

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：滾石的玄機

一、摘要：

我們從河邊和海邊撿拾了不同外形的石頭，分別讓它們直接從斜坡滾下和被流水沖刷，分析不同的情況下石頭的外形對搬運作用的影響。研究結果發現，當石頭從山坡滾落和被流水沖刷時，球度都是影響移動的重要因素。如果是石頭從山坡滾下，球度愈大，滾得愈遠；但是在被河水沖刷的情況下，球度愈大反而愈不容易被流水搬動。

二、探究題目與動機

河流在流動過程中，會不斷地將河道中的碎屑物質往下游輸送。顆粒較小的泥土、沙子等物質會在流水中以「懸浮」的方式前進，但顆粒較大的礫石就只能以「滾動」、「跳動」、「滑動」等方式逐漸往下游推移。在國小的課本中，我們學習過石頭的顆粒大小會影響搬運作用的進行，顆粒小的石頭比較容易被搬運。但是我們在河邊活動時，也會發現河邊的石頭具有球形、扁形、長條形不同的外形，我們很好奇：「這些石頭的外形會影響石頭被往下游搬運的機率嗎？」

透過資料的查閱，我們得知除了體積大小、重量之外，一顆石頭的外形還可以用**球度**、**扁度**和**圓度**等資料進行描述：

(一)球度：是指石頭接近球形的程度，計算公式為

$$\frac{3}{4}(\text{寬} \times \text{高} / \text{長}^2)$$

(二)扁度：是指石頭的形狀的扁平程度，計算公式為

$$(\text{長} + \text{寬}) / 2 * \text{高}$$

(三)圓度：石頭外表光滑的程度，以右圖 1 的圓度判斷表進行判斷。

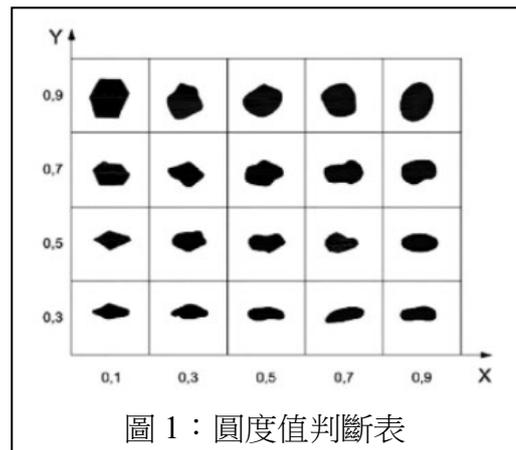


圖 1：圓度值判斷表

三、探究目的與假設

(一)目的：探討石頭的外形對搬運作用的影響

(二)探究假設：除了石頭的顆粒大小外，石頭的外形也會影響石頭能夠被搬運的機率和被搬運的距離，影響因素包含了球度、扁度和圓度。

四、探究方法與驗證步驟

(一)探究方法：我們的探究過程分為三個階段：

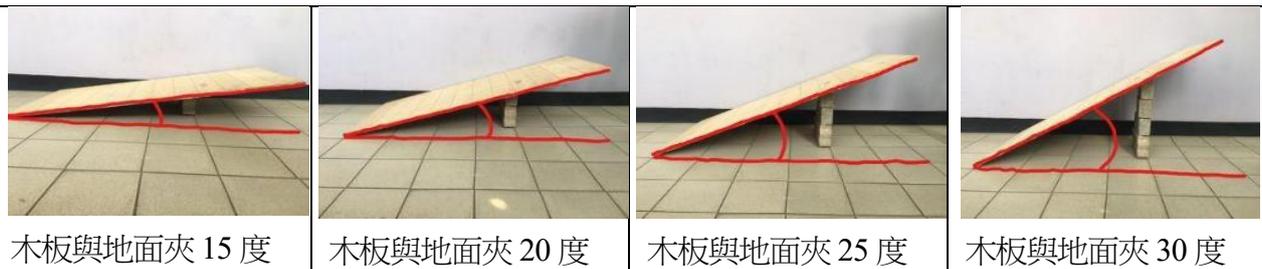
1. 階段一：在河邊和海邊撿拾不同外形的石頭，分別編號、秤重，並測量每一顆石頭的長、寬、高，換算成球度、扁度和圓度值。

註：在本研究為了將圓度量化處理，便以圓度表中 X 軸數值與 Y 軸數值的乘積作為石頭的圓度值。例如圖中圓度值 X 軸 0.9，Y 軸 0.9 的石頭，在本研究中圓度值即紀錄為 0.81(=0.9*0.9)。

