

文章编号 :1009 - 0258 (2001) 03 ,04 - 0086 - 06

# 泰安—旧县水源区岩溶水开采与地质环境的关系

高宗军<sup>1</sup>,孙文广<sup>1</sup>,唐蒙生<sup>1</sup>,武新岭<sup>1</sup>,刘明<sup>1</sup>,韩云龙<sup>2</sup>,程锡良<sup>2</sup>

(1. 山东省泰安市地质环境监测站,山东 泰安 271000; 2. 泰安水文资源勘测局,山东 泰安 271000)

摘要:泰安—旧县水源区岩溶水因高强度开采,1989 年起岩溶水降落漏斗和第四系孔隙水疏干区范围迅速扩大,同时产生大面积的地面塌陷和地裂缝,岩溶水水质也趋于劣化。而在 1993 年关闭主要岩溶水开采井之后,岩溶水水位得以回升,水质变好,地面塌陷和地裂缝灾害减弱,并呈准稳定状态,说明合理开采地下水可以有效地保护地质环境。

关键词:岩溶水;水源区;开采强度;地质环境;山东泰安

中图分类号:P641.134;P641.69

文献标识码:A

## 1 区域水文地质条件

泰安—旧县水源区位于泰山山前冲洪积平原,地势北高南低,自然坡降 6‰±。大地构造位置属中朝准地台鲁西断块隆起之泰莱断陷盆地西缘。该水源区的范围与泰安—旧县断块大体一致,后者呈北宽南窄的楔形,北侧发育 NEE 向的泰山断裂,东西两侧分别为 NNW 向的岱道庵断裂和洪沟断裂(图 1)。断块内第四系冲洪积层较发育,厚度一般为 20~40m,与古生界地层呈不整合和接触(图 2)。由于古生界灰岩埋藏浅,构造发育,水动力条件活跃,因此该断块岩溶裂隙发育。据钻探揭露,在岩溶发育最强烈的 98~108m 标高地段,岩溶发育率可达 8%~12%,构成强岩溶水。该断块富水

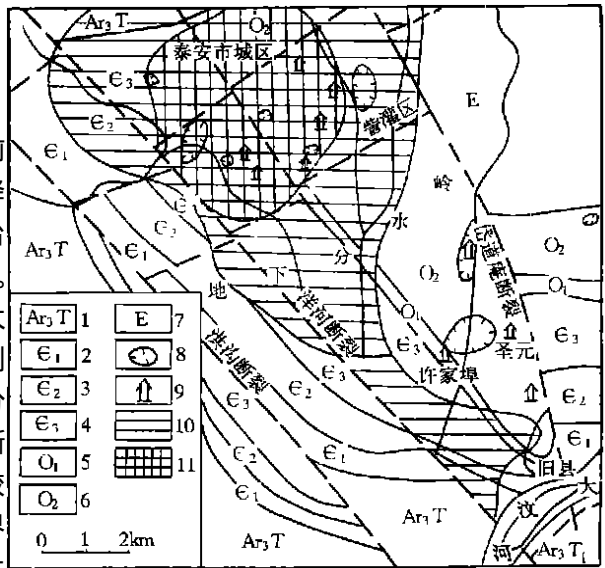


图 1 泰安—旧县水源区主要地质灾害分布图

Fig. 1 Distribution of major geological hazards in Tai'an - Jiuxian water source area

1—泰山岩群;2—下寒武统;3—中寒武统;4—上寒武统;5—下奥陶统;6—中奥陶统;7—古近系;8—塌陷集中分布范围;9—地裂缝及建筑物破坏点;10—孔隙水重污染区;11—岩溶水重污染区

收稿日期:2001 - 02 - 18 ; 修订日期:2001 - 06 - 10;编辑:杨学作

作者简介:高宗军(1964 - ) ,男,山东泰安人,高级工程师,主要从事水文地质及环境监测工作。



## 2.2 地面塌陷及地裂缝

泰安市城区于20世纪70年代中期先后在城区南侧与东南侧的旧镇、化肥厂和訾灌庄等地发生岩溶地面塌陷,并伴随着地裂缝。塌陷多呈近圆状,最大直径9m,最深7.2m。地裂缝多是由于不均匀地面沉降造成的,是地面塌陷的另一种表现形式。地面塌陷及地裂缝斑裂厂房、居民建筑,毁坏公路、铁路及桥梁等交通设施,造成了巨大的经济损失。

