

重庆奉节小寨“天坑”形成条件分析*

柳毅,谭龙健,

(中国矿业大学资源与地球科学学院,江苏徐州 221116)

摘要:本文以重庆奉节小寨“天坑”为例,从岩性、构造、水文、地层、气候、降水等多个方面对“天坑”的形成过程进行了系统的分析,得出了“天坑”这种巨型的岩溶景观在形成时所需具备的地质条件和外界因素,从而加深了人类对“天坑”以及岩溶现象的理解和认知。

关键词:岩溶;“天坑”;碳酸盐岩;地下河系统;裂隙系统

中图分类号:P931.5

文献标识码:A

岩溶景观是大自然赋予人类的财富,而“天坑”作为岩溶的一种奇特的自然现象,更是具有其独特的魅力。虽然“天坑”已存在了几十万年甚至数百万年之久,但直到 20 世纪 80 年代后期,人类才逐渐掀开其神秘的面纱。重庆奉节小寨“天坑”是目前世界上形态最典型、规模最大的“天坑”。作为一种珍贵的岩溶地质遗迹和景观旅游资源,“天坑”具有较高的美学观赏价值和科学研究价值,其稀缺性、典型性、系统性和不可再生性的自然遗产属性,是进入世界自然遗产的必须条件。

1 地理位置

奉节县位于重庆市的东北部,距重庆市约 500 km,长江由西向东从该县中部穿过。小寨“天坑”位于奉节县南部,其地理范围: $N30^{\circ}32'30'' \sim 30^{\circ}47'30''$, $E109^{\circ}18'45'' \sim 109^{\circ}39'30''$,大致为一个沿 NE 走向展布的长方形,北(西北)以九盘河为界,南(西南)至龙桥,东(东北)至永安乡铜锣坝,西至桂花乡桃源洞,总面积 456 km²。小寨“天坑”位于兴隆镇北部荆竹乡小寨村,其地理标为: $N30^{\circ}45'00''$, $E109^{\circ}28'10''$ 。北距奉节县城 70 km,南离兴隆镇 10 km,奉节至兴隆公路从其东侧约 1 km 处通过。

2 地层岩性

小寨“天坑”地区出露的地层主要有下三叠统嘉陵江组和大冶组,总厚度约 1 500 m。本区东南部还有少量泥盆-石炭系、二叠系出露。地层特征见表 1。

小寨“天坑”一带主要出露嘉陵江组(T_{1j})灰岩,其中部以下、九盘河深切峡谷的局部地段

* 收稿日期:2008-12-11

第一作者简介:柳毅(1986~),男,重庆人,中国矿业大学本科生,地质工程专业。

表1 天坑地质岩性特征表

Table 1 Lithological characteristics of strata in “Tiankeng (collapsed cave)”

系	统	组	段	厚度(m)	岩 性 描 述	说 明
三 下 叠 系	T _{ij}		T _{ij4}	173	灰-浅灰色厚层灰岩、白云质灰岩、薄层泥质白云岩为	为浅海—泻湖相碳酸盐岩沉积,厚度533~1041 m,主要为泥质灰岩,白云质灰岩
			T _{ij3}	106	灰色夹肉红色厚层含泥质灰岩,局部具条带及蠕虫构造	
			T _{ij2}	180	浅灰—灰色厚层灰岩、含泥质白云岩,夹白云质灰岩,局部有不规则的次生角砾	
			T _{ij1}	299	下部为薄层状灰岩,中部为中厚层泥质白云岩灰岩,泥质白云岩,夹页岩,上部为厚层灰岩夹泥质岩含泥质白云岩	
			T _{id4}	120~275	灰色中薄层灰岩、泥质灰岩、中上部为中薄层泥质灰质与薄板状泥质灰岩、白云质页岩呈互层状产出,以较均匀的薄层构造为特征,顶部为紫红色泥岩	1. 滨海——浅海相碳酸盐岩沉积,厚341~771 m,主要为中薄层泥质灰岩、页岩 2. 以一套紫红色泥岩作为与嘉陵江组的分层标志
	T _{id}		T _{id3}	126~300	灰色薄层夹中厚层致密灰岩、局部夹鲕状灰岩及少量页岩	
			T _{id2}	283	浅灰色薄层泥质灰岩、灰岩夹页岩	
			T _{id1}	88	灰——黄灰色含钙质页岩,夹中薄层泥质灰岩	
	P ₂	—	—	166~340	页岩、灰岩、黄铁矿、煤	滨海——浅海相碎屑岩,上下底部赋存煤和黄铁矿
	P ₁	—	—	199~562	页岩、灰岩、粉砂岩、煤	
泥盆石炭系 (D ₃ +D ₂)				—	150~160 灰岩、粉砂岩、白云岩、石英砂岩	—

