

贵州省富锶(Sr)地下水赋存与分布规律探讨

王诗扬,卢天丕

(贵州省地质环境监测院,贵州 贵阳 550004)

[摘 要]本研究以地层岩石学、环境水文地质学理论为指导,在充分收集前人资料、典型区核查采样检测的基础上,开展了贵州省内富锶(Sr)地下水赋存与分布规律探讨。研究表明:富锶(Sr)地下水主要赋存在寒武系、三叠系白云岩以及侏罗系砂岩地层中,受地质构造控制,在平面上从黔西南、黔中、黔北呈条带状集中分布。研究成果揭示了贵州省内富锶(Sr)地下水的赋存条件和空间分布,对在贵州省内开展饮用天然矿泉水资源的勘查评价、规划管理和推动贵州省饮用水产业的发展具有一定的指意义。

[关键词]富锶(Sr)地下水;赋存分布规律;贵州省

[中图分类号]P332.6;P314.1 [文献标识码]A [文章编号]1000-5943(2018)03-247-08

微量元素锶(Sr)具有改善骨代谢、增强骨质强度,以及预防心血管疾病的作用,含锶(Sr)矿泉水成为饮用天然矿泉水的一个重要类型。本文所指富锶(Sr)地下水,指地下水中锶(Sr)元素含量达到我国现行饮用天然矿泉水界线指标0.4 mg/L、水温低于20℃、埋藏深度小于200 m的地下水,经过勘查评价,当感官指标、限量指标、污染物指标、微生物指标同时满足我国现行饮用天然矿泉水质量标准,未受污染且水质、流量、水温动态相对稳定,即可成为饮用天然矿泉水源地。因此,可以认为富锶(Sr)的地下水水源,实质上就是潜在的饮用天然(冷)矿泉水水源地。前人有关研究成果表明,贵州省内富锶(Sr)的地下水屡见不鲜,并且一些水源点通过勘查评价,已经开发成为饮用天然矿泉水。但是,对富锶(Sr)地下水的研究工作起步较晚,迄今为止,除少数以开发为目的的独立水源点开展了调查评价以外,即使较系统的《贵州省矿泉水调查评价报告》(李强、吉勤克补子等,2017年)也仅局限于对含锶(Sr)冷矿泉的成因、动态特征进行了概略的阐述,对富锶(Sr)地下水的赋存和空间分布规律的研究也有限,难以为未来省内含锶饮用天然矿泉水水源地的勘查、开

发和规划管理提供技术支撑。

本研究通过对贵州省区域地质、水文地质、地球化学背景的分析,以及大量地下水水质检测资料统计分析,从含水岩组的岩性、地层时代,以及地理空间的分布上开展了贵州省内富锶(Sr)地下水的赋存和空间分布规律研究。成果以期为贵州省饮用天然矿泉水的勘查、开发和规划、管理提供借鉴。

1 研究区基本特征

研究区包括了贵州省全境。境内从新元古宇至第四系地层均有出露,新元古界(P_3)以浅变质的海相碎屑地层和火山地层为主,集中分布于黔东南雷公山以东及黔东北的梵净山地区;下古生界除下部清虚洞组(E_2q)和顶部红花园组(O_1h)为石灰岩外,其余均为白云岩,主要分布在黔东、黔北、黔中;上古生界除中下部高坡场组、摆佐组为白云岩外,岩性全为石灰岩,主要出露在黔南、黔西北;中生界三叠系中下统岩性变化较大,黔中和黔西南片区下统安顺组($T_{1-2}a$)和中统杨柳井组(T_2y)为白云岩,其余片区和地层均为石灰岩和碎屑岩;上三叠世晚期至侏罗系、白垩系全为陆

[收稿日期]2018-07-09

[基金项目]“黔中地区含锶饮用天然冷矿泉成因及赋存条件研究”(2017—2018年)合同文号:黔地矿科合[2017]32号。

[作者简介]王诗扬(1983—),贵州省人,工程师,长期从事环境水文地质工作。

相碎屑地层,主要分布于黔北的赤水~习水境内,省内其余地区零星分布。

受地层岩性和地质构造控制,省内岩土中锶(Sr)元素的背景值具有较强的地域性,高丰度区域集中在务川-湄潭-开阳-贵阳-镇宁-贞丰-兴义一线以西的遵义市、贵阳市、毕节市、六盘水市、黔西南州以及安顺市的北部区域(冯济舟等.贵州省地球化学图.2007年)。

