

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2014.03.009

天津地区近21年地下水埋深变化特征及其影响因素

王凯燕^{1,2,3}, 王文卓⁴, 李琼芳^{1,3,2}, 虞美秀^{1,2,3}, 李鹏程^{1,2,3}

(1 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 3. 河海大学国际河流研究所, 江苏 南京 210098;
4. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 选用天津地区 89 个观测井 1990—2010 年的月地下水埋深, 基于 Mann-Kendall 法研究地下水埋深的变化趋势、埋深变幅年代际变化特性及其年内分配变化特性, 并探讨影响地下水埋深的相关因素。结果表明: 观测期内天津平原区不同含水组地下水埋深的时空变化和影响因素差距较大, 尤其在 2000 年后, 由于受开采量的影响, 地下水年际和年内变化更为剧烈。研究结果可为天津地区地下水资源的可持续利用和保护决策提供重要参考。

关键词: 平原区; 地下水埋深; 开采量; 天津市

中图分类号: P641.74 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2014)03-0045-05

Characteristics of changes of groundwater buried depth and influencing factors in Tianjin plain area over past 21 years

WANG Kaiyan^{1,2,3}, WANG Wenzhuo⁴, LI Qiongfang^{1,3,2}, YU Meixiu^{1,2,3}, LI Pengcheng^{1,2,3}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Institute of International Rivers Research Academy, Hohai University, Nanjing 210098, China;

4. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: We selected monthly groundwater buried depth series of 89 observation wells from 1990 to 2010 in Tianjin, in order to study the change trend, inter-annual change, and intra-annual distribution change of the groundwater buried depth using the Mann-Kendall method, and to explore the factors that influence the groundwater buried depth. The results show that, during the observation period, the temporal and spatial variation and influencing factors of the groundwater buried depth differed largely in different aquifers in the plain area of Tianjin, especially after the year 2000, when significant inter-annual and intra-annual changes of groundwater occurred due to mining. These research results can provide important references for sustainable utilization and protection of groundwater resources by the water resources administrations in Tianjin.

Key words: plain area; groundwater buried depth; mining amount; Tianjin City

华北平原区域是中国经济、文化和政治中心,但由于气候变化的影响,干旱已成为影响该地区经济发展和安定的最重要的自然灾害问题^[1]。尤其是进入 20 世纪 90 年代以后,多年持续干旱的发生使地下水成了主要水源,而地下水资源的过度利用和

储量的枯竭使得该区域抗干旱的能力仍在减弱,因此研究不同历时多年连续干旱条件下地下水埋深变化特征对该地区的水资源保障问题有着重要的意义。

天津市地处华北平原东北部,是华北地区重要

基金项目:国家自然科学基金(41171220);国家科技支撑项目(2012BAB03B03);水利部公益性行业项目(200901045)

作者简介:王凯燕(1989—),女,硕士研究生,研究方向为水文预报。E-mail:wkyzkf@163.com

通信作者:李琼芳,教授。E-mail:qfli@hhu.edu.cn

的经济文化中心,但人均水资源占有量仅占全国人均占有量的1/15,远低于世界公认的1 000 m³的缺水警戒线。地下水由于长期超采严重,可持续利用受到严重影响,造成了一系列环境地质问题,如地面沉降、海水入侵、地下水污染等^[2],为此国内很多学者对地下水埋深的变化规律等进行了研究,如杨耀栋等^[3]对天津平原区地下水位动态特征与影响因素进行分析,认为不同类型地下水动态规律在时空分布上有明显差异;闫学军等^[4]采用非平稳时间序列分析方法研究了天津市平原区地下水水位动态特征并进行了变化趋势预报,认为地下水水位动态的趋势变化特征以持续下降型为主。本文主要考虑地下水动态特征的空间分布,即基于天津地区89个观测井1990—2010年的月地下水埋深序列,研究地下水埋深的变化趋势、埋深变幅年代际变化特性及其年内分配变化特性,并探讨了与地下水埋深相关的影响因素。研究成果可加深对天津地区地下水埋深变化规律的了解,为地面沉降的控制以及地下水资源的合理开发提供重要参考。

