

天津滨海地区城市供水调节水库水质咸化原因与改善途径

吴光红¹,李金中²,李学菊²

(1.天津师范大学天津市水资源与水环境重点实验室,天津 300387;2.天津市水利科学研究所,天津 300061)

摘要 对天津市滨海地区的北塘水库沉积物(0~40 cm)中有机物、全盐量、钠离子和氯离子等浓度进行测定,运用沉积物盐渍化和碱化度(ESP)等方法,探讨滨海地区蓄淡水库水质咸化的主要影响因素和改善途径。结果表明:咸化浅层地下水的补给是水库咸化的重要因素,扩大水源地保护区范围,加强水库周边排沥设施建设,使地下水深度降至水库的临界深度以下,是水库水质咸化首要的改善途径。

关键词 蓄淡水库;滨海平原地区;水质咸化;沉积物

中图分类号:TV911.2 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2010)01-0029-03

Cause and prevention countermeasures of water salinization of city water supply reservoir in the coastal region of Tianjin

WU Guang-hong¹, LI Jin-zhong², LI Xue-ju²

(1. Tianjin Key Laboratory of Water Resources and Aquatic Environments, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China; 2. Tianjin Hydraulic Science Research Institute, Tianjin 300061, China)

Abstract: Organic matter, Cl^- , Na^+ and total salt content in sediment samples (0~40 cm) from Beitang Reservoir in the coastal region of Tianjin were measured. The main factors and improvement approach of water salinization were studied using sediment salinization and exchangeable sodium percentage (ESP) methods. The results showed that recharge and release of shallow saline groundwater in a plain area were the main factors in water salinization of the reservoir, and that expansion of water source protected areas and strengthening flood drainage facilities construction were the best ways to lower saline underground water levels in surrounding areas below the critical depth, in order to prevent water salinization of the reservoir.

Key words: fresh water reservoir; coastal plain area; water salinization; sediment

天津是资源型缺水城市,引滦和引江两大外调水工程是从根本上缓解水资源短缺的有效途径。为了合理利用南水北调中线工程水源,实现引滦水和引江水的联合调度和应急切换,提高城市供水安全的保证率,有关部门拟利用滨海地区的北塘水库作为城市供水调节及事故备用水库,以调蓄引滦水和引江水。

在滨海平原地区建设蓄淡水库,水质往往存在咸化现象^[1],亦会发生突发性泛咸现象^[2-3]。2003~

2004年,引黄水在天津北大港水库蓄存一段时间后,就曾出现水质咸化现象^[4],因此滨海地区的蓄淡水库水质咸化问题必须加以重视。与滨海地区水库水质咸化机理和底泥盐分及污染物释放对水库水质咸化的影响等研究相比^[1,4,5-7],对水质咸化改善途径的研究相对较少。笔者以作为天津滨海地区城市供水调节及事故备用水库的北塘水库为对象,探讨其水质咸化问题和改善途径,为相关部门的科学决策提供技术支持。

1 研究区域概况

北塘水库位于天津市塘沽区,始建于 1974 年,系天津滨海洼淀围堤封闭而成的平原水库,该区域属海河流域尾闾,为海积冲积平原,由海浸和现代河流冲积而成,地貌特征为滨海低地、泻湖洼地,地势低平,高程约为 1.2~1.7 m,略向东南倾斜,土壤以灰黑色黏性土为主,渗透性较差。潮白新河流域的上游来水是北塘水库的主要水源,水库水质中氯化物质量浓度高达 352 mg/L,超过 250 mg/L 的标准值(《地表水环境质量标准》Ⅲ类),现为以灌溉和水产养殖为主的农业水库^[8],但也曾多次给塘沽市区应急输水。

