

喀斯特地形之地質環境

王 嘉 二

(國立中央研究院地質研究所)

此文曾於本年地質學會年會中提出，惜以限於時間，未能充分討論，茲借此園地與海內諸同志商榷，如蒙教益，曷勝感幸！

喀斯特 (Karst) 一字，原為意大利北部之地名，以其地多灰岩，而又俱有特殊之地形，西人即以此字，代表此種地形，即我國雲南所謂之「石林」，亦即甲天下之桂林山水也。今舍固有石林之名而不用，而另以外來之名名之，殊覺理有未合。實則喀斯特一字之涵義，較之石林尤廣，故石林不僅代表之論文現象。均以喀斯特代表之。

此種地形，分佈極廣，而不受溫度雨量及緯度之影響 (1, 251)，在我國之分佈，多在華南 (2)，初視之，似與氣候及緯度有連帶之關係，實則華北各地，亦間有之，雖溫度雨量及所在之緯度不同，而其所表現之地形，則均相同。

一般之喀斯特地形，均在灰岩區域中，地形學者遂均視之為灰岩地形 (1) 27°，因是生成原因，概歸於灰岩之易於溶解。於是喀斯特地形，乃成為溶解侵蝕所成之特殊地形。A. Grund (3) 89 有地下水流學說，為一般地形學家所迷信。O. L-

* 括弧中之數字為參考書之順序，括弧後之數字為該書內之頁數。

ehmann 以爲地殼 □，使灰岩發生裂縫，因水侵溶結果，裂縫逐漸加寬同時生成洞穴等，總之生成喀斯特地形，岩石最顯著性質，爲其易於溶化及易生裂縫。

由於灰岩之易於被溶，於是與此連帶有關之現象，均以溶蝕解釋，如灰岩中之小型盆地（Poljes）亦均認爲溶蝕所成，更有大如昆明盆地者，亦以之爲溶蝕所成。甚固不能因爲溶蝕不能造成盆地，比較大之盆地，不可忽視構造上之位置（1）
293。

灰岩之性質不同，其所受溶蝕之反口即異。因之所造成之地形，亦即不同。白雲石及泥質灰岩，不易溶解，常使地形之發育變形（1）²⁸⁷。如偏此等性質影響，則在灰岩區域中，有多喀斯特地形，而事實上，竟有不然，喀斯特地形，固多在灰岩區域中，但在灰岩區域中，不必然爲喀斯特地形。此種現象，華北最爲清楚，灰岩分佈廣，而特殊之石林地形，殊不多見。

反之，常有如石林地形而非灰岩造成者，是等現象見於廣西之北嶺南嶺等地，均屬砂岩。初視之，似不合題，以灰岩及砂岩之性質各異，風化之現象，自亦不同。最顯明之例，卽石英不易溶解。實則花崗岩風化後，在溼熱之環境下，石英之損失可達30%+，鈣鈉鹽之損失不過2-3%（4）。自然界間砂化作用，亦極普遍，如玉髓木化石等，以及安山岩中之杏仁石等，均足爲石英溶解，再行沉澱之明證。而石英膠更多，隨時可見。石英之於鹼性溶液中，尤能溶解（5）⁴⁴⁴。石英岩之造成，固多熱力變質，而由於膠質石英，使砂岩晶粒膠結生長而成者，亦復不少（6）。砂岩既爲石英晶粒組成，自亦具有被溶之

性質，與灰岩相較自有程度上之差別，而其所造成之地形，亦即為「時期」之有異，然其發展程過，則必相同。

溶解度不同，可影響喀斯特之生成(1)²⁸⁷是值形像程度之不同，但不能謂其岩性之微有差異，而地形生成之因素，亦行改變。換言之，即同樣作用力造成之地形，應列入同類中。正如阿爾卑斯山頂之冰川地形，不論其造成之岩石性質如何，均應名之為冰川地形。因砂岩與灰岩俱有同樣性質，故其所成之地形應亦列為同類。

一、灰岩與砂岩性質上之比較

為明瞭灰岩與砂岩物理性質之異同起見，故須兩相比較。其最大之不同，乃在其一幾成均質體，組織緻密；其一為細粒造成，空隙甚多，是其顯著之不同，乃正是相同之處。因碎粒品粒及其膠結質，雖不易溶解，而可與易溶解之灰岩同樣透水也。其第二不同之點乃在對水溶解之難易，此可由其品粒間之孔隙與濟之。茲將兩岩石相同之點列下：——

