

华蓥山褶皱带岩溶水的水动力条件及 锇矿找矿标志的研究

徐文汉

(四川省地质矿产局二〇五地质队)

摘要 本文论述了华蓥山褶皱带岩溶水动力带,探讨了淡化型黑函的形成史和地球化学特征,为锇矿找矿指出了方向。

一、地质概况

华蓥山褶皱带位于四川盆地川东褶皱带的西部,属新华夏系,由一系列北东—南西向的条形梳状褶皱组成。华蓥山褶皱带向北东方向收敛,向南西方向敞开(图1)。地貌受区域构造格局的控制较明显,山脉走向与构造线方向一致,呈北东—南西向,地势西北高、南东低;华蓥山海拔标高1000m至1500m,最高为高登山1704m。

区内除志留系、泥盆系、石炭系缺失外,其它各时代地层均有出露。主要为三叠系和侏罗系。上三叠统须家河组(T_3xj)为长石石英砂岩夹黑色页岩、煤、菱铁矿,厚650~380m。中三叠统雷口坡组(T_2l)为灰岩、泥质岩、白云岩夹角砾岩、局部赋存石膏、天青石,总厚度347.9~1163m。飞仙关组为灰岩、泥质岩、页岩,厚368~549m。

区内属亚热带湿润气候,年平均气温为17℃至20℃,年平均降雨量为1100~1200mm,集中在6~9月。这种多雨、炎热、湿润的亚热带气候为岩溶的发育提供了有利条件。

区内岩溶发育,其形态为溶沟、溶槽、石芽、漏斗、落水洞、洼地、溶蚀残丘、岩溶槽谷、暗河、伏流等。

区内以岩溶槽谷为主要特征,发育于狭长的背斜轴部嘉陵江组碳酸盐岩中。背斜轴部呈

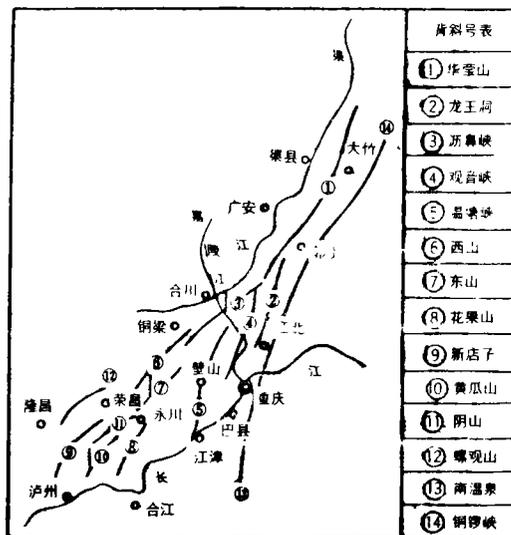


图1 华蓥山褶皱带背斜构造分布略图

槽谷,两翼呈山,形成川东地区独特的“一山一槽二岭”(或“一山二槽三岭”)平行岭谷的岩溶地貌景观(图2)。

按岩溶槽谷分布的标高,与槽外红层丘陵区的相对高程分为高位槽谷和低位槽谷两种类型(图3、4)。

高位槽谷:海拔标高350~500m,与槽外红层丘陵相对高差50m至数百米。岩溶发育,常有溶洞、落水洞、漏斗、洼地、地下河、溶蚀残丘等,谷缘常出露暗河、大泉。如铜梁县玉峡、陈家湾槽谷,巴县响水洞、青木关的“天池”槽谷。

低位槽谷:海拔标高200~300m,与槽外红层丘陵相对高差小于50m,谷底宽阔,较平坦,第四系覆盖较薄,汇水面积较大,地表岩溶出露少,谷中常有河、溪分布,时有上升泉出露,地下水埋藏较浅,槽谷常为地下水的排泄区。

