

清江高坝洲地区古岩溶角砾岩特征及形成条件*

王增银 沈继方 万军伟

(中国地质大学环境科学与工程学院, 武汉 430074)

摘 要 古岩溶角砾岩是在特定的地质和水文地质条件下形成的沉积岩, 是记录岩溶发育环境和形成时代的“化石”。通过对高坝洲地区古岩溶角砾岩发育特征及取样分析测试研究, 查明该类岩溶角砾岩属于岩溶崩塌角砾岩, 胶结物方解石晶体是在中低温热水溶液中 CaCO_3 沉淀形成的, 形成时间是上新世。

关键词 古岩溶角砾岩, 方解石晶体, 中低温热水, 上新世。

中图法分类号 P642.25

第一作者简介 王增银, 男, 副教授, 1945 年生, 1969 年毕业于北京地质学院水文地质与工程地质专业, 现从事水文地质和岩溶地质的教学和科研工作。

0 引言

古岩溶角砾岩是在特定的地质和水文地质条件下形成的沉积岩, 是记录岩溶发育环境和形成时代的“化石”, 又常成为多种矿床的赋矿岩石, 有时还与工程建设有关, 已逐渐引起地质工作者和岩溶工作者的重视。由于其岩石组构和形成条件复杂, 目前尚缺少深入系统的研究。清江高坝洲水电建设勘测和施工过程中, 在中上寒武统碳酸盐岩中发现了多处古岩溶角砾岩体, 规模最大的角砾岩体就分布在坝基和坝肩处。作者通过对该区岩溶角砾岩体的发育特征研究及系统采样进行室内分析测试, 获得了许多新的资料和新的认识。

1 古岩溶角砾岩的发育特征

高坝洲地区古岩溶角砾岩主要出露在清江左岸母鸭沟口和九墩子老屋及清江右岸尖山坡等地, 发育地层分别为中寒武统上峰尖组、黑石沟组和上寒武统三游洞组。其中母鸭沟岩体规模最大, 地表出露面积达 $2 \times 10^4 \text{ m}^2$, 据钻探揭露高度在 200 m 以上。其余两处出露面积分别为 $1 \times 10^4 \text{ m}^2$ 和 $5 \times 10^3 \text{ m}^2$ 。

1.1 岩溶角砾岩的组构特征

岩溶角砾岩体由角砾、方解石和空洞组成, 其最

突出的特点是角砾完全被方解石包裹, 方解石将各种角砾胶结在一起, 形成坚固的岩体, 没有碎屑和粘土类充填物。

(1) 岩溶角砾岩角砾特征。岩溶角砾岩角砾成分主要是白云岩、灰质白云岩、泥质白云岩、灰岩和钙质页岩, 其岩石类型与围岩一致。角砾形态多样, 大小角砾混杂堆积, 大的岩块相互支撑, 形成架空结构, 其空隙充填有小的角砾。各种角砾均保留原岩的结构构造, 无任何改造现象。(2) 岩溶角砾岩胶结物特征。岩溶角砾岩胶结物为白色、乳白色方解石晶体, 晶体形态规则, 晶面完整, 主要呈平行[0001]面发育的柱状, 属复三方偏三角面体或尖棱面体晶形, 集合体呈晶簇状。根据方解石晶体的颜色、晶形及大小, 方解石明显可分为两期, 早期方解石紧贴角砾壁面, 晶体小, 呈短柱状, 多为不透明或半透明的乳白色, 部分晶体内机械滑移双晶发育。晚期方解石晶体粗大, 呈长柱状, 最长可达 15~20 cm, 乳白色半透明或无色透明, 具玻璃光泽, 晶体完整, 无任何应力作用迹象。在显微镜下可以看出, 方解石晶体内包有大量白云石和粘土矿物, 白云石呈不均匀斑点状分布, 有的略显纹带状分布, 粘土矿物不规则散布于方解石晶体内部。

