

陆相碳酸钙沉积特征及水能量分类^①

程 星^{1,2}, 李大勇²

(1. 成都理工大学环境工程学院, 四川成都 610059; 2. 贵州师范大学资源环境系, 贵州贵阳 550001)

摘 要 :以野外观察及室内试验分析为基础,讨论了陆相碳酸钙沉积类型与水能量条件的相关关系,并定量和定性地讨论了各类型之间的水能量界线,指出陆相碳酸钙沉积包括超高能、高能、低能及超低能四种沉积类型,根据其位置它们又可划分为地表和地下两种类型。这些陆相碳酸钙的相应的沉积水能量条件分别为超高能水、高能水、低能水及超低能水。此外,还描述了各类陆相碳酸钙的各自的发育特征。

关键词 陆相碳酸钙;侵蚀速度;水能量;分类

中图分类号 P57 **文献标识码** A

1 概 述

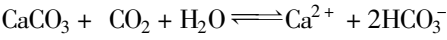
在自然条件下,碳酸钙的沉积和溶解反应是一种复相反应,它是由固相的碳酸钙、液相的水溶液和气相的二氧化碳组成的三相平衡体。在复相反应中,反应的总速度又由各反应的速度决定,如果某一阶段的速度比其它各阶段的速度慢,整个体系的反应速度又由这个最慢阶段决定^[1,2]。这个反应体系中既有界面上的物理过程,又有溶液内部的化学过程。水的运动将有利于溶解物质被快速的带走,从而使反应速度加快,水量的大小将影响到界面的溶液浓度,从而影响到碳酸钙的沉积和溶解的反应速度^[3];同时,根据 A. Smedborg 的观点^[4],对于石英砂而言,当粒径在 0.001mm 时其产生侵蚀的流速约为 5m/s 以上,颗粒起动的速度为 1.6 ~ 2.5m/s,进入侵蚀颗粒的速度在 3m/s 以上^[5]。对于一定大小颗粒,当流速达到一定值时,溶液中物理的过程将占主要地位,化学的过程将处于次要地位,碳酸钙颗粒将由于侵蚀作用而被打碎。因此,不同的水动力条件将影响整个反应体系的速度,从而影响碳酸钙沉积的类型与沉积的特征。本文将从水能量的角度去探讨碳酸钙的沉积过程及不同的水动力条件下导致的碳酸钙沉积的类型,以及相

应的发育特征,特别探讨碳酸钙的沉积类型的水能量分界问题,这将有利于进一步揭示碳酸钙的沉积机制。对于早期碳酸钙沉积的分类,用得较多者为结构成因分类(Ford),对于溶洞中陆相碳酸钙沉积的分类较成熟者为洞穴沉积的水动力分类^[1,6],按此种分类,洞穴沉积被分为滴石、流石等,但这种分类只是对洞穴碳酸钙。野外的观察表明,陆相碳酸钙发育类型相当丰富,从常见的洞穴碳酸钙沉积、河流瀑布的石灰华沉积,到地面崖壁钟乳石、河流两岸的碳酸钙沉积,以及人类活动导致的陆相碳酸钙沉积,如水泵抽水时在叶片上产生的高速碳酸钙沉积与烧水时产生的水垢等等。另外,随着人类活动的不断增多,许多建筑物都直接或间接地修在石灰华上,如早期的南盘江桥,这使得碳酸钙的沉积类型的力学强度含义显得重要起来。陆相碳酸钙沉积的水能量类型正是在考虑到以上种种因素下提出的。

2 陆相碳酸钙沉积与侵蚀

陆相碳酸钙沉积是在气-水-固三相反应体系中进行的,是碳酸钙溶液中 CO₂ 逸出的结果,其化学反应式:

^① 基金项目:石林基金资助项目(2000-07)
作者简介:程星(1969-),男,贵州师范大学资环系教授,成都理工大学环境工程学院博士在读,从事应用岩溶地质学研究。
收稿日期:2002-05-01



式中的 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 CO_2 浓度关系决定了溶液内部的平衡状态,温度、水运动条件、薄水比等是导致碳酸钙溶液中浓度变化的因素,并决定了反应进行的快慢^[7],而溶液内的浓度变化又是影响气体反应速度的关键。在静水条件下,碳酸钙沉积晶体最先在水面形成,从针状碳酸钙的晶体簇,再发育成钙膜。在水底碳酸钙的沉积条件远不如水面好^[6]。在 22℃ 下碳酸钙晶体生长速度较快,约是 10℃ 条件下的两倍。毛细水沉积明显表现为越靠近水面碳酸钙晶粒越多,越远离水面晶粒越少,并且晶粒不能发育成菱面体,在晶粒表面有明显的疤痕,反映出严重缺水的环境特征。流水中碳酸钙晶体表现为破损,“白水”中晶体发育较好。可见,陆相碳酸钙沉积的速度和晶体形态在不同的水能量条件下是不一样的^[8],其沉积类型、形态特征,反映或指示了一定的水动力环境。

