

西江干流近 20 年来水质变化趋势研究^{*}

张利田¹, 陈永勤²

(1. 中山大学城市与资源规划系, 广东 广州 510275;
2. 香港中文大学地理与资源管理学系, 香港新界, 沙田)

摘要: 依据西江高要站自 1980—1999 年的水质监测数据, 对河水主要离子含量多年变化趋势进行了分析。结果表明, Ca^{2+} 离子含量明显上升, 重碳酸根离子明显下降。相应地, 总硬度上升、总碱度下降、总硬度与总碱度的比值上升。以上现象可以理解为河流水质对流域环境酸化的响应结果。

关键词: 西江; 河流化学; 河水主要离子含量; 环境酸化

中图分类号: S159.226 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2002) 04-0097-04

本文中“水质变化”一词的含义同文献^[1], 即指河水主要离子含量(不包括污染性化学物质的含量)在一定社会经济发展水平下, 由于人类活动持续影响所产生的在大区域或流域范围内所表现出来的具有一定方向性的变化。河流水质变化研究是环境演变研究的重要方面。国际上最早的、也是迄今为止仅有的一项全球性河流水质变化研究始于 20 世纪 70 年代末。该项目即 1979 年由联合国的 4 个组织 (UNEP, WHO, UNESCO, WMO) 联合开展的“全球陆地水质监测计划”(GEMS/WATER)^[2,3]。Meybeck (1989) 曾根据 GEMS/WATER 计划前 10 a 的监测资料, 分析了全球河流水质变化的趋势和特点, 撰写了世界上第一个全球水质变化研究报告^[4]。迄今为止, 国际上对个别区域或流域的长期水质变化趋势的研究尚不够活跃。河流水质变化反映了流域化学侵蚀作用的演变。而后者与流域自然条件和人为活动的变化有关。近年来一些学者发现, 流域环境酸化(主要是由流域酸沉降和流域农田氮肥流失并被氧化成酸所引起)对河流和地下水水质变化具有显著影响。如 20 世纪 90 年代, Gert Knutsson (1994) 曾对瑞典西南部地表水和地下水水质变化趋势进行了研究。他发现, 该地区地表和地下水中 HCO_3^- 含量有所降低, Ca^{2+} 及 SO_4^{2-} 的含量有所升高, 相应地, 总硬度与总碱度的比值亦有所升高。Gert Knutsson (1994) 将上述现象解释为酸不敏感地区(石灰岩地区和富含碳酸盐沉积物的地区)地表水和地下水水质对环境酸化作用的响应(瑞典西南部地区的地质岩性以石灰岩为主)^[5]。

我国南方东南、华南和西南地区普遍存在严重的酸沉降, 与北欧、北美并列为世界三大酸雨区^[6-11]。因此, 研究中国南方地区河流水质对环境酸化的响应特征具有全球意义。

20 世纪末, 陈静生等^[12,13]对我国长江水系 100 多个水化学监测站点自 1959—1992 年 40 多年的水质变化趋势所做的研究表明, 长江中上游干支流河水表现出的水质变化趋势与瑞典学者 Gert Knutsson (1994) 在瑞典西南部所发现的相似, 即 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 的含量上升, HCO_3^- 含量下降, 相应地, 总硬度和总碱度的比值上升。这说明, 我国西南酸雨区的酸沉降已经对河流水质产生了明显的影响。与长江中上游河流一样, 西江(属珠江水系)干流和支流也位于我国最严重的酸雨区——西南和华南酸雨区^[6-11], 其水质也必然会受到流域酸沉降的影响。本文拟依据西江下游高要水文站 21 a 的水质监测数据, 讨论流域酸沉降对西江水质的影响特征。

1 资料的收集与统计处理

高要水文站位于西江下游, 其水质状况基本反映了西江中上游地区岩石—土壤风化特征及人为因素的影响特征。故本研究选用高要水文站自 1980—1999 年 21 a 的水文和水质监测数据进行研究。监测数据由广东省水文局提供, 采样频率为 6~12 次/a。主要监测项目包括: 流量, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , 离子总量, 总硬度, 总碱度等。数据录入计算机后, 首先用 Grubbs 检验法进行异常值剔除。异常值检

* 收稿日期: 2002-03-08

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (994112)

作者简介: 张利田 (1963—), 男, 博士, 副教授; E-mail: zltsh0420@sohu.com

验利用 SPSS 统计软件进行。然后分析各水质指标的多年变化趋势。利用 Seasonal Kendall 趋势检验法分别对各水质指标进行趋势检验 (取显著性水平 $\alpha = 0.01$)。对检验结果显著的水质指标, 则进一步绘制时间曲线图。

