

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2019.06-08

# 吉安市城区供水水源地水质变化趋势分析

肖莹洁, 候林丽, 郎锋祥, 吴蓉, 邹武, 徐鹏

(江西省吉安市水文局, 江西吉安 343000)

**摘要:**以吉安市城区 3 个集中供水水源地为研究对象,选取溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、总磷(TP)、铁(Fe)6 个参数,采用线性回归分析法和季节性 Kendall 检验法分析其 2013~2018 年水质变化趋势.结果表明:两种方法得到的断面各分析因子水质趋势一致,但相对而言季节性 Kendall 检验法的结果更精确.运用两种分析方法进行综合判定,3 个供水水源地 NH<sub>3</sub>-N 和 BOD<sub>5</sub> 均呈上升趋势,虽然目前水质良好,但是后期还要加强管理,以确保饮水水质安全.

**关键词:**供水水源地;线性回归分析法;Kendall 检验法;吉安市

**中图分类号:**P332 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2019)06-0428-06

## 0 引言

饮水安全是城市供水的基本保障,直接关系到居民的健康安全和社会经济的稳定发展,然而近年来随着经济的快速发展和城镇化水平的不断提高,大量的工业废水、生活污水、农业非点源污染以及水源保护区不合理开发活动等已经严重威胁饮用水水源安全<sup>[1]</sup>,加强饮用水水质监测显得尤为重要.城区饮用水水质评价分析是饮用水安全的一项基础性工作,分析其水质变化趋势可以了解和判断水中污染物随时间和空间的变化<sup>[2]</sup>,为科学合理制定城市饮用水安全保障规划提供决策支持,对推动城市饮用水安全保障工作具有重要意义.吉安市城区供水水源,对吉安市经济、社会的可持续发展和人民群众的健康起到了至关重要的作用,分析评价其水质能够全面科学了解水源地水质状况.本文根据 2013~2018 年吉安市水资源监测中心的吉安城区 3 个集中供水水源地水质监测资料,评价其水质状况,采用线性回归分析法和季节性 Kendall 法两种方

法对其水质变化进行趋势对比分析,以期为饮用水水源地水质保护和水资源可持续利用提供技术支撑.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

吉安,古称庐陵,为江西省下辖地级市,介于北纬 25°58'32"至 27°57'50",东经 113°46'至 115°56'之间<sup>[3]</sup>,境内河流众多,以赣江为中轴,有 30 条大小支流汇入,各河上游植被茂密,山高水陡,水量充盈,水力资源充沛,流域总面积约 29 000km<sup>2</sup>,水资源总量为 224.20 亿 m<sup>3</sup>.吉安市城区辖两区:吉州区和青原区,城市供水人口合计 45 万.吉安市城区 3 个集中供水水源均来自赣江,从上游至下游分属五岳观水厂、吉福水厂和河东水厂,其中五岳观水厂和吉福水厂为吉州区主要供水水源,河东水厂为青原区主要供水水源,均属全国重要饮用水水源地吉安市赣江水源地,所在水功能区为赣江吉安饮用水源区(水质目标为 II~III 类),处于峡江水利枢纽工程(2013 年 9 月开始试运行,2015 年 8 月全面

收稿日期:2019-08-26

项目来源:江西省水文局 2018 年度青年科技创新基金资助项目(SWJJ-KT201805).

作者简介:肖莹洁(1991-),女,大学本科.