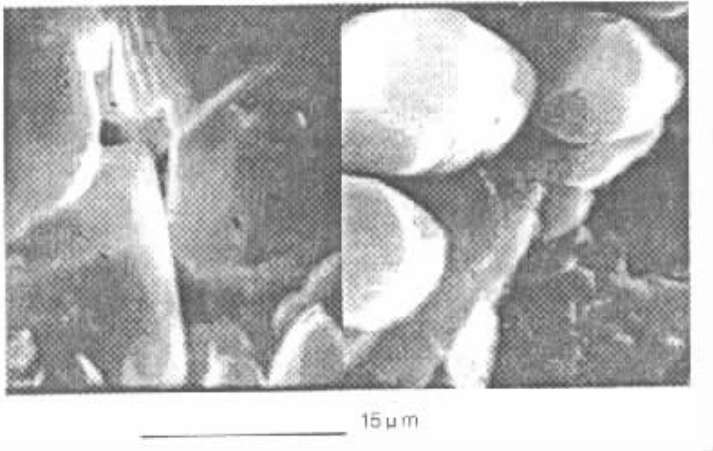
通过对贵州岩溶高原的野外观察,可以发现河成石灰华沉积多出现于瀑布和急流处。因而在许多学者早期的研究基础上形成了石灰华沉积与高速水流相关的观点。张英俊等通过对石灰华沉积机制的实验研究,得出以下结论:高速水流中低压气泡的产生是导致钙华沉积的主要因素,水气界面越大,沉淀平衡时间越短,水流速度越快,碳酸钙的沉积速度越大,所以高速水流条件对石灰华沉积影响很大,不论是低压气泡、掺气气泡以及射流水沫皆为高速水流的产物,它们直接促进石灰华的沉积。当水流中充满气泡时则水气界面面积剧增,水体厚度变为气泡间的平均距的 1/2,变得非常微小,根据薄水效应理论,石灰华沉积就大大加速^[6]。在另一种情况下,对于一定碳酸

钙颗粒而言,当急流的速度大到一定值时,已经生成的碳酸钙颗粒会被水流打碎,这就是所谓的侵蚀作用。因此,高速水流的效应有两个,在一定的范围内可加速沉积,而在另外某一范围内又可导致侵蚀。那么这个范围是多少,怎样去确定这个范围?这是本文要探讨的问题。针对这个问题,作者设计了如下试验:利用装满碳酸钙饱和溶液的圆形容器(参见文献(3)),放入磁棒搅拌器以每分钟 200 转的速度加速水流 30 分钟以后,收集其中碳酸钙颗粒,颗粒被收集在碳酸钙试块上,碳酸钙试块离圆心距离为 6cm,线速度约为 1.88m/s。将其晶粒进行电镜扫描后发现晶体结晶较好,晶面没有破损现象(见图片 1 左),反映了在此种情况下流速有利于碳酸钙的结晶。在另一组试验中,其它条件相同,但转速加到 300 转。电镜扫描的结果反映出晶体晶面被明显打碎(图片 1 右),表明在此种流速下碳酸钙晶体被明显地侵蚀。因此,水流流速侵蚀的界线可考虑为在 300 转左右,相当于 2.83m/s。

应该指出的是,碳酸钙晶体的破损并不代表野外陆相碳酸钙的破损,因成岩历史及环境的不同,野外陆相碳酸钙的实际硬度要比室内实验的大。本文旨在探讨一种陆相碳酸钙沉积分类的方法,作为抛砖引玉,供同行参考。

3 陆相碳酸钙沉积水能量分类及实例分析

按以上思路,我们对贵州及路南石林等发育的陆相碳酸钙沉积进行了水能量分类的尝试(表 1),现叙述如下。



图片 1 室内不同搅拌水流条件下碳酸钙结晶发育情况
(左 搅拌速度 200 转/min 右 搅拌速度 300 转/min)

