

黄健民, 邓雄文, 胡让全. 广州金沙洲岩溶区地下水位变化与地面塌陷及地面沉降关系探讨[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 300–308.
Huang Jianmin, Deng Xiongwen. The relationship between groundwater and ground collapse and land subsidence in Jinshazhou, Guangzhou City[J].
Geology in China, 2015, 42(1): 300–308(in Chinese with English abstract).

广州金沙洲岩溶区地下水位变化与地面塌陷 及地面沉降关系探讨

黄健民 邓雄文 胡让全

(广州市地质调查院, 广东 广州 510440)

摘要:金沙洲可溶性灰岩分布面积广,岩溶洞隙发育,洞隙及地下水的连通性强,上覆第四系松散土体中软土广泛分布,客观存在岩溶地面塌陷及地面沉降的地质环境条件。2007年4月起,受某高铁隧道施工抽排地下水的影响,金沙洲地下水出现异常波动,引发了地面塌陷及地面沉降。文章根据监测数据,经对比分析结果表明,区内岩溶地面塌陷及地面沉降受控于地下水位的变化,地下水位波动至基岩面附近时,是地面塌陷较活跃的时期,地面沉降与地下水位变化呈正向相关。文章进一步对地面沉降与地下水位变化关系的机理进行了探讨,认为目前地下水位尚未恢复正常的区域仍存在地面塌陷及地面沉降的隐患。

关键词:岩溶地面塌陷;地面沉降;地下水位;相关;发展趋势

中图分类号:P642.26 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2015)01-0300-09

The relationship between groundwater and ground collapse and land subsidence in Jinshazhou, Guangzhou City

HUANG Jian-min, DENG Xiong-wen, HU Rang-quan

(Guangzhou Geological Survey, Guangzhou 510440, Guangdong, China)

Abstract: Soluble limestone and Quaternary loose soft soil are widely distributed in Jinshazhou. The fractures in limestone are rich and well connected with each other, which leads to a good connection of groundwater. All these factors provide objective geological environment conditions for karst ground collapse and land subsidence. Since April 2007, affected by tunnel groundwater pumping in high-speed rail construction, groundwater has fluctuated abnormally, which has resulted in ground subsidence and land collapse in Jinshazhou. The monitoring data and comparative analysis show that the karst ground subsidence and land collapse are controlled by groundwater level changes. When groundwater level fluctuates near the bedrock surface, the ground collapse occurs easily, and the land subsidence is related to groundwater level change positively. The relationship between land subsidence and groundwater level changes was also studied and, on such a basis, it is held that the area where groundwater has not yet returned to the normal level still has the hidden trouble of ground subsidence and land collapse.

收稿日期:2014-01-05;改回日期:2014-12-09

基金项目:“广州市白云区金沙洲岩溶地面塌陷、地面沉降地质灾害调查探测与监测”项目(ZX2012411007008)资助。

作者简介:黄健民,男,1966年生,高级工程师,从事地质环境保护与地质灾害防治研究;E-mail:gzhjma@163.com。

Key words : karst ground collapse; land subsidence; groundwater level; correlation; development trend

About the first author: HUANG Jian-min, male, born in 1966, senior engineer, engages in the study of protection of geological environment and geological disaster prevention; E-mail: gzhjma@163.com.

地处广花盆地的金沙洲,自2007年7月14日以来,受某高铁隧道施工抽排地下水的影响,共发生了24宗地面塌陷并形成7个地面沉降区域(图1中BX1~BX7),造成直接经济损失约2.79亿元。广州市地质调查院自金沙洲发生第一个地面塌陷起,即先后布置了46个地下水动态监测点、155个地面沉降监测点及344个建(构)筑物沉降观测点开展地质灾害监测工作,通过监测所获得的丰富数据,为本专题研究工作打下了坚实的基础。

前人对广花盆地的岩溶发育规律及特征^[1-2]、地质灾害的分布和防治^[3-4]以及岩溶地面塌陷、地面沉降的成因与防治^[5-7]等方面已做了一定的研究工作,

关于岩溶地面塌陷、地面沉降与其主控因素—地下水的动态变化关系的研究至今尚未见报道,本文参考李国和等^[8]关于京沪高速铁路沿线的北京、廊坊、天津、沧州及德州等地面沉降与地下水位变化关系的研究成果及其他前人成果^[9-11],以较为系统、完整的观测数据为基础,对金沙洲地下水位变化与地面塌陷及地面沉降对应关系进行探讨,为金沙洲乃至广花盆地地质灾害的防治提供依据。

