

侯江勇, 向钊, 胡屿. 黔北大塘向斜区地下水系统划分及系统特征[J]. 中国岩溶, 2025, 44(1): 48-56.
DOI: 10.11932/karst20250103

黔北大塘向斜区地下水系统划分及系统特征

侯江勇¹, 向钊¹, 胡屿²

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 117 地质大队, 贵州贵阳 550018;
2. 贵州省地质环境监测院, 贵州贵阳 550081)

摘要: 黔北大塘向斜区含水系统尚未开展地下水系统划分的相关工作, 区内分布多个铝土矿区, 铝土矿为顶板直接充水的岩溶充水矿床, 岩溶水文地质条件极其复杂, 给区域内铝土矿水文地质特征的客观评价带来了一定难度。文章通过对黔北大塘向斜区地下水系统研究, 收集并整理了历史水文地质资料, 结合水文地质调查, 系统地分析了研究区和地下水系统边界及水文地质和动态特征。结果表明: (1) 研究区具有相对独立的地下水系统, 具有较完整的补径排条件, 主要为地下河系统和分散排泄系统; (2) 将研究区划分为 2 个地下水系统, 即大塘向斜地下河系统和洛龙背斜分散排泄系统。研究成果为区域铝土矿开发的水文地质风险评估及地下水资源管理提供了科学依据。

关键词: 地下水系统; 边界特征; 动态变化; 大塘向斜; 黔北

创新点: 选取黔北大塘向斜区地下水系统作为研究对象, 研究区内地下水系统边界、特征等, 划分地下水系统, 分析地下水系统特征、水动态变化及水化学特征, 弥补了该区地下水系统研究的空缺。

中图分类号: P641 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810 (2025) 01-0048-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

中国地质调查局编制的地下水系统划分导则(GWI-A5)^[1], 阐述了地下水系统划分原则及方法。近年来, 我国针对地下水系统划开展展了不同程度的研究工作^[2-7], 陈梦熊院士等^[8]对地下水系统的概念、理论及研究方法进行了总结, 他认为: 每个地下水系统都具有各自的特征与演变规律, 包括含水层系统、水循环系统、水动力系统; 裴建国等^[9]对西南岩溶地区岩溶地下水系统按岩溶水出露条件进行了划分, 共划分出 3 620 个岩溶地下水系统, 其中地下河系统 1 179 个, 岩溶泉系统 1 152 个, 集中排泄带系统 562 个, 分散排泄系统 727 个; 王明章等^[10]提出了涵盖表层带、浅循环带和深循环带岩溶地下

水系统划分方法, 并对典型地下水系统进行了研究; 龙胜实等^[11]对贵州省岩溶流域进行了划分, 在四级流域的基础上划分了五级岩溶地下水系统。西南岩溶区岩溶水文地质最显著特点之一就是地下河和岩溶大泉发育。近年来, 国内学者对地下河进行了大量研究^[12-15], 贵州为西南岩溶区的一部分, 其岩溶水文地质条件较复杂, 已广泛开展了 1:5 万水文地质调查工作, 但尚未涵盖黔北大塘向斜区域。由于黔北大塘向斜区分布多个铝土矿区, 该区域铝土矿为顶板直接充水的岩溶充水矿床, 岩溶水文地质条件复杂。因此, 划分该区地下水系统, 研究地下水系统特征, 为探矿区客观评价区域水文地质条件和未来矿坑预防水害提供可靠的依据。

1 研究区概况

1.1 自然地理概况

研究区位于贵州省道真县北部,地处云贵高原向四川盆地过渡的斜坡地带,地势总体北高南低,东、西高,中间低,构成了“V”字形深切峡谷岩溶地貌。主干河流洛龙河从研究区南部中间穿过,流量 $0.065\sim 43.231\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,该河流为研究区侵蚀基准面及集中排泄场。

1.2 水文地质概况

研究区出露的主要碳酸盐岩岩溶含水岩组包括三叠系中下统嘉陵江组(T_{1-2j})、三叠系下统夜郎组(T_{1y})、二叠系上统吴家坪组(P_3w)、二叠系中统梁山-茅口组(P_2l+q+m)、奥陶系中上统(O_{2-3})、奥陶系下统桐梓红花园组(O_{1t+h})。其中二叠系上统吴家坪组、二叠系中统梁山-茅口组、奥陶系中上统、奥陶系下统桐梓红花园组为碳酸盐岩含水岩组,其他为碳酸盐岩夹碎屑岩含水岩组。碳酸盐岩分布区岩溶漏斗、落水洞、地下河等较发育,具有面状入渗和点状集中注入补给、集中排泄的特点,含裂隙溶洞水及管道水;含水介质有裂隙-溶洞、溶洞-裂隙、溶洞-管道,泉点流量一般 $>10\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,部分大于 $100\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$;地下河流量一般大于 $200\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,地下水化学类型为 HCO_3^- - Ca^{2+} 型。碳酸盐岩含水岩组富水性中等至强,富水性不均匀。

