

科學教育建設的回顧與前瞻

國立臺灣師範大學科學教育中心

魏 明 通

前 言

我國在過去三十數年間有兩項足以自豪令世人矚目的成就，一為經濟建設的奇蹟，另一為教育事業的擴展，而這兩者之間一脈相連有極密切的關係：就教育的發展而言，特別是科學教育及科技教育的成果，足以提供經濟建設所需要的人才，而經濟建設帶來的財富，又可回饋支應教育的繼續擴展，使兩者邁進理想的大道。

先總統 蔣公曾經昭示我們：「三民主義的社會是建立在以倫理、民主、科學為理想的基礎之上。促使科學發達，須從基本教育上生根，所以加強科學教育為當務之急。」基礎科學乃應用科學之母，因此我們在自由和民主的社會中，推動科技建設，以鞏固我們三民主義的社會並增強反共復國力量，有賴積極加強科學教育，推展科技教育，培養科學技術人才，以配合我國各方面建設的需要，達成配合政府之施政重點。

近十多年來政府為積極進行科學及科技人才的培育，民國五十七年行政院頒布的國家長期發展科學計畫的第一章即為科學教育與科學人才培育計畫，以加強自然科學及數學兩科師資的培育與進修；從事中小學自然科學及數學兩科課程的實驗研究；充實科學教學設備等為重點。又民國六十八年頒訂科學技術發展方案，詳細規劃積極進行國防科學、原子能應用、工業、農業、交通、醫藥、基本及應用科學等研究發展計畫外，加強各級學校科技教育，調整大專院校及研究所科系，培育科技師資，改進課程等措施。

茲就各級學校科學課程的改進為中心，介紹我國近十多年來對這一方面努力推展情形與成果。

一、國民小學科學教育

我國長期發展科學計畫中，關於國民小學科學教育，以加強國民小學自然及數學兩科師資之培育與進修，及從事國民小學自然與數學兩科的課程實驗研究為重點。民國五十九年，教育部為改進國民

小學科學教育，特選拔小學科學教師、校長及教育行政人員，組織美日科學教育考察團，前往美國及日本考察小學科學課程之編製，蒐集新小學科學課程資料。該團回國後對本國小學科學教育，提出建設性建議，即設置一研究機構，進行我國小學科學課程實驗研究計畫。

(一) 教育部國民小學科學教育課程實驗研究計畫

民國六十一年七月，教育部成立國民小學科學教育實驗研究指導委員會，負責研究工作之計畫、指導、審議及評鑑工作。另聘王澄霞、楊冠政、郭鴻銘、劉慕昭、崔伯銓、司琦、林清山、毛松霖、柯維俊、魏明通等十位教授組成研究小組，負責外國課程資料的選譯、外國小學課程、教材與我國小學自然課程之比較研究、實驗教材之設計、編審及校訂等工作。整個計畫由臺灣省國民學校教師研習會執行。臺灣省國民學校教師研習會於民國六十二年二月舉辦全國性的小學自然科學教師研習，選拔優秀小學科學教師九人為編輯小組，駐會工作數年，在研究小組指導下，編寫我國國民小學科學實驗教材、教學指引、製作教具並進行試教。研究小組及編輯小組所編輯的實驗教材，經小規模的試教及修訂後，從民國六十三年九月起在臺灣及金門、馬祖地區三十二所實驗小學進行大規模的實驗教學。實驗教學期間，定期開教學觀摩及研討會，溝通擔任教學的教師與研究小組、編輯小組的觀念與經驗，試驗教材的難易及可行性，並根據教師的回饋及學生的反應，修訂教材及教學指引。六十四年九月，實驗學校增加到四十八所，各實驗學校分設實驗班與控制班各一班，每班學生五十名，以隨機取樣方式自同年級學生中抽取，並隨機分派至實驗班及控制班。控制班學生各回原班級上課，不另成一班教學。實驗班採用新編實驗教材教學。

(二) 國民小學新自然科學課程標準及其推廣

民國六十四年元月，教育部著手進行第九次國民小學課程標準修訂工作。修訂委員決定以臺灣省國民學校教師研習會承辦的教育部國民小學科學教育課程實驗研究之成果，作為新自然科學課程的藍本，參考各方面的有關資料，經半年的研討期間，完成新小學自然科學課程標準，民國六十四年八月七年由教育部公布，經三年準備期間，訂於六十七學年從一年級起逐年使用。

