

黄河三门峡段水环境健康风险评价

王勇泽 李 诚 孙树青 胡国华

(长沙理工大学河海工程学院 湖南 长沙 410076)

摘要 :基于水环境健康风险评价模式,选择 1995 年至 2002 年的水质监测资料,对黄河三门峡段进行了水环境健康风险评价。评价结果表明:非致癌物质由饮水途径所致健康危害的个人年风险以 Pb 为最大, NH₃-N 次之,化学致癌物质中 As 和 Cd 的最大个人年风险分别达到 $2.272 \times 10^{-4} \text{a}^{-1}$ 和 $3.173 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$ 。化学致癌物质对人体健康危害的个人年风险远远超过非致癌物质对人体健康危害的个人年风险,应作为风险决策管理的重点对象。

关键词 :水环境;健康风险评价;黄河三门峡段

中图分类号 :X143 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2007)01-0028-03

Water environmental health risk assessment for the Sanmenxia reach of the Yellow River

WANG Yong-ze, LI Cheng, SUN Shu-qing, HU Guo-hua

(School of River & Ocean Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, China)

Abstract :Water environmental health risk assessment for the Sanmenxia reach of the Yellow River was conducted based on the water environment health risk analysis model and the monitoring data during 1995-2002. The result shows that the maximal annual health risk for individual person due to non-carcinogens from drinking water comes from Pb, and the next is NH₃-N. Among chemical carcinogens, the maximal risk is due to As and Cd respectively, whose risk are up to $2.272 \times 10^{-4} \text{a}^{-1}$ and $3.173 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$. The health risk for individual person caused by chemical carcinogens is greater than non-carcinogens, so chemical carcinogens must be paid much attention in the risk decision-making management.

Key words :water environment; health risk assessment; Sanmenxia reach of Yellow River

黄河三门峡水利枢纽工程是一座以防洪为主,兼顾防凌、供水、灌溉、发电等综合利用的大型水利工程。三门峡库区范围包括黄河干流龙门禹门口至三门峡大坝河段,区间有汾河、渭河、涑水河、宏龙涧河、青龙涧河、双桥河、潼河等支流汇入。三门峡水库是三门峡市 221.4 万人口的水源地,其水质的好坏将直接影响到库区两岸城市和引黄灌区的引水水质及下游小浪底水库水环境质量。随着水库汇流区社会经济的快速发展,废污水和污染物排放量与日俱增,且绝大部分未经处理排入区间干支流,致使地面支流水质严重恶化,为 IV、V 类或超 V 类水,黄河干流水污染,尤其是 NH₃-N、COD_{Mn}、Cd 和 Pb 等污染

指标超标严重,潼关和三门峡断面水质时有劣 V 类地面水的现象^[1-2]。近年来,环境污染越来越引起人们的关注,了解这些污染物对水质产生的影响,通过对监测资料进行水环境评价,可以得到准确的水质状况及污染程度。但是水中污染物对人体健康危害的风险程度却无法直观反映出来。20 世纪 80 年代兴起的健康风险评价弥补了这项不足。它是狭义环境风险评价的重点,其主要特点是把环境污染与人体健康联系起来,直观地描述污染对健康产生危害的风险程度^[3-7]。目前,环境健康风险评价尚未纳入常规评价,鉴于我国水污染问题形势比较严峻,逐步开展这项工作具有重要意义。本文根据黄河三门峡

段从 1995 年至 2002 年的水质监测资料,采用美国环保局(EPA)推荐的评价模型^[8],进行黄河三门峡段水环境健康风险评价。

1 评价模型

水环境健康风险评价主要是针对水环境中对人体有害的物质,这种物质一般分为两类:基因毒物质和躯体毒物质,前者包括放射性污染物和化学致癌物,后者则指非致癌物。根据污染物对人体产生的危害效应,以及人类几十年来对有害物质即基因毒物质和躯体毒物质的大量研究结果,可建立不同类型污染物(饮用途径)对人体健康危害影响的风险评价数学模型。

