

江西省宜春城区地面塌陷特征及防治建议

刘细元，马振兴，杨永革，吕少俊，张永忠，陶木金
(江西省地质调查研究院，江西南昌 330201)

摘要：宜春城区属岗阜低丘地形，分布石炭系-二叠系覆盖型及裸露型碳酸盐岩，占城区面积近 70%。浅部岩溶发育，覆盖层厚度一般小于 20m，土洞较多，基岩面起伏大，第四系岩性结构复杂，地下水埋藏浅。由于抽采地下水及建筑施工振动等人为因素影响，诱发地面塌陷 12 处，造成重大经济损失。在城市规划功能布局时应充分考虑地面塌陷的易发程度及场地建设适宜性；应限制诱发塌陷因素的强度，在易发区须严格控制地下水开采，严禁新建开采井；塌陷治理的主要方法有填堵、跨越、灌注、深基础控制抽排水强度、及其它综合治理或避让方法，同时做好灾害的监测预报工作。

关键词：地质灾害；地面塌陷；易发程度；防治措施；江西宜春

宜春市位于江西省中西部，素有“赣西重镇”之称。该城区地处碳酸盐岩岩溶区，自 20 世纪 60 年代以来，随着经济建设的发展，因局部过量开采地下岩溶水及建筑施工振动等人为作用，致使城区迄今共发生 12 处地面塌陷（图 1），造成建筑物开裂变形、倒塌，甚至人员伤亡，严重影响当地的经济发展及民生安全。因此，有必要对城市规划区的地面塌陷及其周边的地质环境条件进行调查评价，掌握地面塌陷形成、发生的地质背景，提出防治对策及建议，为城市规划、经济建设服务。

1 地质环境

1.1 气象水文及地形地貌

地貌

研究区地处亚热带季风型气候区，春暖夏热，秋燥冬寒，四季分明，雨水充沛。年降雨量（1965~2000 年）1614.41mm，其中 3~6 月约占全年的 55%。赣江一级支流-袁河自西向东蜿蜒流经城区。宜春城区位于赣西丘陵山区的前缘地带，地势总体上垂直袁河呈马鞍形展布。南、北标高一般为 100~200m，属岗阜低丘地形，中部地势平坦，属河谷平原，标高 80~100m。城区岗间谷地微地貌较发育。碳酸盐岩区地表形态多呈孤丘状，四周残积红土环绕，地表露头极少。

1.2 地层岩性及地质构造

研究区位于扬子板块与华南板块对接带——萍（乡）乐（平）构造带西

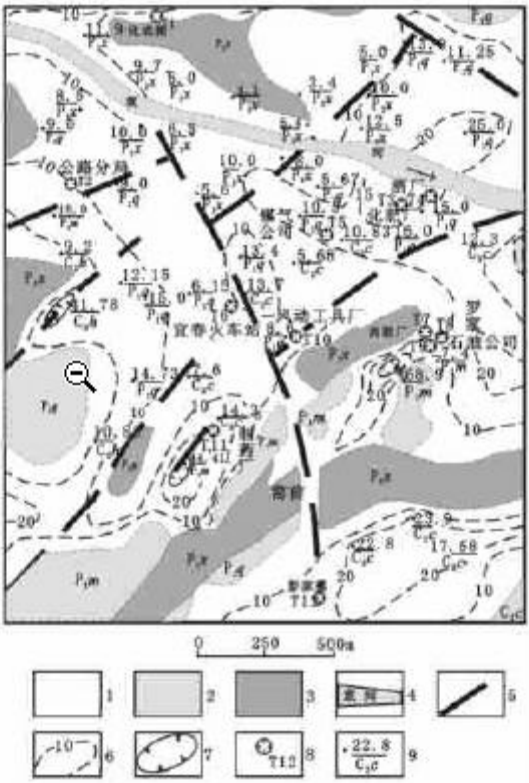


图 1 宜春城区地面塌陷与地质环境略图

Fig. 1 Sketch map of ground collapse and geological surroundings in Yichun urban area

1- 第四系;2- 可溶岩;3- 非可溶岩;4- 河流;5- 断层;6- 第四系厚度等值线;7- 第四系厚度大于 30m 区;8- 地面塌陷及编号;
9- 第四系厚度P下伏基岩地层代号(C₂h- 黄龙组, C₂c- 船山组;P₁q- 栖霞组,P₁x- 小江边组,P₂m- 茅口组)