2 采样与分析

2004 年对北塘水库的沉积物进行了采样,分别在水库中心、东部、西部、南部和北部各设 1 个取样点(图 1),取样深度均为 0~40 cm,在每个采样点采集沉积物样品各 1 个,沉积物在塑料盆中充分搅匀后,剔除砾石和动植物残体,取 1 kg 左右装入密实塑料袋,运回实验室,自然风干后,四分法取样,用玛瑙研钵碾磨成粉末、过 100 目尼龙筛后供测试使用。沉积物样品用去离子水配置水土比为 2.5:1 的浸出液,取其上清液进行测定。

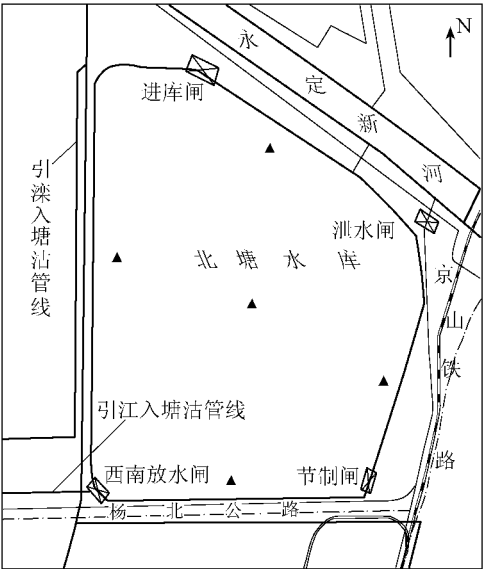


图 1 研究区域及采样点布设

氯离子的测定采用 GB 11896—89《硝酸银滴定法》^[9],全盐量采用 HJ/T51 1999《重量法》测定^[10]。

3 结果与讨论

3.1 盐碱土底质的影响

北塘水库沉积物中污染物质量比监测统计结果见表 1。从表 1 可发现,北塘水库底泥中全盐量、钠化率(ESP)和氯化物(Cl⁻)分布呈现水库中心向四

周增加的趋势,全盐量以水库西侧相对较高,达到重度盐渍化水平(盐渍化和碱化度分类标准见表 2),可能与西侧土壤原为盐田及地下水补给有关,水库中心、北部、南部和东部的盐渍化相对较轻,水库中心沉积物属非盐渍化土,库区南侧、北侧和东侧均属轻度盐渍化土,库区平均为轻度盐渍化土和强碱化土。有机质(OM)质量比分布规律则是水库北部和中心较高,水库东部、西部和南部则较低,这可能与水库从北部进水,且多蓄存Ⅴ类水夹带大量的有机污染物沉积有关。毛献忠等^[2]用模型研究了浙江海湾内堵港蓄淡水水库水体淡化过程,计算结果表明,水库表层水体受径流影响较大,盐度下降很快,但深潭底部水体淡化很慢。高增文等^[7]对位于胶南市西南部横河河口海湾处的海湾沐官岛水库底质中盐分释放规律进行了试验研究,发现在释放初期,盐分通量急剧减小,约在 200 h 后盐分释放通量逐渐稳定,在分子扩散作用下,库底沉积物中盐分释放是一个缓慢过程,其对海湾水库水质影响主要在建库初期。盐渍化和碱化土壤是引起蓄存水体咸化的一个来源,但多发生在蓄水初期,不会长期影响水库水质。

表 1 北塘水库沉积物污染物质量分数

点位	$u(\text{OM})/\%$	$u(\text{Cl}^-)/\%$	$u(\text{Na}^+)/\%$	全盐量/ $\%$	盐渍化程度	$\text{ESP}^{①}/\%$	碱化度
库中	2.1	0.022	0.023 2	0.190	非	11.96	强
库北	2.1	0.028	0.041 6	0.250	轻	16.64	强
库西	0.8	0.265	0.210 0	0.820	强	25.77	碱土
库南	1.4	0.023	0.042 0	0.240	轻	17.21	强
库东	1.3	0.034	0.080 5	0.420	轻	19.03	强
均值	1.54	0.074	0.079 46	0.384	轻	18.122	强

注 ① $\text{ESP} = \rho(\text{Na}^+)/\text{全盐量} \times 100\%$

表 2 北塘水库沉积物盐渍化和碱化度分类^[11]