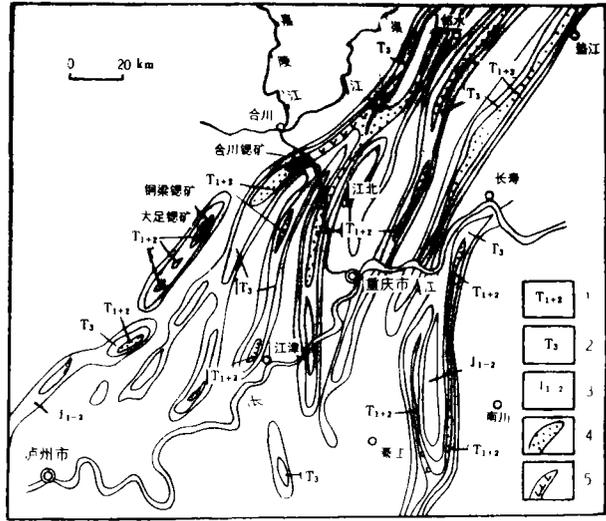


图2 华蓥山褶皱带及邻区地质图

1-嘉陵江组雷口坡组;2-须家河组;3-自流井组;4-高位槽谷;5-低位槽谷

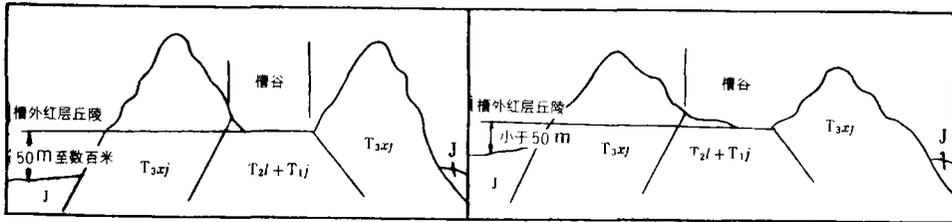


图3 高位槽谷横剖面示意图

图4 低位槽谷横剖面示意图

二、岩溶水动力带主要水文地质特征

华蓥山褶皱带岩溶水按水动力交替特征可分为如图5所示的三个带:水交替畅流带、缓慢带、停滞带。

畅流带:分布于各背斜槽谷、谷坡等地表浅层地带及断裂带,为构造开敞的氧化环境,岩溶水交替循环强烈,主要为大气降雨补给,地下水以垂向运动为主,水量随季节变化,变幅大,水温16℃至20℃,呈中性至弱碱性,淡水,水质为HCO₃-Ca(Mg)型,矿化度一般小于0.5g/l。

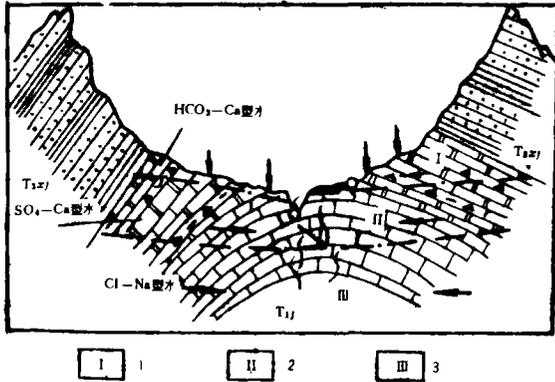


图5 槽谷岩溶水动力分带剖面示意图

1—水交替畅流带；2—水交替缓慢带；3—水交替停滞带

缓慢带：为水畅流带与停滞带间的过渡带，系构造开敞一半封闭的氧化—还原环境，水交替循环缓慢，主要由浅层畅流带地下水渗入补给，其动态随季节而变化，但变幅不大，常在河流横切背斜处的深切峡谷或河床中出露，水温在25℃以上，常形成低温—高温微咸温泉水(表1)。如重庆北温泉，位于温塘峡背斜轴部北段，水温36.5℃，矿化度2.32g/l，流量217.73t/d，水型为SO₄-Ca型。缓慢带的地下水循环深度受地形、地质构造的控制较明显，变化较大，由几十至几

千米。主要沿背斜构造、深大断裂带的深部作纵向水平运动，次为在局部地段沿地下深部的褶皱构造带作横向运动。钻孔揭露有时喷出地表。地下水常具有区域性的水力联系，钻孔涌水量均较大，日涌水量几百吨至几千吨，最大可达万吨以上。如铜梁县锶矿ZK₁₀孔，在孔深170m处的嘉陵江组灰岩中揭露到水交替缓慢带岩溶水时，地下水喷出地表，高度达30m，涌水量800t/d。桥口坝ZK₁₀孔，位于南温泉背斜南段，孔深188m，涌水量2.3万t/d。

