

## 长春新区地下水动态特征及差异性分析

孙岐发<sup>1</sup>, 孙茁桢<sup>2</sup>, 田 辉<sup>1</sup>, 郭晓东<sup>1</sup>, 于慧明<sup>1</sup>, 李旭光<sup>1</sup>, 李 霄<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034; 2. 沈阳师范大学 国际商学院, 辽宁 沈阳 110034

**摘 要:** 为了进一步查明长春新区水文地质条件, 掌握地下水动态规律, 选取饮马河流域长春新区开展研究. 利用 2016~2018 年地下水观测数据, 通过地下水动态分析、衬度系数方差分析、相关性分析, 认为长春新区地下水动态特征主要为入渗-蒸发型及入渗-开采型, 地下水主要接受降水补给, 水位埋深受降雨和人为开采的双重影响; 地下水水位埋深具有明显的空间分异特征; 地下水埋深与降水量呈明显的负相关, 地下水埋深与降水量的相关具有差异性.

**关键词:** 地下水; 动态分析; 衬度系数方差分析; 相关分析; 长春市

开放科学标志码(OSID):



DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2020.04.010

## DYNAMIC CHARACTERISTICS AND DIFFERENCE ANALYSIS OF THE GROUNDWATER IN CHANGCHUN NEW DISTRICT

SUN Qi-fa<sup>1</sup>, SUN Zhuo-an<sup>2</sup>, TIAN Hui<sup>1</sup>, GUO Xiao-dong<sup>1</sup>, YU Hui-ming<sup>1</sup>, LI Xu-guang<sup>1</sup>, LI Xiao<sup>1</sup>

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China;

2. School of International Business, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China

**Abstract:** To further identify the hydrogeological conditions and find the dynamic rule of groundwater of the Changchun New District in Yinma River Basin, the dynamic analysis, contrast coefficient variance analysis and correlation analysis are conducted on the basis of observation data of groundwater during 2016–2018. It is considered that the dynamic characteristics of groundwater are mainly infiltration-evaporation type and infiltration-exploitation type. Groundwater is mainly replenished by precipitation. The water level is affected by both rainfall and mining, with obvious spatial variation. There are notable yet different negative correlations between the groundwater depth and precipitation.

**Key words:** groundwater; dynamic analysis; variance analysis of contrast coefficient; correlation analysis; Changchun City

### 0 前言

地下水动态研究是为了进一步查明研究区水文地质条件, 特别是地下水的补给、径流、排泄条件, 掌握地下水动态规律, 为地下水资源评价、科学管理及环境地质问题的研究和防治提供科学依据<sup>[1-2]</sup>. 长春是严重缺水的城市, 研究长春新区地下水动态特征及差异性

对未来长春新区科学发展、生态保护意义重大<sup>[3-4]</sup>. 许多学者对不同区域的地下水动态特征进行过深入研究<sup>[2, 5]</sup>, 有的学者对地下水变化规律和影响因素进行了分析<sup>[6-11]</sup>, 有的学者对过度开采地下水引起的降落漏斗及地面沉降进行了研究<sup>[10-12]</sup>, 有的学者对地下水开采引起的环境问题进行了探讨<sup>[13]</sup>, 这些研究对本研

收稿日期: 2020-06-09; 修回日期: 2020-07-02. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局地调科研项目“长吉经济圈地质环境综合调查”(DD20160265).

作者简介: 孙岐发(1966—), 男, 博士, 教授级高工, 主要从事水文地质、工程地质和环境地质调查研究工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号, E-mail//152468435@qq.com

究具有重要的启示. 目前, 对地下水动态的研究方法主要集中在 R/S 分析法(也称重标极差分析法)<sup>[14]</sup>、层次分析法<sup>[12]</sup>、SPSS 统计分析<sup>[15]</sup>、地下水动态变化分析、衬度系数方差分析、相关性分析<sup>[16]</sup>、Visual Modflow 地下水模拟软件分析法等<sup>[17]</sup>, 本文主要采用衬度系数方差分析和相关性分析对长春新区地下水动态特征及其差异性进行分析, 是长春新区地下水动态的专门性研究成果.