1 地质条件及地质灾害概况

1.1 地质条件

金沙洲总面积8.26 km²,其中西部为低丘陵,面

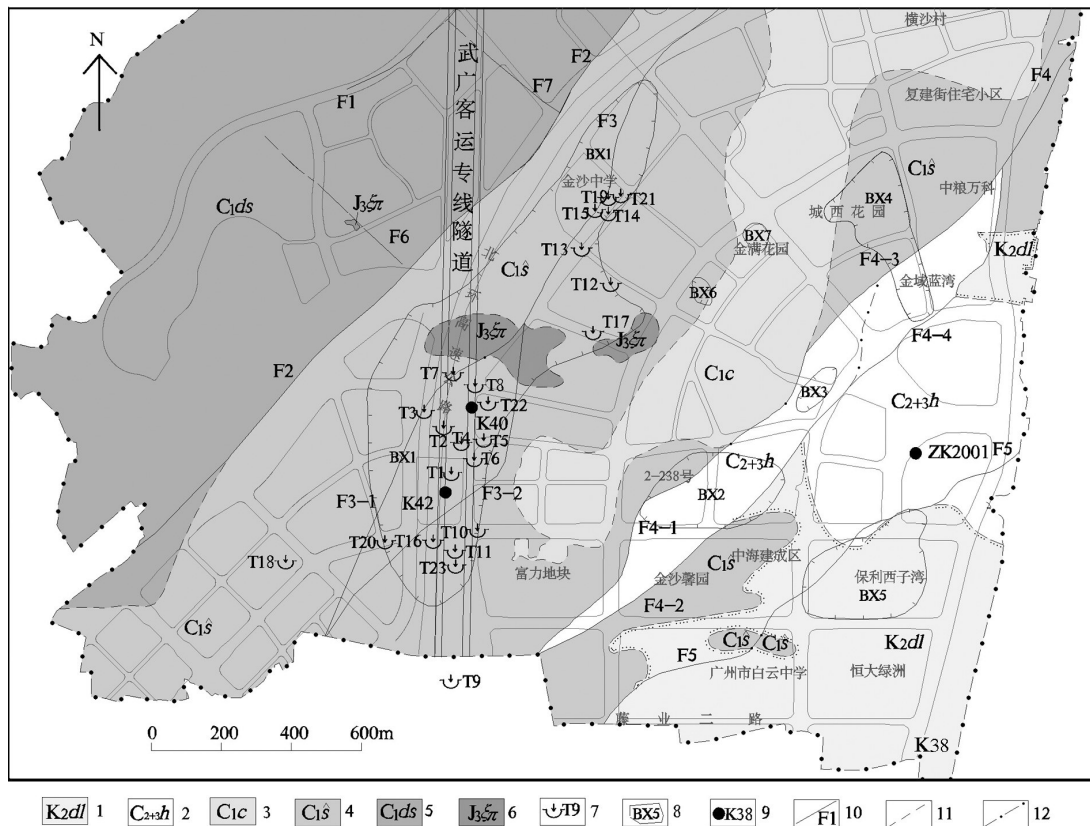


图1 金沙洲塌陷及地面沉降分布图

1—白垩系大塍山组砂岩;2—石炭系壶天群灰岩;3—石炭系测水组砂页岩;4—石炭系石磴子组灰岩;5—石炭系大赛坝组砂岩;
6—侏罗系正长斑岩;7—地面塌陷;8—地面沉降;9—水位监测孔;10—断裂;11—地层界线;12—金沙洲界线

Fig.1 The distribution of collapses and subsidences in Jinshazhou

1—Sandstone in K_{2dl}; 2—Limestone in C_{2+3h}; 3—Shale in C_{1c}; 4—Limestone in C_{1s}; 5—Sandstone in C_{1ds}; 6—Porphyry in J_{3zpi};
7—Collapse; 8—Subsidence; 9—Monitor drill hole; 10—Fault; 11—Stratigraphic boundary; 12—Boundary of Jinshazhou

积2.68 km²;东部为平原及珠江,面积5.58 km²;组成金沙洲的地层见图1,各地层分布面积见表1。平原地带基岩均为第四系覆盖,其中石炭系可溶性岩石石磴子组(C_{1s})和壶天群灰岩(C_{2+3h})分布面积合计约3.47 km²,约占金沙洲总面积的42.0%;非可溶性岩石大赛坝组(C_{1ds})及测水组(C_{1c})砂岩、页岩、炭质页岩和泥岩,分布面积约3.60 km²,约占金沙洲总面积的43.6%;其余为白垩系大塍山组(K_{2dl})粉砂质泥岩或泥质粉砂岩和晚侏罗系正长斑岩(J_{3ζr})。石磴子组灰岩钻孔遇洞率76.9%,线岩溶率范围值一般为3.26%~52.58%;壶天群灰岩钻孔遇洞率60.0%,线岩溶率范围值一般为2.53%~18.54%。

平原地带第四系松散土体厚度一般6.80~25.40 m,平均14.30 m。由上往下依次为人工填土、冲积成因的淤泥、淤泥质土、粉质粘土(粘土)及残积粉质粘土,其中淤泥及淤泥质土分布面积4.66 km²,占金沙洲总面积的56.4%,厚度0.80~18.80 m,平均4.63 m。

