

文章编号:1672-3031(2016)06-0419-06

密云水库水源安全保障对策研究

马巍, 班静雅, 彭文启, 刘晓波, 黄伟

(中国水利水电科学研究院 水环境研究所, 北京 100038)

摘要: 密云水库是北京市的地表水源地, 其库区水质状况与流域人类活动关系十分密切, 其水源安全保障将直接影响首都城市生态系统的安全。结合密云水库水源区建设与管理的技术要求, 归纳总结了密云水库目前存在的主要水环境问题和水源安全保护的现实需求, 提出了密云水库城市水源安全保障的引水调控技术、入库污染物总量控制与管理方案及密云水库流域水生态文明建设与管理等保障对策措施, 可为南水北调来水后密云水库水源安全保障的管理与监督提供科学的技术参考。

关键词: 水源安全保障; 南水北调工程; 密云水库; 引水调控; 总量控制

中图分类号: X92

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2016.06.003

保障城市水源安全、提高城镇饮用水安全保障水平, 是城市水生态文明建设的重要内容, 也是生态文明建设的重要组成和基础保障。在人类经济社会活动持续快速发展的今天, 作为一个直接与人体健康相关, 又对城市建设与发展有重大影响的特殊水生态环境系统, 城市水源地面面临水资源过度开发和废污水大量排放的双重压力, 城市水源污染情况日趋严重。根据2014年水资源公报数据显示, 635座评价水库中处于中营养状态的水库占62.7%, 处于富营养状态的水库占37.3%, 全年总体水质为Ⅰ—Ⅲ类约占80.8%, 接近20%的水库整体水质均超过Ⅲ类, 以水库为供水水源的城市饮用水安全难以得到有效保证。

为保护城市的生命之水, 保障人类的生活用水安全, 亟需全面贯彻落实水生态文明建设与管理理念, 重视并加强城市水源安全保障的研究与管理工作, 让人们喝上干净水、放心水。故本文以北京市地表水源地—密云水库为研究对象, 在南水北调工程全线贯通并实现向北京城区供水的条件下, 研究密云水库水源安全保障的关键技术及保障对策, 以便为密云水库水源安全保障的监督与科学管理提供技术支持。

1 密云水库概况

密云水库位于北京市密云县北部山区, 地处40°23'N、116°50'E, 横跨潮河、白河主河道上, 由2座主坝和5座副坝拦截潮河、白河而形成, 分为白河、潮河和内湖3个库区, 是华北地区最大的水库, 素有“燕山明珠”之称。密云水库流域面积15 788 km², 涉及河北省和北京市的9个县, 其中北京市境内面积1 404 km², 且为水库周边, 约占流域面积的8.9%。密云水库设计正常高水位为157.5 m, 汛限水位为152.0 m, 最高蓄水位为159.9 m, 最大水面面积为188 km², 最大蓄水量为43.75亿m³^[1-2]; 2010年最高蓄水位为136.16 m, 最大水面面积约90 km², 最大蓄水量约10.66亿m³。

潮河和白河是密云水库最主要的入库河流, 同时还包括蛇鱼川河、白马关河、牐牛河、安达木河和清水河等支流或季节性河流(水系见图1)。建库以来, 密云水库累计向京津冀地区供水362亿m³, 累积减淹面积164.8万hm², 发挥了巨大的防洪效益和社会效益。以密云水库为水源, 主要有第九水厂输水隧洞和京密引水渠2条主动脉为北京供水, 目前密云水库是北京唯一的地表饮用水水源地。

收稿日期: 2015-05-28

基金项目: 北京市科委项目(Z141100006014047)

作者简介: 马巍(1976-), 男, 四川平昌人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事水环境研究。E-mail: 79658466@qq.com

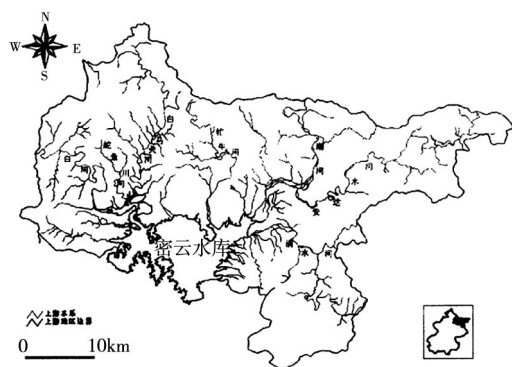


图1 密云水库水系



图2 密云水库富营养化监测点分布

2 密云水库水环境质量状况及其问题识别

2.1 密云水库水环境质量评价 为实时有效掌握并监控密云水库水环境质量状况,水库管理处在庫区设有8个水质监测点(监测站点名称及位置分布见图2)。常规监测指标有pH值、溶解氧、高锰酸盐指数、生化需氧量、氨氮、挥发酚、总磷、总氮、砷、铜、镉、铅、汞、锌和氰化物等共计22项。