表 1 主要污染指标及检测方法

项目	检测方法
溶解氧 (DO)	水质 溶解氧的测定 碘量法 GB 7489-1987
高锰酸盐指数 (COD <sub>Mn</sub> )	水质 高锰酸盐指数的测定 GB 11892-1989
五日生化需氧量 (BOD <sub>5</sub> )	水质 五日生化需氧量(BOD <sub>5</sub> )的测定 稀释与接种法 HJ 505-2009
氨氮 (NH <sub>3</sub> -N)	水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法 HJ 535-2009
总磷 (TP)	水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法 GB 11893-1989
铁 (Fe)	水质 铁、锰的测定 火焰原子吸收分光光度法 GB 11911-1989

建成发电)入库区。

根据历年《吉安市水资源公报》可知,2013~2018年吉安市城区3个供水水源地水质均符合地表水饮用水源地标准和赣江吉安饮用水源区水功能区目标。

## 1.2 数据与方法

造成水质污染的原因是多方面的,可以把反映水质好坏的水质参数作为研究的随机变量进行水质变化趋势分析,从而掌握水质随时间的动态变化规律。在确定趋势分析的因子时应选择数据较为完整可靠、监测序列较长,且在判断水质污染有重要作用的指标。在吉安市五岳观水厂、吉福水厂和河东水厂2013~2018年水质的监测资料中,溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、总磷(TP)、铁(Fe)等6个地表水常规监测项目,数据完整、数值存在变化,而其他项目未检出或含量很低,故本文选取这6个主要污染指标参与水质趋势分析,其检测方法详见表1。

运用 Excel 和 PWQTrend2010 趋势分析软件对数据进行处理,采用线性回归分析法和季节性 Kendall 检验法两种方法进行趋势分析。线性回归分析法和季节性 Kendall 检验法的具体分析原理详见参考文献<sup>[9]</sup>。

## 2 吉安城区供水水源地水质趋势分析

### 2.1 基于线性回归分析法的吉安城区供水水源地水质趋势分析

#### 2.1.1 吉安城区供水水源地主要污染指标变化趋势

6个主要污染指标中,溶解氧可反映水体的自净能力,其数值越大说明该水体自净能力越强;五日生化需

氧量是反映水中易分解有机污染物含量的一个综合指标,其含量越大,水体受有机污染越明显;高锰酸盐指数则是反映水体中有机和无机可氧化物质污染的常用指标;氨氮和总磷是水体中的营养元素,可导致水体的富营养化;铁是水源地水质是否合格的一个重要指标。3个水厂6个主要污染指标变化趋势详见图1。

由图1(a)可以看出,3个水厂DO趋势变化并不明显,其中五岳观水厂水体中DO呈缓慢上升趋势,吉福水厂和河东水厂呈缓慢下降趋势,但其上升和下降趋势均不明显。DO单项指标都为I类,说明水体自净能力较强。

在图1(b)中,3个水厂BOD<sub>5</sub>均呈上升趋势,但含量都在I类水范围内,说明可生化降解的有机物含量在可控范围内。由于其含量有增大趋势,后期要加以控制,以免超过标准限值,造成水质不达标。

图1(c)表明,3个水厂NH<sub>3</sub>-N含量均呈上升趋势,五岳观水厂和吉福水厂较河东水厂上升趋势更明显,说明水体游离氨和铵盐含量有增大趋势。由于3个水厂处于库区内,虽然历年NH<sub>3</sub>-N含量在II类水范围内,未有明显污染,但应注意控制其含量的进一步增大,避免水体的富营养化。

图1(d)中,五岳观水厂、吉福水厂水体中TP含量均呈缓慢上升趋势,河东水厂中总磷含量基本持平。按河流型水库进行评价,TP在II类水范围内。从趋势图中看出水体中磷的含量比较平稳,未有明显变化。

图1(e)可知,五岳观水厂和吉福水厂水体中COD<sub>Mn</sub>呈下降趋势,但趋势不明显;河东水厂COD<sub>Mn</sub>含量虽在I类水范围内,但总体呈上升趋势,说明水中以其为特征污染物含量有上升的趋势,应注意加以控制。

