

杨元丽,杨荣康,孟凡涛,等. 黔中高原台面浅覆盖型岩溶塌陷分布及影响因素浅析[J]. 中国岩溶, 2017, 36(6): 801-807.  
DOI:10.11932/karst20170603

# 黔中高原台面浅覆盖型岩溶塌陷分布及影响因素浅析

杨元丽<sup>1,2</sup>, 杨荣康<sup>1,2</sup>, 孟凡涛<sup>3</sup>, 王乾<sup>1,2</sup>

(1. 贵州省地质环境监测院, 贵阳 550081; 2. 贵州省环境地质研究所, 贵阳 550081;  
3. 贵州省地矿局 111 地质大队, 贵阳 550081)

**摘要:**黔中高原台面处于贵州省第二阶梯, 平均海拔 800~1 600 m。具有可溶岩分布面积广, 岩溶极其发育, 第四系土层覆盖薄, 地下水埋深浅、地下水动力条件强等特点, 岩溶塌陷是该区主要地质灾害之一。文章以黔中地区岩溶塌陷调查项目统计资料为依据, 对岩溶塌陷分布及影响因素进行分析, 结果为 83.8% 的岩溶塌陷分布在的峰丛谷地和溶丘谷地中, 97.5% 的岩溶塌陷分布于土层厚度 1~10 m 黏土中, 83.7% 的岩溶塌陷分布于三叠系中统关岭组和中下统安顺组白云岩地层中, 73.3% 的岩溶塌陷沿活动断裂及褶皱地带分布, 地下水是区内最主要的触发因素; 在人为因素方面与地下水开采强度、城镇化进程等因素密切相关, 且随城镇化进程及抽水活动的增加而增多。

**关键词:**黔中; 浅覆盖型岩溶塌陷; 自然影响因素; 人为影响因素; 岩溶塌陷防治和监测

**中图分类号:** P642.26

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-4810(2017)06-0801-07

## 0 引言

贵州省地处云贵高原东部, 地势总体西高东低, 自中西部向东、南、北三个方向倾斜, 可分为三个阶梯。黔中高原台面位于贵州省第二阶梯, 平均海拔 800~1 600 m, 其地形相对平缓, 具有可溶岩分布面积广、岩溶极其发育、第四系土层覆盖薄、地下水埋深浅、地下水动力条件强等特点, 岩溶塌陷是该区的主要地质灾害之一。据苏维词<sup>[1]</sup>, 安顺市的岩溶塌陷主要分布在地下水埋深 0.5~2 m 的地带, 仅在核桃寨附近 0.1 km<sup>2</sup> 的范围内就有塌陷点 41 个, 且岩溶塌陷发育的类型多。据李卫民<sup>[2]</sup>, 安顺胶泥坝谷地中, 土层厚度 0.5~7 m, 先后打水文地质孔 3 口, 其中 2 口观测井, 1 口成井, 成井在抽水过程中, 日开采量 1 350 m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup>, 仅 3 个月就发生塌陷 15 个。近年来, 随着岩溶塌陷的发生, 相关学者也做了大量研究, 冯佐海等<sup>[3-4]</sup> 分析了褶皱构造、断裂对岩溶塌陷的控制作用, 得出塌陷沿断层呈带状分布的结论。赵博超

等<sup>[5]</sup> 从隐伏岩洞、岩溶发育的程度和深度因素、人类活动等对岩溶塌陷的影响进行了分析; 陈国栋等<sup>[6-9]</sup> 则从岩溶塌陷产生的物质基础条件和水动力条件出发, 重点统计分析了塌陷点随地下水位与降雨量变化在时间上的分布特征、岩溶塌陷点多集中分布于岩溶地下水降落漏斗及其影响范围内。褚学伟等<sup>[10-13]</sup> 从地形地貌、地层岩性、地质构造、地下水等方面分析了自然因素对岩溶塌陷的影响。本文主要利用黔中地区 1:5 万图幅 (G48E011016、G48E010016) 岩溶塌陷调查项目统计资料<sup>[12]</sup>, 对浅覆盖型白云岩分布地区岩溶塌陷分布及影响因素进行分析, 以期黔中地区浅覆盖型岩溶塌陷的防治提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区地处黔中高原台面, 属北亚热带季风湿润型气候区, 日照充足, 雨量充沛。根据安顺市气象站

