

边石坝结构及其水动力条件研究*

程 星^① 熊康宁^① 陈 进^②

(^①贵州师范大学资源环境科学系, 550001; ^②贵州省地质工程勘察院, 550008)

摘 要 以洞穴调查的实际资料为依据,对洞穴沉积物中的边石坝结构类型进行了研究。根据形成边石坝的不同水动力条件、不同的几何特征,将边石坝分为3种类型,即水道型、扇型及圆型。从水道型到扇型再到圆型,水动力条件由强到弱。根据边石坝的剖面形态及坝体的倾斜角、内部的层理构造,将边石坝从剖面上分为直坝、陡坝($60^\circ < \alpha < 90^\circ$)、斜坝($\alpha < 60^\circ$)。从直坝到陡坝再到斜坝,水动力条件从弱到强。另外,文中还提出了边石坝的特殊类型——双坝、池中坝,并指出了它们的特殊水文地质含义。

关键词 水动力条件 边石坝类型 内部层理 双坝

1 边石坝生长的水动力过程及边石坝的内部层理

1.1 边石坝生长的水动力过程

如图1所示,在池水漫过坝顶时,池内水的运动较慢,薄水比(水空界面面积与水深之比)小^[1],而坝顶A处发生突变,薄水比突然变大很多,因而在这里CO₂产生快速逃逸,碳酸钙快速析出,使得该处成为一快速生长点。B、C点也具水流动及薄水特征^[2],从而也可成为碳酸钙优先沉积的地方,且在水池水不满时,A、B、C点都处于停止沉积状态,但这不能说A、B、C三点的水动力特征都一样。A处水的作用时间最长,除了在溢流的情况下可以生长外,在水断流但水池仍处于满水状态时,A处仍然有很薄的水存在,可以有蒸发作用及薄水沉积发生。另外,A处因为处于最上游,所以其物质来源也是最优先的。而B、C点虽然有流速上的微小优势,但在极限断流时,B、C点已没有了补给水,沉积也就停止了。对于D、E两处,水的作用时间和物质来源可谓是最优的,但其水深较大,所具有的薄水比很小,CO₂的溢出比起前三者困难得很多,且由于水的运动也非常缓慢,所以碳酸钙的沉积条件也是最差的,因此边石坝在D、E处几乎没有生长的层理,只是发育有石花而已。由此可见,在边石坝水源变化的过程中,A点是碳酸钙的最优先生长点,其次是B、C点,最差是D、E点。这些沉积特征决定了边石坝层理发育在

* 贵州省科学技术委员会资助项目(编号:(1993)3044)

第一作者简介:程星,1959年生,副教授,综合自然地理学硕士,长期从事岩溶学专业研究,发表岩溶学论文20余篇,曾有论文获省级二等奖。通讯地址:贵阳市外环东路270号。

收稿日期:1999-04-23

A点最厚, B、C点次之, D、E点沿线没有生长的层理, 只有重结晶形成的很薄的晶花。

1.2 边石坝内部层理及其形成的水动力条件

边石坝内部的层理可分平顶直纹层、平顶斜纹层及斜纹层。每一种层理记录了边石坝相应的形成过程, 也反映了不同的水动力条件。

1.2.1 滴水形成的低能边石坝层理

如果水池经常处于满水状态, 但溢流的时间短, 就会造成A处为最优先生长的地方, 同时导致A处的层理最厚, 而B、C处侧由于没有补给水而只有很薄或没有碳酸钙沉积, D、E点为水下石花。这样使得坝体的增高几乎只在A点进行, 坝体的生长沿垂直方向进行, 生成垂直坝, 层理表现为平顶直纹层。这正好符合滴水补给的边石坝形成的补给条件。如图2

