瞭解溫度對氣體粒子大小與運動速度之關係，因此無法以正確的科學模式解釋之。而在溫度教學之後，使用微觀教材的學生只剩下一位還停留在錯誤的類科學模式，其他皆為正確的科學模式。

另外由表 4-9-4 也可發現，分類表格中以灰底標示的科學模式、類科學模式 C、擠壓模式 A 與粒子互相碰撞模式是屬於符合查理定律的心智模式，也就是說學生可以用這些不一定是正確的心智模式去解釋溫度升高後氣體體積擴大的巨觀現象，例如擠壓模式 A 學生認為加熱後氣體粒子會變大顆，把活塞往上推，如此的解釋是錯誤的，但它符合查理定律絕對溫度與體積成正比的關係。因此在查理定律教學後，學生的心智模式類型只剩下這六種，其他不符合溫度上升體積擴

大的心智模式則消失在學生的回答中。

與前面三種情境中類似的是，學生的心智模式在不同學習階段可具有一致性，以學生 A35 為例，由圖 4-9-7 可看出此學生心智模式在前測至波以耳定律教學之間皆為為擠壓模式 B，但因為查理定律教學後此學生原有的心智模式擠壓模式 B 無法符合查理定律溫度上升體積變大的關係，因此學生心智模式改變為擠壓模式 A，但此仍然為擠壓模式；又以微觀教材組學生為例，如圖 4-7-8 所示，即使在教學前二十位學生心智模式皆不相同，但在壓力教學後，學生的心智模式皆變成科學模式或類科學模式，以氣體碰撞器壁產生壓力的微觀氣體運動模式來解釋此情境的問題，雖然在溫度教學之前學生可能因為不瞭解溫度對氣體粒子運動速度和大小的影響無法正確的解釋查理定律，但其心智模式仍是以氣體粒子碰撞器壁來解釋其壓力的來源。因此我們可說學生在此心智模式出現一致性。