1 研究区概况

天津市位于华北平原东北部,海河流域下游,东临渤海,北依燕山,位于北纬38°33′~40°14′,东经116°42′~118°03′之间,年平均降水量由北向南递减,为560~720 mm^[5]。该地区干旱少雨,降水严重缺乏,供水主要以地下水为主。

地下水研究主要是通过地下不同含水组来研究的,根据天津市平原区水文地质条件,可将其松散层自上而下分成5个含水组^[5-6],其中第I含水组属于浅层地下水系统,第II、III、IV、V含水组属于深层地下水系统。

研究所用资料为天津平原区89个观测井1990—2010年的月地下水埋深序列,图1为观测井所在5个含水组的分布图。由图1可知浅层地下水主要分布于天津西部和北部的武清、宝坻、蓟县等地,深层地下水主要分布于中部和南部及沿海地区。

2 地下水水位动态特征

2.1 地下水埋深变化的年代际特性分析

通过统计1990年代和2000年代地下水埋深变幅落于不同范围的观测井数所占总井数的百分比,分析研究地下水埋深的年代际变化情况,结果见图2。

由图2知,1990年代天津平原区69%的井点(61个)埋深变幅大于0,占一半以上,其中44%的井点(39个)埋深变幅为0~0.5 m/a。此外,31%的井点(28个)埋深变幅小于0,由此可见,1990年代

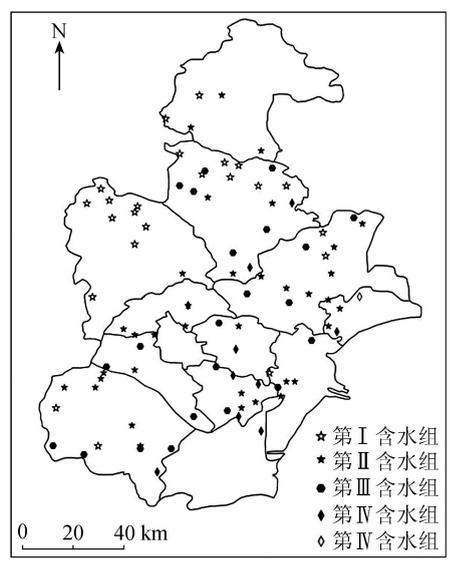


图1 天津平原地区各观测井的含水层分布

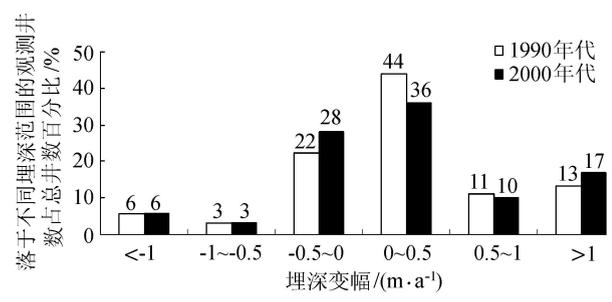


图2 1990年代和2000年代落于不同埋深范围的观测井数

天津市地下水埋深普遍增加,但总体较平缓,且有一部分地区埋深变幅明显减少。进入2000年代后,63%的井点(56个)埋深变幅大于0,其中36%的井点(32个)埋深变幅为0~0.5 m/a,17%的井点(15个)埋深变幅超过1 m/a。地下水埋深变幅小于0的井点占37%(33个),这说明天津平原区地下水埋深变幅普遍增大的趋势仍在持续,与1990年代相比,由于有引滦水作为替代水源,埋深变幅增大的井数略有减少,但埋深变幅大于1 m/a的井数却在增加,说明地下水埋深较为剧烈增加的区域扩大。

为直观反映埋深变幅空间分布,作1990年代和2000年代埋深变幅分布图(图3)。

由图3可知,在1990年代,天津平原地区地下水埋深变幅减小的区域主要分布在沿海的塘沽等地,并以其为中心,向平原中部延伸,另在宝坻的北部和西部的武清也有部分分布;埋深变幅增加的区域主要分布于西南部,另在东部也有少许分布。而到了2000年代,埋深变幅增加的区域主要分布平原中部及东南部临近沿海的地区;而埋深变幅减小的区域已变迁到东部的宁河及北部的蓟县部分地区。总体上看,1990年代到2000年代,埋深变幅减小的区域明显减少,说明地下水埋深增加的趋势较快、范

