

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.02.013

山东省莒县沭河盆地地下水资源评价

白 平, 朱 伟, 杨 鹏

(山东省第八地质矿产勘查院, 山东 日照 276826)

摘要:通过物探、钻探手段对沭河盆地的水文地质结构、补径排条件进行研究,建立水文地质模型,并利用 GMS 数值模拟和内梅罗综合指数法对地下水开采潜力及水质进行评价。结果表明:沭河盆地含水层分布具各向异性,按含水层厚度可划分为两个富水区;地下水补给来源以大气降水和河流侧渗补给为主,排泄途径主要为人工开采,地下水正均衡 $2\,312.85\text{万 m}^3/\text{a}$;经模拟不同开采情况下地下水变化情况,确定莒县沭河盆地地下水开采潜力为 $6.1\text{万 m}^3/\text{d}$;地下水水质达到 III 级及以上标准的区域占总面积的 71.4%,基本满足供水质量要求。

关键词:地下水资源;含水层结构;地下水开采潜力;水资源评价;数值模拟;内梅罗综合指数法;沭河盆地

中图分类号:TV213,X824

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2015)02-0065-05

Assessment on groundwater resources in Shuhe Basin, Ju County, Shandong Province

BAI Ping, ZHU Wei, YANG Peng

(The 8th Institute of Geology & Mineral Exploration of Shandong Province, Rizhao 276826, China)

Abstract: The techniques of geophysical prospecting and drilling are used to study the hydrogeological structure and the conditions of groundwater recharge, runoff and discharge in Shuhe Basin. A hydrogeological model has been set up, and an assessment on the groundwater exploitation potential and groundwater quality was made by means of GMS software numerical simulation and Nemoro comprehensive index method. The results show that the aquifers in Shuhe Basin are anisotropic, and can be divided into two water-rich zones according to the thickness of aquifers; atmospheric precipitation and lateral inflow of river are the main recharge ways of groundwater; artificial groundwater exploitation is the main discharge way, the balance of groundwater is $2\,312.85 \times 10^4\text{m}^3/\text{a}$. By simulating the changes of groundwater under different exploitation schemes, the groundwater exploitation potential is $6.1 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$. The areas in which groundwater quality is superior to III level account for 71.4% of the total area, which basically meets the water quality requirements of water supply.

Key words: groundwater resources; aquifer structure; groundwater exploitation potential; water resources assessment; numerical simulation; Nemoro comprehensive index method; Shuhe Basin

莒县位于山东省日照市西部,是沂蒙山区主要粮食产区之一,人均占有水资源量 574m^3 ,按国际通用标准属重度缺水地区^[1]。近年来,随着工农业的快速发展,水资源短缺矛盾日益突出。沭河盆地地下

水储存条件得天独厚,开发潜力较大。通过研究沭河盆地含水层结构特征,对地下水资源进行系统评价,可为确保城市用水安全、促进当地社会经济发展提供保障。

基金项目:2010年山东省财政出资地质勘查项目(鲁勘字(2010)115号)

作者简介:白平(1987—),男,助理工程师,主要从事水文地质、环境地质工作。E-mail:dkbybp@163.com

1 区域地质

研究区地处沂沭断裂带之安丘-莒县与昌邑-大店断裂组成的地堑内,南北长约 16 km,东西宽 10 km,总面积 160 km²。其东、西、北三面地势较高,为剥蚀丘陵—岗地地区,岩性以安山岩为主,上覆粉砂岩 0.3~2.0 m;南部略低,下伏地层为具有隔水性的玄武岩,基岩裸露地表,形成天然挡水坝;中部为河谷平原,其间广泛分布第四系中粗砂、沙砾石层。区域整体呈簸箕口状,为一个四周相对封闭、中部低的侵蚀盆地,盆地内沉积了大量松散岩类,为地下水储存提供了良好条件。

