

商丘市浅层地下水位下降对区域气候的影响

夏晶^{1,2}, 刘宁^{1,*}, 高贺文³, 陆根法¹

(1. 污染控制与资源化国家重点实验室, 南京大学环境学院, 南京 210093; 2. 南京大学金陵学院, 南京 210089;

3. 河南省环境保护科学研究院, 郑州 450004)

摘要:地下水包括浅层地下水和深层地下水,是陆地水循环的重要组成部分,其中浅层地下水受气候条件和植被地形及人类活动的影响大。浅层地下水埋深对气候变化的响应研究是气候变化影响研究的前沿和热点之一,对于水资源管理及其相关研究与应用具有重要意义。商丘市所在的黄淮平原是我国第一地下水富集区,由于气候变化和人类活动的影响,地下水资源量与1984年相比下降了20%以上。地下水作为黄淮平原重要的水资源,研究气候变化和人类活动的影响与地下水的相应关系有着重要的现实意义。以几个典型城市的气温与地下水位的变化情况为基础,全面分析讨论了商丘市浅层地下水对水温、蒸发量和气温的影响关系,为商丘市以及黄淮平原地下水资源变化提供科学的依据。

关键词:商丘市;浅层地下水;水温;蒸发量;气温

The analysis on impact of shallow groundwater recession to regional climate of Shangqiu City

XIA Jing^{1,2}, LIU Ning^{1,*}, GAO Hewen³, LU Genfa¹

1 State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Environmental School of Nanjing University, Nanjing 210093, China

2 Jinling Independence College of Nanjing University, Nanjing 210089, China

3 Henan Provincial Academy of Environment Protection Science 450004, China

Abstract: Groundwater, including shallow groundwater and deep groundwater, is an important component of the terrestrial water cycle. The shallow groundwater can be easily affected by climatic conditions, terrain, vegetation and human activities. The relationship between shallow groundwater depth and climate changes has been studied intensively to understand the impact of climate changes on groundwater resources. This is essential to water resource management and related applications. However, the impact of climate change on groundwater has not been fully understood to date because the relationship between climate variables and groundwater is much more complicated than that of surface water. Groundwater interacts with climate through hydrologic processes, such as precipitation, evapotranspiration and interaction with surface water. In this paper, we compared the groundwater depth and atmospheric temperature data of Beijing, Shijiazhuang, Xuzhou and Nanjing in year 1950 and 2000 and found that the drop of groundwater depth had a positive correlation with the increase of atmospheric temperature. In order to further study the relationship between shallow groundwater recession and regional climate change, a case study was conducted in Shangqiu. Shangqiu is located on the Huang-Huai Plain, which has the largest regional aquifer in China. Due to climate change and human activities, the quantity of groundwater in this region has dropped over 20% since 1984. Groundwater is a crucial water resource in this region. The study of responses of groundwater to local climate change and human activities is very important. This paper discussed the relationships between Shangqiu shallow groundwater temperature, evaporation capacity and air temperature, and provided scientific evidence regarding groundwater resource changes in Shangqiu and the Huang-Huai Plain. The results

基金项目:江苏省饮用水水源环境安全战略评估研究;江苏省环保厅(2008022);水专项巢湖水污染治理与富营养化综合控制技术工程示范项目(2008ZX07103-007)

收稿日期:2010-02-04; **修订日期:**2010-05-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuning@nju.edu.cn

of this study showed: (1) As the groundwater depth increased, the air temperature fluctuated, but the overall air temperature gradually increased. The variation of groundwater level and temperature proved to be synchronous. (2) There was a reverse correlation between the decrease of groundwater level and the magnitude of evaporation. The decrease of groundwater level resulted in the reduction of the evaporation in most area, and in turn, the water vapor in the air close to the ground was greatly reduced. The transfer of latent heat flux from the ground surface to the boundary layer also decreased significantly. The drying of the soil close to the ground surface caused the reduction of the heat capability of soil and the increase of the albedo on the ground surface. The net radiation at ground surface increased, resulting in a significant warming effect from radiation and an increase of the ground surface temperature, which was evidenced by an average increase of 1.4°C in air temperature in the study area. (3) The record of the shallow groundwater temperature in the study area showed that the groundwater temperature has increased by approximately 3.6°C from 1991 to 2007. In the mean time, the groundwater level gradually decreased 1.35—5m. Since the decrease of groundwater level usually results in the drop of groundwater temperature, it can be concluded that the increase of groundwater temperature in the study area is mainly caused by the increase of atmospheric temperature (1.4°C). The continuous increase of shallow groundwater temperature over the past years can be considered as a strong evidence to the global warming.

