

南水北调东线水质污染和湖泊 水生经济的系统分析

王景华 杜 伟

(中国科学院地理研究所)

提 要

本文讨论了我国南水北调东线水质污染的产生及其对调水水质的影响,同时对调水区域内工业排水与治理经济模式和湖泊水生经济系统的最优化分析进行了探讨。

一、南水北调东线天然水质的基本情况

南水北调东线工程跨越淮河、黄河、海河三大流域,来自内陆山区和黄土高原各水系携带各种化学风化物质在平原堆积,形成平原区的碳酸盐堆积风化壳与滨海的氯化物含盐堆积风化壳。

山地及洪积冲积扇为盐分的淋失区,土壤中的盐分含量 $<0.1\%$,组成盐分的主要离子 HCO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , SO_4^{--} , Cl^- 等都不同程度受到淋溶。其中以 Cl^- , SO_4^{--} , Na^+ 淋失严重。这些离子都到平原地区积累。南水北调东线沿线平原区累积十分明显,土壤含盐量增加,一般在 $0.1-1\%$ 之间,沿海地区多达 10% 以上。

由于南水北调东线各地自然条件的差异,河流天然水质化学类型以及河流水化学的水平与垂直分异都比较明显。以下分别阐述东线工程跨越的淮河、黄河、海河流域沿线天然水质的基本情况:

1. 淮河流域 南水北调东线经过的淮河流域,天然水质比较复杂。以洪泽湖为中心的附近各河流,河水矿化度 $200-300$ 毫克/升,洪泽湖以北河水矿化度增加到 300 毫克/升。至沿海受潮汐影响,河水矿化度大于 500 毫克/升,部分河水超过 $1,000$ 毫克/升。以氯化物为主。

南四湖接受来自鲁中山地的泗水河等低矿化度的河水,也有来自菏泽、济宁地区一些较高矿化度的河水,同时黄河河水也在人为控制下进入湖区,使湖水矿化度复杂,一般在 $300-400$ 毫克/升。属于 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{++}$ 型水,也出现 $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ 型水。

2. 黄河流域 黄河进入平原以后,不接受地下水的侧渗。主要支流只有大汶河汇入东平湖后,由陈山口进入黄河。黄河干流水质较好,矿化度 $300-500$ 毫克/升,属中等矿化度

的河水。水化学类型为 HCO_3^- — Ca^{++} 型，由于黄河源远流长，因此沿程水化学性质也有较大变化。至河口，矿化度增高，且变为 Cl^- — Na^+ 型水。发源于鲁中山地的大汶河，河水矿化度在200—250毫克/升，汇入东平湖后，河水矿化度为300—500毫克/升。出现 SO_4^{--} — Na^+ 或 HCO_3^- — Na^+ 型水。

3. 海河流域 海河流域可分成三个不同的自然地理区，即山地（包括冲积，洪积扇），冲积平原和沿海平原。河水矿化度和水化学类型随之而有很大的改变。南水北调东线工程过黄河以后，沿南运河北上到达天津。南运河在聊城、德州沿线，接受地下水的补渗。矿化度较高，在400—500毫克/升。德州、惠民、沧州一带，土壤盐碱化严重，地下水矿化度很高，可达500—1000毫克/升，受其影响，河水矿化度也相应增高，可以出现500毫克/升以上的含量，以 SO_4^{--} — Na^+ 、 Mg^{++} 型水为主，沿海可超过1,000毫克/升，以 Cl^- — Na^+ 为主。由此可看到，南水北调东线工程过黄河以后，将会受到天然水质较差的河水影响，这与当地的土壤盐碱化与地下水高矿化度有关。

二、黄河、淮河、海河流域的水质污染特征

南水北调东线跨越三大流域，河流水质的污染现状，必会定对调水水质产生影响。三大流域水质污染的特征简介如下：

1. 黄河流域 黄河花园口以下，由于没有工业废水的汇入，水质一直较好。由中、上游进入黄河的污染物，随着沿程泥沙的沉降，大部分进入沉积物中。大汶河由东平湖汇入黄河。携带工业废水和生活污水也同时排入河道。大汶河上游有冶金、电力、煤炭、石油、化工、机械、造纸、建材、木材加工、食品、纺织、皮革等工业部门。年排工业废水量近7,000万吨，其中排入大汶河水系的有6,000万吨，排入东平湖的约320万吨。主要污染物为悬浮物、耗氧物质、硫化物、铜、氰化物、酚等。