区内主要发育5条北东向断裂及2条北西向断裂。北东向断裂分别为F1~F5,其中F3、F4、F5属分支复合张性断裂,切割平原地带石磴子组和壶天群灰岩;北西向断裂F6、F7规模较小,均分布在低丘陵地带(图1)。受F3、F4及F5的影响,沿断裂带灰岩岩石破碎,岩溶洞隙特别发育,上述断裂成为金沙洲地下水良好的导水通道。

综上所述,金沙洲隐伏分布大面积岩溶发育的可溶性岩石,并广泛分布软土层,区内呈脉状分布的正长斑岩具有吸水膨胀、失水收缩的特性,因此,金沙洲客观存在岩溶地面塌陷及地面沉降的地质环境条件。

1.2 地质灾害概况

金沙洲地质灾害类型主要有岩溶地面塌陷和地面沉降,地质灾害分布见图1,地质灾害统计见表2。

2 地下水动态特征

2.1 水文地质边界条件

金沙洲东面为珠江水系,西侧为一系列低丘

表1 地层分布面积

Table 1 The area of stratigraphic distribution

地层名称	C _{1ds}	C _{1s}	C _{2+3h}	C _{1c}	K _{2dl}	J _{3ζr}
面积/ km ²	2.680	3.000	0.466	0.920	0.565	0.062
占金沙洲总面积百分比/ %	32.45	36.32	5.60	11.13	6.84	0.75

陵,地下水具完整的补、径、排条件,因而金沙洲形成一个相对独立的一级水文地质单元。西侧低丘陵地层为下石炭统大赛坝组的砂岩、页岩和泥岩,隔水性好,构成了西侧隔水边界;东面石炭系壶天群、石磴子组灰岩及白垩系大塍山组泥质粉砂岩与珠江白沙河及沙贝海相连,地下水与珠江水存在水力联系,可视为定水头边界;南面石磴子组灰岩及大塍山组泥质粉砂岩延伸至佛山市黄岐,与区外地下水存在水量交换,可视为径流边界。在自然状态下,金沙洲地下水顺地势总体自北西向南东流动,最终排泄于珠江水系。在一级水文地质单元内,透水性较差的下石炭统测水组的砂岩、页岩、粉砂质泥岩沿横沙村—金满花园—富力地块一线,大致呈北东向条带状,横穿金沙洲中部大部分区域,组成金沙洲区内一条相对完整的阻水条带,将金沙洲进一步划分为东、西2个相对独立的二级水文地质单元。阻水条带对金沙洲自北西往南东方向径流的地下水起到一定的阻隔作用。

2.2 天然条件下动态

以金沙洲东南角未受人为因素影响的K38及ZK2001地下水动态监测点为例,天然条件下,地下水位埋深一般在2.00~3.50 m(标高5.17~6.28 m)。地下水位变化受降雨量影响明显,每年4月随着雨季的到来,区域地下水位开始上升,5—9月处于高水位(即丰水期),10月以后随着降雨减少,区域地下水位开始逐渐下降,12月至次年3月处于低水位,即进入枯水期(图2)。天然条件下,年地下水位变化1.00~1.40 m。

2.3 人为因素影响下动态及灾害分布

据监测资料,2007年4月起,因某高铁隧道在区

表2 地质灾害统计

Table 2 Statistics of geological disasters

灾种	发生时间	数量	规模	灾 情	直接经济损失/万元
岩溶地面塌陷	2007.7.14—2012.5.14	24 宗塌陷	塌坑直径:1.50~18 m	特大型	1303.15
地面沉降	2007—2012.6	7 个沉降区域	面积:3367.73~489209.31 m ²	特大型	26611.60

内施工,地下水的自然平衡状态被破坏,地下水位出现异常变化(表3),2009年5月以前,地下水位总体在下降,地下水降落漏斗中心附近监测点K40水位曾下降至最大埋深30.58 m(标高-22.09 m)。2009年5月初起,地下水位经历前期快速回升后,从2010年上半年至2012年底,地下水位回升乏力,新社区一带水位未能恢复正常,地下水降落漏斗中心水位埋深长期在9.00~13.50 m波动。

在客观地质环境条件下,从2007年4月起,金沙洲地下水异常波动陆续引发了24宗岩溶地面塌陷并形成7个地面沉降区域(统计至2012年12月),塌陷均分布于岩溶洞隙发育的灰岩分布区,地面沉降则发生于厚层软土和正长斑岩风化土分布区。断裂构造作为地下水的导水通道,直接影响着塌陷及地面沉降的发育和分布。

