

中国湖泊矿化度的空间分布*

潘红玺 王苏民

(中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放实验室 南京 210008)

提要 1993 年以来,对东部平原、云贵高原、蒙新高原等地区主要湖泊采取水样,进行了湖水矿化度分析,分析方法为容量分析法和火焰分光光度法。结果表明,中国湖泊矿化度的空间分布特点,大致依纬度及高度可分为青藏高原高矿化湖区、内陆高矿化湖区、东部低矿化湖区。从东向西存在矿化度逐渐增大的趋势,这种明显的区域分异既与自然环境的特点密切相关,又反映出湖泊本身的区域特色。

关键词 中国湖泊,矿化度,空间分布,分异

中图分类号 P342

我国是一个多湖泊的国家。据统计,全国现有面积 $> 1\text{km}^2$ 以上的湖泊 2759 个,总面积为 91019.63km^2 ,其中面积 $> 10\text{km}^2$ 以上的湖泊 656 个; $10-1\text{km}^2$ 的湖泊 2103 个。湖泊系非地带性的产物,但是一旦成湖之后其环境的特征和演变过程深受所在地各种自然要素的影响和制约,表现出一定地带性的区域特性。湖水的矿化度是湖水化学的重要属性之一,它直接反映湖水的化学类型和盐度,还间接表明受湖泊水量平衡控制的盐类物质积蓄和稀释,涉及到湖泊的物理、化学和生物过程。本文以作者近年来对全国不同地区主要湖泊的水质调查,并参考 50—80 年代水质资料,就我国湖水矿化度空间分布特点与规律作一综合分析。

1 湖泊概况

我国湖泊虽然很多,但分布不均匀,大约 99.8% 的湖泊面积分布在东部平原、青藏高原、蒙新地区、东北平原山区和云贵高原五大湖区。其它地区的湖泊不多,分布也星散,面积仅占 0.2%。在五大湖区中,又以东部平原和青藏高原地区的湖泊为最多,占全国湖泊面积的 74%,形成我国东西相对的两大大稠密湖群。

东部平原湖区湖泊总面积为 21171.6km^2 ,约占全国湖泊总面积的 23.3%,是我国湖泊分布密度最大地区之一。该地区湖泊的主要特点,大多与新构造断陷或与河床演变有关,为构造湖或河成湖;黄淮海平原及大运河沿线也分布着众多的湖泊,大多是河流演变过程的产物。该地区湖泊湖盆浅平,降水丰沛,属吞吐性的淡水湖。

青藏高原湖区湖泊的总面积为 44993.3km^2 ,约占全国湖泊总面积的 49.5%,是地球上海拔最高、数量最多和面积最大的高原内陆湖区,也是我国湖泊分布密度最大的两大稠

* 中国科学院湖沼专项资助项目, ZKHZ-3-07 号。潘红玺,男,出生于 1950 年 8 月,高级工程师, E-mail: kaifang@public1.ptt.js.cn

密湖区之一,以咸水湖和盐湖(矿化度 $< 1\text{g/L}$ 为淡水湖,矿化度在 $1-35\text{g/L}$ 之间为咸水湖,矿化度 $> 35\text{g/L}$ 称为盐湖)为主(中国科学院地理研究所,1990),深度一般较大。该地区湖泊大多发育在一些和山脉平行的、大小不等的山间盆地或纵向谷地之中,一些大、中型湖泊系构造断裂基础上发育形成的,湖泊往往沿构造方向呈带状排列,只有一些中、小型的湖泊分布在山岭峡谷区,属冰川湖或堰塞湖类型。

蒙新湖区湖泊总面积为 19700.3km^2 ,约占全国湖泊总面积的 21.5% 。该地区湖泊多发育在河流和潜水易于汇集的洼地中,成为众多的内陆湖泊。有的湖泊由于地表径流补给不丰,蒸发量大于补给量,湖水不断浓缩发育成闭流型的咸水湖或盐湖;有的湖泊水量补给呈现波动式的变化,湖面时升时降,湖形多变。发育在沙漠地区的风成湖,具有面积小、湖水浅、补给水量少、湖水易于蒸发浓缩、便于盐分积累的特点。

