

我国东部河水的化学地理特征

张立成 董文江

(中国科学院 地理研究所
国家计划委员会)

提 要: 本文讨论我国东部河水的重要理化指标、化学稳定性、酸和碱的缓冲容量及区域分异特征, 并分析影响河水水质的地球化学因素。

主题词: 化学地理特征 河流 中国东部

本文所述的我国东部是指东部大陆太平洋流域, 含海南岛, 除西南隅的元江、澜沧江流域, 约占全国总面积50%以上的广阔地区(见附图), 是我国人口稠密、经济发展程度较高的地区。河水与农业发展、城镇供水、环境与卫生保健等关系密切。为防治污染、保护水质, 合理利用水资源, 研究河水的理化属性, 定量评估河水的化学稳定性、酸碱容量具有一定的经济意义。本文对此试作论述。

一、我国东部河水一般理化指标的化学地理特征

考虑到一般水化学指标的地球化学意义, 本文讨论pH、矿化度、硬度和化学氧耗量4个综合指示性基本指标的化学地理特征, 进而探讨我国东部河水化学稳定性、酸碱容量及其区域分异。

(一) pH值 pH是水质酸碱性标志, 又是影响水化学过程和河水中元素形态与浓度的重要因素。我国东部河水pH总的分布趋势是从东南沿海向西北、西南和从东北的东北部向西部、南部逐渐增加, 即河水水质由酸、中性向偏碱性和碱性过渡。东北北部和东部诸河的pH在7.2以下, 是我国温带河水pH最低的地区, 中部和西部增高至8.0左右, 但南部太子河的部分河段仅6.8, 是我国河水pH最低的河流之一。海、滦河与黄河流域大部分河流河水的pH在8.0以上, 是我国东部河水pH最高的地区, pH最高的河流是永定河(官厅站)为8.4。山东半岛与淮河水系河水pH又趋降低, 一般在7.7以下。长江干流及北岸注入的支流河水pH又趋上升, 多在8.0左右, 南岸汇入的支流河水pH自上游向下游逐渐降低, 上游河流多在8.0左右, 至洞庭湖水系诸河降至7.7左右, 下游汇入的鄱阳湖水系在7.2—7.4, 是我国河水pH较低的河系。东南沿海与海南岛诸河河水的pH在7.0以下, 是我国河水pH最低, 流域面积较广阔的地区。而西南地区河水的pH明显偏高, 大部分河流河水的pH在8.0以上。

河水pH的上述分布特征同我国地带性水热条件和地质因素的综合影响有关。两个 pH 最低的地区，东北东和北部与东南沿海都是我国降水量较大和流域花岗岩广泛出露地区。海、滦河和黄河流域的降水量偏低，径流贫枯，又流经石灰岩和富含碳酸盐的黄土地区，典型的如永定河，为我国东部pH最高的河流。长江水系虽地处中亚热带，降水量较北部的山东、淮河诸河流域地区明显增加，但因上、中游地区石灰岩分布广范围大，河水中碳酸盐浓度较高，对pH影响明显，导致西南地区、长江上中游河水 pH 偏高。东部河水 pH 值区域分异的一般特征是，在石灰岩地区降水量越低，pH越高，在花岗岩地区降水量越丰富，pH 越低。我国东部河水的pH年均值范围在6.7—8.4，符合我国各种水质标准要求。但是，由于河水中元素的浓度和形态对pH特别敏感，pH从6.0—8.5所产生的地球化学作用具明显的差异，在低pH河水中溶解态元素的比例常占较大的优势，而pH8.0以上的河水，元素绝大部分是以悬浮态存在。

(二) 矿化度 矿化度是河水生态质量效益的重要指标。矿化度的变化，一般同时伴随主要离子成分的转化，且有明显的地理地带和区域分异。

我国东部河水的矿化度基本在淡水范畴，即矿化度大都在1000mg/l以下，虽然少数河段也存在显著高于1000mg/l的状况，但就区域总体来看，是在淡水标准范围内。

目前，根据味觉测定的矿化度分级范围过宽，反映不出河水在一般常见浓度范围内离子成分、化学组成类型的变化。

因此，本文按 O.Алёкин 的划分原则，结合我国东部河水矿化度浓度特征，以流域界限划分 4 个不同浓度级的区域。这个分级表征了河水的水化学类型转化和形成影响因素的明显差异。(图 1)

