

# 贵州温泉水质研究

毛健全

贵州工学院

## 一、前言

温泉是一种宝贵的自然资源，温泉的水质特征是确定温泉价值的重要标准，具有医疗及饮用价值的温泉被称为大地的乳汁，倍受人们的青睐。

贵州省矿泉资源极其丰富，其中医疗矿泉水有46处（氡泉4处、硫化氢泉3处、硅酸泉10处，硫酸盐泉11处、淡温泉17处、氯化物泉1处），饮用矿泉水已经正式鉴定的有5处（遵义枫香温泉、石阡温泉、金沙岩孔水口寺温泉、开阳马叉河温泉、石阡吴家湾温泉）。随着工作的深入必将还会确定一批新的饮用矿泉水。

对贵州温泉水化学特征的研究不仅对于保护评价矿泉水资源，而且对于研究低温热液成矿作用均有十分重要的意义。

## 二、控制贵州温泉形成分布的两大热储系统

贵州现代温泉有90处，其中天然温泉82处，钻孔温泉8处，温泉出露的层位严格受地质构造、岩性、层位的控制。

温泉的形成需要具备一定的地质条件，其中热贮层，隔热层、热水通道、热源是必不可少的基本条件。

从图1、图2可以看到贵州温泉有两个热储系统。

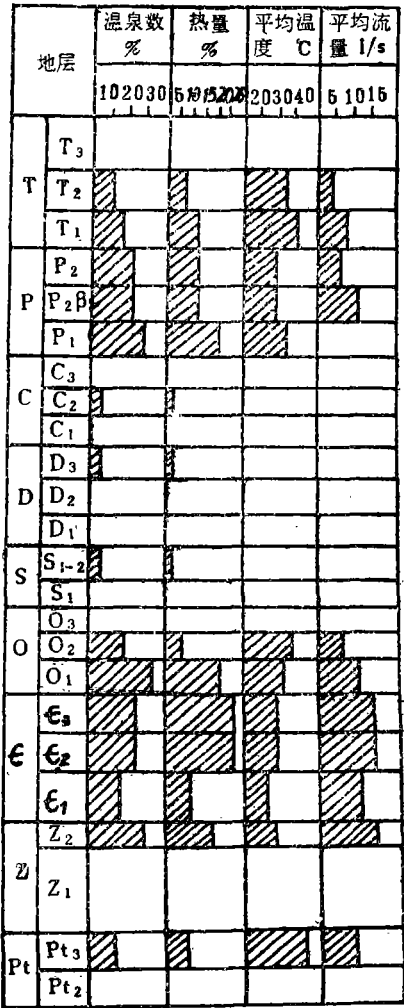


图1 贵州两大热储系统

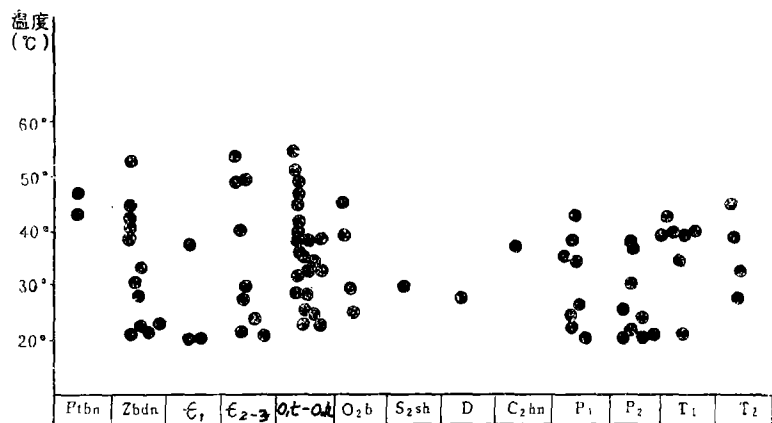


图2 贵州省温泉水温与出露地层关系图

**第一热储系统** 由震旦系上统白云岩、寒武系、奥陶系石灰岩、白云岩组成热储层，出露温泉54处，寒武系下统、奥陶系下统、志留系砂泥岩构成隔热保温层。全省60%的温泉、温泉总热量的65%受到这一热储系统的控制。

**第二热储系统** 由二迭系、三迭系碳酸盐岩，玄武岩组成热储层，出露温泉31处，二迭系上统砂页岩夹煤层、三迭系上统砂泥岩、侏罗系砂岩构成隔热保温层，全省38%的温泉、温泉总热量的25%受到这一热储系统的控制。

热储系统与构造类型的相互组合在贵州形成了三种热储类型。

**层控热储型** 由碳酸盐岩组成背斜构造，其上有不厚的隔热保温层，形成层控热储空间。温泉从背斜核部及旁侧的裂隙中出露，这类温泉占贵州温泉的73%。

**近闭式隙状热储型** 受断裂控制，断裂带上下两盘均为非碳酸盐岩，仅占贵州温泉的3%。

**开放式混合热储型** 断裂带上下盘或其中有一盘为碳酸盐岩，这类温泉占贵州温泉的24%。

### 三、贵州温泉是一个开放系统

1、根据对贵州部分温泉氢、氧稳定同位素的研究表明温泉水中氢氧同位素组成数据都落在克雷格降水线上(图3)，说明温泉是由大气降水补给的。

大气降水通过岩石的裂隙、孔隙渗入地下，经过深循环再返回地面形成温泉，温泉水地表补给区的高程，根据 $\delta^{18}\text{O}$ 的含量与海拔高程有关，计算出贵州部分温泉补给区的海拔高程，比温泉出露点高约600~800米(见表1)。

表1 贵州部分温泉补给高程

泉号	泉名	泉口高程	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	补给区高程	高差	资料来源
34	石阡城南温泉	460	-7.68	1280	840	
58	息烽温泉	700	-9.9	1500	800	卫克勤
37	石阡地下热水河	550	-7.03	1200	650	
35	石阡关鱼粮温泉	420	-9.0	1260	840	张士从
30	印江凯望温泉	475	-8.9	1230	755	张士从
27	印江甲山温泉	455	-8.7	1180	640	张士从
36	石阡施场温泉	540	-9.3	1320	770	
32	石阡溪沟温泉	480	-8.3	1110	630	