2010年密云水库库区年均水质浓度分别为:pH值8.26,高锰酸盐指数(COD_{Mn}) 2.61 mg/L,氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$) 0.15 mg/L、总磷(TP) 0.015 mg/L、总氮(TN) 0.90 mg/L和叶绿素(Chla) 0.0046 mg/L,透明度2.46 m,各指标分属Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类水质,综合水质类别为Ⅲ类,库区水质总体较好,但超过了库区水功能区Ⅱ类水质目标要求,营养状态为中营养^[3]。综合2006—2011年逐月水质状况,密云水库库区水质变化相对较小,且水质总体较好,绝大多数监测项目均能达到Ⅰ—Ⅱ类水质标准,主要超标项目是总氮,总磷、溶解氧和氨氮也偶有超标现象。

2010年上游河流入库水质中,除TN指标年均浓度超过Ⅴ类水质标准(参照湖库水质标准)外,其他指标(COD_{Mn} 、 BOD_5 、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$)浓度的年均值均符合Ⅱ类水质标准,入库水质总体状况良好。入库河流的TN指标,牯牛河相对最低(1.58 mg/L),潮河和白马关河相对最高,年均浓度分别达5.68 mg/L和4.21 mg/L。

2.2 密云水库存在的主要环境问题 密云水库总体水环境质量良好,总体满足饮用水水质标准,但个别指标已不满足功能区水质保护目标要求。目前密云水库存在以下水环境问题:

(1)上游来水量持续减少、流域水资源严重短缺^[4]是当前密云水库面临的最主要水环境问题。自1999年以来,库区主要河流的入库水量严重偏少,多年平均入库径流量约为2.69亿 m^3 ,较1998年以前(6.59亿 m^3)减少约60%,库区水位持续下降,近年来长期维持在134~136 m,较正常蓄水位下降幅度超过20 m,库区水面面积也由正常高水位的188 km^2 萎缩到目前的90 km^2 左右。库区来水量的持续减少已严重威胁到密云水库作为北京市唯一的地表水饮用水源地的供水安全。

(2)上游来水水质污染较重,严重威胁库区饮用水安全。密云水库汇水区域经济社会快速发展大幅度增加了流域污染物的产生量,加之上游地区尚未具备较为完善的生产生活污水收集与处理系统、垃圾收集处理体系及非点源污染源综合治理措施,排入河道的氮负荷、有机污染物等明显增多,导致主要河流入库的TN浓度和pH值逐年升高(如图3),库区水质浓度随之升高,并加快库区水体富营养演变趋势。

(3)库区生态环境脆弱,并呈持续脆弱化趋势。受密云水库上游来水量不足和市区供水压力逐年增大双重因素影响,库区水位持续降低(2010年较1998年下降了约15 m)、水面急剧萎缩(2010年较1998年萎缩了近70 km^2),裸露库岸带土地非法复耕现象严重,水库滨岸带、消落区植被结构破坏严重、边坡裸露问题突出,流域水土流失问题依然存在,密云水库水源保护区生态环境依旧较为脆弱,并呈持续脆弱化演变趋势。

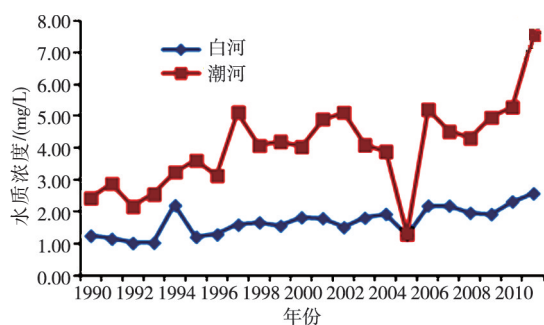


图3 近年来潮白河入库水质过程(TN)

