

第一届全国水文地质工程地质学术会议 论文选编

第 2 輯



中国工业出版社

第一届全国水文地质工程地质学术会议
论文选编

第 2 輯

(喀斯特問題專輯)

中国工业出版社

第一届全国水文地质工程地质学术會議
論 文 选 編
第 2 輯
(喀 斯 特 問 題 专 輯)

*

地质部地质书刊編輯部編輯(北京西四羊市大街地质部院内)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张10·插頁1·字数205,000

1966年2月北京第一版·1966年2月北京第一次印刷

印数0001—2,390·定价(科六)1.30元

*

統一书号: 15165·4460(地质-381)

本專輯主要汇集了有关喀斯特方面的論文13篇。主要内容有喀斯特的作用过程、类型划分、地下径流；同时还有关于喀斯特地区的农田水文地质工程地质、喀斯特水的动力动态、水庫及枢纽工程的处理、盐湖矿床喀斯特现象以及其他方面等問題的論述。

本專輯可供专门研究喀斯特問題的研究人員及有关专业人員参考。

編 者 的 話

1965年3月由中国地质学会主持，在北京召开了第一届全国水文地质工程地质学术會議。

本論文选編收集了會議論文65篇，根据专业性质归納为4輯，同时在选編中刊载了学科研究現狀和发展方向及学术討論总结，因此共出版以下五輯：

第1輯（学科研究現狀及发展方向，学术总结）

第2輯（喀斯特問題專輯）

第3輯（地下水地球化学及矿床水文地质工程地质的研究）

第4輯（土质学及工程地质学）

第5輯（区域水文地质及地下水资源的开发与利用）

本論文选編大体上反映了最近几年来我国水文地质学及工程地质学方面的主要成就。

本論文选編对地质、水利水电、冶金、煤炭、鉄道、交通、建筑、机械等部門从事水文地质工程地质的工程技术人员、研究人員及高等院校有关专业师生都有参考价值。

* * *

第一届全国水文地质工程地质学术會議論文选編共发表65篇論文。这些論文是从第一届全国水文地质工程地质学术會議的405篇論文中选出来的。在选編过程中，曾考虑了各个方面論文的代表性，以及能反映出各学科当前的学术水平，并注意了今后应开展或应加强的某些方面的論文，我們希望通过发表这些論文，将引起讀者广泛討論，更好地贯彻百花齐放、百家爭鳴的方針，推动这門科学技术更加向前发展。

为了便于讀者了解我国水文地质学及工程地质学的現狀及发展方向，在論文选編中登載了这方面的文章以及各专业的学术討論总结等。

由于限于經驗和水平，缺点和疏漏之处在所难免，希望作者和讀者批評指正。

中国地质学会水文地质工程地质专业委员会

1965年11月

目 录

編者的話

1. 初論喀斯特的作用过程及其类型..... 卢耀如等 (1)
2. 西南喀斯特地区山間平原的类型及其农业水文地质
 工程地质問題..... 籍传懋 (29)
3. 某枢纽喀斯特水文地质問題的探討..... 龙福章等 (39)
4. 邵阳金江水庫坝基喀斯特处理經過和体会..... 湖南省水利电力厅設計院 (47)
5. 丹江口地区紅层中的砾岩喀斯特..... 任国林等 (53)
6. 論喀斯特地区地下径流..... 赵敬孚 (67)
7. 貴州某地区三迭紀灰岩裂隙喀斯特水的动力动态
 及其形成的基本特点..... 王士天 (71)
8. 白云岩喀斯特发育的某些問題..... 張之淦 (88)
9. 云南东部地区喀斯特层組类型、古喀斯特及石林形成条件的
 初步探討..... 杰显义 (102)
10. 論喀斯特水的运动..... 陈雨孙 (109)
11. 內蒙地区盐湖矿床喀斯特現象的初步看法..... 苏 明 (132)
12. 用水电比拟法确定大面积的含水层平均渗透系数..... 陈崇希 (141)
13. 喀斯特研究中室內相对溶解度及化学沉积試驗方法的探討..... 戴 鶯等 (150)

初論喀斯特的作用过程及其类型

卢耀如 赵成梁 刘福灿

(地质部水文地质工程地质研究所)

“如果人們不去注意事物发展过程中的阶段性，
人們就不能适当地处理事物的矛盾。”

《矛盾論》，《毛泽东选集》第一卷，第三〇二頁

喀斯特是水溶液和水溶岩矛盾表現的一种自然現象。喀斯特表現出来的一切現象，就是在水溶液和水溶岩之間的矛盾变化中展开的。所以，研究喀斯特发育的基本規律，必然要涉及到喀斯特作用阶段的划分、作用过程的分析等問題。

研究喀斯特也和研究其他自然現象一样，人們总想把喀斯特予以划分类型。当然，正确地划分喀斯特类型，是有助于研究工作的进行，有助于認識这种自然現象，可起指导与参考的作用。目前喀斯特类型的划分是多种多样的，但多数学者都忽視了这一点：进行喀斯特类型的划分，必須以研究喀斯特作用过程为基础，从中分析出不同的喀斯特发育阶段，并相应考虑其他地质作用的影响，然后再概括为类型，这样才能較客观地反映这种自然現象，类型才具有真正的典型性。本文仅就这方面問題作些探討。

