

北京平原区单次降水对地下水位影响的初步认识 ——以北京“7·21”特大暴雨为例

刘元章¹, 武强², 邢立亭³, 林沛¹, 韩征¹, 雷坤超¹

(1.北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195;

2.中国矿业大学(北京)水害防治与水资源研究所, 北京 100083;

3.济南大学资源与环境学院, 山东 济南 250022)

摘要:通过对北京市平原区 600 余眼监测井水位动态资料的分析, 2012 年北京“7·21”特大暴雨后水位有明显响应的监测井仅有 34 处, 约占总数的 6% 左右, 比例较低, 同时范围较为集中, 且基本全为较浅的潜水井。反映出本次大暴雨对本区地下水位的直接影响总体程度不深。通过对这些监测点的分布规律加以分析, 它们主要集中分布在各大河的上游河道沿线区域, 地层渗透性较好。并认为发生大面积的漫水, 即来水量较大是使得地下水位响应明显的另一重要条件。并对单次降水对水位影响较小的原因进行了分析, 认为主要是由于粘土类地层的阻隔、地表人为硬化及地层的沉积压实, 尤其是差异性压实, 都会影响流场的畅通性, 阻碍地下水的垂向入渗及水平方向的补给, 从而会导致降水对地下水水位的影响程度被大大减弱。

关键词:北京平原; 北京“7·21”特大暴雨; 地下水位; 影响程度; 粘土类地层

中图分类号: P641.12

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)06-0042-05

1 引言

水位是地下水系统较为宏观的特征体现, 影响地下水位的因素较多, 包括气候天气、地层结构、人为抽水、农业灌溉、固体潮及地震波等^[1-3]。以往对地下水位同降水关系的认识较为粗浅, 一般多为对整个雨季对地下水位的影响认识, 而缺乏对单次降水对地下水位影响方面的相关研究, 人们当前对单次降水对地下水位的影响的认识较为模糊, 大多数人认为一旦发生降雨, 地下水位肯定会有所上涨。关于北京平原区的雨季与地下水位的关系方面的一般表述为^[4-5]: (1) 浅层水水位变化受降水和农业开采两方面的影响明显。一般 4~6 月份, 水位最低; 7~9 月份, 降水集中, 农业开采很少, 地下水位开始上升; 10~11 月份, 降水减少, 受农业秋季灌溉影响, 水位有所下降; 12 月~翌年 3 月, 农业基本不开采, 水位一般会有小幅上升; (2) 深层水与降水的关系更加不明显, 低水位一般在 7~9 月, 高水位

出现在 11 月~翌年 1 月的冬季, 主要受生活用水量的抽取影响。关于单次降水对地下水位的影响, 或许是因为一般较小降水所引起的水位变化不太明显而缺乏相关研究。北京“7.21”特大暴雨作为一次较明显的信号输入, 为我们研究地下水位对单次降水的响应提供了一次极佳的机会。

北京市地下水监测历史悠久, 拥有较为完善的监测体系, 目前平原区共有监测孔 600 眼左右, 其中分层监测孔 340 眼, 实行分层、自动监测, 监测精度、密度、自动化程度均较高。

研究区北京平原主要由永定河和潮白河两大冲洪积扇构成主体, 第四系沉积由山前到平原区一般依次为: 冲洪积扇顶部, 扇中部, 扇缘及冲洪积平原区。含水层在扇顶部为单一的卵砾石含水层; 扇中部为 2~3 层结构的砂卵砾石含水层; 扇缘及冲洪积平原区逐渐过渡到多层结构的粗、中砂及细砂、粉细砂。由上游至下游, 随着平均沉积粒径的逐渐减小, 粘土类地层层数增

收稿日期: 2013-05-20

基金项目: 北京市平原区地下水污染调查项目 (PXM2009-158305-074498)

作者简介: 刘元章 (1973-), 男, 山东临沂人, 博士, 主要从事水文地质及环境地质等方面的工作及研究。E-mail: yuanchangliu@163.com