研究区出露的主要碎屑岩裂隙含水岩组有志留系下统韩家店群(S_{1hj})、石榴栏龙马溪组(S_{1l+sh})、奥陶系下统湄潭组(O_{1m})。研究区内铝土矿主要产于韩家店群(S_{1hj})之上。碎屑岩泉点流量一般 $<1.0\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,地下水化学类型为 HCO_3^- - Ca^{2+} 型,富水性弱,可视为隔水层。

研究区构造较发育,较大褶皱构造有大塘向斜、洛龙背斜,断裂构造有 F_1-F_{10} 断层,构造线总体走向呈北北东向及近南北向展布;节理裂隙主要有北西、北东及近南北向三组。大塘向斜为蓄水构造,有利于地下水的汇聚和储存;其中 F_1-F_7 为导水断层(图1)。

2 结果与分析

2.1 地下水系统划分

2.1.1 划分原则及方法

根据《地下水系统划分导则》GWI-A5^[1]和《贵州

省含水岩组及岩溶流域划分专题研究报告^[11],在五级岩溶流域基础上,针对研究区地下水系统,具有独立且完整的补给、径流、排泄条件,边界条件清楚、水力联系密切的原则进行地下水系统的划分。系统边界主要以地貌、地质及水文地质等综合确定。按照岩溶地下水的出露条件,地下水系统分为集中排泄型的地下河系统,岩溶泉系统,以及分散排泄系统三类^[16-19]。

2.1.2 划分结果

根据以上原则及方法,在五级流域洛龙河的基础上将研究区划分为2个地下水系统,即大塘向斜地下河系统和洛龙背斜分散排泄系统,研究区主要位于大塘向斜地下河系统,各系统水循环特征相对独立,具有不同的水文地质特征(图1)。

2.2 地下水系统特征

2.2.1 大塘向斜地下河系统

该地下河系统地形高差相对较大,标高为530~1933.6 m,为低中山溶蚀峰丛洼地地貌、主要由二叠、三叠系灰岩、泥灰岩组成,灰岩直接裸露,含水介质为裂隙-溶洞、溶洞-管道,据研究区长期观测资料,泉点流量为 $0.01\sim 1834.83\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,地下河出口流量 $103\sim 3710\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,富水性属中等至强,地下水类型为 HCO_3^- - Ca^{2+} ,地下水埋深一般在50~250 m,除南西面以分水岭为界外,其余边界均以志留系韩家店群隔水层为界,系统流域总面积 213.60 km^2 。该系统岩溶发育具有多期性,岩溶管道较发育,地表岩溶形态有落水洞、地下河进出口、岩溶漏斗以及盲谷、岩溶洼地,其中岩溶漏斗、落水洞、岩溶洼地在干沟、圈牛河、水竹林、竹麻托、烂坝子、学堂坡、大水井、马石坡、白马岩等一带呈串珠状分布,沿构造线走向较发育,据统计^[20-22],系统内发育落水洞、地下河进出口、岩溶漏斗等各类地表岩溶392处,发育高程1200~1700 m,在下大塘、政治砭、下金堡一带地表溪流水补给地下河;地下岩溶形态及特征表现为溶洞、岩溶裂隙,据研究区铝土矿勘探钻孔揭露溶洞、裂隙主要发育在埋深200 m内,发育标高1048.11~1708.07 m,主要集中在标高1300~1600 m,从上至下未充填逐渐转换为半充填、充填。该系统发育7条主要地下河,其中洛龙河以北发育2条较大的地下河,分别为S17

系统中最主要的一条,呈树枝状分布,主要发育3条分支地下河管道,主管道近于大塘向斜轴部发育,方向与大塘向斜轴线方向大体一致,近于南北向展布。发源于磨盘石、圈牛河、干沟、水竹林等一带,经政治斫、枣子坪向南至白岩电站地下河出口(S17)排泄,流量 $103\sim 3710\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,全长 18 km,地下河埋深大于 50 m,平均坡降 5%(图 2)。补给区主要发育岩溶漏

斗、岩溶洼地及地下河入口,在径流区主要发育落水洞、岩溶竖井、地下河天窗,在排泄区发育地下河出口。主管道在东流河、政治斫一带以常年性地表水通过地下河入口的形式集中补给,其余地带以岩溶漏斗、岩溶洼地集中灌入式补给,补给条件较好。3条支管道主要特征如下:

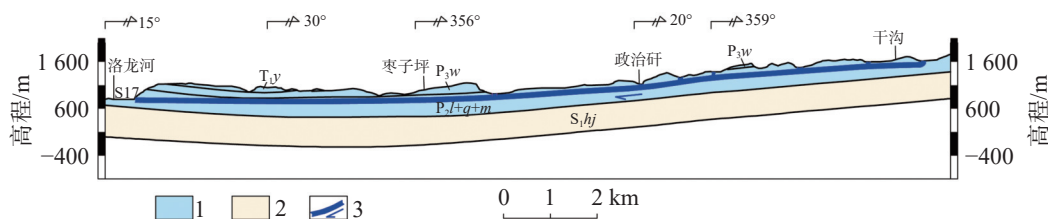


图 2 S17 地下河纵剖面示意图

1-碳酸盐岩岩溶含水岩组 2-碎屑岩裂隙含水岩组 3-地下河及走向

Fig. 2 Schematic diagram of longitudinal section of underground river S17

(1) 下金堡-枣子坪支管道,主要由 2 条支管构成,发育于下金堡、火钳子一带,途径天池,最后在枣子坪附近汇入主管道,全长约 4.5 km,地下河埋深大于 50 m,发育走向南东向。在下金堡一带主要以地表水通过地下河入口形式集中补给,在其余地段主要通过岩溶漏斗、落水洞、岩溶洼地集中灌入式补给,补给条件较好。

(2) 放牛坡-政治斫支管道,发育于放牛坡、黄泥土一带,途径竹麻托、砖房一带,在政治斫附近汇入主管道,全长约 6.7 km,地下河埋深大于 50 m,发育走向南北向。主要通过岩溶漏斗、落水洞、岩溶洼地集中灌入式补给,补给条件较好。

(3) 椒子坪-枣子坪支管道:发育于堡上、椒子坪一带,途径学堂坡、大水井、出水塘,最后在枣子坪附近汇入主管道,全长约 10 km,地下河埋深 50~100 m。在椒子坪—出水塘段发育于 F_4 断层附近,走向大致与断层走向平行,为北东向;在出水塘—枣子坪发育,走向变为南西向。主要通过岩溶漏斗、落水洞、岩溶洼地集中灌入式补给,补给条件较好。

2.2.1.2 S22 地下河

该地下河位于洛龙河以北,为大塘向斜地下河系统中一条主要的地下河,总体呈单支分布,在补给区呈树枝状分布,发育于 F_3 断层附近,走向大致与断层走向平行,近于南北向。该地下河发源于烂坝子一带,途经隆家场、彭家垭口、长五间、牛拉门、通塘

底向南至冉朝坝地下河出口(S22)集中排泄,流量为 $36.43\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,全长 15.6 km,地下河埋深大于 50~200 m,平均坡降 4%。在补给区主要发育岩溶漏斗、岩溶洼地及落水洞,在径流区主要发育落水洞、岩溶竖井。

2.2.1.3 S18 地下河

该地下河位于洛龙河以南,由两条支管组成,发育走向东西向,发源于马石坡一带,途经方家坡向南东至白岩电站地下河出口(S18)集中排泄,流量为 $75.6\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,全长 4.9 km,地下河埋深大于 50 m。主要通过岩溶漏斗、落水洞集中灌入式补给,补给条件较好。

2.2.1.4 S19 地下河

该地下河位于洛龙河以南,呈单支分布,发育走向北东向,发源于叉溪一带,途经曾家院子向北东至天星桥地下河出口(S19)集中排泄,流量为 $63.0\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,全长 5.3 km,地下河埋深大于 50 m。主要通过岩溶洼地、落水洞集中灌入式补给,补给条件较好。

2.2.1.5 S20 地下河

该地下河位于洛龙河以南,呈单支分布,发育走向北东向,发源于叉溪一带,途经文家山、曾家院子向北东至龙桥地下河出口(S20)集中排泄,流量为 $15.8\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,全长 6.5 km,地下河埋深大于 50 m。主要通过岩溶洼地、落水洞集中灌入式补给,补给条件较好。

2.2.1.6 K1 地下河

该地下河位于洛龙河以南,呈单支分布,发育走

向北东向,发源于白马岩一带,途经野猫水向北东至白果坪地下河出口(K1)集中排泄,流量为 $40.17 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,全长 6.45 km,地下河埋深大于 50 m。在补给区主要发育落水洞、岩溶洼地,在径流区主要发育落水洞。主要通过落水洞、岩溶洼地集中灌入式补给,补给条件较好。

2.2.1.7 K2 地下河

该地下河位于洛龙河以南,呈单支分布,发育走向北东向,发源于梁垭子一带,途经大水井向北东至白果坪地下河出口(K2)集中排泄,流量为 $23.04 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,全长 5.65 km,地下河埋深大于 50 m。在补给区主要发育落水洞、岩溶洼地,在径流区主要发育落水洞。补给条件较好。