一、若干地貌学上的名詞与理論概念的引子

研究喀斯特，常涉及到地貌問題。首先，就这方面有关的理論概念作些簡單介紹与商榷。欧洲文艺复兴时代，意大利水力学者把均衡剖面的概念引到科学界中来，伽利略(1564~1642)和顾格列尔曾断定了河床纵剖面呈凹形的特性，瑞士学者多斯于1872年才确定了均衡剖面的概念。依照多斯的見解，河流剖面的变化一直繼續到侵蝕力量减弱，以到河床的阻力相等的时候。多斯把这剖面形态叫終极形态或均衡形态。三年后，J.W.保維尔(Powell)把实际上不再降低的这种河流剖面叫做基准面，以海水准面为总基准面，另外也认为主流底部的水准面就是侵蝕基准面。以后，A.彭克(Penck)等都对均衡剖面提出不同的認識，彼此虽有所反对，但也有共同之点。

正如 K.K.馬尔科夫(Марков)所总结的：(1)所有学者显然都同意这一点，就是随着时间的进展，河流既通过河底的侵蝕，同时也通过河谷底部的冲积物堆积，而形成了比較均匀或均匀的河床垂直纵剖面，均夷剖面的形成——这可以說是侵蝕学中公认各点中的一个。(2)大多数学者认为：在均夷剖面形成之后，河流仍在繼續逐漸地降低它。根据这观点，可分出两个概念：1)河流的均夷(正常的剖面)及2)河流的終极剖面。3)談到河流均衡剖面时，許多学者都认为“力”(水量及其流速)与“阻力”(冲积物

的数量与顆粒大小)之間有一定的均势,在达到这种均势后,河流中止了它对基岩河床的磨蝕^[50]。

随着均衡剖面概念的发展,引起了一系列关于各种剝蝕面、夷平面、平原、准平原等概念的产生,說明对自然侵蝕作用等問題的研究也更宽广了。1889年 A.彭克和 W.M.戴維斯(Davis)同时提出了剝蝕面之类的概念。彭克把均夷面叫做波状平原(Wellungsebene),戴維斯則称之为准平原(Peneplain)。这两个概念都表示由于侵蝕作用而削低了的地区所具有相对起伏变化不大的一个地形面。以后, V.李希霍芬(Richtshofen)和彭克又提出了残余面的概念。戴維斯的准平原名詞在国内外流传得較广。戴維斯考虑高准平原山地,提出了隆起的准平原的概念。关于准平原——剝蝕水准面間一系列的問題,就在各个地貌学者間引起了极大的兴趣。但是,各种学說都是以彭克和戴維斯的理論为基础。

D.W.約翰遜(Johnson)于1916年曾划分过各种成因的不同地貌水准面(Plan),他认为戴維斯的准平原只是指侵蝕平原与类平原,而均夷面可能有几种不同的成因,所以就必須用另外一个还未获得侵蝕意味的術語以表示^[34]。此后,許多国内外学者如 O.摩爾(Maull)^[39]、O.D.恩格尔英(Engeln)^[28]、K.K.馬尔科夫^[4]、沈玉昌^[9]等划分了各种平原类型的地貌形态。目前我国有关人員对这种“面”与平原的命名是极不一致的。黄培华曾強調了剝蝕面和夷平面的不同意义^[18]。

戴維斯在达尔文进化論与萊依尔学說的影响下,于十九世紀末至二十世紀初提出了地貌現象与地理景观的循环学說,对影响地形发育的多种多样的因素,都作了考虑。如营力、阶段(年龄)、构造等,并区分出若干地形发育循环如:侵蝕、荒漠、冰川、海蝕等循环。总的說来,戴維斯把地形发展分为三个阶段,即幼年、壮年和老年期,并把地形循环看作是封閉的,地形的发展是周而复始,重复以前的发展阶段和地形景象。其缺点正如 H.B.杜米特拉什柯等所批評的:“把地形的发育过程归結为現象的重复与简单的交替,归納为机械狹隘的运动与平衡的原則。”^[8]

W.彭克于1919年起把大地构造中岩漿学派及地壳隆起的观念引入地貌学中來,发展了山地均夷面的概念,并把长期上升地区的地形发育分为五个阶段。彭克去世后的一年(1924),发表了“地形分析”(Die morphologische Analyse)一书中,說明了地壳上升,分水岭剝蝕、河谷加深与地面发育間的关系,以研究实地考察所能直接达到的地面形状和外力作用的方法来推溯构造运动。彭克用微分法和图式來說明,并分析了地壳上升的数量和地壳削低的数量,以說明地形的发育。这些学說都是有价值的。但是,彭克的山前梯地的学說也遭到了批判。

戴維斯和彭克間学說的差異表現于,戴維斯把地壳上升看作是孤立和靜止的,突然爆发而上升的,由于这种上升运动結果,而使輪回发生了变化,而彭克却是把上升和侵蝕作用一并相互予以考虑,以划分地形的发展阶段。

关于地形地貌发育过程中,有沒有輪回問題,这是向来有着不同的看法。無論如何,这輪回是不應該簡單否定,因为地形的变化經常还是有其內在規律与关系,当然也不能完全肯定,必須看到地形决不是完全机械地重复輪回。均衡剖面、准平原和輪回等問題,对研究喀斯特还是具有重要关系。

与彭克共同工作过的南斯拉夫学者J.斯威迪 (Cvijic) 早期曾描述过了石灰岩地区的侵蚀轮回, 认为石灰岩地区地形发育结果, 地下排水道愈益变为重要, 石灰岩的泉水不断变化直至径流达到不透水地层。而后1924年斯威迪又把溶沟、溶槽及石林等这类地表喀斯特发育过程分为三个阶段: 青年期、壮年期和老年期^[25]。