1. 极低矿化水区
东南沿海和辽东半岛降水较丰沛的花岗岩地区，大部分河流的河水矿化度 <100mg/l，以 Cl^- 和 Ca^{2+} 为主。

2. 低矿化水区 东北北部、山东半岛、淮河和洞庭湖流域等降水量较丰富的花岗岩和沉积岩地区，大部分河流的河水矿化度为 100-200mg/l，以 Ca^{2+} 、 Cl^-

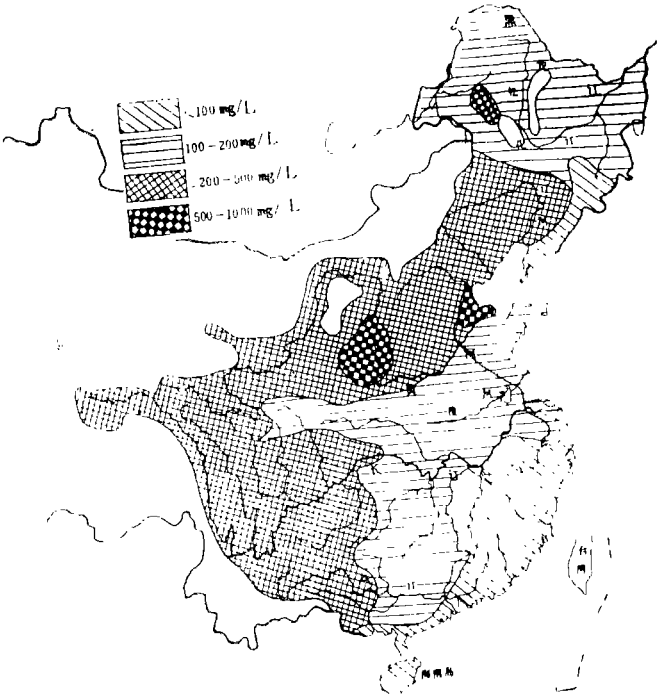


图 1 我国东部河水矿化度分布特征
The distribution of the characteristics of the total salt in East China

为主。

3. 中度矿化度水区 范围较广，包括东北南部西辽河、海滦河、黄河流域降水量偏低的大部分地区及长江中上游降水量较多的沉积岩及石灰岩地区，河水矿化度多为200—500 mg/l，以 Ca^{2+} 、 Cl^{-} 为主。

4. 高矿化度水区 零星出现，但在内蒙古东部，陕西北洛河、泾河、汾河和鲁西北马颊、徒骇河流域形成了3小片，河水的矿化度为500—1000mg/l，个别河段较高，清水河（泉眼山）矿化度极高达5070mg/l。大部分河流河水矿化度在500—700mg/l范围。

影响河水矿化度的主要因素是地表径流丰度，其次是地质条件，尤以岩性为最。河水矿化度地域分异的一般特征是：花岗岩广泛出露的地区，形成极低矿化水区，水化学类型主要为重碳酸钠或钙Ⅰ型水。降水量丰富的石灰岩地区，形成低矿化水区，水化学类型以重碳酸钙Ⅱ和Ⅰ型水为主。降水量越少，石灰岩分布越广的地区河水的矿化度越高，一般矿化度都在200—300mg/l以上，较干旱的石灰岩或黄土分布地区在300—500mg/l以上。水化学类型也以重碳酸钙Ⅱ和Ⅲ型水为主。而流经盐渍土地地区的中、小河流，河水的矿化度受含盐地下水补给的影响，常达1000mg/l以上，水化学类型转化为重碳酸钠类。根据这些特征，可以旱河水的矿化度做出预测判断。

（三）硬度：按通常^[1]4度（德）以下为很软水，4—8度为软水，8—16度为稍硬水的划分方法，东北北部和东部、东南沿海降水量丰富，花岗岩分布广泛，形成很软水区（图2）。滦河、西辽河上游、山东半岛诸河由于发育和流经花岗岩地区与降水量较丰富的淮河、长江中下游大部河水的硬度都属软水。东北南部、海河、黄河水系大部分河流和长江上游河流因流经沉积岩区及黄土分布区，降水量又偏少，河水为稍硬水，有的河流河水硬度达17度以上，属硬水。从河水硬度的区域分异和形成因素的影响看，降水量和岩石类型是影响河水硬度的主要因素，而后者者的影响更大。

