

于淼 魏源送 刘俊国 等. 2011. 永定河(北京段)水资源、水环境的变迁及流域社会经济发展对其影响[J]. 环境科学学报, 31(9): 1817-1825.
Yu M , Wei Y S , Liu J G , et al. 2011. Impact of socioeconomic development on water resource and water environment of Yongding River in Beijing [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 31(9): 1817-1825.

永定河(北京段)水资源、水环境的变迁及流域社会经济发展对其影响

于淼^{1,2} 魏源送^{1,*} ,刘俊国³ ,刘培斌⁴ ,张振明³ ,魏炜⁴ ,王亚炜¹ ,钟佳¹ ,杨勇^{1,2} ,肖庆聪^{1,2} ,郁达伟^{1,2} ,郑祥²

1. 中国科学院生态环境研究中心 北京 100085

2. 中国人民大学环境学院 北京 100872

3. 北京林业大学自然保护区学院 北京 100083

4. 北京市水利规划设计研究院 北京 100044

收稿日期: 2010-12-15 修回日期: 2011-03-29 录用日期: 2011-04-18

摘要: 考察了官厅水库和永定河(北京段)1954—2008年水资源及1980—2005年水环境的变迁,并通过Pearson相关分析探讨了流域社会经济发展对永定河(北京段)水资源和水环境的影响。研究结果表明:①官厅水库建成后近50年来水量和出库水量均大幅衰减,例如,官厅水库来水量从1959年的25.56亿m³锐减至2008年的0.8亿m³,出库水量从1959年的23.33亿m³锐减至2008年的0.47亿m³,这是永定河(北京段)径流量锐减和断流加剧的首要影响因素;②1980—2008年间官厅水库来水量、出库水量均与三家店引水量、工业用水量、农业用水量显著正相关($p < 0.01$),均与卢沟桥断流天数显著负相关($p < 0.05$);③官厅水库水质指标 COD_{Mn} 和 NH₄⁺-N 分别与山峡段水质指标 DO 显著负相关($p < 0.05$, 0.01),并与山峡段水质指标 NH₄⁺-N 呈显著正相关($p < 0.05$, 0.01)。④30年流域社会经济的迅猛发展对永定河(北京段)的水资源和水质具有显著影响,例如,人口、人均GDP、城市化率均与三家店引水量、工业用水量、农业用水量显著负相关($p < 0.01$),而且均与山峡段水质指标 DO 显著负相关($p < 0.05$)。并且人口、城市化率、入河污水量均与山峡段水质指标 BOD₅($p < 0.05$) 和 NH₄⁺-N ($p < 0.01$) 呈显著正相关。因此,建议从可持续利用水资源和保护水环境的角度出发,完善永定河全流域的统一管理与实施,促进永定河绿色生态走廊的建设。

关键词: 官厅水库; 河流生态; 相关分析; 社会经济发展

文章编号: 0253-2468(2011)09-1817-09 中图分类号: X171 文献标识码: A

Impact of socioeconomic development on water resource and water environment of Yongding River in Beijing

YU Miao^{1,2} , WEI Yuansong^{1,*} , LIU Junguo³ , LIU Peibin⁴ , ZHANG Zhenming³ , WEI Wei⁴ , WANG Yawei¹ , ZHONG Jia¹ , YANG Yong^{1,2} , XIAO Qingcong^{1,2} , YU Dawei^{1,2} , ZHENG Xiang²

1. Research Center for Eco-Environmental Sciences , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100085

2. School of Environment and Natural Resources , Renmin University of China , Beijing 100872

3. College of Nature Conservation , Beijing Forestry University , Beijing 100083

4. Beijing Institute of Water , Beijing 100044

Received 15 December 2010; received in revised form 29 March 2011; accepted 18 April 2011

Abstract: Through reviewing the change of water resources in 1954—2008 and that of water environment in 1980—2005 of Guanting Reservoir and Yongding River (Beijing Section), the impacts of watershed socioeconomic development on water resources and water environment of Yongding River (Beijing Section) were statistically analyzed. As the most important factor, a substantial decrease of both inflow and outflow of Guanting Reservoir occurred during the last 50 years since the Guanting Reservoir was built up, which resulted in a sharp drop of the runoff of Yongding River in Beijing and

基金项目: 北京市科技计划重大项目资助课题(No. D090409004009003); 教育部新世纪优秀人才支持计划(No. NCET-09-0222)

Supported by the Beijing Key Technology R&D Program (No. D090409004009003) and the Program for New Century Excellent Talents in University (No. NCET-09-0222)

作者简介: 于淼(1985—),女, E-mail: yumiao04hk@yahoo.com.cn; * 通讯作者(责任编辑) E-mail: yswei@rcees.ac.cn

Biography: YU Miao (1985—), female, E-mail: yumiao04hk@yahoo.com.cn; * Corresponding author, E-mail: yswei@rcees.ac.cn

exacerbation of river drying, e.g., both inflow and outflow of Guanting Reservoir sharply reduced from 2.556 billion m³ and 2.333 billion m³ in 1959 to 80 million m³ and 47 million m³ in 2008, respectively. Statistical analysis results clearly indicated that inflow and outflow of Guanting Reservoir were not only significantly correlated to the amounts of water transferred from the Sanjiadian, industrial and agricultural water supplies ($p < 0.01$), but also negatively correlated to days of river discontinued in Lugou Bridge ($p < 0.05$) during 1980—2008. Both chemical oxygen demand (COD_{Mn}) and ammonia nitrogen (NH₄⁺-N) of Guanting Reservoir were negatively correlated to dissolved oxygen (DO) and NH₄⁺-N in the Gorge Section ($p < 0.05$, 0.01), as well as positively correlated to NH₄⁺-N of the Gorge Section ($p < 0.05$, 0.01). The water resources and water environment of Yongding River (Beijing Section) were significantly affected by the socioeconomic development of Yongding River Basin, e.g., the population, GDP per capita and urbanization ratio were all negatively correlated to the amounts of water transferred from the Sanjiadian, industrial and agricultural water supplies ($p < 0.01$), and positively correlated to DO in the Gorge Section of Yongding River (Beijing Section). In addition, all of the population, urbanization rate and the amount of wastewater discharged into Yongding River were positively correlated to DO ($p < 0.05$) and NH₄⁺-N ($p < 0.01$) in the Gorge Section. In summary, it is suggested that an integrated watershed water management of Yongding River should be further carried out to encourage the sustainable exploration of water resource and protection of water environment.

