

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

佳作

080508

水落石出-臺灣北部煤礦坑鐘乳石之探討

學校名稱：臺北市士林區天母國民小學

作者： 小四 吳皇儀 小六 吳松燁	指導老師： 宋家安 鄒兆佳
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：鐘乳石、煤礦坑、人工設施管狀碳酸鹽沉積物

摘要

本研究探討臺灣北部煤礦坑內鐘乳石形成的原因。採野外實地調查，尋找有鐘乳石的煤礦坑，現場觀察記錄坑內各種型態的鐘乳石，測量煤礦坑內的溫度、濕度、風速、二氧化碳濃度及水樣的酸鹼度，並進行水樣的元素分析。研究發現礦坑鐘乳石形成的環境條件為：礦坑內溫度介於 16°C 至 24°C、濕度介於 62% 至 72%、風速為零、礦坑所在區域的地層中含有碳酸鈣成分、有穩定的降雨提供充足的地下水。此外，利用模擬實驗探討鐘乳石的形成過程與碳酸鈣溶液的膠結現象。最後，採集生活中常見的人工設施管狀碳酸鹽沉積物，分析其與天然鐘乳石的差異，藉以比較在不同環境下生長的鐘乳石。

壹、前言

一、研究動機

我們經常利用假日去登山，某次登山過程中意外發現一個老舊的炭坑裡有鐘乳石，更令人驚訝的是坑內有一片高約 180 公分；寬約 180 公分的鐘乳石壁，估計此炭坑其實也不過廢棄 50 多年，竟然會出現如此巨大的鐘乳石，為了知道它形成的原因，於是我們利用課餘時間進行實地研究。

二、研究目的

- (一) 了解煤礦坑鐘乳石的生長情形
- (二) 探討煤礦坑鐘乳石形成的條件
- (三) 調查臺灣北部各地煤礦坑的環境
- (四) 分析人工設施管狀碳酸鹽沉積物 (類鐘乳石) 與天然鐘乳石的差異

三、文獻探討

- (一) 鐘乳石的年輪：臺灣大學地質學系教授沈川洲和研究人員林可以「鈾釷定年法」證實鐘乳石紋會因石洞環境改變，而「多長」或「少長」，衝擊了以往應用鐘乳石年輪所發現的氣候變遷成果，研究發現鐘乳石紋並非每年生長一輪，有時會出現多輪或少輪。
- (二) 石灰岩：主要由碳酸鈣組成的沉積岩。碳酸鈣通常呈方解石或霏石產出，室溫下遇鹽酸會起激烈泡沫反應。當酸性地表水滲入石灰岩層溶解碳酸鈣後，便形成 CaCO_3

過飽和溶液，而當此溶液封閉在岩石中，其中的 CO_2 無法逃逸。因此，下滲的岩溶水進入洞穴後為與洞穴大氣壓平衡，會從溶液中釋出 CO_2 ，使碳酸鈣從中沉澱出來。水分蒸發會使得鈣離子和碳酸根濃度升高，從而也會發生碳酸鈣沉澱(湖水中、人工設施碳酸鹽沉積物屬於此類)。(科學月刊第 594 期)

(三) 膠結現象：岩石的一些礦物慢慢溶解在水中，使得水溶液的離子濃度升高，當水溶液滲入沉積物顆粒間的空隙中時，水溶液中的離子濃度達到某種礦物的過飽和度，礦物結晶沉澱。沉積物顆粒被結晶的晶體粘在一起的過程就叫膠結。(維基百科知識)

(四) 次生碳酸鈣：次生碳酸鈣是指由石灰岩地質經生物或化學過程所形成的碳酸鈣沉積物，其不同於原生碳酸鈣是直接由珊瑚、藻類等生物體或礦物沉澱所形成。其形成通常是由鹼性溶液，滲入含有石灰質的結構，離開結構後與大氣中的二氧化碳接觸，沉積形成碳酸鈣，常見的例子是洞穴中的鐘乳石和石筍，它們是由地下水中溶解的碳酸鈣在洞穴內部沉積形成的。當地下水中的二氧化碳含量增加時，會促使碳酸鈣的溶解度降低，從而導致碳酸鈣的沉積。其他形成次生碳酸鈣的過程還包括岩石風化、地下水循環及地下河流等。(維基百科知識)

(五) 人工形成鐘乳石：利用化學方式也可以形成類鐘乳石狀的碳酸鹽沉積物，如水流經過混凝土再滴下，可加速鐘乳石形成的過程，混凝土橋底下所形成的鐘乳石，生長速度可達每年 1 公分。(《BBC 知識》國際中文版 NO.33 期)

貳、研究設備及器材

- 一、測量工具：捲尺、塑膠繩、游標尺、位態儀、風速計、空氣品質(CO_2)檢測儀、溫溼度計、電子秤。
- 二、採集工具：空瓶、漏斗、地質鎚、針筒、採集袋。
- 三、實驗藥品：碳酸鈉、氯化鈣、大理石、檸檬酸、硝酸。
- 四、實驗儀器：離心機、感應耦合電漿光學發射光譜儀(ICP-OES)。

參、研究過程或方法

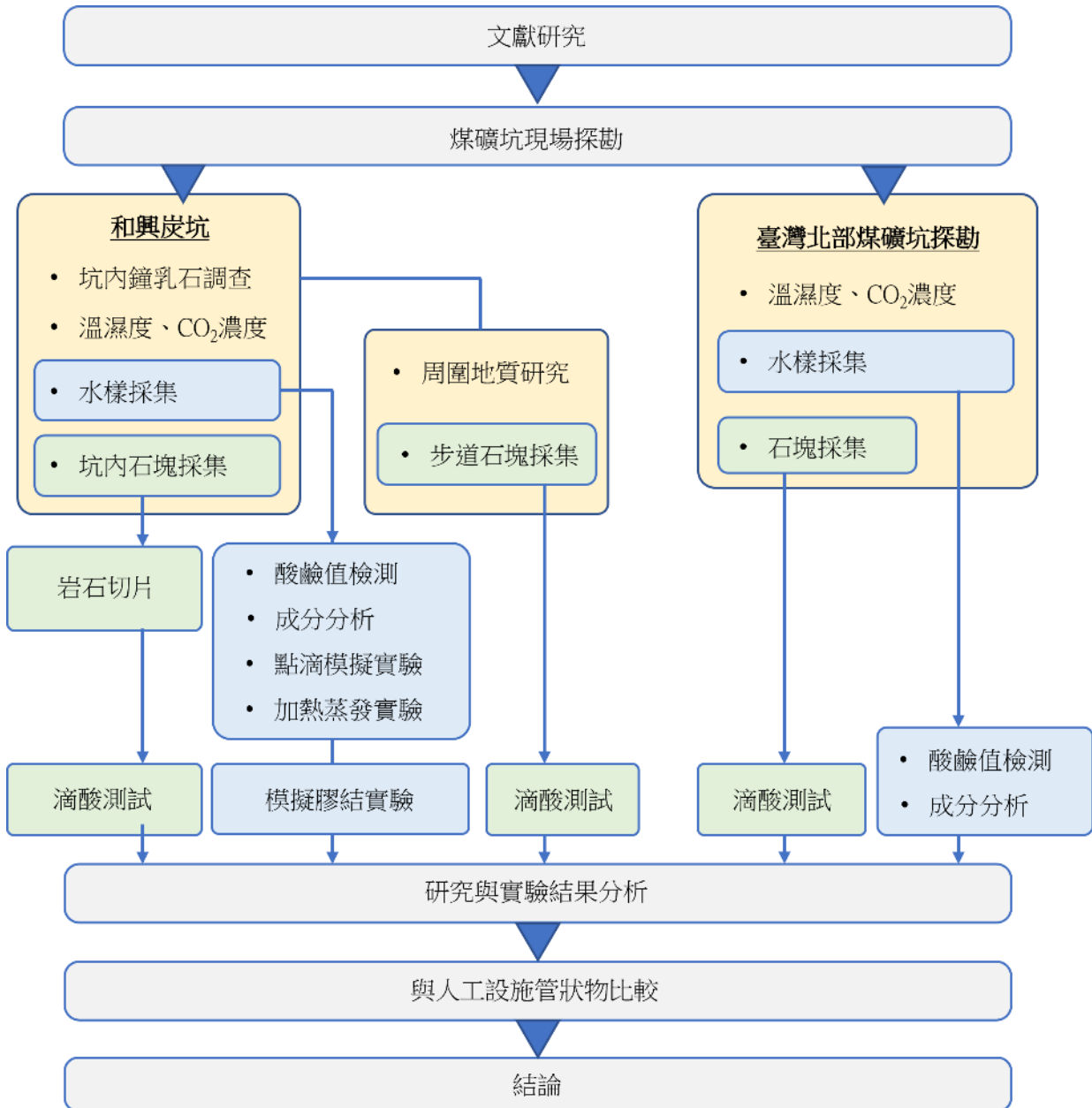


圖 1 研究流程圖

一、炭坑內環境與各類型鐘乳石調查

去年我們前往拇指山步道登山時，發現北台慈惠堂旁的一處老舊翻修炭坑，炭坑所在位置如圖 2，坑內有非常特別的鐘乳石景觀。爾後在老師和家長的全程陪同下，多次前往探勘、紀錄。探勘時攜帶手電筒、著安全帽、雨鞋、測量工具(圖 3)，將所見到的鐘乳石類型、尺寸與坑內的環境記錄下來。探勘過程我們發現炭坑內水流豐沛處，有石塊包覆形成膠結現象(圖 4)，而在乾燥區則無此現象(圖 5)。



圖 2 炭坑所在位置圖



圖 3 實際探勘情形



圖 4 石塊包覆形成膠結現象



圖 5 乾燥區域的碎石沒有產生膠結現象

二、探討鐘乳石形成的原因

(一) 炭坑內水樣與石塊採集



圖 6 水樣採集



圖 7 標註採集點的水樣

在觀察、量測炭坑內各型態景觀的同時，我們蒐集各區的水樣(圖 6、7)，包括石鐘乳上滴落的水、石簾滴落的水、累積於晶洞中的水、地上流的水等等，帶回實驗室進行分析，前後共採集 3 次水樣，作為後續模擬鐘乳石的形成與膠結現象之用。此外，我們採集礦坑內的石塊，透過岩石切片的方式來觀察各石塊的剖面構造，再進行滴酸實驗來鑑定其成分。

(二) 各礦坑水樣成分分析

為了進一步研究採集的礦坑水樣和鐘乳石之間的關係，我們借用大學的專業儀器來測量不同礦坑、各類型鐘乳石的水樣，分析水樣內的各種元素。我們選擇具代表性的水樣，包括：和興炭坑的石鐘乳、石簾、石壁、晶花洞滴落的水和坑內地上的水，瑞三本礦、永達煤礦坑口地面的水，德興礦坑石鐘乳的滴水，以及建德橋下、停車場內類鐘乳石的滴水，共計 10 個水樣進行成分分析。

使用儀器分析水樣之步驟如下：

1. 以定量滴管於每瓶水樣內加入 1 毫升 4M 硝酸(圖 8)，加以搖晃後倒入試管內。
2. 將試管放入離心機內(圖 9)，將可能的沉澱物或漂浮物與水樣分離。(所有水樣中均不含沉澱)
3. 使用感應耦合電漿光學發射光譜儀(ICP-OES)測量水樣內 Ca 鈣、Mg 鎂、Na 鈉、K 鉀、Si 矽、P 磷、Sr 銻、Al 鋁、Ba 鋇、Cr 鉻、Cu 銅、Fe 鐵、Mn 錳、Rb 銣、Ti 鈦、Ni 鎳、Zn 鋅、Ga 鍺、Pb 鉛、U 鈾等 20 個元素的含量(圖 10)。