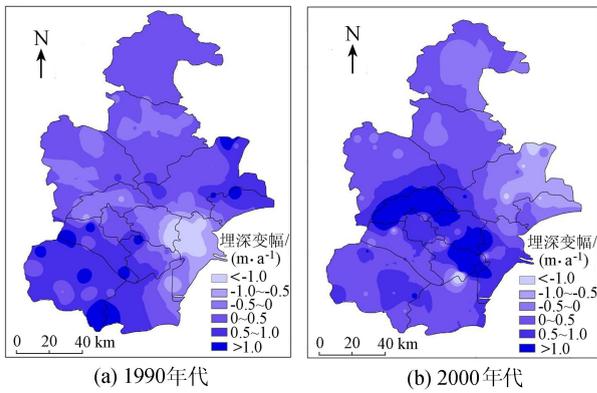


图3 不同年代际天津平原地区地下水埋深变幅的空间分布

围较广,尤其是东南的塘沽沿海变化最为明显,1990年代该地区处于天津平原埋深变幅最小的区域,而到了2000年代,该地区大部分区域的埋深变幅都已超过0.5 m,部分区域甚至超过1 m。

2.2 地下水埋深变化趋势特征分析

利用 Mann-Kendall (M-K) 趋势分析法^[7] 计算天津平原地区1990—2010年89个观测井的实测地下水埋深的趋势检验 Z 值,并以显著水平0.05的临界值 $|1.96|$ 为界,分为 $Z > 1.96$ 、 $-1.96 < Z < 1.96$ 和 $Z < -1.96$ 这3个区间,统计分布于各区间的井点数,如图4。由图4知,89口观测井中,74%的井点地下水埋深 Z 值大于1.96,通过置信水平为95%的显著性检验,说明埋深显著增加;24%的井点地下水埋深 Z 值落于 $(-1.96, 1.96)$ 区间,说明这些观测井地下水埋深变化趋势不明显,相对比较稳定;2%的井点地下水埋深 Z 值小于-1.96,下降趋势显著,说明地下水埋深显著下降。可见地下水埋深显著增加的观测井占多数,总体来说,天津平原区地下水这21年中埋深变幅增加显著;从空间分布来看,西北部和东部沿海地区埋深相对比较稳定,而塘沽沿海地区地下水埋深显著下降。