(5)反映了较低能的水动力条件和间歇性的作用或经常断流, 补给水只来源于第一个水池, 很难形成二级边石坝, 即便可以形成, 但二级边石坝的规模也很小。

1.2.2 裂隙水高能边石坝层理

当边石坝的补给水水动力条件相对较强, 且水流为常流性水时, A、B、C、D的生长机会基本相同, 这样便可形成斜纹层边石坝。图3为斜纹层坝代表。其纹层为近于平行的斜层理, 反映了边石坝的流水生长占主导的特征。在这种水动力条件下, 当物质来源充足时, 不仅可以使边石坝大规模发育, 且二、三、四级坝都可以很好地生长, 只是规模上逐步减小而已。

1.2.3 中等水能边石坝层理

如果水动能条件不是很强而是滴流水, 在A处边石坝形成的碳酸钙物质供给及薄水沉积具有优先态势, 形成了A处厚度大, B、C处次之的典型顶厚斜层理, 从而使它具有陡坝的特征, 如图2(1)、(2)所示。这里, 我们可将之称为过渡类型。

1.2.4 特殊的边石坝层理

A处生长优先, B、C次之, D、E处没有层理发育, 这是低能坝的特点。当水池长期处于半池水或是在早期生成的边石坝上有漏水现象时, 在D、E处可以因为薄水沉积或蒸发沉积、飞溅水沉积等而沉积特殊的层理(图2(7)), 形成池中坝、双坝(副坝)。另外, 水中泥砂在水池内堆积常沉积在E处, 而影响边石坝的生长速度及剖面层理的形态。

2 边石坝形成的初始成因和年龄问题讨论

2.1 边石坝形成的初始成因问题

对于边石坝的初始形态形成成因问题, 是一较难解释的问题。Brian Finlayson在1993年提出, 在边石坝的形成中粗糙及不规则地面不是边石坝的最初形成原因^[5], 斜坡也不是先决条件, 它只能影响边石坝的结构, 而最有可能的成因是薄水的影响。Bogli, A. 1980年^[6]、Ford, T^[7]1989年也提出过在水平和直立的地面或墙面上不能生成边石坝。但他们认为在水流流态改变为紊流时将产生碳酸钙沉积。