1.1 基因毒物质对健康危害的风险模型

在一般水体中,尤其是作为水源地水体,基因毒物质中的放射性污染物的污染程度很轻,一般检测不出。因此,这里仅考虑化学致癌物质。对于化学致癌物,有

$$R^c = \sum_{i=1}^k R_{ig}^c \quad (1)$$

$$R_{ig}^c = [1 - \exp(-D_{ig}Q_{ig})]/70 \quad (2)$$

式中: R_{ig}^c 为化学致癌物*i*经食入途径的平均个人致癌年风险, a^{-1} ; D_{ig} 为化学致癌物*i*经食入途径的单位体重日均暴露剂量, $mg/(kg \cdot d)$; Q_{ig} 为化学致癌物*i*经食入途径的致癌强度系数, $mg/(kg \cdot d)$; 70为人类平均寿命, a_0 。

饮水途径的单位体重日均暴露剂量 D_{ig} 按式(3)计算:

$$D_{ig} = 2.2 C_i / 70 \quad (3)$$

式中:2.2为成人平均每日饮水量,L; C_i 为化学致癌物或躯体毒物质的质量浓度, mg/L ; 70为人均体重, kg 。

1.2 躯体毒物质对健康危害的风险模型

$$R^n = \sum_{i=1}^l R_{ig}^n \quad (4)$$

$$R_{ig}^n = (D_{ig} \times 10^{-6} / f_{ig}) / 70 \quad (5)$$

式中: R_{ig}^n 为躯体毒物质*i*经食入途径的平均个人致癌年风险, a^{-1} ; f_{ig} 为躯体毒物质*i*经食入途径的参

考剂量, $mg/(kg \cdot d)$; 70为人类平均寿命, a ; D_{ig} 同式(3)。

1.3 水环境健康风险评价总体模型

假设各有毒物质对人体健康危害的毒性呈相加关系,而不是协同或拮抗关系,则水环境总的健康危害的风险 $R_{总}$ 可表示为

$$R_{总} = R^r + R^c + R^n \quad (6)$$

式(6)即为水环境健康风险评价总体模型。

对于不同地区的不同评价对象,可以根据污染物浓度及类型、成人每日平均饮水量、人均体重以及人均寿命等因素变化来改进评价模型。

2 评价河段水质概况与评价参数选择

2.1 水质概况分析

本文只对黄河三门峡段水环境污染所产生的健康风险进行评价。水质监测项目包括 pH 值, DO, NH_3-N , COD_{Mn} , BOD_5 , As, Hg, Cd, Pb, Cr^{6+} , FN, 氰化物, 总硬度, 总碱度等 30 余项。现选取其中能较好反映水质情况的 9 项指标, 监测时间从 1995 至 2002 年, 以一年内多次采样的平均值作为该年的平均值, 见表 1。

通过分析所监测项目, 可知对人体健康有危害作用的有毒物质主要是: 基因毒物质 Cd, As; 躯体毒物质主要是 NH_3-N , Hg, Pb, 氰化物和 FN; 该次评价未考虑放射性有毒物质, 并且有机物也主要是以 COD_{Mn} , BOD_5 来表示的, 没有检测出各有机物具体的名称及含量。因此, 在健康风险评价的过程中, 只对化学致癌物质和非致癌有毒物质进行风险评价。但是, 水体中有机物对人体的健康危害影响也是不可忽视的。

2.2 评价参数的选择

对化学致癌物质, 根据世界卫生组织(WHO)和国际癌症研究机构(IARC)编制的权衡化学物质致癌性可靠程度的体系, 属于 1 组和 2A 组化学物质归纳为化学致癌物, 其致癌强度系数: Cd 为 $6.1 mg/(kg \cdot d)$, As 为 $15 mg/(kg \cdot d)$ 。对于非致癌物质参考剂量, 在本评价中选取表 2 所列参考剂量。

