

基于沉水植物恢复的什刹海水质改善工程

项目位置：北京市西城区什刹海

项目规模：33.83万m²

竣工时间：2006年

12.1 项目基本情况

12.1.1 项目概况

西海与后海、前海并称为“什刹三海”，三海一水相连，风光旖旎，沿岸名胜古迹众多，胡同纵横交错，多为四合院平房居民区，是展示老北京四合院和胡同文化的重要区域，也是北京城区最具魅力的园林文化风景区。

什刹海总面积为33.83公顷，其中西海7.18公顷、后海17.9公顷、前海8.75公顷，不仅是北京重要的景观水域，也是城市水系中发挥供水、排水、调蓄洪水作用的重要载体。由于水资源短缺，上游部分河段有污染源汇入，2001年以来，什刹海水体夏季水华严重，为此，2006年实施中心城区水质改善工程，工程投资961.22万元。



图1 项目区示意图

12.1.2 气象与水文地质条件

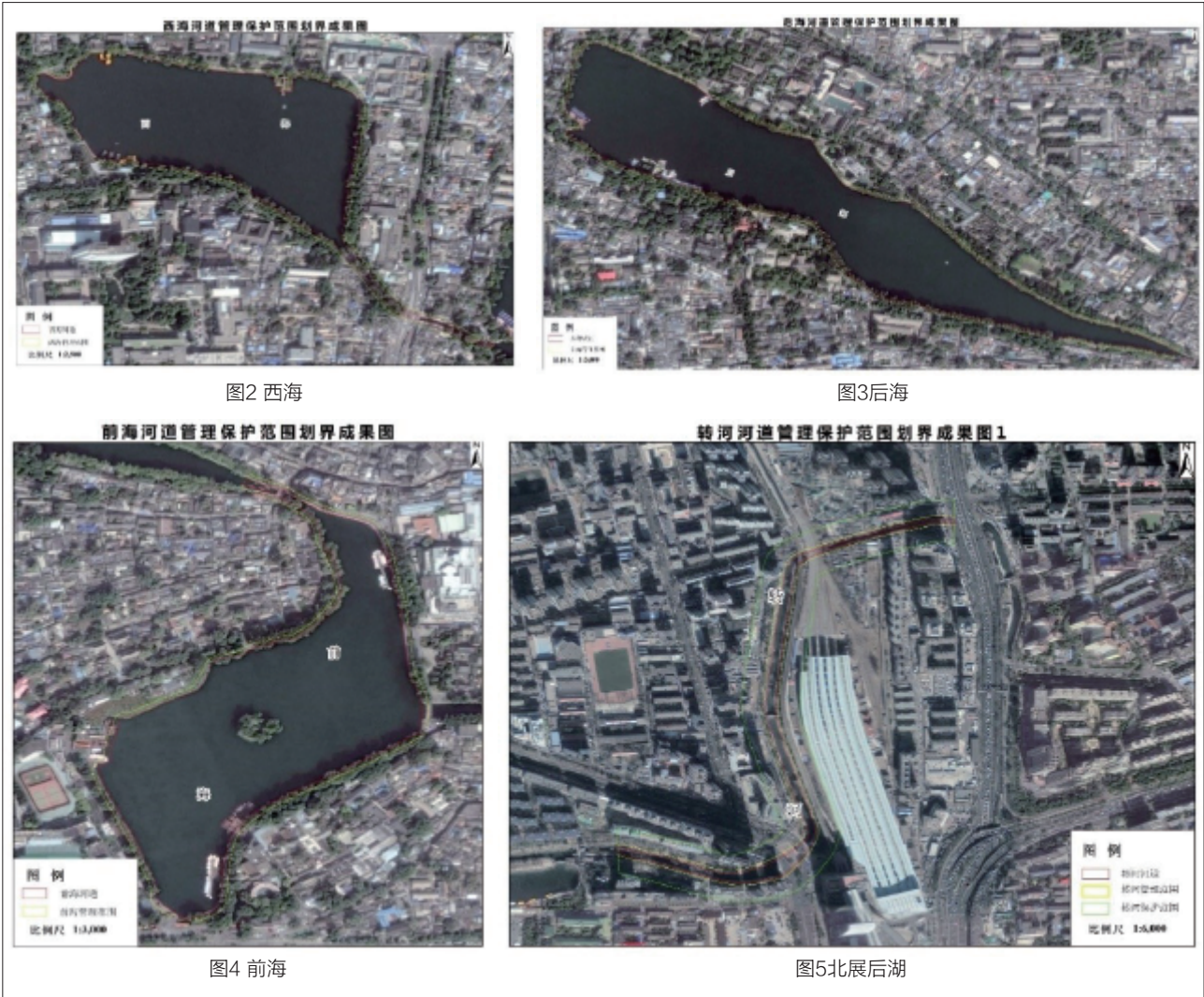
该工程位于北京市城区中北部，河湖主要担负防洪，输水、通航及景观功能。工程区域属于北温带大陆性季风气候，一年四季分明，冬季西北风较多，气候较为寒冷、干燥，夏季多西南风，气候比较炎热、多雨，雨季一般为6、7、8月份，降水量较大。年平均降水量600mm左右，年平均气温12℃，工程区冻土层深度0.70m。