Fig.1 (Left): Under the velocity of 200 turns/min. , development of calcareous deposits ;
(Right): Under the velocity of 300 turns/min. , development of calcareous deposits

表 1 陆相碳酸钙沉积的水能量分类及其沉积特征
Tab.1 Energy classification for terrestrial calcareous deposits

水能量 类型	参考的 分界值	流态及水流 情况	侵蚀、沉积 情况	沉积特征	实 例
超高能类沉积	> 7m/s	紊流	侵蚀	表现为晶体碎片的堆积	许多瀑布冲刷坑、黄果树冲刷坑前的 CaCO_3 沉积
高能类沉积	(白水现象产生) 3m/s	紊流、瀑布跌水	石灰华	(1)瀑布壁上的巨厚沉积,多孔,沉积晶粒很小,一般 $5\mu\text{m}$; (2)湍气过程形成大量气泡造成 CaCO_3 沉积,并附着在水下的植物上(藻类等),射流效应下可能使瀑布水分成无数小水粒,从而使 CO_2 快速逃逸	地表:黄果树瀑布、路南石林天生桥石灰华、路南三叠水瀑布、贵阳雅河瀑布、滴水岩瀑布; 地下:织金三园塘离织金 550m 的地下瀑布已切穿 5~6m 厚石灰华沉积,而且现河流已切入基岩 2m
		紊流、河流中的快速水流	石灰华	快速沉积,类似瀑布沉积,较厚的沉积是其特征	南盘江河谷的较低岸,河谷边沉积有羊背形 CaCO_3
低能类沉积	无“白水”现象 < 3m/s	裂隙流、泉及洞穴裂隙流	泉华、岩壁、钟乳石等地表沉积	结构常为多孔,与地表多孔的石灰华类似,其成因与湿度变化、生物活动、蒸发等有关	重安江分布于间歇泉口的石灰华;安龙县德洼、沅阳河两壁的钟乳石、茂兰喀斯特森林中谷壁钟乳石(被认为与喜水的藻类有关)、河流两岸(南盘江下游)漫滩上的碳酸钙沉积
		层流、洞穴片流水	流石(洞底、洞壁)洞穴、边石坎	致密结构,这主要是薄水效应使得 CO_2 快速逸出	许多洞穴中的边石坝(织金洞、贵阳白龙洞)、路南乃古石林白云洞片流水沉积
		层流、滴水	洞穴中滴石(钟乳石、石笋等)	致密结构,结晶较好,不纯物质含量变化较大,具有较细的层理	喀斯特洞穴中的大部分沉积物
超低能类沉积	水的运动不受重力影响	毛细水、静水	洞穴中卷曲石、石盾、月奶石、钙膜 灰华胶结的坡麓堆积	毛细水及蒸发效应、薄水效应	织金洞洞穴内的卷曲石沉积,洞穴边池塘水面沉积的钙膜 遵义以南的川黔高速公路东侧发育的灰华胶结的坡麓堆积

3.1 超高能类陆相碳酸钙沉积

超高能状态下主要是侵蚀发生,流态主要是紊流。一般来说在这样的能量下,碳酸钙很难沉积,碳酸钙沉积表现为被打碎的晶体在下游堆积,经过重结晶后可以具有大而好的晶形。在瀑布处多形成消能坑,如黄果树瀑布的犀牛潭,其形成的流速为大于 37m/s。在水泵叶片上的碳酸钙沉积也属于此类,但是什么原因导致在如此高速的水流条件下,碳酸钙颗粒能附着在水泵叶片上,仍然是一个需要进一步研究的问题。