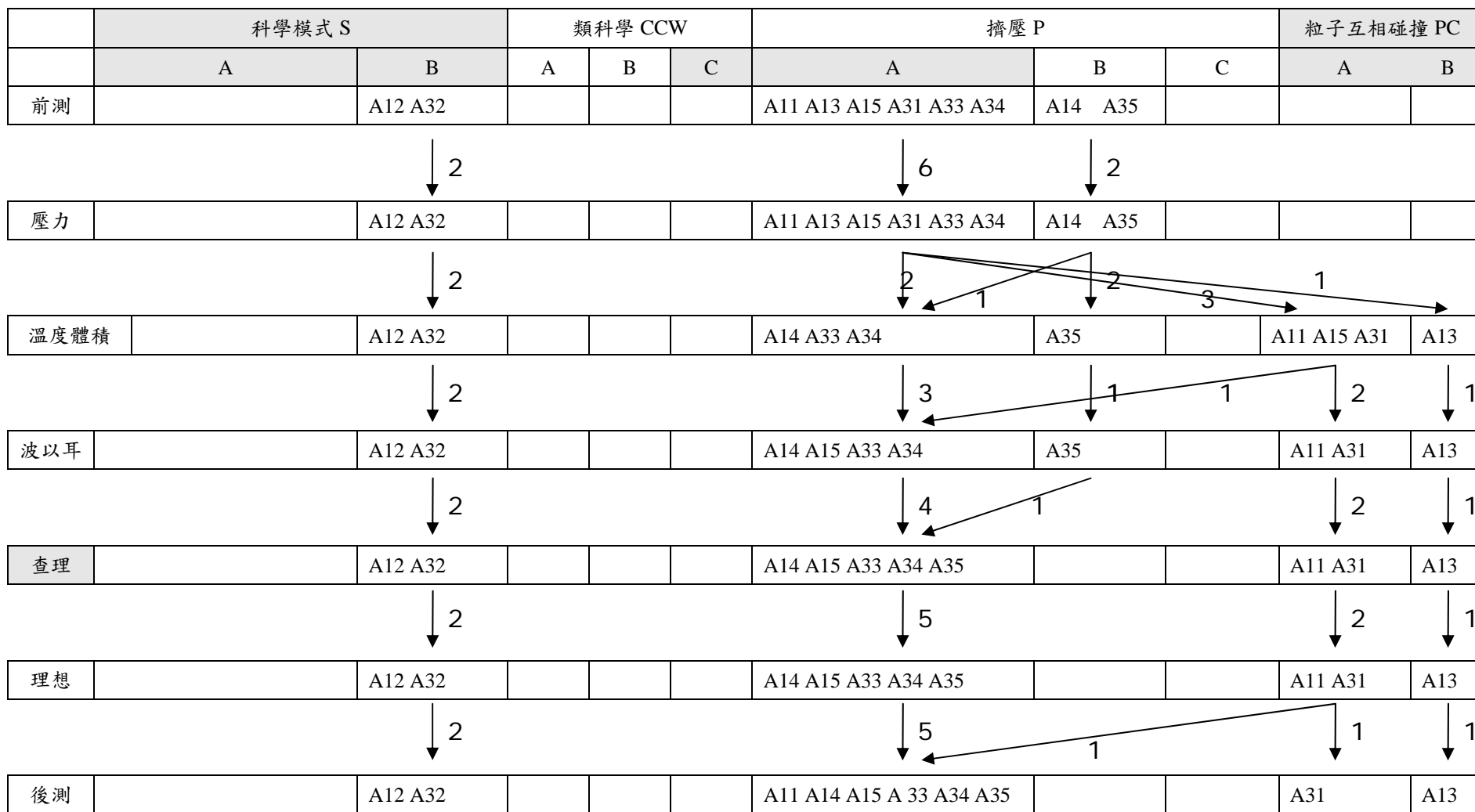
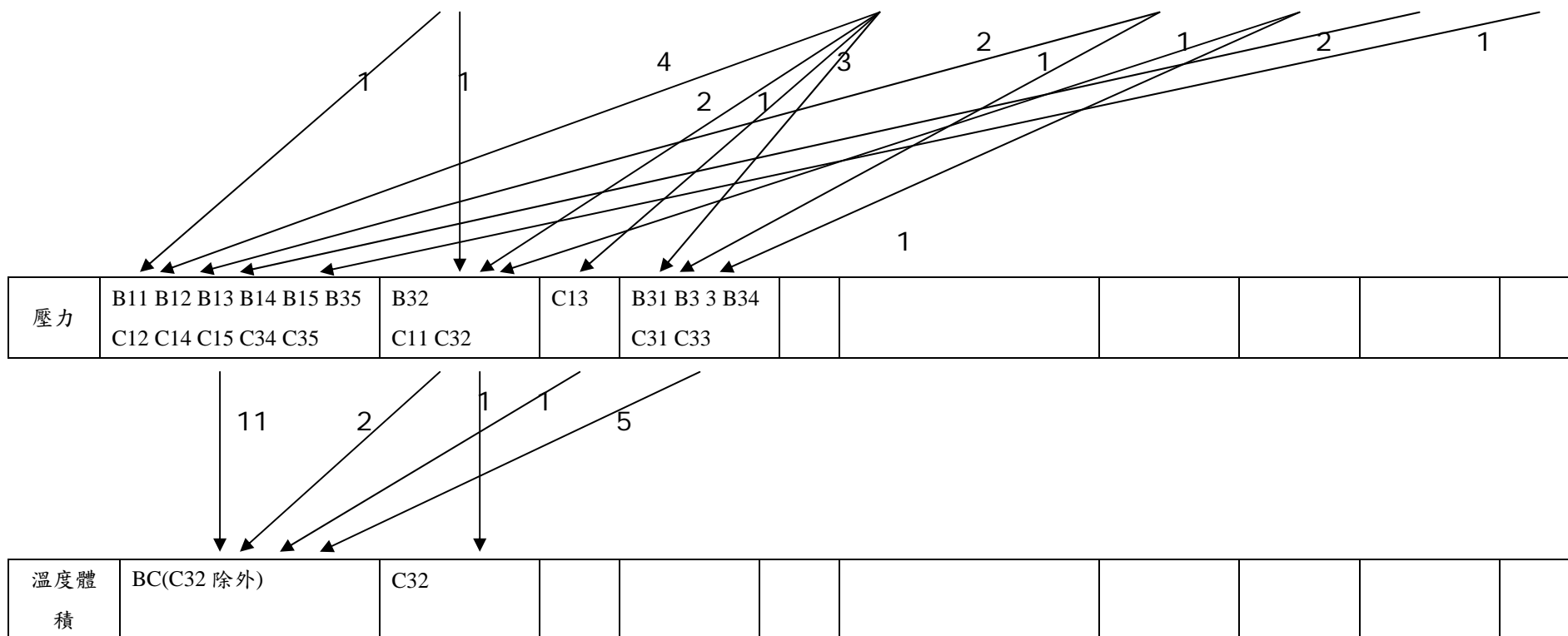


圖 4-7-7 巨觀教材組學生於情境四在不同學習階段心智模式演變圖

	科學模式 S		類科學 CCW			擠壓 P			粒子互相碰撞 PC	
	A	B	A	B	C	A	B	C	A	B
前測		C12 C34				B14 B15 B31 B32 C11 C13 C15 C31 C33 C35	B11 B12 B34	B33 C32	B13 C14	B35