1 課程目標與特色

國民小學自然科學教育目標，在於指導兒童接近自然，了解其周圍的環境，增進科學知能與科學情趣，熟練科學方法，以養成具有科學素養的國民。為了達成上述目標，必須使兒童能夠：

(1) 自動探究自然現象及其周圍的事物，養成隨時發現問題、探究問題並自行解決問題的習慣以及正確的科學態度。

(2) 經由學習活動過程，瞭解有關物質、能量、與生物等的基本科學概念。

(3) 在學習活動中，獲得觀察、實驗等科學方法，藉以啟發其獨立思考與創造發明的能力。

(4) 應用科學方法、科學概念及科學態度於日常生活之中。

國民小學自然科學課程標準的特色為：

(1) 小學自然科學課程標準是根據教育部國民小學科學教育課程研究及其實驗成果而擬定的。

(2) 教材以兒童的科學活動為中心編輯，教學以兒童的「做」來始終為原則。

- (3) 強調科學概念、科學方法及科學態度的平均發展。
- (4) 目標及預期學習效果均以學習行為目標方式出現。
- (5) 規定由一年級到六年級的一貫教學。
- (6) 為了使學生有足夠時間從事科學活動，增加教學時間，每週低年級為一百二十分鐘；中高年級各為一百六十分鐘。
- (7) 強調使用行為目標與實作評量。
- (8) 教材內容包括生物科學、物理科學及地球科學。

2 編纂自然科學教科書

民國六十五年三月，國立編譯館成立國民小學自然科學編審委員會，依據民國六十四年八月教育部公布之國民小學課程標準，積極進行新自然科學教科書、教學指引及習作之編纂工作。自六十六學年起，所編的試用教材分由全國六十四所國民小學逐年試用，依各學校試用後的意見修訂後，自六十七學年起全國逐年使用新課程，到民國七十二學年，全國都採用本課程。

二、教育部科學教育指導委員會

教育部為加強我國教育系統中，各級學校科學教育進行全盤性改進工作，於民國六十八年九月十二日，成立教育部科學教育指導委員會。聘請：

主任委員 吳大猷（科學發展指導委員會主任委員） 執行秘書：魏明通（國立臺灣師範大學科教中心主任）
委員

王世中（中央研究院院士、國立中興大學教授）

- 〃 毛高文（國立清華大學校長）
- 〃 余傳韜（國立中央大學校長）
- 〃 李崇道（國立中興大學校長）
- 〃 李 煥（國立中山大學校長）
- 〃 夏漢民（國立成功大學校長）
- 〃 張明哲（行政院國家科學委員會主任委員）
- 〃 陳梅生（教育部次長）
- 〃 郭為藩（國立臺灣師範大學校長）
- 〃 郭南宏（國立交通大學校長）
- 〃 虞兆中（國立台灣大學校長）
- 〃 閻振興（行政院原子能委員會主任委員）
- 〃 錢思亮（中央研究院院長）
- 〃 魏火曜（教育部醫教會主任委員）

等十五位國內科學家、教育家及專門人才為委員，並由魏明通先生出任執行秘書。科學教育指導委員會下設諮詢委員會，共分六大部門，即數學、物理、化學、生物、地球科學及工程，現已暫聘有諮詢