资助项目: 中国地质调查局调查项目 (12120114022401) 黔中地区岩溶塌陷调查; 贵州省地矿局 (黔地矿科 [2015] 16 号); 中国地质调查项目 (DD20160254)

第一作者简介: 杨元丽 (1981-), 女, 工程硕士学位, 高级工程师, 主要从事水文地质与环境地质工作。E-mail: 474642620@qq.com。

收稿日期: 2017-05-30

2007—2017年降雨量观测统计资料,区内多年平均降雨量为1328.43 mm,降水量年内分配不均匀。据统计,多年月平均降水量集中在4—10月,月降雨量多大于100 mm,该期降雨量占全年总降雨量的80%,为雨季;1、2、3、及11、12月月降水量多小于100 mm,为旱季。

构造上处于织金穹盆构造变形区和都匀南北向隔槽式褶皱变形区复合部位,在长期地应力的作用下,区内断裂构造发育,褶皱较宽缓,地层倾角普遍平缓,形成了一系列北北东向,北东向,北西向以及东西向构造。受构造控制,区内大部分地层也呈北东向的条带状展布,出露地层主要为三叠系中下统安顺组白云岩、关岭组白云质灰岩、杨柳井组灰岩、泥质灰岩等,其余北部地区尚有二叠系玄武岩、辉绿岩存在,呈条带状分布,而石炭系、寒武系和奥陶系地层出露较少,主要分布于研究区东北角(图1)。研究区南部地形地貌组合类型主要为溶丘谷地、丘峰谷地。谷地平坦、开阔,起伏较小,地表岩溶个体形态以溶沟、溶槽、竖井、岩溶潭等为主,并发育有网络状地下河水系,岩溶化程度极高。谷地内河流流动慢,水系切割微弱,地表水、地下水交替频繁,岩溶作用沿有利于地下水径流的区域性裂隙发育,地下水强径流带位于埋深20~35 m之间,动态变化不稳定,也是工作区岩溶最为发育的地带。土层主要为碳酸盐岩风化残积棕色粘土、淤泥质粘土为主,同一地区土层厚度分布不均匀,变化较大,厚度约为5~10 m,地下水位变幅一般2~5 m,地下水位在基岩面上下波动;北部地形地貌组合类型主要为峰丛沟谷、峰丛洼地,地形起伏大,局部地形切割深,沿线发育大量成串洼地、落水洞,地下水埋深较深,岩溶作用沿构造裂隙发育,表现为水平作用与垂直作用,地表岩溶不发育,泉流量小,地下水类型为基岩裂隙水。土层主要为残积土和坡积土为主,土层厚度<5 m,地下水位在基岩面以下或以上波动。

## 2 岩溶塌陷分布的影响因素

### 2.1 岩溶塌陷分布及自然影响因素

研究区内岩溶塌陷呈现出明显的区域分布特征(图2)。据统计,南部区域内发生岩溶塌陷共17处、33个塌陷坑,北部发生岩溶塌陷共2处、4个塌陷坑。分布特征呈现出南多北少、远离城镇靠近居民集中区的特点。根据调查结果,塌陷多发于峰丛谷地、溶丘谷地等地势相对平缓的地貌之中;塌陷分布多沿活动

断裂带和褶皱轴部走向分布;塌陷坑周边上覆土层厚度多分布在5~10 m的浅覆盖型岩溶区<sup>[14]</sup>;塌陷坑下伏基岩均为三叠系碳酸盐岩,其中多发生于三叠系中统关岭组  $T_2g$  和三叠系中下统  $T_{1-2}a$  安顺组地层之中。根据以上论述,研究区岩溶塌陷的空间分布规律和以下自然因素紧密相关:地形地貌、土层厚度、地层岩性、地质构造、地下水。

