

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S2.034

# 地下水升降分析的灰岩地区生态环境问题

曹海涛<sup>1</sup>, 姚 军<sup>2</sup>

(1. 湖南省湘咨招标咨询有限责任公司, 长沙 410016; 2. 湖南省交通规划勘察设计院, 长沙 410008)

**摘 要:**土洞、天坑等岩溶塌陷的发生越来越频繁, 严重威胁人民群众的生命财产安全。文中从灰岩地区发生岩溶塌陷的主要诱因—地下水水位升降的角度入手, 分析导致岩溶塌陷进而破坏生态环境的原理, 并针对基于这种诱因的岩溶塌陷的发生原理提出相应建议。

**关键词:**生态环境; 岩溶塌陷; 地下水水位升降

**中图分类号:** TU46      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1674-4764(2013)S2-0134-02

## Study on the Limestone Area Ecological Environment Problems Based on the Analysis of Groundwater Elevation

Cao Haitao<sup>1</sup>, Yao Jun<sup>2</sup>

(1. Hunan Xiangzi Bidding Consulting Co., Ltd, Changsha 410016;

2. Transportation Planning Survey and Design Institute of Hunan Province, Changsha 410008)

**Abstract:** Soil cave, karst collapse doline, occur more and more frequently, a serious threat to people's life and property safety. This paper starts from limestone areas of karst collapse causes-groundwater level elevation angle, analysis of its causes and the destruction of the ecological environment of karst collapse, and based on the principle of karst collapse such incentives put forward the corresponding proposal.

**Key words:** ecological environment Karst collapse Groundwater level fluctuation

在不久前召开的党的十八大会议上, 首次提出了“美丽中国”的概念和愿景, 而生态环境作为“美丽中国”的外在载体, 其美丽与否关乎“美丽中国”愿景的能否实现。然而, 随着人类生产生活的不断进步, 人们对于大自然的索取也与日俱增, 而这种无度的索取给大自然带来的往往是难以恢复的破坏, 慢慢地人们开始受到大自然的惩罚。比如, 最近, 许多南方灰岩地区相继发生了不同规模的岩溶塌陷(见图 1), 给人们的生命财产安全带来了直接或间接的威胁, 同时带来一系列的生态环境问题。于是, 分析岩溶塌陷的诱因并加以应对就显得尤为重要了, 文中将从岩溶塌陷的主要诱因——地下水水位升降的角度着手进行分析并提出相应应对建议。

### 1 地下水水位升降对生态环境(岩溶塌陷)的影响

灰岩地层在中国南方地区分布广泛, 且埋深相对较浅, 而南方地区雨水较多, 由于灰岩岩溶大多较发育, 溶蚀裂隙, 溶沟, 溶槽、溶洞多具有良好是过水及储水条件。而灰岩上覆的黏性土多为红黏土或次生红黏土, 且薄厚不均, 其物理力学性质难免受到地表水和地下水的水位升降作用的影响。针对地下水水位升降在岩溶塌陷的形成中的作用。

**1.1 地下水水位变化引起溶洞或空腔的压力及周围土体受力作用**  
当地下水水位上升时, 将岩溶洞隙或空腔空间的气体进



图 1 灰岩地区生态环境破坏(岩溶塌陷)实景

行压缩, 形成正高压气团, 在该密闭的空间内, 气体对其空腔周围的岩土体产生正压, 当空腔顶部(覆盖层)较薄时, 气压可冲破顶部覆盖层土体, 造成塌陷。当地下水位下降时, 岩溶空腔内原有的气体变得稀薄, 气体对其空腔周围的岩土体产生负压, 对周围岩土体产生吸力, 使周围岩土体表层遭到吸蚀, 进而剥落。对于覆盖层土体中的地下水(主要为土体中的潜水), 随着空腔空间所承受的负压不断增加覆盖层土