委員等六十九位。並由各小組互推二名連絡人組成諮詢小組。

組別：數學科

呂溪木 * 師大數研所
林福來 師大數學系
陳昭地 師大數學系
黃武雄 台大數學系
趙文敏 師大數學系
賴東昇 * 台大數學系
顏啓麟 師大數學系

* 連絡人

邱守榕 彰化教育學院數學系
曹亮吉 台大數學系
孫方鐸 清大應用數學系
楊維哲 台大數學系
樊 曦 中研院數研所
賴漢卿 清大數學系

組別：物理科

王亢沛 台大物理系
李怡嚴 清大物理系
張秋男 * 師大物理系
黃振麟 台大物理系
劉遠中 清大物理系
閻愛德 清大物理系

* 連絡人

石育民 師大物理系
芮涵芝 淡大物理系
郭鴻銘 師大物理系
褚德三 * 交大物理系
趙金祁 中山大學教務處
盧志遠 交大物理系

組別：化學科

王松茂 清大化學系
牟中原 台大化學系
陳鏡潭 * 師大化學系
楊寶旺 * 台大化學系
劉廣定 台大化學系
羅銅壁 台大理學院

* 連絡人

王澄霞 師大化學系
林渭川 台大化學系
楊振忠 清大分子生物所
劉兆玄 清大化學系
魏明通 師大化學系
蘇仲卿 台大農化系

組別：生物科

史金燾 師大生物系
施 河 師大生物系
許織雲 國防生形系
鄭宏藩 中研院植物所

* 連絡人

林秋榮 台大植物系
張崑雄 中研院動物所
黃仲嘉 * 台大動物系
諸亞儂 * 師大生物系

組別：地球天文科

王 源 台大地質系
沈君山 清大物理系
林朝榮 台大地質系
陳汝勤 台大海洋研究所
蔡義本 * 台大地質系
蔡章獻 圓山天文台

* 連絡人

王執明 * 台大地質系
阮維周 台大地質系
張石角 台大地理系
陳泰然 台大大氣科學系
蔡清彥 台大大氣科學系
顏滄波 中央大學地球物理所

組別：工程科

* 連絡人

王 影	高雄師院工教系	石延平	* 工業技術學院
呂維明	台大化工系	周談輝	* 師大工研所
紀經峯	彰化教院工教系	茅聲燾	台大土木工程系
翁通楹	台大機械工程系	張俊彥	成大電機研究所
郭德盛	台大電機工程系	黃廣志	交通大學教務處
陳昭雄	師大工研所	陳舜田	科技顧問室

在作業上，由諮詢委員會將每一部門所互推之連絡人（各二人）組成小組，隨時視需要舉行會議，商訂工作重點、作業程序，作成決定並建議教育部裁奪，交由國立臺灣師範大學科學教育中心，在行政上配合實施。目前，教育系統中的科學課程全盤改進計畫，即在教育部科學教育指導委員會指示下，積極進行。現階段工作重點在中小學範圍，將來預期縱向擴及大學一、二年級科學課程，橫向擴及各級技職學校，以期為我國科學教育工作，奠定紮實的基礎。

三、國民中學科學教育

民國五十六年六月廿七日，先總統 蔣公在 國父紀念月會時鄭重昭示：「我們繼續要耕者有其田政策推行成功之後，加速推行九年義務教育計畫……」，開啓九年國民教育之大門，推進我國教育史上的一大步。民國五十七年制訂的國民中學暫行課程標準，在科學教育方面，採取九年一貫的精神，尤其對自然學科及社會學科均採一貫之編排，刪除重複部分，消除國民中小學間的隔閡。關於科學教材方面，採取英美各國初級中學的最新教材，加以比較研究，選擇其精華。作為國中數學及自然學科編輯新教材之依據。教學時特別注重培養學生思考力、判斷力及推理能力。並重視科學精神、科學方法及日常生活中所必須具備的科學智能。

現行國民中學課程標準為民國六十一年十月公布的。為了適應地方需要，數學教學時數酌留彈性外（每週三～四小時），自然學科包括生物三小時、物理四小時及化學四小時。並視學生的需要設多數職業選科。為達到課程目標，部廳局均致力於推行科學教育，茲將重要措施列舉於後。

（一）提高科學教師素質

因為九年國民中學教育，增加很多國民中學，乃致若干未經過教育專業訓練的大專畢業生參與國民中學科學教學的行列，為配合提高教師素質：

1 辦理補修教育學分

對於未接受教育專業教育訓練的教師們，委託師範院校及政大，舉辦教育學分研習，使教師們均能接受二十學分的教育專業訓練。

2 專門科目研習

對於相關科系畢業而在國民中學教數學、物理、化學、生物、健康教育等五科非本科系畢業的教師，施以專門科目二十學分的研習，使其能勝任教學。

3. 辦理數學、物理、化學、生物研究所暑期進修班

為提高科學教師素質，甄選資深優良教師參加師範大學、清華大學理學院各研究所的暑期碩士課程進修班，進修四個暑期，畢業以碩士畢業同等資格敘薪任用。

4. 辦理出國考察科學教育

選派參與科學課程改進計畫的教師及科學教育行政人員考察美、日初級中學科學課程、教材、教法及教具之設計製作，返國後對研究改進科學課程及推廣甚有助益。

(二) 科學課程實驗研究

1. 國中自然科學課程實驗研究

為改進我國國民中學自然科學課程，教育部在民國六十三年指定國立臺灣師範大學科學教育中心（以下簡稱本中心）辦理國中自然科學課程實驗研究，在全國十所實驗國中進行實驗教材試教及評量工作。實驗期間按期召開實驗學校分區教學研討會，研討教材及教學法，並修訂教材。