#### 2.1.1 地形地貌

区内岩溶塌陷多集中分布于溶丘谷地中,占总塌陷次数的70.3%<sup>[15]</sup>(表1),该类地貌地势平坦,区域相对高差较小,较适宜人类集中居住,安顺市区与周边乡镇多分布于该类地貌单元之上,人类工程活动对地质环境影响较大;丘峰谷地地下水位埋深较浅,区域内多处岩溶潭发育,岩溶潭密度为全区最大,水动力作用较强,岩溶塌陷密度较大;峰丛谷地平坦、开阔,起伏较小,谷地内河流流动慢,水系切割微弱,地表水、地下水交替频繁,岩溶作用沿有利于地下水径流的区域性裂隙发育。

表1 三类地貌单元塌陷分布情况

Table 1 Landform unit collapse distribution table

地貌类型	土层厚度/ m	塌陷坑/ 个	塌陷密度/ 个·km <sup>-2</sup>	占总塌陷 百分比/%
溶丘谷地	0~15	26	0.04	70.3
峰丛谷地	0~10	5	0.034	13.5
丘峰谷地	0~10	6	0.199	16.2

#### 2.1.2 土层厚度

区内岩溶塌陷均发育于一元结构的黏土、粉质黏土之中,土层厚度上均发育于覆盖层厚度1~10 m的薄覆盖型岩溶区内,其中84.0%的岩溶塌陷发生在土层厚度小于5 m的地区,另有13.5%的岩溶塌陷发生在土层厚度5~10 m的地区,土层厚度10 m以上的区域内岩溶塌陷极少(表2)。