Keywords: Guanting Reservoir; river ecology; correlation analysis; socioeconomic development

1 引言(Introduction)

永定河是全国四大重点防洪江河之一,是首都重要防洪安全屏障、重要供水水源河道和水源保护区。在北京市的发展过程中发挥着重要作用(尹钧科,2003)。历史上的永定河洪灾频发,曾给其下游地区广大的人民群众造成巨大灾难(北京市永定河管理处,2002)。1954年官厅水库建成后,永定河官厅以上洪水得到了控制,减轻了对中下游地区的洪水威胁,洪灾损失大幅下降(左犀,1998),但改变下游水文情势等负面效应也日益显现(刘军等,2006)。随着上游省份对永定河的层层拦截,永定河(北京段)地表水资源量锐减(程大珍等,2001;胡春宏等,2004a)。1980年代以来,流域社会经济进入了高速发展时期,用水量和污水排放量猛增,水质急剧恶化,永定河(北京段)出现了河道断流、水质下降、风沙侵扰等一系列生态环境问题(Wang et al., 2010; 颜磊等,2009)。北京城市总体规划(2004—2020)将永定河定位为“京西绿色生态走廊”。

与城市西南生态屏障”,需实现防洪、供水、生态3个重要功能。因此,本文的目的是考察官厅水库建成后1954—2008年水资源及1980—2005年水环境的变迁,并通过Pearson相关分析,着重探讨改革开放以来的1980—2008年间流域社会经济发展对永定河(北京段)退化的影响,为今后北京市更好地建设永定河绿色生态走廊提供科学依据。

2 材料与方法(Materials and methods)

2.1 研究区域

永定河发源于山西省,流经内蒙古自治区、河北省,途径官厅水库进入北京市,经天津市后汇入渤海,全长747 km,流域面积47016 km²,是海河水系最大的一条河流。其中北京段位于永定河冲积平原,长逾170 km,流经门头沟、石景山、丰台、房山、大兴5区,流域面积3168 km²,占总流域面积的6.7%。官厅坝下一三家店为山峡段,三家店以下为平原段(图1)。

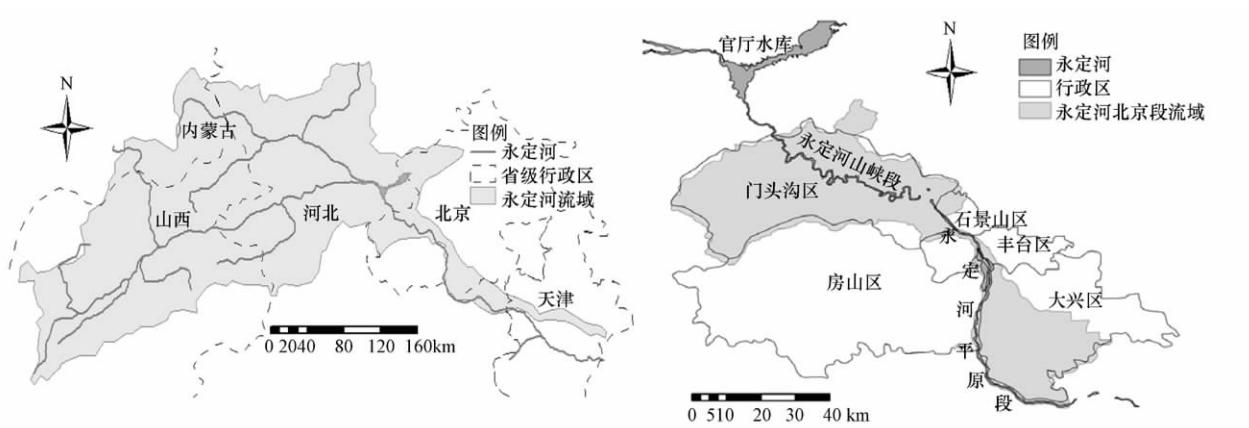


图1 永定河及其流域(北京段)与官厅水库位置

Fig. 1 Location of Yongding River and its basin (Beijing Section) and Guanting Reservoir

2.2 指标选取与数据来源

①水资源数据: 1925—2008 年间永定河流域(北京段)降水量、官厅径流量(来水量)、三家店径流量来源于华北区水文资料(1925—1949 年)(中央人民政府水利部水文局, 1954a; 1954b)、《海河流域水文资料》(1950—1980 年)、历年《北京市水资源公报》(1986—2008)(北京市水务局, 2009); 1956—2008 年的官厅水库出库水量、官厅水库供应工农业用水量、三家店引水量、1987—2000 年的卢沟桥断流天数来源于《永定河水旱灾害》(北京市永定河管理处, 2002); ②水环境数据: 1980—2008 年的官厅水库、永定河山峡段、永定河平原段的 DO、COD_{Mn}、BOD₅、NH₄⁺-N 及其水质类别、主要超标污染物及超标倍数、水系达标河道长度百分比、入河污水量来源于历年《北京市环境质量报告书》(北京市环境质量报告书编写组, 2006)、《北京市环境状况公报》(北京市环境保护局, 2009); ③社会经济发展数据: 1980—2008 年的永定河(北京段)门头沟、石景山、丰台、房山、大兴 5 区总人口、人均 GDP、城市化率、一产比例、二产比例和三产比例来源于历年《北京市统计年鉴》(北京市统计局, 2009)。

