

广州城市河涌氮、磷污染研究

付广义^{1,2,3,4}, 俞 盈^{1,2,3}, 叶恒朋^{1,2,3}, 陈繁忠^{1,2,3}

(1. 有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 广东省环境资源利用与保护重点实验室, 广东 广州 510640; 3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 4. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 对广州市区典型河涌氮、磷污染进行分析研究。结果表明: 上覆水中氨氮质量浓度为 6.21 ~ 22.40 mg/L, 间隙水中氨氮质量浓度为 19.9 ~ 152.0 mg/L。河涌上覆水以及间隙水中的氮污染主要是无机氮污染, 且以氨氮为主, 占总无机氮的 90% 以上。各河涌的氨氮和总氮值之间表现出很强相关性, 但上覆水的氨氮和总氮值与间隙水的氨氮和总氮值之间, 却不存在明显相关性。底泥间隙水与上覆水磷形态差异较大, 间隙水中可溶性正磷酸盐与总磷具有较好的相关性, 且有机磷质量浓度比上覆水要高, 底泥中可溶性磷(P_{sol})、铝结合磷(P_{Al})质量浓度较低, 铁结合磷(P_{Fe})质量浓度较高。悬浮物中各形态磷质量浓度整体上均比底泥样品要高。

关键词 河涌; 氮、磷污染; 磷形态; 广州市

中图分类号: X501 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2010)01-0024-05

Nitrogen and phosphorus pollution of river in urban area of Guangzhou

FU Guang-yi^{1 2 3 4}, YU Ying^{1 2 3}, YE Heng-peng^{1 2 3}, CHEN Fan-zhong^{1 2 3}

(1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou 510640, China; 2. Guangdong Key Laboratory of Environment and Resources, Guangzhou 510640, China; 3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 4. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: The levels of nitrogen and phosphorus in typical rivers in the urban area of Guangzhou was analyzed. The results showed that the concentration of ammonia in the overlying water was from 6.21 mg/L to 22.40 mg/L; it was from 19.9 mg/L to 152.0 mg/L in the interstitial water. The major form of nitrogen was inorganic. In the overlying water and the interstitial water, ammonia accounted for more than 90% of the total inorganic nitrogen. There was a strong correlation between the ammonia and total nitrogen in the river, but there was no apparent correlation between the ammonia and total nitrogen in the overlying water and in the interstitial water. Phosphorus forms in the interstitial water and the overlying water were different. In the interstitial water, the content of dissolvable orthophosphate was well correlated to the total phosphate, and the content of organic phosphorus was more than that in the overlying water. The concentrations of soluble phosphorus (P_{sol}) and aluminum phosphate (P_{Al}) in the sediment were low, and the concentration of iron phosphate (P_{Fe}) was a slightly high. The concentrations of each phosphorus form in the suspended solids were higher than in the sediment on the whole.

Key words: urban river; nitrogen and phosphorus pollution; phosphorus forms; Guangzhou City

广州地区水系发达, 河涌众多。全市(老八区)共有各类河涌 231 条, 总长度达 913 km^[1]。河涌在城市防洪、排涝、航运中起着重要作用。随着城市改造及人口膨胀, 河涌淤塞现象严重, 水流缓慢, 部分污水、垃圾进入城市河涌, 使得河涌底泥淤积, 有机

物和氮、磷营养物严重超标^[2]。

氮、磷污染是水体发生“水华”的主要原因, 一些含氮物质(如氨氮、有机氮等)也是水体发臭的重要因素。广州地区河涌水和底泥中氮、磷的污染水平、形态分布特征目前尚未有系统的报道。笔者较

为系统地分析了广州市区典型河涌中水体以及底泥氮、磷的浓度水平、形态,并对其分布特征、来源作了探讨,为进一步掌握广州城市河涌污染规律,治理河涌提供基础资料。

1 材料与研究方法

1.1 采样方法

选取广州市区车陂涌、棠下涌、程界涌、沙河涌、猎德涌、芳村 A 涌、沙涌、招村涌、南村涌和茶窖涌等 10 条河涌采集水样和泥样,分析氮污染,选取广州市区车陂涌、棠下涌、沙河涌、猎德涌、芳村 A 涌和新河涌等 6 条河涌,采集水样和泥样,分析磷污染。这些河涌均是广州市区污染较重、影响较大的河涌。每条河涌分别设置上游、中游、下游 3 个采样点。