2 水文地质条件

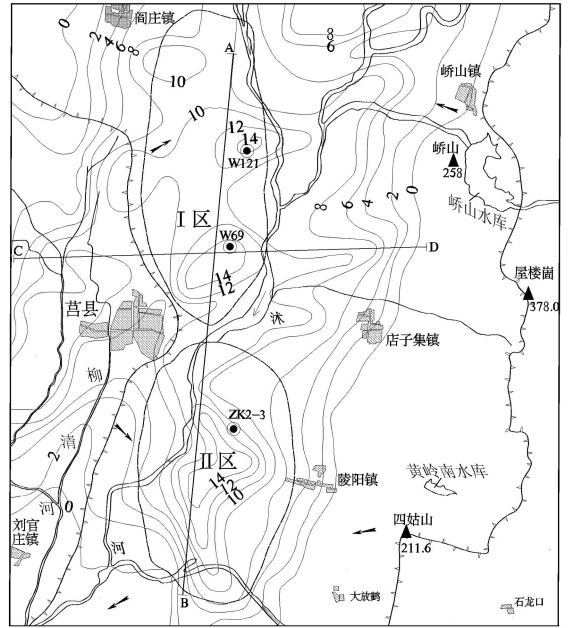
根据含水介质的差异,区内地下水可分为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两类。基岩裂隙水主要赋存于局部破碎的安山岩、玄武岩基岩中,整体富水透水性差,单井涌水量一般小于 50 m³/d,不具集中供水意义。松散岩类孔隙水赋存于第四系冲(洪)积层的不同粒径砂、沙砾石中,透水储水性能好,水位埋深一般 2~4 m,单井涌水量一般可达 2000 m³/d,是本区的主要含水岩组。

2.1 含水层结构特征

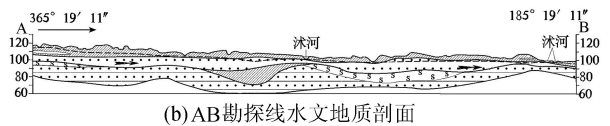
含水层富水性主要取决于砂层厚度,而砂层的厚度又与古河道分布及基岩界面有关,由于砂层与基岩的物性特征存在较大区别,可通过视电阻率变化区分。本次研究主要采用视电阻率联合剖面法和激电测深法等物探手段圈定低阻异常带,再经钻探验证。沭河盆地内含水层厚度一般在 7.4~35.0 m,最厚可达 119 m,砂及沙砾层的颗粒级配及分选性具有差异性,从中心向两侧渐细,由浅部向深部变粗,层间夹杂厚度不等的淤泥,整体砂层厚、颗粒粗、空隙大,符合古河道的物质组成特征,但由于处于沭河中下游,粉细砂-卵石的典型二元结构不明显^[2]。砂层底板由页岩或泥岩组成,页岩和泥岩的透水性很弱,可视为不透水层。

另外,根据钻探编录资料,沭河盆地砂层厚度具有各向异性(图 1)。在垂直河流方向上,砂层呈中间厚、两边薄的特点,说明沭河干流两侧为古河道。在多次搬运沉积的作用下,砂层厚度大,具备良好的储藏地下水空间;平行于河流方向上,以县城东的沭河河道为界,砂层可分为两段,在剖面上呈连续透镜体状延伸,这反映了沭河古河道的分布与现代河床具有一定差异性。经多次河流改道后,古河道中心分别位于现代河床东南和西北侧,在砂层等厚线图上反映为两个漏斗状区域。由抽水试验数据(表 1)

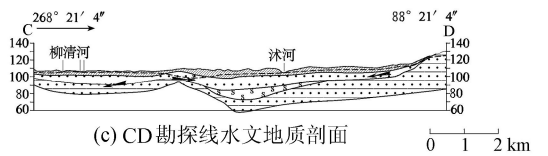
可知,该区域孔(井)在深度、含水层厚度及水位降深相差不大的情况下,其渗透系数均达 25 m/d 左右,远大于区域平均值 13.13 m/d,表明含水层骨架较粗,透水性强,可充分接受地表地下水的补给;同时涌水量也较平均值大 2 L/s 左右,说明漏斗范围内地下水资源丰富,具有较大供水潜力,图 1 中 I、II 区为盆地内两个主要富水区。



(a) 研究区砂层等厚线



(b) AB勘探线水文地质剖面



(c) CD勘探线水文地质剖面

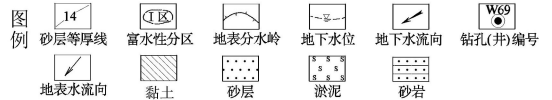


图 1 研究区水文地质条件及砂层等厚线(m)