圖 8 用定量滴管加硝酸



圖 9 放入離心機



圖 10 操作 ICP-OES

(三) 炭坑周圍環境地質調查



圖 11 沿途記錄、觀察地質地貌



圖 12 使用位態儀測量岩層位態

為了研究鐘乳石形成的原因，我們首先進行該區域的地質調查，了解地質的組成與坑內的景觀是否有所關聯。我們走遍炭坑旁的四獸山步道，一路觀察兩旁的地質景觀(圖 11)，使用位態儀量測岩層的走向、傾角(圖 12)，採集有露頭情形的岩層石塊。採樣點共 8 處，岩石樣本數總計 12 塊，並將各石塊的採樣點標記於地圖上作為紀錄(圖 13)。

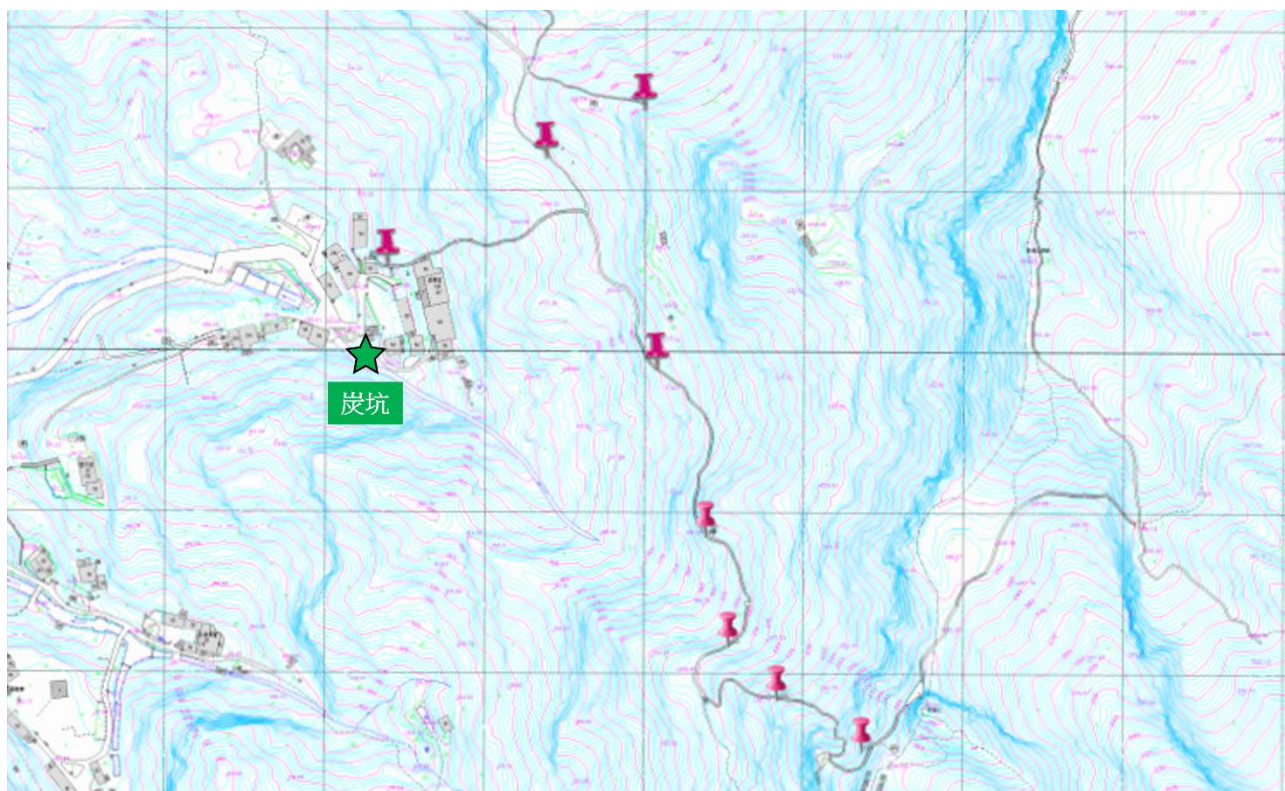


圖 13 石塊採樣點標示圖

三、比較臺灣北部煤礦坑的環境

由於第一個炭坑內發現的鐘乳石景觀讓我們非常驚訝，我們也很好奇在其他的煤礦坑裡是否也會有類似的鐘乳石景觀，於是我們上網搜尋臺灣北部著名的煤礦坑，利用假日前往探勘、觀察、紀錄、採樣，比較各地礦坑環境的差異。我們實地走訪的煤礦坑位置如圖 14。

除了首次發現的和興炭坑外，我們陸續造訪了 10 個煤礦坑，探勘時皆以相機記錄周圍景觀(圖 15)，量測當時礦坑內的 CO₂ 濃度、溫溼度、風速，採集坑口、坑內石塊並蒐集水樣(圖 16)，帶回實驗室進行後續的分析與比較。



圖 14 本研究探勘的臺灣北部煤礦坑位置圖



圖 15 觀察坑內隧道石塊組成

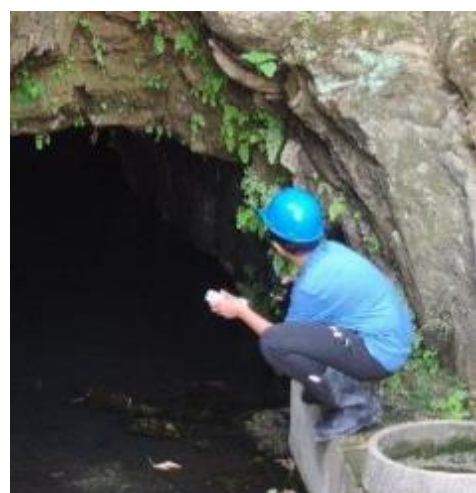


圖 16 採集礦坑口水樣

四、比較人工設施管狀物 (類鐘乳石) 和天然鐘乳石的差異

(一) 模擬炭坑鐘乳石形成的實驗

我們利用加熱蒸發的方式提高炭坑水樣的碳酸鈣濃度(圖 17)。例如濃縮 10 倍的作法為將 1000 毫升的水樣加熱至 100 毫升。依此我們利用採集的水樣共製作了濃縮 10 倍、20 倍、100 倍的水樣，進行模擬鐘乳石形成的實驗。



圖 17 加熱蒸發水樣進行濃縮



圖 18 使用點滴模擬滴水效果

首先，以上述濃縮的水樣使用點滴的方式來模擬坑內岩層由上而下滴落的水(圖 18)，滴水速率設定為 30 秒 1 滴，搭配不同濃度的水樣來測試鐘乳石形成的快慢。接著將 6000 毫升的炭坑水樣，持續加熱使其完全蒸發，測量結晶物的質量。最後，我們將模擬膠結現象，做法為將大理石敲碎，分為大、中、小顆粒及粉末(圖 19)，注入水樣，觀察膠結現象的形成，實驗共計 4 組。



圖 19 將大理石敲碎分為顆粒大中小的石塊

肆、研究結果

一、和興炭坑內的各類型鐘乳石觀察記錄與比較

(一)和興炭坑內鐘乳石類型

我們在和興炭坑內發現了種類非常豐富的鐘乳石，整理如下表 1。這些不同類型的鐘乳石分布在炭坑裡的不同位置，有些是單獨一區，有些則是複合式的集體出現。

表 1 和興炭坑內鐘乳石類型

石鐘乳	石簾	石筍
		
石壁	石柱	晶花洞與晶花
		

(二) 探勘時的溫溼度與天氣紀錄

表 2 和興炭坑探勘日溫溼度與天氣紀錄

日期 \ 項目	炭坑外 溫度 (°C)	炭坑內溫度 (°C)	炭坑外濕度 (%)	炭坑內濕度 (%)	炭坑內風速 (m/s)	天氣概況
2022/09/17	27	24	57	62	0	7時，晴天
2022/10/15	24	22	63	67	0	9時，雨天
2022/11/12	25	21	78	63	0	9時，陰天
2022/12/31	16	20	72	64	0	5時，毛毛雨
2023/01/14	22	19	76	65	0	8時，晴天
2023/02/08	24	22	62	68	0	10時，晴天
2023/02/12	18	22	69	65	0	13時，晴
2023/02/19	20	18	55	70	0	10時，多雲
2023/02/27	20	18	73	70	0	9時，陰天
2023/05/21	24	22	72	72	0	16時，多雲

我們從 2022 年 9 月到 2023 年 5 月，前後共計 10 次，現場觀察、測量、採集水樣、石塊，藉以研究炭坑裡各類型鐘乳石景觀與其形成原因。探勘當日環境紀錄如下表 2。比較發現，炭坑內溫度範圍為 19 至 24°，濕度範圍為 62 至 72%，坑外溫度普遍高於坑內，坑內溫差低，坑外濕度也普遍高於坑內。坑內風速測量結果皆為零，處於無風的狀態。

(三) 和興炭坑內各類型鐘乳石的紀錄與比較

使用捲尺、塑膠繩、游標尺、風速計、溫溼度計等工具，測量炭坑內各類型鐘乳石的尺寸及坑內溫濕度與風速。以錄影的方式估計坑頂鐘乳石滴水的速率，比較炭坑內各區域鐘乳石的生長情形。我們在炭坑內所發現的鐘乳石其分布位置如圖 20。

進入炭坑隧道口約 20 公尺處上方即有稍短的石鐘乳的出現，以游標卡尺量測直徑 5.3mm。再前進 50 公分處有更長的石鐘乳，我們將此區稱為石鐘乳第 1 區，這區隧道寬約 2 米，高約 1 米 8 左右，隧道是由磚頭與水泥砌成。現場觀察隧道頂端的水是由磚頭間的縫隙流出，夾雜一些表面的灰白粉狀物質，這區多處的頂端有大量滴水情形，我們於此區最密集的 1 公尺範圍測量石鐘乳的長度和直徑。

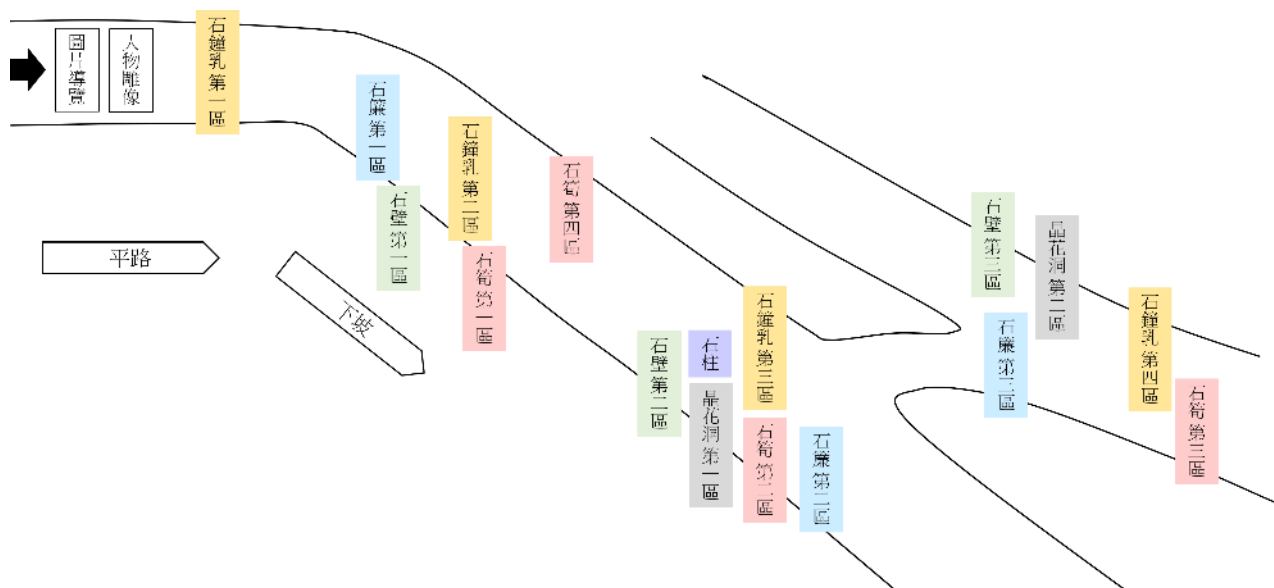


圖 20 和興炭坑內各型態鐘乳石區域分布圖

距坑口由近至遠陸續發現 2、3、4 區石鐘乳聚集，測量結果如表 3，並比較石鐘乳各區的生長速度如圖 18。其中石鐘乳第 2 區的水滴速度為 60 秒 1 滴，石鐘乳第 3 區為 160 秒滴 2 至 3 滴，第 4 區為 30 秒 1 滴。由文獻資料得知，此炭坑興建於民國 29 年，廢棄時間是民國 54 年，我們採用炭坑停採的時間開始計算，據此估計石鐘乳生長的時間約為 58 年。計算方式為：石鐘乳長度 / 58 年 = 每年平均生長速率。

