

作品名稱：太魯閣重點地形探索

國中組 地球科學科 第三名

縣市：花蓮縣

作者： 林育嫻、蔡芳琪

梁詠翔

校名：花蓮縣立國風國民中學

指導老師： 鄒玉鈿、呂欽裕

關鍵詞：河階地形、u 型峽谷



一、研究動機：

假日時，父母帶我去太魯閣遊玩，父親不時為我介紹：「這兒叫布洛灣，是河階地形、這是曲流、這是 U 型河谷.....這一切都是由立霧溪切蝕、堆積而來。」不過我十分懷疑：一條小小的溪流怎能雕塑出如此壯觀的景象？何況，太魯閣內岩層大部份為堅硬的大理岩及片麻岩，若只靠溪水的沖刷，真能造成如此深的河谷？而高聳的布洛灣、西寶河階又是如何成形？爲了更清楚知道太魯閣地形的形成概況，於是便試著設計一些實驗來探討。

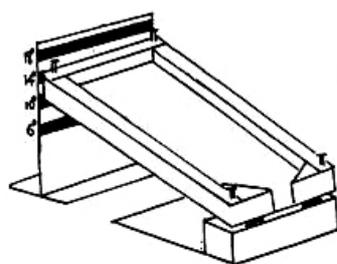
二、研究目的：

- 1.探究太魯閣國家公園內燕子口至岳王亭間的 U 型峽谷及岳王亭後到天祥間開闊的 V 型峽谷的成因。
- 2.觀察、分析在不同流量、坡度的情況下，曲流及河階地形的形成概況。

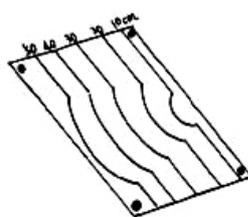
三、研究設備及器材：

野外：相機、筆、採集袋（註：太魯閣國家公園內岩石皆禁止採集！此爲採集他處與太魯閣國家公園內類似的岩石用）、記錄表格、直尺。

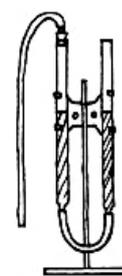
室內：簡易流水臺（如圖一：螺絲釘、鐵釘、木板、木條、後扣、silicone）、自製曲率板（如圖二：木板、鐵釘）、簡易連通管（如圖三：滴定管、橡皮管、塞子、玻璃管）、電子天平、泥土、細沙、碼錶、水槽、量筒、直尺、燒杯、稀鹽酸、燒瓶、鋼鋸、各種岩塊、大理石板、Y 型接頭、水源（自來水）、抹刀。



圖一：簡易流水臺



圖二：可裝置於流水臺之自製曲率板



圖三：簡易連通管

四、研究過程及方法：

（一）研究方法：



實地勘察範圍：太魯閣閣口至天祥間立霧溪主流兩岸。

（二）實地勘察：

- 1.地形勘察：略

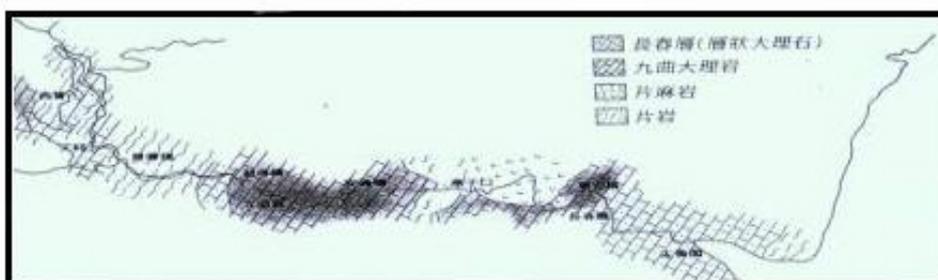
2.地質勘察：



照片一:天祥雅暉橋前的天祥片岩層.



照片二:長春橋旁的長春層大理岩.



太魯閣峽谷岩層示意圖 (取自太魯閣國家公園 問山問水78問 漢聲雜誌社)



照片三: 九曲洞附近的九曲大理岩層.



