

# 杭州市西湖流域的环境水文 地球化学特征及其成因研究

吴敦敖 翁焕新

## 提 要

本文首次对杭州市西湖流域的环境水文地球化学特征及其成因进行了研究。通过对水化学和岩石化学分析资料的数据处理,结合本区地质环境的物理化学条件,认为本流域的环境水文地球化学特征主要是受原生地球化学环境支配的。

## 前 言

杭州位于京杭大运河的南端,钱塘江下游北岸,是闻名中外的风景旅游城市,也是我国环境保护的重点城市之一。因此保护好西湖流域地表水和地下水的水质,防止其污染具有十分重要的意义。本流域位于杭州市区西南,面积 27.25 平方公里(包括西湖)。本文着重研究西湖流域的环境水文地球化学特征,并探讨其成因。

## 一、西湖流域的自然地理、地质和水文地质条件

本流域的地势西高东低,山脉走向大致为北东向,与区域构造线方向基本一致,为低山丘陵地形。按其岩性和剥蚀程度大致可分为三个地形单元:①本流域山区的外圈为由岩性坚硬不易风化的石英砂岩组成的高大峰丛;②内圈主要由岩溶裂隙发育的灰岩构成的山峦;③由火山喷出岩构成的低矮的山岭,如葛岭、孤山。

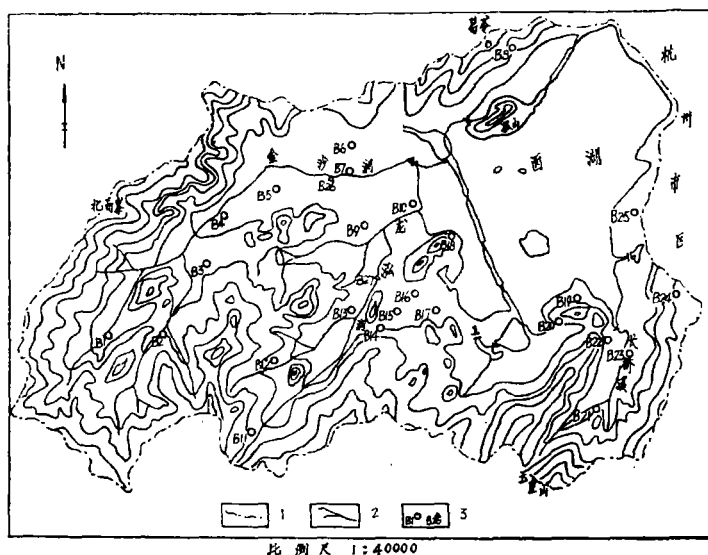
杭州市区属亚热带季风型气候,温暖湿润,雨量充沛,四季分明。多年年平均气温为 16.2℃,多年年平均降水量为 1398.9 毫米,多年年平均蒸发量为 1309.6 毫米。

本区主要溪流有金沙涧(全长 6 公里)、龙泓涧和长桥溪,均自西南向东北注入西湖(图 1)。各条溪流的汇水面积不大,溪短流量小。西湖水面积为 5.6 平方公里,平均水深 1.5 米。

本流域出露的地层和岩性,自老至新有:泥盆系(D)陆相碎屑沉积中至厚层的石英砂岩夹细砂岩、粉砂岩及泥岩等。石炭系下统珠藏坞组(C<sub>12</sub>)陆相碎屑沉积的紫红色砂岩与

注:参加野外调查工作的还有潘津生、卞良樵和王猛。

本文于 1984 年 3 月 2 日收稿



1—流域界线； 2—溪流； 3—地下水和地表水采样点及编号

图1 西湖流域范围和水样点分布

页岩和叶家塘组( $C_{1y}$ )滨海、泻湖相沉积的碎屑石英砂岩、砂质泥岩、炭质页岩等。石炭系中统黄龙组( $C_2h$ )和上统船山组( $C_3c$ )碳酸盐建造,岩性以厚层至块状的石灰岩为主。二迭系栖霞组( $P_{1q}$ )和茅口组灰岩段( $P_{1m}^1$ )浅海相碳酸盐沉积,岩性以中至厚层含燧石生物碎屑灰岩为主,中夹泥灰岩、硅质岩。茅口组丁家山段( $P_{1m}^2$ )的浅海相碎屑岩,岩性主要为页岩、粉砂岩、砂质泥岩夹泥灰岩。侏罗系上统( $J_3$ )的喷出岩,岩性主要为熔接凝灰岩、凝灰岩和角砾岩等。第四系( $Q$ )的残坡积层和河流相、河湖相、泻湖相的松散沉积物。