表2 不同覆盖层厚度的塌陷分布情况

Table 2 Collapse distribution of thickness of different covering layers

覆盖层厚度/m	塌陷坑/个	占总塌陷百分比/%
0~5	31	84.0
5~10	5	13.5
>10	1	2.7

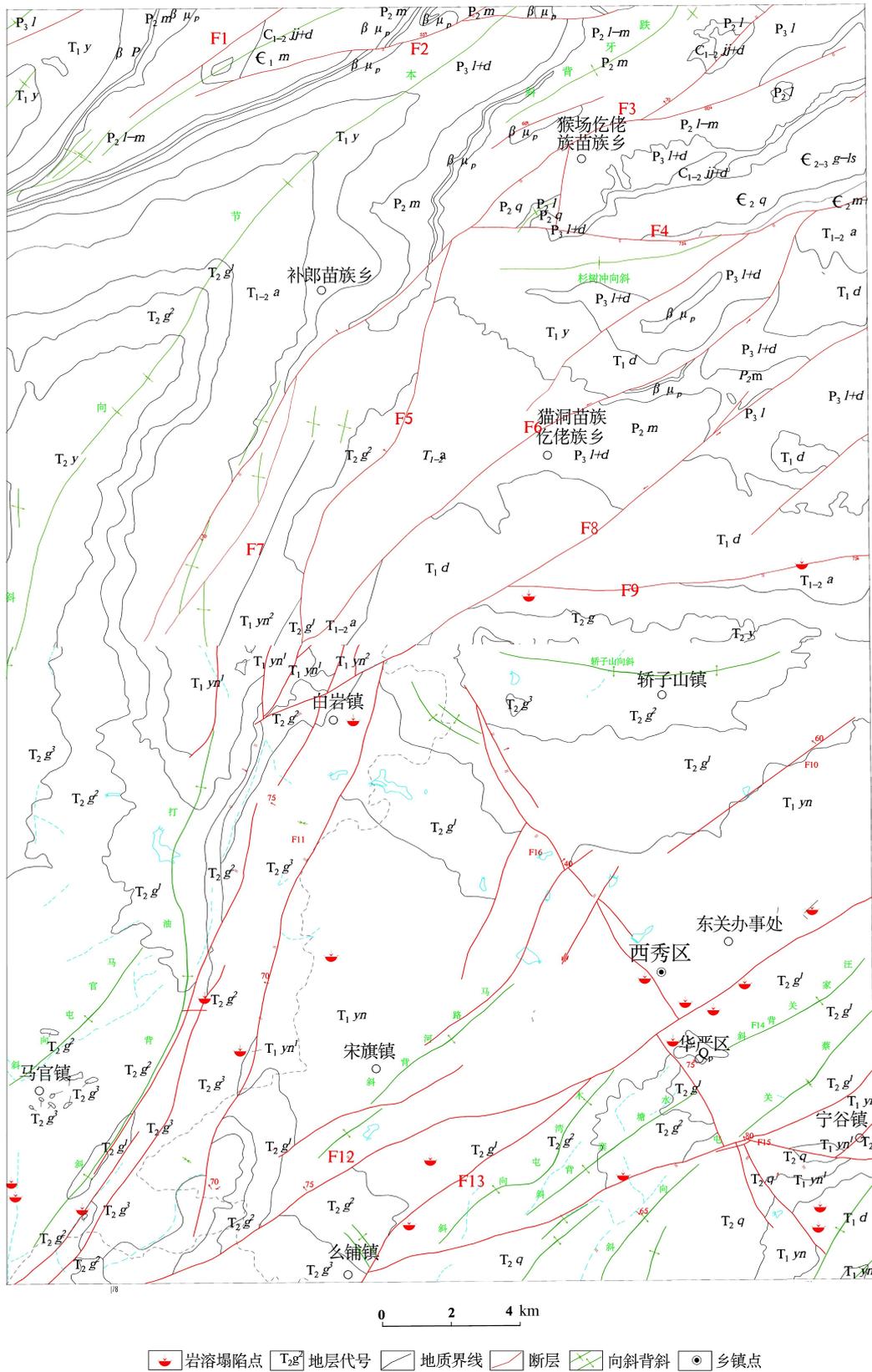


图 1 研究区地质环境

Fig. 1 Geological conditions map of the study area

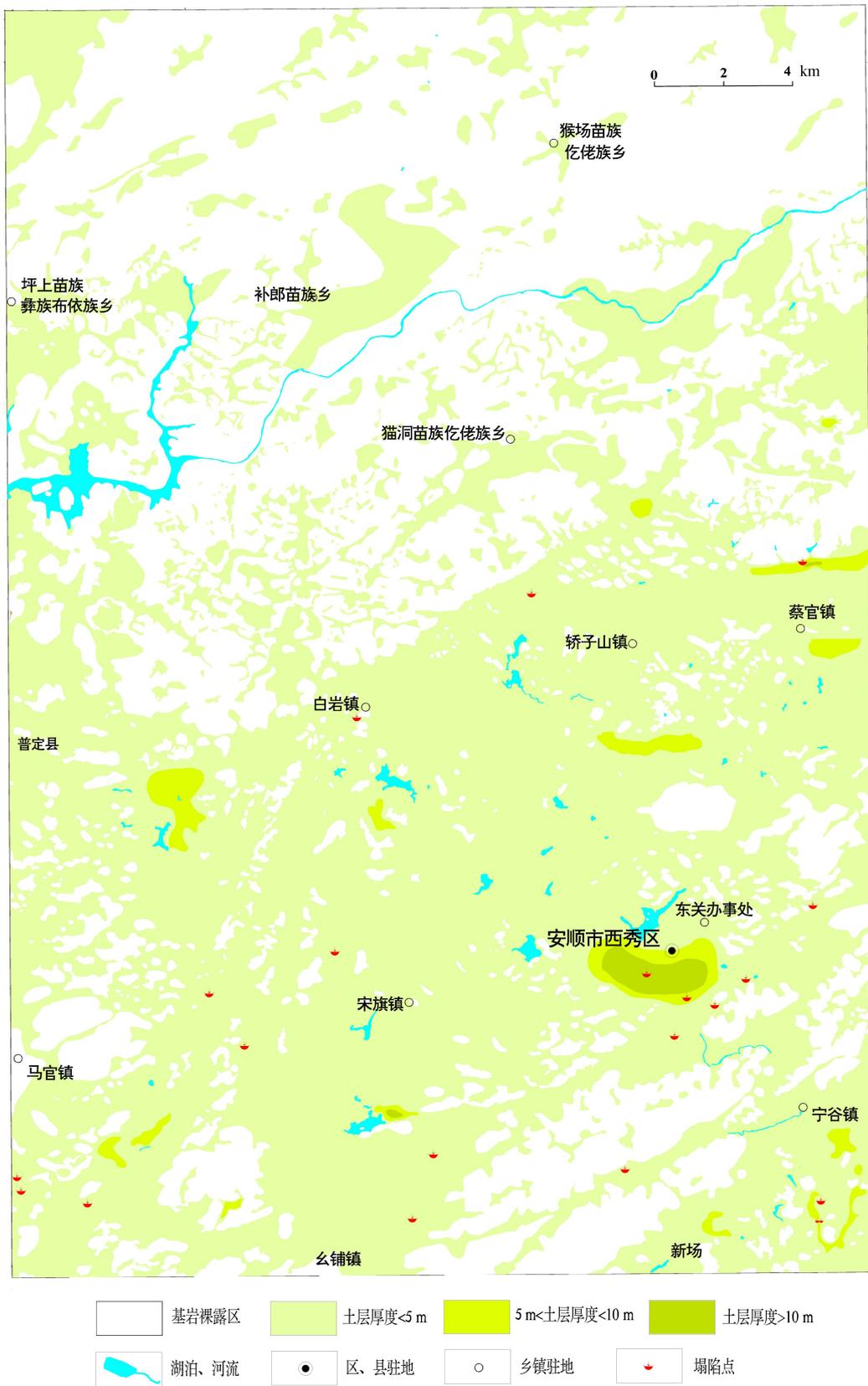


图 2 研究区岩溶塌陷分布图

Fig. 2 Karst collapse distribution map in the study area

### 2.1.3 地层岩性

区内大部分岩溶塌陷发育于碳酸盐岩地层中,据统计,83.7%的岩溶塌陷发育于三叠系中下统安顺组  $T_{1-2a}$ 、中统关岭组  $T_{2g}$ 、中统杨柳井  $T_{2y}$  白云岩、灰岩、灰岩间夹白云质灰岩等地层中,另 16.21%的岩溶塌陷发育于三叠系中下统  $T_{1-2l}$  泥质灰岩夹页岩地层中。岩溶塌陷的发育程度与岩溶的发育程度有着密切的关系。而岩溶的发育取决于岩性,质纯、厚层且均匀状分布的灰岩地层岩溶发育较强,而白云岩岩溶发育次之,碳酸盐岩与碎屑岩互层的地层及泥质碳酸盐岩类岩溶发育较弱<sup>[12]</sup>。对区内碳酸盐岩中的 57 处工程勘察孔进行分析,多数钻孔显示岩溶沿裂隙发育,其中以安顺组  $T_{1-2a}$  和关岭组  $T_{2g}$  裂隙发育程度最高(表 3)。

