

北京园博湖的水生态修复

霍 铮¹ 邓卓智²

(1 北京市丰台区永定河管理所 100165)

(2 北京市水利规划设计研究院 100048)

摘要 永定河是北京最大的河流之一，但由于严重缺水，河道干涸沙化，生态环境恶化，水土流失严重，生态修复工作势在必行。以永定河内的园博湖为例，通过对治理后园博湖水生态修复情况的监测，结合后期运行管理，提出在干涸河道建设大型人工湖泊进行生态修复中面临的防洪、水质水量以及植被修复等方面的问题，并给出了建议，为严重缺水城市的河道生态修复及大型人工湖泊的建设提供了新的思路。

关键词 人工湖泊 河道治理 生态修复 水土保持 环境改善 永定河

中图分类号 S157.2

文献标志码 A

文章编号 1673-4637(2015)02-0018-05

永定河在北京境内全长约170 km，流域面积超过3 200 km²。自20世纪80年代以来，由于北京水资源匮乏，永定河三家店以下河道逐渐断流、干涸，加之历史上大规模砂石开采形成了无数大小不一的沙坑。由于坑壁陡峭，植物无法生长，河床逐渐沙化，永定河生态环境日趋恶劣，生态系统变得十分脆弱^[1]，成为北京境内的五大风沙源之一。

为改变这一局面，恢复北京“母亲河”的形象，北京市水务局会同有关部门编制了《永定河绿色生态走廊建设规划》，实施永定河生态环境改善工程，使永定河北京段河道自上而下形成溪流—湖泊—湿地连通的健康河流生态系统。建成“一条生态走廊、三段功能分区、六处重点水面、十大主题公园”的空间景观布局，为两岸五区创造优美的生态水环境。

自2010年起北京市启动“永定河绿色生态发展带建设”一期工程，至2013年5月，自上而下建设了门城湖、莲石湖、园博湖、晓月湖和宛平湖，生态修复河段长度18.4 km，面积共800 hm²；建设园博湿地37.5 hm²。工程通过建设湖泊溪流，形成流动的水景观；通过种植树木、花卉及水生植物等使

河道沿线的景观具有整体性及完整性。多树种、多层次、乔灌藤草相结合的区系植物群落，对于调节周边小气候、吸收粉尘、净化空气、改善空气质量、提供动植物生存环境、维护生物多样性、恢复健全的生态系统及回补地下水等具有重要作用。工程完成后河道内生态环境得到根本改变，彻底消除了扬沙扬尘，盗采砂石、乱倒垃圾的行为也已经彻底杜绝。

2013年第九届中国（北京）国际园林博览会在永定河畔召开，园博湖作为园博会的辐射区和拓展区发挥了重要的作用。园博湖不仅使久居闹市的市民融入了自然、享受了自然，真正实现了人与水、水与绿的完美交融，同时也向人们展示了北京市在干涸河道环境改善及大型人工湖泊生态修复上的成果。本文将以园博湖为例，提出大型人工湖泊的水生态修复情况及后期维护管理。

1 园博湖概况

园博湖位于永定河京原铁路桥至梅市口路河段，全长4.2 km，治理前河道内为历史原因形成的无数

收稿日期：2015-02-08

作者简介：霍 铮（1981—），男，工程师。

大小不一的砂石坑，坑壁陡峭，植物无法生长，河道内沙化严重，见图1。



图1 园博湖治理前河道内的砂石坑

园博湖工程建设堤内湖泊、联动溪流等水系和绿化、景观等生态修复工程，总面积为246 hm²，其中水面面积115 hm²、绿化面积122 hm²、防洪固坡及配套基础设施面积9 hm²，见图2。