本流域在地质构造上位于西湖复向斜内,该复向斜枢纽向 $NE$ 方向倾没于西湖和杭州市区之下,倾伏角一般为 $20^\circ \sim 30^\circ$ 。本流域不但褶皱构造发育,而且断裂构造也发育,主要受 $NE$ 向华夏系构造控制。 $NE$ 向压性断裂是西湖复向斜的主干断裂构造,规模大、延伸远、宽度大,一般呈 $NE45^\circ$ 方向展布,倾角 $70^\circ$ 左右,倾向不尽相同。新华夏系 $NNE$ 向的压性断裂和 $NW$ 向张性断裂在本区也较发育。这些都为本区的碳酸盐岩岩溶裂隙的发育创造了有利条件,同时也使本区碎屑沉积岩和火山喷出岩的裂隙得以发育。以上地质条件决定了本区地下水类型以碳酸盐岩层中的岩溶裂隙水为主,次为碎屑沉积岩层和火山喷出岩的构造裂隙水,以及第四纪沉积物的孔隙水。由于杭州市区降水量丰富,因而地下水埋深较浅,一般不超过10米。地下水的主要补给来源为大气降水(图2)。

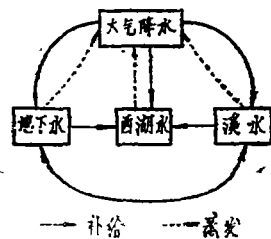


图2 西湖流域的水循环

## 二、西湖流域的环境水文地球化学特征

我们在流域内共采了27个水样(地下水样25个,溪水样2个)进行全分析和有毒有害的重金属元素分析(图1)。从水质分析结果来看,本流域的环境水文地球化学特征,明显地与上述的自然地理、地质和水文地质条件有关,现从以下几个方面进行研究和探讨。

### (一) 西湖流域地下水中各主要阴阳离子在不同岩类含水层中的分布及其水化学特征

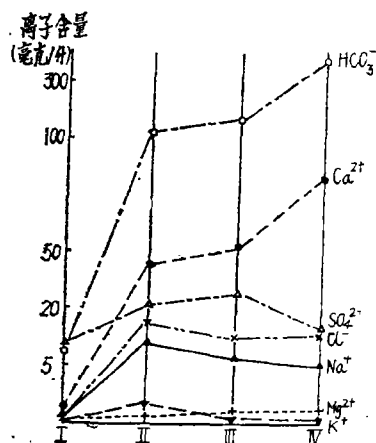
我们在本流域采地下水样时,考虑到本流域存在的不同岩类含水层的代表性,地下水样分别采自碎屑岩类含水层、第四纪松散岩类含水层、火山岩类含水层和碳酸盐类含水层。从水质分析结果表明,本区地下水中阳离子以 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Na^{+}$ 、 $K^{+}$ 的含量较高,平均值为92.66~3.40毫克/升;阴离子以 $HCO_3^{-}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^{-}$ 的含量较高,平均值达278.33~17.45毫克/升。上述主要阴阳离子在本区不同的含水层中的含量变化较大(图3)。地下水化学类型,按C.A.舒卡列夫的分类,碎屑岩类含水层属 $HCO_3-SO_4-Ca$ 型水或 $HCO_3-SO_4-Ca-Mg$ 型水。第四系含水层以 $HCO_3-Ca$ 型水为主。火山岩类含水层属 $HCO_3-Ca$ 型水或 $HCO_3-SO_4-Ca$ 型水。碳酸盐类含水层属 $HCO_3-Ca$ 型水。

