

文章编号:1001-4810(2001)02-0131-06

洞穴石笋沉积速率研究中值得注意的几个问题

林玉石, 张美良, 章嘉铭

(中国地质科学院岩溶地质研究所、岩溶动力学开放研究实验室, 桂林 541004)

摘要:众多大型石笋纵剖面观测、测年和纹层沉积计率(沉积速率计算)表明,速率差异是石笋沉积特征的重要数据,也是古气候环境变化的重要反映,但以往诸多资料不好引用、无从对比。通过筛选石笋的全(正)心纵剖面,沿纹层轴(中)部采样,测年值和计率可信度大,具时空对比意义。为提高精度和分辨率,提倡按石笋沉积特征段,特别是纹层组测年计率。

关键词:洞穴石笋;纹层;沉积(生长)速率

中图分类号:P642.254 **文献标识码:**A

石笋是岩溶记录中最全面、最系统的古气候环境信息库。观测表明,洞穴内、外环境变化,都不同程度地显示在石笋的组成、结构构造、沉积(生长)纹层及其层面构造、沉积速率等方面。人们常以石笋规模、数量、年代差异和沉积(生长)速率描述其发育特征,以重建成洞历史^[1,2]或古气候环境^[3~5]。以往对石笋的计率(沉积速率计算)不够规范、观测数据不准或有误,或以不同方法和同一方法不同时期仪器设备,以及环境条件不同的实验室的测年值结果混(掺)合计率,使计率精度有局限或不宜对比,严重影响其利用效果。因此,本文提出计率中的某些问题,供研究探索。

1 计率样品的采集

石笋生长(沉积)速率是沿笋心方解石(碳酸盐)生长(沉积)的长(厚)度与生长(沉积)时段的比,比值大小及其变化,表示石笋沉积快慢变化特征。计算沉积率的关键是精确测年和准确采样。样品是高分辨的物质基础,在高精度测年方法的前提下,样量少、样位准,测年精度高,可比性好。以往测年精度和分率不高,虽受方法和仪器设备、实验室环境条件限制,但随

机采样是根本原因,特别是在石笋的横断面或任意部位采样,即便采在横断面的中部(心)、内部、边部、或笋顶、中、底或纵剖面的相关部位等,都是不确切的,可惜此法有时仍有沿用^[3]。虽然近来多数研究者已采石笋纵剖面样,但仍偏离石笋纹层轴部(笋心)或无精确记录或样量偏大,受仪器、方法限制,所获测年值均具不确定性或不准确而不宜计率;有些年值时(段)过长或年序倒置或差值异常又无石笋沉积特征记录,降低了其对比、利用价值。经石笋沉积观测、研究实践表明:任何随机采样和样品过大、样位不对或不准、无纹层沉积和结构构造特征及其类型记录的大跨度时(笋)段的样、受后期洞水改造的非原生沉积的样、横断面上的样和违反常规的混样以及污染样等,其所测得的年龄,均因不确切或不准而不能用以计率。总之,石笋测年样的精选和样位的确定是测年、计率的前提,必须作纹层结构构造和样位的详细记录,以判定测年值准确性和样位有无差错,只有这样计率方可准确,才能显示不同笋段(体)的沉积环境特征。此外,必须强调:计率样间的沉积间断多或间断沉积时间长,计算的沉积速率偏小;笋段上下年值倒置者,不能计率。因此,只有石笋纵剖面纹层轴(笋心)部的样品测年,计率可信度才大。