Key Words: Shangqiu City; shallow groundwater; water temperature; evaporation capacity; air temperature

全球水储量中,地下水是仅次于冰川的淡水资源,全世界约有 15 亿人以之作为主要的饮用水源;它对于维持河流、湖泊、湿地以及水生群落具有重要意义,是水循环不可缺少的一部分^[1]。地下水根据埋藏深度可分为浅层地下水和深层地下水:一般将埋藏较浅、由潜水及与潜水有水力联系的微承压水组成的地下水称为浅层地下水;而将埋藏相对较深、与浅层地下水没有直接联系的地下水称为深层承压水。气候变化能通过改变径流、土壤湿度以及湖水水位等水文要素改变浅层地下水埋深;而大尺度浅层地下水埋深的变化也会改变土壤湿度的时空分布,并进一步改变陆气间的能量和水循环,最终影响气候。

气候趋势分析表明,自 19 世纪以来,全球表面温度升高约 $0.3\text{—}0.6^{\circ}\text{C}$ ^[2-3],预报 1990—2100 年,全球表面温度将进一步升高,增加幅度达 $1.4\text{—}5.8^{\circ}\text{C}$ ^[4-5]。

目前气候变化与地下水变化相互关系的研究还处于起步阶段,一方面是由于地下水与气候、人类活动的关系以及地下水的补给方式要比地表水复杂得多,由气候模型输出驱动各种形式的地下水水量平衡模型得到的地下水补给尚不能作为对地下水的预测^[6];另一方面是由于大多数描述大气环流模式中地表能量、水分、物质等变化的陆面过程模型并未考虑或者详细考虑地下水位动态变化^[7]。

黄淮平原位于中国河南省东部、山东省西部黄河以南及安徽省、江苏省淮河以北,是华北平原的南部,也是我国第一大地下水富集区。由于气候变化和人类活动的影响,地下水资源量与 1984 年相比下降了 20% 以上。而地下水又是陆地水循环的重要组成部分,它受气候条件和植被地形及人类活动的影响。黄淮平原地下水埋深对区域气候变化的响应关系研究有助于了解黄淮平原地下水资源状况和变化特征,对区域水资源保护有着重要的指导意义。

黄淮海平原主要由黄河、淮河下游泥沙冲积而成。地形平坦,产小麦、杂粮、棉花,为中国重要农业区。商丘是黄淮海平原具有代表性的地区之一,是我国重要的商品粮基地和农副产品生产基地,农业经济相当发达。由于商丘市具有典型的农业经济特征,能够更客观地表征气候变化和人类活动的影响与地下水的相应关系。同时,由于研究的尺度相对较小,在研究方法的选择上,重点采用相关性分析,讨论了商丘市浅层地下水对水温、蒸发量和气温的影响关系,为商丘市以及黄淮平原地下水资源变化提供科学的依据。

1 浅层地下水对水温、蒸发量和气温的影响

1.1 几个典型城市的气温及地下水位的变化情况

目前,全球气温受多种因素的影响普遍有所升高^[8],虽然大范围内气候变化趋势相同,但是各个地区之

间存在一定的差异,除了温室效应以及其他各种因素外,各地区地下水埋深的变化也许是导致这种差异的一个主要因素。表1中列出4个城市1950年和2000年的地下水位及气温的变化情况,从表中数据可以看出,总的变化趋势是随着气温的升高地下水位埋深也随着增加,这个结果与由温国胜^[9]等报道的气温与地下水位间的关系相一致。根据表1的数据,南京的气温增幅最小,其次为徐州,然后是石家庄,最大为北京的气温增幅,4个地区的气温变化规律和地下水的埋深变化成正比,埋深变化越大气温增幅越大。

