

织金洞铀系年龄测定及其成因探讨

付子冲 贾疏源 夏先明 彭秀峰

(贵州省地矿局) (成都地质学院) (四川大学)

主题词: 洞穴 洞石 铀系年龄 成因 织金洞

〔内容提要〕根据织金洞的区域地质(即地层、构造、地貌等)条件以及水文地质特点,笔者等在该洞采起了八个地质样品。进行铀系年龄测定。文章着重介绍了该洞八个样品铀系测定的方法、原理、测试技术、测试结果,并通过结果分析,对织金洞以及洞中某些重要洞石的形成原因、机理、模式作了初步探讨。

贵州织金洞(原名打鸡洞),位于贵阳市西156公里,织金县城东北21公里的官寨乡。发育于黔西高原面上的溶丘内。

1980年4月该县溶洞调查组首次入洞调查并报道以来,相继吸引了大量国内外游人和岩溶地理,地质工作者观光、考察。至今已成为在贵州省与黄果树瀑布,安顺龙宫齐名的三大岩溶旅游区之一。

1985年始,笔者曾多次赴织金洞进行考察,并在织金洞管理处的大力协助下,采得地质样品八件。通过铀系同位素测定,结合有关地质、地貌特征,对织金洞的形成及洞石成因等有关问题进行了探讨。当否,请读者批评指正。

一、概 述

织金洞为多层次巨大洞穴系统(图1)发育于下三叠统夜郎组玉龙山灰岩段。岩性质

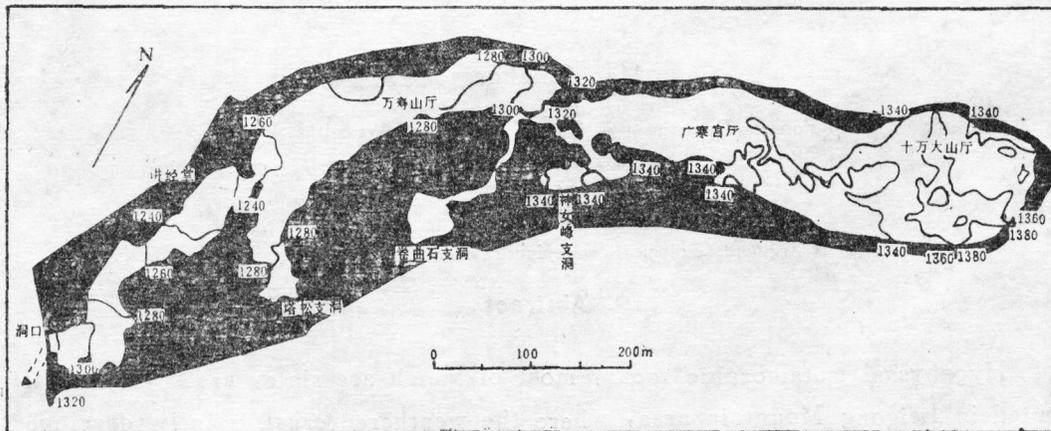


图1 贵州织金洞洞穴发育示意图

Fig. 1. The sketch map of cave development of Zhijin cavern in Guizhou

纯, 为鲕状灰岩及泥晶灰岩, 厚度约 200 米。上覆层为九级滩段薄—中厚层状砂页岩; 下伏层为沙堡湾段黄绿色, 灰黄色页岩夹薄层泥灰岩, 厚度仅 2.5 米。再下出露厚大的上二叠统龙潭组煤系地层。可见洞穴赖以发育的灰岩岩层夹于非可溶的岩层之间。于是从溶洞形成的古水文地质条件来看, 进入岩溶发育层的岩溶水, 具有广泛的补给区。这些流经碎屑岩区的地表及地下水, 不仅水量丰沛, 且具有偏酸性的特征, 无疑是织金洞发育巨大的重要原因。

