

# Evaluation on Water Quality of North Water Delivery Line of Water Diversion Project from Yellow River to Beijing

Miao Liu<sup>1</sup>, Aiwu Lin<sup>1</sup>, Junnong Gu<sup>2</sup>, Xinkai Cao<sup>2</sup>, Hong Jin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Water Quality Monitoring Center of Beijing Waterworks Group Co., Ltd., Beijing

<sup>2</sup>Technology Institute of Beijing Waterworks Group Co., Ltd., Beijing

Email: shannon\_330@163.com

Received: Sep. 18<sup>th</sup>, 2016; accepted: Oct. 7<sup>th</sup>, 2016; published: Oct. 10<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

Water Diversion Project from Yellow River to Beijing is one of the safeguard measures for Beijing. The water quality of reservoirs about this diversion project was analyzed. It is observed that the source reservoir has high content of total nitrogen, sulfate and chloride. The water quality of regulating reservoir is very poor, a number of water quality indexes, including COD<sub>Mn</sub>, COD<sub>Cr</sub>, total phosphorus, total nitrogen, fluoride, sulfate and chloride belongs to inferior-V class. It is also found that the Comprehensive Pollution Index of the Yellow River, regulating reservoir, receiving water reservoir is 2, 5, 3 respectively, the health risk is on 10<sup>-4</sup> orders of magnitude. The water quality of regulating reservoir and receiving water reservoir is unsuitable to be a water resource.

## Keywords

Water Diversion Project from Yellow River to Beijing, Drinking Water Source, Water Quality Evaluation

# “引黄入京”工程北输水线水源水质评价

刘苗<sup>1</sup>, 林爱武<sup>1</sup>, 顾军农<sup>2</sup>, 曹新恺<sup>2</sup>, 金红<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北京市自来水集团水质监测中心, 北京

<sup>2</sup>北京市自来水集团技术研究院, 北京

作者简介: 刘苗(1984-), 女, 山东济南, 北京市自来水集团水质监测中心, 工程师, 硕士, 研究方向为给水处理。

Email: shannon\_330@163.com

收稿日期：2016年9月18日；录用日期：2016年10月7日；发布日期：2016年10月10日

## 摘要

“引黄入京”工程是北京市饮用水水源保障措施之一。通过对引黄工程北输水线的水源水库、调节水库以及受纳水体的水质进行监测分析，结果表明：北输水线路中，水源水库中总氮含量较高，属劣V类，硫酸盐和氯化物含量虽然未超标，但含量较高。调节水库水质很差， $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、总磷、总氮、氟化物、硫酸盐、氯化物等多项指标属于劣V类。黄河水源水库、调节水库和入京受纳水体的综合污染指数分别为为2、5、3，健康总风险处于 $10^{-4}$ 数量级。调节水库和入京受纳水体水质无法满足饮用水水源的要求，会造成水源水的二次污染。

## 关键词

引黄入京，饮用水水源，水质评价

## 1. 引言

为了解决水资源面临的困境，北京构建“引江、引黄、引冀水入京，并与本地10座水库、6处水源地和再生水统一配置”的水源保障格局。“引黄入京”工程在此背景下被提出。此工程分为南北两条输水线，“引黄入京”工程的北线输水路线是从山西某水利枢纽调水经引黄入晋输水线进入大同境内，然后进入桑干河上的某调节水库，再经过河北涿鹿，进入北京市某受纳水库，最后再向北京市区供水。预计年引水量6亿立方米，入北京受纳水库水量3.2亿立方米。南线输水路线是从小浪底水库下游的某水库引水，引水渠道在焦作温县境内与南水北调中线干渠连接，调水经河南省、河北省，最后进入北京市。预计总调水量8.6亿立方米，进京水量2.8亿立方米。为判断“引黄入京”的可行性，减少引水的盲目性，需要对黄河水质进行监测，以此分析评估水质方面可能存在的各类风险。

## 2. 基本水质状况

选取GB5749-2006《生活饮用水卫生标准》和GB3838-2002《地表水环境质量标准》的及其它相关水质指标对北输水线各水体水质进行检测分析，水源、调节水库以及受纳水体的水质状况如表1所示。

### 2.1. 水源水库

水源水无机非金属指标中的硫酸盐和氯化物含量较高，其中硫酸盐平均含量是155 mg/L，氯化物平均值是103 mg/L，从硫酸盐的变化趋势可以看出，五月份至九月份的含量呈现下降趋势，十月份以后又会升高，这与季节性丰水期和枯水期水质的变化规律相吻合，但氯化物季节变化规律不明显。而北京市饮用水源两种物质全年的平均含量分别为56 mg/L和16 mg/L，与黄河水差别较大，因此，若引用黄河水做为北京饮用水水源，需考虑硫酸盐和氯化物的去除，以降低供水管网出现水黄的风险。