表1 几个典型城市的气温和水位变化情况

Table 1 Temperature increasing via groundwater level changing in some typical cities

对比城市 Comparison cities	地下水埋深 The depth of groundwater/m		气温 Temperature/℃		气温增幅 Temperature increasing
	1950 年 Year 1950	2000 年 Year 2000	1950 年 Year 1950	2000 年 Year 2000	
北京 Beijing	3.5	20	11.0	12.65	1.65
石家庄 Shijiazhuang	1—3	16.74	12.3	13.95	1.45
徐州 Xuzhou	1—2	10	13.3	15.6	1.30
南京 Nanjing	7.55	8.01	14.95	15.75	0.80

北京从20世纪50年代起因城市发展及人们生活需要,大量开采地下水,致使地下水位急剧下降,北京平均地下水位从50年代的3.5m左右下降到目前的20m左右。石家庄20世纪50年代地下水资源十分丰富,地下水埋深仅为1—3m,年开采量不足10亿 m^3 ,自流井、自流泉遍布全区。自20世纪60年代开始大量开采地下水,1975—2000年浅层地下水位平均埋深从5.52m下降到16.74m,平均下降速率为0.46m/a,其中1995—2000年地下水位下降速率达0.772m/a,浅层地下水位下降速率呈增加趋势。徐州市地处淮河流域,水量充沛,潜水位较高,20世纪50年代浅层地下水位埋深平均在1—2m,因城市发展及人们生活需要,大量开采地下水,形成地下水漏斗,徐州也成为江苏25个超采点之一,后来徐州供水以开采岩溶水为主,开采地段主要集中在丁楼、七里沟和茅村3个水源地,由于开采量压缩,地下水位普遍回升,漏斗范围有所减小,到2000年漏斗中心点水位约为10m。南京用水主要来源于长江,地下水开采不严重,相应的地下水位也没有太大的下降。这些结果表明,地下水开采是引起这4个城市浅层地下水位下降的主要原因^[10]。

4个城市自1950年到2000年的气温变化情况如图1所示。

1.2 商丘市的浅层地下水对水温、蒸发量和气温的影响

本节主要讨论商丘市的浅层地下水对水温、蒸发量和气温的影响。气温资料主要来源于商丘市国家气候气象台,包括月均气温和年均气温,蒸发量数据包括历年各月蒸发量和年蒸发量,地下水位和水温的观测资料来自于商丘市不同地区的9个水位观测孔(图2),所有这些资料的观测时间为1991—2007年。

1.2.1 浅层地下水对气温的影响

选取了1991—2007年研究区内9眼观测井的地下水位动态资料,将这9眼井的地下水位埋深进行平均,得到商丘市的年均地下水位埋深曲线(图3),同时选择了2个观测孔(永城市3和民权县3)的地下水位埋深资料,将水位埋深变化和商丘市的气温绘制在同一张图上(图3)。从图中可以看出,研究区的地下水位埋深随时间逐渐增加,水位变幅为1.35—5.02m,永城市变化最小,睢县变化最大。统计表明,除商丘市梁园区地下水位埋深在2003、2004和2005年超过10m外,其余地区地下水位埋深均小于10m,表明研究区水位属于浅层地下水,与气温有密切的关系。从图3可以看出研究区的气温呈振荡变化,但总的趋势是逐步上升的,最大

