

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.03.09

广西桂林市规划中心城区岩溶塌陷时空分布规律及成因分析

江思义, 吴 福, 刘庆超, 黄希明, 李海良
(广西壮族自治区地质环境监测站, 广西南宁 530029)

摘要: 通过资料收集和对岩溶地质调查成果进行系统梳理, 揭示了桂林市规划中心城区的岩溶塌陷分布规律, 并对其成因进行了分析, 研究表明: 研究区湿润多雨、地质构造错综复杂、质纯层厚的灰岩地层、人类工程经济活动都是岩溶地面塌陷的孕灾前提。区内岩溶地面塌陷多发生在地下水位波动变化大的5~8月; 地貌上主要发生在溶蚀堆积孤峰平原地貌区和地势低洼、地下水位浅或集中径流地段; 地层上主要分布于下伏质纯层厚的上泥盆统融县组(D_3r)灰岩之上; 同时, 也多分布在人类活动密集区, 如桂林市主城区和临桂主城区。研究结果为桂林市规划中心城区的规划布局和城市建设提供了基础地质依据。

关键词: 桂林市; 中心城区; 岩溶塌陷; 分布规律; 成因分析

中图分类号: P642.25

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)03-0065-08

Spatial-temporal distribution and causes of karst collapse in Guilin planning center, Guangxi Province

JIANG Siyi, WU Fu, LIU Qingchao, HUANG Ximing, LI Hailiang
(The Guangxi Zhuang Autonomous Region Geological Environment Monitoring Station,
Nanning, Guangxi 530029, China)

Abstract: Through the data collection and karst geological survey, the distribution law of karst collapse in the central planning area of Guilin City is revealed and its causes are analyzed as follows. The research has shown that wet and rainy area, the intricate geological structure, the thick limestone stratum and the human engineering activities are the prerequisites for the karst ground collapse. The karst ground collapse in the area mostly occurs in May-August when the groundwater level fluctuates greatly. Geomorphologically it mainly occurs in the karst plain geomorphic area and low-lying, shallow ground water level or concentrated runoff areas. The strata is mainly distributed on the Upper Devonian Rongxian Formation limestone with underlying pure layer thickness. At the same time, it is also mostly distributed in areas with intensive human activities, such as the main urban area of Guilin and the main urban area of neighboring Lingui. The research results provide the basic geological basis for the planning layout and the urban construction of the city.

Keywords: Guilin City; planning center; karst collapse; distribution law; cause analysis

收稿日期: 2019-10-06; 修订日期: 2019-12-09

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(12120114022101); 广西壮族自治区国土资源厅、桂林市人民政府地质调查项目(桂国土资办[2014]70号)

第一作者: 江思义(1987-), 男, 湖北天门人, 岩土工程专业, 硕士, 工程师, 主要从事地质调查和岩土工程勘查与设计工作。E-mail: 370333108@qq.com

通讯作者: 吴 福(1972-), 男, 广西北海人, 土地资源管理专业, 硕士, 高级工程师, 主要从事地质环境监测、地质灾害防治工作。Email: 404630357@qq.com

0 引言

桂林市属于中亚热带湿润季风气候型溶蚀侵蚀区,是岩溶塌陷最为频繁的城市之一^[1-2]。本次研究的区域包括桂林市的5个城区(除草坪乡和大埠乡外)和临桂区的临桂镇、四塘乡、两江镇部分地区,以及灵川县的灵山镇、定江镇、大圩镇等部分地区,地理坐标为北纬25°0'0"~25°24'0",东经110°03'26"~110°29'14"。前人对桂林老城区的岩溶塌陷的评价与研究有很多,冯佐海等^[2-3]研究了区内岩溶塌陷分布特征和塌陷与地质构造的关系;肖明贵^[4]和万志清等^[5]对区内岩溶地面塌陷的成因机制和分布规律进行了研究。以上研究仅仅局限于桂林市旧城区,且有一定时间间隔,有的研究成果精度相对较低。随着桂中地区1:5万岩溶地质调查的完成,笔者对桂林规划中心城区的岩溶发育特征和分布规律^[6]、易发性评价^[7]和地下空间适宜性评价^[8]等方面进行了研究,在此基础上,对研究区岩溶塌陷的时空分布规律及成因进行分析,其成果对桂林市规划中心城区的规划布局 and 城市建设有一定的指导意义。

1 岩溶塌陷类型

研究区共查明已发生岩溶塌陷403处,按地质模式和成因类型分别对所有岩溶塌陷进行分类。

按地质模式分,研究区以土层塌陷为主,尤以单层土体塌陷为主。据统计,基岩塌陷38处,土层塌陷365处。其中单层土体塌陷310处,双层土体塌陷55处。

按成因类型可分为自然塌陷和人为塌陷。研究区自然塌陷204处,人为塌陷199处。其中抽水引起塌陷137处,振动爆破引起塌陷38处,灌溉、工业废水渗漏等引起塌陷24处。