20世纪80年代初,旧县水源地开始启用。1988年以前仅强烈采水井附近小范围内发生地面塌陷及地裂缝;1989年以后,地面塌陷及地裂缝的范围迅速扩大;截止1999年底共产生塌陷34处,塌陷最大直径8m,最大陷深5m。

## 2.3 地下水水质劣化

据多年来的监测结果表明,泰安—旧县水源区岩溶水水化学组分含量具有逐渐升高的趋势(表1,表2),水化学类型亦由原来的 $\text{HCO}_3^- \text{Ca}$ 型转化为 $\text{HCO}_3^- \text{Cl}^- \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 或 $\text{HCO}_3^- \text{SO}_4^- \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 等复杂类型。尤其是指示污染的 $\text{NO}_3^-$ 含量,目前已接近或超过国家饮水的上限标准,说明其水质劣化速度是相当快的。

表1 泰安城区旧镇岩溶水化学组分含量变化 (mg/L)

Table 1 Content variation of chemical composition of Tai an and Jiuxian karsic water

年份	1962	1983	1986	1990	1995	1997	1998	1999
矿化度	259	454	691	1206	1109	967	921	953
硬度	112	186	220	568	607	533	513	508
$\text{NO}_3^-$	17	19	39	110	160	81	100	78
$\text{Cl}^-$	29	62	71	145	180	127	126	121
$\text{SO}_4^{2-}$	16	88	125	141	131	146	131	126

表2 旧县水源地岩溶水化学组分含量变化 (mg/L)

Table 2 Content variation of karstic water chemical composition in Jiuxian water source area

年份	1978	1985	1990	1995	1997	1998	1999
矿化度	254	459	519	648	676	559	603
硬度	206	257	222	349	400	348	334
$\text{NO}_3^-$	0	14	40	40	56	78	58
$\text{Cl}^-$	18	32	45	61	74	81	70
$\text{SO}_4^{2-}$	13	43	46	90	65	47	61

## 2.4 第四系孔隙水疏干

随着岩溶水水位的下降和漏斗的扩大,岩溶水由承压转为无压,上覆第四系孔隙水垂向补给作用随之增强,所以在“天窗”区形成大面积的第四系孔隙水疏干区。它不仅增加了当地农民的汲水成本,更严重的是改变了当地的地下水环境。

## 3 岩溶水开采与地质环境的关系

泰安—旧县水源区的四种主要环境地质问题(或称地质灾害),无一不与岩溶水的高

强度开采密切相关,而地面塌陷和水质劣化也是影响岩溶水开采的重要因素。

### 3.1 地面塌陷与岩溶水开采强度的关系

长期监测统计结果表明:当岩溶水开采强度加大,水位降落到岩溶含水层顶板以下时,地面塌陷即开始出现;当岩溶水水位波动幅度大,且波动范围位于岩溶含水层顶板附近时,地面塌陷活动强烈;而当岩溶水水位上升,且波动幅度变小时,地面塌陷活动趋于减弱或停息。旧县水源地岩溶塌陷范围 1989 年以后之所以迅速扩大,就是因为 1988 年该水源地的岩溶水开采量大幅度增加造成的。

岩溶地面塌陷的形成与两类不同地下水之间的转化关系见图 3。天然条件下岩溶水水位比第四系孔隙水水位高,岩溶水顶托补给孔隙水,在水的浮托力支撑下第四系岩土体结构稳定,地表无变形(图 4 - a)。而当岩溶水大量开采时,岩溶水水位降至岩溶含水层顶板以下呈潜水状态,岩溶水接受孔隙水补给时,即容易形成岩溶地面塌陷。岩溶地面塌陷是岩溶以上松散土体的结构遭到破坏而发生淘空和坍塌,并波及到地面形成的。岩溶洞隙的存在、直接覆于岩溶洞隙之上的一定厚度的松散盖层和易于改变的岩溶水动力条件是岩溶地面塌陷形成的基本条件。研究发现,岩溶塌陷的形成与水压力的触发作用关系密切<sup>[1]</sup>。

