

# 流水台的設計和科教功能

黃朝恩 國立臺灣師範大學物理系地科組

周紅美 臺北市立中山女子高級中學

## 一、前言

地形是自然環境的一部分。因此，學習地形的最好方法應該在野外，對大自然加以觀察、分析、歸納、印證。但鑑於經費、行政和管理等種種因素，野外地形教育並不是那麼容易實施，所以必須靠若干方法來彌補，例如：

1. 利用視聽教材（如幻燈片、電影、圖片）讓學生看到實景，增加印象。
2. 製作模型，瞭解各種地形的外觀和構造。
3. 進行實驗，收集數據，認識作用力的大小、構造的強度和地形形成的關係。

尤其是第三點，今日已成為各先進國家地形學者在研究地形時所採用的重要方法。大家都知道，自第二次世界大戰以來，地形學已進入了定量研究階段，國外著名的地質學系和地理學系中都設有「地形實驗室」，以利其教學與研究。當然，這裏所說的實驗，一方面指野外實驗（field experiment），例如在小集水域觀察水文和地形的現象、用放射物或螢光劑追蹤法測定海底砂礫移動、利用探針研究潛移的速率等，均可由此建立理論，找出自然律。另一方面則指室內實驗（laboratory experiment），例如粒度分析、岩石力學試驗等。

本文希望介紹的是一種實驗設備，也是室內實驗中常被採用的方法——那就是流水台（stream table）。它不但可以進行實驗，也可以模擬出各種地形，以利觀察，在教學上十分方便，因此筆者願意藉此機會作一介紹，希望這類活動，可以強化我們中學的有關地形學的教學，也可以作為科學展覽作品設計的參考。

## 二、流水台的由來

流水台是水工模型的縮影。所謂水工模型實驗（hydraulic model experiment），最早是水利工程師們在設計水利工程前的必經階段，後來才用到地形學的研究上。它的原理是模仿各處實際地形配置，製造了一些可以調整傾斜的流路，內鋪適當的砂礫，水量也可控制，由此可觀察變因改變時所發生的影響。由於科學發達，這種設施如今多用電腦控制它的操作，甚至觀測記錄，將地形學帶進精

確的計量化里程碑，由此獲得的經驗公式，有助於人類對自然界作種種的預測，確為解決地形上許多問題的簡捷方法。國內這種水工模型可以在水資會、興大水利工程系等少數機構看到，但規模都不算大。日本筑波大學水理實驗室有一座水工模型的水槽（flume）長達160 m，舉凡放水、換砂、調查坡度、照相、記錄等全部自動化。

不過，水工模型也有它的限制；它絕不能完全模擬自然界的特色，由於它是個模型，各種環境變數（如河流的寬度、深度、長度、河床的坡度、摩擦力、負荷粒徑或流量等），一定需要比例上的縮小，譬如，河道形態縮小了，但砂礫的大小、水量的大小、河床的摩擦力等，是否能完全按同一比例來縮小？這實在大有問題。也就是說，它最大的缺點在於比例關係不易採證（同時要處理那麼多要素之縮小）。

水工模型另一項缺點為占地廣大，整個設施造費昂貴，因此在教學上並不理想，在50年代末期美國推行地球科學教育時，乃有學者博朗（Brown, 1960）等將它簡化為流水台，代替使用，它的英文名字是Stream table，也可稱為河流實驗盤。更簡便的槽形裝置另可稱為流水槽（Stream trough）。

### 三、流水台的構造

實驗用的流水台有多種形式，最簡單的如圖1所示，它只是一個鑽有排水孔的塑膠製大盤。此型流水台常為美國中學地球科學課程中所採用。但由於該型流水台過於簡單，許多變因不易控制，先後有過多項的改良設計，例如美國的史瓦茲（Schwarz, 1963）和日本的鈴木（1970）均曾以新穎的構想，推出兩型新式的流水台，受到地學教育界重視。茲分述如下：

1. 史瓦茲式流水台（圖2）：先用上好的樅木製作木框（大小可配合需要），框分三段；上段為實驗時的灑水部分，長度稍大；中段稱樞軸部分，長度最短，其下方接縫靠合葉用螺絲門緊，因此，這部分可以上下自由活動，在實驗時有助於模擬一些橫互的小山脊；下段為排水部分，長度中等。