A.K.洛伯克 (Lobeck) 于1928年在其论著中描写了石灰岩地形变化的四个阶段: 第一幼年期 (Early youth), 地形近于平坦, 开始发育有河流; 第二青年期 (Late youth), 发育了小型落水洞, 地下水沿着层面、节理发育了通道, 地表水沿着落水洞流入地下; 第三壮年期 (Maturity), 当主要排水道都转入地下时, 落水洞与沟谷 都不断地 扩大其大小形态, 原始地面遭受破坏; 第四老年期 (Old Age), 原始地面遭受了破坏, 并产生了新的地形, 地下水系又出现于地表, 剩留些溶蚀残余的山岗^[35]。N.A.兴斯 (Hinds)^[31]和Д.И.谢尔巴科夫 (Тероаков)、Ф.Д.布布列尼科夫 (Бубрейников) 等都采用这观点^[58]。

戴维希1930年发表了喀斯特侵蚀循环的发育过程的观点^[26], 把这种过程 分为地下水排水道开始发育的“早期阶段” (Early Stage), 喀斯特本身发育的“成年阶段” (Mature Stage) 或喀斯特阶段 (Karst Stage) 和后期的准平原阶段 (Peneplanation Stage), 戴维希还提出了单循环岩洞和双循环岩洞的生成学说。

近代, H.莱曼 (Lehmann, 1954) 把热带喀斯特 (主要峰林) 的形成分为四个阶段, Г.А.马克西莫维奇 (Максимович) 也把峰林之类的喀斯特景观作为热带 剩余 (或残余) 的喀斯特现象而加以研究^[49]。莱曼等都以峰林发育至非喀斯特化地层为主, Д.В.雷日科夫 (Рыжиков) 曾把喀斯特作用划分为: 深成喀斯特阶段、侧面喀斯特阶段及由侧面喀斯特转变为深喀斯特这三个阶段^[52]。

早期外国学者马希融^[3]、德日进等也都描写过我国云南石林及广西峰林等地形的形成问题, 最近捷克学者西拉尔在研究我国南部喀斯特后, 认为这锥形喀斯特是“在有利的沉积环境及岩层条件下, 在喀斯特化灰岩的底部存在着不溶性的岩石时, 往往在非喀斯特化基础上产出喀斯特丘陵”并认为“这种喀斯特化的灰岩在进一步发育中就被切割成孤立的堆体。”^[6]

我国学者王嘉蔭、杨钟健、张文佑和高振西早期也曾描述了石林的形成过程^[1,11,12,15]。近几年来这方面论著就更多了。刘国昌也曾提到喀斯特发育中“地貌方面由芽峰区过渡到峰林及石林区, 再过渡到准平原区, 地下水也是逐渐变浅, 最后到准平原区排入河流”的这种看法^[4]。有些学者也谈到了喀斯特作用发生、发展与消亡的过程, 把喀斯特作用分为三级阶段以探讨^①。陈述彭、曾昭璇等都对峰林等喀斯特地形有过详细的论述^[10,16,17]。这些都是有意义的。

综上所述, 以往对喀斯特发育中的轮回问题与过程问题等的研究, 基本上都是在地形侵蚀循环的范畴内加以讨论。所有的学说也都是以戴维希和彭克的关于准平原等的论点为基础的。

● 喀斯特研究中某些基本问题的探讨(成都地质学院喀斯特研究组)。全国喀斯特研究会论文集选集。1962。

二、溶蝕量計算和剝蝕性质指数

研究喀斯特发育阶段及其过程，必須涉及到水溶液对水溶岩溶蝕作用这个矛盾表现的实质問題。就是說，对整个喀斯特作用过程中，在大景观的溶蝕作用的表现是具有什么特征方面应有所了解，据此才可以推論喀斯特地貌景观的变化，并作出有关过程的正确推論。在探討溶蝕作用的特征問題方面，首先必須談一談关于溶蝕量的問題。

不少学者都曾进行过有关溶蝕量的計算。A.W.葛利普 (Grabau) 于 1920 年在其地质学教本中^[30]，曾描述了这方面的一些計算成果，提到“大量沉积的巴瓦列阿 (Bavaria) 地区的苏納霍芬 (Solahofen) 的石质石灰岩，被水溶液 (溶蝕) 降低一米厚度，需要 72000 年，而相似广闊 (分布) 宾夕維尼亚 (Pennsylvania) 地区的涅唐利 (Nittany) 河谷的石灰岩 (被溶蝕)，降低一米需 30000 年。整个地球上，每年被水溶液带走的矿物质于每平方公里內曾估計有 96 吨，其中碳酸鈣 50 吨、硫酸鈣 20 吨、氯化鈉 8 吨、硅 7 吨、碳酸鉀或硫酸鉀 6 吨和氧化鉄 1 吨，其他 4 吨为别的物质”。J. 柯倍尔 (Corbel) 也曾計算了喀斯特地区的溶蝕率，以米³/年/平方公里表示^[24]。虽然，他得出湿润寒带区域的溶蝕率約較湿润潮热区大十倍这見解，而遭受了大多数学者的反对，但是也說明了这种計算是有其参考作用的。这些例子都說明了，研究喀斯特溶解作用的特性，很需要探討有关溶蝕量的問題。