表 1 黄河三门峡段水质监测数据

年份	$\rho(NH_3-N)$	ρ (氰化物)	ρ (As)	ρ (FN)	ρ (Hg)	ρ (Cd)	ρ (Pb)	$\rho(COD_{Mn})$	$\rho(BOD_5)$
1995	0.60	0.001	0.016	0.002	0.00006	0.012	0.122	4.0	3.5
1996	0.92	0.003	0.034	0.004	0.00020	0.010	0.309	6.5	4.2
1997	0.80	0.002	0.019	0.001	0.00007	0.009	0.102	5.3	5.0
1998	1.42	0.003	0.008	0.001	0.00002	0.009	0.109	4.8	1.6
1999	1.19	0.001	0.013	0	0.00002	0.003	0.077	4.1	1.8
2000	2.42	0.009	0.013	0.001	0.00002	0.003	0.072	4.7	1.6
2001	1.66	0.006	0.004	0.001	0.00000	0.001	0.054	4.7	2.4
2002	1.75	0.003	0.007	0.001	0.00012	0	0.040	5.4	

表2 饮水途径非致癌物参考剂量

非致癌物质	$f_{ig}/$ ($\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$)	非致癌物质	$f_{ig}/$ ($\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$)
Pb	1.4×10^{-3}	NH ₃ -N	9.7×10^{-1}
Hg	3.0×10^{-4}	FN	1.0×10^{-1}

3 评价结果

根据健康风险评价模型和评价参数,可以计算出1995~2002年各年通过饮水途径化学致癌物质和非致癌物质造成的平均个人年风险。计算结果见表3~表5。

表3 饮水途径化学致癌物质健康危害的个人年风险 a^{-1}

年份	Cd	As	合计
1995	3.173×10^{-5}	1.060×10^{-4}	1.377×10^{-4}
1996	2.791×10^{-5}	2.272×10^{-4}	2.551×10^{-4}
1997	2.572×10^{-5}	1.274×10^{-4}	1.531×10^{-4}
1998	2.381×10^{-5}	5.042×10^{-5}	7.423×10^{-5}
1999	9.309×10^{-6}	8.862×10^{-5}	9.793×10^{-5}
2000	8.214×10^{-6}	8.728×10^{-5}	9.550×10^{-5}
2001	2.739×10^{-6}	2.691×10^{-5}	2.965×10^{-5}
2002	0	4.707×10^{-5}	4.707×10^{-5}

从表3可以看出,化学致癌物质由饮水途径所致健康危害的个人年风险以As为大,其次为Cd。其中,As在1996年个人年风险最大竟达到 $2.272 \times 10^{-4} \text{a}^{-1}$,是国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受风险水平 $5.0 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$ 的4倍多,大大超过瑞典环保局、英国皇家协会推荐的最大可接受水平 1.0×10^{-6} 。而Cd最大个人年风险是在1995年达到 $3.173 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$,低于国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的标准 $5.0 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$ 。

从表4可以看出,非致癌物质由饮水途径所致健康危害的个人年风险以Pb为最大,其次是NH₃-N。除Pb外,其他污染物对人体健康危害的个人年风险均小于 $1.0 \times 10^{-9} \text{a}^{-1}$,即每千万人口中因饮用水水质的非致癌污染物而受到健康危害(或死亡)的人数不到1人。

从表5可以看出,化学致癌物质对人体健康危

表5 各有毒污染物所致健康危害的总个人年风险 a^{-1}

年份	化学致癌物质	非致癌物质	总计
1995	1.378×10^{-4}	3.951×10^{-8}	1.378×10^{-4}
1996	2.552×10^{-4}	9.988×10^{-8}	2.553×10^{-4}
1997	1.531×10^{-4}	3.322×10^{-8}	1.532×10^{-4}
1998	7.426×10^{-5}	3.568×10^{-8}	7.430×10^{-5}
1999	9.796×10^{-5}	2.562×10^{-8}	9.798×10^{-5}
2000	9.552×10^{-5}	2.435×10^{-8}	9.555×10^{-5}
2001	2.967×10^{-5}	1.816×10^{-8}	2.969×10^{-5}
2002	4.708×10^{-5}	1.386×10^{-8}	4.709×10^{-5}