基金项目:袁道先院士主持的IGCP-379、国家自然科学基金项目(编号49632100)和国土资源部(编号9501104)项目资助

作者简介:林玉石(1935-),男,研究员,1964年北京地质学院研究生毕业。

收稿日期:2000-08-23

2 计率石笋纵剖面的筛选

在洞穴代表性、典型性和洞穴环境、成笋时段,特别是洞穴沉积物相关沉积关系的充分预研究后,筛选研究时段内代表性的石笋纵剖面,是测年计率的基础。

由于石笋沉积纹层受滴水状态和流态、钙离子浓度、洞穴环境的制约,层厚由笋心向边部变薄,特别是过锥肩或柱肩往下明显变薄或消失。因此,纵剖面的纹层数是横断面的纹层数的千百倍,纵剖面上的旋回、韵律性和间断面的显示度是横断面上的数十倍或上百上千倍。所以,无论是时间系列还是物质组成研究,都应选取纵剖面,以确保信息大而全面,这样方能取得综合的、系统性的古气候环境信息。

由于笋顶滴水点的固定性和位移方向常有序转化,使笋心相应有所偏移,形成偏心(图1-c)、离心(图1-b)、附心、复(多)心和正心(图1-a)笋体。正心笋(段、体)常出现在短时段内,或滴水点很固定的笋体,凡大于1m的大型石笋常有偏心现象。因此,短小笋段(体)为正心、偏心笋(体),而长(全)笋段(体)多见两者以上连接的石笋(图1)。复生笋常在笋径较粗大的石笋底或顶部,偶见在中上部。桂林盘龙洞5号和贵州荔波董哥洞4号石笋是较典型的复生(合)石笋,纵剖面有2个以上平行的主笋心并列。为取得各项信息的系统性,纵剖面应尽可能全切笋体的笋心,为此,应沿滴水位移方向纵切,切面与导水裂隙或洞水沿顶板的流向一致。若是附(连)生笋或复生(合)笋体,则沿小笋体和主笋体两笋心连线纵切。

