

文章编号: 1001-4810(2014)01-0009-06

山东省泰安市城区—旧县岩溶水系统 地下水资源潜力评价

陈伟清, 王延岭

(山东省第五地质矿产勘查院, 山东 泰安 271000)

摘 要: 山东省泰安市城区—旧县岩溶水系统位于山东省中部的泰山南麓, 为单斜构造式岩溶含水系统, 由城区和旧县两个水源地组成, 地势总体北高南低, 面积约 112 km²。含水系统内地层以新生界第四系和古生界寒武、奥陶系为主, 此外, 在南部和北部分布有较大面积的太古界泰山岩群火成岩。本区在构造单元上属鲁西台背斜的一部分, 泰莱断陷盆地之西半部。区内断裂构造发育, 主要有 NE 向的泰山断裂、徂徕山断裂及结庄断裂, NW 向的洪沟断裂、滂河断裂、岱道庵断裂。含水系统包括第四系松散岩类孔隙含水岩组和寒武—奥陶系碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组, 地下水动态受降水及人工开采影响明显。截止 2012 年底, 地下水日均开采量为 5.2 万 m³, 接近系统允许开采量 5.79 万 m³, 处于采补平衡状态。本文在充分利用前人研究资料的基础上, 通过对牟汶河修建拦河坝, 河水位抬高引起的岩溶水补给条件变化的研究, 确定该含水系统尚具有开采潜力, 其潜力主要来源于地表水入渗补给。通过研究计算, 目前该含水系统还具有约 2 万 m³/d 的开采潜力。

关键词: 泰安市城区—旧县岩溶水系统; 地下水资源; 开采潜力

中图分类号: P641.8 **文献标识码:** A

0 引 言

泰安市位于山东省的中部, 泰山南麓。泰安市的城市供水及工农业生产用水原以开采岩溶地下水为主, 但由于地下水的开采引发了大面积的岩溶塌陷地质灾害^[1], 后采取了地下水限采措施, 并采用地表水作为城区供水水源, 使岩溶塌陷的高发态势得到了遏制。

随着泰安市城市规模的不断扩大和国民经济的迅猛发展, 城市供水量及工农业生产用水量将会不断增加。从城市供水安全方面考虑, 地表水源易受污染, 受季节、气候等外界因素的影响较大, 供水安全系数较低, 而超量开采地下水, 则会引发岩溶塌陷等地

质环境问题。因此, 对城市地下水资源潜力进行正确的评价, 对于保障城市供水安全, 促进国民经济发展具有重要的意义^[2-13]。本文在泰安市城区—旧县岩溶水系统水文地质条件分析研究的基础上, 对其开采潜力进行了评价。

1 地质环境背景

泰安市城区—旧县水源地是泰安市城区的两个地下水供水水源地之一, 位于泰安市城区及东南部, 北依五岳之尊泰山, 南临牟汶河, 为单斜构造式岩溶水系统, 面积约 112 km², 地势总体北高南低。岩溶水系统地层以新生界第四系和古生界寒武、奥陶系为

主,此外,在南部和北部分布有较大面积的太古界泰山岩群火成岩(图1)。寒武—奥陶纪碳酸盐岩是泰安市城市供水水源地的岩溶化地层,总厚度在1 000 m以上。水源地内除寒武系有零星出露外,均为第四系所覆盖。第四系松散层包括冲积砂砾石层、冲洪积砂及卵砾石层、残坡积黏土层等,其厚度不均匀,总的趋势是从东北向西南变薄,厚度0~40 m。

本区在构造单元上属鲁西台背斜的一部分,泰莱断陷盆地之西半部。区内构造,早前寒武纪结晶基底表现为变质作用伴随构造运动,形成泰山、徂徕山复式背斜,显生宙盖层构造以断裂为主,主要有NE向的泰山断裂、徂徕山断裂及结庄断裂,NW向的洪沟断裂、滂河断裂、岱道庵断裂等(图1)。