停滞带：位于地下深处的半封闭或封闭的系统中，浅者几十米，深者几千米，还原环境，水交替循环停滞，岩溶水的动态变化不受季节变化的控制，水量和水质均较稳定，如(表2)。

三、锶矿形成的三个阶段及淡化型黑卤的找矿意义

1、锶矿形成的三个阶段

铜梁和大足锶矿主要位于水交替缓慢带，产出层位为嘉二段—亚段(T_{ij}⁻¹)，合川锶位于水交替停滞带，产出层位主要为嘉四段—亚段(T_{ij}⁻²)，均由白云岩、岩溶角砾岩、泥岩等组成(图6、7、8)。

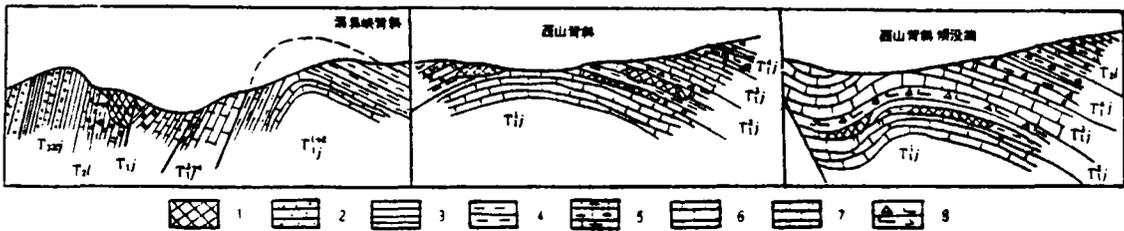


图6 合川锶矿剖面示意图

图7 大足锶矿剖面示意图

图8 铜梁锶矿剖面示意图

1—锶矿；2—砂岩；3—页岩；4—粘土岩；5—泥质灰岩；6—灰岩；7—白云岩；8—岩溶角砾岩

表1 水交替缓慢带水质分析成果统计表

名称	构造部位	出水 地层	流量(t/d)	水温(°C)	矿化度 (g/l)	水型
铜梁钵矿ZK ₁₋₁	西山背斜北段	T _{ij}	800	33	2.093	SO ₄ -Ca
铜梁钵矿ZK ₁₋₂	西山背斜北段	T _{ij}	187.7		2.434	SO ₄ -Ca
铜梁钵矿ZK ₁₋₃	西山背斜北段	T _{ij}	75.91	32	2.703	SO ₄ -Ca
重庆北温泉	温峡背斜北段轴部	T _{ij}	217.73	36.5	2.32	SO ₄ -Ca
陈家湾温泉	汤鼻峡背斜西翼	T _{ij}	300.68	37.0	1.12	SO ₄ -Ca
青木关温泉	温峡背斜近轴部	T _{ij}	605.23	30.5	1.74	SO ₄ -Ca
壁山温泉	温峡背斜中段西翼	T _{ij}	1226.5	32	1.65	HCO ₃ ·SO ₄ -K·Na
盐坪井温泉	铜锣峡背斜北倾没端	T _{ij}	152.93	39	3.03	SO ₄ -Ca
白龙洞温泉	铜锣峡背斜中段轴部	T _{ij}	633.31	31.5	2.3	SO ₄ ·Cl-Ca·Na
统景温泉	铜锣峡背斜南段东翼	T _{ij}	222.91	47	3.3	SO ₄ ·Cl-Ca
猫儿峡温泉	观音峡背斜南段西翼	T _{ij}	2160.0	28	1.7	SO ₄ ·HCO ₃ -Ca·Mg
小泉温泉	南温泉背斜西翼	T _{ij}	212.0	35	2.43	SO ₄ -Ca
重庆南温泉	南温泉背斜东翼	T _{ij}	277.0	42	2.5	SO ₄ -Ca
桥口坝温泉	南温泉背斜南段	T _{ij}	333.4	34	2.89	SO ₄ -Ca
桥口坝ZK ₁	南温泉背斜南段	T _{ij}	23000.0	42	2.0	SO ₄ -Ca
南温泉ZK ₁	南温泉背斜东翼近轴部	T _{ij}	1494.89	42	2.41	SO ₄ -Ca
渠县三汇ZK ₇	华蓥山背斜北倾没端	T _{ij}	4366.66	35	5.5	SO ₄ ·Cl-Na·Ca

