

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20210080

# 西辽河平原区地下水埋深变化趋势与超采分析

严聆嘉<sup>1</sup>, 何鑫<sup>1</sup>, 陆垂裕<sup>1</sup>, 刘建祥<sup>2</sup>, 马飞华<sup>3</sup>, 李泽鹏<sup>1</sup>

(1.中国水利水电科学研究院, 北京 100038;

2.水利部松辽水利委员会, 吉林 长春 220100; 3.通辽市水务局, 内蒙古 通辽 028099)

**摘要:** 内蒙古西辽河流域是我国重要的粮食生产基地, 近年来种植面积无序扩张使地下水超采问题日益突出。为合理管控地下水资源, 通过收集 1990~2019 年西辽河平原区的地下水埋深监测站信息, 利用水位动态法划分地下水超采区、疏干体积法推算地下水超采量。结果表明: (1) 区域地下水位呈不同程度的下降趋势, 且均通过显著性检验; (2) 一般超采区占西辽河平原区面积的 53.69%, 严重超采区占平原区面积的 0.68%; (3) 2019 年通辽市境内地下水超采量  $6.25 \times 10^8 \text{m}^3$ 。通过地下水位年变差特征值法对西辽河平原典型区的地下水超采成因与治理难度进行预判分析, 研究结果为西辽河流域“量水而行”综合治理提供科学依据。

**关键词:** 西辽河平原区; 地下水埋深; 地下水超采; 水位动态法; 疏干体积法

**中图分类号:** TV213:P641

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0852(2021)06-0096-07

## 0 引言

在我国北方干旱半干旱气候区, 近年随着气候变化、经济社会发展及人口增加, 水资源不稳定性 and 供需矛盾日益突出, 地表水资源严重紧缺, 地下水资源逐渐成为人们赖以生存的供水水源<sup>[1]</sup>。西辽河流域是东北地区最干旱少雨的区域之一<sup>[2]</sup>, 其社会经济和农业生产在内蒙古自治区均占有重要地位。近年来, 流域水资源需求进一步加大, 特别是玉米等农作物种植的无序扩张加之降水与上游来水减少, 使地下水供水占比持续增加, 不合理开发利用造成地下水过量开采问题日益凸现<sup>[3]</sup>。内蒙古西辽河流域水资源衰减问题已引起中央领导的高度关注, 为解决当地水资源紧缺、生态恶化的问题, 对其做出了“量水而行, 以水定需”的重要战略部署<sup>[4]</sup>。本文从西辽河平原区地下水埋深变化规律入手, 通过水位动态法对地下水超采区进行划分、疏干体积法对地下水超采量进行评价, 并以地下水位年变

差特征值作为指标对典型区地下水超采状况进行验证。通过对西辽河平原区地下水超采现状的分析研究, 探讨其超采程度与治理对策, 可为该区域“量水而行, 以水定需”科学管控、地下水资源的可持续开发利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

内蒙古西辽河流域位于内蒙古自治区东部辽河上游<sup>[5]</sup>, 面积  $12.7 \times 10^4 \text{km}^2$ 。流域内 40.8% 为平原区, 59.2% 为山丘区, 其中赤峰和通辽两市面积占流域面积的 97.5%。流域内属中温带半干旱季风气候, 多年平均气温  $5.0 \sim 7.0^\circ\text{C}$ , 降水 350~400mm, 且 70% 以上集中于 6 月、7 月、8 月三个月, 年平均蒸发能力  $1\,700 \sim 2\,000 \text{mm}$ <sup>[6]</sup>, 局部地区地表水资源相对不足, 地下水已成为当地工农牧业和居民生活用水的主要供水水源<sup>[7]</sup>。西辽河平原区涉及通辽市的七个旗(县、区)和赤峰市的四个旗

收稿日期: 2021-02-09

基金项目: 黑龙江省应用技术与开发计划项目(GA19C005)

作者简介: 严聆嘉(1992—), 女, 河南郑州人, 工程师, 博士在读, 主要研究方向为流域水循环及数值模拟。E-mail: YLJ\_cherry426@126.com

通信作者: 何鑫(1982—), 男, 北京人, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为地下水数值模拟。E-mail: hex@iwhr.com



化的气候影响因素,为地下水的治理提供参考。具体分析步骤如下:

(1)旗(县、区)丰、平、枯年份降水量通过降水频率确定。本文用于确定参考降水量频率的年份系列为1956~2000年。通过皮尔逊Ⅲ型曲线进行适配,分别对应参考降水频率曲线25%、50%、75%时的降水量,同时选取37.5%和62.5%的降水量为下一步计算使用<sup>[15]</sup>。

(2)特征值计算的时间范围是2000~2019年。根据各年份的降水量进行丰、平、枯年份划分。具体为:

$$\begin{cases} \text{丰水年} & \text{若 } P_i \leq P_{37.5\%} \\ \text{平水年} & \text{若 } P_{37.5\%} < P_i \leq P_{62.5\%} \\ \text{枯水年} & \text{若 } P_i > P_{62.5\%} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $P_i$ 为旗(县、区)第*i*个年份的年降雨量(mm); $P_{37.5\%}$ 为参考降水频率为37.5%时的降水量(mm); $P_{62.5\%}$ 为参考降水频率为62.5%时的降水量(mm)。

(3)确定特征值计算时间范围内丰、平、枯年份相对应的地下水位年均变幅值。首先,针对某一个旗(县、区),将2000~2019年各年份的年末平均地下水水位减去年初平均地下水水位,获得各年份的地下水位变幅值,对于第*i*个年份,将其地下水位变幅值记录为 $\Delta H_i$ 。然后对应丰、平、枯降水年型,将地下水位变幅进行算术平均,得到该旗(县、区)地下水位变幅特征值。即:

$$\begin{cases} \Delta H_{\text{丰,特征}} = \sum_{i=1}^M \Delta H_{\text{丰},i} / M \\ \Delta H_{\text{平,特征}} = \sum_{i=1}^N \Delta H_{\text{平},i} / N \\ \Delta H_{\text{枯,特征}} = \sum_{i=1}^K \Delta H_{\text{枯},i} / K \end{cases} \quad (4)$$

式中: $\Delta H_{\text{丰,特征}}$ 为旗(县、区)丰水年份的地下水位变幅特征值(m); $M$ 为计算时间范围内丰水年份的个数; $\Delta H_{\text{平,特征}}$ 为旗(县、区)平水年份的地下水位变幅特征值(m); $N$ 为计算时间范围内平水年份的个数; $\Delta H_{\text{枯,特征}}$ 为旗(县、区)枯水年份的地下水位变幅特征值(m); $K$ 为计算时间范围内枯水年份的个数。

最后,结合丰、平、枯年份的降水频率及相对应的地下水位变幅特征值,通过多项式拟合曲线制作地下水位年变幅特征值变幅曲线。

## 2 结果与讨论

### 2.1 地下水埋深分析

选取各旗(县、区)有代表性且时间序列完整的地

下水埋深观测点,分析1990~2016年逐月地下水埋深变化趋势。如图2所示,西辽河平原区的地下水位呈不同程度的下降趋势,且都通过了Mann-kendall的99%显著性检验,这表明各旗(县、区)地下水埋深的下降趋势十分显著。在扎鲁特旗、库伦旗和科左后旗,总体水位相对平稳,虽然有年际变化但是变化幅度不大,由此可以判断水位变动主要是由自然条件引起。在科左中旗,水位呈现缓慢下降的趋势,由此可以判断人类活动已经对该地区造成了一定的影响,但影响在可控范围之内,地下水修复难度相对较小。在奈曼旗、开鲁县和科尔沁区,地下水位呈现剧烈下降的趋势,开鲁县三个观测点年均下降0.47m,因此地下水修复治理的难度会相对较大。地下水埋深观测点的空间分布如图3所示。