地下水中的其它阳离子 $Fe^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$ 、 $Al^{3+}$ 、 $NH_4^{+}$ 等,除个别水样外,大多数水样中均未检出。其它阴离子,如 $NO_3^{-}$ 大部分样品有检出,但未超标。 $NO_2^{-}$ 也有少量样品检出,但含量极微。

地下水中分析过的有毒有害重金属元素有铜、铅、锌、镉、汞、铬、砷等,除汞外,检出率一般在50%以上,但除个别水样个别元素外均未超标。

### (二) 西湖流域地表水的化学成分与地下水化学成分间的关系

本流域溪水的化学成分与世界河水的常见成分<sup>[1]</sup>基本相同(表1)。从表1可知,世界上河水的主要成分按其丰度排列的顺序是: $HCO_3^{-}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^{-}$ 、 $Na^{+}$ 、 $Mg^{2+}$ 和 $K^{+}$ 。本流域溪水的主要成分以金沙涧为例,按其丰度排列也是上列顺序。本流域溪水中各种重金属元素在枯水期普遍有检出,但含量均未超标。



I—碎屑岩类含水层; II—第四系含水层; III—火山岩类含水层; IV—碳酸盐类含水层。

图3 地下水中各主要阴阳离子在不同岩类含水层中的分布

表 1 金沙涧溪水与世界河水常见成分对比表

	阳 离 子 毫克/升					阴 离 子 毫克/升			
	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	$K^+$	总 计	$HCO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$	总 计
世界河水	15.0	4.1	6.3	2.3	27.7	58.4	11.2	7.8	77.4
金沙涧溪水	34.1	2.1	7.8	1.6	53.9	87.9	14.4	9.6	111.9

西湖水的主要化学成分, 阳离子以 $Ca^{2+}$ 为主, 其次为 $Na^+$ ; 阴离子以 $HCO_3^-$ 为主, 其次为 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$ <sup>[2]</sup>。它与我国南方的淡水湖泊的主要化学成分一致(以武汉南湖为例<sup>[3]</sup>) (表 2)

表 2 西湖水与武汉南湖水主要化学成分对比表

	阳 离 子 毫克/升					阴 离 子 毫克/升			
	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	$K^+$	总 计	$HCO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$	总 计
武汉南湖水	18.9	1.83	17.9	/	38.63	70.7	15.8	13.7	100.2
西湖湖中心水	36.5	2.80	7.4	2.6	49.30	66.0	20.0	9.3	95.5

根据杭州市环保所和市监测站等单位的资料, 西湖水中各种重金属元素均未检出。

本流域地下水与地表水的主要化学成分, 按其丰度阳离子一般均为 $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$ ; 阴离子一般均为 $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ 。从矿化度来看, 地下水的矿化度大于溪水, 而溪水的矿化度又大于西湖水(表 3)。从水化学类型看, 地下水的化学类型以 $HCO_3-Ca$ 型水为主, 地表水的化学类型为 $HCO_3-Ca$ 型水。以上情况说明, 地下水与地表水的化学成分之间有着一定的联系, 其主导因素是岩性(详见后面)。由于本区为低山丘陵地形, 河谷的中、上游一般地表水排泄地下水, 围岩被地下水溶滤的一部分化学组分被溪水带走, 其中部分进入西湖。因此地下水和溪水以及西湖水之间的化学成分有着一定的联系。至于地下水的矿化度大于地表水的矿化度, 主要是由于本区降水量丰富, 大气降水稀释了地表水的缘故。而西湖水的矿化度又低于溪水的矿化度, 主要是由于西湖水体面积大所造成。

表 3 西湖流域地下水、溪水和西湖水的主要化学成分(平均值)

	阳 离 子 毫克/升				阴 离 子 毫克/升			矿化度 克/升
	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	$K^+$	$HCO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$	
地下水	71.39	2.88	7.52	1.67	214.26	15.48	10.35	0.347
溪水	50.1	1.65	6.55	1.60	138.55	16.20	7.45	0.242
西湖水	30.5	2.85	6.45	1.88	77.40	18.50	11.92	0.156

