

泰安市岩溶地面塌陷动力诱导因素分析

成世才¹, 郭加朋², 马海会¹, 王经³, 袁杰¹

(1. 山东科技大学地质科学与工程学院, 山东 青岛 266510; 2. 山东省国土资源资料档案馆, 山东 济南 250013; 3. 山东省地质环境监测站烟台站, 山东 烟台 264000)

摘要:以泰安市岩溶地面塌陷的分布特征和形成塌陷的基本条件为基础,分析岩溶地面塌陷的直接诱导因素,认为水位降深越大,导致水力坡度增加,塌陷也相应增多;降雨导致的积水既增加了上部荷载,下渗时还会将上覆盖层中的部分黏土颗粒带走,承载力降低;振动诱发岩溶塌陷的实质是振动所产生的附加应力诱发地面塌陷,振动致塌机制和耦合效应与破坏累积有关。

关键词:岩溶地面塌陷;动力诱导因素;水位降深;外界扰动;泰安市

中图分类号:P642.2

文献标识码:A

山东省泰安市自20世纪60年代出现岩溶塌陷,至今已有40多年历史,它不仅造成铁路路基塌陷、破坏土地,还导致居民房屋裂缝甚至倒塌,直接危害当地居民的生命和财产安全。同时,岩溶地面塌陷破坏水环境,加重地下水的污染^[1],对地下水资源的可持续开发利用构成威胁。因此,以泰安岩溶地面塌陷为例,分析地面塌陷的动力诱发因素,对塌陷的预测和防治有重要的指导作用。

1 研究区概况

泰安市位于鲁中山区西北部,属北温带半湿润性大陆季风气候^[2]。夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,多年平均降水量为702.45 mm。受大气环流、季风和地形条件影响,全市降水的时空变化很大,降水最大年份比最小年份的降水量大3倍以上。年内降水多集中在6—9月份,占全年总降水量的75%左右。在空间分布上,东部的降水量比西部大,并呈由东而西逐步递减的趋势。

区内地层有太古宙震旦系,古生代寒武系,奥陶系及新生代第三系、第四系。第四系分布厚度不一,一般为5~20m左右,灰岩大都隐伏于第四系之下,属于第四系浅埋覆盖型。寒武纪、奥陶纪灰岩地层

岩性在垂直方向上变化较大,岩石越古老,白云质成分、硅质成分含量越高,地层多以易溶的质纯灰岩与较难溶的泥质碳酸盐岩或白云岩及不溶的页岩交替相间出现。区内断裂发育,主要有NW—NNW, NE—NEE两组。这些都对岩溶发育有重要影响。

2 区内岩溶地面塌陷现状

2.1 岩溶地面塌陷分布现状

工作区塌陷主要集中分布在3个区域^[3](图1):以泰安站南部铁路三角区为中心的铁三角塌陷区,该区扩展为东至上高街办、南至洪沟的整个泰安市城区的灰岩分布区;以大汶河畔的旧县水源地为中心的旧县塌陷区;以东、西羊娄为中心的羊娄塌陷区(该区实为旧县塌陷区的外围部分)。以上3处塌陷区现已基本连在一起,截至目前已形成了一条南起旧县北至泰安站,南北长约20 km、东西宽约10 km的岩溶塌陷地带。

2.2 岩溶地面塌陷分布规律

根据以上岩溶地面塌陷分布现状的描述,结合已进行的有关岩溶塌陷的调查、勘查工作,认为该区的岩溶塌陷在空间上的分布具有以下规律性^[4]:①

* 收稿日期:2009-05-05;修订日期:2009-09-16;编辑:陶卫卫

基金项目:国家自然科学基金资助(编号:40772145)。

作者简介:成世才(1978—),男,山东龙口人,硕士研究生,主要从事水文地质环境地质研究工作。

塌陷区的分布与抽水造成的地下水位降落漏斗成正相关^[2],且集中分布在漏斗内地下水的主要径流方向上;②塌陷沿构造断裂带分布较为集中;③岩溶塌陷点的分布与第四系厚度、岩性有关;④塌陷分布在河床和地形低洼处的占多数。