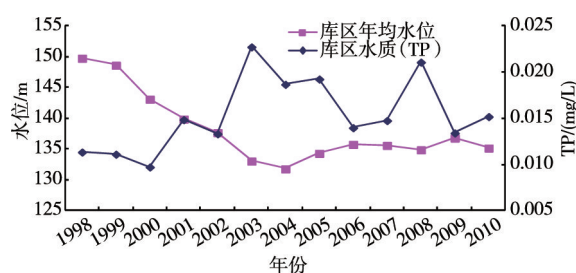


图4 近年来密云水库库区水质(TP)与水位变化关系

3 密云水库水源安全保护的现实需求

3.1 维持正常的库区水位和水面面积是密云水库水质安全的重要保证 受入库水量水质、出库水量、降雨降尘、水面蒸发及库区水体自净等多因素影响, 密云水库水质呈现出一定的规律性变化, 其中TP浓度与库区水位变化呈现出反相关关系特征, 如图4所示。密云水库水位自1998年的149.83m逐步下降到2003年的133.11 m时, 库区TP浓度则由0.011 mg/L逐步升高到0.023 mg/L; 2004年库区水位达到极低值(130.42 m), 随后北京市从周边应急调水, 密云库区水位开始回升, 至2006年达到近年来的最高值(136.56 m), 随着库区水位抬升、水面面积扩大, TP浓度也逐渐下降, 2006年库区TP浓度为0.014 mg/L; 2007—2008年水库水位下降、库区TP浓度升高, 2009年库区水位升高、TP浓度下降; 2010年库区水位下降、TP浓度升高。究其原因主要为: (1)水位降低导致库区水面面积萎缩、蓄水量减少, 降低了库区水体自净能力; (2)水位降低后蓄水量随之减少, 单位水体承载的入库污染负荷将显著增加; (3)库区水位持续低水位运行, 消落带土地复垦现象严重, 库滨带保土截留入库负荷能力被严重削弱; (4)密云水库属山谷型水库, 低水位下水位变化时库区水面面积变化不显著, 将放大水面蒸发对库区水体水质的浓缩效应及内源释放对库区水体水质影响。

Smith V H 于1983年提出的N/P摩尔比来确定湖库水华暴发的限值性条件, 提出当 $N/P > 29$ 时, P为限值性要素, P浓度达到某一阈值, 可能导致水华暴发。2010年密云水库的N/P摩尔比约为59, 故有效控制库区的TP浓度是确保密云水库水源安全的重要手段。而库区TP浓度又与库区水位变化关系密切, 故抬升库区水位是抑制库区TP浓度升高、保障库区水源安全的重要手段。

3.2 削减潮河和白河等河流入库污染负荷是密云水库水质安全的根本保障 密云水库是目前北京市唯一的地表饮用水源, 南水北调中线工程通水后, 密云水库仍是北京市稳定的供水水源和水源战略储备库, 故水质安全至关重要。根据1990—2010年资料分析, 密云水库各主要指标浓度均有不同程度的变化, 其中 COD_{Mn} 、TP指标水质浓度明显改善, 分别由3.53 mg/L、0.029 mg/L下降到2.51 mg/L、0.015 mg/L, pH值、TN两指标均有不同程度的升高, pH值由7.39上升到8.26, TN浓度由0.68 mg/L升高到0.90 mg/L。pH值和TN浓度升高, 一方面受上游来水量不足、库区水位持续下降等水资源因素影响外, 上游河流(潮河和白河)日益增多的入库污染负荷对库区水质的趋势性变化特征影响更为严重。

根据1990—2011年潮河和白河入库断面实测水质资料统计, 除潮河的TN指标浓度(2011年为7.51 mg/L)明显高于白河(2011年为2.59 mg/L)外, 其余各指标(如 COD_{Mn} 、TP、 NH_3-N 、pH值)浓度相差不大, 分别约为1.81~1.94 mg/L、0.019~0.027 mg/L、0.14~0.18 mg/L、8.13~8.23。从近年来潮河、白河入库水质变化过程分析, COD_{Mn} 、TP和 NH_3-N 指标浓度均呈波浪状下降趋势, TN和pH值指标浓度均呈波浪状升高趋势。潮河和白河入库水质与库区水质年际演变过程基本一致, 这由此说明密云水库库区水质直接受潮河和白河入库水质过程影响显著, 故削减主要河流的入库污染负荷、改善入库河流水质是维护密云水库水质安全的根本保障。