表 3 炭坑 4 區石鐘乳的測量結果(單位：直徑 mm，長度 mm，平均生長速率為 mm/y)

樣本	第 1 區			第 2 區			第 3 區			第 4 區		
	直徑	長度	生長速率	直徑	長度	生長速率	直徑	長度	生長速率	直徑	長度	生長速率
1	8.30	30.50	0.53	9.80	4.05	0.07	6.10	23.80	0.41	8.80	48.80	0.84
2	9.10	31.60	0.54	9.40	28.80	0.50	5.50	41.60	0.72	6.50	51.60	0.89
3	6.60	33.30	0.57	6.60	34.90	0.60	5.90	33.30	0.57	9.40	65.50	0.13
4	6.80	20.10	0.35	10.40	42.20	0.73	7.00	43.30	0.75	5.50	44.40	0.76
5	5.80	26.60	0.46	12.20	48.30	0.83	8.80	72.20	1.24	6.10	50.00	0.86
6	5.50	29.80	0.51	7.20	4.11	0.07	7.20	32.20	0.56	5.90	45.00	0.77
7	7.40	29.40	0.50	8.80	3.30	0.06	6.10	45.40	0.78	5.50	47.70	0.82
8	7.70	19.90	0.34	7.30	1.99	0.03	6.20	39.90	0.69	6.10	43.80	0.75
9	5.80	19.00	0.33	7.70	3.99	0.07	8.30	49.40	0.85	6.10	35.90	0.62
10	4.90	48.80	0.84	9.90	2.27	0.04	13.80	55.00	0.95	5.80	46.10	0.79
平均	6.79	28.90	0.50	8.93	17.39	0.30	7.49	43.61	0.75	6.57	47.88	0.83

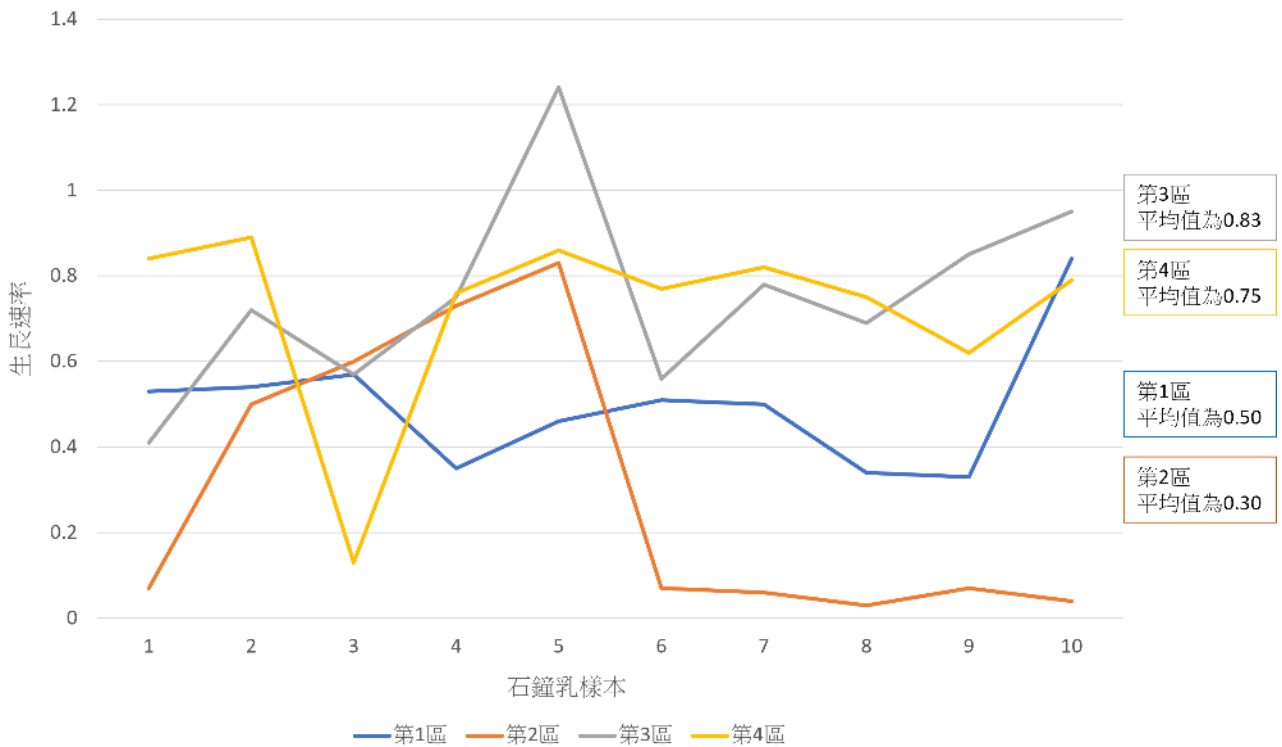


圖 21 4 區石鐘乳的生長速率比較圖(生長速率為 mm/y)

經過石鐘乳第 1 區後，進入下坡路段且地面有零星分布的大小石塊，距離坑口較遠處陸續發現周圍有石簾、石筍、石壁、晶花洞等各種類型的結晶物。在持續下坡的路程中，於右手邊發現一區複合型態的結晶物 (即石壁第 2 區)，包含石鐘乳、石壁、石簾、石柱、晶洞的大面積白色構造物 (圖 22)。這裡有罕見的石柱型態，而上方鐘乳石滴水頻率高，下方則為晶花洞。



圖 22 大面積白色構造物



圖 23 炭坑內的岔路

距離坑口更遠處有岔路，分為兩個通道 (圖 23)，其中一個通道口有崩塌的情況，且有流水聲；另一個通道口較大也相對乾燥。我們由崩塌的通道口進入後發現裡面空間更寬敞，地上有持續的流水，此處也有石簾、石筍、石壁、晶花洞等型態的結晶物，觀察測量結果如表 4、5、6、7。

表 4 炭坑 3 區石簾的測量結果


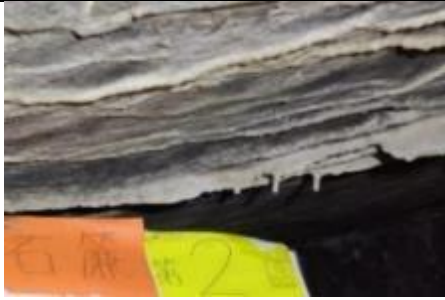

第 1 區		選擇最長、完整的石簾。此區域沒有滴水。			
		編號	長度(mm)	高度(mm)	厚度(mm)
		1	1150	21.6	8.3
第 2 區		選擇最長、完整的石簾量測。發現坑內最長的石簾，其滴水明顯，也有長出少數石鐘乳，旁邊有剛形成的石簾，下方牙齒狀不明顯。其他短的石簾水較少滴水，或沒滴水。			
		編號	長度(mm)	高度(mm)	厚度(mm)
		1	7580	36.1	7.2
2	1590	16.6	8.3		
第 3 區		選擇最長、完整的石簾。坑頂有較為密集的整片石簾，潮濕，石簾末端有肥厚突起物。60 秒滴 11 滴。			
		編號	長度(mm)	高度(mm)	厚度(mm)
		1	1860	67	8.3
2	1350	17.2	7.0		

表 5 炭坑 4 區石筍的測量結果





第 1 區		水流處的凸起結晶物。				
		編號	直徑 (mm)	長度 (mm)	寬度 (mm)	高度 (mm)
		1	40.75	-	-	38.0
第 2 區		複合型態的結晶物旁邊，具有筍型。				
		編號	直徑 (mm)	長度 (mm)	寬度 (mm)	高度 (mm)
		1	61.6	-	-	45.5
第 3 區		此處石筍與地面約呈 45 度角，石筍上方的石鐘乳持續滴水，水量多，底部形成小水池，位置靠近牆壁。 (此區筍體非圓形，尺寸以長寬標示)				
		編號	直徑 (mm)	長度 (mm)	寬度 (mm)	高度 (mm)
		1	-	34	72	260
		2	-	33	48	162
第 4 區		上方有持續滴水的石鐘乳。				
		編號	直徑 (mm)	長度 (mm)	寬度 (mm)	高度 (mm)
		1	44.4	-	-	43.3
		2	46.1	-	-	38.0

表 6 炭坑 3 區石壁的測量結果






第 1 區		無滲水的石壁，表面有灰白的結晶物。	
		長度(mm)	高度(mm)
		520	850
第 2 區		滲水的白色石壁，表面有複合型態的結晶物。	
		長度(mm)	高度(mm)
		1710	1700
第 3 區		面積大，旁邊有石簾滴水。	
		長度(mm)	高度(mm)
		2000	210

表 7 炭坑 2 區晶花洞的觀察紀錄

第 1 區		位於複合型態的結晶物下方，內部有明顯晶花。
第 2 區		晶花結晶顆粒較第 1 區小。

二、炭坑內鐘乳石的形成過程

- (一) 透過多次的探勘，我們發現炭坑內的鐘乳石各型態很豐富，包含石簾、石筍、石壁及晶花洞的型態都很明顯，我們除了觀察到已經成形的鐘乳石之外，也可以發現其成長的過程。
- (二) 炭坑的隧道口主要由磚頭及水泥所砌成，磚塊間的接縫處有漏水情形，此處有鐘乳石形成(圖 21)。
- (三) 石鐘乳的形成位置多為岩石滲水的細縫處，由圖 24 可顯示，石鐘乳第 3、4 區的生長速率較快，石鐘乳的長度較長。
- (四) 在觀察石簾時，我們發現已經成形且正在成長的，以及基底剛打好的各種不同成長階段的石簾(圖 25)。在下坡的隧道中，頂部縫隙中的流水順著地勢往下，於某處集結後，慢慢的向後向下堆疊累積成石簾；而最初階段水流之處，累積成基底，再持續的堆疊，類似一根根的石鐘乳連接在一起，下方呈現牙齒的外型，最終形成石簾。現場觀察發現，依滴水量的多寡不同，水量少時會像石鐘乳般滴水，水量多時會在牙齒狀處滴水。



