维普资讯 http://www.cqvip.com

高滩地区岩溶地面塌陷地质灾害易发程度评价

苏贵臣
（广州市地质调查院）

摘　要　岩溶地面塌陷地质灾害的形成与灰岩区的地质环境条件密切相关，地质结构、水文地质条件对松散盖层中土洞的形成、规模、形态等起着的重要作用。通过对高滩地区隐伏灰岩区地质结构、覆盖层岩性组成、性状及岩溶发育程度的进行分析研究，以地质环境条件这个相对不变因素为依据，采用综合指数法对该区岩溶地面塌陷地质灾害易发程度进行预测评价。

关键词　灰岩　岩溶地面塌陷　地质灾害

高滩地区是广东省岩溶地面塌陷地质灾害多发区之一。该地区岩溶地面塌陷地质灾害主要分布于开采石场周边，到目前为止，据现场调查，该区岩溶地面塌陷地质灾害共有112处，全区地表单位面积内岩溶地面塌陷坑数量为9.3个/km^2，塌陷坑密集地段单位面积内岩溶地面塌陷坑数量多达280个/km^2。位于采石场附近塌陷坑规模较大，地面塌陷发生频率高，而靠近村庄的岩溶地面塌陷地质灾害给当地造成的社会影响、经济损失及危害程度均较为严重。岩溶地面塌陷多呈群积式出现，陷坑一般呈近圆形，每个塌陷群的塌陷坑数量一般为3～10个，塌陷坑直径一般2～8m，可见深度一般0.5～5m，岩溶地面塌陷地质灾害给当地造成很大的经济损失。

1　地质环境条件

该区灰岩主要为石炭系石磴子组灰岩，其岩溶裂隙发育，开启性、连通性强，据石灰岩矿区施工的25个钻孔资料，钻孔入岩深度一般在30～60m之间，灰岩中总尺1337m，其中揭露有溶洞分布的钻孔19个，钻孔遇洞率为76%，钻孔共揭露溶洞88个，其中溶洞高度在10m以上的有7个，5～10m的有8个，2～5m的有19个，岩溶率为21%，这些溶洞多呈充填至半充填状，为地下水活动提供了有利条件。

覆盖层为第四系冲洪积层，岩性主要为卵石、砾石、中粗砂、亚砂土、亚粘土、粘土，覆盖层厚度一般为8.0～20.0m，较薄处为5.0m，较厚处达30m，厚度变化较大，两钻孔之间覆盖层厚度差最大达10m；覆盖层结构松散，在地下水的作用下易形成土洞，局部地段砂卵石层直接与灰岩面接触，为第四系松散岩类孔隙水和碳酸盐岩裂隙溶洞水的联系提供了便利条件。

该区地下水主要分布有第四系松散岩类孔隙水和碳酸盐岩溶裂隙溶洞水：

（1）第四系松散岩类孔隙水：含水层岩性主要为砾石、卵石等，卵石粒径一般在10～30cm之间，呈半滚圆～滚圆状，其磨圆度及分选性均较好，含水层厚度一般6～10m，含水层顶面埋深一般为0.5～3m，地下水水位埋深2.0～7.4m，据民井简易抽水试验，其单位涌水量超过13L·(s·m)$^{-1}$，该含水层富水性不均，其富水性中等至强，水量中等至丰富。

（2）碳酸盐岩裂隙溶洞水：含水层岩性为中厚层状灰岩，岩溶裂隙十分发育，据所钻孔的资料，钻孔见洞率76%，总岩溶率为21%，钻孔揭露最大溶洞高达35.9m，地下水位埋深一般为3.0～10.0m，地下水类型为承压水，该含水层富水性不均，单位涌水量为87.5～247.9L·(s·m)$^{-1}$，含水层富水性中等～强，水量中等～丰富，局部地段灰岩面直与砂砾层直接接触，碳酸盐岩裂隙溶洞水与第四系松散岩类孔隙水存在有强烈联系。