3.3 开展库区流域水生态文明建设是密云水库水源安全保护的长久之计 密云水库是北京人的“水

缸”，其汇水面积的91.1%行政隶属于河北省，故密云水库水源保护的难度比较大。通过两省市的通力协作，目前密云水库水质总体较好，但威胁水源安全的因素仍较多，如主要河流入库水量逐年减少，入库水质浓度持续下降，流域生态系统退化等，亟需两省市按照水生态文明建设的相关要求，继续加强合作，开展密云水库流域水生态文明建设，营造良好的水库复合生态系统，维持其空间结构及其复杂性，并具有一定的自组织能力和对外界胁迫的缓冲性能，实现密云水库水源保护和水质保证的功能，并能够为相关区域人类生产、生活提供诸如清洁水源、食物、清洁空气、优美自然景观，以及生物多样性的保育和废弃物吸收并再循环的能力等生态服务^[5-6]，以满足库区流域适度人口生存和发展的需要，实现首都经济社会可持续发展。

密云水库滨岸带及周边临近区域均位于北京市境内，对库区水环境质量影响最为直接，为此划定了密云水库一级保护区的保护范围并加强了保护区建设与管理。密云水库一级保护区周边村庄较多，且比较分散，集中污水处理难度较大，部分村庄存在污水未处理现象^[7]。密云水库山区小流域应结合水生态文明建设要求实施综合治理，尤其是河北省境内植被覆盖率较低，亟需按照水生态文明建设的相关要求实施治理，以确保库区水源安全。

4 密云水库水源安全保障对策

4.1 南水北调初期来水可有效解决密云水库水量长期严重亏空问题 南水北调中线工程自2014年底通水后，在有效缓解密云水库向北京城区供水压力后，还可充分利用工程沿线省份配套工程建设相对滞后的现实情况，在工程运行初期(2015—2019年)加大向北京输水，存储于长期干渴的密云水库中，可有效解决密云水库流域来水量不足、库区水位长期维持在低水位运行和蓄水量长期严重亏空等问题，并可提高北京市的水资源战略储备，以应对不确定性事件带来的供水危机，从而保障密云水库城市水源的供水安全。

(1)南水北调来水调入密云水库水质预测方案。根据工程设计资料，南水北调来水经白河发电隧洞调入密云水库的设计流量为 $10\text{ m}^3/\text{s}$ (入库流量过程的年均值为 $7.32\text{ m}^3/\text{s}$)，设计入库水质年均浓度为 $\text{COD}_{\text{Mn}}\ 2.93\text{ mg/L}$ 、 $\text{TP}\ 0.017\text{ mg/L}$ 、 $\text{TN}\ 0.92\text{ mg/L}$ 。从相对有利和不利水情角度，设计了蓄水期间(2015—2019年，下同)密云水库上游来水连续遭遇丰、平、枯水年和现状年(2010年)4种情景，采用经过校准和验证的HSPF模型，模拟分析和预测了密云水库蓄水期间不同设计水情条件下库区主要河流的入库水量与水质浓度过程，并以此为边界条件，考虑库区来水和南水北调来水，采用建立的密云水库平面二维水环境数学模型模拟预测了库区蓄水及南水北调来水对密云水库水流、水位及水质浓度变化影响，探讨了南水北调来水后密云水库库区水质目标可达性。

(2)南水北调来水对密云水库水位影响。密云水库设计正常高水位为157.5 m，汛限水位为152.0 m，蓄水目标为152.0 m。南水北调初期来水期间只蓄基本不排，并考虑防洪安全调度需要，丰水年需南水北调补水35个月，平、枯水年均需全过程补水(即60个月)。南水北调来水调入密云水库至蓄水期末，丰、平、枯水年水情下库区水位分别为157.50 m、152.77 m、147.44 m，库区水面面积分别为 179.33 km^2 、 161.13 km^2 、 139.56 km^2 ，即蓄水期间密云水库如连续遭遇枯水年份，蓄水期末无法达到预定的蓄水目标，平水年份均能实现预期的蓄水目标，丰水年情景能实现正常高水位蓄水要求。