2. 國中數學課程研究

教育部為求我國國民中學數學教育的改進以及九年國民教育數學與自然科學課程的縱橫連貫，於民國六十五年七月專案委託本中心從事國民中學數學課程的實驗研究。經澈底檢討我國現行國中數學的得失，深入研究美、日、法、德、英、俄等國初中數學課程的優點，並廣泛接觸全國國中數學教師，聽取各方面的意見，綜合編輯國中數學實驗教材，從民國六十七年九月起在全國十所實驗國中，進行實驗教學，定期舉行分區實驗教學研討會，由研究教授、實驗班教師、縣市督學及編輯教師共同參加，研討改進教材教法，做為革新國中數學教育的基礎。

(三) 充實科學設備

政府撥款補助各校物理、化學、生物等教學設備外，委託國科會精密儀器中心製作顯微鏡及顯微投影機，並購置錄放影機及委託師大製作國中生物顯微切片等分送各國中使用。另定期辦理科學實驗室管理員訓練，舉辦實驗儀器及養護研習等，使有效運用器材及適當的維護。

此外，辦理科學展覽，少年科學研習，獎勵科學教師，委託本中心編印科學教育月刊贈送各校教師教學參考等措施，均使我國國民中學教育更臻完善，而趨向於理想的地步。

(四) 國民中學課程標準的修訂

民國七十年初，教育部成立研究小組，開始修訂國民中學課程標準工作。這次的修訂重點在於將國民中學課程分為基本科目、選修科目、活動科目三大類。

基本科目注重德、智、體、群、美五育的均衡發展，培育健全國民為目標。

選修科目包括職業科目、實用科目、升學科目等，注重適應學生能力及興趣之差異。

活動科目包括童軍活動、團體活動、輔導活動等，注重學生群性之陶冶，生活教育之實踐，以及輔導功能之發揮。

新課程標準中有關科學教育部分圖解如下：

學年 傾向	3	2	1
升 學	自然科學乙 (地科)選修 2		自 然 科 學 (生 物)
	自然科學甲(理化) 選修 4	4	
就 業	自然科學(理、化、地科) 必修 2	2	必 修 3
	應用物理 2 選修	2	
	應用化學 2 選修	2	

新國民中學課程標準預定民國七十三學年度起全面試用，民國七十五學年起全國逐年實施。

四、高級中學科學教育

教育部為革新我國高級中學科學課程，在民國六十六年七月，指定本中心，進行高級中學科學課程改進計畫，藉研究實驗過程，編製符合我國教育宗旨及適合社會需要的高級中學自然科學及數學課程。本研究改進計畫由師範大學、臺灣大學、清華大學、政治大學、交通大學、淡江大學、海洋學院、臺北醫學院、中央研究院等各學科教授與心理學、教育心理學、教育學教授為研究教授，高中優良在職教師為研究教師，經常在一起，分析研究各國高中課程資料，參考我國現行課程標準，並進行問卷調查，擬訂數種課程模式。在六十六年十二月廿三日於教育部召開的諮詢委員會議通過。(附高中科學課程結構模式。)

高中數學課程結構

年 級	修 習 科 目	備 註
三	理科數學 (6)	選 修 (三選一)
	商科數學 (6)	
	普通數學 (4 ~ 6)	
二	基礎數學 (4)	必 修
	基礎數學統合 (2)	選 修 (二選一)
	基礎數學演習 (2)	
一	基礎數學 (5)	必 修

註：

基礎數學：提供高中學生應有數學基礎素養而設，為共同必修。基礎數學統合為基礎數學的統整教材；基礎數學演習為基礎數學的加強教材，此兩科為高二學生，任選一科。理科數學和商科數學為以基礎數學為基礎而發展到微積分，線性代數，線性規劃及機率等方向的課程，提供高中學生升學必備的數學知識。「理科數學」為理論與應用並重而「商科數學」則重點放在應用。普通數學則以解題為主的基礎數學演習與統合之綜合課程。高三學生將以上三科中任選一科。