3 地下水位变化与岩溶地面塌陷及地面沉降关系

3.1 岩溶地面塌陷与地下水动态变化关系

(1)岩溶地面塌陷集中发生于地下水动态出现异常波动时段

据调查,2007年4月以前,金沙洲地下水未出现异常波动,区内无岩溶地面塌陷记录。2007年7月14日,地下水位经第一阶段大幅下降后,发生了第一起

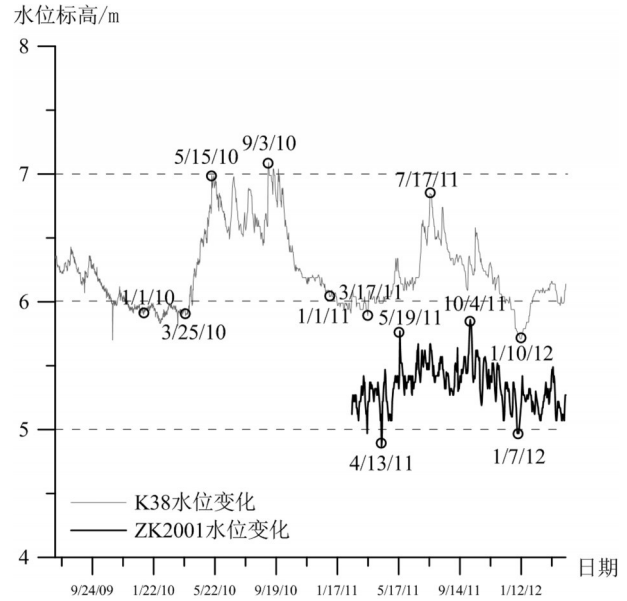


图2 天然条件下地下水位变化曲线图
Fig.2 Groundwater level under natural conditions

岩溶地面塌陷。据监测资料,在2009年5月以前的第一至第四阶段,区内地下水总体处于快速下降过程,新社区一带地下水位曾下降至最大埋深30.58 m(标高-22.09 m,降深达36 m),在此期间,金沙洲共发生岩溶地面塌陷14宗,占塌陷总数的58.3%;2009年5月以后的第五阶段,地下水位转入恢复上升过程,至

表3 金沙洲地下水动态总体变化过程简表
Table 3 Summary of groundwater dynamic overall change process in Jinshazhou

阶段	时间	地下水动态	地下水位埋深范围/m	备注
第一阶段	2007.4.23—2007.7.14	下降	最大 40	隧道 1#竖井施工
第二阶段	2007.7.14—2007.10.16	回升了 36 m	4.00 左右	第一次塌陷,隧道停工,注浆止水,水位基本恢复正常
第三阶段	2007.10.16—2008.8.15	先后下降了 8 m、23.43 m	分两级阶梯式波动: 4.00~12.00 12.00~27.43	隧道复工,降落漏斗影响范围由凤冈、浔峰圩一带扩展至新社区、凤岐里一带
第四阶段	2008.8.15—2009.5.8	保持在低水位	27.43~30.58 (最大标高-22.09)	最大埋深在新社区 K40 监测点,降落漏斗中心转移至 K40
	2009.5.8—2009.8	回升至正常水位	1.98~3.79 (标高 4.40~6.30)	隧道完工,东北向中部阻水条带以东水文地质单元地下水基本恢复正常
第五阶段	2009.5.8—2010.5.3	最大回升了 19.61 m	28.40~10.97 (标高-19.91~-2.48)	隧道完工,东北向中部阻水条带以西地段地下水位回升
	2010.5.3—2012.12	反复波动	9.00~13.50 (标高-0.51~-5.01)	阻水条带以西地段地下水位无法恢复正常,降落漏斗中心在 K40,影响范围:东至环洲三路,西至广佛高速,北至新社区 IV 标,南至浔峰收费站

2012年5月14日,共发生岩溶地面塌陷10宗,约占塌陷总数的41.7%。由此可见,自然条件下,区内无岩溶地面塌陷发生,金沙洲岩溶地面塌陷主要发生在地下水剧烈波动阶段(图3)。

(2)岩溶地面塌陷发生在地下水降落漏斗影响范围内

据监测资料,在地下水波动期间,在K40监测点附近形成地下水降落漏斗中心,降落漏斗影响半径约1000 m,而目前已发生的24宗岩溶地面塌陷中,距离降落漏斗中心最远的金沙中学塌陷(T19、T21)塌陷与降落漏斗中心相距约700 m,小于降落漏斗影响半径(1000 m),即岩溶地面塌陷发生在地下水降落漏斗影响范围内,岩溶地面塌陷明显受地下水波动的影响。

(3)地下水波动至基岩面附近时容易引发岩溶地面塌陷

据对6宗有可靠地下水动态监测资料的塌陷分析(图4~5),当地下水位波动至基岩面上下0.18~0.94 m范围时,发生了4宗塌陷(表4),占塌陷总数的67%,也就是说,当地下水位波动至基岩面附近时较容易发生岩溶地面塌陷。

总之,区内岩溶地面塌陷受控于区内地下水位的变化,与地下水的剧烈波动密切相关,地下水位下降至基岩面附近时,是岩溶地面塌陷较活跃的时期。

3.2 地面沉降与地下水动态变化的对应关系

据监测资料,金沙洲地面沉降与地下水位的的变化总体呈正向相关,根据引起地面沉降的土体类型,大致可分为正长斑岩风化土引起的地面沉降和软土引起的地面沉降2类。

3.2.1 正长斑岩风化土引起的地面沉降

据在路南辅道布置的地下水动态监测点(K40)及地面沉降监测点的监测资料显示,路面在2007年下半年至2009年8月经历了一次相对剧烈的沉降过程,最大沉降量达1000 mm,路面沉降与2007年4月至2009年5月期间地下水位剧烈波动、大幅下降在时间上基本吻合(区内地面变形滞后于地下水位变化)。这一时段地下水位最大下降幅度达36.00 m。从2009年5月起,地下水位开始快速回升,路面沉降虽仍在继续但已开始逐渐减缓,直至滞后约4个月后的2009年9月18日左右停止沉降,开始持续回弹,至2010年6月5日,地面回弹量29.10 mm。

