

兰州市城市化对地下水系统的影响研究

朱亮, 孙继朝, 刘景涛, 刘俊建, 吕晓丽

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061)

摘要: 以地下水污染调查数据为基础, 结合历史观测资料, 揭示兰州市城市化过程中地下水水位、水质的变化特征及其影响因素。城市污水排放、蓄水设备修建及农业灌溉等因素使垂直渗入补给量增加, 引起地下水上升, 其中西固区地下水位上升剧烈, 受地下水开采的影响, 水源地地区形成大面积的地下水降落漏斗, 水位下降显著; 兰州市区地下水水质影响因素较多, 土地利用类型的改变带来污染源强的增加、城市垃圾处理方式以及水位下降等是直接或间接地造成地下水水质恶化的重要因素, 老城区和工业区地下水总硬度、 NO_3^- 、氟离子、有机组分等指标呈逐年上升趋势, 污染形势严峻。

关键词: 城市化; 地下水; 地下水污染; 地下水水质; 兰州市

中图分类号: X523 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2014)03-0111-05

Effect of urbanization on groundwater system in Lanzhou

ZHU Liang, SUN Jichao, LIU Jingtao, LIU Junjian, LÜ Xiaoli

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

Abstract: Based on data of groundwater pollution survey and historical observation, this paper revealed the variation characteristics and its influencing factors of groundwater levels and quality in Lanzhou. Urban sewage discharge, water storage construction, agricultural irrigation and other factors increase the vertical infiltration recharge of groundwater which caused groundwater level to rise especially in Xigu district. Affected by groundwater exploitation, the water source regions formed a large area of groundwater drawdown funnel, the water level dropped significantly. There are many factors affecting groundwater quality in Lanzhou city. The change of land use type caused the increase of pollution sources, the disposal method of urban waste and the groundwater drawdown are important factors which caused deterioration of groundwater quality directly or indirectly. The indexes of groundwater such as TH, NO_3^- , F^- and organic compounds show an increasing trend in old city and industrial zone. The situation of pollution is grim.

Key words: urbanization; groundwater; pollution of groundwater; ground water quality; Lanzhou City

随着人类社会的发展, 城市化是一种不可逆转的趋势^[1], 2012年我国城镇化率达到52.57%, 城市化带来了社会和经济发展的同时也带来了生态环境、水资源等诸多问题。我国城市地下水污染日益加剧, 据有关部门对118个城市2~7年的连续监测资料, 约有64%的城市地下水遭受了严重污染, 33%的城市地下水受到轻度污染, 基本清洁的城市地下水只有3%^[2]。城市化发展过程中各种地下水环境问题已成为经济发展的制约因素, 在生态脆弱的西北地区表现尤为突出^[3]。开展城市化对地下水的影响研究对城市发展和地下水资源保护都具有现实意义。

本文以西北地区主要城市地下水污染调查评价

项目获取的兰州市地下水水质分析数据为基础, 结合地下水水位、水质等长期观测资料, 探讨兰州市城市化过程对地下水系统的影响。

1 研究区概况

兰州是西北地区重要交通枢纽, 也是我国首批重点建设的工业城市, 目前形成了以石油化工、有色冶金、机械电子、建材等为主体的工业体系, 成为黄河上游重要的经济中心。

兰州属于西北干旱地区典型的河谷盆地型城市, 多年平均降水量为317.6 mm, 多条河流从市区穿过汇入黄河, 中途大量工业、生活废水注入; 区域

收稿日期: 2013-11-05; 修回日期: 2014-01-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(41302188); 国土资源大调查项目(1212011220982)

作者简介: 朱亮(1984-), 男, 河南平顶山人, 硕士, 研究实习员, 从事污染水文地质方面的研究工作。

地下水分为基岩裂隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水和松散岩类孔隙水,前两类主要分布在南北侧丘陵山区,富水性较差,松散岩类孔隙水主要分布在黄河河谷平原,尤其在兰州断陷盆地傍河地段地下水丰富,具有良好的开采利用价值,区域地下水从南北两侧丘陵山区接受降水补给后向河谷径流,在径流过程中接受灌溉和城市污水的入渗补给,最终排泄于黄河,由于傍河水源地的开采出现了水位降落漏斗,使黄河原来排泄地下水的的作用变为水源地的主要补给源。兰州市生活用水以黄河地表水为主,“三滩”水源地为重要的地下水补充水源,由于多方面的原因,水源地遭受不同程度的污染,部分机井已丧失供水功能。

