

秩相关分析在地下水位变化趋势评价中的应用 ——以安徽省淮北平原孔隙水为例

陈 伟

(安徽省地质调查院,合肥 230001)

摘要:应用 Spearman 和 Kendall 两种秩相关分析方法,以 SPSS 为平台,对安徽省淮北平原区域及两个典型城市的不同流动系统孔隙水水位变化趋势进行评价,并与水位动态曲线直观判读结果对比。结果表明:两种秩相关分析方法评价结果基本一致,与水位动态曲线法相比较,评价尺度统一,理论严密,操作简便,效果良好。

关键词:秩相关分析;水位变化趋势;孔隙水;淮北平原;安徽省

中图分类号:P641

文献标识码:A

文章编号:1000-3665(2011)01-0035-05

地下水水位变化趋势是地下水环境研究中的重要内容^[1-2]。通常的做法是依据水位动态曲线图直观地判断水位升降趋势,但存在着绘制曲线工作量大、目视判断尺度不统一等弊端。在安徽省淮北平原孔隙水水位变化趋势研究中,使用了 Spearman 和 Kendall 两种秩相关分析方法,并选择统计分析软件 SPSS 作为基本操作平台,有效地克服了上述弊端,取得了良好效果。

1 秩相关分析的数学原理^[3]

1.1 Spearman 秩相关分析

Spearman 秩相关分析是利用定序或定距尺度变量转化的“秩”,分析两个变量中至少有一个为定序变量的相关关系。计算公式如下:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

式中: r_s ——Spearman 秩相关系数;

d_i ——Y 变量的第 i 个观测值 y_i 的秩和 X 变量的第 i 个观测值 x_i 的秩的差值;

n ——样本容量。

Spearman 导出了在零假设条件下 r_s 的精确分布;

特别地,在大样本情况下,检验统计量 $Z = r_s \sqrt{n-1}$ 服从近似标准正态分布。据此,对 r_s 的显著性进行检

验。 r_s 的计算及其显著性检验均可在 SPSS 中自动实现。

1.2 Kendall 秩相关分析

Kendall 秩相关分析是利用两个变量的一致关系,分析其中至少有一个为定序变量的相关关系。计算公式如下:

$$\hat{\tau} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq n} \psi(x_i, x_j, y_i, y_j) = \frac{n_c - n_d}{C_n^2}$$

式中: $\hat{\tau}$ ——Kendall 秩相关系数;

$$\psi(x_i, x_j, y_i, y_j) = \begin{cases} 1 & (x_i - x_j)(y_i - y_j) > 0 \\ 0 & (x_i - x_j)(y_i - y_j) = 0 \\ -1 & (x_i - x_j)(y_i - y_j) < 0 \end{cases}$$

x_i, x_j ——变量 X 的第 i, j 个观测值;

y_i, y_j ——变量 Y 的第 i, j 个观测值;

$\psi(x_i, x_j, y_i, y_j) = 1$ 两对观测值为一致对;

$\psi(x_i, x_j, y_i, y_j) = -1$ 两对观测值为不一致对;

n_c ——一致对的数目;

n_d ——不一致对的数目;

C_n^2 ——所有对的数目;

n ——样本容量。

Kendall 导出了在零假设条件下 $\hat{\tau}$ 的精确分布;特别地,在大样本情况下,检验统计量 $Z = \hat{\tau}$

$\sqrt{\frac{9n(n-1)}{2(2n+5)}}$ 服从近似标准正态分布。据此,对 $\hat{\tau}$ 的

显著性进行检验。 $\hat{\tau}$ 的计算及其显著性检验均可在 SPSS 中自动实现。

2 研究区概况及数据来源

2.1 研究区概况

收稿日期:2010-03-15;修订日期:2010-08-10

基金项目:安徽省地质勘查专项“安徽省淮北平原地下水环境演变调查评价”(AHGTT2006-06)

