



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.06.019

田夏, 费宇红, 李亚松, 等. 南襄盆地浅层地下水质量影响因子解析[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(6): 132-136. TIAN X, FEI Y H, LI Y S, et al. Impact factors of shallow groundwater quality in the Nanyang Xiangyang basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(6): 132-136. (in Chinese)

## 南襄盆地浅层地下水质量影响因子解析

田夏, 费宇红, 李亚松, 崔向向, 张学庆, 敦宇

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061)

**摘要:** 在现场调查和地下水样品检测分析的基础上, 采用单指标评价和综合评价相结合的方法对南襄盆地浅层地下水质量进行评价:  $\text{I}$  类占 26.27%,  $\text{II}$  类占 43.22%,  $\text{III}$  类占 30.51%; 南襄盆地地下水质量受地质营力作用的原生指标和人类活动的次生指标共同影响, 人类生活生产、采油采矿活动是影响该地区地下水质量的主要因素。通过“单指标超  $\text{I}$  类水贡献率”和“人类活动影响度”的计算, 来识别影响地下水质量的主要因素。单指标超  $\text{I}$  类水贡献率最大的为硝酸盐, 达 56.32%, 其次为总硬度、铁、锰等指标。南襄盆地浅层地下水人类活动影响度为 54.87%, 主要影响指标为“三氮”。

**关键词:** 地下水; 质量评价; 人类活动影响度; 贡献率; 南襄盆地

**中图分类号:** P641.6    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-1683(2017)06-0132-05

### Impact factors of shallow groundwater quality in the Nanyang Xiangyang basin

TIAN Xia, FEI Yuhong, LI Yasong, CUI Xiangxiang, ZHANG Xueqing, DUN Yu

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China)

**Abstract:** This study is based on the field investigation and analysis of groundwater samples. It used single index evaluation and comprehensive evaluation methods to evaluate the groundwater quality of the Nanyang Xiangyang basin: The  $\text{I}$ - $\text{I}$  type shallow groundwater accounted for 26.27% in the Nanyang Xiangyang basin; the  $\text{II}$  type shallow groundwater accounted for 43.22%, and the  $\text{III}$  type shallow groundwater accounted for 30.51%. The primary indices affected by geological forces and the secondary indices affected by human activities jointly influenced the groundwater quality of Nanyang Xiangyang basin. Human living and production, oil extraction, and mining activities were the main factors affecting the quality of groundwater in the area. In this study, the main factors influencing the quality of groundwater were identified through the calculation of "single index's contribution rate to  $\text{I}$ - $\text{I}$  type groundwater" and "human activities influence degree". The single index with the largest contribution rate to  $\text{I}$ - $\text{I}$  type groundwater was nitrate, which contributed 56.32%. It was followed by total hardness, iron, and manganese. The human activities influence degree to the shallow groundwater in Nanyang Xiangyang basin was 54.87%, and the main impact index was the "three nitrogens".

**Key words:** groundwater; quality evaluation; human activities influence degree; contribution rate; Nanyang Xiangyang basin

地下水质量评价是根据地下水中的主要物质成份和给定的水质标准限值, 对水化学资料和水质时

空分布状况进行分析, 评价出区域地下水体的质量状况。在《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)中,

收稿日期: 2017-01-12    修回日期: 2017-09-18    网络出版时间: 2017-11-15  
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20171115.1040.019.html>  
基金项目: 国土资源大调查项目(12120114029501)

**Fund:** Land and Resources Large Survey Project(12120114029501)

**作者简介:** 田夏(1990), 男, 河北石家庄人, 研究实习员, 主要从事地下水可持续利用研究。E-mail: tianxia429@126.com

**通讯作者:** 李亚松(1983), 男, 河北衡水人, 助理研究员, 主要从事水文地质环境地质研究。E-mail: liyasong712@126.com

将地下水质量划分为五类<sup>[1]</sup>。其中Ⅲ、Ⅳ类地下水化学组分含量较低,适用于各种用途,Ⅴ类水以生活饮用水标准为限值,适用于集中供水水源及工农业用水,Ⅵ、Ⅶ类水已超出生活饮用水标准,不宜直接饮用。

