

重庆岩溶地区地下河水化学特征因子分析^{*}

魏兴萍^{1,3}, 蒲俊兵², 谢德体³

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院 GIS 应用研究重点实验室, 重庆 401331;

2. 中国地质科学院岩溶地质研究所 国土资源部/广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004;

3. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

摘要:利用主成份分析方法以及 Arcgis 软件,选取了重庆岩溶地区 70 条地下河中 13 个水文地球化学指标,分析了目前该地区地下河水污染规律。主要结果如下:1) 对岩溶地下河水 13 个水化学指标进行主成份分析,得到人类活动的主要因子(Ec , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , Cl^- , K^+ , Sr^{2+})以及水-岩作用因子(Ca^{2+} , HCO_3^- , pH 值)。2) 对人类因子和水-岩因子进行空间分析,发现地下河水的离子浓度在空间上的分布大多为主城周边地区最高,然后依次为渝东地区、渝东南地区、渝东北地区。研究认为,上述空间格局的分布受到人类活动、工业活动或者农业活动的密集程度影响,因此缓解地下河污染需要从工业、生活污水、农业灌溉等多渠道源头控制。

关键词:岩溶;地下河;空间分布;水化学特征;重庆

中图分类号:P641.134

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2016)03-0059-05

“土在楼上,水在楼下”是岩溶地区典型的国土资源分布格局。这种分布格局使得岩溶地区地表水资源短缺,地下水资源珍贵。因此岩溶地下水是国内外很多国家或者城市重要的水源甚至是唯一的水源^[1]。为此关于岩溶地区地下水的研究经历了很长历史时期。最早开发利用地下水的事件可以追溯到公元前 1 200 年,黎巴嫩为了农业灌溉而修建了 Ras el Ain 岩溶泉^[2]。西南岩溶地区是世界上最大的岩溶连片分布区,有关岩溶地下河的研究取得了不少成果。杨立铮等学者从宏观上分析了西南岩溶地下河分布规律^[3-5];而为了进一步清楚认识地下河的发育规律, Groves 等人对地下河形成演化机理进行了研究,分析了自然条件如何控制地下河发育^[6-11],并得出岩溶地区异质性强、不同地下河形成演化的主要控制因素不同的结论。为了利用地下河水资源,学者们分析了岩溶地下河赋存形式,认为它们主要以地下河和岩溶泉的形式存在;学者们还分析了南方岩溶地下河的条数和岩溶泉的个数,为岩溶地区地下水资源的开发做出了重大贡献^[3-5]。同时刘再华等学者也分析了岩溶地下河水化学特征和水量,但是他们大多侧重对某一条河流或者一次降雨条件下水化学特征的响应进行研究^[12-17];为了保护岩溶地下水资源,戴景春等人还做了地下河开发利用和保护研究^[18-20]。重庆岩溶地区是中国西南岩溶地区的重要组成部分。由于重庆岩溶面积比例相比广西、贵州、云南等地相对较小,因此一直以来关于重庆岩溶地下河水化学的特征研究工作开展较晚,数量也较少。2006 年夏季以及 2009 年秋、冬季到 2010 年春季,重庆地区均遭受特大干旱,而地表水本身就缺乏的岩溶地区更成为了重灾区。因此,研究重庆岩溶地区地下河发育机理以及地下水污染状态,对于指导重庆岩溶地区地下水开发利用以及保护地下水资源有着重要的意义。

1 研究区概况

重庆市经度范围为东经 $105^{\circ}17'$ ~ $110^{\circ}11'$,纬度范围为北纬 $28^{\circ}10'$ ~ $32^{\circ}13'$,幅员面积 $8.24 \times 10^4 \text{ km}^2$,人口 3 200 万。重庆属于扬子准地台和秦岭地槽两个 I 级构造单元,岩溶面积约 $3.0 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总面积的 36.49%,主要分布在渝东北大巴山褶皱山地和渝东南巫山-大娄山褶皱山地一带,其次分布在中西部平行岭谷区的背斜轴部。研究区有岩溶地下河 380 条,总长度达 2 155 km,主要分布在寒武系、奥陶系、二叠系和三叠系等