东北平原与山地湖区的湖泊总面积为 3955.3km^2 ,约占全国湖泊总面积的 4.4% 。该区山地湖泊,是受火山活动的影响而形成的火山熔岩堰塞湖和火山口湖;而在东北平原中部沉降地区,河流造成了宽广的冲积平原,分布有大片沼泽湿地,其中镶嵌着一些大小不等的“泡子”,有些湖泊通常不与河流发生联系,形成“咸泡子”。此外,嫩江中游河漫滩宽广,曲流发育,也发育了一些时令湖泊。

云贵高原湖区湖泊总面积为 1199.4km^2 ,约占全国湖泊总面积的 1.3% 。区内湖泊多沿褶皱断裂构造方向排列,湖泊长轴与深大断裂走向基本一致,多为构造湖。此外,碳酸盐类岩层的溶蚀,对湖盆的形成发育也起着辅助的作用。该地区海拔较高,湖泊面积小、湖水较深,大多分布在金沙江、南盘江和澜沧江水系的分水地带,入湖支流众多,不少湖泊只有一条小型出流,其特征既区别于东部平原海拔较低的浅水湖群,又与我国干旱地区的咸水湖有所不同。

2 矿化度的空间分布

2.1 矿化度的环境意义与总体特征

前已述及湖水的矿化度是表示湖水化学性质的综合指标,直接指示了湖水的盐度,一般来说它取决于湖泊地区的有效湿度,即降水量减去蒸发量($P-E$),有效湿度增加,湖水淡化,矿化度降低,反之亦然。由此可见,就一个湖泊而言,湖水的矿化度随着干季与湿季的交替存在波动,而且湖内不同部位受到出入流状况的影响,表现出不均一性。另外,由于风浪的搅动作用和人类活动影响的强弱,不同湖泊矿化度的分布具有不同的特点。本文撇开湖内矿化度的时空分布,而把矿化度作为湖泊对自然环境的响应指标,在宏观上探讨我国湖泊矿化度空间分布的特点、规律和原因。

根据 673 个湖泊矿化度的资料分析结果表明,我国湖泊矿化度分布从东向西明显增高,大致以 1g/L 矿化度为界,分为东、西两部分,东部湖泊矿化度全部 $< 1\text{g/L}$,属淡水湖;西部湖泊的矿化度均超过 1g/L ,甚至 $> 35\text{g/L}$,属微咸水湖、咸水湖和盐湖。进一步分析湖泊矿化度的这种分布绝非偶然, 1g/L 矿化度的分界线与我国内流区和外流区的界线大致相当,即:冈底斯山—念青唐古拉山—巴颜喀拉山—岷山—祁连山—贺兰山—阴山山脉—大兴安岭西麓;在气候图上大致与 300mm 年降水量的界线相当(中央气象局,1978)。该界线以东的湖泊均为出流湖,加上季风降水丰沛,盐类在湖内积聚较慢,多表现为低矿化度的淡水;以西的湖泊多为内陆封闭湖,降水较少,蒸发量大,使得盐类在湖中快速积