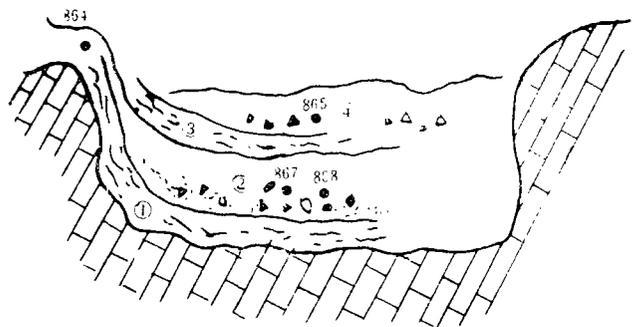
织金洞洞穴发育于走向北东的黑土—布茵大背斜之北西翼, 地层倾向北西, 倾角 10 度左右, 偶受断裂影响, 倾角变陡, 可达 30—40 度, 如洞口天窗壁附近。织金洞洞口西侧可见玉龙山段灰岩与沙堡湾段页岩重复出现, 岩石破碎, 擦痕发育, 无疑属断层破碎带通过地段, 表明织金洞的发育与洞口断层破碎带的存在有某种联系。

从平面图 (图 1) 看, 织金洞洞穴系以 N—S, E—W 向及 NE, SE 二组互相垂直, 尤以 NE—SW 向一组特别发育。据力学分析, 属伴随黑土—布茵大背斜褶曲变形的破裂结构面, 控制洞穴的发育, 似较合理。

据杨汉奎同志“打鸡洞简介”一文所述, 洞穴发育于绮陌河注入六圭河近河口地段, 1400—1480 米标高残余剥夷面下的溶丘内。标高 1280—1300 米的区域性宽缓谷地。被称为官寨—八步剥夷面。织金洞洞口发育于该二级剥夷面之间的 1320 米左右标高。发源于凤凰山的绮陌河忽明忽暗向北流经灰岩地区, 于洞口附近的大槽口处复又潜入地下, 约 118 公里, 再度出露汇入六圭河。绮陌河及六圭河均为深切峡谷。织金洞距深切河谷 2—3 公里, 相对于大槽口高差达 220 余米。峡谷深达 100—110 米, 峡谷顶的两侧至少发育了上下两级基座阶地。基座阶地通过坡地与洞口相接, 其高差可达 100 余米。据此可将织金洞发育的部位与区域地貌特征对比。由此可见, 织金洞的发育演化与区域地貌演化史有密切的关系。一级阶地砾石层风化呈桔黄色, 前人在沉积层中掘出石斧一件。二级阶地砾石层风化呈桔红—桔黄色, 阶状地貌特征与洞穴系的成层特征似可对应。本次考察南距织金洞于洞口约 70 米的斜坡地发现溶洞堆积层露头, 标高与洞口相似, 溶洞沉积可分为四层, 由老至新为 (见图 2): ① 白色古岩溶洞壁钙华; ② 含哺乳动物碎骨胶结灰岩质砾岩—角砾岩层; ③ 褐黄色古岩溶钙华; ④ 胶结灰岩质角砾岩层。

该堆积层记录了现织金洞口前段古洞穴演化的历史, 其钙华可与洞内先后发育的钙华进行对比。即: ① 层的钙华与十万大山期泉华 (后详述) 相当, ② 层的钙华与广寒宫期钙华 (后详述) 相当。

台阶状洞穴分别发育于 1320—1360 米左右 (十万大山厅), 1300 米左右 (广寒宫厅), 1270 米左右 (寿星宫—万寿山厅)。洞内最低处, 位于讲经堂漏斗状洼地底部, 标高为 1223 米。并伴有垂直落水洞, 排泄洞中水流。各支洞亦呈台阶状向主洞及讲经堂厅逐级低下。



①②③④ 见文字部分说明

865 为取样点及编号

图 2 洞口外溶洞堆积剖面示意图

Fig. 2. the sketch section of karst cave accumulation in out of cave

除一般岩溶洞穴中的石钟乳、石笋、石柱等形态外，奇特的洞石沉积还包括卷曲石，树状石笋、菌状石笋、石盾，月奶石等。最具观赏价值的洞石沉积莫过于树状石笋，其主要发育于广寒宫厅（图3），塔松支洞洞厅，大型石柱也集中于这些洞穴中发育。

洞穴发育较宽处（一百余米左右）多见洞顶塌落。洞顶塌落处，不见大型石柱及树状石笋，而多见细长钟乳石及对应石笋发育。万寿山厅的万寿山景即由洞顶塌落巨石块堆积而成，未见巨大石柱及树状石笋。