本文选取 1980—2008 年的 8 个水资源指标、9 个水环境指标和 6 个社会经济发展指标进行 Pearson 相关分析。

2.3 分析方法

根据《海河流域水污染防治规划》、《北京市地面水环境质量功能区划》,官厅水库、永定河山峡段(官厅坝下一三家店)为集中式饮用水源一级保护区, 执行 II 类地表水质标准; 永定河平原段(三家店—崔指挥营)执行 III 类地表水质标准。

使用 SPSS 17.0 进行相关分析, 选用皮尔逊(Pearson)相关系数, 其定义是两个变量协方差除以两个变量的标准差, 即

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y - \bar{y})^2}}$$

3 结果(Results)

3.1 水资源变迁

官厅水库于 1954 年 5 月建成, 1958 年开始供水, 初建库容为 22 亿 m³, 1989 年 7 月扩建到 41.6 亿 m³。由图 2 可见, 官厅水库建成前后, 永定河流域(北京段)降水量变化并不显著($F = 0.036$, $p = 0.851$), 其中 20 世纪 50 年代为丰水期, 降水量比多

年平均值大 24%。20 世纪 60、70 与 90 年代为平水期, 20 世纪 80 年代与 2000—2008 年为枯水期(程大珍等, 2001)。由图 3 可见, 近 50 年来, 官厅水库来水量以年均 2300 万 m³ 的速率锐减, 导致出库水量相应地由 1950 年代的 20 亿 m³ 减少到 2008 年 4300 万 m³(北京市水务局, 2009)。与此同时, 三家店引水量相应减少, 但占三家店来水量的比重却不断攀升, 从 1957 年的约 20% 升至 1960 年代的 50% 左右, 1970 年代以来引水比例持续在 80% 以上, 甚至达到 100%, 使得三家店径流量在官厅水库建库后以年均 3500 万 m³ 的速率减少至基本为零(图 4)。其直接影响是永定河平原段多年持续干涸, 河床裸露, 风沙肆虐。卢沟桥 1987—2000 年间每年断流 320 d 以上, 甚至全年断流, 只有 1988 和 1996 年除外, 分别断流 233 d 和 186 d。尽管到 2008 年官厅

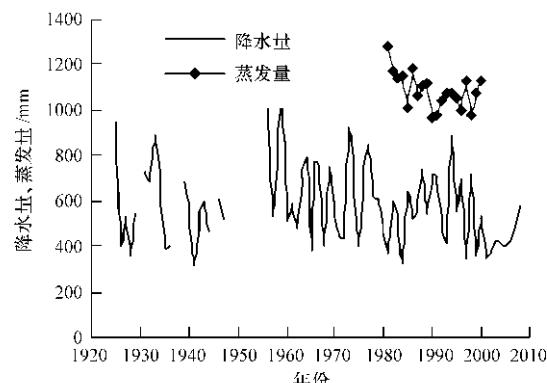


图 2 永定河流域(北京段)1925—2008 年间降水量及 1981—2000 年间蒸发量

Fig. 2 Precipitation of Yongding River Basin (Beijing section) in 1925—2008 and evaporation in 1981—2000

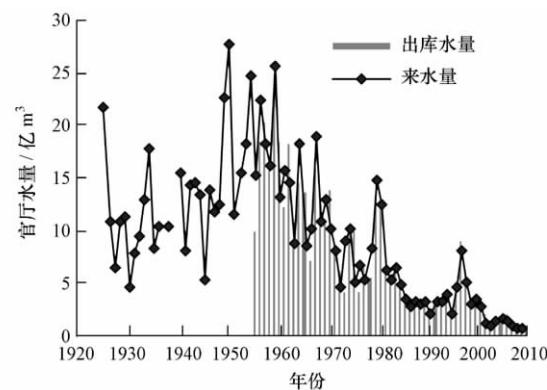


图 3 1925—2008 年间官厅水库来水量及 1955—2008 年间官厅水库出库水量

Fig. 3 Input flow of Guanting Station in 1925—2008 and output flow of Guanting Reservoir in 1955—2008

水库累计向北京市供水高达 256亿m^3 ,但官厅水库水量的锐减加剧了北京市水资源的供需矛盾,例如,1960年代官厅水库供应工农业的水量尚且稳定而1970年代以后,官厅水库基本退出农业供水,工业供水也逐渐减少(图5).另外,水量减少使污径比相对增大,加剧了水质恶化.

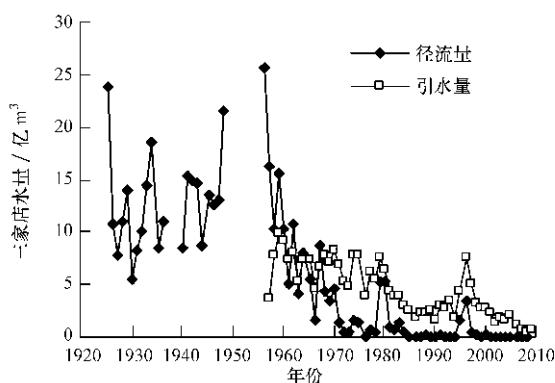


图4 1925—2008年间三家店径流量及1957—2008年间三家店引水量

Fig. 4 Runoff of Sanjiadian in 1925—2008 and water diversion in 1957—2008

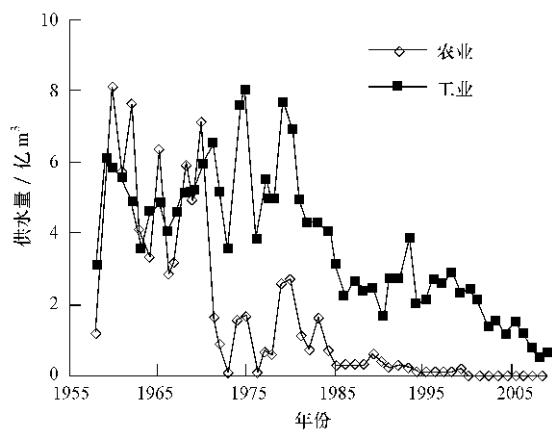


图5 1958—2008年间官厅水库供应工农业用水量

Fig. 5 Industrial and agricultural water supply of Guanting Reservoir in 1958—2008