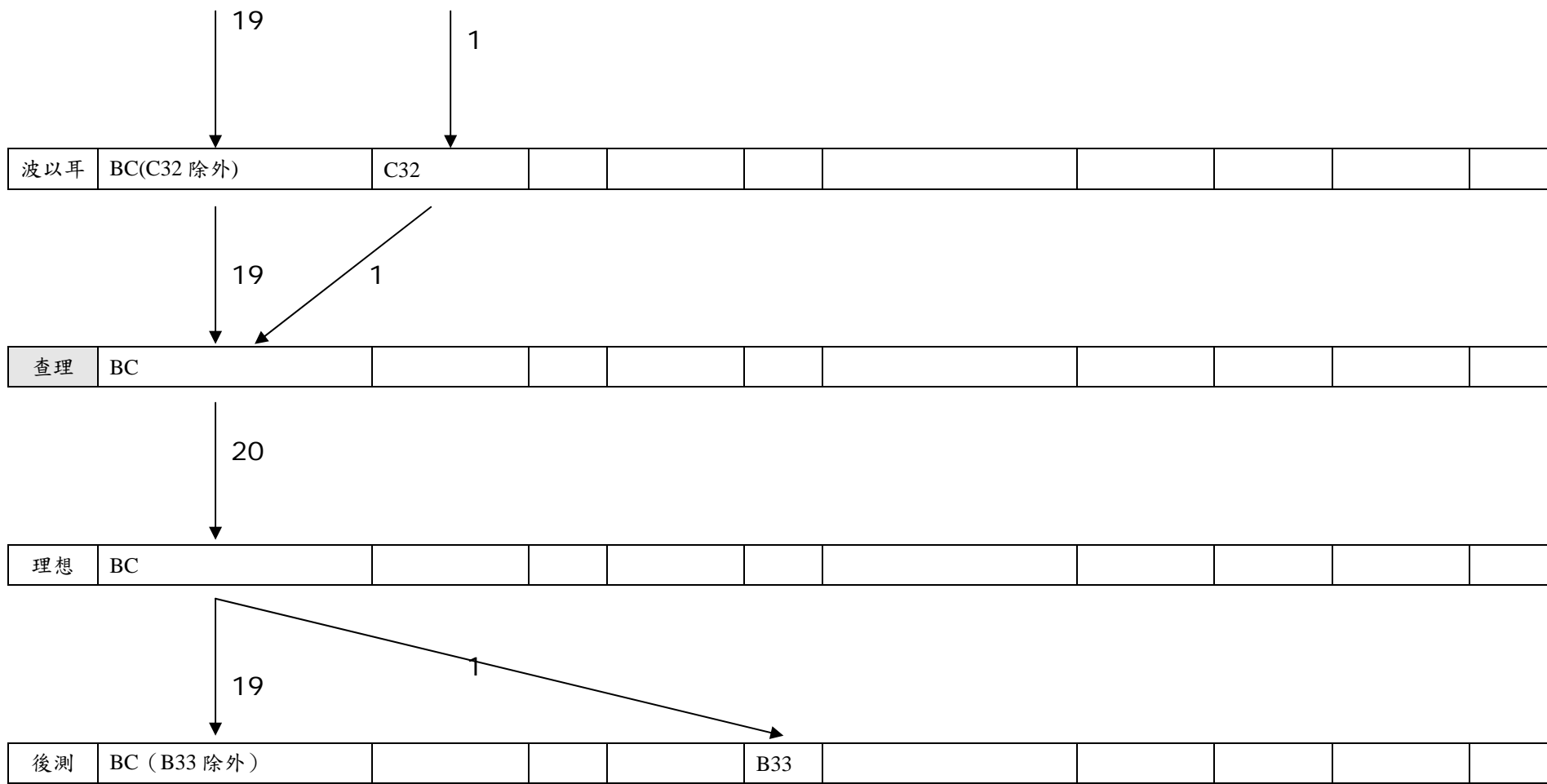


圖 4-7-8 微觀教材與建模微觀教材組學生於情境四在不同學習階段心智模式演變圖

## 五、學生在不同情境中心智模式關連性

本研究情境一、情境二與情境三分別討論粒子數目、容器體積與氣體溫度對壓力的影響，為瞭解學生在同一階段不同學習情境其心智模式是否有一致性，整理七個學習階段學生在三個情境中的心智模式，為完整表達學生的心智模式，因此不使用心智模式子分類，僅以科學模式、擠壓模式、粒子互相碰重模式、重量模式與外界擠壓模式代表之。結果如表 4-7-1 所示。

使用微觀教材與模型微觀教材組的學生，除了在前測學生持有不同心智模式，在壓力教學之後，學生在不同情境下仍然皆使用科學模式，即氣體粒子碰撞器壁產生壓力的模式去解釋三種不同情境的問題，表示學生在不同問題情境中，對氣體運動模型的心智模式是一致的。

使用巨觀教材的學生中，大致可分為兩類心智模式，一類是擠壓模式（A12、A14、A15、A32、A33、A34、A35），一類是粒子互相碰撞產生壓力模式（A11、A13、A31），雖然在不同學習階段學生心智模式有些許改變，但整體而言學生在不同學習階段中，仍會使用相同的心智模式去解釋不同的問題情境問題，因此學生的心智模式是具有一致性的。

表 4-7-1 學生在不同學習階段中，於不同情境所持有心智模式關連性

		科學 模式 S	擠壓模式 P	粒子互相 碰撞 PC	重量模式 W	外界 O
前 測	情境一		A12 A13 A14 A15 A32 A33 A34 B14 B31 B32 B33 B34 C11 C15 C32 C33 C35	A31 B13 B35 C13	A11 A35 B12 B15 C12 C34	B11 C14 C31
	情境二		A12 A13 A14 A15 A32 A33 A34 A35 B14 B31 B32 B33 B34 C11 C15 C32 C33 C35	A31 B13 B35 C13	B12 B15 C12 C34 A11	B11 C14 C31
	情境三		A13 A14 A15 A33 A34 A35 B11 B14 B31 B32 B33 B34 C11 C15 C31 C32 C33 C35	A31 B13 B35 C13 C14	A11 B12 B15 C12	
壓 力 教 學	情境一	BC	A12 A13 A14 A15 A32 A33 A34	A31	A11 A35	
	情境二	BC	A12 A13 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A31	A11	
	情境三	BC	A13 A14 A15 A33 A34 A35	A31	A11	