边石坝初始形态的成因是一个复杂的问题。这里从几处的边石坝的几何特征上去分析和

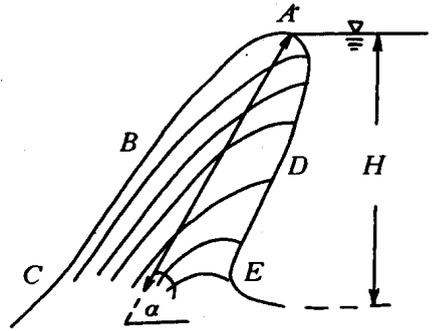


图1 边石坝剖面结构示意图

Fig.1 Sketch map showing the section structures of rimstone dams

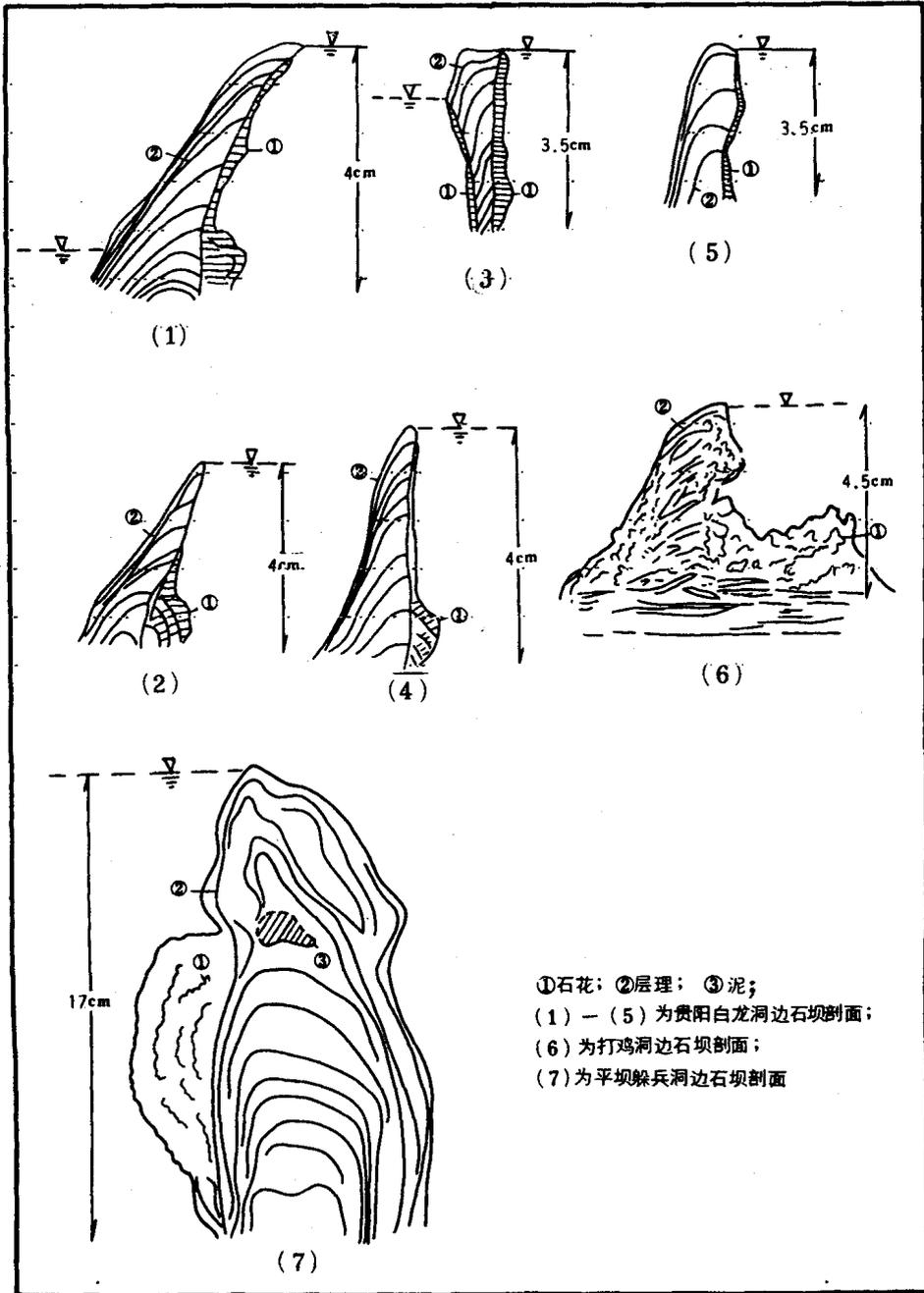


图 2 贵州洞穴边石坝剖面图

Fig. 2 Profiles of some rimstone dams in caves, Guizhou, China

探讨。可以设想,边石坝的补给水按照下面的方式变化:最初,涉及洞穴演化的水在某一坡地间歇性地排出,排出的水体自然散开,水体变薄(薄水比增大,伴随有碳酸钙晶粒的析出);水的散开导致动能减少,这时泥砂和析出的碳酸钙晶体混合物将机械地沉积在地面,在水退去后,因受水波影响它们呈一定的弧形排列,这很类似于留在海岸上的沙波,只是起伏很小。水退去后