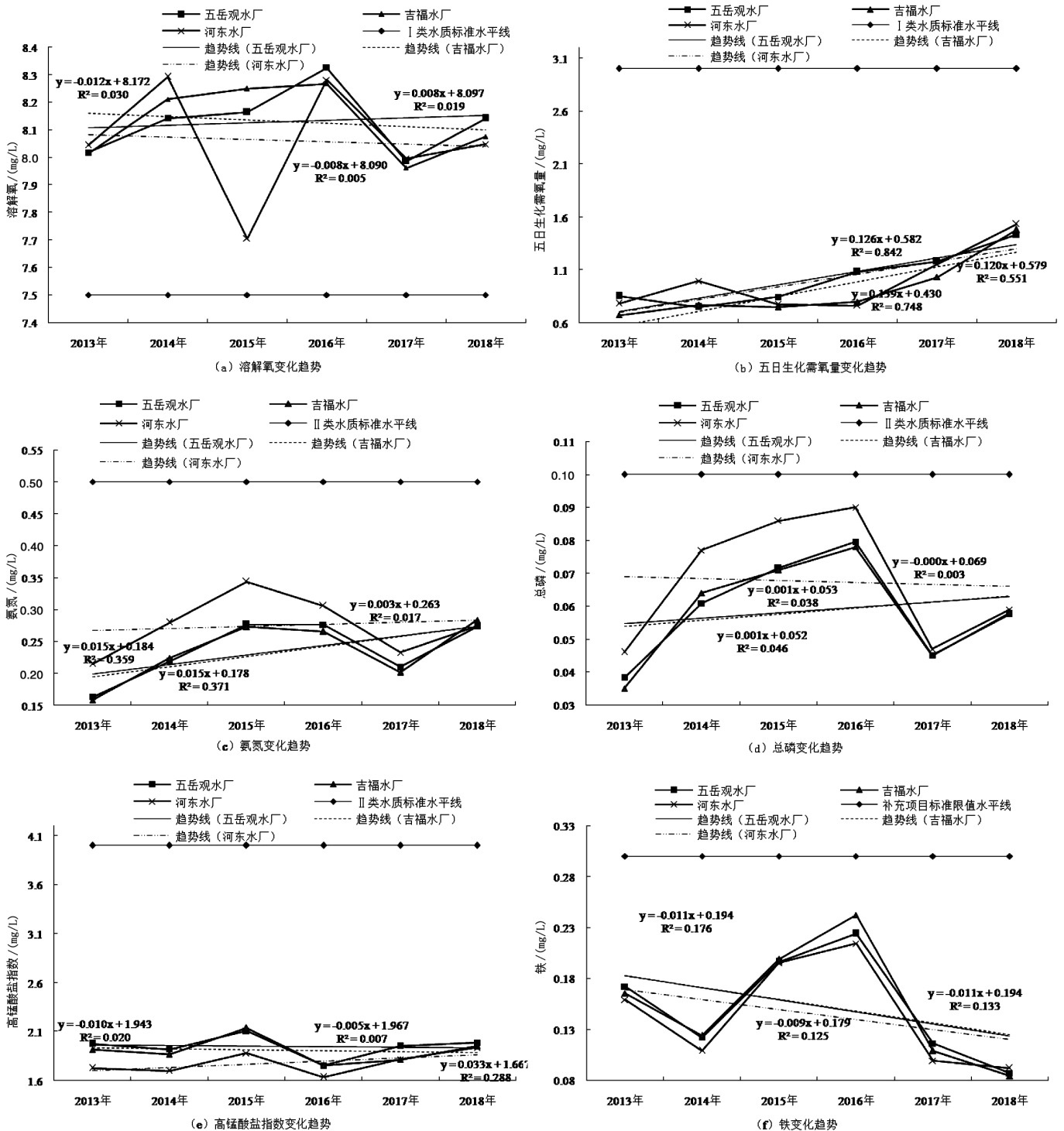


图1 吉安市五岳观水厂、吉福水厂、河东水厂主要污染指标变化趋势

图1(f)中,3个水厂水体中Fe含量均在集中式生活饮用水水源地补充项目标准限值(0.3mg/L)以内,且均呈下降趋势,说明3个水厂未受到此类重金属污染。

2.1.2 吉安城区供水水源地回归结果及统计检验分析  
对吉安城区3个供水水源地6个主要污染指标进

行线性回归,可得出相应的回归方程、相关系数、检验统计值T和趋势线的显著性,相关结果详见表2至表4。

由表2可知,五岳观水厂中,与时间的相关性最好的是BOD<sub>5</sub>,相关性较好的是NH<sub>3</sub>-N,其他因子的相关

表 2 2013~2018 年五岳观水厂水质回归分析结果

五岳观水厂	回归方程	相关系数的平方	检验统计值 T	趋势线	显著否
DO	$y = 0.008 9x + 8.097 9$	0.019 2	0.181	上升	不显著
COD <sub>Mn</sub>	$y = -0.005 3x + 1.967 9$	0.007 6	-0.175	下降	不显著
BOD <sub>5</sub>	$y = 0.126 3x + 0.582 1$	0.842 7	2.549	上升	显著
NH <sub>3</sub> -N	$y = 0.015 0x + 0.184 2$	0.359 7	1.499	上升	不显著
TP	$y = 0.001 6x + 0.053 1$	0.038 7	0.401	上升	不显著
Fe	$y = -0.011 9x + 0.194 3$	0.176 5	-0.926	下降	不显著

表 3 2013~2018 年吉福水厂水质回归分析结果

吉福水厂	回归方程	相关系数的平方	检验统计值 T	趋势线	显著否
DO	$y = -0.012 2x + 8.172 2$	0.030 8	-0.363	下降	不显著
COD <sub>Mn</sub>	$y = -0.010 1x + 1.943 1$	0.021 0	-0.293	下降	不显著
BOD <sub>5</sub>	$y = 0.139 2x + 0.430 9$	0.748 6	3.719	上升	显著
NH <sub>3</sub> -N	$y = 0.015 9x + 0.178 8$	0.371 1	1.872	上升	不显著