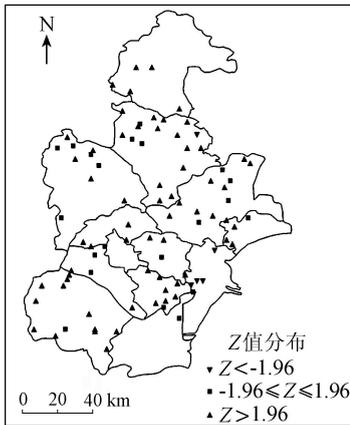


图4 各观测井含水层和趋势检验 Z 值分布

2.3 地下水埋深的年内季节变化特性分析

在不同含水组中根据不同变化趋势分别选取代表井,并统计各井1990年代和2000年代的月平均埋深,以此分析地下水埋深的年内动态规律和季节变化特性,如图5所示。

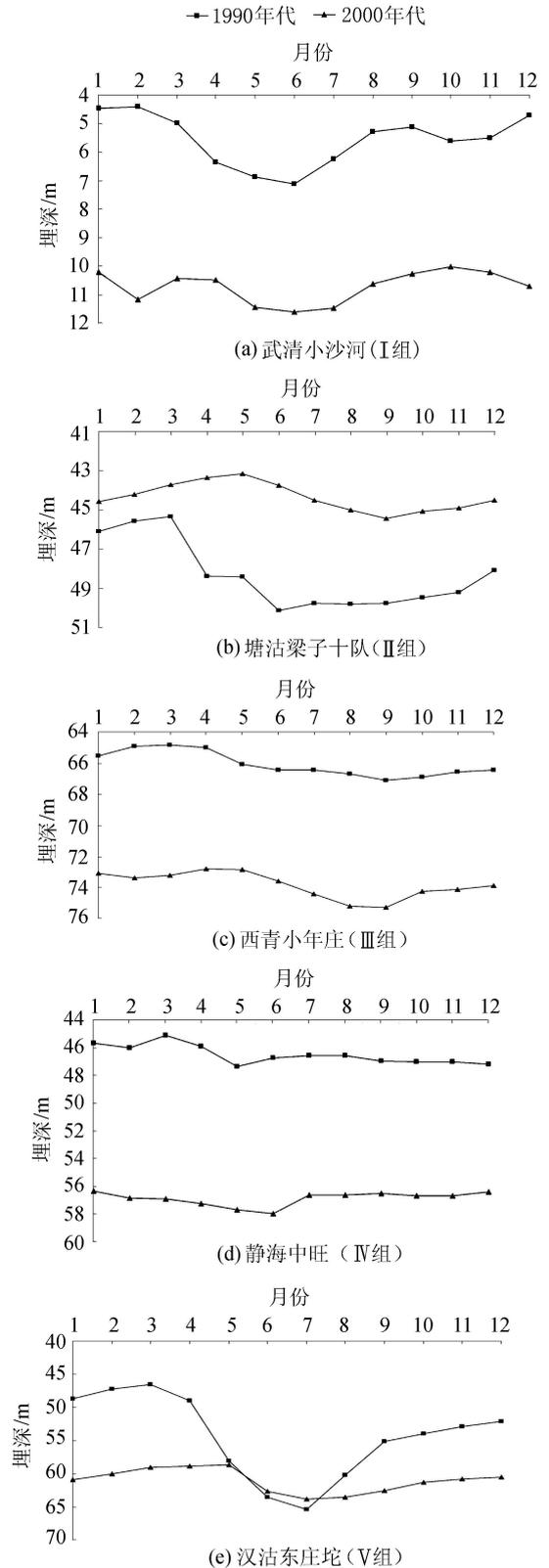


图5 1990年代和2000年代地下水埋深年内分配变化过程

由图5可知,从1990年代到2000年代,武清小沙河、西青小年庄、静海中旺的月平均埋深大幅增加,汉沽东庄坨变化相对较平稳,塘沽梁子十队明显减少。这5个含水组的代表井点的月平均埋深均在5月份以后开始增加,整个春夏季节埋深都相对较大,至9—10月埋深开始减少,即春夏之交的埋深最大,秋季的埋深随之减少,冬季埋深普遍较小。年内埋深增加在4—8月,主要是由于开采地下水,5—6月为春灌期,大量抽取地下水灌溉使得埋深最大均出现在6月。地下水埋深大幅减少出现在秋冬季,这主要是受降水影响,秋季埋深低是由于夏季的降水补给,使得在10月地下水埋深达到最小,有时滞后到11—12月,而冬季则是由于降雪较多,蒸发消耗少,使得地下水埋深也在减少。此外5个含水组中第Ⅲ含水组的代表井点埋深最大,可能是由于它处于西青—静海—大港—津南这个复合大漏斗,其漏斗中心中有两个水位埋深超过90 m,而第Ⅴ含水组的年内变幅最强烈,尤其是4—8月,主要是因为春灌期开采强度大,而降水和径流补给条件最差,使得地下水恢复能力最差,埋深变幅最大。但各含水组到了2000年代略有回升,尤其是第Ⅱ含水组塘沽区效果最明显,主要是由于有引滦水,以及水库引水或河道引水等作为替代水源,开采强度减小,使得地下水水位略有抬升。

3 地下水埋深变化的影响因素分析

地下水埋深变化主要取决于降水、温度、人工开采、地形地貌、地质构造和岩性综合影响,其中最主要的影响因素是降水和人工开采^[3,6,8]。降水量作为地下水补给的主要来源,很大程度上影响着地下水埋深,尤其是浅层地下水。而人工开采是地下水消耗的主要方式,由于天津地区的农业用水开采主要集中在北部,灌溉比较分散,导致北部地区埋深增加不明显;而工业用水的开采具有一定的区域性,主要集中在南部,因此南部埋深增加较为明显^[9]。研究主要选取开采量和降水量分析对地下水埋深变化规律的影响。

3.1 浅层地下水

以武清小沙河为代表观测井,分别制作1990—2010年的地下水埋深和降水及开采量的相关图(图6),分析浅层地下水埋深动态变化的影响因素。

从图6(a)可看出,小沙河浅层地下水埋深与降水量存在一定程度的响应关系。1990年代埋深和降水的相关系数超过了0.7,且由表1得知二者回归方程的 $|t|=2.935$,大于0.05显著水平的 t 临界值2.306,相关关系很好,可能是由于1990年代为