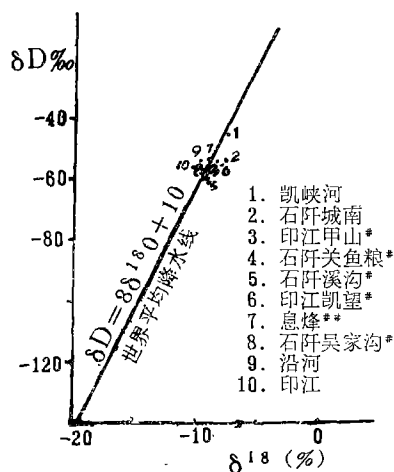


图3 贵州温泉的 $\delta^{18}\text{O}-\text{D}$ 图  
\* 据张世从 \*\* 据卫克勤

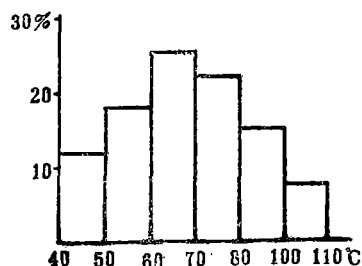


图4 贵州温泉热储层温度值方图

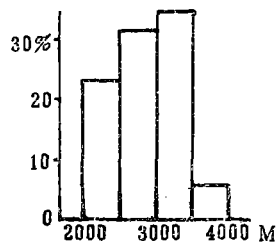


图5 贵州温泉水最大循环深度值方图

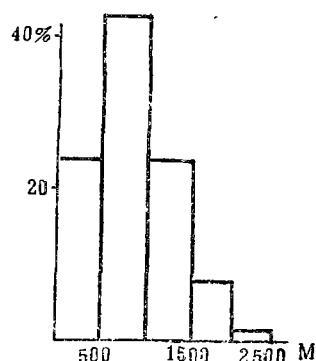


图6 贵州温泉热储层埋深

2、根据对贵州温泉中  $\text{SiO}_2$  含量,应用  $\text{SiO}_2$  地球化学温标法计算出热储层的温度(又称为基础温度)(图4),根据若干钻孔深温资料所求出的地温梯度推标出温泉水最大循环深度(图5)。图4表明,贵州热储层温度主要在60~80℃,最大循环深度从图5可以看出主要在2500~3500米之间。

根据温泉水温、气温及地温梯度还计算出热储层的埋藏深度介于400~2500米之间,主要在500~1000米之间(见图6)。

3、温泉水中放射性同位素氚(TU)的含量提供了温泉水循环时间的和浅部冷水(即新水)混入量的信息见表2。

表2 贵州部分温泉氚含量及冷水渗入比例及温泉水形成时间

温泉名称	氚含量(TU)	冷水渗入比(%)	形成时间(年)	温泉名称	氚含量(TU)	冷水渗入比(%)	形成时间(年)
石阡温泉*	<0.7	0	<30	石阡关鱼粮*	2.1±0.7	5%	>30
石阡施场*	<0.7		>30	六枝羊场	23.3	94.14	<30
石阡木瓜溪	21	68.97	<30	剑河柳川	3.1	7.24	<30
石阡凯峡河	6.5	25.00	>30	黄平浪洞	<1	0	>30
石阡杜家溪	4.4	11.72	<30	绥阳温泉	4.3	11.38	<30
织金杜家桥	1.6	<2.07	>30	务川官坝	2.1	3.4	>30
遵义枫香	7.7	23.1	<30	分川焦岩	6.1	17.59	<30
关岭洛安	1.8	<2.76	>30	仁怀团结	15.2	46.97	<30
兴义银矿山	11.5	36.21	<30	金沙岩孔水口寺	10.8	33.79	<30
兴义车榔	6.2	17.9	<30	息烽生活泉**	<2	3.4	>30
普安糯东	2.7	5.86	<30	息烽治疗泉**	3.77	9.55	<30
盘县乐民	13.3	42.41	<30	息烽游泳泉**	6.55	19.14	<30
印江凯望*	<0.7	0	>30	遵义芭蕉	8.0		
石阡吴家湾	<0.7	0	>30	印江中山*	<0.7		>30

\* 据张世从

\*\* 据卫克勤

依据温泉水的循环时间及循环深度,可以近似地计算出在没有新水混入的情况下热水纵向径流速度为10~20米/年,据N.Φ.沃洛特夫(1841年)实验的资料浅层地下水流速的最小值约为每年300米,张世从(1988年)用<sup>14</sup>C计算了石阡城南温泉地下热水沿断裂带水平方向(横向)径流速度约为5~15米/年。显然地下热水的径流速度不管是纵向上还是横向上都是很缓慢的,仅及浅层地下水流速的1/60~1/30。

4、与一般的泉水相比较,温泉的水温、流量、矿化度均较为稳定,但仍有一定的变化,这种变化包括洪枯季节变化和长期的波动变化。据对10个温泉温度、流量和矿化度的实测结果,其季节变化率在2%~15%,其平均变化率为6.3%,泉水中常量组分的变化率很小2.1%~7.3%,而微量组分的变化率却较高(图7和图8)。从图8可以看到,息烽温泉从1946年9月~1986年9月,40年间矿化度在280毫克/升到390