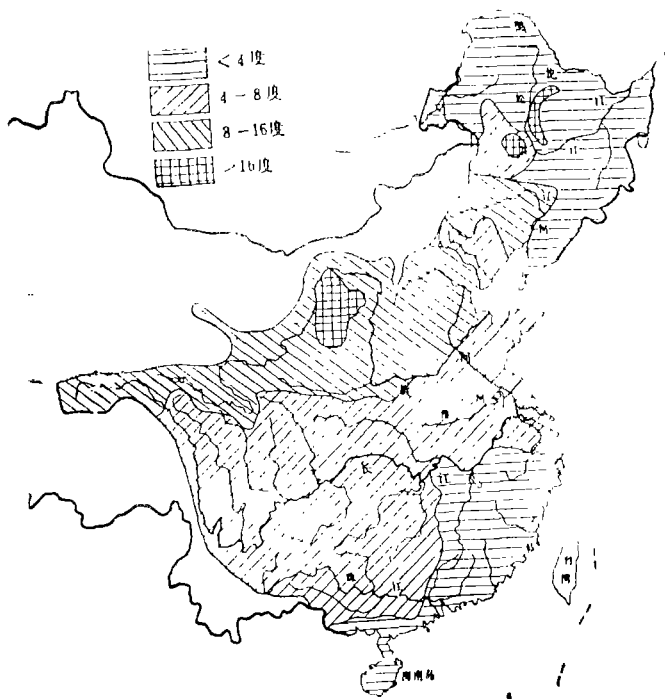


图2 我国东部河水硬度分布特征

The distribution of the characteristics of the total hardness

（四）化学耗氧量：

化学耗氧量是河水有机耗氧

物质浓度与河流自净强度的主要标志之一。我国东部河水化学耗氧量从北至南可划分为三个明显的地带。东北北部化学耗氧量大于 4mg/l,天然偏高,是我国河水化学耗氧量最高的地区。东北南部辽河至长江以北地区河水化学耗氧量在2—4mg/l,长江以南河水在1—2mg/l以下,是我国河水化学耗氧量最低的地区。河水化学耗氧量分布特征与流域的水热条件和生态环境有关,东北北部气温水温低,土被富含腐殖质,进入河水中的有机质易富集,使河水化学耗氧量偏高。长江以南气温水温高,进入水中的有机质分解速度快,水中有机质不易累积,河流流量大,复氧条件好,水中亚氧化物浓度低,使水中化学耗氧量低。而处于以上两者之间的地区具过渡特征。化学耗氧量易受人为污染影响,辽河至长江过渡区的中小河流受人为污染影响较大,局部河段的化学耗氧量大幅度提高。

二、我国东部河水的化学稳定性

我国东部河水大多为碳酸盐型水,碳酸盐的溶解平衡是控制河水化学稳定性的主要因素,河水中的CaCO₃处于未饱和状态时具溶蚀性,饱和状态的河水具沉积性。河水的化学稳定性由实测pH和计算的pH(pH_s)*来判断,其差值S称为水的稳定性指数,当 S<0时,河水具溶蚀性; S>0 时,河水具沉积性。用 ρ值对河水的离子强度进行校正^[1]。 $\rho = 2\sqrt{I / I + 1}$, $I = 2.5 \times 10^{-5} C$, C 为水的含盐量 (mg/l)。

在低矿化水的河流, ρ 值小于0.1pH以下,故一般低矿化 ρ 值可忽略不计。计算表明,我国东部河水的化学稳定性有明显的区域分异(图3),降水量大,花岗岩分布广泛的东南沿海,北江以东的河流流域,是河水溶蚀性最强的地区(S<-2)。东北北部和东部花岗岩分布广,但降水量不及东南沿海丰沛,形成中等强度溶蚀区(-1<S<-2)。东北西部逐渐转为沉积区。辽河、海运河、山东半岛诸河流域虽降水量不及淮河和洞庭湖流域,但因发育和流经地区花岗岩分布较广,淮河和洞