水样采集:使用 10 L 棕色玻璃瓶,采集距水面 0.2 m 深水样,上、中、下游 3 个采样点各取 1 个样品。采集到的水样加硫酸调节 pH 值小于 2。

底泥样品采集:采用自制底泥采样器采集顶部约 2 cm 厚表层泥样,每份约取 500 g,上、中、下游各采集 1 个样品^[3]。采样后于 4℃ 下冷藏。

取部分水样经 0.45 μm 滤膜过滤,所获悬浮物自然风干,作为水体悬浮物样品。取适量底泥样品以 6000 r/min 进行离心,甩出液经 0.45 μm 滤膜过滤后作为间隙水样品^[4-7]。

1.2 样品分析

上覆水和间隙水分析标准参照文献[8]。具体方法:氨氮(NH₃-N)采用纳氏试剂光度法,亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)采用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法,硝酸盐氮(NO₃⁻-N)采用酚二磺酸光度法,总氮(TN)采用微波消解-紫外分光光度法,磷酸盐(PO₄³⁻-P)采用磷钼蓝分光光度法,水温和溶解氧(DO)采用 YSI550A 便携式溶解氧仪现场直接测定。比色用紫外可见分光光度仪型号为 HA。

上覆水、间隙水水样中磷的形态分析参照 Ruttenberg^[9]介绍的“磷分级”法,将磷分为总磷、可溶性正磷酸盐、可溶性总磷酸盐、总有机磷、总无机磷。其分级提取过程见图 1。底泥、悬浮物中磷的

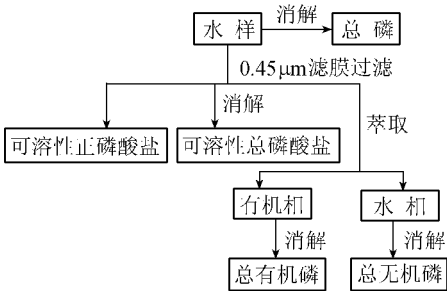


图 1 水样磷分级过程

形态分析参照 Jurris^[10]介绍的“逐级提取法”,将磷分为可溶性磷(P_{sol})、铝结合磷(P_{Al})、铁结合磷(P_{Fe})、钙结合磷(P_{Ca})、闭蓄态磷(P_{O-P})、有机磷(P_{org}),其逐级提取过程见图 2。

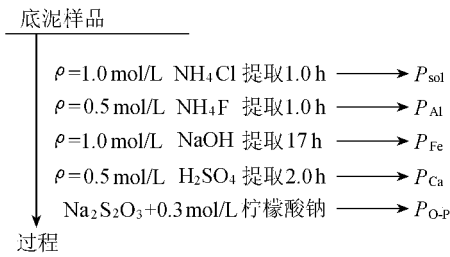


图 2 底泥磷分级过程

2 结果与讨论

2.1 河涌氮污染

2.1.1 河涌上覆水中氮污染

上覆水中各形态氮污染数据见表 1(数据取自各河涌上、中、下游平均值,下同)。

表 1 广州 10 条河涌上覆水氮污染情况

河涌	$\rho_{\pm}(\text{TN})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho_{\pm}(\text{NH}_3\text{-N})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho_{\pm}(\text{NO}_2^-\text{-N})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho_{\pm}(\text{NO}_3^-\text{-N})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho_{\pm}(\text{DO})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	水温/ ℃	水质 级别
车陂涌	13.9	11.20	0.0015	0.130	0.96	24.9	劣Ⅴ类
棠下涌	25.6	22.10	0.0045	0.154	0.72	25.9	劣Ⅴ类
程界涌	21.6	16.70	0.0030	0.107	0.71	26.5	劣Ⅴ类
沙河涌	22.0	17.20	0.0060	0.142	1.23	27.7	劣Ⅴ类
猎德涌	21.7	18.20	0.0030	0.178	0.69	27.5	劣Ⅴ类
芳村涌	8.2	6.21	0.1280	0.154	0.49	27.3	劣Ⅴ类
沙涌	24.7	22.40	0.0090	0.119	0.64	26.8	劣Ⅴ类
招村涌	9.2	6.74	0.0045	0.095	0.58	27.4	劣Ⅴ类
南村涌	20.3	17.70	0.0075	0.119	0.38	27	劣Ⅴ类
茶窖涌	10.2	8.99	0.0030	0.095	0.76	27.5	劣Ⅴ类