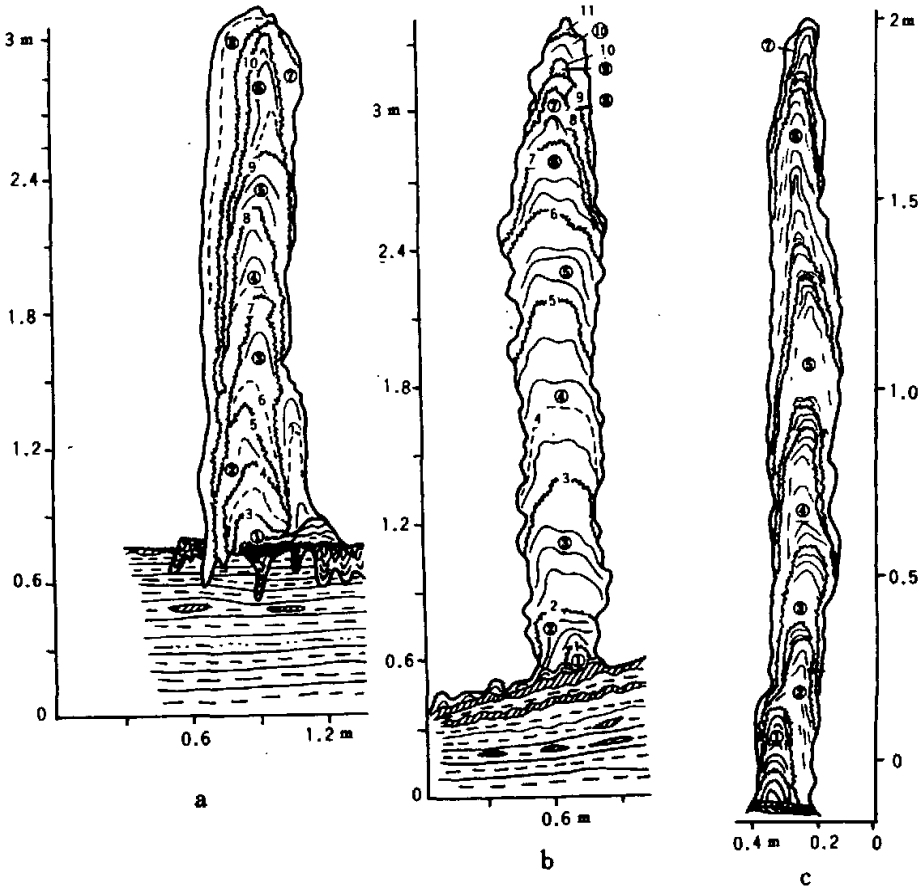


图1 石笋纵剖面图

Fig. 1 A vertical profile of stalagmite

①~⑩为石笋沉积旋回序号,1~10为石笋沉积旋回顶部沉积间断序号,a. 桂林水南洞1号石笋,基座为脱落钟乳石底盘;
b. 桂林盘龙洞2号石笋,基底为流石坝穴珠池;c. 贵州荔波董哥洞3号石笋,基底为钙质粘土层

此外,应重视精选某些笋段,确保主笋段纵剖面的完整(系统)性。凡大型石笋都有沉积间断或滴水位移动较大的时段,于主笋间断面间或某段有小型石笋,小石笋被主笋体包容,故主纵剖面往往只切小石笋的边部,需精选小石笋的全(正)心纵剖面,以确保主纵剖面的连续性,如桂林盘龙洞 1 号石笋 3.24 万 a 至 6000a 间的沉积间断面上有小石笋(图 2),构成主纵剖面的②沉积旋回,不整合沉积在①旋回上,被②旋回不整合沉积包裹,小石笋纵剖面是从沉积间断面上精选的。又如董哥洞 4 号石笋,在 13~17 万 a 间,有小石笋连生和复生,形成离心、偏心笋,使主纵剖面旁并列两小石笋纵剖面,供精选补充。通常不少主纵剖面沉积特征详细观测和初步测年后,往往不能满足研究要求:1)纵剖面上、下满足不了研究时限要求,须在洞厅不同部位或不同洞段(厅),甚至不同洞穴再遴选早于或晚于已切笋的石笋;2)纵剖面某段不完整,如沉积间断时间太长或灾害性碰断而缺失,沉积间断时间长者,应尽可能从已知纵剖面相应笋段的有关方位

再切(盘龙洞 1 号石笋),若确实不能满足,只好再遴选。碰断而缺失者,如贵州凯西七星洞的 2 号、5 号石笋分别缺失 2 个、1 个笋体(段),时段分别达 3.6 万 a、2.6 万 a 级,应在已切笋附近寻觅断落笋段,以修正碰断前后及相关笋段的测年值。

3 计率笋段的选择

纵观现有石笋计率资料,发现石笋横、纵剖面上各有两个以上测年值者,都曾有计率。我们认为纵剖面上的测年计率比横断面的可信,但只有纵剖面上的精选石笋段(体),其测年的计率可信度才大。因为,测年和采样方法的改进是高精度测年的基石,而石笋段的正确选择则是准确计率关键。

3.1 按时段计率应选无沉积间断的笋体(段)

对仪器可测的年龄值,都用来计率,这是国内外广泛应用的原始的方法。而且利用石笋测年,作为早期成洞的地质时代的推论依据^[1,2],后来连同计率作为成笋年代的第四纪不同时段的时代依据,近期侧重古环境重建、考古和气候变化预测^[4]。重建古气候环境特征及其变换方式,对测年、计率精度和可信度的提高,已有些论证和被广泛重视^[5-10]。从计率的时段看,多数集中在全新世及其不同时段,有些是晚更新世以来或其有关时段,个别对更新世的某些时段亦计率。按时段计算石笋沉积速率的最大不足是忽略时段内诸多沉积间断这一普遍存在的广泛事实。若扣除间断时间,必影响沉积速率的真实性,因为凡是大型石笋剖面都存在诸多沉积间断,甚至构成风化壳层。这些间断时间有长有短,因测年时未扣出,而计算沉积速率时又被忽略,致使速率偏小。且时段越长间断次数越多,计率越不准确。此外,近期年代,则定年不准,计率误差大。因此,对石笋沉积连续性的剖面筛选和研究论证不充分,其沉积速率及变化数值的可信度和说服力都很局限,此计率宜慎用。