(1) 溶蝕量計算的一个实例

下面举出我国南方某地区的溶蝕量計算的情况作为例子①。

該地区地势相对高度 200~400 米，河流深切，属低山地形。主要分布着石灰岩——白云类、白云岩类地层，少数有石灰岩层，地质构造也較简单，除有一大的低角度的逆掩断层外，基本上为单斜构造。厚几百米的碳酸盐类地层上，除了夹有些泥灰岩，及分布不稳定的几层只几厘米至十几厘米厚的鈣质頁岩外，沒有其他非可溶性的夹层存在。水文地质条件也較简单，基本上为具有統一水力联系的喀斯特——裂隙性含水层。

具体計算溶蝕量的地区的面积为 15 平方公里，年降雨量为 900~1200 厘米，計算时间的总降雨量为 21858876 米³/年，当地泉水总流量为 2052326 米³。根据均衡試驗結果，地下径流系数为降雨量的 50~80%，則地下径流量应为 13255000 米³/年左右。每升水溶液中所溶蝕的 CaCO_3 和 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 的数量一般为 154~342 毫克/升。平均为 250 毫克/升。这样，通过下列公式可获得該地带全年的总溶蝕量，及其遭受溶蝕的岩体的体积。

$$S_w = K_s \cdot W \quad (1)$$

$$q_s = K_s \cdot W / \rho_k \quad (2)$$

式中 S_w ——据地下水溶液而算的总溶蝕量，毫克/升或吨/米³；

K_s ——单位溶蝕量系数，本区采用 250 毫克/升；

W ——总地下径流量，升/年或米³/年；

q_s ——据地下水溶液計算的岩体溶蝕体积，米³/年；

① 1959 年計算，最近作了校核，一些观测資料得到陈連禹等同志的帮助整理。

ρ_k ——碳酸盐类岩石的比重, 采用2.7~2.9。

計算的結果, 該地带总溶蝕量为3313.75吨/年, 則遭受溶蝕的岩体体积为1183.45米³/年左右。

該地带已有洞穴的总体积少于30000米³, 于15平方公里面积內, 以平均垂直的溶蝕带的厚度为300米, 小溶孔及喀斯特裂隙的喀斯特率采用5%而計算, 則地下岩体总溶蝕体积为225030000米³以目前每年岩体遭受溶蝕的体积为1183米³作基数, 則达到現有的溶洞、小溶孔、喀斯特裂隙等总的溶蝕体积数量, 約已經历了190220年左右的喀斯特化作用時間。以第四紀以来約一百萬年左右的時間进行計算(本区第四紀以来属第三喀斯特化时期, 此时期內河流深切, 峡谷內发育些溶洞, 分水岭上繼續发育了些洼地、落水洞等), 即应有遭受溶蝕的岩体总体积为225030000×5=1115150000米³, 除225030000米³(占1/5)为地下溶蝕外, 尚有900120000米³(占4/5)属地表溶蝕。地表溶蝕作用的結果, 表現于溶沟、溶槽、洼地等喀斯特現象的发育及地表面的溶蝕削低。

地表平均溶蝕削低的高度照下列公式进行計算:

$$\bar{H}_K = \bar{H}_{K_1} + \bar{H}_{K_2} \quad (3)$$

$$\bar{H}_{K_1} = \frac{q_s \cdot y - [(K_{\rho_1} + K_{\rho_2}) A \cdot h_K + K_c]}{A} \quad (4)$$

$$\bar{H}_{K_2} = W_{\rho} K_H \frac{y}{A} \quad (5)$$

式中 $\bar{H}_K$ —— y 年內平均地表溶蝕削低的高度;

$\bar{H}_{K_1}$ ——地下径流于地表短暫停留时产生溶蝕作用而引起的平均地表削低的高度;

$\bar{H}_{K_2}$ ——地表径流的溶蝕作用而引起的平均地表削低的高度;

y ——計算的年数;

K_{ρ_1} ——計算年数內发育的喀斯特裂隙的喀斯特率;

K_{ρ_2} ——計算年数內发育的小溶孔等的喀斯特率;

K_c ——計算年数內发育的溶洞等大喀斯特現象的总体积米³;

A ——計算地区的面积;

h_K ——該时期中喀斯特发育的平均深度。

亦即 y 年內地下岩体的总溶蝕量 Q_G 为:

$$Q_G = (K_{\rho_1} + K_{\rho_2}) A h_K + K_c \quad (6)$$

或

$$Q_G = q_s \cdot y$$

而地表岩体总溶蝕量 Q_F 为:

$$Q_F = Q_u + (W_{\rho} + K_H) y \quad (7)$$

$$= Q_G - (K_{\rho_1} + K_{\rho_2}) A h_K + K_c + W_{\rho} K_H y \quad (7-1)$$

$$Q_u = Q_G - (K_{\rho_1} + K_{\rho_2}) A h_K + K_c \quad (7-2)$$

式中 W_{ρ} ——平均地表径流量, 米³/年;

K_H ——地表溶蝕量系数, 地表水中 CaCO_3 和 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 的含量, 本区采用150毫克/升左右;

Q_u ——地下径流中所含的于地表溶蚀后而带入地下的溶蚀量。

根据上列公式计算第四纪时期中，本区15平方公里面积内的地表平均削低高度 $\bar{H}_K$ 为63~64米，其中由地下径流而计算的地表平均削低高度 $\bar{H}_{K_1}$ 约为60米，据地表径流而算的平均地表溶蚀削低高度 $\bar{H}_{K_2}$ 约为3~4米左右。