(一) 同溶於不純潔之溶液中。灰岩易溶於含二價碳酸之溶液中，砂岩則易溶於含有碳酸鈉或其鹼性溶液中。兩者同受地下水作用，殊無疑意。

(二) 同為蓄水層，蓄水層之主要條件，為其上下須有不透水層，頁岩為不透水層，故夾於其間之灰岩及砂岩層均可作自流井之探(7)³²⁸。極厚層之砂岩區域與灰岩同，均感水量缺乏。同時亦同為含油層，此可見於各油田報告中。

(三) 年代較近之灰岩及砂岩，孔隙均大，地下水極易通過。年代較老之砂岩及灰岩孔隙均小(7)³²⁹，砂岩多有成爲

石英岩等。普通灰岩及白雲岩之孔隙為 1%—5%，砂岩為 5%—20% (8)。實則與其謂為年老或較近不加開為地下水作用程度之深淺不同耳。

(四) 脆性相同，在灰岩及砂岩中，常有力解石脈及石英脈，是為其同易破裂之明證。其不同之點，即在灰岩區域中，常有洞穴生成。而砂岩區域中，則無是等現象。灰岩又常呈喀斯特現象，遂使洞穴生成。與喀斯特發生連系。實則有灰岩之區域，均有洞穴，而有洞穴之灰岩，未必即成喀斯特地形。是可見於灰岩分佈甚廣，而喀斯特僅佔其中之一部分耳。

洞穴之生成，乃完全由於地下水溶蝕之結果。至喀斯特之生成，是否由此，尚屬疑問。S.W. Wooldridge 及 R.S. McGee 謂造成喀斯特地形，溶解作用及機械的剝蝕作用 (Corrasion) 同等重要 (1) 291。若此說不誤，則溶解作用，對於喀斯特之生成，不過原因之一，而非其主要原因。比較不易溶解之白雲岩及不純潔之灰岩，以風化為主所造成之此種地形 A.G. 命名之為半喀斯特地形 (Halbkurst) (2) 86，以對全喀斯特地形 (Ganzkurst) 而言。福建之紅色砂岩區域中，亦具此同種地形，陳愷先生名之「假喀斯特地形」 (Pseudokarst) (9) 46，是皆受溶解侵蝕學說之影響。實則地下水之在砂岩中流動，可達相當之高度，每日可達 16.5 至 29 呎 (3)，而使砂岩中之膠結質，隨水溶去，成為碎礫砂粒 (7) 328，此種現象，已近於灰岩區域洞穴生成之境況矣。其所以不能成為洞穴者，即因洞穴之孔道方成，即為碎礫之砂粒所填塞。以是夾於岩層中之砂岩，常成碎礫之所謂 Freestone (10)。此等碎礫之砂岩，即可受水之滲透，或岩層之壓力，或機械剝蝕中，造成所

謂砂塔或砂岩塔 (Sand dyke or Sandstone dyke) (1)。其所以不能造成洞穴者，固由於石英之不易溶解，而其主要原因，未始不由於地下水之易於流動，及砂粒疎鬆之結果也。

就上述之各種性質而言，砂岩及灰岩對於地下水之作用，極為相似。因之所成之地形，亦極相同，故喀斯特一字之定讞，可否展至砂岩區域中，實為待決之問題。

二、喀斯特之構造環境

喀斯特地形，既與灰岩之地理分佈，不甚相符。是其生成，固非單獨灰岩即可，尚須以其構造上之環境如何而定。普通謂灰岩之所以成喀斯特，乃由於其具有被溶解之特性，及其特別發育之節理。此被溶解之特性，對於喀斯特之生成，自屬有關。但喀斯特之生成，不受氣候及緯度之限制，已見於前，亦即不受雨量多寡之影響；如為溶解所成，當與雨量多少之佈一致。今既不受其影響，是知造成喀斯特地形之主要因素，實為構造條件。即同樣岩石，具有同樣物理性質，如構造之環境不適宜，即不能成此地形。前因以灰岩之脆性，為造成喀斯特之原因，實則無構造上之適宜變動，亦難使其脆性達充分之發展。

未及構造問題之先，可先視喀斯特地形之地理分佈，然後再視其與構造之關係。我國喀斯特地形最發育之地域，乃在雲南之路南廣西之桂林一帶，其他貴州四川湖南江西均極發達，而此等地域，又多限於華南，華北偶爾有之(2)，分佈甚狹。初視之，似與雨量有關，以華南較之華北，實為多雨，實則與構造之關係，更為密切。

