

广州岩溶塌陷形成条件及主要影响因素

雷金山¹, 阳军生¹, 肖武权¹, 刘成军²

(1. 中南大学土木建筑学院, 长沙 410075; 2. 广州市地下铁道设计研究院, 广州 510010)

[摘要]广州市岩溶塌陷主要分布在广州西北的广花盆地内, 根据大量勘查资料分析, 得出岩溶塌陷形成条件及其主要影响因素是复杂和多方面的, 如覆盖层岩土性状与厚度、岩溶发育程度、气候条件、地下水与人类工程活动等。覆盖层土体结构越疏松、级配越好、强度越低、厚度越小, 岩溶越发育, 越容易产生土洞和塌陷; 降水季节和持续性的强降雨天气或久旱后的暴雨, 极易导致地面塌陷; 地下水活动则促使或加速土洞及岩溶塌陷的形成; 工程钻探、地下水的抽取、地下采矿及地下工程施工等人类工程活动对岩溶塌陷也有重要影响, 常作为诱发动力, 通过改变基本条件而加速岩溶塌陷的形成。

[关键词]岩溶塌陷 形成条件 影响因素 广州市

[中图分类号]P642.26; P642.254 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2009)04-0488-05

Lei Jin-shan, Yang Jun-sheng, Xiao Wu-quan, Liu Cheng-jun. Analysis of forming conditions and main influential factors of karst collapse in Guanzhou[J]. Geology and Exploration, 2009, 45(4): 488-492.

广州市岩溶塌陷主要发育在广从断裂以西广花盆地内的花都区、白云区江高镇、石井镇, 从化良口、石岭和石塘等隐伏岩溶区。岩溶发育范围内岩溶塌陷灾害频繁, 塌陷灾害具有潜伏性、突发性、群发性、多因性等特点^[1~3]。给城镇建设带来不利影响, 对人们的生命财产造成严重的损失并构成潜在威胁。因此, 分析区内岩溶塌陷产生的条件及主要影响因素, 对研究岩溶塌陷分布规律、预测未来的发生与发展, 以便采取积极的防治措施、减少或消除塌陷灾害, 无疑具有十分重要的意义。

1 覆盖层特征及对岩溶塌陷的影响

覆盖层是指覆盖于基岩面之上的第四系松散土层。覆盖层特征在一定程度上起着控制作用, 成为岩溶塌陷形成的基本条件之一。

1.1 覆盖层岩土性状对岩溶塌陷的影响

岩土性状泛指覆盖层土体的各种物理力学性质及状态等。广州地区覆盖层为上更新统和全新统地层, 上更新统主要为残积、冲积和洪积相的粘土、亚粘土, 局部含砂砾层, 全新统地层主要为冲洪积相、

海积相的粘土、亚粘土、砂层、砾层和淤泥层。从本区岩溶塌陷发育情况来看, 在级配良好的松散砂土和含砾砂土覆盖层地区, 土洞和塌陷较级配不好且密实的砂砾土覆盖层地区发育, 这是因为前者易产生潜蚀和管涌破坏, 临界水力坡度相对较低, 易产生渗透变形, 形成土洞和塌陷; 后者则不容易产生渗透变形, 不容易形成土洞和塌陷; 后者则不容易产生渗透变形, 不容易形成土洞和塌陷。在覆盖层以粘土层为主地区, 呈软塑状态且粘粒含量低的粘性土, 岩溶塌陷较发育, 这是因为该类粘性土 c 、 φ 值较小、抗剪强度较低, 抵抗渗透变形及塌陷的能力较低; 而坚硬态且粘粒含量高的粘性土分布地区, 岩溶塌陷较不发育, 因为该类粘性土 c 、 φ 值较大, 抗剪强度较高, 不易产生渗透变形, 不易产生土洞与塌陷。因此, 岩土物理力学性质及状态影响土体产生渗透破坏的形式及抵抗渗透变形的能力, 对岩溶塌陷的产生有重要影响^[4~5]。

1.2 覆盖层厚度对地面塌陷的影响

覆盖层厚度对土洞顶板的抗塌能力有重要影响。覆盖层厚度越小, 岩溶塌陷越发育。由表1可

[收稿日期]2009-01-02; [修订日期]2009-07-06; [责任编辑]王梅。

[基金项目]湖南省自然科学基金资助项目(07JJ3104); 广州市地下铁道总公司科技计划项目(09A003)。

[第一作者简介]雷金山(1973年—), 男, 1997年毕业于长沙铁道学院大学, 博士学位, 现主要从事岩土及地下工程的教学、科研与咨询工作。

表 1 覆盖层厚度与岩溶塌陷关系统计

Table 1 Statistics of relation between thickness of overburden layer and karst collapse

