

西安市主城区地下水位动态类型划分研究

李云排^{1,2}, 李娜¹, 周维博¹

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 四川电力设计咨询有限责任公司, 四川 成都 610094)

摘要: 为了解西安市主城区地下水位动态类型的空间分布情况, 本文以水文地质单元分区为依据, 选取 15 眼典型监测井的地下水位埋深数据, 采用基于非线性变换的主成分投影-聚类(PCP-C)模型, 对不同区域的地下水位动态类型进行了分类研究。结果表明: 研究区地下水位动态类型总体可分为水文影响型和开采影响型, 其中非开采区范围内, 从河漫滩至二级阶地地下水动态受水文因素影响由强变弱; 黄土台塬、自备井开采区及水源集中开采区受人为活动影响较大, 为开采影响型。

关键词: 地下水位; 动态类型; 主成分投影-聚类; 西安市

中图分类号: TU991.112 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2015)05-0121-04

Study on division of groundwater dynamic type in main urban of xi'an

LI Yunpai^{1,2}, LI Na¹, ZHOU Weibo¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054;

2. Sichuan Electric Power Design & Consulting CO., LTD, Chengdu 610094, China)

Abstract: In order to understand the spatial distribution of groundwater level dynamic type in the central areas of Xi'an, based on different hydrogeologic units, the paper selected groundwater depth data of 15 typical monitoring wells, and used principal component projection-clustering (PCP-C) model which is based on nonlinear transformation to study groundwater level dynamic type in different regions. The results showed that the groundwater dynamic types overall study area can be divided into types of hydrological influence and mining influence. The influence of hydrological factors ranging from flood plain to second-order in non-mining areas change gradually from strong to weak; loess tableland, self-supply well mining areas and water source concentrated mining areas are greatly influenced by human activities and these areas belong to the type of exploitation influence.

Key words: groundwater level; dynamic type; principal component projection-clustering model; xi'an

地下水位长期居高不下会导致土地的盐渍化和沼泽化, 影响生态环境健康; 地下水过量开采则会引起地下水位持续下降, 从而导致地面沉降、地裂缝等地质灾害, 严重影响人类生活、生产安全^[1]。因此, 了解不同影响因素对地下水位变化的影响程度显得尤为重要。研究不同因素对地下水位的影响, 合理划分地下水动态类型, 使地下水位向有利的方向发展。

目前, 关于西安地区地下水动态的研究, 主要集中在水位变化特征分析和未来趋势预测两方面^[2-5], 而在地下水动态类型的划分方面研究较少;

以西安某河流附近观测点的实测资料为依据, 国内学者做了大量的动态分类研究工作^[6], 但均未对整个西安地区的地下水动态类型进行划分研究。在常用的分类方法中, 灰色关联法能较好地反映影响因子与地下水动态的关联程度, 但各影响因素的数据获取难度较大且客观性不足; 人工神经网络法采用不同的阈值计算时会出现不同的分类结果, 且节点连接权重也不能直观反映各因素对动态的影响; 投影寻踪法往往因寻优能力差、计算效率低、限制条件多而不能很好地进行分类。基于此, 本文将以西安区 2010 年地下水位动态观测数据为基础, 采用能

收稿日期: 2014-10-16; 修回日期: 2014-12-01

基金项目: 中国地质调查局地质调查计划项目(12120113004800)

作者简介: 李云排(1988-), 男, 湖北荆州人, 硕士, 从事市政工程与水文水资源研究。

通讯作者: 周维博(1956-), 男, 陕西乾县人, 教授, 博士生导师, 从事水资源与水环境及节水灌溉方面的教学与研究工作。

对数据进行降维、去噪和分类的主成分投影-聚类(PCP-C)法,划分西安地区的地下水动态类型,为建立合理的地下水资源的可持续开发利用模式奠定基础。

1 研究方法

主成分投影-聚类分析法(简称PCP-C法)是将主成分分析法、投影法和聚类法有机结合的综合模型。传统的主成分分析法是一种线性降维处理技术,很难用于处理实际的非线性原始数据,而主成分投影法可以将原始数据进行拟线性化变换,解决了评价对象在不同时间或者空间整体比较和排序的问题,常用于多指标决策和综合评价的方法^[7]。再将主成分投影法与聚类法相结合,就可以有效解决分类评价的问题,目前该方法已在地下水动态类型分类^[8]、洪水分类^[9-10]等方面得到了很好的应用。