国内外专家、学者提出了多种水质评价的方法和模型,如单因子指数法、综合指数法、灰色聚类法、模糊综合评价法、人工神经网络评价法等,有学者对这些评价方法做了综合对比,并进行了改进应用<sup>[2-6]</sup>。这些评价方法多集中于数学手段的改善,没有注重评价结果的物理意义,并主要以无机指标作为地下水质量的评价指标,较少考虑地下水的痕量重金属与有机指标,而这些指标在部分地区已对地下水水质造成影响<sup>[7-10]</sup>,并对人体健康带来了一定的危害<sup>[11-13]</sup>。此外,地下水质量评价的结果是众多指标共同作用的体现,如在地下水质量评价中选用“三氮”、毒性重金属和有机指标时,其结果则会反映人类活动影响的地下水质量。

本研究依托于国土资源大调查项目,以南襄盆地为研究区,开展地下水质量调查。调查发现区内地表水系发育,农业生产是主要的人类活动,采矿和采油工程零星分布。地下水埋深较浅,几米至十余米,是生活和经济活动的重要供水水源,其地下水质量的好坏将直接影响区内经济发展和居民的日常生活。本研究采用更为科学的评价方法对该区浅层地下水质量做出评价,分析地下水质量影响指标,为南襄盆地地下水资源的可持续开发利用与管理提供科学依据。

## 1 南襄盆地概况

南襄盆地位于河南省西南部和湖北省的西北部,包括南阳市和襄阳市。南襄盆地由湍河、白河、唐河和汉江冲积形成,地貌类型为岗地和平原;东西长约 177 km,南北宽约 134 km,面积 17 120 km<sup>2</sup>;属北亚热带季风气候区,多年平均气温 15.1℃,多年平均降水量 678.1~967.8 mm;属于长江流域,该区水系发育,地表水与地下水联系密切<sup>[14]</sup>。

南襄盆地地下水主要赋存于第四系松散孔隙层中<sup>[15]</sup>,第四系全新统(Q<sub>4</sub>)、上更新统(Q<sub>3</sub>)、中更新统(Q<sub>2</sub>)含水层以细砂、中砂及粉砂为主,储存浅层水,为浅层含水组;第四系下更新统(Q<sub>1</sub>)含水层以砂砾石、泥质砂砾石为主,储存中深层水,为中深层含水组。降水入渗、渠系渗漏及河水侧渗为该区间的主要补给来源;排泄方式有径流、蒸发、开采等,其中开采排泄主要有工矿企业生产、农业灌溉、居民生活

饮用等。

随着城市规模扩大和人口数量的快速增加,该区地下水已受到不同程度影响,自上世纪 70 年代起,南阳市部分地区由于超采地下水便开始出现地下水降落漏斗<sup>[16]</sup>,前人于 20 世纪 90 年代、2005 年、2013 年分别对南阳市或南阳盆地进行了地下水质量及污染评价,结果表明在人口、工业密集的地区,地表水及浅层地下水污染较重,水质较差,影响该区地下水质量的主要指标为总硬度、溶解性总固体与硝酸盐等<sup>[17-21]</sup>。

## 2 取样测试与评价方法

### 2.1 样品采集与测试

2014 年 6 月-9 月在南襄盆地进行地下水质量及污染调查,按照《地下水污染调查评价规范》的采样要求,山区和丘陵区按 0.5~1 组/100 km<sup>2</sup> 取样,平原地区按 3~4 组/100 km<sup>2</sup> 取样<sup>[22]</sup>,利用现有供水井为采样井,共采集浅层地下水样品 118 组(图 1)。样品测试项目包括现场理化性质检测指标、无机检测指标和有机检测指标三类,共计 85 项。由具有国家 CMA 计量认证的国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心和河南省地质环境监测院实验测试中心进行分析检测。有机指标主要采用气相色谱质谱法(GC/MS)进行测定,依据标准为 EPA8270、EPA8260;无机测试指标主要采用 ICP 电感耦合等离子体光谱法、比色法、分光光度法、原子荧光法、容量法、滴定法等分析方法进行测定,依据标准为 DZ/T 0064-1993。