照片四:溪畔附近的片麻岩層.



照片五:進入燕子口前,河床上暴露大理岩與片麻岩的岩層界限.

(三) 假設：根據資料及考察結果得知，影響河谷發育的主要因素大致有：水流侵蝕、氣候、岩性、氣候、位置、地殼變動.....等。我們在實際考察及討論，綜合種種因素後，有了以下假設：

1. 陡峻的 U 型峽谷地形應和大理岩特殊岩性有關。
2. 今日高聳河階地形的形成，是由於地殼變動使原有地形抬升作用有關。
3. 天祥多層河階的形成應和不同時期的水流流量有關。

(四) 實驗驗證：

實驗 1：探討太魯閣國家公園內以岳王亭間為分界的 U、V 型峽谷的成因。

實驗 1-1

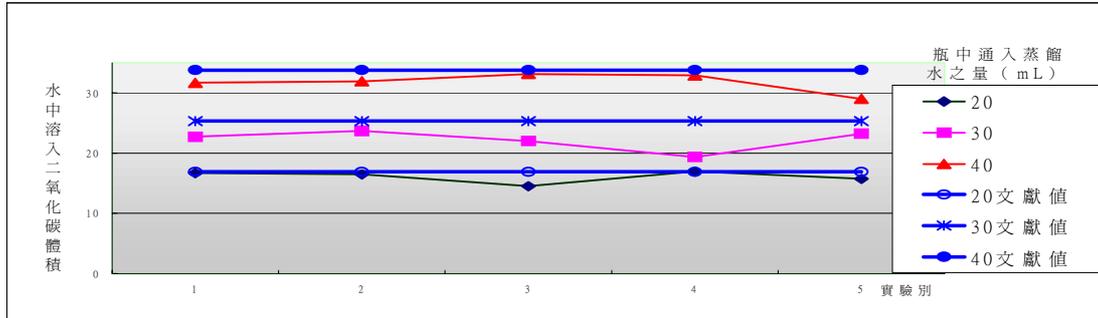
- (1) 實驗目的：證實水中是否可溶入二氧化碳。
- (2) 實驗器材：連通管、碼錶、水槽、量筒、稀鹽酸、燒瓶、大理石塊。
- (3) 實驗原理：

(ㄅ) 以稀鹽酸和大理岩作用，產生二氧化碳以供實驗之用。其方程式如下： $2\text{HCl}_{(aq)} + \text{CaCO}_{3(s)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(aq)} + \text{CaCl}_{2(s)} + \text{CO}_{2(g)} \uparrow$ 。

(ㄨ) 由氣體狀態方程式 (PV=NRT) 得知：當溫度固定時，分子莫耳數和壓力與體積的乘積成正比關係。

(4) 實驗裝置、實驗過程：略

(5) 實驗結果：如表一



表一：水中溶入二氧化碳的量之曲線圖

(6) 討論：實驗證實水中確實會溶入二氧化碳氣體，使水溶液呈現弱酸性，而易於與碳酸鈣反應。

實驗 1-2

(1) 實驗目的：探討太魯閣國家公園內各種常見岩石與稀鹽酸作用的情況。

(2) 實驗器材：100mL 燒杯 40 個、岩石、電子天平、量筒、稀鹽酸。

(3) 實驗原理： $2\text{HCl}_{(aq)} + \text{CaCO}_{3(s)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(aq)} + \text{CaCl}_{2(s)} + \text{CO}_{2(g)} \uparrow$