表 1 古河道与研究区部分水文地质参数对比

孔(井)号	孔深/m	含水层厚度/m	水位降深/m	涌水量/(L·s ⁻¹)	渗透系数/(m·d ⁻¹)
ZK2-3	30	23.00	4.33	7.71	24.61
W69	25	17.98	3.15	5.63	26.48
W121	30	23.69	5.77	5.84	25.52
沭河盆地 机井平均值	26.95	19.06	4.63	3.56	13.13

2.2 地下水补径排条件

沭河盆地地下水的补给来源包括大气降水、上游径流、河流渗漏和基岩裂隙水侧渗。区域地下水的径流方向与地表水基本一致,即由盆地两侧向中心、由河谷上游向下游运移。当地水力坡度小于千

分之一,表明地下水的径流流速比较缓慢。地下水的径流排泄和河流侧渗排泄量较小,农业开采为排泄主要途径,部分潜水以垂向排泄消耗于地面蒸发及植物蒸腾,但稳定开采后,地下水蒸发排泄的量将大大减少。

3 地下水资源评价

3.1 地下水天然资源量计算

由上述分析可知,沭河盆地为一个相对独立完整的水文地质单元,补给项和排泄项较清楚,可采用水均衡法对其地下水天然资源量进行计算^[3](表2)。

计算结果表明,莒县沭河盆地地下水补给来源主要为河流侧渗补给和大气降水补给,排泄方式以人工开采为主。均衡结果处于正均衡,且正均衡差为2312.85万m³/a(折合为63365.75m³/d)。均衡期内,盆地内的补给量大于排泄量,地下水水位呈上升趋势。

3.2 地下水允许开采量计算

3.2.1 数值模型

地下水允许开采量可理解为地下水动水位不低于警戒水位的最大开采量^[4],本文借助GMS进行数值模拟计算。沭河盆地南部为沭河支流合流处,常年有水且与地下水存在联系;同时由于常测孔资料显示沭河盆地地下水开采与北部水位无明显联系,故将南北视为定水头边界。西部沭河和柳清河之间分布有一地表分水岭,其两侧的地下水水位高于河流两侧的地下水水位,由此可推断此处也是地下水分水岭,故定为隔水边界;盆地东部为基岩区,大气降水以地表径流形式汇入盆地中心含水层内,可定义为定流量边界。研究区内的地下水既有水平方向运动又有垂直方向运动,可概化为非均质各向异性介质中的三维非稳定流,根据2012年5月的地下水动态观测孔的实测水位,通过插值获得研究区内各

结点的初始水位。利用店子集2012年常测孔实测资料与模拟计算值进行拟合校正,以满足GB/T14497—93《地下水资源管理模型工作要求》。

3.2.2 模拟计算

在富水区中心布置4口开采井,各井平均开采,1~4号含水层的厚度分别为13.0m、13.2m、12.9m、10.6m,初始水位分别为106.5m、105.5m、104.3m、104.0m,以研究区多年平均降雨量745.25mm作为模拟降雨量,利用数值模型模拟,分别计算不同开采量下的稳定水位和区域平均降深(表3、表4、图2)。当开采量增大至8万m³/d时,降落漏斗中心水位由104.0m降至96.3m,平均降深达6.925m,水位急速下降。按水位降深达到含水层厚度1/3时的动水位为警戒水位,逐步调整地下水开采量,直至均衡区年总储量变化量为零,最终计算出均衡条件下莒县沭河盆地地下水允许开采资源量为61133m³/d,这与利用水均衡法确定的补给量与开采量差值(63365m³/d)基本吻合。综合确定莒县沭河盆地未来地下水开采量控制在6.1万m³/d以内较为合理。

表3 模拟不同开采量时1~4号水位

模拟开采方案	区域总开采量/(万m ³ ·d ⁻¹)	井中心水位高程/m			
		1号	2号	3号	4号
方案一	2	106.3	104.5	104.2	102.5
方案二	4	105.0	103.5	103.3	101.3
方案三	6	101.5	100.3	99.5	98.5
方案四	8	99.4	97.8	97.1	96.3