3.2 按沉积特征计率较符合实际

据石笋沉积纹层的组合规律和沉积间断的显示程度,通常选择沉积旋回和沉积纹层组计算沉积速率。

(a)石笋沉积旋回显示较长时间沉积变化的规律性。沉积旋回计率宜用于旋回顶、底有明显沉积间断显示的笋段,计率时可扣除较长的间断时间(含灾变性间断)。有些旋回内亦有沉积间断,特别是万年级沉积间断,这种情况下,为提高计率的精度和可信度,可增加测年段,分别计算旋回上、中、下的速率变化,提高计率精度。桂林盘龙洞 1 号石笋②沉积旋回内有 5

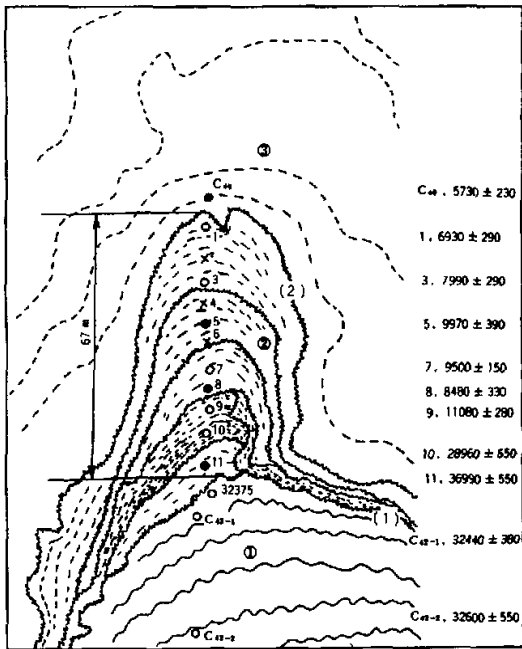


图 2 桂林盘龙洞 1 号石笋②旋回纵剖面图

Fig. 2 The vertical profile of the secondary sedimentary cycle of No. 1 stalagmite from Panlong cave in Guilin

(1). ①沉积旋回顶部沉积间断, C42-1、C42-2 为①沉积旋回样品位置, 32375 为①旋回顶部推算年龄; (2). ②沉积旋回顶部沉积间断, 1~11 为②沉积旋回样品位置, 其中 X 为无年龄值, 67mm 为②旋回厚度; ●为剖面系统中测年值偏高或偏低, 未参与计算计率; C40 为③沉积旋回样品位置

个明显沉积间断(图2),按旋回时限计率为0.263mm/100a,按旋回沉积阶段(期)计率,有5个不同速率(表1),从表可以看出,中早期的9号样位以

下以暗纹层为主,速率最小,以上以白-灰白色为主间夹暗纹层,速率增大,这样更符合沉积变化特征,即大理冰期末次冰阶呈现五至六亚期跃式缓慢沉积,其间可能有5~6个千年级沉积间断。

表1 桂林盘龙洞1号石笋②旋回沉积特征表

Tab.1 The characteristics of the secondary sedimentary cycle of No.1 stalagmite from Panlong cave in Guilin

沉积期	沉积物	沉积时间 (a)	沉积厚度 (mm)	沉积率 (mm/100a)
晚期	灰白色方解石、粘土矿物、暗色层较多	1060 (7990~6930)	10	0.943
中晚期	灰-灰白色方解石、粘土矿物,暗色层增多	1510 (9500~7990)	29	1.921
中期	灰-灰黄色方解石、粘土矿物,底部为暗色层	1580 (11080~9500)	11	0.595
中早期	灰黄-黄褐色方解石、粘土矿物,暗色层	17880 (28960~11080)	5	0.028
早期	黄褐-棕色方解石、粘土矿物、石英	3415 (32375~28960)	12	0.351

注:(1)上都灰黑、白、灰黄色纹层相间,底部纹理不清;