该评价方法的模型构建步骤如下:

(1)原始数据的“对数中心化”处理。选取 n 个评价样本和 p 个评价指标(变量),构建原始数据矩阵:

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_p) = \begin{pmatrix} X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1p} \\ X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2p} \\ \vdots \\ X_{n1}, X_{n2}, \dots, X_{np} \end{pmatrix} \quad (1)$$

令 $y_{ij} = \ln x_{ij}$, 得到新的矩阵 $Y = (y_{ij})_{n \times p}$ 。为消除不同数量级差异对评价结果的影响,再采用“均值化”方法对变换后的数据进行处理,即用各项指标的均值去除相应的原始数据,然后构成新的矩阵 Z 。这样既消除了原始数据的量纲和数量级的影响,也保留了原始数据的差异信息,新矩阵 Z 能很好的体现原始数据的全部信息。

(2)正交变换。多个评价指标之间存在一定的联系,容易形成评价信息的相互重叠和干扰,影响评价结果的真实性,因而需对指标值进行正交变换,去除数据之间的重复信息,降低数据噪声。

设样本矩阵 Z 正交变换得到的新矩阵为 $U = (u_{ij})_{n \times p}$, 记新向量为:

$$d_i = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ip}), i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

(3)构造理想样本

将每个样本看作一个 p 维向量,则理想样本记为 $d^+ = (d_1, d_2, \dots, d_p)$, 其中:

$$d_i = \max_{1 \leq i \leq n} (u_{ij}), j = 1, 2, \dots, p$$

再将理想样本单位化得到:

$$d_0^+ = \frac{1}{\|d^+\|} d^+ = \frac{1}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_p^2}} d^+ \quad (3)$$

(4)计算样本投影值

样本矩阵在理想样本上的投影值计算公式为:

$$D_i = d_i \cdot d_0^+ = \frac{1}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_p^2}} \sum_{j=1}^p d_j u_{ij} \quad (4)$$

(5)聚类分析

1)对所有样本的投影值 $D_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 从小到大排列;

2)计算相邻投影特征值的差值

$$\delta_i = D_i - D_{i-1} \quad (5)$$

$(i = 1, 2, \dots, n; D_0 = D_1)$

3)计算的 δ_i 累加值:

$$y_i = \sum_{j=1}^i \delta_j \quad (6)$$

4)以累加值为纵坐标,以样本排序后的序号为横坐标绘制散点图,根据散点分布情况进行分类。

2 研究区概况及基础数据处理

西安市主城区位于黄河流域中部关中平原,北临渭河,管辖莲湖区、新城区、碑林区、雁塔区、未央区、灞桥区以及沣河以东部分地区,总面积831.87 km²。研究区属暖温带半干旱、半湿润大陆性季风气候区,四季分明,降水多集中在7-10月。区内地势总体为南高北低,西高东低,地貌界限清晰明显,由北向南依次分布着渭河及其支流漫滩、一级阶地、二级阶地、三级阶地和黄土台塬区。潜水位埋深主要介于1~40m,渭河及其支流漫滩潜水位埋深小,黄土台塬区埋深大,埋深总体趋势表现为由北向东南逐渐递增。

本次研究以2010年潜水位埋深逐月监测资料为基础,结合地形、地貌等条件,选取均匀分布在研究区范围内的15眼代表井的观测数据(图1),构建原始数据矩阵,其中行数据为同一观测井不同月份的潜水位埋深,列数据为不同观测井在同一月份的潜水位埋深。根据上述评价模型的构建步骤,对原始数据进行“对数中心化”,形成新的评价数据,详见表1。