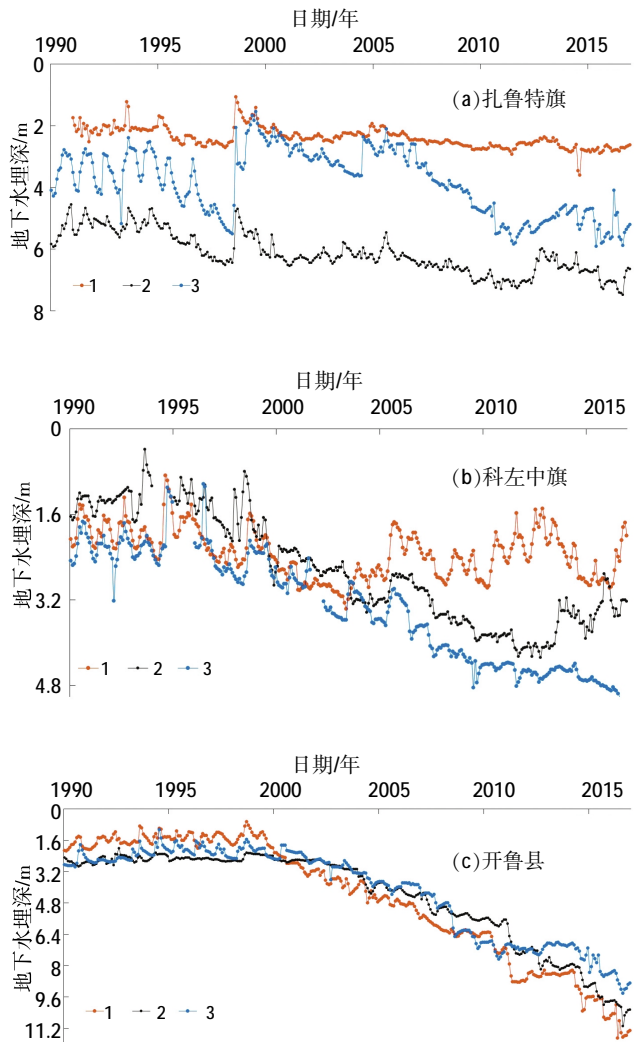


图2 1990~2016年地下水埋深动态变化  
Fig.2 Dynamic variation of groundwater depth during 1990-2016

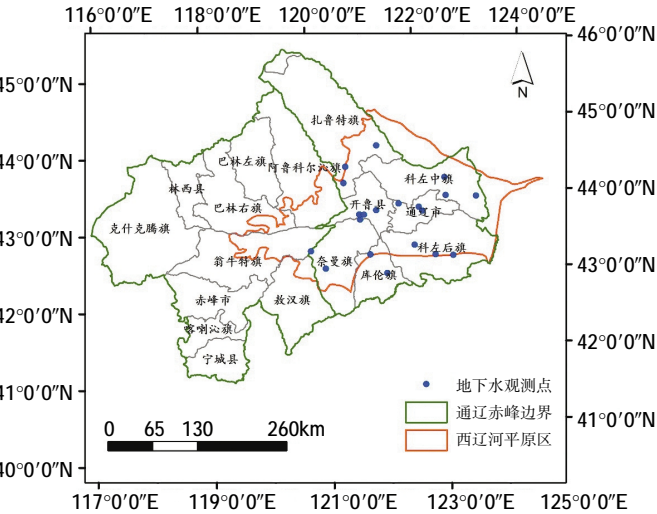


图3 地下水埋深观测井分布  
Fig.3 Distribution of monitoring wells of the groundwater depth

2.2 地下水超采区划分

利用 2010~2019 年地下水埋深数据集,通过水位动态法计算得到西辽河平原区地下水超采状况空间分布。近年来西辽河平原大部分区域地下水水位处于长期下降的趋势,与上文扎鲁特旗、奈曼旗、开鲁县、科尔沁区地下水埋深动态变化获得的认识相符,其中绝大部分为地下水一般超采区,占平原区面积的 53.69%。小部分属于水位年下降速率>1m/a 的严重超采区,占平原区面积的 0.68%,传统意义上的科尔沁超采区此次计算并未出现严重超采,说明近年来科尔沁区采取的一系列压采措施已初见成效。

具体来说,西辽河流域平原区地下水超采区主要存在形式为一般超采,占超采总面积的 98.7%。其中通辽市超采面积合计 15 166km<sup>2</sup>、赤峰市 9 940km<sup>2</sup>,共计 25 106km<sup>2</sup>。通辽市境内除库伦旗及科左后旗境内平原区无超采区,其余各旗县的平原区地下水位均有长期下降的情况。其中科左中旗、开鲁县、奈曼旗平原区超采面积相当。开鲁县存在地下水位年下降速率大于 1m 的严重超采区,面积约为 188km<sup>2</sup>。由于观测数据较少,赤峰市境内超采面积主要通过插值获得(见图 4),大面积超采区在翁牛特旗与阿鲁科尔沁旗,占赤峰市平原区境内超采区面积 79.70%。具体各旗(县、区)超采区面积见表 1。