3.2 水环境变迁

如表1所示,官厅水库1970年代已经受到污染,但程度较轻。1980年代初官厅水库受农药污染,乐果平均值超标,Ar、氟、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 等最高值超标。1983—1985年官厅水库水质有所好转,达到清洁水平,但1986—1991年COD_{Mn}、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 等有机污染加重。1998年官厅水库水质下降为劣V类,重度污染,此后水质稳定在IV类,除COD_{Mn}、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、石油类等有机污染持续超标外,F污染加重,同时TN、TP等

富营养化指标超标严重,处于轻度至中度富营养水平(北京市环境质量报告书编写组,2006;北京市永定河管理处,2002).

永定河山峡段 1980—1991年间保持清洁,1998—2007年间稳定在IV类,仅在2000年达到过III类,COD_{Cr}、COD_{Mn}、BOD₅、OIL等有机污染指标和F平均值超标水质,2008年达到目标水质II类(北京市环境保护局,2009;北京市环境质量报告书编写组,2006).

永定河平原段呈现明显的工业污染特征,由1980年代的轻度污染降为1990年代劣V类、重度污染。1980—1985年水质呈碱性,F平均值超标,COD_{Mn}、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、Ar、As、Hg、Cr、Cu等最高值略超标。1990年 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 平均值超标达9.8倍。1990年代因无径流补给,基本呈干涸状态,仅右岸中门寺沟、左岸高井沟及首钢区间形成断断续续的水面,有机和工业污染严重,为V类至劣V类。2005年起增测高井沟水质,2005—2008年均为劣V类,2008年水质为F(IV)、Ar(V)、DO(>V₃)、Hg(IV)、LAS(>V₃)、OIL(V)、BOD₅(>V₄)、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}(>V_3)$ 、COD_{Cr}(>V₄)(北京市环境保护局,2009;北京市环境质量报告书编写组,2006).

官厅水库、永定河山峡段和平原段DO、COD_{Mn}、BOD₅和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度在1980—2005年间变化如图6所示。官厅水库DO全部优于II类; COD_{Mn}呈“N”型变化,1980—1985年达标,1986年开始超出目标水质II类,1990年超过III类,此后在II类和III类间波动,2003年达最小值,2004和2005年又升高至接近III类。BOD₅在1980—1981年达标,1983年开始超标,此后波动变化,1998年超标1.33倍,1999年后基本达标。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 在呈“M”型变化,1980—1985年均达标,1986年开始超标,1990年超过III类,1991和1996年恢复至II类,但1998年超标2.52倍,此后波动下降,2003年恢复至II类,但2004和2005年再次超标。

永定河山峡段DO、COD_{Mn}、BOD₅和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 基本满足目标水质II类,只在1990年之后个别年份COD_{Mn}、BOD₅和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度超标。

永定河平原段DO从1982年的 $11.27 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降至1986年的 $3.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,BOD从1984年的 $0.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 上升至1991年的 $6.89 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,超过III类,COD_{Mn}和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度虽有升高,但未超标。1991年后平原段因常年断流无数据。

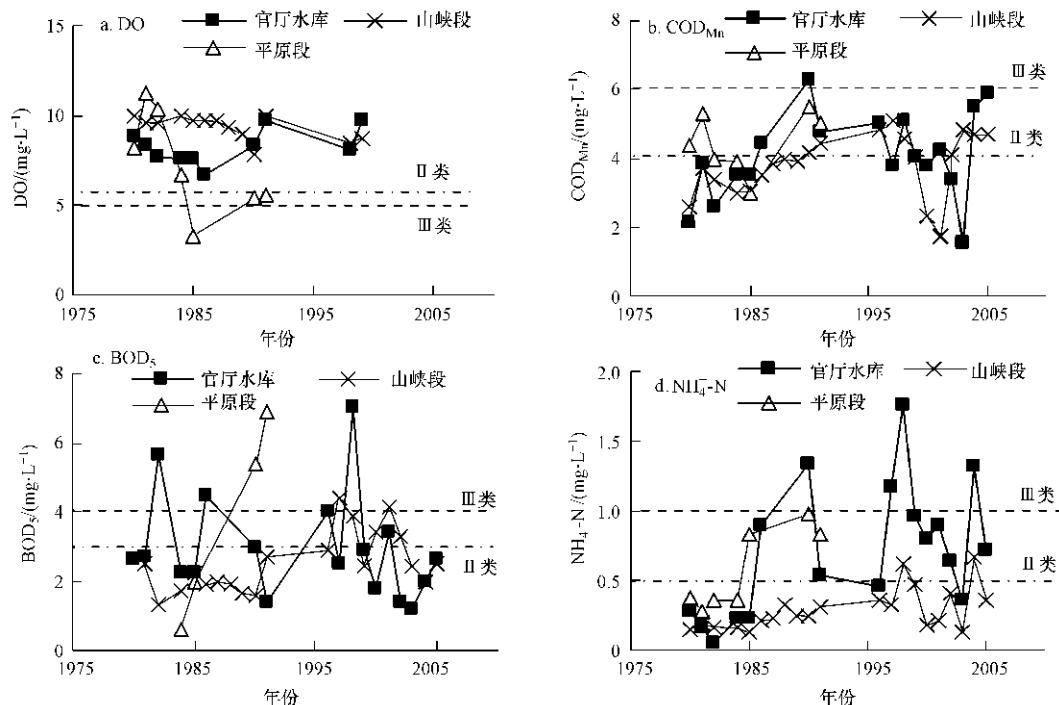


图6 1980—2005年间官厅水库、山峡段、平原段主要水质指标

Fig. 6 Concentrations of (a) DO , (b) COD_{Mn} , (c) BOD₅ and (d) NH₄⁺-N of Guanting Reservoir , Shanxia section and Pingyuan section in 1980—2005