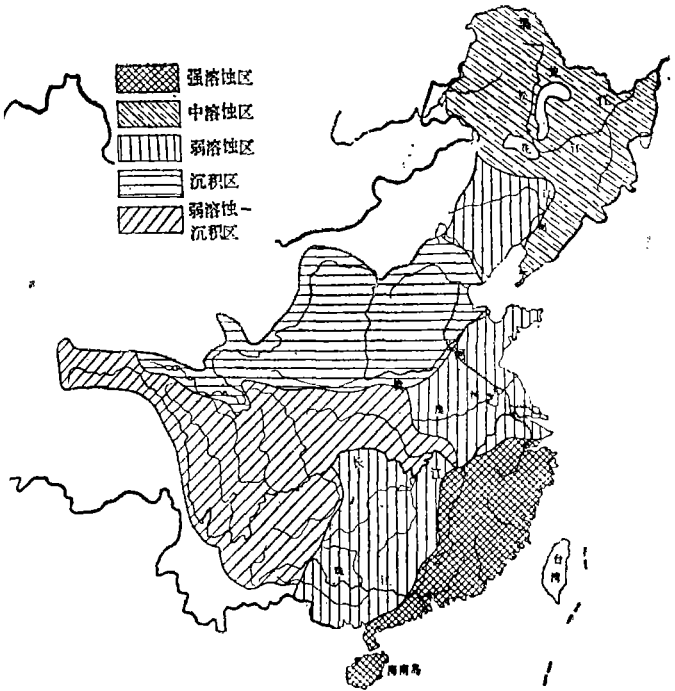


图 3 我国东部河水的化学稳定性分布特征
The distribution of characteristics of the stability in the eastern region of China

* $pH_s = pk_2 - pk_s - \lg[\text{碱度}]$, pk_2 为一定温度下的平衡常数, $pk_s = 8.32$, 为CaCO₃溶度积常数。

庭湖流域沉积岩发育和出露广泛，都形成弱溶蚀区 ($S < -1$)。海河、黄河流域降水量偏低，又是沉积岩和黄土地区，形成明显的沉积区。河水化学稳定性的区域分异主要受区域岩性、土被和降水综合作用的影响。在花岗岩地区，降水量越大，河水溶蚀性越强。在石灰岩地区，降水量越低，沉积性越大。但我国东部河水以溶蚀和较强溶蚀性为主。

我国东部河水化学稳定性和河水的矿化度的变化有明显关系，并伴随水化学类型的转化 (图 4)。

1. 矿化度 $< 100 \text{ mg/l}$ 的河水， C_{11}^{N} 和 C_{11}^{S} 水都为强溶蚀性水， $S < -1.5 \sim -2.0$ ，但以 C_{11}^{N} 水为主。

2. 矿化度 $100 \sim 150 \text{ mg/l}$ 的河水，多为中等溶蚀性水， $S < -0.5 \sim -1.5$ ，以 C_{11}^{S} 水为主。

3. 矿化度 $150 \sim 300 \text{ mg/l}$ 的河水为溶蚀—沉积过渡性水，大多处于弱溶蚀性水。 $0 > S > -0.5$ ，以 C_{11}^{S} 水为主，部分为弱沉积性水。

4. 矿化度 $> 300 \text{ mg/l}$ 的河水都为沉积性水， $S > 0$ ，以 C_{11}^{S} 和 C_{11}^{N} 水为主，部分为 C_{11}^{N} 和 C_{11}^{S} 型水。

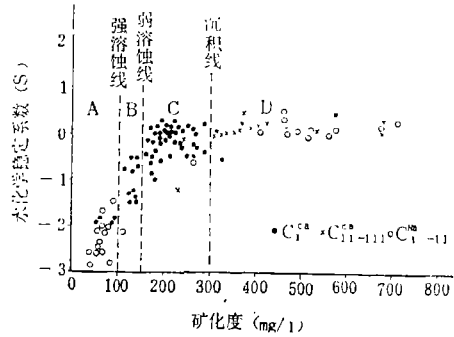


图 4 我国东部河水化学稳定性系数与矿化度关系

Relationships between stability coefficient of the river water and total salt

三、我国东部河水酸和碱的缓冲容量

河水对酸和碱的缓冲能力在水源保护和污染控制方面具有重要意义。矿物的溶解和沉积，可溶组分同硅酸盐矿物与粘土间的离子交换，植物的光合作用等因素都能影响河水的缓冲作用，而碳酸化合物是影响水体对酸、碱缓冲能力的主要因素。