2.2.2 洛龙背斜分散排泄系统

该地下水系统地形标高 837~1800.7 m,地貌类型为中山溶蚀侵蚀峰丛沟谷地貌,由奥陶系灰岩、白云岩和奥陶、志留系碎屑岩黏土岩、砂质黏土岩组成,系统中部为碳酸盐岩灰岩、白云岩,发育少量溶洞、溶蚀裂隙等,其余为碎屑岩黏土岩、砂岩,表层风化裂隙发育。泉点流量为 $0.61\sim 14.234 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,富水性弱至中等,地下水类型为 $\text{HCO}_3^- \text{-Ca}^{2+}$ 。系统边界北西面以地表分水岭为界,南面、东面以志留系韩家店群隔水层为界,西面以地表分水岭为界。主要为大气降水面状渗入补给,赋存于节理、裂隙中,以溶蚀裂隙、节理等通道径流,径流方向总体由北流向南,最后主要以下降泉的形式分散排泄于斜坡上或沟谷中。

2.2.3 地下水系统动态变化特征

据研究区地下水长期动态观测资料^[6-7],观测期

为一个水文年,观测时间: S4、S6、S9 为 2015 年 6 月—2016 年 6 月, S13、S17 为 2013 年 4 月—2014 年 4 月, S21 为 2011 年 7 月—2012 年 7 月。地下水动态与大气降水相关,地下水动态变化相对较稳定,丰水期出现在 4—10 月,枯水期出现在 11 月至次年 3 月,地下水动态与降雨量变化一致。其典型排泄点丰枯变幅 1.98~7.57 倍,极平变幅 3.23~20.17 倍,极值变幅 17.33~114 倍,具体动态变化见表 1,流量动态变化与降雨量关系见图 3。

2.2.4 地下水系统水化学特征

通过统计研究区 5 个典型排泄点地下水和 2 个地表水水质分析样品的主要离子浓度(表 2)。

将统计的主要化学组分,利用 Origin 软件绘制于 PiPer 三线图中。由图 4 可知,所采集的地下水主要化学组分的数据点主要集中在菱形左侧的钝角顶点附近,显示碳酸盐硬度超过了 50%,水中阴离子以 HCO_3^- 为主,阳离子以 Ca^{2+} 为主,地下水化学类型为 $\text{HCO}_3^- \text{-Ca}^{2+}$ 。按丰枯季节采集两处地表水样进行丰枯对比,丰水期水中的 Ca^{2+} 有所减少,分别从 90% 减少到 83%、88% 减少到 80%,其原因是暴雨稀释造成; HCO_3^- 增加幅度较小,从 84% 增加到 86%(图 5),其原因主要是暴雨期间大气降水在地表径流过程中吸收了土壤和枯落物中浓度较高的 CO_2 ,并参与化学反应造成。

3 结论与讨论

(1)文章以黔北大塘向斜区地下水系统为研究对象,岩溶含水岩组含水介质主要为裂隙-溶洞、溶洞-管道,碎屑岩裂隙含水岩组含水介质为裂隙。

表 1 典型地下水排泄点动态变化统计表

Table 1 Statistics of dynamic changes in typical groundwater discharge points

排泄点编号	S17	S13	S21	S6	S4	S9
丰水期平均流量/ $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$	1350	69.83	66.16	155	53.82	248.81
枯水期平均流量/ $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$	190	12.36	33.43	45	12.29	32.89
丰枯变幅系数/ $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$	7.11	5.65	1.98	3.44	4.38	7.57
最大流量/ $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$	3710	649.83	315.15	2440	446.57	1834.8
观测期 最小流量/ $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$	103	5.7	18.19	20	7.36	27.56
平均流量/ $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$	1150	54.90	54.93	121	40.53	177.82
极平变幅系数(倍)	3.23	11.84	5.74	20.17	11.02	10.32
极值变幅系数(倍)	36.02	114	17.33	122	60.68	66.57