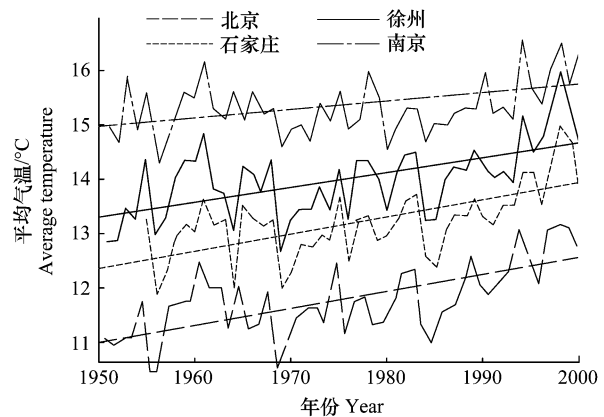


图1 1950—2000年典型地区平均气温变化图

Fig. 1 Flow chart of average temperature changes in typical areas

上升幅度为 1.4°C 。



图2 商丘市地下水长观孔的分布位置

Fig. 2 Layout of holes for observation in Shangqiu City

图4显示了大于某气温值的年份占总年份的比例,从图中可以看出,大于平均气温(14.56°C)的百分比占53%,大于 15°C 的比例为35%,表明气温上升趋势明显。因此,从1991—2007年,研究区地下水位在逐渐下降,而气温在逐渐升高。

为了更详细的了解研究区水位变化与气温的关系,给出了研究区部分钻孔的月均地下水位和观测站的月均气温动态关系(图5),从图中可以看出,在地下水位降低(谷)时,气温较高(峰);地下水位较高(峰)时,气温较低(谷),类似于图6中的对应关系。前面主要讨论了水位埋深和气温随时间变化的同步性,下面考虑水位埋深与气温的关系,图7显示了研究区地下水位埋

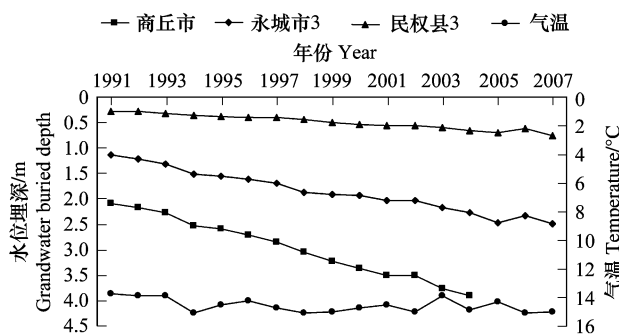


图3 研究区地下水埋深和气温年动态变化曲线

Fig. 3 Year curves of dynamic changes related to groundwater buried depth and temperature in study area