多,总厚度增加,含水层的富水性也逐渐变差^[4]。

2 北京“7·21”特大暴雨概况

2012年7月21日,北京全市遭遇特大暴雨,强降雨一直持续近16h,全市降雨量分布如图1所示。全市平均降雨量170mm,城区平均降雨量215mm,房山、城近郊区、平谷和顺义平均雨量均在200mm以上,降雨量在100mm以上的面积占北京市总面积的86%以上,为新中国成立以来最大一次降雨过程。强降雨中心主要集中在西南部的房山、门头沟东部及石景山地区,顺义区东半部地区及平谷区北部也存在几处强降雨中心。最大点房山区河北镇为460mm,接近五百年一遇,城区最大点石景山模式口328mm,达到百年一遇;强降雨并引发了洪水暴发,局部洪水之巨历史罕见,拒马河最大洪峰流量达2500m³/s,北运河最大流量达1700m³/s。本次降雨总量之多、强度之大、历时之长、局部洪水之巨均为历史罕见^[6-8]。

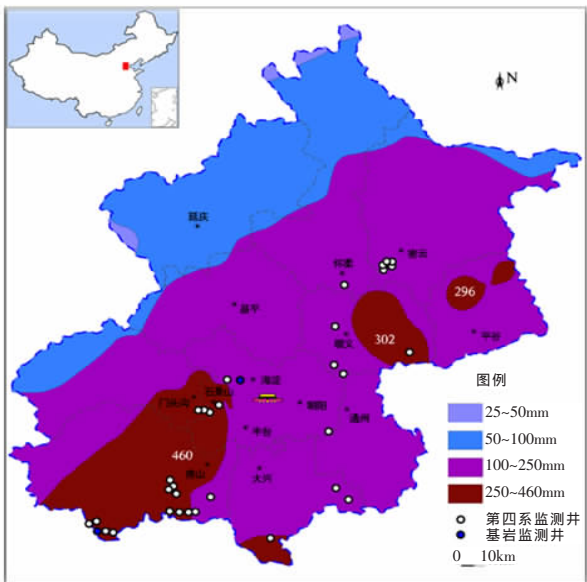


图1 北京“7·21”特大暴雨降雨量(2012年7月21日10时~22日06时,据北京市气象台)及水位明显上涨监测井分布图

Fig. 1 Rainfall distribution of the Beijing “7·21” heavy rain and the monitoring wells with obviously increased groundwater level

3 北京平原区地下水位响应明显的规律及成因分析

3.1 响应明显监测井的分布

根据北京平原区600多眼(含基岩井16眼)地下水监测井水位资料的分析,结合对以往正常年份水位变化曲线的对比分析,2012年北京“7·21”特大暴雨后

水位有明显上升的地点共有34处,其分布如图1和图2所示。

具有代表性的有明显响应监测点的水位变化过程如图3和图4所示,其中2011年作为常规对比年份。

3.2 分布规律分析

通过上述各点分布,可以发现有以下规律:

(1)北京“7·21”特大暴雨后水位有明显上升的地点共有34处监测井,占总监测井比例的6%左右,比例相对较低。基本全为较浅层的潜水井,另有基岩井2眼。反映出本区降水对地下水位的直接影响范围较小,深度较浅,总体而言影响程度并不明显。

(2)水位有明显响应的地点主要集中在大河的上游河道沿线区域,如潮白河、永定河、大石河和拒马河等,尤其是冲洪积扇顶部。扇顶部沉积粒径整体较粗,河道两侧地区浅层地层以卵砾石为主,渗透性好,上下游间的贯通性强。而且河道长度较长,汇水面积较大,使得补给效果明显。

(3)另外经分析,对单次降水响应明显的地区,一般是有较大洪水经过的区域,或周围地区有大面积的漫水,如上述上涨区域中以洪水重灾区的房山区拒马河、大石河沿线区域水位上涨最为明显,该地区地下水位平均上涨4~8m左右,即水量较大是水位明显上升的另一重要条件。这也能够解释为什么以往的降水过后地下水位体现一般都不明显,可能是因为水量不够大。位于密云县城潮白河道边的庄禾屯村自动监测井(M3003-A,井深55m)的水位变化情况可体现出这一特点,其中2010年作为常规对比年份(见图5)。