可见到大冶组(T_{id})露头。小寨天坑则主要发育在嘉陵江组第一段(T_{ij1})和大冶组第四段(T_{id4})。

3 区域地质构造分析

小寨“天坑”大地构造属于扬子地台,次级构造单元为四川台向斜。扬子地台是我国南部地区相对稳定的大地构造单元,经晋宁运动后,前震旦纪地台褶皱基底最终固结完成。自震旦纪开始至中三叠世处于相对稳定的地台发展阶段,其中:早古生代(寒武—志留系)为一个完整的沉积旋回,沉积相为浅海相泥岩及碳酸岩组合;志留纪末期的广西运动使扬子地台整体抬升,形成泥盆系与志留系之间的平行不整合,泥盆石炭系以陆相—海相碎屑岩和浅海碳酸盐沉积为主;二叠系则出现海陆交互相的碎屑岩、灰岩、硅质灰岩及含煤岩系;二叠纪晚期—中三叠世又是一个海侵过程,沉积浅海相含泥质碳酸盐岩,为本区出露的主要岩系。

晚三叠世开始,进入一个新的构造演变时期,地台沉积盖层普遍变形,基本奠定了本区的构造格局。从构造单元划分,处于川鄂湘黔边缘褶皱带与川东褶皱带的交汇部位,构造形式以褶皱为主,断裂较少见,发育有一系列北东走向的背斜和向斜。

4 形成条件

4.1 连续沉积厚度巨大的碳酸盐岩岩层

碳酸盐岩厚度是溶蚀作用的内在条件,溶蚀漏斗和溶蚀竖井的深度都决定于可溶岩层的厚度。小寨“天坑”的地层主要为下三叠统的嘉陵江组,其沉积厚度大、质地纯,且分布广。嘉陵江组灰岩厚度在533~1 041 m之间,若加上嘉陵江组下部的大冶组含泥质灰岩,总厚度达874~1 821 m,从而为小寨“天坑”这一超级“天坑”的形成创造了基础条件。如果碳酸盐岩层的连续沉积厚度不是足够大,或其间夹有重要的不透水层时,将会限制天坑向深部发育,影响它的形成规模。薄层灰岩顶板的崩塌块石常常是层层相叠,洞腔上方顶部形成一个应力拱。如果岩层厚度小于洞腔宽度需要的临界厚度,岩层会破裂和崩塌。如果上覆的石灰岩的厚度足够,岩层的崩塌是一直向内、向上在每个相续的岩层阶梯状进行,而紧贴其下的岩石却没有崩塌。这意味着,崩塌只有到达应力拱时才会停止向上发展,其结果是形成穹顶的洞穴厅堂。

4.2 平缓的岩层产状和良好的透水性

小寨“天坑”发育在官渡向斜的南东翼,岩层产状近水平状态,总体上倾角小于 15° 。这种处于水平至平缓产状的碳酸盐岩层,在地质构造应力下产生的垂直层理并切割很深的“X”型节理,有利于地表和地下岩溶作用的沟通,有利于地下河向深部发育,又易于岩层的脱顶塌落及断裂绝崖和天坑椭圆至多边形平面图形的形成。产状平缓的岩层有利于大面积的岩石沉积与分布,对集中岩溶作用的能量和形成独立的岩溶水文系统都是有利的。

岩层的透水性是岩溶作用的重要条件之一。碳酸盐岩的透水性,除沉积层理外,主要决定于构造作用对其造成的破坏程度。厚层灰岩区与薄层灰岩区形成的大型洞穴通道中的应力是不同的,厚层灰岩区洞道倾向于更加稳定,可支撑更大的洞穴大厅。因此,洞道崩塌的发生,更可能是由于大型纵向裂隙的存在而不是层间剥裂引起的。

4.3 岩酸盐岩层中有厚度相当大的包气带

小寨“天坑”地区蜂丛标高1 300~1 500 m,地下水流域排泄基准面高程不足300 m,地表切割深度达1 000 m以上,包气带厚度达600 m以上,这为大型“天坑”的发育创造了良好条件。其地下水位深埋、岩溶含水层包气带的厚度接近或大于天坑的最大深度。地壳抬升、地表河谷深切、含水层地下水位与其排水基面之间落差大,是形成这一水文地质特征的基本动力与原因。第四纪以来,云贵高原大幅度抬升,地表河流的强烈溯源侵蚀与深切,导致碳酸盐岩层中地下水位不断下降,形成厚度很大的包气带。

4.4 高强度水动力作用的地下河

小寨“天坑”容积达 1.19 亿 m^3 ,要造就这一巨大的空间,必须有一条具“高速公路”式运载力的地下河将原有的物质不断搬动输出。因此必须有一个强有力的物质与能量输入与输出动力系统与之相伴,这个动力系统便是在碳酸盐岩层内部集中运动的地下河系统。