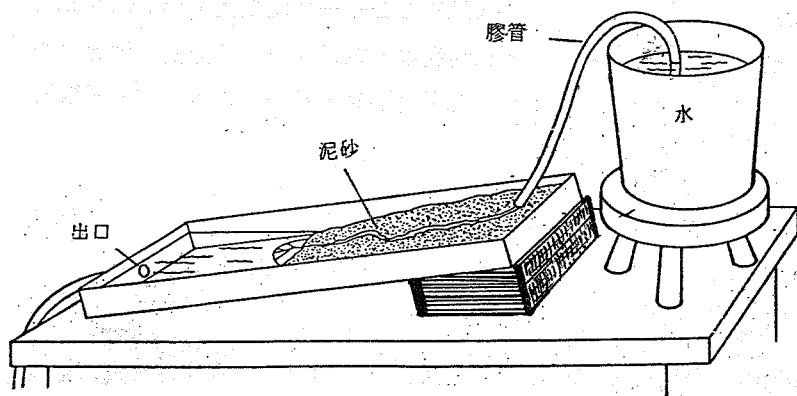


圖1 教學用流水台的構造圖(修正 I.S.C.S. 1972)

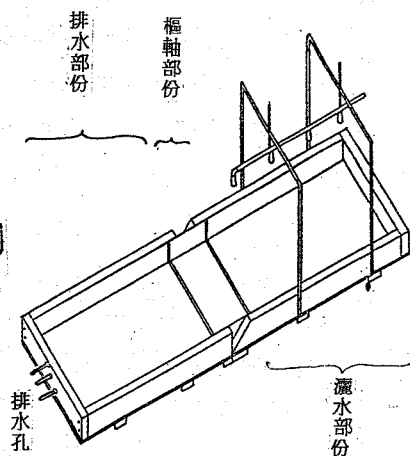


圖2 史瓦茲 (Schwarz) 式流水台的構造圖(修正史瓦茲, 1967.)

各部分木框釘牢後，其內襯以金屬薄板如防銹的白鐵片或鋁箔，並防止漏水的發生。

流水台基本架構完成後，木框下段之末端鑽三個排水孔；上、中、下各一，以提供高度不同之水位，其孔徑約為 3 cm，然後將三根防漏小管插入裝好。接著再依附圖裝固定噴灑裝置，各噴水口均接上蓮蓬頭，其通水管則藉塑膠水管與水龍頭相連，至此，流水台大致完成。

此外，實驗時還需要準備下列附件：a. 造波器（如玩具船之推進器）；b. 小型千斤頂（jack），以協助活動中樞軸部分之升降；c. 木塊若干，以墊置於流水台下方，形成所需比降；d. 泥沙礫石若干；e. 篩網一組。

2. 鈴木式流水台（圖 3）：這式流水台著眼點不在於觀察所模擬地形之表面特色，而在於其下方堆積物質及沈積構造之剖面，以期瞭解整個地形演變作用力之過程。故本裝置是狹長型，用無色壓克力板製成，更有透明之方格塑膠片貼在兩側，以利觀察記錄剖面的變化。至於其他構造，與上式流水台大同小異，可參考附圖，不再贅述。