覆盖层厚度/m	<2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	>12
塌陷个数/个	50	33	34	37	10	2	1
百分比/%	28.7	21.7	17.8	23.6	6.4	1.3	0.6

看出,广州地区厚度小于 8m 区域的塌陷个数占总塌陷个数的 91.7%,覆盖层厚度大于 10m 的塌陷个数占总塌陷个数的 8.3%。国内外研究表明:岩溶塌陷区覆盖层厚度大于 10m 占极少比例^[2,3]。此外,勘察资料分析表明:覆盖层厚度对岩溶塌陷的规模和形态也有较大影响。一般厚度较大,塌陷平面形态多呈圆形或椭圆形。

2 岩溶发育程度对岩溶塌陷的影响

本区岩溶基本上为隐伏岩溶,岩溶基本形式为溶洞、土洞、溶隙及溶槽等。岩溶的存在是岩溶塌陷产生的基础和前提条件,岩溶发育程度对塌陷有着重要影响。

2.1 基岩面溶蚀裂隙发育程度对岩溶塌陷的影响

岩溶勘察表明:覆盖层下基岩面起伏不平,基岩面上溶蚀裂隙常呈有一定方向性排列的沟槽状或漏斗状,常与溶洞等地下岩溶管道相连,这些溶蚀裂隙是地下水渗透的良好场所,也是塌陷物质良好的储运空间。勘察资料表明:在基岩面凹陷部位的盖层土体,因长期受地下水的浸泡,常呈软塑到流塑状态,抗剪强度低,在地下水活动过程中,极易产生流土及潜蚀作用,常有土洞形成,岩溶塌陷也较发育。基岩面溶蚀裂隙越发育,越容易产生岩溶塌陷。

2.2 地下岩溶对岩溶塌陷的影响

地下岩溶的存在是土洞、塌陷产生的基本条件之一,地下岩溶的发育程度对塌陷的形成起着控制性作用。本区地下岩溶发育范围也是岩溶塌陷发育范围,在区域上,岩溶越发育,塌陷密度越大,反之越小,在具体位置上,表现出塌陷主要沿岩溶强烈发育的地段分布。如岩溶发育以中上石炭统壶天群灰岩(C_{2+3ht})分布区和断裂构造的交叉部位及褶皱轴部最为发育,岩溶塌陷也在隐伏壶天群灰岩发育区和地质构造复杂地区最发育。在新华水源地,石灰岩为壶天群灰岩,而江村水源地,石灰岩为石磴子组灰岩,前者岩溶塌陷密度大,规模常为大~巨型,塌陷成群分布;后者岩溶塌陷密度小,规模为中小型。

2.3 地质构造对岩溶塌陷的影响^[6~8]

地质构造对岩溶塌陷的影响主要表现在构造对岩溶发育的控制性,并为岩溶地下水的活动及其对覆盖层土体的潜蚀提供良好的活动场所和储运空间。通过对勘察资料的研究分析发现,本区岩溶塌陷受构造控制明显。岩溶塌陷主要发生在褶皱轴部、倾伏端、节理裂隙密集发育的地带以及断裂破碎带,尤其以断裂交汇带为甚。岩溶塌陷在平面分布上具有成群性、成带性等特征,与该区地质构造的方向性、成带性基本吻合,如图 1 所示。如江村水源地东部 1970 年 SCJ5 号钻井位于背斜轴部的 NNE—SSW 断层带上,下伏石磴子灰岩裂缝、溶洞比较发育,且与第四系连通好。当试验开采抽水时,出现 7 处塌陷;1980 年代后,附近稻田又出现新的塌陷。三元里—嘉禾及矮岗—新机场北段,为褶皱断裂等地质构造密集带,也是岩溶塌陷发育经常发生地带。