小寨“天坑”多年平均流量 $8.77 \text{ m}^3/\text{s}$,最大流量 $174 \text{ m}^3/\text{s}$ 。地下河洞穴规模宏大,河长8 500 m,水位落差364 m,平均水力坡度 42.8‰ 。强劲的水动力作用为天坑崩塌物质的搬运,并向纵深发展提供了极为有利的条件。另外,天坑的底部目前与其最低排水基面仍有300 m落差,还具有强劲的水动力条件,天坑继续向纵深发育的趋势十分明显。

湿润多雨的气候条件所提供的丰沛降水量和较强烈的地表水和地下循环,是岩溶作用中物质、能量交换与循环的基本动力,天坑底部有现代地下河通过,为小寨天坑的形成创造了条件。

4.5 四通八达的裂隙系统

只有当岩石具有相当规模的裂隙系统时,水动力条件才能对其进行改造。小寨“天坑”四周绝壁及天坑周围,NNW(350°~360°)、NE(50°~60°)和NW(320°~330°)三组裂隙占主导地位,还有少量的NE 20°~40°裂隙。天坑上游地下河段横剖面呈尖三角形,底部宽约30 m,高约150 m,从天坑底逆流而上约1 000 m,洞体主要沿NNW 350°裂隙发育,基本上没有拐弯。天坑下游地下河段首先沿NW 325°裂隙朝南东延伸约100 m,跟着沿NE55°前进约150 m,再后再次拐往NNW方向。极其发育的裂隙系统,为天坑的形成提供了一个平台,让地下河对其进行改造有足够的空间。

4.6 横向机械搬运

纵向的物质运移,无论溶蚀还是顶蚀,都不足以形成封闭洼地地形。横向崩塌物质的搬运才是洼地形成的重要条件,搬运的物质最终在地表河流中沉积。就溶蚀搬运来说,其过程是机械顶蚀的块石掉进暗河中,最终被溶蚀,然后通过排向泉水的管道流水搬运至地表。不过,如果有足够的横向水动力,不可溶的物质也能够被水平机械搬运,尤其洪水就具有这种重要能力。

假定初始空洞体积为 v_c ,顶蚀作用产生的块石会填满下部空洞,顶蚀产生的空洞会不断向上发展。由于大量的块石堆积体大于初始的完整基岩,因此当顶蚀继续向上发展的时候,如果底部的块石堆积不被运移,空洞空间就会变得越来越小。竖井的体积 v_i 可表示为:

$$V_i = \frac{1-\theta}{\theta} V_c$$

式中: θ ——块石堆积的空隙度

据原始空洞体积和地表下的原始空洞的深度,那么通过顶蚀作用可能形成一个到达地表的竖井,或者可能初始竖井在到达的地表之前完全被阻塞和填满,顶蚀作用停止。这个过程同碎屑岩矿山陷落形成的人工落水洞是完全相同的。如果有持续有效的横向崩塌物质搬运,顶蚀竖井向上可达多远则没有限制根。

5 结束语

小寨“天坑”能够成为大型的塌陷型天坑,除具有大面积的碳酸盐岩的出露,平缓的地层产状和丰富的雨水补给,还有其特别之处,配合当地的地质、地形、水文条件,现加上丰富的地下河网系统,极为发育的裂隙系统,经过长时间的地质营力的改造,才有了今天这样雄伟的景观。

参考文献

- [1] 朱学稳,张远海. 四川南部大型喀斯特漏斗和地缝式峡谷[J]. 中国岩溶,1995,14(增刊):1-11.
- [2] 黄保健,蔡五田,薛跃规,等. 广西大石围天坑群旅游资源研究[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(1):109-112.
- [3] 杨明德,谭明,梁虹. 喀斯特流域水文地貌系统[M]. 北京:地质出版社,1998:89-108.

[4] 曹伯勋. 地貌学与第四纪地质学[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1995.

Analysis on formation conditions of Xiaozhai “Tiankeng” in Fengjie, Chongqing City

LIU Yi, TAN Long-jian

*(School of Resource and Earth Science, China University of Mining and
Technology, Xuzhou, 221116, China)*

Abstract

In this paper, the formation procedure of “Tiankeng (collapsed cave)” has been analyzed systematically from lithology, structure, hydrology, strata, climate, precipitation and other aspects, taking Fengjie Xiaozhai “Tiankeng” for example. The essential geological conditions and external factors in the formation procedure for the giant karst landscape have been concluded, which are helpful for people to understand the “Tiankeng” as well as the karst phenomenon.

Key words: karst; “Tiankeng (collapsed cave)”; carbonate; underground river system; crack system