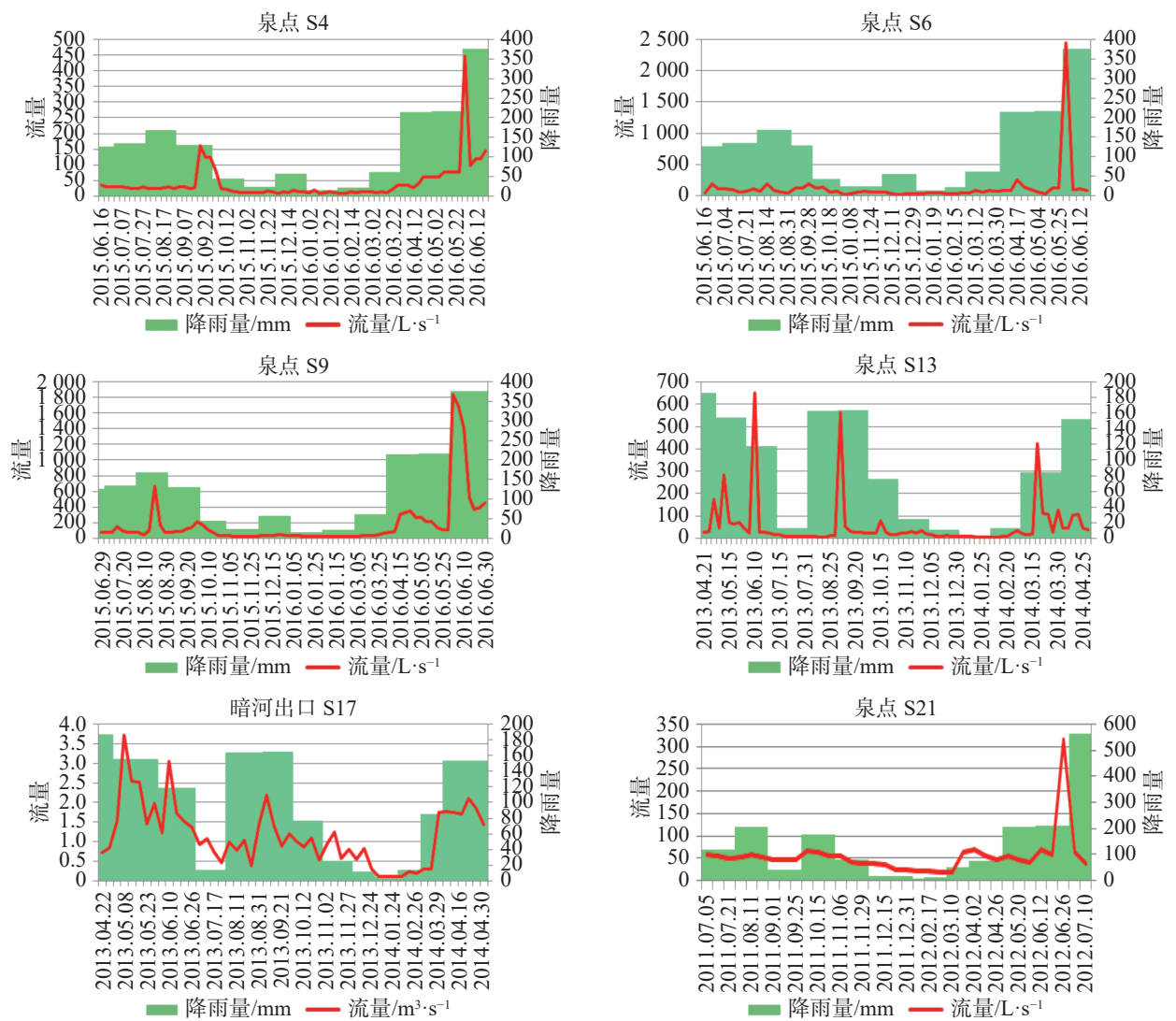


图 3 典型地下水排泄点流量动态变化与降雨量关系图

Fig. 3 Relationship between dynamic changes in flow at typical discharge points and rainfall

表 2 水样中主要离子浓度统计表 (单位: $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

Table 2 Statistics of main ion concentrations in water samples (unit: $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

取样地点		K^{+}	Na^{-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	CO_3^{2-}
S6		0.74	2.02	27.78	2.26	3.97	17.17	84.37	0.00
S9		0.68	0.44	25.54	2.98	1.78	7.16	73.99	0.00
S13		0.4	0.44	43.22	3.40	1.08	11.61	126.25	0.00
S17		0.63	3.85	90.38	2.98	3.59	2.68	273.54	0.00
S21		0.33	1.67	65.76	3.67	6.61	14.00	182.32	0.00
东流河	丰水期	0.49	0.37	36.94	3.46	1.74	8.34	111.78	0.00
	枯水期	0.33	0.44	38.30	2.00	2.07	11.00	117.63	0.00
洛龙河	丰水期	0.7	5.68	34.81	1.70	1.39	20.04	110.06	0.00
	枯水期	0.76	1.83	47.93	2.24	3.50	18.03	131.05	0.00