由于大汶河主要污染源都分布在上游，主要城镇的工业废水又经过支流净化后再入主流，因而影响减小。同时大汶河下游又有几个洼淀的调蓄和净化，再入东平湖，对黄河干流影响就很小了，水质尚好。

2. 淮河流域 淮河在河南省境内，干流水量丰沛水质良好，符合饮用水标准。淮河流域的主要污染源分布在北侧支流的上游，包括平顶山、漯河、许昌等地。而蚌埠、淮南、淮阴、清江等城镇又是淮河干流下游的主要污染源。中部干流水质较好。

淮河流域支流污染要比干流严重，北侧支流的污染又比南侧支流严重。例如，北侧支流的沙颍河，汇入了平顶山等工矿城镇的废水；贾鲁河发源于郑州附近，从郑州开始就受到严重污染，溶解氧含量在0.4—0.5毫克/升之间；惠济河发源于开封市东南，每天接受开封市及其附近城镇的工业废水约25.6万吨，相当3立方米/秒，而惠济河最小月平均流量仅0.51立方米/秒。污径比约等于6，河道充满污水，溶解氧最低值为零；由徐州不牢河和中运河流出的南四湖水系，也带来徐州等地的污染物从北侧进入淮河流域。

淮河干流下游的污染主要集中在蚌埠附近。而洪泽湖又是各方面来水的汇集处，做好洪泽湖水源保护十分重要。

3. 海河流域 海河流域工业发达, 人口密集。以流域的废水排放量与流域的径流量相比较, 求得流域的污径比, 结果见表 1。

表 1 黄河、淮河、海河流域的污径比

The ratio between sewage and flow in the Huanghe, Huaihe and haihe Basins

流 域	年排废水量 (亿方)	年径流量 (亿方)	污 径 比
海河流域	36.7	292	1 : 8
黄河流域	3.49	430.8	1 : 123
淮河流域	40.1	392.3	1 : 10

海河流域多年平均径流量按292亿立方计算, 污径比为1:8, 在黄淮海三大流域中居于首位。由于海河流域降雨集中, 致使大部分河流成为季节性河流, 在枯水期内无水, 成为排污河道, 污径比发生很大变化。

海河流域县以上城镇229个, 其中日排废水量在10万吨以上的城镇共12个, 虽然占流域城镇总数的5.2%, 但废水排放量却占流域总量的73%。海河流域的废水主要来自这12个城镇。

海河流域若算上滦河水系, 共有九大水系组成。其中以子牙河、南运河和北运河水系污染较为严重, 而子牙河水系城镇污水排放量占全流域排污量的23%。汇集了石家庄、邯郸、邢台、衡水等地的工业废水。

海河流域的污染源集中于平原东部与西部铁路沿线。东部铁路沿线有天津、沧州、德州、济南等城市。西部铁路沿线有北京、保定、石家庄、邯郸、邢台、安阳、新乡、焦作等城市, 都是海河流域的重点污染源。在平原上形成两个“带”状的污染, 而广大的平原中部, 污染较轻, 成为污染的缓冲地带。从已有资料统计得知, 东部各城市日排废水量占全流域日排总量的25.8%, 西部城市日排废水量高于东部, 约占全流域的47.4%。海河流域的污染主要出现在西部铁路沿线各主要城镇附近, 水质污染十分严重。

三、南水北调东线水质污染

根据南水北调东线输水干线的实际情况, 将水质污染和水源保护划分为三个不同的区, 其污染物含量和污染范围都有很大的不同。

1. 输水水源区 南水北调东线从江都引水, 南京—扬州段, 可视为调水的水源区域。长江水质尚好, 江水色度在20度以下, PH值7.0—8.5, 溶解氧大于7毫克/升, 五日生化需氧量多在1毫克/升。但是, 南京、镇江、仪征、扬州的工业废水排入江段。引起该段岸边污染。许多污染源也直接排水入长江, 或由沟渠、支流排水入江, 因此, 在排污口以下, 形成长宽不等, 污染严重的岸边污染带。工农业用水, 生活用水以及南水北调的提水工程都是直接取自岸边水流。长江岸边的局部污染带有可能对南水北调的水质产生影响。

2. 输水通过区 长江水引入输水渠道以后, 一直到达黄河以南的这一部分, 划为输水通过区。全长大约660公里。横跨淮河、沂河、沭河、泗水河以及洪泽湖、骆马湖、南四