自然塌陷多分布在农村地区,塌陷数量204处,占总塌陷数量的51%,多受暴雨因素影响,其次受地下水和地表水共同作用影响。主要分布在峰丛谷地的唐家湾、猴山西侧、漓东地区,以及峰林平原的四塘、横山等地,以土层塌陷为主。由于岩溶发育的长期作用,自然塌陷将会不断发生。人为塌陷多分布在人类工程经济活动区,塌陷数量199处,占总塌陷数量的49%,主要人工诱发因素有:①抽、排水;②水利工程蓄水、引水;③荷载(工程荷载、车辆荷载等);④人工爆破、振动;⑤废液下渗等,其中尤以抽水塌陷为主,为137处,占人为塌陷的68.84%。主要分布在峰林平原、孤峰

平原的人类聚集区,以土层塌陷为主,少部分有因爆破、振动引起的基岩塌陷。

随着桂林建设活动不断开展,许多处于极限状态或临近极限状态的土洞、溶洞、落水洞等因人工因素诱发提前垮塌,同时也阻碍着桂林城区的建设发展,给桂林城区的发展造成不良影响。

2 岩溶塌陷孕育环境

2.1 气候背景

桂林地处低纬度,北靠南岭,有湘桂夹道连接两湖盆地;南向桂中腹地,有大瑶山群峰屏立于前。地势为高差较大的南北向盆地,属中亚热带季风气候区。

桂林是广西的降雨和暴雨中心之一,据桂林市2000—2015年气象资料统计(图1),多年平均降雨量达1 889.4 mm,最高3 115.6 mm(2015年),最低1 254.3 mm(2011年)。年分配不均,多集中4~7月,占全年降雨量的62.93%。枯期在10月~次年2月,降雨占全年的18.83%。多年平均蒸发量1 263~1 566 mm,7~10月最高,占48.28%。气候湿润,多年平均相对湿度75.6%,绝对湿度18.1%。年平均气温18.8℃,地表水温19.2℃、地下水温19~21℃,植被及土壤微生物供应二氧化碳丰富。岩溶发育离不开水,且水要具有一定的侵蚀性和循环运动条件^[6]。

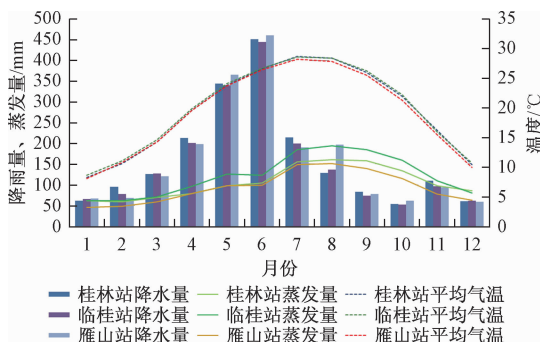


图1 桂林市多年逐月月均降雨量、蒸发量、气温曲线

Fig. 1 Monthly average rainfall, evaporation and temperature curve of Guilin for many years

2.2 地质构造

研究区的断裂系统复杂,岩层褶皱宽缓,垂直节理裂隙十分发育。岩溶塌陷沿褶皱轴部及构造裂隙带发育。背、向斜的轴部地带,各序次的构造裂隙发育,岩溶发育强烈,常形成溶洞、落水洞和宽大溶隙,当上覆土层较薄,在大气降水下渗,地下水活动或抽取地下水时,易形成塌陷,其密度也较大,如唐家湾背斜轴部的黄村、万福潭、青岩挡等地。黄村洼地在0.24 km²内

有塌陷9个,猴山背斜轴部的猴山西侧谷地,在 0.05 km^2 范围内就有20个塌陷坑,塌陷的分布方向大概与轴向相吻合。

本区岩溶塌陷的分布与地质构造关系的另一特点是沿构造断裂带两侧分布,其中典型的是唐家湾一带,仅在万福潭 0.11 km^2 范围内就有塌陷26个,塌陷的分布和多数坑的长轴与断裂方向一致,部分坑的长轴垂直于断层。

