

# 北京大气降水中氚时间序列的恢复

翟远征<sup>1,2</sup>, 郭 慧<sup>1,2</sup>, 滕彦国<sup>1,2,\*</sup>, 王金生<sup>1,2</sup>

(1. 北京师范大学 水科学研究院, 北京 100875;

2. 地下水污染控制与修复教育部工程研究中心, 北京 100875)

**摘要:** 20世纪60年代全球密集核试验使大气中的氚含量显著增加, 这为其在水循环研究中的应用, 尤其在地下水定年研究中的应用提供了条件。然而, 由于监测站点的布设等原因, 大部分地区缺乏大气降水中氚的长期监测数据, 给应用带来了困难。本文在分析现有大气降水氚时间序列恢复方法的原理和适用条件等的基础上, 用多种方法(关秉钧法、趋势面分析法、三角形插值法和相关法)联合恢复了北京1953—2002年大气降水中的氚时间序列数据, 并通过比较确定了最优算法和最优恢复曲线。

**关键词:** 北京; 大气降水; 氚; 同位素

中图分类号: P598; P641

文献标志码: A

文章编号: 1000-6931(2013)09-1661-04

doi: 10.7538/yzk.2013.47.09.1661

## Reconstruction of Tritium Time Series in Precipitation of Beijing

ZHAI Yuan-zheng<sup>1,2</sup>, GUO Hui<sup>1,2</sup>, TENG Yan-guo<sup>1,2,\*</sup>, WANG Jin-sheng<sup>1,2</sup>

(1. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Engineering Research Center of Groundwater Pollution Control and Remediation,

Ministry of Education, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Human nuclear activities, especially intensive nuclear tests during the 1960s in the world, caused atmospheric tritium concentration increasing significantly, which provided convenient condition for global water cycle research, especially for tracer dating research of groundwater. However, due to the layout of monitoring sites and other reasons, most parts of the world are lack of monitoring data of tritium concentration in precipitation, which brought difficulties in determining the input function which is essential for groundwater tracer dating technique. Based on the analysis of principles and applicability of present reconstruction methods of tritium time series, the tritium time series in precipitation in Beijing during 1953—2002 was reconstructed using combined methods, including Guanbingjun method, trend surface analysis method, trigonometric interpolation method and correlation method. Furthermore, the best method and the best time series curve were elected through comparison of results of different methods.

收稿日期: 2012-03-17; 修回日期: 2012-08-15

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(105565GK); 国家自然科学基金资助项目(41302179)

作者简介: 翟远征(1983—), 男, 河南巩义人, 讲师, 博士, 地下水科学与工程专业

\* 通信作者: 滕彦国, E-mail: teng1974@163.com

**Key words:** Beijing; precipitation; tritium; isotope

氚( $^3\text{H}$ )是氢的一种放射性同位素(半衰期为12.32 a), $^3\text{H}$ 测定技术<sup>[1]</sup>的发展推动了其在环境研究等领域的应用<sup>[2]</sup>。自从 Kaufman 等<sup>[3]</sup>提出 $^3\text{H}$ 可用于地下水定年以来,已被广泛用于地下水定年研究。二次世界大战后的10多年中,密集的核试验使大气中 $^3\text{H}$ 的含量显著增加,进而改变了其时空分布规律。在地下水定年之前,需知道大气降水中 $^3\text{H}$ 的含量,而很多地区缺少监测数据。该问题的解决办法有两种:1)直接采用有监测数据地区的数据;2)根据有监测数据地区的数据计算得到研究区的数据。由于大气降水中的 $^3\text{H}$ 含量存在显著的时空变化,因此第1种方法常会带来较大误差,甚至得出错误结论;第2种方法虽可有效地减小误差,但工作量较大。

本文根据有监测数据地区的数据,用多种方法恢复1953—2002年北京大气降水中的 $^3\text{H}$ 时间序列,并对不同方法得到的结果进行横向对比,从而识别出适用于该地区的最优算法和最优曲线。

## 1 方法

目前,用于大气降水 $^3\text{H}$ 浓度序列恢复的常用方法有关秉钧法<sup>[4-6]</sup>、趋势面分析法<sup>[4]</sup>、多元线性回归法<sup>[7]</sup>、三角形插值法和相关法<sup>[4]</sup>等。这些方法的具体步骤可参见文献<sup>[8]</sup>。

## 2 研究区概况

### 2.1 地理概况

北京地处华北平原西北隅,东北部、北部和西部为群山环绕,东南部和南部为平原,地理坐标为 $115^{\circ}25' \sim 117^{\circ}30' \text{E}$ , $39^{\circ}28' \sim 41^{\circ}05' \text{N}$ ,平原区面积约 $6\,400 \text{ km}^2$ ,平均海拔43.5 m,属温带大陆季风气候,多年平均气温 $11.7^{\circ}\text{C}$ ,多年平均降水量585 mm,多年平均蒸发量 $1\,200 \text{ mm}$ 。