作者简介:陈伟(1966-),女,高级工程师,长期从事水文地质环境地质调查和地质环境监测工作。

E-mail:anhuiwenge@126.com

本文的研究区为淮北平原区及宿州市和阜阳市两个典型城市。

淮北平原位于安徽省淮河以北,总面积约 $3.77 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。区内广布新近系和第四系松散堆积物,西厚东薄,赋存孔隙水。自地表向下,可划分出浅部循环系统(埋深小于 50m)、中间过渡系统(埋深 50 ~ 150m)和深部滞流系统(埋深大于 150m)三大孔隙水流动系统^[4]。浅部孔隙水分散开采,主要用于农村生活和农业抗旱;中深部孔隙水集中开采,主要用于城镇生活和工业用水。20 世纪 80 年代以来,随着经济社会的发展,地下水开采量不断增加,平原西部中深部孔隙水水位下降尤为显著,并引发了地面沉降等地质环境问题。

宿州市和阜阳市是淮北平原开采中深部孔隙水为主,且开采量较大的两个城市,其水文地质条件有着较大的差异。宿州市位于淮北平原东部,松散层厚度近 200m,地下水主要有浅部循环系统和中间过渡系统孔

隙水。市内供水主要依靠中间过渡系统孔隙水。中间过渡系统含水砂层厚度大、颗粒粗、分布面积广,可通过弱透水层或“天窗”获得浅部循环系统的补给^[5]。阜阳市位于淮北平原西部,松散层厚度近 800m,地下水主要有浅部循环系统、中间过渡系统和深部滞流系统的孔隙水。市内供水主要依靠中间过渡系统和深部滞流系统的孔隙水。由于相邻流动系统的主要含水砂层之间存在着较厚的粘性土弱透水层,不同流动系统之间的水力联系较弱^[6]。

2.2 数据来源

本文使用了安徽省淮北平原地下水环境监测数据。选取区域和宿州、阜阳两个城市共 123 个有代表性的孔隙水监测点的年平均水位序列。其中区域监测点 66 个,宿州市监测点 31 个,阜阳市监测点 26 个(图 1);区域监测点水位序列多为 1982 ~ 2005 年,城市监测点水位序列多为 1994 ~ 2005 年。

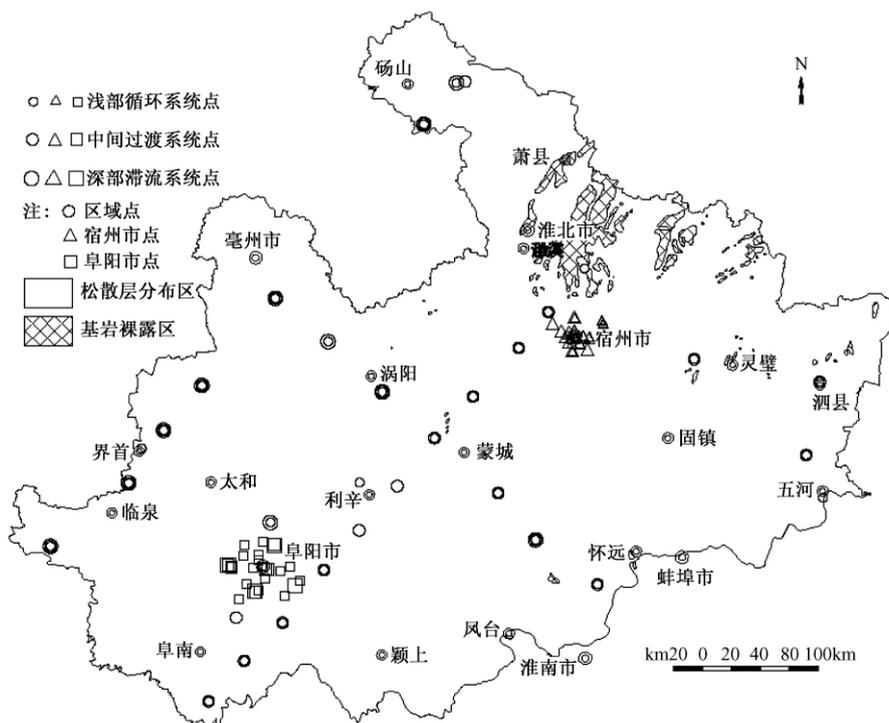


图 1 淮北平原区域和典型城市孔隙水监测点分布图

Fig. 1 The pore groundwater measure points in the two typical urban areas and Huaibei Plain areas of Anhui Province