^{*} 收稿日期:2015-06-02 修回日期:2016-03-15 网络出版时间:2016-04-30 9:42

资助项目:国家自然科学基金(No. 41202135; No. 41202185);重庆市自然科学基金(No. cstc2012jjA80008);国土资源部公益性行业科研专项(No. 201311148)

作者简介:魏兴萍,女,副教授,博士,研究方向为资源环境与地理信息系统, E-mail: xingpingwei@126.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20160430.0942.018.html>

地层。重庆属于典型的亚热带湿润季风气候,多年平均气温为 16~19℃左右,东部稍低于西部,多年平均降雨量 1 000~1 200 mm,降雨主要集中在 5~9 月,且多暴雨。重庆地区河流众多,均属于长江水系^[21]。

2 采样与分析方法

2.1 地下河采样和测试方法

2009 年 1~2 月(旱季),根据地下河在重庆地区分布格局,确定地下河的选取。重庆地区地下河主要分布在川东南陷褶带、大巴山弧形断褶带和川东褶皱带等 3 个重庆主要构造带上,因此在渝东南地区、渝东北地区、渝东地区选取地下河条数最多,依次分别为 24,19,18 条。另外在主城周边地区选取地下河 9 条,共计 70 条地下河;分别在地下河出口(封二彩图 1)进行采样,每条地下河出口采集 3 个样品,对样品 pH 值、电导率、 Cl^- 值等 13 个指标进行测试并取平均值。由于经费所限,对每条地下河出口取样仅 1 次。野外用美国哈希公司 HQ340d 多参数水质分析仪测试水温、pH、电导率,用碱度计和硬度计测量水中的 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 。 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 测试用离子色谱分析仪完成,样品测试在西南大学岩溶环境学实验室完成。 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} 等使用 ICP 分析仪完成,仪器稳定性:1 h 内 RSD 值小于 1% 相对标准偏差 RSD 值不高于 0.5%,样品测试在西南大学地球化学与同位素实验室完成^[22]。

2.2 主成份分析方法

主成份分析方法的原理和得分计算方法参照文献[23]进行,利用 SPSS 软件进行相关指标的计算。

2.3 Arcgis 空间分析方法

对所得到的 70 条地下河 13 个指标运用 Arcgis 软件进行空间插值,得到各指标的空间布局。

3 结果与分析

3.1 岩溶地下水水化学特征空间分析

对岩溶地区地下河水化学进行主成份分析,因子选取水温, Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Ec, pH 值, Mg^{2+} , Sr^{2+} , HCO_3^- 和硬度等 13 个指标。KMO 检验统计量为 0.605>0.5,表明通过 KMO 检验;Bartlett 球形检验的卡方值为 2 538.29,自由度 91, $p<0.05$,通过显著性检验;因此该数据适合因子分析。选取特征根大于 1 的 2 个主成分 PC1 和 PC2,两者方差贡献率分别为 57.49% 和 26.23%,累积贡献率为 83.72%,因此可以用这两个主成份代表 13 个水化学特征(表 1)。根据因子分析,水化学特征分为 2 类因子,第一因子是人为影响因素(Ec, SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , Sr^{2+} , Cl^- , K^+),第二因子自然影响因素(水-岩作用)(Ca^{2+} , HCO_3^- , pH 值)。

3.1.1 人为影响因子水化学特征空间分析 Ec 反映地下水中各种溶解盐总离子含量。人类活动产生的污染物质越多,水中 Ec 值就越高;当岩溶作用越强,水中 Ec 值也越高。地下水中 SO_4^{2-} 来源于含石膏或其他硫酸盐的沉积岩的溶解、硫化物的氧化和人为污染。从封三彩图 2 可见,主城周边地区地下河水的 Ec 和 SO_4^{2-} 浓度最高,然后依次为渝东地区、渝东南地区、渝东北地区。根据重庆市 2008 年地表水污染源调查数据显示,也是主城周边地区地表污水排放量最高为 $92\,977\times 10^4\text{ t}$,其中工业排放量占 65%,城镇排放量占 35%;其次为渝东地区,地表污水排放量为 $28\,238\times 10^4\text{ t}$,其中工业排放量占 62%,城镇排放量占 38%;渝东南地区地表污水排放量排第三为 $19\,211\times 10^4\text{ t}$,其中工业排放量占 67%,城镇排放量占 33%;渝东北地区地表污水排放量最少,为 $8\,302\times 10^4\text{ t}$,其中工业排放量占 55%,城镇排放量占 45%。从 SO_2 排放量来看,仍然是主城周边地区的排放量最高,然后依次为渝东地区、