湖、东平湖等。是水质污染比较严重的区域。

徐州以南的里运河、中运河、洪泽湖和骆马湖都接受附近城镇的工业废水。如里运河的淮阴市,有20%的工业废水直接进入河道。徐州市通过不牢河和奎河排放废水,每天排入不牢河的酚有373公斤。部分工业废水进入洪泽湖,使湖水受到污染。洪泽湖是南水北调东线的一个重要调蓄湖泊,目前它的污染源来自徐州、蚌埠、盱眙、泗洪等地。其中酚占污染物总进入量的23%,氰化物占47.3%,砷占24%,洪泽湖已有近20%的水面受到不同程度的污染。

徐州以北的输水干渠经过南四湖和东平湖到达黄河南岸。由于南四湖和东平湖处于鲁西南最低的地形部位上,接纳滕县、邹县、兖州、宁阳、济宁、鱼台、金乡、嘉祥、丰县、泰安等地的工业废水。目前湖区已能广泛的检测出污染物质,尚属污染的初期。由于它们地理位置的重要性,又加上每天有几十万吨废水通过河流进入湖区。因此南四湖存在着受严重污染的可能性,是南水北调东线工程上最值得重视的水源保护区域。

3. 水量输入区 南水北调东线过黄河以后,尚有490公里的输水干线,贯穿聊城、德州、沧州地区,直达天津市。这些地方的工厂企业以中小型为主。城市排污系统不完善,大部分废水直接排入河流,如临清县排水进入南运河,造成河水化学耗氧量达到68.8毫克/升,酚0.04毫克/升。德州市也有部分工业废水排入南运河,对河水造成污染。这些城镇的工业废水应该控制,可另寻出路,不得进入输水渠。

南水北调东线输水终端是天津市的北大港水库。该水库系平原水库。目前主要问题是水质逐渐咸化。当年10月份蓄水到第二年的2月,共4个月的贮存期,水中氰化物可增加300毫克/升。同时,水库库区水浅,水体交换和自净能力很差,水中有机物较多,使水中耗氧物质和氨氮含量增高。

四、南水北调东线主要工业行业排水与治理经济问题

南水北调东线区域内污染源分布面积大而分散,治理上有一定难度。由于水是绝大多数工厂企业不可代替的资源,它们往往取之于地表水或地下水系统,又污染这些系统。我国城镇级中小型企业是该区域社会经济的主要支柱。可是它们的利润并不都是很高,甚至有时宁愿付排污费,而不愿付污染治理的投资。目前条件下,某些工厂企业排放废水是不可避免的事情,污染治理也有一定限度。因此,在制定大型调水方案的时候,要考虑应该有适当比例的水量去增加水量输入区的环境容量。

南水北调东线工程范围内,各主要行业的排污比例如表2所示。显然化工,电力和生活污水所占比重最大。

(一) 各行业污染状况:

1. 化学工业污染 在东线的区域范围内现有化肥厂36家¹⁾,日排废水达37.4万吨,主要污染物有COD、氰化物、悬浮物、油类、硫化物、氟、磷等。污染源集中分布于南四湖

1) 南水北调东线一期工程水资源保护调查组: 南水北调东线一期工程水资源保护调查报告, 1985年。

水系、徐州市、淮阴地区以及新沂河沿线。一般沿大运河呈纵向带状分布为主。

2. 电力工业污染 主要有淮阴、邳县、徐州、沛县等发电厂,日排污量为28.8万吨。主要污染物为悬浮物,占总量的80%。应重视这些电厂废水回收问题。

3. 造纸工业污染 造纸厂排放的污水中含高浓度的碱性黑液,治理十分困难。在东线范围内有44个造纸厂,主要集中于济宁市、徐州市、淮阴市等,日排污量达9.7万吨。

4. 印纺工业污染 印纺工业废水中含有大量的COD、硫化物和油类,特别是印染废水的色度高,处理困难而且费用很高。

5. 食品工业污染 食品工业污染主要来自酿酒厂和肉联厂的有机污染物。以油类和有机污染为主。据不完全统计,日排废水量大约为5.8万吨。

6. 医疗污水污染 医疗污水的比重最小,但是由于污水中含有病源菌、病毒、寄生虫等,其危害较大。东线一期工程范围内大约有158所医院,日排污水2.07万吨。

表 2 南水北调东线工程各行业废水量

Proportion of wastewater amount of variant industry
in the Eastern Route water transfer from Southern