地质资料参照北环水系综合治理工程地质勘察报告。根据钻孔揭露，场区主要被第四系冲洪积地所覆盖，地层岩性自上而下分别为：①杂填土（层厚2.80~8.80m）与①素填土（层厚0.90~3.00m）、②粘质粉土（层厚0.50~7.50m）与②粉质粘土（最大厚度1.90m）、③粉砂（层厚0.60~8.10m）、④粘质粉土（层厚2.30~14.00m）、⑤粉砂（层厚0.50~2.10m）、⑥粉质粘土（钻孔揭露厚度6.10m，未揭穿）。工程区地下水为空隙潜水，主要含水层为⑤粉砂，在②层粘质粉土中赋存有上层滞水。根据《北京地区地震烈度区划图》本场地地震烈度为8度；根据《水利水电工程地质勘察规范》GB50287-99附录N，标准贯入锤击数法进行液化判别，判定场区15m深度范围内的饱和砂土、粘质粉土不存在液化问题。

12.1.3 场地条件

北京规划城区土地总面积1040km²，大田和菜地面积207.7km²，占总面积的20.0%，绿地和庭院面积338.5

km²，占总面积的32.5%，房屋及构筑物面积292.6km²，占总面积的28.1%，道路及停车场面积87.4km²，占总面积的8.4%，河流、湖泊等水体及隔离带总面积44.5km²，占总面积的4.28%，其它用地面积69.3km²，占总面积的6.7%，其中西城什刹海由于位于城市中心区，水体沿岸人口及建筑密度极大，可利用面积较少。



12.2 问题与需求分析

什刹海水源为北护城河，经铁灵闸入西海，从德胜桥流出至后海后流入前海。由于多年干旱，项目区面临来水量不足，沿线有污染汇入，项目区水生态破坏严重，沉水植物绝迹，水华频繁暴发。

2.1 项目区补水量不足，水动力条件较差

2002年项目区补水由密云水库改为官厅水库，补水量自1999年，总体呈减少趋势。由于补水量少，河道内流速缓慢，水动力条件较差。图1为1980~2005年项目区补水水量变化情况。

