



铀浓度和不平衡 U^{234}/U^{238} 比值 在厦门湾海洋水文学 研究中的应用*

夏 明 张承蕙

(中国科学院地质研究所)

周秀云

(中国科学院地球化学研究所)

应用水中 U^{234}/U^{238} 比值研究地下水的运动、湖泊水体流动方向、内陆海湖成因和年龄在文献^[2-8]已有报道。本文是应用铀浓度和 U^{234}/U^{238} 比值在表层水的分布以研究水动力学的特征,讨论海湾区咸淡水混合程度和规模。

一、本区的水文和地质环境

厦门港位于福建厦门岛南、九龙江口外,东与台湾省隔海峡相望,是一深水不淤良港。厦门港又分为内、外港区。

九龙江由北溪、西溪和南溪三支流组成。主要支流是北溪和西溪,其水文特征值列入表1。南溪水流量较小。西溪自建晋西大闸后咸潮到达闸前,北溪到达江东桥^[1]。

本区属亚热带温暖潮湿的海洋性季风气候。平均年降雨量为1000—2200毫米;5—6月份降水最多,夏秋(7—9月)多台风,有时伴有暴雨。

久雨后,九龙江充沛的淡水经口湾和厦门

港入海,形成了港湾内咸淡水的混合区。

九龙江流域和厦门岛的基岩多为燕山期花岗岩。受地形和气候条件的控制,水流急湍,多峡谷险滩,水量丰富,含沙量小。

图1标志出采水样的位置。一个剖面布在厦门内港、鼓浪屿岛以北,站位编号为8、9和10。另一剖面是沿九龙江入海方向,站位编号是3、4、5、6和7;九龙江西溪的漳州市河水样(站位1);北溪郭坑的河水样(站位2)。所有水样均为表层水。港湾内3—10站位取样点平均水深为14米,水深最浅的3号站位只有7米。

二、水样处理和实验程序

1. 在港湾内取表层水样的时间是1981年5月20—25日,取水样10升后立即在海洋局三所实验室进行氢氧化铁共沉淀;准确加入 U^{232} — Th^{228} 平衡示踪剂,弃掉清液,只将沉淀物带回北京铀系实验室进行分离测试。在上述实

表1 九龙江北、西溪水文特征值

支流名称	观察年份	集水面积 (平方公里)	平均年流量 (立方米/秒)	年径流量 (亿立方米)	最大流量 (立方米/秒)	最小流量 (立方米/秒)	年平均水位 (米)
北 溪	1950—1970	8490	258	81.39	8574	21.10	12.97
西 溪	1951—1970	3419	116	36.57	4653	2.78	14.23

* 国家海洋局第三海洋研究所考察船协助取水样,该所二室提供了化学实验条件;中国科学院地质研究所马志帮同志进行 α 谱测试和数据处理工作,特此一并致谢。

1) 福建省地质局,1974。1/20万水文地质调查报告说明书。

验中,我们十分注意赶 CO_2 ,共沉淀的条件为 $\text{pH}=8$,已知浓度的示踪剂(11.366dpm/g)放入2毫升。

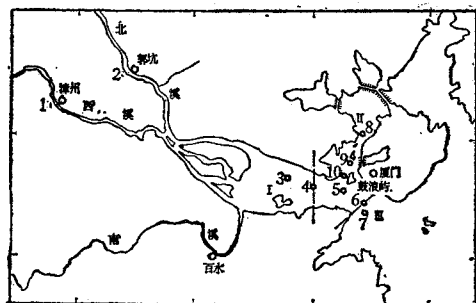


图1 厦门港湾水样取样点位置

2. 离心、盐酸溶解、异丙醚萃取铁。 8NHCL 上阴离子交换柱(AG1型), 0.1NHCL 洗脱铀。调 $\text{pH}=3.5$ TTA萃取点源,烧去有机质。

3. 铀同位素 α 谱是用金硅面垒探测器加多道分析器在真空条件下测试的。仪器的能量分辨率为 50KeV ,测试时间在50小时以上。铀同位素比值是经过校正后用峰面积下总计数之比,以强度为单位^[1],铀浓度是按 α 谱法公式计算的^[1]。

三、测试结果

本区表层水样按上述实验程序的分析测试,数据列入表2。

以 $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ 比值与铀浓度为函数作图2,标准洋水中铀浓度取 3.35微克/升 , $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ 取 1.15 ± 0.03 。