### (三) 西湖流域地下水中主要阳离子与岩土中相应元素含量之间的关系

为了探讨本流域地下水化学特征的成因,我们还对本区各含水层的原岩采样作了化学分析(表4)。通过对地下水中 $Ca^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ 与原岩中 $CaO$ 和 $MgO$ 含量的相关分析,表明它们之间有很好的相关性(图4, 5)。 $Ca^{2+}$ — $CaO$ 和 $Mg^{2+}$ — $MgO$ 之间的相关系数分别为 $r = 0.897$ 和 $r = 0.90$ 。这说明本区地下水中的 $Ca^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ 的含量以及地下水的化学类型与含水层的岩性有密切的联系。

表4 西湖流域各含水层的原岩的化学成分

编号	岩性	TFe%	SiO <sub>2</sub> %	CaO%	MgO%	Mg%	F%
1	熔接凝灰岩	2.49	69.65	1.22	0.25	0.025	0.086
2	石英砂岩	2.48	91.59	0.19	0.18	0.010	0.003
3	栖霞灰岩	0.12		54.56	0.48	0.015	0.009
4	船山灰岩	0.03		54.47	0.24	0.010	0.006
5	黄龙灰岩	0.03		55.96	0.07	0.010	0.004

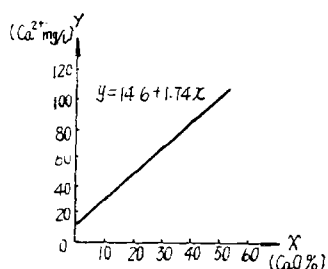


图4 地下水中 $Ca^{2+}$ 与原岩中  
 $CaO$ 百分含量的关系

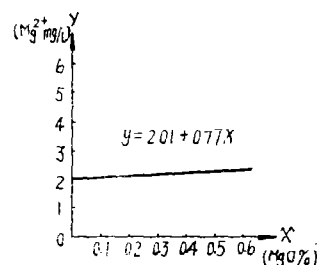
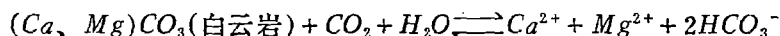
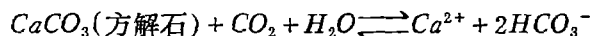
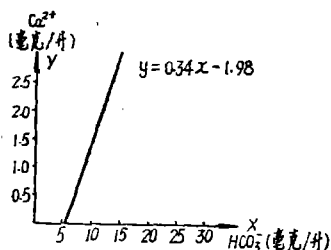
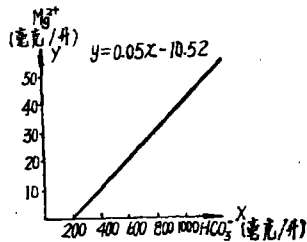


图5 地下水中 $Mg^{2+}$ 与原岩中  
 $MgO$ 百分含量的关系

为了进一步研究本流域地下水中 $Ca^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ 含量与原岩中何种具体矿物有关,我们在考虑地下水中主要阴离子 $HCO_3^-$ 含量的同时,结合本区广泛分布的碳酸盐岩层的地质条件,提出地下水中的 $Ca^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ 与原岩中的碳酸钙镁矿物之间存在下列平衡:



同时,我们分别对 $Ca^{2+}$ 和 $HCO_3^-$ ,  $Mg^{2+}$ 和 $HCO_3^-$ 之间的关系作了回归分析(图6、7)。结果表明: $Ca^{2+}$ — $HCO_3^-$ 之间的相关系数 $r = 0.8690$ ,相关性显著; $Mg^{2+}$ — $HCO_3^-$ 之间的相关系数 $r = 0.55$ ,相关性较前者差。上述相关性的差异说明了本区地下水中 $Ca^{2+}$ 主要来自原岩中方解石矿物的溶解,而 $Mg^{2+}$ 除了来自原岩中的白云石的溶解外,还有其它的来源。通过对地下水中所有检出元素含量的R型聚类分析,得到地下水中各离子的R型聚类

图6 地下水中 $\text{Ca}^{2+}$ — $\text{HCO}_3^-$ 含量关系图7 地下水中 $\text{Mg}^{2+}$ — $\text{HCO}_3^-$ 含量关系