渍化土分类	全盐量/ $\%$	碱化度	$\text{ESP}/\%$
非盐	< 0.2	非碱	< 5
轻盐	0.2~0.5	弱碱	5~10
中盐	0.5~0.7	强碱	10~20
强盐	0.7~1.0	碱土	> 20
盐土	> 1		

3.2 咸化浅层地下水的影响

Cardona 等^[12]指出海水入侵是沿海地区地下水咸化的主要因素,天津滨海地区海水入侵严重,浅层地下水埋深浅,孔隙潜水埋深仅为 1.0~2.5 m。水化学类型主要为氯化钠型水,矿化度高,属咸化地下水^[13]。北塘水库高程约为 1.2~1.7 m,枯水期地下水补给水库水,地下水含盐量高于水库水体的含盐量,是导致水库水质咸化的主要因素。地下水与水库水的补给关系与水库蓄水水位的变化有很大关系,当水库蓄水水位较高时,由水库水补给地下水,水库水质受地下水的影响较小。反之,库底地下水

将会通过土壤孔隙与上覆库内水体相连,地下水将补给水库水。

3.3 气候气象条件的影响

Salama 等^[14]认为气候气象条件也会对地表水水质咸化产生影响,蒸发是影响水质咸化的一个重要天气因素。于静洁等^[15]的研究发现华北平原区浅层地下水呈现出强烈的蒸发浓缩作用和矿化度提高现象。天津滨海地区年蒸发量(1 100 mm)远大于年降水量(617.2 mm),蒸发浓缩作用占优势也将引起水库水质咸化。尤其在炎热的夏季,地下水、水库水体中的盐分扩散系数增大,可加快水质咸化的速度,经常会导致突发性泛咸现象^[16]。风是影响水质咸化的另一个因素。风吹过水面产生剪切应力,将形成垂直环流和水平环流,使盐分从库底盐碱土壤和咸化地下水向水库水体中扩散,从而加快水库水质的咸化速度^[1]。

3.4 水质咸化改善途径

3.4.1 扩大水源地保护区范围

北塘水库现状为农灌水库,水库管辖范围相对较小。南水北调中线工程实施后,水库功能也相应的由现状调整为集中式饮用水水源地,为有效防止人为活动对水库水质造成影响,应扩大水库保护范围,划定保护区,制定保护条例和办法,在保护范围内禁止任何可能造成水质污染及咸化的开发活动。同时要通过种植大量的耐盐植物保持水库周边土壤的有机质和水分,防治土壤盐渍化^[17]。

3.4.2 加强水库周边排沥设施建设

北塘水库作为平原水库,周围地区沥水难以自流进入水库内,但是周围地区沥水淤积易造成地下水位上升,因此要建设排沥设施防治水质咸化。在水库周边地区建设排沥设施(明沟、暗管和竖井)加强排水,降低地下水水位,使地下水深度降至水库的临界深度以下,防止地下水对水库水质造成咸化。

3.4.3 水库高水位蓄水

当北塘水库蓄水水位较高时,由库水补给地下水,地下水对水库水体影响很小,如1996年北塘水库采用高水位蓄水,水体中氯化物和pH值全年未出现超标现象,氯化物浓度最高值低于集中饮用水水源地的标准限值。南水北调中线工程实施后,需通过加固堤坝和增加库容,使水库常年维持在高水位蓄水状态,防止地下水入侵。

3.4.4 缩短水体置换周期减轻咸污染

南水北调中线工程实施后,北塘水库作为调节及事故备用水库,水库水体一般每年将要更换2次或3次,水体置换周期约为4~6个月,若能合理调

节水库蓄水时间,缩短水体置换周期,可有效减轻地下水及沉积物中氯离子释放造成的水质咸化。

3.4.5 深水泵抽排深潭底部咸水

长期蓄水后水库下层可能氯离子浓度增高,有时受天气影响,深潭内水质会发生突发性泛咸现象^[2],从而对水库造成很大影响,威胁供水安全。采用抽干库水重新蓄水和化学方法改变氯离子浓度,往往很难实现,而且容易产生堤岸坍塌,可采用深水泵抽排深潭底部咸水措施作为解决突发性泛咸的一种补充措施^[16]。