2 兰州市城市化进程

20世纪40年代,兰州市仅有城关区西部面积不到20 km²的区域,50年代末至60年代开始建设西固区工业区,至70年代西固工业区建立起来,城关区逐渐向西发展,安宁区也开始起步;80年代兰州市经历了一个与河争地过程,七里河区开始发展起来;2000年城市格局已基本形成;截止2012年,七里河区和安宁区已经发展起来,铁路以南三大坪一带正在建设经济开发区,安宁区砂井驿一带正在开发为经济开发区和居民区(图1)。城市化不同发展时期垃圾处理、污水管网渗漏、地下水开采等都深刻改变着区域水循环条件和地下水天然赋存环境,引起地下水系统变化。

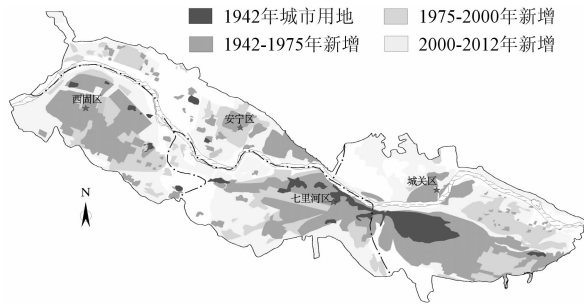


图1 兰州市城市化过程

3 城市化对地下水位的影响

3.1 地下水位动态特征

根据地下水水位监测资料,兰州市区地下水水位发展势态可划分为上升区、缓慢下降区、中速下降区。水位上升区主要分布于西固区大部,七里河区大滩、马滩以及三大坪的部分地区,安宁区北部山区

前的安宁堡-万里厂-王家庄一带,城关区雁滩、拱星墩和东岗镇一带,其中西固区地下水上升最为剧烈,已经形成以福利路-西固城一带为中心的地下水高水位区,呈放射状向西、东、北三个方向散流,波及整个西固区黄河二级阶地范围,最大累计增幅达10 m;缓慢下降区主要分布于七里河区大滩、马滩和三大坪外围部分地区,平均降幅为0.36 m,安宁区邹家庄、王家庄、十里店、孔家崖和迎门滩的部分地段,平均降幅为0.12 m,城关区东岗东路以南的地段,包含市区的大部分面积,平均降幅为0.40 m;中速下降区主要分布于三滩水源地及南部山区大部,地下水水位平均下降幅度为0.80 m(图2)。

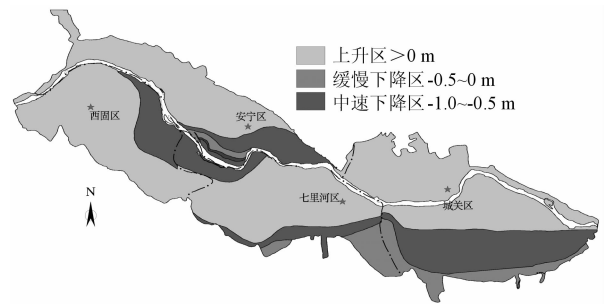


图2 兰州市地下水动态特征分区图

3.2 城市化对地下水位的影响因素

城市化过程对地下水位的影响主要通过改变地下水补、径、排条件来实现^[4]。天然条件下兰州市区地下水主要接受降水入渗补给和南北侧基岩山区侧向径流补给,最终以地下潜流的形式通过II、I级阶地排泄于黄河,而城市工程建设,污水集中排放以及“三滩”水源地的大规模开采等因素改变了地下水天然补、径、排条件,造成局部水位升降。

兰州市地下水位上升区域都分布在工业和人口高度集中区,其中以西固区最为典型。据调查,西固区20世纪50年代以旱作农业为主,随着城市建设和工农业的不断发展,农田灌溉入渗、工业贮水池渗漏以及工业污水的排放等使地下水补给量持续增加,而排泄条件单一,只能通过径流向黄河排泄,西固区近年来地下水补给量均大于排泄量,人为因素造成的补、排关系的失调是地下水位上升的根本原因;黄河水大量泥沙在河床边缘地带沉积形成一层含泥质较高的砂砾石层,该层厚度一般在0.11~0.5 m之间,细颗粒的粉土及粘土含量为6.5%~22%,对地下水的排泄极为不利;城市地下建筑对地下水起到了人为阻隔作用,限制了地下水的流动;近年来沿黄河河岸倾倒垃圾以及南滨河路的