端南侧,地质构造复杂,褶皱和断裂发育,且两者走向均呈 NE 向。地表除周边与中部零星出露石炭系-二叠系碳酸盐岩,碳酸盐岩与碎屑岩互层,以及西南部出露的震旦系-寒武系浅变质岩系外,绝大部分为第四系冲积层及残积层,其中全新统冲积层具二元结构,主要分布于袁河及次级支流两岸;上更新统冲积层零星分布于袁河 II 级阶地;残积层则广泛分布于全区。

1.3 岩土体工程地质特征

1.3.1 碳酸盐岩层:岩石抗压强度 90~160MPa,中-微风化带 35~64MPa。岩溶发育,溶沟、溶槽、溶洞、落水洞、溶蚀常见。工程地质条件复杂,适宜各种建(构)筑物,但必须进行详尽的工程地质勘察。

1.3.2 碎屑岩夹碳酸盐岩层:弱含基岩裂隙水。中-微风化带抗压强度 4.7~19.4MPa,岩质性软,层间结合力差,吸水易软化、膨胀。工程地质条件简单-中等,适宜多层、小高层建筑,对于高大建筑应采用适宜的基础形式。

1.3.3 碎屑岩层:弱含基岩裂隙水。中-微风化带抗压强度 7~12MPa,岩质性软,易风干、软化。工程地质条件简单,适宜 II 级以下各类建(构)筑物,对 I 级建(构)筑物应进行详细勘察论证。1.3.4 残积层:水量贫乏。天然含水量 16.7%~65.5%,孔隙比 0.472~1.4,液性指数 <0.32 ,压缩系数 0.13~0.72,承载力 100~280kPa。土层内土洞较发育,且常发生地面塌陷或不均匀沉降。工程地质条件一般较简单。当下伏为强岩溶化碳酸盐岩地层时,工程地质条件较复杂。

1.3.5 上更新统冲积层:上部粘土天然含水量 18.7%~28.7%,孔隙比 0.545~0.822,液性指数 <0.29 ,承载力 200~300kPa;下部砂砾卵石层承载力 200~480kPa。工程地质条件较为简单,适宜一般工业和民用建筑;在有些区段,由于下伏碳酸盐岩层中土洞、溶洞发育,不宜建高大建筑物,同时应严格禁止开采地下岩溶水。

1.3.6 全新统冲积层:上部粘土天然含水量 21%~32.9%,承载力 110~250kPa;粉细砂层承载力 1100~160kPa;下部粗砂、砾、卵石层承载力大于 200kPa。工程地质条件一般较为简单,适宜一般工业和民用建筑;当下伏为强岩溶的碳酸盐岩层时,工程地质条件较复杂,应查明岩溶发育规律,选取适宜的基础形式。

1.4 水文地质特征

第四系松散岩类孔隙水:其动态变化明显受大气降水的控制。一般季节接受降水的垂直补给,并向河流排泄。洪水季节河水暴涨至 86.11m,河水反向补给地下水;枯水季节河水下降至 83.16m,受基岩裂隙水及岩溶水侧向补给,向河流排泄。

碳酸盐岩类裂隙溶洞水:受大气降水补给,沿岩溶裂隙管道流向排泄区。南、北岗阜区向中部的袁河方向迳流,遇到弱透土层或断层阻隔及地形切割,则上升为泉,排泄于地表或第四纪沉积物含水层。由于岩溶水已得到较大的开发,其水位变化与开采强度密切相关。

碎屑岩类裂隙水:其补给、迳流、排泄条件受风化裂隙和构造裂隙控制。接受大气降水垂向补给,沿裂隙带运动,一般在冲沟或陡坎处就近排泄于地表或第四系含水层。

2 岩溶地质特征及发育规律

2.1 第四纪覆盖结构厚度及分布特征

2.1.1 可溶岩区的第四系覆盖层:冲积层厚度一般小于 16m,多为 5~10m,主要分布于袁河及其支流两岸,底部一般分布有较稳定的砂砾卵石层;残积层多分布于远河地段,以及冲积层底部。由于可溶岩顶面的溶蚀作用,基岩面起伏大,残积层厚度变化较大,一般 6~20m,局部达 30m,而大于 30m 的分布区,一般为隐伏的岩溶漏斗。

