武昌倒口湖地区F地块岩溶特征、地面塌陷机理分析及治理措施

樊永生，李爱军，汤江红
（武汉地质工程勘察院，湖北 武汉 430051）

摘 要：通过大量勘探资料，总结出该地区溶洞多分布在灰岩面附近及以下一定深度范围内，其中灰岩面往下5 m范围内溶洞最为发育，5 m以下溶洞相对较少；-14 m标高以上溶洞最多、最发育，为岩溶强发育带，-14 m标高以下溶洞相对渐少，为岩溶弱发育带。在水平方向上，多数为独立成洞，贯通的可能性较小，溶洞以单层为主，多层较少。岩溶地面塌陷是因上覆松散砂土颗粒受地下水潜蚀影响，长期不断流失，在砂土层中逐渐形成漏斗状疏松体，随着漏斗状疏松体的不断扩大，最后发生塌陷，属于“潜蚀—漏斗状疏松体型”塌陷。有针对性地采取高压水平帷幕、静压注浆以及渗透注浆的治理措施，可有效防止岩溶地面塌陷的再次发生。

关键词：武昌倒口湖F地块；岩溶发育特征；地面塌陷机理；治理措施
中图分类号：P642.25；P642.26 **文献标识码**：A **文章编号**：1671-1211(2010)04-0394-04

0 引言

武昌倒口湖地区F地块地处武金堤西、防洪墙东江泰路—江安路之间，目前正在进行商业住宅开发，规划总用地面积约100 hm^2，总建筑面积约150万m^2，居住人口将达3万~4万，一期工程基本建成，二期工程处于前期勘察阶段，该地块北端灰岩岩溶发育，对工程建设不利。依据勘察及岩溶治理情况，本文对该区岩溶发育特征、岩溶地面塌陷形成机理、防治措施等予以总结分析。

1 地质环境条件

1.1 地形地貌

武昌倒口湖地区F地块位处长江南岸，地貌单元属长江一级阶地前缘漫滩，西北临长江，距离长江防洪墙约100 m，东南与武金堤毗邻。

1.2 地质构造

该地块位于青菱寺压扭性断裂以西，关山扇形向斜核部附近，地层以三叠系灰岩为主，白垩—第三系泥岩为辅。受构造挤压作用，下伏岩体裂隙较发育、破碎，岩溶现象发育。

1.3 地层岩性

本地块地层具典型长江一级阶地二元结构特征，表层为①人工填土，第四系全新统冲积成因(Q_4^{al})堆积物，自上而下依次为②粉质粘土，厚3.20~7.40 m；③粉质粘土夹粉土、粉砂，厚2.20~4.40 m；④粉砂，厚7.80~13.20 m；⑤细砂，厚5.80~11.30 m；⑥砾砂，厚0.90~4.30 m；场地南端下伏基岩为上第三系(N)泥岩；北端下伏基岩为⑦三叠系大冶组(T_1d)可溶性碳酸盐岩(灰岩)。岩溶分区见图1。

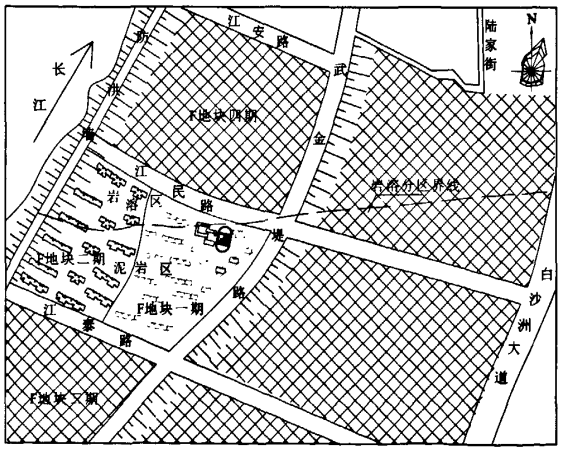

图1 岩溶分区示意图
Fig. 1 Map of karst partition

1.4 水文地质特征

该地区地下水主要为松散岩类孔隙水和碳酸盐岩岩溶裂隙水。松散岩类孔隙水赋存于上覆第四系全新统冲积砂类土层中，孔隙发育、透水性好、富水性强，为强含水层，具承压性，水位标高19.10~20.20 m。