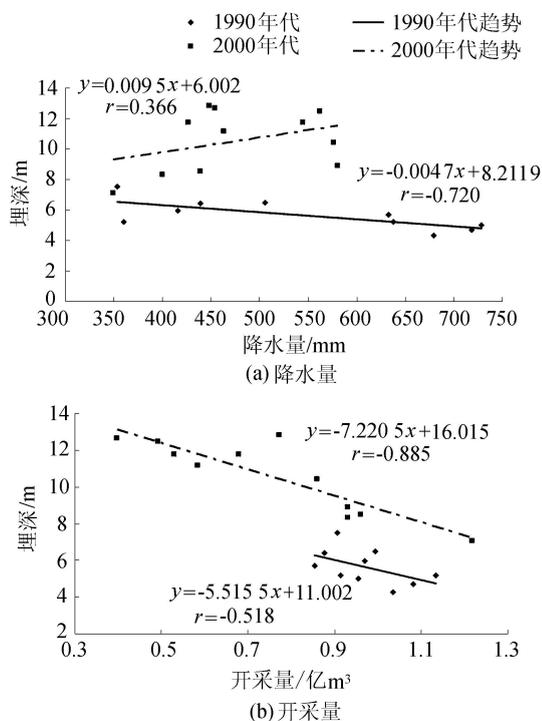


图6 武清小沙河降水量和开采量与埋深的相关关系

表1 降水量和开采量与埋深的一元线性回归方程的 t 检验值

线性回归方程	$ t $	
	1990年代	2000年代
埋深-降水量	2.935	1.180
埋深-开采量	1.713	5.702
$t_{\alpha/2}(\alpha=0.05)$	2.306	2.262

非持续性干旱,尤其是该年代中期降水较丰,使得地下水埋深整体随着降水增加而减少;而进入2000年代后天津地区遭遇多年持续性干旱,降水明显偏少,这时期地下水埋深和降水量相关关系并不明显,说明2000年以后埋深可能与开采量等其他因素更为相关。图6(b)中1990年代和2000年代地下水埋深和地下水开采量的相关系数分别为0.518和0.885,且2000年代地下水埋深和开采量的回归方程的 $|t|=5.702$,大于0.05显著水平的 t 临界值2.262,即进入2000年代后地下水埋深和开采量之间的相关关系比较显著,且远远超过了降水与埋深的相关系数,说明2000年代该地区浅层地下水埋深的变化主要受控于地下水开采量的变化。

3.2 深层地下水

深层地下水一般由浅层地下水越流补给,受降水影响较小,因此选取塘沽的梁子十队为代表观测井,作相关图(图7,8),分析影响承压水埋深动态变化的开采量因子。

由图7可看出,在2000年代中,2006—2008年开采量较大,但埋深反而减小,可能是由于地下水回

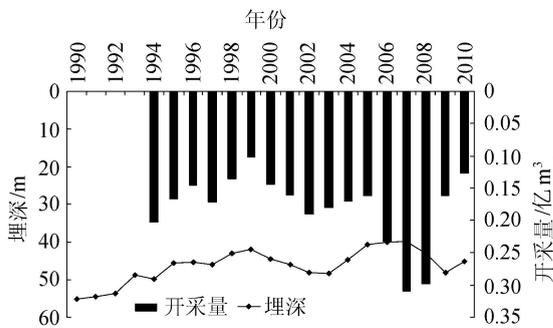


图7 1990—2010年埋深随开采量变化

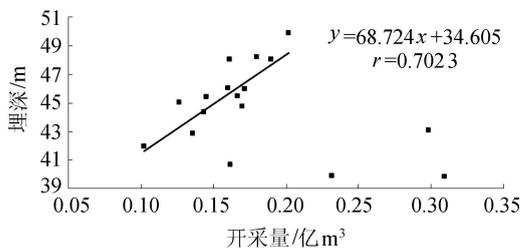


图8 地下水埋深与开采量相关关系

灌,使得地下水资源消耗后能得到补充。故地下水埋深和开采量在进行相关分析时剔除了2006—2008这3年的影响。从图8可以看到,塘沽梁子十队站的地下水埋深和开采量的相关系数达到了0.7,且回归方程的 $|t| = 4.300$,大于0.05显著水平的 t 临界值2.093,为显著相关,说明两者有着密切的响应关系。开采量增加,则埋深增加,反之则减小。