2 水文地质特征

2.1 边界条件

泰安市城区—旧县岩溶含水系统内寒武—奥

陶系岩层位于泰莱断陷盆地西部翘起端,基本上为一单斜构造。含水系统分布受断裂构造及地层岩性的控制(图1)。区域北部以泰山断裂为界,断裂北侧为古老变质岩系,富水性和透水性弱,为弱透水边界。区域东部中北段以岱道庵断裂为界,该断裂经多期活动,显示张扭性质,就其断裂结构面而言,属导水构造,但由于其两侧岩性的差异,不同部位的水文地质性质有所不同:断裂北端的岱道庵附近东侧为中、下寒武统的页岩夹薄层灰岩,岩层透水性弱,与西侧的含水层的水力联系差,为弱透水边界;断裂中段东侧为厚度大、透水性弱的古近系黏土岩分布区,西侧为中奥陶统灰岩,为相对隔水边界;东部中南段以埠阳庄断裂为界,该断裂为张扭性断裂,属透水—弱透水边界。

区域西部和西南部边界是中、下寒武统岩层与古老变质岩系接触带,透水性弱,属弱透水边界^[14]。

该含水系统包括城区和旧县两个富水地段(水源地),见图1。

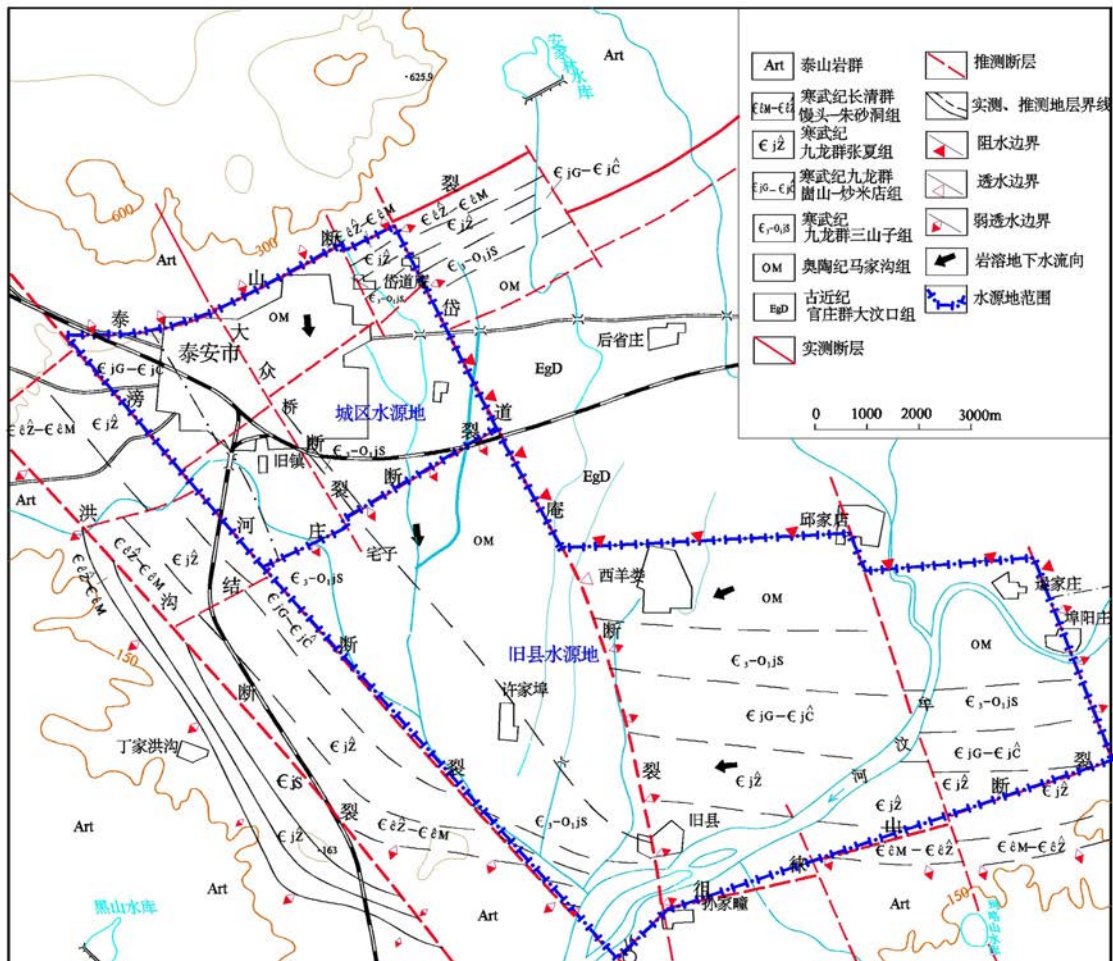


图1 泰安市城区—旧县水源地基岩水文地质略图^[14]

Fig. 1 The simple bedrock hydrogeology of the Tai'an urban-Jiuxian karst water system

2.2 含水岩组类型及特征

泰安市城区—旧县岩溶水含水系统内的含水岩组主要包括第四系松散岩类孔隙含水岩组、寒武—奥陶系碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组两种类型。其中第四系松散岩类含水岩组包括冲洪积层及冲积层两种类型,岩性的差异造成富水性不均,单位涌水量 $0.56\sim 8.47\text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。第四系松散岩类孔隙水主要接受大气降水及地表水补给,径流方向与地形坡向一致,自北向南径流,排泄方式为蒸发、补给地表水、人工开采及越流补给灰岩含水层。由于受工农业生产等因素的影响,地下水污染严重,TDS、总硬度、 NO_3^- 组分含量超标,严重污染面积已逾 30 km^2 。

碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组主要由奥陶系马家沟组五阳山段—东黄山段及寒武奥陶系三山子组灰岩、白云岩、竹叶状灰岩组成,隐伏于第四系之下,总面积 $80\sim 100\text{ km}^2$ 。含水岩组岩溶发育,含水层厚度 $70.0\sim 80.0\text{ m}$,富水性强,单井涌水量为 $1\ 000\sim 5\ 000\text{ m}^3/\text{d}$,单位涌水量为 $1.30\sim 18.18\text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。第四系孔隙水通过“天窗”补给为该含水岩组的主要补给来源之一^[15],地表水(主要是牟汶河)是该含水岩组的又一重要补给来源。此外,还接受区外含水层的侧向径流补给,径流方向在岱道庵断裂以东与牟汶

河流向一致,自东向西径流,在岱道庵断裂以西自北向南径流,在旧县—许家埠一带排泄于第四系或地表,人工开采为其主要排泄方式。由于地表水及孔隙水污染较为严重,岩溶水亦遭受了不同程度的污染,部分组分含量超标,但水质整体较好,水化学类型大部分地区为 HCO_3^--Ca 型。

2.3 地下水动态变化特点

大气降水和人工开采是影响和控制岩溶水水位变化的主要因素^[16]。

城区水源地岩溶地下水水位变化主要随着降水变化而波动,但变化稍滞后。一般4—7月出现低水位,8—11月出现高水位,多年水位标高约 100 m (埋深约 $30\sim 35\text{ m}$),水位年变幅2003年以前较大,为 20 m 左右,近年来则变为 10 m 左右。特别是近几年来城区自来水井大部停采,地下水开采量减少,使地下水水位呈现逐年回升的趋势,尤其是2002年以后,水位回升明显,水位标高从2002年的 98 m (埋深约 35 m)左右上升到2012年的 125 m (埋深约 8 m)左右(图2)。天然条件下岩溶水水位年动态类型以单峰单谷型为主。但由于受开采强度大小变化的影响,近年来岩溶水水位年动态变化多表现为不规则型。