收稿日期：2010-01-19；改回日期：2010-03-01
作者简介：樊永生（1973-），男，工程师，工程地质与水文地质专业，从事岩土工程勘察工作。E-mail：fys368@126.com

万方数据

碳酸盐岩岩溶裂隙水主要赋存于下伏三叠系大冶组(T_1d)灰岩中,岩溶发育,岩溶管道畅通,该含水层基本是直接隐伏于孔隙含水层之下,局部分布薄层粘性土,上部孔隙承压水与下伏岩溶水有着较好的水力联系。岩溶水含水层顶板埋深一般在28.30~31.60 m之间,由于岩溶发育的不均一性,因此整个含水层的富水性及透水性与岩溶发育状况关系密切,水位高程一般在17.0~21.0 m之间。

区内孔隙水水位变化明显受长江水位控制,有着明显的季节性变化特征,据2000~2001年场区附近水文观测资料表明,长江枯水期(1~2月)江水位平均12.40 m,处于全年最低值,孔隙承压水位全年最低为16.80 m;平水期(4~5月)长江水位开始上涨,孔隙承压水位也缓慢恢复到17.3 m;丰水期(7~9月)长江水位达到最高,孔隙承压水也上升至20.0~20.7m,孔隙承压水水位年变幅在4.2 m左右。

下伏碳酸盐岩岩溶裂隙水水位虽也受长江水位变化的影响,但变化特征与长江水位对孔隙承压水水位影响有所不同,这主要是岩溶水水位变化还受孔隙水水位变化的影响。据水文观测资料,岩溶水水位最高值出现在8月份,为17.59 m,最低值出现在2月份,为12.41 m。4~10月份长江水位和孔隙水水位均高于岩溶水水位,此时段岩溶水水位主要受长江水位影响。11月~次年3月,岩溶水位高于长江水位,但低于孔隙水水位,此时段岩溶水水位受控于孔隙水水位,岩溶水水位年变幅在5.2 m左右。

2　岩溶发育特征

2.1　碳酸盐岩埋藏类型

根据碳酸盐岩埋藏特点,该区域碳酸盐岩可分为覆盖型和埋藏型碳酸盐岩两种类型。覆盖型是第四系松散堆积物直接覆盖在碳酸盐岩之上;埋藏型是第四系堆积物覆盖与碳酸盐岩之间隔有第三系地层。本文以覆盖型为对象进行分析。

2.2　岩性特征

区内三叠系下统大冶组(T_1d)岩性为灰白色微晶灰岩及紫红色,薄—中层条带状泥质灰岩,隐晶、泥粒结构,层状及条带状构造,矿物成分以方解石为主,含量占97%以上,其次为水云母,含量约占1%,含微量石英、褐铁矿,化学组成主要是CaO和CO_3,二者含量达95%左右,其次为SiO_2、MgO、K_2O、NaO,具可溶性。

2.3　岩溶发育状况[1]

勘察施工中大部分钻孔漏水严重,说明溶蚀裂隙发育。岩溶形态有溶洞、溶隙、溶孔和溶槽等形态,其中溶隙、溶孔最为常见,溶隙一般宽0.1~0.4 cm,溶孔直径多在0.3~5 cm;溶槽仅部分钻孔见到,宽3~5 cm;溶洞是场地岩溶的主要形态,对工程和地基稳定性影响最大,溶洞垂高多在0.10~3.00 m之间,部分3.00~4.20 m,多数被充填或半充填,仅少数为空洞。溶洞充填物为亚粘土和岩石碎屑混亚粘土,亚粘土状态不一,从软塑—硬塑状均有,岩石碎屑混亚粘土多松散状,具体溶洞发育情况见典型纵断面图(图2)。