表 3 各层位基岩 RQD 值分布统计及岩溶塌陷坑分布  
Table 3 Each layer RQD value distribution of bed rock and karst collapse distribution

RQD 值	0~25%/ 个	25%~50%/ 个	50%~75%/ 个	>75%/ 个	塌陷坑/ 个
$T_{1-2a}$	20	4	3	1	16
$T_{2g}$	11	2	1	1	6
$T_{2y}$	7	0	1	1	9
$T_{2h}$	2	1	—	—	—
$T_{1d}$	1	—	—	1	—
$T_{1-2l}$	—	—	—	—	6

### 2.1.4 地质构造

地质构造对岩溶发育的影响主要表现在控制可溶岩的展布和空间产出状态。区内的断裂构造,为大气降水垂直下渗和地下水提供横向运移通道,从而形成沿断裂带的地下河管道,有利于岩溶塌陷堆积物的储存及运移。研究区南部岩溶塌陷分布较为明显的特征为沿断层带呈带状分布。集中发育于 NE 向的 F12 头铺断层、NNE 向的 F5 高羊断层和 WE 向的 F9 袁家屯断层的断层带上,据统计,共计 73.3%的塌陷坑发生在断层带上,同样受到褶皱的控制,40%的塌陷坑分布于 NE 向的背斜两翼,呈现出沿活动断裂带和褶皱走向分布的规律。