由表 1 可知,10 条河涌 $\rho_{\pm}(\text{NH}_3\text{-N})$ 为 6.21 mg/L ~ 22.4 mg/L,其中芳村、招村及茶窖 $\rho_{\pm}(\text{NH}_3\text{-N}) < 10 \text{ mg/L}$,而其他 6 条河涌的都高于 15 mg/L,棠下涌和沙涌的污染程度最高, $\rho_{\pm}(\text{NH}_3\text{-N})$ 分别达到 22.1 mg/L 和 22.4 mg/L。参照国家 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》,Ⅴ类水质 $\rho_{\pm}(\text{NH}_3\text{-N})$ 限值为 2 mg/L,上述 10 条河涌均为劣Ⅴ类。采用Ⅲ类水质标准 $\rho_{\pm}(\text{NH}_3\text{-N})$ 限值 1 mg/L,按照污染指数法对河涌上覆水氨氮进行评价,评价公式为^[11]

$$P_i = C_i / C_0$$

式中: P_i 为污染指数; C_i 为评价水样污染物浓度; C_0 为相应评价标准。

各河涌氨氮污染指数在 6.21 ~ 22.40 之间,棠下涌和沙涌的氨氮污染指数最高。

由表 1 可知,10 条河涌 $\rho_{\pm}(\text{TN})$ 为 8.18 ~ 25.6 mg/L,其中芳村、招村及茶窖的 $\rho_{\pm}(\text{TN})$ 比较

小,污染程度较低,而其他7条河涌 $\rho_{\pm}(\text{TN})$ 值大都高于20 mg/L,棠下涌和沙涌污染程度最高, $\rho_{\pm}(\text{TN})$ 值分别达到25.6 mg/L和24.7 mg/L。参照GB 3838—2002《地表水环境质量标准》,其Ⅴ类水质 $\rho_{\pm}(\text{TN})$ 限值为2 mg/L,上述10条河涌均为劣Ⅴ类。采用Ⅲ类标准, $\rho_{\pm}(\text{TN})$ 限值1 mg/L,按照污染指数法对河涌上覆水总氮进行评价,各河涌总氮污染指数为8.18~24.7,棠下涌和沙涌总氮污染指数最高。

对氨氮和总氮质量浓度进行回归分析,结果见图3,发现两者之间具有很高的相关性, $R^2=0.9760$ 。

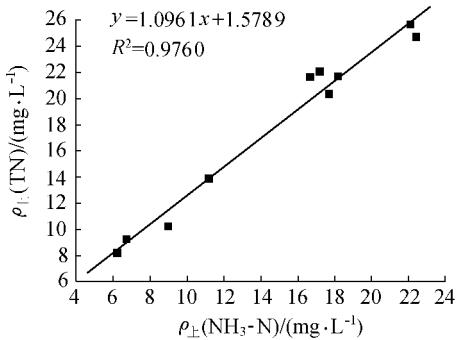


图3 上覆水中氨氮与总氮质量浓度的回归分析

表1中10条河涌的溶解氧和温度为采样时现场测定。采样时间为9月中旬,水体温度为24.9~27.7℃,平均温度为26.9℃。 $\rho_{\pm}(\text{DO})$ 全部小于2 mg/L,均为劣Ⅴ类。且除沙河涌外,其余9条河涌水体的 $\rho_{\pm}(\text{DO})$ 全部小于1 mg/L。

由表1还可以看到,10条河涌中上覆水的氮污染,主要是“三氮”所代表的无机氮,占整个总氮值的70%以上,而在“三氮”中,又以氨氮为主,占总无机氮的90%以上。以氨氮和总氮来衡量水质污染程度,芳村涌水质相对最好,但芳村涌的亚硝酸盐氮污染是最严重的。10条河涌中硝酸盐氮都处于较低的水平,各河涌之间的差距较小,这与各河涌水体溶解氧浓度低、氧化还原电位低是相符的。

2.1.2 河涌间隙水中氮污染

间隙水中氮污染情况见表2。

表2 广州10条河涌间隙水氮污染情况					mg/L
河涌	$\rho_{\text{间}}(\text{TN})$	$\rho_{\text{间}}(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho_{\text{间}}(\text{NO}_2\text{-N})$	$\rho_{\text{间}}(\text{NO}_3\text{-N})$	
车陂涌	96.0	90.2	0.0302	1.30	
棠下涌	154.0	152.0	0.5580	1.30	
程界涌	66.5	65.9	0.0453	0.83	
沙河涌	152.0	148.0	0.4300	0.60	
猎德涌	36.4	34.8	0.0566	0.74	
芳村涌	105.0	104.0	0.0453	1.19	
沙涌	29.3	27.3	0.0754	1.42	
招村涌	21.8	19.9	0.0604	1.54	
南村涌	54.5	50.0	0.0604	1.54	
茶窖涌	52.1	51.8	0.0905	0.83	