表 1 地下水水文地球化学指标的载荷和方差贡献率矩阵
Tab. 1 The load of groundwater hydrogeochemical index and contribution rate of variance matrix

指标	PC1	PC2
pH	-0.184	-0.896
Ec	0.900	0.325
水温	0.157	0.212
HCO_3^-	-0.079	0.763
Cl^-	0.752	0.282
NO_3^-	0.634	0.090
SO_4^{2-}	0.983	0.058
K^+	0.810	0.152
Na^+	0.950	-0.007
Ca^{2+}	0.601	0.685
Mg^{2+}	0.666	0.061
Sr^{2+}	0.844	0.232
硬度	0.693	0.562
方差贡献率/%	57.49	26.23
累计方差贡献率/%	57.49	83.72

渝东南地区、渝东北地区,具体排放量依次为 398 950,177 704,154 872,90 647 t。由此对比后可见,人类活动尤其是工业活动对地下水的 E_c 值、 SO_4^{2-} 浓度影响很大。

地下河中 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 等离子浓度主要来自人类活动排放。 Na^+ 和 Cl^- 在綦江区的南桐矿区和渝东涪陵区出现了异常高值——前者是因为 Na_2SO_4 碱厂废水排放污染所致;后者是全国有名的榨菜生产地,部分地下河可能受到榨菜厂排放废水污染的影响,从而导致 Na^+ 和 Cl^- 浓度升高(封三彩图 2)。

从封三彩图 2 可见,重庆地区地下河中 NO_3^- 浓度普遍偏高,该指标在空间上的分布仍然表现为在主城周边地区最高,然后依次为渝东地区、渝东南地区、渝东北地区。根据 2008 年地表水污染源调查得知,氨氮排放量的空间分布跟地下水中 NO_3^- 浓度在空间上的分布规律一致。其中主城周边氨氮排放量为 30 805 t,其中工业排放量占 14%,城镇排放量占 25%,农业排放量占 61%;渝东地区氨氮排放量为 15 181 t,其中工业排放量占 4%,城镇排放量占 16%,农业排放量占 80%;渝东南地区氨氮排放量为 11 059 t,其中工业排放量占 0%,城镇排放量占 12%,农业排放量占 88%;渝东北地区氨氮排放量 8 015 t,其中工业排放量占 0%,城镇排放量占 10%,农业排放量占 90%。因此地下水中 NO_3^- 的来源主要来自农业活动的施肥等,其次来自城镇排污,再次才是工业排污的影响。

总体上看,受人类影响的各离子浓度在主城周边地区最高,然后依次为渝东地区、渝东南地区、渝东北地区。为了进一步证实上述因子的影响因素,根据 2008 年重庆市统计年鉴^[24],分别统计了农业活动、工业活动(包括矿业活动)和城市扩张(以城镇发展建设进行统计)在上述 4 个地区的值(表 2)。从表 2 可以看出,渝东北地区 and 渝东南地区的总人口/岩溶面积、农业人口/岩溶面积比值相同,渝东地区建筑业产值高于主城周边地区;除此以外,其余各指标均表现出主城周边地区最高,然后依次为渝东地区、渝东南地区、渝东北地区。这一结果充分证明了农业活动、工业活动、矿业活动、城市扩张等人类活动对地下河污染的决定性的影响。

表 2 重庆 4 大区域农业、工业以及建筑业统计数据

Tab. 2 Statistical data of the agriculture, industry and construction in 4 region of Chongqing