### 2.1.5 地下水

诸多专家、学者均对地下水对岩溶塌陷的影响进行过研究和分析<sup>[16-21]</sup>。如王延岭<sup>[16]</sup>认为地下水动力条件是诱发岩溶塌陷的最主要动力条件,也是塌陷形成的关键,其中地下水位变幅、地下水位与基岩面

的关系及开采强度是构成岩溶塌陷地下水动力条件的主要因素。地下水埋深较小的区域易于发生岩溶塌陷,而地下水埋深大的区域,由于上覆地层厚度较大,不易发生岩溶塌陷<sup>[22]</sup>。根据研究区含水介质及地下水埋深情况研究区可划分为三个区。

水动力条件强区主要分布于研究区南中部幺铺镇、宋旗镇、华严区、东关办事处等大部分区域。含水介质主要为溶洞、裂隙,地下河管道等。地下水水位埋深较浅,一般小于 5 m,水位变幅一般 2~5 m,地下水位在基岩面上下波动,极易引发岩溶塌陷地质灾害,据统计,本次调查的岩溶塌陷全部发生于该区域内。

水动力条件中等区主要分布于研究区北部猫洞乡、补郎乡、猴场乡以及一级分水岭附近大部分区域。含水介质为溶洞、裂隙,地表水系不发育,岩溶极其发育,地表见落水洞、洼地及多条地下河,且部分地方见多层岩溶管道发育,地下水径流区水位埋深很深,达到十至数十米,甚至 100 m 以上,地下水动态变化呈现暴涨暴落的态势,降雨反应迅速,流速大,流态多变,地下水多数处于基岩面以下波动,岩溶塌陷发育的可能性较小。

水动力条件弱区主要分布于研究区北部补郎乡、坪上乡等。含水介质主要为基岩裂隙,岩溶化程度较低,地下水位埋深一般小于 5 m,且水位变幅小于 5 m,具有承压性,流速相对缓慢,一般以层流为主,地表水与地下水的垂向交替不明显,地下水动力条件较差,发育岩溶塌陷的可能性小。

## 2.2 岩溶塌陷分布及人为影响因素

区内岩溶塌陷在人为影响因素上主要和地下水开采强度及城镇化进程等因素密切相关,并呈现出明显的阶段性特征。2000 年以前,由于区内人类工程活动较少,岩溶塌陷发生频次也相对较少,基本为自然因素作用下的重力致塌式为主,多发于人口密度小的偏僻地区;2001—2013 年,随着城镇化进程的加快及抽水活动的增加,岩溶塌陷发生地点及频次发生了较大的变化,塌陷事件相对增加,多以震动致塌式和潜蚀致塌式为主,多发于安顺市区人类工程活动较多,地下水开采井附近。

### 2.2.1 地下水开采强度对岩溶塌陷的影响

20 世纪 80—90 年代,由于安顺市各工厂企业生产用水以及其周边居民生产生活用水均以地下水为主,导致安顺市周边曾发生多次岩溶塌陷事件,如玉碗井塌陷等典型的由于抽水引发的岩溶塌陷。直至 2003 年,由安顺市政府统一部署并逐年关闭城区周

边地下水开采井,安顺市区居民生产生活用水从开采地下水为主转变为以梭筛水库(夜郎湖)作为主要供水来源,大大减少了抽水引发岩溶塌陷的次数。根据统计结果,从2003年至今安顺市区及周边各工业企业厂址所在地累计发生塌陷仅为2处(表4),远小于20世纪80—90年代的塌陷发生次数。

表4 安顺市及周边工厂塌陷统计  
Table 4 Collapse statistical of Anshun and its surrounding factories