## 1 研究区概况

长春新区是 2016 年国务院在长东北经济区的基础上批准的国家级新区, 包括朝阳区的双德乡、宽城区的奋进乡、二道区的龙嘉镇、九台区的西营城街道, 规划控制面积 499 km<sup>2</sup>. 长春新区分布在长春市外围的西南和东北两面, 地理坐标: 东经 125°12'~125°53'; 北纬 43°40'~44°11'. 地势东南高, 西北低. 按成因类型、形态特征, 分为构造剥蚀、剥蚀堆积、堆积 3 个地貌成因类型和大黑山丘陵、黄土波状台地、一级阶地及漫滩 3 个形态单元. 其中黄土波状台地分布最广, 其次为一级阶地及漫滩. 该区属于北温带大陆性季风气候, 春季干旱少雨, 夏季炎热多雨, 秋季凉爽早霜, 冬季寒冷漫长. 全区降水多年平均为 576.7 mm, 降水主要集中在 6~9 月份, 占全年降水的 60%~80%. 全区蒸发量 1741 mm, 是降水的 3 倍. 较大的水系为雾开河、饮马河与伊通河. 石头口门水库位于研究区东北部, 库区有一小部分位于研究区内. 石头口门水库位于饮马河中游, 集水面积 4944 km<sup>2</sup>, 库容量为 7.02×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>.

监测井布设在第四系孔隙含水层亚系统潜水, 主要是更新统、全新统冲积砂、砂砾石含水岩组(Qh). 含水层富水性差异较大: 饮马河河谷, 含水层颗粒粗或厚度大, 富水性强, 单井涌水量多为 1000~3000 m<sup>3</sup>/d 或大于 3000 m<sup>3</sup>/d; 伊通河河谷, 含水层颗粒细、厚度薄, 富水性弱, 单井涌水量多为 100~1000 m<sup>3</sup>/d 或小于 100 m<sup>3</sup>/d. 水化学类型主要为矿化度小于 1 g/L 的重碳酸钙(或钙钠)型水, 局部有重碳酸硫酸型水.

## 2 数据选取及研究方法

### 2.1 数据获取

选取 2016~2018 年长吉经济圈项目 7 口观测井

的监测数据, 及吉林省水资源公报降水数据、吉林省气候公报降水数据.

### 2.2 衬度系数方差分析

在数理统计中, 方差用于描述随机变量对于数学期望值的偏离程度. 对于离散型变量, 方差表示为:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (1)$$

其中:  $\sigma^2$ —样本方差;  $n$ —样本个数;  $X_i$ —样本值;  $\bar{X}$ —样本平均值.

一组变量的方差越大, 表示该变量越离散, 波动越大. 一般来讲, 在地下水中, 人为输入物质在空间上具有离散程度高、波动性大的特征, 因此用方差研究地下水组分, 可以确定人类活动对地下水影响的指示性指标.

为了进行多变量对比, 先对每个变量求其衬度系数  $v$ ,  $v = X_i / \bar{X}$ , 然后对每个变量的衬度系数求其方差. 这样就将每个变量转化为均值为 1 的另一个变量, 将均值不等的多变量转化为均值相等的多变量, 以进行方差的比较.

### 2.3 相关性分析

考虑到影响地下水动态的要素除人为因素外, 还受降水影响, 因此采用 SPSS19 对降水 and 水位进行 Spearman 等级相关系数分析. 先计算各变量值的秩, 然后通过秩的计算得到 Spearman 等级相关系数  $R$ :

$$R = 1 - \sum_{i=1}^n D_i^2 \frac{6}{n(n^2-1)} \quad (2)$$

其中  $\sum_{i=1}^n D_i^2 = \sum_{i=1}^n (U_i - V_i)^2$

式中,  $D_i$  为降水、水位两变量每一对样本的等级之差;  $U_i$ 、 $V_i$  分别为两变量排序后的秩.

Spearman 等级相关系数  $R$  的取值标准见表 1.

表 1 Spearman 等级相关系数取值标准  
Table 1 Criteria of Spearman rank correlation coefficient values

R	[0, 0.3)	[0.3, 0.5)	[0.5, 0.8)	[0.8, 1]
相关性	极弱相关	低度相关	显著相关	高度相关

## 3 地下水动态特征

长春新区逐年降水量如表 2.

