

贵阳市观山湖区上寨村朱家龙潭地下河 水质演化趋势及原因浅析

杨元丽¹, 孟凡涛², 宁黎元¹

(1. 贵州省地质环境监测院, 贵州 贵阳 550004; 2. 贵州省地质矿产勘查开发局 111 地质大队, 贵州 贵阳 550008)

[摘要] 以上寨村朱家龙潭地下河 1986、2010—2014 年的水质测试数据为基础, 研究地下河近 30 年来主要离子浓度变化规律, 以期为裸露型岩溶山区地下水的保护提供科学依据。分析结果为近 30 年以来研究区大部分水化学指标浓度有明显的上升趋势, 但是离子浓度季节变化规律性不明显。并采用地下水质量标准推荐的方法对近 30 年来的水质进行单项指标评价及综合评价, 枯季综合评价结果为 1986、2010—2014 年中超标组分为 F^- 、 NH_4^+ 、 Al^{3+} 、COD; 2011—2013 年超标组分为 F^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、COD; 丰季综合评价结果为 1986—2014 年超标组分为 F^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、COD、TH、 Al^{3+} 、Mn。主要是受水-岩地质作用过程、人类工程活动和区域地质环境变化的共同影响。

[关键词] 朱家龙潭地下河; 离子浓度变化; 水质评价; 贵阳

[中图分类号] P641.134; X523 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2015)04-0285-05

1 前言

西南地区岩溶水以小型分散的岩溶水系统为单元, 面积多为几平方公里至数百平方公里, 这些岩溶水通常为当地的重要饮用水源, 对支撑社会经济发展具有举足轻重的重要意义^[1]。近年来, 随着西南地区经济的发展、人口的增长, 导致用地紧张, 把落水洞当作天然的垃圾场、岩溶管道当作天然的排污管道的现象层出不穷, 岩溶地下河污染加剧, 威胁百姓用水安全^[2]。朱家龙潭地下河是贵阳市主要饮用水源地阿哈湖的源头之一, 地下河水化学特征的变化直接影响着水源地的水质。本文依托“西南主要城市地下水污染调查评价(贵阳市)”及近 30 年的“国家级地质环境监测与预报(贵州部分)”续作项目对朱家龙潭地下河近 30 年的水质监测资料, 开展该地下河近三十年来主要化学组分含量、地下水水质变化趋势及成因研究, 以期为该地下河系统水环境及阿哈湖水源地水质保护提供技术依据, 并为裸露型岩溶山区地下水的保护提供借鉴。

2 研究区概况

朱家龙潭地下河出口, 位于贵阳市观山湖区上寨村, 处于贵阳市老城区的西北部, 距贵阳市老城区 12 公里, 地理坐标为 $E106^{\circ}38'56.5''$, $N26^{\circ}39'22.1''$ 。该区属亚热带湿润温和型气候, 平均海拔 1 200 m, 年平均温度 $15^{\circ}C$, 多年平均降水量为 1 121 mm。研究区地势总体北高南低, 地形起伏小, 东部和西部边缘为近南北走向的垄状峰丛丘陵, 中部为宽阔谷地、洼地与缓丘相间, 宽约 1 km。系统内缓丘多基岩裸露, 主要出露地层为大冶组灰岩, 安顺组白云岩、泥晶白云岩、溶塌角砾岩, 松子坎组泥晶灰岩、白云岩、泥页泥、泥晶白云岩夹溶塌角砾岩、玻屑凝灰岩(绿豆岩)以及杨柳井组白云岩、白云质灰岩。岩溶发育强烈, 塌陷坑、落水洞、地下河天窗、洼地分布众多, 地下河管道多呈树枝状分布, 大气降雨主要通过落水洞、地下河或伏流入口集中灌入式补给岩溶含水系统, 地下水主要赋存于溶蚀管道和溶蚀裂隙为主的含水介质中, 并表现出明显的向几条溶蚀管道集中汇流的特点(图 1)。