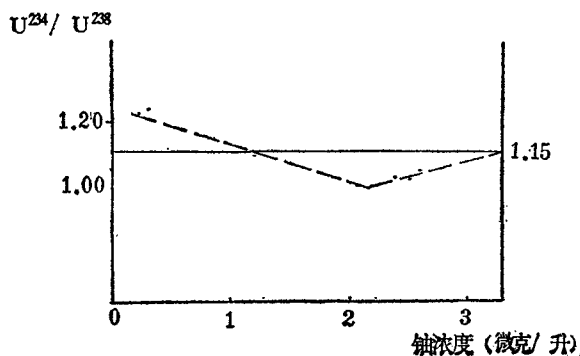


图2 混合水中 $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ 比值与铀浓度变化关系

表2 各站位表层水中的铀浓度和 $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ 比值

站 位	位置		水的 类型(微克/升)	铀浓度	$\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ (强度比)
	东 经	北 纬			
1	漳州市		淡水	0.29 ± 0.02	1.18 ± 0.08
2	郭坑		淡水	0.21 ± 0.01	1.23 ± 0.06
3	$117^{\circ}58'$	$24^{\circ}26.5'$	咸水	1.20 ± 0.06	1.14 ± 0.05
4	$118^{\circ}00'$	$24^{\circ}25.5'$	咸水	2.03 ± 0.10	1.09 ± 0.05
5	$118^{\circ}03'$	$24^{\circ}26'$	咸水	2.03 ± 0.15	1.09 ± 0.05
6	$118^{\circ}05'$	$24^{\circ}25'$	咸水	2.17 ± 0.09	1.13 ± 0.03
7	$118^{\circ}05'$	$24^{\circ}24'$	咸水	2.58 ± 0.13	1.12 ± 0.05
8	$118^{\circ}04.5'$	$24^{\circ}30.5'$	咸水	2.53 ± 0.45	1.107 ± 0.18
9	$118^{\circ}03.5'$	$24^{\circ}28'$	咸水	2.38 ± 0.15	1.10 ± 0.06
10	$118^{\circ}03'$	$24^{\circ}27'$	咸水	2.51 ± 0.14	1.09 ± 0.05

从表2和图2可以得出下列几点看法。

1. 九龙江河水中铀浓度很低,波动在 $0.2-0.3\text{微克/升}$ 之间, $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ 比值略高。考虑到北溪和西溪在九龙江口汇合后径流量的比例关系(表1),淡水铀平均浓度为 0.24微克/升 , $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ 比值为 1.22 。近于世界河流的平均值^[6]。

2. 被研究的水域内,8个咸水表层样中铀浓度和 $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ 比值均小于洋水公认的平均值。除3号站位外,铀浓度介于 $2-2.6\text{微克/升}$ 之间,而 $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ 比值为 $1.09-1.14$ 。

3. 东西剖面(从1和2号站位开始到7号站位)铀浓度由低逐渐升高, $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ 比值由高到低再升高(见图2),表明水体由淡水和咸水混合形成。厦门内港的南北剖面(8—10站位)表层水的铀浓度和 $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ 比值近于一致,说明混合后的水体流动性差。

4. 第5号站位是东西和南北两个剖面的汇合处,铀浓度仅为 2.03微克/升 , $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ 为 1.09 ,是受东西剖面控制,也就是说,受九龙江水入海径流方向控制。

由此可得出结论:被研究地区是强烈混合

1) 夏明、周秀云, α 谱法测定微量铀、钍含量的研究。地球化学,待刊。

型水域。那么混合程度如何？为什么较高铀同位素比值的水系混合后，混合水中 U^{234}/U^{238} 比值又低了呢？

四、讨 论

假定参于混合的各组份应有明显区别的铀浓度和 U^{234}/U^{238} 比值；混合后的水体是均质的，应在较短的时间内达到均匀混合；混合后水体的铀没有因淋滤、沉淀等过程而损失。在这些假定前提下，可根据质量守恒方程，计算混合水体中各组份体积比等要素。

1. 双组份（两体系）模式

设一个组份是洋水， C_1 表示铀浓度，为

3.35微克/升， $(U^{234}/U^{238})_1$ 等于 1.15 ± 0.03 ， V_1 为该组份的体积。另一组份是河水， C_2 、 $(U^{234}/U^{238})_2$ 和 V_2 分别表示上述各物理量，则两组份混合后的体积 V_3 和总铀量 $V_3 \cdot C_3$ 有下列关系式：

$$V_1 + V_2 = V_3 \quad (1)$$

$$V_1 \cdot C_1 + V_2 \cdot C_2 = V_3 \cdot C_3 \quad (2)$$

或者

$$\frac{V_2}{V_3} = \eta = \frac{C_3 - C_1}{C_2 - C_1} \quad (3)$$

按公式 (3) 可以计算出表层混合水（在取样的时间）中河水占总体积的百分比 η （表 3）。

表 3 各站位表层水中计算的体积比、 U^{234} 浓度和 U^{234} 过剩

站 位	η (%)	C_3 (微克/升)	$C_3 \cdot (U^{234}/U^{238})_3$ (U^{238} 当量)	$(U^{234}_{过剩})_3$	备 注
3	69.1	1.20	1.37	0.168	标准洋水： $C_1(U^{234}/U^{238})_1 = 3.853$ 九龙江河水： $C_2(U^{234}/U^{238})_2 = 0.26$
4	42.4	2.03	2.21	0.183	
5	42.4	2.03	2.21	0.183	
6	37.9	2.17	2.45	0.282	
7	24.8	2.58	2.89	0.310	
8	26.4	2.53	2.80	0.271	
9	31.2	2.38	2.64	0.259	
10	27.0	2.51	2.73	0.216	