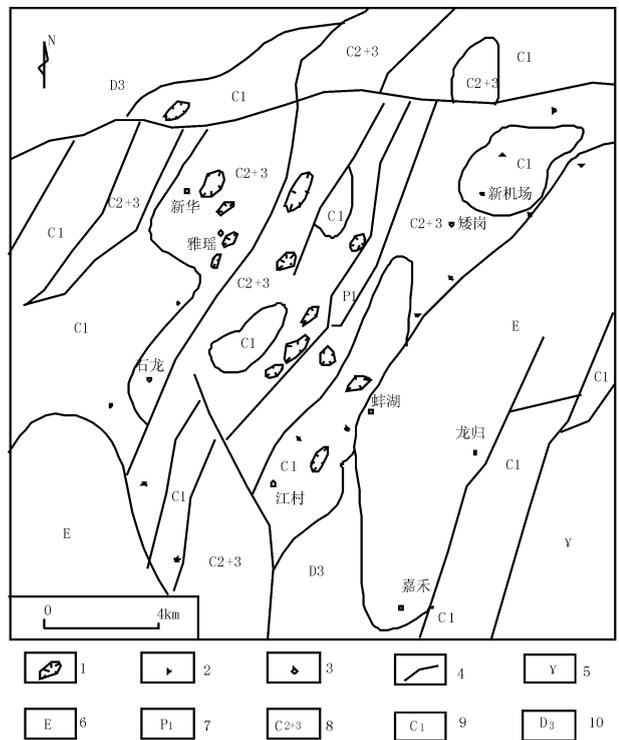


图 1 广花盆地主要岩溶塌陷分布图

Fig. 1 Distribution of main karst collapse in Guanghua basin

- 1—塌陷群; 2—塌陷点; 3—居民点; 4—断层; 5—花岗岩; 6—第三系碎屑岩; 7—上二叠统石灰岩; 8—中上石炭统石灰岩; 9—下石炭统灰岩碎屑岩; 10—上泥盆统碎屑岩
- 1—collapse group; 2—collapse point; 3—population center; 4—fault; 5—granite; 6—Tertiary clastic rock; 7—Upper Permian limestone; 8—Mid-upper Carboniferous limestone; 9—Lower Carboniferous limestone and clastic rock; 10—Upper Devonian clastic rock

我国其它岩溶塌陷发育地区,如山东枣庄、泰安、广西桂林、河北唐山等地有类似的规律^[9~11]。

3 气候条件对岩溶塌陷的影响^[2~3]

广州市雨量充沛,年降水量平均为 1689.3 ~ 1876.5 mm,4~9 月为雨季,降水量占年降水量的 80% 以上^[8]。从年内分布情况来看(图 2),各月都有塌陷出现,但在 4~9 月尤为严重。因为这一时期降水丰沛,地下水变幅大,成为隐伏岩溶地层塌陷的主要的动力。2 月份开始为旱季刚过的连雨期,旱季末岩溶水位下降到最低点,浮托力减小,重力作用增强,这时候连续下雨,湿润上覆土层,使土层容重增加,重力作用进一步增强。同时,土层也因湿润而降低强度。因此,2 月份地面塌陷显著。

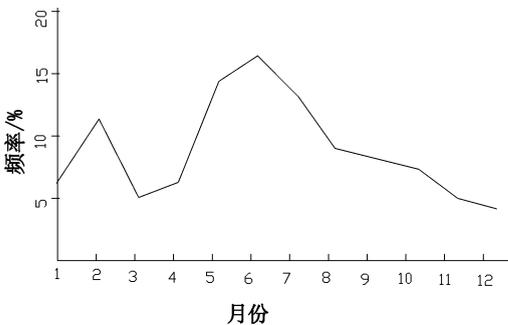


图 2 广州市地面塌灾年内分布^[1]

Fig. 2 Monthly frequency distribution of karst collapse in Guangzhou^[1]

在隐伏岩溶发育的广花盆地,持续性的强降雨天气或久旱后的暴雨,极易导致地面塌陷。如 1996 年 2 月 25 日,白云区龙归镇南岭村东部农田由于久旱后下雨,雨后地层自重力加大而下陷,塌陷面积达 1134 m²,最大塌陷深度 2 m。又如 1994 年在广花盆地某地一次暴雨导致 200 多处塌陷点。

4 地下水活动对岩溶塌陷的影响^[12~18]

广花盆地地下水主要为岩溶水。该区降雨量充沛,补给来源多,渗入条件好,补给量丰富,地下径流较强烈,且水位主要受降雨、地下抽水、矿井开采等影响上下波动,因此对本区岩溶塌陷的形成产生重要影响。

