

泰安市岩溶塌陷形成的地质环境背景及其与影响因素的关系

王祥永¹, 赵宏生¹, 李文君¹, 王德鹏¹, 许艳娟¹, 翟代廷², 刘小琼¹, 张磊¹

(1. 泰安市钰锱地质资源勘查开发有限责任公司, 山东 泰安 271000; 2. 山东省第五地质矿产勘查院, 山东 泰安 271000)

摘要: 泰安市岩溶塌陷集中分布在泰山火车站南侧以旧镇铁路三角区为中心的城区岩溶水源地、牟汶河畔的旧县岩溶水源地、东西羊娄村 3 个塌陷分布区。岩溶塌陷经历了发生→发展→高峰→衰减的历程。该文概述了泰安市岩溶塌陷发育历史与现状及其危害, 形成的地质环境背景, 阐述了岩溶塌陷与岩土体类型、地质构造、大气降水、人类对岩溶地下水开采活动等影响因素的关系。

关键词: 岩溶塌陷; 地质环境背景; 影响因素; 山东泰安

中图分类号: P642.26

文献标识码: B

泰安市位于驰名中外的泰山脚下, 泰莱凹陷盆地的西北角, 地貌位置属山前冲洪积平原, 地面标高 +200~+110 m, 地形坡降 6×10^{-3} 左右, 地势北高南低、东高西低。岩溶塌陷集中分布在泰山火车站南侧以旧镇铁路三角区为中心的城区岩溶水源地、牟汶河畔的旧县岩溶水源地、东西羊娄村 3 个塌陷分布区, 危害总面积约 30 km², 累计造成的经济损失 4 000 多万元^① (图 1)。

1 岩溶塌陷发育历史与现状

1.1 城区水源地

20 世纪 60 年代初开始在泰山火车站南侧的以旧镇铁路三角区为中心的城区水源地开采岩溶地下水, 最初开采量 0.66 万 m³/d, 70 年代初为 2 万 m³/d, 中期达 5 万 m³/d。因过量开采岩溶地下水, 形成了大面积的无压漏斗区, 1977 年以后陆续在水源地中心地带的旧镇铁路三角区、东侧韩家灌庄采水区等地多次产生地面塌陷, 至 1985 年共发生地面塌陷 98 处, 地裂缝 7 条, 并造成房屋倒塌, 成为全国较早遭受岩溶塌陷危害的地区之一。80 年代末逐