3.3 永定河(北京段)社会经济发展与水资源、水环境的相关分析

Pearson 相关分析结果表明(表2),1980—2008年间官厅水库来水量、出库水量均与三家店引水量、工业用水量、农业用水量显著正相关($p < 0.01$),均与卢沟桥断流天数显著负相关($p < 0.05$)。山峡段水质指标 DO 与官厅水库水质指标 COD_{Mn} ($p < 0.05$) 和 NH₄⁺-N ($p < 0.01$) 显著负相关,山峡段水质指标 NH₄⁺-N 与官厅水库水质指标 COD_{Mn} ($p < 0.05$) 和 NH₄⁺-N ($p < 0.01$) 呈显著正相关。人口、人均GDP、城市化率均与三家店引水量、工业用水量、农业用水量显著负相关($p < 0.01$),而且均与山峡段水质指标 DO 显著负相关($p < 0.05$),并且人口、城市化率、入河污水量均与山峡段水质指标 BOD₅ ($p < 0.05$) 和 NH₄⁺-N ($p < 0.01$) 呈显著正相关。

4 讨论(Discussion)

4.1 流域社会经济发展对永定河(北京段)水资源开发利用的影响

造成近50年山峡段径流量锐减和平原段断流加剧的首要原因是官厅水库来水减少。官厅水库的

来水量从1959年的25.56亿m³锐减至2008年的0.8亿m³,相应地出库水量从1959年的23.33亿m³锐减至2008年的0.47亿m³。官厅水库来水的减少主要是由官厅水库上游地区用水量增加、用水结构变化、水库层层拦截造成的,而与流域的降水量($r = 0.041$)和蒸发量($r = 0.288$)相关性很弱。1997年官厅水库上游地区用水9.17亿m³,比1979年增加了8%,其中农业灌溉用水比例由99%降至87%、城镇用水比例由1%升至13%(程大珍等,2001),而同期官厅水库来水却减少了66%。截至2004年,官厅水库上游地区已建成总库容约13.99亿m³的大型水库2座,中型水库16座和小型水库257座(胡春宏等,2004b),以至当降雨量相同时,1980—1997年官厅水库的径流量较1956—1979平均减少15%~20%(程大珍等,2001)。

永定河流域(北京段)的社会经济发展严重地挤占了永定河(北京段)的生态用水。1957年建成的三家店引水工程使永定河一度成为北京城区供水唯一的地表水源,在1965年京密引水渠建成后仍是两大地表水源之一。1958—2008年,永定河累计为北京供水352.8亿m³,其中工业、农业、生活及环境供水各占65%、26%、6%和3%,电力和钢铁是最大的工业用水部门,分别占工业供水量的85.1%和

Table 1 Class and main water quality indices of Guanting Reservoir, Shannan section and Pingyuan section in 1980—2008, and percentage of the length up to standard of Yongding River System in 1998—2008

年份	官厅水库		永定河山峡段		永定河平原段		达标长度 指标(平均值超标倍数或类别)
	类别	指标(平均值超标倍数或类别)	类别	指标(平均值超标倍数或类别)	类别	指标(平均值超标倍数或类别)	
1970s	II类		III类		III类		
1970	轻度		轻度		轻度		
1980	轻度	乐果(0.5)	清洁		F、pH		
1981	轻度	乐果(0.9)	清洁		轻度	F(0.1)	
1982	轻度	乐果(0.1)	清洁		轻度	F(0.7)、pH	
1983	清洁		清洁		轻度	F、pH	
1984	清洁		清洁		轻度	F、pH	
1985	清洁		清洁		轻度	F、NH ₄ ⁺ -N	
1990	轻度	DO、NH ₄ ⁺ -N	清洁	COD _{Mn} (0.05)	NH ₄ ⁺ -N(9.8)、F(1.0)	重度	
1991	轻度	COD _{Mn} 、NH ₄ ⁺ -N	清洁	COD _{Mn} (0.1)	F(0.7)、NH ₄ ⁺ -N(0.7)、COD _{Mn} (0.2)	轻度	
1998	>V类	COD _{Mn} (0.28)、BOD ₅ (1.33)、NH ₄ ⁺ -N(2.52)、TN(3.77)	IV类	COD _{Mn} (0.13)、BOD ₅ (0.3)、NH ₄ ⁺ -N(0.23)	>V类	COD _{Mn} 、BOD ₅ 、NH ₄ ⁺ -N、F、OIL	50.0%
1999	IV类	NH ₄ ⁺ -N(0.92)、F(0.07)、TN(2.66)	IV类	OIL(0.34)	COD _{Mn} (0.19)、BOD ₅ (0.7)、NH ₄ ⁺ -N(0.92)、F(0.33)	V类	62.5%
2000	IV类	NH ₄ ⁺ -N(0.6)、F(0.01)、TN(1.25)	III类	BOD ₅ (0.17)	COD _{Mn} (0.40)、BOD ₅ (2.1)、NH ₄ ⁺ -N(3.2)、OIL(9.7)	>V类	35.9%
2002	IV类	NH ₄ ⁺ -N(0.26)、OIL(6)、TN(3.32)	IV类	COD _{Mn} (0.03)、COD _{Cr} (0.1)、OIL(0.68)	无水		31.9%
2005	IV类	COD _{Cr} ($\frac{1}{3}$)、COD _{Mn} ($\frac{1}{3}$)、NH ₄ ⁺ -N($\frac{1}{3}$)、F(W)、TP(1.04)、TN(4.38)	III类	COD _{Cr} (W)、COD _{Mn} ($\frac{1}{3}$)、F(W)、OIL(W)	无水		21.4%
2006	IV类	COD _{Cr} (W)、COD _{Mn} (W, 0.55)、F(W, 0.55)、TP(2.25)、TN(2.14)	IV类	COD _{Cr} (W)、COD _{Mn} ($\frac{1}{3}$)、OIL(W)、F(W)	无水		30.1%
2007	IV类	COD _{Mn} (W, 0.3)、F(W, 0.55)、TP(2.88)、TN(1.52)	IV类	COD _{Mn} ($\frac{1}{3}$)、OIL(W)	无水		31.4%
2008	IV类	F(W)、COD _{Mn} (W)	II类			无水	73.8%