该区构造较为复杂，主要以北西向褶皱和断裂为主，其次为东西向、北东向和近南北向断裂：

（1）区内发育一组北西向背斜和向斜，背向斜轴方向为北西～北北西，背斜轴部地层为石炭系石磴子组灰岩，向斜核部地层为石炭系测水组砂页岩，该背向斜因受断裂切割，其形态完整性受致到破坏。

（2）断裂：该区断裂甚为发育，西南部主要以叠瓦式、角度较陡的压性或压扭性断裂为主，使灰岩区

〔收稿日期〕 2006－05－12

维普资讯 http://www.cqvip.com

外围上泥盆系帽子峰组地层形成高山，东北部由于北西向断裂影响和火山岩的侵入，使区内中上石炭纪至下侏罗纪的地层未见出现，并在东北部山枣坛一带出现上升泉，区内断裂大多为压性或压扭性断层，其导水性相对较差，但对该区岩溶发育仍有影响。

2 岩溶地面塌陷地质灾害的形成

岩溶地面塌陷地质灾害形成的基本条件：岩溶发育程度较强的灰岩、结构松散的覆盖层及水动力条件强烈的地下水，据调查该区岩溶地面塌陷地质灾害的产生除和岩溶地面塌陷地质灾害形成的基本条件相关外，还与该区碳酸盐岩裂隙溶洞水水位大幅度升、降变化有着重要关系，其形成过程如图1。

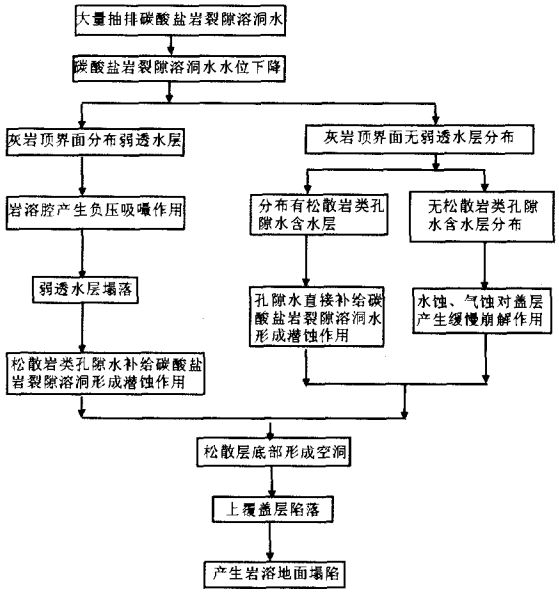


图1 高滩地区岩溶地面塌陷地质灾害形成过程

高滩地区岩溶地面塌陷地质灾害的产生，一方面由于负地形开采石灰岩矿产，抽排渗流石场中的地下水，影响岩溶地面塌陷地质灾害的发生频率、密度、数量及分布特征，如在1980年以前，没有开采石灰岩矿产，该地区很少没有发生地面塌陷现象。八十年代后期，随着采石场的兴建（均为负地形开采），大量抽排渗流入石场中的地下水，开始在采石场附近出现岩溶地面塌陷地质灾害现象，随着开采深度的加深，抽排地下水水量增大，在石场周边地段岩溶地面塌陷地质灾害发生的频率、数量、规模均增大，且距石场较远的地段也出现岩溶地面塌陷地质灾害。另一方面碳酸盐岩裂隙溶洞水水位动态变化对松散盖层的潜蚀作用具明显差异，当松散盖层底部发育含水层时，碳酸盐岩裂隙溶洞水水位升、降速度和变幅愈大，岩溶空腔内气压变化愈显著，由此形成吸嘬力加快第四系松散岩类孔隙水的渗透速度，增大其对砂土颗粒的潜蚀作用，从而加剧了松散盖层形成土洞，并产生塌陷过程，反之，第四系松散岩类孔隙水含水层不发育或无含水层分布的状况下，结构松散的盖层，在长期水蚀、气蚀等作用下，亦可形成土洞，从而诱发塌陷发生。