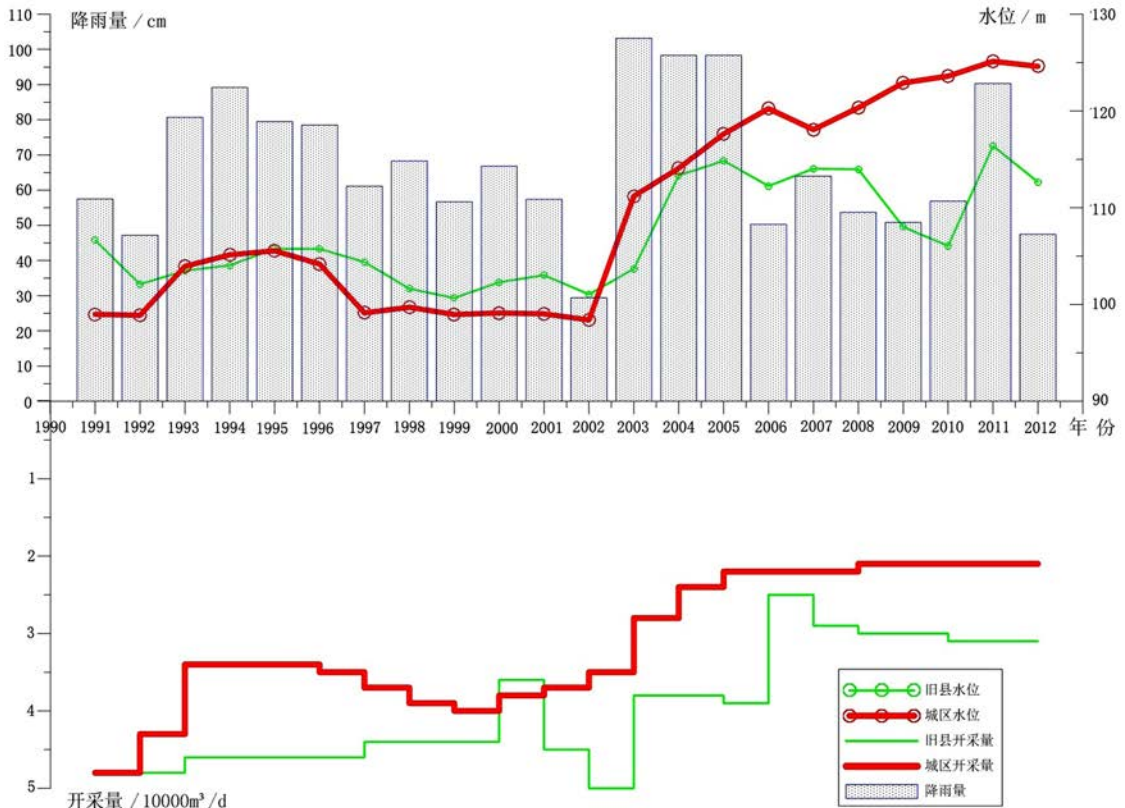


图2 泰安市城区—旧县水源地水位、降水量与开采量多年动态变化曲线图

Fig. 2 The perennially dynamic change graph of water level, rainfall and water sources' exploitation in Tai'an urban and Jiuxian

旧县水源地水位动态除受降水和人工开采影响外,还受牟汶河来水的影响。多年最低水位一般为105 m(埋深约15 m)左右,最高水位一般为114 m(埋深约6 m)左右,年水位变幅8~10 m。

牟汶河位于旧县水源地的南侧,多年水位标高平均约112 m,2010年2月开始在旧县附近修筑拦水坝,蓄水量较大,河水位上升,水位标高一般为114 m左右,雨季可达到115 m左右。由于牟汶河河床

与岩溶含水层之间为强透水的砂层连接,因此河水对水源地岩溶地下水的补给明显(图3)。从水源地多年动态来看,近几年随着开采量的减少和牟汶河截流蓄水,水源地水位总体逐步回升(图2),特别是从2002年开始,水位回升明显,年均水位已从2002年的101 m(埋深19 m)左右振荡上升到2012年的113 m(埋深7 m)左右^[17]。