由表2可知,10条河涌 $\rho_{\text{间}}(\text{NH}_3\text{-N})$ 非常高,为19.9~152 mg/L,其中芳村、沙河和棠下的氨氮质量浓度值均高于100 mg/L,招村涌间隙水的氨氮质量浓度值相对较低,为19.9 mg/L,污染程度也是非常惊人。10条河涌中 $\rho_{\text{间}}(\text{NH}_3\text{-N})$ 在21.8~154.0 mg/L,其中招村涌和沙涌 $\rho_{\text{间}}(\text{NH}_3\text{-N})$ 相对较低,但仍大于20 mg/L,而棠下涌、沙河涌和芳村涌的 $\rho_{\text{间}}(\text{NH}_3\text{-N})$ 则超过100 mg/L,其污染情况极其严重。

上述10条河涌中间隙水的氮污染特征跟上覆水的氮污染特征相似,主要是无机氮,占整个总氮质量浓度的90%以上,而在“三氮”中,又以氨氮为主,占总无机氮的90%以上。对10条河涌间隙水的氨氮和总氮质量浓度作回归分析可以发现,两者之间也存在很高的相关性, $R^2=0.9987$ 。见图4。

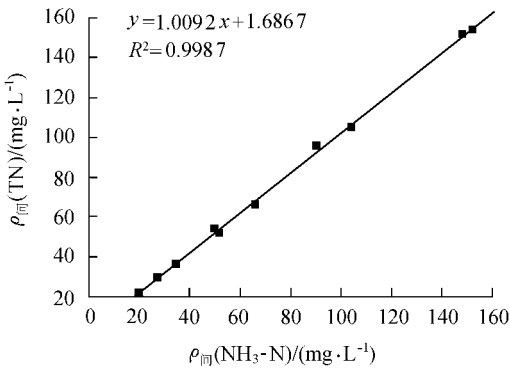


图4 间隙水中氨氮与总氮质量浓度的回归分析

分别对上覆水和间隙水中的氨氮和总氮质量浓度作回归分析后可以发现,两者之间并没有明显的相关性。具体见图5和图6。底泥间隙水中的含氮污染物与上覆水中含氮污染物浓度没有直接关系。例如猎德涌,由于在采样前不久刚进行过清淤,采集的底泥为沙质为主,分析表明,猎德涌底泥间隙水的氨氮、总氮质量浓度都处于相对较低水平,但猎德涌的上覆水水质却仍然污染严重, $\rho_{\pm}(\text{TN})=21.7\text{ mg/L}$, $\rho_{\pm}(\text{NH}_3\text{-N})=18.20\text{ mg/L}$,远超出Ⅴ类水质标准。可见要改善河涌水质状况,单纯清淤作用有限。

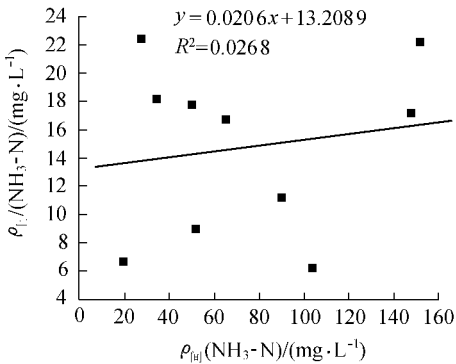


图5 间隙水与上覆水中氨氮质量浓度的回归分析

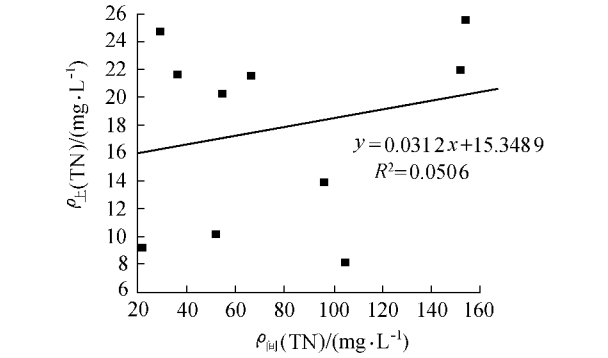


图 6 间隙水与上覆水中总氮质量浓度的回归分析

2.2 河涌磷污染

2.2.1 河涌上覆水磷污染

上覆水中磷分布见表 3。由表 3 可知，6 条河涌 $\rho(\text{TP}) = 1.38 \sim 2.53 \text{ mg/L}$ ，新河浦涌、猎德涌稍低，其原因可能是其下游受珠江潮汐的影响较大。车陂涌 $\rho(\text{TP})$ 最高，达 2.53 mg/L 。参照 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》，其 V 类水质 $\rho(\text{TP})$ 限值为 0.2 mg/L ，基于此标准，上述 6 条河涌均为劣 V 类。采用 III 类标准， $\rho(\text{TP})$ 限值为 0.1 mg/L ，按照污染指数法对河涌上覆水 TP 进行评价，各河涌 TP 污染指数为 $13.8 \sim 25.3$ ，车陂涌 TP 污染指数最高。