2.3 地下水超采量计算

通过疏干体积法对西辽河平原区 2019 年的地下水超采量进行评价。在给水量取值上参考西辽河平原

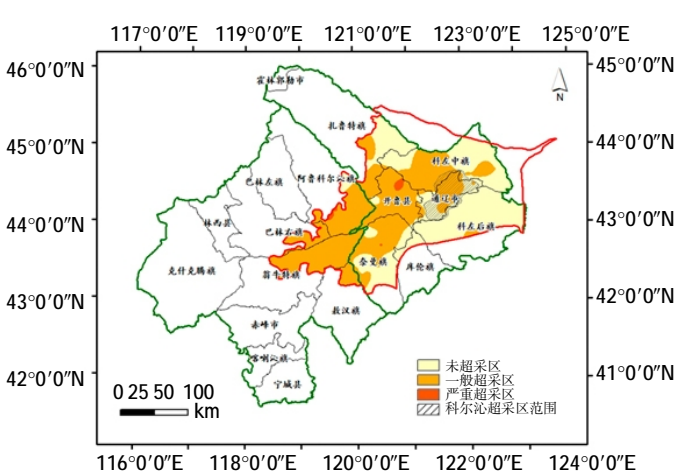


图4 西辽河平原区地下水超采区分布  
Fig.4 Distribution of the groundwater over-exploitation area in West Liaohe plain

表1 西辽河平原区地下水超采区面积(km<sup>2</sup>)

Table1 The area of groundwater over-exploitation in West Liaohe plain

地市	旗(县、区)	一般超采区	严重超采区	合计
通辽	开鲁县	3857	188	4045
	科左后旗			
	科左中旗	4010		4010
	库伦旗			
	奈曼旗	3632	11	3643
	科尔沁区	1743		1743
	扎鲁特旗	1724		1724
	合计	14966	200	15166
赤峰	阿鲁科尔沁旗	3228	112	3340
	敖汉旗	790		790
	巴林右旗	1205		1205
	翁牛特旗	4605		4605
	合计	9828	112	9940

表2 西辽河平原区地下水超采量

Table 2 Groundwater over-exploitation in West Liaohe plain

地级市	旗(县、区)	超采量/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>
通辽	库伦旗	0.00
	科左后旗	0.00
	扎鲁特旗	0.50
	科左中旗	1.55
	奈曼旗	1.43
	开鲁县	2.18
	科尔沁区	0.74
	合计	6.25

区水文地质图,其岩土成分主要为细砂土,给水度取0.1<sup>[6]</sup>。通过式(2)计算出西辽河平原区的地下水超采量,结果列于表2。

通辽市境内开鲁县、科左中旗、奈曼旗以及通辽市区超采量占通辽境内超采面积的94.40%。赤峰市由于收集到地下水埋深站点较少,超采区面积存在一定误差,本文暂不做超采量计算。

## 2.4 地下水位年变差特征值分析

选取数据条件较好的扎鲁特旗、开鲁县和科尔沁区作为典型区,将1956~2000年降水数据进行排频分析,得到各典型区在丰、平、枯年份的参考降水频率,典型区降水频率曲线见图5。对各典型区在2000~2019年进行降水数据的丰、平、枯年份划分并计算与之相对应的地下水位年变差特征值,将降水与地下水位变幅之间的关系绘制特征值曲线。特征值变化曲线见图6。