表4 数值模拟计算结果

模拟开采方案	区域总开采量/(万m ³ ·d ⁻¹)	平均降深/m	最大降深占含水层厚度百分比/%
方案一	2	0.675	5.2
方案二	4	1.188	9.1
方案三	6	4.625	35.0
方案四	8	6.925	53.3

表2 沭河盆地地下水天然资源量计算

总项	单项因子	计算公式	计算值/(万m ³ ·a ⁻¹)	占总补给量/总排泄量的百分比/%
补给	大气降水补给量	$Q_{降水} = 0.80\alpha SM$	1852.56	39.50
	上游径流补给量	$Q_{径补} = KIMBT$	271.66	5.79
	河流侧渗补给量	$Q_{河渗} = 2LKIMT$	2565.45	54.71
	灌溉回渗量	$Q_{灌渗}$: 当前灌溉条件下回渗量较小忽略不计	0	0.00
	总补给量	$Q_{总补} = Q_{降雨} + Q_{径补} + Q_{河渗} + Q_{灌渗}$	4689.67	100
排泄	农业开采量	$Q_{农采} = Q_{I区} + Q_{II区} + Q_{III区} + Q_{IV区} + Q_{V区}$	1785.38	75.11
	潜水蒸发量	$Q_{潜蒸} = 0.80CSE$	138.06	5.81
	下游径流排泄量	$Q_{径排} = KIMBT$	15.38	0.65
	工业开采量	$Q_{工采}$: 据调查开采量1.2万m ³ /d	438.00	18.43
	总排泄量	$Q_{总排} = Q_{农采} + Q_{潜蒸} + Q_{径排} + Q_{工采}$	2376.82	100
	地下水天然总储量	$Q = Q_{总补} - Q_{总排}$	2312.85	

注:α为降雨入渗系数(查水文地质手册取经验系数0.22);S为汇水面积;M为多年平均降雨量;K为渗透系数;I为地下水水力坡度;M为含水层厚度;B为河流宽度;T为补给时间;L为河流长度;C为蒸发系数(取0.04);E为多年平均蒸发量。