2.3 岩溶岩组

区内碳酸盐岩主要分以下3大类:(1)灰岩、深灰色纯灰岩:包括灰岩、鲕状灰岩、生物灰岩或生物碎屑灰岩,含白云质灰岩等,中-厚层状,具微晶、泥晶、亮晶和粒屑、砂屑等颗粒成分,不等粒、镶嵌及生物碎屑等结构。方解石含量 $94\% \sim 99\%$,氧化钙含量 $51.28\% \sim 56.01\%$,比溶解度 $0.76 \sim 1.17$,主要出现于东村组、桂林组、融县组、次为东岗岭组、黄金组、英塘组及尧云岭组。(2)灰岩、深灰色厚层状白云质灰岩、白云岩:微粒、部分中粒、不等粒,镶嵌结构。白云石含量 $33\% \sim 99\%$,氧化镁 $6.73\% \sim 19.87\%$,比溶解度 $0.46 \sim 0.80$ 。主要出现于东岗岭组、英塘组、尧云岭组及黄金组,次为桂林组。(3)深灰色薄层状泥质灰岩、泥灰岩、含硅质结核或硅质条带灰岩:在其溶蚀较强的含泥质灰岩中取样结果,方解石 94% ,氧化钙 48.61% ,比溶解度 0.77 。主要出现于英塘组、尧云岭组。不同碳酸盐岩的矿物成分,化学成分和比溶解度有一定关系,经分析灰岩最易被溶蚀,白云质灰岩次之,白云岩抗溶蚀能力较强。此外,区内方解石饱和指数为 $-3.33 \sim -4.18$,因此,无论是大气降水或是向斜盆地中汇集的外水源,其溶蚀、侵蚀和搬运能力都很强。

区内有不同碳酸盐岩岩性的组合和碳酸盐岩与非碳酸盐岩的地层组合。

岩性组合:不同岩性的岩石组合,影响岩溶发育程度,东岗岭组和桂林组下段,是以白云岩为主与灰岩的组合,岩溶发育强度中等。桂林组上段和东村组、融县组为纯灰岩的组合,岩溶发育程度强烈;英塘组、尧云岭组及黄金组,灰岩中常含燧石条带或结核,且在中段夹有硅质岩、泥岩,岩溶发育程度较弱。碳酸盐岩酸不溶物含量不同,洞穴发育程度也不一样,英塘组、尧云岭组含酸不溶物较多,岩性不纯,次为桂林组灰岩,含有少量不溶物,但氧化钙含量较英塘组、尧云岭组高,融县组灰岩质量纯,含杂质最少。

地层组合:除岩性影响岩溶发育程度和形态特征外,碳酸盐岩与可溶岩的沉积组合亦有很大影响。工

作区内碳酸盐岩与碎屑岩的沉积组合,按其地质产状可分为两类,一类为厚度小而不纯的碳酸盐岩,夹于厚度大的碎屑岩地层之中,如五指山组、英塘组、尧云岭组及黄金组等,组成丘陵地貌,岩溶发育程度弱,仅有 $5.9 \sim 8.7\text{ L/s}$ 的泉水出露。北东部的英塘组、尧云岭组灰岩,夹有泥岩或炭质灰岩,形成溶丘平原地貌,钻孔未遇洞,仅见小泉水出露,分布于中部及南部的黄金组、英塘组、尧云岭组,地貌上为溶蚀谷地或峰林、孤峰平原,由于地层中含炭、泥杂质和硅质结核或夹有硅质岩,泥岩夹层,岩溶发育较弱,钻孔遇洞率及线洞率均低,但溶潭较多。另一类为沉积连续、厚度大、岩性纯、分布广的碳酸盐岩,大面积分布于工作区中部及南部的东岗岭组、桂林组、洞村组、融县组、尧云岭组、英塘组及黄金组,连续沉积厚度 $1879 \sim 2461\text{ m}$ 。在此,峰丛耸立,峰林罗列,山中溶洞发育,平地泉潭出露,呈现出典型的热带岩溶景观。

3 岩溶塌陷时空分布特征

3.1 时间分布

(1) 季节规律

本次工作对有时间记载的67处岩溶塌陷发生的时间进行了统计分析,发现研究区岩溶塌陷主要发生在干湿季节交换时段,即水位变化幅度较大的时段,一般多发生在夏季。夏季降雨大,加之受振动、荷载作用,西干渠放水等,地下水位波动变化大,容易产生塌陷,发生于5~8月的塌陷共35起,占统计数 52.24% ,秋冬季节塌陷发生率相对较低。其中雁山区的地面塌陷多发生在秋冬季节,原因是农村灌溉用水抽取地下水引起。

(2) 年际规律

研究区岩溶塌陷发生具有明显的年代性,但由于大部分塌陷年代已久,无法确定其发生的确切时间。据资料记载,20世纪70年代以前主要受自然地理、气候条件及地质环境条件控制,一般以自然塌陷为主,70年代末以来,由于人工活动的急剧加强,主要为人类生产生活需要大量开采地下水,塌陷发生的频数上升,70年代至80年代约发生塌陷165起,约占总塌陷数的 40.9% 。

根据自20世纪90年代以来发生的有时间记录的塌陷统计资料可以看出:90年代共发生塌陷101起,仍以人为开采地下水致塌为主。自1999年底中心城区引接自来水后,塌陷发生频率明显降低,2000年代至今共发生137起,主要受修路、建房等工程活动影