考虑溶蚀的残余粘土的厚度时，依照下面公式计算：

$$h_y = \bar{H}_K \times R\% \times \frac{\rho_c}{\rho_R}$$

式中 h_y ——残积土层厚度；

$R\%$ ——可溶岩中不溶物含量百分数；

ρ_c ——可溶岩的容量；

ρ_R ——残积土的容量。

本区不溶物含量平均采用5%进行计算，则残积土层的厚度为6~7米。这些残积土一部分充填于洼地中或充填于山坡及喀斯特裂隙中，另一部分则遭受了冲刷或潜蚀而被水流搬运走。

根据溶蚀削低高度 $\bar{H}_K$ 及残余粘土层厚度 h_y 值的计算结果，与本区现代分水岭上的地貌形态相对照，说明这种计算是基本上符合于自然界客观情况的。本区当代分水岭上的洼地及川岗的地势高差为30~50米，平均值以40米为准，与上面计算的地表溶蚀削平高度为63米相比较，首先可初步分析出山岗平均普遍遭受溶蚀削低了43米，而洼地则平均遭受溶蚀削低了83米左右。这种分析是以原始第四纪初的地形为近于水平而考虑的，当然实际上原始地面上还是有高低变化的，所以地表溶蚀削低的情况还有两种：一种是原始地表有高低变化，与现代洼地、山岗等相同，而其溶蚀削低是均匀地进行的，另一种是由于原始洼地中堆积了较多粘土，而溶蚀削低主要对高处没有覆盖的山岗而进行，这样山岗的溶蚀削低高度则应大于负地形洼地的变化（图1）。

本区洼地中堆积的土层厚度为5~11米，平均厚度也是6米左右。这说明尚有一些残余土已被水流搬入地下或冲刷带走。

（2）制蚀性质指数

对一个地区来讲，地表溶蚀作用的进行是表现为均匀的，还是具有差异性，这方面问题除了一般考虑到岩性及构造等因素的影响外，尚需考虑到溶蚀以外的其他地质作用。水和可溶岩间的作用，不仅表现为化学溶蚀，必然还会产生机械的侵蚀作用。研究喀斯特当然首先应当研究溶蚀作用这个最主要的矛盾现象，但是机械侵蚀这种矛盾表现也是应当考虑的。

“在研究矛盾特殊性的问题中，如果不研究过程中主要的矛盾和非主要的矛盾以及矛盾之主要的方面和非主要的方面这两种情形，也就是说研究这两种矛盾情况的差别性，那就将陷入抽象的研究，不能具体地懂得矛盾的情况，因而也就不能找出解决矛盾的正确的方法。”（《矛盾论》，《毛泽东选集》第一卷第三一四页）

所以，喀斯特作用过程中，有时溶蚀作用占主导地位，当地壳强烈上升、切割时，侵蚀作用占主导地位。B.A.阿布罗多夫（Абродов）曾简单地提到了喀斯特与其他地质作用

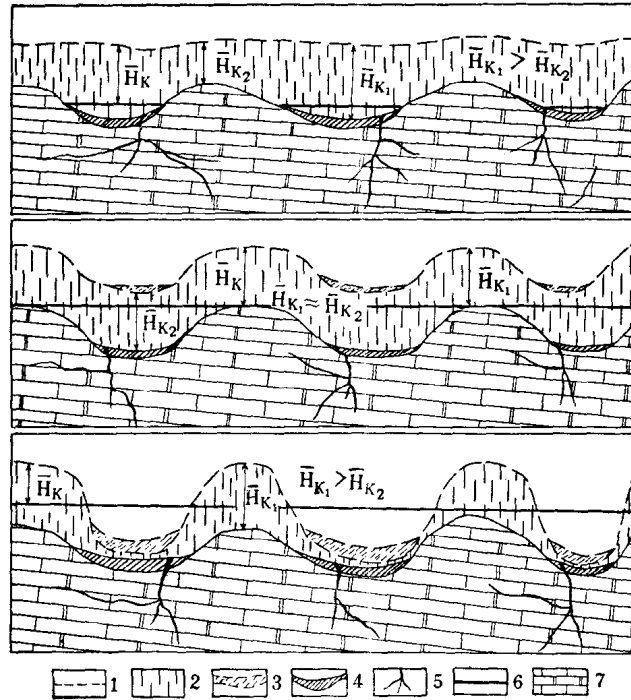


图 1 地表溶蚀削低情况分析图解

1—原始古地面；2—被溶蚀掉的地块；3—古洼地中堆积的残余粘土；4—近代洼地中堆积的残余粘土；5—喀斯特落水洞通道等；6—平均的溶蚀削低线；7—碳酸岩类岩石

(如侵蚀、坡积、冲积等作用)的关系问题,并划分了喀斯特相(垂直分带上)^[46]。

实际上,主要还是喀斯特溶蚀作用与侵蚀作用的表现不同,喀斯特发展程度与地貌等特征的表现也就有所不同。地表遭受削低剥蚀的总厚度(或高度) $\bar{H}$ 应包含着两个内容:

$$\bar{H} = \bar{H}_K + \bar{H}_B \quad (9)$$

式中 $\bar{H}_K$ ——平均地表化学溶蚀削低的总高度;