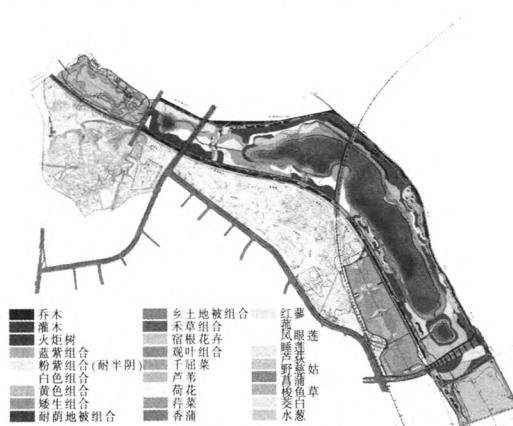


图2 园博湖总平面图

2 水生态修复措施

2.1 生态补水

园博湖水面面积115 hm²，总库容约450万m³，平均深度3.9 m，最深处可达9.0 m。水面范围内均实施了减渗工程，减渗方式采用土工膜、膨润土防水毯2种材料相结合，设计渗漏系数为25 mm/d；工程蓄水后，经渗漏监测，在监测期内日渗漏量在3 500~6 000 m³之间，平均日渗漏量4 500 m³左右^[2]，详见表1。根据园博湖气象站和水文总站提供的资料，2014年园博湖地区年降水量239.4 mm，水面年蒸发量816.0 mm，以此计算，园博湖年蒸发渗漏量约为220万m³。2014年园博湖全年实际补水总计204万m³，不考虑绿化用水，基本满足湖区生态需水。

园博湖设计补水水源为清河再生水厂的再生水，其水质指标除总氮外基本满足地表水Ⅳ类水质。但根据《北京市五大水系各河流、水库水体功能划分与水质分类》，永定河平原段为地下水水源补给区，水体执行GB3838-2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类水质标准。因此清河再生水厂的来水须经过园博湿地净化达标后再进入园博湖。

2.2 水质改善措施

园博湖的平均深度为3.9 m，属浅水湖泊，对污染响应比较敏感，由于湖体补充水量有限，交换水量较少，基本处于静止状态，易发生富营养化。为此可通过园博湖与湿地之间的自循环、联动溪流循环、种植水生植物及放养水生动物等方式，进行水质改善。

(1) 人工循环系统，通过泵站将主湖区的水体提升至园博湿地净化后，再从联动溪流多个分散的

表1 2014年湖区渗漏监测结果表(部分)

观测时间	水位变化/m	水面面积/m ²	生态用水/m ³	库容变化量/m ³	平均蒸发量/mm	日渗漏量/m ³
04-19	—	1 068 167.00	—	—	2.8	—
04-20	0.013	1 065 741.74	5 894.00	13 870.60	3.9	3 815
04-21	0.013	1 063 286.48	5 594.00	13 838.68	4.3	3 667
04-22	0.014	1 060 642.36	5 474.00	14 867.50	3.5	5 677
04-23	0.013	1 058 187.10	6 266.00	13 772.39	3.3	4 010
04-24	0.015	1 055 354.11	5 604.00	15 851.56	4.8	5 175
04-25	0.019	1 051 765.66	6 155.00	20 017.64	9.2	4 170
04-26	0.016	1 048 743.80	5 907.00	16 804.08	6.4	4 175
04-27	0.018	1 045 344.21	6 148.00	18 846.79	8.3	4 008
04-28	0.016	1 042 322.36	5 640.00	16 701.33	4.8	6 051
04-29	0.022	1 038 167.31	5 880.00	22 885.39	13.0	3 482
04-30	0.022	1 034 012.25	6 060.00	22 793.98	11.5	4 819

分水口流入园博湖内。通过湿地净化或自然流动等方式使水体与空气、土壤、水生植物以及河道微生物系统充分接触，提高水体溶解氧水平，并通过这个过程的物理、化学及生物等多重净化，提升水体水质，达到水体自净目的。

(2) 在湖底浅水湾大面积种植水生植物，达到夏秋高温季节为湖水降温、遮蔽阳光和吸收部分营养物质的功能。园博湖共种植水生植物 18.59 hm^2 ，占湖体面积的16%。