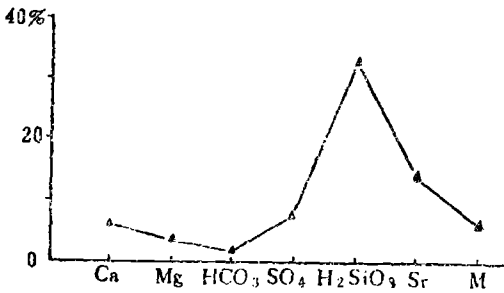


图7 印江凯里等10个温泉洪枯季节部分组分变化率

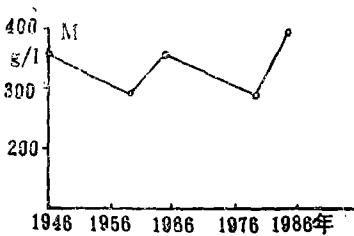


图8 息烽温泉从1946年~1986年40年间矿化度变化曲线

毫克/升, 之间作波动变化, 其最大变化率为25.8%。

从以上概略地分析可以看出, 贵州温泉的水化学特征是在一个开放体系中, 水溶液在深部的环境不断地与周围的岩石、矿物进行着物质、能量和信息的交换, 逐步形成了具有自身特点的水化学特征。

四、贵州温泉水化学基本特征

1、我们曾对贵州绝大多数温泉作过水质全分析和简分析, 对部分温泉作过专项分析, 对少数温泉有比较长时间的水质分析资料。

贵州温泉属于中低温(最高水温56℃)低矿化度的淡水, 81%的温泉矿化度小于1克/升(图9), 矿化度最高的沿河高大温

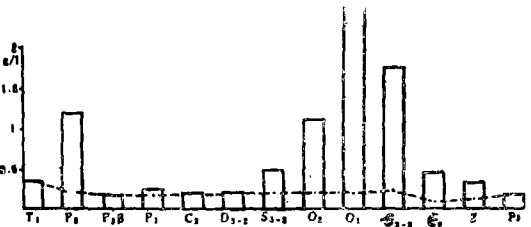


图9 出露在不同时代地层中的温泉的矿化度



图10 出露在不同时代地层中温泉的pH值

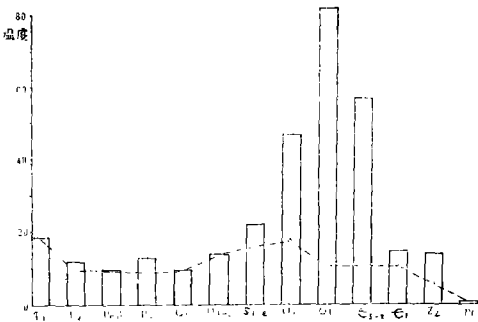


图11 出露在不同时代地层中温泉的硬度

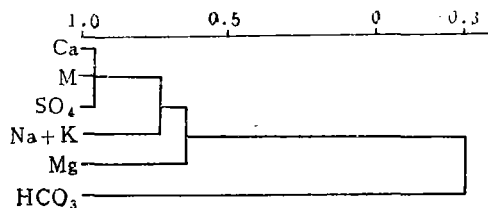


图12 贵州温泉矿化度(M)与常量组分之R型聚类相关谱系图

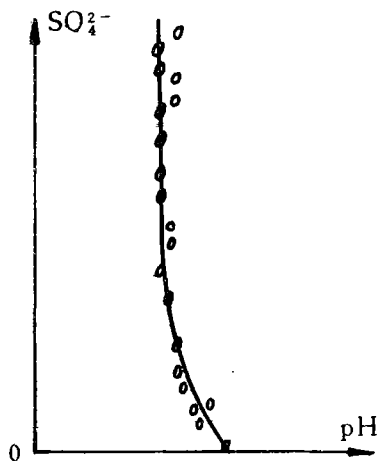


图13 温泉 pH 值与  $\text{SO}_4^{2-}$  含量间指数回归曲线

泉矿化度也只有2.43克/升。贵州温泉的pH值绝大多数为中性，72%的温泉pH值为7~7.5(图10)，pH值大于8.5的温泉仅一处，pH值为6的也只是一处。由于贵州温泉绝大多数出露在碳酸盐岩地区，硬度一般较高，微硬水，硬水的温泉占65.5%，极硬水的占22.4%(图11)。

贵州温泉的矿化度主要受  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  的影响，温泉水矿化度与  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  相关系数高达0.955(图12)。贵州温泉pH值主要与  $\text{SO}_4^{2-}$  含量有关， $\text{SO}_4^{2-}$  增高温泉水偏酸性， $\text{SO}_4^{2-}$  降低温泉水偏碱性，pH值与  $\text{SO}_4^{2-}$  的相关系数为0.7581(图13)。贵州温泉极硬水主要集中在黔北地区，出水层位为奥陶系下统、寒武系、震旦系上统膏盐层，在板溪群浅变质岩地区出露的温泉为极软水。

贵州温泉的水化学类型以  $\text{HCO}_3\text{—Ca}$  型、 $\text{HCO}_3\text{—Ca.Mg}$  型、 $\text{HCO}_3\text{.SO}_4\text{—Ca.Mg}$  型和  $\text{SO}_4\text{—Ca}$  型为主，有少数温泉为  $\text{HCO}_3\text{—Na}$  型，个别温泉为  $\text{Cl—Na}$  型，贵州不同地层中出露温泉的水质特征见表3。