行 业	生活	电力	冶金 机械	食品	印纺	造纸	化工	医疗	其他
废水量(%)	16.2	25.0	6.6	2.5	2.9	6.8	33.2	1.9	4.9

(二) 污水治理的经济问题

工业污水治理与水质管理不能与国家现行的经济条件相脱节,否则就达不到治理的目的。一般来讲,中小型化肥厂、造纸厂或酿造厂污水治理费用需几十万至上百元。从已有的污水处理厂资料分析来看,一级污水处理厂去除率约30%,每吨污水集中处理投资需35.3元;二级污水处理厂去除率约80%—90%,每吨污水处理投资需233.6元。企业废水分散处理,每吨水需202.2元。东线一期工程内工业废水分散处理约94.07万吨,集中处理15.82万吨。考虑时间价值的动态意义,则可按下式计算总投资:

$$T_c = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{P^i}{n} (C_1 W_1 + C_2 W_2)$$

式中: T_c 为 n 年的总投资, P 为投资折现率 $P = \frac{1}{1+r}$, r 为利息率, C_1 为单位污水量的分散处理费用, W_1 为分散处理污水量, C_2 为单位污水集中处理费用, W_2 为集中处理污水量。

假定1990年治理完毕,则一级处理总投资为1.718亿元,相当工程总投资的13.2%,二级处理总投资为1.993亿元,相当工程总投资的15.3%。这样大的投资相当可观。可以考虑用一定比例的水量去扩大水量输入区河流和湖泊的环境容量,增加环境自净能力,使其产生经济效益,减少污水处理的直接投资。因此,跨流域调水也可以看做为改善地表水污染程度的一种措施。

五、南水北调东线调水对湖泊水生经济系统的影响

南水北调东线工程将纵向联通洪泽湖、骆马湖、南四湖、东平湖等,联通湖泊所牵联的

社会经济问题是十分复杂的。在此仅以南四湖为例加以讨论。调水对南四湖水生经济系统带来两重效益，既有正效益，又有负效益，例如，调水后湖泊水位增加和稳定，会使一些水生植物产量下降，特别是芦苇，在它生长敏感期（4月份），若湖水长期淹没枝头，影响植物呼吸，从而影响产量。而另一方面，由于水量增加，库容加大，若加强人工饲养，渔业产量将会增加。那么，南四湖水生经济植物的最优蓄水位是多少？它与南水北调南四湖规划设计蓄水位有什么差异？由于南四湖水生经济系统是一个多变量的复杂系统，因此利用系统分析法结合多元统计分析法来加以研究。

对这个系统，我们希望求得一个最优的湖泊运用蓄水位，求出各种水生经济植物最优种植面积和渔业产品的最佳自销价值量，使得总的水生经济产品的产值最大，即达到下面的目标：

$$T_B = \text{MAX} \left\{ \text{BF}(Z, S) + \text{BP}_1(Z, A_1) + \text{BP}_2(Z, A_2) + \dots + \text{BP}_n(Z, A_n) \right\}$$

式中： T_B 是最优水生经济产品总产值（万元）； Z 是湖泊蓄水位（米）； S 是渔业产品自销价值（万元）； BF 是渔业产值函数； BP_i 是第 i 种水生植物产值函数； A_i 是第 i 种水生植物种植面积（万元）。

限制方程组如下：

1. 各种水生经济植物种植面积的的限制 各种水生经济植物的规划种植面积不应超过最大可种植面积（ $A_{\max i}$ ），同时不应小于最小可繁殖面积（ $A_{\min i}$ ）：

$$A_{\min i} \leq A_i \leq A_{\max i}$$

2. 水位限制 在实现调水后，南四湖的蓄水位不应低于其规划设计死水位（ Z_d ），同时，不应高于规划设计的正常蓄水位：

$$Z_d \leq Z \leq Z_n$$

3. 市场经济限制 由于南四湖水生经济系统有其自销能力和产量的限制，模型计算出的自销价值不应超过最大规划自销价值量（ S_{\max} ）；同时应当满足一定的社会需求（ S_{\min} ）

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}$$

4. 各种水生经济产品的产值限制 各种水生经济产品的产值不应超过湖泊自身的生产能力：

$$\text{BF}(Z, S) \leq \text{BF}_{\max}$$

$$\text{BP}_i(Z, A_i) \leq \text{BP}_{\max i}$$

根据山东省微山县的统计资料，利用计算机得到的结果见表3。

结论是，对于年运用水位来讲，调水后若南四湖水位常年稳定在设计蓄水位的情况下，并且不考虑利用湖区进行大量的人工养鱼的话，南水北调将给南四湖水生经济系统带来负效益。若上级湖水位长期维持在规划设计蓄水位 34.20米，与最优产值相比，每年减产将合 130.87万元。若下级湖水位长期维持在规划设计蓄水位 32.50米，与最优经济产值相比，每年减产不大，仅5.5万元。