响,塌陷频繁发生,由于未发生人员伤亡,研究区施工场地众多,塌陷发生后施工单位直接对其进行填埋或者被开挖成基坑,很多塌陷无法获取资料。

3.2 与控制 and 影响因素关系及其空间分布特征

研究区岩溶形态类型多样,从典型的亚热带灰岩岩溶地貌—峰丛洼地、峰林谷地及伴生的大型洞穴、地下河,到分布最广的孤峰平原,及其具有典型意义的溶孔、溶隙,在研究区具有十分重要的水文地质意义。它们的形成,揭示了研究区特定的自然地理、地质背景、

水文地质条件与岩溶发育的相互关系。岩溶发育的主要因素有以下三点:

(1) 与地貌及地下水流场关系

研究区内岩溶塌陷主要发生在溶蚀堆积孤峰平原地貌区,为 182 处,约占塌陷总数的 45.16%,发育密度 0.91 处/ km^2 ;其次发生在剥蚀溶蚀峰林平原及冲洪积阶地区,分别为 62 处、57 处,各占塌陷总数的 15.38%、14.14%,发育密度 0.93 处/ km^2 、0.39 处/ km^2 (表 1、图 2)。

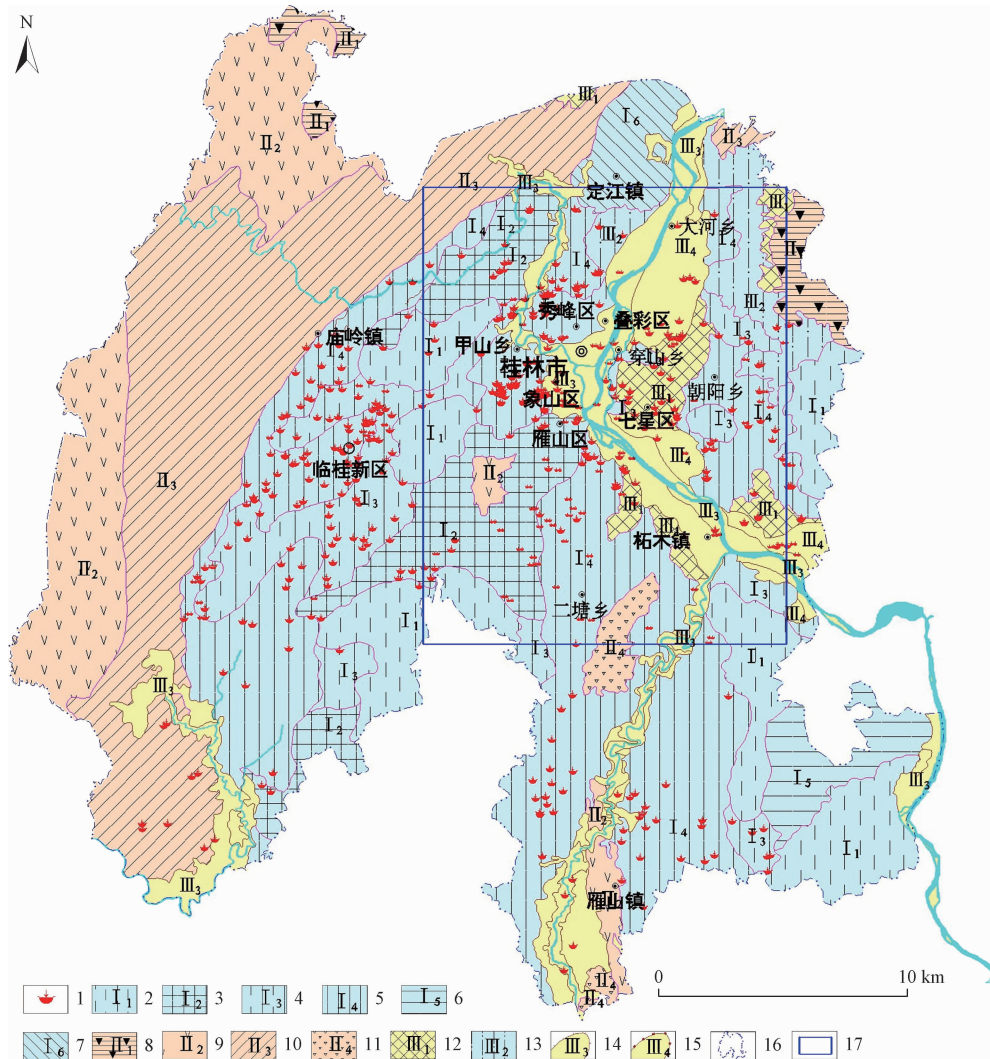


图 2 岩溶塌陷与地貌关系图

Fig. 2 Relationship between collapse and geomorphology

1—岩溶塌陷点;2—峰丛洼地;3—峰林谷地;4—峰林平原;5—弧峰平原;6—溶谷洼地;7—溶丘平原;8—低山陡坡;9—丘陵;10—缓坡丘陵;
11—波状丘陵;12—山前坡洪积群;13—垄岗台地;14—I 级阶地;15—II 级阶地;16—桂林市城区界线;17—旧城区范围