2 结果与讨论

2.1 高要水文站主要水质指标的变化趋势

根据对有关水质监测资料的分析, 近 21 a 来西江高要水文站各主要水质指标的变化趋势是:

- (1) Ca^{2+} 离子含量显著上升, HCO_3^- 含量显著下降; 总硬度显著上升, 总碱度下降, 相应地, 总硬度与总碱度的比值上升;
- (2) 河水 K^+ 、 Na^+ 离子含量明显下降;
- (3) 其它水质指标无显著变化趋势。

图 1 为 4 个典型水质指标的变化曲线图。由图 1 可看出, 西江干流水质变化特征与陈静生等 (1998) 所发现的长江中上游河水水质变化特征大体相近。但与长江中上游不同的是, 高要水文站 SO_4^{2-} 含量无明显上升趋势, 而 K^+ 、 Na^+ 离子含量则明显下降。需要说明的是, 陈静生等使用的长江中上游水质数据的时段是 1959—1992 年; 而本研究使用的西江高要站水质数据的时段是 1980—1999 年 (1980 年以前未进行水质监测)。目前因未收集长江流域的最新水质资料, 故无法判明长江中上游

河水 SO_4^{2-} 离子含量自 1992 年以后是否仍具有明显的上升趋势。

2.2 高要水文站水质变化趋势与流域环境酸化的关系

一般认为, 在无人为因素扰动的情况下, 流域岩石—土壤体系的风化作用仅决定于碳酸平衡体系, 并由此决定着流域地下水—河水的水化学特征。但若流域内有人为酸源输入, 则岩石—土壤体系的风化作用不仅决定于碳酸平衡体系, 也受其它酸源物质 (如硫酸、硝酸等) 平衡体系的制约。我国学者进行的大量研究表明, 西江水系上游 (云南、贵州) 位于我国西南酸雨区, 中游 (广西) 属我国华南酸雨区西部, 自 20 世纪 80 年代初以来一直存在严重的酸沉降^[6-11]。因此, 流域内长期以来持续存在碳酸以外的其它酸源物质的输入。此酸源物质的输入必然在河流水质的长期变化趋势中有所反映。

在酸源物质的作用下, 流域河水水质变化特征决定于流域内岩石—土壤体系的酸缓冲模式。一般认为, 岩石—土壤体系存在 2 种酸缓冲体系。其中一级缓冲体系为阳离子交换和氢氧化铝的水解反应; 二级缓冲体系为原生矿物风化反应。理论上, 二级缓冲体系的酸缓冲能力远大于一级缓冲体系。当酸源物质进入岩石—土壤系统中时, 首先由一级