注：“F”为“氟化物”，“Ar”为“挥发酚”，“DO”为“溶解氧”，“Hg”为“汞”，“Cd”为“镉”，“COD_{Cr}”为“化学需氧量”，“COD_{Mn}”为“高锰酸盐指数”，“BOD₅”为“生化需氧量”，“NH₄⁺-N”为“氨氮”，“TN”为“总氮”，“TP”为“总磷”，“LAS”为“明离子表面活性剂”，“OIL”为“石油类”。

表 2 1980—2008 年间永定河(北京段)社会经济发展、水资源、水环境 Pearson 相关系数矩阵

	人口 (N=29)	人均 GDP (N=29)	城市 化率 (N=29)	一产 比例 (N=29)	二产 比例 (N=29)	三产 比例 (N=29)	三家店 引水 (N=29)	工业 用水 (N=29)	农业 用水 (N=18)	卢沟桥断 流天数 (N=29)	降水量 (N=29)	蒸发量 (N=14)	来水量 (N=29)	官厅 出库 (N=20)	官厅 入河 (N=29)	官厅 污水量 (N=18)	官厅 D0 (N=10)	官厅 COD _{Mn} (N=29)	官厅 BOD _S (N=18)	官厅 NH ₄ ⁺ -N (N=13)	山峡 D0 (N=21)	山峡 COD _{Mn} (N=20)	山峡 BOD _S (N=21)	山峡 NH ₄ ⁺ -N (N=21)				
人均 GDP	0.853 **																											
城市化率	0.976 **	0.934 **																										
一产比例	-0.895 **	-0.633 **	-0.827 **																									
二产比例	-0.323	-0.339	-0.389 *	0.007																								
三产比例	0.795 **	0.685 **	0.803 **	-0.827 **	-0.494 *																							
三家店引水	-0.506 **	-0.562 **	-0.516 **	0.484 **	-0.206	-0.300																						
工业用水	-0.833 **	-0.679 **	-0.780 **	0.847 **	-0.061	-0.583 * 0.703 **																						
农业用水	-0.712 **	-0.432 *	-0.618 **	0.759 **	0.040	-0.688 ** 0.508 **	0.850 **																					
卢沟桥断流天数	0.101	0.033	0.015	0.162	-0.070	-0.170 -0.616 *	-0.014	0.075																				
降水量	-0.156	-0.276	-0.248	0.027	0.404 *	-0.376 0.048	-0.047	-0.052	-0.285																			
蒸发量	-0.557 *	-0.358	-0.449 *	0.480 *	-0.137	0.166 0.043	0.567 **	0.544 *	0.007 -0.548 *																			
官厅来水量	-0.682 **	-0.579 **	-0.664 **	0.697 **	-0.122	-0.393 0.901 **	0.873 **	0.807 **	-0.660 *	0.041	0.288																	
出库水量	-0.642 **	-0.569 **	-0.669 **	0.647 **	-0.156	-0.372 0.935 **	0.854 **	0.764 **	-0.629 * 0.008	0.230 0.992 **																		
入河污水量	0.698 **	0.427	0.699 **	-0.488	-0.517 *	0.780 -0.141	-0.296	-0.424	0.387 -0.098	-0.418 -0.305	-0.276																	
官厅 D0	0.464	0.557	0.457	-0.338	-0.101	0.510 0.261	0.031	0.102	0.796 -0.006	-0.378 0.151	0.146	0.500																
官厅 COD _{Mn}	0.395	0.134	0.279	-0.411	0.355	-0.446 -0.189	-0.484 *	-0.427	-0.090 0.312	-0.661 * -0.344	-0.332 0.306	0.068																
官厅 BOD _S	-0.207	-0.347	-0.238	0.154	-0.163	0.040 0.233	0.195	0.040	-0.226 0.407	-0.050 0.157	0.169 0.291	-0.402 0.192																
官厅 NH ₄ ⁺ -N	0.561 *	0.191	0.466	-0.649 **	0.071	-0.063 -0.307	-0.524 *	-0.430	0.474 0.137	-0.446 -0.420	-0.400 0.610 *	0.075 0.631 **	0.301															
山峡 D0	-0.670 *	-0.579 *	-0.646 *	0.661 *	-0.108	0.995 0.417	0.528	0.360	-0.175 -0.302	0.456 0.448	0.435 -0.432	-0.152 -0.350	-0.350 -0.350	-0.350														
山峡 COD _{Mn}	0.407	0.392	0.375	-0.372	0.021	-0.120 0.034	-0.430	-0.365	-0.193 0.143	-0.391 -0.164	-0.148 0.169	0.387 0.321	-0.007 0.321	-0.596 *														
山峡 BOD _S	0.510 *	0.177	0.465 *	-0.442	-0.547 *	0.466 0.245	-0.149	-0.540 *	0.054 -0.242	-0.145 -0.064	0.076 0.642 *	0.315 0.400	0.008 0.400	-0.168 -0.168	-0.006													
山峡 NH ₄ ⁺ -N	0.582 **	0.374	0.547 *	-0.515 *	-0.216	0.252 -0.117	-0.430	-0.395	-0.007 0.047	-0.435 -0.270	-0.259 0.753 **	0.377 0.561 *	0.243 0.715 **	-0.582 * 0.555 **	0.264													