2011年6月23、24日曾发生较强降雨并曾引发“6·23”北京市区大堵车^[9](2011年6月23日密云站降水量为44.7mm,6月24日为12.1mm),从庄禾屯村监测井2011年变化曲线可以看出此时水位并未有明显的体现;2011年7月24~25日又发生该年内最大降雨^[10](2011年7月24日密云站为101.6mm,7月25日为71.2mm),同时河道上游的沙厂水库为了防洪从2011年7月25日1:20时起开始向下游河道大规模放水,水量平均为40m³/s,连续5d。从图5中可以看出本次该井水位有着较强的上涨;2012年7月21~22日强降雨后(2012年7月21日为157.6mm,7月22日为44.9mm)沙厂水库从2012年7月22日9:00开始也进行了泄洪放水,放水量为平均15m³/s,连续7d。从图5中可看出,本次水位也有明显上涨,但规模明显小于2011年7月。可见虽然本次降雨量大于2011年6月

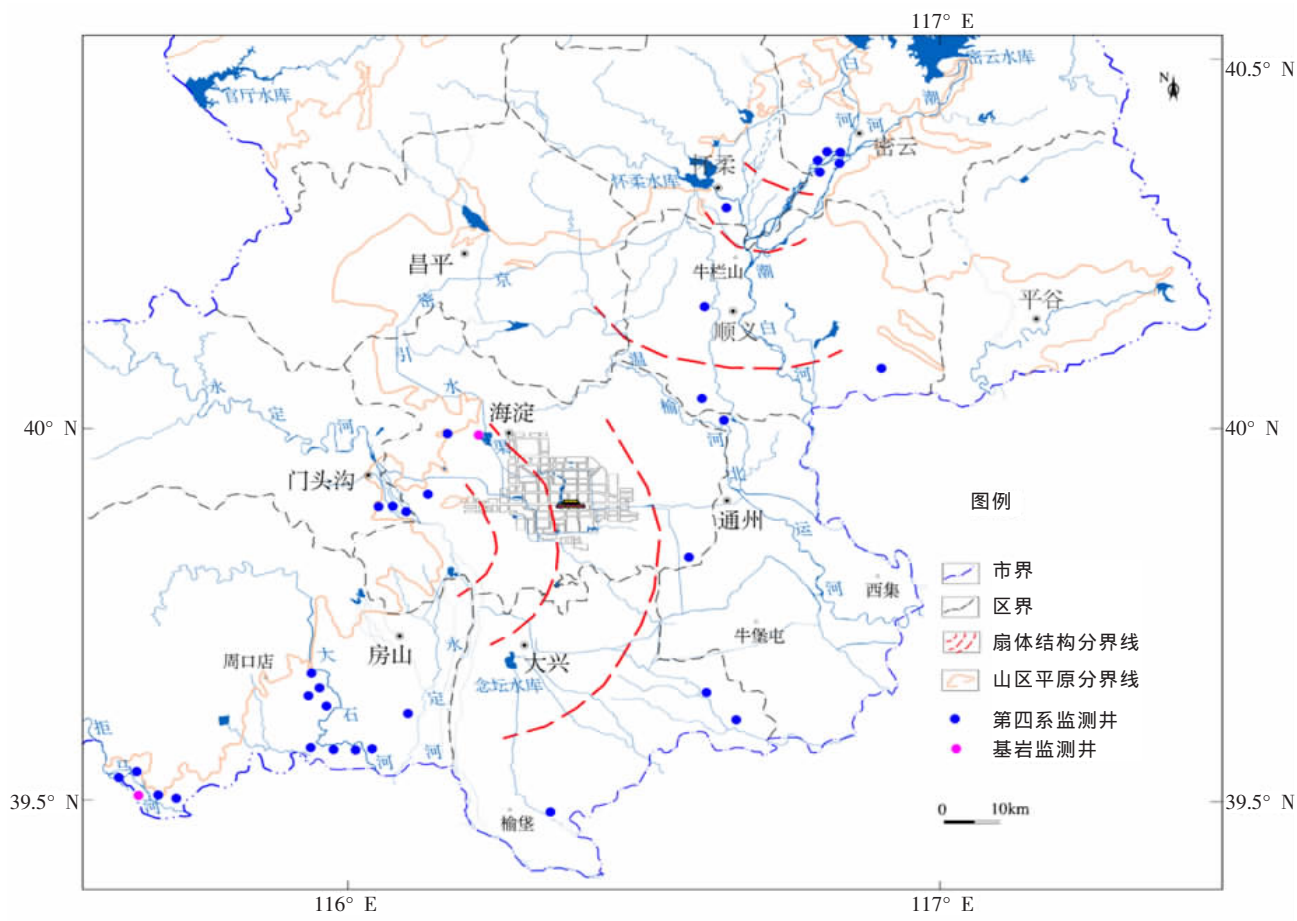


图 2 水位明显上涨监测井在水系图上的分布

Fig. 2 Distribution of the monitoring wells with obviously increased groundwater level in the river basin