丰富的大气降水、有利的地质结构和岩溶作用,在省内形成了分布面广、质优量丰的地下水资源。已有资料反映,省内常年性泉点 6478 个,枯季总流量 1 898.95 万立方米/日,已开发利用 346.72 万立方米/日,尚有潜力 1 552 万立方米/日(贵州省地质矿产勘查开发局.贵州省岩溶泉及地下河枯季测流总结报告.2012年),总体上地下水可开采潜力较大。

丰富的地下水资源和富锶(Sr)的岩土地球化学背景,为贵州省富锶(Sr)地下水的形成提供了基础条件,也控制了富锶(Sr)地下水的空间分布。

2 研究方法及数据采集

2.1 研究方法

研究工作以岩石地球化学、环境水文地质学理论为指导、以“黔中含锶(Sr)冷矿泉成因及赋存规律”项目为支撑,在充分收集前人对基础地质、水文地质、饮用天然矿泉水等勘查和研究成果资料,以及典型地区的核实调查、采样检测的基础上,通过对地下水中锶(Sr)元素含量与含水岩组的岩性、地层时代的关系,以及地理空间分布的统计分析,开展富锶(Sr)地下水的赋存条件和分布规律的探讨。

2.2 数据采集

数据采集包括控制性水源点的选择和水源点的水质检测资料获取两大部分。

2.2.1 控制性水源点的确定

本研究的控制性点包括地下水的天然露头和人工机井,按照控制性的水源点应能够代表不同时代、不同岩性的含水岩组的水质特征,并在平面上基本覆盖全省不同的行政区域的原则,依托“黔中含锶(Sr)冷矿泉成因及赋存规律研究”(2017—2018年)项目,并收集《贵州省矿泉水调查评价报告》(贵州省地矿局.1987—1988年)、《贵州省矿泉水调查评价报告》(贵州省地矿局114地质大队.2017年)、《贵州省铜仁市优质水资源调查报告》(贵州省地矿局103地质大队.2016—2017年)”工作成果,对本研究所需的控制性水点进行选择性的布置,共布设控制性地下水源地点 339 处。

2.2.2 水质检测数据的采集

充分收集上述项目中控制性水源点地质、水文地质资料,以及地下水水质检测报告资料,对未能控制的空白地带,补充选点采样,并及时送室内检测。累计取得地下水(泉、地下河、机井)锶(Sr)含量检测资料 339 件。

除“黔中地区含锶饮用天然冷矿泉成因及赋存条件研究”项目正在执行,其它相关数据均来源于通过职能机构审查通过的正式成果,样品检测均由有资质并通过计量认证的检测单位承担。因此,样品的覆盖面和代表性强,数据可信度高。

3 结果与分析

3.1 结果

对采集的数据分别按照控制点所在泉域的含水层岩性、地层时代进行统计。

3.1.1 不同岩性含水层中地下水锶(Sr)含量

不同岩性的含水岩层由于岩石化学组分、所在地下水系统的水动力条件不同,地下水中锶(Sr)元素的含量具有较大的差异(表1)。为从总体上反映出不同岩性含水层地下水锶(Sr)含量的特点,采用地下水锶(Sr)元素含量的平均值进行表征,并编制地下水锶(Sr)含量直方图(图1)。

表 1 不同岩性含水层地下水锶(Sr)含量统计表
Table 1 Statistics of Sr content in aquifer of different lithology

岩 性	分区	含量(mg/L)	平均值(mg/L)
白云岩	A1	0.35 ~ 3.81	1.180
	A2	0.02 ~ 0.24	0.116
	长石砂岩	0.478 ~ 1.51	0.81
	泥质白云岩	0.02 ~ 0.33	0.205
	泥灰岩	0.005 ~ 0.279	0.153
	粉砂岩	0.119 ~ 0.17	0.143
	泥岩	0.022 ~ 0.244	0.108
石灰岩	B1	0.02 ~ 0.235	0.073
	B2	0.219 ~ 731	0.469
	砾岩	0.071 ~ 0.14	0.106
	玄武岩	0.10	0.10
	泥岩	0.059	0.059
	凝灰岩	0.01 ~ 0.039	0.028
	板岩	0.01 ~ 0.042	0.024

