

枣庄岩溶地面塌陷的影响因素及其发展趋势*

袁杰,高宗军,徐晓慧

(山东科技大学地质科学与工程学院,山东 青岛 266510)

摘要:从枣庄市岩溶地面塌陷的基本条件入手,分析了枣庄地区塌陷的影响因素,认为降水量的大小直接影响水力梯度的大小,而且其导致的地表积水使得上部荷载增加,抗塌力降低;水位降深越大,水力梯度也将增加,潜水与地下水之间的水头差变大,补给造成的渗流场较强,使地下水动力条件增强,塌陷数量也相应增加。该文根据区内塌陷的成因分析了枣庄岩溶地面塌陷的发展趋势,认为目前情况下不会发生塌陷,但若持续过量开采地下水或遇到强干旱年份,塌陷是极易发生的。

关键词:岩溶地面塌陷;影响因素;水位变动;发展趋势;枣庄市

中图分类号:P642.36

文献标识码:A

0 引言

自20世纪80年代以来,由于不合理开采岩溶地下水,枣庄市地下水水位大幅度下降,几个供水水源地周围发生了较大范围的岩溶地面塌陷,引发了地基变形、房屋开裂、污水回灌等地质灾害。同时,岩溶地面塌陷破坏了水环境,加重了地下水的污染,严重制约了地下水资源的可持续开发利用^[1]。

区内地层有古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系和新生界第四系。上覆第四纪松散覆盖层较薄,厚度一般小于10 m。主要含水层位于下伏奥陶纪和寒武纪白云岩和灰岩,岩溶裂隙比较发育,发育有溶孔、溶洞、溶蚀裂隙等。土体结构主要由单层粉质黏土构成^[2]。区内构造以近EW向展布的枣庄向斜和断裂为主。

1 区内岩溶地面塌陷现状

20世纪70年代开始,十里泉地段首先被开辟为枣庄市的重要工业区,之后该区和丁庄—东王庄先后被建成城市和工业供水水源地,该区岩溶地下水开采,特别是十里泉岩溶水源地开采长期处于超采状态。早在1981年十里泉岩溶水源的开采量就

已达到7.80万m³/d,超采0.91万m³/d,到1995年开采量最高达9.7万m³/d,超采2.81万m³/d^[3],造成水位大幅下降,动态变化加大。观测资料表明,十里泉水源地水位年变幅为10~28 m,丁庄—东王庄水源地变幅为10~25 m,最大可达30 m以上,因此地下水降落漏斗逐年扩大。

自十里泉及丁庄—东王庄水源地被大规模开发后,1981年该区开始出现塌陷,至今,共发生塌陷280多次(表1),形成69个塌陷坑,涉及面积50 km²,均分布在水源地降落漏斗范围内。

塌陷区内居民房屋普遍性开裂,3层以上房屋为危房,开裂房屋达5 244余间,形成危房800余间^[4],其中十里泉塌陷区还致使2所学校搬迁,2名少年丧生,多人受伤,土地和水利、交通等工程设施受到严重破坏,地表大量的污水通过岩溶塌陷下灌直接补给地下水,造成水源地污染。十里泉水源地1995年总硬度、1993年枯水期大肠菌群含量分别超标1.2倍及76倍^[5]。

2 枣庄岩溶地面塌陷的影响因素

2.1 内部因素

* 收稿日期:2010-05-20;修订日期:2010-07-12;编辑:曹丽丽

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40772145)。

作者简介:袁杰(1984—),女,硕士研究生,主要从事水文地质环境地质研究;E-mail:yj720896@163.com。

表 1 枣庄市中区岩溶塌陷记录

时间	1981	1982	1983	1984	1985	1988	1989	1992	1993	1994	1995	1996	1997
塌陷点数	10	24	8	9	3	3	6	3	4	3	5	18	6
时间	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
塌陷点数	15	9	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(1) 开口岩溶

研究区内地表岩溶、裂隙发育,岩溶形态为溶隙、溶沟、溶槽等,其中市中区十里泉地段裂隙发育方向以 NE 120°~130°的居多,宽度多在 0.5~1.0 m 之间;丁庄-东王庄地段裂隙,一组方向 SE 55°,另一组方向 SE 135°,两组形成“井”字型,是地表水和大气降水入渗及沟通地下水的主要通道。两地段地下岩溶发育比较强烈,十里泉地段在 45 m 深度以浅岩溶发育强烈,以溶洞、溶孔、溶隙为主,洞穴直径 1~7 cm,连通性好,线性岩溶率平均为 5.5%;丁庄-东王庄地段在 50 m 深度以浅溶洞、蜂窝状溶孔发育,线性岩溶率平均为 9%。开口岩溶不仅是坍塌土体的暂时储存场所和物质转移通道,而且影响着塌陷的规模与时间。岩溶洞隙的通畅与否以及是否是岩溶裂隙水的主流场直接影响着土体塌陷的可能与发展速度的快慢,枣庄岩溶为半裸露型,覆盖层薄,岩溶极其发育,这为塌陷的发生提供了前提条件。