圖 24 磚塊區鐘乳石

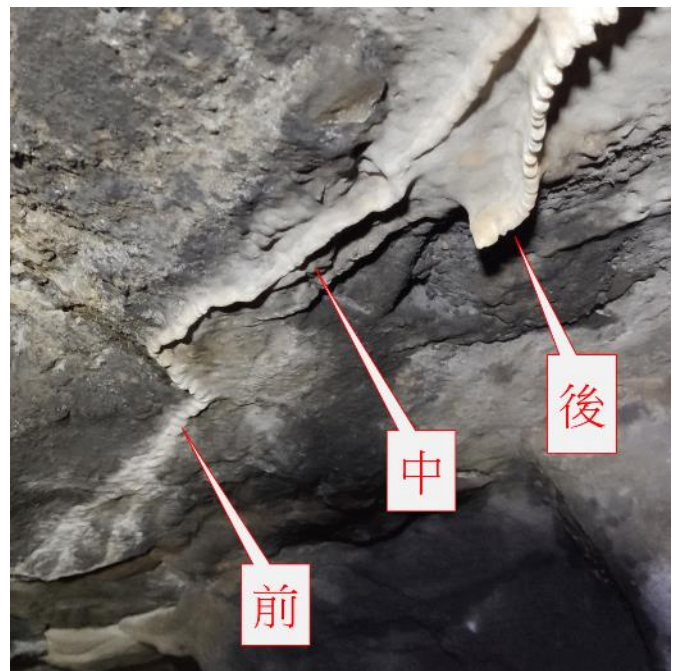


圖 25 石簾形成的前中後期

- (五) 炭坑岔路通道內有明顯流水聲之處，即為石壁生成的地方，此處頂部都有明顯的裂縫(如圖 26、27)，每隔一段距離會重複出現裂縫，水由這些縫隙中流出，順勢往下，水量多時充滿整個坑頂，形成整片白色的結晶物，牆面亦會滲水形成白色結晶物。



圖 26 坑頂的石壁與石簾



圖 27 坑頂裂縫

三、北部其他礦坑的鐘乳石調查結果

我們進行探勘的北部 10 餘座煤礦坑中，除和興炭坑外僅德興礦坑、瑞三本礦及新一坑有鐘乳石(都處於臺北市以東，海拔較低)。其中，德興礦坑隧道(圖 28)的坑內頂端有石鐘乳、較短的石簾(圖 29)與隧道側面有小面積的石壁，坑內的環境潮溼，有多處滴水。而在新一坑的隧道上方，有較小的石鐘乳(圖 30)。瑞三本礦雖已封閉，但我們在坑口的介紹牌上有發現其坑內有鐘乳石存在(圖 31)。



圖 28 德興礦坑入口隧道

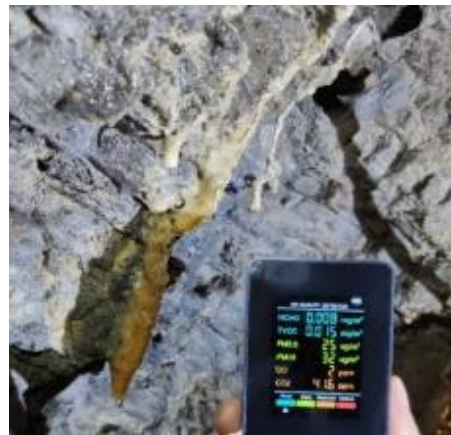


圖 29 德興礦坑內的石簾



圖 30 新一坑隧道頂端的石鐘乳



圖 31 瑞三本礦坑口的說明介紹

四、和興炭坑內水樣測試與石塊滴酸

(一) 水樣測試

我們在不同的日期一共取了 3 次水樣：第 1 次主要採集炭坑內頂端的漏水(圖 32)，第 2、3 次則是採集各類型鐘乳石型態的滴水(圖 33、34)。我們使用酸鹼測試儀來檢測各水樣的 pH 值，結果如表 8、表 9。由檢測結果中可以看出，炭坑內各區域所採集的水樣檢測 pH 值介於 7.56 至 8.40 之間。



圖 32 第 1 次水樣採集



圖 33 第 2 次炭坑內各區域採集的水樣

表 8 第 2 次採集炭坑各區域水樣 pH 值測試結果

樣本 測試	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	鐘乳石 1	鐘乳石 1-紅磚	紅磚區底	石簾第 1 區	石壁 2-大白	晶洞 1	石簾第 3 區	晶花 2	石筍 1 對面
測量 1	7.56	7.56	7.75	8.05	8.33	7.68	7.93	7.71	7.76
測量 2	7.78	7.60	7.83	8.24	8.40	8.08	8.20	8.01	7.91
平均 pH	7.67	7.58	7.79	8.15	8.37	7.88	8.07	7.86	7.84



圖 34 第 3 次炭坑內各區域採集的水樣

表 9 第 3 次採集炭坑各區域水樣 pH 值測試結果

樣本 測試	1	2	3	4	5	6	7	8
	晶洞 1 裡面	晶洞 2 裡面	晶洞 2 鐘乳石	大白鐘乳石	石筍 1 地上	石筍 4 地上	石筍 3 上石簾	鐘乳石 4
測量 1	8.19	7.88	7.81	8.48	7.59	8.31	7.34	7.39
測量 2	8.53	8.16	8.14	8.67	7.86	8.48	7.59	7.53
平均 pH	8.36	8.02	7.98	8.58	7.73	8.40	7.47	7.46

(二) 石塊滴酸

我們將和興炭坑採集的石塊進行岩石切片(圖 35)，觀察其紋理成分，發現皆為頁岩，進行滴酸鑑定，發現皆有明顯氣泡反應(圖 36)，說明炭坑內的岩石皆含有碳酸鈣成分。另外我們取未切片的坑內石塊進行滴酸實驗亦有氣泡反應(圖 37)。

我們也觀察到岩石經切片後，於剖面處可以發現岩石的表面有一層沉積物質(圖 38)，此可做為膠結現象的說明，表面的白色沉積物即為長時間的水流、滴水所形成包覆、沉積的膠結現象。



圖 35 炭坑內石塊的岩石切片



圖 36 炭坑內岩石切片滴酸



圖 37 坑內石塊滴酸的氣泡反應



圖 38 岩石切片的膠結情形

五、北部其他礦坑水樣測試與石塊滴酸

除了和興炭坑之外，我們後續探勘了北部其他的煤礦坑共 10 座，我們將各礦坑探勘時的情況與測量結果如表 10。

表 10 北部各礦坑探勘結果

	名稱	探勘情況	坑口 CO ₂ (ppm)	坑內 CO ₂ (ppm)	當日 溫濕度	水樣	石塊
1	和興炭坑	到坑內觀察	415	564	5/21 22° / 76%	有	有
2	德興礦坑	可進入坑道，探勘至 隧道內封閉處	405	578	5/21 26° / 70%		有
3	山佳 大豐 1 號	坑口積水無法進入	403	440	5/27 32° / 55%	有	有
4	蓋淡坑 大豐 2 號	至隧道內封閉處	402	432	5/27 26° / 69%	有	有
5	永達煤礦	坑口積水無法進入	532	547	5/27 29° / 67%	有	有
6	成福煤礦	至坑外柵欄封閉處			5/27		
7	三貂煤礦	至坑口處，後已封閉	405	423	5/28 30° / 70%	有	有
8	瑞三本礦	至坑口處，後已封閉	809	1008	5/28 25° / 81%	有	有
9	猴硐煤礦 隧道	至坑口處，後已崩塌	788	837	5/28 26° / 75%	沒有滴水	有
10	新一坑	走至運煤隧道內	465	749	5/28 27° / 78%	隧道內無滴水	有
11	東山煤礦	至坑口處，後已封閉	557	592	5/28 27° / 74%	有	有

(一) 水樣測試

我們探訪的北部其他煤礦坑中，如坑內有滴水或坑口有積水我們都採集水樣，取回實驗室測量 pH 值，結果如表 11。與和興炭坑的水樣 pH 值相比較，這幾個煤礦坑的水樣 pH 值接近中性，僅蓋淡坑大豐二號、東山煤礦較為偏弱鹼，研判應是這幾個北部的煤礦坑皆已封閉無法進入，僅有蓋淡坑大豐二號稍微可以進入坑道約 5 公尺，其他礦坑可以取得的水樣多為坑口的積水、排水，不同於我們在和興炭坑可以坑內較深處直接採集鐘乳石滴落的水，所以可能沒辦法準確呈現礦坑內的水質。

表 11 各煤礦坑水樣 pH 值測試結果

	大豐一號	大豐二號	永達煤礦	三貂煤礦	瑞三本礦	東山煤礦
測量 1	7.30	7.49	7.04	7.12	6.94	7.59
測量 2	7.28	7.52	7.06	7.15	6.95	7.61
測量 3	7.30	7.54	7.04	7.14	6.94	7.63
pH 值平均	7.29	7.52	7.05	7.14	6.94	7.61

(二) 各礦坑水樣成分分析

將和興炭坑各類鐘乳石水樣和坑內地上的水，瑞三本礦、永達煤礦坑口地面的水，德興礦坑石鐘乳的滴水，以及建德橋下、停車場內類鐘乳石的滴水，共計 10 個水樣進行分析其中 20 種元素的含量，而元素濃度大於 0.01mg/L 的結果如下表 12。

表 12 水樣元素成分分析結果(成分單位：mg/L)

樣本 成分	和興 炭坑 石鐘乳	和興 炭坑 石簾	和興 炭坑 石壁	和興 炭坑 晶花洞	和興 炭坑 地上水	瑞三 本礦 坑口	永達 煤礦 坑口	德興 礦坑石 鐘乳	建德橋 下	停車場 內
Ca 鈣	7.206	98.767	74.666	57.151	17.091	8.184	21.806	14.775	89.484	309.296
Mg 鎂	92.750	58.014	66.962	66.378	10.207	7.415	12.439	6.034	4.282	<0.01
Na 鈉	83.659	66.996	56.886	66.493	2.416	2.093	3.933	1.492	3.522	10.022
K 鉀	4.104	7.642	1.879	5.685	0.607	1.415	8.415	0.799	1.864	26.043
Si 矽	8.886	9.415	8.272	9.277	5.788	4.580	7.329	6.061	7.304	0.461
P 磷	2.209	1.716	1.871	1.846	0.602	0.441	0.647	0.374	0.365	0.095
Sr 銦	0.014	0.404	0.291	0.246	0.064	0.041	0.247	<0.01	0.304	<0.01
Al 鋁	0.075	0.166	0.113	0.196	0.100	0.070	0.084	0.087	0.193	0.845
Ba 鋇	0.026	0.092	0.075	0.072	0.037	0.038	0.089	0.032	0.051	0.324

表 12 列出元素濃度大於 0.01mg/L 的分析結果，由此表中我們發現：

1. 和興炭坑前 4 個樣品都屬於岩溶水，與同一個坑中的地上水相比，元素濃度相對較高，顯示岩溶水經過地層滲透時溶解碳酸鹽和其它可溶鹽。
2. 和興炭坑石鐘乳滴水的成分元素含量與另外 3 個岩溶水有明顯差別，可能下滲水的管道有所不同。
3. 和興炭坑前 4 個樣品的含磷量較其它的水偏高，可能與下滲水穿過煤層有關。
4. 其它洞坑少見次生碳酸鹽沉積是因為水中溶解的碳酸鈣達不到過飽和或飽和。德興礦坑的石鐘乳成因可能與建德橋下和停車場內的碳酸鹽沉積的機理相同，是因為水分蒸發，導致水中的鈣離子和碳酸根離子的濃度之積超過 K_{sp} (溶度積)而產生沉積。建德橋下和停車場內水樣中的元素主要來自於建築水泥等人工混凝土，而非天然地層。