大体与十万大山洞厅同期形成的卷曲石支洞洞厅还发育有钙结层，钙结层上巨型石柱密集发育（图4）。

以上是分别对控制织金洞发育的基本地质、地貌条件，以及洞穴和其洞石特征作了简要介绍。有关示意图上分别标出了八个采样点的具体位置，通过铀系同位素测定，笔者获得了所期望的结果。

二、测定方法和结果

（一）测定方法原理

我们决定采用铀系法来测定所采样品的放射性同位素比值及年龄值。自然界年青地质建造中广泛分布着放射性同位素， ^{238}U 和 ^{235}U 产生的衰变系列，包括许多不同元素的放射性同位素。在正常的地质作用过程中，铀的子体都可以与其母体分离或彼此离开。由于铀的各个子体的地球化学性质不同，地质作用就会破坏放射性衰变的平衡，其结果是：①放射性系列中的某一子体成员与其母体分离，尔后按其自身的半衰期所决定的速度进行衰变；②已与其子体分离的母体的衰变形成了子体核，直到重建放射性平衡为止。这些地质机理是铀系法的理论基础。另一方面，近二十年来核物理和核化学迅速发展，元素的化学元素分离技术日益提高，而射线探测技术的发展，能较灵敏地测定自然界微弱的放射性强度，特别是 α 谱测试技术的引进，为开展铀系年代测定提供了重要的技术条件。

（二）测试技术

1. 化学分离

用快中子活化技术测定样品铀含量后，确定样品测试量，加入等强度的 ^{232}U — ^{232}Th 平

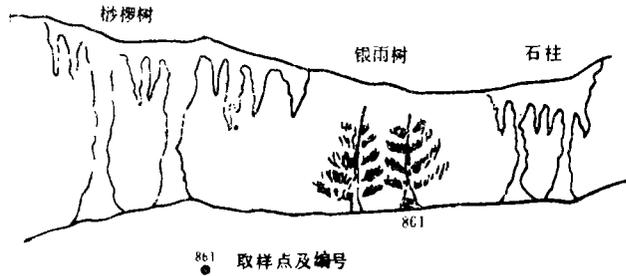


图3. 广寒宫石柱及树状石笋剖面示意图

Fig. 3 the sketch section of Guanghangong stone column and stone bamboo shoot of tree shape

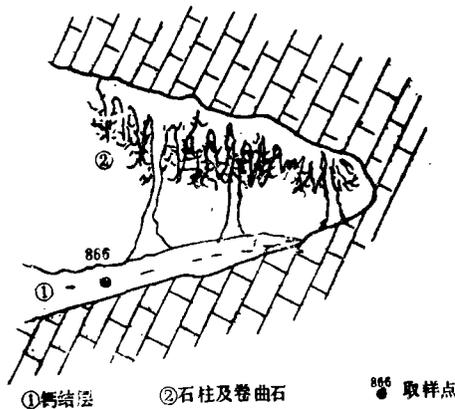


图4. 卷曲石支洞钙结层剖面图

Fig. 4. the section of Ca—Sedimentary bed in branch cave of unstraight stone

衡示踪剂, 用HCl, H₂O全溶后, 氢氧化铁共沉淀, 异丙醚萃取, 配成4NHCl溶液上阳离子树脂柱, 铀钍分离, 阳柱用饱和草酸洗脱, 除尽草酸, 在pH=1时用TTA一二甲苯萃取, 10NHNO₃反萃取, 蒸干, 加少量HCl加热到1ml左右备电沉积钍用。

从阳柱下来的含铀溶液, 蒸干, 配成8NHCl溶液上阴柱, 0.1NCl洗脱, 下柱溶液加60% NH₄NO₃煮沸, 用磷酸三丁酯—四氯化碳萃取7/10万铀试剂Ⅲ反萃取, 在硝酸介质中蒸干, 加少量HCl在PH=2.5—3时, 用0.4克分子浓度的TTA一二甲苯萃取, 10NHNO₃反萃取。蒸干后, 加少量HCl加热到1ml左右, 以备电沉积铀用。