(3) 放养水生动物。水生植物与水生动物作为河道生命主体，是河道生态系统的重要组成部分。水生动物是河湖生态系统生物链中的高级消费者，消费、转化水体中初级生产和次级生产的生物量，吞食数量巨大的微生物，吞食生物的排泄物和有机残屑，从而在水体净化中发挥重要作用。

2.3 河道的植被修复

由于园博湖位于永定河河道深坑内，因此园博湖的植被修复应充分考虑防汛和水土保持的需要，在抑制雨淋冲刷并保证防汛安全的前提下，结合景观效果提出修复方案。园博湖的植被修复采用“三草五灌十乔”的原则，即在3年一遇洪水位以下种植花卉、草地及水生植物，3~5年一遇洪水位以下种植花灌木，5~10年一遇以小乔木为主，10年以上一遇种植大型乔木；在边坡的景观设计上，通过利用河道开挖土方适当回填至堤顶的方式，将既有的陡坡段和缓坡段堤岸加以遮挡，掩盖混凝土墙的硬质护砌，并在回填土上种植灌木、小乔木的生态种植；在护岸设计上以生态防护为目的，采取扦插柳枝与多种材料组合的里刚外美的水岸处理方式，在发挥护岸作用的同时，形成滨水植物景观，见图3。

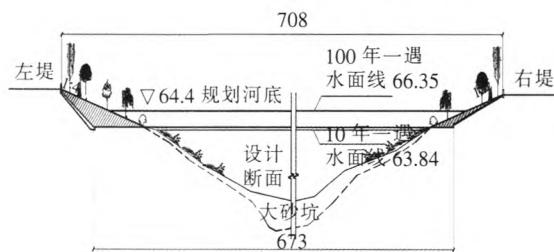


图3 园博湖植被修复断面图 m

这种布局不仅将河道内的生态修复与防汛安全之间的矛盾降至最低，同时植被在视觉效果上也能相互衬托，形成丰富而又错落有致的景观效果。

园博湖段河道沙化和砾石化严重，原状基质不适

宜植被自然恢复；而生态修复最本质的目的是恢复生态系统的必要功能并达到系统自维持的状态^[3]。因此园博湖的植被修复需要从土壤改良着手，并通过选择具有抗旱、耐湿、耐瘠薄、湿生及两栖等特性的植物配置方式，因地制宜、适地适树，以乡土植物为主，快生慢生相结合，建设具有永定河特色的生态系统。在植物选择上乔木以旱柳、粉枝柳、毛白杨及白蜡等乡土树种为主，灌木以扦插柳枝、棣棠花及迎春花等为主；在地被选择上以大面积种植不同色彩的宿根地被植物为主，因地制宜，比如在两岸坡面上的大片乔木下播种耐阴地被组合，阳光充足的地方播种复根、免维护的乡土地被组合。水生植物以千屈菜、芦苇、香蒲、菖蒲、芦竹、梭鱼草、荷花及睡莲等植物为主，详见表2。

表2 园博湖主要植物种植表

编号	名称	单位	数量
1	垂柳	株	1 508
2	旱柳	株	1 657
3	粉枝柳	株	1 948
4	小叶白蜡	株	1 154
5	红碧桃	株	1 005
6	毛白杨	株	760
7	栾树	株	567
8	紫叶李	株	317
9	火炬树	株	7 643
10	棣棠花	株	2 689
11	迎春花	株	2 672
12	叉子圆柏	株	553
13	美人梅	株	311
14	地被组合	m^2	858 767
15	扦插柳枝	株	588 184
16	水生植物	m^2	185 936

3 水生态修复监测

3.1 河道水质

根据监测数据，园博湖自2013年蓄水以来水质基本能够保持地表水Ⅲ类水质标准，满足水功能区划的设计目标要求，详见表3。

3.2 植被修复

园博湖总面积 246.00 hm^2 ，其中可修复林草植被面积为 121.92 hm^2 ，园博湖生态修复人工种植植被面积 121.18 hm^2 ，自然植被修复面积 0.74 hm^2 ，植被修