[收稿日期] 2015-06-15

[基金项目] 中国地质调查局调查项目(1212011121166)西南主要城市地下水污染调查评价(贵阳市)。

[作者简介] 杨元丽(1981—), 女, 工程硕士学位, 工程师, 主要从事水文地质与环境地质工作。

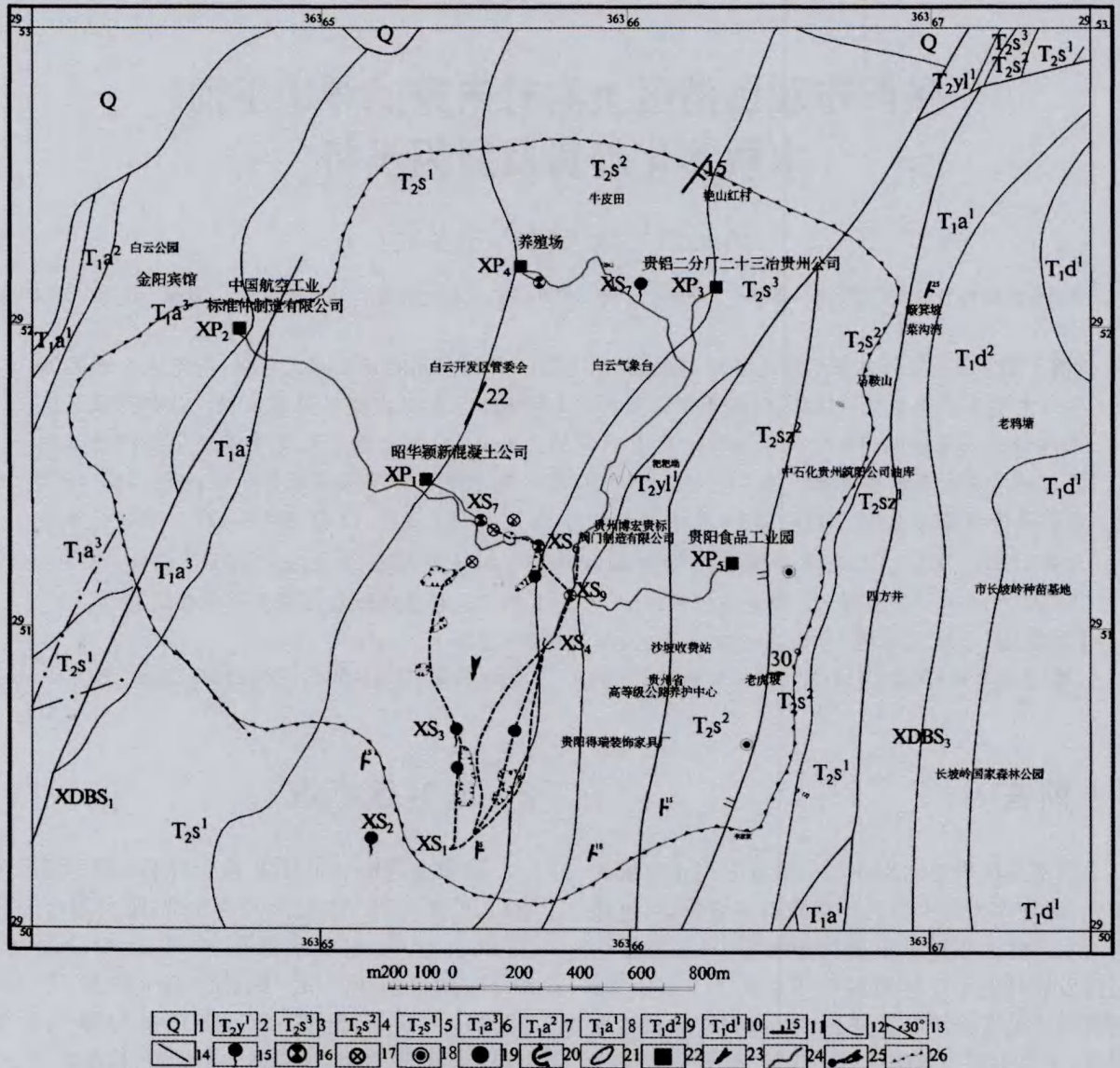


图1 研究区水文地质简图

Fig. 1 Hydro-geological sketch of the target area

1—第四系;2—杨柳井组一段;3—松子坎组三段;4—松子坎组二段;5—松子坎组一段;6—安顺组三段;7—安顺组二段;8—安顺组一段;9—大冶组二段;10—大冶组一段;11—产状;12—地层界线;13—逆断层;14—性质不明断层;15—下降泉;16—有水落水洞;17—无水落水洞;18—钻孔;19—监测孔;20—伏流入口;21—岩溶洼地;22—污染源;23—地下水流向;24—排污明渠;25—地下河管道;26—地表分水岭