展開李四光教授之「中國地質」一書中之山系係新口 (12) 266-7 及其最近「南嶺何在」一文 (13)，可知粵南嶺桂之所以多喀斯特岩，乃在其構造上俱有特異之點，而非單獨灰岩之可造成。查在此區域中，構造益為複雜。東西構造帶 (12) 247-81 及新口夏式構造 (12) 230-5，互相干涉。再加以切向山系 (Shearform) 之影響，使之更為複雜。陰山秦嶺山系，同為東西構造帶，情況甚為簡單。而所離南嶺山系，則與之大不相同 (13) 273。貴州以東，均受新華夏式之影響，而南嶺東西帶之生成，又非一次，亦有新舊之別 (14)，重複褶皺，而東西向與新華夏兩山系之走向，又適成相互垂直。以是在此區中，各地層岩石所受之壓應力及張應力，均在兩次以上。以受壓應力作用之方向，於第二次應力作用時，即成為張應力最強之方向，如新東西帶對新華夏之作用，亦復如是。因之受此相互垂直之應力作用，裂縫自易生成。在未受侵蝕之前各岩石已俱此十字形象之裂縫，其後稍加侵蝕即成相互分裂之十字山形。

粵南嶺為久已馳名之喀斯特地形，惜其構造情形尚未完全明了。惟以南嶺與各地之局部褶皺未能相符，因是雲南之真實存在問題，尚待研究 (13) 309，雲南山系大都變成南北，所謂「橫斷山脈」是也。京部則成東北，西部則向西北。而東西構造帶，亦所在多有。但以受南北向之主應影響，常不顯著。在印度附近，Gregory 發現東西向之山系，李四光教授推測，在同緯度之各地，均可有此東西帶發生 (12) 247。果也，王竹泉陸鴻烈先生於路南發現有相互垂直之斷層 (15)，其他雲南北之南圓及滇西之現圓等地方均有東西構造發生

，其他各地情況不詳。但其受有相互垂直之壓应力作用，與斷面相同。

廣西之構造，知之較詳（16），新華夏軸向，到底與東西構造帶接觸，桂林為新華夏發達之區域，但亦受東西構造帶之影響，影響最大者，其喀斯特地形，亦最發達，故有「桂林山水甲天下，陽朔山水甲桂林」之說，蓋陽朔受東西褶皺之影響，更大於桂林也。因相互干涉之結果，東西帶時隱時現，呈不連續狀態。桂省東南各縣如桂平容縣及岑溪等處之砂岩，儘多呈喀斯特地形（17），張文佑先生以砂岩之膠結質為灰岩質，故極易被溶而成此現象。實則此處之東西褶皺與廣西系之前弧吻合而變成南北向之山系出現於靈山白馬等地，此等現象，至為明顯，以是此區域中之砂岩，各俱有十字形之裂縫，故能造成與灰岩相同之地形上之構造。構造上之關係，遠過於岩石本身之性質。

西南情形與此相似。由常寧至藍山，東西構造帶之五條之多，其最顯明者，有常寧南之塔山，新田境內之福壽山等。新華夏之北二十度東向之山系，常為此東西向山系所截斷，藍山隨武亦均受東西褶皺之影響，同時亦為新華夏發育之區域。因是在此區域中之灰岩及砂岩，均呈喀斯特地形，東去嶺南，與此相同，總概結果，見於「南嶺何在」（13）。

東至福建，亦有同樣景況（9）。最近高振西王應南先生於安溪同安南安等地已發現新華夏式及東西向構造（18）。其干涉結果，自必生成相互壓張之情況，使岩石易於風化構成喀斯特地形。福建之砂岩較多，故陳愷先生名之為假喀斯特地形。

舉喀斯特地形，不甚發育。高振西先生於北平西山中，已有發現(2)。西山構造，亦甚俱有幾成東西及南北兩方向之褶皺(19)。兩者同生一地，彼此干涉之現象，自必顯明，因之適宜於喀斯特地形之發育。其他各地，灰岩雖有，而此口適宜之構造，多不存旺，故喀斯特地形較少。

喀斯特地形發展最完善之區域，當推意國北部之喀斯特(北緯 $15^{\circ}10'$ 東經 14°)。其地處於亞平寧山系與阿爾卑斯山系接頭之處，兩山系又幾成垂直，故其應發所生之裂縫，應引引張之壓力，前後相重，故在此區域中各岩石俱有十字形之裂縫，易成喀斯特地形。如Adame lo之三 紀灰岩及Caporetto之白堊紀，時紀不同，而同成此種地形(20)，而此區域又在地震帶中，時時地震，使已生成之裂縫，更易分裂。法蘭境中之喀斯特，不若意北之發達，其主要原因，恐在構造上；兩山溫度之影響尚小。英倫南部，亦有喀斯特地形，而其構造，又適為兩山系幾成垂直接頭之處。(附圖一)