害的个人年风险远远超过非致癌物质的年风险,其风险水平要差3~4个数量级。以2002年为例,化学致癌物质对人体健康危害的年风险为 $4.707 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$,而非致癌物对人体健康危害的年风险仅为 $1.386 \times 10^{-8} \text{a}^{-1}$ 。其中,化学致癌物质占99.7%,非致癌物仅占有0.3%,几乎可以忽略不计,因此化学致癌物质应作为风险决策管理的重点对象。

由表3~表5可看出,不论是化学致癌物质还是非致癌物质对人体健康危害的个人年风险都呈下降趋势。由此表明,经过多年防治,黄河三门峡段水环境污染治理取得了一定成效,但污染物排放总量仍维持较高水平,特别是有机物污染严重,卫生指标(细菌总数、大肠菌数等)严重超标。因此应该采取相应对策,严格控制排污总量,达标排放。

4 结 语

水环境健康风险评价把水环境污染与人体健康联系起来,定量描述污染对健康危害的风险程度,其结果与国际推荐的风险水平对比,使风险管理国际化。环境健康风险评价在我国起步于20世纪末,且主要以介绍和应用国外的研究成果为主。目前,还没有一套适合中国的有关健康风险评价程序和方法的技术文件,暂时还没有被列入常规环境评价工作中。随着环境风险评价工作的深入开展,健康风险评价已越来越引起人们的关注。为了使健康风险评价发挥更大作用,今后应通过建立国内相应的风险管理机构、制定完善的风险评价指南等,切实开展健

表4 饮水途径非致癌物质健康危害的个人年风险 a^{-1}

年份	NH ₃ -N	氟化物	FN	Hg	Pb	合计
1995	2.777×10^{-10}	1.213×10^{-11}	8.980×10^{-12}	8.980×10^{-11}	3.913×10^{-8}	3.951×10^{-8}
1996	4.258×10^{-10}	3.640×10^{-11}	1.796×10^{-11}	2.993×10^{-10}	9.910×10^{-8}	9.988×10^{-8}
1997	3.703×10^{-10}	2.427×10^{-11}	4.490×10^{-12}	1.048×10^{-10}	3.271×10^{-8}	3.322×10^{-8}
1998	6.573×10^{-10}	3.640×10^{-11}	4.490×10^{-12}	2.993×10^{-11}	3.496×10^{-8}	3.568×10^{-8}
1999	8.841×10^{-10}	1.213×10^{-11}	0	2.993×10^{-11}	2.469×10^{-8}	2.562×10^{-8}
2000	1.120×10^{-9}	1.092×10^{-10}	4.490×10^{-12}	2.993×10^{-11}	2.309×10^{-8}	2.435×10^{-8}
2001	7.684×10^{-10}	7.281×10^{-11}	4.490×10^{-12}	0	1.732×10^{-8}	1.816×10^{-8}
2002	8.100×10^{-10}	3.640×10^{-11}	4.490×10^{-12}	1.796×10^{-10}	1.283×10^{-8}	1.386×10^{-8}

(下转第70页)

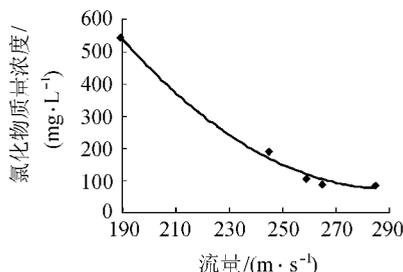


图1 大辽河田庄断面灌溉期流量与氯化物质量浓度相关关系

c. 水库放水改善了沿河城市环境和生态环境。

抚顺、沈阳在浑河建有几处橡胶坝,本溪、辽阳、鞍山在太子河建有几处橡胶坝。水库放水前由于河道内径流很少,废污水基本存于橡胶坝及闸门内,水质污染严重,有时伴有恶臭现象。水库放水将这些积存已久的污水冲下来,虽然暂时导致河流中污染物突然升高,但随着水量的进一步加大,水质逐渐得到改善。辽河水质可由劣Ⅴ类改善到Ⅴ类,最好达到Ⅳ类;浑河黄腊坨桥以上水质可由劣Ⅴ类改善到Ⅴ类,黄腊坨桥以下水质虽然仍为劣Ⅴ类,但污染物浓度大为降低;太子河水质可由Ⅳ~Ⅴ类改善到Ⅳ类,最好时达到Ⅲ类。