3 评价结果

3.1 评价结果

利用 SPSS 软件平台,对淮北平原区域及宿州、阜阳两个城市监测点年均水位标高序列进行趋势变化计算。Spearman 秩相关评价结果见表 1 ~ 3, Kendall 秩

相关评价结果见表 4 ~ 6。显著性水平取 0.01。

区域监测点的评价结果:浅部循环系统共 29 个监测点,据 Spearman 秩相关分析,水位升降趋势不明显的占 86%,水位呈下降趋势的占 10%,水位呈上升趋势的占 4%;据 Kendall 秩相关分析,水位升降趋势不明显的占 90%,水位呈下降趋势的占 10%。中间过渡

表 1 淮北平原区域监测点年平均水位时间序列 Spearman 秩相关分析结果表

Table 1 The Spearman's analysis results of the annual water level average series of areal groundwater measure points in the Huaibei Plain

流动系统	相关系数	<i>n</i>	相关性	升降趋势	点数(个)	总计(个)	百分数(%)
浅部循环系统	-0.4947 ~ 0.3965	13 ~ 24	不显著	不明显	25	29	86
	-0.8017 ~ -0.5810	22 ~ 24	负相关显著	下降	3		10
	0.6065	21	正相关显著	上升	1		4
中间过渡系统	-0.5583 ~ 0.3188	11 ~ 24	不显著	不明显	14	27	52
	-0.9983 ~ -0.7008	19 ~ 24	负相关显著	下降	13		48
深部滞流系统	-1 ~ -0.95	9 ~ 23	负相关显著	下降	10	10	100

表 2 宿州市城市监测点年平均水位时间序列 Spearman 秩相关分析结果表

Table 2 The Spearman's analysis results of the annual water level average series of city groundwater measure points in the Suzhou City

流动系统	相关系数	<i>n</i>	相关性	升降趋势	点数(个)	总计(个)	百分数(%)
浅部循环系统	-0.5217 ~ 0.4755	8 ~ 23	不显著	不明显	19	20	95
	-0.7588	16	负相关显著	下降	1		5
中间过渡系统	-0.65 ~ 0.6713	9 ~ 12	不显著	不明显	11	11	100

表 3 阜阳市城市监测点年平均水位时间序列 Spearman 秩相关分析结果表

Table 3 The Spearman's analysis results of the annual water level average series of city groundwater measure points in the Fuyang City

流动系统	相关系数	<i>n</i>	相关性	升降趋势	点数(个)	总计(个)	百分数(%)
浅部循环系统	-0.4727 ~ 0.6167	9 ~ 22	不显著	不明显	16	16	100
	0.3818 ~ 0.6224	10 ~ 12	不显著	不明显	2		33
中间过渡系统	-0.8972 ~ -0.7902	12 ~ 22	负相关显著	下降	3	6	50
	0.8833	9	正相关显著	上升	1		17
深部滞流系统	-1 ~ -0.9510	6 ~ 12	负相关显著	下降	4	4	100

表 4 淮北平原区域监测点年平均水位时间序列 Kendall 秩相关分析结果表

Table 4 the Kendall's analysis results of the annual water level average series of areal groundwater measure points in the Huaibei Plain

流动系统	相关系数	<i>n</i>	相关性	升降趋势	点数(个)	总计(个)	百分数(%)
浅部循环系统	-0.3684 ~ 0.3905	13 ~ 24	不显著	不明显	26	29	90
	-0.5725 ~ -0.4372	22 ~ 24	负相关显著	下降	3		10
中间过渡系统	-0.3992 ~ 0.2316	11 ~ 24	不显著	不明显	14	27	52
	-0.9883 ~ -0.4947	19 ~ 24	负相关显著	下降	13		48
深部滞流系统	-1 ~ -0.8889	9 ~ 23	负相关显著	下降	10	10	100

表 5 宿州市城市监测点年平均水位时间序列 Kendall 秩相关分析结果表

Table 5 The Kendall's analysis results of the annual water level average series of city groundwater measure points in the Suzhou City

流动系统	相关系数	<i>n</i>	相关性	升降趋势	点数(个)	总计(个)	百分数(%)
浅部循环系统	-0.3818 ~ 0.4242	8 ~ 23	不显著	不明显	19	20	95
	-0.5833	16	负相关显著	下降	1		5
中间过渡系统	-0.5 ~ 0.4848	9 ~ 12	不显著	不明显	11	11	100