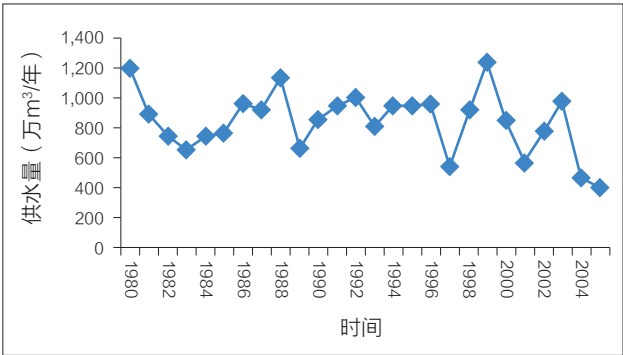


图6 1980~2005年项目区补水水量变化情况

2.2 项目区水质不满足水体功能要求，夏季水华严重

据2004年水质监测结果表明：西海的有机污染相对较为严重，COD_{Mn}、BOD年平均值分别属于Ⅳ类、Ⅴ类，COD_{Mn}浓度变化幅度不大，37.5%为Ⅴ类，其余时间均为Ⅳ类；BOD浓度在时间分布上不均，25%为Ⅳ类，37.5%为Ⅴ类，37.5%为劣Ⅴ类。氮、磷营养盐超标严重，TN、TP年平均值均属于劣Ⅴ类，TN全年超过Ⅴ类水体标准，超标倍数为30~150%；TP在时间分布上不均，12.5%为Ⅳ类，37.5%为Ⅴ类，50%为劣Ⅴ类。叶绿素-a含量一直较高，年均均为127 μg/L，富营养化程度严重。

后海水质比西海稍好，但污染仍然严重。有机污染相对较轻，COD_{Mn}、BOD年平均值分别属于Ⅳ类、Ⅴ类，COD_{Mn}浓度变化幅度不大，25%为Ⅴ类，其余时间为Ⅳ类；BOD多数时间为Ⅴ类，12.5%为Ⅳ类，75%为Ⅴ类，12.5%为劣Ⅴ类。氮、磷营养盐超标严重，TN、TP年平均值均属于劣Ⅴ类，TN除10月为Ⅳ类外，其余时间超过Ⅴ类水体标准，最高值超标倍数为104%；TP在时间分布上

不均，12.5%为Ⅲ类，37.5%为Ⅴ类，50%为劣Ⅴ类。叶绿素-a含量一直较高，年均均为109 μg/L。

12.3 设计目标和原则

什刹海水质改善工程以改善北京市城市中心区水域水质、控制城市河湖水体富营养化为目的，使目前的Ⅴ类、超Ⅴ类水体主要水质指标恢复到Ⅳ类，强化河湖水体的景观生态功能，抑制或减轻城中心区夏季水华爆发现象；通过西海有机污染控制，使六海前端水质明显改善，BOD接近地表水Ⅲ类要求，其它主要水质指标达到Ⅳ类；通过后海生态修复工程，进一步提高水体水质，控制夏季水华发生，透明度达到50cm，并保持水质修复成果，使北海与中南海水体受益。工程重点区域为长河、西海与后海。通过面源污染控制工程、水体水质原位修复工程，生态修复工程等措施，使目前的Ⅴ类、超Ⅴ类水体主要水质指标恢复到Ⅳ类，强化河湖水体的景观生态功能，抑制或减轻城中心区夏季水华暴发现象。项目综合考虑气候、水文、地质、地形等环境条件。

12.4 工程设计

本方案设计参照《给水排水设计规范》，同时参考相关研究成果。

12.4.1设计水质

4.1.1 进水水质

工程设计进水水质参照项目区水质监测结果。

表1 2004年项目区上游水质监测结果 单位：mg/L						
项目	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	叶绿素a
监测平均值（mg/L）	8.43	7.9	0.10	4.25	0.147	118

4.1.2 出水水质

工程设计出水水质参照项目区水体功能要求，其中BOD₅达到Ⅲ类水体标准，其他主要指标达到Ⅳ类水体标准。

表2 设计出水水质 单位：mg/L						
项目	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	叶绿素a
地表水Ⅲ类标准限值	—	4	—	—	—	—
地表水Ⅳ类标准限值	10	—	1.5	1.5	0.3	—

12.4.2 总体设计方案

工程地点为北京市中心区水域，主要为长河、转河、北护城河及六海，重点区域为长河、西海与后海。设计补水边界条件为：扣除内城河湖蒸发渗漏量500万 m^3 ，稀释水量达到200万 m^3 ，内城河湖总补水量接近5年的平均水量为700万 m^3 。项目建设的主要任务为：