地点	1980—1990年	1990—2003年	2003—2015年
风雷机械厂	0	>1	0
安顺市城区	3	>1	2
东关办事处铺村	>1	0	0

### 2.2.2 城镇化进程对岩溶塌陷的影响

据不完全统计,1977—1990年间,由于城镇化进程基本停滞,区内发生岩溶塌陷仅为4处;1991—2000年间,城镇面积略微扩大,城镇化进程处于较缓慢阶段,区内发生岩溶塌陷2处;2000—2015年间,由于西部大开发政策,城镇面积(尤其是安顺市面积)在原有基础上扩大了近10倍,处于城镇化进程较快的发展阶段,区内发生岩溶塌陷22处,较前两个时段有明显增加。其中振动致塌式塌陷数量由1977—2000年的0起增加至2001—2015年的2起,呈现出明显的伴随城镇化进程加快而增长趋势(图3)。

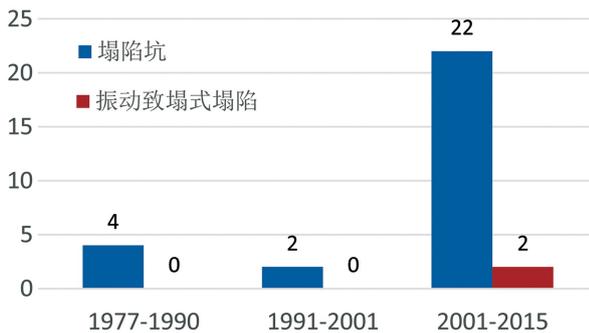


图3 塌陷分布与城镇建设关系图

Fig. 3 Diagram of relationship between collapse distribution and urban construction

## 3 结论

(1)岩溶塌陷分布在自然因素上受地形地貌、土层厚度、地层岩性、地质构造及地下水的控制。在地貌上岩溶塌陷多分布于峰丛谷地、溶丘谷地等地势相

对平缓的地貌之中;土层厚度上多分布于土层厚度5~10 m的地带,地层岩性上多发育于三叠系中统关岭组和三叠系中下统安顺组白云岩地层之中,地质构造上多沿活动断裂带和褶皱轴部走向分布,地下水活动是研究区岩溶塌陷最主要的触发因素。

(2)岩溶塌陷的发生与人类工程活动密切相关。受地下水开采强度、城镇化进程的影响,呈现出近十年一次的阶段性波动特征,在2000年前,岩溶塌陷发生频次相对较少,且基本发生在人口密度较小的偏僻地区;随着城镇化进程的加快及抽水活动的增加,岩溶塌陷发生地点及频次发生了较大变化。

## 参考文献

- [1] 苏维词. 贵州主要城市的岩溶塌陷灾害及其防治[J]. 水文地质工程地质, 1998(3): 40-42.
- [2] 李卫民. 人为岩溶塌陷机理分析及防治措施[J]. 工程勘察, 2010(1): 112-117.
- [3] 冯佐海, 李晓峰, 刘辉利, 等. 桂林市断裂构造对岩溶塌陷的控制作用[J]. 桂林工学院学报, 2000, 20(4): 344-349.
- [4] 冯佐海, 李晓峰, 张明华, 等. 桂林市岩溶塌陷空间分布与地质构造的关系[J]. 地质灾害与环境保护, 2001, 12(2): 16-20.
- [5] 赵博超, 朱蓓, 王弘元, 等. 浅谈岩溶塌陷的影响因素与模型研究[J]. 中国岩溶, 2015, 34(5): 515-521.
- [6] 周国清, 陈昆华, 何素楠, 等. 来宾市岩溶塌陷的时空分布特征分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(4): 4-7.
- [7] 魏永耀, 孙树林, 黄敬军, 等. 徐州岩溶塌陷时空分布规律及成因分析[J]. 中国岩溶, 2015, 34(1): 52-57.
- [8] 陈国栋, 汪玉松, 文生. 江西武山铜矿区岩溶塌陷成因研究[J]. 中国水运, 2007, 7(10): 95-97.
- [9] 王延岭, 陈伟清, 蒋小珍, 等. 山东省泰莱盆地岩溶塌陷发育特征及形成机理[J]. 中国岩溶, 2015, 34(5): 495-506.
- [10] 褚学伟, 党爽, 丁坚平. 贵州岩溶塌陷分布及其影响因素分析[J]. 人民长江, 2015, 6(46): 44.
- [11] 丁坚平, 褚学伟, 等. 贵州岩溶塌陷[M]. 贵州科技出版社, 2017.
- [12] 潘国林, 方涛, 蔡生来, 等. 安庆市怀宁县马山口地区岩溶塌陷的分布特征及形成条件分析[J]. 中国岩溶, 2013, 32(2): 175-181.
- [13] 杨荣康, 杨元丽, 等. 黔中地区岩溶塌陷调查综合评价报告[R]. 2016.
- [14] 中国地质调查局. 1: 50 000 岩溶塌陷调查规范(征求意见稿)[S]. 北京, 2014.
- [15] 蒋镇涛. 贵州黔中地区岩溶塌陷的时空分布规律[J]. 山西建筑, 2016, 42(20): 69-70.
- [16] 王延岭. 山东省泰莱盆地岩溶地面塌陷影响因素分析[J]. 中国岩溶, 2016, 35(1): 60-66.
- [17] 高宗军, 孙文广, 唐蒙生, 等. 泰安—旧县水源区岩溶水开采与