$\bar{H}_B$ ——平均地表机械侵蚀削低的总高度。

碳酸盐类地层分布地区地貌演变过程,是以侵蚀作用的因素为主,还是以溶蚀作用为主,这就取决于两种作用的主次关系,具体地可以剥蚀性质指数 P_g 予以表示。

$$P_g = \frac{\bar{H}_K}{\bar{H}_B} \quad (10)$$

一般根据 P_g 数值以表示的剥蚀作用性质和地形的演变的基本特征,有三种状态:

第一、 $P_g > 1$;

这种情况表示地形地貌的发展受溶蚀作用的控制为主,地形地貌的表态也就属于喀斯特类型。

第二、 $P_g < 1$;

溶蚀作用退居次要地位,侵蚀作用则占主导地位,由于溶蚀作用而造成的喀斯特地形地貌特征,则受强烈侵蚀作用的影响,而不能显著地表现。这样情况下,该地区所具有的地貌特征和非喀斯特化地区没有显著差异。

第三、 $P_g \cong 1$;

当 $P_g \cong 1$ 时, 则地形地貌不仅具有溶蚀成因为主的喀斯特地貌形态, 而且也具有侵蚀作用的影响而形成的非喀斯特地貌形态。因此, 这类地区应当是属于侵蚀—喀斯特或喀斯特—侵蚀的过渡地貌类型。

地表溶蚀削低的总高度 $\bar{H}_K$ 可以根据公式(3)~(5)求得, 而侵蚀削低高度 $\bar{H}_E$ 的求法, 却是比较复杂的。地表遭受侵蚀切割的情况, 是受许多因素的影响, 如原始地形高差、岩性与构造、河流的流量及水文网的分布状况、降雨量和降雨强度、地表植被等。

一般情况下, 可粗略地考虑采用下列公式以计算近代地表侵蚀削低的平均高度:

$$\bar{H}_E = \bar{Q}_n \cdot \frac{P_s}{A} \quad (10)$$

式中 $\bar{Q}_n$ ——该地区几年的地表径流量;

P_s ——该地区地表径流中的固体径流量。

某地区1957年的地表径流量为2,423,226米³, 1958年为5,437,758米³, 平均为3,930,987米³, 平均固体径流量 P_s 为2%, 研究地区的面积为8平方公里, 按公式(10)计算得出地表平均侵蚀削低的高度为0.005米/年。而该地区地表平均溶蚀削低高度为0.00006米/年, 则该地区剥蚀性质指数 $P_g = 0.0012 < 1$ 。所以, 这地区, 基本上都是属于侵蚀类型为主的

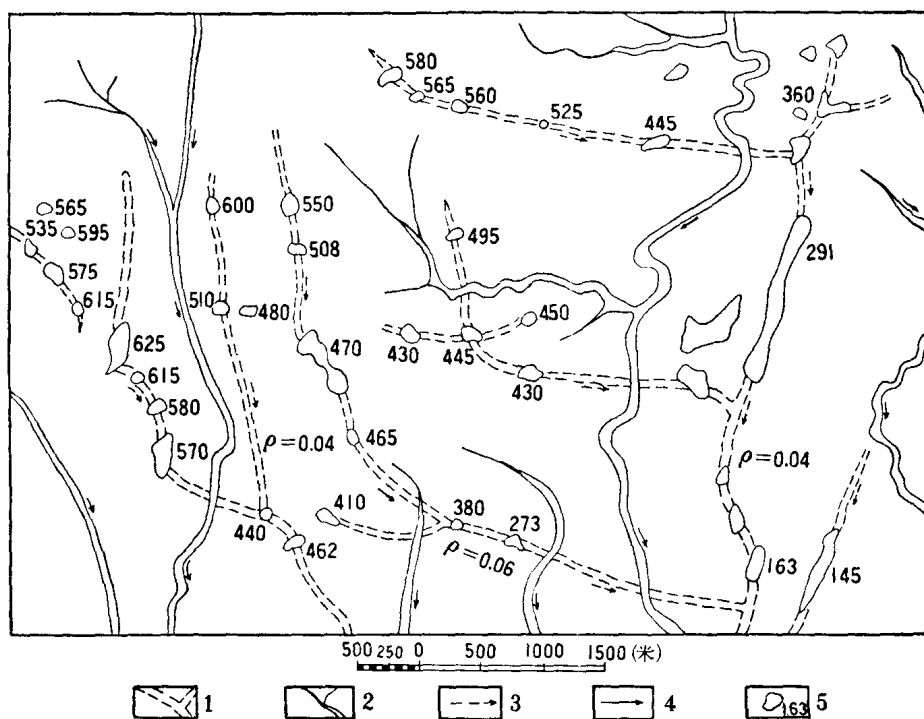


图2 鄂西某地区水文网变迁及溶蚀削低情况对照图

1—推论的第三纪末古水文网; 2—近代水文网; 3—古水文网流向; 4—近代水文网的流向;

5—喀斯特洼地及其高程

说明: 近代水系分水岭地区发育的喀斯特洼地系受古水文网的影响, 由于地表溶蚀削平的高度基本相同, 所以后期发育的喀斯特洼地的高程仍有规律地变化, 变化坡度 $\rho = 0.04 \sim 0.06$, 与地表径流的坡度基本相等。近代水系发育地区, $P_g < 1$, 所以则形成峡谷, 不发育洼地。