高中自然科學課程結構

年 級	修 習 科 目 () 每學期每週教學時數				偏向理、工、 農、醫、海者	偏向文、法、 商、藝、家者
三	物理 II (3, 3)	化學 II (3, 3)	生物 II (3, 3)	地 科 II (3, 3)	選 修 2 ~ 3 科	選 修 0 ~ 1 科
二	物理 I (3, 3)	化學 I (3, 3)	生物 I (3, 3)	地 科 I (3, 3)	選 修 2 ~ 3 科	選 修 1 科
一	基礎理化 (3, 3)	基礎生物 (3)	基礎地科 (3)	均 為 共 同 必 修		

註：

高一：基礎理化為物理及化學的綜合科學，為一年課程；基礎生物及基礎地球科學各一學期。均為共同必修。

高二：偏向理工農醫等學生在物理、化學、生物、地球科學四科任選二至三科；偏向文法商藝等學生任選一科。

高三：物理、化學、生物、地球科學四科中，偏向理工農醫學生任選兩科，偏向文法商藝等學生可選可不選。

(一) 擬定實驗課程綱要草案與編輯教材

決定課程模式後研究教授與研究教師從民國六十七年三月開始擬定實驗課程綱要並編寫各科實驗教材、教學指引及學生實驗手冊。擬定綱要時特別留意(1)高中科學課程與國家教育宗旨及社會需要之配合。(2)高中科學課程各學科間的平衡及合理發展。(3)高中科學課程科際間的聯繫。(4)高中科學課程與國中及大學課程的前後銜接問題。

教材的編輯由研究教授與研究教師共同參與。現已編竣基礎數學、基礎科學、物理、化學、生物等教科書、教學指引及學生實驗手冊等供實驗學校使用。

(二) 實驗教學

民國六十九年七月，教育部指定中正國防幹部預備學校為高級中學科學課程實驗學校，從六十九年九月起在該校選十二班新生，從事新科學課程實驗教材的試驗教學。試驗教學的重點為：

1 實驗教材與我國教育宗旨之配合情況。

2. 實驗教材與社會需要之符合程度。
3. 實驗教材與同級其他學科之關係。
4. 實驗教材各分科間之配合情形。
5. 實驗教材與各類不同級學校相關學科教材間之銜接情況。
6. 實驗教材對學生認知結構發展之適宜性。
7. 實驗教材選材成分及其份量分配之合理性。
8. 實驗教材文字結構之可讀性。
9. 實驗教材圖表插畫之妥當性。
10. 實驗教材評量工具、教學器材及教學指引之實用性。
11. 實驗教材與現行相關教材在學習成就上之相對有效性。
12. 實驗教材在高級中學全面推廣之可行性。

在試驗教學前，調訓實驗學校教師，介紹實驗課程的精神、教材及教法。實驗過程中定期舉行教學觀摩及研討會，根據實驗班學生的學習成就，實驗教師對教材的評量意見，實驗班學生們的感受及意見等修訂實驗教材。本實驗教學每一年將進行兩個梯次，預定民國七十三年結束。

(三) 高中科學課程的特色

1. 新科學課程的教材是大學教授、中學在職教師及實驗班學生集體創作的成果。
2. 每科教材均經過兩個梯次的試教與修訂。
3. 教材的內容兼顧理論與實際，講解與實驗的密切配合，使學生能夠在學習中訓練科學方法，培養科學態度及發展科學概念。
4. 物理、化學、生物、地球科學從 2 年級開始平行發展，可依照學生的興趣與志願，以選修科目代替分組。
5. 高一設必修的基礎科學課程以提高高中全體學生的科學素養。
6. 高三數學依照學生志願可自由選修。
7. 各科新教材配合有詳盡的教學媒體、評量工具的製作及教材教法計畫。
8. 高一到高三的科學課程為一貫並銜接於國中科學課程。

(四) 高中課程標準的修訂

民國七十一年春天開始，教育部積極進行高級中學課程標準的修訂，數學及自然科學課程方面依照本中心所進行的模式，新課程標準預定民國七十三年學年開始全面試用，配合新課程的教師研習、教學媒體製作、評量工具、教材教法等計畫亦積極籌劃及進行中。大學聯招亦將以選考科目方式代替分組。

五、高級職業學校科學教育

高級職業學校由於分科多，科學教材的種類相當繁複，惟以現行課程來講，偏重於技術及專門科目而缺乏基礎科學課程。例如，高商並無自然科學課程；高工則缺少生物與地球科學，甚至於有些學科亦沒有化學的課程。七十年起，本中心進行各級職業學校數學及自然科學課程改進研究，利用問卷及座談會的方式先與實際從事教學工作的教師交換意見，溝通觀念；一面搜集資料，比較分析，擬訂基礎科學課程的教材大綱外，對各技職學校教育目標，各科課程亦積極研討中。