表 3 河涌上覆水磷形态分布

河 涌	质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)					水质 级别
	TP	可溶性 正磷酸盐	可溶性 总磷酸盐	总有机磷	总无机磷	
芳村涌	1.96	1.45	1.63	0.11	1.52	劣 V 类
新河浦涌	1.38	0.97	1.19	0.06	1.13	劣 V 类
沙河涌	2.07	1.64	1.88	0.17	1.71	劣 V 类
猎德涌	1.42	1.01	1.28	0.07	1.21	劣 V 类
棠下涌	1.70	1.22	1.56	0.23	1.33	劣 V 类
车陂涌	2.53	1.81	2.25	0.34	1.91	劣 V 类

由表 3 还可知，上覆水中可溶性正磷酸盐质量浓度为 $0.97 \sim 1.81 \text{ mg/L}$ ，占 TP 质量浓度 $70\% \sim 80\%$ ，总有机磷质量浓度较低，为 $0.06 \sim 0.34 \text{ mg/L}$ ，约占 TP 质量浓度 $5\% \sim 14\%$ 。

2.2.2 河涌底泥间隙水磷形态分布特征

各河涌底泥间隙水磷形态分布见表 4。

表 4 河涌底泥间隙水磷形态分布特征

河 涌	质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)				
	TP	可溶性 正磷酸盐	可溶性 总磷酸盐	总有机磷	总无机磷
芳村涌	4.02	2.23	2.92	0.47	2.45
新河浦涌	2.14	1.26	1.69	0.31	1.38
沙河涌	5.83	3.62	4.73	0.85	3.88
猎德涌	2.29	1.43	1.80	0.28	1.52
棠下涌	3.95	2.18	3.35	1.02	2.33
车陂涌	6.68	4.09	5.49	1.23	4.26

由表 4 可知，底泥中 $\rho_{\text{∩}}(\text{TP})$ 为 $2.14 \sim 6.68 \text{ mg/L}$ ，

是 $\rho_{\text{±}}(\text{TP})$ 值的 $1.55 \sim 2.64$ 倍；可溶性正磷酸盐质量浓度为 $1.26 \sim 4.09 \text{ mg/L}$ ，是上覆水的 $1.30 \sim 2.27$ 倍；总有机磷质量浓度为 $0.28 \sim 1.23 \text{ mg/L}$ ，是上覆水的 $4.41 \sim 5.20$ 倍。以上数据说明，底泥间隙水磷质量浓度整体上比河涌上覆水高出近 2 倍，表明了底泥中的磷有向上覆水释放的趋势。

分别对上覆水和间隙水中的可溶性正磷酸盐和总磷值作回归分析，发现两者之间的相关性很高， R^2 值分别为 0.9397 和 0.9291 ，具体见图 7 和图 8。Herodek 等^[12]的研究结果也显示，间隙水是磷从底泥释放到上覆水的过渡介质，间隙水中磷浓度的大小是底泥磷丰度的反映并与磷释放相关。

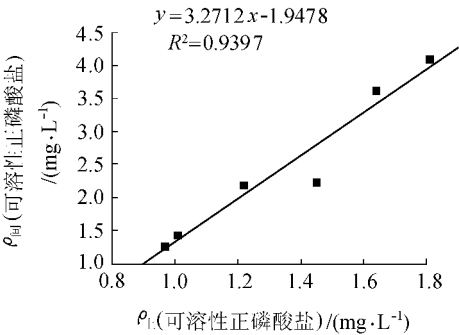


图 7 上覆水与间隙水中可溶性正磷酸盐质量浓度的回归分析

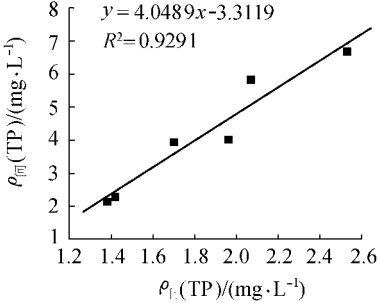


图 8 上覆水与间隙水中总磷质量浓度的回归分析

由表 4 还可以看出，间隙水中可溶性正磷酸盐与总磷具有较好的相关性，而有机磷质量浓度比上覆水要高，无机磷质量浓度偏低，这说明间隙水与上覆水中磷形态存在着较大的差异，这可能与各形态磷的迁移转化规律不同有关。