地貌类型，只是分水岭的腹部中心地带没有遭受地表径流切割的地区，仍发育些洼地，而属于喀斯特—侵蚀地貌类型。

图2，清楚地表明了近代分水岭地区受侵蚀切割程度相对微弱些，于是就顺着第三纪末期的水文网而发育了些洼地。由于溶蚀程度基本上相同，所以洼地的高程仍是有规律地变化。洼地间连线的坡降 $\rho = 0.04 \sim 0.06$ ，与溪沟坡降基本相同。图2(1)的剖面，也说明了这一点。

有些地区侵蚀作用的影响仍存在，而且差异溶蚀作用继续加大，这样洼地间的坡度虽然

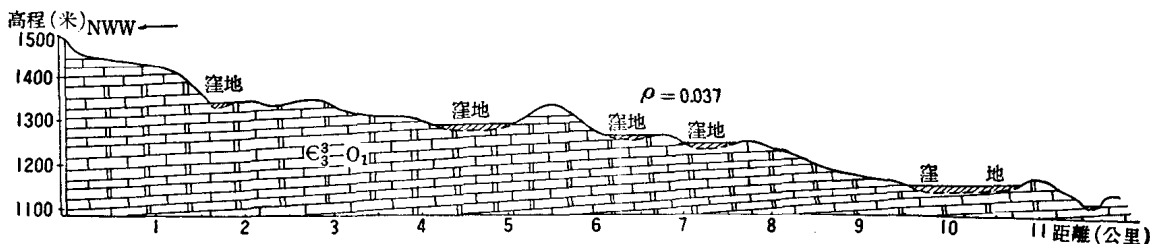
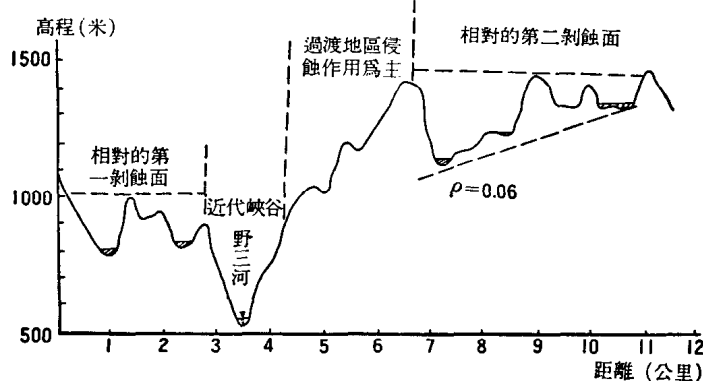
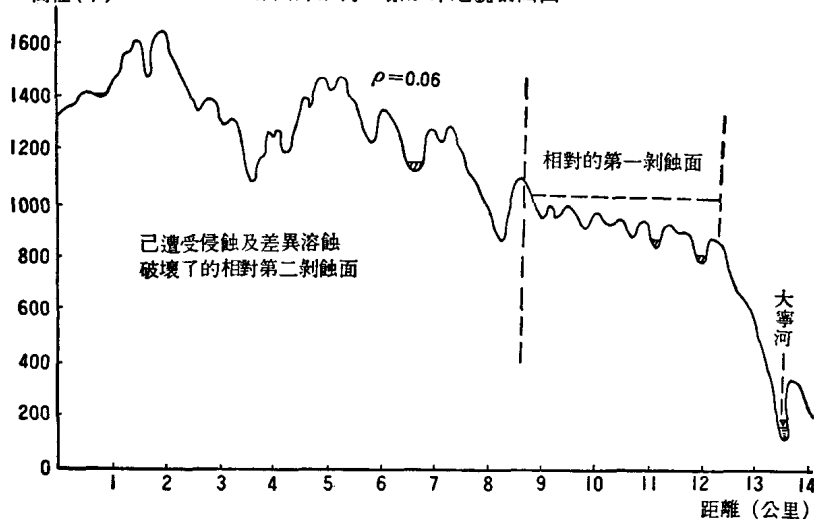


图 2(1) 鄂西贺家坪南长冲古喀斯特沟谷纵剖面图

说明：在古喀斯特沟谷上发育了洼地，洼地间山岗高也只几十米，坡降 $\rho = 0.037$ 。



鄂西谭家湾—徐家冲地貌剖面图



鄂西百腊园—在展子湾地貌剖面图

图 2(2)

也是0.06左右,但是洼地間山崗的高差却大于几十米,可达百多米至二、三百米,如图2(2)。

三、喀斯特作用过程的分析

各种自然现象都有其过程,其中包括了发生、发展与消亡。限于篇幅,本文只着重探討三个方面的問題。

(1) 喀斯特地貌形态的形成过程

“……因为一切客观事物本来是互相联系的和具有内部规律的,人們不去如实地反映这些情况,而只是片面地或表面地去看它們,不認識事物的互相联系,不認識事物的内部规律,所以这种方法是主观主义的。”(《矛盾論》,《毛泽东选集》第一卷第三〇一至三〇二頁)。喀斯特的地貌类型是很多的,所以应当認識各种类型間的內在的联系与演变过程的规律性。显然,有不少国内外学者都机械地划分了一些喀斯特类型,有的以特征命名或冠以地名作为各种喀斯特类型,这些成果有其用处,但是也有其片面性,对探討喀斯特作用的內在规律尙是感到不足的。