表3 2014年湖区水质监测结果表(部分)

mg/L

采样日期	化学需氧量	氨氮	悬浮物	五日生化需氧量	pH	总磷	总氮
标准限值	20.0	1.0	5	4	6~9	0.2	6
07-01	18.9	0.243	2	1.56	8.4	0.021	0.279
07-06	18.0	0.251	2	1.52	8.5	0.022	0.418
07-15	19.3	0.215	4	1.70	8.5	0.022	0.273
07-22	19.6	0.191	3	1.53	8.7	0.018	0.435
07-29	19.5	0.199	3	1.80	8.7	0.019	0.378
08-05	19.8	0.183	5	1.50	8.6	0.028	0.557
08-21	18.7	0.151	4	1.81	8.5	0.030	0.460
08-18	18.9	0.231	3	2.65	8.7	0.032	0.534
08-26	19.1	0.151	5	1.83	8.7	0.022	0.551

复率达到100%。经过近2年的绿化养护发现，除垂柳外其他乔木灌木基本全部成活，且长势基本良好，垂柳的成活率约为63%，影响垂柳成活的主要原因是缺水，因此在后期补种时更换为更耐旱的旱柳；宿根地被植物能够达到自维持状态，长势良好，且各色野花交织在一起，景色迷人，见图4。



图4 野花地被组合

水生植物种植面积18.59 hm²，经过2年的自然生

长，面积略有增加，达到19.00 hm²，但群落变化较大。分析其原因主要有两点：(1) 水位变化大。由于园博湖的设计补水水源——清河再生水厂的再生水目前还无法进入园博湖，因此园博湖目前无法保证长期的持续性地补水，只能在每年的春季和秋季进行2次集中补水，这就导致园博湖每年的水位变化在1 m左右，湖边的浅滩在水位下降后就会裸露出来，而补水后又会被水面淹没，在这种生境条件下，荷花、睡莲等对失水敏感且对水位稳定性要求较高的植物极易因水位下降导致缺水死亡；(2) 由于园博湖水域面积大，在越冬时无法采取有效的越冬保护，导致芦竹、梭鱼草等怕风不耐寒的植物无法顺利过冬，而芦苇、千屈菜等可干可湿、耐风耐寒的植物长势良好且繁殖迅速，目前已代替其他水生植物成为园博湖中主要的水生植物，详见表4。

综上所述，在干涸河道的生态修复中植被的选择还是应以耐干旱、耐贫瘠、耐风耐寒为主；在水生植物选择上还应考虑水位变化带来的影响，选择可干可

表4 湖区水生植物一览表

植物名	温湿度	生长环境	耐寒性	越冬保护
千屈菜	喜强光，耐寒性强，喜水湿	水生、湿生	耐寒	无
芦苇	适应性强，除森林生境不生长外，各种有水源的空旷地带，都可生长，且繁殖能力强，易形成连片的芦苇群落	水生、湿生	耐寒	无
香蒲	需水较多，对气温反应敏感，10℃以下停止生长	水生、沼生	较耐寒	无
菖蒲	最适宜生长的温度20~25℃，10℃以下停止生长。冬季地下茎潜入泥中越冬	水生、沼生	耐寒	无
芦竹	喜温暖，喜水湿，耐寒性不强。越冬需提高水位以保持根部温度	水生	不耐寒	是
梭鱼草	喜温、喜阳、喜肥、喜湿、怕风不耐寒，适水深小于20 cm，适宜生长温度为18~35℃，10℃以下停止生长。冬季必须进行越冬处理，且越冬温度不宜低于5℃	水生、湿生	不耐寒	是
荷花	喜阳光，不耐阴，适水深20~60 cm，喜稳定水位，对失水十分敏感，越冬需提高水位以保持根部温度	水生	较耐寒	是
睡莲	喜阳光，需通风良好，最适水深25~30 cm，最深不得超过80 cm	水生	较耐寒	是