藻类六月份检测总数为87.12万个/升，主要含硅藻(占70.31%)和绿藻(占26.56%)，还有少量的蓝藻和裸藻，八月份数量增加到100.29万个/L，主要含硅藻(占46.46%)和绿藻(占47.24%)，还有少量的隐藻和甲藻，水样中未检出贾第鞭毛虫和隐孢子虫。

从有机物综合指标看，总有机碳(TOC)六月含量为2.2 mg/L，八月份升高至5.1 mg/L； $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 在1.84~5.04 mg/L范围内波动，平均值为2.56 mg/L，最高值分别达到了5.04和4.80 mg/L，基本在2 mg/L上下浮动； $\text{COD}_{\text{Cr}}$

**Table 1.** Water quality of reservoirs of the north water delivery line**表 1.** 北输水线各水库水质数据

项目	III类水限值	计量单位	黄河水源水库	调节水库	受纳水体
pH	6~9	无量纲	7.95~8.42	7.78~8.92	8.28~8.91
DO	≥5	mg/L	7.26~8.89	7.06~7.21	7.67~10.53
高锰酸盐指数	6	mg/L	1.84~5.04	4.36~16.0	4.2~5.6
化学需氧量	20	mg/L	11	58	17~22
BOD <sub>5</sub>	4	mg/L	≤4	7	2~5
氨氮	1.0	mg/L	≤0.06	0.80~1.52	0.05~0.08
总磷(以P计)	0.05	mg/L	≤0.05	0.45~0.56	0.04~0.12
总氮(以N计)	1.0	mg/L	2.09~2.92	4.57~5.20	0.75~1.46
氟化物(以F <sup>-</sup> 计)	1.0	mg/L	0.39~0.59	1.13~2.60	1.08~1.60
砷	0.05	mg/L	≤0.002	0.021~0.036	0.002~0.022
粪大肠菌群	10000	个/升	≤190	60~550	70~810
硫酸盐	250	mg/L	123~197	636~853	205.0~267.4
氯化物	250	mg/L	78.9~125.0	454~649	163.0~186.6

注：其它指标含量很低或在检出限以下。

测得值为 11 mg/L，石油类含量小于 0.05 mg/L，有机物综合指标能够达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类标准，满足饮用水水源标准要求。

土臭素含量在 2 ng/L 以下，2-MIB 在八月份略有检出，浓度为 4 ng/L，其它时间取得水样检测值均在 2 ng/L 以下，所以致嗅物质含量较低；总氮的平均含量为 2.5 mg/L，已超出《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中 V 类水标准限值(总氮 ≤ 2 mg/L)；而水源中的总  $\alpha$  放射性强度范围为 0.071~0.104 Bq/L，总  $\beta$  放射性强度范围是 0.130~0.154 Bq/L；

饮用水标准 106 项指标中所涉及的重金属类、有机农药类以及其它致癌物质浓度均为微量或在检出限以下。

## 2.2. 调节水库

对于此输水线上的调节水库而言，库区水质浑浊，伴有明显的腥臭味，水体中存在大量黄绿色悬浮物，浊度最低 7NTU，最高达到 38NTU，色度最高达到 40，水库岸边出现过大量死鱼，水质污染严重。

枯水期时藻类数量超过 7200 万个/L，丰水期数量下降，但也超过 5500 万个/L，其中蓝藻、绿藻和硅藻的数量占藻类总数的 95% 以上。

枯水期 TOC 含量为 58.9 mg/L，丰水期降为 30.6 mg/L，远远超过饮用水卫生标准限值 5 mg/L。

砷含量在 0.02 mg/L 以上，虽未超出标准限值，但含量相对很高；钠盐检测值在 500 mg/L 以上，含量相当高；硼的平均含量为 1.5 mg/L，饮用水卫生标准中硼的最高限值是 0.5 mg/L，超标严重，常规方法难以去除，处理难度大；钼的浓度变化较大，最低为 0.051 mg/L，最高时达到 0.105 mg/L，超出饮用水卫生标准中的限值 0.07 mg/L，不过，这一浓度利用碱性化学沉淀法[1]加上常规处理方法可以去除。

总  $\alpha$  放射性量值达到 0.370 Bq/L，总  $\beta$  放射性达到 0.896 Bq/L，同样处于较高水平。

从两年的监测数据可以看出，水库污染严重，包括高锰酸盐指数、化学需氧量、BOD<sub>5</sub>、总磷、总氮、氟化物、硫酸盐和氯化物等在内的多项有机物指标和无机非金属指标超过饮用水水源(III类)标准限值。

