

# 珠三角某市 2015 年出厂水中 化学污染物健康风险评价

邓春拓, 何伦发, 郭艳, 黄隽, 梁锡念, 吴惠刚

中山市疾病预防控制中心, 广东 中山 528403

**摘要:** **目的** 初步评估珠三角某市出厂水中化学污染物对人体健康产生的潜在风险。 **方法** 于 2015 年 1-12 月, 每个季度对珠三角某市 24 个市政水厂的出厂水中 5 种基因毒物质(砷、六价铬、镉、三氯甲烷和四氯化碳)和 12 种躯体毒物质(铅、汞、硒、氰化物、氟化物、硝酸盐、铁、氨氮、锰、铜、锌和挥发酚)进行检测, 采用美国国家环境保护局(US EPA)推荐的健康风险评价模型对上述 17 种化学污染物通过饮水途径所引起的健康风险做出初步评价。 **结果** 珠三角某市出厂水中 17 种化学污染物所引起的总健康风险为  $3.61 \times 10^{-5}/a$ , 致癌总风险为  $3.61 \times 10^{-5}/a$ , 非致癌总风险为  $155.02 \times 10^{-11}/a$ 。在致癌总风险和非致癌总风险中, 枯水期均高于丰水期, 普通滤池水厂均高于 V 型滤池水厂。个人致癌风险由高至低分别为六价铬>砷>三氯甲烷>镉>四氯化碳, 个人非致癌风险由高至低分别为氟化物>硝酸盐>铅>汞>硒>氨氮>铜>铁>氰化物>锰>锌>挥发酚。 **结论** 珠三角某市出厂水中 17 种化学污染物对人体健康产生的个人健康风险水平均在国际辐射防护委员会(ICRP)规定的最大可接受风险水平( $5.0 \times 10^{-5}/a$ )范围内。

**关键词:** 出厂水; 化学污染物; 健康风险评价; 基因毒物质; 躯体毒物质

**中图分类号:** R123.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-3110(2017)04-0425-04 DOI:10.3969/j.issn.1006-3110.2017.04.013

## Health risk assessment of chemical pollutants in finished water in a city of the Pearl River Delta, 2015

DENG Chun-tuo, HE Lun-fa, GUO Yan, HUANG Jun, LIANG Xi-nian, WU Hui-gang

Zhongshan Municipal Center for Disease Control and Prevention, Zhongshan, Guangdong 528403, China

**Abstract:** **Objective** To preliminarily evaluate the potential health risk of chemical pollutants in finished water in a city of the Pearl River Delta. **Methods** The concentrations of 5 genetic toxic substances (including As,  $Cr^{6+}$ , Cd,  $CHCl_3$  and  $CCl_4$ ) and 12 non-carcinogenic substances (Pb, Hg, Se,  $CN^{-1}$ ,  $F^{-}$ ,  $NO_3^{-}$ , Fe,  $NH_3-N$ , Mn, Cu, Zn and volatile phenol) in finished water from 24 centralized water supply systems in a city of the Pearl River Delta were determined in each quarter from January to December, 2015. The health risk of exposure to the above-mentioned 17 chemical pollutants through oral route was assessed according to the models recommended by the U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). **Results** The total health risk caused by the 17 chemical pollutants in the finished water in the city was  $3.61 \times 10^{-5}/a$ . The total carcinogenic risk was  $3.61 \times 10^{-5}/a$ , and the total non-carcinogenic risk was  $155.02 \times 10^{-11}/a$ . Both risk was higher in the dry period than in the rainy period, and the risk of the centralized water supply systems with conventional rapid filter were higher than that of the systems with V-filter. The carcinogenic risk caused by each genetic toxic substance was in the order of  $Cr^{6+} > As > CHCl_3 > Cd > CCl_4$ . The non-carcinogenic risk caused by each non-carcinogenic substance was in the order of  $F^{-} > NO_3^{-} > Pb > Hg > Se > NH_3-N > Cu > Fe > CN^{-1} > Mn > Zn > volatile phenol$ .

**Conclusions** The health risk caused by the 17 chemical pollutants in the finished water in a city of the Pearl River Delta in 2015 is below the maximal acceptable risk value ( $5.0 \times 10^{-5}/a$ ) recommended by International Commission on Radiological Protection.