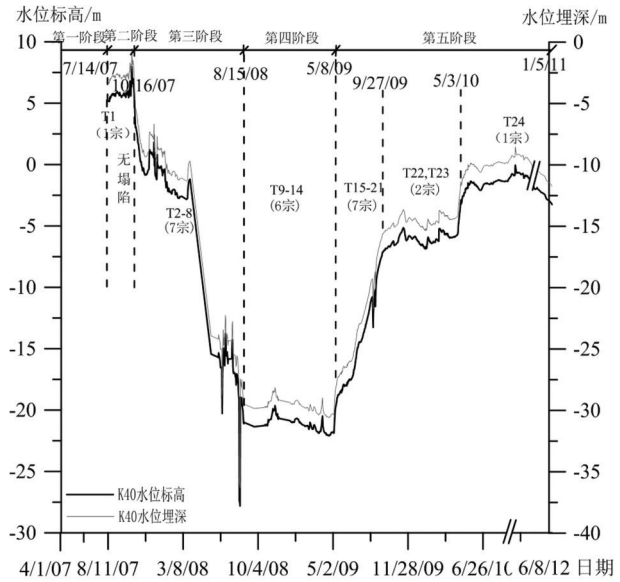


图3 塌陷与地下水动态变化关系图
Fig.3 Relationship between collapse and groundwater dynamic change

表4 地面塌陷时水位埋深与基岩面埋深比较
Table 4 Comparison between groundwater depth and bedrock depth during the collapse

塌陷点编号	塌陷时 水位埋深/ m	基岩面 埋深/ m	水位与基岩面 相比较/ m
T2	10.44	9.50	-0.94
T3	10.42	11.20	+0.78
T4	13.00	10.40	-2.60
T6	10.68	10.50	-0.18
T8	18.47	11.20	-7.27
T21	11.37	11.15	-0.22

注：“+”号表示地下水位在基岩面以上，“-”号则相反。

在地下水位回升过程的2009年10月至2009年12月期间,路南辅道旁的K40地下水位曾在标高6.50 m上下小幅波动。之后,随着地下水位的上下波动,路面也相应滞后出现下沉或回弹(图6)。

路南辅道地面沉降与地下水位变化呈正向相关是由于地下分布正长斑岩风化土所致。据钻探揭露,这一带分布厚度大于65 m的正长斑岩风化土,构成正长斑岩的矿物组分中,钾长石及斜长石约占总组分中的70.0%~90.0%。取该类风化土土样