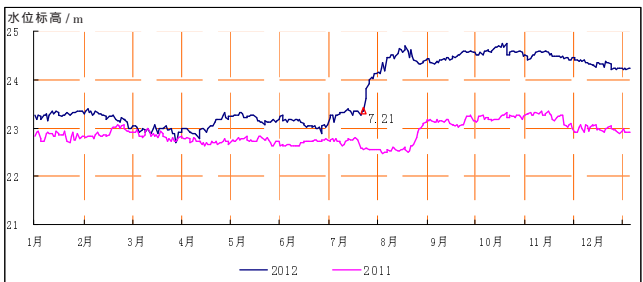


图 3 监测井 S1122-1A 水位变化曲线图(顺义区北法信村, 55m)

Fig. 3 Variation of the groundwater level at the S1122-1A monitoring well (Beifaxin Village, Shunyi District, 55m)

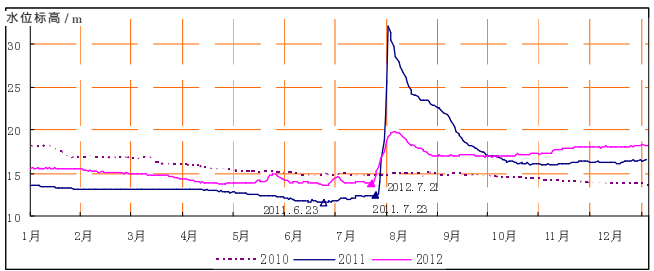


图 5 密云县庄屯村自动监测井水位变化曲线图(M3003-A, 井深 55m)

Fig. 5 Variation of the groundwater level at the monitoring well in the Zhuanghetun Village, Miyun District (M3003-A, 55m)

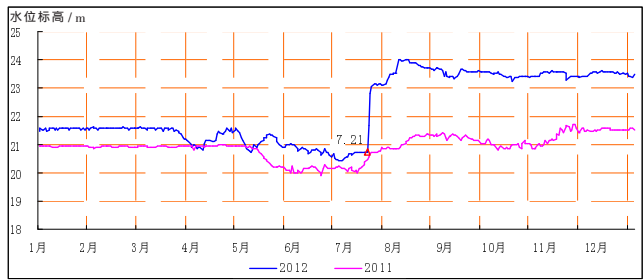


图 4 监测井 F111-1A 水位变化曲线图(房山区兴礼村, 38m)

Fig. 4 Variation of the groundwater level at the F111-1A monitoring well (Xingli Village, Fangshan District, 55m)

23~24 日,但放水量小于 2011 年 7 月,故水位上升程度较弱。从以上分析可以看出,水量的大小对水位的上涨有着明显的控制作用,较小规模的降水对地下水的影响一般不太明显或不太直接。

3.3 原因分析

出现上述水位变化特征的原因,应主要从以下 3 个方面加以分析:

(1)因为存在渗透系数较小的粘土类地层,使得垂向及水平方向的地下水径流速度受阻。

粘土类地层的渗透系数较小,以淤泥类土为例,渗透系数一般为 $10^{-6}\sim 10^{-8}\text{cm/s}$ ^[11],而纯粘土则小于 10^{-9}cm/s ^[12],压实的粘土层的渗透系数应该会更小^[13]。如按 10^{-7}cm/s 计,则1a的渗透量约为3cm,如有一个3m厚的粘土层的话,则需要100a才能完成渗透。而被厚层地层覆盖、压实的粘土层的渗透系数还会更小,可见具有很强的阻水效果。粘土类地层的存在往往会使得地下水在垂向上具有明显的分层性^[5],同时使得雨水的垂向入渗受阻。同时也会使得地下水在水平方向上会局部受阻,从而引起水平径流缓慢,水力联系变差。因为陆相沉积非常复杂多变,粘土类沉积在水平方向会不时出现。

粘土类地层在本区广泛存在,即使是在沉积粒径较大的山前冲洪积扇的扇顶地区,特别是现在经人类多年的耕作影响后,地表多分布有含粘土类比例较高的土壤层。大河河道两侧地区的渗透性相对较好,故易受到降水的影响。