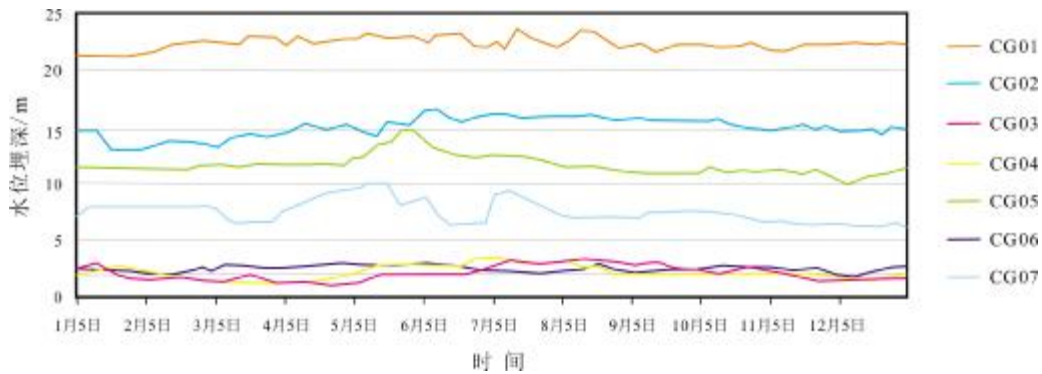


图 1 长春新区动态监测井水位埋深折线图

Fig. 1 Curves for the water depth of dynamic monitoring well in Changchun New District

表 2 长春新区逐年降水量统计表

Table 2 Statistics of annual precipitation in Changchun New District

年度	2016	2017	2018
降雨量/mm	775.1	504.3	507
总水量/10 <sup>8</sup> t	159.4	103.7	105
较上年增减/%	0.3	-34.9	0.5
水量丰枯	丰水年份	偏枯水年份	平水年

2). 长春地区 6~8 月降水最集中, 不同年份也会有所不同, 但总体规律不变, 只是集中降水时间有时前移 1 个月, 有时延后 1 个月.

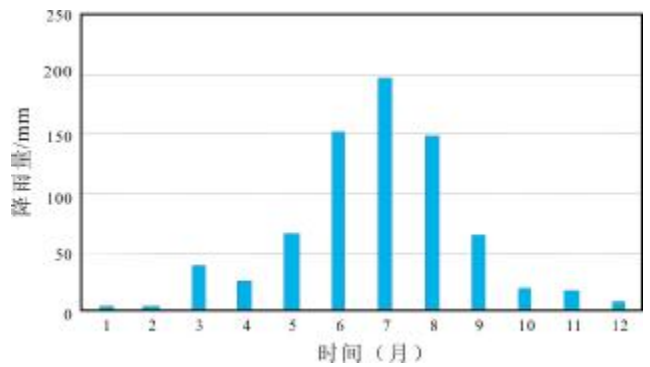


图 2 长春新区降水变化趋势

Fig. 2 Trend of precipitation changes in Changchun New District

3.1 长春新区年内地下水动态特征

选取 2017 年一个完整年的数据进行分析, 结果如图 1.