(三) 石塊滴酸

北部其他煤礦坑我們也有採集坑口、坑內的石塊帶回檢測。但與採水的情況相同，這些礦坑多已封閉無法進入，甚至坑口已積水無法到達，我們僅撿拾靠近坑口、

隧道的石塊，分別進行滴酸的檢測。結果發現，大豐一號、大豐二號、東山煤礦的石塊滴酸後有氣泡反應(圖 39)，可以說明這幾個礦坑附近的地層中含有碳酸鈣的成分，而其他礦坑的石塊則是滴酸後沒有反應(圖 40)。這樣的結果也與上面的水樣檢測相呼應，大豐一號、大豐二號、東山煤礦的水樣 pH 值是樣本裡數值較高的(弱鹼)。



圖 39 大豐二號的石塊滴酸測試



圖 40 瑞三本礦的石塊滴酸測試

六、和興炭坑與其他煤礦坑周圍地質研究

我們研究和興炭坑步道周圍的岩層、蒐集石塊進行研究，並隨身攜帶檸檬酸溶液進行測試，一共撿拾了 12 塊石塊，其中幾塊較為特別的說明於表 13，採集的石塊中多為砂岩，僅有一塊為頁岩。其中表 13 中的石塊 4 是我們在四獸山步道 2200 公尺處所撿拾，此處為明顯露出的岩層，所撿石塊為褐色砂岩，剖面處顆粒較粗，於現場滴酸後有產生中和反應，表面有小氣泡(圖 41) (這個岩石中似乎含有生物殼體)，代表此岩層含有碳酸鈣的成分，這個發現有助於我們解釋炭坑內的鐘乳石成因。





圖 41 巨石處採石滴酸



圖 42 細聽氣泡啵啵聲

此步道的頂端為拇指山觀景台，觀景台為一塊巨大石頭，表面為露出的岩層。下觀景台後，我們在巨石下方採集石塊、滴酸(即表 12 的石塊 5)，同樣有些微的中和反應，產生氣泡，靠近耳朵聽有啵啵聲(圖 42)。透過這 2 處的滴酸結果，顯示這座山的岩層構成中含有碳酸鈣的成分，水流經此岩層便會帶入此成分而進入炭坑，炭坑位處該區山腳處自然會受到此區岩層與水質的影響，於炭坑內經年累月的形成鐘乳石的景象。

表 13 採集石塊特徵

	石塊 1	石塊 2	石塊 3	石塊 4	石塊 5
圖片					
類型	砂岩	砂岩	頁岩	砂岩	砂岩
特徵	淡褐色。表面摸起來有沙感，表層脫落處摸起來粗糙。	褐色。剖面處有顆粒感，摸起來較細。	淡褐色。紋理縫隙較明顯。摸起來沒有顆粒感。	深褐色。剖面處為淺褐色，有明顯顆粒，摸起來較粗。	褐色。顆粒感皆不明顯。

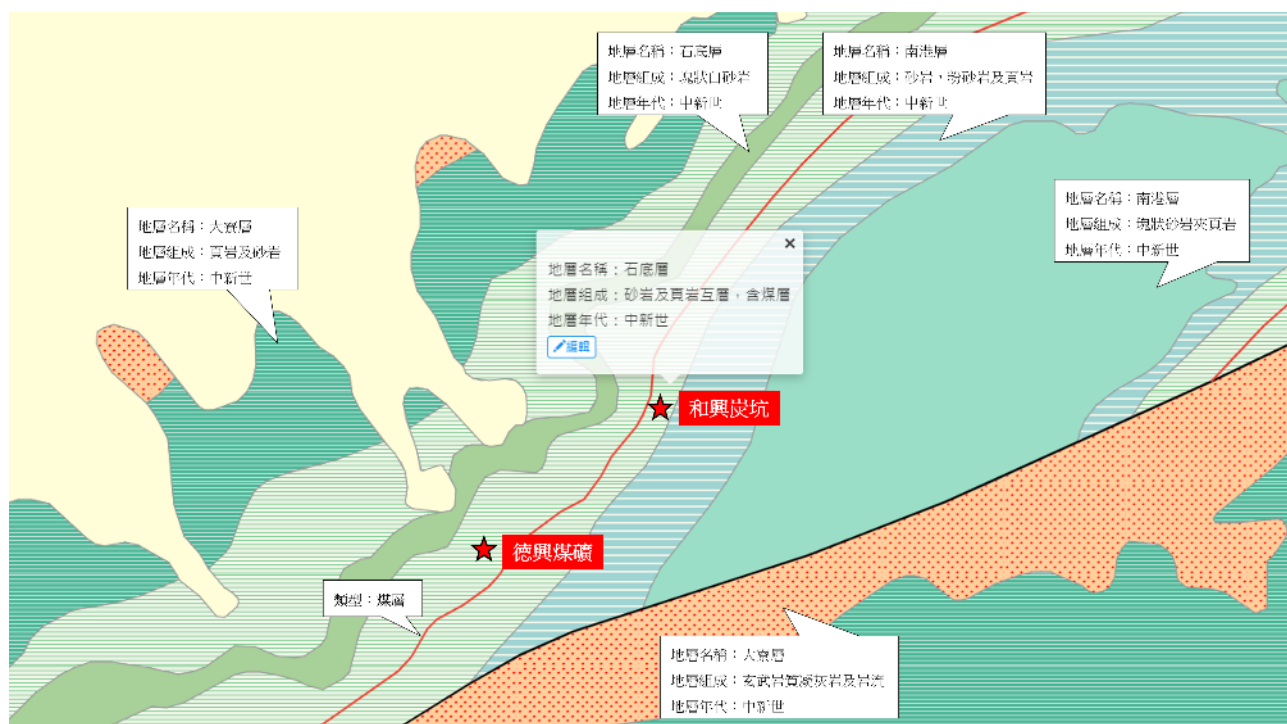


圖 43 和興炭坑與周圍地層圖 (編輯自地調所地質圖)

我們找出和興炭坑和周圍區域的地層說明圖(圖 43)，發現附近都沒有原本預期中的石灰岩地層，但卻可以在和興炭坑與德興礦坑內出現明顯鐘乳石的景觀，透過我們實際的步道走訪撿石塊，情況與所查相符，即此處地層為砂岩和頁岩。將石塊滴酸檢測有中和氣泡反應，

我們認為在此處地層中的砂岩中含有碳酸鈣的成分，因此造成炭坑內鐘乳石的形成，由上述的坑內水樣檢測與坑內石塊滴酸測試也可再次說明此一現象。圖 43 中的黑色線為一個斷層不整合界限，碳酸鈣的溶解可能來自於南港層中的砂、頁岩，其中可能含有海相生物貝殼，要弄清楚南港層、石底層和煤層的上下關係，如果年代能夠具體到百萬年，就可以判斷其上下關係。

我們將所去過的臺灣北部煤礦坑的探勘資料與地層成分整理如下表 14。所探勘的各煤礦坑皆已關坑，除和興炭坑與德興礦坑之外，其他礦坑口已封閉或崩塌，無法進入，因此我們僅可在坑口觀察紀錄、採樣，難以實際進入坑內細看是否有鐘乳石的景象，而和興炭坑和德興礦坑則是明顯觀察到坑內隧道裡鐘乳石的景觀，這 2 個礦坑相距不遠，研判應是地層與氣候條件相似的關係。瑞三本礦本身雖有發現鐘乳石，但附近的礦坑皆無法進入，無法確認裡面是否也有鐘乳石的形成，是比較可惜的地方。這 11 個煤礦坑中有 9 個所在地為砂岩與頁岩的地層組成，其中和興炭坑、德興礦坑、永達煤礦、成福煤礦旁有煤層經過。另外有發現，各煤礦坑旁皆有人工建築物，如寺廟、房舍、涼亭等(圖 44、45)。

表 14 探勘的北部煤礦坑地層說明

礦坑名稱	地層名稱	礦坑名稱	地層名稱
	地層組成		地層組成
	地層年代		地層年代
和興炭坑	石底層	三貂煤礦	南港層
	砂岩及頁岩互層，含煤層		塊狀砂岩夾頁岩
	中新世		中新世
德興礦坑	石底層	瑞三本礦	台地堆積層
	砂岩及頁岩互層，含煤層		礫石，砂及粘土
	中新世		全新世
山佳 大豐 1 號	南港層	猴硐煤礦隧道	台地堆積層
	砂岩，塊狀砂岩夾頁岩		礫石，砂及粘土
	中新世		全新世
蓋淡坑 大豐 2 號	南港層	新一坑	大寮層
	砂岩，塊狀砂岩夾頁岩		頁岩及砂岩
	中新世		中新世
永達煤礦	石底層	東山煤礦	南港層
	砂岩及頁岩互層，含煤層		塊狀砂岩夾頁岩
	中新世		中新世
成福煤礦	石底層		
	砂岩及頁岩互層，含煤層		
	中新世		



圖 44 和興炭坑與上方寺廟



圖 45 永達煤礦與旁邊房舍

七、模擬炭坑鐘乳石形成的實驗結果



圖 46 觀察沉積物



圖 47 取下濃縮 10 倍、20 倍、100 倍的沉積物

我們將炭坑取回的水樣製作成濃縮 10 倍、20 倍與 100 倍的水樣進行鐘乳石形成的模擬實驗，使用點滴控制在同樣 30 秒 1 滴的情況下(圖 46)，水樣濃縮 100 倍的沉積物產生最快，於第 5 天開始有沉積物，濃縮 20 倍的水樣於第 7 天發現有沉積物出現，而濃縮 10 倍的則在第 12 天出現沉積物，這個結果顯示我們確實可以透過人為模擬的方式來製造類鐘乳石，濃縮的比例越高效果越顯著(圖 47)。

另外，我們持續加熱 6000 毫升的炭坑水樣，最後產生 0.6 克的白色粉末(圖 48)。我們對模擬鐘乳石形成實驗產生的沉澱物與加熱實驗產生的粉末進行滴酸測試，皆有明顯的冒泡中和反應，其中加熱實驗所產生的粉末其反應較激烈(圖 49)。



圖 48 白色粉末秤重



圖 49 對沉積物與粉末分別進行滴酸

八、膠結實驗結果

接著我們想模擬炭坑內看到的膠結現象。由於上面的實驗中，6000 毫升的水樣僅可換得 0.6 克的粉末，所以我們改使用碳酸鈉加氯化鈣的方式製作模擬的高濃度水樣，調製為 2M 的溶液濃度進行模擬 (楊子萱等，2014)。在裝有大理石粉末及顆粒大小不同的碎片共 4 個容器，倒入 2M 碳酸鈉加氯化鈣的溶液後，觀察不同顆粒大小的膠結現象 (圖 50)。

結果發現，浸泡 30 小時後，顆粒大的石塊組有較明顯的膠結情況，岩石上有覆蓋黏著一層白色的沉澱物 (圖 51)；粉末組雖看似有黏著融合 (圖 52)，但手指一觸摸就完全散開了；而中顆粒、小顆粒則是還沒有明顯的沉積附著情形。