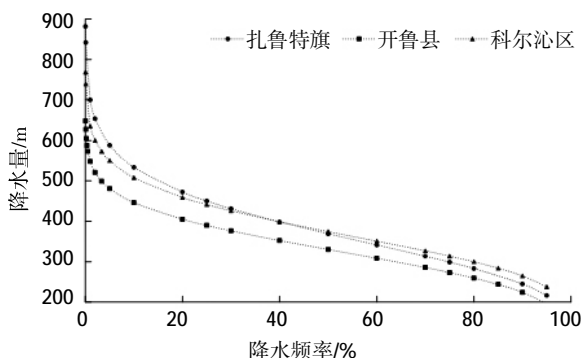


图5 典型区降水频率曲线

Fig.5 Precipitation frequency curve in typical area

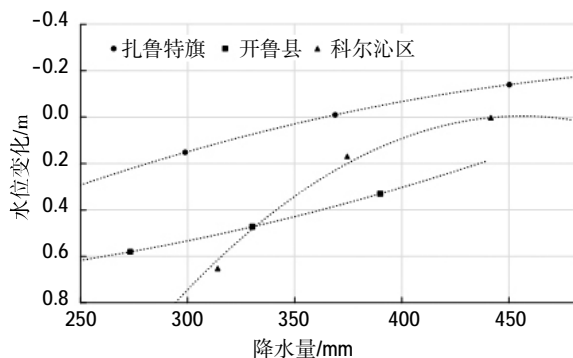


图6 典型区地下水位特征值变化曲线

Fig.6 Variation curve of characteristic value of groundwater level in typical area

由图6可知,三个典型区中扎鲁特旗的地下水位在平水年基本不发生变化,在丰水年水位小幅上升,在枯水年水位小幅下降,这是地下水位自然波动的理想状态。在开鲁县和科尔沁区都存在地下水超采,但是两者的超采规律不尽相同。开鲁县的地下水超采受降水补给的影响不大,即以平水年为轴线,丰水年与枯水年的超采在此基础上下浮动,且浮动的幅度相当。而在科尔沁区地下水超采受降水补给的影响明显,即在丰水年,地下水位变化不大;在平水年,地下水位小幅下降;在枯水年,地下水位剧烈的下降。这说明开鲁县的地下水自然补给条件较差,在丰水年也没有因为降水的增加而弥补开采造成的地下水消耗。因此理论上开鲁县的地下水超采治理难度要大于科尔沁区。

## 3 结论与展望

本文利用水位动态法划分西辽河平原区地下水超采区、疏干体积法计算地下水超采量,并通过地下水位年变差特征值分析验证了地下水超采成因与治理难度,得到以下主要结论:

(1)西辽河平原区的旗(县、区)地下水位呈现不同程度的下降趋势,不同地区水位下降的原因不尽相同,都通过了Mann-kendall的99%显著性检验。

(2)西辽河平原区大部分为地下水一般超采区,占平原区面积的53.69%。小部分属于水位年下降速率 $>1\text{m/a}$ 的严重超采区,占平原区面积的0.68%,其中通辽市超采面积合计 $15\,166\text{km}^2$ 、赤峰市 $9\,940\text{km}^2$ ,共计 $25\,106\text{km}^2$ 。

(3)2019年西辽河平原区通辽市境内超采量为 $6.25\times 10^8\text{m}^3$ 。通辽市境内开鲁县超采量最大,达 $2.18\times 10^8\text{m}^3$ ,科左中旗次之超采量为 $1.55\times 10^8\text{m}^3$ ,奈曼旗以及通辽市区超采量分别为 $1.43\times 10^8\text{m}^3$ 、 $0.74\times 10^8\text{m}^3$ ,四旗(县、区)占通辽境内超采面积的94.40%。

(4)通辽市超采的三个典型区中扎鲁特旗的地下水状态平稳;科尔沁区地下水超采受降水补给的影响明显,在枯水年的需水量大于开鲁县;开鲁县地下水超采受降水补给的影响不大,后续治理难度较大。

对比本文计算得到的地下水超采量与水利部《内蒙古西辽河流域“量水而行”以水定需方案》计算结果可知,本文通过疏干体积法得到西辽河平原区通辽境内地下水超采量 $6.25\times 10^8\text{m}^3$ ,略少于《方案》通过可采

量法计算得到的  $7.1 \times 10^8 \text{m}^3$ 。该差异主要是由于评价年不同而造成的。《方案》对 2016 年的超采量进行评估, 本文用 2010~2019 年地下水埋深数据对 2019 年地下水超采量进行评价。这说明 2015 年将科尔沁区划定为内蒙古自治区大型超采区后, 近几年采取的一系列压采措施已经初显成效。但值得注意的是, 科尔沁区目前水位仍然呈下降趋势, 后续仍要跟进压采治理。赤峰市收集到地下水观测站点较少, 因此计算存在一定误差, 本文不再进行比较, 今后若有详细资料可对此进行分析研究。