- 地质环境的关系[J]. 山东地质, 2001, 17(3-4): 86-91.
- [18] 高宗军, 张富中, 鲁峰. 山东泰安岩溶地面塌陷前兆及其预报[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(3): 149-150.
- [19] 袁杰, 高宗军, 马海会. 论岩溶地下水对岩溶塌陷形成的控制作用: 以山东枣庄市岩溶地面塌陷区为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(4): 95-98.
- [20] 王延岭, 陈伟清, 蒋小珍, 等. 山东省泰莱盆地岩溶塌陷发育特征及形成机理[J]. 中国岩溶, 2015, 34(5): 495-506.
- [21] 赵博超, 朱蓓, 王弘元, 等. 浅谈岩溶塌陷的影响因素与模型研究[J]. 中国岩溶, 2015, 34(5): 515-521.
- [22] 康彦仁, 项式均, 陈健, 等. 中国南方岩溶塌陷[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1990.

## Brief analysis of distribution and influence factor of table-board shallow overburden type karst collapse in central Guizhou Plateau

YANG Yuanli<sup>1,2</sup>, YANG Rongkang<sup>1,2</sup>, MENG Fantao<sup>3</sup>, WANG Qian<sup>1,2</sup>

(1. Guizhou Geological Environment Monitoring Institute, Guiyang, Guizhou 550081, China;

2. Guizhou Environmental Geology Research Institute, Guiyang, Guizhou 550081, China;

3. Guizhou Geological Engineering Investigation Design and Research Institute, 111 Geological Brigade, Guiyang, Guizhou 550081, China)

**Abstract** Qianzhong Plateau table is in the second topographic step of Guizhou Province, with an average altitude of 800—1,600 m. The area is characterised by widely distributed soluble rocks, extremely developed karst landscapes, thin Quaternary soil layers and shallow groundwater with strong groundwater flow dynamics. Karst collapse is one of the major geological hazards in this area. In this paper, based on the statistical data of karst collapse in central Guizhou, the distribution and influencing factors of the karst collapse were analyzed. The results showed that 83.8% of the karst collapse were distributed in the peak valleys and karst valley, and 97.5% of karst collapse was distributed in clay with layer thickness of 1—10 m, and 83.7% of karst collapse is distributed in dolomite formation in Guanling Formation of the middle Triassic strata and Anshun Formation of the early and middle Triassic strata, and 73.3% of karst collapse is distributed along the fracture and fold zones, of which the groundwater is the most important trigger in the area. In terms of human factors, it is closely related to groundwater mining intensity and urbanization process, which occurs along with the urbanization process and the increase of pumping activities.

**Key words** central Guizhou, shallow overburden type karst collapse, natural influencing factor, human influence factor, prevention-control and monitoring of karst collapse

(编辑 张玲)