(2) 上覆土层性质和厚度

研究区内松散盖层厚度一般小于 10 m,为黄褐色砂质黏土,局部含少量钙质结核,下部为黏质砂土夹粗砂和粉、细砂,底部为砂砾层,即以单一阻水盖层和阻-透水盖层地质模式为主。这种模式使第四系孔隙水与下伏基岩岩溶裂隙水有密切的水力联系,构成双层介质统一含水层,当过量开采地下水导致地下水水位下降后,地下水对上覆砂砾性土体的浮力明显下降,相当于增加了土体的自重,也就是增加了致塌力;区内在 30~90 m 及 110~190 m 两个垂向深度段内岩溶发育形成了较大规模的溶洞和岩溶裂隙,这为塌陷提供了贮备的空间条件,同时也为地下水强烈运动提供了良好场所。此外,研究区内土层性质对阻止岩溶洞隙内外气体的运动和交换很有利,从而使得该区具备产生塌陷的真空负压条件,加速了岩溶塌陷的发生。

2.2 外部因素

(1) 降雨

降雨引起地表积水,地表积水一方面增加了上部荷载,另一方面积水在渗透过程中还可以带走一部分细小颗粒,使得盖层的黏度降低,从而导致盖层的承载力降低。另外,长期的地表积水使土壤过饱和,阻止岩溶洞隙内外气体的运动和交换,真空压力增大,有利于塌陷的发生。据统计,区内发生在积水坑塘内的岩溶塌陷占岩溶塌陷总数的 46.8%^[3]。

当地下水位低于基岩顶板时,降雨便成为诱发岩溶塌陷的主要因素。降雨量的大小,决定入渗量的大小,进而影响渗透力的大小。降雨量的大小直接影响水力梯度的大小,大旱过后的降雨,尤其是强降雨,入渗量明显增加,土体含水量增加,土体黏聚力及内摩擦角减小,抗剪强度降低,抗塌力降低。同时,因为静水压力的原因,使土体天然容重增加,致塌力增大。

从图 1 中可以看出,塌陷集中发生在 4—10 月份,即在旱季后期及雨季初期,且塌陷多发生在降雨期间或大雨量降水后较短时间内。据统计,发生在 3—7 月份的地面塌陷占总数的 73%。

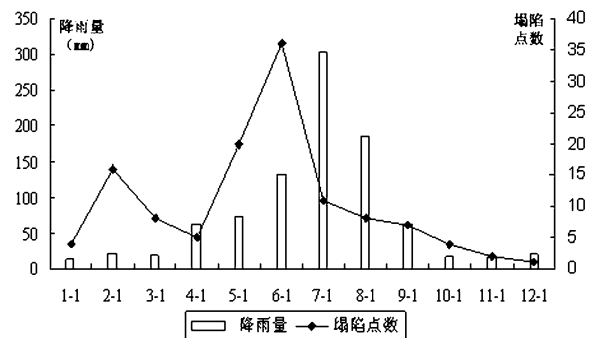


图 1 枣庄岩溶地面塌陷点与降雨量、月份的关系示意图

(2) 地下水位的强烈变化

地下水位大幅度起落是该地区产生地面塌陷的主要动力源泉,尤其是在基岩顶板附近的强烈波动。区内 20 世纪 70 年代以前未发现岩溶塌陷,而在 70 年代后期建成水源地以来,因工业及农业的需要,大量开采岩溶地下水。随着季节、降水量及其人工开采地下水量的变化,地下水位升降幅度、频率发生变

化,塌陷逐渐形成,从图 2 可以看出,塌陷高峰的出现与地下水位在基岩面附近的强烈变化有直接关系。

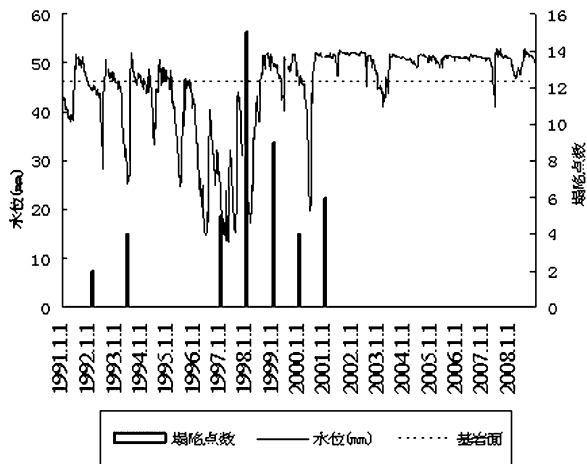


图 2 地下水位、塌陷点数的关系示意图

地下水位的变化实际上是岩溶塌陷过程中物质运移与能量转移的动力,当地下水位降低时,水力梯度也将增加,潜水与地下水之间的水头差变大,补给造成的渗流场较强,使地下水动力条件增强,由此而在土洞或岩溶空腔中形成的空气压力变化造成的真空负压作用与吸蚀作用将对盖层土体产生很大的破坏,同时地下水的流动将堵塞在岩溶空腔中的黏土颗粒带走,促进了岩溶塌陷的发生。