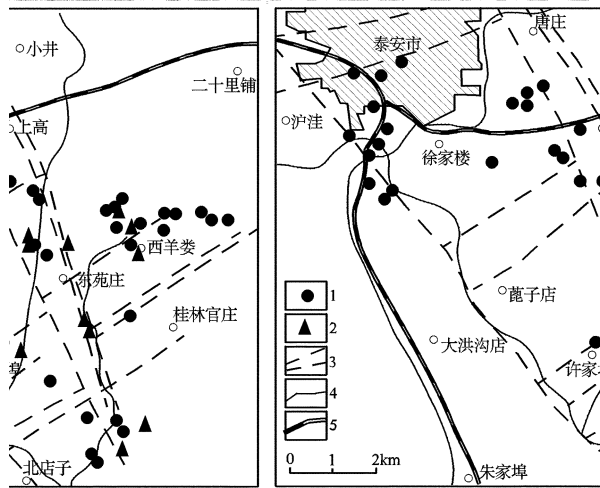


图1 泰安市岩溶塌陷及房屋裂缝分布图

1—岩溶塌陷点;2—房屋裂缝点;3—断层;4—水系;5—铁路

3 塌陷产生的基本条件

岩溶塌陷是受多种因素影响的结果。岩溶的发育程度、上覆土层性质、岩溶含水层与孔隙含水层之间的水位差是泰安市岩溶塌陷产生的基本条件^[1]。

(1)岩溶发育程度是岩溶塌陷产生的基础。该区属隐伏灰岩中、强岩溶发育区,地面塌陷主要分布在这些岩溶强发育带上。

(2)上覆土层性质和厚度是岩溶塌陷的重要条件。松散层主要由第四纪黏土、亚黏土、砂砾石构成,厚20~30m。这些土层含水且导水,力学性质较差。

(3)地下水开采引起地下水位变动,地下水的运动是岩溶地面塌陷产生的一种主要诱发因素^[1]。地下水的渗流潜蚀作用、地下水的搬运作用,地下水引起岩溶空间的正负压作用,都在产生岩溶塌陷的过程中起着重要的作用。

4 动力诱导因素分析

岩溶地面塌陷的形成是由上述三大基本条件决定的,发生只是时间问题。地下水位的变动,地表水或雨水入渗,振动、地震或外荷载只是岩溶地面塌陷

发生的动力诱导因素。

4.1 地下水位变动

区内20世纪60年代以前未发现岩溶塌陷,塌陷的出现主要是从大量开采地下水后才发生的^[1]。究其原因,在岩溶塌陷这一物质迁移及能量转换系统中,其动能系由岩溶水势能转换而来,它是产生潜蚀及物质运移的动能。没有水的流动,岩溶塌陷不可能发生。在物质基础条件既定的情况下,水位降深越大,导致水力坡度增加,水力的作用力增强,使得塌陷也相应增多。因此,岩溶塌陷及塌陷程度主要取决于水动力条件的改变,即地下水的波动幅度和速度、水力坡降、水流速度等。如2002—2003年,由于降雨量偏小,区域上持续大量开采岩溶地下水,造成地下水位迅速下降、波动(图2),引起该区发生岩溶塌陷19处。

地下水位在覆盖层中无变动或自然水位缓慢升降则不易形成塌陷。但在厚层的砂性土中,由于泥沙不断被抽出,即管涌或流土现象在不断进行,地面也可能形成岩溶塌陷或沉落。地下水位在基岩^[5]中无变动或自然水位缓慢升降也不易形成塌陷。但在基岩中因抽水升降,由于不断吸出岩溶洞隙中的充填物则能形成塌陷。

水位降深与塌陷数量是否为线性关系,中国地质大学于青春、沈继方利用泰斯的非稳定流无承压状态单井公式^[5],假设一些条件后,导出如下公式:

$$\ln N = AS + B$$

式中: N —塌陷个数; S —水位降深(m); A, B —系数。

$$A = \frac{4\pi KM}{Q}; B = \ln \pi R_w^2 - \frac{4\pi KW S_i}{Q}$$

其中: K —渗透系数(m/d); S_i —引起塌陷时的临界水位降深(m); M —含水层厚度(m); Q —抽水流量(m³/d); R_w —抽水半径(m)。