4.1 地下水流动对岩溶塌陷的影响

地下水的长期活动,对岩体不断进行溶蚀和侵蚀,使其原有裂隙等空间不断扩大,形成溶洞、溶隙和溶蚀沟槽等,为上覆土层土洞及塌陷的形成提供

了必须的物质运营和储藏空间。同时,地下水的活动还会对覆盖层土体产生潜蚀作用,使土体中的某些可溶性矿物和胶结物被溶解,某些细小颗粒或团块被冲刷,并随地下水的流动而逐渐迁移,从而导致土洞的产生。这种作用的反复进行,可使土洞逐渐扩大,最终可导致塌陷的发生。由此可知,只有地下水的不断流动,才可能对覆盖层土体产生不断的潜蚀作用,土洞才能发展扩大,塌陷才可能发生。

地下水强径流带水流集中、水流速度较大、流动复杂易变、地下水位波动频繁,对岩土体的潜蚀、吸蚀等作用都会加强,从而使塌陷更容易形成和产生,且更为密集。抽取地下水形成降落漏斗时,水力坡度随方向的不同而不同,在主径流方向上,水力坡度大,来水丰富,补给速度快,潜蚀作用也强烈,沿此方向产生较多塌陷。如江村水源地抽水时,地下水主要来自北东方向,百米之内水力坡度为 45%,而北西方向,百米之内水力坡度为 2% 左右,因此大多数塌陷发生在北西方向上。

4.2 地下水升降对岩溶塌陷的影响

当地下水位下降时,原地下水对土洞洞顶土体的浮托力减小或消失,洞顶土体的有效应力增加,增强了洞顶土体的塌陷力,使其可能失稳而导致塌陷。同时,地下水的迅速下降,对于以粘性土为主的封闭性较好的土洞来说,还将产生真空吸蚀作用,使土洞周围土体受到破坏,导致或加速塌陷的形成。地下水的升降还会促进某些土体的散解脱落和胀缩,从而加速土洞的发展和塌陷的产生。

造成岩溶地下水水位大幅度升降的因素很多,首先大气降水的多少是主要因素之一。其次开采量的增加也是造成岩溶地下水水位下降的因素。如 2004 年广东省的特大干旱,降雨量偏少导致地下水补给量减少,为了抗旱加大地下水的开采,引起区域地下水水位明显下降,广花盆地地下水位比常年降低了 0.08 ~ 0.72 m,因此,盆地内部多处发生地面塌陷。

土洞的形成、发展直至产生塌陷的过程,实质上是岩溶空隙之上土层在地下水位变动带及其以下地带遭受潜蚀、吸蚀及散解脱落,土层成份不断转移到流动的地下水中,不断地被地下水搬运而形成土洞,并逐渐扩大,使土洞顶板厚度变薄,在其他力(如重力等)作用下,最后洞顶产生塌落的过程。

5 人类工程活动对岩溶塌陷的影响

人类工程活动对岩溶塌陷也有影响。调查结果

表明,人类工程活动愈频繁,活动强度愈大,塌陷产生的数量愈多、规模愈大。人类工程活动对塌陷影响的主要形式有抽水、振动、堆载、开挖、渠道渗漏等,尤以抽水影响最大。这些活动的结果,可造成地下水位的的大幅升降,增加地下水的潜蚀、吸蚀作用,降低土体的抗剪强度,改变土洞原有静力平衡条件,增大致塌力,降低抗塌力,从而加速土洞的发展,导致塌陷的产生。因此,人类工程活动主要是作为一种诱发因素,通过改变塌陷形成的基本条件而加速塌陷的产生。

据不完全统计,广花盆地自勘探抽水与地下水开采以来至1987年,先后出现地面塌陷点共146个。如新华水源地自1972年建井开采以来,发生塌陷有46处。其中1972年11月在201生产井抽水过程中,产生以东北-南西向展布的塌陷17处。

广州嘉禾、同德围、花都华岭-中东岭和象山-西岭等煤矿区既是隐伏岩溶区,又是历史上旧煤窑采空区,地下不均匀地分布着大小的岩洞或空洞,成为岩溶塌陷多发区。

广州地铁二号线远景站MBZ3-YJ-04号钻孔施工时发生地面塌陷现象,塌陷直径约3m,深度约2m。六号线浔峰岗至大坦沙(YAK0+000~YAK3+700和YAK5+000~YAK7+100)在钻探施工过程中曾多次出现过岩溶地面塌陷,其形态多呈近圆形或近椭圆形,塌陷深度一般为0.5~1.0m,面积一般为1.5~2.5m²,大者深度可达6.5m,面积约6.0m²。由于钻探施工,破坏了地下水动力条件,当钻孔钻至溶洞时即发生漏水,砂层水可直接下渗流入岩层溶洞中,钻进过程中,上部砂层中易被侵蚀的土颗粒顺岩溶裂隙通道不断被带走、冲蚀,带走的颗粒越来越多,渐渐形成空洞,向地表发展,在不能承受上覆重量时,最终导致地表塌陷。