$$U^{234}_{过剩} = (U^{234}/U^{238} - 1) \cdot C \quad (U^{238} \text{ 当量})$$

计算结果表明，厦门内港鼓浪屿以北的混合水中海水占总体积约 70%。东西剖面离岸最远的 7 号站位表层水中海水占 75%，沿这个剖面，咸淡水的混合程度见图 3。

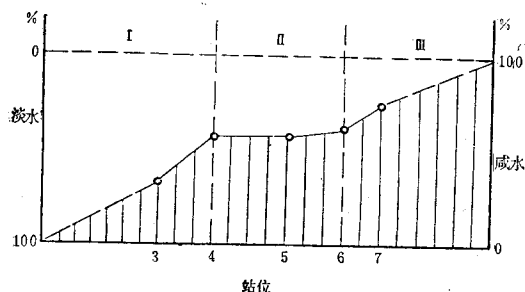


图 3 东西剖面（河水-3-7-海水）咸淡水混合之体积比

不难看出，可以把被研究水域按咸淡水混合程度和水动力学特征划分三个区（见图 3、1）。

I 区（内区），从北、西溪汇集处到第 4 号站位，以淡水为主；淡水体积在 3 号站位占 70%，这是一个强烈混合区。随着季节、涨潮落潮，该区会在东西向有所漂动。

II 区（中区），在 4—6 站位之间。咸水占 60%，在取样的时刻，淡水进入该区和流出该区的量近于一致。厦门内港鼓浪屿岛以北也属该区，但咸水占 70%。

III 区（外区），从 6 号站位往东，有可能至台湾海峡，混合水的特性是逐渐趋于海水的平均值。由于不能取水样，无法判断海峡水是

否仍受九龙江淡水的影响。

2. 本区内不平衡 U^{234}/U^{238} 比值

混合水体中铀同位素比值均小于1.15 (见表2), 形成这种局面有可能是地下水的巨量补给, 或者南溪水的大量补充, 或者特大的降雨量, 其前提也必然是这些补给水中 U^{234}/U^{238} 比值应少于1.15。

作者认为, 混合水体中 U^{234}/U^{238} 比值低是九龙江北、西溪径流造成的。被研究水域, 除10号站位以北流动性很差的水体 (被称为“死水”) 外, 沿东西剖面, 由东经 $117^{\circ}53'$ 以东至河口入海 (以6号站位为端点引出水流方向的垂直线), 大致估计的容积为10.3亿立方米, 其中淡水约占4.75亿立方米。按表1北、西二支流月平均流量之和9.83亿立方米计算, 提供4.75亿立方米淡水需半个月。假如以二支流最大流量计算, 每天径流量为11.4亿立方米, 仅10小时就可以提供被研究水域内的全部淡水。可见九龙江水径流是被研究水域淡水的主要来源。

从水文地质情况而言, 九龙江河水流域出露的主要是酸性喷发岩, 由于地形陡峭, 久雨形成急流, 流速快, 来不及溶解岩石中更多的铀, 河水铀浓度如此之低就是证据。降雨水中的 U^{234}/U^{238} 比值近于 (或稍大) 平衡值。特别是在雨季, 九龙江北、西溪提供了含低浓度和较低铀同位素比值的充足水量。

类似式 (2), 可以列出:

$$\begin{aligned} M_1(U^{234}/U^{238})_1 + M_2(U^{234}/U^{238})_2 \\ = M_3(U^{234}/U^{238})_3 \quad (4) \\ (U^{234}/U^{238})_2 = \\ \frac{C_3(U^{234}/U^{238})_3 - C_1(1-\eta)(U^{234}/U^{238})_1}{C_2 \cdot \eta} \quad (5) \end{aligned}$$

式中, M 代表总铀量, $M = C \cdot V$,

$$\eta = \frac{V_2}{V_3}.$$

理论上, 可用 (5) 式计算出形成厦门湾的混合水体中, 九龙江供给淡水中的 U^{234}/U^{238} 比值。以3号站位为例, 按 (5) 式计

算, 大约为1.07。

各站位的 U^{234} 和 U^{238} 浓度, 即 $C \cdot (U^{234}/U^{238})$ 计算数值也列入表3。以 U^{238} 当量单位表示 U^{234} , 则与 U^{238} 浓度的函数关系反映在图4。可见混合水体的平均 U^{234}/U^{238} 比值近于1.10。