溫度 體積	情境一	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34	A13 A31	A11 A35	
	情境二	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A13A31	A11	
	情境三	BC	A14 A15 A33 A34 A35	A11 A13 A31		
波以耳定律	情境一	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34	A11 A13 A31	A35	
	情境二	BC	A12 A13 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A11 A31		
	情境三	BC	A14 A15 A33 A34 A35	A11 A31 A13		
查理定律	情境一	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A11 A13 A31		
	情境二	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A11 A13 A31		
	情境三	BC	A14 A15 A33 A34 A35	A11 A13 A31		
理想氣體方程式	情境一	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A13 A31	A11	
	情境二	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A11 A13 A31		
	情境三		A14 A15 A33 A34 A35	A11 A13 A31		
後測	情境一	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A13 A31	A11	
	情境二	BC	A12 A14 A15 A32 A33 A34 A35	A13 A31	A11	
	情境三		A11 A14 A15 A33 A34 A35	A13 A31		

## 六、巨觀教材組學生心智模式轉變類型

巨觀教材組學生在教學過程中，並未涉及微觀概念的教學，因此學生所學到的是巨觀的概念，學生的微觀氣體粒子運動心智模式大多是錯誤的，即是在教學過後，因為學生仍無法由巨觀教材中獲得微觀的概念，因此學生會以錯誤的心智模式推論氣體壓力、體積與溫度之間的關係。但即使學生的心智模式是錯誤的，

在教學過程中，學生仍會改變心智模式，因為其心智模式必須符合巨觀教材所學得的概念，例如學生在波以耳定律教學前，對氣體體積改變對壓力的影響有不同的解釋，有學生認為氣體體積改變並不會影響壓力，因為學生認為壓力來自氣體重量，定量氣體重量不變所以壓力不變，但在波以耳定律教學後，如此的解釋不符合體積擴大壓力減小的概念，因此學生必須修正其心智模式之解釋，改用單位體積內重量的密度概念才能解釋體積擴大壓力減小。

巨觀教材組學生在不同學習階段的心智模式轉變情形有以下兩類：

### 1. 固定類型

以學生 A33 為例，此類學生原先所持有的微觀氣體粒子心智模式可以解釋巨觀的概念，因此在不同情境與不同階段的教學過程中，其心智模式皆沒有改變。

### 2. 不固定類型

以學生 A11 為例，對於情境一、二、三的問題，在前測與壓力教學後，該生以重量模式解釋巨觀現象，情境三溫度體積概念教學後，其心智模式改為粒子彼此碰撞模式，但在後測階段，該生於情境一、二的心智模式又回到重量模式，情境三的心智模式為粒子擠壓模式，表示此類型學生心智模式並不固定，會隨不同學習階段修正改變。不過即使學生的心智模式在不同學習階段有所不同，學生在概念學習後所持有的心智模式多會符合巨觀的現象，例如 A11 學生於情境二教學中，如圖 4-7-3 所示原本持有的心智模式為錯誤的重量模式 B，且此模式不符合體積擴大壓力減小的波以耳定律，但在波以耳定律教學後，學生心智模式轉變成粒子彼此碰撞模式，雖然仍是錯誤的非科學模式，但學生以體積擴大後粒子彼此碰撞機會減小解釋壓力變小的原因，符合波以耳定律的巨觀概念：氣體壓力與體積成反比。

以上兩類巨觀教材組的學生雖然未使用微觀教材，但隨著不同階段的巨觀概念教學，學生會改變其心智模式使其符合氣體動力論的巨觀概念，或者保有其原有的心智模式，只要此心智模式可以解釋巨觀概念即可。但值得注意的是，本研究中巨觀教材組學生並無法自行產生正確的科學心智模式；氣體粒子碰撞器壁模型。

## 七、小結

綜合本節分析可得以下的兩點結論：

### 1. 微觀教材有助於幫助學生建立微觀氣體粒子運動模型，並以此模型解釋氣體動力論

研究結果可發現，使用不同教材的學生其心智模式有所不同，在此回答研究問題 2-2「建模教學對學生氣體分子運動的心智模式有何影響？」，使用巨觀教材的 A 組學生其心智模式多是錯誤的，因教材使用公式或實驗數據圖等巨觀的氣體粒子現象來解釋氣體動力論，因此學生無法確實瞭解氣體粒子的微觀行為，無法產生正確的科學心智模式。使用微觀教材的 B 組學生與建模微觀教材的 C 組學生教學後所持有的心智模式則多是正確的科學模式，因教材使用微觀的氣體粒子運動來解釋氣體動力論，學生在教學後心智模式多為正確的科學模式。

### 2. 學生心智模式在不同學習階段具有一致性

本研究發現學生在回答相同情境下的問題時，其心智模式具有一致性，此觀點與 Vosniadou (1992, 1994) 等人的看法是相似的，學生會由日常生活經驗累積其概念架構，對學生而言此理論架構是有一致性的，即使學生的觀點並非完全符合科學的理論，但學生仍可使用固定的心智模式去解釋問題。此與 diSessa (1988, 1993) 提出的理論不同，diSessa 認為學生的知識是零碎的片段知識，因為這些片段知識之間並沒有關連，但在本研究中，學生對壓力的來源的解釋和影響壓力改變的因素是可視為一完整的心智模式，心智模式中的各種概念是有相互關係的。

## 第八節 學生對模型的觀點

本研究希望透過模型問卷瞭解高一學生對模型的觀點，有效問卷回收樣本數共 297 份，此部分分析主要分為兩部分，第一是呈現模型問卷的結果，第二部分以因素分析進一步分析學生對模型的看法，藉此回應研究目的三「探討高中生對模型的想法」。