地区	农业			工业(包括矿业)	城市扩张
	总人口与岩溶面积比/ (人·hm ⁻²)	农业人口与岩溶面积比/ (人·hm ⁻²)	农业人均纯收入/ 万元	工业产值/万元	建筑业产值/万元
主城周边地区	5.25	3.9	3.59	7 855 949	4 689 256
渝东地区	0.3	2.4	1.36	6 985 126.5	5 762 484.5
渝东南地区	1.65	1.35	1.02	1 858 620	938 452
渝东北地区	1.65	1.35	0.69	886 005.5	1 064 091

3.1.2 自然影响因子(水-岩作用)水化学特征空间分析 岩溶水中的 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 主要来自岩溶作用、含碳酸盐的沉积岩溶解以及岩浆岩与变质岩的风化溶解作用,pH 值也受到上述因素的影响^[25-27]。其中 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 浓度空间分布格局显示:主城周边地区两者浓度最高,然后依次为渝东地区、渝东北地区、渝东南地区(封三彩图 3)。这两个指标在主城周边地区和渝东地区浓度较高的主要原因有:1) 主城周边地区和渝东地区海拔较低,平均水温均高于渝东南地区和渝东北地区,溶蚀作用更强——如将重庆市地下河出口分布与高程叠加分析,得到地下河出口高程分布区域,其中渝东北地下河主要海拔在 1 000~1 500 m 和 1 500 m 以上,渝东南地下河主要海拔在 500~800 m 以及 1 000~1 500 m,而主城周边地区和渝东地区地下河主要海拔分布仅在 500~800 m。2) 主城周边地区和渝东地区人类活动强度较高,人们排放的污水进入地下河促进了岩溶作用,导致 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度较高;在渝东北地区长江附近 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度较高,可能与该区地下河良好的排泄环境有关——该区山高谷深,河流流速快,岩溶作用强,溶蚀了更多的碳酸盐岩。而岩溶水 pH 值与 Ca^{2+} 成高度负相关,因此 pH 值空间分布格局与 Ca^{2+} 分布几乎相反,表现为渝东南地区溶岩水 pH 值最高,然后依次为渝东北地区、主城周边地区和渝东地区(封三彩图 3)。

4 结果与讨论

岩溶地区地下河是重要的水资源,鉴于重庆岩溶地区区域性水资源研究少,本研究选择 70 条地下河 13 个水化学特征进行分析研究,对实测的地下水化学特征进行主成份分析和空间模拟,并运用有关统计年鉴得到了

印证,初步得出以下结果:

1) 岩溶地下河 13 个水化学成分通过主成份分析,水化学特征被分为二类因子,第一因子是人类活动(Ec , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , Sr^{2+} , Cl^- , K^+),第二因子水-岩作用(Ca^{2+} , HCO_3^- , pH 值)。

2) 人类活动因子和水-岩作用因子的空间分布特征,基本都遵循主城周边地区最高然后依次为渝东地区、渝东南地区、渝东北地区的规律(pH 值除外),主要是农业、工业、城市扩张、矿业等活动对地下水影响的强弱程度不同导致,而一些异常高值区的出现则是因为该地有特殊的矿产或者生产基地,人类活动增强了对该地的影响所致。

由于受项目经费的限制,本研究仅选择了 380 条重庆岩溶地下河中的 70 条进行了地下水化学特征分析,因此选取的地下河条数有限,在空间插值分析时将难免出现不准确的空间分布。为了使研究的成果更有说服力,下一步将扩大地下河选取范围,且在取样时间安排上将在雨季也进行地下河取样。此外,研究地下河水污染以及岩溶地下河对碳汇的影响也是下一步研究的方向。

参考文献:

- [1] Directorate-General Science, Research and development, hydrogeology aspects of groundwater protection in karstic areas, final reports (COST Action 65) [R]. Luxembourg: European Commission, Office for Official Publications of the European Communities, 1995.
- [2] Burdon D J, Safadi C, Ras E A. The great spring of Mesopotamia[J]. Journal of Hydrology, 1963(1): 58-95.
- [3] 杨立铮. 中国南方地下河分布特征[J]. 中国岩溶, 1985, 4(Z1): 92-100.
Yang L Z. Distribution of subterranean rivers in south China[J]. Carsologica Sinica, 1985, 4(Z1): 92-100.
- [4] 李国芬. 广西岩溶水文地质特征及其水资源[J]. 中国岩溶, 1996, 15(3): 253-258.
Li G F. Karst hydrogeologic characteristics and water resources in Guangxi[J]. Carsologica Sinica, 1996, 15(3): 253-258.
- [5] 袁丙华. 中国西南岩溶石山地区地下水资源及生态环境地质研究[M]. 成都: 电子科技大学出版, 2007: 54-55.
Yuan B H. Ground water resources and ecological environmental research of southwest karst region in China[M]. Chengdu: Electronic Science and Technology Press University, 2007: 54-55.
- [6] 谢天祥. 广西地下河发育的几个特征[J]. 中国地质, 1984(2): 22-26.
Xie T X. Some characteristics of Guangxi ground river development[J]. Chinese Geology, 1984, (2): 22-26.
- [7] 陈文俊. 地苏岩溶地下河系研究[J]. 中国岩溶, 1988, 7(3): 223-227.
Chen W J. The study system of Disu underground river Du'an county[J]. Carsologica Sinica, 1988, 7(3): 223-227.
- [8] 吉汝安. 云贵高原岩溶地下河的研究[J]. 贵州地质, 1990, 7(2): 105-113.
Ji R A. A study of karst underground river in Yunnan-Guizhou plateau[J]. Geology of Guizhou, 1990, 2(23): 105-113.
- [9] Quinif Y. Karst and the evolution of rivers—a case study of ardennes[J]. Geodinamica Acta, 1999, 12 (3/4): 267-277.
- [10] Hess J W, White W B. Groundwater geochemistry of the carbonate karst aquifer, southcentral Kentucky, USA[J]. Applied Geochemistry, 1993, 8(2): 189-204.
- [11] Ibrahim A. Effects of the tectonic movement on the karstification in Anatolia, Turkey[J]. Acta Carsologica, 2003, 32(2): 195-203.
- [12] 刘再华, Groves C, 袁道先, 等. 水-岩-气相互作用引起的水化学动态变化研究[J]. 水文地质工程地质, 2003(4): 13-18.
Liu Z H, Chris G, Yuan D X, et al. Study on the hydrochemical variations caused by the water-rock-gas interaction[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2003(4): 13-18.
- [13] Smart C. Artificial tracer techniques for the determination of the structure of conduit aquifers[J]. Ground Water, 1988, 26(4): 445-453.
- [14] Vesper D, White W B. Storm pulse chemographs of saturation index and carbon dioxide pressure: implications for shifting recharge sources during storm events in the Karst aquifer at fort campbell, Kentucky/Tennessee, USA[J]. Hydrogeology Journal, 2004, 12: 135-143.
- [15] Liu Z, Li Q, Sun H, et al. Seasonal, diurnal and storm-scale hydrochemical variations of typical epikarst springs in subtropical karst areas of SW China: soil CO_2 and dilution effects[J]. Journal of Hydrology, 2007, 337: 207-223.
- [16] Li Q, Sun H, Han J, et al. High-resolution study on the hydrochemical variations caused by the dilution of precipitation in the epikarst: an example spring of Langdiantang at Nongla, Mashan, China [J]. Environmental Geology, 2008, 54: 347-354.
- [17] 杨平恒, 袁道先, 叶许春, 等. 降雨期间岩溶地下水化学组分的来源及运移路径[J]. 科学通报, 2013, 58(18): 1755-1763.
Yang P H, Yuan D X, Ye X C, et al. Sources and migration path of chemical compositions in a karst groundwater system during rainfall events[J]. Chin Sci Bull, 2013, 58