### 2.2 已有实测数据

截至目前,已公开的资料文献中,1953—2002年间北京大气降水中 $^3\text{H}$ 含量的实测数据列于表1,监测地点位于北京市平原区中部。

表1 北京大气降水中 $^3\text{H}$ 含量实测数据

Table 1 Monitoring tritium data in precipitation of Beijing

年份	$^3\text{H}$ 浓度/TU												
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	月均
1978	—	—	—	—	223	—	—	—	—	—	—	—	223
1979	—	69.2	111.0	108.0	128.0	89.0	—	—	—	—	—	—	101.0
1980	—	66.0	78.0	83.7	61.6	60.5	113.0	89.2	87.9	60.8	—	65.8	76.7
1983	—	—	61.9	67.0	48.8	68.9	70.8	20.8	39.3	61.1	—	—	54.8
1984	—	—	—	—	—	38.3	13.2	56.4	59.4	—	—	—	41.8
1985	—	—	—	55.3	35.9	38.6	14.2	18.8	—	—	—	—	32.6

注:—表示缺测;1978年、1979—1980年及1983—1985年数据分别来自文献<sup>[9]</sup>、<sup>[10]</sup>和<sup>[11]</sup>

## 3 结果

### 3.1 关秉钧法计算结果

关秉钧法给出的 $40^{\circ} \sim 44^{\circ}$ 纬度带和 $35^{\circ} \sim 39^{\circ}$ 纬度带范围内的计算方程的时间段为1963—1978年,且北京位于这两个纬度带的过度带上。基于严谨性考虑(下同),本次研究也只恢复北京1963—1978年大气降水中的 $^3\text{H}$ 时间序列(图1)。

### 3.2 趋势面分析法计算结果

根据趋势面分析法的基本原理,本次选择

北京周边的韩国浦项(Pohang)、日本东京(Tokyo)、俄罗斯伊尔库茨克(Irkutsk)、俄罗斯雅库茨克(Yakutsk)和中国香港(Hongkong)1969—1976年大气降水的 $^3\text{H}$ 含量监测数据,建立二维趋势面方程,计算结果示于图1。

### 3.3 三角形插值法计算结果

选择北京周围大气降水中的 $^3\text{H}$ 含量监测数据,时间段为1969—1976年,监测站点为俄罗斯伊尔库茨克站(Irkutsk)、俄罗斯雅库茨克站(Yakutsk)和中国香港(Hongkong)。采用

三角形插值法,得到北京 1969—1976 年大气降水中的<sup>3</sup>H 时间序列(图 1)。

### 3.4 相关法计算结果

关秉钧法、趋势面分析法和三角形插值法均受实测数据监测时间的限制,所以分别将上述各方法恢复的<sup>3</sup>H 时间序列与加拿大渥太华的数据进行相关性分析(表 2)。

将渥太华 1953—2002 年大气降水中的<sup>3</sup>H 时间序列分别代入以上相关方程,即可得出关秉钧法、趋势面分析法和三角形插值法恢复的 1953—2002 年北京大气降水中的氚时间序列(图 2)。

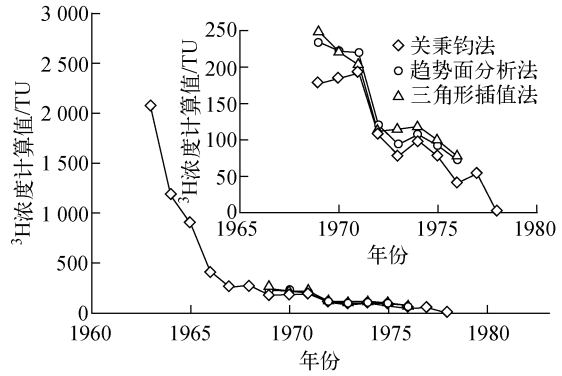


图 1 3 种方法恢复的北京大气降水中的<sup>3</sup>H 时间序列  
Fig. 1 Tritium time series in precipitation of Beijing calculated by three methods

表 2 不同方法恢复的北京数据与渥太华监测数据之间的相关性

Table 2 Correlationship between reconstruction results of Beijing and monitoring data in Ottawa

恢复方法	数据年份	相关性方程	R <sup>2</sup>
关秉钧法	1963—1978	$T = 0.727 1T_0 + 44.725$	0.975 7
趋势面分析法	1969—1976	$T = 0.927 3T_0 + 22.295$	0.950 1
三角形插值法	1969—1976	$T = 0.879 8T_0 + 31.735$	0.977 7

注: T<sub>0</sub> 为渥太华的<sup>3</sup>H 监测数据

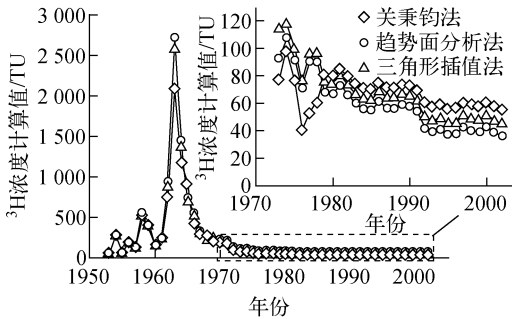


图 2 3 种方法联合相关法恢复的北京大气降水中的<sup>3</sup>H 时间序列

Fig. 2 Tritium time series in precipitation of Beijing obtained from three different methods combined with correlation method