修建也影响或滞缓了地下水的排泄。

兰州市地下水位下降区主要分布于“三滩”水源地及其外围一带,图3显示了“三滩”水源地监测井L6、L4的地下水位与水原地年开采量之间的变化关系,“三滩”水源地于1965年投产使用后,随着供水人口的不断扩大,年开采量不断增加,至1990年达到7442.6万 m^3/a ,地下水超采导致地下水位持续下降,形成了以“三滩”水源地集中开采井群为中心、面积约61 km^2 的区域地下水降落漏斗^[5],后由于水质逐渐恶化导致开采量不断减少,开采区地下水降落漏斗从1995年以后开始逐渐恢复(图3),其中1990-1995年地下水位并没有随开采量的减少而上升,这主要是因为虽然开采量有所减少,但仍大于补给量,地下水始终处于过量开采的状态,所以水位仍然持续下降。另外,黄河是“三滩”水源地地下水主要补给源之一,黄河地表水也是影响傍河地带地下水动态的主要因素,影响强度与距地表水的远近、地质岩性和地下水埋藏深度等有关。

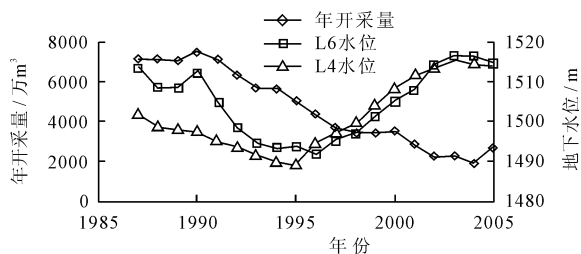


图3 “三滩”水源地年开采量与水位关系图

4 城市化对地下水质的影响

4.1 主要离子的分布规律及变化趋势

随着城市的发展,土地利用类型发生巨大变化,工、农业活动及生活等因素使地下水污染荷载不断增大,人类活动对局部地下水质量的影响甚至超过了自然环境的作用^[6]。城市化影响下地下水质量变化主要表现在地下水硬度升高以及三氮、重金属、有机物等毒性化学组分的出现^[7]。根据兰州市地下水水质现状,结合城市发展历程,并选取西固区两企业内的观测井(Q41、Q94)、兰州断陷盆地水源井以及城关区二勘院观测井的观测数据对兰州市地下水主要离子分布规律及其变化进行论述。

兰州市区地下水总硬度普遍偏高,大部分地区大于650 mg/L 。沿黄河的近河岸地带,由于受河水侧向径流补给强烈,地下水总硬度较低,随着距河岸距离增大,河水补给影响逐渐减小,总硬度不断升高,从上游到下游形成了一个宽度不等的河水影响

带,南岸的影响程度大于北岸(图4)。兰州市区1997-2012年不同地区地下水总硬度都有变化,大部分地区年平均值存在波动上升趋势,但升幅不大,西固区的监测井Q94和Q41呈波动上升趋势较为明显(图5)。