表中:白云岩 A2 为除黔东南以外的全省地区, A2 区为黔东南地区区,石灰岩 B1 为除思南至沿河以外的全省地区,B1 区为思南至沿河片区。

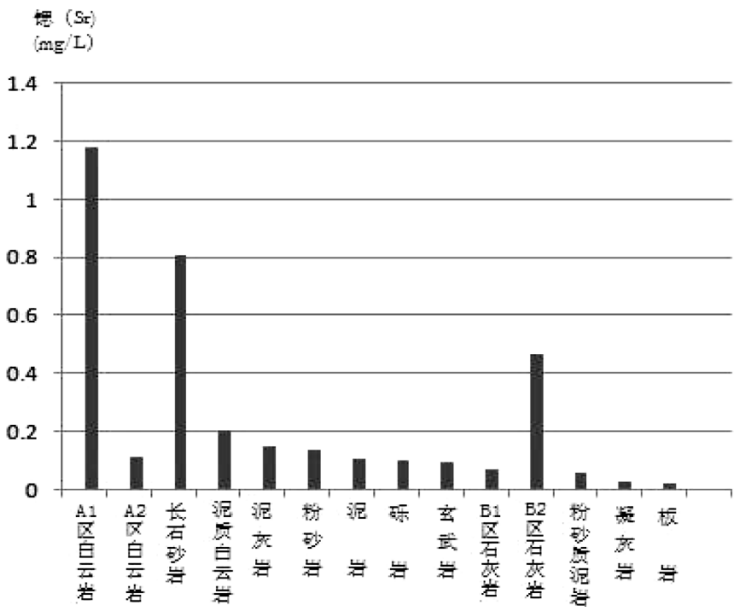


图 1 不同岩性含水层中地下水锶(Sr)含量直方图
Fig. 1 Histogram of Sr content in aquifer of different lithology

(白云岩 A2 为黔东南铜仁市、黔东南州、黔南州片区的白云岩,白云岩 A1 为除上述地区外的全省范围;石灰岩 B2 为思南、德江、沿河片区的石灰岩,石灰岩 B1 为除上述地区外的全省范围)

表 1 和图 1 反映:白云岩含水层中地下水锶(Sr)元素含量最高,除外从高到低依次为、长石砂岩、泥质白云岩、泥灰岩、粉砂岩,泥岩、石灰岩、砾岩、玄武岩、泥岩、凝灰岩、板岩。

3.1.2 不同时代含水层地下水锶(Sr)含量

不同时代地层地下水中锶(Sr)元素含量见(表 2)。利用地下水锶(Sr)元素平均含量编制成不同时代含水层地下水锶(Sr)含量直方图

(图 2),用以表征地下水锶(Sr)元素在不同时代含水层中的丰度特征。表 2 和图 2 反映出:地下水锶(Sr)元素含量较高的地层层位从高到低依次为:

三叠系中统杨柳井组(T₂y)、寒武系第三至芙蓉统娄山关组(Є₃₋₄l)及毛田组Є₄m)、侏罗系(J)、三叠系下至中统安顺组(T₁₋₂a)。三叠系下至中统嘉陵江组(T₁₋₂j)、等。

表 2 不同时代地层中地下水锶 (Sr) 含量统计表
Table 2 Sr content statistics in the strata of different times