2.2.3 河涌底泥磷形态分布特征

底泥对上覆水中磷起缓冲作用，随着氧化还原环境的改变，底泥中的磷进入间隙水中，通过扩散作用，在上覆水重新参加循环。在沉积过程中磷可与水体中的铁、铝和钙等以不同的结合态并存于底泥中。通过测定底泥中磷的不同化学形态及其质量比，对认识水体中磷的形态、动态循环以及在水-底泥界面的迁移转化等环境地球化学行为都具有重要意义。表 5 为各底泥中不同形态磷质量比。

表 5 底泥不同形态磷质量比							mg/kg
河涌	$u(P_{sol})$	$u(P_{Al})$	$u(P_{Fe})$	$u(P_{Ca})$	$u(P_{O-P})$	$u(P_{org})$	$u(TP)$
芳村涌	0.38	2.56	2053.22	472.58	455.80	215.36	3200
新河涌	0.25	3.45	1597.46	402.51	366.07	180.35	2550
沙河涌	0.47	2.88	2678.45	546.52	356.32	625.36	4210
猎德涌	0.32	3.28	1785.42	623.65	526.48	188.57	3120
棠下涌	0.42	3.13	2268.47	647.18	237.28	423.52	3580
车陂涌	0.52	2.56	2530.19	377.88	398.57	510.28	3820

由表 5 可知 ,各河涌底泥 $w(TP)$ 为 2 550 ~ 4 210 mg/kg ,底泥中可溶性磷(P_{sol}) 铝结合磷(P_{Al}) 质量比较低 ,铁结合磷(P_{Fe})质量比较高 ,为 1 597.46 ~ 2 678.45 mg/kg ,占 TP 质量比约 60%。

P_{Fe} 被认为是底泥中易被释放的部分 ,因为它会随氧化还原环境的变化而变化 ,即氧化还原电位(E_h)降低时 , Fe^{3+} 被还原并被溶解 ,或导致铁被闭蓄态磷酸盐 $Fe(OH)_3$ 胶膜也由 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} ,其溶解度提高 ,膜内的磷酸盐也可释放出来 ,进入孔隙水 ,而 E_h 较高时 , Fe^{2+} 被氧化为 Fe^{3+} 并沉淀 , P_{Fe} 也随之沉淀。活泼的铁氧化物对磷的快速吸附和释放控制着孔隙水中 PO_4^{3-} 的浓度 ,从而直接影响底泥-水界面磷的交换^[13]。

2.2.4 河涌悬浮物磷形态分布特征

各悬浮物不同形态磷质量比见表 6。由表 6 可知 ,6 条河涌悬浮物 $u(TP)$ 为 4 870 ~ 12 280 mg/kg ,悬浮物样品中 P_{Fe} 占主要地位 ,占 $w(TP)$ 的 57.1% ~ 73.8% ;其次为 P_{org} ,占 $w(TP)$ 的 11.4% ~ 31.1%。悬浮物 TP 质量比为底泥 TP 质量比的 1.64 ~ 3.21 倍 ,平均为 2.36 倍 ; P_{org} 质量比为底泥 TP 质量比的 3.11 ~ 5.26 倍 ,平均为 4.39 倍 ;在河涌悬浮物中 , P_{org} 质量比占 TP 的比重较底泥样品要高近 1 倍。

表 6 各悬浮物不同形态磷质量比							mg/kg
河涌	$u(P_{sol})$	$u(P_{Al})$	$u(P_{Fe})$	$u(P_{Ca})$	$u(P_{O-P})$	$u(P_{org})$	$u(TP)$
芳村涌	0.87	5.24	4 525.47	621.36	831.74	865.32	6 850
新河涌	0.45	6.58	3 487.96	189.58	819.36	678.56	4 870
沙河涌	1.32	6.97	6 028.38	387.32	850.76	3 285.25	10 560
猎德涌	0.42	5.78	3 785.52	463.19	288.24	586.85	5 130
棠下涌	0.65	6.62	5 025.36	702.84	938.22	1 986.31	8 660
车陂涌	1.48	8.01	8 145.86	1 030.23	1 068.78	2 025.64	12 280