3 研究方法

地下水中水质演化表现为主要离子浓度的变化^[3]。因此,主要根据贵阳市上寨朱家龙潭地下水河 1986 年、2010—2014 年枯水期(10 月至翌年 3 月)与丰水期(4—9 月,其中 6—8 月降水最为集中)主要离子浓度变化进行对比研究,探讨水质演化趋势及成因。水样采集点位于水文地质简图南侧朱家龙潭地下河出口 XS1,自 1986 年起,每年枯季、丰季分别取全分析样,样品采集过程严格

按照《地下水污染地质调查评价规范》^[4]规定,进行现场指标测试,根据测试的不同指标进行现场加保护剂、蜡封,在规定的时间内送实验室测定 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Al^{3+} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 F^- 、化学需氧量(COD)、总硬度(TH)、总溶解固体(TDS)等指标,其中阴离子用 V-2450 紫外光/可见光分光光度计测定,阳离子采用美国 Perkin Elmer Optima 2100IC P-OES 光谱仪测定,所有样品测试均在贵州省地质矿产中心实验室国土资源部贵阳矿产资源监督检测中心进行,能够保证样品测试结果的真实可靠。

4 讨论

根据 1986 年、2010—2014 年地下水化学

离子监测数据(表 1、表 2)可看出,近 30 年以来,该地下河大部分水化学指标浓度有明显的上升趋势,主要离子浓度变化特征如下:

表 1 朱家龙潭地下水枯季水化学特征值(Mg/l)

Table 1 Hydrochemical characteristic value of Zhujialongtan underground river in dry season

年份	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	NH ⁴⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	COD	TH	TDS
1986.3	80.50	25.02	1.80	4.05	0	0	9.55	5	0.1	0.32		16.81	
2010.3.16	133.69	21.58	10.33	6.33	0	6	80.47	0	0	1.2	2.987	423.78	514.59
2011.4.9	99.51	23.61	10.67	33.33	0	6	41.54	0	0	1.2	1.69	346.12	486.5
2012.4.13	100.73	21.19	11.31	39.45	0.03	<0.05	36.64	0	0.154	1.42	<0.05	337.77	681.6
2013.4.10	84.86	21.22	11.74	41.39	0.03	6	36.7	3.35	13.743	1.46	6.93	298.78	565.4
2014.11.27	61.61	33.14	10.45	41.87	0.36	8	35.82	1.1	0.018	1.04	11.35	291.8	623.9

表 2 朱家龙潭地下水丰季水化学特征值(mg/l)

Table 2 Hydrochemical characteristic value of Zhujialongtan underground river in wet season

年份	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	COD	TH	TDS
1986.7	62.12	17.74	3.05	6.50	0	0	6.33	8.00	0.020	1.20		12.39	
2010.7.28	02.97	24.13	8.33	30.66	0	4	39.77	4	0.16	1.4	3.66	356.52	497.74
2011.7.22	145.29	29.62	10.67	28.33	0	2.8	3.3	0	0.002	0.74	1.53	485.36	653.99
2012.9.29	92.04	21.88	10.42	31.4	3	<0.05	31.6	28.08	0.003	1.75	1.17	319.4	663.8
2013.8.26	88.9	13.67	10.2	26.56	0.36	<0.05	21.44	16.67	0.026	1.65	1.88	277.78	353.2
2014.5.28	90.38	20.59	9.09	27.96	0.9	<0.05	18.48	16.62	0.012	0.79	2.21	309.46	569.3

(1) 研究区近 30 年以来枯季地下水中的 Ca²⁺、Mg²⁺ 离子浓度分别在 61.61 ~ 133.69 mg/L、21.19 ~ 33.14 mg/L 区间波动,变化不明显; NO₃⁻、NO₂⁻ 离子浓度变化特征不明显,无明显规律; K⁺、Na⁺、TH 浓度最高值分别为 11.31 mg/L (2013 年)、41.87 mg/L (2014 年)、423.78 mg/L (2010 年),最低值分别为 1.8 mg/L (1986 年)、4.05 mg/L (1986 年)、16.81 mg/L (1986 年),其浓度分别上升了 6.28 倍、10.33 倍、25.2 倍。Al³⁺ 自 1986 年至 2011 年均未检出,最近三年检出并