#### 参考文献:

- [1] 张向飞, 周维博, 云涛, 等. 渭北旱塬区地下水动态研究[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(1): 89-93. (ZHANG Xiangfei, ZHOU Wei-bo, YUN Tao, et al. Dynamic research on groundwater in Weibei up-land [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2012, 23(1): 89-93. (in Chinese))
- [2] Zhang Qiuxia, Chen Minjian. Ecoenvironment Problems Caused by Water resources Development in Xiliao River Watershed, China [C]. New Jersey: IEEE Computer Society, 2011: 3447-3449.
- [3] 王浩. 淮河流域及山东半岛地下水可持续利用研究[A]. 中国水利学会. 中国原水论坛专辑[C]. 中国水利学会: 中国水利学会, 2010, 38(2): 117-119. (WANG Hao. Study on sustainable utilization of groundwater in Huai river basin and Shandong peninsula [A]. Chinese Hydraulic Engineering Society. China Raw Water Album [C]. Chinese Hydraulic Engineering Society: Chinese Hydraulic Engineering Society, 2010, 38(2): 117-119. (in Chinese))
- [4] 唐世南, 丁跃元, 于丽丽, 等. 内蒙古西辽河流域量水而行以水定需治理思路[J]. 水利规划与设计, 2019(11): 28-31. (TANG Shinan, DING Yueyuan, YU Lili, et al. Idea of development based on water availability in West Liaohe river basin of Inner Mongolia [J]. Water Resources Planning and Design, 2019(11): 28-31. (in Chinese))
- [5] 李依, 王秀芬, 杨艳昭, 等. 西辽河流域玉米气候生产潜力变化分析[J]. 农业现代化研究, 2018, 39(2): 239-247. (LI Yi, WANG Xiufen, YANG Yanzhao, et al. Analysis of corn climatic potential productivity change in the West Liao River basin [J]. Research of Agricultural Modernization, 2018, 39(2): 239-247. (in Chinese))
- [6] 徐凯, 陆垂裕, 汪林. 西辽河流域平原区地下水动态补给研究[J]. 水利水电技术, 2013, 44(6): 22-25. (XU Kai, LU Chuiyu, WANG Lin. Study on groundwater dynamic recharge within plain of West Liaohe river basin [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2013, 44(6): 22-25. (in Chinese))
- [7] 高爽, 唐蕴, 王海玲, 等. 内蒙古松辽流域地下水功能区划分研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2015, 13(2): 117-123. (GAO Shuang, TANG Yun, WANG Hailing, et al. Research on groundwater functional division in Songliao River Basin of Inner Mongolia [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2015, 13(2): 117-123. (in Chinese))
- [8] 陈军, 周丽, 于孟文. 内蒙古西辽河平原地质环境问题及地下水资源合理开发利用研究[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(3): 123-125. (CHEN Jun, ZHOU Li, YU Mengwen. Geological environmental problems and suggestion of scientific exploitation and utilization of groundwater resource in the west of Liaohe plain inner Mongolia [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2008, 35(3): 123-125. (in Chinese))
- [9] 丁元芳, 冯艳. 松辽流域地下水监测站监测现状分析[J]. 东北水利水电, 2020, 38(8): 30-33+71. (DING Yuanfang, FENG Yan. Analysis on the present situation of groundwater monitoring station in Songliao watershed [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast, 2020, 38(8): 30-33+71. (in Chinese))
- [10] 陈飞, 丁跃元, 于丽丽, 等. 地下水超采区评价方法刍议[J]. 水利规划与设计, 2020(11): 41-43+123. (CHEN Fei, DING Yueyuan, YU Lili, et al. Discussion on evaluation method of groundwater over-exploitation area [J]. Water Resources Planning and Design, 2020(11): 41-43+123. (in Chinese))
- [11] 董亚楠, 邢立亭, 张欣慧, 等. 地下水超采区评价法及其应用[J]. 地质与勘探, 2019, 55(2): 641-648. (DONG Yanan, XING Liting, ZHANG Xinhui, et al. Assessment methods of groundwater overdraft area and its application [J]. Geology and Exploration, 2019, 55(2): 641-648. (in Chinese))
- [12] 李有成, 张俊玲, 王金香, 等. 疏干体积法在地下水超采量的计算中的应用[J]. 山东水利, 2002(4): 32. (LI Youcheng, ZHANG Junling, WANG Jinxiang, et al. Application of drainage volume method in calculation of groundwater over-extraction [J]. Shandong Water Resources, 2002(4): 32. (in Chinese))
- [13] 刘兆旋. 石家庄市平原区地下水位变化特征分析及预测研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2017. (LIU Zhaoxuan. Analysis and Prediction of Groundwater Level Variation in Shijiazhuang Plain [D]. Zhengzhou: North China University of Water Resources and Electric Power, 2017. (in Chinese))
- [14] 杨晓俊. 晋中市地下水采补量与降水量关系研究[J]. 地下水, 2017, 39(2): 45-48. (YANG Xiaojun. The relationship between groundwater mining quantity and rainfall in Jinzhong city [J]. Groundwater, 2017, 39(2): 45-48. (in Chinese))
- [15] 戴春霞. 黑河流域降水量演变趋势分析[J]. 甘肃水利水电技术, 2008(3): 177-179+182. (DAI Chunxia. Analysis on the evolution trend of precipitation in Heihe river basin [J]. Gansu Water Resources and HydroPower Technology, 2008(3): 177-179+182. (in Chinese))
- [16] 庞莹, 张晓红. 地下水资源评价中降水入渗系数的分析确定[J]. 吉林水利, 2006(S1): 8-9. (PANG Ying, ZHANG Xiaohong. Analysis and determination of precipitation infiltration coefficient in groundwater resource evaluation [J]. Jilin Water Resources, 2006(S1): 8-9. (in Chinese))