如按河水的 pH 值 $6.5 \sim 8.5$ 为标准，即以 pH 增高到 8.5 时所能容纳的碱量和 pH 降到 6.5 时所能容纳的酸量来反映河水对酸和碱的容纳能力。由 $[\text{碱}] = c/\alpha^{(1)}$ 计算 (C = 碳酸物总量， α = 碳酸平衡常数)，求得 $\text{pH} = 8.5$ 时，比原来增大的碱度就是加入的碱量 ΔB ，在 $\text{pH} = 6.5$ 时，比原来减少的碱度就是加入的酸量 ΔA 。计算得出我国东部大多数河流对碱的缓冲容量是极低 ($\Delta B < 0.1 \text{ m.e/l}$) 和低的 ($\Delta B > 0.1 \sim 0.5 \text{ m.e/l}$) (图 5)。中度容碱区 ($\Delta B > 0.5 \sim 1.0 \text{ m.e/l}$)，仅见于太子河与大凌河，但最高容碱量亦不超过 0.8 。这两条河流容碱量大与河水 pH 低， HCO_3^- 又相对丰富有关。

计算表明我国东部河流河水对酸的缓冲容量较大，高容酸区 ($\Delta A > 1.0 \text{ m.e/l}$) 面积辽阔，包括从辽河至海河、黄河水系的大部分河流 (图 6)，中度容酸区 ($\Delta A > 0.5 \sim 1.0 \text{ m.e/l}$)，面积更为广阔，包括山东半岛诸河、淮河水系、长江上中游大部分河流水系。低容酸区 ($\Delta A < 0.5 \text{ m.e/l}$) 包括东南沿海、海南岛、鄱阳湖水系诸河，这些河流的 pH 低 (多在 7.0 左右以下)， HCO_3^- 的浓度也较低。

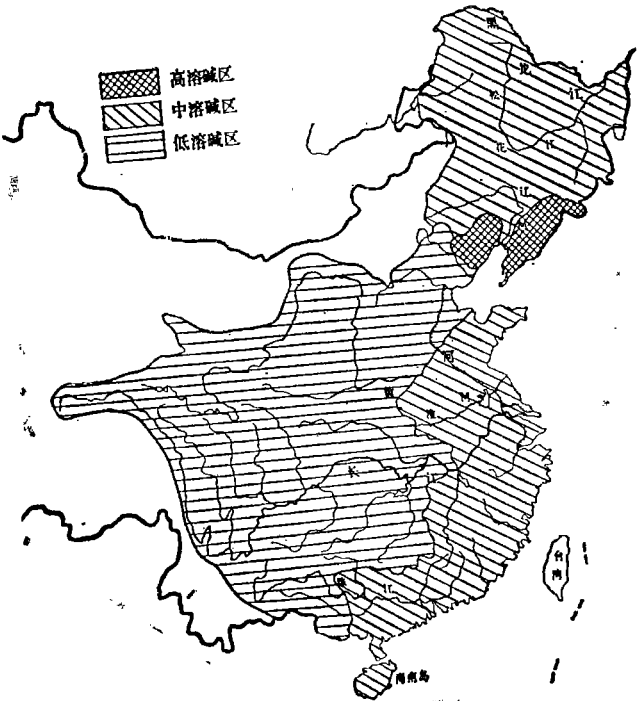


图 5 我国东部河水碱容量
分布特征
The distribution of the
characteristics of the alkali
capacity in East China