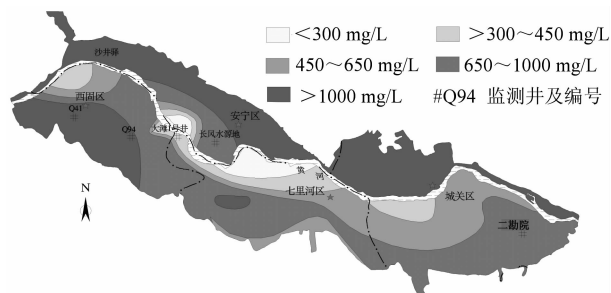


图4 兰州市地下水总硬度分布图

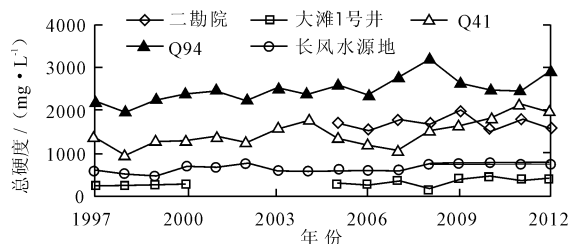


图5 1997-2012年总硬度变化曲线

地下水 NO_3^- 含量 $<20\text{mg}/\text{L}$ 为主,高浓度区分别分布于西固区的石油化工区,七里河区的污灌区,安宁区的化工和建筑材料工业区、污灌区、围河造田北河道回填垃圾区域,城关区受地表水污染的区域分布于城市化过程中掩埋入地下的垃圾场和污灌区,在一些排污河流两侧也是 NO_3^- 高浓度区。1997-2012年的监测结果显示,除大滩水源地1号井的 NO_3^- 含量相对稳定外,其余监测井均呈上升趋势,位于污灌区附近的Q94 NO_3^- 在2003年后就维持在240 mg/L 左右,其它区域 NO_3^- 含量在2008年后出现快速升高的趋势,西固区Q41的 NO_3^- 含量达到240.5 mg/L ,城关区二勘院达到263 mg/L (图6、7)。

低氟区($<0.5\text{mg}/\text{L}$)主要位于兰州断陷盆地及南部丘陵山区,在黄河北岸迎门滩水源地附近地下水氟含量 $<0.2\text{mg}/\text{L}$;中氟区($0.5\sim 1\text{mg}/\text{L}$)主要分布在黄河以北丘陵山区以及城关区的段家滩-南面滩一带;高氟区($>1\text{mg}/\text{L}$)主要分布在西固工业区、盐场堡一带,在这些区域的局部地带由于受第三系地层及地表污染物的影响,地下水中氟含量大于1.5 mg/L ,最大达到3.1 mg/L 。1997-2012年监测结果显示,城关区二勘院院内监测井氟含量一直稳定在一个较高值($>0.5\text{mg}/\text{L}$);西固区Q41、Q94的氟含量

处于持续上升状态,2007年后上升速度明显加快,两个监测井氟含量从1997年的0.16和0.128 mg/L到2012年分别上升到1.16和2.2 mg/L,15年的时间从符合I类水标准降为IV、V水,人类活动影响作用明显;大滩1号井氟含量波动上升,从0.28 mg/L上升为0.44 mg/L(图8、9)。

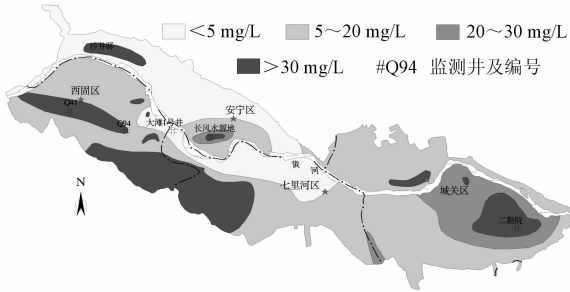


图6 兰州市地下水硝酸根含量分布图

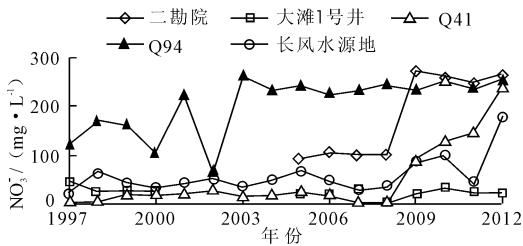


图7 1997-2012年NO₃⁻变化曲线

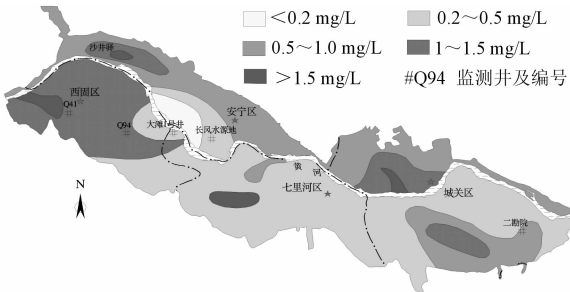


图8 兰州市地下水氟离子含量分布图

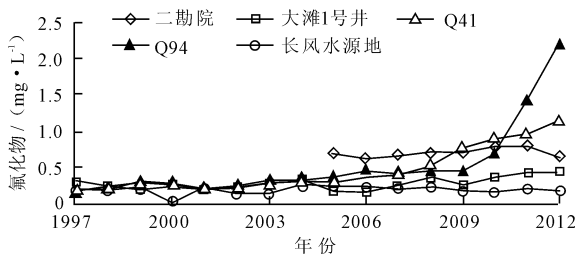


图9 1997-2012年氟化物变化曲线

研究区地下水检出有机物18项:卤代烃10项、单环芳烃4项、氯代苯1项、有机氯农药2项、多环芳烃1项,样品有机检出率和超标率分别为61.5%、12.5%,超标点全部分布于西固区石化基地附近,超标组分为苯、氯乙烯、三氯乙烯,其中兰炼原油库样