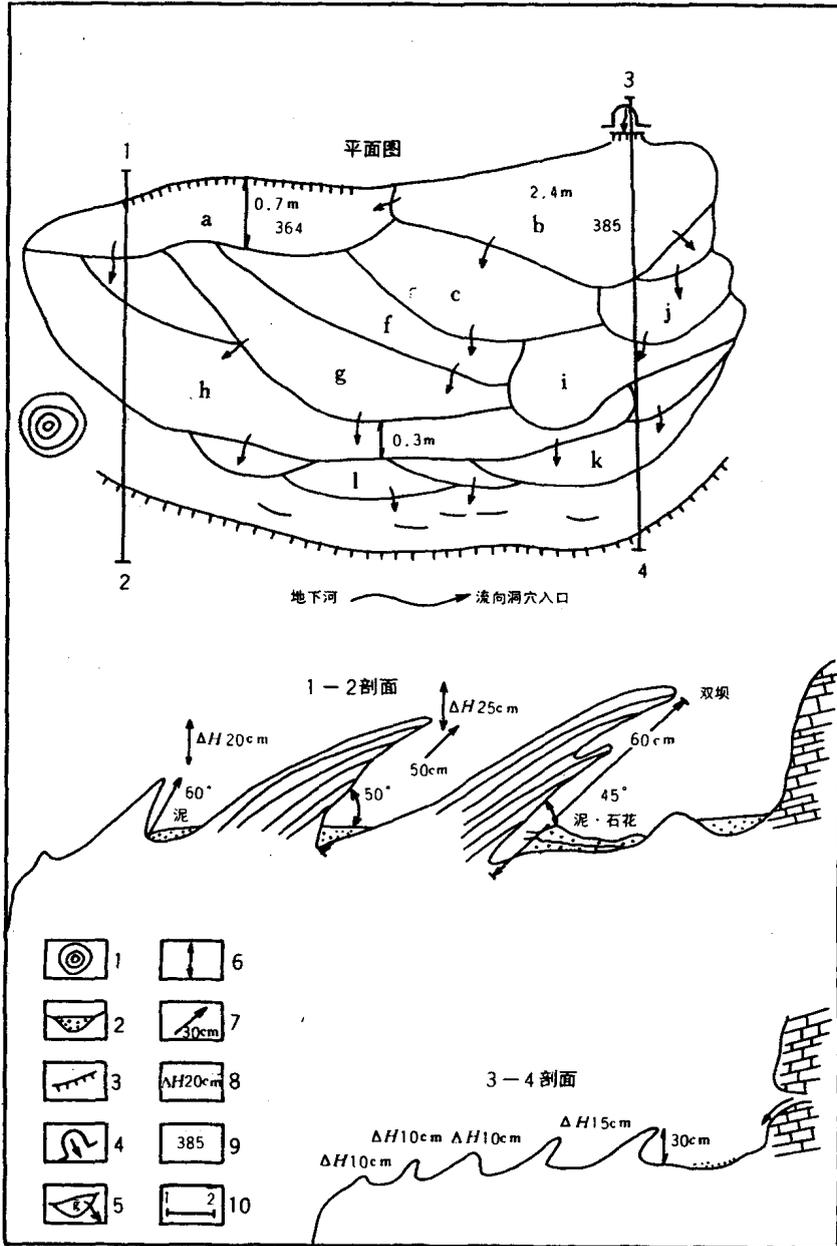


图3 平坝躲兵洞内发育的边石坝

Fig. 3 Rimstone dams in Duobing Cave, Pingba, Guizhou

- 1. 钟乳石; 2. 粘土; 3. 陡崖; 4. 边石群的补给源; 5. 边池塘编号与水流向; 6. 坝垂向高度;
- 7. 坝的斜向高度; 8. 与前一级坝的垂向高差; 9. 电导度; 10. 剖面线

这些具起伏变化的沉积物被胶结起来,便成为最原始的雏坝。通过采样分析,我们发现在许多边石坝的底部都有这种泥砂混合物。在最靠近水源点往往最优先形成相对较大的沉积物沉积起伏,或最先生成雏坝。随着洞穴的演化,这种水源可能成为经常性水源。在流水期间由于这种微起伏的沉积体或锥形坝的存在,使水流态及薄水比改变,就开始形成了A、B、C、D、E的

生长差异。随着雏坝生长,由慢到快地形成了边石坝水池,这种由慢到快的加速生长过程,可以从图2的边石坝剖面层理厚度的增大得到证实。与此同时,又一次断流时,水能量再次减小,泥砂及碳酸钙结晶又在第一个坝的前面沉积下来,同样的过程以后,形成第二个坝。但是由于第一级坝的存在大大地降低了流水的单宽流量,因此,第二级坝到第一级坝的距离将比第一级到水源点的距离小。同理第三级到第二级坝又比第二级坝到第一级坝的距离小。如果地面宽阔,这种变化将很明显,如果在某个水道上,这种变化将较小,但对于圆型这种特殊的流面(水源向四周辐射排水),这种变化将更加明显(图4、图5)。这一分析与实际发育边石坝是相符的。织金洞边石坝前段为水道型(图5),后段呈小弧度的扇形,所以坝间距与坝高变小是缓慢的。对于圆型坝第一级坝的坝高可以比第二级坝大数十倍。这样,边石坝的坝间距应与扇型的加宽成反比。