以《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)为依据，确定调节水库多项水质指标超过限值，水质属于劣五类，

且水质极不稳定，处理难度相当大，无法满足做为生活饮用水地表水源的要求，此外，饮用水卫生标准中的多项指标超标严重，采用水厂现行工艺处理后的出水难以达到卫生标准要求。

### 2.3. 受纳水体

做为北输水线的最终收纳水体，水库库区中心位置水质能够达到 IV 类标准，而距离岸边 5 米范围内的水质较差，所取水样有明显绿色悬浮物和棕色沉淀颗粒物，色度达到 20，浊度达到 14NTU 以上，鱼腥味二级，2-MIB 含量达到 15 ng/L。化学需氧量、BOD<sub>5</sub>、总氮只能达到 IV 类水质标准，总磷只能满足 V 类水要求，且各物质含量均比库区中心位置检测值高，水体出现富营养化；藻类总数超过 5700 万个/L，其中蓝藻约占 85%，还含有少量的硅藻和绿藻以及甲藻；氟化物含量较高，已超出 V 类水质标准，单从常规指标来看，已无法满足饮用水水源的要求。

## 3. 饮用水水源地水质安全状况评价

通过单因子指数法对各水源情况进行评价，确定了各水库的主要污染物(见表 2)，但此方法无法比较同一级别水的水质状况，对于综合水质的评价则显得比较保守，下面用综合污染指数法对水源进行综合评价。

本次评价中，综合各因子的污染分担率以及各水源有机污染特征，拟选取 DO、COD<sub>Mn</sub>、COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、As、Cr(六价)、TP、TN、透明度、叶绿素 a 等项目作为评价参数，以《全国城市饮用水水源地安全状况评价技术细则》为依据，根据选定的评价参数多次检测的平均含量为基础数据得出一般污染物、有毒污染物和富营养化污染物的分类指数，继而得出综合指数，从而确定水源的整体污染程度，比较不同水体的水质污染程度。水质状况指数分为五个等级，分别以指数 1、2、3、4、5 表达，分别对应优、良、中、差、劣等 5 类水质状况[2]。评价结果见表 3。

从统计结果可以看出，调节水库三类污染物指数均不达标，不能满足饮用水水源的要求。各水体面临的最大问题是富营养化，其中调节水库、受纳水体的富营养化指数超过了 3，调节水库已是劣等水质，富营养化类污染物含量相对较高，造成富营养化的风险很大。若将此类富营养化较为严重的水引入北京，一旦来水停留时间过长，会导致受纳水体进一步恶化，所以引水前应采取措施，防止富营养化问题加重。

## 4. 健康风险评价

健康风险评价指对有毒有害物质危害人体健康程度进行概率估计，并提出减小风险的方案 and 对策。美国环保局指出完整的健康风险评价包括四个方面的内容：危害鉴别、剂量—反应评估、暴露评估和风险表征[3]。健康总风险包括致癌性风险、非致癌性风险和放射性风险，根据各风险分量模型，选取污染因子，计算得出四大水库总风险大于 10<sup>-4</sup>，按照健康风险应控制在 10<sup>-5</sup> 的数量级的要求，说明存在一定健康风险，但风险较低，水源水需经过一定处理以降低通过食入途径而导致的健康风险(见表 4)。

**Table 2.** The main pollution factors and their classification of water source reservoirs

**表 2.** 水库主要污染因子及所属类别

主要污染因子及其所属类别		
	以《地表水环境质量标准》为依据	以《生活饮用水卫生标准》为依据
水源水库	劣 V 类: 总氮 劣 V 类: COD <sub>Mn</sub> 、COD <sub>Cr</sub> 、总磷、总氮、氟化物、硫酸盐、氯化物	未超标, 但含量较高: 硫酸盐、氯化物
调节水库	V 类: 氨氮 IV 类: BOD <sub>5</sub> 劣 V 类: 氟化物	超标: 硫酸盐、氯化物、氟化物、溶解性总固体、总硬度、COD <sub>Mn</sub> 、氨氮、TOC、砷、硼 未超标, 但含量较高: 总 α 放射性、总 β 放射性
受纳水体	V 类: 总磷 IV 类: COD <sub>Cr</sub> 、BOD <sub>5</sub> 、总氮	超标: 氟化物 未超标, 但含量较高: 硫酸盐、氯化物

**Table 3.** Comprehensive pollution index of water source reservoirs**表 3.** 各水库综合污染指数

水质指数	黄河水源水库	调节水库	受纳水体
一般污染物指数	2	4	2
有毒污染物指数	2	5	2
富营养化指数	3	5	4
<b>综合污染指数</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>