岩溶塌陷多发生在地势低洼、地下水位浅或集中径流地段。谷地和峰林平原岩溶塌陷较集中,地下水位一般 1~5 m,而地下水位深(>5 m)的一、二级阶地,冲积裙(扇)区,塌陷和土洞均较少。

桂林火车南站一带,属一级阶地,虽覆盖层厚 10~30 m,但地下水位仅 2~4 m,土洞和塌陷较集中,塌陷规模也较大,塌坑面积达数百平方米,在直径约 30 m 范围内地面出现开裂下沉。

表 1 岩溶塌陷在不同地貌类型区分布情况统计表

Table 1 Statistical table of distribution of karst collapse in different geomorphic types

地貌类型	阶地	缓坡丘陵	峰林谷地	山前坡洪积群	孤峰平原	龙岗台地	峰林平原	峰丛洼地	合计
塌陷数量/处	57	2	46	38	182	10	62	6	403
所占比例/%	14.14	0.50	11.41	9.43	45.16	2.48	15.38	1.49	100
分布面积/km ²	147.7	85.72	62.2	41.19	200.83	168.9	66.62	84.9	858.06
发育密度/(处·km ⁻²)	0.39	0.02	0.74	0.92	0.91	0.06	0.93	0.07	0.47

(2) 与可溶岩岩性关系

塌陷主要分布于下伏质纯层厚的上泥盆统融县组(D₃r)灰岩之上,塌陷数量最多,发生 221 处,发育密度 0.73 处/km²;其次为上泥盆统东村组(D₃d)灰岩,塌陷数量 120 处,发育密度 1.04 处/km²;中泥盆统东

岗岭组(D₂d)灰岩中塌陷密度最大,为 7.59 处/km²;而下石炭统鹿寨组(C₁lz)及下石炭统船埠头组(C₁c)次纯碳酸盐岩地层分布区上的塌陷密度较小,下石炭统英塘组(C₁yt)白云岩、泥灰岩地层中发育密度 0.43 处/km²(表 2、图 3)。