3 分类结果与讨论

3.1 分类结果

对新的样本评价矩阵 Z 正交变换,构造出理想样本,算出样本矩阵在理想样本上的投影值,最后进行聚类分析,计算结果详见表2和图1。

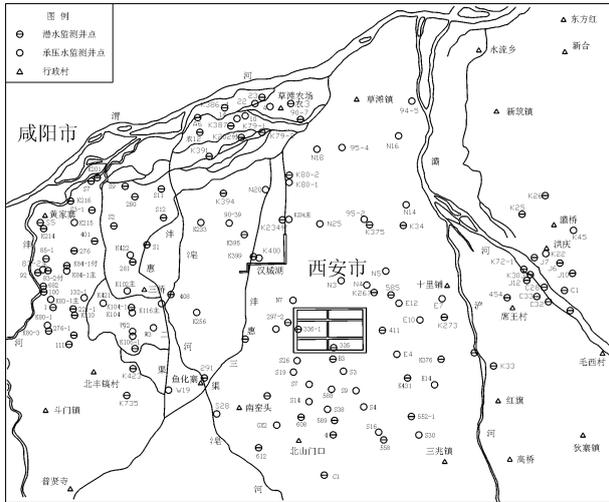


图 1 研究区范围及地下水监测井点分布图

从差值的累加值 y_i 的散点分布情况来看,其值的分布范围大致可分为 4 类,即: $0 \leq y_i < 0.1$ 、 $0.1 \leq y_i < 0.3$ 、 $0.3 \leq y_i < 0.5$ 和 $y_i \geq 0.5$ 。因此,结合西安地区实际水文地质条件和监测井的实际分布等情况,利用 PCP - C 模型将其地下水动态类型分为以下 4 类: I 类包括 K79-1、K234,主要分布在河漫滩一带,以接受河流补给为主,属于水文强影响型; II 类包括 335、J6、682、401、328-1、K84-1 付、K216,主要分布在河道一级阶地、古河道等地区,以接受降水入渗补给为主,属于水文中影响型; III 类包括 K394,主要分布在河道一级阶地后缘或二级阶地等,属水文弱影响型; IV 类包括 #4、C32、291、J12、K376,主要分布在黄土台塬、自备井或地下水集中开采等区域,属人为开采影响型,分类结果详见表 3。

表 1 “对数中心化”后的潜水动态观测数据

观测井编号	聚类指标编号											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K376	0.997	0.998	0.999	0.998	1.002	1.001	1.002	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
#4	1.005	1.004	1.001	1.000	1.012	0.999	0.993	1.005	0.998	1.003	0.986	0.994
335	0.980	0.981	0.997	1.007	1.004	1.009	1.012	0.998	1.001	1.012	0.999	1.000
K234	0.986	1.029	0.999	1.010	1.040	0.995	1.003	1.004	0.988	0.981	0.981	0.984
K84-1 付	0.998	1.006	1.001	1.001	0.993	0.996	1.003	1.000	1.014	1.007	0.986	0.995
682	1.005	1.006	1.000	0.999	0.997	1.000	1.000	1.001	0.998	0.998	0.998	0.997
401	1.006	1.004	1.002	1.000	1.000	0.999	1.001	1.002	1.001	0.999	0.996	0.991
K216	0.998	0.991	1.004	0.997	0.989	1.002	1.006	1.029	1.015	1.011	0.984	0.974
K394	0.994	0.994	0.993	0.997	1.002	1.003	1.003	1.005	1.004	1.000	1.000	1.003
K79-1	0.995	1.000	1.003	1.001	0.997	1.001	1.008	1.006	1.002	0.996	0.993	0.999
291	0.993	0.991	0.990	0.990	0.994	1.001	1.002	1.005	1.006	1.006	1.010	1.013
J12	1.021	1.033	1.032	1.029	1.021	1.018	0.991	0.966	0.965	0.968	0.977	0.979
C32	0.990	1.015	1.019	1.018	1.015	1.008	1.000	0.997	0.981	0.955	0.998	1.005
J6	1.000	1.001	1.001	0.997	0.997	1.000	0.999	1.000	1.001	1.001	1.001	1.003
328-1	0.996	1.000	0.994	1.001	1.004	1.009	1.013	1.015	1.001	0.997	0.987	0.984

表 2 聚类分析计算结果

观测井编号	K79-1	K234	335	J6	682	401	328-1	K84-1 付
投影值	-0.335	-0.278	-0.168	-0.149	-0.138	-0.101	-0.096	-0.079
差值的累加值	0.000	0.056	0.166	0.186	0.197	0.234	0.238	0.256
观测井编号	K216	K394	#4	C32	291	J12	K376	
投影值	-0.058	0.070	0.249	0.291	0.339	0.398	0.536	
差值的累加值	0.277	0.404	0.584	0.626	0.674	0.733	0.870	