4 结论

a. 近21年来,天津平原区地下水埋深的变化规律为:大部分地区地下水埋深显著上升,西北部和东部沿海相对比较稳定,而塘沽沿海地区显著下降。

b. 天津平原地区地下水埋深在2000年代较1990年代普遍增大,在时空分布上有明显差异,尤其是东南地区的塘沽沿海变化最为明显,并且埋深变幅大于1 m/a的井数明显增加;此外,不同含水组地下水埋深的年内变化趋势一致,但变幅相差较大,尤其是第V含水组的年内变幅最强烈,这可能与它的补给源有关。

c. 天津地区1990年代浅水层地下水埋深主要受降水影响;进入2000年代后两种类型均主要受控于地下水开采量的变化,尤其是深层地下水埋深和地下水开采量相关关系密切,人工开采地下水成为影响地下水埋深的主要因素。

参考文献:

[1] YU Meixiu, LI Qiongfang, HAYES M J, et al. Are droughts becoming more frequent in China based on the SPEI: 1951-

2010? [J]. International Journal of Climatology, 2014, 34 (3): 545-558.

[2] 王仕琴, 宋献方, 王勤学, 等. 华北平原浅层地下水水位动态变化[J]. 地理学报, 2008, 63(5): 462-472. (WANG Shiqin, SONG Xianfang, WANG Qinxue, et al. Dynamic features of shallow groundwater in North China Plain [J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(5): 462-472. (in Chinese))

[3] 杨耀栋, 李晓华, 王兰花, 等. 天津平原区地下水位动态特征与影响因素分析[J]. 地质调查与研究, 2011, 34(4): 313-320. (YANG Yaodong, LI Xiaohua, WANG Lanhua, et al. Characteristics of the groundwater level regime and effect factors in the plain region of Tianjin City [J]. Geological Survey and Research, 2011, 34(4): 313-320. (in Chinese))

[4] 闫学军, 张伟, 侍建国. 天津市平原区地下水水位动态特征分析及预测[J]. 海河水利, 2012(1): 33-35. (YAN Xuejun, ZHANG Wei, SHI Jianguo. Analysis and forecasting of dynamic characteristics of groundwater level in plain areas of Tianjin forecasting of dynamic characteristics of groundwater level in plain areas of Tianjin [J]. Haihe Water Resources, 2012(1): 33-35. (in Chinese))

[5] 天津市地质矿产局. 天津市地质环境图集[M]. 北京: 地质出版社, 2004.

[6] 王家兵, 李平. 天津平原地面沉降条件下的深层地下水资源组成[J]. 水文地质工程地质, 2004(5): 35-37. (WANG Jiabing, LI Ping. Composition of groundwater resources in deep-seated aquifers under the condition of land subsidence in Tianjin Plain [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2004(5): 35-37. (in Chinese))

[7] 李鹏程, 李琼芳, 蔡涛, 等. 北京天津地区近51a降水变化特征分析[J]. 水电能源科学, 2010, 28(10): 6-9. (LI Pengcheng, LI Qiongfang, CAI Tao, et al. Feature analysis of 51 years precipitation change in Beijing and Tianjin area [J]. Water Resources and Power, 2010, 28(10): 6-9. (in Chinese))

[8] 王兰花. 天津市平原区深层淡水咸化-咸水下移问题的讨论[J]. 地质调查与研究, 2004, 27(3): 169-176. (WANG Lanhua. A discussion on the deep fresh water salinization in the plain region of Tianjin City [J]. Geological Survey and Research, 2004, 27(3): 169-176. (in Chinese))

[9] 刘帅. 天津市地下水资源开发利用研究[J]. 海河水利, 2006(3): 10-12. (LIU Shuai. The research of groundwater resources' exploitation and uses in Tianjin [J]. Haihe Water Resources, 2006(3): 10-12. (in Chinese))

(收稿日期: 2013-07-31 编辑: 高渭文)