岩 性	分区	含量 (mg/L)	平均值 (mg/L)
P ₁₃ ¹		0.01 ~ 0.042	0.026
Pt ₃ ^{2c} n		0.071 ~ 0.14	0.106
Pt ₃ ^{3b} Є ₁ dy		0.02 ~ 0.03	0.025
Є ₁ n ~ Є ₂ j		0.022 ~ 0.224	0.096
Є ₂ b ~ Є ₂ p		0.059 ~ 0.131	0.095
Є ₂ q		0.04 ~ 0.075	0.070
Є ₃ g		0.02 ~ 0.292	0.086
Є ₃ sh		0.02 ~ 0.179	0.080
Є ₃₋₄ l, Є ₄ m ₁	A1	0.54 ~ 3.81	1.43
Є ₃₋₄ l, Є ₄ m ₂	A2	0.02 ~ 0.172	0.09
Є ₃ ch ~ Є ₄ z		0.083	0.083
O ₁ t		0.06 ~ 0.36	0.170
O ₁ h		0.04 ~ 0.235	0.094
O ₁₋₂ m		0.023 ~ 0.28	0.049
O ₁₋₂ d		0.062 ~ 0.09	0.076
O ₂ ~ O ₃		0.079 ~ 0.234	0.113
S		0.005 ~ 0.279	0.163
D ₃ y		0.04 ~ 0.09	0.065
C ₂ h		0.03 ~ 0.014	0.022
C ₂ P ₁ m		0.026 ~ 0.05	0.034
P ₂ q+m	B1	0.02 ~ 0.28	0.07
P ₂ q+m	B2	0.177 5 ~ 0.401	0.30
P ₂₋₃ β		0.1	0.1
P ₃ h-ch	B1	0.08 ~ 0.20	0.148
P ₃ h-ch	B2	0.219 ~ 0.45	0.375
T ₁ y	B1	0.31 ~ 0.7	0.183
T ₁ y	B2	0.16 ~ 0.23	0.494
T ₁ f		0.17	0.17
T ₁₋₂ j	B1	0.331 ~ 0.59	0.269
T ₁₋₂ j	B2	0.02 ~ 0.28	0.471
T ₁₋₂ a		0.35 ~ 0.87	0.52
T ₂ g ¹		0.08 ~ 0.33	0.205
T ₂ g ²		0.00 ~ 0.26	0.145
T ₂ y		0.78 ~ 2.57	1.59
T ₃ J ₁ e		0.08	0.08
J		0.47 ~ 1.51	0.81

表中:白云岩 A2 为除黔东南以外的全省地区, A2 区为黔东南地区, 石灰岩 B1 为除思南至沿河以外的全省地区, B2 区为思南至沿河片区。

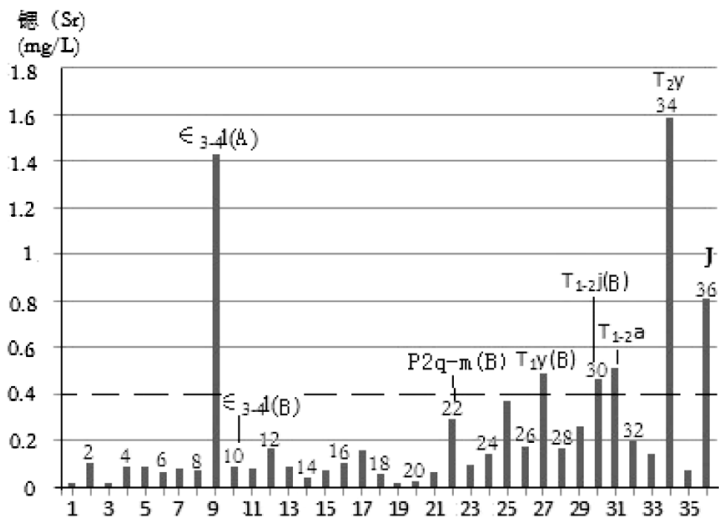


图 2 不同时代地层中地下水锶(Sr)含量直方图

Fig. 2 Histogram of Sr in the strata of different times

1—新元古界;2—南沱组;3—灯影组;4—牛蹄塘~金顶山组;5—变马冲~杷郎组;6—清虚洞组;7—高台组;8—石冷水组;9—A区娄山关(毛田)组;10—B区娄山关组;11—车夫~追屯组;12—桐梓组;13—红花园组;14—湄潭组;15—大湾组;16—十字铺~宝塔组;17—志留系;18—尧梭组;19—黄龙组;20—马平组;21—栖霞茅口组;22—思南、沿河区栖霞茅口组;23—峨眉山玄武岩;24—长兴组;25—思南、沿河区长兴组;26—夜郎组;27—思南、沿河区夜郎组;28—飞仙关组;29—嘉陵江组;30—思南、沿河区嘉陵江组;31—安顺组;32—关岭组第一段;33—关岭组第二段;34—杨柳井组;34—二桥组;35—侏罗系

3. 1. 3 地下水锶(Sr)含量的地域差异

前述为省内不同岩性、不同时代含水层地下水中锶(Sr)元素含量的一般规律。但是,统计分析表明,一些层位地下水锶(Sr)含量在不同的区域中也存在较大的差异。

(1)寒武系娄山关组白云岩含水层

大致以务川-凤岗-瓮安-龙里一线为界,贵州省内寒武系地层分区中的黔北、黔西北地层区白云岩中地下水锶(Sr)含量高,一般均在0.4~1.0 mg/L,最高达到3.01 mg/L,而该线以东的黔南地层区地下水中锶(Sr)含量仅0.02~0.1 mg/L(图3)。