TP	$y = 0.001 9x + 0.052 0$	0.046 4	0.441	上升	不显著
Fe	$y = -0.011 6x + 0.194 5$	0.133 6	-0.951	下降	不显著

表 4 2013~2018 年河东水厂水质回归分析结果

河东水厂	回归方程	相关系数的平方	检验统计值 T	趋势线	显著否
DO	$y = -0.008 5x + 8.090 1$	0.005 4	-0.148	下降	不显著
COD <sub>Mn</sub>	$y = 0.033 1x + 1.667 3$	0.288 6	1.319	上升	不显著
BOD <sub>5</sub>	$y = 0.120 4x + 0.579 7$	0.551 0	1.150	上升	不显著
NH <sub>3</sub> -N	$y = 0.003 3x + 0.263 7$	0.017 3	0.325	上升	不显著
TP	$y = -0.000 6x + 0.069 6$	0.003 3	-0.133	下降	不显著
Fe	$y = -0.009 9x + 0.179 3$	0.125 0	-0.763	下降	不显著

性较差。在趋势检验中,DO、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 呈上升趋势,其中 BOD<sub>5</sub> 有显著上升趋势;呈下降趋势的项目有 COD<sub>Mn</sub> 和 Fe,但下降趋势均不显著。

在表 3 吉福水厂断面中,与时间的相关性最好的是五日生化需氧量,相关性较好的是氨氮,其他因子的相关性较差。所有污染因子中,呈上升趋势的有 3 项,分别是 BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N 和 TP,其中 BOD<sub>5</sub> 有显著上升趋

势,其它因子上升趋势不显著;呈下降趋势的有 3 项,分别为溶解氧、高锰酸盐指数和铁,下降趋势均不显著。

由表 4 中可知,河东水厂断面中,与时间的相关性最好的是 BOD<sub>5</sub>,相关性较好的是高锰酸盐指数,其他因子的相关性较差。高锰酸盐指数、BOD<sub>5</sub>、氨氮呈上升趋势,上升趋势均不显著;呈下降趋势的项目有溶解