4 结 语

南水北调中线工程实施后,为了提高天津市城市供水安全保证率,将滨海地区的北塘水库作为城市供水的调节及事故备用水库,因此加强水库水质咸化防范措施的研究非常必要。咸化浅层地下水补给、沉积物盐分释放以及蒸发等气象气候条件都可能造成水库水质咸化,但最主要影响因素是咸化浅层地下水补给。扩大水源地保护区,加强排沥设施(明沟、暗管和竖井)降低水库周边地区的地下水位,以及合理调节水库的运行方式(高水位运行和提高水体置换频率)是防止滨海平原地区蓄淡水水库水质咸化的重要途径。

参考文献:

- [1] 赵文玉,王启山,伍婷,等.天津滨海地区水库水质咸化问题及机理分析[J].海河水利,2006(3):33-35.
- [2] 毛献忠,陈甫源,余祈文,等.堵港蓄淡水水库水体淡化预测研究[J].水利学报,2004(7):80-85.
- [3] 徐咏岗,李敏中.沿海滩涂水库排咸研究[J].河海大学学报,1998,26(3):76-80.
- [4] 赵文玉,王启山,吴国平,等.引黄水在北大港水库蓄存期水质咸化的研究[J].水科学进展,2005,16(6):763-766.
- [5] 崔磊,郝芳华,许嘉琳,等.水库蓄水初期库底土壤对水质影响的模拟实验研究[J].北京师范大学学报,2003,39(5):688-693.
- [6] 姜翠玲,裴海峰.天津市北塘水库水质咸化原因和防治对策[J].湖泊科学,2007,19(4):428-433.
- [7] 高增文,郑西来,吴俊文.海湾水库蓄水初期底质与淡水盐分交换的试验研究[J].水科学进展,2006,17(2):170-175.
- [8] 天津市水利局水利志编纂委员会.天津水利志:塘沽区水利志[M].天津:天津科学技术出版社,1998:5-7.
- [9] GB11896—1989 水质-氯化物的测定 硝酸银滴定法[S].
- [10] HJ/T51—1999 水质-全盐量的测定 重量法[S].

(下转第35页)

段内,该区段内单井涌水量可达 $2\,500\sim 4\,600\text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$,有利于迅速开采地下水,因此可在该区段内河道两侧布设开采井,进行地下水的集中开采。冲洪积扇单井涌水量可达 $2\,000\sim 4\,000\text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$ 地下水库的开采应根据需水状况,实行集中开采与分散开采相结合的开采模式。

前山带地下水库补给工程应集中在山间洼地中上部靠近天山地段。该区段含水层砂粒颗粒粗大、渗透性良好,渗透系数一般为 $20\sim 60\text{ m/d}$,最大可达 100 m/d ,宜采用拦洪坝、渗坑、渗井等措施,在丰水期将地下水回补地下水库。冲洪积扇地下水库则应该位于玛纳斯电厂至红山嘴的戈壁砾石带,该区段内渗透系数 $20\sim 60\text{ m/d}$,最大可达 $80\sim 120\text{ m/d}$,可利用渗井、渗坑、拱水坝等将地表水补给地下水库。在建设地下水库的采补工程后还应该建设适当的输水工程,将水通过配套输水工程输送到用水单位。