注：* 在 0.05 显著性水平上显著（双尾）；** 在 0.01 显著性水平上显著（双尾）。

9.3%。这样留给山峡段的径流量远小于该河段最小、适宜以及理想等级年度生态环境需水量1.56亿m³、5.97亿m³和11.02亿m³(孙涛等,2005)。这就导致了平原段常年断流、河床裸露、风沙肆虐、生境退化。

4.2 流域社会经济发展对永定河(北京段)水环境质量的影响

官厅水库上游的入库河流沿岸排放了大量的工业污水,直接导致了官厅水库水环境的恶化,进而影响永定河(北京段)的水环境质量。20世纪70年代初,上游总入河污水量达10万m³·d⁻¹以上。20世纪80年代妫水河上游的农药厂、洋河沿岸的沙城农药厂等116个工厂的污水排放以及农田农药施用,造成乐果等污染物超标(北京市环境质量报告书编写组,2006)。据1990年代初期第一次排污口调查,永定河水系污水排放量达8300万t·a⁻¹,COD排放量达5.4万t·a⁻¹;2003年第二次调查,尽管COD排放量锐减为1.72万t·a⁻¹,但该水系污水排放量却增加到1.38亿t·a⁻¹(郭永清,2004)。20世纪初,经过建设黑土洼湿地、实行封库禁渔和建设库滨带生态防护系统“拦截”点源、面源污染等一系列综合治理措施,官厅水库重返饮用水源地(邵自平等,2006)。

永定河流域(北京段)的社会经济发展也影响着永定河(北京段)的水环境质量。永定河水经过山峡段的自净作用,水质与官厅水库相比明显好转。例如,1998年山峡段的综合污染指数由官厅水库坝后的4.37(重度污染)降到珠窝水库的1.87(轻度污染),到达下苇店和三家店时已达到1.0的清洁水平(北京市环境质量报告书编写组,2006)。但因平原沿途有高井电厂、石景山电厂、王平村煤矿等单位废水及废渣的排入,河水常年呈碱性、灰色,水质严重超标(北京市环境质量报告书编写组,2006)。平原段水质的好转一方面有赖于随着首都产业结构的进一步调整、环保意识的增强和管理力度的加大而减少入河污染物,另一方面有赖于通过河道整治和水量稀释而增强河流的自净和纳污能力。

5 结论与建议(Conclusions and suggestions)

1) 官厅水库上游地区用水量的增加、用水结构的变化和水库的层层拦截,造成了官厅水库来水量和出库水量的大幅衰减。官厅水库的来水量从1959

年的25.56亿m³锐减至2008年的0.8亿m³,相应地出库水量从1959年的23.33亿m³锐减至2008年的0.47亿m³。这是永定河(北京段)径流量锐减和断流加剧的首要影响因素。

2) 官厅水库上游的入库河流沿岸排放大量工业污水导致了官厅水库水环境的恶化,并进而影响永定河(北京段)的水环境质量。官厅水库水质指标COD_{Mn}和NH₄⁺-N分别与山峡段水质指标DO显著负相关(*p*<0.05,0.01),并与山峡段水质指标NH₄⁺-N呈显著正相关。

3) 永定河流域(北京段)的社会经济发展严重地挤占了永定河(北京段)的生态用水,不但难以满足山峡段的生态需水量,更造成平原段常年断流、河床裸露、风沙肆虐、生境退化。1980—2008年间官厅水库来水量、出库水量均与三家店引水量、工业用水量、农业用水量显著正相关(*p*<0.01),均与卢沟桥断流天数显著负相关(*p*<0.05)。

4) 流域社会经济的迅猛发展对于永定河(北京段)的水资源和水环境质量具有显著影响,例如,人口、人均GDP、城市化率均与三家店引水量、工业用水量、农业用水量显著负相关(*p*<0.01),而且均与山峡段水质指标DO显著负相关(*p*<0.05),并且人口、城市化率、入河污水量均与山峡段水质指标BOD₅(*p*<0.05)和NH₄⁺-N(*p*<0.01)呈显著正相关。

因此,建议严格执行和完善永定河全流域的水资源综合管理,进一步调整产业结构,开源节流,整治河道,促进永定河绿色生态走廊的建设。

责任作者简介:魏源送(1969—),男,博士,中国科学院生态环境研究中心研究员。主要研究领域为河流生态治理、膜技术在污水处理与回用中的应用、污泥处理与处置。目前已在ES&T,Water Res.等国内外刊物发表学术论文50余篇,获授权发明专利9项,申请发明专利6项。

参考文献(References):

- 北京市环境保护局. 2009. 北京市环境状况公报(2001,2002,2003,2004,2005,2006,2007,2008) [R]. 北京:北京市环境保护局
Beijing Municipal Environmental Protection Bureau. 2009, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008. Reports of environmental quality in Beijing [R]. Beijing: Beijing Municipal Environmental Protection Bureau (in Chinese)
- 北京市环境质量报告书编写组. 2006. 北京市环境质量报告书(1970—1980,1981,1982,1983,1984,1985,1986—1990,1991,1998,1999,1996—2000,2002,2001—2005) [R]. 北