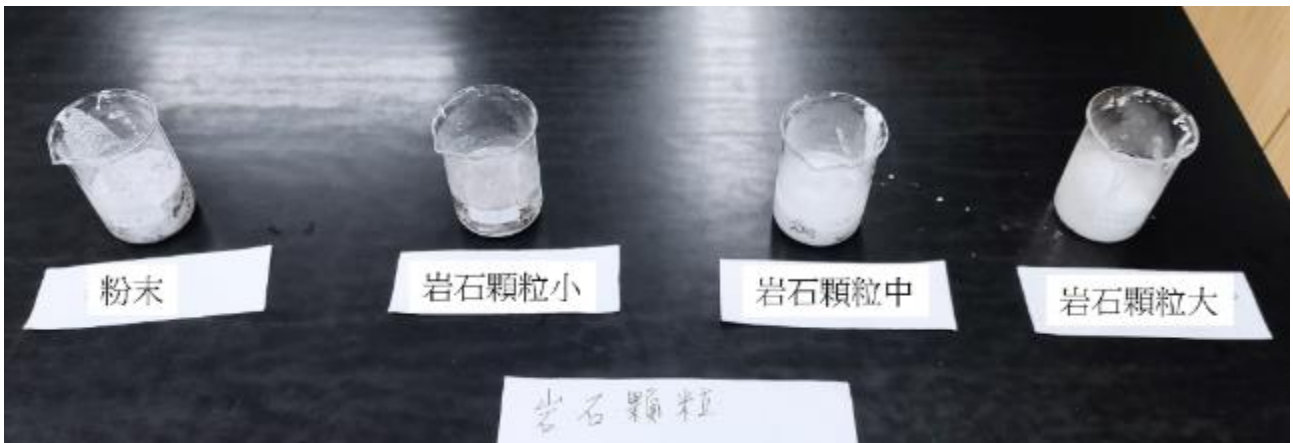


圖 50 模擬不同顆粒大小岩石的膠結現象



圖 51 白色沉澱物已覆蓋岩石顆粒



圖 52 粉末組的膠結情形

九、人工設施管狀碳酸鹽沉積物

我們在地下室停車場的天花板常看到長長細細的管狀碳酸鹽沉積物(在此簡稱管狀物)(圖 53)，看起來就像石鐘乳，去公園玩時也有看到橋樑下有類似的石鐘乳景象(圖 54)。我們取下停車場內的管狀物，發現它很脆弱、易碎，拿來滴酸後有冒泡中和反應，顯示其成分也含有碳酸鈣。橋樑下的管狀物顏色較多黃褐色，推測是因為橋樑成分含有金屬的關係，另外，橋下的類石鐘乳的直徑也較粗，取回滴酸一樣有氣泡反應(圖 55)。

經過這次一連串的比對與測試，我們發現炭坑內天然的鐘乳石，和停車場、橋樑下的人工設施管狀物都具有空心的結構(圖 56)，滴酸都有氣泡中和反應，判斷皆含有碳酸鈣的成分。此外，比較後發現橋下的類石鐘乳直徑明顯較粗(圖 57)，研判推論可能和此處的風速較大有關，依據楊子萱等人的研究指出；強風下，類鐘乳石長的越粗越長，且生長速率較快。



圖 53 停車場天花板的管狀物



圖 54 橋樑下的管狀物

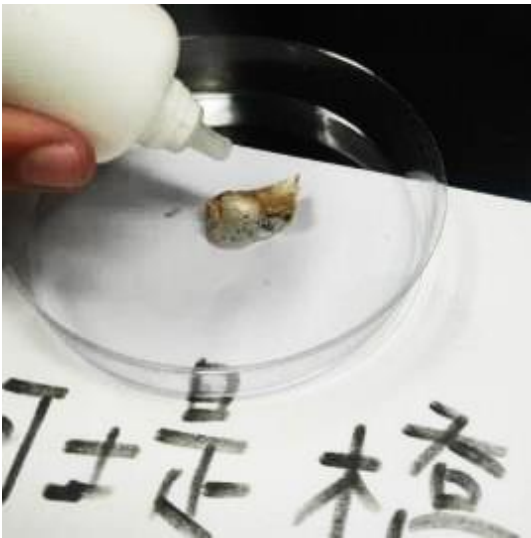


圖 55 橋樑下類鐘乳石滴酸



圖 56 橋樑下類鐘乳石內部結構



圖 57 橋樑下類鐘乳石(左)與炭坑內鐘乳石(右)外觀比較

十、礦坑所在位置降雨量分析

為了瞭解本研究調查的礦坑所在位置區域的歷年降雨量，我們蒐集各礦坑最接近的氣象站所測得的降雨量資料，歸納 2013 年至 2022 年的各區域平均降雨量比較結果如表 15。我們查詢交通部中央氣象局網站中的觀測資料系統，發現五分山氣象站於 2016 年始有紀錄、七堵氣象站於 2018 年 6 月始有紀錄，而三貂角氣象站中單獨缺乏 2017 年 11 月的月降雨量。由表 15 得知，這 7 個氣象站中，排除資料缺漏的部分，瑞芳氣象站所測得的降雨量為這些氣象站中最多的，而和興炭坑、德興礦坑所在最接近的信義氣象站，年平均降雨量排在第 3 名。

表 15 北部煤礦坑附近氣象站 2013 至 2022 年平均降雨量(單位：mm)

	氣象站名	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	鐘乳石
和興炭坑	信義	341.3	344.0	360.2	360.3	358.7	271.6	351.6	320.5	310.3	401.3	有
德興礦坑	信義	341.3	344.0	360.2	360.3	358.7	271.6	351.6	320.5	310.3	401.3	有
山佳 大豐一號	山佳	340.2	328.8	300.2	369.7	303.7	273.7	344.0	309.9	318.1	362.2	
蓋淡坑 大豐二號	山佳	340.2	328.8	300.2	369.7	303.7	273.7	344.0	309.9	318.1	362.2	
永達煤礦	三峽	368.2	334.6	318.0	364.9	326.0	278.5	336.2	292.7	322.3	364.8	
成福煤礦	三峽	368.2	334.6	318.0	364.9	326.0	278.5	336.2	292.7	322.3	364.8	
三貂煤礦	五分山				620.1	541.3	596.7	544.3	584.7	504.5	746.0	
瑞三本礦	瑞芳	526.0	420.2	474.5	531.4	514.5	511.2	496.3	558.0	441.1	739.8	有
猴硐 運煤隧道	瑞芳	526.0	420.2	474.5	531.4	514.5	511.2	496.3	558.0	441.1	739.8	
新一坑	七堵						548.9	444.1	431.7	386.3	587.1	有
東山煤礦	汐止	366.6	366.7	382.3	446.1	421.5	348.1	417.3	399.4	363.3	522.1	

伍、討論

- 一、我們多次去和興炭坑探勘時，發現坑內的出水量不太固定，推測與我們探勘前幾日的降雨情形有關。炭坑觀察到鐘乳石成形比較厚實的區域，岩壁滲水量較多，比較薄的則是岩壁滲水量較少。顯示影響同一地區鐘乳石成長的主要因素是地下水的多寡，且依據表 15 說明有鐘乳石的礦坑所在區域降雨量豐富，可提供鐘乳石成長所需的地下水源。
- 二、我們發現有鐘乳石的礦坑，其水樣的 pH 值比沒有鐘乳石的礦坑高。而和興炭坑內的水樣測試結果顯示，坑頂滴水量多的區域，其 pH 值較高，該區域的鐘乳石種類較豐富，生長速率也較快。
- 三、我們調查的 11 個北部煤礦坑的地層多為砂岩與頁岩，而出現鐘乳石的煤礦坑所在地區皆沒有石灰岩的地層，顯示鐘乳石不一定要在石灰岩的地層才可生成，只要地層中的成份有一定比例的碳酸鈣就有可能形成鐘乳石。
- 四、本研究調查的和興炭坑原本是生產煤炭，我們在裡面發現豐富的鐘乳石、石簾、石壁、石柱、晶洞等型態的結晶物。因炭坑原本產煤的關係，有些結晶物出現黑化的情況(圖

58、59)，未來可再研究此成分與該地區地質、鐘乳石的交互關係。



圖 58 受煤炭影響的石壁



圖 59 坑頂出現的炭斑

五、根據我們模擬的類鐘乳石生成實驗，水溶液鹽類的濃度會影響類鐘乳石的形成，濃縮水樣 100 倍的滴定實驗效果最明顯。由此可以推論鐘乳石的生成與礦坑內岩縫滲出的水中鹽類濃度高低有關。

六、瑞三本礦坑口的說明介紹距離坑口 160 公尺處有鐘乳石，我們計畫未來該礦坑開放參觀後前往實地調查，並與和興炭坑做比較。

七、我們在蒐集文獻資料時，發現過去有研究指出風速也會影響鐘乳石的形成與形狀，其研究結果顯示生長在石灰岩洞穴裡的鐘乳石在風較大的環境下較粗、較快(楊子萱等，2014)。而我們去炭坑探勘時都有攜帶風速計，測量炭坑口和坑內的風速，該處的風速皆測為零，明顯與該研究的結論不符。由於該研究為模擬開放空間的實驗，可能與實際礦坑自然環境有所不同，有待後續進一步探討。

八、透過測量礦坑內、外的二氧化碳濃度，我們發現有鐘乳石的礦坑其坑內二氧化碳濃度比沒有鐘乳石的礦坑高，且有鐘乳石的礦坑其坑內、外二氧化碳濃度差異較大。

陸、結論

一、本研究所調查的臺灣北部 10 餘座煤礦坑中，和興炭坑、德興礦坑、瑞三本礦及新一坑有鐘乳石。上述炭坑環境的溫度介於 16°C 至 24°C，濕度介於 62%至 72%，風速為零，顯示炭坑內的溫度、濕度及風速皆為影響鐘乳石形成的因素。

- 二、水落石出。足夠且穩定的地下水，含有碳酸鈣成分的上覆岩層，加上水質酸鹼度適宜，洞內滴水速度適中與洞內大氣 CO₂ 的壓力有差別，礦坑才有可能形成鐘乳石。
- 三、日常生活中常見的「人工設施管狀碳酸鹽沉積物」，例如停車場的天花板、橋樑下、騎樓走廊等地方，它們多生長在建築結構中有漏水的地方，主要是水分蒸發而導致碳酸鈣沉澱，與洞穴次生碳酸鈣沉澱以水中 CO₂ 脫氣為主的原理不同，而我們的研究發現其成分與天然形成的鐘乳石類似。
- 四、臺灣北部的煤礦坑擁有稀有的鐘乳石景觀，這些礦坑可說是學習鐘乳石形成過程的真實版自然教室，政府相關單位應該設法加以保護。我們此次研究過程中，儘可能保留現場原貌，將人為的破壞降至最低。

柒、參考文獻資料

- 吳思瑩 (2011)。「滴水成石」－鐘乳石形成之研究。臺北市。全國中小學科展作品第 41 屆。
- 楊子萱、溫千藝、葉家瑜 (2014)。鐘年發福－探討模擬洞穴對鐘乳石生長之影響。臺北市。全國中小學科展作品第 54 屆。
- 林哲瑄、吳辰書、鍾景亘 (2015)。「石」間記憶－由鐘乳石探討大崗山之前世今生。高雄市。全國中小學科展作品第 55 屆。
- 陳皓嫻 (2013 年 10 月 3 日)。台大教授：鐘乳石紋非一年一層。取自 <https://twgeoref.moeacgs.gov.tw/GipOpenWeb/wSite/ct?xItem=144893&ctNode=212&mp=6>
- 石筍和鐘乳石要花多久形成？(2014 年 5 月 21 日)。《BBC 知識》國際中文版 NO.33 期。取自 <https://reading.udn.com/v2/mobile/magDesc.do?id=60106>
- 成岩作用。(2021 年 11 月 7 日)。維基百科。取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%88%90%E5%B2%A9%E4%BD%9C%E7%94%A8>
- 次生碳酸鈣。(2023 年 5 月 29 日)。維基百科。取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%AC%A1%E7%94%9F%E7%A2%B3%E9%85%B8%E9%88%A3>
- 地質資料。地質騰雲網-地質雲端桌面。取自 <https://www.geologycloud.tw/desktop/zh-tw>
- 觀測資料查詢。中央氣象局自動氣象站觀測資料彙整。取自 <https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/>
- 魏稽生 (2000)。臺灣經濟礦物，第三卷，臺灣能源礦產及地下水資源。新北市。經濟部中央地質調查所。
- 莊展鵬 (1991)。臺北地質之旅。臺北市。遠流出版。