有明显的增长趋势(图 2); NH₄⁺ 与二十多年前相比,其含量明显升高;阴离子中 Cl⁻、F⁻ 与 1986 年相比分别升高 8.42 倍、4.54 倍; COD、TDS 在 80 年代未做测试,而近几年 COD 有明显的上升趋势, TDS 变化特征不明显。

(2) 研究区近 30 年以来丰季地下水中的 Ca²⁺、Mg²⁺ 离子浓度在 62.12 ~ 145.29 mg/L、13.67 ~ 29.62 mg/L 区间波动,变化不明显; NO₃⁻、NO₂⁻ 离子浓度变化特征不明显,无明显规律; K⁺、Na⁺、TH 浓度最高值分别为 10.67 mg/L

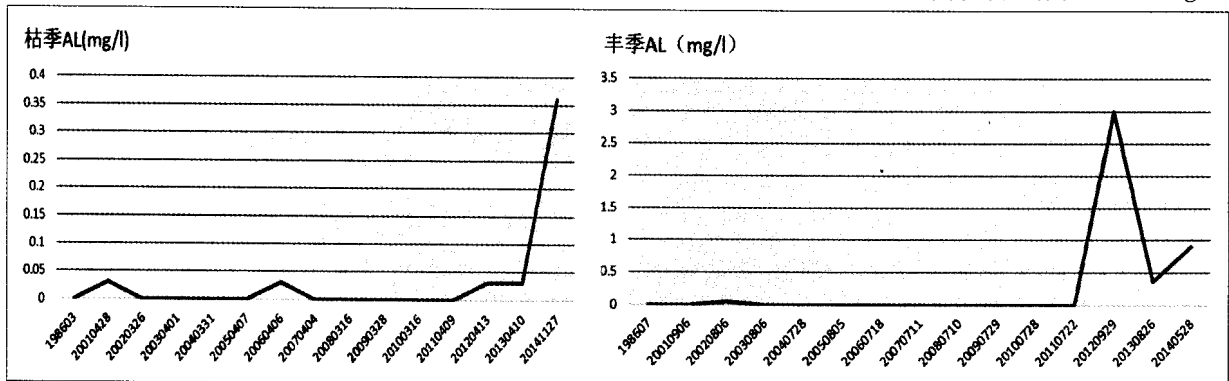


图 2 1986—2014 枯季、丰季地下水 AL 含量变化趋势

Fig. 2 AL content change tendency of ground water in dry season and wet season in 1986—2014

(2011年)、30.66 mg/L(2014年)、485.36 mg/L(2011年),最低值分别为3.05 mg/L(1986年)、6.05 mg/L(1986年)、12.39 mg/L(1986年),其浓度分别上升了3.5倍、4.7倍、39.2倍。 Al^{3+} 自1986年至2011年均未检出,最近三年检出并有明显的增长趋势(图2); NH_4^+ 与二十多年前相比,其含量明显升高;阴离子中 Cl^- 浓度在3.3~39.77 mg/L、 F^- 浓度在0.74~1.75 mg/L区间变动,无明显规律;COD、TDS在80年代未做测试,而近4年COD浓度变化范围在1.17~3.66 mg/L之间,无明显规律;TDS变化特征不明显。

(3)总体来说,朱家龙潭地下河地下水中离子浓度季节变化规律性不明显。仅 Cl^- 含量表现为枯季高于丰季,而其它离子的季节变化表现为既有枯季高于丰季,也有枯季低于丰季。