累,使湖水不断咸化,甚至演化为盐湖或干盐湖。表 1 列出的 71 个湖泊的矿化度大多数为近年来的检测结果。

表 1 我国不同湖区主要湖泊的矿化度

Tab. 1 The mineralized degree of some major lakes in different regions

湖区	湖名	所在地	面积 (km ²)	最大水深 (m)	平均水深 (m)	矿化度 (g/L)	水型	采样时间
东部平原	太湖	江苏省	2425	3.3	2.12	0.172	C- Ca- II	1987—1988 年
湖区	洪泽湖	江苏省	1577	4.37	1.77	0.210	C- Ca- I	1989 年
	阳澄湖	江苏省	119.04	9.5	1.4	0.423	C- NA- I	1994 年 5 月
	固城湖	江苏省	24.5	4.4	1.56	0.110	C- Ca- II	1991 年
	宜兴三九	江苏省	23.2	5.8	1.85	0.162	C- Ca- II	1986 年 9 月
	淀山湖	上海市	63.7	4.36	2.5	0.269	C- Ca- II	1988 年
	南四湖	山东省	1097.6	2.76	1.46	0.505	C- Mg- II	1996 年 8 月
	天池	甘肃省	0.88	82.1	29.3	0.280	C- Ca- I	1994 年 11 月
	鄱阳湖	江西省	3283	25.1	8.4	0.047	C- Ca- I	1988 年
	蚌湖	江西省	89.7	5.5	4.65	0.076	C- Ca- I	1997 年 6 月
	洞庭湖	湖南省	2432.5	23.5	6.39	0.176	C- Ca- I	1997 年 9 月
	梁子湖	湖北省	304.3	6.2	4.16	0.104	C- Ca- I	1982 年
	洪湖	湖北省	344.4	2.2	1.91	0.172	C- Ca- II	1985 年
	巢湖	安徽省	769.55	3.76	2.69	0.166	C- Ca- II	1988 年
	黄大湖	安徽省	299.2	5.3	3.94	0.080	C- Ca- II	1993 年 8 月
	城西湖	安徽省	199	3.9	2.7	0.138	C- Ca- I	1994 年 7 月
	菜子湖	安徽省	172.1	8.28	1.67	0.082	C- Ca- II	1993 年 8 月
	泊湖	安徽省	180.2	6.86	4.41	0.113	C- Ca- II	1993 年 8 月
	瓦埠湖	安徽省	163	4.15	2.42	0.126	C- Ca- II	1994 年 7 月
	城东湖	安徽省	120		1.5	0.130	C- Ca- I	1994 年 7 月
	女山湖	安徽省	104	3.5	1.71	0.230	C- Ca- II	1994 年 4 月
武昌湖	安徽省	100.5	4.31	3.43	0.074	C- Ca- II	1993 年 8 月	
香涧湖	安徽省	45		0.93	0.244	C- Ca- I	1994 年 7 月	
沱湖	安徽省	40	2	1.2	0.322	C- Ca- I	1994 年 7 月	
白荡湖	安徽省	39.67	4.5	3.06	0.081	C- Ca- II	1993 年 8 月	
安丰塘	安徽省	36.42	3.6	2.67	0.065	C- Ca- I	1994 年 7 月	
花园湖	安徽省	34		1.35	0.136	C- NA- III	1994 年 7 月	
沂湖	安徽省	18		1.7	0.209	C- NA- III	1994 年 7 月	
云贵高原	滇池	云南省	297.9	5.87	2.93	0.362	C- Ca- II	1993 年 10 月
湖区	洱海	云南省	249	20.7	10.17	0.236	C- Ca- II	1996—1997 年
	抚仙湖	云南省	211	155	89.6	0.238	C- Mg- I	1980 年
	程海	云南省	77.22	35.1	25.7	1.042	C- NA- I	1993 年 10 月
	泸沽湖	云南省	48.45	93.5	40.3	0.188	C- Ca- I	1981 年 6 月
	杞麓湖	云南省	36.86	6.8	4.03	0.391	C- Mg- II	1993 年 10 月
	星云湖	云南省	34.71	11	5.3	0.332	C- Mg- II	1993 年 10 月