(2)括号为笋心纹层组计率时段顶、底 AMS-¹⁴C 法实测年龄,由北京大学技术物理系考古专业同位素实验室测定,其样位、测年值参照纵剖面图2。

(b)石笋沉积纹层组的计率,较准确反映短时段石笋沉积的变化特征,又体现较长时段沉积变化规律。既用于纹层组顶底部有明显沉积间断,也适用纹层组间有较明显差异显示或有突变的纹层组。计率时以扣除纹层组间的沉积间断时间,或按纹层组分别计率均可提高可信度和精度。贵州荔波董哥洞3号石笋①沉积旋回无明显沉积间断(图3),按旋回计率为0.727mm/100a,按纹层组计率也有5个沉积速率(表2),符合旋回中呈间夹层状的暗色纹层渐减而速率较大,早、晚期以暗纹层为主、速率小的沉积特征,即大理盛冰期在13~17万a间石笋的缓慢沉积有5个以上沉积韵律,都呈渐变式转化,其间虽有2~3个沉积间断,但可能都是百年级的间断,呈渐变过渡。沉积纹层组计率,需大量测年数据和匹配高精度碳、氧同位素以及微量元素的系统测试,利用高精度高分辨率测年和多因素相关验证的系统资料,可提高科学论证和推断的质量。

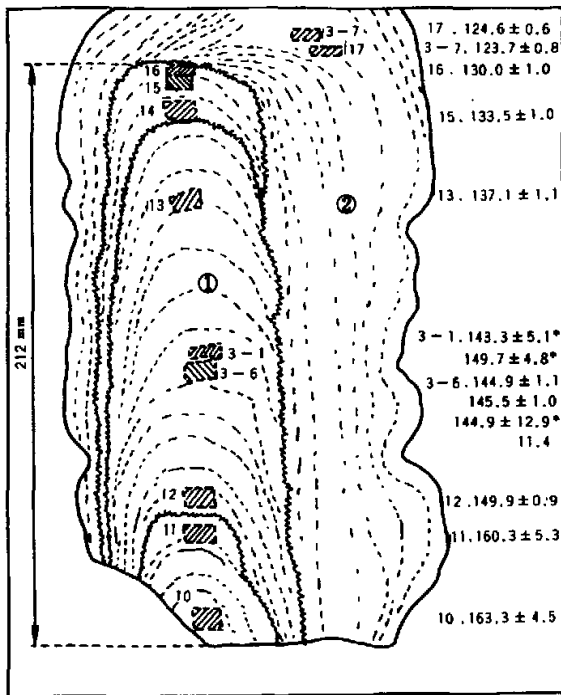


图3 贵州荔波董哥洞3号石笋①旋回纵剖面图

Fig.3 The vertical profile of the first sedimentary cycle of No.3 stalagmite from Dongge cave in Libo, Guizhou

1为①沉积旋回顶部沉积间断,10~16.3~1.3~6为①沉积旋回样品位置,17.3~7为②沉积旋回样品位置,212mm为①旋回厚度,X为参考年龄,未参与计算沉积率

表2 贵州荔波董哥洞3号石笋①旋回沉积特征表

Tab. 2 The characteristics of the first sedimentary cycle of No. 3 stalagmite from Dongge cave in Libo, Guizhou

沉积期	沉积物	沉积时间* (a)	沉积厚度 (mm)	沉积率 (mm/100a)
末期	灰白、白色间暗色半透明方解石、粘土矿物、灰黄色暗层多,纹层厚0.1~1mm)	3500 (133500~ 130000)	22	0.629
晚期	灰黄、灰白色间暗色方解石、粘土矿物,上部以灰黄色纹层为主	8100 (145200~ 137100)	67	0.827
中期	灰白、灰黄色方解石、粘土矿物,下部白色纹层为主,往上灰黄色纹层增多	4700 (149900~ 145200)	63	1.340
早期末	灰白、灰色、暗色方解石、粘土矿物,纹层厚0.1~0.2mm,间夹1mm的暗色层	10400 (160300~ 149900)	15	0.144
早期晚	灰白、白色、暗色半透明方解石,粘土矿物,纹层厚0.1~0.2mm,间1mm暗色层	3000 (163300~ 160300)	35	1.167