(4) 實驗過程：

(ㄅ) 配製 0.5M、0.1M、0.05 M... 等各種濃度的稀鹽酸，並倒入燒杯中。

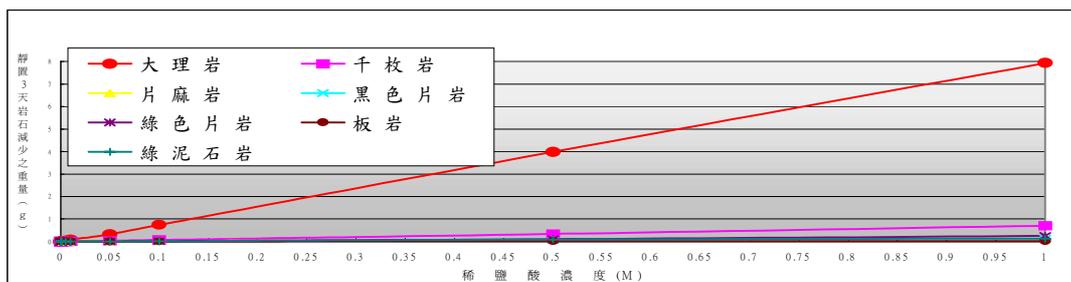
(ㄆ) 將大理岩及其他岩石敲碎，各取 10 小片烘乾後，秤重並記錄之。

(ㄏ) 將記錄完畢的各種岩石放入盛有各種濃度稀鹽酸的燒杯中，靜置 3 天後，將岩石再取出烘乾、秤重並記錄之。

(5) 實驗結果：如表二 (a)、二 (b)

稀鹽酸濃度	大理岩	千枚岩	片麻岩	黑色片岩	綠色片岩	板岩	綠泥石岩
	靜置 3 天岩石減少之重量 (g)						
1.0M	7.933	0.702	0.138	0.136	0.253	0.016	0.131
0.5M	3.984	0.339	0.077	0.070	0.106	0.010	0.092
0.1M	0.738	0.075	0.026	0.012	0.017	0.004	0.016
0.05M	0.321	0.032	0.011	0.008	0.009	0.001	0.005
0.01M	0.079	0.008	0.010	0.001	0.002	0.002	0.001
0.005M	0.032	0.003	0.004	0	0.001	0	0
0.001M	0.007	0.003	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001
0.0005M	0.005	0.001	0.001	0	0	0	0
0.0001M	0.001	0	0	0	0	0	0
0.00001M	0	0	0	0	0	0	0

表二 (a)：各種常見岩石與不同濃度稀鹽酸作用後減少的重量



表二 (b)：各種常見岩石與不同濃度稀鹽酸作用後減少的重量之曲線圖

(6) 討論：

(ㄅ) 我們知道石灰岩形成後，若同時受地熱與強大壓力的影響，原組成石灰岩的碳酸鈣會進行再結晶作用，而成今日所見的大理岩。故得知：大理岩的組成是碳酸鈣，所以較他種岩石易溶於稀鹽酸。

(ㄆ) 由實驗可看出：各種岩石投入稀鹽酸溶液後，減少的重量大致和稀鹽酸濃度成正比，亦即稀鹽酸濃度越大，岩石減少的重量越多。

實驗 1-3

(1) 實驗目的：觀察太魯閣內常見岩石的破碎情況並比較硬度。

(2) 實驗器材：鋼鋸、大理岩、片麻岩、綠色片岩、千枚岩、板岩。

(3) 實驗過程：以鋼鋸切鋸各種石塊來回 100 次，觀察石塊的破裂面及鋸下的碎屑。之後將各種岩石互相刻劃，比較硬度大小關係。

(4) 實驗結果：

(ㄅ) 大理岩：硬度明顯大於板岩、千枚岩及綠色片岩；在鋼鋸切鋸下，可鋸出一條均勻深度的溝道，且溝道兩側沒有崩塌現象；在切鋸出的碎屑方面，呈現均勻的粉末狀。

(ㄆ) 片麻岩：硬度大於大理岩；切鋸時，有崩塌現象發生，最後鋸出一條崎嶇的溝道；鋸出的碎屑，有細小石塊與粉末夾雜。

(ㄏ) 板岩、千枚岩：硬度略大於綠色片岩；鋼鋸切鋸下，有片狀碎屑延節理剝落；鋸出的碎屑，有少量片狀石塊與粉末夾雜。

(ㄉ) 綠色片岩：硬度為五者中最低的，用手即可將片岩延破裂面撥開；切鋸時，大量片狀碎屑延節理剝落。

(5) 討論：大理岩硬度明顯大於板岩、千枚岩及綠色片岩，且大理岩在鋼鋸切鋸下，溝道兩側沒有崩塌現象，碎屑呈現均勻的粉末狀，由此可見其膠結的緊密。由太魯閣岩層示意圖可看出舉世聞名的 U 型峽谷位於九曲洞、燕子口間，其岩層是大部分九曲大理岩層及些微的片麻岩為主。故猜測 U 型峽谷的生成除了與大理岩易溶的岩性外，還與岩石硬度及節理有關。亦即同樣的峽谷，不會在質軟，節理發達的片岩層出現。