## 4 讨论

以上研究中采用了 4 种方法对北京 1953—2002 年大气降水中的<sup>3</sup>H 时间序列进行了恢复。为了检验恢复结果的可靠性,进而识别出与实际情况最接近的 1 组结果,将恢复结果与相应年份北京的实测数据进行比较,两者差别越小,则恢复结果越可靠(表 3)。其中,表 1 中 1978、1984 和 1985 年的数据未参与相对

误差计算,因为这些年份的实测月份太少,平均值不能代表全年的情况。对比结果显示,关秉钧法得到的结果最优,因此将该方法的结果作为研究区的结果。

表 3 不同方法恢复结果与北京实测值之间的误差  
Table 3 Relative error between reconstruction results and monitoring records in Beijing

计算方法	相对误差/%
关秉钧法	0.6
趋势面分析法	-15.8
三角形插值法	-24.9

## 5 结论

大气降水中的<sup>3</sup>H 时间序列的确定是地下水<sup>3</sup>H 示踪定年法应用的前提,但很多地区都缺少长期监测数据。本文用多种方法恢复了北京 1953—2002 年大气降水中的<sup>3</sup>H 时间序列,并经比较从中选出关秉钧法计算的结果作为北京的<sup>3</sup>H 时间序列。

### 参考文献:

[1] 郭文胜,邹乐西,李洁,等. 环境大气氚的测定技

- 术研究[J]. 原子能科学技术, 2007, 41(1): 125-128.
- GUO Wensheng, ZOU Lexi, LI Jie, et al. Testing technique analysis of tritium in atmosphere [J]. Atomic Energy Science and Technology, 2007, 41(1): 125-128(in Chinese).
- [2] 翟远征, 王金生, 左锐, 等. 地下水年龄在地下水研究中的应用研究进展[J]. 地球与环境, 2011, 39(1): 113-120.
- ZHAI Yuanzheng, WANG Jinsheng, ZUO Rui, et al. Progress in applications of groundwater ages in groundwater research[J]. Earth and Environment, 2011, 39(1): 113-120(in Chinese).
- [3] KAUFMAN S, LIBBY W. The natural distribution of tritium[J]. Physical Review, 1954, 93(6): 1 337-1 344.
- [4] 高淑琴. 河南平原第四系地下水循环模式及其可更新能力评价[D]. 长春: 吉林大学环境与资源学院, 2008.
- [5] 关秉钧. 我国大气降水中氚的数值推算[J]. 水文地质工程地质, 1986(4): 38-41.
- GUAN Bingjun. Calculation of tritium of precipitation of China[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1986(4): 38-41(in Chinese).
- [6] 关秉钧, 唐京春. 用环境同位素研究北京地区地下水及工业污染时空变化规律[J]. 水文地质工程地质, 1992, 19(5): 10-14.
- GUAN Bingjun, TANG Jingchun. Investigation on time and spatial changing rule of underground water and industrial pollutants in Beijing region by environmental isotope method[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 1992, 19(5): 10-14 (in Chinese).
- [7] 连炎清. 大气降水氚含量恢复的多元统计学方法: 以临汾地区降水氚值恢复为例[J]. 中国岩溶, 1990, 9(2): 157-166.
- [8] ZHAI Yuanzheng, WANG Jinsheng, GUO Hui, et al. Reconstruction and optimization of tritium time series in precipitation of Beijing, China[J]. Radiocarbon, 2013, 55(1): 67-79.
- [9] 卫克勤, 林瑞芬, 王志祥, 等. 我国天然水中氚含量的分布特征[J]. 科学通报, 1980(10): 467-470.
- WEI Keqin, LIN Ruifen, WANG Zhixiang, et al. Distribution characteristics of tritium of precipitation in China[J]. Chinese Science Bulletin, 1980(10): 467-470(in Chinese).
- [10] 卫克勤, 林瑞芬, 王志祥. 北京地区降水中的氚、氧-18、氡含量[J]. 中国科学 B 辑, 1982(8): 754-757.
- WEI Keqin, LIN Ruifen, WANG Zhixiang. Contents of  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  and  $^3\text{H}$  in precipitation of Beijing[J]. Science in China B, 1982(8): 754-757(in Chinese).
- [11] 王芸生, 许贵森, 关秉钧. 试论氚在水圈中的分布特征与中国境内的规律[J]. 地球学报, 1987, 9(1): 191-200.
- WANG Yunsheng, XU Guisen, GUAN Bingjun. The features and regularity of the distribution of tritium in the hydrosphere and in the territory of China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 1987, 9(1): 191-200(in Chinese).