* 括号内为笋心纹层组计率时段段、底 TIMS-U 系实测年龄,由程海于美国密苏里大学同位素实验室测定,其样位、测年值参照纵剖面图3。

(c) 石笋沉积纹层的计率,能更真实显示石笋沉积短时段或沉积当时的滴水至流水的动态特征。随着测年方法和采样技术的提高,这一方法的实现已有可能。但是,对石笋风化壳(纹)层及其上下纹层、特征性纹层及其上下纹层(详见另文)和具纹层残余的粒状方解石及其旁的纹层,或具纹层残余的针状一粒状—巨晶方解石的测年探索,还有诸多难点,如测年精度的再提高,样量的再减少,样品选采和处理等,这些难点任一取得进展,将成为探索、论证石笋沉积和成晶的物理化学条件、水动态和洞穴环境特征的重大进展。

4 结 论

(1) 石笋的生长(沉积)速率变化很大,其变化特征和规律,既反映石笋沉积旋回的韵律特征及成笋过

程,也反映洞顶滴水及其流动态和洞穴环境的综合制约因素,是很有科学和理论意义的,但由于种种原因,特别是测年技术限制,目前诸多数据不好对比和利用。

(2) 在预研究的基础上精选石笋,以通过全笋(正)心的纵剖面,取代横断面测年、计率,是提高分辨率和高起点计率的前提。由于石笋沉积纹层由笋心至周边厚度渐薄特别是过锥(柱)肩后快速变薄甚至消失,使横断面无法如实反映沉积纹层的旋回性和韵律特征,只反映某瞬时段的残缺沉积,只有纵剖面特别是切穿全笋(正)心的纵剖面,信息量大且全面而系统。

(3) 石笋测年样必须采在笋心纹层轴(中)部,应记录准确位置、纹层特征及其相关要素,确保计率的样位和年值准确。切忌越层混样,并要即时包装封存,不得污染。

(4) 提倡按石笋纹层组计率。据研究目的尽可能选采代表性纹层组,力争石笋沉积的典型性,全过程都有代表样,以提高测年计率质量与可信度,使其具有广泛应用对比价值。

参考文献:

- [1] 张寿越等. 中国大陆东部洞穴沉积物铀系年代[J]. 地球科学—武汉地质学院学报, 1986, 10(1): 65—72.
- [2] 赵树生等. 中国东部喀斯特洞穴沉积物铀系年代[J]. 中国岩溶, 1990, 8(1).
- [3] 汪永进等. 南京汤山溶洞石笋 200ka 古气候记录[J]. 科学通报, 1997, 42(19).
- [4] 袁道先. 岩溶作用对环境变化的敏感性及其记录[J]. 科学通报, 1995, 40(13).
- [5] 汪训一. 桂林茅茅头大岩洞沉积物的放射性地质年代及氧、碳同位素特征[J]. 科学通报, 1985, 30(2): 244—254.
- [6] 覃嘉铭. 古气候变化的石笋同位素记录研究—以桂林盘龙洞为例[J]. 地球学报, 1996, 18(3): 255—265.
- [7] 李平等. 福建宁化天鹅洞石笋年代和古温度[J]. 沉积学报, 1996, 14(1): 149—154.
- [8] 李红春等. 高分辨率洞穴石笋中稳定同位素应用—北京之大都建立后对森林资源的破坏— $\delta^{13}C$ 记录[J]. 地质论评, 1998, 28(2): 181—186.
- [9] 沈冠军等. 热电离质谱法测定贵州郑家洞石笋的铀系年代及其古气候意义[J]. 中国岩溶, 1997, 16(1): 11—16.
- [10] 王兆荣. 5 万年来杭州地区同位素古温度与海平面变化的研究[J]. 地球学报, 1997, 18: 314—321.
- [11] 马志邦等. 高精度热电离质谱 TIMS 铀系法测定洞穴沉积物的年龄[J]. 地球学报, 1995, 18: 245—247.