1.2 方解石晶体的物理化学特征

(1) 地下水流体的成分。方解石晶体流体包裹体中含有的液体和气体组分是方解石晶体形成时原生地下水的产物, 因此其流体包裹体气、液相成分可以代表当时地下水流体的成分。流体包裹体气相组分

1998 年 2 月 25 日收稿。

* 湖北省清江水电开发总公司委托项目(No. 95056045)的部分成果。

表 1 方解石晶体流体包裹体气相成分分析结果

Table 1 Gas compositions of fluid inclusions of calcite crystal

样品位置		$\varphi_{\text{B}}/10^{-6}$							还原参数
		H ₂ O	CO ₂	H ₂	C ₂ H ₆	N ₂	CH ₄	CO	
母鸭沟岩体	85 号钻孔	654.92	25.92	0.87	1.26	4.71	4.54	6.15	0.462 5
	1 号平硐口	661.16	21.84	0.84	0.84	4.43	5.73	5.66	0.560 0
	3 号平硐口	590.26	21.46	0.77	0.00	3.81	5.63	4.95	0.528 9
	平均值	635.45	23.07	0.83	0.70	4.32	5.70	5.59	0.517 1
九墩子老屋岩体		619.08	27.97	0.25	0.00	9.80	12.55	4.32	0.612 1
尖山坡岩体		565.74	27.91	0.51	0.00	6.91	8.86	4.72	0.515 9
三岩体平均值		606.76	26.12	0.53	0.23	8.69	9.04	4.88	0.535 8

表 2 母鸭沟岩体方解石晶体流体包裹体均一法测试结果

Table 2 Homogenization temperature analyses for the fluid inclusions of calcite crystal in Muyagou

采样位置	编号	包裹体特征							
		类型与形态	颜色	项目	大小/ μm	气液比/%	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	$w(\text{NaCl})/\%$	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
85 孔岩心 (高程 55 m)	KB1- 1	原生形态	无色	实测值	5~ 10	5~ 10	173~ 277	0.2~ 0.7	0.758~ 0.896
		不规则		均值	8.18	9.09	221.91	0.4	0.826
				标准差	2.04	2.02	38.11	0.24	0.070
	KB1- 2	原生形态	无色	实测值	10~ 15	10	105~ 137	0.2~ 0.4	0.933~ 0.952
		不规则		均值	12.78	10	122.67	0.33	0.940
				标准差	2.64	0	13.44	0.12	0.011
85 孔岩心 (高程 14 m)	KB1- 1	原生形态	无色	实测值	5~ 10	5~ 15	167~ 319	0.2~ 1.2	0.738~ 0.902
		不规则		均值	6.79	8.93	233.71	0.74	0.817
				标准差	1.37	2.89	59.57	0.46	0.077
	KB1- 2	原生形态	无色	实测值	6~ 40	10~ 20	144~ 196	0.2~ 0.4	0.874~ 0.932
		不规则		均值	10.9	12.27	176.45	0.25	0.896
				标准差	5.43	3.44	14.58	0.14	0.021

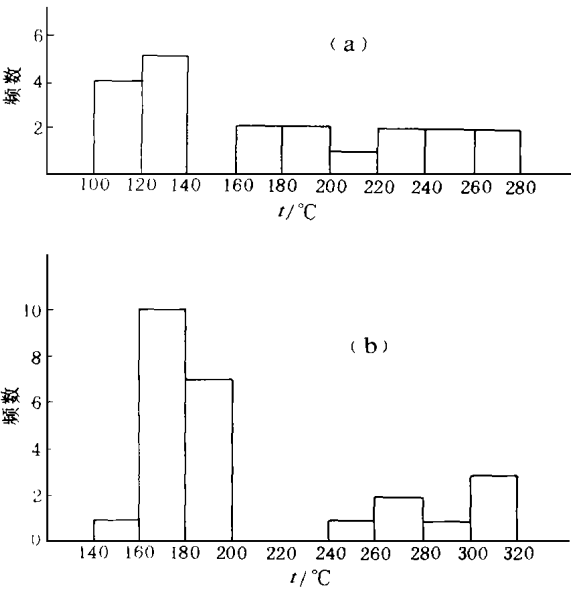


图 1 85 号孔方解石包裹体均一温度直方图

Fig. 1 The histogram of homogenization temperature of fluid inclusions in borehole No. 85

a. 55 m 高程方解石晶体; b. 14 m 高程方解石晶体

分析结果见表 1. 从表 1 中可知, 还原参数^[1]为 0.462 5~ 0.612 1, 均值为 0.535 8, 说明方解石晶体形成于还原环境.