(3)南水北调来水对密云水库水质影响。无南水北调来水时，密云水库利用流域来水蓄水后，蓄水期末库区 COD_{Mn} 、TP、TN浓度分别为 $1.67\sim 1.87\text{ mg/L}$ 、 0.009 mg/L 、 $0.60\sim 0.76\text{ mg/L}$ ，分别属于Ⅰ类、Ⅰ类和Ⅲ类水质。从蓄水期间库区水质指标浓度变化过程来看，各指标浓度均随蓄水时间的延长、水库水位的逐步上升而呈逐年下降趋势。丹江口水库水质较密云水库主要入湖河流(潮河和白河)的水质好，故南水北调来水调入密云水库后，蓄水期末库区 COD_{Mn} 、TP、TN浓度分别为 $1.67\sim 1.88\text{ mg/L}$ 、 $0.007\sim 0.008\text{ mg/L}$ 、 $0.64\sim 0.74\text{ mg/L}$ ，各指标水质类别分属Ⅰ类、Ⅰ类和Ⅲ类。与现状年相比，南水北调来水调入密云水库至蓄水期末库区各指标(COD_{Mn} 、TP、TN)浓度分别改善约31.0%、50.0%和23.3%。

4.2 对密云水库入库河流污染物实施总量控制与管理 根据近年来库区水质变化过程分析,密云水库总体水质较好,除pH和TN两指标呈波浪式升高(TN指标年际波动幅度较大,见图5)外,其余各指标均呈逐渐改善趋势,目前库区水质类别为Ⅲ类,类别控制指标为TN。结合密云水库水功能区划水质保护目标(Ⅱ类)要求,应针对入库污染物(主要为TN)实施总量控制与管理,以保证库区水环境质量安全。

为满足密云水库水功能区水质保护目标(TN: 0.50 mg/L)要求,在现状年(2010年)水情条件下,潮河和白河的入库TN指标负荷应分别削减37.1%和61.1%,入库水质浓度应分别控制在2.00 mg/L和1.70 mg/L以内。通过对入库河流实施总量控制后,密云水库TN指标的年均水质浓度可达0.48 mg/L(年内过程模拟见图6),满足水库水功能区水质保护目标要求。

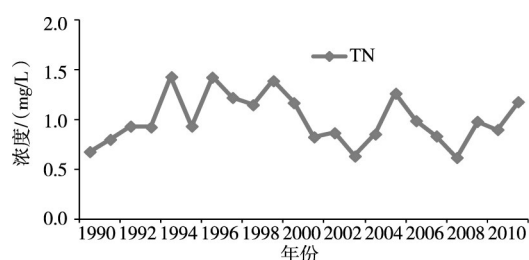


图5 近年来密云水库库区水质变化(TN)

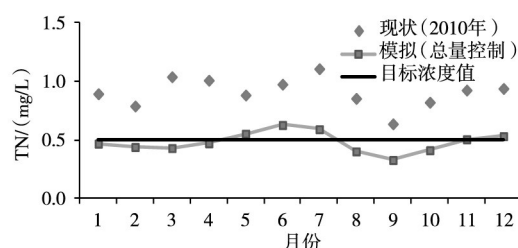


图6 总量控制后密云水库年内水质变化过程模拟

南水北调中线工程通水后,密云水库将作为北京的水资源战略储备库,在蓄水期间(2015—2019年)除冰封期外基本不承担向北京城区供水任务,并尽可能多地蓄积水库上游来水和南水北调来水,争取尽快实现蓄水目标(152.0 m),力争达到正常高水位(157.5 m)。以现状年为设计水情条件,在无库区水质保护目标要求条件下,至蓄水期末库区TN指标浓度约为0.72 mg/L。为实现库区水质保护目标要求,南水北调来水期间,潮河、白河的TN入库水质控制浓度分别为2.20 mg/L和3.20 mg/L。与现状年相比,潮河、白河入库TN指标负荷应分别削减17.3%和38.0%。