当 $P_0 > 1$, 以溶蝕成因为主的喀斯特地貌的形成过程,基本上可作出初步的分析,如表1。

以溶蝕作用为主的地表喀斯特地貌形态的演变过程基本上有六个阶段,而第七个阶段

表 1 喀斯特地貌发展中矛盾表现的阶段性说明表

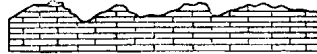
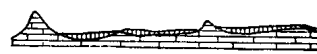
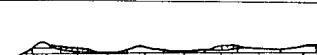
次 序	主 要 矛 盾 表 现	主要的现象产物	阶段表现的差异性的主导因素
1	侵蚀性水对可溶岩表面进行溶蝕及冲刷作用。	溶沟、溶槽、溶芽、石林等。	
2	水对可溶岩表面广泛溶蝕结果,加大地表高差,出现集水圈,增大溶蝕差异性。	开始大量产生落水洞、漏斗等,地表水开始潜入地下。	受岩性、构造、原始地形等因素的影响,由地表水的漫流溶蝕作用转变为有集中汇集水流的差异溶蝕作用。
3	继续差异溶蝕结果,扩大集水圈面积,出现凹状近似平整的低地。	洼地、盆地等开始出现,继续发育了漏斗落水洞。	强烈溶蝕的大集水圈内,受残余不溶物的堆积的影响,出现具不同残积-冲积物厚度的表面较平坦的凹地如洼地等。
4	洼地、盆地等不断扩展并互相连接,山峯开始孤立。	出现具有连座的山峯-峯林,地表水系有的转入地下。	洼地等串连结果,反而失去了典型的洼地的特征,残积-冲积层的分布面积加大,地表溶蝕和地下溶蝕作用均占显著地位。
5	洼地等扩展接連的结果,发育了谷地(坡立谷)谷地继续发展结果,形成波地特征,山峯完全孤立。	残留没有连座的孤峯。	可溶岩表面除孤峯外,多有残积-冲积物覆盖,地表溶蝕作用退居次要地位,地下溶蝕作用占主导地位。
6	残积物受冲刷作用影响,使地表面逐渐平坦,山峯继续遭受溶蝕。	孤峯逐渐变低矮,以至基本消失。	基本上失去了地表溶蝕作用,而地下溶蝕作用完全占主导地位,地下洞穴大规模发育。
7	受侵蚀或冲刷影响残积物完全被搬走。	可溶岩又直接裸露着。	侵蚀等作用为主所造成的。

却是以非喀斯特作用如侵蚀等作用为主而引起的。当喀斯特化地层表面均具有较厚残积层时，地表溶蚀作用完全消失，地表径流对这些土层的冲蚀、侵蚀作用就明显地占主导地位，所以地表水系又重新发育与形成，使被掩盖的可溶岩又裸露于地表，这样，又使地表喀斯特作用复活。再强调这点，地表喀斯特作用的复活是依靠侵蚀作用的结果。这也可算作一个喀斯特轮回的结束，另一轮回的开始。第二轮回是否就完全从第一阶段开始，完全重复这种演变过程呢？不一定的，这要依据具体情况而加以分析。

当地貌形态发展为第六阶段时，地下溶蚀作用完全占主导地位，这时能否由于地下大规模喀斯特塌陷结果，而使水系又重新出露地表，这问题值得讨论，许多国外学者（前面所举的）都强调由喀斯特塌陷结果，使地下水系又重新出露于地表，并使喀斯特作用由一个轮回转入另一个轮回。这样看法不一定恰当，塌陷的作用不可能是大规模区域性的，也不可能是同时期的。正如上面所说，由于残积物厚度大，减少了地下径流量，使地表水系重新形成，这时溶蚀作用在地表已经停止或极微弱，地下喀斯特作用基本上也变得很微弱，而地表侵蚀作用就逐渐显著，使地表水系重新形成，经过一定侵蚀作用的阶段，喀斯特作用才得以进一步重新复活。

水和岩石间的相互作用，不可能是单纯的溶解，必然还有侵蚀、冲蚀等作用。在地貌发展过程中，这两种作用是有着相辅相成而又相互矛盾的过程。单纯考虑溶解作用为主，侵蚀作用为副的地貌发展，可进一步概括于表2以说明。

表2 溶蚀作用为主的喀斯特地貌形态类型表

序号	类 型	简 要 说 明	示 意 图 例
I	喀 斯 特 石芽石林型	于原始地面上，沿着岩石裂隙而溶蚀，发育有石芽石林等。	
II	喀 斯 特 低山丘陵型	继续溶蚀结果，增大古地面高差，形成低山丘陵，低地发育了漏斗。	
III	喀 斯 特 丘陵洼地型	低地进一步溶蚀后，丘陵间生成洼地等。	
IV	喀 斯 特 峰林洼地型	丘陵被溶蚀切割成峰林，洼地逐渐扩大，有的形成谷地（坡立谷）。	
V	喀 斯 特 孤峰波地型	洼地逐渐扩大，峰林消退，于波状地面上残留些孤峰残丘。	
VI	喀 斯 特 准平原型	孤峰逐渐变低，以至不明显或消失，可溶岩上多有覆盖层，形成准平原。	
VII	喀 斯 特 准荒原型	残积、冲积层增厚时，地表径流又形成，加强侵蚀作用，可溶岩又裸露于地表。	

注：1. 在喀斯特丘陵洼地型(III)和喀斯特峰林洼地型(IV)间有的有峰丛洼地或碟地。

2. 在喀斯特峰林洼地型(IV)和喀斯特孤峰波地型(V)间有的发育有峰林谷地。