(2) 流体包裹体特征及形成温度. 方解石晶体中流体包裹体形态不规则, 粒径大小不一, 多数为 5~ 15 μm , 其气液比为 5%~ 15% (表 2), 均一温度分布范围从 105 $^{\circ}\text{C}$ 至 319 $^{\circ}\text{C}$. 由于方解石晶体形成深度不大, 压力对温度影响较小, 因此均一温度可近似地视为形成温度. 从 85 号孔 55 m 和 14 m 高程样品均一温度直方图(图 1)可以看出, 温度可明显地分为两个区间, 在第二区间中又可分为两个温度段, 这说明方解石晶体形成时温度发生过变化.

(3) 地下水流体的盐度. 从表 2 可看出, 包裹体溶液盐度较低, $w(\text{NaCl})$ 在 0.2%~ 1.2% 范围内. 从图 2 也可以看出, 包裹体盐度 $w(\text{NaCl})$ 可分为 3 个区域: ①0.2%~ 0.4% 盐度区; ②0.5%~ 0.7% 盐度区; ③1.1%~ 1.2% 盐度区. 盐度与温度具有较好相关关系, 其回归方程为 $Y=128.09+153.51X$.

表 3 岩溶角砾岩胶结物同位素测试结果

Table 3 Isotope composition analyses for the cements of karst breccia

位 置		母鸭沟岩体			九墩子 老屋岩体	尖山坡 岩体	平均值
		85 孔岩心	1 号平硐	3 号平硐			
同位素组成/ ‰	方解石						
	$\delta(^{13}\text{C})$	- 4. 12	- 4. 4	- 5. 1	- 4. 3	- 4. 5	- 4. 45
	$\delta(^{18}\text{O})$	- 9. 86	- 9. 7	- 9. 9	- 10. 2	- 10. 2	- 10. 02
	包裹体						
	$\delta(^{18}\text{O})$	- 15. 76	- 15. 63	- 15. 83	- 15. 76	- 16. 02	- 15. 84

表 4 岩溶角砾岩角砾同位素测试结果

Table 4 Isotope composition analyses for the adjacent rocks of karst breccia

岩石类型编号		灰 岩			白 云 岩	
		KB5	KB6	平均	KB7	KB8
同位素组成/ ‰	$\delta(^{13}\text{C})$	- 2. 3	- 1. 8	- 2. 05	- 0. 1	- 0. 4
	$\delta(^{18}\text{O})$	- 9. 0	- 7. 5	- 8. 25	- 5. 7	- 5. 7

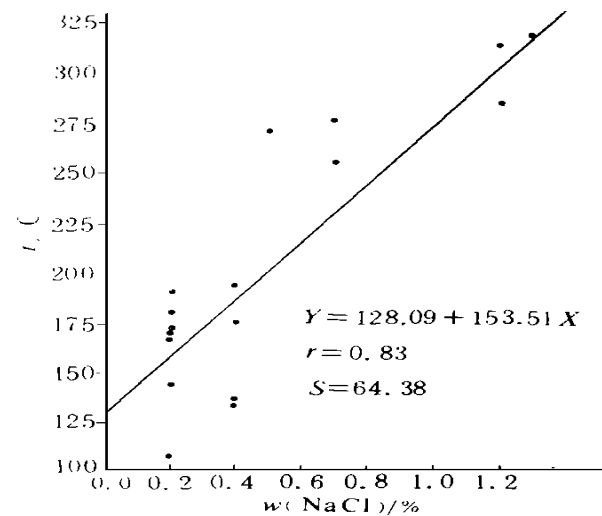


图 2 流体包裹体均一温度与盐度关系

Fig. 2 Relationship between homogenization temperature and salinity of fluid inclusions