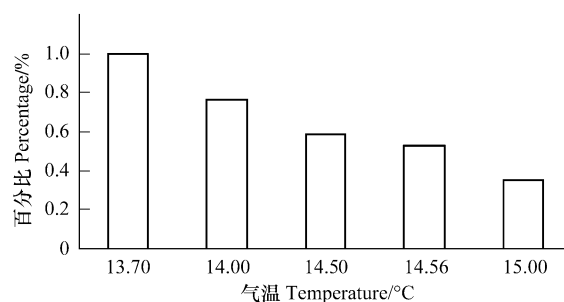


图4 大于某气温所占百分比

Fig. 4 Percentage of some over dedicate temperatures

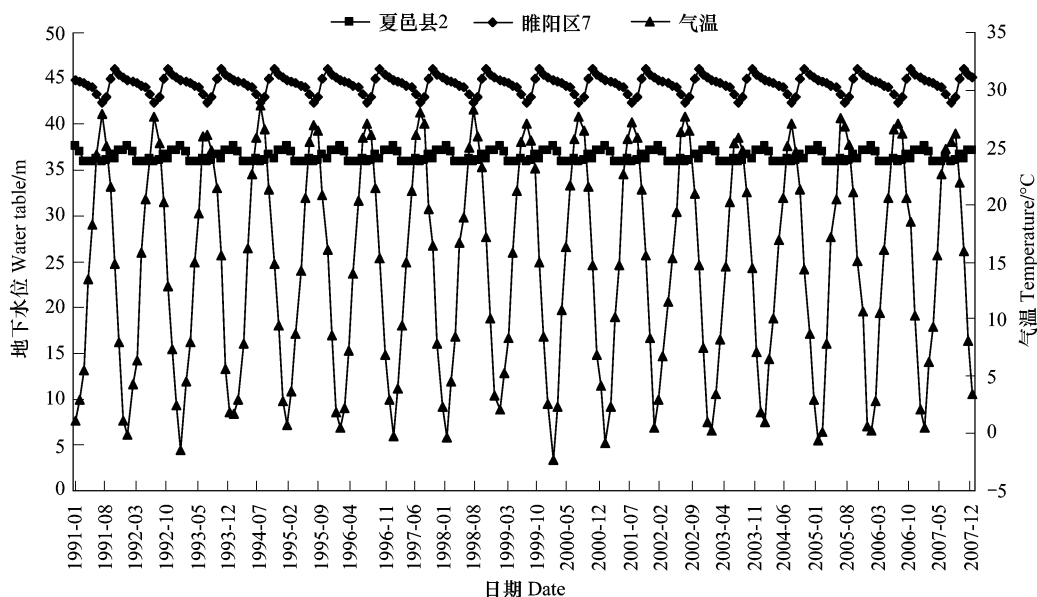


图5 研究区水位和气温的月动态变化曲线

Fig. 5 Monthly dynamic curve of water table and temperature in study area

深与气温的关系。从图中可以看出,随着水位埋深的增加,气温出现振荡变化,但总的趋势是逐渐增加的。

1.2.2 浅层地下水对蒸发量的影响

地下水位下降导致近地面大气变干,引起地-气之间的物质、能量输送发生显著的变化。具体表现为地表吸收的净辐射能和感热通量大为增加,潜热减少,地表辐射增温效应明显,地表热力结构发生显著变化,近地面对流增强,中高层则是对流减弱,地表对边界层的物质和动量输送增强。地下水位下降导致大部分地区蒸发减少(图8),使近地面空气中的水汽含量大为减少,地表向边界层输送的潜热通量大幅度下降,近地面变干造成了土壤热容量减小,地表反照率增加,地表接受的净辐射能增加,辐射增温的效应明显,地表温度显著升

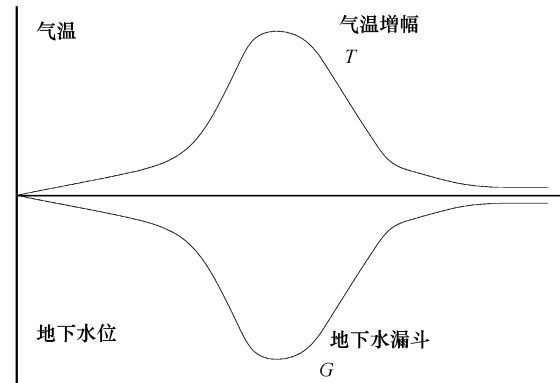


图6 地下水漏斗与气温增幅的对应关系

Fig. 6 Corresponding relation between groundwater funnel and temperature increasing