2. 电沉积制源

电沉积制备 α 的U、Th放射性, 是基于铀和钍在适当介值, pH值以及电流密度等条件下, 能以水合氧化物形式电沉积在作为阴极的金属片上。

3. α 谱测试

在1024道能谱上进行。²³⁸U、²³⁴U、²³²U和²³⁰Th、²²⁸Th的峰面积取310ker范围内的总计数, 进行校正后, 按照模式计算出样品的U含量, ²³⁴U/²³⁸U的比值, ²³⁰Th/²³⁴U比值及年龄值。

(三) 测试结果: 列如下表1。

织金洞样品铀系法测定结果表

表1

Tab. 1. The data of U—Series method in zhijin cavern samples

| 样品编号 | 名称 | 铀含量 | 234U/238U | 230Th/234U | 年龄×10 ⁸ 年 |
|------|------|-------------|-----------|------------|----------------------|
| 861 | 银雨树心 | 0.017±0.003 | 2.20±0.03 | 0.34±0.03 | 43.4±3.5 |
| 862 | 石柱心 | 0.016±0.03 | 1.85±0.02 | 0.36±0.03 | 47.2±3.5 |
| 863 | 石柱边 | 0.024±0.005 | 1.96±0.02 | 0.12±0.02 | 14.1±2.2 |
| 864 | 泉华 | 0.04±0.01 | 1.85±0.03 | 0.59±0.04 | 89±2 |
| 865 | 胶结物 | 0.75±0.02 | 1.34±0.04 | 0.21±0.03 | 26±2 |
| 866 | 钙板 | 0.38±0.03 | 1.52±0.04 | 0.56±0.03 | 85±3 |
| 867 | 残骨 | 12.3±0.05 | 1.31±0.03 | 0.44±0.02 | 61±3 |
| 868 | (猪)骨 | 11.9±0.04 | 1.35±0.04 | 0.42±0.03 | 58±4 |

三、讨 论

1. 洞口处古岩溶壁泉华及卷曲石支洞钙板测年分别为89±2(×10⁸)年和85±3(×10⁸)

年，是八件样品中最老的（图5）。反映其依附的洞穴形成较早，由图1可见，凡属该期形

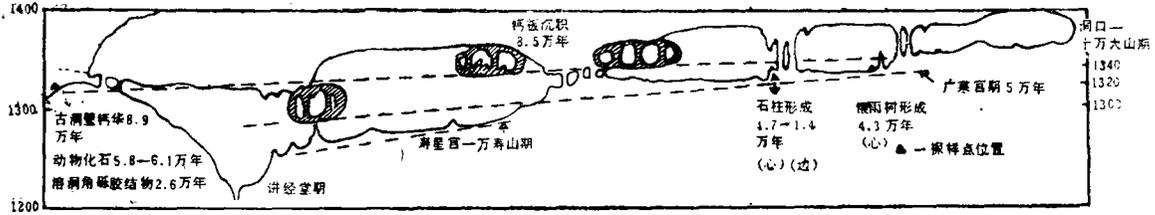


图5 织金洞各采样点轴系年龄测定对比图

Fig. 5. Comparison of U-Series age of each sample point in Zhijin cavern

成的洞穴，在平面上处于洞口外溶洞堆沉层至十万大山的北东向连线上；在剖面上，处于1320—1360米标高的倾斜面上。洞体规模相当，发育平直，为水平洞穴，且有出口，似为古岩溶潜水面附近的产物。显然，该潜水面受控于官寨一八步剥夷面相当的宽谷地表河，因此形成时代与其剥夷面相当。

广寒宫洞厅发育标高低于十万大山洞厅约30米。经对比，塔松支洞亦属本期形成，从平面上看，该支洞为继承十万大山期洞穴发育所致。本期洞穴内，均发育有美丽的树状石筍。该期洞穴发育标高显示从洞口向洞中急倾斜的特征。洞穴水平出口业已消失，于是认为，本期岩溶水通过近洞口断层破碎带呈隐伏排泄的可能性极大。据广寒宫石柱年代的测定，形成于4.7—1.4万年。因此洞穴形成于4.7万年以前，且巨大石柱的形成至少经历了3.3万年。