续表 1

湖区	湖名	所在地	面积 (km ²)	最大水深 (m)	平均水深 (m)	矿化度 (g/L)	水 型	采样时间
	阳宗海	云南省	31.68	30	20	0.327	C- Mg- II	1993 年 11 月
	异龙湖	云南省	22.42	3.7	1.97	0.457	C- Mg- II	1993 年 11 月
	草海	贵州省	25	5	2.4	0.238	C- Ca- II	1993 年 10 月
	邛海	四川省	31	34	10.32	0.238	C- Ca- III	1988 年
	马湖	四川省	7.32	134	65.7	0.075	C- Ca- I	1982 年 6 月
	博斯腾湖	新疆	992	16.5	8.08	1.865	S- Na- II	1987—1988 年
	布伦托海	新疆	753	12.25	8.0	2.300	Cl- Na- II	1988 年 8 月
	艾比湖	新疆	522	2.8	1.4	112.400	Cl- Na- II	1987—1989 年
蒙新高原	赛里木湖	新疆	453	86		2.480	S- Mg- II	1991 年
湖 区	哈拉斯湖	新疆	44.78	188.5	120.1	0.066	C- Na- I	1987—1988 年
	呼伦湖	内蒙古	2339	8	5.92	1.170	C- Na- I	1991 年 7 月
	岱海	内蒙古	133.46	16.05	7.41	4.296	Cl- Na- III	1997 年 8 月
	红碱淖	内蒙古	60.3	10.5	8.2	3.446	Cl- Na- I	1994 年
	安固里淖	河北省	47.6	4		3.430	Cl- Na- II	1994 年 10 月
	库伦淖	河北省	8.1	2.9		2.952	Cl- Na- I	1994 年 10 月
	九连城淖	河北省	5.8			18.795	Cl- Na- III	1994 年 10 月
	水泉淖	河北省	4.5	3.35	1.42	1.816	C- Ca- I	1994 年 10 月
东北平原及	兴凯湖	黑龙江省	4380	7.03	6.28	0.286	C- Ca- I	*
山地湖区	连环泡	黑龙江省	556.08	4.6	2.14	1.786	C- Na- I	*
	镜泊湖	黑龙江省	91.5	48	12.9	0.055	C- Ca- I	1997 年 8 月
	茂兴泡	黑龙江省	23	3.1	2.5	1.570	C- Ca- I	*
	五大连池	黑龙江省	16.42			0.166	C- Ca- I	1997 年 8 月
	查干泡	吉林省	347.4	3.5	1.56	2.556	C- Na- I	*
	月亮泡	吉林省	206	4.0	2.3	0.231	C- Ca- I	1977 年 8 月
	道子泡	吉林省	18.6	4.1	3.2	6.600	Cl- Na- I	*
	白头山天池	吉林省	9.82	373	204	0.247	C- Na- I	*
青藏高原	青海湖	青海省	4340	27	17.9	13.836	Cl- Na- II	1986 年
湖 区	大柴旦湖	青海省	34.3			274.438	硫酸镁亚型	1980 年 4 月
	鄂陵湖	青海省	610.7	30.7	17.6	0.310	C- Na- I	1980 年 7 月
	扎陵湖	青海省	526	13.1	8.9	0.500	C- Na- I	1980 年 7 月
	然乌错	西藏	22			0.320	C- Ca- I	1976 年 8 月
	黑石北湖	西藏	93.5	50		40.582	氯化钠型	1987 年 8 月
	羊卓雍错	西藏	638	59		1.948	S- Mg- II	1984 年
	羊湖	西藏	75.5			96.100	Cl- Na- III	1987 年 8 月
	嘎仁错	西藏	90			277.800	硫酸钠亚型	1978 年
	孔孔茶卡	西藏	36			333.530	硫酸钠亚型	1978 年 4 月

* 王苏民等 1998

2.2 湖泊矿化度的区域分异与原因

从 673 个湖泊资料中还可以发现, 无论在东部还是西部还存在进一步的区域分异。

2.2.1 东部 以长江中下游、华南地区矿化度最低, 青藏高原南缘德钦、察隅和灵芝地区偏高, 云贵高原以及东北长白山、小兴安岭地区介于其间。湖泊矿化度这种区域差异是自然环境和湖泊区域特征相结合的产物。

长江中下游地区的湖泊, 纬度低在北纬 $28^{\circ}17' - 34^{\circ}14'$ 之间, 气候湿润, 降水丰沛, 年降水量在 1000mm 左右, 少数地区年降水量可高达 1500mm 左右。多数湖泊地区的干燥度为 0.5—1.0。该地区水系发达, 河湖水量交换频繁, 属过水性湖泊(中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊室, 1982)。湖水换水周期短, 如鄱阳湖(10d)(朱海虹等, 1997)、洞庭湖(20d)、洪泽湖(27d)(王洪道等, 1987)等。弱矿化度的地表径流对湖水起着一定的稀释作用, 可溶性盐类不致于因湖面蒸发而积累, 因此该地区的湖泊矿化度为全国最低地区, 一般在 0.1—0.2g/L 左右, 鄱阳湖仅为 0.05g/L(表 1)。