### 一、模型問卷的結果

#### (一) 人數比例分佈

本研究所設計之模型問卷為李克氏量表以五種程度區分學生對模型的觀點，結果如表 4-8-1 所示，本分析將其中不同意與非常不同意選項歸於不同意，同意與非常同意之選項歸於同意以清楚呈現學生的正反意見，列出所有三十五題試題學生的選取人數比例。

研究結果顯示高一學生對三十五題模型問題所持有的態度趨於正向，表示同意的人數比率多於不確定者者，不同意者比例最少，此與 Treagust(2002)研究結果類似。

表 4-8-1 模型問卷學生人數比例分佈 (%)

		平均	標準差	不同意	不確定	同意
複製品	1.我同意模型必須是一個精確的複製品。	3.83	1.00	15.15	9.43	75.42
複製品	6.我同意模型可以用來呈現某物的縮小版。	4.31	0.77	4.38	3.70	91.92
複製品	20.我同意模型與真實事物越接近越好。	4.08	0.94	7.43	15.20	77.36
複製品	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。	3.57	1.16	22.30	20.95	56.76
複製品	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。	3.99	0.87	7.80	13.90	78.31
複製品	23.我同意模型需要在每一方面都很精確，除了在大小上。	3.61	1.08	18.92	20.27	60.81

複製 品	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。	4.10	0.83	4.73	13.51	81.76
多重 表徵	4.我同意許多模型說明同一現象的不同面向。	3.86	0.81	5.08	24.75	70.17
多重 表徵	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。	3.85	0.82	5.41	23.99	70.61
多重 表徵	9.我同意許多模型可以用來呈現物體的不同面或形狀。	4.08	0.79	4.73	10.14	85.14
多重 表徵	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	3.87	0.85	6.48	20.82	72.70
多重 表徵	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。	3.91	0.77	4.41	18.64	76.95
多重 表徵	18.我同意不同模型可以呈現物體的不同部份。	4.00	0.85	6.42	12.50	81.08
多重 表徵	29.我同意許多模型可以用不同的方式呈現某物體。	4.11	0.79	4.38	10.10	85.52
多重 表徵	31.我同意科學家可以對相同的一個東西產生不同的模型	3.87	0.88	7.30	19.71	72.99
解釋 工具	2.我同意模型必須是可以呈現或解釋科學現象。	3.56	0.92	15.15	24.58	60.27
解釋 工具	3.我同意模型可以清楚地呈現概念之間的關係。	3.82	0.83	6.10	24.41	69.49
解釋 工具	5.我同意模型可以用來解釋科學現象。	3.61	0.93	13.99	23.55	62.46
解釋 工具	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。	4.02	0.82	4.04	16.16	79.80
解釋 工具	11.我同意模型可以用來呈現一個概念。	3.83	0.85	7.14	21.43	71.43
解釋 工具	17.我同意模型可以是從實體上或是視覺上呈現某物。	4.09	0.80	5.05	8.42	86.53
解釋 工具	19.我同意模型可以是圖形、地圖、圖表或照片。	3.59	1.12	20.27	19.26	60.47
解釋 工具	30.我同意模型能模擬真實世界實際運作的情形及其特徵。	3.86	0.97	11.49	14.53	73.99

解釋工具	34.我同意模型可以用來教學，去幫助學習者瞭解科學。	4.30	0.81	3.66	6.59	89.74
科學使用	10.我同意模型可以用來幫助科學的概念和理論的形成。	3.88	0.88	7.74	18.52	73.74
科學使用	12.我同意模型可以用來預測科學事件與檢驗科學事件。	3.26	1.07	27.36	26.01	46.62
科學使用	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。	3.63	0.82	7.80	29.15	63.05
科學使用	16.我同意模型可以呈現模型在科學研究中是如何被使用。	3.80	0.81	6.40	23.23	70.37
科學使用	32.我同意化學式是模型的一種。	3.52	1.07	19.34	22.26	58.39
科學使用	33.我同意數學公式是模型的一種。	3.18	1.15	27.74	30.29	41.97
科學使用	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。	4.15	0.77	2.55	12.41	85.04
可改變	25.我同意如果有新的理論或證據提出，則模型會跟著改變。	4.01	0.90	6.42	14.19	79.39
可改變	26.我同意如果有新的發現，則模型會跟著改變。	4.01	0.89	6.08	15.20	78.72
可改變	27.我同意如果資料或信念有所改變，則模型會跟著改變。	3.83	0.93	9.09	20.20	70.71
可改變	28.我同意如果模型有錯，則模型可以被改變。	4.01	0.93	7.41	15.49	77.10

將模型問卷三十五題題目依所測的向度分成五個子量表，並統計學生在五個子量表中對模型的看法為何，結果如表 4-8-2 所示，學生對模型是多重表徵的本質的本質具有最高的同意度，有 76.89% 學生同意模型是一種多重表徵，其次是模型可改變的本質，有 76.68% 學生同意模型可依不同情況有所改變，我們可發現，以上兩項度為類似的概念，學生接受模型可以有許多種不同的形式，可用許多不同的表徵方式來表達模型，因此模型也可以改變，就使用者的需求而不同，或因有新的元素必須被納入模型因此模型可以被改變。

五項子量表中學生持反向態度最多者為模型在科學上的使用之子量表，只有 62.74% 學生同意該向度，對學生而言，他們不常在科學上使用模型去解釋科學概念，或者不知自己正在使用模型，此與 Gilbert (1991) 與 Grosslight 等人 (1991) 研究結果類似，中學生對模型的看法比起專家是較狹隘的，對模型的功用學生通常只認為是用來呈現一個過大或過小的實體，無法利用模型去解釋概念，預測或