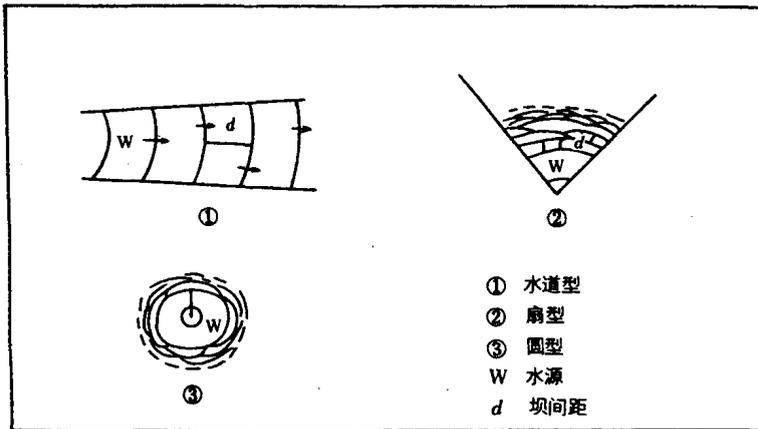


图4 边石坝平面类型图

Fig. 4 The plane types of rimstone dams

2.2 边石坝形成的年龄问题

若能进行测年工作,对一单个坝体而言应该是底部最老,上部最年轻。对多级的边石坝而言,从前面的分析可知第一级坝的底部年龄最老,而最后一级坝是最后生成的,应为最年轻的坝,它们可以代表水文变迁的时间。至于边石坝的流量与坝体的关系,一般来说大的流量可以提供较多的沉积量,因而生成较大的边石坝,而较小的流量只能提供较少的物质来源,只能形成小规模边石坝。但特殊的情况下,泥砂的加入可使坝体加速生长。另外,在蒸发等于补给这种特殊的情况下,长期的水满状态可使边石坝静水生长,也可形成较高的低能坝。这种坝不仅与水动力条件有关,还与水中溶解的碳酸钙含量有关。

3 边石坝的水动力分类

边石坝的形成与其它洞穴沉积物一样与水动力条件密切相关。通过调查发现,边石坝的补给水源包括滴水、滴流、溪流、裂隙水等。不同的水源决定了边石坝的补给性质,也决定了边石坝的发育与分布特征。这些水源都有一个共同的特点,即较大的水动态变化特征,它是岩溶水的特有产物。