2. 階段二：觀察測量石頭在不同坡度上的滾動情形：

- (1) 利用磚頭和木板來模擬不同坡度的山坡(表 1)，並在木板上標示刻度，用來判斷石頭滾動距離。
- (2) 每一次都將石頭放在模擬河道上以最有利之滾動角度滾下，紀錄石頭的滾動時間，或失敗的滾動距離，每 1 顆石頭在不同坡度下分別滾動 5 次，紀錄成功完成滾動的次數、成功完成滾動所需的時間、未成功完成滾動時實際滾動的距離。總計完成 43 顆石頭的滾動實驗。
- (3) 以統計軟體分析石頭在不同坡度山坡上的滾動結果。

表 1：階段二實驗中不同河道坡度的設置



3. 階段三：觀察測量石頭在不同坡度河道上被流水帶動的情形：

- (1) 利用磚頭和木板來模擬河道及不同坡度，並在河道的後方架設排水裝置。排水裝置是將兩個保麗龍箱子相疊，上方的保麗龍箱子底部鑽洞，使水量能緩慢且均勻的落入下方的保麗龍箱子中，並在下方保麗龍箱子開一個長方形的出水孔，讓水能均勻地流至木板上方。
- (2) 每一次都固定將 1 個水桶的水量倒入排水裝置，讓水流沿著木板流下，並帶動安排在木板頂端的石頭。
- (3) 觀察並紀錄所有石頭在 3 種不同坡度河道之滾動距離。總計完成 43 顆石頭被流水帶動的實驗。
- (4) 以統計軟體分析石頭在不同坡度河道上被流水帶動的情形的滾動結果。

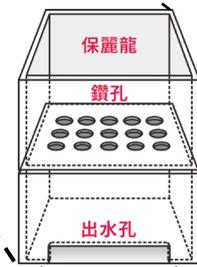


圖 2：實驗二裝置

圖 3：排水裝置

(二)探究結果：

1. 石頭在不同坡度山坡上的滾動情形

- (1) 從我們實驗結果大致可以看出：
 - 石頭在坡度大的木板上滾動時，成功滾到木板下方的機率較高。
 - 重量愈重、扁度愈大的石頭，成功滾動到木板下方的機率也會愈小。
 - 球度、圓度愈大的石頭，成功滾動到木板下方的機率也愈大，且所需要的平均時間愈短。

(2) 然而，因為我們的實驗中，每一顆石頭都具有不同的重量、球度、扁度和圓度值，所以僅分析每一個不同變因的成功完成率、平均滾動時間是不夠理想的。因此我們改用統計軟體 SPSS 27.0 版，去統整所有變因，

相關性	球度	扁度	圓度值	重量
球度	1	-.70**	-.25	-.12
扁度			.43**	.12
圓度值				.34*
重量				

** . $p < 0.01$; * $p < 0.05$

以推論出在不同坡度的狀況下，石頭的外形對成功完成率、平均滾動時間的影響。分析結果如下：

- 以皮爾森相關性可得知變因之間相關：結果發現：
 - i. 石頭的扁度愈大，球度會愈低，相關係數為 -0.70；扁度愈大，圓度值也會愈低，相關係數為-0.43，均達顯著水準。
 - ii. 分析結果也顯示，本研究所選用石頭的重量和圓度值也達到顯著相關。
 - iii. 顯示**石頭的球度、扁度、圓度值、重量會互相影響，不能視為獨立的變數。**
- 以皮爾森相關性來考驗不同坡度下，各個應變變因之間的關係，結果發現：
 - i. 在木板坡度 20 度時，成功率愈高的石頭，平均滾落的時間也會愈短，相關係數為 -0.51(達顯著水準)。
 - ii. 石頭在坡度 20 度與坡度 25 度滾動表現相近，且與坡度 15 度和 30 度的表現情形有所差異。
 - 每 1 顆石頭在木板坡度 20 度與木板坡度 25 度時的成功率達顯著相關，相關係數達 0.76(達顯著水準)。
 - 每 1 顆石頭在木板坡度 20 度與木板坡度 25 度時的平均滾落時間達顯著相關，相關係數達 0.74(達顯著水準)。
- 以**重量、球度、扁度和圓度值**作為變因，以線性回歸來預測石頭成功滾動到木板下方的成功率和平均滾落的時間。我們選取所有的預測模式中，解釋力最強且預測變數最為精簡的，迴歸分析的結果發現：
 - i. 在坡度為 20 度時，預測石頭滾落木板時間時：線性回歸方程式具有 0.43 的解釋力。

$$\text{平均滾落的時間(秒)} = -1.8 * \text{球度} - 0.9 * \text{圓度值} - 0.1 * \text{扁度} + 3.73(\text{常數項})$$