分析谱系图(图8)。从谱系图中可以看出,本区地下水所含的离子可以聚集于三类。第一类为 $\text{Na}$ 、 $\text{Cl}$ 、 $\text{K}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{SO}_4$ ,它们主要来源于原岩中的氯化物和硫化物。在平原低地地区, $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 含量较高,还可能受第四纪上更新世和全新世两次海侵影响。第二类为 $\text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3$ 、 $\text{Pb}$ 、 $\text{Cd}$ 、 $\text{Zn}$ ,它们主要来自碳酸盐类。第三类为 $\text{Fe}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Mg}$ ,这些离子的相关性较前者差,这是因为其中一些离子在地下水中的含量较低,另外说明某些离子有多种来源,如在地下水中检出的汞主要为有机汞,因此,水中汞的含量与人类活动有关。

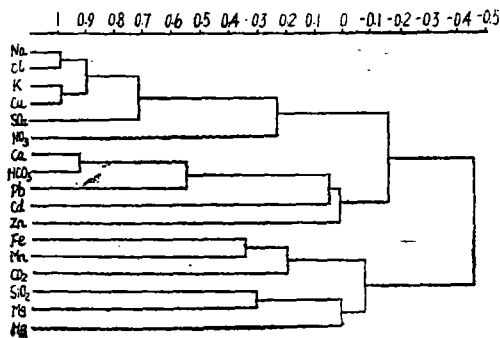


图8 西湖流域地下水中各离子的R型聚类分析谱系图

成土母岩的矿物组成和化学组成可以影响土壤中化学作用的进程和土壤化学成分的形成<sup>[4]</sup>,成土母岩使土壤富集一定的化学元素。西湖流域的原岩(母岩)以沉积石英砂岩、石灰岩和火山喷出的熔接凝灰岩等为主,土壤也以这些原岩风化的红壤和红色土为主。在母岩风化的土壤中含有微量的重金属元素。根据浙江农业大学等单位的测定,流域内以石灰岩风化的红壤中重金属微量元素含量最高,如 $\text{Cu}$ : 39.1PPm;  $\text{Zn}$ : 110.6PPm;  $\text{Pb}$ : 32.5PPm;  $\text{Hg}$ : 2.24PPm;  $\text{Cr}$ : 183.4PPm;  $\text{As}$ : 47.68PPm。只有 $\text{Cd}$ 例外, $\text{Cd}$ 以凝灰岩风化的红壤最高,达2.96PPm。重金属元素含量一般以砂岩风化的红壤最低,如 $\text{Cu}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Pb}$ 、 $\text{Cd}$ 、 $\text{Hg}$ 、 $\text{As}$ 的含量分别为5.5, 17.5, 13.1, 0.03, 0.22, 5.1PPm。只有 $\text{Cr}$ 例外, $\text{Cr}$ 以凝灰岩风化的红壤最低(13.2PPm)。我们认为地下水中的微量重金属元素主要与原岩及原岩风化的土壤中含这些重金属元素有关。

#### (四) 西湖流域地下水中主要阴阳离子分布与矿化度的关系

本流域地下水的矿化度较低,其变化范围在0.038~0.647克/升之间,均小于1克/升,属淡水。造成本区地下水矿化度较低的主要原因:(1)本区广泛分布的是碳酸盐岩、陆源碎屑岩和火山喷出岩,含可溶盐分少。而矿化度的大小,在很大程度上取决于硫酸盐和氯化物的含量,这两种化合物的溶解度大,水的矿化度就高。在本区各类含水层的地下水化学类型,主要为重碳酸盐型,而硫酸盐、氯化物含量较低(图9、10)。(2)由于本区岩层的断裂和裂隙发育,加上亚热带多雨湿润的气候条件,这不但使得岩层透水性良好,而且地下水迳流条件也好,这便造成地下水中那些溶解度较大的氯化物、硫酸盐类大量地淋失,结果使得地下水的矿化度进一步降低,因而地下水中溶解度较小的碳酸盐类化合物的含量相对增加,如图9、10所示。图9、10还把西湖流域地下水中主要阴阳离子含量和矿化