實驗 1-4

(1) 實驗目的：以泥土、細沙模擬 U、V 型峽谷的形成情形。

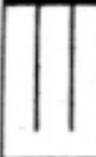
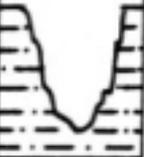
(2) 實驗器材：自製簡易流水臺裝置、水槽、量筒、碼錶、泥土、細沙、滴定管及滴定架、橡皮管。

(3) 實驗裝置、實驗過程：

(ㄅ) 將流水臺區隔成左右兩區，左方放入混合土（細沙與泥土比例 3：1），右方放入泥土，用抹刀壓實後，各畫出一條直線河道。

(ㄆ) 將流水臺固定傾斜度於 10° ，開啓二支滴定管，並固定流量後，將水流導入二水道中，讓水流連續沖蝕，紀錄觀察到的現象。

(4) 實驗結果：(如表三)

原水道 形狀	水槽底 物質	流量 (mL/s)	傾斜度 (度)	2小時後觀察情形	2小時後 水道剖面圖
	膠質之泥土 (3.0cm厚)	1.5	10	邊坡維持完整而少有崩塌，水道中多處 可見陡峻的U形谷生成。	
	細沙與泥土 (3:1) (3.0cm厚)	1.5	10	水道兩側邊坡一值持續崩落，2小時後形 成了上寬下窄，近似V字形的河谷地形	

表三：U、V形峽谷的模擬觀察

(5) 討論：

- (ㄅ) 膠結緊密的泥土層，邊坡較為完整，且少有崩塌現象，故而生成了與燕子口與九曲洞間相似的 U 型峽谷；而混合土則相反，因為沙與沙之間僅靠一小部分的泥土膠結，兩顆細小沙間的接觸面猶如長春層發達的節理，容易在水流侵蝕作用下不斷坍塌，最後形成上寬下窄，近似 V 字型的河谷地形。

實驗 2：探討天祥、布洛灣、西寶....等著名河階地形的成因。

實驗 2-1

(1) 實驗目的：觀察不同傾斜度下水流對水道的沖蝕情形。

(2) 實驗器材：自製簡易流水臺、細沙、碼錶、泥土、細沙、橡皮管、滴定管及滴定架、水槽、抹刀、量筒。

(3) 實驗裝置、實驗過程：

- (ㄅ) 將流水臺固定在 10^0 。並在流水臺上依序鋪上細沙、混合土及頂層的泥土，之後劃出二道相同的彎曲水道（一條為對照用）。
- (ㄆ) 水槽中注滿水，並用橡皮管將水以虹吸原理導入滴定管中。
- (ㄇ) 將滴定管開啓，並將水流導入左方水道中，觀察水道沖蝕情況。
- (ㄎ) 將步驟(ㄅ)中流水臺的傾斜度改變，重複上述步驟。

(5) 實驗結果：(如表四)

(6) 討論：

- (ㄅ) 在傾斜度 6^0 及 10^0 時，水流的侵蝕與堆積作用明顯在水道彎曲處產生：內側有大量且幾乎相等粒徑的沙土堆積，而外側由於內側堆積作用的影響，水流流向逐漸改變，進而慢慢向外侵蝕，而使水道愈加彎曲。實驗中，我們觀察到曲流有向下游成長的情況。
- (ㄆ) 傾斜度 14^0 及 18^0 時，由於坡度變陡，水流流速明顯加大，各種侵蝕營力都增加，同時減少了堆積作用。最後原有狹小水道邊坡承受不了強大侵蝕作用而潰決，使得水流四溢，原河道不復存在。