- ii. 在坡度為 20 度時，預測石頭完全滾落木板的成功率：得到的線性回歸方程式具有 0.54 的解釋力。

$$\text{成功率} = 2.3 * \text{球度} + 0.5 * \text{圓度值} + 0.1 * \text{扁度} - 1.2(\text{常數項})$$

iii. 在坡度為 25 度時，預測石頭滾落木板時間：得到解釋力達 0.26 的迴歸方程式。

$$\text{平均滾落的時間(秒)} = -0.9 * \text{球度} - 0.2 * \text{扁度} + 2.2(\text{常數項})$$

iv. 在坡度為 25 度時，預測石頭完全滾落木板的成功率：得到的線性回歸方程具有 0.50 的解釋力。

$$\text{成功率} = 1.4 * \text{球度} + 0.8 * \text{圓度值} - 0.1 * \text{扁度} - 0.2(\text{常數項})$$

v. 以上結果顯示石頭從 20 度和 25 度的山坡滾落時，滾落時間和滾落成功率較會受到石頭外形的影響，且與重量無關。**石頭外形影響力的大小大致是球度 > 圓度值 > 扁度。**

vi. 但是當坡度為更大的 30 度或更小的 15 度時，球度、圓度、扁度與重量無法用來預測石頭的平均滾動時間以及成功率。

2. 石頭在不同坡度河道上被流水帶動的情形

(1) 從我們實驗結果大致可以看出：

- 石頭放在 25 度斜坡上的時候，很容易被流水帶動而離開原處，43 顆石頭中約有 32.6%，每一次都會有移動的現象；僅有 9.3% 的石頭完全不會移動。
- 但是當石頭被放置在 20 度的斜坡上時，每一次都會有移動的現象的石頭比例大幅降至 4.7%，完全不會移動的石頭比例上升到 25.6%。
- 當斜坡坡度降至 15 度時，同樣的水量僅能讓其中 8 顆石頭發生些微移動。顯示坡度的改變對石頭能否被流水帶動影響很大。為了能比較在 15 斜坡上，石頭外形對搬運作用的影響，因此決定增加水的流量。讓每單位時間從保麗龍盒流出的水量約變成 2 倍，圖 4 中 15 度斜坡的數據就是加大流量後的實驗結果。

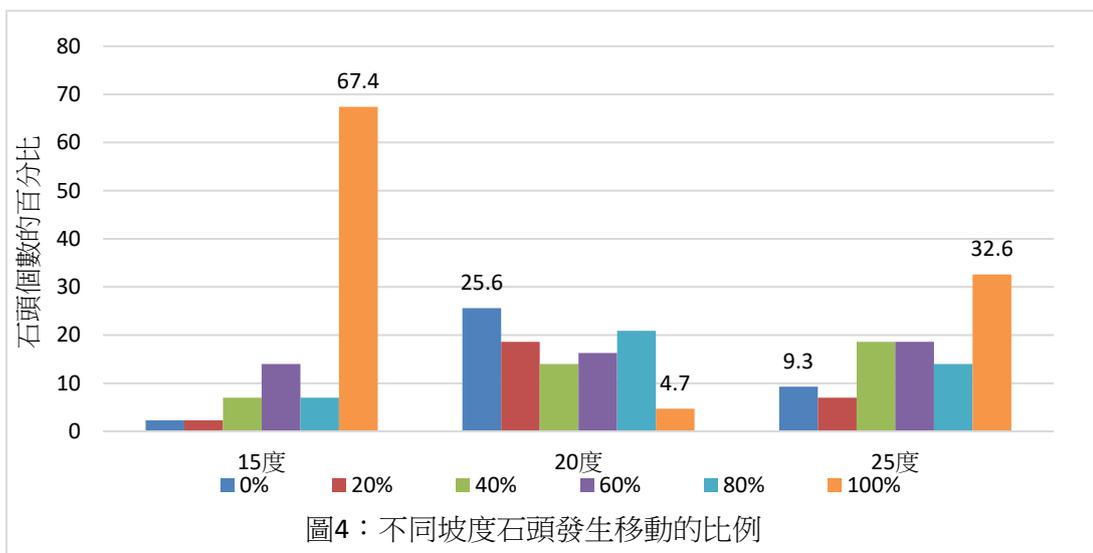


圖4：不同坡度石頭發生移動的比例

(2) 以皮爾森相關性來檢定球度、扁度、圓度值、重量等因素和石頭是否容易被流水搬運。結果發現：球度小、圓度值小、重量小都可能是石頭容易被流水搬運的原

因，但石頭的扁度卻幾乎不會有顯著的影響。換言之，根據我們的實驗結果，比較不接近球形、外表凹凸不平、且重量輕的石頭較容易被流水搬運。

(3) 因為石頭的外形球度、扁度、圓度值等數值之間會彼此影響，所以僅用相關性來探討並不完整。我們使用統計軟體 SPSS 27.0 版，以重量、球度、扁度和圓度值作為變因，以線性回歸來預測石頭被流水搬運的成功率以及搬運的距離長度。迴歸分析的結果發現：