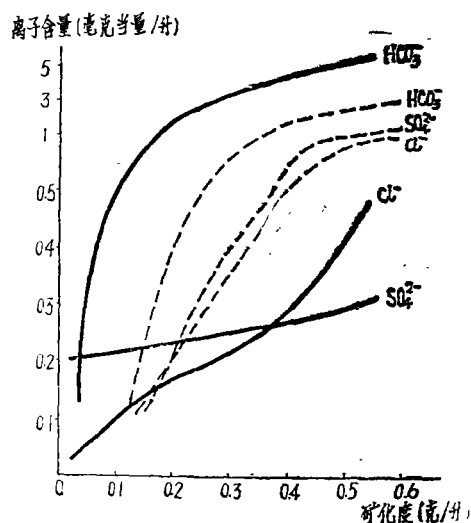


图9 地下水中主要阴离子含量与矿化度的关系

(图9、10中实线表示西湖流域主要阴阳离子含量;虚线表示比契叶娃经过大批水样统计的阴阳离子含量。)

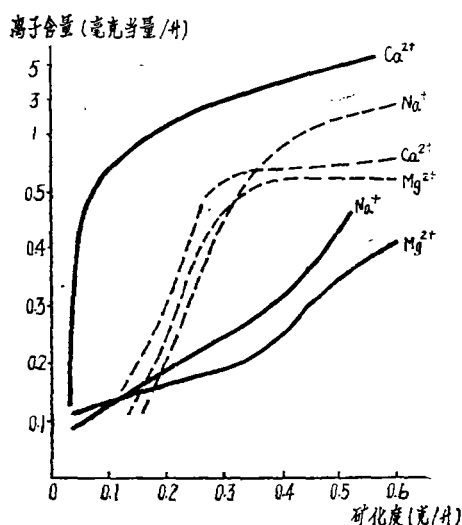


图10 地下水中主要阳离子含量与矿化度的关系

度的关系,与由K.E.比契叶娃加工整理的陆源碎屑岩类含水层和碳酸盐类含水层中的地下水的大批水质分析资料统计结果相比较<sup>[9]</sup>:本流域地下水中 $Ca^{2+}$ 、 $HCO_3^-$ 含量高于K.E.比契叶娃经过大量统计的数值,而 $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 均低于她经过大量统计的数值。

#### (五) 酸碱度与西湖流域地下水中元素含量的关系

PH值是影响元素迁移和沉淀的重要因素之一,它对地下水的化学特征影响很大。本流域各种天然物质的PH值范围在由Bass—Becking等经过大量统计得出的各种天然物质的PH值范围内<sup>[11]</sup>(表6)。从表6可见,本流域地下水的PH值范围为5.9~7.4,土壤的PH值范围为5.5~7.0,两者相近,说明本区地下水的PH值与围岩的岩性,以及与不同种类岩石风化的土壤有一定的联系。如泥盆系砂岩风化的土壤PH值为5.5左右,而泥盆系砂

表 6

天 然 物 质	Bass—Becking 等提出的各种天然物质的PH值范围	西湖流域各种天然物质的PH值范围
雨水	4~8	4.92~6.56
溪的河水和湖水	4~10	
金沙涧溪水		6.8
龙泓涧溪水		7.2
长桥溪溪水		7.6
西湖水		8.5~9.5
土壤	2.8~10	
泥盆系砂岩风化的土壤		5.5±
第四系松散沉积物		5.5~7.0
凝灰岩风化的土壤		5.5~6.0±
碳酸盐岩石风化的土壤		6.0~7.0
地下水	5~9	
泥盆系砂岩含水层中的地下水		5.9±
第四系沉积物含水层中的地下水		6.4~7.0
凝灰岩含水层中的地下水		6.6~7.4
碳酸盐类含水层中的地下水		7.0~7.4

岩含水层中的地下水PH值为5.9左右,两者十分相近即为一例。另外由于本区各类含水层中的地下水PH值均小于8,因此铜、铅、锌、镉等重金属离子虽然浓度很低,但也能随水迁移。