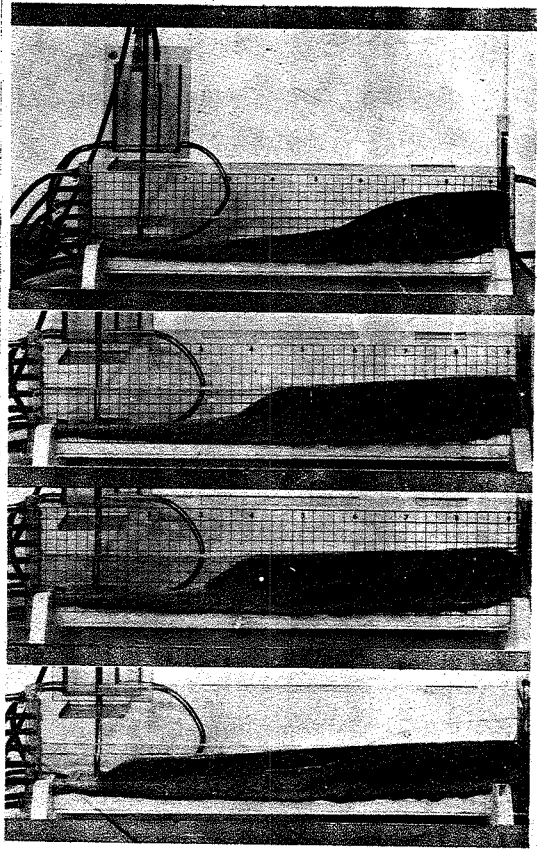


圖 3 鈴木式流水台的實驗過程（鈴木，1974 原圖）

#### 四、流水台的操作

使用史瓦茲式流水台時，先將兩塊  $5 \times 10$  cm 的木板墊在排水部分的下方，另外四塊木板墊在灑水部分的下方。由於高度調整，必須注意整個流水台的穩固性，接著，將灑水系統接上水龍頭，再把適當高度的排水管打開。操作時，通常約準備 200 公斤的細砂，將一部分填滿台中（亦可視狀況將細砂改為泥、礫等物質），其中一半放在上段，然後經過樞軸部分，連至下段。為便利上段之升降，另宜裝置一個千斤頂。

在進行實驗前，先配合所需之水位打開排水管，並試試輸水系統和噴灑裝置是否完善，然後，慢慢把砂堆徹底弄濕，將地形塑造成各種基本形貌。

流水台的維護也甚重要，每次實驗完，都應徹底清除砂泥，不過這些砂泥可以收集起來烘乾、篩分，以備下次使用。另外，金屬內襯宜不斷鬆漆翻新，而樞軸的合葉，也要至少每年更換一次。

## 五、流水台實驗舉隅

A. 流量與落差的關係：中學物理課程有一個實驗；用一奶粉罐在不同高度打一排孔洞，先用膠帶粘好，裝滿水，然後把膠帶全部撕掉，這時，水自每個孔洞射出的水遠近不一；愈上方的孔所流出的水愈慢愈少，愈下方的孔所流出的水卻噴得愈遠，這說明了水壓的特性。利用流水台或流水槽也可以證實這個理論，實驗後所得數據如表1所示，並製成圖4，以此可畫成散布圖和趨勢線，並求出迴歸方程式和相關係數，由此建立出一個理論，有助於日後的演繹和預測，結論是：落差大時，水流速度愈大。難怪同一棟房屋內，樓上的水流比樓下的水流來得弱些。

表1 流量與落差的關係表

| 落差<br>(m) | 流量<br>(c.c./sec) | 落差<br>(m) | 流量<br>(c.c./sec) |
|-----------|------------------|-----------|------------------|
| 1         | 285              | 6         | 976              |
| 2         | 460              | 8         | 1180             |
| 3         | 622              | 10        | 1388             |
| 4         | 729              | 15        | 2105             |
| 5         | 850              | 20        | 2797             |

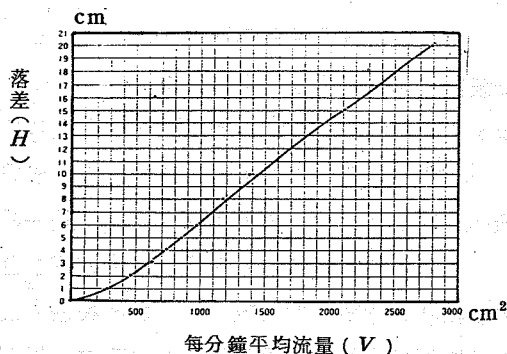


圖4 流量與落差的關係

B. 影響流水速度的因素：這項實驗的步驟可以由圖5右上方附圖看出。筆者曾就比降(S)這個變因，先後做了8個不同試驗，分別是1比40，1比20，1比13.3，1比10，1比8，1比5.33，1比4及1比3.33等，每種比降做了3次，再求其平均值，結果如表2及圖5a所示，由圖觀之，比降愈大，流速愈快，而且有一定之正指數函數之關係( $x = ay^b$ )。

其次，再控制其他變因，分別試驗了三種不同流量(Q)，發現流量愈大，流速也愈快，可由表

表2 比降和流速的關係表(流量：10 c.c./sec；河床：平滑)

| 比降             | 流 80 cm 所需的平均時間(秒) | 流 速 (cm/sec) |
|----------------|--------------------|--------------|
| 0.025 (1/40)   | 3.49               | 22.92        |
| 0.05 (1/20)    | 2.47               | 32.39        |
| 0.075 (1/13.3) | 2.07               | 38.65        |
| 0.10 (1/10)    | 1.86               | 43.01        |
| 0.125 (1/8)    | 1.64               | 48.78        |
| 0.188 (1/5.33) | 1.50               | 53.30        |
| 0.25 (1/4)     | 1.39               | 59.70        |
| 0.3 (1/3.33)   | 1.19               | 67.23        |