(2)将研究区划分为 2 个地下水系统,即大塘向斜地下河系统和洛龙背斜分散排泄系统,并分析了各地下水系统特征。大塘向斜地下河系统地下河极

其发育,主要发育了 7 条地下河,其中洛龙河以北发育 2 条,洛龙河以南发育 5 条,1 号、2 号地下河为系统内主要的地下河,该系统主要通过岩溶洼地、落水

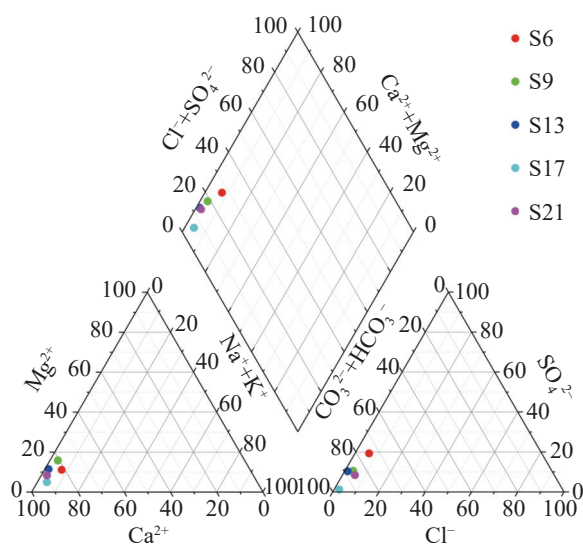


图4 研究区地下水 Piper 图

Fig. 4 Piper diagram of groundwater in the study area

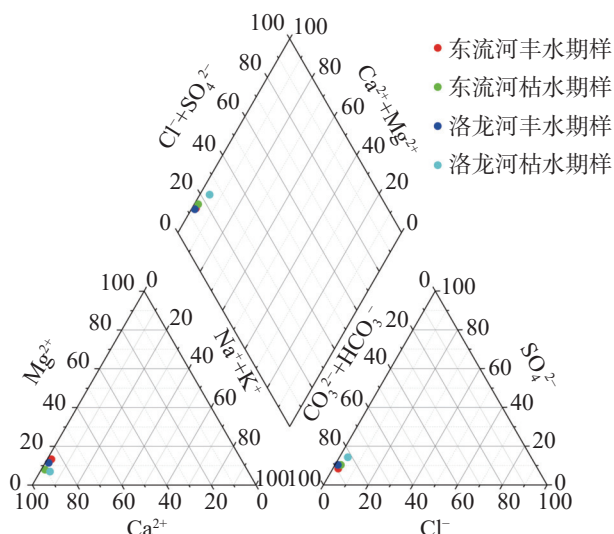


图5 研究区地表水 Piper 图

Fig. 5 Piper diagram of surface water in the study area

洞、岩溶漏斗等灌入式集中补给,以岩溶管道径流,最后以地下河出口、岩溶大泉集中排泄;洛龙背斜分散排泄系统主要以裂隙径流,以下降泉分散排泄。

(3)地下水丰水期出现在4—10月,枯水期出现在11月至次年3月,地下水动态变化与降雨量变化一致。地下水阳离子主要为 Ca^{2+} ,阴离子主要为 HCO_3^- ,通过采集的地表水中丰枯相比,丰水期水中的 Ca^{2+} 减少的原因是暴雨稀释造成, HCO_3^- 增加的原因是暴雨期间大气降水在地表径流过程中吸收了土壤和枯落物中浓度较高的 CO_2 进行化学反应造成。

参考文献

- [1] 中国地质调查局. 地下水系统划分导则 (GW1-A5)[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [2] 孙厚云, 毛启贵, 卫晓锋, 张会琼, 蒯玉泽. 哈密盆地地下水系统水化学特征及形成演化[J]. 中国地质, 2018, 45(6): 1128-1141.
SUN Houyun, MAO Qigui, WEI Xiaofeng, ZHANG Huiqiong, XI Yuze. Hydrogeochemical characteristics and formation evolutionary mechanism of the groundwater system in the Hami basin[J]. Geology in China, 2018, 45 (6): 1128-1141.
- [3] 潘晓东, 梁杏, 唐建生, 苏春田, 孟小军. 黔东北高原斜坡地区4种岩溶地下水系统模式及特点: 基于地貌和蓄水构造特征[J]. 地球学报, 2015, 36(1): 85-93.
PAN Xiaodong, LIANG Xing, TANG Jiansheng, SU Chuntian, MENG Xiaojun. The Patterns and Characteristics of Four Karst Groundwater Systems in Northeast Guizhou Slope Zone Based on the Landscape and Reservoir Structure[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2015, 36(1): 85-93.
- [4] 赵一, 李衍青, 李军, 刘鹏, 蓝芙宁. 滇东断陷盆地南洞岩溶地下水系统地下河水文动态特征与资源量评价[J]. 地球学报, 2021, 42(3): 324-332.
Zhao Yi, Li Yanqing, Li Jun, LIU Peng, LAN Funing. Under-ground River Hydrological Dynamic Characteristics and Resource Evaluation of the Nandong Karst Water System in East Yunnan Faulted Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2021, 42(3): 324-332.
- [5] 林永生, 杜毓超, 邹胜章, 樊连杰, 全洗强. 重庆市金佛山台原岩溶地下水系统结构特征分析[J]. 中国岩溶, 2020, 39(5): 658-664.
LIN Yongsheng, DU Yuchao, ZOU Shengzhang, FAN Lianjie, QUAN Xiqiang. Structural characteristics of karst groundwater system beneath Jinfoshan, Nanchuan district, Chongqing City[J]. Carsologica Sinica, 2020, 39 (5): 658-664.
- [6] 莫美仙, 王宇, 李峰, 虞慧. 云南南洞地下河系统边界及性质研究[J]. 中国岩溶, 2019, 38(2): 173-185.
MO Meixian, WANG Yu, LI Feng, YU Hui. Study on the boundaries and properties of the underground river system in Nandong, Yunnan Province[J]. Carsologica Sinica, 2019, 38 (2): 173-185.
- [7] 杨会峰, 王贵玲, 张翼龙. 中国北方地下水系统划分方案研究[J]. 地质前沿 (中国地质大学(北京); 北京大学), 2014, 21(4): 74-82.
YANG Huifeng, WANG Guiling, ZHANG Yilong. A division scheme of groundwater systems in North China[J]. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences (Beijing); Peking University), 2014, 21 (4): 74-82.
- [8] 陈梦熊, 马凤山. 中国地下水资源与环境[M]. 北京: 地震出版社, 2002.
- [9] 裴建国, 梁茂珍, 陈阵. 西南岩溶石山地区岩溶地下水系统划分及其主要特征值统计[J]. 中国岩溶, 2008, 27(1): 6-10.