原水道形狀	水槽底物質	流量 (mL/s)	傾斜度 (度)	2 小時後觀察情形	2 小時後水道形狀
	第一層 不均勻之細沙 (0.5 cm厚) 第二層 細沙與泥土 (3:1) (2.0 cm厚) 底層 壓實之泥土 (0.5 cm厚)	1.5	6	坡度緩，流速亦小，所有侵蝕營力皆降低；彎曲處有微弱的侵蝕及堆積作用生成；水道幾乎維持原狀。	
			10	流速適中；水道外側彎曲處侵蝕與內側堆積作用同時產生。2 小時後，水道內側堆積大量泥沙，而外側曲度加大，且曲流有向下游成長的趨勢。	
			14	流速因坡度增加而加大，少有堆積作用。2 小時後，彎曲處外側受嚴重侵蝕，最後完全潰決，水流四溢。	
			18	實驗一開始，水流就無法順著原有水道行進。在強烈侵蝕、截直的作用下，原有彎曲水道完全消失，成了直線水道。	

表四：不同傾斜度下，水流對水道的沖蝕情形

實驗 2-2

(1) 實驗目的：觀察不同流量下，水流對水道的沖蝕情形。

(2) 實驗器材：如實驗 2-1 之器材。

(3) 實驗過程：

(ㄅ) 將流水臺傾斜度固定在 10^0 。並在流水臺上依序鋪上細沙、混合土及頂層的泥土，之後劃出二相同的直線水道。

(ㄆ) 水槽中注滿水，並用橡皮管將水以虹吸原理導入滴定管中。

(ㄇ) 將二支滴定管開啓，並用量筒、碼錶測量流量，維持在 1.5mL/s 左右後，將水流導入二水道中。

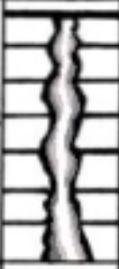
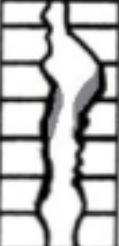
(ㄏ) 將步驟 (ㄇ) 中水流流量每隔 20 分鐘減緩 0.5mL/s，持續觀察水道沖蝕情況 1 小時。

(4) 實驗結果：(如表五)

(5) 討論：

(ㄅ) 由於流量的改變，使得侵蝕後造成了不同層次的成對河谷地形。這情況和西寶及天祥的多層河階地形相似。猜測該地除了劇烈的地形抬升作用之外，多種不同時期的河流侵蝕作用應該也是構成數級河階生成的主因。

(ㄆ) 由實驗結果可知：河階的發育和地殼的升降變動頗有關係。在隆起的地區，坡度變得較陡，若配合河流向下侵蝕作用的加劇，能輕易造成河階地形。而河階的多層與否，大致取決於不同時期的流量。

原水道 形狀	水槽底 物質	流量 (mL/s)	傾斜度 (度)	1小時後觀察情形	1小時後 水道形狀
實驗組	第一層 層質之泥土 (0.5 cm厚) 第二層 細砂(3倍)與 泥土(1倍) (2.0 cm厚) 第三層 不均勻之細砂 (0.5 cm厚)	1.5 ↓ 1.0 ↓ 0.5	10	水流量分段減小，產生了不同層次的成對河谷地形。	
		(1小時 內，每20 分鐘減緩 0.5mL/s)			
對照組	第一層 層質之泥土 (0.5 cm厚) 第二層 細砂(3倍)與 泥土(1倍) (2.0 cm厚) 第三層 不均勻之細砂 (0.5 cm厚)	1.5	10	流量較大，使得向下及向側侵蝕較大，故兩岸邊坡不斷快退，水道明顯寬闊、變深。	