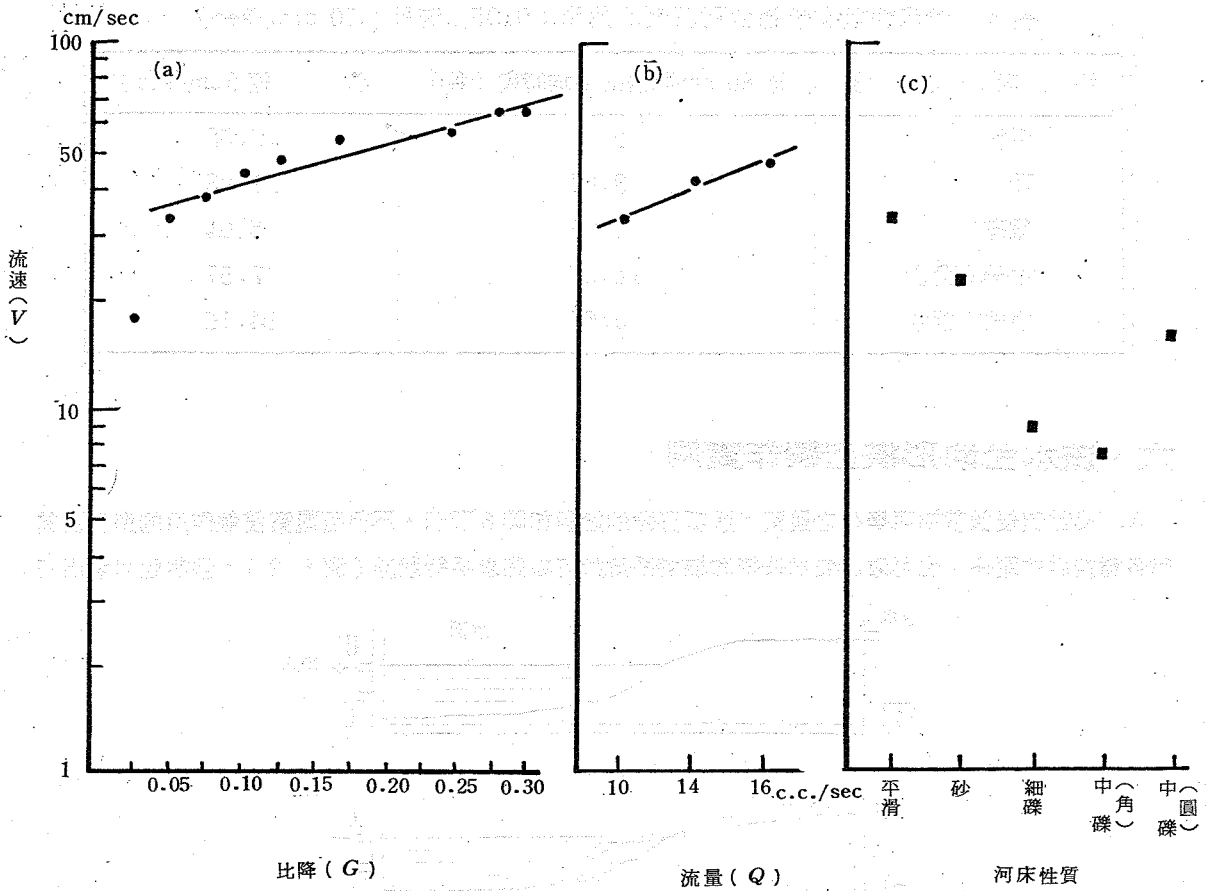


圖 5 流速與比降、流量和河床性質的關係

表 3 流量和流速的關係表 (比降: 0.05 ; 河床: 平滑)

| 流 量 (c.c./sec) | 流 80 cm 所需的平均時間 (秒) | 流 速 (cm/sec) |
|----------------|---------------------|--------------|
| 10             | 2.47                | 32.39        |
| 14             | 1.90                | 42.11        |
| 16             | 1.67                | 47.90        |