5 地下水质量评价

采用《地下水质量标准》(GB/T 14848-2007)(报批稿)^[5],地下水质量评价方法对朱家

龙潭地下水进行质量评价。地下水质量单指标评价按指标值所在的指标限值区间确定地下水质量类别,不同地下水质量类别的指标限值不同时,从优不从劣。地下水综合质量评价按单指标评价的最高类别确定,并指出最高类别的指标。评价指标参照《地下水质量标准》、《地下水污染调查评价技术规范》(DD2008-01)^[4],其中常规无机指标22项,包括pH、总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、氟化物、亚硝酸盐、硝酸盐、氨氮、铁、锰、铜、锌、铝、汞、镉、铬(六价)、铅、砷、钠、挥发性酚、耗氧量。枯季综合评价结果为1986—2014年中1986年为Ⅰ类水,2010年、2014年为Ⅴ类水,超过地下水质量Ⅲ类标准的无机常规组分分别为 F^- 、 NH_4^+ ; F^- 、 NH_4^+ 、 Al^{3+} 、COD;2011—2013年为Ⅳ类水,超过地下水质量Ⅲ类标准的无机常规组分分别为 F^- 、 NH_4^+ 、 F^- 、 F^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、COD;而1986—2014年丰季综合评价结果均为Ⅳ类水,超过地下水质量Ⅲ类标准的无机常规组分分别为 F^- 、 F^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、COD、 NH_4^+ 、TH、 F^- 、 Al^{3+} 、Mn、 F^- 、 Al^{3+} 、Mn、 Al^{3+} 、Mn(表3)。

表3 朱家龙潭地下河水质综合评价结果

Table 3 Water quality comprehensible assessment results of Zhujialongtan underground river

季节	水样采取时间	PH值	TH	TDS	Na^+	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	F^-	COD	Al^{3+}	Mn	综合评价结果	超标组分
枯季	1986.12	0	0		0	0	0	1	0	0	0	0	0	Ⅰ	
	2010.03.16	0	3	3	0	1	0	0	10	6	3	0	6	Ⅴ	F^- 、 NH_4^+
	2011.04.09	0	3	1	0	0	0	0	10	6	1	0	0	Ⅳ	F^- 、 NH_4^+
	2012.04.13		3	3	0	0	0	6	3	6	0	1	0	Ⅳ	F^-
	2013.04.10	0	1	3	0	0	0	10	0	6	6	1	3	Ⅳ	F^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、COD
	2014.11.27	0	1	3	0	0	0	1	10	6	10	6	0	Ⅴ	F^- 、 NH_4^+ 、 Al^{3+} 、COD
丰季	1886.07	0	0		0	0	0	1	0	6	0	0	0	Ⅳ	F^-
	2010.07.28	0	3	1	0	0	0	6	10	6	6	0	0	Ⅳ	F^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、COD
	2011.07.22	0	6	3	0	0	0	0	10	0	1	0	0	Ⅳ	NH_4^+ 、TH
	2012.09.29	0	3	3	0	0	3	0	3	6	1	10	6	Ⅳ	F^- 、 Al^{3+} 、Mn
	2013.08.26	0	1	1	0	0	1	1	3	6	1	6	6	Ⅳ	F^- 、 Al^{3+} 、Mn
	2014.05.28	0	3	3	0	0	1	1	3	0	3	10	6	Ⅳ	Al^{3+} 、Mn

6 原因浅析

通过野外调查及综合分析,上寨村朱家龙潭地下河补给径流区均位于经济开发区,随着人口的增长,以及工农业生产活动的增加,导致地下河水化学性质逐年恶化已致弃用。自然原因主要为薄弱的地质环境条件,人为原因主要为工业、农业及污

染源的污染。下面就三种污染原因做具体的论述。

6.1 工业污染源

工业废水是天然水体最主要的污染源之一,它们种类繁多,排放量大,所含污染物组成复杂,并且毒性和危害较严重,且较难处理,不容易净化^[6]。朱家龙潭地下河超标组分主要为: F^- 、 Al^{3+} 、Mn。根据实地调查,朱家龙潭地下河上游主

要有四处污染源,污染源情况和污染途径主要为:

(1) 贵阳某混凝土有限公司(XP1): 该公司成立于2010年8月5日,主要生产混凝土,占地面积0.08 km²,堆渣场高约5 m,主要为混凝土堆渣场淋滤液污染,渗滤液未经处理直接向东进入XS05有水落水洞,进而污染朱家龙潭地下水河。