云贵高原是我国淡水湖泊分布较为集中的又一地区, 气候条件(降水量、干燥度)与长江中下游地区相比, 无显著差异。湖泊所处的纬度低于长江中下游地区, 但矿化度却略高于长江中下游地区湖泊, 一般在 0.2—0.35g/L 左右。主要原因是, 该地区广泛分布着石灰岩, 在含有游离 CO_2 水体的溶蚀下, 生成一种易溶性盐类重碳酸钙, 随径流进入湖内; 再者云贵高原湖泊多分布在大水系的分水地带, 入湖河流众多, 出流不畅或只有一条小型出流, 出流量远远小于入流量, 造成湖泊的换水周期长, 远远高于长江中下游地区。如抚仙湖(167年)、泸沽湖(17.7年)、洱海(3年)、滇池(2.7年)(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 1989)。为此, 使盐类在湖中易于积累, 矿化度增加。

青藏高原南缘地区湖泊, 位于来自孟加拉湾的印度季风通道上, 受孟加拉湾暖湿气流影响, 气候温暖湿润, 年平均气温在 9°C 左右, 年降水量在 400—1200mm。降水丰富, 加上冰雪融水的补给丰沛(然乌错年平均入湖径流量约 18 亿 m^3), 导致该地区为青藏高原低矿化区, 矿化度一般 $< 0.5 - 1\text{g/L}$ 。该地区纬度不高, 与长江中下游地区基本为同一纬度, 而矿化度却高于云贵高原、长江中下游地区, 地形的高度效应干扰了气候地带性径向分布规律, 导致我国矿化度由东向西逐渐呈增高的趋势。

东北长白山、小兴安岭地区湖泊, 在北纬 $42^{\circ} - 48^{\circ}$ 之间, 纬度高、气温低。该区属中温带湿润气候区, 受东亚季风影响明显, 具有典型的山地气候特征。年均降水量为 500—700mm。该地区多为火山口湖和熔岩堰塞湖, 湖水补给来源主要依赖湖面降水和地下水, 加上低温抑制了蒸发, 形成高纬地区低矿化区, 如白头山天池年均大气降水补给水量为 $0.303 \times 10^8 \text{m}^3$, 地下水补给水量为 $0.157 \times 10^8 \text{m}^3$, 合计年入湖总水量为 $0.46 \times 10^8 \text{m}^3$ 。由于弱矿化降水的补给, 矿化度不高, 为 0.25g/L。

2.2.2 西部 分布在我国西部和西北部地区的湖泊, 矿化度普遍较高, 成为我国咸水湖和盐湖最集中的分布区。青海省地区有半咸水湖—咸水湖 105 个, 盐湖 43 个, 西藏地区有盐湖 201 个, 内蒙古地区有盐湖 378 个, 新疆地区有盐湖 100 个。形成这一格局的原因有 3 方面: (1) 太阳辐射能的纬度分布规律, 导致气候、水文、生物、土壤等自然现象的分布也因纬度而呈规律的变化。随着纬度的增加, 温差越来越大, 冬季较冷, 降水量显著减少, 大部分地区在 25—100mm 左右。汛期短, 河川径流不如南方丰富。干旱少雨, 蒸发作