3 问题与建议

a. 水文监测站网不尽合理,测、报基础设施落后,很难适应事业发展的要求。建议相关部门加强水资源监测站网建设,加强水文投入,提高测报能力和水平,全面监测各河流区间段的水量变化情况。加强水文测验方法的研究,不断提高测验精度。

b. 缺少地下水观测资料,缺乏河流地表水体与地下水补排关系研究,特别是对研究区漏斗区、大辽河海水入侵区的研究不够,缺乏可靠的理论依据。建议在河流重点区段开展水平衡专题研究,如进行地下水、地表水转化监测,开展地表水与地下水补排规律研究,加强浑河、太子河汇流口至大辽河海水回灌规律研究,施行科学的农灌期压盐工作。

c. 由于人力、物力的不足,不能逐站全方位观测,部分临时断面特别是部分提水站监测资料密度不够,只能采用实测与调查相结合的办法,对测验精度有一定影响。建议相关部门和单位加大这项工作的投入力度。

d. 由于仅为一年监测资料,监测项目不尽齐全,暂还不能建立农灌期水库供水模型,这项工作还需继续开展下去。

参考文献:

- [1] GBJ138—90,水位观测标准[S].
- [2] GB50179—93,河道流量测验规范[S].
- [3] GB3838—2002,地表水环境质量标准[S].
- [4] GB8978—1996,污水排放综合标准[S].
- [5] 彭文启,周怀东,邹晓霞,等.三次全国地表水水质评价综述[J].水资源保护,2004(1):37-39.
- [6] 李致家,尹开霞,杨涛,等.大江大河多断面水位实时预报的半自适应模型研究[J].河海大学学报:自然科学版,2002,20(1):19-23.

(收稿日期 2005-04-18 编辑:傅伟群)

(上接第30页)

康风险评价的实际应用。

本次评价得出:黄河三门峡河段非致癌物质由饮水途径所致健康危害的个人年风险以Pb为最大, NH₃-N次之,化学致癌物质中As和Cd的最大个人年风险分别达到 $2.272 \times 10^{-4} a^{-1}$ 和 $3.173 \times 10^{-5} a^{-1}$ 。化学致癌物质对人体健康危害的个人年风险远远超过非致癌物质对人体健康危害的个人年风险,应作为风险决策管理的重点对象。本评价中未考虑放射性物质和酚以外的其他有机污染物,也未考虑饮水途径以外如大气污染等途径对健康危害的风险,同时结合三门峡段水域污染的具体情况,评价所得的风险应比实际环境污染危害的风险要小得多。

环境健康风险评价是一种新的评价方法,但由于健康风险评价本身存在较大的不确定性,如致癌物强度系数、参考剂量的选取等,因此许多方面尚待深入研究、探讨。

参考文献:

- [1] 郝云,尚晓成.黄河潼关——小浪底河段污染现状及治理对策[J].水资源保护,2001(2):45-47.
- [2] 李群,黄锦辉,田凯.黄河三门峡库区水污染物排放总量控制研究[J].环境与开发,2000,15(4):14-16.
- [3] 王大坤,李新建.健康危害评价在环境质量评价中的应用[J].环境污染与防治,1995,17(6):9-12.
- [4] 曾光明,卓利,钟政林,等.水环境健康风险评价模型及应用[J].水电能源科学,1997,15(4):28-32.
- [5] 史春风,李文东,倪锋.松花江干流哈尔滨段水环境健康风险评价[J].黑龙江水利科技,1999(3):75-76.
- [6] 胡二邦.环境评价实用技术与方法[M].北京:中国环境科学出版社,2000.
- [7] 钱家忠,李如忠,汪家权,等.城市供水水源地水质健康风险评价[J].水利学报,2004(8):90-93.
- [8] EPA/540/186060, Superfund Public Health Evaluation Manual [S].

(收稿日期 2005-10-15 编辑:傅伟群)