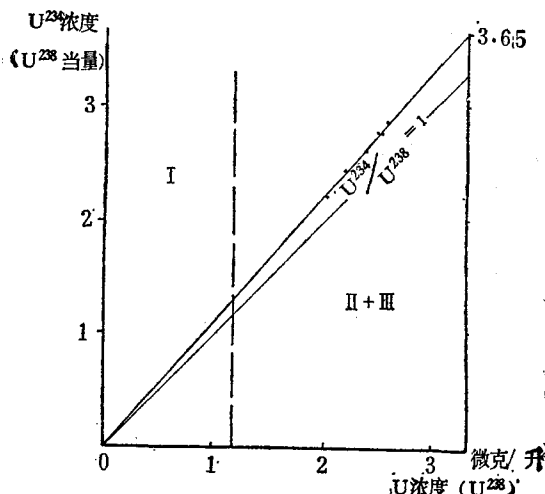


图4 各站位表层水中 U^{234} 与 U^{238} 的函数关系

I区内, 尽管河水中铀浓度很低, 然而淡水的体积比咸水大, 两组份的总 U^{234} 量 (或总铀量) 均有一定的贡献, 较易获得可靠的计算结果。II区和III区内, 淡水份额很小, 总 U^{234} 量 (或总铀量) 则更少, 要求相当精确的测试数据, 才能应用 (4) 式计算出较为可靠的铀浓度和 U^{234}/U^{238} 比值。当然, 不排除厦门外港至台湾海峡的水并非标准海水, 而是含有少量淡水的混合型海水 ($C \cdot (U^{234}/U^{238}) = 3.65$) 的可能性; 也不排除由于淡水和咸水强烈交换, 或以机械方式, 或以化学方式 (有机吸附、 $CaCO_3$ 沉淀) 使混合水中的铀失掉约5%的可能性。

五、结 语

1. 应用水中铀浓度和不平衡 U^{234}/U^{238} 比值开展了河海水交汇处水文学课题的研究。两组份模式对于解释和讨论九龙江口和厦门港咸淡水混合程度和规模是适用的。

2. 被研究水域可能是在雨季由九龙江径

流带来大量较低铀浓度和较低 U^{234}/U^{238} 比值的淡水与海水混合形成的。从西至东,淡水比例越来越小,根据模式计算,可划分为内、中、和外三个区,反应不同水动力学特征。

采用在原地从大体积(10升以上)水样中氢氧化铁共沉淀铀和钍方法及室内离子交换分离海水中铀和钍的流程是成功的。

3. 尽管本文数据有限,但铀浓度和 U^{234}/U^{238} 比值所勾划出的基本轮廓,为今后这方面的研究和应用提供了思路和解释方法。

主要参考文献

[1] 夏明等, 1979. 中国科学8: 792—799.

[2] 契尔登采夫, 1975. U^{234} 及其在地质学中的应用. 原子能出版社, 258页。

[3] Osmond, J. K. et al, 1974, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 38: 1083—1100.

[4] Osmond, J. K. et al, 1976. *Atomic Energy Review* 14(4): 621—679.

[5] Rydell, H. S. et al, 1973. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 37: 2557—2575.

[6] Зверев, В. Л идр., 1980. радионуклидная геохимия. стр. 201.

[7] Чалов, П. И идр., 1970. Геохимия 7: 848—853.

[8] Чалов, П. И идр., 1981. Исследование природных вод изотопными методами. “наука” стр. 181—188.

URANIUM CONCENTRATION AND U^{234}/U^{238} DISEQUILIBRIUM IN WATER AS AN AID TO HYDROLOGIC STUDY OF THE XIAMEN BAY

Xia Ming and Zhang Chenghui

(*Institute of Geology Academia Sinica*)

Zhou Xiuyun

(*Institute of Geochemistry Academia Sinica*)

Abstract

The concentration of dissolved uranium and the relative abundance of two uranium isotopes, U^{234} and U^{238} , in water samples from the Jiu Longjiang River and the Xiamen Bay, Fujian province, have been determined and, by use of these parameters, the relative volume proportions of mixed water have been calculated in this paper.

Ten surface water samples collected from two water sources in the studied area during May, 1981 are analyzed by using alphaspectrometric method. Jiu Longjiang River water itself contains an average of about $0.24\mu\text{g}/\text{l}$ U with active ratio of 1.22. Eight samples from surface water mixture varied from 1.20 to $2.60\mu\text{g}/\text{l}$ with A. R. from 1.09 to 1.14.

Analytical data show that the river-sea system provides excellent test on the mixing equations of two components. According to this mixing model, three water association sectors have been divided on the basis of the distribution of uranium and isotopic data.

These initial data, although limited, provide an interesting insight into future potential research.