3 岩溶地面塌陷地质灾害易发程度评价

（1）评价方法：岩溶地面塌陷地质灾害是人类工程活动与地质环境相互作用的必然结果，人类工程活动主要包括对碳酸盐岩裂隙溶洞水的开采方式和开采强度，是可变因素，地质环境主要包括隐伏灰岩岩溶发育程度、覆盖层结构等，为相对不变因素，这些相对不变因素是制约岩溶地面塌陷地质灾害形成的基本条件，为较为客观的对高滩地区岩溶地面塌陷地质灾害进行评价，在此以地质环境条件这个相对不变因素为基础进行预测，预测模式为：

$$R=\sum_{i=1}^{n}M_i\times K_i$$

式中：R－综合指数；M_i－岩溶地面塌陷地质灾害形成条件约束因子第i项因子的分值；K_i－第i项约束因子的条件权重。岩溶地面塌陷地质灾害预测指数采用百分制打分法，根据各要素对塌陷形成的制约程度分别赋予不同标度分值和条件权重。

（2）评价因子选择：根据以地质环境条件为基础的评价原则，选择第四系松散盖层总厚度、第四系松散岩类孔隙水含水层厚度、灰岩岩溶发育程度、第四系松散岩类孔隙水及碳酸盐岩裂隙溶洞水水力联系程度等要素作为主要评价因子。岩溶发育程度的界定，根据各地段灰岩岩溶发育程度、钻孔遇洞率、钻孔岩溶率等地质环境条件及野外岩溶地面塌陷调查，按表1所述特征分为强、中、弱3个级别。

表1 岩溶发育程度分级表

岩溶发育程度	地表岩溶发育密度（个/km^2）	钻孔岩溶率/（%）	钻孔遇洞率/（%）	泉流量/L·s	单元涌水量/L·（s.m）$^{-1}$
强	>5	>10	>60	>100	>1
中	1~5	3~10	30~60	10~100	0.1~1
弱	<1	<3	<30	<10	<0.1

维普资讯 http://www.cqvip.com

(3)评价因子标度值的确定:由于第四系松散岩类孔隙水与碳酸盐岩溶裂隙溶洞水联系程度主要取决于灰岩顶界面弱透水层(如粘性土层)的厚度,为便于量化评价指标,对其按厚度 1m,1~3m,大于 3m 进行 3 级划分,并赋予不同权重;第四系松散岩孔隙水富水性与含水层厚度关系密切,对其也按厚度 1m,1~3m,大于 3m 进行 3 级划分,并赋予不同权重;据统计,灰岩覆盖层厚度小于 10m 的地段岩溶地面塌陷占绝大多数,厚度 10~30m 覆盖层的地段岩溶地面塌陷数量较少,而厚度大于 30m 覆盖层的地段仅零星出现岩溶地面塌陷,结合统计结果对覆盖层也按厚度 10m,10~30m,大于 30m 进行 3 级划分,并赋予不同权重,各评价因子标度值见表 2。

表 2 岩溶地面塌陷地质灾害预测评价因子取值表

约束因子	单因子标度分值(M_i)	单因子约束条件	约束条件权重(K_i)
第四系松散土层总厚度/m	10	<10	0.5
		10~30	0.3
		>30	0.2
第四系含水层厚度/m	20	>3	0.5
		1~3	0.3
		<1	0.2
灰岩顶界面岩溶发育程度/(%)	30	强	0.6
		中	0.3
		弱	0.1
灰岩顶界面弱透水层发育程度/m	40	<1	0.6
		1~3	0.3
		>3	0.1

(4)岩溶地面塌陷地质灾害易发程度的划分:根据综合指数(R),可将岩溶地面塌陷地质灾害易发程度分为 3 级,即:高易发区($R \geqslant 50$)、中易发区($40 < R < 50$)、低易发区($R \leqslant 40$)。