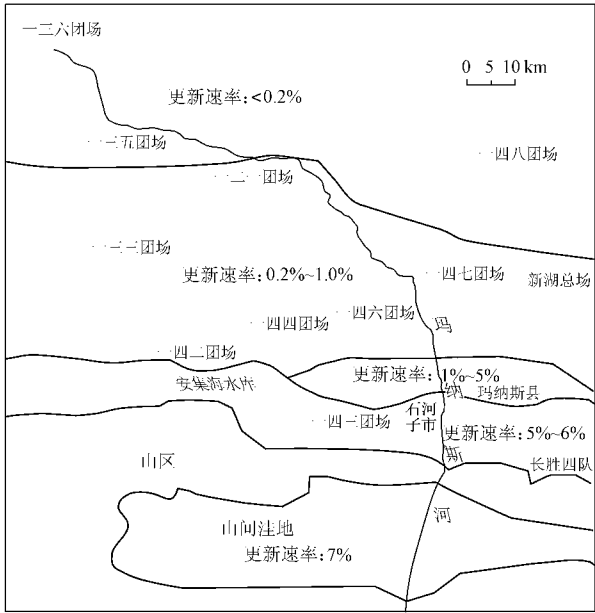


图6 玛纳斯河流域地下水更新速率分区图^[5]

4 结 语

玛纳斯河流域地下水库调蓄空间巨大,山前带山间洼地地下水库可调库容为 20.4 亿 m^3 ,冲洪积扇地下水库可调库容为 6.3 亿 m^3 。蓄水和采水能力都很强,调蓄水源集中充沛,具有建设地下水库得天独厚的条件,通过适当的采补工程就能够将夏季的洪水资源进行调蓄,缓解春秋两季的用水紧张面,投资小效益大,具有良好的经济、社会、环境效益。

参考文献:

[1] 赵天石. 关于地下水库几个问题的探讨[J]. 水文地质与工程, 2005(5): 65-67.
[2] 刘允敬. 新疆玛纳斯河流域规划平原区水文地质勘察报

告[R]. 新疆昌吉: 新疆第二水文地质大队, 1995.

[3] 李俊亭. 玛纳斯河流域山前地带含水层调蓄能力调查评价任务书[R]. 西安: 长安大学, 2004: 1-3.
[4] 新疆第二水文地质大队. 玛纳斯电厂水源地详勘报告[R]. 新疆昌吉: 新疆第二水文地质大队, 1995.
[5] 王杰. 天山北麓地下水水环境同位素研究[R]. 西安: 长安大学, 2006.

(收稿日期 2008-06-24 编辑 高渭文)

(上接第 31 页)

[11] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 23-97.
[12] CARDONA A, CARRILLO-RIVERA J J, HUIZAR-ALVAREZ R, et al. Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico[J]. Environmental Geology, 2004(45): 350-366.
[13] 卞学洛. 天津市深层淡水井的水质咸化分类: 以东丽区为例[J]. 地下水, 2008, 30(1): 15-20.
[14] SALAMA R B, OTTO C J, FITZPATRICK R W. Contributions of groundwater conditions to soil and water salinization[J]. Hydrogeology Journal, 1999(7): 46-64.
[15] 于静洁, 宋献方, 刘相超, 等. 基于 δD 和 δO 及水化学的永定河流域地下水循环特征解析[J]. 自然资源学报, 2007, 22(3): 415-417.
[16] 毛献忠, 朱小敖, 陈雨源, 等. 沿海堵港蓄淡水水库加快水体淡化措施的研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(6): 773-777.
[17] JALALI M. Salinization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example from Tajarak, Western Iran [J]. Environmental Geology, 2007(52): 1133-1149.

(收稿日期 2008-12-27 编辑 高渭文)

(上接第 28 页)

[10] JURIS A. Seasonal variations in phosphorus species in the surface sediments of the Gulf of Riga, Baltic Sea[J]. Chemosphere, 2001, 45: 827-834.
[11] 叶恒朋, 陈繁忠, 盛彦清, 等. 覆盖法控制城市河涌底泥磷释放研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(2): 262-268.
[12] HERODEK S, ISTVNOVICS V. Mobility of phosphorus fractions in the sediments of Lake Balator[J]. Hydrobiologia, 1986, 13(5): 149-154.
[13] 扈传昱, 潘建明, 刘小涯. 珠江口沉积物中磷的赋存形态[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(4): 21-25.

(收稿日期 2008-07-03 编辑 高渭文)