2 岩溶角砾岩形成条件

2.1 岩溶角砾岩的岩相标志与成因类型

如前所述, 该类岩溶角砾岩的角砾成分与围岩相同, 其堆积特点是大小混杂、无分选、无定向, 具架空构造, 岩体下部角砾可以互相拼接, 在与围岩接触带附近, 角砾或岩块还大致保持着原岩层的产状. 这些均说明角砾是由崩塌作用产生并就地堆积而成, 因此该类角砾岩属于岩溶崩塌角砾岩.

岩溶角砾岩的胶结物为粗- 巨晶方解石, 其中未发现任何水流机械沉积物和大量铁泥质成分. 说明胶结物是在相对封闭的水文地球化学系统, 且径流缓慢的地下水沉积环境下形成的. 在此环境下地

下水中 CaCO_3 过饱和, 发生 CaCO_3 沉淀, 在角砾间的空隙形成粗- 巨晶方解石.

2.2 方解石晶体的成因

粗、巨晶自形复三方偏三角面体或菱面体, 且纯净的方解石的形成不仅要求具有大量空隙的介质, 还要求溶液处于相对稳定的偏碱性的中低温环境.

(1) 水源. 根据方解石和围岩同位素分析资料 (表 3 和表 4) 可以看出, 岩溶角砾岩方解石的 $\delta(^{18}\text{O})$ 值为 $- 9. 7 ‰ \sim - 10. 2 ‰$, 角砾的 $\delta(^{18}\text{O})$ 值为 $- 5. 7 ‰ \sim - 9. 0 ‰$, 说明两者较为接近. 但根据方解石晶体 $\delta(^{18}\text{O})$ 值换算所得的流体 $\delta(^{18}\text{O})$ 值^[2] 为 $- 15. 63 ‰ \sim - 16. 02 ‰$ (平均值为 $- 15. 84 ‰$), 据此换算的 $\delta(^{18}\text{O})$ SMOW 值^[3] 为 $14. 53 ‰$, 该值高于鄂西地区大气降水的 $\delta(^{18}\text{O})$ 值 ($- 8 ‰ \sim - 10 ‰$). 由于方解石晶体形成温度较高, 特别是早期温度在 $200\text{ }^\circ\text{C}$ 以上, 但其盐度低. 参考张理刚^[4] 根据水溶液氢氧同位素组成及其在各种产出地质环境中的变化确定的热水溶液成因类型划分的意见, 我们认为上述方解石形成时的水溶液同位素特征是大气成因的地下水经历了氧同位素漂移的结果. 大气降水入渗补给地下水中的 O_2 与碳酸盐岩中的 O_2 发生交换作用, 造成氧同位素的分馏, 使其碳酸盐岩中的 ^{18}O 贫化, $\delta(^{18}\text{O})$ 值降低, 而水溶液则相应产生 ^{18}O 富集, $\delta(^{18}\text{O})$ 值升高^[5]. 所以形成方解石晶体的中低温热液的水源是大气降水.

(2) 热源. 据江汉盆地石油钻探资料, 在下第三系沙市组、荆江组、潜江组和上第三系广华寺组内都钻遇大量的玄武岩、凝灰岩和辉绿岩等火成岩^①, 在松滋和枝城之间的第三系红层中也见有玄武岩岩

①廖键. 中扬子地区构造演化初探. 1985

体出露,说明江汉盆地在新第三纪中后期曾发生过玄武岩类基性、超基性熔岩的侵入和喷发。高坝洲地区位于江汉盆地边缘,在该时期也可能发生过熔岩上涌,形成地热异常,只是由于上涌未达地表浅部,因此未发现有火成岩分布。受此熔岩上涌影响,使地下水升温,形成热水溶液。因此方解石晶体形成的热源主要来自深部熔岩上涌的影响。