3.2 高能类陆相碳酸钙沉积

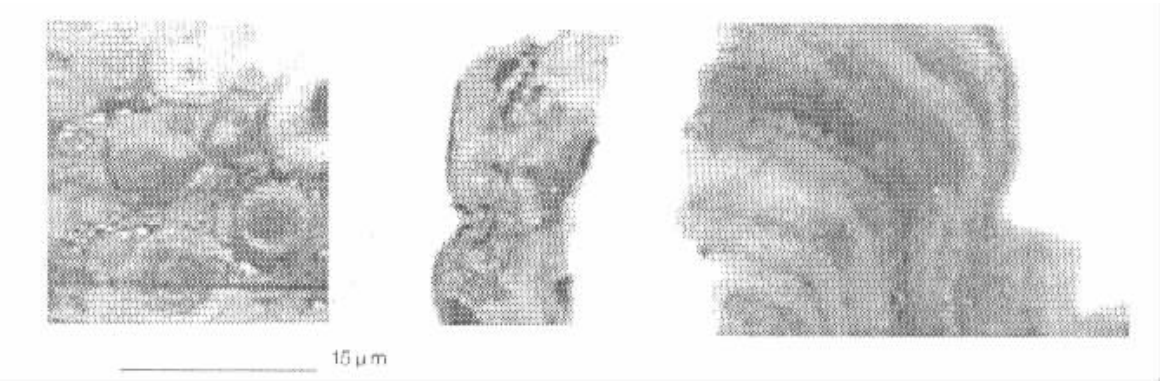
高能水环境是指水流呈现“白水”现象(因水流速度较快使空气掺入水中而形成的现象)时的水流环境。由于与水流厚度有关,该流速界限变化较大。水流厚度大,气体难以进入水中,厚度小时较小的流速也可产生“白水”现象。在此种水流条件下,有利于碳酸钙的快速沉积,因而大多数的陆相碳酸钙沉积属于此类。在地表的河流石灰华(河流边石坝)、瀑布上部的石灰华等,都是在这种条件下形成。其发育特征为多孔,生长速度快,有生物参与。最明显的是由于瀑布跌水造成的石灰华的巨厚沉积,如黄果树瀑布、路南石林天生桥石灰华、路南三叠水瀑布等。贵州南盘

江河道上的羊背形石灰华也属此类。一般在伏流或坡降较大的洞穴中,也发育有这种类型,但多孔的特征不明显。

3.3 低能类陆相碳酸钙沉积

这类沉积的水环境条件为:流速在“白水”流速的下限以下($<3\text{m/s}$),毛细水能量级以上。大量的复杂的洞穴碳酸钙沉积,包括洞穴滴石、流石、边石坝、石幔、钙板等等,其特征是较致密(图片 2,左、中),而且

由于水流能量低,可以形成很细的层理(图片 2,右),这是进行较细环境变化研究的较好的对象。如:织金洞、贵阳白龙洞、路南乃古石林白云洞片流水沉积等等。在地表,较典型的是岩壁上发育的碳酸钙沉积。沅阳河两壁的钟乳石、茂兰喀斯特森林中谷壁钟乳石,以及贵州大多数峡谷两壁上常见的钟乳状碳酸钙沉积属于此类。但由于有生物作用的参与以及地表的温度的改变,它们发育得不像地下类型那



图片 2 陆相碳酸钙剖面
(左:卷曲石横剖面,卷曲石直径 1~2mm;中:卷曲石纵剖面;右:边石坝剖面中的层理,厚 10~20cm)
Fig.2 Left: cross section of eccentric, 1~2mm in diameter;
Middle: Long-cross section of eccentric; Right: Stratification of rimstone profile, 10~15cm in thickness

么致密,而是表现为多孔的特征。另一种低能沉积是地表发育的泉华,分布在泉口,表现为致密而有孔隙发育,如分布于间歇泉口的重安江石灰华。低能水环境下的碳酸钙沉积类型的特点是沉积速度较慢,一般都经历了很长的时间才能形成巨厚的沉积,所以都具有较细的结构。在南盘江下游处,笔者曾见到大片的砾石(圆形)胶结成岩,分布在河流的漫滩位置,很平,结构很致密坚硬。这里离河道中心很远,水的流速非常慢,是由薄水效应所产生的沉积。

3.4 超低能环境下的沉积类型

这类沉积的水环境条件为基本不动的水流环境。在超低能状况下,水不受重力作用影响,其沉积与蒸发作用及薄水效应有关。此类沉积包括地下洞穴中的卷曲石、月奶石及碳酸钙壳层,边池塘水面的钙膜等。在这种条件下,碳酸钙晶体可以有充分的时间进行结晶,常表现为较好的晶体,但由于物质来源有限使得此类沉积的规模较小。由于其反重力特征,使其具有奇特的外表形态从而具有较高的观赏价值,同时也使得对其成因的探讨难度变得较大,其中有许多类型的形成原因至今仍是没搞清楚,如象卷曲石、月奶