表2 水交替停滞带水质分析成果统计表

名称	构造部位	出水 地层	流量 (t/d)	矿化度 (g/l)	水型
合川钵矿PD ₁ -CD ₁	汤鼻峡背斜北段北西翼	T _{ij}		13.742	Cl-Na
合川钵矿PD ₂ -CD ₂	汤鼻峡背斜北段北西翼	T _{ij}		7.221	Cl-Na
合川钵矿DZK ₁	汤鼻峡背斜北段北西翼	T _{ij}		11.10	Cl-Na
合川钵矿DZK ₂	汤鼻峡背斜北段北西翼	T _{ij}		7.999	Cl-Na
合川钵矿ZK ₁	汤鼻峡背斜北段北西翼	T _{ij}	4.6224	6.138	Cl-Na
合川钵矿ZK ₂	汤鼻峡背斜北段北西翼	T _{ij}	28.1232	5.538	Cl-Na
永川莱苏ZK ₁	黄瓜山背斜南倾没端	T _{ij}	11.92	12.40	Cl-Na

锶矿的成因大致分为三个阶段:

第一阶段:在嘉陵江组形成时期,四川盆地处于潮上至潮间带沉积(萨勃哈沉积)大环境,由于气候干燥炎热,强烈蒸发和浓缩,使富含Ca、Mg、Sr的海水与碳酸钙灰泥表面交代生成准同生泥晶白云岩,SO₄²⁻与Ca²⁺离子作用,生成石膏或硬石膏,准同生微板条天青石析出,形成微层状天青石膏质藻白云岩。

第二阶段:准同生天青石、硬石膏阶段之后,地壳开始下降,沉积了厚度达千余米三叠系、侏罗系、白垩系,在沉积压实作用下沉积物(碳酸盐)中的孔隙水、结晶水被挤出,形成卤水。卤水在成岩过程中经高温、高压作用,促使含锶矿物(天青石、菱锶矿、石膏等)活化溶解,形成富含Sr²⁺的热卤水。华蓥山褶皱带的形成,有利于地应力的释放,并为古卤水的循环、排泄提供了良好的通道。

第三阶段:重碳酸锶溶液沿着天青石晶体解理、裂纹进行交代。起初先是在天青石晶体中形成菱锶矿细网脉,随着交代作用的加强,使天青石全部被交代,最后变为放射束状纯菱锶矿块体及条带。

2. 淡化型黑卤的找矿意义

1. 淡化型黑卤的形成

淡化型黑卤系指华蓥山褶皱带卤水。这种淡化型黑卤不同于自贡—五通桥等地的黑卤(见表3),也不同于一般黑卤的冲淡、稀释。它赋存于水质为SO₄-Ca型的水交替缓慢带和水质为Cl-Na型的停滞带中。前者遍布全区,尤以低温至高温微咸温泉水著名,后者仅在局部封闭或地下深处封闭环境中保存。如赋存在水交替停滞带中的合川锶矿,其Cl-Na型水距地表仅50m,是因为有着多层的、厚度大的黑色岩溶角砾岩作为屏障保护所致。

沥鼻峡背斜北段的合川锶矿、西山背斜北段的铜梁和大足锶矿深部地下水皆属淡化型黑卤。

淡化型黑卤的成因,是一个十分复杂的问题。根据区域地史和水文期,将淡化型黑卤的生成划分为五个水文期:(1)沉积期;(2)古淋滤期;(3)深埋封闭期;(4)构造热液期;(5)现代淋滤期(现代水文地质时期)。

(1)沉积期:早中三叠世时,海水多次入侵,沉积了厚度较大的海相化学岩和蒸发岩。在沉积过程中,伴随沉积水的形成,沉积水与围岩发生物理化学、生物化学、胶体化学等作用,生成含盐度较高的富含Ba、Li、B等微量元素和N₂、H₂S等气体的沉积卤水。