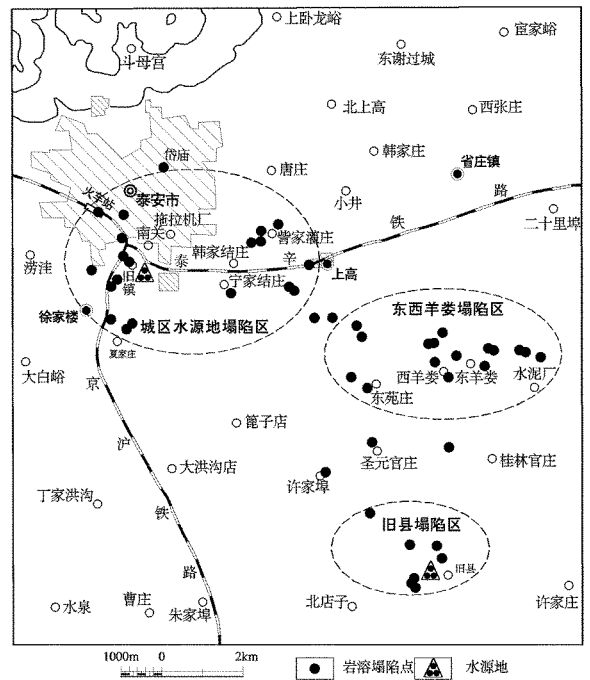


图 1 泰安市岩溶塌陷分布略图

渐关闭了城区水源地部分供水井, 但岩溶塌陷仍时常发生, 塌陷点不断向水源地外围扩展, 泰山火车站、南关、拖拉机厂、韩家结庄、宁家结庄等地建筑物

* 收稿日期: 2012-12-11; 修订日期: 2013-01-18; 编辑: 曹丽丽

作者简介: 王祥永(1964—), 男, 山东平邑人, 高级工程师, 主要从事水工环境地质工作; E-mail: 1229783750@qq.com。

①泰安市钰锱地质资源勘查开发有限责任公司, 山东省泰安市泰山区 1:5 万地质灾害调查报告, 2012 年。

遭到破坏,受灾居民200余户,约800间房屋受损破坏,尤其是京沪铁路路基也出现塌陷,造成铁路路基和桥涵毁坏、铁轨变形,曾长期迫使列车缓行8 min,铁路部门采用架设旱桥、向地下岩溶空隙注浆等治理方法共耗资3 400多万元,成为当时国内治理岩溶塌陷耗资之首^[1]。近年来通过采取限采、禁采措施,城区水源地岩溶地下水位已大幅回升,地下水位波动较小,岩溶塌陷渐趋稳定,但訾家灌庄附近的泰安煤机厂杨树林岩溶地下水位埋藏较浅的低洼地带自2009年7月以来,每年7—8月间仍经常发生塌陷,在面积约2.67 hm²的范围内新旧塌陷坑达236个之多,最大的塌陷坑直径9 m,深度0.5~3.0 m不等,塌陷坑平面形态一般呈圆形、椭圆形、条形,形态呈坛状、浅碟状、盆状、槽状、沟状^[2]。

1.2 旧县水源地

进入20世纪80年代以后,为了缓解供水矛盾,启用牟汶河畔的旧县水源地,初期开采量1.38~2.2 m³/d,1983年开始在抽水井附近小范围内开始出现岩溶塌陷、地裂缝,1988年下半年开采量猛增至4.59 m³/d,此时岩溶地下水位降至灰岩顶板之下,1989年以后发生岩溶塌陷的范围迅速扩大,向北逐渐扩展至圣元官庄、许家埠一带,1994年再向北扩展至苑庄、羊娄村也陆续发生岩溶塌陷,累计发现塌陷坑130多个。据统计,该水源地范围11个村庄2 000余间民房遭受不同程度的破坏,危房高达20%以上,旧县村、东羊娄村、羊西村和羊东村被迫搬迁。

2 岩溶塌陷区地质环境背景

泰莱凹陷盆地总体呈箕状自NE向SW倾斜,泰安城区、旧县2处水源地位于盆地西部的封闭翘起端。盆地周边及基底由新太古代泰山岩群变质岩、前寒武纪侵入岩构成,北侧为泰山凸起,南侧为新甫山凸起西段之徂徕山背斜,西侧为布山凸起之东段,大汶河北支流牟汶河流经盆地南侧,于旧县水源地西侧流出盆地。盆地总体呈南升北陷格局,构成了寒武纪、奥陶纪灰岩组成的单斜构造,除盆地南侧有小面积的寒武纪灰岩出露外,向北逐渐隐伏于盆地第四纪松散沉积物之下。泰安城区、旧县水源地一带缺失古近纪碎屑岩地层,第四纪松散沉积物直接覆盖于寒武、奥陶纪灰岩之上,厚度5~30 m,

构成浅覆盖型灰岩分布区,成为岩溶地下水的集中径流带(图2)。盆地内被第四纪沉积物覆盖下的灰岩裂隙岩溶发育,连通性好,强发育段位于+84 m标高以上,即地表以下10~100 m范围内,岩溶发育率6%~12%,最高达14%(图3),岩溶洞穴与第四纪松散沉积物之间多呈开口半充填状态,据铁路三角区钻孔揭露溶洞最大洞高5.34 m。区内岩溶地下水单井涌水量1 000~3 000 m³/d,部分地段达5 000 m³/d^①。

在天然条件下,盆地内第四纪孔隙水接收大气降水发源于北部泰山山区的雨源型沟谷、河流补给后,沿地势自泰山山前向南运动排泄于牟汶河;岩溶地下水则主要接受泰山山区泰山岩群变质岩、侵入岩基岩裂隙水的侧向径流补给,以承压状态沿断裂及岩溶裂隙向南径流,至羊娄、旧县一带第四纪孔隙含水层“天窗”地段(即第四纪孔隙含水层与岩溶水含水层直接接触部位),向上顶托补给第四纪孔隙含水层,最终排泄于牟汶河。泰安城区、旧县水源地开采后,岩溶地下水被大量开采,其水位降落漏斗向四周扩展至泰安—旧县富水地段的边界,并在2处水源地中间地带形成一条近EW向展布的地下水分水岭。城区水源地降落漏斗岩溶地下水呈无压状态,接受上覆第四纪孔隙水的垂向渗透补给,旧县水源地一带牟汶河及其支流粘土质砂、砂砾石层直接覆盖于寒武、奥陶纪灰岩之上,牟汶河地表水通过砂砾石层源源不断地补给岩溶含水层,地下水位在灰岩顶板与第四纪覆盖层之间上下波动,致使岩溶塌陷频繁发生^[3-7]。