长春新区降水量与全国大部分地区类似, 5~9 月为丰水期, 12~2 月为枯水期, 其余时间为平水期(图

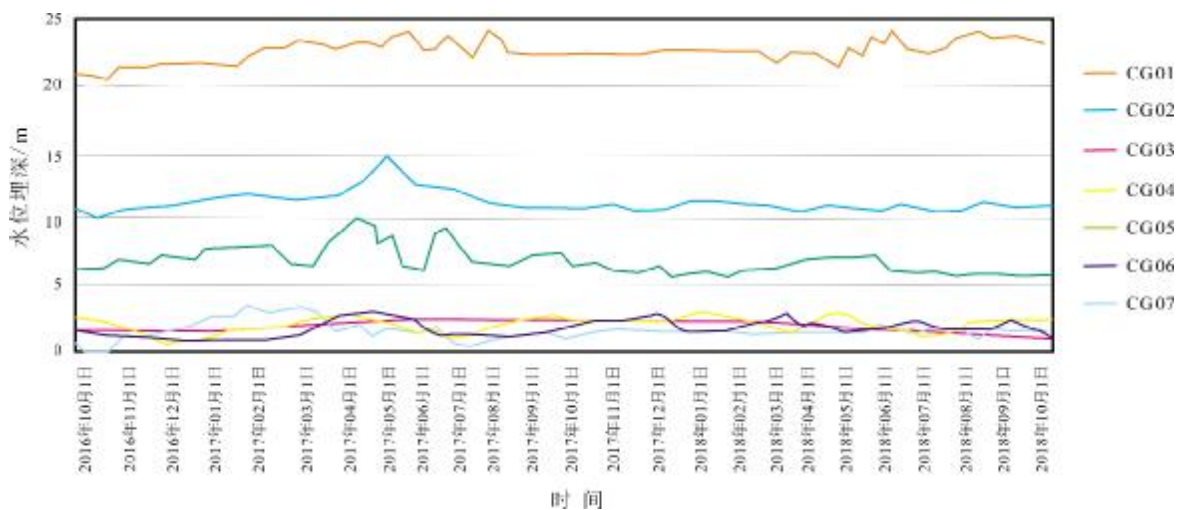


图 3 长春新区逐年水位埋深折线图

Fig. 3 Curves of annual water depth in Changchun New District

从图 1 和图 2 可知,由于枯水期降水量小,水位埋深逐渐增加,直到雨季来临前水位下降到最深;随着雨季的到来,地下水位开始升高,水位埋深减小;直到雨季结束,地下水位又开始逐渐降低,水位埋深增加. 同时水位变化幅度随着水位埋深的不同而不同,水位埋深越浅受降水影响变化就越明显,随着水位埋深的增加受降水影响的幅度会逐渐减小.

由于长春新区 2017 年是偏枯水年,全年平均降水量为 504.3 mm,比常年(595.9 mm)少近 20%;冬季(2016 年 12 月至 2017 年 2 月)降水比常年偏多 1 倍,秋季降水偏少 30%,春、夏季降水接近常年. 所以,从年降水折线图上来看,变化幅度较小,但丰水期水位偏高、枯水期水位偏低的总体规律不变.

3.2 长春新区年际地下水动态特征

将 2016~2018 年各监测井水位监测数据做图,如图 3.

长春新区 2016~2018 年降水量如图 4.

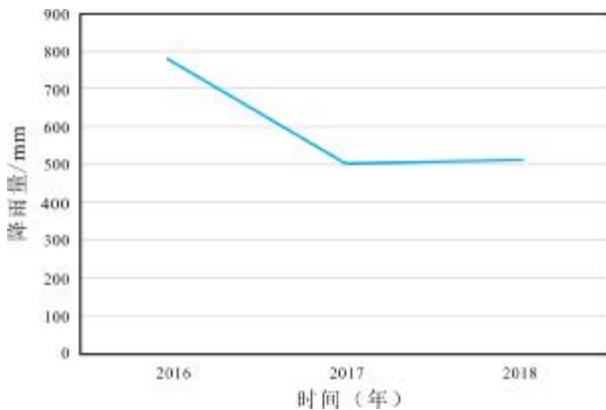


图 4 长春新区逐年降水量折线图

Fig. 4 Curves of annual precipitation in Changchun New District

由图 3 和图 4 对比可以看出,2016 年各井水位埋深较浅,2017 和 2018 年水位埋深较大,主要原因是 2016 年是丰水年,水量充沛,2017 年是偏枯水年,2018 年是平水年,两年的降水量接近. 在一年的不同时期水位埋深也有所不同,丰水期水位埋深变浅,枯水期水位埋深增加. 随着各观测井水位埋深不同,水位的变化幅度也不尽相同,水位较浅的观测井受降水影响水位变化更加明显.