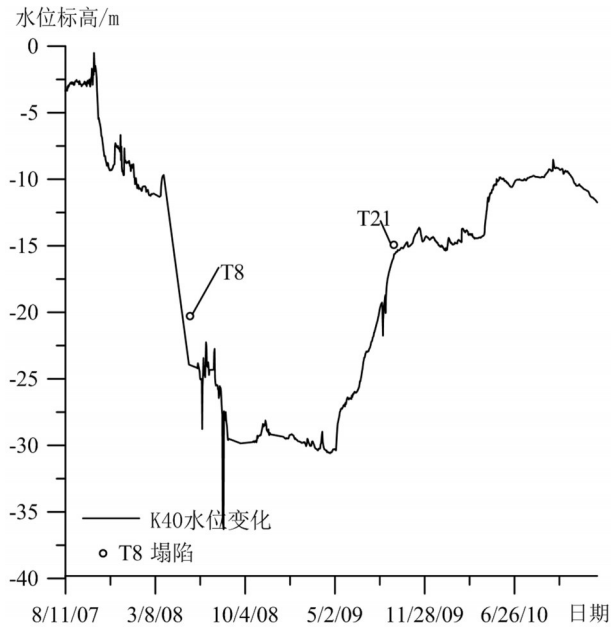


图4 塌陷与地下水位变化关系图

Fig.4 Relationship between collapse and groundwater level change

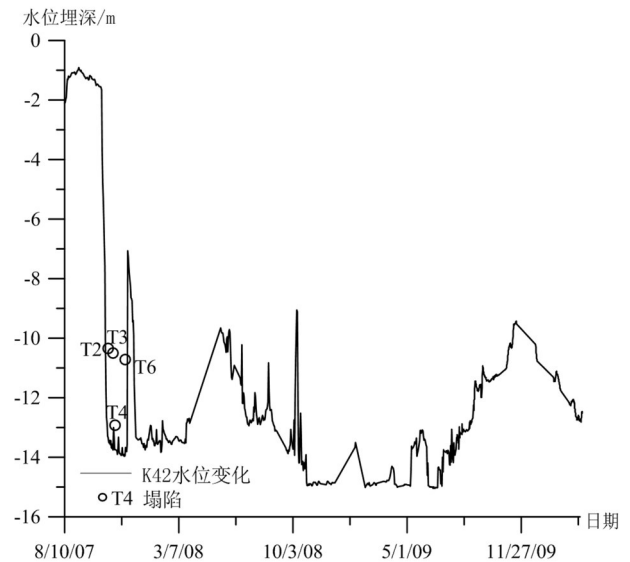


图5 塌陷与地下水位变化关系图

Fig.5 Relationship between collapse and groundwater level change

作膨胀性试验,测得自由膨胀率为20.0%~30.0%,收缩系数0.171~0.194,体缩率8.99%~12.35%,缩限45.3%~46.0%。因此,正长斑岩风化土具有吸水膨胀、失水收缩的特性。当金沙洲地下水位从埋深4.00 m下降至30.58 m时,正长斑岩风化土因失水收缩,地面表现为下沉;当地下水位上升时,土体吸水膨胀,地面表现为回弹;而当地下水位维持在埋深9.00~13.50 m范围波动时,水位以下正长斑岩风化土饱水,地面变形量亦随之减小。

3.2.2 软土引起的地面沉降

据调查,金沙中学操场在2008年09月至2009年5月初已发生严重沉降,最大沉降量已达550 mm。据地下水动态监测资料,在2008年上半年至2009年5月初,正是学校区域处于地下水位大幅下降的时期,这一时期学校操场地面随地下水位的大幅下降而下沉,显示地面沉降与地下水位变化呈正向相关;2009年5月至2010年5月经历快速回升后,地下水位回升乏力,一直无法恢复至初始水位。操场地面在滞后约4个月后才出现回弹,随后又继续沉降,但沉降速率明显减小。操场地面沉降过程与这一地段地下水位的变化过程总体呈正向相关(图7)。

金沙中学操场地面沉降与地下水位变化呈正向相关是由于这一区域分布厚层软土所致。在前期地

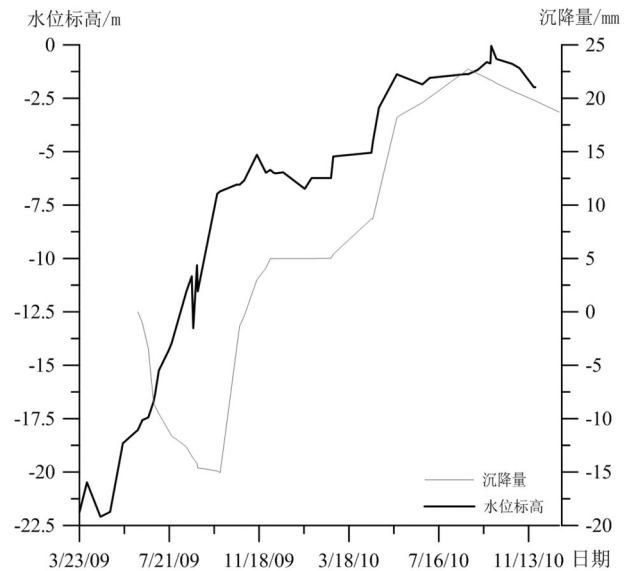


图6 路南辅路地面沉降与地下水位变化关系图

Fig.6 Relationship between subsidence of Lunan Road and groundwater level change

下水位下降阶段,第四系土体中淤泥软土因失水固结及地下水位以上土体失托增荷,操场地面表现为持续下沉;当地下水位处于恢复过程时,地下水对土体的浮托力不断增大,地面沉降速率逐渐减小直至地面回弹。当地下水位恢复至埋深9.00~13.50 m范围,出现回升乏力时,在地下水浮托力与上部荷重达到新的平

衡状态下,水位之上的软土继续其固结沉降,但地面沉降速率较前期已明显减小。目前,金沙洲发生地面沉降的大部分地段的土层结构与金沙中学操场类似,其地面变形过程相近。

3.3 地下水坡降与地面沉降量对应关系

金沙洲地面沉降量等值线图(图8)显示,地面沉降量与地下水坡降呈现出大致一致的特点。如,断裂构造影响着地下水的补、径、排条件,当第四系松散岩类孔隙水与岩溶水含水层发生水力联系时,沿断裂带第四系孔隙水与岩溶裂隙水交替强烈,地下水坡降大,特别是在岩溶洞隙发育的断裂带或断裂交汇部位,地下水坡降达到最大,地面沉降量亦达到最大,显示出地面沉降中心与地下水降落漏斗中心具有一致性的特点。