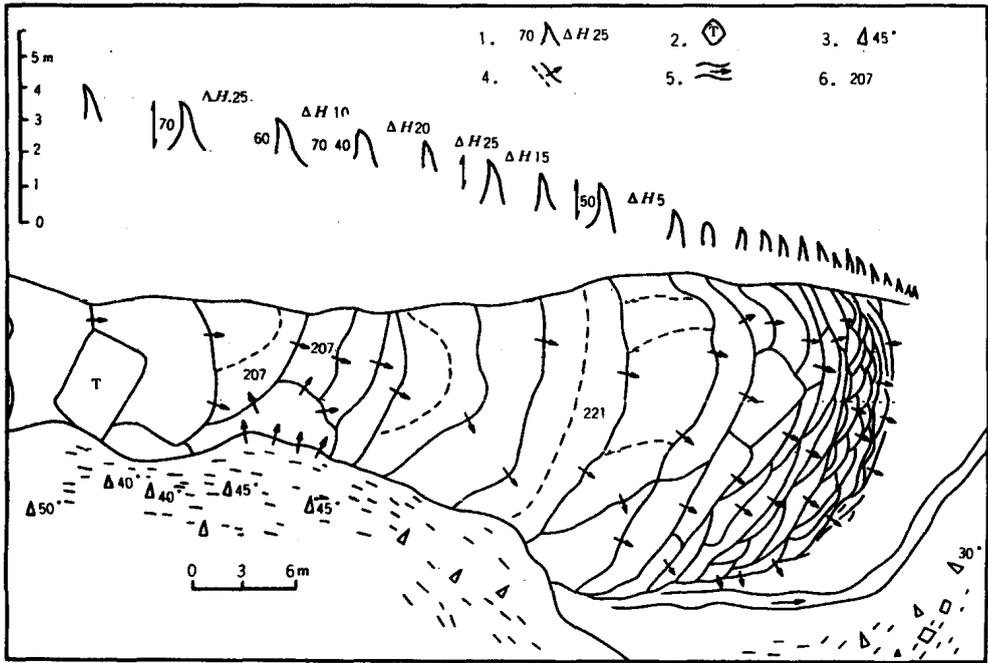


图5 织金打鸡洞边石群发育平面示意图

Fig. 5 Sketch map of the rimstone dams in the "Banguet Hall" of Zhijin Cave

1. 边石坝剖面(左:坝高,cm;右:坝高差);2. 崩石;3. 斜坡倾向及倾角;4. 箭头为水流向,实线为坝分布线,虚线为池中坝;5. 排水沟;6. 电导度

3.1 边石坝的平面分类

平面上边石坝的形态多为圆型、扇型、水道型。如果用控制扇型分布的 ω 角来划分,则有圆型坝, $\omega=360^\circ$;扇型坝, $\omega=0^\circ\sim 180^\circ$ 之间;水道型边石坝, ω 近似为零(见图4)。这些类型所对应的补给水类型见表1。

表1 不同类型边石坝的发育特征

Tab. 1 plane types of various rimstone dams

类型	ω (度)	补给水类型	实例
圆型	360°	滴水、滴流	水城大硝洞
扇型	$0^\circ\sim 180^\circ$	裂隙水、片流水	平坝躲兵洞
水道型	0°	溪流或裂隙水	织金洞
复合型	—	两种以上水流	织金洞

从平面上边石坝的发育有着明显的规律性。首先是,对于每一种类型,边石坝的水池面积越靠近水源面积越大(见图3、图5),特别是对于低能量的水源(如滴水),这种变化更明显,甚至表现为一种突变。这是由坝的间距所决定的。当然坝间距的变化规律也是明显的。研究中还发现,边石群内某一发育得特殊大的边石塘,往往是因为新的补给源插入所致。

3.2 边石坝的剖面分类

边石坝的剖面主要用坝高 H ,坝倾角(α)来反映。对于不同的水源及水动力条件,边石坝

在剖面上可发育成各种形态。这里根据边石坝的 α 角大小及层理发育情况,将边石坝划分为以下几种类型:

1)斜坝 又可称为斜纹坝,坝体向水池倾斜, α 角 $<60^\circ$ (图3中第一级坝)。斜坝一般具有平行斜层理,或近平行的斜层理,往往可以发育成较大的规模,以裂隙水为补给水源,具有高能特征。

2)陡坝 坝内部具有平层理,坝体剖面所表现出的层理与斜坝相似,但具有较平的顶及坝体背部呈向顶的放射状。这是在较小的水动力条件下形成的。当坝倾角在 $60^\circ\sim 90^\circ$ 之间时,补给水源多为滴流或裂隙水(图2(1)、(2))。

3)直坝 可以具有很平的顶部层理,少有斜层理, $\alpha=90^\circ$,是一种低能边石坝,多为滴水补给,发育在坡度小的地面上(见图2(3)、(4)、(5))。