- (18):1755-1763.
- [18] 戴景春. 贵州岩溶区地下河开发利用及其工程地质问题[J]. 中国岩溶, 1984, 3(2):130-139.
- Dai J C. The development of underground streams & its problems in engineering geology in Guizhou karst region[J]. *Carsologica Sinica*, 1984, 3(2):130-139.
- [19] 王明章, 王伟, 周忠赋. 峰丛洼地区地下地表联合成库地下水开发模式—贵州普定马官水洞地下河开发利用[J]. 贵州地质, 2005, 22(4):279-283.
- Wang M Z, Wang W, Zhou Z F. Development model for the coalition of surface and underground water into reservoir in the karst areas of peak-cluster depression: taking example for exploitation of Shuidong underground river at Maguan, Puding county, Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 2005, 22(4):279-283.
- [20] 杨群兴. 广东黎水地下河开发利用研究[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(3):45-52.
- Yang Q X. Development and utilization of the Lishui underground river in Guangdong[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2006, 33(3):45-52.
- [21] 蒲俊兵. 重庆市岩溶地下河发育、分布的控制机制及水文地球化学特征的区域演化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011:56-57.
- Pu J B. Research on the controlling factors of formation and distribution of subterranean karst streams and its hydro-geochemistry regional, Chongqing, China[D]. Chongqing: Southwest University, 2011:56-57.
- [22] 蒲俊兵, 袁道先, 蒋勇军. 重庆市地下河的空间分布及水资源[J]. 水文地质工程地质, 2009, 36(2):32-39.
- Pu J B, Yuan D X, Jiang Y J. Spatial distribution of underground river streams and water resource in the Chongqing municipality[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2009, 36(2):32-39.
- [23] 薛薇. SPSS 统计分析方法及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013:31-34.
- Xue W. SPSS statistical analysis methods and application[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2013:31-34.
- [24] 重庆市统计局. 重庆市统计年鉴(2008)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008:452-466.
- Chongqing Municipal Bureau of Statistics. The statistical yearbook in Chongqing in 2008[M]. Beijing: China Statistics Press, 2008:452-466.
- [25] White W B. Geomorphology and hydrology of karst terraces[M]. New York: Oxford University Press, 1988:464.
- [26] 蒲俊兵. 重庆地区岩溶地下河发育与分布的基本特征[J]. 中国岩溶, 2013, 32(3):266-279.
- Pu J B. Development and distribution of karst subterranean streams in Chongqing, China[J]. *Carsologica Sinica*, 2013, 32(3):266-279.
- [27] 蒋勇军, 袁道先, 谢世友, 等. 典型岩溶农业区地下水水质与土地利用变化分析—以云南小江流域为例[J]. 地理学报, 2006, 61(5):471-481.
- Jiang Y J, Yuan D X, Xie S Y, et al. The groundwater quality and land use change in a typical karst agricultural region: a case study of Xiaojiang watershed, Yunnan[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(5):471-481.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Factor Analysis on Hydro-geochemical Characteristics of Karst Ground Rivers in Chongqing

WEI Xingping^{1,3}, PU Junbin², XIE Deti³

1. Key Laboratory of GIS Application, College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;
2. Key Laboratory of Karst Dynamics, Ministry of Land and Resources/Guangxi Zhuang Autonomous Region, Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin Guangxi 541004;
3. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: The 70 Ground Rivers in Chongqing karst regions were selected and 13 hydro-geochemical indexes were analyzed by the principal component analysis method and Arcgis software. Results show that: 1) the main factors of human activities (Ec , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , Cl^- , K^+ , and Sr^{2+}) and water-rock interaction (Ca^{2+} , HCO_3^- , and pH) are attained by analyzing 13 hydro-geochemical index by the method of principal component analysis. 2) the human factors and water-rock interaction factors are analyzed by the spacial analysis and the geographical spatial distribution of the ion concentration from high to low is as follows: the adjacent area of central area, the east area, the southeast area, and the northeast area of Chongqing. The higher ion concentration region is often distributed in the intensive human activities area, intensive industrial area and intensive agricultural area. Therefore, to relieve ground river pollution, we should control pollution sources such as industrial pollution, domestic sewage and agricultural pollution.

Key words: karst; ground river; spatial distribution; hydro-geochemical characteristics; Chongqing

(责任编辑 方 兴)