4 地面沉降及岩溶地面塌陷发展趋势

金沙洲地下水位异常波动是该区岩溶地面塌陷、地面沉降地质灾害最活跃最明显的因素之一。

据地下水动态监测,某高铁隧道虽已于2009年5月完工并且已经通车,但隧道仍在抽排地下水,致

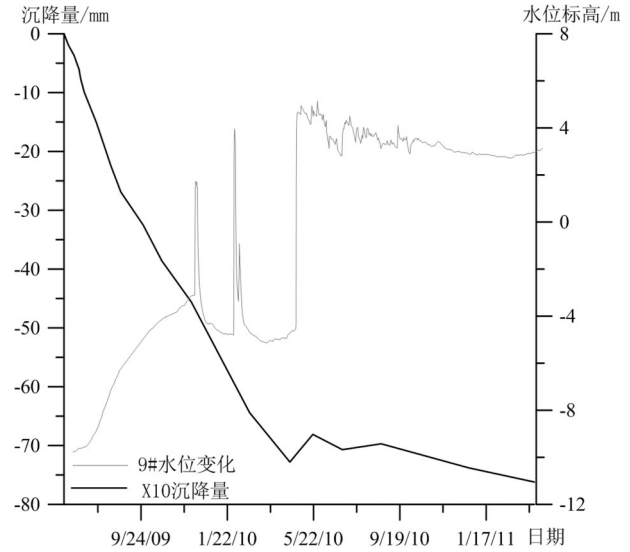


图7 操场地面沉降与地下水水位变化关系图
Fig. 7 Relationship between subsidence of playground and groundwater level change

BX1 沉降区域所在地段地下水位至2012年12月仍未恢复,地下水位维持在埋深9.00~13.50 m波动。据对BX1区域沉降监测,截至2012年12月,各监测点仍存在波动,基于本区域部分地面或建筑物沉降观测点的

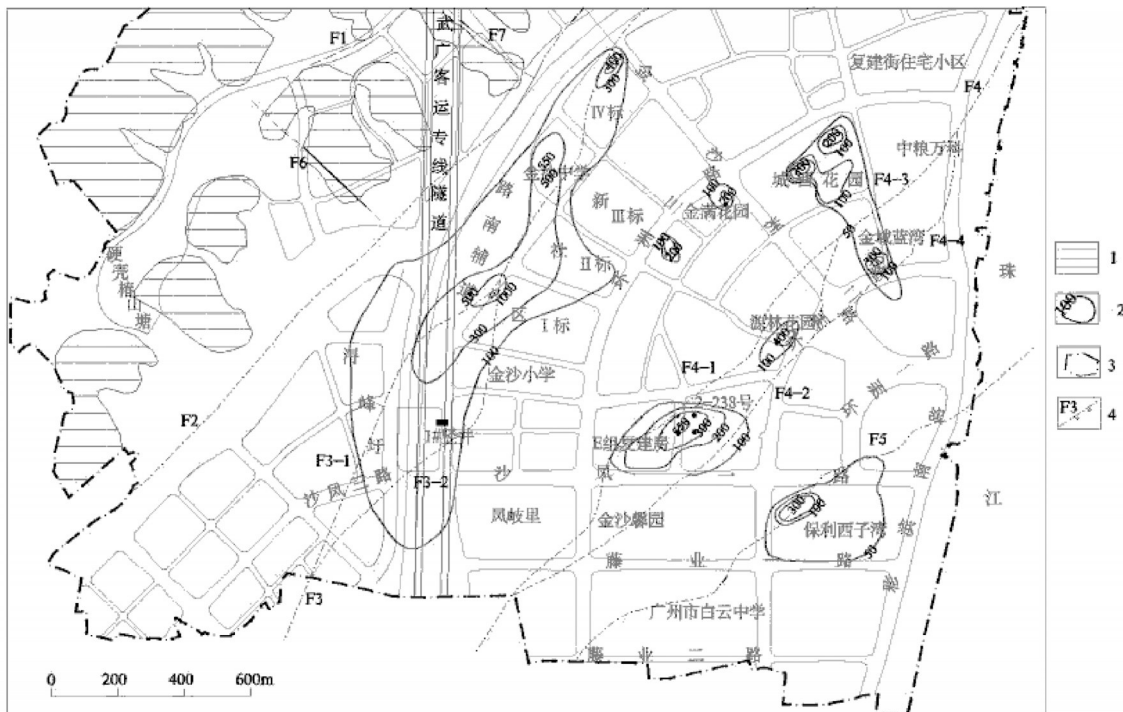


图8 地面沉降受断裂构造影响图
1—基岩出露范围;2—地面沉降等值线;3—金沙洲界线;4—断裂及编号
Fig. 8 Land subsidence affected by fracture structure

1—Boundary of rock; 2—Contour of subsidence; 3—Boundary of Jinshazhou; 4—Fault and its serial number

动态变化,加上区域内地下水动态仍不稳定,判断BX1沉降区域地面沉降仍在发展变化当中。

同理,在目前地下水位仍未恢复正常的BX1沉降区域所在地段,地下水的波动仍可能对土体产生渗透破坏作用,从而产生新土洞或使前期已形成的土洞继续扩大,导致塌陷继续发生。