6 结论

(1) 覆盖层的岩土性状及其厚度大小对岩溶塌陷的产生有着重要影响。一般情况下,覆盖层土体结构越疏松、级配越好、抗剪强度越低、厚度越小,就越容易产生土洞和塌陷。

(2) 岩溶发育程度对岩溶塌陷的产生起着控制作用,岩溶越发育的地段越易产生塌陷。岩溶塌陷在隐伏壶天群灰岩发育区和地质构造复杂地区最发育。

(3) 降水季节和持续性的强降雨天气或久旱后的暴雨,极易导致地面塌陷。

(4) 地下水及其活动既可对可溶岩体产生溶蚀、侵蚀作用,也可对覆盖层土体产生冲刷、潜蚀和搬运作用,还可以改变覆盖土体的物理力学性质,使其重度增大、抗剪强度降低等。地下水的反复升降还会在土洞中形成真空吸蚀作用,促进某些土体的散解和胀缩。因此,地下水及其活动促使或加速了土洞及岩溶塌陷的形成。

(5) 人类工程活动主要作为诱发因素使土洞原有静力平衡条件改变、增大致塌力、减小抗塌力,从而加速土洞及塌陷的发生。

[参考文献]

- [1] 刘江龙,刘会平,吴湘滨.广州市地面塌陷的形成原因与时空分布[J].灾害学,2007,22(4):62~65.
Liu Jiang-long, Liu Hui-ping, Wu Xiang-bin. Mechanism and Temporal-Spatial Distribution of Ground Collapse in Guangzhou [J]. Journal of Catastrophology, 2007, 22(4): 62~65.
- [2] 刘会平,王艳丽,刘江龙.广州市主要地质灾害成灾机制与时空分布[J].自然灾害学报,2005,14(5):149-153.
Liu Hui-ping, Wang Yan-li, Liu Jiang-long. Cause mechanism and spatiotemporal distribution of major geological disasters in Guangzhou [J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(5): 149-153.
- [3] 刘江龙,刘会平,刘文剑.广州市主城区地面塌陷灾害危险性评价研究[J].防灾减灾工程学报,2007,27(4):488~492.
Liu Jiang-long, Liu Hui-ping, Liu Wen-jian. Study on Ground Collapse Risk Evaluation in Main Urban Area of Guangzhou City [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2007, 27(4): 488~492.
- [4] 方燎原.广州地铁岩溶地质条件[J].地球与环境,2005,(4):89~91.
Fang Liao-yuan. Karst Geology in Guangzhou Metro [J]. Earth And Environment, 2005, (4): 89~91.
- [5] 李平日,郑建生,方国详.广州地区第四纪地质[M].广州:华南理工大学出版社,1989.
Li Ping-ri, Zheng Jian-sheng, Fang guo-xiang. Quaternary Geology of Guangzhou Area [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1989.
- [6] 李文勇,夏斌,路文芬.东秦岭的地球物理、构造分带特征及演化[J].地质与勘探,2004,40(1):36~40.
Li Wen-yong, Xia Bin, Lu Wen-fen. Geophysical, Tectonic Zoning Character And Evolution in Eastern Qinling [J]. Geology And Prospecting, 2004, 40(1): 36~40.
- [7] 朱寿增,周健红,陈学军.桂林市西城区岩溶塌陷形成条件及主要影响因素[J].桂林工学院学报,2000,20(2):100~105.
Zhu Shou-zeng, Zhou Jian-hong, Chen Xue-jun. Analysis of Forming Conditions and Main Influential Factors of Karst Collapse in West Urban District, Guilin City [J]. Journal of Guilin Institute of technology, 2000, 20(2): 100~105.
- [8] 武雄,高明显,张顺峰.枣庄岩溶塌陷形成条件及主要影响因素[J].地学前缘,2007,14(6):227~232.