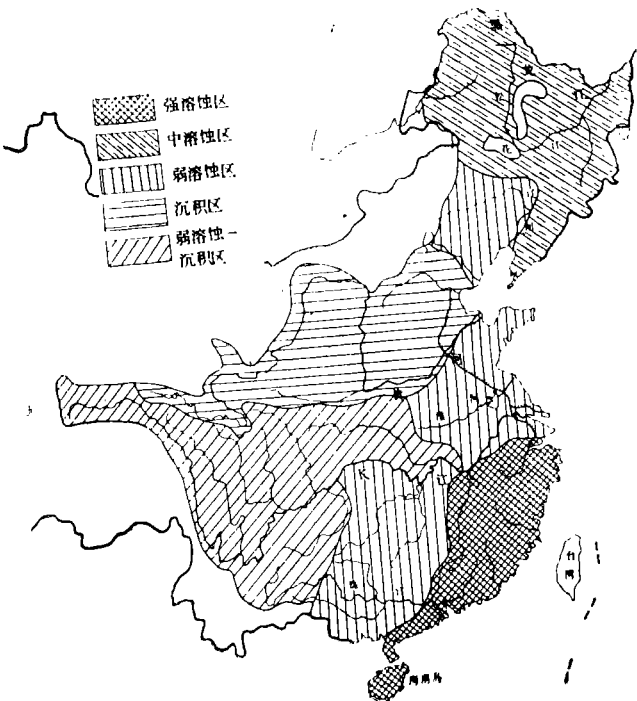


图 6 我国东部河水酸容量
分布特征
The distribution of the
characteristics of the acid
capacity in East China

四、我国东部河水化学地理特征和形成因素

(一) 我国东部河水对酸的容量大于对碱的容量

从图 5 和图 6 所示分区面积和容量值估算, 可知我国东部河水对酸的缓冲容量大, 面积广阔, 高容酸区 ($>1.0\text{m.e/l}$) 包括辽河流域中下游大部水系、黄河水系诸河, 流域面积约 $100 \times 10^4 \text{km}^2$ 。高容碱区 ($<1.0\text{m.e/l}$) 仅见于辽河上游和辽东半岛部分水系和滦河, 流域面积不到 $20 \times 10^4 \text{km}^2$, 而低容碱区 ($<0.1\text{m.e/l}$) 的面积超过 $300 \times 10^4 \text{km}^2$, 低容酸区 ($<0.5\text{m.e/l}$) 的面积包括东南沿海诸河、鄱阳湖水系和东北北部河流, 面积约 $100 \times 10^4 \text{km}^2$ 。我国东部河流对酸的容量远大于对碱的容量这一特征与区域地质条件及水热因素有关。北方广大地区降水量较低, 河水矿化度相对稍高, 流经地区多为富含碳酸盐的黄土和第四纪沉积物, 河水富含 HCO_3^- , 碱度较高。中南和西南地区虽降水量较丰富, 河水矿化度较低, 但流经地区石灰岩分布广泛, 河水多偏碱性, 造成碱度偏高。我国东部河水对酸的缓冲容量大于对碱的容量, 具有重要的环境效益, 酸雨对河水不会构成明显影响。工矿、城镇污水往往含有丰富的有机质, 在分解过程中酸化, 偏碱性河水有利于中和净化。此外, 河水的偏碱性还会减轻有害金属的扩散及生态危害。

(二) 我国东部河水矿化度、硬度、对酸的缓冲容量和溶蚀性变化的区域一致性

由图 1、2 和 6 的比较可以看出我国东部地区河水的矿化度、硬度、酸的缓冲容量和溶蚀性有相当的区域变化一致性。矿化度较高 ($>200\text{—}500\text{mg/l}$) 的地区, 也是硬度较高 (8—16 度) 和酸容量较高 ($>1.0\text{m.e/l}$)、碱容量小 ($<0.1\text{m.e/l}$) 和沉积性较高的地区, 它和我国东部地区河水贫枯, 碳酸盐风化壳分布地区基本一致。