**Key words:** finished water; chemical pollutant; health risk assessment; genetic toxic substance; non-carcinogenic substance

水是人类生存和经济社会发展的基本需求, 饮用水卫生安全关系到广大人民群众身体健康和生命安

**基金项目:** 中山市科技计划项目(2015B1015)

**作者简介:** 邓春拓(1978-), 男, 广东徐闻人, 本科学历, 副主任医师, 主要从事环境卫生监测工作, E-mail: 13531810898@163.com。

全。近年来, 饮用水的化学污染日益严重, 越来越受到了公众的关注和政府的重视。有研究表明, 人类 90% 的癌症系化学致癌物引起, 环境污染已成为影响人类健康和死亡的四大主要因素之一<sup>[1]</sup>。健康风险评价(health risk assessment, HRA)是以风险度作为评价指标, 将环境污染程度与人体健康联系起来, 定量描述污

染物对人体产生健康危害的一种评价方法,主要针对环境中基因毒物质和躯体毒物质进行评价。本研究于 2015 年 1-12 月对珠三角某市辖区内全部 24 个市政水厂的出厂水进行检测,应用美国国家环境保护局 (US EPA) 推荐的健康风险评价模型<sup>[2]</sup>对出厂水中化学污染物通过饮水途径所引起的健康风险做出初步评价。

## 1 对象与方法

1.1 检测对象 选择珠三角某市全部 24 个市政水厂的出厂水作为检测对象。于 2015 年 1-12 月,分别于枯水期(1-3 月及 11-12 月)、丰水期(4-10 月)<sup>[3]</sup>对 24 个市政水厂的出厂水进行采集和检测,在枯水期、丰水期各采样 2 次,共采集到 96 份出厂水水样。

1.2 水样采集、保存及检测 水样的采集、保存及检测按照 GB/T 5750-2006《生活饮用水卫生标准检验方法》进行。

1.3 检测指标 检测指标包括基因毒物质(砷、六价铬、镉、三氯甲烷和四氯化碳)和躯体毒物质(铅、汞、硒、氰化物、氟化物、硝酸盐、铁、氨氮、锰、铜、锌和挥发酚)。

1.4 评价标准 检测结果按照 GB/T 5749-2006《生活饮用水卫生标准》进行评价。

### 1.5 健康风险评价<sup>[4]</sup>

1.5.1 基因毒物质的健康风险评价 对于基因毒物质,致癌风险通常用风险值(risk,  $R$ )表示,表示由于暴露而导致的个人致癌风险,按照(1)~(3)计算:

$$D_i = 2.0 \times C_i / 60 \quad (1)$$

$$R_i = [1 - \exp(-D_i q_i)] / 70 \quad (2)$$

$$R_T = \sum R_i \quad (3)$$

$D_i$ -某种毒物通过饮水途径的暴露剂量  $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ; 2.0-成人每日平均饮水量,  $\text{L}/\text{d}$ ;  $C_i$ -某种毒物在水中的浓度,  $\text{mg}/\text{L}$ ; 60-成年人平均体重,  $\text{kg}$ ;  $R_i$ -某种基因毒物质通过饮水途径产生的个人致癌风险,  $/\text{年}$ ;  $q_i$ -某种基因毒物质通过饮水途径致癌系数,  $(\text{kg} \cdot \text{d})/\text{mg}$ ; 70-人均寿命,  $\text{年}$ ;  $R_T$ -基因毒物质通过饮水途径产生的个人致癌总风险,  $/\text{年}$ 。

1.5.2 躯体毒物质的健康风险评价 对于躯体毒物质,非致癌风险通常用风险指数(HI)表示,表示暴露而导致的个人非致癌风险,按照公式(4)、(5)计算:

$$HI_i = (D_i / \text{RfD}_i) \times 10^{-6} / 70 \quad (4)$$

$$HI_T = \sum HI_i \quad (5)$$

$HI_i$ -某种躯体毒物质通过饮水途径产生的个人非

致癌风险,  $/\text{年}$ ;  $D_i$ -某种毒物通过饮水途径的暴露剂量,  $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ , 计算方法同公式(1);  $\text{RfD}_i$ -某种毒物通过饮水途径摄入的参考剂量  $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ;  $10^{-6}$ - $\text{RfD}_i$  制定过程中引入的实际安全剂量概念,代表 100 万人超额罹患率低于 1 人,无量纲; 70-人均寿命,  $\text{年}$ ;  $HI_T$ -躯体毒物质通过饮水途径产生的个人非致癌总风险,  $/\text{年}$ 。