- 在坡度為 25 度時，預測石頭成功被搬運離開原處的機率時，解釋力最好的迴歸模式具有 0.26 的解釋力(達顯著)。其中球度和重量的影響比重較大。

$$\text{搬運成功率} = -116.9 * \text{球度} - 0.1 * \text{扁度} - 26.2 * \text{圓度值} - 0.8 * \text{重量(公克)} + 167.3 (\text{常數項})$$

- 當坡度為 20 度和 15 度時，將球度、圓度值、扁度和重量全部選入，所得到的線性回歸方程式，僅分別具有 0.14 和 0.10 的解釋力，並未達到統計的顯著水準，顯示在坡度較小的情況下，石頭的重量和外形並無法有效預測石頭被搬運的情形。
- 以上分析的結果顯示，在 25 度的斜坡下，石頭是否能被流水的搬運會同時受到石頭外形與重量的影響，但在更小坡度的情況下，石頭的被搬運機率就與石頭外形等因素無顯著關聯了。
- 在坡度為 25 度時，預測石頭被搬運的距離時，解釋力較好，且較精簡的迴歸模式具有 0.26 的解釋力。

$$\text{石頭被搬運的距離(cm)} = -127.2 * \text{球度} - 1.7 * \text{重量(公克)} + 177.8 (\text{常數項})$$

- 在坡度為 20 度時，在預測石頭被搬運的距離時，較精簡且達顯著的迴歸模式是以僅以球度進行預測，所得到的線性回歸方程式具有 0.1 的解釋力。

$$\text{石頭被搬運的距離(cm)} = -72.9 * \text{球度} + 79.4 (\text{常數項})$$

- 在坡度為 15 度時，在預測石頭被搬運的距離時，較精簡且達顯著的迴歸模式是以排除法選入球度，所得到的線性回歸方程式具有 0.1 的解釋力。

$$\text{石頭被搬運的距離(cm)} = -15.6 * \text{球度} + 16.6 (\text{常數項})$$

- 以上分析的結果顯示，在 25 度的斜坡下，石頭被搬運的距離會同時受到石頭球度和重量的影響，球度愈小，重量愈小時，被搬運的距離會愈長。但在更小坡度的情況下，石頭的被搬運的距離就只和球度有較明顯的關係球度愈小，被搬運的距離會愈長。

五、結論與生活應用

(一)結論：

我們從河邊和海邊撿拾了不同外形的石頭，比較石頭直接從斜坡滾下和被流水沖刷的二種不同情況下，石頭的球度、扁度、圓度值以及重量對石頭成功移動與移動距離的影響。

根據我們的實驗結果發現石頭的外形會影響石頭直接從山坡滾落和石頭被流水帶動的機率，但影響方式並不相同。石頭直接從山坡滾落時，愈接近球形、表面愈平滑的石頭愈容易滾落。但，在被流水帶動的情況下，球度愈小、重量愈小的石頭會較容易被流水搬運。

1. 石頭從坡度較陡或較平緩的山坡滾落時，石頭的外形並不會造成明顯的影響。但山坡坡度在 20 度和 25 度時，石頭的滾落時間和滾落成功率較會受到石頭外形的影響。且影響力的大小大致是球度 > 圓度值 > 扁度 > 重量。大致上為球度愈大、圓度值愈大、扁度愈小的石頭，愈容易從山坡上滾落。與石頭的重量關係並不明顯。
2. 在 25 度的斜坡下，石頭是否能被流水搬運會同時受到石頭球度和重量的影響，球度愈小、重量愈小愈容易被搬運。
3. 在 20 度或 15 度的斜坡下，石頭的被搬運機率就與石頭外形等因素無顯著關聯了。但球度愈小的石頭，能被搬運的距離也會較遠。

(二)生活應用：

1. 由文獻資料得知，河流搬運石塊的方式包括了推移和躍移兩種。我們觀察到球度較小的石頭就容易發生被推移的現象，且能藉由水的帶動在水流中持續向前移動。
2. 除了重量之外，石頭的外形也會影響石頭被搬運的容易程度，綜合來看，球度的影響最大的。從在河邊打水漂的經驗知道，在打水漂的時候，我們會盡量挑選扁平的石頭。因為較接近球形的石頭，容易直接落入水中。研究結果也發現，球度大的石頭不僅較難被流水帶動，即使帶動了也只能移動一段距離。

參考資料

1. 河流作用。2022 年 2 月 28 日取自
<http://ihouse.hkedcity.net/~hm1203/hydrosphere/river-work.htm>
2. 蔡卓忻、林昱安、施中右 (2011) 水漂的物理現象之研究。臺灣國際科展作品