表 3

贵州不同时代地层中出露温泉水质特征简表

地 层 时 代	岩 性 概 述	主要水质类型	矿化度 (g/l)	硬度 (德国度)	pH 值
三迭系下统 ( $T_1$ )	灰岩夹白云岩	$\text{HCO}_3\text{—Ca.Mg}$	0.17—0.35	6.70—17.92 (11.82)	7.2—7.4
二迭系上统 ( $P_2$ )	砂页岩夹煤层夹灰岩	$\text{SO}_4\text{.Cl—Ca.Mg}$ $\text{HCO}_3\text{—Ca.Mg}$	0.19—1.19	9.47—11.58	7.2
峨嵋山玄武岩	玄 武 岩	$\text{HCO}_3\text{—Ca}$	0.17	9.2	7.2
二迭系下统 ( $P_1$ )	石 灰 岩	$\text{HCO}_3\text{—Ca.Mg}$ $\text{HCO}_3\text{.SO}_4\text{—Ca.Mg}$	0.17—0.25	8.9—12.83 (11.11)	6.5—7.4
石炭系中统 ( $C_2$ )	白 云 岩	$\text{HCO}_3\text{—Ca}$	0.18	9.78	7.7
泥盆系中上统	白云岩夹砂岩	$\text{HCO}_3\text{—Ca.Mg}$	0.21	13.59	7.3
志留系中上统	泥岩夹砂岩夹灰岩	$\text{SO}_4\text{.HCO}_3\text{—Ca.Mg}$	0.48	21.62	7.3
奥陶系中上统	灰 岩	$\text{HCO}_3\text{—Ca.Mg}$ $\text{SO}_4\text{—Ca}$	0.24—1.10	17.3—46.6 (27.4)	7.1—7.45
奥陶系下统	白云岩、岩灰岩	$\text{HCO}_3\text{—Ca.Mg}$ $\text{SO}_4\text{—Ca}$	0.19—2.43	10.58—82.03 (29.81)	6.6—7.5
寒武系中上统	白 云 岩	$\text{SO}_4\text{—Ca}$ $\text{HCO}_3\text{—Ca.Mg}$	0.22—1.73	10.4—56.6 (30.25)	6.5—7.5
寒武系下统	砂页岩夹白云岩	$\text{HCO}_3\text{—Ca.Mg}$	0.09—0.44	10.8—14.53	6.8—7.4
震旦系上统	白 云 岩	$\text{SO}_4\text{.HCO}_3\text{—Ca.Mg}$	0.11—0.30	5.69—14	7—7.7
板 溪 群	变余砂岩、板岩	$\text{HCO}_3\text{—Na}$	0.22	0.34—0.86	7.8—9

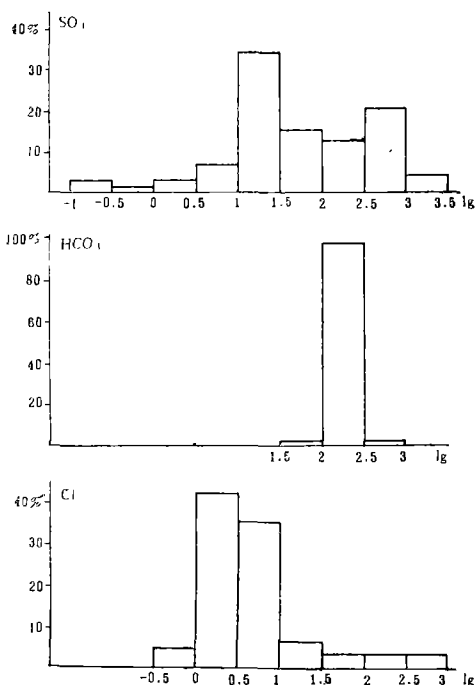


图14 贵州温泉主要阴离子含量对数值分布频率方图

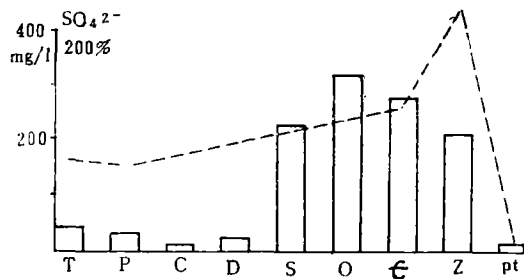


图15 出露在不同地层时代中温泉的 $\text{SO}_4^{2-}$ 含量及变化系数(虚线)值方图

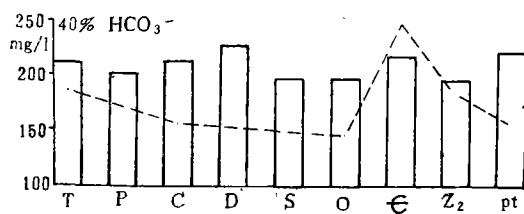


图16 出露在不同地层时代中温泉的 $\text{HCO}_3^-$ 含量及变化系数值

2、贵州温泉主要阴离子有 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ ，其含量顺序是 $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ ，图14是这些组分含量的对数值分布频率。

$\text{SO}_4^{2-}$ 是贵州温泉水中最主要的阴离子，其含量占贵州温泉主要阴离子总量的48.9%， $\text{SO}_4^{2-}$ 在温泉水中的含量变化极大，从0到1380毫克/升，全省温泉 $\text{SO}_4^{2-}$ 含量的平均值为222.2毫克/升，其变化系数为150%，出露在不同时代地层中温泉 $\text{SO}_4^{2-}$ 含量变化系数各不相同，其中寒武系、奥陶系地层中出露的温泉 $\text{SO}_4^{2-}$ 含量均超过全省的平均值(图15)。

$\text{HCO}_3^-$ 的含量仅次于 $\text{SO}_4^{2-}$ ，占贵州温泉主要阴离子总含量的44.9%， $\text{HCO}_3^-$ 含量变化较小，从88.6~416.7毫克/升，全省温泉 $\text{HCO}_3^-$ 平均含量为204毫克/升，其变化系数为26%属均匀变化，图16为在不同时代地层中出露的温泉 $\text{HCO}_3^-$ 含量及其变化系数，从图中可以看到地层，岩性对温泉的 $\text{HCO}_3^-$ 含量影响较小。

$\text{Cl}^-$ 仅占贵州温泉阴离子总量的6%，但其含量变化较大，从0.49~395.7毫克/升，其平均含量为27.6毫克/升，变化系数高达364.2%，为极不均匀变化。从图17中可以看到在寒武系、奥陶系地层中出露的温泉 $\text{Cl}^-$ 含量较高。

贵州温泉主要阴离子的迁移强度顺序是 $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ 。 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{Cl}^-$ 含量高的温泉多集中在寒武系、奥陶系地层