3 及圖 5 b 看出。

C. 至於河床性質，分別將流水槽鋪以砂、細礫、中礫（角）、中礫（圓）等物質，以與無堆積物的河床相別，結果平均流速分別為 22.0，8.9，7.6，14.2 和 32.4 cm/sec，可見摩擦力（ $F$ ）對水流速度的影響力，而粒徑愈大，流速受阻愈明顯。另外，圓磨度大的礫石中，流速遠較圓磨度小的為大，亦屬一項新發現。（參看表 4 及圖 5 c）

由此可以印證  $V \propto \frac{S \times Q}{F}$  的關係公式。

表 4 河床性質和流速的關係表 ( 比降 : 0.05 , 流量 : 10 c.c./sec )

| 河 床 性 質  | 流 80 cm 所需的平均時間 ( 秒 ) | 流 速 ( cm/sec ) |
|----------|-----------------------|----------------|
| 平滑       | 2.47                  | 32.39          |
| 砂        | 3.64                  | 21.98          |
| 細礫       | 8.95                  | 8.94           |
| 中礫 ( 角 ) | 10.57                 | 7.57           |
| 中礫 ( 圓 ) | 5.65                  | 14.16          |

## 六、流水台地形模型製作實例

A. 侵蝕與侵蝕基準面變化之觀察：這項實驗的過程如圖 6 所示，不但可觀察侵蝕作用的進行及其與各種控因的關係，也可看出侵蝕系統和堆積系統如何在謀求平衡狀態 ( 圖 6.2 )，當然也可看出三

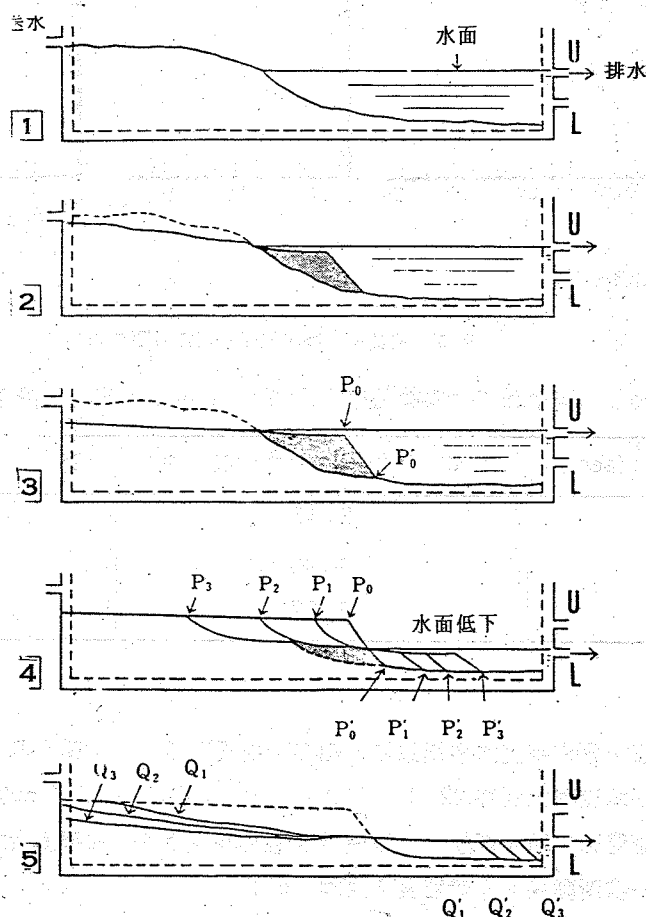


圖 6 侵蝕基準面變化的觀察 ( 鈴木 1974 , 原圖 )

角洲的形成（圖 6.3），並且在水面下降，侵蝕基準面上升後，看到三角洲相對隆起，產生一個明顯的遷急點（圖 6.4），不過，因為回春作用，侵蝕復活，結果在繼續不已的侵蝕作用下，遷急點卻節節後退，而新水面下的堆積性地形則步步推向前方。最後，當水面上的地形面在蝕夷作用下變得平緩無比時，水面下方的地形亦因積夷作用而變得幾乎同樣平坦（圖 6.5），於是整個流水台中的地形面幾無高低之分。由此可以指導學生瞭解均夷作用的意義。