(2) 贵阳某标准件制造厂(XP2): 该厂成立于1993年12月,占地面积0.14 km²,生产过程中产生的废水通过排污管道排入地表沟渠,并且地表沟渠在径流途中尚有多处生活废水的汇入,沟渠水一部分用于当地灌溉,另一部分直接注入XS5、XS6两处落水洞中,成为朱家龙潭地下河系统地下水的污染源之一。

(3) 贵阳市某铝二公司(XP3): 该厂成立于2001年12月。生产原料在高温熔融电解过程中分解、挥发、渗透和扬散,产生有害粉尘和电解烟气^[7]向空中排放。生产过程中产生的含铝等工业废水,通过排污管道直接排入地表沟渠,地表沟渠由北向南径流,直接注入XS4落水洞中,成为朱家龙潭地下河系统的污染源。

(4) 贵阳某食品工业园(XP5): 该工业园成立于2001年,区内含多个中小型食品生产加工工厂,食品加工过程中产生的废水及储油罐泄漏液,含有营养元素有机物,微生物病原菌,病毒等^[7]。通过排污管道直接排入地表沟渠,地表沟渠由东向西径流,沿途多处有生活废水汇入,主要为洗涤剂、垃圾、粪便等最终在上寨村一带注入XS4落水洞中直接污染地下水。

6.2 农业污染源

农业污染源主要为牲畜和禽类的粪便、农药、化肥以及农灌引来的污水等^[6],根据现场调查,贵阳市白云区某生猪养殖场(XP4): 其产生污水未经处理直接排入厂区东南侧约200 m处(XS6)落水洞。地下水中其COD的超标与该生猪养殖场污水排放直接相关;其次为地下河系统内地表蔬菜种植,大规模的施肥活动,使地下河水中NO₂⁻浓度明显升高,超标组分主要为:COD、NH₄⁺、NO₂⁻。

6.3 生活污染源

随着人口的增长和生活水平的提高,上寨村居民排放的生活污水和垃圾排放量逐渐增多,其中的污染物主要是来自人体的排泄物、肥皂、洗涤剂、腐烂的食物等垃圾渗滤液直接排入地表洼地,落水洞

进而污染该地下水河,导致该地下水水体污染十分严重,弃用至今。超标组分主要为NH₄⁺、NO₂⁻等。

7 结论建议

(1) 近30年以来,上寨村朱家龙潭地下水中部分成分含量有明显的上升趋势,地下水水质从1986年的I类水演化为2011—2013年IV类水。导致地下水水质恶化的主要成分为F⁻、NH₄⁺、NO₂⁻、COD、TH、Al³⁺、Mn。

(2) 水质综合评价结果为枯季1986、2010—2014年中1986年为I类水,2010年、2014年为V类水,2011—2013年为IV类水,超标组分主要为F⁻、NH₄⁺、Al³⁺、COD、NO₂⁻;丰季综合评价结果均为1986、2010—2014年均均为IV类水,超标主要为F⁻、NH₄⁺、NO₂⁻、COD、TH、Al₃⁺、Mn。

(3) 污染原因为工业污染、农业污染、生活污染的共同作用,同时由于裸露型岩溶区固有脆弱性如岩溶发育等特殊脆弱性,致使该地下水河防污能力弱。

(4) 针对裸露型岩溶区的地下水污染特征,应加强对中小企业污染源的集中管理;加大污水管网建设力度,尽可能收集生产生活废水,统一处理后方可排放;同时加大岩溶发育区和主要水点污染源的监控力度;尽快开展地下水水质监测网络建设和运行,为裸露型岩溶区地下水资源管理和水污染防治提供科学依据。

[参考文献]

- [1] BAN X X, WANG J H, HU W, LI S B. Analysis on the contribution of artificial precipitation enhancement amount to annual water resources in Liaoning [J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(10): 69-70. 100.
- [2] 袁文昊, 贺秋芳, 等. 典型岩溶槽谷地下水化学时空变化特征及影响因素初探[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009, 31(6): 160.
- [3] 郭芳, 姜光辉, 袁道先. 南方岩溶区地下河主要离子浓度变化趋势分析[J]. 水资源保护, 2008, 1: 16-19.
- [4] 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 地下水污染调查评价规范(报批稿)[S]. 2013.
- [5] 中国地质调查局. 地下水质量标准(报批稿)[S]. 北京: 中国地质调查局, 2009.
- [6] 王焰新. 地下水污染与防治[M]. 高等教育出版社, 2007, 4.
- [7] 杨英, 赵彦琦, 田彩霞. 铝厂附近农田土壤氟污染现状及防治措施研究[J]. 环境科学与管理, 2013, 5: 75.