表 3 南四湖水生经济系统最优分析结果
Optimum analysis result of aquatic-economical
system in the Nansihu Lake

湖 区		上 级 湖	下 级 湖
目标值 (万元)		2032.676	1976.627
最佳水位 (米)		33.00	31.96
自销值 (万元)		1065.495	1071.981
最佳种植面积	苇 (万亩)	7.97	7.00
	菇 (万亩)	6.53	7.00
	菱 (万亩)	2.95	7.50
	芡 (万亩)	0.79	1.60
最优化水产品产值	渔 (万元)	1253.256	1260.000
	苇 (万元)	478.000	377.972
	菇 (万元)	162.000	51.969
	菱 (万元)	74.408	222.000
	芡 (万元)	60.000	62.686

数学模型在确定湖泊最优蓄水位的同时,也确定了各种水生经济植物的最佳种植面积。例如,上级湖最佳苇种植面积为7.97万亩,菇种植面积为6.53万亩,菱种植面积为2.95万亩,芡种植面积为0.79万亩,这是一个最佳水生经济植物生产种植方案,它帮助我们科学地制定南四湖生产规划。

参 考 文 献

- (1) 王景华、刘永可: 南水北调地区河流水质与污染研究, 远距离调水——中国南水北调和国际调水经验, 科学出版社, 1983年。
- (2) 周信泉、范天芝: 1980年海河流域水污染状况, 海河科技, 总第20期, 1983年。
- (3) 王景华、刘永可: 南水北调东线河流水质污染问题, 南水北调规划办公室主编, 南水北调规划与科研论文选编, 第2期, 1985年。
- (4) 刘永可: 京津渤地区河流水化学, 化学地理研究文集, 科学出版社, 1985年。
- (5) 胡文英: 我国淡水湖矿化度和水型的初步探讨, 化学地理研究文集, 科学出版社, 1985年。
- (6) 乐嘉祥、王德春: 中国河流水化学特征, 地理学报, 29(1), 1963年。
- (7) 王景华: 水体污染, 科学出版社, 1985年。
- (8) Liu Changming and Du Wei: Areal Reallocation of China's Water Resources, Geo-Journal FR Germany, 10.2, 1985.
- (9) Wang Jinghua: A Brief Review on some Water Quality Problems in China, Geo-Journal FR Germany, 10.4, 1985.

RIVER WATER POLLUTION AND ANALYSIS OF AQUATIC-ECONOMICAL SYSTEM IN THE LAKES OF THE PROPOSED EASTERN ROUTE OF WATER TRANSFER

Wang Jinghua Du Wei

(Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

The Eastern Route have been proposed for trans-ferring water from the Chang Jiang to the Tianjin. The Route would use the ancient Grand Canal to transfer water from the Jiangdu Pumping Station in the lower reaches of the Chang Jiang. The Eastern Route of water transfer from Southern would pass through three basin of Huaihe, Huanghe and Haihe. The water would be also pumped to pass through four large lakes, namely, the Hongze, Luoma, Nansi and Dongping.

The water pollution of rivers and lakes are very important, because factories of nearby Canal drain waste water that it is coming from industrial pollution source in the Eastern Route of water transfer from Southern. The drained wastewater was mainly from industrial city of three basin and one of them the Haihe basin was polluted more severely than the other two basin. For example, in Haihe basin the over 10×10^4 tons of drained waste water is in total of twelve city, the drained amount more than 73% of the annual total in this basin. The water quality of Eastern Route would have to be effected by waste water from industrial urban.

The natural water quality of surface water is characterized by great variations in mineralization. South of Huai River mineralization is about 200-300 mg/L mainly by HCO_3^- - Ca^{++} , while in the N of the Huanghe the mineralization increases gradually to 500mg/l, because mineralization of ground water is 500-1000mg/l that it exerts effect on that of rivers.

In this paper, we have researched principally also the economical problem of treatmental sewage, lake pollution of Eastern Route and effect on aquatic-economical system from transfered water. Accoding to the analysis of aquatic system in Nansihu lake, an economical analysis method of optimum system is given.