湿、喜光耐寒、对水位稳定性要求不高的植物。

3.3 水土保持

园博湖完成扰动土地整治面积 245.26 hm^2 ，防治达标面积合计 121.18 hm^2 。通过生态修复增加了植被种类和植被覆盖率，植被覆盖率达到49.6%，治理后平均土壤流失量为 $118\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ ，土壤流失控制比为1.7。各项指标达到GB50434—2008《开发建设项目水土流失防治标准》中的建设类项目水土流失防治一级标准。

3.4 动物群落

园博湖水面和植被修复后，动物群落也开始慢慢地恢复。在园博湖蓄水初期陆续投放了鲢鱼、鳙鱼和鲤鱼 12.5 t ，螺、蚌等底栖动物 9 t ，人工放养麻鸭1 000只。随着生境的改善，大量的野生动物相继出现。调查发现两栖类和爬行类动物主要栖息在水边浅滩及联动溪流等周边的水生植物内；鸟类主要出现在水边浅滩的水生植物丛中和湖中心的小岛上，见图5、图6；小型哺乳类动物主要栖息在园博湖北段的大面积宿根地被植物群落中，详见表5。



图5 小白鹭



图6 黑翅长脚鹬

因此在人工湖泊的生态修复中，除考虑景观效果外，还应考虑功能区域的设置，合理地划分出人

表5 园博湖主要野生动物汇总表

类别	动物名称	栖息地
鱼类	草鱼、鲫鱼、白鲦	主湖区
两栖类	青蛙、牛蛙、蟾蜍	湖边浅滩、草丛，联动溪流
爬行类	草龟、花龟、锦龟、草蜥	湖边浅滩、草丛，联动溪流，灌木丛
鸟类	小白鹭、苍鹭、夜鹭、黑翅长脚鹬、长嘴剑鸻、斑嘴鸭、绿头鸭、斑鳩、山鸡	湖边浅滩、草丛，湖心岛
哺乳类	野兔、黄鼬、刺猬、松鼠	灌木丛、草丛

类主要活动区域和动物栖息区域，创造适合动物生存的生境条件。在园博湖，主要设置了湿地生境和灌林草丛生境。湿地生境的生态重要性已被人们认知，而灌林草丛生境却往往在生态修复中被忽略，大面积的灌林草丛被除去，代之以人工种植的树木。这样做本意上是为了改善生态环境，但实际上却忽略了野生动物的需求^[4]。因此在建设中应注重有选择性地保护具有高质量栖息环境的灌林草丛，不要因为过于主观的建设方法而对野生动物造成伤害。

4 结语

基于生态用水严重短缺的条件，园博湖的设计注重深潭、浅滩、湿地生境和灌林草丛生境等生物栖息地的设置，静止水面和流动的溪流相结合，注意建设期生物选配和后期生境变化而进行生物优化，形成丰富的生物群落，同时解决了干涸多年的河道防洪滞蓄、水位变化条件下的水岸防护、高边坡防护、水质净化和维护等问题。生态修复和景观效果初显成效，生物群落逐渐形成，周边环境明显改善，以往的风沙源已经消失，取而代之的是碧水蓝天。

参考文献

- [1] 彭涛, 张振明, 刘俊国, 等. 基于生态服务功能的北京永定河生态修复目标研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(20): 287–292.
- [2] 北京市水科学技术研究院. 永定河园博湖项目湖底渗漏实验报告[R]. 2013.
- [3] 岑慧贤, 王树功. 生态恢复与重建[J]. 环境科学进展, 1999(12): 110–115.
- [4] 张毅川, 乔丽芳, 陈亮明. 景观规划设计与城市动物多样性的保护与恢复[J]. 规划师, 2005(10): 99–102.

(责任编辑：林跃朝)