1.5.3 总健康风险评价 各有毒物质对人体健康危害产生的累积效应可能存在相加关系、协同关系或拮抗关系。一般认为,在普通水体中各有毒物质浓度很低的前提下,可假定各有毒物质的作用为相互独立的,即各有毒物质对人体健康危害产生的累积效应可近似认为相加关系。因此,水环境总健康风险评价可按公式(6)计算:

$$R_{\text{总风险}} = R_T + HI_T \quad (6)$$

式中: $R_{\text{总风险}}$ -致癌物健康风险与非致癌物健康风险之和引起的总健康风险。

1.5.4 评价参数 根据美国国家环境保护局 (US EPA) 及其综合风险信息系统 (IRIS) 的分类信息<sup>[2,4-5]</sup>,砷、六价铬、镉、三氯甲烷和四氯化碳致癌系数(饮水途径)分别为 15.0、41.0、6.1、0.031 和 0.13  $(\text{kg} \cdot \text{d})/\text{mg}$ , 铅、汞、硒、氰化物、氟化物、硝酸盐、铁、氨氮、锰、铜、锌和挥发酚参考剂量(饮水途径)分别为  $1.4 \times 10^{-3}$ 、 $3.0 \times 10^{-4}$ 、 $5.0 \times 10^{-3}$ 、 $3.7 \times 10^{-2}$ 、 $6.0 \times 10^{-2}$ 、 $1.6$ 、 $3.0 \times 10^{-1}$ 、 $9.7 \times 10^{-1}$ 、 $1.4 \times 10^{-1}$ 、 $4.0 \times 10^{-2}$ 、 $3.0 \times 10^{-1}$  和  $3.0 \times 10^{-1} \text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。

1.6 统计分析 采用 Excel 2003 录入检测数据和建立数据库。采用 SPSS17.0 进行统计分析,经正态性检验,检测数据均属于非正态性分布,故使用中位数( $M$ )和四分位间距( $Q$ )进行表示。两组水质中化学污染物平均浓度(中位数)之间的比较使用 Mann-Whitney  $U$  检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 出厂水中基因毒物质的检测情况 砷、六价铬、镉、三氯甲烷和四氯化碳平均浓度(中位数)分别为 0.92、1.5、0.03、14.60 和 0.005  $\mu\text{g}/\text{L}$ 。枯水期和丰水期水质中砷浓度差异无统计学意义( $Z = -1.475$ ,  $P = 0.140$ ),三氯甲烷浓度差异有统计学意义( $Z = -3.629$ ,  $P = 0.000$ )。V 型滤池水厂和普通滤池水厂水质中砷、三氯甲烷浓度差异有统计学意义( $Z = -5.242$ 、 $-3.188$ ,  $P = 0.000$ 、 $0.008$ )。见表 1。