(2)石灰岩含水层

统计分析表明,省内绝大部分区域内(B1区)不同时代的石灰岩含水层地下水中锶(Sr)含量均在0.02~0.235 mg/L,地下水中微量元素锶(Sr)含量低是省内石灰岩含水层的总体特征,但在思南、德江及沿河县一带(B2区),石灰岩含水层中地下水锶(Sr)含量异常偏高(参见表1、表2),达到0.4~0.5 mg/L。分析可能与该片区处在晚近期活动断裂带,以及较高的地温增温率有关。

3. 2 分析

3. 2. 1 富锶地下水的赋存规律

总体上,贵州省内富锶地下水赋存具有如下规律:一是集中赋存在岩性为白云岩、长石砂岩的

含水层中;二是在时代地层上分布上,赋存在寒武系娄山关组($\epsilon_{3-4}I$)、三叠系安顺组($T_{1-2}a$)及中统杨柳井组(T_{2y})、侏罗系(J)地层中。地下水中微量元素锶(Sr)的含量丰度总体上具有杨柳井组(T_{2y})>娄山关组($\epsilon_{3-4}I$)>安顺组($T_{1-2}a$)>侏罗系(J)的趋势。

3. 2. 2 富锶地下水的平面分布规律

将控制性水源点及其水质检测成果投在贵州省行政区图中。图中反映,大致以兴义-贞丰-安顺-龙里-瓮安-石阡-沿河一线为界,锶(Sr)含量大于0.4 mg/L的地下水集中分布在该线北西,为富锶(Sr)地下水集中分布区。该线以东地下水中锶(Sr)含量均小于0.4 mg/L,为贫锶(Sr)地下水分布区。据此,可将贵州省境内划分为锶(Sr)含量 ≥ 0.4 mg/L的富锶(Sr)地下水区(I),和锶(Sr)含量 < 0.4 mg/L的贫锶(Sr)地下水区(II),其中富锶(Sr)地下水区(I)根据地下水赋存的时代地层、岩性,进一步划分为兴义-遵义亚区(I1)和思南-沿河亚区(I2)(图4)。兴义-遵义亚区(I1)富锶(Sr)地下水的赋存层在寒武系娄山关群($\epsilon_{3-4}I$)、三叠系中统杨柳井组(T_{2y})|白云岩及侏罗系(J)砂岩含水层中,思南-沿河亚区(I2)富锶(Sr)地下水则赋存在二叠系栖霞茅口组($P_{2q \cdot m}$)、合山组(P_{2h}),以及三叠系下统夜郎组(T_{1y})、嘉陵江组(T_{1-2j})石灰岩含水层中。