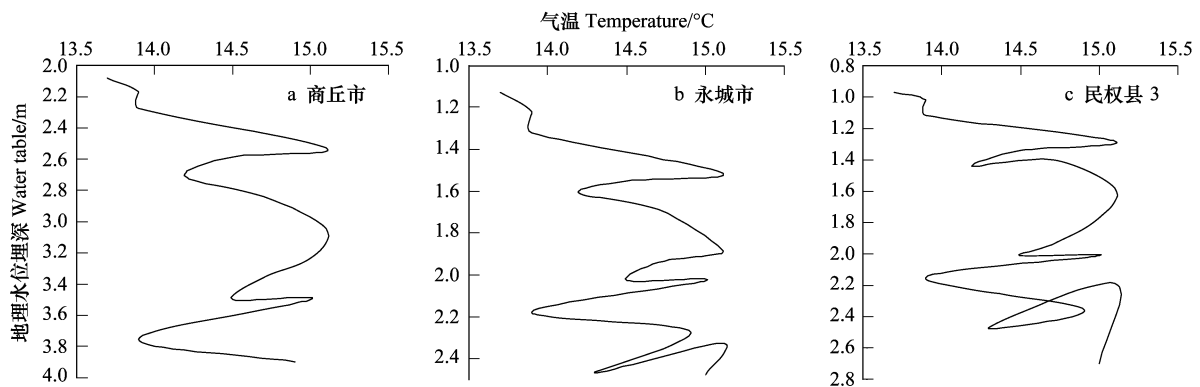


图7 地下水位埋深与气温的关系曲线

Fig. 7 Relation Curve of water table and the temperature

高。研究区平均温度增幅在 1.4°C 左右就是很好的例证。因此,地下水位下降对研究区气候具有重要的影响。

1.2.3 气温与地下水温的关系

近1个多世纪以来的全球气候变暖趋势已成为公认的事实,1998年11月发布的IPCC(全球气候变化国际间政府合作组织)的报告认为,从1860年以来全球平均气温升高了 $0.4\text{--}0.8^{\circ}\text{C}$ 。全球气候变暖给环境带来了一系列的影响,如海平面上升、沿海地区的海岸线变化、海水对沿岸含水层的入侵加剧、恶化作物的生长环境、气象灾害加剧、水资源更加紧缺等。同时气温的升高也导致地下水温度的上升,水温升高会引起水的多种物理化学性质的变化,其中最受关注的是水中溶解氧的降低,增加水体氨、氮、氯及重金属的毒性作用。同时浅层地下水温度的升高,必将对表层岩土的温度和热容量产生影响,进而对植物和农作物生长、土层的物化特征产生种种影响。

影响地下水温度的因素主要有热源、地层岩性、地质构造、地形、降水及地下水的活动等。结合研究区地下水的贮存情况,地层岩性、地质构造、地形这3者相对稳定,对同一地区地下水温度变化影响不大,故研究区地

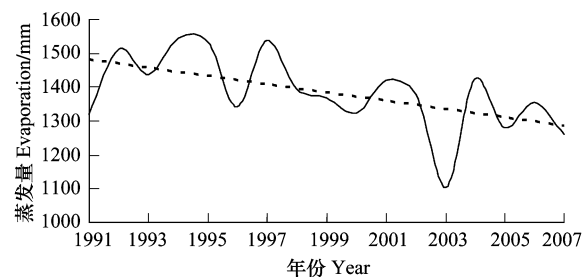


图8 研究区年蒸发量动态变化曲线

Fig. 8 Dynamic changing curves of annual evaporation capacity in study area

下水温度主要是受热源(气温)、降水以及地下水活动变化的影响。

(1) 地下水温度年内变化

研究选取了2006年研究区内7眼观测井的地下水温度动态资料(每5d观测1次数据),做出部分观测井的地下水温度年内变化曲线(图9)。

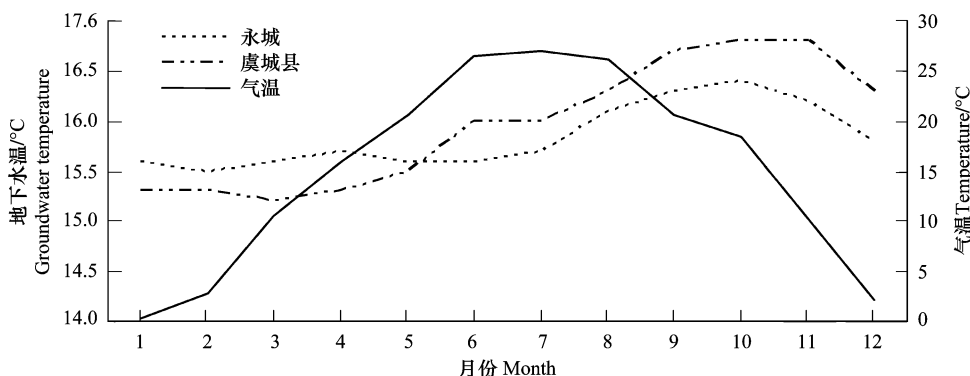


图9 研究区浅层地下水温度年内动态曲线(2006年)

Fig. 9 Temperature dynamic curve of shallow groundwater in year 2006 in study area

从图中可以看出,在1—6月份水温变化平缓,个别月份略有下降,这与这个期间气温呈上升变化的特征不一致,这是由于1—4月份气温较低,含水层上覆包气带的低地温对地下水降温作用尚在继续进行。4—6月份随着气温的升高,包气带内的地温增加,气温逐渐对地下水温度产生影响,从而使地下水温度才开始缓慢上升。6月份后气温不断升高且降水量的增加,使地下水与大气的接触更加密切,因此水温继续升高,一直持续到9—10月份初达到最高,这比气温值的最高峰约滞后1—2个月。之后随着气温的下降,水温也开始下降,到12月末大致回落到年初的温度。和气温年内变化幅度(约27℃)相比,浅层地下水的温度年内变化幅度很小(只有0.3—1.5℃),这是由于上覆土层的缓冲作用和含水层的比热容较大而产生的温度调控结果。