(2)人类建筑如楼房、道路等所引起的地表硬化也会较程度上影响到雨水的入渗量。据研究,在2007年时北京市六环内不透水面积已大致占到总面积的46.57%^[14],这会大大降低雨水对当地地下水的入渗补给。

(3)地层的沉积压实作用也会使得地层的垂向及水平方向水力贯通性变差。地层的压实作用是使得垂向及水平径流会变不畅的另外一个重要的原因。地下含水层多由各期的古河道砂体组成,主河道部分地层虽然贯通性好,但是在上覆地层的不断加积压作用下通透性也会大大变小,甚至会完全阻断。就如同软管里的水流,如果在水管施加外部压力(如放上一块石头),水管将会被压扁,水流减小,如果外部压力足够大,水流可能会完全停止。上覆地层在沉积过程中不断沉积压实,会使得含水层的通透性变小。另外,地层在沉积压实过程中总会有差异性压实,即有些地方压实得厉害,这些地方便会形成“瓶颈”或完全封堵^[5,15-17],从而使得含水层中的侧向流动受到阻碍而不畅通,即使是在相对较浅的深度上也会如此。上述原因会使得水平方向的水流不畅,不同地点的水力联系往往会较差,从而使得某一地点的地下水并不一定会及时接受到上游或周边地区的地下水的补给,因此水位有明显反应的地点便具有一定的局限性。

以上3个方面的原因会导致垂直及水平方向的补给往往会受阻,而使得降水不能及时入渗补给,从而会导致降水对地下水位的影响程度会被大大减弱。

4 结论

(1)根据北京平原区600多个地下水监测井水位动态资料的分析,2012年北京“7·21”特大暴雨后水位有明显上升的共有34处,占6%左右,比例较小,范围相对集中,且基本全为较浅的潜水井,反映出本次大降水对本区地下水位的直接影响程度较小。

(2)水位有明显响应的地点主要集中在大河的上游河道附近地区,如潮白河、永定河、大石河和拒马河等。

(3)降水后地下水位有较明显的上升一般所需的基本条件有两个:一是位于地层渗透性较好的地区,如大河河道两侧地区;二是水量要达到相当大的规模,比如周围地区大面积漫水。

(4)影响较小的原因主要包括渗透系数较小的粘土类地层的阻水作用,地表人为硬化,及地层的沉积压实作用尤其是差异性压实作用。这些因素都会影响流场的畅通性,阻碍地下水的垂向及水平方向的补给,从而导致降水对地下水位的影响被大大减弱。

参考文献:

- [1] 王大纯, 张人权, 史毅虹, 等. 水文地质学基础 [M]. 北京: 地质出版社, 1995:96-102. (WANG Dachun, ZHANG Renquan, SHI Yihong, et al. Introduction to Hydrogeology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995:96-102.(in Chinese))
- [2] 晏锐. 影响井水位变化的几种因素研究[D]. 中国地震局地震预测研究所, 2008.6:23-39. (YAN Rui. Study on the Influencing Factors of the Groundwater [D]. Institute of Earthquake Prediction, China Seismological Bureau, 2008.6:23-39. (in Chinese))
- [3] 费宇红, 张兆吉, 张凤娥, 等. 华北平原地下水位动态变化影响因素分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005,33(5):538-541. (FEI Yuhong, ZHANG Zhaoji, ZHANG Feng-e, et al. Factors affecting dynamic variation of groundwater level in North China plain [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2005,35 (5): 538-541. (in Chinese))
- [4] 谢振华, 许苗娟, 邢国章, 等. 北京地下水 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2008:325-348. (XIE Zhenhua, XU Miaojuan, XING Guozhang, et al. Groundwater of Beijing [M]. Beijing: China Land Press, 2008:325-348. (in Chinese))
- [5] Liu Yuanzhang, Wu Qiang, Lin Pei, et al. Restudy of the storage and migration model of the quaternary groundwater in Beijing plain area [J]. Science China Earth Sciences, 2012, 55(7): 1147-1158.
- [6] 北京日报.“7·21”特大自然灾害波及广损失严重[EB/OL]. http://bjrb.bjd.com.cn/html/2012-07/25/content_115490.htm, 2012-07-25. (Beijing Daily. The catastrophic natural disaster occurred in 21th July led to spread and serious losses [EB/OL]. http://bjrb.bjd.com.cn/html/2012-07/25/content_115490.htm, 2012-07-25. (in Chinese))