5 结论及建议

研究结果表明,金沙洲岩溶地面塌陷、地面沉降受控于区内地下水的动态变化,当地下水位下降至基岩面附近时,是地面塌陷较活跃的时期;地面沉降与地下水动态变化呈正向相关,地面沉降在时间上滞后于地下水动态变化,滞后时间在4个月以上,并且地面沉降量与地下水坡降呈现出大致一致的特点。

由于岩溶地面塌陷、地面沉降与地下水动态变化关系密切,因此,要在类似的地质环境复杂区域有效控制地面塌陷及地面沉降的发生,必须严格保护地质环境,采取有效措施,严禁过量抽采地下水,保持区域地下水的自然平衡。

岩溶地面塌陷、地面沉降往往受多种因素的综合作用与制约,因此,应抓住地下水这一主控因素,采用人工或专业仪器监测结合地面巡查等多种手段,开展地质灾害预报预警。

参考文献(References):

- [1] 谢宝堂. 广花盆地岩溶特性及工程风险评价[J]. 建材与装饰, 2007, 15(5): 330-332.
Xie Baotang. Karst features of Guanghua basin and its engineering risk assessment[J]. Construction Materials & Decoration, 2007, 15(5): 330-332 (in Chinese with English abstract).
- [2] 张永定, 张澄博, 李洪艺, 等. 广州市西北区岩溶分布规律浅析[J]. 热带地理, 2011, 31(3): 257-261.
Zhang Yongdin, Zhang Chengbo, Li Hongyi, et al. The analysis of Karst distribution law in northwest of Guangzhou[J]. Tropical Geography, 2011, 31(3): 257-261 (in Chinese with English abstract).
- [3] 符诗存, 张建国. 广州市地质灾害现状与防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(3): 92-95.
Fu Shichun, Zhang Jianguo. The current situation of geological disasters in Guangzhou and its control measures[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(3): 92-95 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈邦影, 周心经. 广州市地质灾害发育分布与防治对策[J]. 西部探矿工程, 2006, 18(8): 280-281.
Chen Bangying, Zhou Xinjing. Development and distribution of geological disasters in Guangzhou and its control measures[J]. West China Exploration Engineering, 2006, 18(8): 280-281 (in Chinese with English abstract).
- [5] 黄健民, 郑小战, 陈小月, 等. 广州金沙洲广州大学附属实验学校地面沉降形成机理研究[J]. 热带地理, 2012, 32(4): 338-343.
Huang Jiangmin, Zheng Xiaozhan, Chen Xiaoyue, et al. Research on formation mechanism of land subsidence in experimental school attached to Guangzhou University in Jinshazhou[J]. Tropical Geography, 2012, 32(4): 338-343 (in Chinese with English abstract).
- [6] 朱照宇, 周厚云, 文启忠, 等. 广东沿海陆地地质灾害系统与灾害动力学[J]. 水文地质工程地质, 2002, 29(3): 14-16.
Zhu Zhaoyu, Zhou Houyun, Wen Qizhong, et al. Geological disasters and disaster dynamics of Guangdong coastal land[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2002, 29(3): 14-16 (in Chinese).
- [7] 史栾生, 陈敬德. 广花盆地地面塌陷成因与防治[J]. 中国岩溶, 1996, 15(3): 278-282.
Shi Luansheng, Chen Jinde. The reason of ground subsidence in Guanghua basin and its control measures[J]. China Karst, 1996, 15(3): 278-282 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李国和, 荆志东, 许再良. 京沪高速铁路沿线地面沉降与地下水位变化关系探讨[J]. 水文地质工程地质, 2008, (6): 90-98.
Li Guohe, Jing Zhidong, Xu Zailiang. Discussion of the correlation between land subsidence and groundwater level variation along the Jinghu high speed railway[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2008, (6): 90-98 (in Chinese with English abstract).
- [9] 辜寄蓉, 范晓, 彭东. 九寨沟地质灾害预测的空间分析模型[J]. 中国地质, 2002, 29(1): 109-112.
Gu Jirong, Fan Xiao, Peng Dong. Spatial analysis model for the forecast of geological disasters in Jiuzhaigou[J]. Geology in China, 2002, 29(1): 109-112(in Chinese with English abstract).
- [10] 张加桂, 陈庆宣, 蔡秀华. 三峡地区泥灰质岩石中几种表生构造及其与地质灾害的关系[J]. 中国地质, 2003, 30(3): 320-324.
Zhang Jiagui, Chen Qingxuan, Cai Xiuhua. Some supergene deformation structures in marly limestone in the Three-Gorges region and their relation to geohazards[J]. Geology in China, 2003, 30(3): 320-324(in Chinese with English abstract).
- [11] 孟晖, 张岳桥, 杨农. 青藏高原东缘中段地质灾害空间分布特征分析[J]. 中国地质, 2004, 31(2): 218-224.
Meng Hui, Zhang Yueqiao, Yang Nong. Analysis of the spatial distribution of geohazards along the middle segment of the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geology in China, 2004, 31(2): 218-224(in Chinese with English abstract).