(2) 地下水温度年际变化

对于研究地下水温度的变化,更关注的是其年际间的趋势性变化,在每个降水的年度周期内,地下水温度的变化则表现出受降水量增大的影响,地下水在开采条件下,与外界的循环加快,受太阳辐射影响更加明显;反之,则对浅层地下水温度受太阳辐射影响起到削减作用,而对于长系列的地下水温度变化趋势,呈周期变化的降水因素影响则不太明显。

研究中收集了区内9眼观测井的地下水温度动态资料,所取资料系列长度为1991—2007年(2006年缺失)的区域地下长期观测井的平均水温值,气温资料系列取1991—2007年。图10和图11为区内9眼观测井的平均水温值和代表性观测井的地下水温度值与研究区年平均气温的多年变化曲线。从图中可以看出,浅层地下水温度多年动态变化呈现明显的上升趋势。区域气温的年平均值从1991年到2007年平均上升了1.4℃,浅层地下水温度从1991年的13.9℃左右上升到2007年的17.5℃,平均水温升高约3.6℃。代表性观测井的水温变化也具有相似的规律,但因受局部自然或人为开采因素影响,水温变幅值变化较大,而多年变化的趋势性不如全区观测井水温平均值动态曲线反应明显。

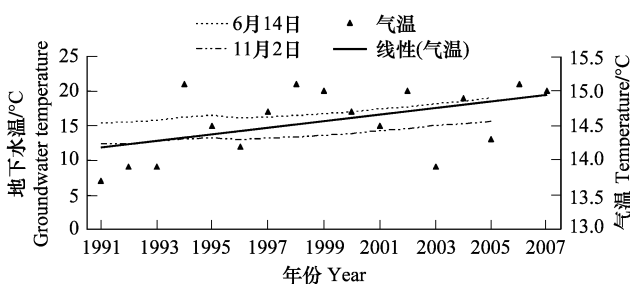


图10 研究区浅层地下水温度多年动态曲线

Fig. 10 Dynamic curve of shallow groundwater temperature for some years in the study area

通过对研究区浅层地下水温度变化的分析发现,从1991—2007的17a里,研究区地下水温度上升约3.6℃。

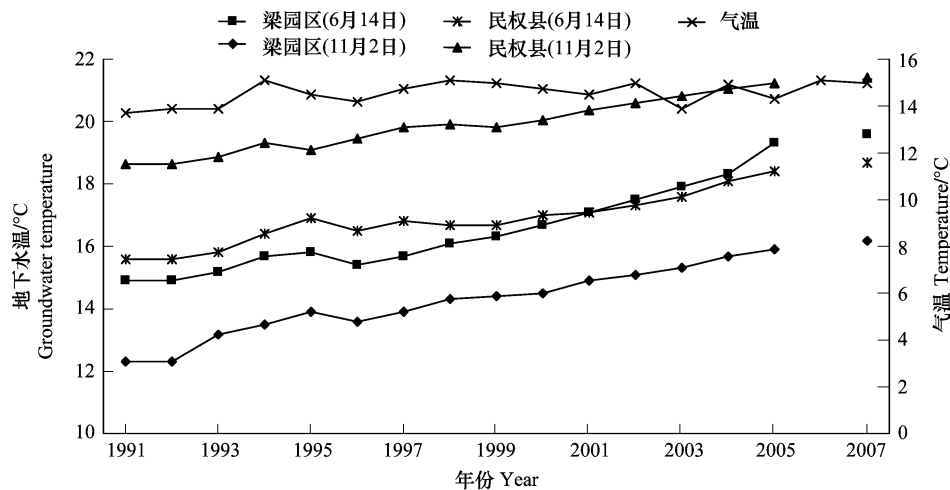


图 11 研究区代表性观测井地下水温度多年动态

Fig. 11 Dynamics curve of groundwater temperature of representative observation well for some years in study area