3 岩溶塌陷与影响因素的关系

3.1 岩溶塌陷与岩土体类型的关系

(1) 岩溶塌陷与灰岩岩性的相关性

通过对泰安城区、旧县2处水源地近百个岩溶塌陷坑资料统计分析,岩溶塌陷主要发生在奥陶纪马家沟群五阳山组厚层灰岩、泥晶灰岩分布区,其次是寒武纪九龙群炒米店组中厚层灰岩夹薄层灰岩分布区。表明岩溶塌陷与灰岩岩性关系密切,灰岩岩性是发生岩溶塌陷的物质基础,厚层质纯灰岩裂隙、岩溶较为发育,较易产生岩溶塌陷(表1)。

① 山东省地质调查院,山东省泰安地区岩溶塌陷调查与风险评估,2006年。

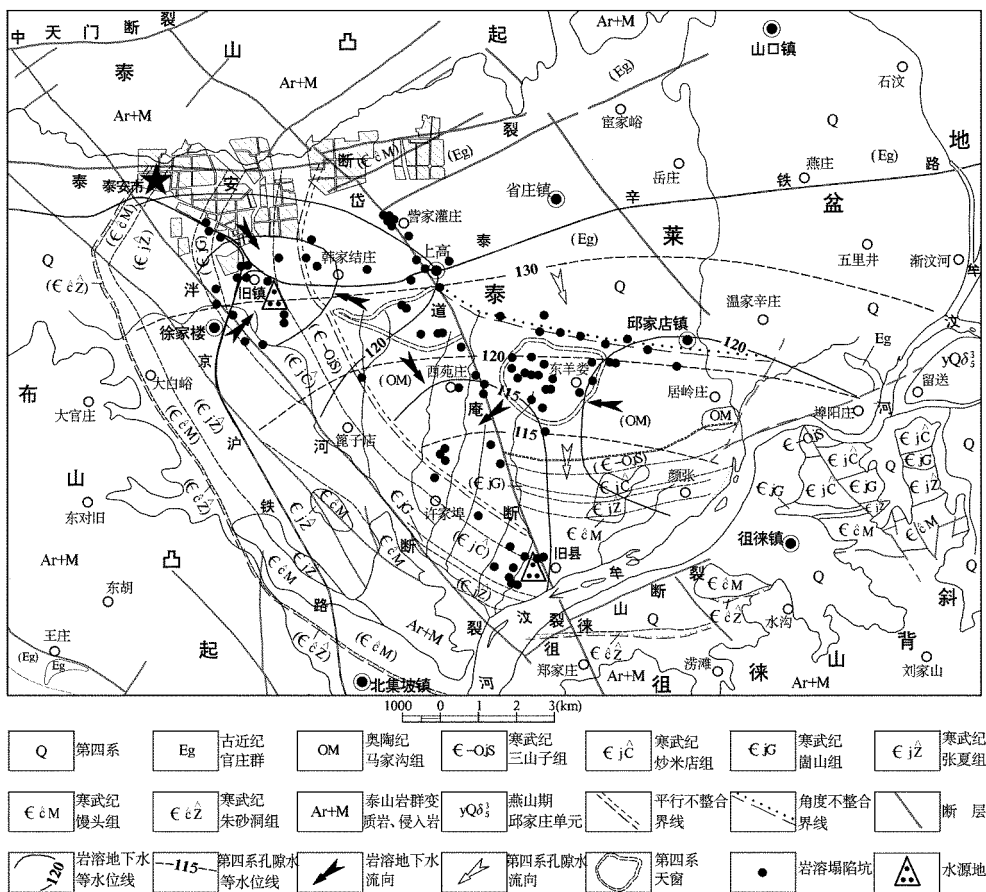


图 2 泰安城区—旧县一带地质-水文地质条件略图

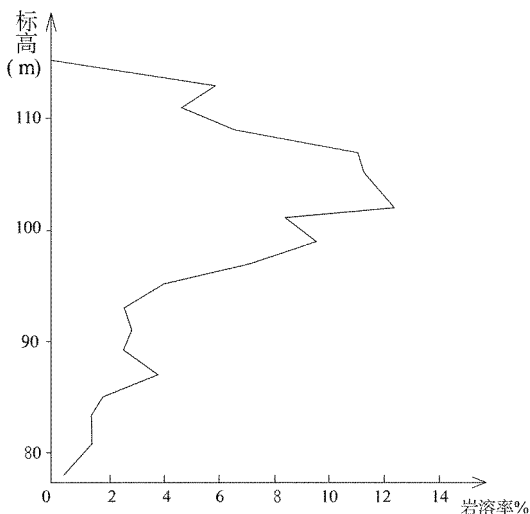


图 3 岩溶发育率随深度变化曲线图

(2) 岩溶塌陷与第四系盖层的相关性

① 岩溶塌陷与第四系盖层岩性。泰山山前至城区一带地表为砂质粘土、夹粗砂、粉细砂，底部与隐伏灰岩接触处普遍有一层厚度不等的粘土或含砾粘土，构成透水-阻水盖层地质模型(图 4)；而在旧县、许家埠以及羊娄一带，上部为砂质粘土，底部为粗

砂、粉细砂或砂砾石层直接覆盖于灰岩之上，构成透水的第四系“天窗”地质模型，这种模型使第四纪孔隙水与灰岩裂隙岩溶水直接发生水力联系，构成双层介质统一含水体，当过量开采岩溶水使地下水位下降后，地下水对上覆砂质粘土、砂松散盖层的浮托力下降，极易产生岩溶塌陷。

表 1 岩溶塌陷与灰岩岩性相关性统计

地层时代	群	组	岩性	分布比例
奥陶纪	马家沟组	五阳山组	灰色厚层灰岩、泥晶灰岩	59.1%