表五：不同流量下，觀察水流對水道的沖蝕情形

實驗 2-3

- (1) 實驗目的：測量各種傾斜度、曲率下，水道內、外側的流量。
- (2) 實驗器材：簡易流水臺、自製曲率板、碼錶、橡皮管、燒杯、Y 型接頭、水槽、量筒、水源（自來水）。
- (3) 實驗過程：
 - (ㄅ) 將釘好的自製曲率板維持在 6° 。
 - (ㄆ) 將接上水源的橡皮管置於曲率半徑為 10 公分的預設水道中，在圓弧中點處接上 Y 型接頭及兩條橡皮管，使其分為內、外兩水道。
 - (ㄇ) 開啓水源，以量筒、碼錶測量流量，用兩個燒杯於 10 秒內分別同時接引內側、外側的水，測量水的體積並計算流量。
 - (ㄎ) 將步驟(ㄆ)中曲率半徑、流水臺傾斜度改變，重覆上述步驟。

(4) 實驗結果：如表六

水道口徑：0.5 cm

傾斜度(度)	流量(mL/s)	水道曲 率半徑(cm)	內側流量(mL/s)					外側流量(mL/s)						
			1	2	3	4	5	平均	1	2	3	4	5	平均
6	約 45	10	18.9	18.4	18.91	19.0	18.6	18.76	27.0	26.3	26.9	25.8	27.4	26.68
		20	18.0	19.3	18.9	19.1	18.9	18.84	26.9	27.1	25.4	26.0	25.8	26.24
		30	17.5	18.4	18.9	19.0	19.8	18.72	27.5	27.1	27.0	26.5	26.0	26.36
		40	18.2	18.5	20.0	19.2	19.0	19.00	27.4	27.0	25.9	26.7	27.0	26.80
		50	18.9	19.1	19.3	19.4	18.9	19.12	26.6	25.7	26.8	26.0	27.1	26.44
10	約 45	10	19.0	18.8	18.2	17.9	18.5	18.48	27.0	27.7	28.0	27.5	26.7	27.38
		20	19.2	18.7	18.9	18.8	19.0	18.92	26.0	26.4	27.0	26.1	27.0	26.50
		30	18.9	19.0	18.7	19.2	19.1	18.98	26.9	26.4	27.0	26.8	26.0	26.62
		40	18.4	20.1	19.8	18.5	19.1	19.18	27.7	27.2	25.4	25.9	26.3	26.50
		50	18.9	18.4	20.2	19.5	19.4	19.30	26.5	27.0	26.9	26.0	26.3	26.54
14	約 45	10	18.3	18.7	18.9	19.0	18.5	18.68	27.0	26.9	27.1	27.0	26.7	26.94
		20	18.9	17.7	19.0	18.9	18.4	18.78	26.3	27.8	26.5	27.3	27.2	27.02
		30	19.5	19.1	18.7	18.6	17.9	18.76	27.0	26.5	26.7	27.0	28.0	27.04
		40	19.7	19.4	19.8	17.0	18.1	18.78	26.1	25.9	26.0	28.5	27.2	26.74
		50	18.8	19.5	19.1	19.8	18.8	19.20	26.1	27.5	27.0	27.1	27.4	27.02
18	約 45	10	18.7	19.2	18.7	21.0	18.3	19.12	26.4	27.1	26.5	26.0	27.0	26.60
		20	18.7	18.2	20.2	18.9	19.7	19.14	27.5	26.5	26.9	26.8	26.8	26.90
		30	19.7	19.2	19.0	18.9	18.7	19.30	26.9	27.0	26.5	27.0	26.0	26.68
		40	19.4	18.7	19.3	19.1	21.2	19.54	25.7	25.8	26.0	26.0	26.5	26.00
		50	19.9	19.5	19.7	20.0	19.2	19.66	25.9	25.9	26.0	26.3	25.1	25.84

表六：各種傾斜度、曲率下，水道內、外側的流量

(5) 討論：

(ㄅ) 我們知道：流速是決定河流侵蝕率的主要因素，而測定流速的方法，一般採用流速儀或浮標，但由於我們的實驗的目的僅止於比較水道內、外側的流速，故而採取較簡易的方式證明。在參考 28 屆科展中正國中所做的實驗，證實同一水道在固定坡度下，流量愈大流速也愈大，所以我們以測量流量以替代流速。