从表6还可看出,本流域地表水的PH值也与原岩的岩性,以及与原岩风化的不同种类的土壤有一定的关系。本区金沙涧溪流上游经过碎屑岩类地区,溪水的PH值较低,而龙泓涧和长桥溪溪水经过大片碳酸盐类岩层分布的地区或该类岩石风化的土层地区,PH值较高。至于西湖水的PH值高,它与世界上的许多湖泊一样,除与岩性有关外(流域内分布着大片碳酸盐类岩层),主要与西湖出现大量的浮游藻类有关,即PH值主要受生物学的过程所控制,这个过程是通过光合作用减少二氧化碳的含量从而增加PH值<sup>[1]</sup>。

从雨水来说,如雨水中的PH值主要是受大气中的二氧化碳的平衡所控制,则大气中的二氧化碳溶解于水中,进行下述反应:



平衡关系是这样的,即来自这个来源的氢离子给雨水一个大约5.60 PH值。杭州市区大气降水的PH值平均为5.16,低于5.60\*,说明杭州市区的降水在逐渐变酸<sup>[6]</sup>。

\* 欧洲酸雨的PH值平均为5.60



另外,对于天然水,最重要的离子就是 $\text{CO}_3^{2-}$ 和 $\text{HCO}_3^-$ 。地下水中游离的碳酸和 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 是PH的调节剂,而本区地下水中 $\text{HCO}_3^-$ 的百分率分布平均为78%,各种类型地下水的PH值平均为6.6,与作图结果基本吻合(图11)。

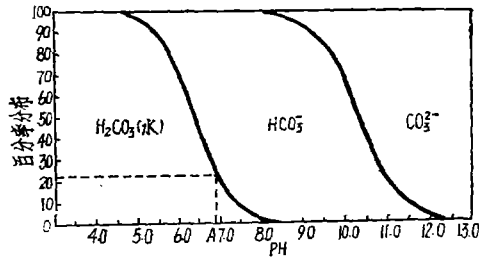


图11 溶液中各类碳酸盐的百分率与PH值的关系  
(图中A点示根据本区地下水中 $\text{HCO}_3^-$ 百分率求出的PH值)

PH值对不同组分的溶解度会产生不同的影响, $\text{Fe}^{3+}$ 只能在 $\text{PH} = 2 \sim 3$ 的溶液中存在, $\text{Al}^{3+}$ 只能在 $\text{PH} < 4$ 或 $\text{PH} > 10$ 的溶液里存在,而 $\text{SiO}_2$ 组分在碱性溶液中才能稳定,由于本区地下水的PH值均不属以上的PH值范围,所以上述组分在本区地下水中的含量偏低,这是地球化学环境的必然结果。

#### (六) 元素的化学性质与其在地下水含量的关系

元素从结晶物质进入水体中的难易程度,决定于元素本身的化学性质。其中离子电位和“水迁移系数”都反映了元素的物理化学性质与其在水体中的分布的关系。

离子电位值决定着元素从风化岩中析出,以及它们在水中存在的性能。地下水中K、Na、Ca的离子电位( $\pi = Z/r$ , Z—原子价, r—离子半径)分别为0.71, 1.0, 1.9,属于B.M. 戈尔德施密特根据离子电位分类的第一组元素<sup>[7]</sup>,它们易于从岩石中析出,搬运,便停留在水中不易受PH值的影响。水迁移系数( $K_X$ )反映元素的迁移强度,其值愈大,说明元素从风化壳中被带出的能力愈强。Mg、Na、Ca属于易迁移元素,水迁移系数分别为0.3, 2.5, 3,  $K_X(\text{Ca}) > K_X(\text{Na}) > K_X(\text{Mg})$ 。而 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 属于惰性(略移动元素),水迁移系数分别为0.04和0.02,  $K_X(\text{Fe}_2\text{O}_3) > K_X(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 。水迁移系数的这些顺序与这些元素在本区地下水中的含量情况正好一致。

### 三、结 论

1. 据前述,含水岩石是本区地下水化学成分的主要来源,无论是常量组分还是微量元素成分均是如此。地下水的化学成分与围岩组分之间有着很高的相关性,如前所述, $\text{Ca}^{2+}$ — $\text{CaO}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ — $\text{MgO}$ 的相关系数值分别为 $r = 0.897$ 和 $r = 0.90$ ,证明碳酸盐岩石的被水溶滤。地下水中 $\text{SiO}_2$ 含量一般可达10~22毫克/升,说明本区硅酸盐岩石的被水溶滤。地下水与含水岩石的联系还反映在阳离子上,如同是重碳酸盐水,在石灰岩地下水中 $\text{Ca}^{2+}$ 是主要成分,而在石英岩地下水中 $\text{Na}^+$ 含量相对较碳酸盐岩层地下水中的 $\text{Na}^+$ 高。