洞口外古岩溶堆积灰岩质砾石层，含哺乳动物骨化石碎块。据其中的猪齿化石测年为5.8万年。哺乳动物骨化石于砾石层内相对集中分布，形态尖棱散布于胶结物中，可能属于食肉动物生活遗迹，加之砾岩中具有钙质包壳的细小砾石伴生，于是认为，相当于5.8万年前，继十万大山期，水平洞穴的破坏，该处已成为残余洞穴段的洞口附近，并发育有季节性积水洼地，适于动物栖息。待广寒宫钙华发育时，被一套褐黄色洞穴钙华所覆（即图3的第③层）。从地貌剖面上看，广寒宫岩溶发育时代与地表二级基座阶地形成相当。

万寿山洞厅，低于广寒宫洞厅平均约30米，假定洞口外溶洞砾岩层的形成与万寿山厅的岩溶塌落大体同期，则可推测该洞洞厅形成于2.6万年左右。由于洞顶塌陷至今的时间不长，故仅见细长洞石发育，未长巨大石柱。该岩溶发育期，与发现石斧的一级阶地形成相当。至于讲经堂漏斗的形成，显然与绮陌河深切谷地形成相当。由于绮陌河的急剧下切，导致洞中垂直洞穴的发育，估计这是近万年以来的事件。

根据旋雅风等（1980）对中国晚第四纪以来气候变化的研究，关于洞穴各阶梯的形成分别与温暖气候期，即距今九万年、五万年、二万年之前以及一万年以来的四个时期相对应，表明这四次岩溶发育期与古气候的演变是吻合的。

2. 根据织金洞洞穴发育年代资料，可进一步对洞穴的演化进行推论。

早期，洞穴平直，呈水平状，显示严格受地层及岩溶潜水面交线控制的特征。由于玉龙山灰岩段下伏巨厚的煤系地层，作为隔水底板起阻水作用，加之，煤系地层的偏酸性地表水流的大量渗入，无疑对岩溶发育十分有利。因此，洞口一十万大山期岩溶的发育即已具相当规模。

中期，随着新构造运动的抬升，水平状洞穴发育终止，洞中产生排水汇集段，于是在洞

内叠加发育形成坡度较陡的洞穴段。早期洞穴汇集之岩溶水通过较细小的岩溶管道及构造裂隙，向新形成的岩溶水汇集段汇集。同时，洞口段岩溶水倒流，岩溶发育废弃段渐被钙华堵塞，导致早期水平洞穴肢解，产生广寒宫洞段等洞穴。

晚期及近期，是中期岩溶发育的继续，一方面在岩溶水汇水地段强烈开拓新的岩溶空间，同时又导致洞穴顶板的塌陷。因此，在讲经堂及万寿山一带形成巨大的空腔，其相对高差可达百余米。

中期以来，岩溶水通过洞中排水，由于受限于上下非可溶岩层，并受破裂结构面的影响，尤其是洞口附近有近于南北走向的断裂破碎带发育，提供了洞内向洞外隐伏排水的条件。在这种特定的岩溶水运移条件下，于200米左右厚的玉龙山灰岩段内形成了非对称的漏斗状洞穴系统。

概括地说，洞穴形态的演化，可以划分为两个主要时期，即早期的水平洞穴发育期和后期的漏斗状洞穴发育期。不言而喻，该二期岩溶发育阶段的出现，与岩溶地层的结构构造特征及贵州高原新构造运动的间歇性隆升有关，并反映了古岩溶水水文网不断演化的特征。

3. 特殊形态洞石的形成，与特殊漏斗状洞穴的发育有关。

由于漏斗状洞穴的形成，导致织金洞内洞腔增大，相对于外界愈益封闭。于是，洞内空气对流作用不断减弱，据杨汉奎同志湿度测定资料，现今洞中湿度在93—100%之间。八个湿度测点中有四个测点为100%，表明洞内湿度极高，空气对流不畅，这一特定环境，为特殊形态洞石的形成创造了条件，现以卷曲石及树状石笋的发育为例，简述于下。

卷曲石：由长达数厘米，直径小于五毫米的弯转卷析之乳白色方解石结晶体所构成，常在石笋，石帘的空隙部位不定向附着生长。现今在其附近测得的湿度几乎均为100%。在这样湿度环境中，不可能因蒸发作用引起毛细结晶。卷曲石的形成，极可能是近于雾状水滴被吸附而引起的缓慢结晶现象。