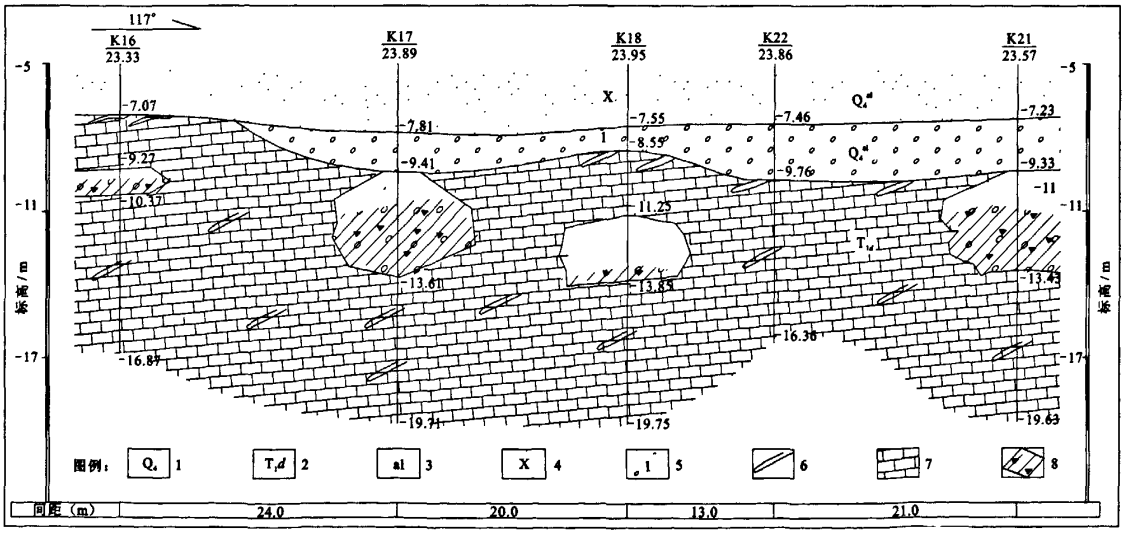

图2　溶洞发育情况典型纵断面图

Fig.2　Typical vertical section diagram of development of karst cave

1.第四系全新统;2.三叠系下统大冶组;3.冲积物;4.细砂;5.砾砂;6.裂隙;7.灰岩;8.溶洞及充填物。

万方数据

2.4 岩溶发育基本规律

通过对勘察揭露的近千个勘探孔地层资料的统计分析，溶洞在垂向上有一定的分带性，从溶洞与基岩面的相对位置分析，多分布在灰岩面附近及以下一定深度范围内，其中灰岩面往下 5 m 范围内溶洞表现为最发育，5 m 以下溶洞相对较少，岩体也渐完整；从溶洞分布所在标高分析，－14 m 标高以上溶洞最多、最发育，为岩溶强发育带，－14 m 标高以下溶洞相对较少，为岩溶弱发育带。在水平方向上，从溶洞分布标高和充填物特征判断，多数为独立成洞，贯通的可能性较小；在揭露深度范围内，溶洞以单层为主，多层较少，以溶蚀裂隙及覆盖型溶洞为主，开口型溶洞较少，岩溶发育基本特征及分布规律统计见表 1。

表 1 溶洞发育特征及分布规律汇总表

Table 1 Summary of development characteristics and distribution of karst cave

类型	溶洞遇见率	开口溶洞	空洞	半填充	全填充	灰岩面下 5 m 以上	灰岩面下 5 m 以下	－14 m 标高以上	－14 m 标高以下
百分比%	38.47	3.37	21.10	43.25	35.65	98.68	1.32	96.04	3.96

3 岩溶地面塌陷及治理

3.1 岩溶地面塌陷形成条件

（1）表层土以下为疏松的砂土，直接覆盖于溶蚀现象发育的灰岩之上，在地下水的潜蚀、渗透作用下，无粘结的松散砂土颗粒很容易随水进入溶洞中，导致砂土层被扰动形成扰动土层，是区域内岩溶地面塌陷产生的基础。