3.3 衬度系数方差分析

根据衬度系数方差分析公式对长春新区 7 个观测井进行统计分析,结果见表 3. 由表 3 可知,CG05 的衬

表 3 空间序列衬度系数方差表

Table 3 Contrast coefficient variances of spatial sequence

监测孔号	CG01	CG02	CG05	CG07	CG04	CG03	CG06
方差( $\sigma^2$ )	0.067	0.083	0.133	0.006	0.006	0.002	0.002

度系数方差为 0.133; CG01、CG02 的衬度系数方差分别为 0.067、0.083; CG07、CG04、CG03 和 CG06 的衬度系数方差分别为 0.006、0.006、0.002 和 0.002. 说明长春新区地下水水位埋深受人为开采因素影响呈现不同的波动性,具有明显的空间分异特征.

3.4 相关性分析

长春市地处中国东北松辽平原腹地,市区海拔在 250~350 m 之间,地势平坦开阔. 地表水侧向流入补给地下水的流量较少,因此大气降水是影响区域地下水埋深的主要因素. 采用 Spearman 相关系数分析方法分析水位埋深与降水量的相关性,结果见表 4. 由表 4 可知,长春市地下水埋深与降水量呈明显的负相关,即随着降水量的增大,地下水埋深逐渐减小. 其中,CG04 观测井属极弱相关,占总观测井的 14.3%; CG01、CG03 这 2 个观测井属显著相关,占总观测井的 28.6%; CG02、CG05、CG06、CG07 这 4 个观测井属高度相关,占总观测井的 57.1%. 可以看出长春新区地下水水位埋深与降水量的相关性呈现明显的差异性.

表 4 降水量与地下水水位变动相关性统计表

Table 4 Statistics of correlation between precipitation and groundwater level fluctuation

	降水量	CG01	CG02	CG05	CG07	CG04	CG03	CG06
降水量	1							
CG01	-0.75	1						
CG02	-0.96	0.9	1					
CG05	-0.94	0.48	0.81	1				
CG07	-0.99	0.67	0.92	0.97	1			
CG04	-0.14	0.76	0.41	-0.2	0.03	1		
CG03	-0.65	0.99	0.84	0.36	0.56	0.84	1	
CG06	-0.998*	0.71	0.94	0.96	0.999*	0.08	0.6	1

\* 表示相关性强.