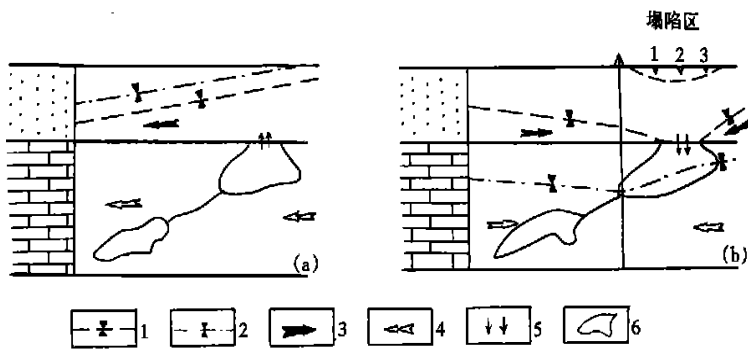


图 3 岩溶塌陷与地下水补排关系示意图

Fig. 3 Sketch showing conversion between collapse forming and underground water feeder and bleeder

- 1—第四系孔隙水水位;2—岩溶水水位;3—孔隙水流向;4—岩溶水流向;5—两类水转化方向;
- 6—岩溶洞穴

对泰安—旧县水源区岩溶地面塌陷的监测结果表明,第四系岩土体结构的破坏,至少受四种作用力的影响:孔隙水的渗透潜蚀作用,即孔隙水向下垂向补给岩溶水时,由于水力坡度及流速较大,使第四系岩土颗粒容易顺水流发生移动;地下水浮托力的消失,使第四系岩土盖层承受了由地表附加的向下作用力,迫使岩土体结构破坏;空隙内正压力的转换,潜水状态下岩溶水水面呈自由状态,在潮汐、人工开采岩溶水等因素作用下,岩溶水水面涨落幅度很大,在溶洞口附近的空气压力的正负转换是剧烈的,它对岩土体结构的稳定性有破坏作用,这种作用称之为真空吸蚀;岩溶水水面的冲刷、撞击、侵蚀作

国土资源部环境司、国土资源部宣传中心,1998,地质灾害防治知识。

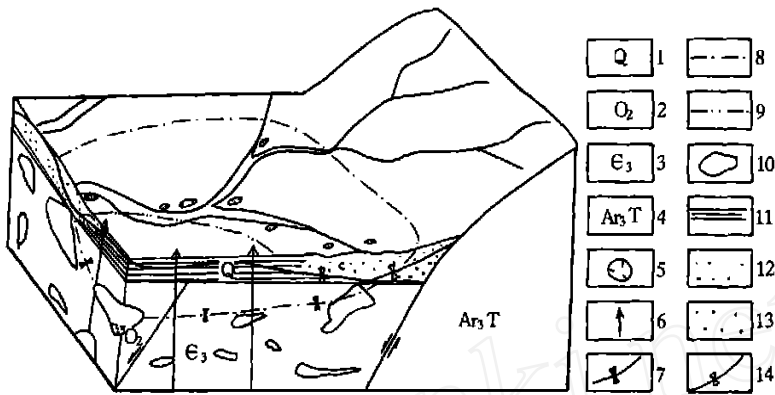


图4 岩溶地面塌陷空间展布示意图

Fig. 4 Sketch showing space distribution of karstic collapse

1—第四系;2—中奥陶统;3—上寒武统;4—泰山岩群;5—地面塌陷坑;6—抽水井;7—岩溶水位面;8—水源地影响范围;9—水源地范围;10—岩溶洞穴;11—粘土、亚粘土;12—砂砾岩;13—一坡积卵砾石层;14—第四系孔隙水水位面