（2）下覆碳酸盐岩岩溶发育，尤其是岩溶在基岩面部分较发育，形成一些开口溶洞和溶蚀裂隙，为上覆砂土颗粒创造了流失空间，在适宜的地下水动力条件下，经过一定时间，扰动土层规模逐渐扩大，形成潜蚀—漏斗状疏松体。

（3）孔隙水、岩溶水和长江水联系密切，通过地下水与地表水的补排过程，使渗流作用变得强烈，为上覆疏松砂土渗透变形流失提供了动力，推动了岩溶地面塌陷的产生。

通过静力触探测试对比，在场区砂土颗粒被潜蚀破坏孔段 P_s 值下降 26% ~35%，说明该段砂粒在不断流失，强度降低，变得疏松；而在砂层底部分布有粘性土层地段，砂土试验曲线 P_s 值比较正常，说明砂土颗粒未流失，反映出粘性土在此起到了阻隔作用，防止了地下水对砂土颗粒造成的潜蚀破坏，为治理措施的选择提供了基础依据，详见图 3。

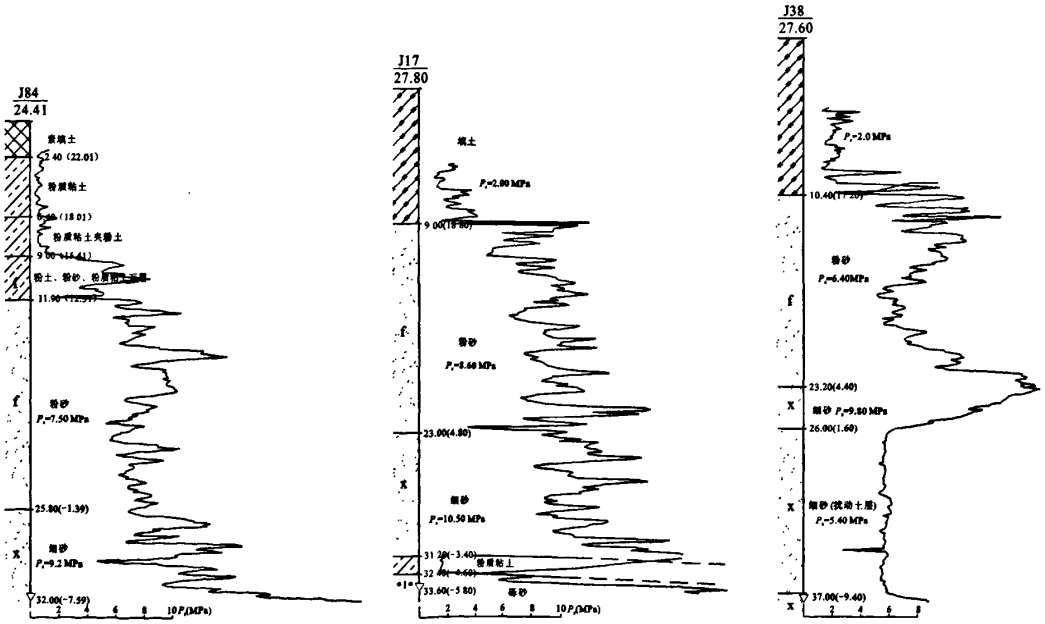

图 3 静力触探 P_s-H 曲线测试对比图

Fig. 3 Measurement comparison chart of CPT Ps-H curve

万方数据

3.2 岩溶地面塌陷发生机理

区内发生岩溶地面塌陷是地下水潜蚀和重力作用的共同结果,一般具备下列三个基本条件,即上覆盖层为第四系全新统松散堆积物,具"上粘下砂"二元结构,下伏基岩直接隐伏于砂层之下;基岩为可溶性碳酸盐岩,浅部岩溶发育;孔隙承压水与岩溶水水力联系密切。在第四系孔隙承压水与岩溶水补排形成了一定的水头差,产生渗透压力,当渗透压力大于上覆砂性土颗粒间连接力和孔隙水的浮托力时,会发生潜蚀作用,使接触基岩部位的砂颗粒向岩溶空隙和溶洞中运移流失,导致上部砂层不断产生扰动,补偿了基岩面部位的砂粒在流失的过程中留下的空间。上部砂层在重力作用下逐渐形成漏斗状疏松体,这种作用持续发生,漏斗状疏松体不断扩大,随后发生塌陷,这种塌陷属于"潜蚀—漏斗状疏松体型"塌陷[2],其发展过程参见图 4。