4 结论

1) 长春新区地下水动态主要为入渗-蒸发型及入渗-开采型,地下水主要受降水补给,水位埋深受降雨

和人为开采的双重影响。

2)长春新区地下水水位埋深呈现不同的波动性,具有明显的空间分异特征。地下水埋深与降水量呈明显的负相关,地下水埋深与降水量的相关具有差异性。

### 参考文献:

- [1]孟凡傲,梁秀娟,郝洋,等.洮儿河扇形地地下水动态特征分析[J].节水灌溉,2016,0(4):65-68.
- [2]李凯,卞玉梅,杨静,等.下辽河平原地下水多年动态变化特征分析[J].地质与资源,2009,18(2):140-143.
- [3]曹成立,孟秀敬.长春市浅层地下水动态监测分析[J].吉林水利,2010,26(6):58-61.
- [4]曹成立.长春市地下水动态研究[J].世界地质,2010,29(3):479-484.
- [5]李鸿雁,贾丽娜,姚永亮,等.黑龙江建三江分局地区地下水动态特征分析[J].节水灌溉,2013,38(6):14-17.
- [6]田辉,金洪涛,孙岐发,等.辽河三角洲地下潜水现状及变化规律研究[J].地质与资源,2017,26(3):290-295.
- [7]万思成,李琼芳,虞美秀,等.北京市平原地区地下水动态变化规律及影响因素分析[J].水电能源科学,2013,31(12):46-50.
- [8]张梅桂,黄永明,蔡贺.松嫩平原地下水位动态影响因素分析[J].地质与资源,2016,25(6):558-562.
- [9]张真真,卞建民,高月.大安市地下水动态变化规律及影响因素分析[J].湖北农业科学,2015,54(14):3379-3383.
- [10]孙岐发,田辉,张扩.下辽河平原地区历史地面沉降情况研究[J].地质与资源,2014,23(5):450-452.
- [11]田辉,郭晓东,都基众,等.大庆市地下水降落漏斗现状分析[J].地质与资源,2011,20(5):339-342.
- [12]田辉,金洪涛,孙岐发,等.基于层次分析法的盘锦湿地生态评价[J].地质与资源,2018,27(3):268-271,287.
- [13]田辉,郭晓东,刘强,等.大庆市地下水开采及环境地质问题探讨[J].地质与资源,2012,21(1):139-142.
- [14]黄勇,周志芳,王锦国,等.R/S分析法在地下水动态分析中的应用[J].河海大学学报(自然科学版),2002,30(1):83-87.
- [15]杜强,贾丽艳.SPSS统计分析——从入门到精通[M].北京:人民邮电出版社,2011:33-136.
- [16]王鸽,肖长来,梁秀娟,等.挠力河流域地下水动态特征分析及预测[J].水电能源科学,2017,35(12):144-147.
- [17]郭晓东,田辉,方樟.Visual Modflow在松嫩平原地下水动态调查评价中的应用[J].地质与资源,2013,22(4):333-336.
- [3]李长华,吴燕清,王世成,等.大兴安岭中南段火山岩型铀矿成矿条件及远景预测[J].铀矿地质,2018,34(6):329-336.
- [4]潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等.中国大地构造单元划分[J].中国地质,2009,36(1):1-28.
- [5]王忠,朱洪森.大兴安岭中南段中生代火山岩特征及演化[J].中国区域地质,1999,18(4):351-358,372.
- [6]黄净白,黄世杰.中国铀资源区域成矿特征[J].铀矿地质,2005,21(3):129-138.
- [7]陈良,张达,狄永军,等.大兴安岭中南段区域成矿规律初步研究[J].地质找矿论丛,2009,24(4):267-271.
- [8]邵积东,王守光,赵文涛,等.大兴安岭地区成矿地质特征及找矿前景分析[J].地质与资源,2007,16(4):252-256,262.
- [9]邵军,李秀荣,赵方树,等.大兴安岭北部地区多金属找矿急需解决的几个问题[J].地质与资源,2004,13(3):169-171,183.
- [10]于宝山,赵忠华,田万文.东北地区铀矿床类型空间变化的地质内涵及对铀矿找矿问题的思考[J].世界核地质科学,2007,24(4):187-193.
- [11]赵忠华,彭志东,张学元,等.中国北东部火山岩型铀矿成矿地质特征及找矿方向[J].铀矿地质,2007,23(3):129-137,155.
- [12]于百川.我国航空放射性测量的进展[J].铀矿地质,1990,6(2):99-103,119.
- [13]汪远志,李兵海,张俊伟,等.全国铀矿资源潜力评价航放数据处理与研究[J].铀矿地质,2012,28(6):361-369.
- [14]张恩,段明,卢辉雄,等.航空伽玛能谱数据在突泉地区铀成矿预测中的应用[J].矿产勘查,2019,10(7):1624-1631.
- [15]钟延秋,徐庆霞,谷社峰.航空放射性测量资料在成矿远景预测中的应用——以海拉尔盆地砂岩型铀矿为例[J].地质与资源,2010,19(4):319-324.
- [16]杨海,赵廷严,李诗珺,等.秦岭华阳川地区航空伽玛能谱异常特征及找矿方向[J].中国地质,2019,46(3):651-661.
- [17]卢辉雄,张恩,冯博,等.内蒙古巴升河地区航空伽玛能谱异常特征及其铀成矿潜力分析[J].物探与化探,2020,44(1):59-65.
- [18]柴璐,周永恒,鲍庆中,等.俄罗斯斯特列里措夫火山岩型铀矿床地质特征及启示[J].地质与资源,2013,22(3):250-254.
- [19]张鹏鹏,李俊建,党智财,等.蒙古国道尔脑德铀矿床地质特征及找矿方向[J].黄金科学技术,2018,26(1):9-16.
- [20]吴涛涛,周永恒,陈聪,等.蒙古国铀矿地质特征及资源潜力[J].地质与勘探,2018,54(6):1247-1255.
- [21]裴承凯,黄贤芳,仇宝聚.蒙古铀资源简述[J].世界核地质科学,2007,24(2):88-95.
- [22]方锡珩.相山铀矿田与斯特列利措夫铀矿田特征对比[J].铀矿地质,2012,28(5):265-272.

(上接第 334 页 /Continued from Page 334)