| 表 1 珠三角某市出厂水中基因毒物质的浓度( μg/L) |           |                   |      |     |     |      |      |                    |       |       |       |
|------------------------------|-----------|-------------------|------|-----|-----|------|------|--------------------|-------|-------|-------|
| 分类特征                         | 水样<br>(份) | 砷                 |      | 六价铬 |     | 镉    |      | 三氯甲烷               |       | 四氯化碳  |       |
|                              |           | M                 | Q    | M   | Q   | M    | Q    | M                  | Q     | M     | Q     |
| 按季节                          |           |                   |      |     |     |      |      |                    |       |       |       |
| 枯水期                          | 48        | 0.96              | 0.80 | 1.5 | 0.0 | 0.03 | 0.00 | 9.90               | 9.15  | 0.005 | 0.020 |
| 丰水期                          | 48        | 0.82 <sup>a</sup> | 0.75 | 1.5 | 0.0 | 0.03 | 0.00 | 18.70 <sup>b</sup> | 16.87 | 0.005 | 0.020 |
| 按水厂                          |           |                   |      |     |     |      |      |                    |       |       |       |
| V 型滤池水厂                      | 44        | 0.38              | 0.75 | 1.5 | 0.0 | 0.03 | 0.00 | 9.88               | 14.70 | 0.005 | 0.020 |
| 普通滤池水厂                       | 52        | 1.00 <sup>c</sup> | 0.39 | 1.5 | 0.0 | 0.03 | 0.00 | 18.90 <sup>c</sup> | 15.14 | 0.005 | 0.020 |
| 合计                           | 96        | 0.92              | 1.02 | 1.5 | 0.0 | 0.03 | 0.00 | 14.60              | 15.15 | 0.005 | 0.020 |

注:a 与枯水期比较, $P>0.05$ ;b 与枯水期比较, $P<0.05$ ;c 与 V 型滤池水厂比较, $P<0.05$ 。

2.2 出厂水中躯体毒物质的检测情况 铅、汞、硒、氰化物、氟化物、硝酸盐、铁、氨氮、锰、铜、锌和挥发酚平均浓度(中位数)分别为 0.08、0.015、0.23、0.5、120、1 575、6.8、35、1.50、1.10、1.7 和 0.5 μg/L。枯水期和丰水期水质中铅、硒、氟化物、硝酸盐、铁、锰、铜、锌、氨氮浓度差异无统计学意义( $Z=-0.339$ 、 $-0.477$ 、 $-0.346$ 、 $-0.411$ 、 $-1.726$ 、 $-0.506$ 、 $-0.965$ 、 $-0.450$ 、 $-1.633$ , $P=0.721$ 、 $0.653$ 、 $0.706$ 、 $0.683$ 、 $0.131$ 、 $0.612$ 、 $0.315$ 、 $0.660$ 、 $0.148$ )。V 型滤池水厂和普通滤池水厂水质中铅、硒、硝酸盐、铁、锰、铜浓度差异有统计学意义( $Z=-3.014$ 、 $-3.340$ 、 $-3.697$ 、 $-4.251$ 、 $-4.130$ 、 $-3.416$ , $P=0.009$ 、 $0.006$ 、 $0.000$ 、 $0.000$ 、 $0.000$ 、 $0.005$ )，氟化物、氨氮、锌浓度差异无统计学意义( $Z=-1.539$ 、 $-0.800$ 、 $-1.745$ , $P=0.136$ 、 $0.327$ 、 $0.124$ )。见表 2。