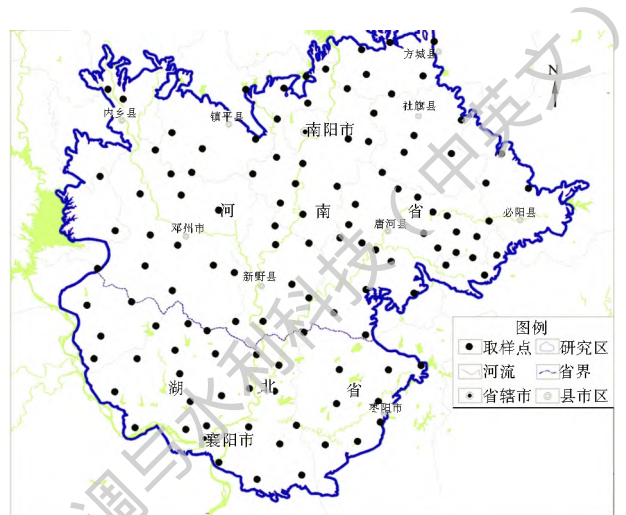


图 1 研究区地下水样品采集点分布

Fig. 1 The distribution of groundwater sample collection points in the research area

### 2.2 地下水质量评价

为了使地下水质量评价结果具有物理意义,应

用单指标评价与综合评价相结合的方法,具体如下:单指标评价是依据《地下水质量标准》(GB/T14848-93)中各参评指标级别限值,对地下水样品各测试指标进行质量分级,指标限值相同而地下水质量类别不同时,按照从优不从劣的原则进行评定<sup>[1]</sup>。综合评价是在单指标评价结果的基础上,以单指标评价结果的最高类别确定为该组样品地下水质量分级,并指出最高类别的评价指标<sup>[23]</sup>。评价指标包含一般化学指标 12 项,无机毒理指标 5 项,毒性重金属指标 5 项,挥发性有机指标 21 项,半挥发性有机指标 5 项,共计 48 项。

评价结果显示:Ⅰ至Ⅲ类地下水点占总取样点的 26.27%,Ⅳ类地下水占 43.22%,Ⅴ类占 30.51%(图 2)。南襄盆地浅层地下水无Ⅰ类水,Ⅱ至Ⅲ类地下水主要分布在盆地北部、西北部及中部河谷地带,属于白河、湍河、唐河的一、二级阶地,水系发育,支流众多;含水层厚度较大,地下水与河水存在较强的水力联系和季节性的互补关系,地下水径流条件较好,人类活动产生的污染指标易于降解,故水质较好。

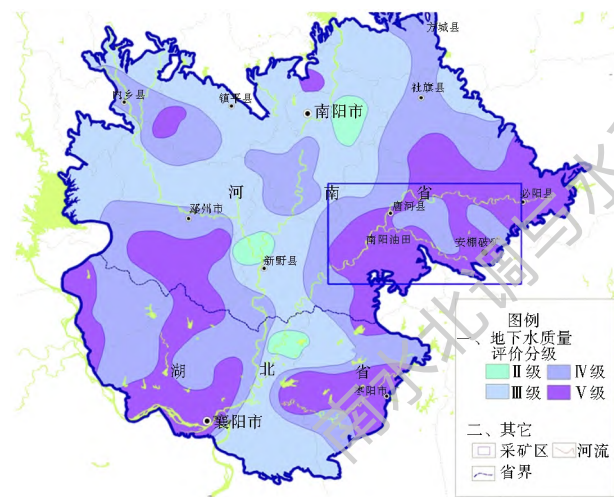


图 2 南襄盆地浅层地下水质量评价图

Fig. 2 Quality evaluation chart of shallow groundwater in Nanyang-Xiangyang basin

Ⅳ、Ⅴ类地下水主要分布在南襄盆地西、西南部和东部。盆地西南部的山前岗地、丘陵区域地下水富水性差,单井涌水量小于  $10 \text{ m}^3/\text{d}$ ;地下水埋藏较浅,普遍在  $0.5 \sim 5 \text{ m}$  之间;水动力条件弱,人类活动产生的污染指标易透过包气带进入含水层,影响地下水质量。人类工业活动的影响区主要位于南襄盆地东部的唐河县、泌阳县,在该区形成了地下水超Ⅲ类水富集区,该区域是南阳油田与安棚碱矿的主要采矿区,在采矿生产过程中由于操作不规范或油管线老化及各种事故致使原油、采油废水、废液、添

加剂等污染物洒落至地表,随降雨入渗进入包气带或地表径流至地表河水,在入渗作用及河水与地下水交替互补的作用下,污染物进入含水层,进而对该区地下水质量造成影响。安棚碱矿深部采矿过程中,由于长期高压注水溶采破坏了地层结构,导致矿溶水与不同层位的含水层发生水力联系,矿溶液沿导水通道上升污染该区浅层地下水。在该区的地下水样品中,总硬度、溶解性总固体、硝酸盐、铁、铝、锰超标率较高,有机测试指标 1,2-二氯苯检出率较高,但未超标。个别采样点总硬度与溶解性总固体达到了  $2290.5 \text{ mg/L}$ 、 $3571.20 \text{ mg/L}$ ,分别是地下水Ⅲ类水限值的 5.09 倍和 3.57 倍;硫酸盐与氯化物也高达  $1794.88 \text{ mg/L}$ 、 $477.87 \text{ mg/L}$ ,分别是地下水Ⅲ类水限值的 7.18 倍和 1.91 倍。