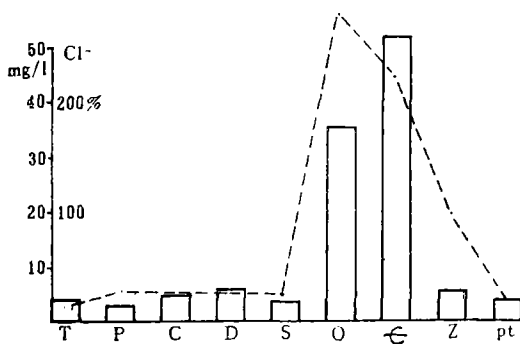


图17 出露在不同地质时代温泉的 $\text{Cl}^-$ 含量及变化系数

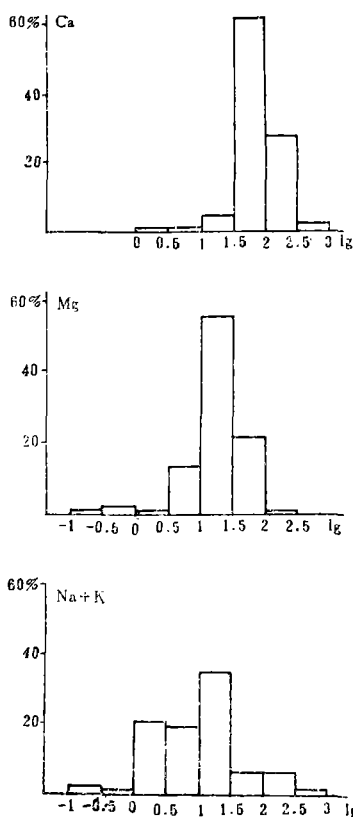


图18 贵州温泉主要阳离子含量对数值分布频率方图

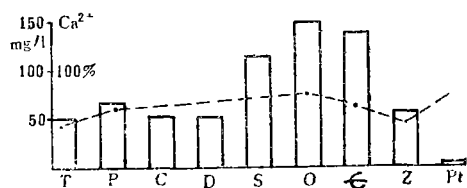


图19 出露在不同时代地层中温泉的  $\text{Ca}^{2+}$  含量及变化系数值方图

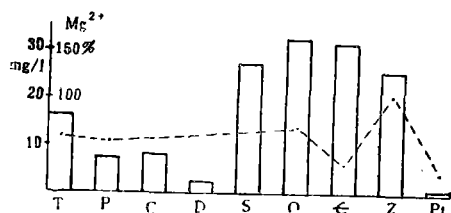


图20 出露在不同时代地层中温泉的  $\text{Mg}^{2+}$  含量及变化系数值方图

中，显然与石膏盐层有密切的关系。

3、贵州温泉主要阳离子  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ ，其含量顺序是  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ ，图 18 表示的是这四种组分含量分布的频率值方图。

$\text{Ca}^{2+}$  是贵州温泉中最主要的阳离子，含量占贵州温泉主要阳离子总量的 67%，含量从 1.64 到 447.8 毫克/升，其平均含量为 110.7 毫克/升，变化系数为 90%，属不均匀变化，出露在不同地层中的温泉  $\text{Ca}^{2+}$  的含量变化见图 18，从图中可以看到寒武系、奥陶系地层中的温泉  $\text{Ca}^{2+}$  含量超过全省平均值。

$\text{Mg}^{2+}$  含量占贵州温泉主要阳离子总含量的 15%，温泉中  $\text{Mg}^{2+}$  的平均含量为 25.3 毫克/升，其变化较大，从 0.25 毫克/升到 108.23 毫克/升，变化系数为 85%，属不均匀变化，出露不同地层中的温泉  $\text{Mg}^{2+}$  的含量变化见图 20。出露在石灰岩中的温泉  $\text{Mg}^{2+}$  含量普遍低于出露在白云岩中的温泉。

$\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  占贵州温泉阳离子总含量的 19.5%，其变化从 0 ~ 360 毫克/升，平均含量为 30 毫克/升，变化系数高达 210%，属极不均一变化，从图 21 中可以看到出露在板溪群中的温泉  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  含量最高。

全省温泉  $\text{Na}/\text{K}$  平均比值为 4.74。

贵州温泉主要阳离子的稳定性是受离子的化学活动性及在水中的迁移强度所确定的，贵州温泉主要阳离子的迁移强度顺序是  $\text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ 。

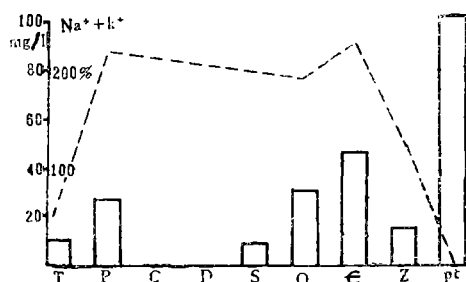


图21 出露在不同地质时代地层中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  含量及变化系数值

## 五、贵州温泉某些特殊组分的分布特征

1、 $F^-$  是温泉水中普遍存在的一种阴离子，地下热水中  $F/Cl$  比要比海水、油田水或同生泉水的  $F/Cl$  比值高 1~2 个数量级。因此，在地热研究中常把  $F$  作为判断热水形成机制以及热水活动范围的一种标志离子。图22为贵州温泉中  $F^-$  含量对数值分布频率，温泉中  $F$  大体呈正态分布， $F$  的含量从 0 到 5.6 毫克/升，最高频率段在 0.3 到 1 毫克/升。

出露在寒武系地层中的温泉  $F$  含量最高为 2.88 毫克/升，出露在二迭系地层中的温泉  $F$  含量最低为 0.6 毫克/升（图23）。

2、 $Sr$  是贵州温泉中普遍存在的一种金属离子，在检测的44个水样中， $Sr$  的平均含量 3.3 毫克/升，从 0.2~20.9 毫克/升，从  $Sr$  含量分布值方图看，56.8% 的温泉  $Sr$  含量在 1~5 毫克/升范围内（图24）。从温泉出露地层时代看，出露在寒武系，奥陶系地层中的温泉  $Sr$  含量最高，分别为 6.52 毫克/升和 3.25 毫克/升（图25）。