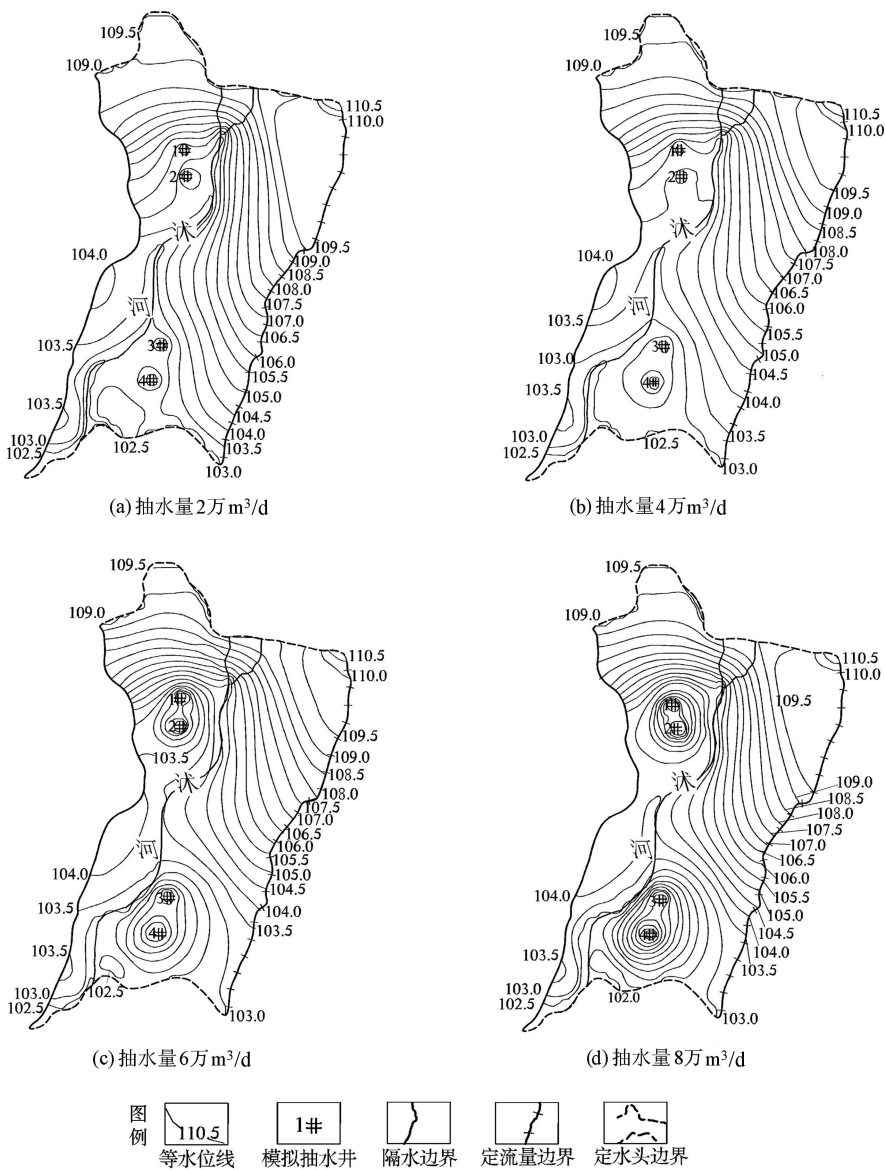


图2 不同开采量下地下水水流场模拟 (m)

3.3 地下水水质评价

采集分析水样 70 件, 饮用水分析样 42 个。采用内梅罗综合指数法^[5]进行水质评价, 主要选取评价指标为总矿化度、总硬度、NO₃⁻ 和 Cl⁻ 等(表 4), 评价公式为

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \quad (1)$$

$$F = \sqrt{\frac{\bar{F}^2 + F_{\max}^2}{2}} \quad (2)$$

式中: \bar{F} 单项指标评分 F_i 的平均值; F_i 为 i 项指标评分; n 为单项指标项数; F_{\max} 为单项指标评价分 F_i 中的最大值。

评价级别按 F 值分为以下 5 类: $F < 0.80$, 优良; $0.80 < F < 2.50$, 良好; $2.50 < F < 4.25$, 较好; $4.25 < F < 7.20$, 较差; $F > 7.20$, 极差^[6]。

取样化验分析结果表明, 莒县沐河盆地地下水

水化学类型自上游向下游依次是 HCO₃ 型、HCO₃-Cl 型和 HCO₃-Cl-SO₄ 型, 沐河下游地下水质量总体有逐渐变差的趋势。评价结果表明, 莒县沐河盆地地下水水质达到 II 级标准的区域约占总面积的 38.6%, 主要分布在沐河王家墩头—莒县城区北段两侧约 400 m 范围内及阎庄镇北一带; 达到 III 级标准的区域约占总面积的 32.8%, 分布于店子集—莒县城区东的支流两侧; 达到 IV 级标准的区域约占总面积的 22.7%, 分布于莒县城区南—陵阳一带以及城区北—阎庄镇南部分地区; 地下水水质达到 V 级标准的区域约占总面积的 8.4%, 分布于刘家官庄—大放鹤一带。总的来看, 水质达到 III 级及以上标准的区域占总面积的 71.4%, 除沐河莒县南段流域因工业、养殖及生活污水的排入使水体遭遇污染外, 其他大部分区域地下水水质状况良好, 基本满足供水质量要求。