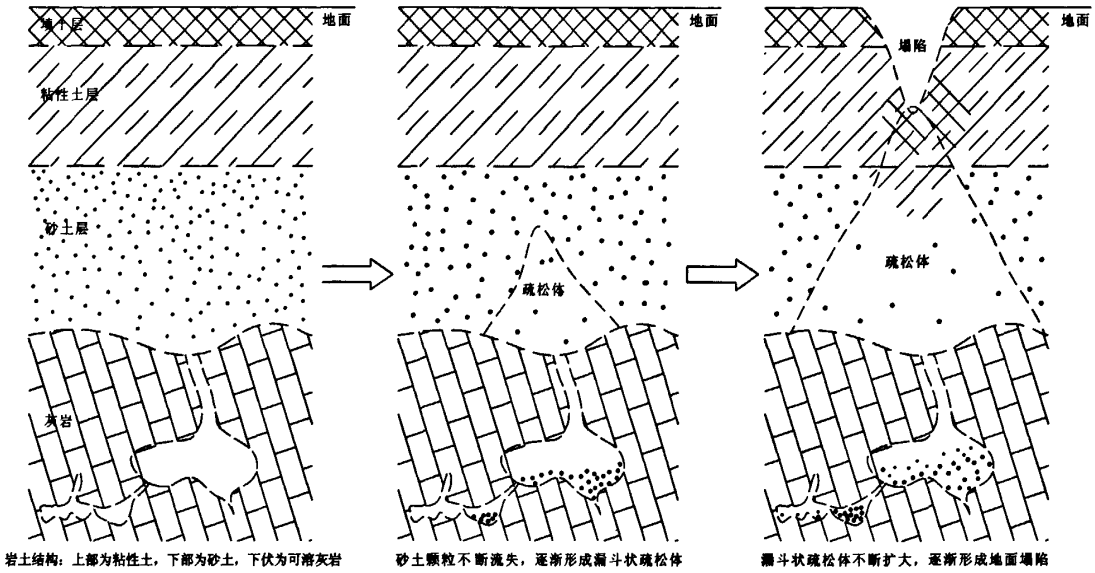

图 4　塌陷基本原理及过程示意图

Fig. 4　Schematic diagram of the basic principles and process of collapse

3.3 岩溶地面塌陷基本规律

武昌倒口湖地区已发生过六次地面塌陷,从发生的时间分析,基本集中在每年的 4 ~ 7 月,此时段,长江水位上涨迅速,砂土层中孔隙承压水位高于岩溶水,近江段高于远江段,地下水水力坡度加大,两层水自身和相互间的水力活动加剧,砂土颗粒随地下水的运动流失加剧(砂土颗粒流入岩溶裂隙、岩溶空洞),失稳概率加大,引发地面塌陷。

3.4 岩溶治理

该地块部分既有建筑物,在结合本地区岩溶发育的基本特征及塌陷形成的机理基础上,有针对性地采用了高压水平帷幕、静压注浆以及渗透注浆的治理措施[3];对于拟建建筑物主体工程,基础全部采用嵌岩桩,持力层要穿过溶洞进入稳定的岩层中,施工前采取了一桩一孔的超前钻探,在钻探孔成孔后,对揭露到溶洞的钻孔部位,进行下管注浆,注浆段完成注浆后,同样对松散覆盖层底部也进行注浆处理。经过上述方法的综合治理,既有建筑和新建建筑物均处于安全状态,有效地防止了岩溶地面塌陷的再次发生,同时也印证了本文分析结论的正确性。

4 结语

武昌倒口湖地区 F 地块下伏灰岩岩溶发育部位主要分布在灰岩面以下 5 m 深度范围,标高主要集中在 ~14 m 以上,向下岩溶发育逐渐减弱。岩溶地面塌陷是因上覆松散砂土颗粒受地下水潜蚀影响,长期不断流失,在砂土层中逐渐形成漏斗状疏松体,漏斗状疏松体不断扩大,最后发生塌陷。

参考文献:

[1] 樊永生,李爱军,等. 武昌倒口湖地区综合开发项目岩溶专题勘察报告[R]. 武汉:武汉地质工程勘察院,2006.