从水文地球化学观点看,大气降水也是地下水化学成分的物质来源之一。虽然大气降水带入地下水的物质在数量上并不显著,但由于降水中或多或少含有这种或那种物质,因而也必然影响地下水化学成分。据水质分析资料,西湖流域地下水主要化学成分和杭州市区降水主要化学成分基本一致(阳离子均以 $Ca^{2+}$ 最多,阴离子均以 $HCO_3^-$ 最多),说明两者之间存在着一定的联系。

大气降水补给地下水物质的同时,还供给各种气体,特别是氧和二氧化碳气体在形成地下水化学成分方面特别是对阴离子起着重要的作用。二氧化碳气体在水解硅酸盐类岩石时参与形成 $HCO_3^-$ ,以及参与碳酸盐类岩石的碳酸溶滤作用。

此外,西湖流域地下水化学成分还可能与其它来源,如前所述,在本区平原低地地区, $Cl^-$ 、 $Na^+$ 含量较高,可能与第四纪时期两次海侵等有关等。

2. 影响本区地下水化学成分形成的主要因素有气候、地质、地形和水动力因素等。

(1) 气候因素:以降水量影响最为显著。本区的地下水化学类型以 $HCO_3-Ca$ 型水为主,以及矿化度较低等,均与本区降水量丰富有关。

(2) 地质因素:由于西湖流域含水层以碳酸盐岩层为主,以及由于本区褶皱和断裂构造发育,从而使本区岩溶裂隙发育,有利于降水的渗透,有利于地下迳流,有利于溶滤作用的进行,使本区地下水形成了以 $HCO_3-Ca$ 型水为主的淡水。

(3) 地形和水动力因素:本流域为低山丘陵地形,地形的起伏,水文网的切割,使本区地下水的迳流排浅条件良好,水交替较强烈,因而地下水的矿化度较低。沿地下水迳流方向上,矿化度一般有逐渐增高的趋势。

3. 根据以上分析,即根据本流域地下水化学成分的组成,地下水中离子本身的理化性质,矿化度, $PH$ 值和有毒有害物质含量等,以及结合本区的自然地理、地质和水文地质条件分析,我们认为西湖流域的环境水文地球化学特征主要是受原生地球化学环境支配的,而受人为因素影响较小。其中游览水体西湖,从前述的水质分析资料来看,由于有关部门近年来采取了环湖截污、驳砌湖坎、疏浚湖泥、补充水源、改造游船、控制养殖和搬迁污染工厂等一系列防治措施,水质已有明显改善。

## 参 考 文 献

- [1] A.H.Brownlow: Geochemistry, 1979, pp131~185.
- [2] 毛发新:杭州西湖水质的初步研究,杭大庆祝建国三十周年科学报告会论文集(地理系分册),1979.
- [3] 沈昭理主编:水文地球化学基础(送审试用本),武汉地质学院,1983.
- [4] A.A.别乌斯等:环境地球化学,朱颜明等译,科学出版社,1982.
- [5] K.E.比契叶娃等:水文地球化学,彭立红译,地质出版社,1981.
- [6] 王伟平:杭州市区降水酸度的初步分析,环境污染与防治,1983,(2).
- [7] 相成田主编:专门水文地质学,地质出版社,1981.

Research of Environmental Hydrogeochemical  
Characteristic and Cause in the West  
Lake Valley of Hangzhou City

Wu Tunao    Weng Huanxin

**ABSTRACT**

The environmental hydrogeochemical characteristic and its causes in the West Lake Valley of Hangzhou City are studied in this paper. By processing the analysed data of water-chemistry and rock-chemistry, combined with the physical and chemical conditions of geological environment in this area, we find the environmental hydrogeochemical characteristic in the West Lake Valley is mainly controlled by natural geochemical environment.