用,这与地表水体的波浪对岸边的冲刷和侵蚀作用一样,对上覆岩土体结构的破坏作用是相当巨大的。

根据实际调查监测结果,岩溶地面塌陷的产生在平面分布上具有以下规律性:多集中分布在“天窗”部位。这是因为:a.岩溶水与孔隙水强烈交替处易发生潜蚀作用;b.其下伏灰岩岩溶发育,储存物质的空间大;c.“天窗”部位上覆第四系多为含水砂层,缺乏凝聚力,易于被潜蚀和冲刷。沿地表水体分布较多。这是因为:a.地表水体的存在,增强了孔隙水对岩溶水的补给作用;b.地表河流往往沿构造及岩溶发育方向展布,岩溶洞隙的存在是岩溶地面塌陷产生的前提。图4显示了岩溶地面塌陷的形成条件以及空间分布特征。值得注意的是,图中a、b、c三处同为灰岩岩溶和第四系砂砾石层发育地带,同样有地表水体存在,但b、c处产生了地面塌陷,而a处未产生地面塌陷,其原因是a处岩溶水水位较高,不具备上述导致第四系岩土体结构破坏的岩溶水水动力条件。因此,岩溶水开采所导致的水位大幅度下降也是隐伏灰岩岩溶发育地段产生地面塌陷的一个重要条件。

### 3.2 地下水水质劣化对岩溶水开采的影响

天然条件下,岩溶水主要接受水质优良的山区裂隙水的补给,其主要排泄方式为顶托向上覆孔隙水运动,因而不仅岩溶水水质保持优良状态,孔隙水水质也会在岩溶水的不断补给下保持较优良状态。然而当岩溶水大量开采后,岩溶水与孔隙水的补排关系发生倒转,孔隙水成了岩溶水的补给源,进而导致孔隙水大量地接受地表水的补给,而不再或很少向地表水排泄。由于地表水体多为严重污染水体,加之农田过量施肥,造成孔隙水严重污染,从而进一步污染岩溶水。更有甚者,地表污染水体可通过岩溶塌陷洞穴直接补给岩溶水而造成污染。1994年在许家埠村就曾发生地表污水通过塌陷洞穴直接灌入岩溶含水层而严重污染岩溶水的事件。

泰安城区旧镇附近曾经强烈发生岩溶地面塌陷,但自1993年关闭了主要岩溶水开采井以后,岩溶水水位得到回升,并保持了基本稳定,一方面遏制住了地面塌陷的发展势头,

另一方面也减少了孔隙水的补给量,更避免了地表水通过塌陷洞穴的直接灌入,因此岩溶水水质呈现了向好的方向转化的势头(表 1)。

## 4 结论

岩溶水开采对地质环境有重大影响,是地质环境发生变化的重要因素。岩溶水的大量开采,不仅使泰安—旧县水源区岩溶水降落漏斗不断扩大,使“天窗”地段第四系孔隙水呈疏干状态,而且还形成了严重的地面塌陷及地裂缝,促使了地下水水质的严重劣化。泰安城区旧镇地段岩溶水开采量的减少,使其地面塌陷活动减弱并呈准稳定状,也使地下水水质呈现了向好的方向转化的趋势。

## 参考文献:

- [1] 蒋小珍. 岩溶塌陷中水压力的触发作用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(3): 42 - 47.

## Relation between Karstic Water Exploitation and Geological Environment in Tai an - Jiuxian Water Source Area

GAO Zong - jun<sup>1</sup>, SUN Wen - guang<sup>1</sup>, TANG Meng - sheng<sup>1</sup>, WU Xin - ling<sup>1</sup>, LIU Ming<sup>1</sup>, HAN Yun - long<sup>2</sup>, CHENG Xi - liang<sup>2</sup>

(1. Tai an Monitoring Spot of Geological Environment, Shandong, Tai an 271000, China; 2. Tai an Exploration Survey Bureau of Hydraulic Resource, Shandong, Tai an 271000, China)

**Abstract:** Due to huge amount exploitation of karstic water in Tai an - Jiuxian water source area, scope of karstic funnels and unwatering areas of Quaternary pore water enlarged quickly from 1989. Large square of collapes and cracks were produced at the same time, and karstic water quality got worsen. In 1993, after major karstic water mining wells were closed, karstic water level got higher, water quality became better and hazards of collapes and crack weaker. It showed that reasonable exploitation of underground water could protect geological environment effecively.

**Key words:** Karstic water; water source area; exploitation strength; geological environment; Tai an in Shandong province