其次喀斯特地形最發育之區域，乃在北美之東南部如Kentucky, Virginia, Central Tennessee, Northern Florida等地，南至古巴亦均發達。而此區域中之大體構造，又為兩幾成垂直之山系接頭，其一為阿巴拉契安山系與一幾成東西向山系接頭。後者數條，分佈於南緯北端迄北美中部止。凡南北向東北向及西北向山系不發育之區域，均有幾成東西向之山系存在。為互相干涉之影響，造成所謂之盆山區域(Basin and Range province)(21)。阿巴拉契安山系，自亦有此現象而受同樣影響(22)553，故此區域中，喀斯特最為發達。

歐洲亦有此地形，而歐洲山系之構造(附圖二)亦有口口

直交之景況。東西向山系與南北向山系同樣發達，而喀斯特地形，已見於澳洲東北部之Bunda (23) 244及其南之Kangaroo島，其他區域，是否仍有此種地形，尙待發現。

緬甸北部之苗州 (Shan state) (24)，亦有喀斯特地形，其北向及東北向山系，受附於希馬拉亞山系，遂使其構造條件，適宜於喀斯特之發展。其情形與雲南相同。

總觀上述各喀斯特地形區域，均俱有特殊之構造環境。雖地殼運動之時期不同，而各構造線之方向，大體均成「截接」之形勢 (13)。構造帶即地殼之破裂帶，在此帶中，地殼時時震動，時有壓力及張壓力發生，使岩層發生裂縫，便於喀斯特生成。

三、結 論

物與化學中之「能」，係屬兩度因素 (25)，其有效之「能」。為容量因素及強度因素兩者合成。故地殼所受之壓力，亦應為兩度者，亦應俱有容量因素及強度因素。設以節理而論，則前者為某種節理分佈之區域面積，後者為某種節理發展之完整程度。因是兩山系接觸之處，其容量因素，即其影響所及之面積而使此山區地帶發生完整之節理，胥視其強度因素而定。因之在某一區中兩山系直交之強度因素作用相等時，最適宜於發生十字型之裂縫，最宜於喀斯特地形之發展。兩山系之容量因素同時波及者，即為可能之喀斯特地形之分佈區域，在此區域中之砂岩及灰岩，均可造成喀斯特地解。而此種地層之生成，不與洞穴生成關連者，當推法國之熱溫當 (Gevandan) 之大高斯 (Causses)，其成長輪迴與Cvijic所觀察者，大不相

同(1)²⁹³，是知喀斯特地形之形成，機械之剝蝕力量，較其溶解作用，更為重要。故造成喀斯特地形之條件：(一)乃在能透水而不在能溶於水。(二)乃在有「侵蝕」之構造，而在雨量之多少或溫度之高低。至於侵蝕範圍之發展如何，問題頗大，現時證據及考察俱不足，未敢列明。

引證書目：

1. S. W. Wooldridge & R. S. Morgan: Outlines of Geomorphology.
2. 高振西：喀斯特地形概略，地質評論第一卷第487頁
3. Fritz Machatschek: Geomorphologie
4. Leith & Mead: Metamorphic Geology.
5. Handbook of Chemistry & Physics 1
6. Tyrrell: The principle of petrology P209.
Harker: Petrology for Student P211
Groat: Petrology & petrography P285
7. Ries & Watson: Engineering Geology.
8. Mead: Hydrology.
9. 陳愷：福建地質土壤調查所專報第一號P.46.
10. Groat: Petrology & petrography
A. W. Gradau: Principle of stratigraphy p752.
: Textbook of Geology, Part I. P578.
11. C R. Longwell, A Knopf & R. F. Flint: Textbook of Geology Part I. P.342
P. G. H. Bowell: Mineralogy of Sedimentary

Abstracts 625

A.W. Gratau: Principle of Stratigraphy P385.

12. J.S Lee: Geology of China

13. 李四光：南嶺何在。地質論評朱森紀念號

14. 王嘉蔭吳磊伯：湘南構造述略（稿本）

15. 王竹泉路兆治：雲南瀘西路南等縣煤田地質。地質簡報第27號（地質調查所）

16. 李四光：廣西台地構造之輪廓 地質學會誌第二十一卷第一期

17. 張文佑：廣西的石林 思想與時代

18. 高振西王寵 福建安溪同安南安晉江等縣地質鑛產。地質鑛產第五號福建省地質土壤調查所

19. 謝家榮：北平西山地質構造概論 地質學會誌第十六卷第371頁。

20. Suess: La face de la Terre Tome I. P345.

21. N. Fennerman: Physiography of Western United States.

22. A.W. Gratau: Textbook of Geology part II.

23. Suess: La Face de la Terre Tome 2.

24. Suess: La Face de la Terre Tome 3. 1218.

25. J.W. Mellor: Modern Inorganic chemistry P. 447.

F.H. Getman: Theoretical Chemistry P104.

王嘉蔭——喀斯特地形地質環境

世界構造畧圖

圖版三



— 構造線

● 喀斯特地形區