4.3 开展密云水库流域水生态文明建设与管理 入库污染物总量控制与山区小流域综合治理是密云水库上游(河北省)和库区周边地区(北京市)水污染治理的综合策略,是密云水库流域建设资源节约型和环境友好型社会的重要内容,是贯彻落实水利部关于加快推进水生态文明建设工作意见^[7]的基本体现。遵照水生态文明建设的目标和工作内容要求,在密云水库流域全面建立“三条红线”和“四项制度”,有效落实最严格的水资源管理制度;优化密云水库流域水资源配置并形成科学的配置格局,强化节约用水管理,有效控制区域用水总量,显著提高用水效率和用水效益,推动节水型社会建设;严格水资源保护,显著增强上游区防洪保安能力、供水保障能力、水资源承载能力,为密云水库预留一定的清洁水量;推进密云水库水生态系统保护与库岸带修复,基本建成水资源保护与河库健康保障体系,使密云水库流域水功能区水质明显改善,城镇供水水源地水质全面达标,生态脆弱河段和河库受损的水生态系统得到有效修复;基本理顺水资源管理与保护体制,加强水利建设中的生态保护,使水生态文明理念深入人心,并形成密云水库水生态文明建设与管理成套技术。

5 结语

密云水库是北京市目前唯一的地表饮用水源,其水资源和水环境质量直接关系到首都人民的饮用水安全,尽管南水北调工程已顺利实现向北京供水,但作为具有43.75亿m³库容的超大型水库,密云水库作为北京市的战略储备水源的战略地位将更加突出。近年来尽管库区水质总体良好,但库区上游来水量的持续减少,直接或间接导致库区水位急剧下降、水面面积严重萎缩、水库自净能力下降、库区水环境质量变差、库区生态环境呈持续脆弱化演变及流域生态系统退化等环境问题。为保障密云水库水源安全,在南水北调来水初期有富余水量调入密云水库的背景条件下,结合密云水库的实际情况和水生态文明建设要求,有针对性地提出以下几点保障对策与措施:(1)在南水北调来水初

期,将来自丹江口水库的富余水量调入密云水库,逐步恢复并提高密云水库的运行水位,恢复密云水库的水面面积,是保障密云水库战略储备水源安全的关键;(2)以满足库区水质保护目标下潮河、白河的入库污染物(TN)削减率及其入库水质控制浓度为总量控制约束条件,控制与削减密云水库汇水区上游河流的入库污染负荷,是保障密云水库库区水环境质量的根本保障。(3)以水生态文明建设的理念为指导,遵照基于密云水库水源安全保护需求,在密云水库流域开展水生态文明建设与实践,是密云水库水源安全保障的长久之计。

参 考 文 献:

- [1] 马巍,彭文启,刘晓波,等.密云水库TP演变成因及防控对策研究[J].中国水利水电科学研究院学报, 2014, 12(S1): 50-55.
- [2] 高训宇,郝丽娟,罗阳春.密云水库调蓄南水北调来水面临的问题与对策[J].北京水务, 2012(6): 57-60.
- [3] 沈晓飞,马巍,罗佳翠,等.湖库营养状态评价方法及适用性分析[J].中国水利水电科学研究院学报, 2013, 11(1): 74-80.
- [4] 高迎春,姚治君,刘宝勤,等.密云水库入库径流变化趋势及动因分析[J].地理科学进展, 2002, 21(6): 546-556.
- [5] 岳建华,张廷龙,周海燕,等.松涛水库生态清洁流域的建设构想[J].中国人口·资源与环境, 2005, 15(6): 90-96.
- [6] 北京市水土保持总站.构筑水土保持三道防线建设生态清洁小流域[J].北京水利, 2004(4): 49-52.
- [7] 綦中跃,左丰收.密云水库水安全对策研究[J].中国防汛抗旱, 2011, 21(1): 43-46.
- [8] 中华人民共和国水利部.水利部关于加快推进水生态文明建设的意见(水资源[2013]1号)[Z]. 2013.

Study on Countermeasures for Water Source security in Miyun Reservoir

MA Wei, BAN Jingya, PENG Wenqi, LIU Xiaobo, HUANG Wei

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Miyun Reservoir is the only surface water source in the capital city of Beijing, the water environment quality status in the reservoir is closely related to the human activity, and its water security directly affects the ecosystem security of the capital city. Based on the technical requirements of construction and management in Miyun reservoir, this paper summarizes the main problems of water environmental and practical needs to ensure water security of Miyun reservoir, and then some measures have been put forward, including river diversion control technology to ensure urban water security of Miyun reservoir, total pollutants control and pollution management scheme, and water ecological civilization construction and management technology for Miyun reservoir. The results show that these technology and countermeasures can provide technical reference for management and supervision of water security after the operation of South-to-North water diversion project.

Key words: water sources security protection; the South-to-North water diversion project; Miyun reservoir; water regulation and control; total amount control

(责任编辑:杨虹)