研究区地下水开采强度较大,区内浅层水从 1991—2007 年间,约有 90% 的区域地下水埋深从 1991 年的 0.4—1.1m 下降到了 2007 年的 2—5m,地下水位普遍下降了 1.35—5m。地下水位下降对其水温上升具有一定的抑制作用,因此可以判定研究区地下水温上升主要是受大气温度上升(约 1.4℃)的影响,同时也可以认为,浅层地下水温度的多年持续上升趋势也是对全球气温上升的有力佐证。年际间的地下水温变化缓慢(上升约 0.2℃/a),是不易被人觉察的环境地质问题之一,由于地下水温的改变具有相当强的隐蔽性、滞后性和对环境生态的连锁反应,所带来的危害也具严重性、广泛性和缓慢的时效性。因此,更全面、系统深入进行地下水多年温度变化规律的研究,势在必行,必须引起我们足够的重视。

2 结论

(1)相比 1950 年,2000 年北京、石家庄、徐州和南京的地下水位均有下降,其中以北京和石家庄的地下水位下降较大,都超过了 10m;徐州地下水位下降约 10m,南京地下水位没有太大下降。通过这些分析,得出地下水位埋深与气温变化存在正相关性。

(2)随着水位埋深的增加,气温出现振荡变化,但总的趋势是逐渐增加的。

(3)地下水位下降的大小与大部分地区的蒸发量存在负相关。

(4)研究区地下水温上升主要是受大气温度上升的影响,同时也可以认为,浅层地下水温度的多年持续上升趋势也是对全球气温上升的有力佐证。

References:

- [1] Alley W M, Healy R W, LaBaugh J W, Reilly T E. Flow and storage in groundwater systems. Science, 2002, 296: 1985-1990.
- [2] Nicholls N, Gruza J J, Karl T R, Ogallo L A, Parker D E. Observed climate variability and change//Climate Change 1995, The Science of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 133.
- [3] Zhuoheng Chen, Stephen E. Grasby, Kirk G. Osadetz. Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada. Journal of Hydrology, 2004, 290: 43-62.
- [4] Zhang X, Vincent L, Hogg W D, Niitsoo A. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th Century. Atmosphere Ocean, 2000, 30 (3): 395-429.
- [5] Gan T Y. Hydroclimatic trends and possible climatic warming in the Canadian prairies. Water Resources Research, 1998, 34: 3009-3015.
- [6] Liu C Z, Liu Z Y, Xie Z H. Recent advances in research on sensitivity of groundwater to climate changes. Journal of China Hydrology, 2007, 27 (2): 1-6.

- [7] Xie Z H, Liang X, Zeng Q C. A parameterization of groundwater table in a land surface model and its applications. Chinese Journal of Atmospheric Science, 2004, 28(3):374-384.
- [8] Showstack R. IPCC report cautiously warns of potentially dramatic climate change impact. EOS, 2001, 82(9):113-120.
- [9] Wen G S, Wang L H, Yoshikawa K. Changes of groundwater level in *Sabina Vulgaris* community in Mu Us sandy land. Journal of Natural Resources, 2005 20(2):266-271.
- [10] Xu Y Q. Evaluation of groundwater level drawdown driving forces in the Hebei Plain to the South of Beijing and Tianjing. Progress in Geography, 2003, 22(5):490-498.

参考文献:

- [6] 刘春臻,刘志雨,谢正辉. 地下水对气候变化的敏感性研究进展. 水文, 2007, 27(2): 1-6.
- [7] 谢正辉,梁旭,曾庆存. 陆面过程模式中地下水位参数化及初步应用. 大气科学, 2004, 28(3): 374-384.
- [9] 温国胜,王林和,吉川贤. 毛乌素沙地臭柏群落地下水位的变化. 自然资源学报, 2005, 20(2):266-271.
- [10] 许月卿. 京津以南河北平原地下水位下降驱动因子的定量评估. 地理科学进展, 2003, 22(5):490-498.