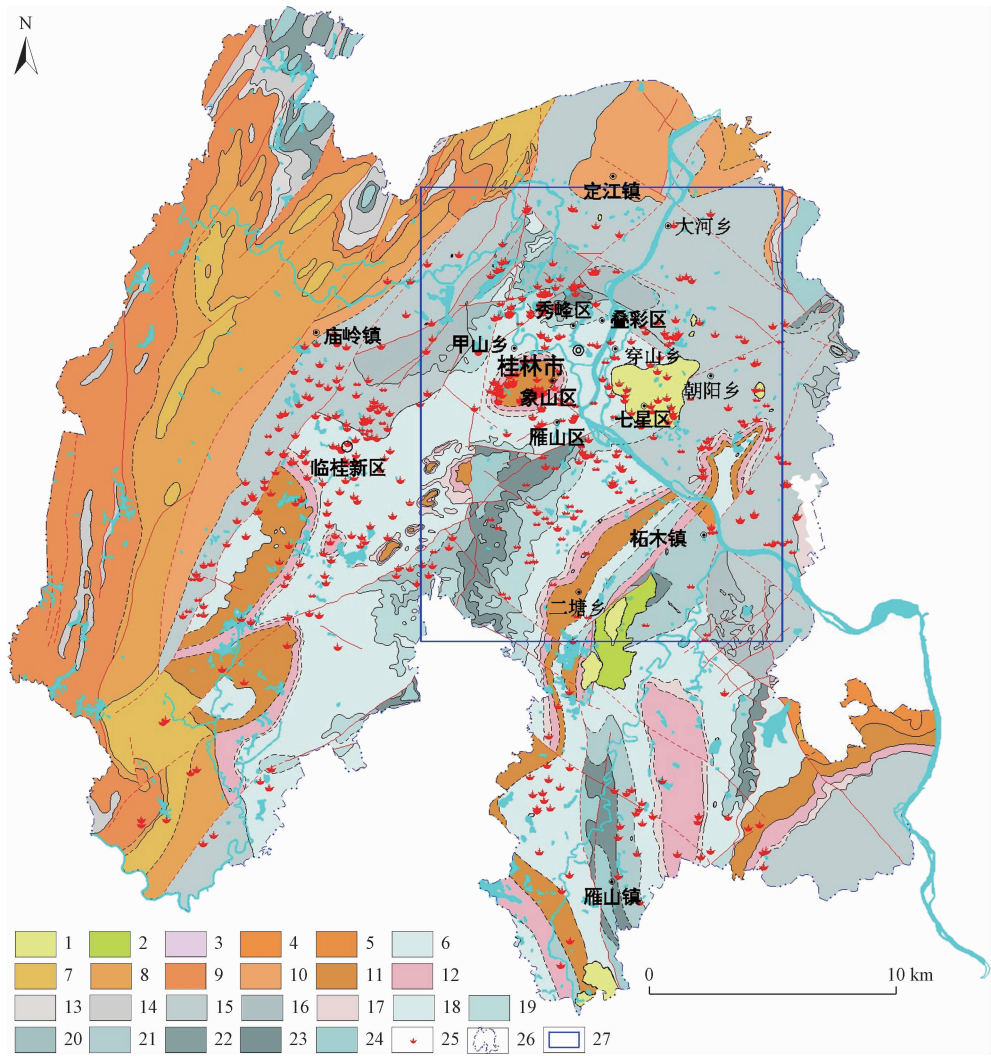


图 3 岩溶塌陷与岩性关系图

Fig. 3 The relationship between collapse and lithology

- 1—邕宁群;2—罗文组;3—扶隆坳组;4—黄金组二段;5—黄金组一段;6—黄金组;7—鹿寨组第三段;8—鹿寨组第二段;
9—鹿寨组第一段;10—船埠头组;11—英塘组;12—尧云岭组;13—五指山组;14—榴江组;15—融县组二段;
16—融县组一段;17—额头村组;18—东村组;19—桂林组二段;20—桂林组一段;21—桂林组;22—东岗岭组;
23—唐家湾组;24—信都组;25—岩溶塌陷点;26—桂林市城区界线;27—老城区范围

表 2 岩溶塌陷在不同地层岩性中分布情况统计表

Table 2 Statistical table of distribution of karst collapse in different strata and lithology

岩性	纯碳酸盐岩				次纯碳酸盐岩					合计
	东村组	融县组	桂林组	唐家湾组	东岗岭组	船埠头组	鹿寨组	英塘组	尧云岭组	
地层代号	D ₃ d	D ₃ r	D ₃ g	D ₂ t	D ₂ d	C ₁ c	C ₁ lz	C ₁ yt	C ₁ y	
塌陷数量/处	120	221	34	9	6	2	6	3	2	403
所占比例/%	29.78	54.84	8.44	2.23	1.49	0.50	1.49	0.74	0.50	100
分布面积/km ²	115.23	302.25	23.68	14.37	0.79	17.21	61.91	6.98	14.19	556.62
发育密度/(处·km ⁻²)	1.04	0.73	1.44	0.63	7.59	0.12	0.10	0.43	0.14	0.72

(3) 与人类工程活动关系

岩溶塌陷多分布在人类活动密集区,如桂林市主城区和临桂主城区,据统计,分布在主城区的岩溶塌陷占总数的 80% 以上。

与岩溶塌陷有关的人类工程活动有抽排水、水利工程蓄水与引水、荷载(工程荷载、车辆荷载等)、人工

爆破、振动、废液下渗等。

为反映桂林市规划中心城区岩溶塌陷地质灾害现状的发育密度,根据地形地貌、地层岩性、岩溶发育程度、地质构造、地下水活动情况、人类工程活动情况等对地质灾害发育及分布的影响,对临桂新区岩溶塌陷地质灾害现状进行发育密度分区(图 4)。