| 表 2 珠三角某市出厂水躯体毒物质的浓度 (μg/L) |           |                   |      |                 |       |                   |      |                   |      |                  |     |                    |       |
|-----------------------------|-----------|-------------------|------|-----------------|-------|-------------------|------|-------------------|------|------------------|-----|--------------------|-------|
| 分类特征                        | 水样<br>(份) | 铅                 |      | 汞               |       | 硒                 |      | 氰化物               |      | 氟化物              |     | 硝酸盐                |       |
|                             |           | M                 | Q    | M               | Q     | M                 | Q    | M                 | Q    | M                | Q   | M                  | Q     |
| 按季节                         |           |                   |      |                 |       |                   |      |                   |      |                  |     |                    |       |
| 枯水期                         | 48        | 0.09              | 0.07 | 0.015           | 0.000 | 0.26              | 0.10 | 0.5               | 0.0  | 120              | 45  | 1 620              | 1 170 |
| 丰水期                         | 48        | 0.07 <sup>a</sup> | 0.18 | 0.015           | 0.000 | 0.23 <sup>a</sup> | 0.06 | 0.5               | 0.0  | 110 <sup>a</sup> | 40  | 1 560 <sup>a</sup> | 815   |
| 按水厂                         |           |                   |      |                 |       |                   |      |                   |      |                  |     |                    |       |
| V 型滤池水厂                     | 44        | 0.04              | 0.04 | 0.015           | 0.000 | 0.20              | 0.10 | 0.5               | 0.0  | 110              | 40  | 820                | 1 090 |
| 普通滤池水厂                      | 52        | 0.11 <sup>b</sup> | 0.16 | 0.015           | 0.000 | 0.24 <sup>b</sup> | 0.10 | 0.5               | 0.0  | 120 <sup>c</sup> | 50  | 1 640 <sup>b</sup> | 260   |
| 合计                          | 96        | 0.08              | 0.12 | 0.015           | 0.000 | 0.23              | 0.10 | 0.5               | 0.0  | 120              | 48  | 1 575              | 1 095 |
| 分类特征                        | 水样<br>(份) | 铁                 |      | 氨氮              |       | 锰                 |      | 铜                 |      | 锌                |     | 挥发酚                |       |
|                             |           | M                 | Q    | M               | Q     | M                 | Q    | M                 | Q    | M                | Q   | M                  | Q     |
| 按季节                         |           |                   |      |                 |       |                   |      |                   |      |                  |     |                    |       |
| 枯水期                         | 48        | 10.0              | 10.7 | 25              | 20    | 1.55              | 4.49 | 1.10              | 0.71 | 1.8              | 2.7 | 0.5                | 0.0   |
| 丰水期                         | 48        | 5.4 <sup>a</sup>  | 9.4  | 40 <sup>a</sup> | 68    | 1.35 <sup>a</sup> | 2.30 | 0.92 <sup>a</sup> | 0.76 | 1.5 <sup>a</sup> | 4.1 | 0.5                | 0.0   |
| 按水厂                         |           |                   |      |                 |       |                   |      |                   |      |                  |     |                    |       |
| V 型滤池水厂                     | 44        | 5.2               | 4.1  | 40              | 40    | 0.73              | 1.18 | 1.20              | 0.38 | 1.9              | 6.6 | 0.5                | 0.0   |
| 普通滤池水厂                      | 52        | 11.0 <sup>b</sup> | 18.6 | 30 <sup>c</sup> | 70    | 2.40 <sup>b</sup> | 9.25 | 0.75 <sup>b</sup> | 1.79 | 1.5 <sup>c</sup> | 1.5 | 0.5                | 0.0   |
| 合计                          | 96        | 6.8               | 9.3  | 35              | 60    | 1.50              | 3.31 | 1.10              | 0.68 | 1.7              | 3.4 | 0.5                | 0.0   |

注:a 与枯水期比较, $P>0.05$ ;b 与 V 型滤池水厂比较, $P<0.05$ ;c 与 V 型滤池水厂比较, $P>0.05$ 。

2.3 基因毒物质的致癌风险评价 5 种基因毒物质通过饮水途径所引起的总致癌风险为  $3.61\times10^{-5}/a$ ,致癌风险在  $3.10\times10^{-10}/a\sim2.92\times10^{-5}/a$  之间,致癌风险由高至低分别为六价铬>砷>三氯甲烷>镉>四氯化碳;按季节来算,枯水期的致癌风险高于丰水期;按水厂是否有 V 型滤池来算,V 型滤池水厂的致癌风险低于普通滤池水厂。见表 3。

2.4 躯体毒物质的非致癌风险评价 12 种躯体毒物质通过饮水途径所引起非致癌总风险为  $155.02\times10^{-11}/a$ ,非致癌风险在  $0.08\times10^{-11}/a\sim95.24\times10^{-11}/a$  之间,非致癌风险由高至低分别为氟化物>硝酸盐>铅>汞>硒>氨氮>铜>铁>氰化物>锰>锌>挥发酚;按季节来算,枯水期的非致癌风险高于丰水期;按水厂是否有 V 型滤池来算,V 型滤池水厂的非致癌风险低于普通滤池水厂。见表 4。