(下转第297页)

由表6可知,在标准曲线含量范围内X荧光与化学法得到的TFe、SiO₂、Al₂O₃、P、CaO、MgO、Mn、Na₂O、K₂O、Ba、TiO₂的测量值之间平均值的相对误差(RE)均小于样品相对误差允许限(YC),达到国家标准方法规定的要求。

3 结语

采用本法测定锰矿中TFe、SiO₂、Al₂O₃、P、CaO、MgO、Mn、Na₂O、K₂O、Ba、TiO₂,其准确度和精密度均达到国家标准方法规定的要求,且大大提高了生产效率。但仍需注意的是,由于X射线荧光光谱法受基体效应干扰的影响很大,因此此方法适用于满足表2所列组分含量样品的测定。

[参考文献]

- [1] 《矿产资源工业要求手册》编委会. 矿产资源工业要求手册(2012年修订本)[M]. 北京:地质出版社,2012:95-97.
- [2] 张耀奎,支河,肖海斌,左天明,徐义仁. X射线荧光光谱法测定锰矿样品中主次成分[J]. 四川地质学报,2012,2,32(4):503-505.
- [3] 林忠,蒋晓光,李卫刚. 用波长色散X射线荧光光谱法测定锰矿石中的锰、铁、硅、铝、钛、钙、镁和磷等元素[J]. 中国锰业,2002,5,20(2):1-3.
- [4] 《铁矿石灼烧减量的测定重量法》GB/T6730.68-2009 2009,12.
- [5] 《X射线荧光光谱仪ZXSPrimus系列操作手册》理学电机工业株式会社. 2008,6.
- [6] GB/T 1506-2002,《锰矿石 锰含量的测定 电位滴定法和硫酸亚铁铵滴定法》[S].

Application Study of X-Ray Fluorescence Spectrometry in Major and Minor Components Determination of Manganese Ore

LI Da-yong, JIA Shuang-lin, CHEN Ju

(MLR Guiyang Supervision and Testing Center of Mineral Resources, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[Abstract] By use HMS-II-MXZ, the samples are decomposed by melting, ignition loss are checked. TFe, SiO₂, Al₂O₃, P, CaO, MgO, Mn, Na₂O, K₂O, Ba and TiO₂ in manganese ore are determined by X-Ray Fluorescence Spectrometry. The accuracy is 0.003%~0.133%, it satisfied the requirement of geologic experimental regulation, the results are accurate and reliable.

[Key words] X-Ray Fluorescence Spectrometry; Manganese ore; ignition loss check

(上接第289页)

Water Quality Evolution Tendency and Reason Analyses of Zhujialongtan Underground River of Shangzhai Village, Guanshanhu District, Guiyang City

YANG Yuan-li¹, MENG Fan-tao², NING Li-yuan¹

(1. Guizhou Institute of Geo-environment Monitoring, Guiyang 550004, Guizhou, China; 2. 111 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Guiyang 550008, Guizhou, China)

[Abstract] On the base of water quality data of Zhujialongtan underground river in 1986, 2010 and 2014, main ion concentration changing tendency in the recent 30 years are studied, so it will afford scientific accordance for groundwater protection of bare karst mountains. The result is most chemical concentration index in the target area rise obviously in recent 30 years, but the ion concentration changing tendency is not obvious. By use recommended groundwater quality standard method, the single and comprehensible assessment are proceed for the water quality in recent 30 years, the results show in the dry season, the excessive components are F⁻, NH₄⁺, Al₃⁺ and COD in 1986, 2010—2014, the excessive components are F⁻, NH₄⁺, NO₂ and COD in 2011—2013. In the wet season, the excessive components are F⁻, NH₄⁺, NO₂, TH, Al₃⁺ and Mn in 1986—2014. they are effected by water-rock geologic process, human engineering activities and regional geologic environmental change.

[Key words] Zhujialongtan underground river; Ion concentration change; Water quality assessment; Guiyang