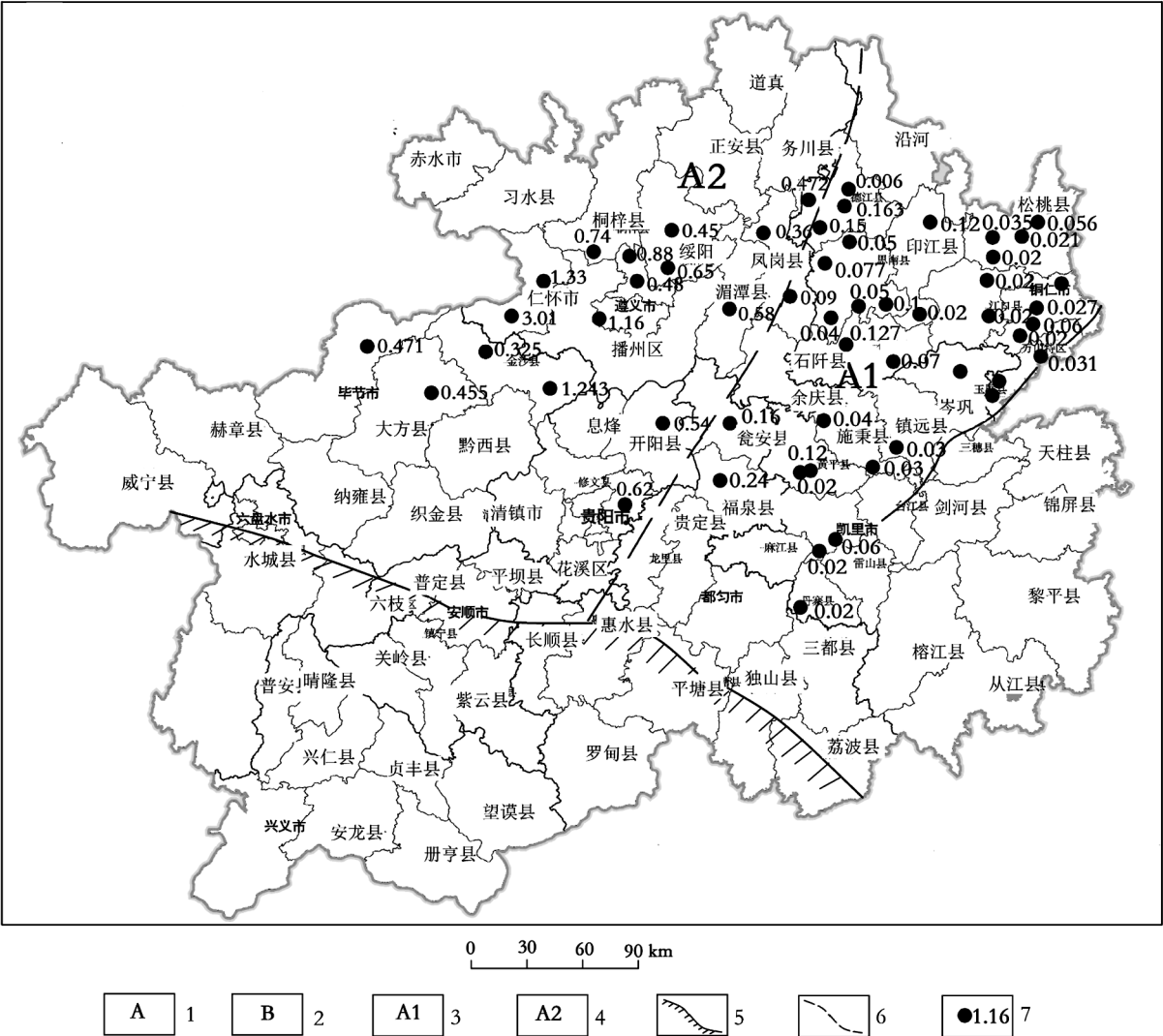


图 3 寒武系白云岩含水层地下水锶 (Sr) 含量分布图

Fig. 3 Sr distribution of groundwater in dolomite water-bearing layer of Cambrian

1—寒武系白云岩分布区;2—寒武系白云岩未出露区;3—黔北、黔西北富锶 (Sr) 地下水分布亚区;4—黔东贫锶 (Sr) 地下水分布亚区;
5—区界线;6—亚区界线;7—采样泉点

3.2.3 富锶地下水的成因分析

贵州省富锶 (Sr) 地下水与岩土锶 (Sr) 含量背景值在平面分布上具有一致性。反映出贵州省地下水中锶 (Sr) 元素来源于含水层的矿物组分, 严格受控于当地岩土的地球化学背景。

结合岩相古地理分析, 寒武系娄山关组 (Є₃₋₄l)、三叠系安顺组 (T₁₋₂a) 和中统杨柳井组 (T₂y) 白云岩以及侏罗系 (J) 砂岩均形成于半局限海相及干旱的陆相蒸发环境。在该类型沉积环境下, 天青石 (SrSO₄)、菱锶矿 (SrCO₃) 等锶矿物与白云岩伴生形成, 并在岩石中富集, 在地下水的溶滤和溶解作用下, 成为富锶地下水中锶元素的来源。

4 结论与讨论

4.1 结论

通过研究得出贵州省富锶 (Sr) 地下水赋存和分布规律的如下主要结论:

1. 贵州省富锶 (Sr) 地下水主要赋存在浅海相的白云岩含水层以及陆相河流沉积的砂岩含水层中, 思南至沿河一带石灰岩含水层地下水中锶 (Sr) 含量也较高。
2. 地下水中锶 (Sr) 含量与岩土地球化学背景密切相关, 水中微量元素锶 (Sr) 来源于地下水对白云岩及砂岩中含锶矿物的溶滤和溶解。