表5 沭河盆地水样分析评价

水样 编号	$\rho(\text{矿化度})/\rho(\text{总硬度})/$ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NO}_3^-)/$ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Cl}^-)/$ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	F 值	质量 级别	水样 编号	$\rho(\text{矿化度})/\rho(\text{总硬度})/$ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NO}_3^-)/$ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Cl}^-)/$ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	F 值	质量 级别		
1	1	1	0	0	0.91	优良	22	3	3	0	1	4.40	较差
2	3	3	0	0	1.09	良好	23	3	1	0	1	4.31	较差
3	3	6	0	3	2.36	良好	24	3	1	0	1	4.37	较差
4	3	6	0	1	1.91	良好	25	3	6	0	1	4.45	较差
5	3	10	0	3	2.55	较好	26	1	1	0	1	4.32	较差
6	3	3	0	1	1.09	良好	27	3	1	0	1	4.35	较差
7	3	3	3	1	1.36	良好	28	3	6	0	1	4.34	较差
8	1	1	0	0	4.32	较差	29	3	6	0	1	4.35	较差
9	1	1	0	0	4.31	较差	30	1	1	0	0	4.31	较差
10	1	1	0	1	2.18	良好	31	3	6	0	1	4.34	较差
11	1	1	0	1	2.17	良好	32	3	6	0	1	4.35	较差
12	3	3	0	0	2.24	良好	33	1	1	0	0	2.20	良好
13	1	3	0	1	2.22	良好	34	3	3	0	1	2.26	良好
14	3	1	0	0	4.37	较差	35	3	3	0	1	2.20	良好
15	3	3	0	3	2.30	良好	36	1	3	0	1	2.16	良好
16	1	1	0	0	2.17	良好	37	3	6	0	1	4.31	较差
17	1	1	0	1	0.73	优良	38	3	6	0	1	4.35	较差
18	3	3	0	1	2.33	良好	39	6	6	0	3	4.54	较差
19	1	1	0	1	2.17	良好	40	3	6	0	0	4.34	较差
20	1	1	0	1	2.18	良好	41	1	1	0	0	7.15	较差
21	3	3	0	1	2.26	良好	42	3	1	0	1	2.17	良好

4 结 论

a. 莒县沭河盆地属侵蚀盆地,面积约 160 km²。含水层以第四系含沙砾石层为主,按砂层分布各向异性分为两个富水区。

b. 地下水补给来源主要为河流侧渗补给和大气降水补给,排泄方式以人工开采为主。

c. 现状条件地下水天然总补给量与总排泄量正均衡 2 312.85 万 m³/a,地下水开采潜力为 6.1 万 m³/d。

d. 地下水化学类型自上游至下游依次为 HCO₃型、HCO₃-Cl 型和 HCO₃-Cl-SO₄ 型,逐渐变差,水质达到Ⅲ级及以上标准的区域占总面积的 71.4%,总体满足供水质量要求。

参考文献:

[1] 于凤鸣,刘兴起,蒋援民,等.保障莒县水资源可持续发展的对策[J].水资源保护,2004,20(2):57-59.(YU

Fengming, LIU Xingqi, JIANG Yuanmin, et al. The countermeasures of ensuring sustainable use of water resources in Ju County [J]. Water Resources Protection, 2004,20(2):57-59. (in Chinese))

[2] 孙仲明.古河道的类别、成因与研究意义[J].灌溉排水,1984,3(2):42-45.(SUN Zhongming. Ancient river types, causes and significance [J]. Irrigation and Drainage, 1984,3(2):42-45. (in Chinese))

[3] GB50027—2001 供水水文地质勘查规范[S].

[4] 康凤新.地下水允许开采量及其潜力评价研究[J].工程勘察,2005,35(3):29-33.(KANG Fengxin. Groundwater allowable exploitation and evaluation of potential [J]. Engineering Survey,2005,35(3):29-33. (in Chinese))

[5] 王文强.综合指数法在地下水水质评价中的应用[J].水利科技与经济,2008,14(1):54-55.(WANG Wenqiang. Application of composite index method in groundwater quality evaluation [J]. Hydraulic Technology and Economy, 2008,14(1):54-55. (in Chinese))

[6] GBT14848-1993 地下水质量标准[S].

(收稿日期:2014-06-19 编辑:徐 娟)

(上接第 19 页)

[7] 兰双双,姜纪沂,王滨.基于物元可拓法的地下水水质评价:以梨树县平原区浅层地下水为例[J].吉林大学学报:地球科学版,2009,39(4):722-727.(LAN Shuangshuang,JIANG Jiyi,WANG Bin. Evaluation of groundwater quality based on matter-element and extension means: taking shallow groundwater of plain areas in Li shu for example [J]. Journal of Jilin University: Earth Science

Edition, 2009,39(4):722-727. (in Chinese))

[8] 汤洁,李艳梅,卞建民,等.物元可拓法在地下水水质评价中的应用[J].水文地质工程地质,2005(5):1-5.(TANG Jie,LI Yanmei,BIAN Jianmin, et al. Application of matter-element and extension to groundwater quality evaluation [J]. Hydrogeology and Engineering Ecology, 2005(5):1-5. (in Chinese))

(收稿日期:2014-06-09 编辑:徐 娟)