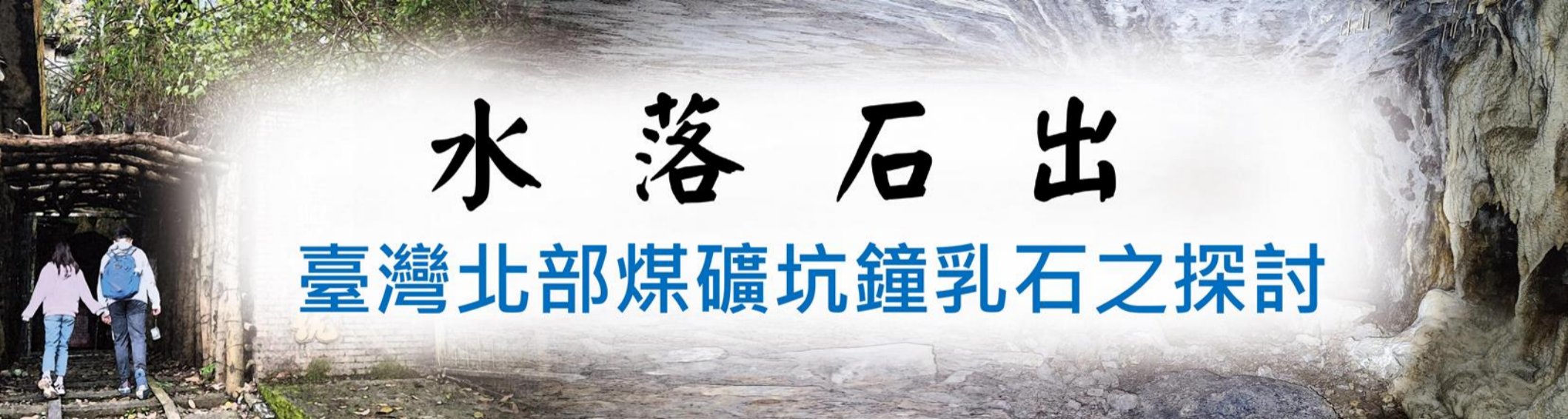
【評語】 080508

本研究對北部數個煤礦坑進行野外探察，系統性地瞭解鐘乳石的生長環境與相關的地質資料。利用野外觀察推斷可能作用，並利用室內實驗再現所推論之過程，研究成果足以證實結論。另外，該團隊有邏輯地於海報中說明結果，回答簡潔清楚，思考縝密，值得鼓勵。

作品海報

水落石出

臺灣北部煤礦坑鐘乳石之探討



本研究探討臺灣北部煤礦坑內鐘乳石形成的原因。採野外實地調查，尋找有鐘乳石的煤礦坑，現場觀察記錄坑內各種型態的鐘乳石，測量煤礦坑內的溫度、濕度、風速、二氧化碳濃度及水樣的酸鹼度，並進行水樣的元素分析。研究發現礦坑鐘乳石形成的環境條件為：礦坑內溫度介於16°C至24°C、濕度介於62%至72%、風速為零、礦坑所在區域的地層中含有碳酸鈣成分、有穩定的降雨提供充足的地下水。此外，利用模擬實驗探討鐘乳石的形成過程與碳酸鈣溶液的膠結現象。最後，採集生活中常見的人工設施管狀碳酸鹽沉積物，分析其與天然鐘乳石的差異，藉以比較在不同環境下生長的鐘乳石。

壹、前言

一、研究動機



二、研究目的

- (一) 了解煤礦坑鐘乳石的生長情形
- (二) 探討煤礦坑鐘乳石形成的條件
- (三) 調查臺灣北部各地煤礦坑的環境
- (四) 分析人工設施管狀碳酸鹽沉積物(類鐘乳石)與天然鐘乳石的差異

貳、研究設備及器材

游標尺、傾斜儀、風速計、空氣品質(CO₂)檢測儀、溫溼度計、地質錘、離心機、感應耦合電漿光學發射光譜儀(ICP-OES)。

參、研究過程或方法

一、炭坑內環境與各類型鐘乳石調查



圖1 炭坑所在位置圖



圖2 實際探勘情形



圖3 石塊包覆形成膠結現象



圖4 乾燥區碎石無膠結現象

二、探討鐘乳石形成的原因

(一) 炭坑內水樣與石塊採集

蒐集石鐘乳、石簾滴落的水及晶花洞中、地面的流水。採集礦坑內的石塊，觀察各石塊的剖面構造，進行滴酸實驗。

(二) 各礦坑水樣成分分析

選擇和興炭坑的石鐘乳、石簾、石壁、晶花洞滴落的水和坑內地上的水，瑞三本礦、永達煤礦坑口地面的水，德興礦坑石鐘乳的滴水，以及建德橋下、停車場內類鐘乳石的滴水，共計10個。使用儀器分析水樣，其實驗步驟如圖5至圖7。

(三) 炭坑周圍環境地質調查

使用傾斜儀測量岩層的走向、傾角，採集有露頭的岩層石塊。



圖5 水樣滴加硝酸



圖6 分離沉澱物



圖7 水樣元素分析



圖8 本研究探勘的臺灣北部煤礦坑位置圖

三、比較臺灣北部煤礦坑的環境

- (一) 使用相機記錄煤礦坑周圍環境景觀。
- (二) 測量礦坑內的二氧化碳濃度、溫溼度及風速。
- (三) 採集礦坑口及坑內的石塊並蒐集水樣進行分析比較。

四、比較人工設施管狀物(類鐘乳石)和天然鐘乳石的差異



圖9 加熱濃縮水樣



圖10 點滴滴水



圖11 顆粒大中小大理石

肆、研究結果

一、和興炭坑內的各類型鐘乳石

觀察記錄與比較

(一) 和興炭坑內鐘乳石類型

表1 和興炭坑內鐘乳石類型

石鐘乳	石簾	石筍
石壁	石柱	晶花洞與晶花

(二) 和興炭坑內各類型鐘乳石的紀錄與比較



圖12 大面積白色構造物

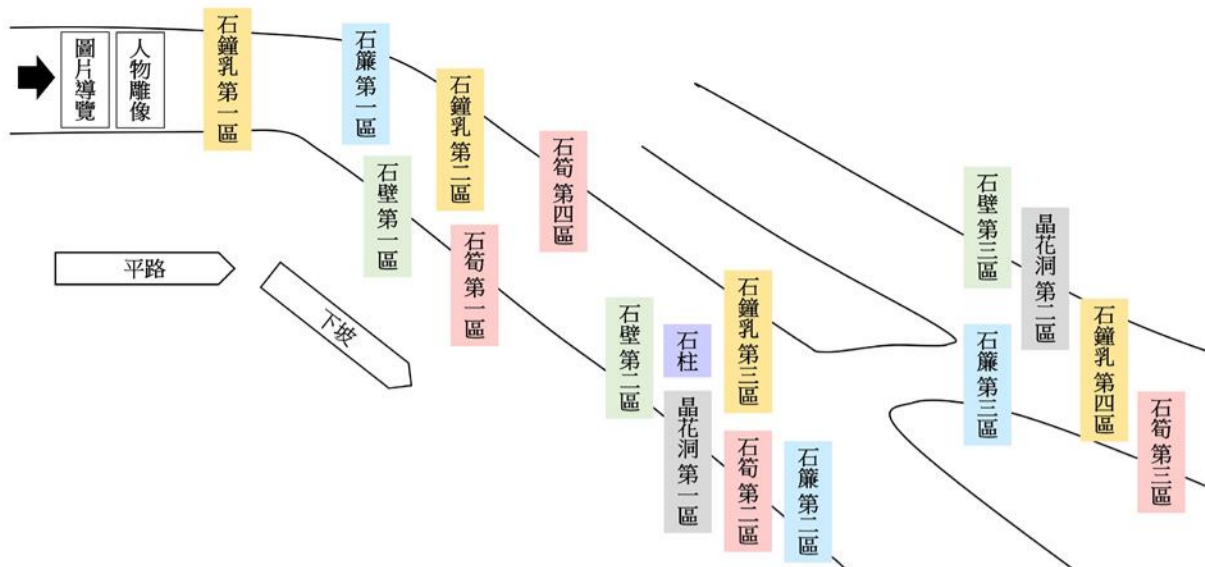


圖13 和興炭坑鐘乳石分區示意圖

表2 炭坑4區石鐘乳的測量結果

	石鐘乳 第1區			石鐘乳 第2區			石鐘乳 第3區			石鐘乳 第4區		
	直徑	長度	生長速率	直徑	長度	生長速率	直徑	長度	生長速率	直徑	長度	生長速率
平均	6.79 mm	28.90 mm	0.50 mm/年	8.93 mm	17.39 mm	0.30 mm/年	7.49 mm	43.61 mm	0.7 mm/年	6.57 mm	47.88 mm	0.83 mm/年

表3 炭坑3區石壁的測量結果

石壁 第1區		石壁 第2區		石壁 第3區	
長度	高度	長度	高度	長度	高度
520mm	850mm	1710mm	1700mm	2000mm	210mm

表4 炭坑2區晶花洞的觀察紀錄

晶花洞 第1區		位於複合型態的結晶物下方內部有明顯晶花。
晶花洞 第2區		晶花結晶顆粒較第1區小。

表5 炭坑3區石簾的測量結果

石簾 第1區			石簾 第2區			石簾 第3區		
長度	高度	厚度	長度	高度	厚度	長度	高度	厚度
1150mm	21.6mm	8.3mm	7580mm	36.1mm	7.2mm	1860mm	67mm	8.3mm
			1590mm	16.6mm	8.3mm	1350mm	17.2mm	7.0mm

表6 炭坑4區石筍的測量結果

石筍 第1區		石筍 第2區		石筍 第3區			石筍 第4區	
直徑	高度	直徑	高度	長度	寬度	高度	直徑	高度
40.75mm	38.0mm	61.6mm	45.5mm	34 mm	72 mm	260 mm	44.4mm	43.3mm
				33 mm	48 mm	162 mm	46.1mm	38.0mm

二、炭坑內鐘乳石的形成過程



圖14 磚塊區鐘乳石



圖15 石簾形成的情形



圖16 坑頂的石壁與石簾

三、北部其他礦坑的鐘乳石調查結果



圖17 德興礦坑石簾



圖18 新一坑石鐘乳



圖19 瑞三本礦石鐘乳和石簾

四、和興炭坑內水樣測試與石塊滴酸

(一) 水樣測試 - pH值介於7.46至8.58之間。

表7 炭坑各區域水樣pH值測試結果

	鐘乳石1	鐘乳石1-紅磚	紅磚區底	石簾第1區	石壁2-大白	晶花洞1	石簾第3區	晶花2	石筍1對面
pH值平均	7.67	7.58	7.79	8.15	8.37	7.88	8.07	7.86	7.84
	晶花洞1裡面	晶花洞2裡面	晶花洞2鐘乳石	大白鐘乳石	石筍1地上	石筍4地上	石筍3上石簾	鐘乳石4	
pH值平均	8.36	8.02	7.98	8.58	7.73	8.40	7.47	7.46	