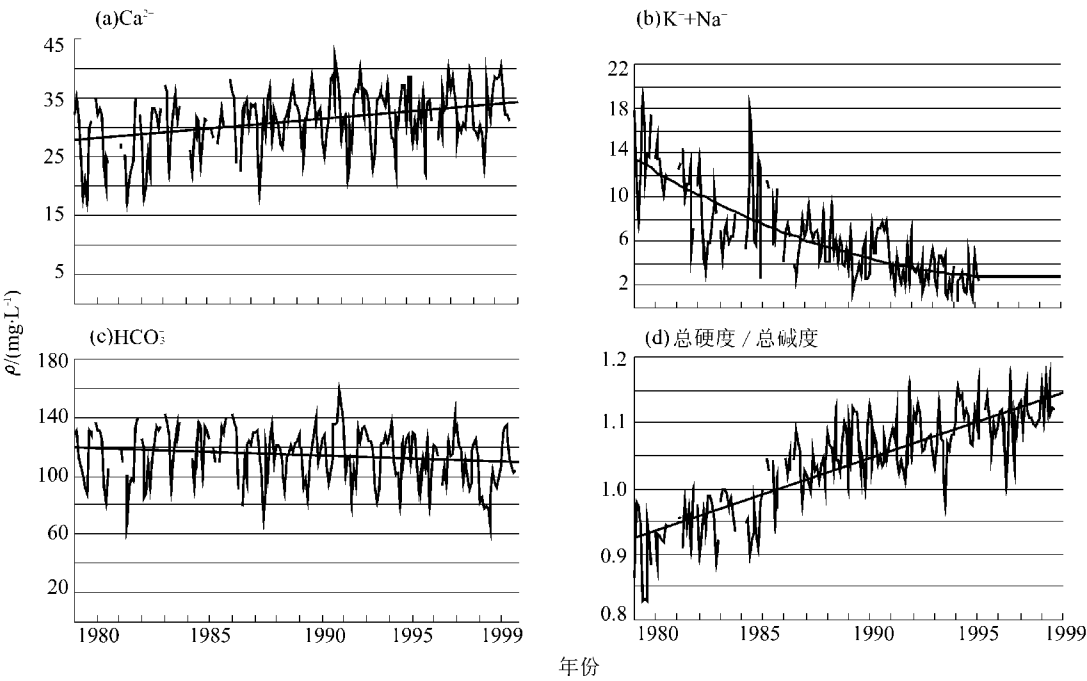


图 1 高要水文站 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 HCO_3^- 、总硬度与总碱度的比值等的变化势

Fig 1 Trends in Ca^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, HCO_3^- and ratio of total hardness to total alkalinity at Gaoyao Station

缓冲体系来消耗外来质子。当酸沉降持续作用，一级缓冲体系被破坏殆尽时，二级缓冲体系才开始起作用。因此，我国西南和华南地区岩石—土壤体系经多年的酸雨作用，其酸缓冲作用应以原生矿物风化反应为主。

按照一般常识，在不同的岩石—土壤条件下，二级缓冲作用的机理也不同。在花岗岩、变质岩和砂岩地区，二级缓冲作用应以铝硅酸盐的水解作用为主；而在石灰岩和富含碳酸盐的碎屑岩地区，二级缓冲作用应以碳酸盐的溶解作用为主。由于碳酸盐的溶解速率高于铝硅酸盐的水解速率，故石灰岩和富含碳酸盐的碎屑岩地区岩石—土壤体系的酸缓冲能力应高于花岗岩、变质岩和砂岩地区，可称之为“酸不敏感地区”。根据 Gert Knutsson (1994) 的观点^[9]，在酸不敏感地区（如石灰岩地区），酸沉降不会造成河流和地下水 pH 的显著下降，而是消耗水体的碱度并引起碳酸盐岩石溶蚀作用的加强。其结果是水体硬度增加，碱度的下降，总硬度和总碱度比值的上升。据此，Gert Knutsson (1994) 指出^[9]，在酸不敏感地区（如石灰岩地区），河水总硬度与总碱度的比值可反映出流域是否有人为酸源物质的输入。当河水的总硬度与总碱度的比值等于 1 时，表明岩石的溶解作用仅受碳酸体系的影响；当河水的总硬度与总碱度的比值大于 1 时，则表明岩石的溶解作用中有其它人为酸源的输入。

据文献 [14, 15]，西江中上游地区广泛分布石灰岩和富含碳酸盐的碎屑岩地层，仅小范围地区（柳江中、上游局部地区，桂江上游桂林以上地区，西江下游支流北流河部分地区）分布有花岗岩和变质岩地层。故可以认为，整个西江流域的酸缓冲过程基本受碳酸盐岩石溶蚀作用的控制，铝硅酸盐的水解作用不会对河水水质造成明显影响，因而可以忽略。亦即，西江中上游地区属酸不敏感地区。高要水文站的河水水质特征是该断面以上西江干、支流水质混合作用的结果，基本代表了西江中上游广大地区岩石—土壤体系的风化特征。图 1 显示，西江高要站河水的总硬度与总碱度的比值从 20 世纪 80 年代末起已大于 1，并一直保持上升趋势。按照 Gert Knutsson (1994) 提出的判断标准，可以认为，自 20 世纪 80 年代末起，西江水系中上游地区已受到人为环境酸化作用（主要是流域酸沉降）的影响。亦即，西江高要水文站近 20 a 来河水硬度增加，碱度下降，总硬度和总碱度比值上升的现象，可以理解为流域岩石—土壤体系对酸沉降输入的环境酸源物质进行缓冲作用的结果。该缓冲作用以重碳酸根离子的消耗和碳酸盐的溶解作用为主。由此

可以认为，我国西南和华南酸雨区的酸沉降已经造成对流域的岩石—土壤体系化学侵蚀的加速效应，并引起河流水质的相应变化。并且这种变化具有与北欧酸雨区相近的特征。需要指出的是，除酸沉降外，流域内其它人为活动如采矿和水土流失等也会造成河水水质的相应变化。但人类的采矿活动一般引起某些金属或非金属污染物进入水体，造成采矿点下游河段的水质污染。对于重金属污染，污染所影响的距离有限（污染物多因吸附作用而进入河流底泥中）。而流域因人为活动引起的水土流失通常主要引起河水总悬浮固体含量的升高。以上两种人为活动均不会引起流域岩石—土壤体系化学侵蚀的加速效应。