表 6 阜阳市城市监测点年平均水位时间序列 Kendall 秩相关分析结果表

Table 6 The Kendall's analysis results of the annual water level average series of city groundwater measure points in the Fuyang City

流动系统	相关系数	n	相关性	升降趋势	点数(个)	总计(个)	百分数(%)
浅部循环系统	-0.3091 ~ 0.4444	9 ~ 22	不显著	不明显	16	16	100
	0.2 ~ 0.4242	10 ~ 12	不显著	不明显	2		33
中间过渡系统	-0.7576 ~ -0.6667	12 ~ 22	负相关显著	下降	3	6	50
	0.7778	9	正相关显著	上升	1		17
深部滞流系统	-1 ~ -0.8788	6 ~ 12	负相关显著	下降	4	4	100

系统和深部滞流系统两种方法评价结果一致,中间过渡系统共 27 个监测点,水位升降趋势不明显的占 52%,水位呈下降趋势的占 48%。深部滞流系统共 10 个监测点,水位都呈下降趋势(表 1、表 4)。

城市监测点两种方法评价结果一致。宿州市浅部循环系统共 20 个监测点,水位升降趋势不明显的占 95%,水位呈下降趋势的占 5%;中间过渡系统共 11 个监测点,水位升降趋势都不明显(表 2、表 5)。阜阳市浅部循环系统共 16 个监测点,水位升降趋势都不明显;中间过渡系统共 6 个监测点,水位升降趋势不明显的占 33%,水位呈下降趋势的占 50%,水位呈上升趋势的占 17%;深部滞流系统共 4 个监测点,水位都呈下降趋势(表 3、表 6)。

综上所述,淮北平原浅部循环系统孔隙水水位总体上没有显著的升降趋势,局部地区有下降趋势;中间过渡系统孔隙水过渡性特征明显,西部地区水位呈下降趋势,东部地区水位升降趋势不明显,局部呈(恢复性)上升趋势;深部滞流系统孔隙水水位呈下降趋势。结合淮北平原区域及两个城市孔隙水水文地质条件及地下水的开采情况,这一评价结果与实际情况是相吻合。

3.2 两种方法对比评价

从计算结果看(表 1~6),两种方法的评价结果基本一致。参与计算的 123 个监测点,有 122 个点的评价结果一致,只有 1 个点的评价结果有差异,仅占总数的 0.8%。因此, Spearman 和 Kendall 两种秩相关分析方法对淮北平原孔隙水水位变化趋势评价效果均良好。

4 与水位动态曲线直观判读比较

利用 EXCEL 软件平台,绘制淮北平原区域及宿州、阜阳两个城市监测点年均水位动态曲线。直观判读其升降趋势,判读结果见表 7~9。从评价结果可以看出,水位曲线直观判读与秩相关分析的评价结果存

表 7 淮北平原区域监测点年平均水位动态曲线判读结果表

Table 7 The determining results of the curve of annual water level average series of areal groundwater measure points in the Huaibei Plain

流动系统	升降趋势	点数(个)	总计(个)	百分数(%)
浅部循环系统	不明显	15		52
	下降	13	29	45
	上升	1		3
中间过渡系统	不明显	5	27	19
	下降	22		81
深部滞流系统	下降	10	10	100

表 8 宿州市监测点年平均水位动态曲线判读结果表

Table 8 The determining results of the curve of the annual water level average series of city groundwater measure points in the Suzhou City

流动系统	升降趋势	点数(个)	总计(个)	百分数(%)
浅部循环系统	不明显	19	20	95
	下降	1		5
中间过渡系统	不明显	11	11	100

表 9 阜阳市监测点年平均水位动态曲线分析结果

Table 9 The determining results of the curve of the annual water level average series of city groundwater measure points in the Fuyang City

流动系统	升降趋势	点数(个)	总计(个)	百分数(%)
浅部循环系统	不明显	15	16	94
	下降	1		6
中间过渡系统	不明显	1	6	17
	下降	2		33
深部滞流系统	上升	3		50
	下降	10	4	100