2.1.2 非可溶岩区的覆盖层的岩性结构与可溶岩区相似,厚度一般 3.5~10m,主要分布于城区西北及西南部。

2.2 岩溶及土洞形态特征

城区可溶岩露头较少,大面积为第四纪堆积物覆盖。在可溶岩裸露区,残坡积层厚度一般小于 2 m,且分布不连续,地下水位埋藏较深(基岩面以下),岩溶形态一般呈垂向发育,溶沟、溶槽、石芽常见,但规模较小。岩溶洼地的长轴均呈 NE 或 NEE 向,即与地层走向大体一致。溶洞是区内地下岩溶形态的主要形式,洞体的形态变化较大。小型溶洞多呈裂隙状和管道状,洞高几十 cm~10m;大型溶洞呈厅状、廊道状,洞高一般 2~6m,钻孔揭露最大洞高 15.88m。溶洞发育呈多层式,上下层溶洞之间多有水力联系,以溶蚀裂隙或其它岩溶管道连通。溶洞的充填情况变化较大,未充填、半充填及充填均有。覆盖了的溶沟和溶槽及落水洞,经钻孔揭露深度一般为 22~45m,最大揭露深度 68.9m,一般有粘土碎石等充填。

土洞多发育于以网纹状红粘土为主的残积层(有的含灰岩碎块)中,洞高 1.7~4.8m,底部一般被垮落的土体充填。

2.3 岩溶发育规律

2.3.1 岩性特征与岩溶发育的关系

城区的可溶岩为二叠系下统的栖霞组、茅口组、鸣山组及石炭系上统黄龙组、船山组,其中栖霞组的分布地段岩溶最发育,线岩溶率达 22.8%、见洞率 70.8%。

2.3.2 地质构造与岩溶发育关系

褶皱:区内褶皱发育,在褶皱的轴部和倾伏端构造裂隙-岩溶裂隙特别发育,岩溶率明显提高;可溶岩与非可溶岩基本上呈相间的条带状展布,由于褶皱作用,岩溶水顺层面与不同岩性接触带作用增强。有的部位由于非可溶岩的阻隔作用,在地势低洼处,岩溶水沿岩性接触带上升成泉。

断裂:断裂是地下水运移的通道,是岩溶发育的重要条件之一。区内岩溶发育的方向总体上与断裂构造线方向一致,呈 NE-NEE 向,局部受次级断裂控制而呈 NW 向。断裂构造附近岩溶发育强度和深度成倍增加,远离断裂构造则反之。另外,由于断层的阻隔与导水作用,在断裂的交汇结合部位其岩溶作用也异常发育,尤其是垂向的更为发育,并多出露泉水。

2.3.3 地貌与岩溶发育的关系

城区虽大部分为覆盖型岩溶区,但在地形低洼处,由于汇水作用,地下岩溶一般较发育,平均线岩溶率 12.7%,钻孔见洞率 59.8%。

3 地面塌陷现状及其发生原因

3.1 地面塌陷现状

宜春城区发生的地面塌陷,主要属覆盖型岩溶塌陷。圆形和椭圆形陷坑是塌陷的主要形态。当下伏岩溶呈条带状分布而产生塌陷时,陷坑多呈长条状,或多个圆形陷坑相连成条带状,如化成街塌陷(T1):陷坑长 30m,宽 5m,呈一长条状;不规则状塌陷常发育于塌陷比较密集的区段,由多个陷坑组合,或下部溶洞本身不规则而形成,如煤气公司塌陷(T5);另外,由于下伏岩溶发育的规模较小,有些塌陷的形式表现为地裂或地面不均匀沉降变形等,如罗家塌陷(T8);塌陷规模不等,陷坑直径小者 1~5m,大者 10m。其中长条形的一般规模较大,有 30m×5m,有 16m×13m。塌陷灾害的产生一般具有群发性,多数塌陷一次可产生数个甚至十数个陷坑。城区地面塌陷的影响范围小于 100m²的小型塌陷 3 处,占总数的 25%;100~1000m²的中型塌陷 4 处,占总数的 33.3%;1000~10000m²的大型塌陷 2 处,占总数的 16.7%;大于 10000m²的巨型塌陷 3 处,占总数的 25%。

3.2 地面塌陷发生原因

3.2.1 形成的基本条件

3.2.1.1 从现有塌陷的分布来看,覆盖层的厚度及岩性对塌陷的形成起着重要的作用。据统计,塌陷大多产生于土层厚度小于 15 m 的地段,且厚度 5~10m 产生塌陷的密度最大,陷坑数量最多,其规模多为大型或巨型。如肉联厂塌陷(T7)和石油公司塌陷(T9)。土层厚度大于 15m 的塌陷数量较少,土层厚度大于 20m 者目前尚未发生(发现)。在具二元结