(ㄆ) 實驗證明了在同一傾斜度、曲率半徑下，外側流量大於內側流量，也因此說明了何以堆積作用多在河道內側產生，而非外側。

五、結論：

1. 常聽說「滴水穿石」，似乎是說持續滴下的水滴，只要經年累月，都可以在石頭上留下凹痕，然而，根據實驗 1-2 及科學家證實，發現凹痕並非是由水滴的水擊作用造成的。因為就算是空中落下的雨，也無法產生破石的巨大物理能量，因此石頭會凹陷，化學變化的因素應大於物理因素。
2. 在實驗 1-3 中，片麻岩硬度大於大理岩，而太魯閣中片麻岩多半分布在溪畔與燕子口前段部分，照我們原來的猜測，應該也會形成 U 型峽谷。但由資料指出：片麻岩主要由石英、鈉長岩、絹雲母所組成，由於雲母的顆粒呈順向排列，因此片麻岩層葉理結構亦十分發達、因而即使片麻岩硬度大於大理岩，終無法造成與九曲洞同樣的地形。
3. 綜合結論 1、2 及實驗，我們知道由於大理岩較易溶，因此河床下邊坡受侵蝕的速度快於上邊坡，所以邊坡後退的方式以平行為主。另一方面，因為大理岩膠結緊密，沒有剝離面，且敲碎時雖有不規則的裂面，但卻無連續性，因此不易構成發生地滑的條件，亦即沒有明顯節理的九曲大理岩層的邊坡不易坍塌。而岳王亭後至天祥間的岩層多半為長春層及天祥片岩層。由於長春層大理岩是有許多帶狀葉理發達的岩石以及共生的薄層大理岩，因此邊坡後退的方式與質軟呈片狀的片岩層相同，以形成 V 型峽谷為主。這就說明了為何自岳王亭後，突而由高窄的 U 型峽谷轉變為開闊的 V 型峽谷，完全反應了岩理對地形的控制。
4. 由美國早期地質學家 J.W.Powell 的基準面理論，我們知道：當基準面下降時，可以使坡度增加、流速加大，進而促進河流的侵蝕作用。因此，東台灣地形的不斷抬升，除了使原有地形增高外，亦使得原本的基準面（海洋）相對高度下降，而加速了許多極高河階地形及 U 型峽谷的生成。

六、參考文獻：

1. 中華民國中小學科展 國中組 地球科學科 科學教育館編 84 年 6 月
2. 太魯閣國家公園 問山問水 78 問 漢聲雜誌社 76 年 11 月初版
3. 太魯閣峽谷地形發育過程的研究 張石角、齊士崢編著 79 年 4 月
4. 太魯閣國家公園地形、地質景觀資源 王鑫編著 78 年 7 月初版
5. 應用水文學 徐義仁編著 84 年 9 月出版
6. 普通地質學 何春蓀編著 78 年 10 月三版

評語：

- 一、創造能力頗佳。
- 二、符合科學精神與態度。
- 三、思考過程具有條理，但完整性尚待改進。
- 四、表達能力頗佳。
- 五、實用性頗高。
- 六、物理模型模擬的可信度有待進一步討論。

作者簡介

姓名：梁詠翔

簡介：我出生於後山的天堂-花蓮。從小就喜歡競賽的感覺，於是乎大大小小的比賽都是我的最愛，長年征戰下來，雖僥倖獲得了些許功勳，卻總覺得內心仍舊空虛。直到上了國中，進入科學的殿堂後，才真正找到了自我、真正走入了我夢寐以求的戰場-科學。

姓名：林育嫻

簡介：從小在山明水秀的這個城鄉求學，每天看著秀麗的中央山脈漫步走入學校，多年下來，已學會用最佳的心情面對新知，加上父親不斷的鼓勵，終能認直接觸科學。經過多年努力，終於能在省賽中有所成就，這是我所感到光榮的！

姓名：蔡芳琪

簡介：從小開始，我就是父母眼中的好奇寶寶，對於週遭的所有事物無不感到新奇，幸而在學校多元的指引下，全身的好奇精力終於能夠抒發，也終於學會對任何事做出合理的懷疑、適時提出自己的見解，並繼而深入去探討…就像這次科展我們所把持的精神一樣。