若含水层处于承压状态,或者处于无压状态,且水位降深与含水层厚度相比很小时,可试用此类公式。

4.2 降雨及地表积水入渗

降雨引起地表积水,地表积水一方面增加了上部荷载,另一方面积水的渗透还会将上覆盖层中的部分黏土颗粒带走,使盖层的内聚力降低,承载力减小。

当地下水位埋深于基岩中时,降雨便成为塌陷

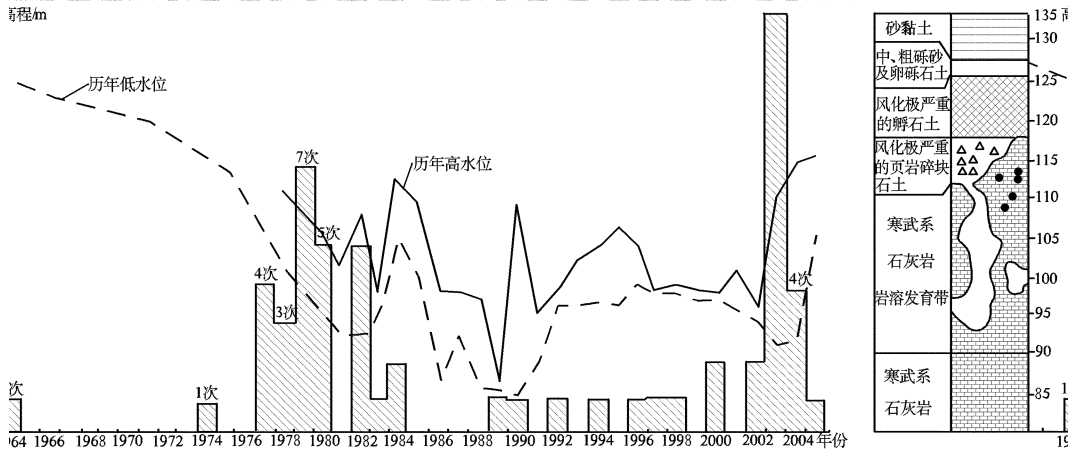


图 2 泰安地区地下水位与岩溶塌陷次数、岩性相关图

的主要因素。降雨量大小,决定入渗量大小进而影响渗透力大小。降雨后地表积水厚度大小,决定水力梯度大小。尤其是大旱后的强降雨,入渗量猛增,增大渗透力和水力梯度,土体含水量增加,导致真空也增加。此外,地表水的渗漏也会引起塌陷。如 2001 年夏天,前旧县新村王某屋后降雨时形成 2 个落水洞,直径约 2 m,深 1 m,整条胡同的雨水全部流入洞中,附近房屋也出现多处房屋裂缝现象。

地表水的渗漏导致的塌陷也屡见不鲜。如陈家湾塌陷,1998 年夏降雨时,陈家湾出现一直径 1 m 左右的塌陷坑,所有地表水均沿此洞流入地下,导致该塌陷点西部约 200 m 处供水井井水变浑浊。

4.3 外界扰动^[2]

泰安市导致岩溶地面塌陷突然发生的外界扰动作用主要是火车通过引起的铁路振动(图 3)。工作区岩溶地区铁路沿线由于列车振动产生的岩溶塌陷现象最为典型,铁路沿线大量的岩溶塌陷实例充分反映出两者间的内在联系。

列车振动致塌有如下特点:①铁路周边的岩溶塌陷主要分布在铁路交汇的三角地带,而这些地带的振动远强于直线段铁路;②货车产生振动最大值较客车大,在土层中离振源越近产生的振动幅度越大;③对于单一阻水硬塑黏土盖层而言,距离大于 7 m 时振波衰减到难以观察的程度,对于其他类土的衰减应比硬塑黏土大。

铁路振动诱发岩溶塌陷实质上是振动所产生的附加应力诱发岩溶塌陷。列车振动产生的致塌力不会对土层产生直接破坏,其致塌机制与破坏累积有关。试验表明,振波在铁路路基旁的土层中所产生