### 3 结果与讨论

按上述方法评价出的地下水质量,不能反映出影响地下水质量的具体指标,进而不能得出地下水质量的毒性程度及具体的化学物质的来源。因此本研究通过“单指标超Ⅲ类水贡献率”和“人类活动影响度”的计算,来识别影响地下水质量的主要因素。“人类活动影响度”是在难以科学合理获取背景值的条件下初步判定人类活动影响的方法,可用于各种地区和不同时间段,能够量化地下水质量受人类活动影响的程度,该方法能更明确地指导管理者识别地下水环境问题。

#### 3.1 单指标贡献率

“单指标超Ⅲ类水贡献率( $C_{\text{单}}$ )”定义为某指标超Ⅲ类水个数( $N_{\text{单}}$ )与总超Ⅲ类水个数( $N_{\text{总}}$ )之比计算,公式如下:

$$C_{\text{单}} = \frac{N_{\text{单}}}{N_{\text{总}}} \times 100\% \quad (1)$$

单指标超Ⅲ类水贡献率最大的指标为硝酸盐,达 56.32%,其次为总硬度、铁、锰、亚硝酸盐、溶解性总固体,分别为 43.68%、39.08%、28.74%、24.14%、19.54%。氯化物、硫酸盐、碘化物、钠、铅、氟化物、铵氮的贡献率在 2%~12% 之间,有机污染指标对超Ⅲ类水无贡献(图 3)。硝酸盐、亚硝酸盐对南襄盆地浅层超Ⅲ类地下水的贡献率较高,而地下水中“三氮”是人类活动影响的重要标志,说明本区浅层地下水受人类活动影响已较为明显;铁、锰指标主要受天然地质背景控制,与该地区的原生水文地质条件有关,受人类活动影响较小;总硬度、溶解性总固体、氯化物等指标受天然地质背景控制和人类活动影响的共同作用,对该区地下水质量造成一定影响。

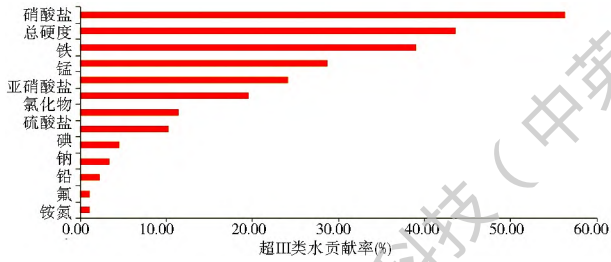


图3 浅层地下水综合质量超0类地下水贡献率统计

Fig. 3 Contribution rates to comprehensive quality of 0-0 type shallow groundwater

### 3.2 人类活动影响度

为进一步剖析地下水质量中人类活动的后果,本研究引入了“人类活动影响度”的评价理念,思路如下:地下水质量评价中的“三氮”(硝酸盐、亚硝酸盐、铵氮)、重金属(镉、六价铬、铅、汞)和有机指标主要是由人类农业、生活和工业活动而产生,这些指标毒性大、危害大,本研究将这三类划定为受人活动影响的次生指标,以此计算人类活动对该区浅层地下水质量造成的影响。其他一般化学指标(pH值、铁、锰、铜、锌、钠、硫酸盐)和无机毒理指标(碘化物、氟化物、硒)多是由地质背景控制,受人活动影响较小,将其定为地质背景原生指标。并据此定义人类活动影响度( $I_{\text{人类}}$ )为:次生指标超0类水个数与总指标超0类水个数之比,公式为:

$$I_{\text{人类}} = \frac{N_{\text{次生}}}{N_{\text{原}} + N_{\text{次生}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $I_{\text{人类}}$ 为人类活动影响度; $N_{\text{次生}}$ 为次生指标超0类水个数; $N_{\text{原}}$ 为原生指标超0类水个数。