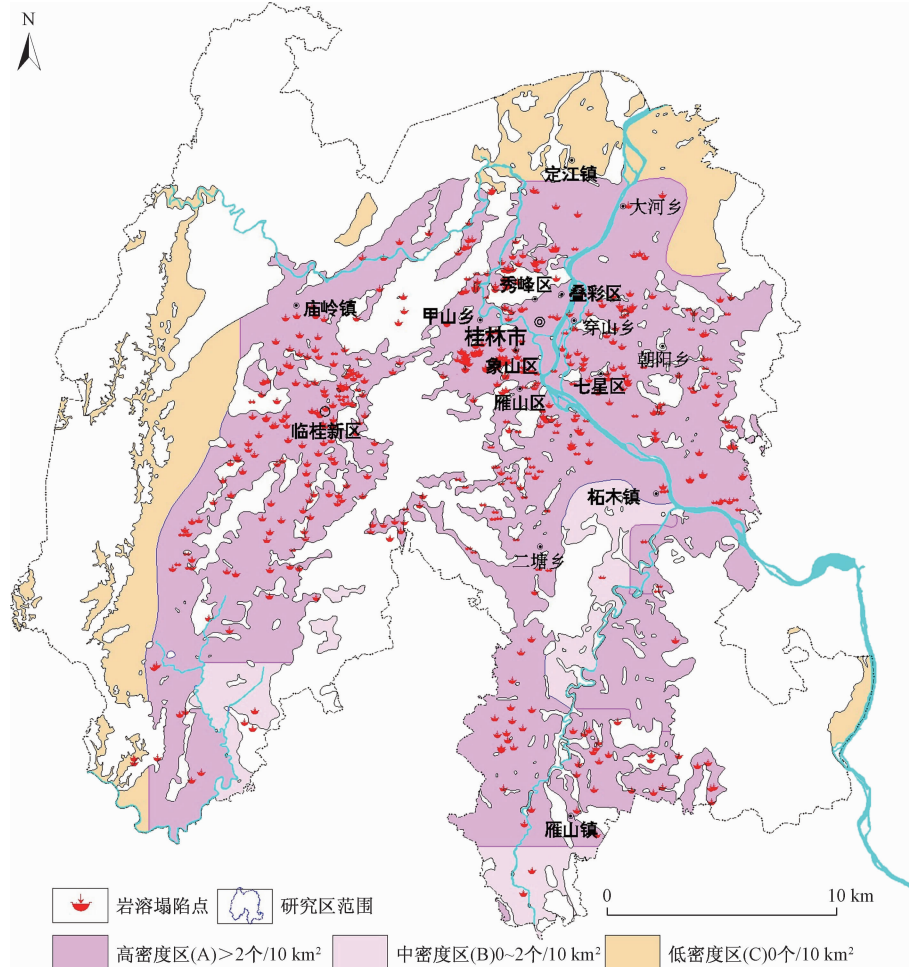


图 4 岩溶塌陷发育密度分区图

Fig. 4 Division map of karst collapse development density

其中高密度区(A区):面积 222.66 km²,岩溶塌陷地质灾害发育密度 16 处/10 km²。主要位于临桂庙

岭镇至太平村一带,桂林市秀峰区、甲山乡、象山区、雁山区、叠彩区等主城区,东部岩前村—湖塘村—龙门村

一带,中部平山至雁山头,南部北芬村至雁山镇(A区),该区分布质纯碳酸盐岩,地下水水量丰富,再加上该区人口密集,岩溶塌陷受人类工程活动影响较大。另外,在桂林市大黄埔—奶牛场峰丛洼地地带塌陷发育密度大,该区分布质纯碳酸盐岩,且位于区域地下水的补给区,岩溶塌陷主要是由于地下水受降雨影响反应迅速,地下水潜蚀作用强烈所致。中等密度区(B区):面积493.51 km²,岩溶塌陷地质灾害发育密度1处/10 km²。主要位于工作区岩溶区除高密度区以外的广大区域。该区分布有质纯的碳酸盐岩、次纯碳酸盐岩,地下水水量中等-丰富,人类工程活动主要为村民生活开采地下水,塌陷分布均匀。低密度区(C区):面积164.15 km²,岩溶塌陷地质灾害密度为0处/10 km²。主要分布于工作区西部碎屑岩分布区,不具备岩溶发育条件。

4 致塌因子

研究区内岩溶地面塌陷的致灾因子归纳起来可以分为以下2类:

4.1 水的作用

研究区的土洞、塌陷多数属地表水渗蚀和地下水潜蚀作用形成,两者塌陷的形成阶段特征略有差别,分述如下:

(1) 地表水渗蚀

此类塌陷多分布在岩溶区地表水较丰富的地段,如零星分布在西干渠两侧,水塘附近,塌陷数目较少。以及城市排污管道系统、城市集雨排污沟、自来水管道路等渗漏问题引发的地面开裂、沉降、塌陷。

地表水渗蚀型塌陷形成的整个过程时间有长有短,长则几十年,短者仅几天。主要取决于地表水来水量、水位差及土体抗冲蚀能力、土层厚度等,来水量愈充足、水位差愈大、土体抗冲蚀强度愈低、土层愈薄,时间久愈短暂,反之愈长。

(2) 地下水潜蚀

研究区多数塌陷由于地下水潜蚀形成。地下水潜蚀形成的土洞一般由水位反复升降引起。地下水潜蚀型塌陷形成的整个过程时间可长可短,长者几年,甚至几百年,短者只需几小时或几分钟。主要取决于地下水位变幅、频度、土体的崩解速率、土层厚度以及地下岩溶的规模、连通性等。地下水位变幅愈大、频度愈高、土体的崩解速率愈大、土层愈薄、地下岩溶规模愈大、连通性愈好,所需时间就愈短,反之,则愈长。

地下水集中径流带,地下水活动强烈,上覆土体易

受到冲刷和潜蚀,岩溶塌陷往往沿径流带呈线状产生,如轮胎厂—龙门,这种现象最明显。一级阶地的前缘,是地下水的排泄区,洪水期往往形成河水倒灌,地下水活动强烈,一级阶地塌陷主要发生在此段,塌陷数约占一级阶地总塌陷数42%。在垂向土洞多发育于基岩面附近或地下水季节变动带内,河流阶地二元或多元结构土层内,除个别土洞发育于岩、土交界面外,主要是发育于粉质黏土与砂卵石层交界面附近。在硬塑状黏土或黏土卵石层中,局部网状裂隙发育或岩性的变化,常形成上层滞水,地下水沿裂隙潜蚀、扩大也往往形成不规则的土洞。