		北庵庄组	灰色厚层灰岩、云斑灰岩、薄层状泥质灰岩	9.1%
		东黄山组	灰黄色薄板状泥质白云岩、角砾状白云岩	4.50%
寒武纪	九龙群	炒米店组	灰色中厚层灰岩夹薄层灰岩	27.3%

② 岩溶塌陷与第四系盖层厚度。根据对区内岩溶塌陷分布位置统计，岩溶塌陷大部分发生在第四系盖层厚度 8~15 m 的区域，但厚度大于 25 m 的地段也同样发生(图 5)。表明岩溶塌陷与第四系厚度

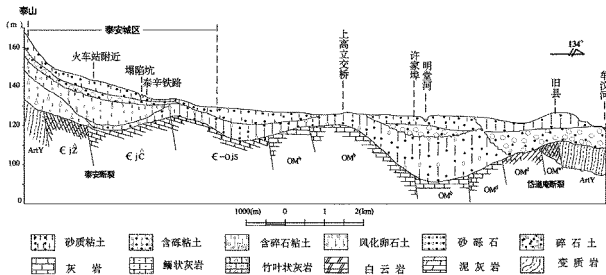


图 4 泰山山前一旧县一带地层结构示意图

有关,但不成线性关系,第四系厚度大小不决定塌陷与否,只反映塌至地面所需时间的长短,其原因可能是在相同水文地质条件下,上覆第四系厚度小,更有利于地下水的潜蚀和掏空作用,使土洞扩展到地表的进程缩短,导致塌陷更易发生;土层厚度越大,从土洞发育到塌陷至地面所需时间越长,但发生塌陷的规模也越大。

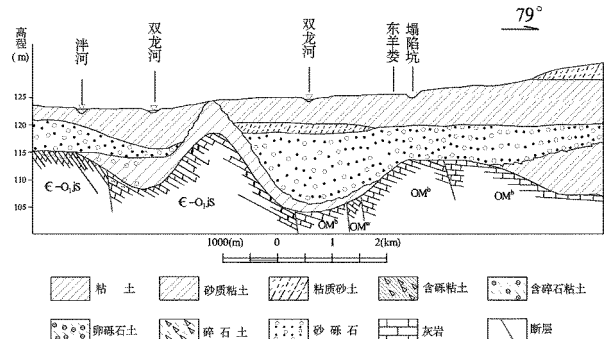


图 5 羊娄一带地层结构示意图

③岩溶塌陷与第四系盖层结构。第四系盖层结构对岩溶塌陷有显著影响。均一砂土结构抗塌能力最差,岩溶塌陷次数也最多,其原因是均一砂土越粗,颗粒间凝聚力越小,粘结力差,在一定水头渗透作用下,砂土颗粒易于被潜蚀搬运掏空破坏,如旧县、东羊娄一带岩溶塌陷;双层或多层结构的第四系盖层,由于有粘性土的缓冲作用,抗塌能力稍好,如泰安城区水源地一带;均一粘性土或底部为粘性土的多层结构盖层,由于粘性土具有一定的凝聚力,抗塌能力较强,塌陷数量也较少,塌陷速度相对较缓慢,如泰山山前至泰安城区一带。