| 表 3 珠三角某市出厂水基因毒物质的致癌风险 |                        |                        |                        |                        |                         |                         |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 分类特征                   | 砷                      | 六价铬                    | 镉                      | 三氯甲烷                   | 四氯化碳                    | 总计                      |
|                        | ( $\times 10^{-6}/a$ ) | ( $\times 10^{-5}/a$ ) | ( $\times 10^{-8}/a$ ) | ( $\times 10^{-7}/a$ ) | ( $\times 10^{-10}/a$ ) |                         |
| 按季节                    |                        |                        |                        |                        |                         |                         |
| 枯水期                    | 6.86                   | 2.92                   | 8.71                   | 1.46                   | 3.10                    | $3.63 \times 10^{-5}/a$ |
| 丰水期                    | 5.86                   | 2.92                   | 8.71                   | 2.76                   | 3.10                    | $3.54 \times 10^{-5}/a$ |
| 按水厂                    |                        |                        |                        |                        |                         |                         |
| V 型滤池水厂                | 2.71                   | 2.92                   | 8.71                   | 1.45                   | 3.10                    | $3.21 \times 10^{-5}/a$ |
| 普通滤池水厂                 | 7.14                   | 2.92                   | 8.71                   | 2.79                   | 3.10                    | $3.67 \times 10^{-5}/a$ |
| 合计                     | 6.57                   | 2.92                   | 8.71                   | 2.16                   | 3.10                    | $3.61 \times 10^{-5}/a$ |

表 4 珠三角某市出厂水躯体毒物质的非致癌风险( $\times 10^{-11}/a$ )

| 分类特征    | 铅    | 汞    | 硒    | 氰化物  | 氟化物   | 硝酸盐   | 铁    | 氨氮   | 锰    | 铜    | 锌    | 挥发酚  | 总计     |
|---------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 按季节     |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |      |      |        |
| 枯水期     | 3.06 | 2.38 | 2.48 | 0.64 | 95.24 | 48.21 | 1.59 | 1.23 | 0.52 | 1.31 | 0.28 | 0.08 | 157.02 |
| 丰水期     | 2.38 | 2.38 | 2.19 | 0.64 | 87.30 | 46.43 | 0.86 | 1.96 | 0.46 | 1.10 | 0.24 | 0.08 | 146.02 |
| 按水厂     |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |      |      |        |
| V 型滤池水厂 | 1.36 | 2.38 | 1.90 | 0.64 | 87.30 | 24.40 | 0.83 | 1.96 | 0.25 | 1.43 | 0.30 | 0.08 | 122.83 |
| 普通滤池水厂  | 3.74 | 2.38 | 2.28 | 0.64 | 95.24 | 48.81 | 1.75 | 1.47 | 0.82 | 0.89 | 0.24 | 0.08 | 158.34 |
| 合计      | 2.72 | 2.38 | 2.19 | 0.64 | 95.24 | 46.88 | 1.08 | 1.72 | 0.51 | 1.31 | 0.27 | 0.08 | 155.02 |

2.5 总健康风险评价 出厂水总健康危害风险由致癌物健康风险与非致癌物健康风险之和组成,致癌总风险为  $3.61\times 10^{-5}/a$ ,非致癌总风险为  $155.02\times 10^{-11}/a$ ,R 总风险为  $3.61\times 10^{-5}/a$ 。

3 讨论

一直以来,人们判断水质的好坏主要根据水质的感官性状和是否符合国家的相关标准,虽然各种毒物在人们日常饮用水中含量很低,但如果长期低剂量暴露也会危害人体的健康,对人体产生远期致癌、致畸、致突变,危害更大<sup>[6]</sup>。所以对水质进行健康风险评价,可以直接定量反映出各种化学污染物对人体健康产生危害的风险程度。

研究结果表明,17 种化学污染物通过饮水途径所引起的人体总健康风险为  $3.61\times 10^{-5}/a$ ,低于国际辐射防护委员会(ICRP)规定的最大可接受风险水平( $5.0\times 10^{-5}/a$ ),但高于瑞典环保局、荷兰建设和环境保护局推荐的最大可接受风险水平( $1.0\times 10^{-5}/a$ ),与丁克颖等<sup>[6]</sup>报道的上海闵行区城市供水水质中化学污染物引起的总健康风险相近,应引起重视。5 种基因毒物质对人体致癌总风险为  $3.61\times 10^{-5}/a$ ,12 种躯体毒物质对人体非致癌总风险为  $155.02\times 10^{-11}/a$ ,两类化学物质所致的健康风险水平相差 4 个数量级,说明珠三角市出厂水的健康风险主要来自基因毒物质,应优先治理。