中国地质大学于青春,沈继方教授对塌陷数与地下水位降深的关系进行了研究,得出了二者具有正相关的结论,并建立了公式:

$$\ln N = AS + B$$

式中: N —塌陷总数; S —水位降深; A, B —常量系数。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,可借鉴此类公式。

3 发展趋势

岩溶塌陷给当地的经济、生活都带来了极大的影响,为了防止塌陷的发生,区内政府也已经采取了一系列的措施,并取得了良好的效果。如在 1998 年引用苍山县会宝岭水库地表水作为工业用水后岩溶水开采量有所减少,2000 年以后岩溶水水位已有所回升,平均水位大部分在基岩面以上,在 2001 年有 6 个岩溶塌陷点之后,枣庄地区至今未发现塌陷。

在枣庄水源地附近因为长期的地下水开采已经形成了降落漏斗,潜水基本被抽干,引起包气带位置下移,土洞顶板以上土体含水量较低,透气性较好,不利于真空负压的形成。一般情况下,漏斗中心部位单位渗流场很弱,地下水对土体的搬运能力较小,这也就难以形成有效的潜蚀作用。因此从真空负压及其潜蚀作用来说,区内不容易再发生塌陷。

另外从地下水水位的变动情况来看,2010 年因为减少了地下水的开采,岩溶地下水水位不断恢复,较之前有了明显提高,根据水位资料(图 2),岩溶水位变化比较平稳,虽然 2003 年及 2007 年水位也下降到基岩面附近,但波动持续时间较短,2002 年之后没有发生岩溶地面塌陷,进而证明了短期的水位波动不足以导致岩溶地面塌陷的产生。因此,如果不继续加大地下水的开采,持续稳定地开采地下水,区内就不会再发生岩溶塌陷。

区内十里泉及东王庄水源地附近,因为长期过量开采地下水,在开口岩溶洞穴上方一般已形成临界土洞。如果覆盖层厚度 5 m 左右,且存在直径大于 3 m 以上的开口岩溶洞穴,致塌力就大于抗塌力,若适逢大于 40 mm 的降水^[6],就极易形成岩溶塌陷。

若在水源地降落漏斗范围内仍每年持续大量开采地下水,或者是大旱年份遇到强降雨量时,地下水位会发生强烈变动,塌陷就极易发生。因此,要积极做好预防工作。

4 防治措施

(1)在岩溶裂隙发育,第四系厚度为 5~10 m 的地段,应着重预防,可在有天窗的部位采取灌浆的方法防止天窗的进一步扩大。

(2)严格控制地下水的开采量和水位下降幅度,优化采水方案,合理开发并节约利用地下水资源,充分发挥地下水库缓冲雨、旱两季地下水位的剧烈波动的作用,使地下水动态恢复到良性循环。此外地下水的抽取量在不超过枣庄地下水的允许开采量的前提下,尽量做到均匀开采。

(3)采取被动避让的措施,在城市规划和建设项目施工以前,开展详细的地质灾害勘查评价工作,划定可能塌陷区范围,将城市建筑物和交通设施等人类工程避开塌陷区,可防止造成重大人员伤亡和经济损失。

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] 吴爱民,万继涛,李公岩. 枣庄市岩溶塌陷形成规律及防治[J]. 山东地质, 1997, 13(2): 78 - 83.
- [3] 万志博,武雄,徐晟,等. 枣庄市中区岩溶塌陷特征与成因分析[J]. 中国岩溶, 2006, 25(2): 146 - 151.
- [4] 万继涛,杨蕊英,李公岩,等. 山东省枣庄市市中区地质灾害调查与防治[J]. 山东地质, 2003, 19(增刊): 33 - 37.
- [5] 丁兆运,陈博. 枣庄市饮用水源地地面塌陷分析及防治对策[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 103 - 104.
- [6] 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: 52, 129 - 133, 144 - 145.

Factors and Development Trend Influenced Karst Land Collapse in Zaozhuang City

YUAN Jie, GAO Zongjun, XU Xiaohui

(Geological Sciences and Engineering College of Shandong Technology University, Shandong Qingdao 266510, China)

Abstract: Based on basic forming condition of karst land collapse in Zaozhuang city, and analyzing factors which influenced karst land collapse, it is regarded that precipitation amount will directly affect the size of hydraulic gradient. Surface water caused by rain will increase the upper part of the load carrying capacity, and reduced anti-collapse strength; hydraulic gradient will increase accompanying with the water level. Head difference between unconfined water and underground water will become larger. Strong seepage caused by supply will increase dynamic conditions of groundwater, while karst land collapse will be increased as well. According to the origin of karst land collapse in this area, development trend of karst land collapse in Zaozhuang city is analyzed. it is considered that collapse does not occur under the present circumstances, however, collapse is easily occurred when groundwater sustained over exploitation or strong dry years.

Key words: karst land collapse; influencing factors; water level changing; development trend; Zaozhuang city