品中苯测试值为11 514 $\mu\text{g/L}$,某石油化工公司样品中三氯乙烯测试值为124.69 $\mu\text{g/L}$,都属于严重超标,其它有机组分检出点除在石化基地周围集中分布外,在城关区、安宁区和七里河区也有零星分布,但这些检出点的共同特点是距离地表排污河渠较近,受地表污水影响明显。总的来看有机组分污染程度与人类活动密切相关,以石油化工产业集中的西固区污染最为严重,具有多个污染源形成的地下水污染晕已呈面状分布特征,其它区域均以点状污染为主。有机污染指标中以1,1-二氯乙烯检出率最高(27%),具有分布范围广、检出值低的特点,该物质用途广泛,沸点低(31.6 $^{\circ}\text{C}$),极易在大气中扩散,不排除大气沉降途径污染地下水的可能性。

对比2011年和2012年检测结果,石油化工区有机检出点由9个增至15个,超标点由3个增至5个,其中大滩水源地1号监测井(该水源地已废弃)位于石油化工区下游,2011年检出有机指标1项,2012年检出有机指标3项,表明石化区地下水有机污染有加重和向外围扩散趋势。

4.2 城市化对水质变化的影响因素

城市化过程中土地利用类型改变带来的污染源增加以及大量开采地下水造成水位下降等因素都直接或间接地造成地下水水质恶化^[9]。从滨河小镇到西北地域的中心城市,兰州城市规模的不断扩大,原本的荒地、草地等土地利用类型逐渐转换为工业用地、商业用地和居民地,土地利用类型的变化直接导致了污染负荷的增加,再加之地下水天然防污性能较差,地下水极易受到污染。在城市功能分区上,城关区作为全市的政治、经济、文化中心,主要布置行政、商贸和生活居住用地;西固区作为工业中心,主要布置石油化工、电力等二、三类工业;安宁区、七里河区以商业、居住为主,其次还分布机械加工、建筑建材、电子等工业(图10)。对地下水环境影响最大的是二、三类工业用地,主要分布在西固区、七里河区南部和城关区的南北两端,主要污染源为工业废水、垃圾和废气,主要污染途径为排污管道渗漏、污染地表水体的补给、固体污染物淋滤下渗、大气干湿沉降等,受此影响,工业区周围地下水各项离子均呈上升趋势,其中NO₃⁻、氟化物、有机组分含量上升较为明显,污染晕已扩散至下游大滩水源地;兰州市农业用地主要分布在安宁区北部、七里河区西部、城关区青白石一带,其中七里河区、城关区存在大面积的污水灌溉,再加上农药化肥的大量使用,进一步加重了地下水污染源强,地下水硝酸盐的来源主要包括

含氮化肥使用、居民生活污水与粪便、工业废水、固体垃圾等^[9],根据研究区污染源类型特征将其分为:工业、排污沟渠、市区生活、市区农业和农村农业,统计不同污染源类型对地下水硝酸盐含量的影响,结果表明市区周围农业活动对硝酸盐影响最明显(图11),这主要是因为市区周围农业基本采用污水灌溉,而且施肥量较大,其中污灌区内灌溉用井水样品的硝酸根浓度为407mg/L,紧邻污灌区下游泉水样品的硝酸根浓度为2240mg/L,远远超出其它样品硝酸根的测试值。