研究结果表明,枯水期的致癌总风险和非致癌总风险均高于丰水期,与谢许情等<sup>[7]</sup>报道的南昌市出厂水评价结果一致。枯水期砷、铅、硒、氟化物、硝酸盐、铁、锰、铜、锌所致的健康风险比丰水期高,主要是在丰水期雨量充沛,各河道水量大幅度增加,许多化学污染物被稀释,水中化学污染物相对浓度变低而造成的。但枯水期三氯甲烷、氨氮所致的健康风险比丰水期低,三氯甲烷主要来源于在出厂水氯化消毒过程生成的氯化副产物,氨氮主要来源于受微生物作用分解的含氮有机物,可能是因为在丰水期由于雨水的冲刷,将内河涌的生活污水、农田的残留农药和工业废弃物等有机化学污染物融入到水体里去,引起消毒副产物的前驱物质和氨氮增加,从而导致三氯甲烷和氨氮健

康风险高于枯水期。有研究表明<sup>[8]</sup>,三氯甲烷具有遗传毒性、致癌性和致突变性,所以在丰水期要采取相应措施保护水源、减少有机物污染以及在水处理过程中强化混凝法、活性炭吸附法等办法来降低消毒副产物的前驱物质<sup>[9]</sup>。

V 型滤池是快滤池的一种形式,是我国于 20 世纪 80 年代末从法国 Degremont 公司引进的技术,由于截污能力强、过滤周期长、节能和出水水质好等优点而被广泛使用。研究结果表明,V 型滤池对 17 种化学污染物去除效果中,仅有氨氮、铜和锌 3 种化学污染物比其他普通快滤池差,V 型滤池水厂的致癌总风险和非致癌总风险均低于普通滤池水厂,这说明了 V 型滤池对化学污染物的过滤效果在一定程度上优于普通快滤池,主要原因可能是 V 型滤池对浊度的去除效果优于普通快滤池,浊度降低有利于化学污染物的去除<sup>[10-12]</sup>。因此,在新建、扩建或改建水厂的时候,应优先考虑使用 V 型滤池。

参考文献

[1] 章英,谢许情,熊文艳. 南昌市生活饮用水健康风险评价[J]. 现代预防医学,2014,41(13):2327-2329.  
[2] US EPA. Guidelines for carcinogen risk assessment[S]. EPA/630/P-03/001F, Washington DC, 2005.  
[3] 中山市水务局. 中山水务概况[EB/OL]. (2014-03-12). [2016-03-22]. <http://www.zswater.gov.cn/main/open/view/index.action? id =28899>.  
[4] 曲亚斌,林立丰,张建鹏,等. 广东省十城市饮用水中部分元素健康风险评价[J]. 环境与健康杂志,2012,29(5):434-437.  
[5] US EPA. Exposure factors handbook; 2011 edition[S]. EPA/600/R-09/052F, Washington DC, 2011.  
[6] 雷霖,詹巧莉,王国彬,等. 清远市农村饮用水水质监测状况及健康风险评价[J]. 中国热带医学,2016,16(8):789-792.  
[7] 谢许情,赖肖,章英. 南昌市城市饮用水水质健康风险评价[J]. 环境卫生学杂志,2016,6(1):51-55.  
[8] 郝莉鹏,孙乔,刘晓琳,等. 上海市浦东新区饮用水三卤甲烷和卤乙酸含量及其健康风险评价[J]. 环境与职业医学,2014,31(6):442-447.  
[9] 周伟杰,陈晓峰,黄春华,等. 无锡市自来水中三卤甲烷含量及其对成人的致癌风险[J]. 实用预防医学,2015,22(5):550-552.  
[10] 戚雷强,阮久丽. 饮用水厂普通快滤池改造为 V 型滤池的可行性探讨[J]. 供水技术,2013,7(1):32-38.  
[11] 陈宇畅,唐三连,邵林广,等. 普通快滤池与 V 型滤池的性能比较[J]. 供水技术,2007,5(1):41-43.  
[12] 梁锡念,甘日华. 供水卫生安全保障与管理[M]. 北京:人民卫生出版社,2009:249-251.