用强烈,湖水中的可溶性盐类不断地进行浓缩积累。(2)地形的高度干扰了气候纬度地带性分布规律。我国西部地形复杂,有高山、高原与盆地,气温的纬度分布明显受地形的干扰,如新疆阿勒泰地区纬度为 $44^{\circ}44'$,海拔为735m,年平均气温 4.4°C ;西藏的班戈湖纬度为 $31^{\circ}48'$,海拔为4380m,年平均气温为 -2.5°C ;新疆吐鲁番盆地纬度为 $42^{\circ}56'$,海拔为34.5m,年平均气温最高为 14.1°C 。气温的悬殊导致蒸发量的差异,吐鲁番盆地年蒸发量在3000mm以上,湖泊的矿化度普遍较高。根据地质构造特点和自然地理环境,新疆划分为5个盐湖区(郑喜玉等,1995)。此外,青海省的柴达木盆地蒸发量达3500mm,较大型的盐湖就有24个,如达布逊湖北部、团结湖等,矿化度都超过 400.00g/L (张彭喜等,1987)。(3)季风降水的影响。我国西高东低的地势直接制约了降水空间分布。青藏高原的隆升对水汽输送起着屏障作用,使来自印度洋西南季风无法抵达青藏高原内部,而东南季风在从沿海向西北方向推进过程中,受东西向山地的层层阻挡,也难以深入西北内陆,距海愈远,空气中的水汽含量愈少,降水量也相应递减。由于受上述气候格局的影响,形成西北的内陆湖,在干旱气候条件下,湖水被强烈地蒸发浓缩,含盐量都很高。根据湖泊矿化度的高低,一般有自南向北、自东向西呈现:微咸湖-咸水湖-盐湖或干盐湖的分布趋势,其含盐量平均值分别从 $1-6\text{g/L}$ (藏南、内蒙古东部)向北或向西逐渐增至 $55-133\text{g/L}$ (藏北南部、中部与内蒙古中部)、 200g/L (藏北北部、内蒙古西部与新疆境内)左右,至柴达木盆地增到 400g/L ,最高的协作湖可达 526.5g/L 。

3 结论

中国湖泊矿化度由于受到诸如纬度、高度、季风气候及局域环境的影响,差异极大,从东向西存在着矿化度逐渐增大的趋势。东部以长江中下游地区湖泊矿化度最低,水质类型多为重碳酸盐钙型水。高纬地区、西部青藏高原及内陆广泛分布高矿化的湖泊及盐碱湖,水质类型多为氯化物钠型和硫酸盐型水,并随着自然环境的演化和社会经济的发展,人类对其开发活动的不断加剧,兴建工程设施、围湖造田,截流用于灌溉,导致湖泊进出水量发生变化。尤其在西北地区,湖泊的入湖水量减少,水位降低,换水周期增大,湖泊的咸化过程加快,有些湖泊正由低矿化度逐渐转变为高矿化度湖泊,给区域生态环境造成较大的不良影响,并直接关系到湖区的经济发展,应该关注湖泊的这种势态。

参 考 文 献

- 中国科学院地理研究所,1990. 青藏高原地图集. 北京: 科学出版社, 85—87
中央气象局,1978. 中华人民共和国气候图集. 北京: 地图出版社, 115—116
中国科学院南京地理研究所湖泊室,1982. 江苏湖泊志. 南京: 江苏科学技术出版社, 13—15
中国科学院南京地理与湖泊研究所等,1989. 云南断陷湖泊环境与沉积. 北京: 科学出版社, 132
王苏民, 龚鸿身,1998. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 129—526
王洪道, 顾丁锡, 刘雪芬等,1987. 中国湖泊水资源. 北京: 农业出版社, 9
朱海虹, 张本, 王云飞等,1997. 鄱阳湖. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 87
郑喜玉, 李秉孝, 高章洪等,1995. 新疆盐湖. 北京: 科学出版社, 69—73
张彭喜等,1987. 柴达木盆地盐湖. 北京: 科学出版社, 80—81

SPATIAL DISTRIBUTION OF MINERALIZED DEGREE OF LAKES IN CHINA

PAN Hong-Xi, WANG Si-Min

*(Lake Sedimentary and Environment Laboratory, Nanjing Institute of Geography and Limnology,
The Chinese Academy of Science, Nanjing, 210008)*

Abstract Water samples were collected from the lakes in East plain, Yungui plateau and Mengxing plateau since 1993. Mineralized degree were analyzed using volumetry and flame photometry. The spatial distribution of mineralized degree of the lakes in China can be roughly divided into 3 regions according to latitude and altitude, i. e. high mineralized degree region of Qing-hai-Xizang Plateau, inner land high mineralized degree region and low mineralized degree region of the east China. The mineralized degree increases gradually from the east to the west. Such a distinct regional differentiation is related to the natural environment as well as the regional features of the lakes themselves.

Key words Lake in China, Mineralized degree, Spatial distribution, Differentiation