**Table 4.** The health risk assessment results of reservoirs**表 4.** 各水库健康风险评估结果

	风险因子	水源水库	调节水库	受纳水体
致癌性风险 $a^{-1}$	Cr <sup>6+</sup>	<8.463E-06	<8.463E-06	<8.463E-06
	Cd	<7.110E-06	<7.110E-06	<7.110E-06
	As	1.040E-05	<b>1.861E-04</b>	<b>1.140E-04</b>
致癌性风险评估结果(<)		2.597E-05	2.017E-04	1.296E-04
非致癌性风险 $a^{-1}$	Pb	<2.478E-10	8.227E-09	2.478E-10
	Zn	<5.782E-11	<5.782E-11	<5.782E-11
	Se	<6.939E-11	<6.939E-11	<6.939E-11
	Hg	<5.782E-10	<5.782E-10	<5.782E-10
	NH <sub>3</sub> -N	2.146E-11	5.437E-10	2.861E-11
	氰化物 CN	<1.875E-11	<1.875E-11	<1.875E-11
	酚 FN	<6.939E-12	<6.939E-12	<6.939E-12
非致癌性风险评估结果(<)		1.000E-09	9.502E-09	1.008E-09
放射性风险 $a^{-1}$	总 $\alpha$ 放射性	3.157E-05	<b>1.211E-04</b>	3.825E-05
	总 $\beta$ 放射性	4.675E-05	<b>2.720E-04</b>	5.616E-05
放射性风险评估结果(<)		7.832E-05	3.931E-04	9.441E-05
<b>总风险</b>		<b>1.043E-04</b>	<b>5.948E-04</b>	<b>2.240E-04</b>

注：结果计算所涉及各类毒物剂量系数见参考文献[4] [5]。

## 5. 结论

1) 北输水线路中，水源水库中总氮含量较高，属劣 V 类，硫酸盐和氯化物含量虽然未超标，但含量较高。调节水库水质很差，多项指标属于劣 V 类。如果从黄河水源水库输水，流调节水库时会造成原水污染，水质将无法满足不同水源的要求，而且从监测数据来看，调节水库水质极不稳定，加之进京后受纳水体污染较为严重，这样一来，更加大了水厂的处理难度，所以此条引黄线路若直接用来输水进京，可行性不大。

2) 若必须采用此输水线引水进京，则需要采取的根本解决办法是避开已重度污染的调节水库，改换其它输水渠道，或者为防止污染，埋设暗管。若不改变输水线路，则需做以下工作：准确调查排入水体污染物的主要排放源，控制污染物进入水体，减少或者截断外部输入的污染物质；调节水库存水全部排放，进行处理，疏浚底泥，去除生长过量的水生植物；治理最终受纳水体富营养化严重区域，改善水质。

## 参考文献 (References)

- [1] 马越, 吴维, 韩宏大. 化学沉淀法去除水中钼的特性研究[J]. 供水技术, 2011, 5(3): 26-27, 31.  
MA Yue, WU Wei and HAN Hongda. Molybdenum removal in water by chemical sedimentation. Water Technology, 2011, 5(3): 26-27, 31. (in Chinese)
- [2] 全国城市饮用水水源地安全状况评价技术细则[Z]. 北京: 水利部水利水电规划设计总院, 2005.  
Technology details for the security situation assessment of the national drinking water source in urban area. Beijing: China Renewable Energy Engineering Institute, 2005. (In Chinese)
- [3] 郑德凤, 史延光, 崔帅. 饮用水源地水污染物的健康风险评估[J]. 水电能源科学, 2008, 26(6): 48-50, 57.  
ZHENG Defeng, SHI Yanguang and CUI Shuai. Health risk assessment of contaminants in source of drinking water. Water Resources and Power, 2008, 26(6): 48-50, 57. (in Chinese)
- [4] 范清华, 黎刚, 王备新, 等. 太湖饮用水源地水环境健康风险评估[J]. 中国环境监测, 2012, 28(1): 6-9.  
FAN Qinghua, LI Gang, WANG Beixin, et al. Environmental health risk assessment of drinking water source of Taihu Lake. Environmental Monitoring of China, 2012, 28(1): 6-9. (in Chinese)
- [5] 曾光明, 卓利, 钟政, 等. 水环境健康风险评估模型及其应用[J]. 水电能源科学, 1997, 15(4): 28-33.  
ZENG Guangming, ZHUO Li, ZHONG Zhenglin, et al. Assessment models for water environmental health risk analysis. Water Resources and Power, 1997, 15(4): 28-33. (in Chinese)