A STUDY ON THE SEDIMENTATION RATE OF STALAGMITE IN CAVE

LIN Yu-shi, ZHANG Mei-liang, QIN Jia-ming

(Institute of Karst Geology, CAGS, Karst Dynamics Laboratory, MLR, Guilin 541004, China)

Abstract: The observation, age dating and lamina sedimentation rate of a lot of large-scale stalagmites show that the rate differences are the important data of sedimentary characteristics of stalagmites and also the important reflection of paleoclimatic environment changes. But a lot of data before cannot used and compared with efficiently. By means of choosing the vertical profiles of stalagmite cores and sampling along the lamina axes, the values of the age dating and sedimentation rate are very reliable and of the significance of time and space contrast. It is suggested that the age dating and sedimentation rate should be based on sedimentation profiles of stalagmite, especially lamina groups in order to improve the precision and resolution.

Key words: Cave Stalagmite; Lamina; Sedimentation (growth) rate

部重点科技项目——岩溶塌陷评估预测信息系统 成果简介

项目来源:地矿部科技司

起止日期:1995—1997

项目负责人:茹锦文

主要完成人:茹锦文 周立新 马祖陆 莫源富 李淑莹 刘光慧

承担单位:中国地质科学院岩溶地质研究所 GIS 中心

顾问:项式均 刘金荣

岩溶塌陷是岩溶区的一种动力地质作用的结果。它在岩溶地貌发育、演化中起着重要的作用。然而由于受人类的经济活动,诸如矿坑排水、城市供水、水库兴建、排污入渗等的影响,这种动力地质作用明显地被加剧了。30多年来,我国岩溶区所发生的人为塌陷已超过全新世期间所发生的自然塌陷的一倍以上。我国每年由于塌陷所造成的经济损失在1.2亿元以上。

本研究课题作为“中国21世纪议程”优先项目8中之第11项“灾害信息系统”的前期论证工作,立足于全国制订有关的研究框架,划分出下列四级评估、预测子系统:

一级区 $n \times 10^9 \text{ km}^2$ 行政大区板块构造

二级区 $n \times 10^4 \text{ km}^2$ 省、地级构造亚区

中国岩溶塌陷图数字化转化成电子地图

三级区 $n \times 10^2 \text{ km}^2$ 市、县级复向斜、断块,以桂林为试点研究

四级区 $n \times 10^0 \text{ km}^2$ 矿区、库区、街区局部构造,以凡口矿为试点研究

一、二级亚系统,采用“中国岩溶塌陷图(项式均等

1992)”的资料,将其数字化,并转化成具有演示、查询功能的电子地图,可为区域性的宏观规划、决策服务;也可作为数字中国的组成部分。

三、四级亚系统,研究搜集试点区的有关信息层,诸如地形、地貌、基岩地质、第四系岩性、厚度、地下水埋深、供排水钻孔的分布状况、土地利用现状等,数字化后统一坐标空间配准组成GIS。然后,再将岩溶塌陷分布点与上述图层进行复合,提取相关参数。最后将相关性较好的几个图层复合后,制成岩溶塌陷危险性预测图。危险区的阈值可以根据实际情况调整,以便更好地为工农业生产以及居民区的规划服务。此类方法的前提条件,地面需有足够数量的塌陷调查资料。

本项目已经部科技司组织有关专家评审,认为:“研究总体上已达国内领先水平,在GIS结合RS、GPS研究岩溶塌陷方面达到国际先进水平。”

本项目有关研究成果已在全国GIS年会(庐山,1997)、第一届全球灾害信息网络会议(夏威夷,2000.10)上交流。