收稿日期: 2013-09-30

作者简介: 曹海涛(1984-), 女, 工程师, 主要从事环境保护研究, (E-mail) 34130236@qq.com。

体中赋存的地下水(主要为土体中的潜水)向下渗透的附加水头,加剧了对土体的潜蚀,加速土体的破坏和土洞的形成及扩展(见图 2)<sup>[2]</sup>。

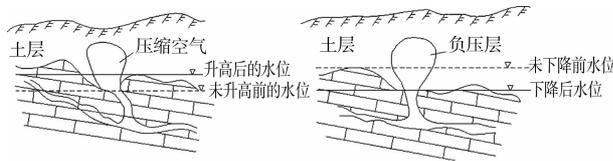


图 2 岩溶空腔空气受地下水升降形成正负压力示意图

综上所述可以看出,在岩溶洞隙或空腔空间中的地下水,无论是上升对周围岩土体形成正压还是下降形成负压,都破坏了原有的力的平衡,对周围岩土体的稳定不利,会在一定程度上加剧塌陷的产生。

1.2 运用数学模型对地下水水位下降使溶洞周围岩土体产生塑性破坏进行分析判断

笔者运用地质模型分析了当地下水水位升降对岩溶空腔周围岩土体受力状态的影响,并进一步建立力学模型分析地下水水位下降对溶洞周围岩土体产生的塑性破坏。岩溶区一般位于降水量丰富即地下水丰富地区,由于地下水的作用,起初形成较小的类似球体的溶洞<sup>[1-3]</sup>,下面从弹塑性力学角度对当地下水水位降至溶洞底部时周围土体的应力变化情况。设一半径为  $a$  的近球状溶洞,所受内压力为  $P_a$ ; 同时假设同球心半径为  $b$  的球面上受一均布外在压力  $P_b$ ,如图 3 所示。

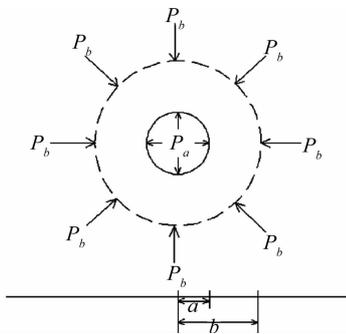


图 3 球形容器内外压力受力示意图

将溶洞假定为一个厚壁容器,则其在内、外压力作用下的轴对称弹性力学问题进行分析<sup>[3]</sup>,可得

$$\begin{cases} \sigma_{\theta} = -\frac{a^3(b^3 + 2r^3)}{2r^3(b^3 - a^3)}P_a + \frac{b^3(2r^3 + b^3)}{2r^3(b^3 - a^3)}P_b \\ \sigma_r = -\frac{a^3(b^3 - r^3)}{r^3(b^3 - a^3)}P_a + \frac{b^3(r^3 - a^3)}{r^3(b^3 - a^3)}P_b \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $\sigma_{\theta}$ 、 $\sigma_r$  分别为半径为  $r$  时,球形容器球面上的切向应力、径向应力, kPa;  $a$ 、 $b$  分别为球形容器的内、外半径, m;  $P_a$ 、 $P_b$  分别为球形容器所受内、外初始压力, kPa。

由于  $b \geq a$ ,  $\frac{a}{b} \approx 0$ , 上式可变为

$$\begin{cases} \sigma_{\theta} = -\frac{a^3}{2r^3}P_a + \left(1 + \frac{b^3}{2r^3}\right)P_b \\ \sigma_r = \frac{a^3}{r^3}P_a + \left(1 - \frac{a^3}{r^3}\right)P_b \end{cases} \quad (2)$$

当只有外压力时,  $P_a = 0$ , 变为

$$\begin{cases} \sigma_{\theta} = \left(1 + \frac{b^3}{2r^3}\right)P_b \\ \sigma_r = \left(1 - \frac{a^3}{r^3}\right)P_b \end{cases} \quad (3)$$