构的砂砾石层中,细颗粒易在地下水的运移中被携带走,土层结构遭到破坏,在强抽水作用下,即产生塌陷。如化肥厂塌陷(T3)。

另外,土洞的存在是潜在的塌陷。土洞埋藏于土层中,多呈空的球状、半球状,下部一般被垮落的土体充填。土洞的分布主要集中于岩土界面附近及地下水的季节变动带内,随着时间的推移,土洞不断发展,以及在其它诱发因素的作用下,极易产生塌陷。

3.2.1.2 下伏基岩是否存在有开口朝上的岩溶洞隙

是上覆土体能否产生塌陷的基础条件之一。下伏岩溶洞隙的规模、形状以及发育方向也决定了陷坑的规模、形状、及散布排列方向。

3.2.1.3 地下水活动是岩溶塌陷形成过程中重要的动力因素。由于地下水的搬运作用以及对土体中可溶盐的溶蚀溶解作用,使上覆土体的结构发生变化,改变了土体原来的平衡状态。城区地下水位埋深一般为0.6~22m,基本位于土岩接触带附近。由于抽水造成水位不断变化,致使岩溶洞穴中的正负压力随之也发生改变,造成对土体的挤压及吸蚀作用,土体平衡被逐渐打破,最终形成地面塌陷。同时,在地下水的“浸泡”作用下,粘性土的含水量增高,由可塑以上状态逐渐向软塑-流塑状态发展,力学强度大为降低,从而使其在地下水位下降时极易向下部岩溶空间运移,形成土洞,进而导致塌陷的产生。

3.2.2 诱发因素

3.2.2.1 抽采地下水是城区地面塌陷产生的主要诱发因素。目前,城区岩溶水开采总量约33000m³。由于大量开采,增强了地下水对上覆土体的潜蚀作用。

随着抽水时间延续,破坏了土体结构平衡。地下水位大幅下降,导致地下水对土体浮力减小以及水位下降引起负压等因素,最终导致地面开裂、变形、塌陷等灾害的发生。属于这一类有化肥厂T3、酒厂T4、风动工具厂T10、肉联厂T7、石油公司T9、制药厂T11塌陷等多处。这些塌陷与致塌开采井的距离一般小于200m,大多在100m左右。这与现今开采强度有关,若抽水强度增大,其影响半径也很可能增大,即塌陷灾害发生的范围也将随之增大。

3.2.2.2 附加于岩土体—洞穴顶板的荷载一旦超过原有强度时,将造成顶板破坏引起塌陷。而振动荷载由于反复施加于岩土体上,土体发生压密下沉效应、振动液化效应、塑流变形效应等,使原土体构造遭受破坏,在有溶洞的位置则引起塌陷灾害的产生。如火车站塌陷(T6):火车站候车大楼下伏为栖霞组灰岩,基岩面起伏大,岩溶发育,由于火车进出站振动和人员流动荷载等,使桩基础桩尖顺岩面滑移,以及小溶洞顶板陷落,导致整个大楼发生不均匀沉降和墙体开裂变形。

3.2.2.3 由于土体中自身不断形成土洞,降雨时,因雨水下渗作用和土体容重增加,使土洞进一步向上发展,最终失去平衡状态,导致产生塌陷。如在风动工具厂区,有土洞发育的良好条件,上覆土体为残积红土及冲积砂层,且均位于地下水位以下,呈流塑状态和可流动的砂;下伏基岩为岩溶较发育的栖霞组灰岩,有储存和运移潜蚀物质的空间和通道;地下水位在土岩接触带变动频繁。这些条件的存在,使厂区土体内土洞较为发育,在雨季多次产生小的塌陷。

4 岩溶地区地面塌陷稳定性评价

4.1 地面塌陷危险性现状评价

按已发生地面塌陷的稳定状态和对城市建设工程危害程度,以及损失大小情况等,将地面塌陷的危险性分为危险性大、危险性中等、危险性小3个级别进行评价。现就野外调查资料,将城区12个塌陷点进行现状评价(表1)。

4.2 地面塌陷易发程度分区

根据基本岩溶环境地质条件相近相似性,将城区内覆盖型碳酸盐岩区划分为易发区,裸露型碳酸盐岩区划分为次易发区,对不具备产生塌陷环境地质条件的区制(即非可溶岩区)