石等等。灰华胶结的坡麓堆积在自然界的存在也是不可忽视的,遵义以南的川黔高速公路东侧发育的灰华胶结的坡麓堆积就是很好的实例。

4 结 论

从以上讨论可知,陆相碳酸钙沉积类型多种多样,按照形成时的水能量大小可分成超高能陆相碳酸钙沉积类型、高能陆相碳酸钙沉积类型、低能陆相碳酸钙沉积类型、超低能陆相碳酸钙沉积类型。按照其分布的位置又可细分为地上和地下两种。流速大于 7m/s 为超高能,流速 $3\sim7\text{m/s}$ 且大于“白水”为高能;小于“白水”流速但大于毛细水运动级别时为低能,水流速度小于毛细水运动量级时为超低能。陆相碳酸钙沉积形成时的水能量越高,其孔隙就越多,结构越疏松,所沉积的规模大,层理也粗大。形成时的水能量越低,则越致密、坚硬,规模越小,层理越精细。地表形态多表现为生物参与的多孔及具生物包裹体的特征,地下形态多表现为致密及结晶良好的特征。

参考文献

- [1] 章典. 洞穴碳酸钙沉积的水运动条件[J]. 中国岩溶, 1983, 2(1): 31-38.
- [2] 程星. 滴石形态组合及滴率条件[J]. 中国岩溶, 1990, 9(2): 119-129.
- [3] 程星, 周忠发. 碳酸钙溶解过程中的水运动条件[J]. 贵州地质, 1995, 10(3): 30-40.
- [4] 成都地质学院普通地质教研室. 动力地质学原理[M]. 地质出版社, 1956.
- [5] 李叔达, 胡承祖. 动力地质学[M]. 地质出版社, 1994: 125.
- [6] 张英骏, 程星, 等. 石灰华沉积机制的实验研究[J]. 中国岩溶, 1994, 13(3): 197-206.
- [7] 程星. 薄水效应初论[J]. 中国岩溶, 1994, 13(3): 209-212.
- [8] 程星. 陆相碳酸钙沉积试验的晶体扫描电镜研究[J]. 中国岩溶, 2000, 19(3): 206-211.

CLASSIFICATION ON FEATURES AND WATER-FLOW ENERGY OF THE TERRESTRIAL CALCAREOUS DEPOSIT IN GUIZHOU

CHENG Xing^{1, 2}, LI Da-yong¹

(1. The Department of Resources and Environment of Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Based on the field observation and the indoor experiment, the article discusses relationship between terrestrial calcareous deposit types and the condition of the water energy, and discusses quantitatively and qualitatively the water energy boundary among every kinds of calcareous deposit. The article points out that the terrestrial calcareous deposit types include the following 4 kinds, extra-high energy, high energy, low energy and extra-low energy. According to their position of development they may be classified into surface types and underground types. The water flow energy conditions are extra-high energy, high energy, low energy and extra-low energy. The article also describes the features of the deposits.

Key words: Terrestrial calcareous deposits; Erosion speed; Water flow energy; Classification

啊,西畴精神!

当一个人看见了震撼人心的事,一时找不到合适的词语来表述的时候,常常“啊,……”一声,以抒发自己激动的感情。

“啊,西畴精神”就是我西畴之行中,所见所闻的激动万分的感情流露。

对西畴这个县名的认识,是在我很小的时候就知道了。那时,我们村和周围几个村响应党和政府的号召,纷纷让出土地给西畴搬迁来的人耕种,不少人对西畴人都不大敢恭维。到20世纪90年代,在党中央发出坚决打好扶贫攻坚战号令后,西畴劳动人民所表现出的闻名全国的“西畴精神”,才使我改变了对西畴的看法。当然,西畴精神在报刊上和领导的“报告”中得知的多了,可从未亲眼目睹。直到2002年5月,在一个山花烂漫的日子里,文山壮族苗族自治州作家协会第二次代表大会在西畴召开了,才使我能一偿夙愿。

万方数据

西畴地处云贵高原东南部。自古以来就是走西串东、南来北往通商的衢道和国家抵御外侮时屯兵蓄粮的要地。境内的珍稀植物,其它地方已经濒危。被人们称为“活化石”的华盖木,展示了西畴历史的沧桑古老。另外,我还了解到,解放以来,西畴除“西畴精神”外,还有一件惊天动地的事,那就是1955年,毛泽东主席对中共西畴县委上报的关于东升《一个混乱的合作社整顿好了》一文,不仅编入《中国农村社会主义高潮》一书,而且毛主席亲笔写了“按语”。西畴成了全国的典型。

西畴顽石雄踞,海拔平均1500m。“七分石头三分地,缺土又缺水”是对它最好的概括。大石山苍凉雄险,荒蛮大气。西畴是石的天,石的地,石的路,全县23万余人,人均仅有耕地0.8亩。曾经有一外国专家来到西畴县蚌谷乡一个被当地比喻为拉屎都不

(下转第94页)