根据圣维南原理,在外压力  $P_b$  作用下,将对模型容器内半径边界产生应力集中,离内边界越远,应力集中影响越弱,当应力半径  $r = 3a$  时,  $\sigma_{\theta} = 1.02P_b$ ,  $\sigma_r = 0.96P_b$ , 与  $P_b$  误差不超过 4%, 其应力接近原始应力  $P_b$ 。

当只有内压力  $P_a$  作用时, (2) 式变为

$$\begin{cases} \sigma_{\theta} = -\frac{b^3}{2r^3}P_a \\ \sigma_r = \frac{a^3}{r^3}P_a \end{cases}$$

同样,由于内压  $P_a$  的作用,随着  $r$  的增大,其应力影响会越来越小,当  $r = 3a$  时,  $\sigma_{\theta} = -0.02P_a$ ,  $\sigma_r = 0.04P_a$ ,  $P_a$  对球面上的应力贡献小于 5%  $P_a$ , 均满足工程要求。

通过对容器模型的应力分析可知:对于位于地面以下深度为  $h$ , 半径为  $a$  的球形溶洞,有地下水作用时,可以视为产生内压  $P_a$ , 而上覆土层自重压力视为  $P_b$ , 其影响半径定为  $3a$ , 分析外压力  $P_b$  在  $b = 3a$  时球面上的外压力对溶洞产生的应力集中。当经地下水侵蚀作用产生的溶洞内半径较小时,即  $h \gg a$ , 此时当溶洞内充满地下水时可以认为  $P_b = \gamma h$ ,  $P_a = \gamma_w h_w$  ( $\gamma$  为介质重度,  $h$  为高度); 当溶洞内无地下水时,  $P_a = \gamma_w h_w = 0$ ,  $P_b = \gamma_h$ 。将其代入式(2)中可以得到球形溶洞内边界周边的应力状态。

充满地下水时为

$$\begin{cases} \sigma_{\theta} = -\frac{b^3}{2r^3}\gamma_h \\ \sigma_r = \frac{a^3}{r^3}\gamma_h \end{cases}$$

无地下水时为

$$\begin{cases} \sigma_{\theta} = -\frac{a^3}{2r^3}\gamma_w h_w + \left(1 + \frac{b^3}{2r^3}\right)\gamma_h \\ \sigma_r = \frac{a^3}{r^3}\gamma_w h_w + \left(1 - \frac{a^3}{r^3}\right)\gamma_h \end{cases}$$

而根据上式求得的溶洞周围土体任一点的应力状态后,可将起代入莫尔-库仑极限准则进行判别,判断该点是否产生塑性破坏,也即为是否会产生岩溶塌陷( $\varphi$  为内摩擦角)。

莫尔-库仑极限平衡条件为

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 2c \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

2 举例证明

设在灰岩分布区黏土地面以下  $h$  处有一经地下水侵蚀作用形成的溶洞,溶洞半径为  $a$ , 地下水位埋深为  $d$ , 黏土的抗剪强度指标黏聚力为  $c = 26$  kPa, 内摩擦角为  $\varphi = 20^\circ$ , 重度为  $\gamma = 19$  kN/m<sup>3</sup>, 饱和重度为  $\gamma_{sat} = 20$  kN/m<sup>3</sup>, 在此我们设定两组地下水位高度极限情况进行如下计算<sup>[3]</sup>:当地水位在溶洞洞顶以上时,将数据代入  $P_b = \gamma_h$ ,  $P_a = \gamma_w h_w$ , 再代入式(2),得到  $\sigma_{\theta}$ ,  $\sigma_r$ , 令  $\sigma_{\theta} = \sigma_1$ , 代入莫尔-库仑极限平衡方程,得到临界状态时的  $\sigma_3$ , 而  $\sigma_r > \sigma_3$ , 即溶洞内壁土体不会发生塑性破坏;当地下水下降到溶洞底部以下时,  $P_a = \gamma_w h_w = 0$ , 将数据代入  $P_b = \gamma_h$ , 再代入式(2),得到  $\sigma_{\theta}$ ,  $\sigma_r$ , 令  $\sigma_{\theta} = \sigma_1$ ,