(2)淋滤期:中三叠世末,印支运动使盆地上升为陆,并经历着强烈侵蚀剥蚀和淋滤作用,淋滤水侵入储卤层,对沉积卤水进行稀释、淡化,成为氯化物的低浓度古淋滤水,各种微量元素贫化,CO₂、O₂气体增加。

(3)深埋封闭期:晚三叠世,盆地又开始下降,海水又大规模入侵,沉积了厚度达千余米的碎屑岩地层,古淋滤水深埋地下,在深埋封闭的环境里,在高温(地温)、高压(地静压力、气压、承气压)下,发生物理、化学、生物等作用,使古淋滤卤水发生正向变质,生成沉积古卤水,盐度增高。

(4)构造热液期:四川运动使盆缘褶皱成山,强烈的构造热使深埋封闭的沉积古卤水升温成热卤。热卤在热地球化学作用下,在华蓥山褶皱带的次级构造带中形成锶矿(SrSO₄)。

表3 五通桥、自贡黑卤与铜梁、合川淡化型黑卤对比表

样品	物理性质			阴离子(g/l)							阳离子(g/l)							构造类型	水动力环境
	色	透明度	臭	沉淀	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Br ⁻	I ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ba ²⁺	Li ⁺	Sr ²⁺			
黑五通桥	黑	浑浊	H ₂ S	黑	167.2	0.688	0.251	0.374	0.010	0.78	96.781	3.307	0.82	0	0.017	0.196			
	自贡	黑	浑浊	H ₂ S	178.64	1.712	0.731	0.595	0.016	3.192	109.208	2.753	0.985	0	0.08	0.107			
淡化黑卤	铜梁	灰黑	半透明	灰黑	0.0458	2.004	0.120	0.0008	0.0001	0.0149	0.02	0.698	0.16	0.00082		0.0814			
	合川	灰黑	半透明	灰黑	6.099	2.897	0.154	0.01883	0.00088	0.153	3.788	0.790	0.226	0.0007	0.002	0.1047			
正常海水					19.00	2.71	0.15	0.095	0.00006	0.39	10.50	0.40	1.35		0.00017	0.009			
样品	H ₂ S(g/l)	矿化度(g/l)	pH	水型	埋深(m)	出水温度	VNa VCl	Cl Br	Na Mg	Ca Mg	构造类型	水动力环境							
黑五通桥		260.55	7.2	Cl-Na·Ca	350~ 1186	73]	0.95	430	119	4.08	封闭	停滯							
自贡		303.76		Cl-Na·Ca		73]	0.95	300	115	2.94	封闭	停滯							
铜梁	0.0915	2.903	7.5	SO ₄ -Ca	170	73]	0.67	153	0.125	3.24	半封闭	缓慢							
合川	0.0471	13.742	7.3	Cl-Na	50	73]	0.98	234	16.81	3.36	半封闭	缓慢							
正常海水		35.0		Cl-Na			0.89	292	7.7	0.30									

注:正常海水引自《日本海水学杂志》21,(6)114,(1968)。

(5) 现代淋滤期：四川运动使华蓥山褶皱带形成，结束了盆地沉积的历史，并经历着侵蚀、剥蚀、风化淋滤等作用的改造，华蓥山断裂带又为淋滤水的下渗提供了良好的通道，加剧了对古卤水的冲淡、稀释，加剧了对锶矿的淋滤、破坏。

四川运动之后，华蓥山褶皱带处于间歇性上升阶段，断裂带破坏了古卤水封闭的构造环境，使热卤不能成矿，而被淋滤、稀释成淡化型黑卤。由于淡化型黑卤与锶矿有成生联系，可见研究它的水文地球化学特征和分布规律及锶矿的找矿标志具有重大的意义。

2)、淡化型黑卤的地球化学特征

本区淡化型黑卤中的Ca/Mg、Ca/Sr、Br/I系数及Sr的含量等有如下地球化学特征：

(1) 淡水及远离锶矿的淡化型黑卤，Ca/Mg系数变化很大（几至几百），无规律。而锶矿体周围的Ca/Mg系数仅为3至6，形成低值异常区的封闭曲线（图9）。在垂向上，随深度增大，Ca/Mg增值的变幅由小变大（图10）。