3.2 岩溶塌陷与地质构造的关系

区内岩溶塌陷与地质构造关系密切。岩溶塌陷主要沿 NW 向的岱道庵断裂、泮河断裂或其一定影响带两侧分布,尤其是断裂交会部位发生塌陷更为密集,常成群、成带出现,塌陷群、带、点总体展布方向和位置与断裂的走向和位置基本吻合。在发生岩溶塌陷部位中尤以岱道庵断裂带中的訾家灌庄岩溶

塌陷群、泮河断裂通过部位的铁路三角区一带岩溶塌陷坑群出现密度最大。这些断裂通过部位或其交会部位应力集中,节理、裂隙发育,岩石破碎,更有利于岩溶发育,致使发生岩溶塌陷的几率增大。

3.3 岩溶塌陷与大气降水的关系

大气降水是区内岩溶塌陷的重要诱发因素,降水使雨水沿第四系盖层孔隙下渗,对土体进行冲蚀搬运,另一方面降水增加了土体含水量,加大了土体自重,同时使土体粘聚力、抗剪强度降低,内摩擦角减小,土体抗塌力下降,更易发生塌陷。现以记载较齐全的旧县水源地 2003 年度岩溶塌陷资料,分析说明岩溶塌陷与大气降水的相关性(图 6)。

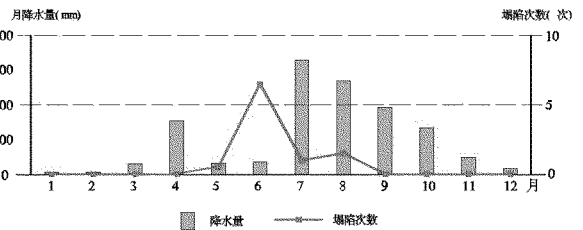


图 6 2003 年度旧县水源地岩溶塌陷与降水关系图

泰安气象观测站测得 2003 年降水量为 1 251.7 mm,是降水较为丰沛的丰水年,自 1992 年关闭了泰安城区、旧县 2 处水源地之后,旧县水源地全年仍然发生岩溶塌陷达 19 次之多。从图 6、图 7 看出,岩溶塌陷集中发生在 6,7,8 月份,即在旱季后期和雨季期间,且塌陷多发生在降雨期间或大雨量降水之后较短时间内,其主要原因是旱季后期适逢当地大量抽取岩溶地下水灌溉麦田,造成当地年内岩溶地下水水位最低,水位变动幅度最大、最剧烈,岩溶地下水位降至灰岩顶板之下或灰岩与第四系盖层之间上下波动,造成 6 月份发生塌陷次数最多;7 月份雨季到来后,第四系孔隙水接受大气降水补给后又补给岩溶地下水,降水入渗加快了对上覆第四系盖层土体的冲蚀搬运,同时降水也使土体含水量增加,抗剪强度减低,抗塌力下降,较易产生岩溶塌陷。但雨季降水强度不大的降水,岩溶塌陷具有一定的滞后效应,此时降水诱发岩溶塌陷需要一定的雨量积累,据统计当一次降水达到 40 mm(即达暴雨级别)时,即可形成岩溶塌陷。