- [7] Xinhua News Agency. Heaviest rain in 6 decades leaves 37 dead in Beijing. http://news.xinhuanet.com/english/video/2012-07/23/c_131732832.htm. 2012-07-23.
- [8] BBC. Beijing chaos after record floods in Chinese capital [EB/OL]. <http://www.bbc.co.uk/news/world-asia-china-18942984>, 2012-07-23.
- [9] Xinhua News Agency. Torrential rains hit Beijing, disrupt traffic. http://news.xinhuanet.com/english2010/china/2011-06/23/c_13946540.htm, 2011-07-23.
- [10] 新华网. 北京连续2天普降暴雨 最大降水量达罕见243毫米[EB/OL]. http://news.xinhuanet.com/2011-07/25/c_131008078_2.htm. 2011-07-25. (Xinhua News Agency. Two-day stormrain occurred in Beijing with the maximum rainfall of 243 mm [EB/OL]. (in Chinese))
- [11] 李智毅, 杨裕云. 工程地质学概论[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1994: 43. (LI Zhiyi, YANG Yuyun. Engineering Geology Introduction [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1994: 43. (in Chinese))
- [12] 中国大百科全书总编辑委员会《土木工程》编辑委员会. 中国大百科全书·土木工程卷[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1987: 579. (Editorial Committee of Civil Engineering Volume of the Chinese Encyclopedia. Chinese Encyclopedia·Civil Engineering[M]. Beijing: Chinese Encyclopedia Press, 1987: 579. (in Chinese))
- [13] Neuzil, C. How permeable are clays and shales [J]. Water Resource Research, 1994, 30(2): 145-150.
- [14] 袁超. 基于光谱混合分解模型的城市不透水面遥感估算方法研究—以北京为例 [D]. 中南大学, 2008.11: 36-45. (YUAN Chao. Remote Sensing Estimation Method of Urban Impervious Surface Area Based on the Spectral Mixture Analysis Model: Taking Beijing as an Example [D]. Central South University, 2008.11: 36-45. (in Chinese))
- [15] Mazor E. Stagnant aquifer concept Part 1. Large-scale artesian systems—Great Artesian Basin, Australia [J]. Journal of Hydrology, 1995, 173(1-4): 219-240.
- [16] Mazor E, Gilad D, Fridman V. Stagnant aquifer concept Part 2. Small scale artesian systems—Hazeva, Dead Sea Rift Valley, Israel [J]. Journal of Hydrology, 1995, 173(1-4): 241-261.
- [17] Fridman V, Mazor E, Becker A, et al. Stagnant aquifer concept Part 3. Stagnant miniaquifers in the stage of formation, Makhtesh Ramon, Israel [J]. Journal of Hydrology, 1995, 173(1-4): 263-282.

Impact of Individual Rainfall Event on Groundwater Levels in Beijing Plain: Taking “7·21 Heavy Rain” as Study Case

LIU Yuanzhang¹, WU Qiang², XING Liting³, LIN Pei¹, HAN Zheng¹, LEI Kunchao¹

(1. Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Beijing 100195, China;

2. Institute of Mine Water Disaster Prevention and Water Resources Management, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

3. College of Resource and Environment, University of Jinan, Jinan 250022, China)

Abstract: The analysis of the groundwater levels of more than 600 monitoring wells in Beijing Plain shows that 34 monitoring wells have an obvious response to the heavy rain occurred on 21 July, 2012, accounting for about 6% of the total. According to analysis of the 34 monitoring wells, most of them are located along the upstream channels of the big rivers where the permeability of strata is much better. It holds that an occurrence of diffuse water of a large area, that is another important factor for an obvious response of the groundwater levels. It also gives an analysis of the reasons of the small influence of the single rainfall, and holds that the blocking effects of the clay type strata, surface hardening and the compaction of the strata during the sedimentary process, especially the differential compaction, are the main reasons. Because these all could weaken the permeability both in vertical and horizontal, the impact of the rainfall on groundwater level would be greatly reduced.

Key words: Beijing Plain; “7·21” heavy rain; groundwater level; influence degree; clay type strata