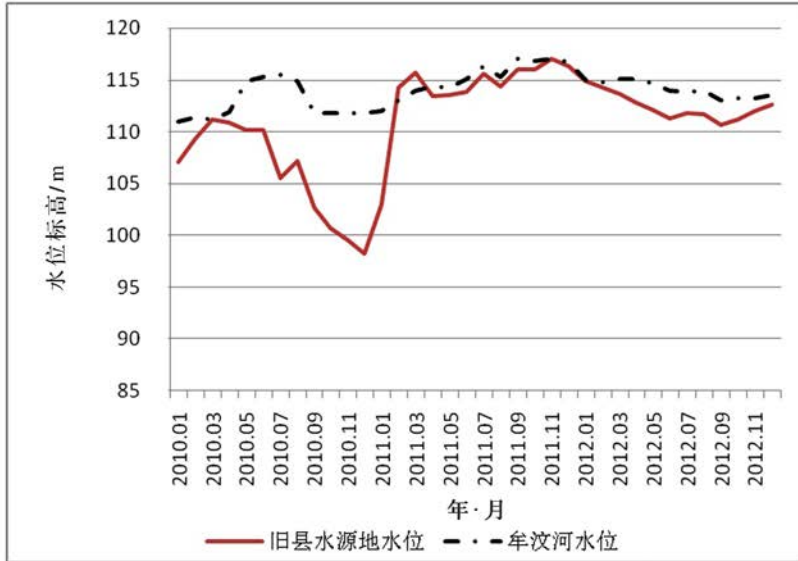


图3 旧县水源地水位及牟汶河水位动态曲线图

Fig. 3 The dynamic graph of water levels in Muwen River and Jiuxian water sources

3 地下水开采历史及现状

城区水源地开采始于上世纪50年代末,包括市自来水公司供水井及区内单位自备井取水,1982年前后开采量达到最高峰,高峰取水量达到5~6万 m^3/d ,大量的取水引发岩溶塌陷^[18],1993年前后自来水公司供水井已全部停采,目前主要为单位自备井取水,区内共有自备井121眼,日开采量2.1万 m^3 。旧县水源地于1982年开发,2002年开采量达到最高峰,日开采量约5万 m^3 ,引发了大面积的岩溶塌陷灾害,后进行限采,目前共有自来水公司补压井8眼,灌溉井及农村供水井超过100眼,日开采量约3.1万 m^3 。

截止2012年底,城区—旧县岩溶水系统日均开采量为5.2万 m^3 ^[17]。

4 岩溶水资源量评价

4.1 前人评价结果

泰安城区—旧县岩溶水系统为一双层复合地下水系统,上层为第四系孔隙水,下层为寒武、奥陶系岩溶水,二者通过第四系底部分布不均的弱透水流层相联系,可以将其概括为“双层三维流模型”^[14]。

1983年9月,泰安市旧县水源地水文地质勘探报告采用水均衡法计算,得出的水源地补给量为71722.72 m^3/d ,开采量为68606.51 m^3/d ^[19]。2006年9月,山东省泰安市城市应急供水水源地调查研究报告根据含水系统范围内的水位、水量长观资料,利用水均衡法和计算机有限差法模拟进行反复模拟、验证,最终确定泰安—旧县岩溶含水系统地下水总补给量为9330.05万 m^3/a (25.05万 m^3/d);其中降水入渗6205.4万 m^3/a ,地表水入渗2746.98万 m^3/a ,侧向补给377.67万 m^3/a ,地下水弹性存储量为9.5万 m^3 ,容积存储量为996万 m^3 ;在开采对环境、水文、工程地质条件危害程度最小的条件下,整个含水系统的基岩地下水允许开采量为5.79万 m^3/d ,其中城区水源地可提供0.63万 m^3/d ,旧县水源地可提供5.16万 m^3/d ^[20]。