3、 $Ba$  在贵州温泉中的含量仅为  $Sr$  含量的 1/7，据从检测的14个温泉看均值为 0.466 毫克/升，温泉中  $Ba$  含量从 0.04~0.9 毫克/升，出露在奥陶系中的温泉  $Ba$  含量为 0.644 毫克/升，在震旦系地层中出露的温泉  $Ba$  含量仅 0.04 毫克/升。

4、 $H_2SiO_3$  是评价温泉水质的重要指

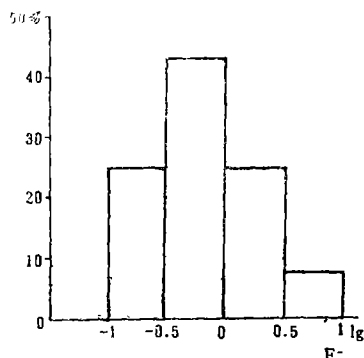


图22 贵州温泉  $F^-$  含量对数值分布频率值方图

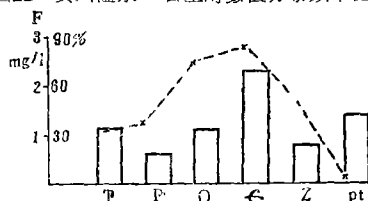


图23 贵州不同时代地层中温泉  $F^-$  含量及变化系数值

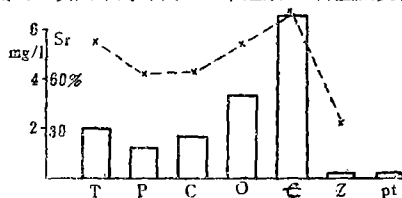


图25 不同时代地层中温泉  $Sr$  含量及变化数值

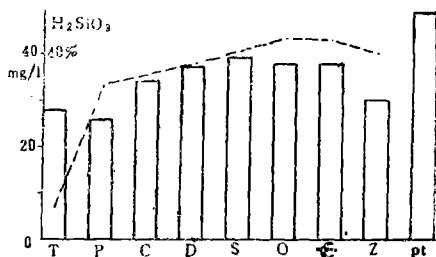


图27 不同时代地层中温泉  $H_2SiO_3$  含量及变化系数值方图

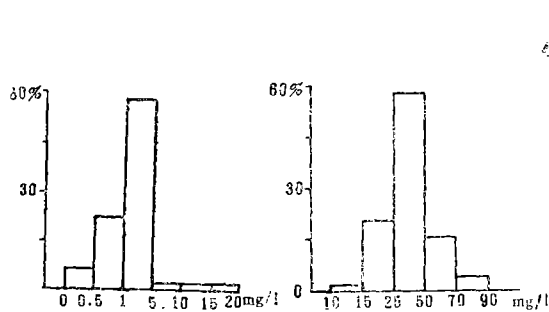


图24 贵州温泉  $Sr$  含量值方图

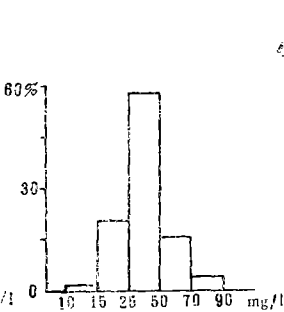


图26 贵州温泉  $H_2SiO_3$  含量值方图

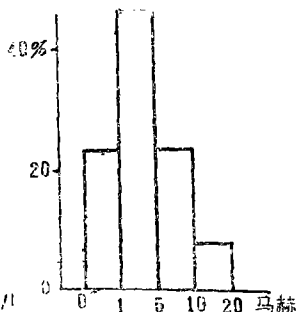


图28 贵州温泉  $Rn$  含量分布值方图

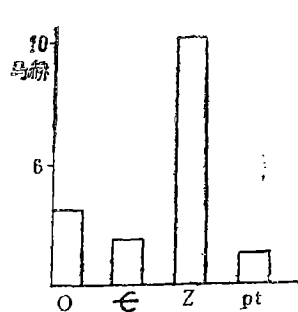


图29 出露在 O—Pt 地层中温泉的  $Rn$  含量值方图



标, 当偏硅酸含量超过 50 毫/克升就可以命名为偏硅酸泉, 在已检测的64个温泉中偏硅酸平均含量为34.5毫克/升, 其变化从 12 ~ 76.7 毫 克/升, 大于 50 毫克/升的有 9 个温 泉, 含量在 25 ~ 50毫克/升的占58%(图26)。出露在不同地层中的温泉  $H_2SiO_3$  含量变化不大(图27)。

5、贵州温泉中的放射性组分有U、Th、 $^{226}Ra$ 、 $^{40}K$ 、Rn。息烽温泉水中Rn含量高达11.14马赫, 水气中Rn含量高达 32.73 马赫, 在已检测的13个温泉中Rn含量从 0.27 马赫到11.14马赫, 平均含量为 4.14 马赫, 图28为Rn 分布值方图, 图 29 为出露在不同

地层中Rn的含量。  
据13处温泉26个样品分析的结果(陈志岳1988)  $U$   $0.2 \sim 17.1 Bq/m^3$  均值为  $6.1 \pm 0.91 Bq/m^3$ ;  $Th$   $0.2 \sim 4.8 Bq/m^3$  均值为  $1.4 \pm 0.24 Bq/m^3$ ;  $^{226}Ra$   $3.4 \sim 626.4 Bq/m^3$  均值为  $183.2 \pm 30.32 Bq/m^3$ ;  $^{40}K$   $14.1 \sim 871.7 Bq/m^3$  均值为  $145.6 \pm 41.64 Bq/m^3$ 。

6、温泉中的Hg含量据10个温泉测试资料看,Hg含量从0.00007~0.001毫克/升,均值为  $3.47 \times 10^{-4}$  毫克/升,然而在温泉沉积物中 Hg 含量都较高,据王华云资料,在石阡城南等三温泉的沉积物中, Hg 平均含量为 1.89毫克/升。