- PEI Jianguo, LIANG Maozhen, CHEN Zhen. Classification of karst groundwater systems and statistics of the main characteristic values in southwestern China Karst mountainous[J]. *Carsologica Sinica*, 2008, 27 (1): 6-10.
- [10] 王明章, 陈萍、王中美. 贵州省岩溶地下水系统及地下水赋存规律研究[M]. 北京: 地质出版社, 2018.
- [11] 龙胜实, 罗林, 等. 贵州省含水岩组及岩溶流域划分专题研究报告[R]. 贵州省地质矿产勘查开发局 111 地质大队, 2015.
- [12] 杨 杨, 赵良杰, 夏日元, 王莹. 珠江流域岩溶地下河分布特征与影响因素研究[J]. *中国岩溶*, 2022, 41(4): 562-576.
- YANG Yang, ZHAO Liangjie, XIA Riyuan, WANG Ying. Distribution and influencing factors of karst underground rivers in the Pearl River Basin[J]. *Carsologica Sinica*, 2022, 41 (4): 562-576.
- [13] 潘玉峰, 吴建标, 李社宏, 潘明. 滇东南南洞地下河系统源区洞穴特征及其成因演化机制[J]. *中国岩溶*, 2022, 41(1): 133-142.
- PAN Yufeng, WU Jianbiao, LI Shehong, PAN Ming. Cave characteristics and its genesis and evolution in the source area of Nandong underground river system in Nandong area, Southeast Yunnan[J]. *Carsologica Sinica*, 2022, 41(1): 133-142.
- [14] 韩 凯, 梁东辉, 甘伏平, 黄芬. 利用高精度示踪技术和大功率充电法确定地下河系统的管道分布特征: 以毛村地下河系统为例[J]. *中国岩溶*, 2021, 40(5): 884-893.
- HAN Kai, LIANG Donghui, GAN Fuping. Utilizing high-precision tracer technology and high-powered mise-a-lamasse method to determine the pipeline distribution characteristics of underground river system: A case study in Maocun underground river system[J]. *Carsologica Sinica*, 2021, 40(5): 884-893.
- [15] 易连兴, 夏日元, 唐建生, 时坚, 罗伟权, 陈阵. 西南岩溶地下河流量重复统计问题及对策探讨[J]. *中国岩溶*, 2015, 34(1): 72-78.
- YI Lianxing, XIA Riyuan, TANG Jiansheng, SHI Jian, LUO Wei-quan, CHEN Zhen. Dealing with overestimates of underground river discharge in karst areas of southwestern China[J]. *Carsologica Sinica*, 2015, 34 (1): 72-78.
- [16] 王伟, 向群. 黔西北地区岩溶水系统划分及找水方向[J]. *贵州地质*, 2010, 27(1): 49-53.
- Wang Wei, Xiang Qun. Division of Karst Water System and Water Prospecting Direction in Northwest Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 2010, 27 (1): 49-53.
- [17] 王明章, 张林, 王伟, 等. 贵州省岩溶区地下水及地质环境[R]. 2011.
- [18] 陈萍, 王明章. 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*, 2015, 34(3): 6234-237.
- CHEN Ping, WANG Mingzhang. A classification scheme of karst groundwater systems based on groundwater exploitation[J]. *Carsologica Sinica*, 2015, 34 (3): 6234-237.
- [19] 王宇. 西南岩溶地区岩溶水系统分类、特征及勘查评价要点[J]. *中国岩溶*, 2002, 21(2): 114-119.
- WANG Yu. Classification features of karst water system and key point for the evaluation to karst water exploration in southwest China karst area[J]. *Carsologica Sinica*, 2002, 21 (2): 114-119.
- [20] 侯江勇, 向通, 等. 贵州省道真县大塘铝土矿详查报告[R]. 贵州省地质矿产勘查开发局 117 地质大队, 2018.
- [21] 侯江勇, 向通, 等. 贵州省道真县洛龙铝土矿详查报告[R]. 贵州省地质矿产勘查开发局 117 地质大队, 2014.
- [22] 侯江勇, 向通, 等. 贵州省务、正、道地区大塘向斜铝土矿整装勘查报告[R]. 贵州省地质矿产勘查开发局 117 地质大队, 2015.