(3) CaCO_3 物质。岩溶角砾岩发育在寒武系碳酸盐岩中,围岩是大片分布的碳酸盐岩层。含有 CO_2 的大气降水渗入补给岩溶含水系统后,在其径流过程中发生溶滤作用,溶解碳酸盐岩,使水中 Ca^{2+} , Mg^{2+} 增加。当含有大量 Ca^{2+} , Mg^{2+} 的岩溶水流入地热异常区,水温升高,则水中平衡 CO_2 挥发,形成 CaCO_3 和 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 沉淀。由于 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 先于 CaCO_3 形成,所以在方解石晶形中白云石呈包裹体形式存在。

从表3和表4来看,方解石晶体的 $\delta(^{13}\text{C})$ 值为 $-4.1\text{‰} \sim -5.1\text{‰}$, 平均值为 -4.45‰ , 均低于相应围岩的 $\delta(^{13}\text{C})$ 值(均值为 -1.13‰), 因此推测方解石晶体有地壳深部岩浆起源的碳的混合。

3 岩溶角砾岩的形成机制及形成时代

3.1 岩溶角砾岩形成机制

根据上述岩溶角砾岩形成条件分析,区内岩溶角砾岩的形成过程大致经历了3个阶段。

(1) 洞穴形成阶段。碳酸盐岩层中发育的地下岩溶洞穴是岩溶崩塌的基础,也是崩塌物堆积的场所和空间,它支配着岩溶崩塌角砾岩的分布位置、形态和规模。本区寒武系碳酸盐岩地层经历过多期构造变动,其中发育有各种规模的断裂和裂隙,为地下径流提供了运移通道。在巨型裂隙与层面或其他优势裂隙相交处迅速扩大空间而发展成具有一定断面积的溶蚀管道。管道水流具有更大的动能,除了继续加速溶蚀管道壁外,还有很强的机械侵蚀和刨蚀作用,并伴随有管壁不稳定岩石沿裂隙或层面开裂而垮落,使其断面不断扩大,最后在局部形成岩溶大厅,形成相当规模的洞穴。

(2) 洞穴崩塌阶段。当洞穴发育到一定跨度,不能支撑上覆岩层负荷或受构造运动等影响导致顶板

岩层失稳而发生垮落崩塌,形成无分选、无层理的块状堆积体。由于本区几处岩溶角砾岩体内均未发现地表物质填充,说明原洞体埋深较大,是崩塌未达地表的埋藏型塌陷堆积体。

(3) 胶结成岩阶段。由于崩塌堆积体具有架空构造,其空隙大,储水能力强,在深部热源等因素作用下,地下水温较高,形成热水溶液。本区处于江汉盆地边缘,是岩溶水的径流排泄区,加之崩塌体埋藏较深,地下径流缓慢,水中 CaCO_3 过饱和,便依附于角砾表面的碳酸盐质点沉淀、结晶,并按一定的结晶方向自由生长。在水岩长期相互作用下缓慢而持续地发生 CaCO_3 沉积,方解石晶体不断增长,逐渐包裹角砾、填充空隙。形成方解石胶结角砾岩体,完成成岩的全过程。

3.2 岩溶角砾岩形成时代

从母鸭沟岩体钻探资料来看,84,85号钻孔中岩溶角砾岩体底部为紫红色半固结粘土岩,该粘土岩与下第三系“红层”相当,因此方解石胶结岩溶角砾岩应形成于新第三纪及以后。根据前述热源形成来源分析,江汉盆地在石油钻探中于下第三系和上第三系广华寺组内发现有玄武岩、凝灰岩、辉绿岩等火成岩,在第四系岩层内未发现有火成岩穿插现象,因此岩浆侵入或喷发时间发生于新第三纪中后期,据此可推断该类岩溶角砾岩形成于上新世(N_2)。