表3 地下水水动态类型分类结果

PCP - C 分类	监测井	分类结果	主要分布情况
I	K79-1、K234	水文强影响型	河漫滩一带
II	335、J6、682、401、328-1、K84-1 付、K216	水文中影响型	河道一级阶地、古河道等地区
III	K394	水文弱影响型	河道一级阶地后缘或二级阶地等
IV	#4、C32、291、J12、K376	开采影响型	黄土台塬、自备井或水源地集中开采区

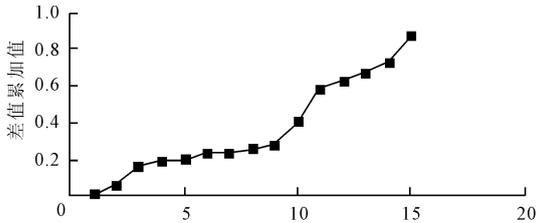


图2 主成分投影 - 聚类分析结果图

3.2 分类结果讨论

为验证分类结果的合理性,在4种分类结果中分别选取一眼代表井,对其2010年水位埋深逐月监测数据与对应的降水量进行相关性分析,分析结果见表4。

表4 监测井潜水水位埋深与降水量相关性分析结果

监测井编号	地理位置	与降水相关性	PCP - C 分类结果
K79-1	北郊渭河漫滩	0.725	水文强影响型
K216	西北郊一级阶地	0.524	水文中影响型
K394	渭河一级阶地后缘	0.439	水文弱影响型
C32	东郊灞河水源地	-0.227	开采影响型

从表4可看出,K79-1监测井的水位埋深与降水量相关性最大为0.725,K216监测井次之为0.524,K394监测井相对较小为0.439,C32监测井潜水水位埋深与降水量无相关,这刚好符合PCP - C模型的分类结果。将监测井的地下水位动态类型与其所在区域的地质和地形地貌进行对比,在西安地区河漫滩一带,地下水位埋藏较浅且含水层以沙砾石和砂卵石为主,渗透系数较大,降水入渗和河流侧渗补给条件较好,因此表现为水文强影响型;在一级阶地后缘和二级阶地,受城市房屋建筑、路面硬化等条件的影响,形成大面积的不透水或弱透水区域,造成降水入渗补给较难,因此表现为水文弱影响型;在自备井和水源地开采区,由于地下水开采量较大,其水位动态主要受人为开采的影响,因此总体表现为开采影响型。

4 结语

本文在西安地区地下水位影响因素数据资料相对缺乏的情况下,以2010年地下水动态逐月监测数据为基础,从水位埋深指标本身的特征出发,利用PCP - C模型将其动态类型划分为水文强、中、弱和开采影响型4类。同时,结合研究区水文地质和地形地貌等条件,对不同区域的地下水动态进行了综合对比分析,既验证了分类结果的合理性,又确定了西安地区地下水动态类型的空间分布情况,其结果对地下水资源的合理开发利用与管理具有一定的指导作用。

参考文献:

- [1] 周维博,施桐林,杨路华. 地下水利用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.
- [2] 王慧芳,岳彩琴,石建胜. 西安地区地下水位下降及其环境负效应[J]. 水文地质工程地质,2005,32(3):78-80.
- [3] 姜规模,韩凤霞. 西安城市地下水动态研究[J]. 城市勘测,2007(2):124-127.
- [4] 段东平,薛科社. 西安地下水位埋深变化分析及预测[J]. 地下水,2009,31(6):10-12.
- [5] 董艳慧,周维博,卜卿,等. RBF网络在西安渭滨地下水位埋深预测中的应用[J]. 节水灌溉,2012(12):66-69.
- [6] 舒栋才,樊明兰,林三益. 基于免疫进化算法的投影寻踪聚类及其在地下水动态分类中的应用[J]. 四川大学学报(工程科学版),2004,36(1):15-18.
- [7] Fowler J E. Compressive - projection principal component analysis [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(10): 2230-2242.
- [8] 刘玉邦,梁川. 基于非线性变换的PCP - C模型及其在地下水动态分类中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2010,40(10):91-96.
- [9] 刘玉邦,梁川. 基于天气成因和主成分投影分析的暴雨洪水分级研究[J]. 水利学报,2011,42(1):98-104.
- [10] 刘玉邦,梁川. 基于PCP - C耦合模型的流域洪水分类研究[J]. 水文,2010,30(1):18-22.