划分为不易发区（表 2）。

表 1 宜春城区地面塌陷点危险性现状评价表

塌陷地点及编号	规模(m ²)			诱发因素	危害对象	损失情况	现状稳定性	现状危险性
	最大陷坑面积	影响面积	型号					
化成街 T1	150		中	振动	城市交通及民房	大	稳定	小
公路局 T2	15		小	开采地下水	居民 1 民房	中等	基本稳定	中等
化肥厂 T3	5.3	> 100	中	开采地下水	主体建筑物	中等	基本稳定	中等
酒厂 T4	> 100	> 100	中	开采地下水	主体建筑物	中等	基本稳定	中等
煤气公司 T5	19.6	3700	大	振动	城镇, 主体建筑物	大	不稳定	大
火车站 T6	< 100	500	中	荷载, 振动	主体建筑物	中等	基本稳定	中等
肉联厂 T7	208	> 1000	巨	开采地下水	农田	小	基本稳定	小
罗家 T8	> 10		小	开采地下水	居民, 民房	中等	基本稳定	中等
石油公司 T9	4~ 5	> 1000	大	开采地下水	主体建筑物	中等	基本稳定	中等
风动工具厂 T10	> 100	> 10000	巨	降雨, 开采地下水	城镇, 主体建筑物	大	不稳定	大
制药厂 T11	< 10		小	开采地下水	主体建筑物	中等	基本稳定	中等
彭家墓 T12	5~ 8	> 30000	巨	开采地下水	居民 1 民房	中等	不稳定	大

表 2 宜春城区地面塌陷易发程度和防治区划及场地建设适宜性评价简表

Table 2 Assessment on vulnerability and control zoning of ground collapse and suitability of construction sites in Yichuan urban area				
塌陷易发程度	易发区		次易发区	不易发区
	I 类易发区	II 类易发区		
碳酸盐岩区	覆盖型碳酸盐岩区		裸露型碳酸盐岩区	埋藏型碳酸盐岩区 (非可溶岩区)
第四系覆盖层	厚度 (m) [20	> 20	5<	-
岩性结构	二元结构, 下为砂砾石, 上为软塑- 可塑粘性土	二元结构, 下为砾卵石, 上为可塑- 硬塑粘性土	残坡积层	-
浅部岩溶发育程度	> 10%	> 10%	< 10%	-
地下水位	位于基岩面以上	< 10% 硅质灰岩	位于基岩面以下	-
主要分布位置	袁河大桥- 坤田 ! 十里铺- 下浦 袁河大桥- 坛前- 周家里 ! 石陂头- 火车站- 厚田等		岩背- 大圆山- 坤田 ! 黄泥塘 ! 火葬厂 ! 半边山 ! 外贸仓库 ! 城山下等	城西周家- 张家山 ! 宜春学院- 秀江桥- 钓鱼台- 上坤田 ! 易家坊- 董家窝 ! 东方材料厂- 贮木场 ! 樟山- 上陈等
防治区划	重点防治区: 包括袁河大桥- 坛前- 周家里 ! 十里铺- 厚田等为限采地下水综合防治区; 东部规划区的周家里- 坤田和厚田- 下浦为禁采地下水综合防治区等 3 个防治区段		一般防治区 (22 个防治区段)	无需防治区 (5 个防治区段)
场地建设适宜性	适宜性较差		较适宜	适宜
适宜规划的建筑类型	一般建筑物适宜; 除采用嵌岩基础外, 重要建筑物不适宜		一般建筑物适宜; 重要建筑物基本适宜	各类建筑类型适宜

5 地面塌陷防治区划与建议

5.1 防治原则和目标

地面塌陷灾害的防治应以“以防为主，以治为辅，防治结合”为原则。通过防治规划方案的实施，形成防灾减灾的地方性法规和管理制度，完善防灾减灾工作管理体制和运行机制；以多种形式的宣传教育，加强防灾减灾意识，提高防灾减灾知识水平；全面开展塌陷灾害监测预报和群测群防工作；有效控制人为因素造成的地面塌陷灾害等。

5.2 防治区划及场地建设适宜性评述

宜春城区区域稳定性好，新近构造运动表现为缓慢的抬升，总体来说，作为建设场地是适宜的。但是，由于城区分布有较大面积的覆盖型岩溶区，下伏碳酸盐岩岩溶发育，特别是浅部岩溶相当发育，岩溶洞隙众多，基岩面起伏大，盖层的厚度小，使地面塌陷灾害成为城市主要环境地质问题。综合考虑城区现今塌陷灾害发生情况、地面塌陷灾害易发程度、第四系覆盖层厚度以及基岩面起伏变化、地下水位埋深、抽水影响因素等，将城区划分为 3 个重点防治区段、22 个一般防治区段及 5 个无需防治区段。将城区建设场地适宜性划分为适宜性较差区、较适宜区、适宜区 3 类（表 2）。