4.2 岩溶水资源潜力分析

截止2012年底,区内岩溶水开采总量约为5.2万 m^3/d ,接近山东省泰安市城市应急供水水源地调查研究报告中确定的允许开采量5.79万 m^3/d ,开采潜力指数为1.11,处于采补平衡状态,即水源地基本上已无开采潜力(表1、表2)。但由于2010年,牟汶河开始修建拦河坝,河水位抬高,地表水补给岩溶水量增加,因而目前岩溶水系统还具有一定的开采潜力。

表1 地下水开采潜力分级(区)标准^[20]

Table 1 The classification or partition standard of groundwater exploitation potentiality

开采潜力指数(P)	$P > 1.2$	$0.8 < P \leq 1.2$	$0.6 < P \leq 0.8$	$P \leq 0.6$
潜力划分	有开采潜力	采补平衡	超采	严重超采

注:开采潜力指数 $P = \text{允许开采量} / \text{实际开采量}$ 。

表2 含水系统开采潜力评价表^[20]

Table 2 Assessment form of exploitation potentiality in the water-bearing system

水源地名称	允许开采量 $Q_{允}/\text{万 m}^3/\text{d}$	实际开采量 $Q_{实}/\text{万 m}^3/\text{d}$	潜力指数 P	潜力评价
城区	0.63	2.1	0.30	严重超采
旧县	5.16	3.1	1.66	有开采潜力
城区+旧县	5.79	5.2	1.11	采补平衡

牟汶河新增的补给量可按下式进行计算:

$$Q_{河补} = KB \frac{M(H-h)}{b}$$

式中: $Q_{河补}$ 为流渗入补给量(m^3/d); K 为透系数,根据勘探资料,取23.56 m/d ^[19]; M 为水层厚度,根据勘探资料,取96.66 m ^[19]; B 为水断面宽度,根据勘探资料,取1200 m ^[19]; $H-h$ 为内河水与地下水的水头差,根据监测资料,取3 m ; b 为落漏斗至河岸边线距离,取观测井至河边的距离,根据勘察资料,取400 m ^[19]。

河水补给期按每年9个月计算,该含水系统可增加748万 m^3/a (约2万 m^3/d)的补给量,增源效果明显,开采潜力系数可达到1.366(表3),由此认为泰安市城区—旧县岩溶水系统目前还具有约2万 m^3/d 的开采潜力。

表3 增源后含水系统开采潜力评价表

Table 3 Assessment form of exploitation potentiality in the water-bearing system after rechargement

允许开采量 $Q_{允}$	增源补给量 $Q_{增}$	实际开采量 $Q_{实}$	潜力指数 P	潜力评价
万 m^3/d				
5.79	2.0	5.2	1.366	有开采潜力

注:开采潜力指数 $P = (Q_{允} + Q_{增}) / Q_{实}$ 。

5 结 论

(1)泰安市城区—旧县岩溶水系统的含水岩组主要包括第四系松散岩类孔隙含水岩组、寒武—奥陶系碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组两种类型;第四系孔隙水主要接受大气降水的补给,排泄方式主要为蒸发、补给地表水、人工开采及越流补给灰岩含水层;岩溶裂隙水主要补给来源为第四系孔隙水越流补给、地表水渗漏补给及外部含水层侧向径流补给,排泄方式以人工开采为主。