比较河涌底泥、悬浮物不同形态磷质量比可知 ,悬浮物各形态磷质量比整体上均比底泥样品高 ,这可能与悬浮物中颗粒物的平均粒径较小、而比表面积较大、对磷的物理吸附能力较强有关。而悬浮物中 P_{org} 质量比占 TP 的比重比底泥样品要高 ,则有可能是因为悬浮物中生物较高导致的。具体原因有待进一步研究。

3 结 论

a. 10 条河涌上覆水氨氮质量浓度为 6.2 ~

22.4 mg/L ,总氮质量浓度为 8.18 ~ 25.60 mg/L ;间隙水氨氮质量浓度为 19.9 ~ 152.0 mg/L ,总氮质量浓度在 21.8 ~ 154.0 mg/L。上覆水以及间隙水的氮污染 ,主要是无机氮 ,分别占总氮的 70% 和 90% 以上 ;而在“三氮”中 ,又以氨氮占绝对多数 ,占总无机氮的 90% 以上。10 条河涌的氨氮和总氮质量浓度之间表现出很强的相关性 ,但是上覆水的氨氮和总氮质量浓度与其间隙水的氨氮和总氮质量浓度之间 ,不存在明显的相关性 ,可见就氮污染来说 ,底泥间隙水对上覆水的氮污染影响不是最直接的。

b. 6 条河涌上覆水总磷质量浓度为 1.38 ~ 2.53 mg/L ,可溶性正磷酸盐质量浓度为 0.97 ~ 1.81 mg/L ,占总磷的 70% ~ 80% ,总有机磷质量浓度较低 ,为 0.06 ~ 0.34 mg/L ,约占总磷的 5% ~ 14% ;底泥间隙水与上覆水磷形态差异较大 ,间隙水中可溶性正磷酸盐与总磷具有较好的相关性。

c. 6 条河涌底泥总磷质量比为 2 550 ~ 4 210 mg/kg ,底泥中可溶性磷、铝结合磷质量比较低 ,铁结合磷质量比较高 ,为 1 597.46 ~ 2 678.45 mg/kg ,约占总磷的 60%。悬浮物中各形态磷质量比 ,较底泥中高得多 ,悬浮物总磷质量比为底泥总磷的 1.64 ~ 3.21 倍 ;有机磷质量比为底泥总磷的 3.11 ~ 5.26 倍。

参考文献：

[1]李明光,钟继洪,李淑仪,等.广州市河涌底泥污染现状调查与评价[J].广州环境科学,2005,20(4):1-5.
 [2]袁秀丽,阎薇莉.广州市河涌截污方案探讨[J].中国给水排水,2003,19(7):91-92.
 [3]陈永红,陈军,王娟,等.淮河(淮南段)底泥内源氮释放的模拟实验研究[J].土壤学报,2005,42(2):343-346.
 [4]胡俊,刘永定,刘剑彤.滇池沉积物间隙水中氮、磷形态及相关性的研究[J].环境科学学报,2005,25(10):1391-1396.
 [5]朱江,周永欣,葛虹,等.离心力对制备沉积物间隙水中化合物浓度的影响[J].水生生物学报,2003,27(5):487-491.
 [6]张水元,刘瑞秋,黎道丰,等.保安湖沉积物和间隙水中氮和磷的含量及其分布[J].水生生物学报,2000,24(5):434-438.
 [7]刘素美,张经.沉积物间隙水的集中制备方法[J].海洋环境科学,1999,18(2):66-71.
 [8]国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2003.
 [9]RUTTENBERG K C. Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments[J]. Limnology and Oceanography,1992,37(7):1460-1482.

(下转第 35 页)

段内,该区段内单井涌水量可达 $2\,500\sim 4\,600\text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$,有利于迅速开采地下水,因此可在该区段内河道两侧布设开采井,进行地下水的集中开采。冲洪积扇单井涌水量可达 $2\,000\sim 4\,000\text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$,地下水库的开采应根据需水状况,实行集中开采与分散开采相结合的开采模式。

前山带地下水库补给工程应集中在山间洼地中上部靠近天山地段。该区段含水层砂粒颗粒粗大、渗透性良好,渗透系数一般为 $20\sim 60\text{ m/d}$,最大可达 100 m/d ,宜采用拦洪坝、渗坑、渗井等措施,在丰水期将地下水回补地下水库。冲洪积扇地下水库则应该位于玛纳斯电厂至红山嘴的戈壁砾石带,该区段内渗透系数 $20\sim 60\text{ m/d}$,最大可达 $80\sim 120\text{ m/d}$,可利用渗井、渗坑、拱水坝等将地表水补给地下水库。在建设地下水库的采补工程后还应该建设适当的输水工程,将水通过配套输水工程输送到用水单位。