## Analysis of the Groundwater Depth Variation and Over-Exploitation in the West Liaohe Plain

YAN Lingjia<sup>1</sup>, HE Xin<sup>1</sup>, LU Chuiyu<sup>1</sup>, LIU Jianxiang<sup>2</sup>, MA Feihua<sup>3</sup>, LI Zepeng<sup>1</sup>

(1.China Insititute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2.SongLiao Water Resources Commission, Ministry of Water Resources, Changchun 220100, China; 3.Tongliao Municipal Water Bureau, Tongliao 028099, China)

**Abstract:** The West Liaohe River basin located in Inner Mongolia is an important food production area in China. In recent years, the problem of groundwater over-exploitation has become increasingly prominent in the basin due to the massive expansion of agriculture. In order to manage groundwater resources in the basin more rationally in the future, this paper collected monitoring data of groundwater depth during 1990-2019, delineated the groundwater over-exploitation areas by the water level dynamic method, and calculated the quantity of excess pumping amount by the drainage volume method. The results show that: (1) The regional groundwater level show a downward trend in varying degrees, and all have passed the significance test; (2) In the West Liaohe plain, the moderate over-exploitation area accounts for 53.69% of the plain area, and the severe over-exploitation area accounts for 0.68% of the plain area; (3) In 2019, the groundwater over-exploitation volume in Tongliao City was 625 million m<sup>3</sup>. In addition, based on the eigenvalue analysis of groundwater level's annual variation, this paper predicates the cause of groundwater over-exploitation and the difficulty of groundwater management in a few typical locations, which could provide scientific basis for the economic development according to water availability initiative in the West Liaohe River basin.

**Key words:** West Liaohe plain; groundwater depth; groundwater over-exploitation; water level dynamic method; drainage volume method

## 《水文》杂志征订启事

《水文》杂志是由水利部主管,水利部信息中心(水利部水文水资源监测预报中心)主办,国内外公开发行的我国水文水资源专业的学术性科技期刊,系我国地球物理学类和水利工程类全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库来源期刊、《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊、中国期刊网和“万方数据——数字化期刊群”入网期刊。

**刊登内容:**水文水资源基础理论研究,水文站网规划设计,水文测验技术,水文资料处理与服务,水文水资源分析计算,水文情报预报,水资源调查评价,水环境、水生态监测与水质预测,新技术在水文水资源方面的应用,测验仪器设备的研

制,国内外水文水资源科技进展综述、评述以及有关信息和动态等。

**出版发行:**《水文》杂志为双月刊,每逢双月25日出版,国内由中国邮政集团有限公司北京市报刊发行局发行,全国各地邮局均可办理订阅手续,邮发代号:2-430,每册定价20元,全年共120元;国外由中国国际图书贸易集团有限公司(地址:北京399信箱,邮政编码:100044)发行,代号:BM511。

**地址:**北京市白广路二条2号,100053,

**电话:**010-63202029/63203269

**E-mail:**j.hyd@mwr.gov.cn

**投稿网址:**<http://sw.allmaga.net/ch/index.aspx>