以上3种类型,从斜坝 \rightarrow 陡坝 \rightarrow 直坝,水动力条件相应由强 \rightarrow 弱,这可以从图3的边石群的发育中表现出来。从第一级坝到第四坝,坝体的 α 角从近 45° 变化到 90° ,反映了越往后,由于水流的单宽流量变小,水动力条件变弱,因此 α 角也随之变大。到最后一级边石坝,坝体变得很小,且近垂直。这样,对于同一个边石群来说,前面的坝是高能的,但后面的坝可以变为低能坝,这充分反映了边石坝的发育同边石坝水源的水动力条件间的内在联系。

4)双坝与副坝 在洞穴实地调查中,发现了边石坝的特殊类型,即双坝。在平坝躲兵洞内发育的边石坝(图3剖面图)中第一级坝具有这种特征。对于这种坝的成因,作者认为与漏水有关。这里主要想讨论一下主坝先生成还是副坝先生成的问题。这是年龄问题。从形态上分析,主坝先生成的可能性大,因为主坝在上、次坝在下。我们认为有两种可能导致的这种现象,一是由于主坝的漏水,在漏水处形成新的边石坝,由于水源未变,所以两个边石坝具有同样的层理。另一种可能是有一次较大的水文间断,但这应具有区域性的特征。在打鸡洞中曾发现了两处发育有这种双坝,水文间断使水位长期保持在某一水位附近,从而形成了另一坝。我们建议将这种坝叫副坝为好,因为次坝比主坝小得多。由此可以看出边石坝的静水生长现象。

5)池中坝 另一种现象是池中坝的现象,即在边石塘中发育了规模较小的次级坝,这在发育规模较大的边石塘中可以见到。次级坝的水流方向不定,可以与一级坝相同,也可以垂直,或相反。通过对贵州织金洞内池中坝的分析,发现池中坝的现象是由于补给水的改变而引起的。随着洞内水文变迁,主要的补给源可能被袭夺,而使原来的次要补给源变为主要补给源,沿着袭夺的漏水方向流动而形成了次级坝。所以,主要的补给源形成了主坝群,新的水流方向上形成了池中坝。因此,池中坝具有指示洞穴水文变迁的意义。打鸡洞的边石坝群内的“池中坝”就是很好的一例。

参 考 文 献

- 1 张英骏,程星,祝安.石灰华沉积机制的实验研究.中国岩溶,1994,Vol. 13, No. 3:197~206
- 2 程星.薄水效应初论.中国岩溶,1994,Vol. 13, No. 3:207~213
- 3 程星.滴石形成组合特征与滴率条件.中国岩溶,1990,Vo. 19, No. 2:119~129
- 4 朱学稳,周绪论.岷山岩溶区的石灰华.中国岩溶,1990,Vol. 9, No. 3
- 5 Brian Finlayson and Li shu. Some Observation on the Genesis of Rimstone Goursand Dams. In: International Union of Speleology. Proceeding of the Forth International Congress of Speleology, 1993, August:70~72

- 6 Bogli, A. karst Hydrology and Physical Speleology Springer—verlag, NY, 1980, 186~187
7 Ford, T D. Tufa—the Whole Dam Story. Cave Science, 1989, 16: 39~49

A RESEARCH ON THE STRUCTURE OF RIMSTONE DAMS AND THE HYDRAULIC CONDITIONS

Cheng Xing^① Xiong Kangning^① Chen Jin^②

(^①Department of Resource and Environment Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001;

^②Guizhou Geologic Engineering Reconnaissance Institute, Guiyang 550008)

Abstract

Based on the data investigated in caves, the structure types and the features of rimstone dams in karst caves are discussed in this paper. On the basis of the different hydrodynamic conditions and different features, rimstone dams are classified into three types, that is, water-way model, fan-shaped model, and round model. Each type reflects its hydrodynamic conditions, namely, stream-type flow, fissure water flow or drop water flow etc. . Based on profile shapes, dip angles, inner lamination structures, the dams can be classified into dip dam, steep dam, verticle dam, which reflects the changes from strong hydrodynamic conditions to weak hydrodynamic conditions. In addition, some special types of double-dams, dam-in-pool, and their special hydrogeological significances, are also discussed.

Key words Hydrodynamic conditions Classification of rimstone dams Inner lamination Double-dam and dam-in pool