4.2 振动爆破加载

主要分布在施工道路沿线、居民集中区、施工建筑点、矿山开采点。引发的危害较大,以塌陷群的形式出现。如人民路一号桥桥基塌陷,发生于2014年7月11日,桥梁桩基础施工,采用机械冲孔成桩灌注混凝土方案,两桥墩24#、27#桩基础同时冲孔完成,混凝土即将浇筑到桩顶标高时,突然发生消浆,瞬间塌孔,准备浇筑混凝土的24#桩基础孔内泥浆也迅速下沉,随即塌孔。在塌孔的同时P2桥墩南侧24#与27#两根桩之间地面下沉一条深约2m的地面塌陷沟槽。2014年7月19日下午19时左右A1桥台与P1桥墩范围内突然发生较大岩溶地面塌陷,还听到似地下洞内石头滚落的声音。当天晚上,塌坑内有地下水漫上来,塌坑内水面标高152.53m,临时河道水面标高152.72m,相差0.19m。随后几天共发生7个塌坑,深度也发展为4~25m不等,塌坑体积近5000m³。

经对勘察资料和现场调查分析,桥基施工点位于地表河流内,上覆砂质黏土,土层薄,仅2~3m,下伏D₃d组纯灰岩,岩溶裂隙溶洞发育。在振动力的作用下,岩溶裂隙更加开放,地下水渗透性增强,同时灌浆增加了上覆载荷,溶洞、基岩裂隙、溶沟互相连通,地表水与地下水贯通,孔壁失去孔内压力引起塌孔,诱发基岩岩溶塌陷。

5 结论

(1) 桂林市规划中心城区湿润多雨、地质构造错综复杂、质纯层厚的灰岩地层、人类工程经济活动都是岩溶地面塌陷的孕灾前提。

(2) 桂林市规划中心城区岩溶地面塌陷分布规律明显:夏季降雨大,加之受振动、荷载作用,西干渠放水等,地下水位波动变化大,容易产生塌陷,发生于5~8月的塌陷共35起;岩溶塌陷主要发生在溶蚀堆积孤峰

平原地貌区,地势低洼、地下水位浅或集中径流地段,下伏质纯层厚的上泥盆统融县组(D_3r)灰岩之上和人类活动密集区。

(3)研究区的土洞、塌陷多数属地表水渗蚀和地下水潜蚀作用形成,其次为振动爆破加载。主要分布在施工道路沿线、居民集中区、施工建筑点、矿山开采点。引发的危害较大,以塌陷群的形式出现。

参考文献:

- [1] 袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京:地质出版社, 1994. [YUAN D X. Chinese karstology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994. (in Chinese)]
- [2] 冯佐海,梁金城,李晓峰,等. 桂林市岩溶塌陷成因类型与时空分布特征[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(3): 92-97. [FENG Z H, LIANG J C, LI X F, et al. Genetic types and distributive characters of Karst collapses in Guilin urban and suburban area, Guangxi Province [J]. Journal of Natural Disasters, 2001, 10(3): 92-97. (in Chinese)]
- [3] 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. [FENG Z H, LI X F, ZHANG M H, et al. Distribution of Karst collapses and its relation to geological structures in the Guilin urban and suburban areas, Guangxi Province [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2001, 12(2): 16-20. (in Chinese)]
- [4] 肖明贵. 桂林市岩溶塌陷形成机制与危险性预测[D]. 长春:吉林大学, 2005. [XIAO M G. The forming mechanism and forecast of fatalness about Karst subsidence in Guilin City [D]. Changchun: Jilin University, 2005. (in Chinese)]
- [5] 万志清,秦四清,祁生文. 桂林市岩溶塌陷及防治[J]. 工程地质学报, 2001, 9(2): 199-203. [WAN Z Q, QIN S Q, QI S W. The karstic collapse and its protection in Guilin City [J]. Journal of Engineering Geology, 2001, 9(2): 199-203. (in Chinese)]
- [6] 江思义,吴福,刘庆超,等. 广西桂林市规划中心城区岩溶发育特征及分布规律[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(3): 120-128. [JIANG S Y, WU F, LIU Q C, et al. Karst development characteristics and distribution in Guilin urban planning center of Guangxi Zhuang Autonomas Region [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(3): 120-128. (in Chinese)]
- [7] 吴福,江思义,刘庆超,等. 广西桂林市规划中心城区岩溶塌陷易发性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(5): 83-91. [WU F, JIANG S Y, LIU Q C, et al. Evaluation of susceptibility of Karst collapse in urban planning area of Guilin City of Guangxi Zhuang Autonomous Region [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(5): 83-91. (in Chinese)]
- [8] 江思义,吴福,王启耀,等. 岩溶地区地下空间开发适宜性评价——以桂林市规划中心城区为例[J]. 桂林理工大学学报, 2019, 39(2): 402-409. [JIANG S Y, WU F, WANG Q Y, et al. Karst development characteristics and distribution in Guilin urban planning center of Guangxi Zhuang Autonomas Region [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2019, 39(2): 402-409. (in Chinese)]