Classification of groundwater systems and system characteristics in the Datang synclinal area of north Guizhou

HOU Jiangyong¹, XIANG Zhao¹, HU Yu²

(1. No.117 Geological Brigade of Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang, Guizhou 550018, China;

2. Guizhou Geological Environment Monitoring Institute, Guiyang, Guizhou 550081, China)

Abstract In recent years, researchers have conducted various studies on the classification of groundwater systems and have summarized different methods of this classification. Investigations into groundwater system division and system characteristics have been carried out in several areas of karst mountainous areas in Southwest China. Notably, Guizhou Province has extensively conducted 1:50 000 hydrogeological surveys; however, there has been no research focused on the classification of groundwater systems within the water-bearing system of the Datang Syncline Area in North Guizhou. This area is characterized by multiple bauxite exploration rights, and bauxite is known to be a karst water-filled deposit that is directly replenished by roof water. The karst hydrogeological conditions are extremely complex, which poses certain difficulties for the objective evaluation of the hydrogeological characteristics of bauxite in this area. This study provides an objective evaluation of the regional hydrogeological characteristics by examining the groundwater system in the Datang Syncline Area of North Guizhou. It mainly uses hydrogeological survey data collected from the study area, supplemented by on-site hydrogeological surveys, results of water quality analysis, and

long-term observations of groundwater dynamics. This comprehensive analysis aims to delineate the boundaries and characteristics of the groundwater system in the area.

The research findings indicate that the Datang Syncline Area in North Guizhou has a relatively independent groundwater system characterized by relatively complete recharge, runoff, and discharge conditions. This system mainly consists of underground river systems and dispersed discharge systems. The study area is divided into two groundwater systems, namely, the Datang synclinal underground river system and the Luolong anticline dispersed discharge system. The characteristics of each system are described. The water-bearing medium of the Datang synclinal underground river system consists of fissure–cave and cave–pipeline formations. The groundwater depth typically ranges from 50 m to 250 m. Except for the watershed in the southwest, the remaining boundaries are delineated by the aquitard of the Hanjiadian Group within the Zhiliu System. There are 392 surface karst features in the system, including sinkholes, inlets and outlets of underground rivers, and karst funnels. The system is mainly composed of underground river pipelines, with a total of seven main underground rivers. Among these, two larger underground rivers, S17 and S22, are located north of the Luolong River and are considered the main underground rivers in the system. The underground rivers S18, S19, S20, K1, and K2 are developed south of the Luolong River. The Datang synclinal underground river system characterized by a centralized injection supply, concentrated runoff through karst pipelines, and centralized discharge from underground river outlets. In the area north of the Luolong River, groundwater typically flows from north to south, whereas in the southern area, groundwater flows from southwest to northeast. The aquifer medium of dispersed drainage system of the Luolong Anticline is mainly composed of joint fissures. The boundary of the system is delineated as follows: the surface watershed to the northwest, the aquitard of Silurian Hanjiadian Group to the south and east, and the surface watershed to the west. This system is characterized by surface infiltration recharge, joint fissure runoff, and dispersed discharge through springs. The overall direction of groundwater runoff is from north to south. The dynamic changes in water flow are consistent with rainfall variations, and the dynamic changes of groundwater are relatively stable. The chemical type of groundwater is $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$. Compared with the dry season, the content of Ca^{2+} in surface water during the wet season decreases, primarily due to dilution by rainstorm. The increase of HCO_3^- is relatively small, mainly because atmospheric precipitation during the rainstorm absorbs high concentration of CO_2 from soil and fallen leaves during the surface runoff process, which subsequently leads to chemical reactions. The research findings provide a basis for objectively evaluating the hydrogeological characteristics of bauxite and the regional groundwater resources in the study area.

Key words groundwater system, boundary features, dynamic changes, Datang syncline, North Guizhou

(编辑 张玲)