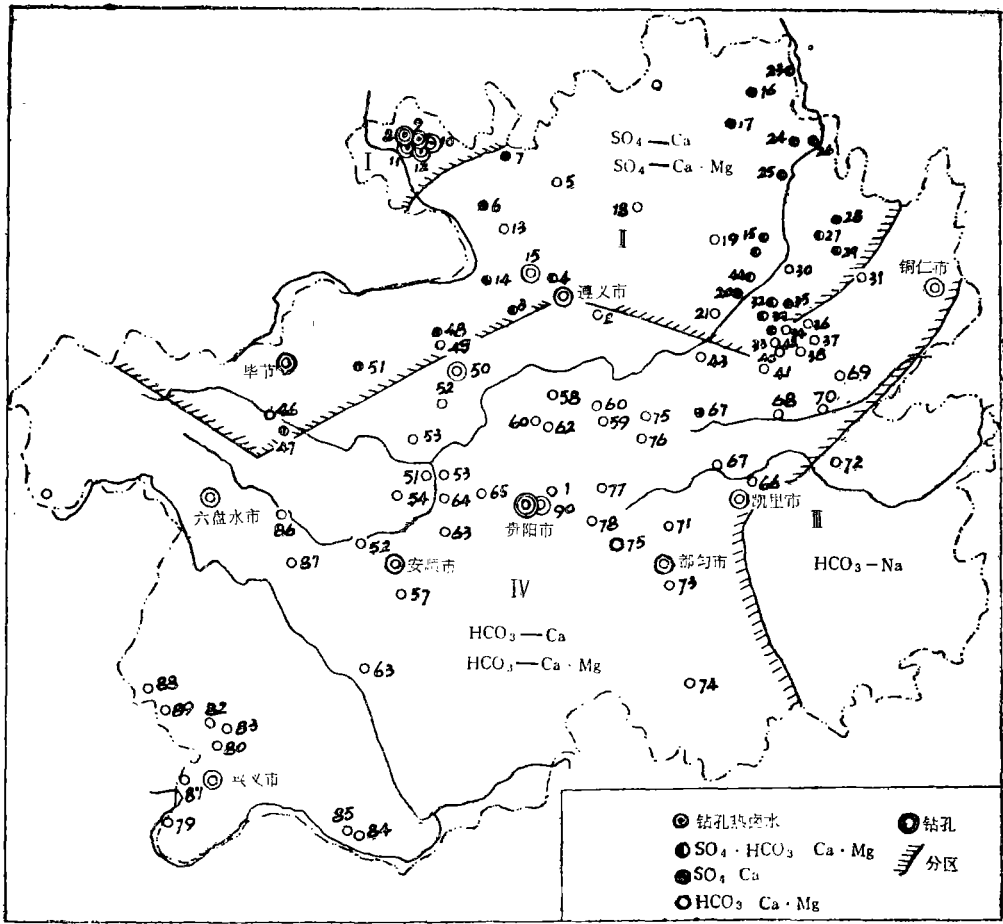


图30 贵州温泉水化学类型分区图

## 六、贵州温泉水化学分区

1、地下热水是深循环的地下水，它是由大气降水沿着岩石的裂隙、孔隙、构造断裂带渗入到地下相当深处，经溶滤作用、浓缩作用、阳离子交替作用、脱碳酸作用及生物化学作用，在地质、水文、物理化学等因素的影响下形成地下热水特有的水化学特征。

2、不同的大地构造单元决定了贵州温泉的水化学分区，岩石的矿物成分及化学成分对贵州温泉的水质特征有重要的影响，赤水地区为封闭构造的高矿化度热卤水；黔北为 $\text{SO}_4\text{—Ca·Mg}$ 型水与寒武系广泛存在的膏盐层有密切的关系； $\text{HCO}_3\text{—Na}$ 型水则与广泛分布在黔东南地区的元古代浅变质板岩、变余砂岩有着密切的关系；贵州大面积分布的碳酸盐岩以及晚近期大量的开启示、半开启示断裂的存在，使黔中、黔南和黔西南的水质类型为低矿化度的 $\text{HCO}_3\text{—Ca·Mg}$ 型水（图30）。随着深度的增加，水动力作用逐步减弱，从地表到深处矿化度随之增加，水化学类型由 $\text{HCO}_3\text{—Ca·Mg}$ 型逐渐成为 $\text{HCO}_3\text{·SO}_4\text{—Ca·Mg}$ 型，进而变成 $\text{SO}_4\text{—Ca·Mg}$ 型、 $\text{SO}_4\text{—Ca}$ 型水。

3、温度对元素的活化迁移有很大的影响，一方面影响元素和化合物的溶解、活化、迁移；另一方面对化学反应的速度和方向产生影响。

硅按其分布在地表中是第二多的元素，但由于硅酸盐溶解度很低，所以 $\text{SiO}$ 在地下水中含量通常是0.1毫克/升左右，很少达到每升数毫克的，但在温泉中 $\text{SiO}_2$ 的含量则

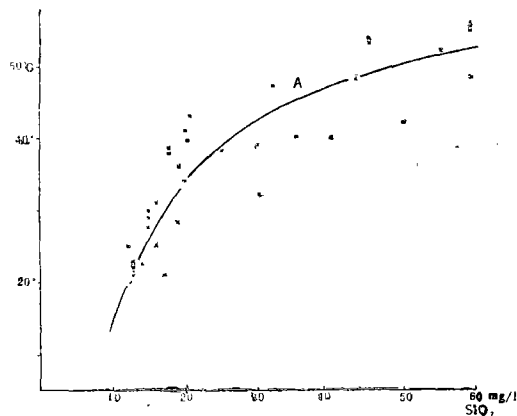


图31 贵州温泉 $\text{SiO}$ 与水温相关曲线图

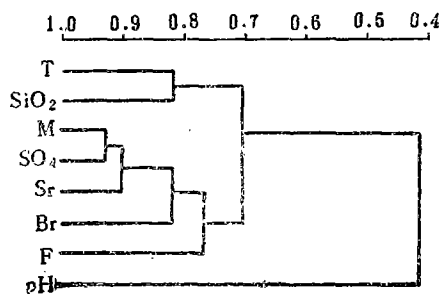


图32 贵州泉水温与 $\text{SiO}_2$ 等R型聚类相关谱系图

较高， $\text{SiO}_2$ 的溶解度与温度为线性关系，贵州温泉 $\text{SiO}_2$ 含量与水温的相关系数为0.8659（图31）。水温与矿化度之间的相关系数为0.704，致使 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Br}$ 等组分与温度均有明显的相关关系（图32）。