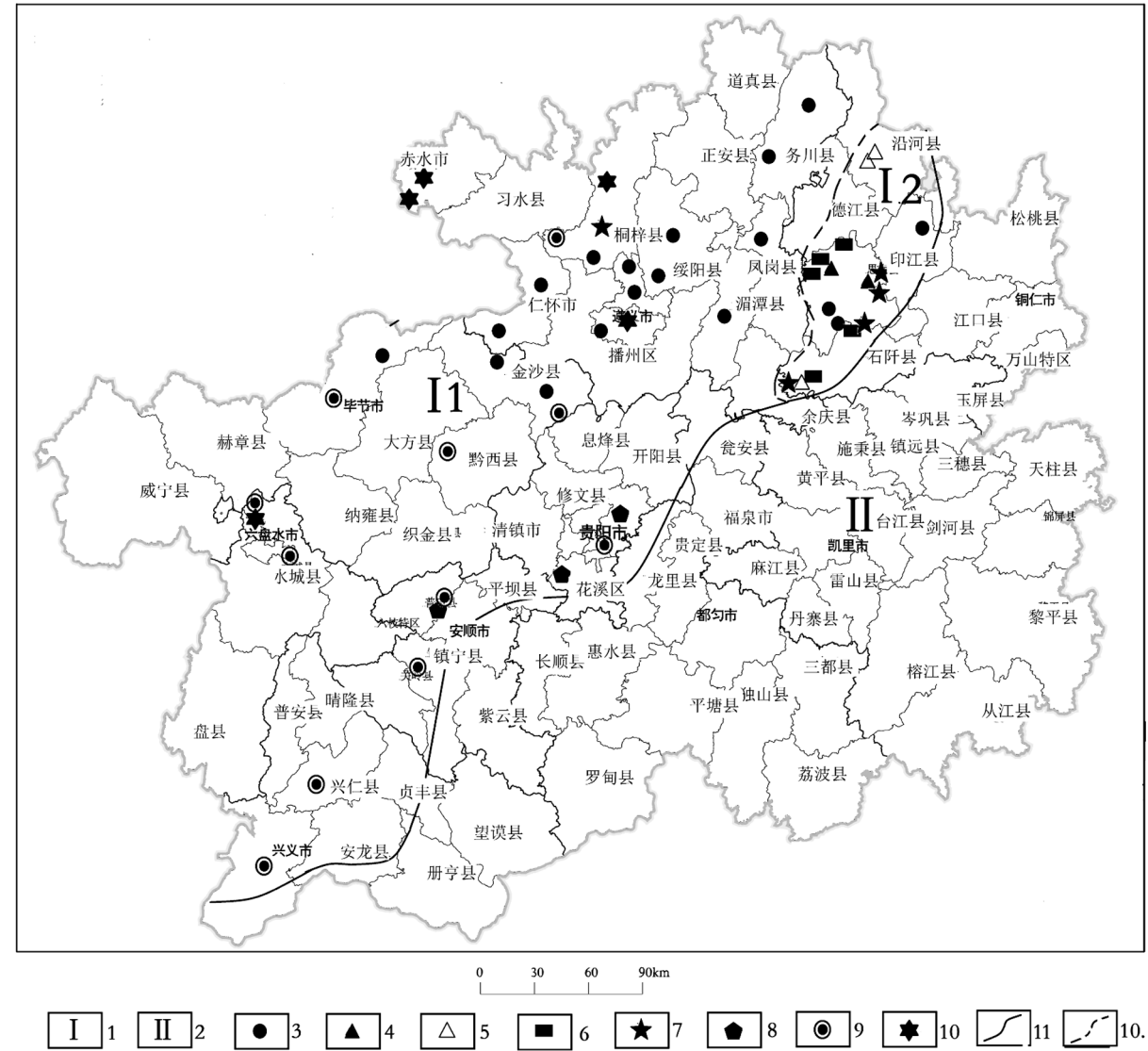


图 4 贵州省地下水丰度分区及富锶(Sr)地下水源点平面分布图

Fig. 4 Distribution plane of underground water source and abundance zonation of groundwater of Guizhou province

1-富锶(Sr)地下水分布区;2-贫锶(Sr)地下水分布区;3-娄山关组白云岩水点;4-栖霞茅口组石灰岩水点;5-合山组石灰岩水点;6-夜郎组石灰岩水点;7-嘉陵江组石灰岩水点;8-安顺组白云岩水点;9-杨柳井组白云岩水点;10-侏罗系砂岩水点;11-分区界线;12-亚区界线