解釋科學現象。因此如 Treagust 等人 (2002) 研究所建議，科學教室中的教學需要更加強調科學模型在科學領域的角色與目的，以幫助學生學習科學概念。

表 4-8-2 模型問卷子量表學生人數比例分佈 (%)

	平均	標準差	不同意	不確定	同意
複製品	3.93	0.27	11.53	13.85	74.62
多重表徵	3.94	0.11	<u>5.53</u>	17.58	<u>76.89</u>
解釋工具	3.85	0.25	9.66	17.66	72.69
科學使用	3.63	0.35	<u>14.13</u>	23.13	<u>62.74</u>
可改變	3.97	0.09	7.25	16.27	76.48
平均	3.87	0.11	9.62	17.70	72.68

## (二) 學生答題內部一致性

將模型問卷三十五題題目依子量表進行信度分析，結果如表 4-8-3 所示，Cronbach  $\alpha$  值在模型是多重表徵與模型可改變這兩個子量表大於 0.75，其他也都介於 0.65 至 0.75 之間，表示學生答題內部一致性很高，只有解釋工具這一子量表低於 0.7，為 0.6866。

表 4-8-3 五項子量表描述性統計與信度值 (N=297 人)

模型子量表	題數	平均	標準差	$\alpha$
複製品	7	3.93	0.99	0.7477
多重表徵	8	3.94	0.83	0.7764
解釋工具	9	3.85	0.93	0.6866
科學使用	7	3.63	1.00	0.7406
可改變	4	3.97	0.91	0.7699

## 二、因素分析

將三十五題問卷進行因素分析，所得結果如表 4-5-4 所示，總共有九個因素，本表列出因素值大於 0.35 之選項，其中因素六、七、八、九因同一因素中題目數目少於四題，在此不與以比較。之後將結果與原本題目設計之子量表比較，發現第二因素可能為模型為多重表徵之子量表，因素四為模型可改變子量表。

### 1.因素一

因素一共有九題，分別為 07、11、13、14、15、16、29、30、35，其中 7、13、14、29 四題為同一子量表模型，屬於模型是多重表徵，11、30 為解釋工具，15、35 為科學使用。

### 2.因素二：模型為複製品

因素二共有五題，分別為 20、21、23、22、24，為同一子量表模型模型是複製品，此因素與 Treagust 等人（2002）研究中模型是一種複製品相同。此類型的題目學生答題一致性較高。

### 3.因素三：模型呈現

因素三共有五題，分別為 6、9、17、18、34，其中 17、34 兩題為同一子量表模型為解釋工具，9、18 屬於模型是多重表徵，6 為模型是一種複製品。此因素主要與模型的「呈現」有關，學生同意模型可用來呈現物體的不同面向，也可以呈現物體的縮小版。

### 4.因素四：模型具有可改變的本質

因素四共有四題，分別為 25、26、27、28，為同一子量表模型模型具有可改變的本質，此因素與 Treagust 等人（2002）研究中模型可改變的本質相同。表示此類型的題目學生答題一致性較高，學生認為模型具有可改變的本質。

### 5.因素五：科學事件

因素五共有四題，分別為 5、8、10、12，其中 10、12 兩題為同一子量表模型為科學使用，5、8 屬於模型是解釋工具。此四題在題目說明上皆與「科學事件」有關，學生同意模型可幫助瞭解科學概念、預測並檢驗科學事件、解釋科學現象與形成科學理論。

表 4-8-4 模型問卷結果因素分析

	1	2	3	4	5
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。	.648				
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。	.629				
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。	.557				
11我同意模型可以用來呈現一個概念。	.537				
30我同意模型能模擬真實世界實際運作的情形及其特徵。	.513				



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	.504			
16我同意模型可以呈現模型在科學研究中是如何被使用	.483			.378
29我同意許多模型可以用不同的方式呈現某物體	.480			
07我同意許多模型可以用來呈現不同的資料是如何被使用	.366			
20我同意模型與真實事物越接近越好		.743		
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		.706		
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		.663		
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		.594		
23我同意模型需要在每一方面都很精確，除了在大小上		.515		
17我同意模型可以是從實體上或是視覺上呈現某物			.762	
18我同意不同模型可以呈現物體的不同部份			.740	
09我同意許多模型可以用來呈現物體的不同面或形狀			.635	
06我同意模型可以用來呈現某物的縮小版			.422	
34我同意模型可以用來教學，去幫助學習者瞭解科學			.391	
27我同意如果資料或信念有所改變，則模型會跟著改變				.807
26我同意如果有新的發現，則模型會跟著改變				.760
25我同意如果有新的理論或證據提出，則模型會跟著改變				.750
28我同意如果模型有錯，則模型可以被改變				.475
08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				.606
12我同意模型可以用來預測科學事件與檢驗科學事件				.605
05我同意模型可以用來解釋科學現象				.563
10我同意模型可以用來幫助科學的概念和理論的形成	.356		.366	.405