(二) 石塊滴酸

岩石切割後進行滴酸試驗，有明顯的氣泡反應，如圖21及圖22，顯示其含有碳酸鈣的成分。岩石剖面處沉積物質與膠結現象如圖23。



圖20 炭坑岩石的新切面



圖21 岩石表面滴酸反應情形



圖22 坑內石塊滴酸的氣泡反應



圖23 岩石表面的膠結情形

五、北部其他礦坑水樣測試與石塊滴酸

表8 北部各礦坑探勘結果

	名稱	探勘情況	坑口CO ₂ (ppm)	坑內CO ₂ (ppm)	當日溫度 / 濕度	水樣	石塊
1	和興炭坑	到坑內觀察	415	564	5/21 22° / 76%	有	有
2	德興礦坑	可進入坑道，探勘至隧道內封閉處	405	578	5/21 26° / 70%		有
3	山佳大豐1號	坑口積水無法進入	403	440	5/27 32° / 55%	有	有
4	蓋淡坑大豐2號	至隧道內封閉處	402	432	5/27 26° / 69%	有	有
5	永達煤礦	坑口積水無法進入	532	547	5/27 29° / 67%	有	有
6	成福煤礦	至坑外柵欄封閉處			5/27		
7	三貂煤礦	至坑口處，後已封閉	405	423	5/28 30° / 70%	有	有
8	瑞三本礦	進入至坑內30公尺處	809	1008	5/28 25° / 81%	有	有
9	猴硐煤礦隧道	至坑口處，後已崩塌	788	837	5/28 26° / 75%	沒有滴水	有
10	新一坑	走至運煤隧道內	465	749	5/28 27° / 78%	隧道內無滴水	有
11	東山煤礦	至坑口處，後已封閉	557	592	5/28 27° / 74%	有	有

(一) 水樣pH值測試

與和興炭坑的水樣pH值相較，大多數的煤礦坑的水樣pH值接近中性，僅蓋淡坑大豐二號、東山煤礦為偏弱鹼。

表9 各煤礦坑水樣pH值測試結果

	大豐一號	大豐二號	永達煤礦	三貂煤礦	瑞三本礦	東山煤礦
pH值平均	7.29	7.52	7.05	7.14	6.94	7.61

(二) 水樣成分分析 - 分析10個水樣其中的20種元素，取濃度大於0.01mg/L。

成分單位：mg/L

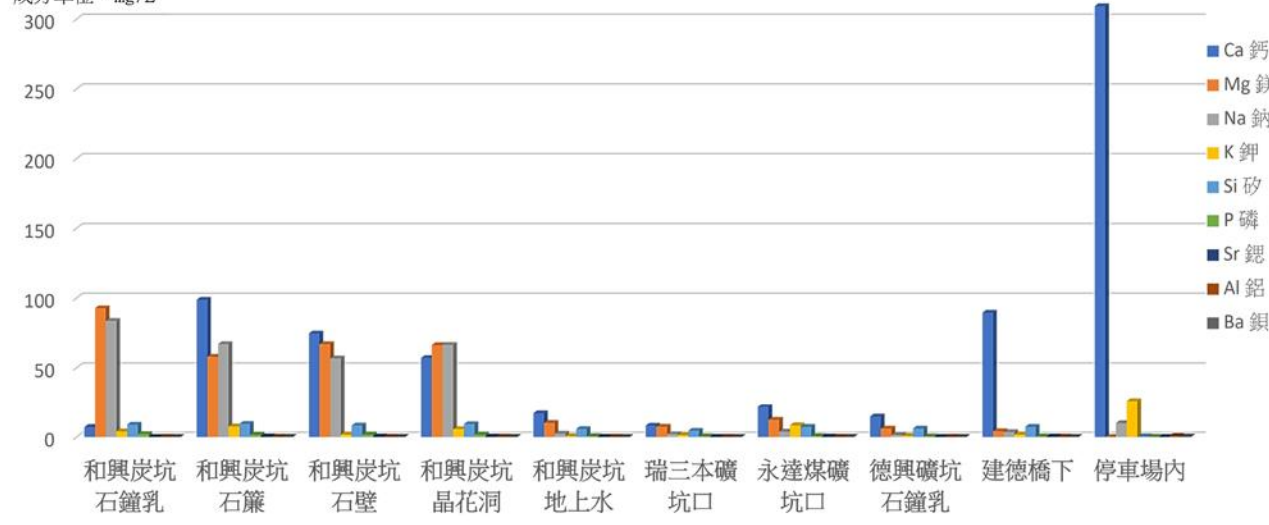


圖24 水樣元素成分分析結果

1. 和興炭坑前4個樣品都屬於岩溶水，元素濃度相對較高。
2. 和興炭坑石鐘乳滴水的成分元素含量與另外3個岩溶水有明顯差別。
3. 和興炭坑前4個樣品的含磷量較其它的水樣偏高。
4. 本實驗所測定的10個水樣，以停車場水樣中的鈣元素含量最高，如圖24。

(三) 石塊滴酸 - 和興炭坑、德興礦坑、大豐一號、大豐二號、東山煤礦有氣泡反應。

六、和興炭坑與其他煤礦坑周圍地質研究

本研究所探勘的北部11個煤礦坑中，有9個為砂岩與頁岩的地層組成。

表10 本研究探勘的北部煤礦坑地層說明

礦坑名稱	地層名稱 地層組成 地層年代	礦坑名稱	地層名稱 地層組成 地層年代
和興炭坑	石底層	三貂煤礦	南港層
	砂岩及頁岩互層，含煤層 中新世		塊狀砂岩夾頁岩 中新世
德興礦坑	石底層	瑞三本礦	台地堆積層
	砂岩及頁岩互層，含煤層 中新世		礫石，砂及粘土 全新世
山佳 大豐1號	南港層	猴硐煤礦 隧道	台地堆積層
	砂岩，塊狀砂岩夾頁岩 中新世		礫石，砂及粘土 全新世
蓋淡坑 大豐2號	南港層	新一坑	大寮層
	砂岩，塊狀砂岩夾頁岩 中新世		頁岩及砂岩 中新世
永達煤礦	石底層	東山煤礦	南港層
	砂岩及頁岩互層，含煤層 中新世		塊狀砂岩夾頁岩 中新世
成福煤礦	石底層		
	砂岩及頁岩互層，含煤層 中新世		

七、模擬炭坑鐘乳石形成的實驗結果



100倍 / 10倍 / 20倍

圖25 濃縮 10 倍、20 倍、100 倍的沉積物



圖26 白色粉末秤重



圖27 白色粉末滴酸有氣泡反應

八、膠結實驗結果



圖28 盛大理石粉末及顆粒大小不同碎片的容器

圖29 大顆粒膠結

九、人工設施管狀碳酸鹽沉積物



圖30 天花板的管狀物



圖31 橋樑下的管狀物



圖32 橋下類鐘乳石內部結構



圖33 和興炭坑鐘乳石

十、礦坑所在位置降雨量分析

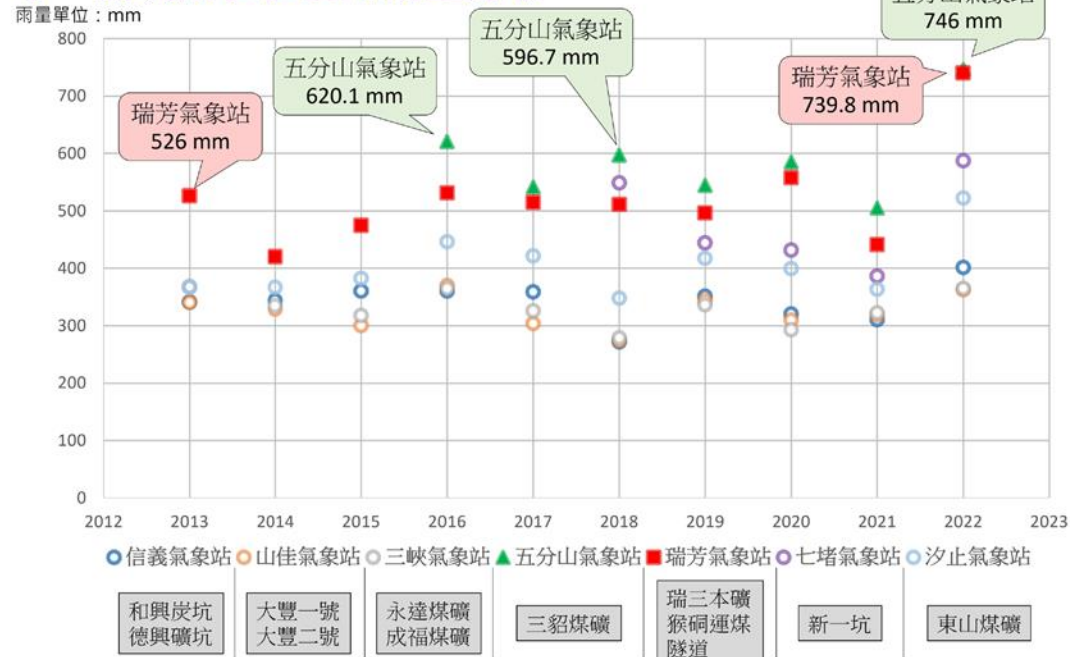


圖34 北部主要煤礦坑附近氣象站2013至2022年平均降雨量

伍、討論

- 一、炭坑鐘乳石形成比較厚實的區域，其岩壁滲水量較多，比較薄的岩壁滲水量較少。顯示影響同一地區鐘乳石成長的主要因素是地下水的多寡，形成鐘乳石的礦坑所在區域降雨量豐富(圖34)，可提供鐘乳石成長所需的地下水源。
- 二、我們發現有鐘乳石的礦坑，其水樣的pH值比沒有鐘乳石的礦坑高。另外，和興炭坑內滴水量較多的區域，水樣pH值較高，且該區域的鐘乳石種類較豐富，生長速率也較快。
- 三、本研究調查的11個北部煤礦坑中，出現鐘乳石的煤礦坑所在地區皆沒有石灰岩的地層，顯示鐘乳石不一定要在石灰岩的地層才可生成，只要地層中的成份有一定比例的碳酸鈣即可。
- 四、文獻資料指出風速也會影響鐘乳石的生長，鐘乳石在風較大的環境下較粗生長較快(楊子萱等，2014)。然而，我們去和興炭坑所測風速皆為零，與該研究結論不符。由於該研究為模擬開放空間的實驗，可能與實際礦坑自然環境不同，待後續進一步探討。

陸、結論

- 一、本研究發現有鐘乳石的炭坑環境溫度介於16°C至24°C，濕度介於62%至72%，風速為零，因此炭坑內的溫度、濕度及風速皆為影響鐘乳石形成的因素。
- 二、形成鐘乳石的必要條件包括：足夠且穩定的地下水、含有碳酸鈣成分的上覆岩層、水質酸鹼度適宜、洞內滴水速度適中與洞內大氣二氧化碳的壓力有差異。
- 三、「人工設施管狀碳酸鹽沉積物」是水分蒸發導致碳酸鈣沉澱，其與洞穴次生碳酸鈣沉澱形成的原理不同，而其成分與天然鐘乳石類似。
- 四、擁有鐘乳石的礦坑其坑內二氧化碳濃度比沒有鐘乳石的礦坑高，且礦坑的坑內、外二氧化碳濃度差異比沒有鐘乳石的礦坑大。

柒、參考文獻資料

- 楊子萱、溫千藝、葉家瑜 (2014)。鐘年發福—探討模擬洞穴對鐘乳石生長之影響。臺北市。第54屆全國中小學科學展覽。
- 林哲瑄、吳辰書、鍾景亘 (2015)。「石」間記憶—由鐘乳石探討大崗山之前世今生。高雄市。第55屆全國中小學科學展覽。
- 地質資料。地質騰雲網-地質雲端桌面。取自經濟部中央地質調查所 <https://www.geologycloud.tw/desktop/zh-tw>