3. 大致以兴义-贞丰-安顺-龙里-瓮安-石阡-沿河一线为界,以西为锶(Sr)含量 ≥ 0.4 mg/L的富锶(Sr)地下水区(I),以东为锶(Sr)含量 < 0.4 mg/L的贫锶(Sr)地下水区(II)。在富锶(Sr)地下水区中,兴义-遵义亚区(I 1)富锶(Sr)地下水的赋存层位为寒武系娄山关群(ϵ_{3-4})、三叠系中统杨柳井组(T_{2y})白云岩含水层及侏罗系(J)砂岩含水层;思南-沿河亚区(I 2)富锶(Sr)地下水赋存层位为二叠系栖霞茅口组($P_{2q \cdot m}$)、合山组(P_{2h}),以及三叠系下统夜郎组(T_{1y})、嘉陵江组(T_{1-j})石灰岩含水层。

4.2 有关讨论

1. 本研究成果揭示了富锶(Sr)地下水的赋存及平面分布规律,对贵州省内含锶(Sr)饮用天然矿泉水的勘查、开发、规划和管理具有一定的指导意义。
2. 思南至沿河一带石灰岩含水层中地下水锶(Sr)含量偏高与岩石地球化学背景存在一定的矛盾,是值得进一步研究的问题。
3. 受采样点和水样检测数量限制,研究的分析和结论可能存在一定的局限性。尚有待于未来

的深入研究。

[参考文献]

陈萍,王明章. 2015. 基于地下水开发的岩溶地下水系统类型划分方案探讨[J]. 中国岩溶,34(3).

冯济舟,等. 2007. 贵州省地球化学图集[M]. 北京:地质出版社.

胡仁发,王明章,肖腾. 深切河谷斜坡地带地下水的赋存特征及开发利用[J]. 贵州地质,34(2).

贵州省地矿局. 1988. 贵州省矿泉水调查评价报告[R].

贵州省地矿局 114 地质大队. 2017. 贵州省矿泉水调查评价报告[R].

贵州省地矿局 103 地质大队. 2017. 贵州省铜仁市优质水资源调查报告[R].

贵州省地质调查院. 2017. 中国区域地质志(贵州志)[R]. 北京:地质出版社.

何邵麟,陈敏. 2005. 贵州主要城市地表松散沉积物中微量元素与土壤环境[J]. 贵州地质,22(3).

潘文卯,黄远成. 2003. 贵州省凯里大中温泉地质特征及其成因

分析[J]. 贵州地质,20(4).

王明章. 1999. 论贵州省岩溶山地区的岩溶地下水开发[J]. 贵州地质,16(3).

王明章. 1993. 贵州寒武系白云岩山间盆地性水源地混合模拟问题探讨[J]. 中国岩溶,12(1).

王明章. 1995. 黔北寒武系白云岩盆地型水源地水化学特征及水资源开发利用对策[J]. 贵州地质,12(4).

王明章,等. 2015. 贵州省岩溶区地下水与地质环境[M]. 北京:地质出版社.

王明章,王尚彦,等. 贵州岩溶石山生态地质环境研究[M]. 北京:地址出版社.

王明章,张林,王伟,陈萍,等. 贵州省岩溶区地下水与地质环境[M]. 北京:地址出版社.

王波,朱华利,张哈彬. 2017. 贵州独山地区二叠纪-三叠纪凝灰岩地球化学特征及其地质意义[J]. 贵州地质,34(2).

姚旭非,赵依. 2012. 吉林省辉南县饮用天然矿泉水浅析[J]. 吉林地质,31(1).

张世从,陈履安. 1998. 贵州热矿水[M]. 贵阳:贵州科技出版社.

Discussion of Sr-rich Groundwater Occurrence and Its Distribution Rule of Guizhou Province

WANG Shi-yang, LU Tian-pi

(Guizhou Institute of Geo-environment Monitoring, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[Abstract] In this paper, it's guided by stratigraphic petrology and environmental hydrogeology, based on the former information collection and sample checking of typical area, the Sr-rich groundwater occurrence and distribution rule of Guizhou province are discussed. The study shows Sr-rich groundwater mainly occurs in Cambrian, dolomite of Triassic and sandstone formations of Jurassic. By the control of geological structure, it banded distributed from southwest Guizhou, central Guizhou and north Guizhou on the plane. The study results reveal the occurrence condition and spatial distribution of Sr-rich groundwater. It will make sense for prospecting, evaluation, planning and management of drinking natural mineral water and drinking water industry improvement of Guizhou province.

[Key words] Sr-rich groundwater; Occurrence and distribution rule; Guizhou province