表5 2013~2018年五岳观水厂、吉福水厂、河东水厂水质季节性 Kendall 检验趋势分析结果

(mg/L)

测站名称	水质项目	检出限	浓度中值	浓度变化趋势	变化率/%	显著水平/%	评价结论
五岳观水厂	DO	0.2	7.8	-0.033 3	-0.43	40.56	无明显升降趋势
五岳观水厂	BOD <sub>5</sub>	0.5	0.9	0.066 7	7.41	6.17	显著上升
五岳观水厂	COD <sub>Mn</sub>	0.5	1.9	-0.010 0	-0.53	73.90	无明显升降趋势
五岳观水厂	NH <sub>3</sub> -N	0.025	0.226	0.020 0	8.85	0.02	高度显著上升
五岳观水厂	TP	0.01	0.06	0.003 2	5.03	3.11	显著上升
五岳观水厂	Fe	0.03	0.11	-0.013 3	-11.76	0.24	高度显著下降
吉福水厂	DO	0.2	7.7	-0.033 3	-0.43	43.83	无明显升降趋势
吉福水厂	BOD <sub>5</sub>	0.5	0.8	0.127 8	15.97	0.09	高度显著上升
吉福水厂	COD <sub>Mn</sub>	0.5	1.9	-0.006 7	-0.36	69.71	无明显升降趋势
吉福水厂	NH <sub>3</sub> -N	0.025	0.226	0.022 4	9.95	0.01	高度显著上升
吉福水厂	TP	0.01	0.06	0.001 9	3.10	18.26	无明显升降趋势
吉福水厂	Fe	0.03	0.12	-0.015 0	-12.50	1.49	显著下降
河东水厂	DO	0.2	8.0	-0.060 0	-0.75	14.88	无明显升降趋势
河东水厂	BOD <sub>5</sub>	0.5	0.8	0.116 7	14.00	2.79	显著上升
河东水厂	COD <sub>Mn</sub>	0.5	1.8	0.020 8	1.18	28.92	无明显升降趋势
河东水厂	NH <sub>3</sub> -N	0.025	0.267	0.010 3	3.87	6.06	显著上升
河东水厂	TP	0.01	0.07	0	0	95.58	无明显升降趋势
河东水厂	Fe	0.03	0.11	-0.010 0	-8.82	1.26	显著下降

氧、总磷、铁,下降趋势均不显著。

综上所述,除了五岳观水厂和吉福水厂 BOD<sub>5</sub> 呈显著上升趋势,其他指标则无明显升降趋势。说明五岳观水厂和吉福水厂以 BOD<sub>5</sub> 为特征的有机污染未得到有效控制,污染有明显增加趋势,而河东水厂水质则相对较为稳定。这可能是由于吉州区相对青原区人口密集,生活废污水排放增多造成 BOD<sub>5</sub> 呈显著上升趋势。

## 2.2 基于季节性 Kendall 检验法的吉安城区供水源地水质趋势分析

季节性 Kendall 检验法于 1982 年提出,是一种仅考虑数据相对排列的非参数检验方法,其主要优点是不受水质资料的非正态性、季节性变化、流量相关、出现漏测值或小于检测限值等的影响<sup>[9]</sup>。利用季节性 Kendall 检验法分析水质变化趋势,一般选取 5~8 年的

水质序列。序列太长会掩盖目前的趋势,而序列太短会造成结果不准确<sup>[9]</sup>。其水质趋势分析结果见表 5。

由表 5 分析结果可知:五岳观水厂断面,呈高度显著上升趋势的污染指标为 NH<sub>3</sub>-N,呈显著上升趋势的污染指标为 BOD<sub>5</sub> 和 TP,呈高度显著下降趋势的污染指标为 Fe,其余污染指标无明显升降趋势。这说明以 NH<sub>3</sub>-N、BOD<sub>5</sub> 和 TP 为特征的污染并未得到有效控制。从整体上来看,五岳观水厂水质有变差趋势。