浅层地下水超0类水原生指标个数为51个,次生指标个数为62个,主要影响指标为“三氮”,人类活动影响度为54.87%。由此可以看出,南襄盆地浅层地下水质量受地质营力作用产生的原生指标和人类活动影响的次生指标的共同作用。

## 4 结论

(1)地下水质量评价结果显示,南襄盆地浅层地下水质量受地质营力作用产生的原生指标和人类活动影响的次生指标的共同作用。人类生活生产、采油采矿活动是影响该地区地下水质量的主要因素。

(2)南襄盆地0至0类浅层地下水占26.27%,0类地下水43.22%,0类地下水30.51%;0~0类地下水主要分布在河谷地带,0、0类地下水多在岗地、丘陵地带及工矿业集聚区。

(3)南襄盆地单指标超0类水贡献率最大的为硝酸盐,达56.32%,其次为总硬度、铁、锰等指标;浅层地下水人类活动影响度为54.87%,主要影响

指标为“三氮”。

### 参考文献(References):

- [1] GB/T 14848-1993, 地下水质量标准[S]. (GB/T 14848-1993. Quality Standard for Groundwater[S]. (in Chinese))
- [2] 郭小砾,刘红云,杨操静.模糊综合评价方法在地下水水质评价中的应用[J].地下水,2006,28(4):9-12. (GUO X L, LIU H Y, YANG C J. Application of fuzzy comprehensive evaluation method in the evaluation of groundwater quality[J]. Ground Water, 2006, 28(4): 9-12. (in Chinese))
- [3] 苏耀明,苏小四.地下水水质评价的现状与展望[J].水资源保护,2007,23(2):4-9. (SU Y M, SU X S. Present situation and prospecting of groundwater quality evaluation[J]. Water Resources Protection, 2007, 23(2): 4-9. (in Chinese))
- [4] 李亚松,张兆吉,费宇红,等.改进的灰色聚类法在地下水质量评价中的应用[J].水资源保护,2012,28(5):25-28. (LI Y S, ZHANG Z J, FEI Y H, et al. Application of an improved grey clustering method to groundwater quality evaluation[J]. Water Resources Protection, 2012, 28(5): 25-28. (in Chinese))
- [5] 王昭,石建省,张兆吉,等.关于饮用地下水水质评价标准的探讨——以华北平原地下水水质调查结果为例[J].地球学报,2009,30(5):659-664. (WANG Z, SHI J S, ZHANG Z J, et al. A tentative discussion on the assessment standards of groundwater quality: A case study of the groundwater quality in the North China Plain[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2009, 30(5): 659-664. (in Chinese))
- [6] 李亚松,张兆吉,费宇红,等.地下水质量综合评价方法优选与分析——以滹沱河冲洪积扇为例[J].水文地质工程地质,2011,38(1):6-10. (LI Y S, ZHANG Z J, FEI Y H, et al. Optimal selection and analysis of groundwater quality evaluation methods: A case study in the Hutuo River alluvial pluvial fan[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2011, 38(1): 6-10. (in Chinese))
- [7] 张兆吉,费宇红,郭春艳,等.华北平原区域地下水污染评价[J].吉林大学学报(地球科学版),2012,42(5):1456-1461. (ZHANG Z J, FEI Y H, GUO C Y, et al. Regional groundwater contamination assessment in the North China Plain[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(5): 1456-1461. (in Chinese))
- [8] 云利萍,李政红.包头市地下水重金属污染分布特征及来源分析[J].南水北调与水利科技,2014,12(5):84-85. (YUN L P, LI Z H. Pollution distribution and source analysis of heavy metals in groundwater of Baotou city[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(5): 84-85. (in Chinese))
- [9] 刘春燕,黄冠星,张英.佛山东部地下水BTEX分布特征与来源[J].南水北调与水利科技,2015,13(4):654-658. (LIU C Y, HUANG G X, ZHANG Y. Distribution characteristics and source of BTEX in groundwater of Eastern Foshan, Guangdong[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(4): 654-658. (in Chinese))
- [10] 李亚松,张兆吉,费宇红,等.滹沱河冲积平原浅层地下水有机污染研究[J].干旱区资源与环境,2012,26(8):52-56. (LI Y