高易发区:指隐伏灰岩顶界界面岩溶发育程度较强-强烈,碳酸盐岩裂隙溶洞水与第四系松散岩类孔隙水水力联系密切,目前已重复发生多次塌陷、群的区域,或碳酸盐岩裂隙溶洞水水位多在灰岩顶界面附近,地下水水位变化对第四系松散土层具显著的潜蚀作用,由于岩溶地面塌陷地质灾害形成的地质环境充分,在大强度采、排下水的情况下容易发生岩溶地面塌陷的区域。

中易发区:指隐伏灰岩顶界面岩溶发育程度较强-强烈,碳酸盐岩裂隙溶洞水与第四系松散岩类孔隙水力联系中等,目前仅发生零星塌陷坑的区域,或碳酸盐岩裂隙溶洞水水位多在灰岩顶界面以上,在大强度采、排地下水的情况下,局部地段容易发生岩溶地面塌陷的区域。

易发区:指隐伏灰岩顶界面岩溶发育程度弱,或虽然较强-强烈,但因具备下列条件而不易发生岩溶地面塌陷的区域。1)第四系松散岩类出露位置较高,富水性差至无含水层;2)第四系松散岩类具备一定的富水能力,或富水性强,但灰岩顶界面普遍发育厚度较大且空间分布连续的弱透水层(如粘土层),致使第四系松散岩类孔隙水与碳酸盐岩裂隙溶洞水无明显水力联系的区域。

4 结 论

据钻孔资料,高滩地区钻孔遇洞率达 76%,岩溶率为 21%,第四系松散岩类孔隙水单位涌水量大于 $13L\cdot(s\cdot m)^{-1}$,碳酸盐岩裂隙溶洞水单位涌水量在 $87.5\sim247.9L\cdot(s\cdot m)^{-1}$ 之间,据野外调查,全区地表单位面积内岩溶地面塌陷地质灾害坑数量为 9.3 个/km^2,塌陷坑密集地段达单位面积内岩溶地面塌陷地质灾害坑数量为 280 个/km^2,结合岩溶发育程度的界定(表 1),高滩地区岩溶发育程度为强发育。

根据岩溶地面塌陷的预测模式($R=\sum_{i=1}^{n} M_i \times K_i$)和岩溶地面塌陷地预测评价因子取值(表 2),结合高滩地区的地质环境条件:岩溶发育程度为强发育,第四系松散土层厚度一般为 8.0~20.0m,第四系含水层厚度一般 6~10m,局部地段砂卵石层直接与岩溶槽堆积物接触,灰岩顶界面弱透水层厚度小于 1m,综合确定高滩地区为岩溶地面塌陷易发区($R=55$)。

根据高滩地区岩溶地面塌陷地质灾害发生的时间,在 1980 年以前,没有开采石灰岩矿产,该地区很少没有发生地面塌陷现象,八十年代后期,随着采石场的兴建(均为负地形开采),大量抽排渗流入石场中的地下水,才开始在出现岩溶地面塌陷地质灾害现象,并随着石场开采深度的加深,抽排地下水水量增大,岩溶地面塌陷地质灾害发生的频率、数量、规模也随之增大,可见该区岩溶地面塌陷地质灾害的发生除与该区属岩溶地面塌陷地质灾害高易发区外,与该区开采地下石灰岩矿产导致地下水位变化有重大关系。

参 考 文 献

[1] 广州市综合勘探大队. 广东省高滩石灰岩矿区详查报告. 1992.

[2] 常士骠. 工程地质手册. 北京:中国建筑工业出版社,1994.

[3] 项式均,王 诞. 岩溶地区工程地质调查规程. 北京:中国标准出版社,1993.

作者通讯地址:广州市白云区加禾圆坛岭路 200 号广州市地质调查院 **邮编**:510440