吉福水厂和河东水厂断面中,呈高度显著上升趋势的污染指标为 BOD<sub>5</sub> 和 NH<sub>3</sub>-N,呈显著下降趋势的污染指标为 Fe,其余污染指标无明显升降趋势。这说明以 NH<sub>3</sub>-N 和 BOD<sub>5</sub> 为特征的污染并未得到有效控制。从整体上来看,吉福水厂和河东水厂水质有变差趋势。

综上所述,3 个供水水源地 NH<sub>3</sub>-N 和 BOD<sub>5</sub> 含量均

呈显著或高度显著上升趋势,五岳观水厂 TP 含量呈显著上升趋势,可能是由于近年来随着人们生活水平提高,产生的生活废污水排放量大大增加<sup>[7]</sup>,也可能是峡江水利枢纽工程库区建成运行后,水流流速变小,降低了水、气界面交换的速率和污染物的迁移扩散能力<sup>[8]</sup>,两者共同作用造成这两项指标含量有增大趋势。3个供水水源地 Fe 含量均呈显著或高度显著下降趋势,可能与其地质环境的影响有关<sup>[9]</sup>。3个供水水源地水质均有反差趋势,应多加注意,重点控制 NH<sub>3</sub>-N、BOD<sub>5</sub> 和 TP 项目的污染源,避免水质恶化及富营养化程度加剧。

### 2.3 两种趋势分析方法结果比较

线性回归分析法和季节性 Kendall 检验法两种分析方法得到的结果相比较可知,两种方法得到的断面整体水质趋势一致<sup>[10]</sup>,但3个水厂的 NH<sub>3</sub>-N 和 Fe 均被回归分析法判定为不显著变化趋势,却被季节性 Kendall 检验为高度显著性或显著性变化趋势,五岳观水厂的 TP 和河东水厂的 BOD<sub>5</sub> 被回归分析法判定为不显著变化趋势,却被季节性 Kendall 检验为显著性上升趋势,这是由于两种分析方法采用的数据源及公式判定有所区别造成的。线性回归分析数据采用各个项目的年均值进行统计分析,季节性 Kendall 检验趋势分析数据则采用各个项目的月均值进行趋势分析;另外季节性 Kendall 检验法采用的水质数据在历年相同时间段进行比较,避免了季节性变化的影响,同时数据比较只考虑数据相对排列而不考虑其真实大小,故能避免水质资料中常见的漏测值问题的影响,也使奇异值对水质趋势分析的影响降至最低限度,而线性回归分析法受序列中奇异点影响较大,一个奇异点的出现会使趋势出现较大偏差<sup>[11]</sup>。综合上述分析,两者相比较而言,季节性 Kendall 检验趋势结果更为精确。总体来讲,两种方法在具体判断趋势性是否显著时存在一定的差异,但是整体水质上升或下降的趋势是一致的,在后期的水质分析工作中,我们可以根据实际情况选择相应的趋势分析方法进行判定。

## 3 结论

(1) 选用五岳观水厂、吉福水厂和河东水厂近6年溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、五日生化需氧量

(BOD<sub>5</sub>)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、总磷(TP)、铁(Fe)等6个监测项目数据进行趋势变化分析。水质评价结果表明:吉安城区供水水源地水质良好,满足地表水饮用水源地标准和赣江吉安饮用水源区水功能区目标。其中,高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、总磷(TP)达到了《地表水环境质量标准》II类水标准,溶解氧(DO)、五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)达I类水水质要求,铁(Fe)满足集中式生活饮用水水源地补充项目标准限值要求。

(2) 用线性回归分析法和季节性 Kendall 检验法两种分析方法得到的结果相比较可知,两种方法得到的断面整体水质趋势一致,但相对而言季节性 Kendall 检验法的结果更精确。

(3) 采用两种分析方法进行综合判定,3个供水水源地 NH<sub>3</sub>-N 和 BOD<sub>5</sub> 均呈上升趋势,虽然目前水质良好,但是后期要加强管理,以确保饮水水质安全。