- Wu Xiong, Gao Ming-xian, Zhang Shun-feng. Analysis on forming conditions and main influential factors of karst collapse in the area of Zaozhuang[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(6): 227 ~ 232.
- [9] 李公岩, 周绍智, 万继涛. 山东省枣庄盆地岩溶塌陷形成条件及易发区划分方法探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(4): 49 ~ 53.
- Li Gong-yan, Zhou Shao-zhi, Wang Ji-tao. Discuss-ion on formation condition and method of zoning susceptible regions of karst collapse in Zaozhuang Basin, Shandong Province [J]. The Chinese Journal of Geolog-ical Hazard and Control, 2003, 14(4): 49 ~ 53.
- [10] 魏风华. 唐山市岩溶塌陷机制分析[J]. 地质与勘探, 2006, 42(2): 86 ~ 89.
- Wei Feng-hua. Study in the Mechanism of Karst Collapse in Tangshan City[J]. Geology And Prospecting, 2006, 42(2): 86 ~ 89.
- [11] 袁爱平, 冯佐海, 阎志为. 桂林市岩溶塌陷分布特征及趋势面分析[J]. 地质与勘探, 2004, 40(Z): 96 ~ 99.
- Yuan Ai-ping, Feng Zuo-hai, Yan Zhi-wei. Distribution characrestic and Trend-Surface Analysis of Karst Collapse in Guilin City [J]. Geology And Prospecting, 2004, 40(Z): 96 ~ 99.
- [12] 盛玉环. 湘潭市区岩溶塌陷勘查研究方法 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(z): 128 ~ 132.
- Sheng Yu-huan. Karst Collapse Investigation Techn-iques in Xiangtan City [J]. The Chinese Journal of Geolog-ical Hazard and Control, 1997, 8(z): 128 ~ 132.
- [13] 雷明堂, 项式均. 近 20 年来中国岩溶塌陷研究回顾[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(z): 1 ~ 5.
- Lei Ming-tang, Xiang Shi-jun. Review of Karst Collapse REE-reach in China in Recent Twenty Years [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1997, 8(z): 1 ~ 5.
- [14] 雷明堂, 蒋小珍. 岩溶塌陷研究现状、发展趋势及其支撑技术方法[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(3): 1 ~ 6.
- Lei Ming-tang, Jiang Xiao-zhen. Research on the Present Situation and Developing Tendency of Karst Collapse and Techniques for Its Supporting[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1998, 9(3): 1 ~ 6.
- [15] 陈国亮. 岩溶地面塌陷的成因与整治 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1994.
- Chen Guo-liang. Course and treatment of Karstic Ground Collapse [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1994.
- [16] 魏风华. 唐山市岩溶塌陷机制分析[J]. 地质与勘探, 2006, 42(2): 86-89.
- Wei Feng-hua. Study in the mechanism of karst collapse in Tangshan city[J]. Geology and Exploration, 2006, 42(2): 86-89.
- [17] 袁爱平, 冯佐海, 阎志为, 刘晓珠, 鹿坤. 桂林市岩溶塌陷分布特征及趋势面分析[J]. 地质与勘探, 2004, 40(z1): 96-99.
- Yuan Ai-ping, Feng Zuo-hai, Yan Zhi-wei, Liu Xiao-zhu, Lu Kun. Distribution characrestics and trend -sueface analysis of karst collapse in guilin city [J]. Geology and Exploration, 2004, 40(z1): 96-99.
- [18] 高金川, 林彤. 勘察技术在城市灾害地质研究与治理中的应用[J]. 地质与勘探, 2000, 36(2): 16-18.
- Gao Jin-chuan, Lin Tong. Application of exploration techniques in city hazard geology research[J]. Geology and Exploration, 2000, 36(2): 16-18.

Analysis of Forming Conditions and Main Influential Factors of Karst Collapse in Guanzhou

LEI Jin-shan¹, YANG Junsheng¹, XIAO Wuquan¹, LIU Chengjun²

(1. Civil Engineering College, Central-south University, Changsha 410075, China;

2. Guangzhou Metro Design Academe, Guangzhou 510010, China)

Abstract: Karst Collapse in Guanzhou mainly occur in the northwest called Guanghua Basin. Based on plenty of prospecting data, It is indicated that the conditions of formation and main influential factors of karst collapse are complicated and various, including the characteristics and thickness of overburden layer, development degree of karst, climate and precipitation, activities of groundwater and mankind engineering activities and so on. The more loose the structure of overburden layer, the better soil gradation, the lower the strength, the thinner the layer, the more intensive karst developments, the more easily earth cavity and collapse occur. The precipitation season and strong rainfall or rainstorm after long period drought easily causes karst collapse. And activities of groundwater promote formation of earth cavity and karst collapse. Besides, human engineering activities, such as engineering drilling, drawing water from the underground, milling, underground construction etc., also have important influence on karst collapse. As an inducement power, they speed up formation of karst collapse through changing basic conditions.

Key words: karst collapse, forming condition, influential factor, Guanzhou