## 第九節 建模教學對學生模型觀點的影響

本節討論三種不同的建模教學對學生模型觀點的影響，首先分析學生模型問卷前後測表現，再分析學生的模型觀點分類是否有所改變。

### 一、模型問卷前後測比較

本研究在教學前後使用相同的模型測驗工具測量學生對模型的觀點，結果如表 4-9-1 所示，巨觀教材組在教學過程後，學生對模型的觀點並沒有改變，微觀教材組與建模微觀教材組的分數則有顯著的上升。

表4-9-1 學生模式問卷總分前後測Pair-Sample T Test比較差異比較

		平均	標準差	t值
巨觀教材組	前測	58.10	10.50	-.374
	後測	58.80	12.69	
微觀教材組	前測	53.800	13.23	-3.072*
	後測	64.90	6.47	
建模微觀教材組	前測	49.50	12.07	-4.584*
	後測	67.20	6.44	

\* $p < .05$

### 二、模型看法的分類

學生前後測對模型的看法如表4-9-2所示，本分析將學生在模型工具中的題目分類，參考Grosslight等人（1991）與Treagust等人（2002）將學生對模型的看

法分為三種不同的階層，第一層L1為「模型是複製品」，第二層L2為「模型是解釋的工具」且「模型可為多重表徵」，第三層L3是瞭解「模型在科學中的使用」與「模型可改變的本質」。研究結果發現本研究中的高中學生對模型的看法並非單純的只有第一層認為模型只是簡單複製品，或是只有單純的第二層瞭解，學生對模型的看法是混和的，因此本研究所選擇的研究對象為混和較多第一層與第二層瞭解的學生（1-2）以及混合較多第二層和第三層瞭解的學生（2-3）。

在巨觀教材組原本屬於1-2的學生在教學後只有一人提升至2-3，其他學生對模型的看法沒有改變；原本屬於2-3的學生有一人降為1-2，其他學生沒有改變。在微觀教材組部份原本屬於1-2的學生有三人提升至2-3；原本屬於2-3的學生沒有太多改變。使用建模微觀教材組的1-2類型學生在教學後有四人提升至2-3，原本是2-3的學生保持不變。

### 三、小結

學生在接受三種不同的建模教學後，對模型的看法有所改變，在此可回答研究問題2-1「學生在建模教學前後模型觀點是否有差異？」研究結果顯示使用巨觀教材的學生在建模教學前後模型觀點沒有改變，學生對模型的看法沒有太多改變，模型問卷前後測的分數沒有顯著進步。至於使用微觀教材與建模微觀教材進行建模教學的學生在教學後對模型的看法產生改變，大多數學生趨於2-3的模型觀點，對模型的使用有更深的瞭解，可瞭解模型在科學上的使用，而在模型問卷的分數上此兩組學生皆有顯著進步，表示在建模教學後學生的模型觀點的確有所提升。

表 4-9-2 學生前後測對模型的看法及學生分類

學生編號	前測					後測				
	模型看法	L1	L2	L3	總分	L1	L2	L3	總分	模型看法
A11	1-2	1.00	0.76	0.73	57	1.00	0.94	0.82	66	1-2
A12	1-2	1.00	0.88	0.73	61	0.14	0.94	0.82	60	2-3
A13	1-2	1.00	0.82	0.73	59	1.00	0.82	0.64	56	1-2

A14	1-2	0.86	0.71	0.64	51	0.86	0.71	0.55	48	1-2
A15	1-2	0.86	0.65	0.18	34	0.86	0.47	0.18	28	1-2
平均		0.94	0.76	0.60	52.40	0.77	0.78	0.60	51.60	
A31	2-3	0.57	0.71	0.73	52	0.43	0.94	0.82	62	2-3
A32	2-3	0.29	1.00	0.91	66	0.29	0.94	0.91	64	2-3
A33	2-3	0.57	0.88	0.91	64	1.00	0.94	1.00	72	1-3
A34	2-3	0.71	0.88	1.00	68	0.86	1.00	0.73	64	1-2
A35	2-3	0.57	0.94	1.00	69	0.86	0.94	0.91	68	2-3
平均		0.54	0.88	0.91	63.80	0.69	0.95	0.87	66.00	
B11	1-2	0.71	0.65	0.36	39	0.86	1.00	0.82	67	1-2
B12	1-2	0.71	0.76	0.55	49	0.29	0.94	0.82	61	2-3
B13	1-2	0.71	0.65	0.27	36	0.71	0.76	0.82	58	2-3
B14	1-2	0.86	0.65	0.55	46	0.43	0.94	0.73	59	2-/3
B15	1-2	1.00	0.59	0.55	45	1.00	0.65	0.82	56	1-3
平均		0.80	0.66	0.45	43.00	0.66	0.86	0.80	60.20	
B31	2-3	0.29	0.88	0.55	50	1.00	1.00	1.00	74	123
B32	2-3	0.86	0.94	1.00	71	0.57	1.00	1.00	71	2-3
B33	2-3	0.86	1.00	0.91	70	0.71	0.88	0.82	62	2-3
B34	2-3	0.57	0.88	0.91	64	0.71	1.00	1.00	72	2-3
B35	2-3	0.57	1.00	0.91	68	0.71	1.00	0.91	69	2-3
平均		0.63	0.94	0.85	64.60	0.74	0.98	0.95	69.60	
C11	1-2	0.43	0.53	0.36	33	0.29	1.00	1.00	69	2-3
C12	1-2	0.71	0.59	0.45	40	1.00	0.94	0.91	69	1-2
C13	1-2	0.86	0.76	0.36	44	0.86	1.00	1.00	73	2-3
C14	1-2	0.71	0.59	0.55	43	0.57	1.00	0.91	68	2-3
C15	1-2	0.71	0.65	0.36	39	0.29	1.00	0.55	54	2-3
平均		0.69	0.62	0.42	39.80	0.60	0.99	0.87	66.60	
C31	2-3	0.57	0.88	0.64	55	0.71	1.00	0.91	69	2-3
C32	2-3	0.57	0.71	0.73	52	0.43	0.88	0.73	57	2-3
C33	2-3	0.43	0.88	0.64	54	0.57	1.00	1.00	71	2-3
C34	2-3	0.14	0.82	1.00	62	0.86	1.00	1.00	73	2-3
C35	2-3	0.86	1.00	1.00	73	0.29	1.00	1.00	69	2-3
平均		0.51	0.86	0.80	59.20	0.57	0.98	0.93	67.80	