六、幼稚園科學教育

繼國小中高職高中科學課程實驗、研究、推廣之後，教育部為加強科學教育紮根，民國七十一年九月委交本中心辦理幼稚園科學教育實驗研究及推廣計畫，透過實驗研究、試教及修訂過程，編製適於我國社會所需幼稚園的科學課程教材、教具，以革新幼稚園科學教育。

本中心經邀請國內著名教育學者、心理學者、社會教育學者、科學教育學者及小學校長等十位，組成實驗研究指導委員會，由教育部國教司方炎明司長擔任委員會召集人，負責實驗研究工作計畫、指導、審議及評鑑等工作。指導委員會下由本校家政系附設幼稚園的教師、家政系同仁及本中心人員等十二名組成研究小組，由盧素碧園長為召集人，負責實驗教材的編寫，試教、修訂及教具的製作等工作。七十一年度的工作重點為：

- (1) 購置美國及日本等國出版有關幼兒科學教育的課程、教材、教具及期刊等，充實本中心教學媒體室，供給研究委員、指導委員及關心幼兒教育的教師、研究生、學生們參考及研究之用。
- (2) 分析、比較及研討美國及日本有關幼稚園科學教育資料的內容及在我國使用的可行性。
- (3) 編譯美國及日本幼稚園科學教育資料，做為編輯教材及我國關心幼兒科學教育學者、教師們的參考。
- (4) 編輯我國幼稚園科學教育實驗教材、教學指引及製作教具。
- (5) 以本校附設幼稚園大班的兒童為對象，從事實驗教學，根據實驗教學的結果修訂教材。

課程目標

幼稚園科學教育的目標在於使幼兒能夠更親近自然環境，啟發其研習科學的興趣與方法，培養愛護並探討自然界的態度，做為學習科學的基礎。

課程的哲學基礎

- (1) 幼兒教育的成功與失敗可決定其日後所扮演的角色，成功的幼兒教育可啟發並塑造其成為日後極有成就而貢獻才力給家庭、社會及國家的人。
- (2) 個人的發展是一種連續不斷的過程，但早期的發展却是整个人生的基礎，幼兒時期智力成長速度極快，在早期教育階段裏訓練兒童由其五官感覺周遭的世界以及使用正確的口語描述其經驗尤其重要。
- (3) 幼兒從有興趣的科學活動，學習解決問題的方法，以擴展領悟世界的能力。其目的並不是使

每一幼兒長大都成為科學家，而是協助他做為一個具有科學素養的現代公民。

結 論

國家經濟及國防建設的基礎是科技及人才。科技的基礎建立於應用科學及基礎科學上。感謝朱部長及教育部各位長官正確的領導，各級學校教師同仁們的努力，使我國在科學教育、科技教育及人才培育方面有輝煌的成果與無限的希望，為我國的科學教育往下紮根，向上發展，期能趕上歐美先進國家，建設三民主義富強康樂的中華民國。

中華民國七十一年十二月于科教中心

封面說明：

照片所示為熔岩自火山口溢出，沿坡流下的情形。熔岩流動的速度通常和它的黏性有關。基性熔岩（二氧化矽含量在 52 % 以下）黏度小，較易流動；酸性熔岩（二氧化矽含量在 66 % 以上）黏度大，不易流動。本照片拍攝於美國夏威夷島的冒納基亞火山附近，噴發物質屬基性玄武岩質熔岩，故流動相當迅速。（上圖）

火山爆發時，一團團的熔岩常被拋入空中，並在空氣中運動而形成紡錘形態，它們通常在抵達地面前即告固結，稱為火山彈。（下圖）

封底說明：

- 圖1. 熔岩如含有較多氣體，即可維持較長期間的液態，並較易於流動，因此緩慢冷卻固結而成的熔岩表面光滑而呈繩狀，稱為繩狀熔岩。
- 圖2. 倘若熔岩冷卻急速，表層已然固結而底層仍在流動，則可迫使表層岩塊龜裂成參差狀，表面粗糙，稱為塊狀熔岩。
- 圖3. 熔岩冷卻時，內部的氣體不斷散逸，產生氣泡。遍布氣泡的暗色基性火山岩稱為岩滓；遍布氣泡的淺色酸性火山岩稱為浮石。