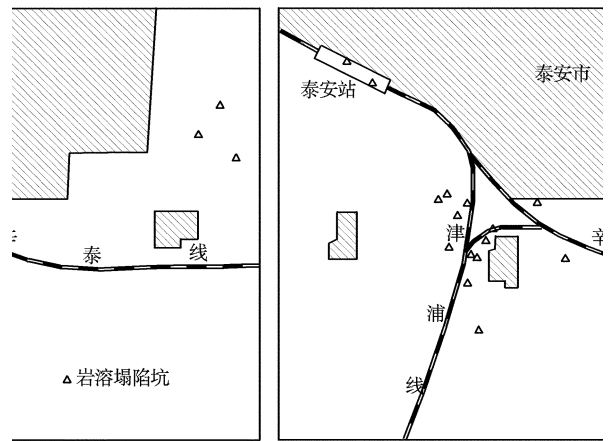


图 3 泰安市铁路三角区塌陷点分布情况示意图

的附加应力为 0.005 ~ 0.5 N/cm²。显然,与土层破坏时的应力相比,该应力值偏小,不足以直接对土层产生破坏。但在与自重应力相叠耦合作用于土体时,可使土层中的应力分布发生改变,当土层中的局部应力因此而增高时,可以造成塌陷。另一方面,由于波动及反射波周期性累加作用,微小的破坏经过一定时间的累积,可以使土层发生累积破坏。

5 结论

岩溶的发育程度、上覆土层性质、岩溶含水层与孔隙含水层之间的水位差是泰安市岩溶塌陷产生的内因。地下水位的变动,地表水或雨水入渗,振动等动力条件是导致岩溶地面塌陷的直接诱导因素。

(1) 水位降深越大,导致水力坡度增加,水力的作用力增强,使得塌陷也相应增多。

(2) 降雨导致的积水既增加了上部荷载,下渗时还会将上覆盖层中的部分黏土颗粒带走,使盖层

的内聚力降低,承载力减小。

(3)振动诱发岩溶塌陷的实质是振动所产生的附加应力诱发地面塌陷,振动产生的致塌力不会对土层直接产生破坏,其致塌机制和耦合效应与破坏累积有关。

参考文献:

[1] 高宗军,张富中,鲁峰,等. 山东泰安岩溶地面塌陷前兆及其预

测预报[J]. 中国地质灾害与防治学报,2004,(3):149-150.

[2] 高宗军. 泰安岩溶地面塌陷形成机理与防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报,2001,12(4):73-76.

[3] 高宗军. 岩溶地面塌陷形成机理与成因模式研究——以山东泰安—莱芜为例[J]. 中国工程科学,2008,(4):38-43.

[4] 高宗军,孙文广,唐蒙生,等. 泰安—旧县水源区岩溶水开采与地质环境的关系[J]. 山东地质,2001,17(8):86-91.

[5] 贺可强,王滨,杜汝霖. 中国北方岩溶塌陷[M]. 北京:地质出版社,2005:129-133.

Analysis of the Power – induced Factors of the Karst Land Collapse in Tai'an City

CHENG Shi – cai¹, GUO Jia – peng², MA Hai – hui¹, WANG Jing³, YUAN Jie¹

(1. Geological Science and Engineering College of Shandong University of Technology, Shandong Qingdao 266510, China; 2. Shandong Land and Resources Files Museum, Shandong Jinan 250013, China; 3. Yantai Section of Shandong Geological Environment Monitoring Center, Shandong Yantai 264000, China)

Abstract: Tai'an city is an easy happening area of karst land collapse. Based on the distribution characteristics of Tai'an karst land collapse and the basic forming conditions and analyzing direct factors to induce the karst land collapse, it is regarded that deep water level leads to increasing hydraulic gradient, and increasing land collapse. Surface water caused by rain not only increased the upper part of the load, but also taking away some clay particles in the surface and to reduce carrying capacity. Vibration generated by the additional stress induced collapse on the ground, and vibration induced collapse mechanism and the coupling effect have relation with damage accumulation.

Key words: Karst land collapse; direct power induced factors; water level descending; rainfall; vibration; Tai'an city