這項活動如能採用鈴木式流水台，更可在旁側仔細測量出在地形變化各種過程中，侵蝕、堆積兩部分在面積比例上的演變，由此建立理論。

#### B. 各種小地形的模擬：

1. 沖積扇（參見圖 1、圖 3）：流水台上段之沙泥上方塑造一條河道，河道末端做一個崖，崖下是平原，而後慢慢進水，不久即可在崖下產生沖積扇，注意扇的形態、坡度和河床的不斷變化特色。
2. 瀑布（圖 7）：沙堆下放置三塊粘土搓成的粘土板，其上方劃出一條河道，在河流不斷侵蝕下，終於在粘土板末端形成瀑布，其高度不斷增加，如粘土板不太硬，還可看到瀑布的後退。
3. 海階：將流水台放平，沙堆如圖 1 自然下降，接著在另一端放置的水中放入造波器，製造波浪，未幾即可看到海蝕崖和海蝕台的出現，再來放水使水面下降，代表海準變動，此時，原有海蝕台隨即變為海階。
4. 斷層：將 Schwarz 式流水台照原來狀態放置，其上沙堆鋪成廣大的高原狀，並加壓緊，灑少量水使沙粒半乾濕，沙堆中心在樞軸部分之上。其後，以千斤頂緩緩將樞軸部分舉起，即可產生正斷層。如將下段斜斜推至上段上方，則有逆斷層。
5. 冰河地形：先在冰箱冰凍一長盤水備用，水中放置一段彎曲金屬片，使冰塊隔成兩半，然後

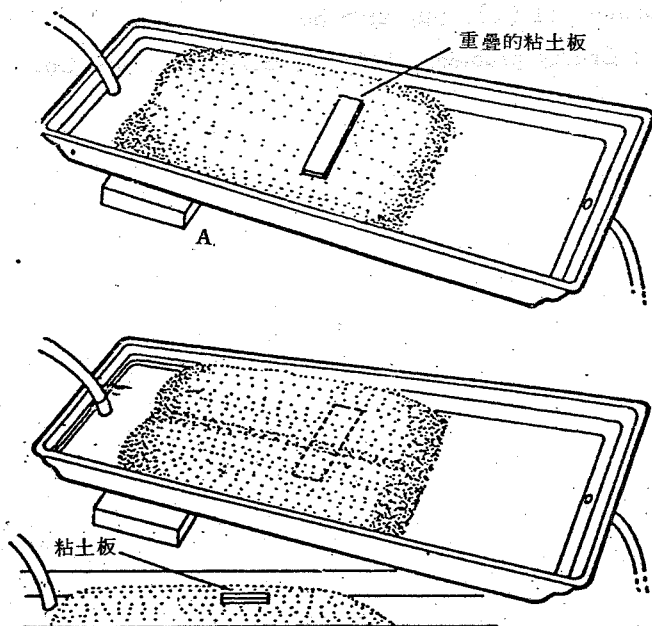


圖 7 瀑布模型的製作（修正 I.S.C.S.，1972）

把冰塊放在沙堆上早已塑成的U形谷中，彎曲接口稍加隔開，冰塊邊與谷側緊密相接，冰塊上再鋪上沙層，此時，用水管把上層沙沖入谷側，冰塊接縫及冰塊末端；待冰融後，即可觀察到各種冰積地形。其他冰河地形也可以仿效此法加以設計。

## 七、結 語

也許有人認為，小孩子玩泥沙是件沒有意義的活動，既學不到東西，又會弄髒衣服，但從上述的實驗看來，玩泥沙還真有不少學問呢！泥沙只要玩得其法，可讓我們看到地形的演變經過，甚至可以收集數據、分析歸納、與野外印證，更可建立假說，這也是實驗地形學的目的。筆者相信流水台能寓教育於遊戲，讓學生從實驗中學習，完全符合目前科學教育的宗旨，盼望大家在編寫教材和進行教學時列為必備項目。 □

## 八、參考文獻

1. 鈴木康司(1974)：流水のはたらきの實驗法，12 pp. 東京都立教研所。
2. 師大科教中心(1978)自然科學Ⅱ第三冊：pp. 58~60；第四冊，pp. 45~70。
3. Brown, W. C. (1960)：Classroom stream table, *Journal of Geological Education* 8 (2), pp. 63~64。
4. Schwarz, M. C. (1967)：Stream table development of glacial landforms, *Journal of Geological Education*, 11 (1), pp. 29~30.
5. I. S. C. S. (1972)：Crusty problem, 116 pp, Silver Burdett Co.