(三) 我国东部河水矿化度、溶蚀性、酸和碱容量、化学耗氧量的地域差异显著

从图 1 至 6 的分析比较可以看出我国东部河水矿化度和溶蚀性等河水地球化学因素的地域性差异较地带性差异显著, 如河水的矿化度, 东北北部、淮河水系 (包括山东半岛诸河)、洞庭湖水系地带性水热条件变化较大, 但矿化度都在 $100\text{—}200\text{mg/l}$ 的较低矿化水范围, 而辽河、海河和黄河水系河水的矿化度显著较高, 在 $200\text{—}500\text{mg/l}$ 。相同纬度带的洞庭湖水系与东南沿海、鄱阳湖水系的矿化度也有明显差异。硬度的地区差异也很显著, 东北北部和东南沿海及海南岛分属温带和南亚热带, 降水量相差 1000mm 以上, 但其硬度都很低 (<4 度)。滦河和辽河河源区河水的硬度都较低 (4—8 度), 但其南部和北部相邻地区虽水热条件相近而硬度都较大 (8—16 度)。酸和碱的缓冲容量也表现出这种明显的地域特征 (图 5、6)。对照我国地质和降水量分布图, 可以看出非地带性因素, 主要是地质环境条件是形成我国东部河水上述地球化学特征的主导因素, 而降水量起了助长作用和削弱作用, 如东南沿海包括广东和海南岛为花岗岩广泛分布区, 又是降水量最丰沛的地区 (年降水量 $1000\text{—}2000\text{mm}$), 因而形成我国河水矿化度最低、硬度最小的地区, 而同一地带降水量相近的洞庭湖水系, 由于主要流经和发育在石灰岩分布广泛的地区, 矿化度和硬度都明显提高。东北北部降水量也较丰富, 又是花岗岩广泛出露地区, 因此形成与东南沿海类似的河水地球化学特征。海河和黄河流域富含碳酸盐的黄土和第四纪沉积物广泛分布, 降水量又偏少, 因而形成河水矿化度高、

硬度大、碱的缓冲容量最少的地区,以上概括的分析表明我国东部河水的形成以非地带性因素地质条件为主导,地带性因素主要是降水量起了配合或削弱作用,使地域分异显著。东北部河水化学耗氧量偏高,主要是流域土被富含腐殖质和水温常年偏低,水中有机耗氧物富积造成的。

河水的理化性状和它的某些指标,是河水性状及其影响水化学过程功能的表征,又是河水为受水水体对于进入异性水体时含有组分同化和净化能力的基本因素。我国土地辽阔,地跨三带,水热与地质环境因素变异较大,形成河水理化性状和功能显著不同的区域特征。探讨我国河水的区域化学地理特征,特别是河水化学稳定性和对酸、碱的环境容量,有助于合理有效的利用河水的自净容量和环境效应,可为水资源的开发利用、污染控制提供实用的科学依据。

参 考 文 献

- (1) 汤鸿霄:用水废水化学基础,建筑工业出版社,1979年。
- (2) 张立成等:湘江水系河水的地球化学特征,地理学报,42(3),1987年。
- (3) 中国科学院中国自然地理编辑委员会:中国自然地理·地表水,科学出版社,1981年。
- (4) 中国科学院中国自然地理编辑委员会:中国自然地理总论,科学出版社,1985年。
- (5) 全国农业区划委员会中国自然区划概要编写组:中国自然区划概要,科学出版社,1984年。

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE RIVER SYSTEM IN EAST CHINA

Zhang Licheng Dong Wenjiang

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and the State
Planning Commission of the People's Republic of China)

Subject terms: geochemical characteristics, river system, East China

Abstract

In the eastern part of China, the average pH in the river water mainly connected with bicarbonate, is 6.7-8.1. Due to different contents of total salt, the river water is divided into 4 regions: 1. In the lowest-content region, the total salt is $<100\text{mg/l}$; 2. In the second lowest-content region, the total salt is $100-200\text{mg/l}$; 3. In the middle-level content region, the total salt is $200-500\text{mg/l}$; 4. In the high content region, a very small area, the total salt is $500-1000\text{mg/l}$. Most of the river waters are soft water with the hardness <8 (German), but the water hardness in the Yellow River and in the Hai River is as high as 8-16. Due to different contents of COD, the river water is divided into 3 regions: 1. At the northern part of Northeast China, COD content in rivers is rather high; $\text{COD} \geq 1\text{mg/l}$; 2. From the southern part of Northeast China to the Yantze River, which is a transitional area, COD content in rivers is $2-1\text{mg/l}$; 3. To the south of the Yantze River, COD content is comparatively low; $\text{COD} \leq 1-2\text{mg/l}$. Moreover the alkali capacity is rather low in most river water, i.e. $<1.0\text{me/l}$; while the acid capacity is rather high, i.e. $>1.0\text{me/l}$. And in the eastern part of China, most river water is dissolution-erosional.