(2)截止2012年底,泰安市城区—旧县岩溶水系统地下水实际开采量为5.2万 m^3/d 。

(3)目前,城区水源地已严重超采,但由于2010年牟汶河筑坝,河水位抬高,河水入渗补给,旧县水源地上尚有约2万 m^3/d 的开采潜力。

参考文献

- [1] 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].山东国土资源,2010,(4):86-91.
- [2] 岩溶水资源及增源增采模型[M].济南:山东科学技术出版社,1999:78-100.
- [3] 郭建斌.泰安市岩溶水文地质结构特征研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2000,19(2):79-81.
- [4] 曹丁涛,邹城市唐村—西龙河水源地岩溶水资源数值模拟[J].地质论评,2008,54(2):278-288.
- [5] 卞锦宇,朱桂娥.上海市浦西地区地下水三维数值模拟[J].中国岩溶,2002,21(3):182-187.
- [6] 刘建立,钱孝星.中国北方裂隙岩溶水资源开发和保护中若干问题的研究[J].地质学报,2000,74(4):344-352.
- [7] 张凤歧,李博涛.中国北方岩溶地下水系统和开发利用中的几个问题[J].中国岩溶,1990,9(1):7-14.
- [8] 贺可强,刘炜金,邵长飞.鲁中南岩溶水资源综合类型及合理调蓄研究[J].地球学报,2002,23(4):369-374.
- [9] 林学铎,廖资生.地下水管理[M].北京:地质出版社,1995:84-91.
- [10] 郭飞,刘建立.徐州地区裂隙岩溶水资源问题研究[J].中国岩溶,2002,21(4):263-268.

- [11] 张志忠, 瞿德权. 徐州市岩溶水资源管理模型[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2001, 20(6):754-757.
- [12] 王振龙, 马倩. 淮北地区夹沟-符离集水源地岩溶水资源评价与利用研究[J]. 地下水, 2006, 27(5): 367-368.
- [13] 朱学愚, 朱国荣, 吴春寅, 等. 山东临淄地区喀斯特裂隙水资源的管理模型[J]. 地理学报, 1994, 49(3):247-257.
- [14] 山东省地矿局第一地质大队. 山东省泰安市水资源管理模型报告, 1990.
- [15] 山东省地质局第一地质队. 泰安市岩溶地下水合理开发利用研究报告, 1986.
- [16] 山东省第一地质矿产勘查院. 泰安市地下水可持续利用规划报告, 2000.
- [17] 泰安地质环境监测站. 山东泰安地下水动态监测报告, 1981-2012.
- [18] 张广安, 鲁峰, 渠涛, 等. 泰安市泰山区岩溶塌陷成因分析及防治措施[J]. 山东国土资源, 2007, 23(10): 31-33.
- [19] 山东省勘察公司. 泰安市旧县水源地水文地质勘察报告, 1983.
- [20] 山东省泰安地质环境监测站. 山东省泰安市城市应急供水水源地调查研究报告, 2006, 5-17.

Evaluation of the potential groundwater resources in Tai'an urban-Jiuxian karst water system, Shandong Province

CHEN Wei-qing, WANG Yan-ling

(No. 5 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Tai'an, Shandong 271000, China)

Abstract: Tai'an urban-Jiuxian karst water system is located at the foot of the southern Mount Tai in Shandong Province, it is a monoclinical structure water-bearing system with two water sources in urban and Jiuxian. It is higher in the north than in the south, covering an area of 112 square kilometers. The water-bearing stratum of the system are predominately Quaternary, Cambrian and Ordovician, with a large area of Archaean igneous rocks of Taishan group in the south and the north. The tectonic unit is a part of Luxi anticline in the western Tailai fault subsidence basin. Faults include the NE-trending Taishan, Culaishan and Jiezhuang faults, and NW-trending Honggou, Panghe and Daidaoan faults. The water bearing formation includes a pore aquifer in unconsolidated Quaternary sediments and a karst bedrock fracture aquifer in the Cambrian-Ordovician carbonates. The groundwater is obviously affected by precipitation and artificial exploitation. By the end of 2012, the exploitation of groundwater was 52 thousand cubic meters per day, approaching the allowable with drawal limit of 57.9 thousand cubic meters, which is the equilibrium of exploitation and recharge. Relying on the previous data, changes in the karst water recharge due to the barrage of Muwen River was studied. Results indicate that the system still has potential for exploitation due to recharge by surface water, and about 20 thousand cubic meters water per day are allowed to be exploited in the water-bearing system.

Key words: Tai'an urban-Jiuxian karst water system; groundwater resources; exploited potential

(编辑 韦复才)