- 京:北京市环境保护局
Beijing Municipal Environmental Protection Bureau. 1970—1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986—1990, 1991, 1998, 1999, 1996—2000, 2002, 2001—2005. Reports of environmental quality in Beijing [R]. Beijing: Beijing Municipal Environmental Protection Bureau (in Chinese)
- 北京市水务局. 2009. 北京市水资源公报(1986—2000, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008) [R]. 北京:北京市水务局
Beijing Water Authority. 1986—2000, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008. Beijing Water Resources Bulletin [R]. Beijing: Beijing Water Authority (in Chinese)
- 北京市统计局. 2009. 北京统计年鉴(1980—2008) [M]. 北京:中国统计出版社
Beijing Municipal Bureau of Statistics. 1980—2008. Beijing Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press (in Chinese)
- 北京市永定河管理处. 2002. 永定河水旱灾害 [M]. 北京:中国水利水电出版社
Beijing Yongding River Management Office. 2002. Yongding River Floods and Drought [M]. Beijing: China Water Power Press (in Chinese)
- 程大珍,陈民,史世平,等. 2001. 永定河上游人类活动对降雨径流关系的影响[J]. 水利水电工程设计,20(2):19—21
Cheng D Z, Chen M, Shi S P, et al. 2001. Impact of anthropogenic modifications on the rainfall runoff in the upstream of Yongding River [J]. Design of Water Resources & Hydroelectric Engineering, 20(2): 19—21 (in Chinese)
- 郭永清. 2004. 官厅水库上游水质污染分析[J]. 河北水利水电技术,(4):16—17
Guo Y Q. 2004. Water pollution analysis on the upstream of Guanting Reservoir [J]. Hebei Water Resources and Hydropower Technology, (4): 16—17 (in Chinese)
- 胡春宏,王延贵. 2004a. 官厅水库流域水沙优化配置与综合治理措施研究 I——水库泥沙淤积与流域水沙综合治理方略[J]. 泥沙研究,(2):11—18
Hu C H, Wang Y G. 2004a. Study on water-sediment optimum allocation in upstream basin and comprehensive measures of sediment control in Guanting reservoir I: Reservoir sedimentation and general plan of water and sediment control [J]. Journal of Sediment Research, (2): 11—18 (in Chinese)
- 胡春宏,王延贵. 2004b. 官厅水库流域水沙优化配置与综合治理措施研究 II——流域水沙优化配置与水库挖泥疏浚方案[J]. 泥沙研究,(2):19—26
Hu C H, Wang Y G. 2004b. Study on water-sediment optimum allocation in upstream basin and comprehensive measures of sediment control in Guanting reservoir II: Water-sediment optimum allocation and dredging schemes [J]. Journal of Sediment Research, (2): 19—26 (in Chinese)
- 刘军,王清淮. 2006. 北京湿地生态环境恢复方略[J]. 城市问题, (4):47—50
Liu J, Wang Q H. 2006. Restoration plan on the ecological environment of Beijing wetland [J]. Urban Problems, (4): 47—50 (in Chinese)
- 邵自平,魏媛媛,袁博宇. 2006. 恢复饮用水水源功能 确保北京市供水安全[J]. 中国水利,(17):47—48
Shao Z P, Wei Y Y, Yuan B Y. 2006. Restore the function of potable water resources to ensure the safety of Beijing City [J]. China Water Resources, (17): 47—48 (in Chinese)
- 孙涛,杨志峰. 2005. 基于生态目标的河道生态环境需水量计算[J]. 环境科学,26(5):43—48
Sun T, Yang Z F. 2005. Calculation of environmental flows in river reaches based on ecological objectives [J]. Environmental Science, 26(5): 43—48 (in Chinese)
- Wang L, Wang Z J, Koike T, et al. 2010. The assessment of surface water resources for the semi-arid Yongding River Basin from 1956 to 2000 and the impact of land use change [J]. Hydrological Processes, 24(9): 1123—1132
- 颜磊,许学工,谢正磊,等. 2009. 北京市域生态敏感性综合评价[J]. 生态学报,29(6):3117—3125
Yan L, Xu X G, Xie Z L, et al. 2009. Integrated assessment on ecological sensitivity for Beijing [J]. Acta Biologica Sinica, 29 (6): 3117—3125 (in Chinese)
- 尹钧科. 2003. 论永定河与北京城的关系[J]. 北京社会科学,(4): 12—18
Yin J K. 2003. The relationship between Yongding River and Beijing City [J]. Beijing Social Science, (4): 12—18 (in Chinese)
- 中央人民政府水利部水文局. 1954a. 华北区水文资料海河流域永定河水系水位、气象(1912—1949) [R]. 北京:中央人民政府水利部水文局
Ministry of Water Resources Hydrographic Office of Central People's Government. 1954a. Water level and weather hydrological data in 1912—1949 of Yongding River System in Haihe River Basin [R]. Beijing: Ministry of Water Resources Hydrographic Office of Central People's Government (in Chinese)
- 中央人民政府水利部水文局. 1954b. 华华北区水文资料海河流域永定河水系流量、含沙量(1918—1949) [R]. 北京:中央人民政府水利部水文局
Ministry of Water Resources Hydrographic Office of Central People's Government. 1954b. Flow and sediment concentration data in 1918—1949 of Yongding River System in Haihe River Basin [R]. Beijing: Ministry of Water Resources Hydrographic Office of Central People's Government (in Chinese)
- 左犀. 1998. 呵护永定河护卫北京城[J]. 北京规划建设,(6): 45—46
Zuo X. 1998. Caress Yongding River to Guard Beijing City [J]. Beijing Planning Review, (6): 45—46 (in Chinese)