### 参考文献:

- [1] 李文攀,朱擎,李东一,等.集中式饮用水水源地水质评价方法研究[J].中国环境监测,2015,31(01):24-27.
- [2] 于志强,张乃鹏,刁艳芳,等.山东省主要城市重点供水水源地水质变化趋势检验方法探讨[J].盐湖研究,2019,27(01):99-106.
- [3] 涂国平,贾仁安,朱军平,等.吉安市典型沼气生态农业模式的结构和效益分析[J].江西农业学报,2003(04):52-57.
- [4] 张明含.石佛寺人工湿地水质评价及趋势分析[D].沈阳农业大学,2016.
- [5] 于志强,张乃鹏.基于季节性 Kendall 检验法的供水水源地水质变化趋势分析[J].水利规划与设计,2018(10):94-98.
- [6] 石磊.基于季节性 Kendall 检验法分析淀山湖水质变化趋势[J].环境与发展,2019,31(06):154-155.
- [7] 宓辰羲,王林,林慧,等.应用 Kendall 检验法的茭窝水库水质变化趋势分析[J].科学技术与工程,2017,17(21):145-149.
- [8] 饶伟,候林丽,王贞荣.峡江水利枢纽运行后库区水质变化及对策建议[J].江西水利科技,2019,45(04):285-289.
- [9] 彭珂,董晓钢,张晓范,等.季节性 Kendall 检验分析湘江长沙段水质变化趋势[J].中国环境监测,2014,30(01):82-85.
- [10] 丘冬琳.不同水质评价方法对水库水质趋势分析的影响比较[J].广东水利水电,2018(07):13-15.
- [11] 韩晓刚.城市水源水质风险评价及应急处理方法研究[D].西安建筑科技大学,2011.

编辑:张绍付

## Analysis of water quality change trend of water supply source in ji'an city

XIAO Yingjie, HOU Linli, LANG Fengxiang, WU Rong, ZOU Wu, XU Peng  
(Ji'an Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Ji'an 343000, China)

**Abstract:** Taking three centralized water supply sources in ji'an city as the research object, dissolved oxygen (DO), permanganate index ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ), five-day biochemical oxygen demand ( $\text{BOD}_5$ ), ammonia nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), total phosphorus (TP) and iron (Fe) were as the selected parameter. Using linear regression analysis method and the analysis of seasonal Kendall test the water quality change trend in 2013–2018. The analysis results show that the water quality trend of each analysis factor obtained by the two methods is consistent. But the results of seasonal Kendall test are more accurate. By using two analysis methods, it was found that  $\text{NH}_3\text{-N}$  and  $\text{BOD}_5$  in the three water supply sources were on the rise. Although the water quality was good at present, management should be strengthened in the later period to ensure the safety of drinking water quality.

**Key words:** Water source; Linear regression analysis; Kendall test

翻译:肖莹洁

(上接第 427 页)

## Study on core-drilling test concrete strength of the precast thin-walled members in irrigation and drainage engineering

CAO Junfeng<sup>1</sup>, XU Lijian<sup>2</sup>, DAI Guoqiang<sup>2</sup>

(1. Lushan Municipal Water Resources Bureau of Jiangxi Province, Lushan 332800, China;

2. Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** Aggregate size determines core sample diameter in the concrete strength inspection by core drilling method, and the core sample diameter is 2 times higher than the aggregate size. Taking the thin-walled member of irrigation and drainage engineering as an example, this paper has studied the test methods of concrete strength of the precast element which composed of fine aggregate with a diameter of 20mm. In addition, the relation between the core sample with a diameter of 40mm and the strength of 28d cube specimens with a dimension of 150 mm has been studied. The logarithmic function relation and corresponding curves of the core sample with a diameter of 40mm have been put forward. It provides reference for the test methods of concrete strength of small diameter precast element.

**Key words:** Core drilling method; Diameter; Farmland water conservancy; Thin-walled members

翻译:彭圣军