[2] 范士凯. 武汉(湖北)地区岩溶地面塌陷[J]. 资源环境与工程,2006(增刊):612 - 614.

[3] 杜嘉鸿,张崇瑞,何修仁,等. 地下建筑注浆工程简明手册[M]. 北京:科学出版社,1992:178 - 202.

(责任编辑:潘　潇)(下转 407 页)

万方数据

岭南采空塌陷区体积的估算在公路轴方向以采空塌陷区范围为界,横向上采用前面所确定的治理宽度。据此原则及上述估算公式,可估算出需要进行治理的采空塌陷区空隙体积,然后根据采空区空隙体积,取灌浆浆液的结石率为 80%,灌浆浆液对采空区及上覆层中的裂隙、缝隙的充填率为 75%,最终可计算出灌注浆液体积[3]。

3 结束语

采空区治理工程是一项隐蔽工程,应对施工阶段实行动态控制,及时掌握钻孔注浆工程中反馈的信息,以便做必要的调整。

岭南高速公路目前已通车运营,截至目前采空塌陷区没有产生破坏和影响公路工程正常使用的变形,状况良好。岭南高速公路采空区的成功治理,为公路建设地下采空区治理积累了宝贵经验。

参考文献:

[1] SL 62—94,水工建筑物水泥灌注浆施工技术规范[S].
[2] 孙忠弟.高等级公路下伏空洞勘探、危害程度评价及处治研究报告集[M].北京:科学出版社,2000.
[3] 黄绍铭,高大钊.软土地基与地下工程[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.

(责任编辑:于继红)

Application of Cemented Casting Method in Treatment of Underground Mined-out Area

ZHOU Genfen
(*Ling Nan Superhighway Co. ,Ltd. ,Nanyang,Henan* 473000)

Abstract: This paper briefly introduces the situation of mined-out area and scheme selection for treatment of mined-out area. Take treatment of underground mined-out area in the construction of Lingnan expressway for instance. This article makes a particular discuss for the design of cemented casting method from aspects of grouting hole spacing, depth, grouting hole layout, slurry proportion.

Key words: mined-out area; cemented casting method; Lingnan expressway

(上接 397 页)

Development Characteristics of Karst and Analysis of Collapse Mechanism on the Ground on F block in Daokou Lake Area in Wuchang

FAN Yongsheng, LI Aijun, TANG Jianghong
(*Wuhan Institute of Geological Engineering Exploration, Wuhan, Hubei* 430051)

Abstract: With a large number of exploration data, the paper summarizes karst cave more distributed in the limestone near the surface or below a certain depth. Limestone face within 5 m down cave is most developed, 5 m following cave is relatively small and rock has gradually complete; -14 m elevation above caves is most numerous and the most developed for the strong growth of karst zone, -14 m elevation following cave is relatively small for the weak development of karst zone. In the horizontal direction, it is the majority of separate holes, the possibility of linking is small, karst cave predominate in single layer, multi-layer is less. Karst land collapse is affected by groundwater suffusion owing the overlying loose sand particle, continuously potentially loss, it gradually formed funnel-shaped porous body in the sandy soil layer, as the funnel-shaped porous body expanded then ultimately collapse, and it is "potential loss-funnel-shaped porous body," collapse. The governance measures targeted high levels of curtain, static pressure grouting and permeation grouting prevent the recurrence of karst land collapse effectively.

Key words: F block in Daokou lake area in Wuchang; development characteristics of karst; collapse mechanism on the ground

万方数据