在着一定的差异。主要表现:水位升降趋势或平稳波动趋势十分明显的孔,目视判读与秩相关分析结果基本一致;反之,水位升降趋势或平稳波动趋势不十分明显的孔,目视判断的尺度难以把握,判断结果与秩相关

分析结果有较大差异。

5 结论

利用 Spearman 和 Kendall 两种秩相关分析方法, 评价淮北平原孔隙水位趋势变化, 减少了绘制水位动态曲线和目视判断的繁重工作量, 克服了评判尺度不统一等弊端, 理论严密, 操作简便, 效果良好。

致谢: 本文使用了安徽省地质环境监测总站 (原安徽省地质矿产局水文地质总站) 地下水环境监测数据, 谨此致谢!

参考文献:

- [1] 杨亮平, 姜振蛟, 赵宜婷, 等. 呼和浩特市地下水水位动态变化及趋势预测研究 [J]. 水文地质工程地质, 2009, 36 (4): 46 - 49. [YANG L P, JIANG Z J, ZHAO Y T, *et al.* Research on changes and prediction of trend of the groundwater regime in Hohhot [J]. Hydrogeology & Engineering Geology 2009, 36(4): 46 - 49. (in Chinese)]
- [2] 郝爱兵, 李亚民, 郑跃军, 等. 利用地下水位监测资料分析水文地质条件的实例研究: 新疆奎屯河流域南洼地 [J]. 水文地质工程地质, 2008, 35 (4): 27 - 30. [HAO A B, LI Y M, ZHEN Y J, *et al.* A few examples of using groundwater monitoring data to identify hydrogeological conditions: Nanwadi in Kuitun River Basin, Xinjiang [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2008, 35 (4): 27 - 30. (in Chinese)]
- [3] 高祥宝, 董寒青. 数据分析与 SPSS 应用 [M]. 北京:

清华大学出版社, 2007: 199 - 200. [GAO X B, DONG H Q. Data analysis and SPSS application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007: 199 - 200. (in Chinese)]

- [4] 彭玉怀, 陈伟, 鹿献章, 等. 安徽省淮北平原地下水环境演变调查评价报告 [R]. 合肥: 安徽省地质调查院, 2009: 37 - 38. [PENG Y H, CHEN W, LU X Z, *et al.* Investigation and evaluation report of evolution about groundwater environment in Huaibei plain of Anhui Province [R]. Hefei: Geological Survey of Anhui Province, 2009: 37 - 38. (in Chinese)]
- [5] 杨东凡, 孙健, 魏继东, 等. 安徽省宿州市及邻近地区水文地质工程地质环境地质综合详查报告 [R]. 蚌埠: 安徽省地质环境监测总站, 1994: 37 - 38. [YANG D F, SUN J, WEI J D, *et al.* Detailed survey report of hydrogeology, engineering geology and environmental geology in the Suzhou City and its adjacent region of Anhui Province [R]. Bengbu: Geological Environment Monitoring of Anhui Province, 1994: 68 - 72. (in Chinese)]
- [6] 李益湘, 官煜, 薛孔还, 等. 安徽省阜阳市水文地质工程地质环境地质综合详查报告 [R]. 蚌埠: 安徽省地质环境监测总站, 1993: 37 - 38. [LI Yi-xiang, GUAN Yu, XUE Kong-huan, *et al.* Detailed survey report of hydrogeology, engineering geology and environmental geology in the Fuyang City of Anhui Province [R]. Bengbu: Geological Environment Monitoring of Anhui Province, 1993: 37 - 38. (in Chinese)]

The application of rank correlation analysis on the evaluation of trends in the pore groundwater level changes in Huaibei Plain, Anhui Province

CHEN Wei

(Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, China)

Abstract: Two kinds of rank correlation analysis (Kendall and Spearman) were used with the SPSS software in this paper, the trends in pore groundwater level changes of different flow system in Huaibei Plain of Anhui Province and the two typical urban areas were evaluated. And contrasting with the intuitionistic determining results of the curve of groundwater level. The trend evaluate results of the two methods of rank correlation analysis were basically in the same. For this two methods had rigorous theory and the evaluation scale were unified, the results were effectively.

Key words: rank correlation analysis; the trends of level changes; the pore groundwater; Huaibei Plain; Anhui Province

责任编辑: 张若琳