树状石笋：即通常所谓附着有枝状或叶轮状的钙华寄生体的石笋。其形状及大小均与大树相似，被称为“塔松”，“银雨树”（叶轮状）是最富观赏价值的洞石景观，被誉为“国宝”。由于其“枝”“叶”均不具石笋发育的层理残余，因此，其形态的形成不可能属巨大石笋经溶蚀所致。极可能是与水滴有关。通过洞顶高空下落的水滴，撞击石笋时，其一部份附着于石笋或沿石笋壁流动易于沉淀碳酸钙加积石柱，另一部份成为溅泼细小水滴重又返回空中，并成伞状降落。这些细小水滴一旦固着于石笋之上，通过结晶成为寄生体并逐渐加大，寄生体愈大，吸附溅泼水滴的表面积愈增大，便愈有利于其生长。大到一定程度，势必阻碍下伏寄生体的发育。与此同时，随着石柱的增长，又被其上部新形成的寄生体部分遮盖，从而影响寄生体获得溅泼水滴的普遍补给，此时，仅可能以上复寄生体外缘及其之间的间隙获得补给，于是，迫使寄生体向侧方定向发育，故易成叶片状或树枝状。这似乎与通常树枝的生长有一定相似之处。

不过，这种成因模式取决于溅泼水滴的形成，并长期呈伞状降落。水滴饱和碳酸钙，溅泼水滴碳酸钙的沉积量大于石柱的加积量。否则，当石柱加积量大于溅泼水滴沉积量时，溅泼水滴之沉积物便被石柱的加积而被复盖“吞食”，并只可能发育为石柱。

由此看来，在树状石笋形成期，洞穴底板上覆地层具有相当厚度以至于在相当长的时期内能稳定供给饱和碳酸钙的滴水；洞穴不仅具有一定规模，且相对封闭，滴水下落有相当大

的落差,不受气流干扰,于是伞状溅泼水滴形成。只有织金洞进入漏斗状洞穴系发育阶段才具备这种条件。

根据银雨树的铀系同位素测定表明,从4.3万年即开始形成。这与近5米直径的巨大石柱的形成(4.7万年),几乎同期。然而,一为巨大石柱,一为纤细石笋,同在一个洞厅,相距不到50米,其产生的差异极可能是长期以来补给水流(水滴)的数量和方式不同所致。

在广寒宫中,长达数万年能保持同一稳定的滴水状态而形成银雨树,在自然界中确属罕见。

综上所述,可见采用地质学、地貌学、水文地质学研究洞穴的同时,铀系法测年也是极为有效的手段,并能为其研究提供更确切、更科学的依据。

本文定稿前,曾得到成都地质学院刘兴诗教授,任天培教授,贵州地矿局高级工程师李嗣瀚等同志的帮助,提出了不少修改意见,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 夏先明,何福庆:1985,碳酸盐标准样的铀系年龄测定,《矿物岩石》第一期
 [2] 任美镔:1983,《岩溶学概论》,商务印书馆
 [3] 沈照理:1983,《水文地球化学基础》,武汉地质学院

A Discussion on the Origin of Zhijin Cavern and the U Isotope Age Measurement

Fu Zhichong

(No. 1 Geological Team of Hydro-engineering, Guizhou Bureau of Geology and Minerals)

Jia Shuyan, Xia Xianming
 (Chengdu College of Geology)

Peng Xiufeng
 (Sichuan University)

Abstract

The authors of this article have been to Zhijin Cavern for several times to make investigations and have collected eight geological samples. The U isotopic geological age measurement of the samples were separately made. Based on the measurement results and according to the geological and hydrogeological conditions in that region, the authors deal with the origin mechanism and models of some important rocks of Zhijin Cavern in this article.

The development of the form of Zhijin Cavern can be divided into two main stages: the early stage of the horizontal cavern development and the late stage of the funnel-like cavern development. The appearance of the latter karst development stage is in relation to the structural formation of carbonate rock strata and the new structural movement of the intervallic rise of Yunnan-Guizhou Plateau, showing continuing development characters of palaeokarst water nets. But the formation of those special stones of the cavern are in relation to the development of the special funnel-like cavern.