本文在研究过程中得到湖北省清江高坝洲工程建设公司和长江水利委员会清江地质大队高坝洲地质队的大力支持,并得到张文淮教授和黄思骥高级工程师的帮助和指导,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 李秉伦. 气液包裹体气相色谱分析及其地质意义. 地质科学, 1982, (2): 220~225
- 2 卢焕章, 李秉伦, 沈昆等. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1991. 148~149
- 3 王恒纯. 同位素水文地质概论. 北京: 地质出版社, 1991. 38~39
- 4 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用. 西安: 陕西科学技术出版社, 1995. 54~60
- 5 沈渭洲. 稳定同位素地质. 北京: 原子能出版社, 1987. 76~88

AN ANALYSIS OF THE FORMATION OF PALEOKARST BRECCIA
AND THE KARST EVOLUTION IN GAOBAZHOU AREA OF
QINGJIANG RIVER

Wang Zengyin Shen Jifang Wan Junwei

(Faculty of Environmental Science and Geotechnique, China University of geosciences, Wuhan 430074)

Abstract Paleokarst breccia is a kind of sedimentary rock formed under specific geologic and hydrogeologic conditions. A piece of “fossil” may have noted down the environment of karst development and age. This paper points out the paleokarst breccia belongs to the karst collapse breccia through the discussion of the paleokarst breccia characteristics in Gaobazhou area and the measuring method. The cement, calcite crystal, is CaCO_3 to crystallize in the low_mesothermal water. This happened in Pliocene.

Key words paleokarst breccia, calcite crystal, low_mesothermal water, Pliocene.

红外光谱技术在宝石学中的应用及前景

陈美华

(中国地质大学珠宝学院, 武汉 430074)

宝石学是伴随着经济快速发展而诞生的一门新的交叉型学科, 它涵括宝石矿床及成因、宝石鉴定、加工制造、合成及优化处理、市场及商贸等诸多方面. 其中作为学科重要基础部分的宝石鉴定, 要求对样品进行无损测试, 而且力求快速、准确, 以适应市场要求, 为此, 一些宝石鉴定机构及教育单位在使用常规宝石鉴定仪器的同时, 引进了傅里叶变换红外光谱仪(FTIR), 它克服了常规宝石鉴定仪器的诸多方面的局限性, 在宝石检测中具有不可替代的作用.

目前, 红外光谱仪在该领域的应用主要包括: (1) 区分某些天然宝石及合成宝石, 通过解析中红外区的透过或吸收特点, 来区分天然及合成的对应产物. 主要体现在区分天然祖母绿与合成(水热法及助熔剂法)祖母绿、天然欧泊与合成欧泊、天然水晶(包括无色、紫色、烟色)与同种颜色的合成水晶、天然钻石与合成钻石等方面. (2) 鉴别某些优化处理的宝石, 确定 B 货翡翠(强酸漂白再经树脂或塑料充填处理的翡翠)是红外光谱仪目前在宝石学领域中使

用频度最高的一个方面, 因 B 货充填的环氧树脂属芳烃类碳氢化合物, 因而在 $2\,800\text{ cm}^{-1}$ 至 $3\,100\text{ cm}^{-1}$ 之间有一组特征的吸收峰, 通过检测这组吸收峰将其与未经处理的(上蜡除外) A 货翡翠区分开, 该仪器的使用为曾一度引起翡翠市场混乱的 B 货的鉴别提供了客观有效的诊断方法, 避免了常规检测或经验性判定所产生的争议. 同样地, 对其他经过有机染料染色宝石、注油或注塑处理的宝石可提供有效鉴定依据. (3) 区分一些相似的宝石种和外观相似的宝石仿制品, 因一些相似的宝石品种所测定的物理光学参数重叠范围较大, 有时因形状及琢型的局限性, 常规仪器检测难以定论, 而用红外光谱仪测试其结构的基频振动能区分它们, 如紫色方柱石和紫晶、夕线石猫眼和柱晶石猫眼等, 另外, 对琥珀与硬树脂或塑料仿制品、欧泊与具变彩效应的塑料仿制品均能快速地区分开. 总之, 使用红外光谱仪不仅可以解决一些鉴定的难点和疑点问题, 结合常规的

(下转 536 页)