3.4 岩溶塌陷与人类开采岩溶地下水的关系

人类开采岩溶地下水是区内岩溶塌陷的主要诱发因素。自 20 世纪 70 年代中期频繁发生岩溶塌陷至今,随着泰安城区、旧县 2 处水源地的启用、关闭,

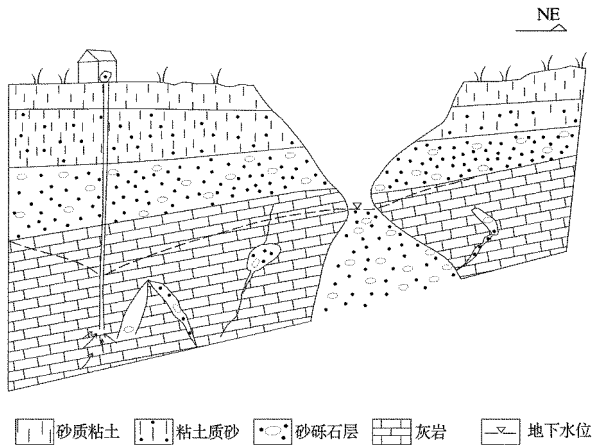


图 7 东羊娄村岩溶塌陷地质概化模型示意图

到目前区内岩溶地下水仅用于当地农村居民生活用水、季节性农业灌溉用水水源,岩溶塌陷经历了发生→发展→高峰→衰减的过程。1992 年启用位于泰山凸起区的黄前水库向泰安城区供水后,逐渐关闭了城区、旧县 2 处水源地供水井,使区内岩溶地下水水位逐渐回升,地下水降落漏斗范围逐渐缩小,漏斗中心水力坡度渐缓,岩溶塌陷地质灾害逐渐衰减,活动强度减弱;但岩溶地下水仍然是当地农村居民生活用水和季节性农田灌溉水源,致使仍然零星发生岩溶塌陷。如 2003 年 5 月 31 日发生于旧县水源地外围东羊娄村东北的岩溶塌陷,当时正值灌溉麦田期间,塌陷坑北侧 50 m 处一抽水井昼夜大流量开采岩溶地下水 10 余天,日开采量达到 4.2 万 m^3/d ,持续高强度开采岩溶地下水,致使岩溶地下水位急剧下

降至灰岩与第四系界面之间,并在其间上下波动,引起岩溶地下水水动力条件的急剧改变,最终造成了岩溶塌陷的发生,该塌陷坑东西长 35 m,南北宽 27 m,深约 25 m,是截至目前华北地区规模最大的单个岩溶塌陷坑(图 7)^[2]。

4 结语

通过对泰安市岩溶塌陷形成的地质环境背景及其与影响因素的关系研究,在泰安城区、旧县水源地地质-水文地质条件客观实体已就的条件下,人为超采岩溶地下水是形成泰安市岩溶塌陷的主要诱发因素。因此,保持区内岩溶地下水的承压状态,减少水头差,是防止泰安市岩溶塌陷的发生、保护地质环境的根本措施。

参考文献:

- [1] 成世才,郭加朋,马海会,等.泰安市岩溶地面塌陷动力诱导因素分析[J].山东国土资源,2009,25(12):44-47.
- [2] 高宗军,孙文广,唐蒙生,等.泰安-旧县水源地岩溶水开采与地质环境的关系[J].山东地质,2001,17(3-4):86-91.
- [3] 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,2004,15(3):149-150.
- [4] 袁道先,蔡桂鸿.岩溶环境学[M].重庆:重庆出版社,1987.
- [5] 史俊德,连冬香,杨士臣,等.论岩溶塌陷问题[J].华北地质矿产杂志,1998,1(3):264-267.
- [6] 陈国亮.岩溶地面塌陷的成因与防治[M].北京:中国铁道出版社,1994.
- [7] 贺可强,王滨,杜汝霖,等.中国北方岩溶塌陷[M].北京:地质出版社,2005:19-133.

Relationship between Geological Environment Background of Karst Collapse and Its Influencing Factors in Tai'an City

WANG Xiangyong¹, ZHAO Hongsheng¹, LI Wenjun¹, WANG Depeng¹, XU Yanjuan¹, ZHAI Daiting², LIU Xiaoqiong¹, ZHANG Lei¹

(1. Yuqiang Geological Exploration Limited Corporation in Tai'an City, Shandong Tai'an 271000, China; 2. No. 5 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Tai'an 271000, China)

Abstract: Karstic collapses occurred in Tai'an city mainly distributed in three areas, they are district city water source as the center of Jiuzhen railway triangle area in south part of railway station, Jiuxian karst water source near Mouwen river, and east and west Yanglou village karst water source. In this paper, an overview of development history of karst collapse, present condition, harm and the formation of geological environment background of karst collapse in Tai'an city have been introduced. Relationship among the influencing factors of karst collapse, rock and soil types, geological structures, atmospheric precipitation and human activities to karst groundwater mining have been studied as well.

Key words: Karst collapse; geological environment background; influencing factors; Tai'an city; Shandong province