## 第十節 微觀教學後學生之概念改變

本研究透過巨觀與微觀教材進行教學，研究結果發現學生的概念程度有差異，使用巨觀教材的學生較少產生概念改變，學生的心智模式類型與前測類型相似，而使用微觀教材讓學生在教學後產生概念改變，學生心智模式與前測相比有很大的差異，以下就微觀教材對學生概念改變的影響進行討論，將概念類型分為以下幾項討論：

### 一、粒子體積

#### 1. 加熱後粒子大小不變

教學前學生迷思概念為加熱粒子會熱漲冷縮，此與史嘉章（2002），邱美虹（2005）與洪振方（1987）等人研究發現類似，微觀教學後學生產生概念改變，瞭解加熱不影響粒子本身大小，體積膨脹是粒子間距離變大，只有學生 B33 在後測時仍持有此迷思概念，其他使用微觀教材的十九位學生均持有正確的科學概念。因此本研究所使用之教材可以幫助學生建立粒子大小不隨溫度變化的科學概念。

#### 2. 壓縮或擴大容器粒子大小不變

教學前有四位學生具有壓縮或擴大容器會影響粒子大小的迷思概念，與邱美虹（2005）研究結果類似，教學後使用微觀教材的學生產生概念改變，二十位皆持有壓縮或擴大容器粒子大小不變的科學概念。

#### 3. 增加壓力粒子大小不變

教學前有七位學生持有加壓會使粒子大小壓縮的迷思概念，教學後使用微觀教材的學生產生概念改變，二十位學生皆持有增加壓力粒子大小不變的科學概念。

總和以上研究發現，在教學之前，學生與對氣體粒子大小持有會隨溫度、容器體積與容器壓力改變而改變的迷思概念，在微觀教材教學之後，學生已產生概念改變，瞭解粒子大小不隨以上因素而改變。

### 二、氣體壓力

#### 1. 密閉容器內氣體壓力來源為氣體粒子與器壁的碰撞

教學前學生對氣體壓力的來源有不同的解釋，學生不瞭解氣體壓力的來源是

因為氣體分子碰撞器壁而產生壓力，因此對氣體壓力的迷思概念多以擠壓解釋，此與 de Berg (1995)、邱美虹 (2005) 與洪振方 (1987) 結果類似，也有學生以重量模式解釋壓力來源，此與邱美虹 (2005) 研究結果類似，學生在教學前具有不同的錯誤心智模式，但教學後，使用微觀教材的學生皆持有密閉容器內氣體壓力來源為氣體粒子與器壁的碰撞的科學概念，以此解釋壓力來源。

## 2. 壓力與粒子數目成正比

教學前有九位學生認為粒子數目不影響壓力，因其不瞭解壓力的來源，有四位學生認為粒子數目越多壓力越大，在教學後，使用微觀教材的學生皆持有壓力與粒子數目成正比的科學概念，以此解釋壓力來源。

## 3. 壓力與絕對溫度成正比

學生教學前有兩位學生認為加熱後壓力變小，兩位學生認為不變，其他十四位學生認為溫度上升壓力會增加，但學生的解釋原因皆非科學模式，只是以直覺的生活經驗解釋，在教學後，使用微觀教材的學生皆持有壓力與絕對溫度成正比的科學概念，並能以正確的科學模式解釋壓力來源。

總和以上結果，在教學前學生對壓力持有錯誤的擠壓與重量等心智模式，在使用微觀教材教學之後，學生產生概念改變，能以粒子碰撞器壁的正确科學模式解釋氣體壓力的來源，並比較不同條件下氣體壓力的大小。

## 三、氣體運動速度

### 1. 加熱後粒子運動速度增加

教學前有約四分之三的學生認為加熱後粒子運動速度增加，因為加熱會讓粒子運動變活躍，運動較激烈，在教學後，使用微觀教材的學生皆持有加熱後粒子運動速度增加的科學概念。

## 四、小結

整體而言，在使用微觀教材進行教學之後，學生可成功的產生概念改變，學生對粒子大小、運動速度和壓力來源都可以科學的心智模式解釋之，在概念試題的答對率有顯著的進步，表示本研究之微觀教材可幫助學生建立微觀氣體粒子運動模型，學習氣體動力論的概念。

但在計算解題能力方面，可能由於學生疏於課後例題練習，或題目設計中，需要一些先備的基本化學概念，例如莫耳數的計算、分子量的計算，但在本教材中並未納入教學，因此不論是巨觀教材組或是微觀教材組學生在計算解題答對率之表現並無顯著的進步。