3 结 论

依据西江高要站自 1980—1999 年的水质监测数据，该站河流水质变化具有以下明显趋势：

- (1) 该站点河水 Ca^{2+} 离子含量明显上升，重碳酸根离子含量明显下降，相应地，河水总硬度上升、总碱度下降，总硬度与总碱度的比值显著上升；
- (2) 河水 K^{+} 、 Na^{+} 离子含量明显下降；
- (3) 其它水质指标无显著变化趋势。高要水文站位于西江下游，其水质变化特征大体反映了西江流域的岩石—土壤体系风化特征及人为因素的影响特征。该站点河水 Ca^{2+} 离子含量明显上升，重碳酸根离子含量明显下降，相应地，河水总硬度上升、总碱度下降，总硬度与总碱度的比值显著上升等现象可以理解为西江水系河水水质对流域环境酸化的响应结果。有关高要水文站河水 K^{+} 、 Na^{+} 离子含量明显下降的原因尚待进一步分析。

参考文献:

[1] 陈静生, 关文荣, 夏星辉, 等. 长江干流近 30 年来水质变化若干问题探析[J]. 环境化学, 1998, 17(1): 8—13.

[2] 陈静生. 陆地水水质变化研究国内外进展[J]. 环境科学学报, 2000, 20(1): 10—15.

[3] GEMS. Data Evaluation Report[R]. GEMS/Water Programme. WHO, Geneva. Doc. 1983

[4] MEYBECK M, CHAPMAN D, HELMER R. Global freshwater quality: a first assessment[M]. London: Blackwell, 1989: 310.

[5] Gert Knutsson. Trends in the acidification of groundwater // Groundwater Quality Management (Proceedings of the GOM 93 Conference held at Yallin, September 1993). LAHS Publ. 1994: 5—15.

[6] 徐富康, 郝吉明. 我国酸雨现状特点及对策谏议[J]. 环

境科学, 1990, 11(1): 61—65.

[7] 魏复盛. 我国降水酸度和化学组成的时空分布特征 // 中国环境科学学会编. 酸雨文集[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989: 203—207.

[8] 陈志远. 中国酸雨发展趋势及对策[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 126—133.

[9] 陈延智. 两广地区酸性降水及化学组成的特征[J]. 环境科学研究, 1988, 1(2): 17—30.

[10] 杨新兴, 高庆先, 姜振远等. 我国硫输送和沉降量规律的研究[J]. 环境科学研究, 1998, 11(4): 27—34.

[11] 张远东. 珠江三角洲地区酸雨污染简析[J]. 环境科学研究, 1999, 12(3): 31—34.

[12] 陈静生, 关文荣, 夏星辉, 等. 长江中、上游水质变化趋势与环境酸化关系初探[J]. 环境科学学报, 1998, 18(3): 265—270.

[13] 陈静生, 夏星辉, 蔡绪贻. 川贵地区长江干支流河水主要离子含量变化趋势及分析[J]. 中国环境科学, 1998, 18(2): 131—135.

[14] 程裕淇, 沈永和, 陈书铭, 等. 中国地质图(1:5000000) [M]. 北京: 中国地质出版社, 1990.

[15] 程裕淇, 沈永和, 曹国权, 等. 中国区域地质概论[M]. 北京: 中国地质出版社, 1994: 313—341.

Study on Water Quality Changes in the Xijiang River

ZHANG Li tian¹, CHEN Yong qin David

(1. Department of Urban and Resources Planning, Sun Yat sen(Zhongshan) Universisty, Guangzhou 510275, China;
2. Department of Geography and Resources Management, The Chinese Universisty of Hong Kong, Hong Kong, China)

Abstract: The evolution trend of water quality at Gaoyao Hydrometric Station of the Xijiang River is analyzed based on recent twenty year monitoring data. The results show that the contents of calcium ion, the total hardness and the ratio of total hardness to total alkalinity increase, while alkalinity decreases. The causes of the evolution trend of the major ion contents are detemined as acid deposition in the southwest of China and South China.

Key words: Xijiang River; water chemistry of river; total ion contents of river water; environmental acidification