5.3 防治措施建议

5.3.1 预防措施：在城市功能布局时应充分考虑地面塌陷的易发程度及场地建设适宜性；限制诱发因素的强度，特别是在易发区须严格控制地下水开采，严禁新建开采井；工程勘察应查明地面塌陷地质环境条件，为设计及施工提供地质科学依据；工程设计应充分考虑场地建设适宜性，基础设计应重点考虑地面塌陷、地面不均匀沉降及基岩面起伏大而造成基础滑移等不良地质条件；基础施工应避免采用坑井大量排水及强烈的振动施工方法；应加强地面塌陷的环境监测，当发现抽水时变量变色、地陷、地裂、地面不均匀沉降、墙裂、门窗开关异常等情况，应及时查找原因及致灾因素，为避险和治理提供依据。

5.3.2 治理措施：地面塌陷的防治主要针对塌陷形成的3个要素（地下水、土体及岩溶洞隙），进行堵截水流，强化土层和洞穴沉积物，填堵岩溶通道等。塌陷治理的主要方法有填堵、跨越、灌注、深基础控制抽排水强度、及其它综合治理或避让方法。做好灾害监测预报工作。城区现有地面塌陷点的防治措施见表3。

5.3.3 行政管理措施：建立地面塌陷防治领导机构；制定保护地质环境、防治地面塌陷的地方性法规和制度，落实部门专项管理。在覆盖型岩溶区进行工程建设时，除由建设规划部门审批外，勘察工作应在市（区）国土部门的指导下进行，勘察成果必须经审查验收后方可提交设计部门使用；工程基础施工时，应采用非振动式基础类型，严禁采用振动式基础类型，基坑开挖降水时应慎重进行，宜采用坑壁坑底止水后再坑内抽排水法，以减少对周边环境的影响；对城区的地下水开采应严格控制，禁止新建开采井，现有的开采井应由地下水资源管理部门重新审核开采量，严禁超采；多渠道筹集地质灾害防治资金，宁可有备无患，坚持常备不懈，专款专用；对人为因素致灾情节严重的本着谁破坏谁治理的原则；加强地质灾害（尤其是地面塌陷）防治知识的宣传教育，培训地质灾害防治技术人员及管理人员。

本文是国家地质大调查项目——江西省主要城市环境地质问题调查评价项目的阶段性成果之一，是集体劳动的结晶。所引用资料主要源于江西地质工程勘察院（2000~2002年）《宜春市城区地面塌陷灾害勘察报告》和本项目综合调查研究成果。

本文在成文过程中得到了袁存堤高级工程师的热情帮助，在此表示感谢。

参考文献：

[1] 张成恭, 李智毅, 郑达辉, 等. 专门工程地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1988.

[2] 张倬元, 等. 工程地质勘察[M]. 北京: 地质出版社, 1981.

[3] 胡广, 杨文元, 等. 工程地质学[M], 北京: 地质出版社, 1984.

[4] 南京大学. 工程地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1982.

[5] 天津大学. 土力学与地基[M]. 北京: 人民交通出版社, 1980.

[6] 任美镔, 刘振中. 岩溶学概论[M]. 北京: 商务印书馆, 1983.

[7] 陕西省综合勘察院. 工业与民用建筑工程地质勘察[M]. 北京: 中国建筑工业出版社.

[8] 地质矿产部《地质辞典》办公室. 地质辞典（四）[M]. 北京: 地质出版社, 1986.

[9] 卢耀如. 中国岩溶发育规律及若干水文地质工程地质条件[J]. 地质学报, 1973, (1)

表3 宜春城区现有地面塌陷点防治措施一览表		
Table 3 Prevention and cure measures for existing ground collapse places in Yichun urban area		
防治措施	代号	塌陷点与编号
避让	A	煤气公司T5
工程治理	B	化成街T1!火车站T6
限制人为活动	C	公路局T2!化肥厂T3!酒厂T4!肉联厂T7!罗家T8!石油公司T9!风动工具厂T10!制药厂T11!彭家墓T12
监测预报	D	化成街T1!公路局T2!化肥厂T3!酒厂T4!煤气公司T5!火车站T6!肉联厂T7!罗家T8!石油公司T9!风动工具厂T10!制药厂T11!彭家墓T12