**参考文献:**

- [1] 中华人民共和国国家环境保护局. GB 10070—88 城市区域环境振动标准[S]. 北京:中国标准出版社, 1989.
- [2] 西南交通大学, 中国中铁二院工程集团有限责任公司. 合肥南站列车动载作用下候车舒适度及结构安全研究报告[R]. 成都:西南交通大学.
- [3] 何浩祥, 闫维明. 竖向环境振动下人与结构相互作用及舒适度研究[J]. 振动工程学报, 2008, 21(5): 446-451.
- [4] 盛平, 王铁. 大型站桥合一客站建筑的舒适度研究[J]. 建筑结构, 2009, 39(12): 43-45.
- [5] 梅正君, 朱家文. 振动对建筑物安全与室内环境影响的评价[J]. 住宅科技, 2011, 39(1): 25-27.
- [6] 颜锋, 钱基宏. 武汉火车站高速列车对建筑结构的振动影响研究[J]. 建筑结构, 2009, 39(1): 25-27.
- [7] 周德良, 李爱群. 长沙南站大跨度候车厅楼盖竖向舒适度分析与检测[J]. 建筑结构, 2011(Sup4): 167-169.
- [8] 张晓春, 张辰辰. 地铁列车振动对临近建筑内人体舒适度的影响研究[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(6): 836-840.

(编辑 王秀玲)

(上接第 135 页)

代入莫尔-库仑极限平衡方程, 得到临界状态时的  $\sigma_3$ , 而  $\sigma_r < \sigma_3$ , 即此时溶洞内壁土体会发生不可逆的塑性破坏。由此可见: 由于地下水的下降, 改变了溶洞周围土体的应力状态, 导致溶洞土体周围土体发生不可逆的塑性破坏, 进而引起岩溶塌陷的发生。

**3 结 论**

经过以上建模分析以及举例验证, 发现地下水的水位频繁变化引起的灰岩上覆黏性土层的塑性破坏是岩溶塌陷发生的主要诱因<sup>[4]</sup>, 同时, 岩溶塌陷是灰岩地区生态环境破坏的主要表现形式。据此, 防治或修复灰岩地区生态环境破坏的首要措施是控制地下水的频繁升降, 具体到人类的活动方面, 就是控制人们包括工业、农业及生产生活方面对地下水的过量开采和使用。根据笔者对湖南西部区域多个灰岩分布区的调查和走访来看, 为避免岩溶塌陷的发生, 很多地区的居民生活用水采用自来水, 或在居民聚集区附近的山间搜集下降泉进行净化后作为生活用水, 农田灌溉方面利用水库

搜集储存地表水, 尽量少采取地下水; 只有这样, 才能保持一定区域的地下水在一个相对稳定是水位, 避免其快速升降, 从而避免破坏生态环境的岩溶塌陷的发生, 保证居民的生命财产安全, 以期达到人与生态环境的和谐相处, 让“美丽中国”的愿景早日变成现实。

**参考文献:**

- [1] 刘之葵, 梁金城. 岩溶区溶洞及土洞对建筑地基的影响[M]. 北京:地质出版社, 2006.
- [2] 姚军, 陈学军, 曾宪斌, 等. 废弃矿区岩溶塌陷发生中地下水作用研究[J]. 中国水运:学术版, 2007, 7(4): 112-113.
- [3] 刘之葵, 梁金城, 周健红. 岩溶区土洞发育机制的分析[J]. 工程地质学报, 2004, 12(1): 45-49.
- [4] 官昆峰. 浅谈岩溶地区地面塌陷及处理[J]. 岩土工程界, 2004, 7(12): 56-58.

(编辑 詹燕平)