4、压水对水溶解度的影响比温度小，但从目前研究深部的水质形成来看，压力这个因素不可忽视，在500个大气压下，石灰岩的溶解度是一个大气压下溶解度的1.7倍，压力的增大使水的pH值向酸性过渡，深循环的地下热水，在上升过程中由于压力降低气体逸出，使溶液中某些物质从溶液中沉淀，据研究石阡城南等温泉沉积物的Hg含量较泉水中的Hg含量高数百倍。

充填在深部岩石孔隙和裂隙中的地下水，它所受到的压力实际上是由静岩压力和流体压力这两部分组成的，静岩压力是由上覆岩层的厚度和密度所决定的，流体的压力则是由流体的高度、密度和温度所决定的，贵州地下热水的循环深度可达2500~3500米，所受到的压力可达600~800大气压，此时压力对水溶解度的影响必须考虑。

5、浅部地下水的浅入也是影响贵州温泉水质的一个重要因素，从温泉中氡含量计算出的浅部冷水混入量看（见表2），27个温泉中有16个温泉不同程度地混入了浅部新水，混入量最多的占泉水流量的68%，这种强烈的稀释淡化作用不仅降低了水温，降低矿化度还会使水质类型变为 $\text{HCO}_3\text{—Ca·Mg}$ 型。

## 七、对比

1、把贵州温泉与贵州浅层地下水的水  
（下转2页）

政处罚制度及其执法机构的不完善,缺乏必要的监督机制有着密切关系。我国的环保法规虽然规定了有关行政处罚的内容,但大多数都没有对污染环境的行政处罚原则、生效要件、行政违法的构成、处罚的程序、执法机关等作出明确、具体规定,而且对造成环境污染的行政处罚权的规定很不统一。有的由执行监督机关行使,如违反森林法的行政处罚权,按森林法规定,由林业监督管理机关行使;有的除执行监督机构外,其它特定的机构也可行使行政处罚权。如我国环保法规规定,处罚权的行使,除了对本辖区的环保工作实施统一监督管理的各级环保部门外,还包括依照有关法律规定对资源的保护实施监督管理的县级以上政府的土地、矿产、林业、农业、水利等主管部门;有的则是职能机构不行使处罚权,而由其他机构行使。如文物保护法的执行机构是文化行政管理部门和文物管理机构。而行政处罚权由公安部门和工商行政管理部门行使。这种罚出多门,职责含混的状况,势必造成环保执法上的混乱和空缺。据此应当制定一部统一的环保行政处罚法,对造成环境污染的行政处罚权的机构作出统一规定,对污染环境的行政处罚权只能由执行监督的专门机构统一行使。各级

(上接25页)

化学特征作一对比不难看出:

(1) 浅层地下水水化学类型以 $\text{HCO}_3-\text{Ca}$ 型和 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型为主,很少出现 $\text{SO}_4-\text{Ca}$ 型水,而黔北温泉绝大多数为 $\text{SO}_4-\text{Ca}$ 型和 $\text{SO}_4-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型水,说明黔北寒武系、奥陶系膏盐层对温泉的水化学特征有着十分深刻的影响。

(2) 浅层地下水的矿化度很低,一般没有超过1克/升的,温泉的矿化度高于浅层地下水矿化度1~2倍,超过1克/升的温泉有7处。

(3) 温泉中的常量组分 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 含量均明显高于浅层地下水。

(4) 温泉水中的 $\text{Si}$ 、 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ 、 $\text{F}$ 、 $\text{Sr}$ 、

环保监督机构应配备与任务相适应的具有法律知识和专业知识的专职执法人员。与此同时,要加强监察机关对环保行政执法的监督以及环保执法机关自身的监督,以维护政纪和环保执法的严肃性。

### 三、大力提高环保执法人员的素质健全对执法渎职制裁的机制

法律的社会效应是在被执行和遵守中体现出来的,而执行者的素质如何,则关系到法律实施之成效。培根说过:“一次不公正的判决,其恶果甚至超过十次犯罪。因为犯罪冒犯法律——好比污染了水流,而不公正的审判则毁坏了法律——好比污染了水源。”目前,在我国一些边远地区环保执法者的错位,执法渎职现象令人担忧。要解决执法效果不佳的问题,必须首先解决环保执法人员严格执法、守法,然后才可能解决人们的守法问题。这就需要将公开考试、择优录用等竞争机制引入环保队伍建设中,并相应改善环保执法人员的待遇。同时,对环保执法渎职者要从严惩治,健全对执法渎职制裁的机制,明确环保执法人员执法渎职失职应承担的法律责任。

$\text{Br}$ 、 $\text{Ba}$ 、 $\text{I}$ 、 $\text{Li}$ 等的含量明显高于浅层地下水。

(5) 温泉水中的放射性元素 $\text{U}$ 、 $\text{Ra}$ 、 $\text{Rn}$ 、 $^{40}\text{K}$ 等明显高于浅层地下水。

(6) 从水化学类型分区看,除黔东南地区浅层地下水为 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 型外,全省浅层地下水的水化学类型几乎为 $\text{HCO}_3-\text{Ca}$ 型或 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型。温泉的水化学类型可以明显地划分为四个不同的分区。

2、对贵州温泉的出露层位,热储层的埋藏深度、热储类型、同位素组成、水化学特征、温泉分布规律等诸方面的深入研究不难发现,与某些低温矿产的成矿地质条件有十分类似的特点。