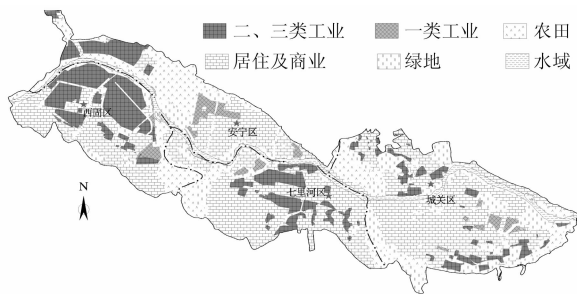


图10 兰州市城市功能分区

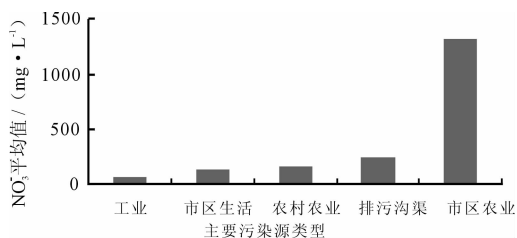


图11 不同污染源类型 NO₃⁻ 含量

城市化过程中被掩埋进入地下的垃圾填埋场等是造成现在部分地区地下水污染严重的主要因素。兰州市20世纪80年代的垃圾填埋场主要分布在城市外围,多直接露天混合堆放,防渗条件很差,伴随城市化进程,基本被推平直接掩埋入地下,另外,90年代围河造田过程中,黄河南北河道也回填了大量垃圾,污水池和污灌区也是对地下水环境造成深远影响的主要污染源,分析认为城关区东部、南北河道地下水重污染点与其直接相关。

“三滩”水源地的开采对地下水水质影响较大。20世纪60年代开采初期地下水中各离子含量较低,80、90年代开采量达到峰值,形成了以马滩、迎门滩为中心的降落漏斗,地下水水质总体呈恶化趋势,随后“三滩”水源地部分开采井的停止开采,地下水水位开始回升,使地下水水质逐渐好转,水化学指标向开采初期方向发展^[10]。

5 结 语

兰州市城市化过程是我国西北干旱地区河谷盆地型城市的典型之一,在工业经济和城市规模高速发展驱动下,兰州市地下水系统受到人类活动的干扰和破坏,地下水流条件和地下水水质状况都发生了很大变化。西固区地下水是受城市化影响最为明显的区域,地下水位上升剧烈,最大增幅累计达10 m,总硬度、NO₃⁻、氟离子等指标含量上升较快,劣质水体有向外围扩散的趋势,人为因素造成的补、排关系的失调以及土地利用类型改变带来污染源强的增加是导致地下水位上升和水质恶化的根本原因;“三滩”水源地开采对水源地地区地下水的影响较大,20世纪80、90年代地下水水质随水位下降总体呈恶化趋势,随后由于开采量的减少,水位开始回升,水质也向好的方向发展。

城市的发展势必会对水资源及生态环境带来负面影响,因此在进行城市发展规划时必须要将环境治理和生态建设提到战略层面,充分考虑经济发展的环境成本,将环境危害降到最低。

参考文献:

- [1] Morris R L, Devitt D A. Urbanization and water conservation in Lasvegas Valley, Nevada[J]. Journal of Water Resources Planning and Management Hydrology, 1996, 123(3): 189-195.
- [2] 王琪,等.城市环境问题[M].贵阳:贵州科技出版社,2001.
- [3] 高翔,鱼腾飞,程慧波.西北地区水资源环境与城市化系统耦合的时空分异——以西陇海兰新经济带甘肃段为例[J].干旱区地理,2010,33(6):1010-1015.
- [4] 于开宁,娄华君,郭振中,等.城市化诱发地下水补给增量的机理分析[J].资源科学,2004,26(2):68-73.
- [5] 王荣.兰州市地下水资源变化趋势及对策研究[J].甘肃科技,2010,26(22):50-51+6.
- [6] 王滨,程彦培,陈立,等.城市高速发展对徐州地下水环境演化的驱动作用[J].地球与环境,2009,37(4):405-410.
- [7] 郝华.我国城市地下水污染现状及其基本对策[C]//.水资源、水环境与水法制建设问题研究——2003年中国环境资源法学研讨会(年会)论文集,青岛,2003:316-320.
- [8] 赵新锋,曾松青,陈健耀,等.“珠三角”地区城市化对地下水水质影响案例研究[J].生态环境,2008,17(2):533-536.
- [9] 艾对元,马春喆.兰州市地下水中非金属无机物的检测与分析[J].兰州大学学报(自然科学报),2010,46(Z1):215-218.
- [10] 黎涛,马腾,李亮,等.“三滩”傍河水源地地下水水位降落漏斗区水质演化[J].水文地质工程地质,2010,37(2):10-15.