- S, ZHANG Z J, FEI Y H, et al. Preliminary study on organic pollution of shallow groundwater in the alluvial plain of Hutuo River[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, 26(8): 52-56. (in Chinese)
- [11] 李政红, 张胜, 毕二平, 等. 某储油库地下水有机污染健康风险评估[J]. *地球学报*, 2010, 31(2): 258-262. (LI Z H, ZHANG S, BI E P, et al. The health risk assessment of groundwater organic pollution at a certain oil depot[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(2): 258-262. (in Chinese))
- [12] 石建省, 张发旺, 秦毅苏, 等. 黄河流域地下水资源、主要环境地质问题及对策建议[J]. *地球学报*, 2000, 21(2): 114-120. (SHI J S, ZHANG F W, QIN Y S, et al. Groundwater resources and main environment Geological problems in the Huanghe River Valley as well as some countermeasures[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2000, 21(2): 114-120. (in Chinese))
- [13] 王晓燕, 尚伟. 水体有毒有机污染物的危害及优先控制污染物[J]. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 2002, 23(3): 73-78. (WANG X Y, SHANG W. The harm of organic micro pollutant on water body and priority pollutants[J]. *Journal of Capital Normal University (Natural Sciences Edition)*, 2002, 23(3): 73-78. (in Chinese))
- [14] 商庆仁, 胡延生, 张相立, 等. 南阳幅 1/20 万区域水文地质普查报告[R]. F49 29, 1984. (SHANG Q R, HU Y S, ZHANG X L, et al. 1:200000 Regional hydrogeological survey report of Nanyang[R]. F49 29, 1984. (in Chinese))
- [15] 宁立波, 卜新峰, 莫春雷. 南阳盆地浅层地下水中氟的分带性分布特点及其成因[J]. *水资源保护*, 2012, 28(6): 66-69. (NING L B, BU X F, MO C L. Zonation characteristics of fluorine and its causes in shallow groundwater in Nanyang Basin[J]. *Water Resources Protection*, 2012, 28(6): 66-69. (in Chinese))
- [16] 白乐宁, 韩建秀. 城市浅层地下水可持续开发利用简论[J]. *地下水*, 2008, 30(5): 41-44. (BAI L N, HAN J X. Sustainable development and utilization of shallow groundwater in the city[J]. *Ground Water*, 2008, 30(5): 41-44. (in Chinese))
- [17] 苏养平, 姬万里, 王德明, 等. 南阳市地下水污染现状评价[J]. *河北地质学院学报*, 1992, 15(6): 625-631. (SU Y P, JI W L, WANG D M, et al. An evaluation on the present groundwater pollution situation of Nanyang city[J]. *Journal of Hebei College of Geology*, 1992, 15(6): 625-631. (in Chinese))
- [18] 甄习春. 南阳市水资源可持续开发利用问题浅议[J]. *河南地质*, 2000(4): 297-301. (ZHEN X C. A discussion on the sustainable development and utilization problems of water resources in Nanyang city[J]. *Henan Geology*, 2000(4): 297-301. (in Chinese))
- [19] 左正金, 王伟峰, 程生平, 等. 河南省南阳盆地地下水污染现状及防治对策[J]. *地下水*, 2005, 27(2): 129-131. (ZU O Z J, WANG W F, CHENG S P, et al. The current situation and countermeasures of groundwater pollution in Nanyang basin, Henan Province[J]. *Ground Water*, 2005, 27(2): 129-131. (in Chinese))
- [20] 陈朝阳. 南阳市地下水水质评价与达标分析[J]. *河南水利与南水北调*, 2013(14): 11-12. (CHEN Z Y. Groundwater quality assessment and compliance analysis in Nanyang City[J]. *Henan Water Resources & South to North Water Diversion*, 2013(14): 11-12. (in Chinese))
- [21] 苏养平, 姬万里, 王德明, 等. 灰色聚类法在南阳市地下水污染现状评价中的应用[J]. *地球科学与环境学报*, 1991, 13(4): 59-65. (SU Y P, JI W L, WANG D M, et al. Application of the grey cluster analysis method to evaluation of pollution status of groundwater in Nanyang[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 1991, 13(4): 59-65. (in Chinese))
- [22] DD 2008-01. 地下水污染调查评价规范[S]. (DD 2008-01. Standards of groundwater pollution survey and evaluation [S]. (in Chinese))
- [23] 费宇红, 张兆吉, 郭春艳, 等. 区域地下水质量评价及影响因素识别方法研究——以华北平原为例[J]. *地球学报*, 2014, 35(2): 131-138. (FEI Y H, ZHANG Z J, GU O C Y, et al. Research on the method for evaluation and influence factors identification of regional groundwater quality: a case study of the North China Plain[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2014, 35(2): 131-138. (in Chinese))