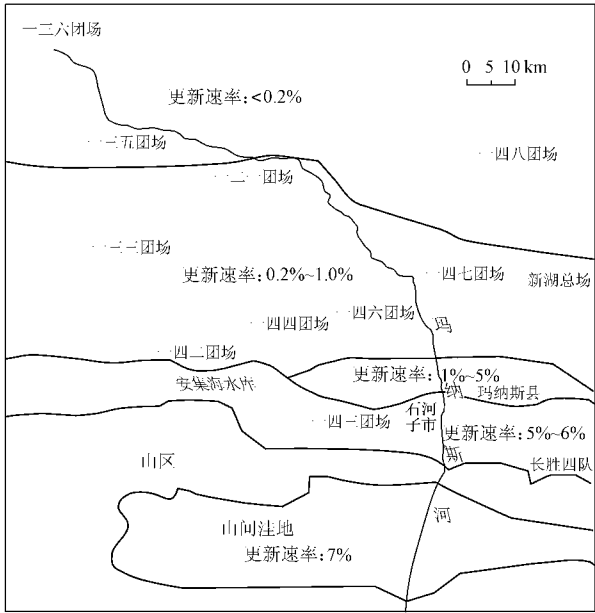


图6 玛纳斯河流域地下水更新速率分区图^[5]

4 结 语

玛纳斯河流域地下水库调蓄空间巨大,山前带山间洼地地下水库可调库容为 20.4 亿 m^3 ,冲洪积扇地下水库可调库容为 6.3 亿 m^3 。蓄水和采水能力都很强,调蓄水源集中充沛,具有建设地下水库得天独厚的条件,通过适当的采补工程就能够将夏季的洪水资源进行调蓄,缓解春秋两季的用水紧张面,投资小效益大,具有良好的经济、社会、环境效益。

参考文献:

[1] 赵天石. 关于地下水库几个问题的探讨[J]. 水文地质与工程, 2005(5): 65-67.
[2] 刘允敬. 新疆玛纳斯河流域规划平原区水文地质勘察报

告[R]. 新疆昌吉: 新疆第二水文地质大队, 1995.

[3] 李俊亭. 玛纳斯河流域山前地带含水层调蓄能力调查评价任务书[R]. 西安: 长安大学, 2004: 1-3.
[4] 新疆第二水文地质大队. 玛纳斯电厂水源地详勘报告[R]. 新疆昌吉: 新疆第二水文地质大队, 1995.
[5] 王杰. 天山北麓地下水水环境同位素研究[R]. 西安: 长安大学, 2006.

(收稿日期 2008-06-24 编辑 高渭文)

(上接第 31 页)

[11] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 23-97.
[12] CARDONA A, CARRILLO-RIVERA J J, HUIZAR-ALVAREZ R, et al. Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico[J]. Environmental Geology, 2004(45): 350-366.
[13] 卞学洛. 天津市深层淡水井的水质咸化分类: 以东丽区为例[J]. 地下水, 2008, 30(1): 15-20.
[14] SALAMA R B, OTTO C J, FITZPATRICK R W. Contributions of groundwater conditions to soil and water salinization[J]. Hydrogeology Journal, 1999(7): 46-64.
[15] 于静洁, 宋献方, 刘相超, 等. 基于 δD 和 δO 及水化学的永定河流域地下水循环特征解析[J]. 自然资源学报, 2007, 22(3): 415-417.
[16] 毛献忠, 朱小敖, 陈雨源, 等. 沿海堵港蓄淡水水库加快水体淡化措施的研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(6): 773-777.
[17] JALALI M. Salinization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example from Tajarak, Western Iran[J]. Environmental Geology, 2007(52): 1133-1149.

(收稿日期 2008-12-27 编辑 高渭文)

(上接第 28 页)

[10] JURIS A. Seasonal variations in phosphorus species in the surface sediments of the Gulf of Riga, Baltic Sea[J]. Chemosphere, 2001, 45: 827-834.
[11] 叶恒朋, 陈繁忠, 盛彦清, 等. 覆盖法控制城市河涌底泥磷释放研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(2): 262-268.
[12] HERODEK S, ISTVNOVICS V. Mobility of phosphorus fractions in the sediments of Lake Balator[J]. Hydrobiologia, 1986, 13(5): 149-154.
[13] 扈传昱, 潘建明, 刘小涯. 珠江口沉积物中磷的赋存形态[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(4): 21-25.

(收稿日期 2008-07-03 编辑 高渭文)