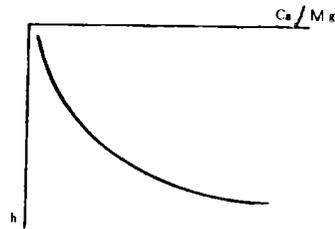
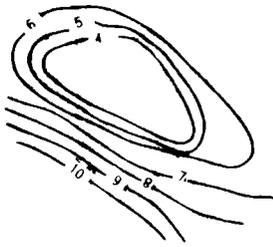


图9 淡化型黑卤中Ca/Mg系数低值异常曲线 图10 淡化型黑卤中Ca/Mg系数随深度变化曲线

(2) 淡水及远离锶矿体的淡化型黑卤，Ca/Sr系数大于10，锶矿体周围的Ca/Sr系数小于8，构成低值异常区的封闭曲线（图11）。在垂向上，随深度加大，Ca/Sr增值的变幅由大变小（图12）。

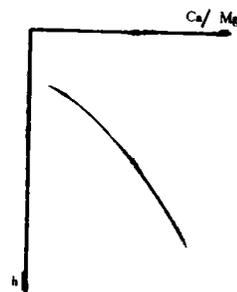
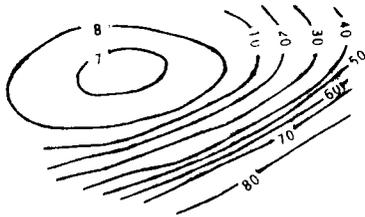


图11 淡化型黑卤中Ca/Sr系数低值异常曲线 图12 淡化型黑卤中Ca/Sr系数随深度变化曲线

(3) 淡化型黑卤均含锶，一般含量在3mg/l以上，最高达104.71mg/l，越远离锶矿体锶含量越低，离锶矿体越近锶含量越高，呈高值异常区的封闭曲线型（图13）。

(4)淡水的矿化度一般小于0.5g/l,淡化型黑卤的矿化度一般在1g/l以上。远离锶矿体的淡化型黑卤的矿化度变化大,而在锶矿体周围的矿化度变化不大,呈低值异常区的封闭曲线型(图14)。

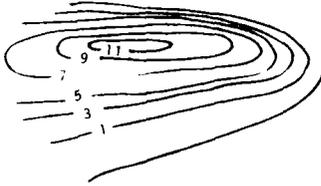


图13 淡化型黑卤中Sr离子高值异常曲线

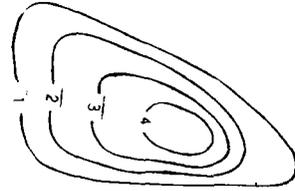


图14 淡化型黑卤中矿化度低值异常曲线

(5)Br/I有随地下深度增加而增加的趋势,一般在15以上。

总之,当华蓥山褶皱带的水动力缓慢带和停滞带中锶含量大于10mg/l、碘含量大于1mg/l、溴含量大于10mg/l的淡化型黑卤可以作为寻找锶矿的直接标志。淡化型黑卤中Ca/Sr系数、Ca/Mg系数和矿化度的低值异常区可以作为寻找锶矿的间接标志。

参 考 文 献

- [1] 罗祥康,左泽华 重庆及其邻近地区地下热水分布预测及储热构造类型划分,《四川地质》,水文地质及工程地质专辑
- [2] 罗祥康,梁湛 《华蓥山溪口岩溶槽谷地下水资源评价方法》,四川人民出版社
- [3] 朱学稳 《川东岩溶及岩溶水特征》,四川人民出版社
- [4] 汪蕴璞、王焕夫 《四川盆地西南地区三叠系卤水形成问题及勘查开发方向》,地质出版社
- [5] 成都地质学院水文工程地质系水文地球化学组 四川盆地五通桥地区深层高矿化水某些水文地球问题的研究,《水文地质工程地质》,1974年1期
- [6] 孙世雄,沈治安,贾疏源 合川锶矿形成的古水文地质研究,《成都地质学院学报》,第五期,1978年4月