（1）通过面源污染控制与原位修复工程，削减长河有机污染物，为后续治理工程创造条件；

（2）通过西海有机污染控制，使六海前端水质明显改善，BOD接近地表水Ⅲ类要求。

（3）通过后海生态修复工程，进一步提高水体水质，控制夏季水华发生，透明度达到50cm，并保持水质修复成果，使北海与中南海水体受益。

12.4.3 分区详细设计

4.3.1 入河雨水治理工程

长河北岸共有15个入河雨水排放口直接排入长河。流量相对较大的雨水口共4个，采用植物净化床治理技术。在雨水排放口靠近路面一侧设置拦污格栅，去除径流中的垃圾等杂物。出水进入下方的初期径流收集池，收集污染较严重的初期降雨径流。后续径流采取溢流方式，自初期径流收集池进入进水配水槽，通过进水管进入植物净化床。植物床上种植有去污能力强的芦苇和旱伞草等植物，利用植物根系作用对水体进一步净化。之后出水经出水管流入河道。

4.3.2 北展后湖生物接触氧化工程

对长河出口水质进行改善，可大大减少下游中心区水域的污染负荷，设计在北展后湖处采用人工草接触氧化净化方案。根据试验研究参数计算，需人工草面积20412 m^2 ，需水面面积3945 m^2 。曝气机型号为OBAO2008D，共8台，分散曝气。曝气机采用漂浮式安装，位于人工草填料区中间。

4.3.3 西海生物接触氧化工程

西海所需人工草面积21168 m^2 ，所需水面面积9472 m^2 。曝气机型号为OBAO10A，共14台，分散曝气。曝气机采用沉水安装，在平面布置上位于人工草填料区的上游。

4.3.4 西海面源污染控制工程

工程范围为西海西沿，北至铁栅栏门、南至民房、西至滨湖路、东至湖岸，长80m，宽5.8~13.3m，面积为764 m^2 。人行步道、甬道及滨湖路的雨水收集下渗，多余径流引入绿地继续下渗，下渗剩余雨水流入绿地中的最低洼点，进入由薄层覆土、砂料、碎石组成的渗滤系统，通过收集管收集，最终排入湖中。使工程区域内的雨水径流不入湖，控制面源污染。

4.3.5 西海水体循环流动工程

通过管道将西海末端的水体重新泵压至西海前端，人为营造整个湖泊范围的动态水流。管路沿西海南沿、西海西沿布置，在西海前端经扩散器使水流沿不同方位向外扩散，尽量避免水流的短路，增大扰动范围。循环水量为0.1 m^3/s 。水泵选用QW型潜水泵，一台，型号为200QW360-6-11，流量360 m^3/h ，扬程6m，功率11Kw，排出口径200mm，高1m，重290kg。输水管道采用PE管，规格为DN200，长度500m，沿湖南岸、西岸湖底布置，用管卡固定。

4.3.6 后海沉水植物恢复工程

示范工程实施区域为整个后海前半部水体，约17万 m^3 ，拟分三期进行：一期工程为后海最西部水体，面积15亩，为水生植被扩展区，以抗污染前沿冷水性水生植物为主。二期工程面积60亩，为生态修复区，以温水性沉水植被恢复为主。三期工程面积80亩，为生态修复区，以高温种沉水植被恢复为主。沉水植物恢复工程周边用观赏性睡莲、荷花等植物进行点缀，营造优美景观。

12.4.4 典型节点设计

4.4.1 长河雨水治理工程

因地制宜，将长河北岸四个雨篦箕排水口进行改造，雨水经初期径流收集池，进水配水槽、植物净化床出水集水槽，排放入河。治理工程采用不同长度，最长20m，最短12m；充分利用边坡宽度，泄水孔靠近路面一侧安装拦污格栅，拦截雨水中的垃圾、树叶等杂物，植物净化床分为三层，上部为表层土壤，中部为5~20mm的碎石，底部为20~40mm碎石。植物床种植植物为芦苇、旱伞草等。在表层土壤下方设植物床出水管，收集出水至出水集水槽或直接入河。

4.4.2 北展后湖生物接触氧化工程

湖区内布置生物载体20400m²，以人工草作载体，使细菌和真菌类的微生物和原生动物、后生动物一类的微型动物附着在填料或载体上生长繁育，形成膜状生物相，污染水体与生物膜接触时，污染物被生物膜上的微生物所摄取，作为微生物生长繁殖的营养物，从而达到降解污染物、净化水质的目的。其中湖区18600m²，分为七组385个单元，每个单元之间间距0.5m。每个单组中间位置放置曝气机，共有55个单元。每个单组占用水面面积332m²。



图7 长河雨水口改造前

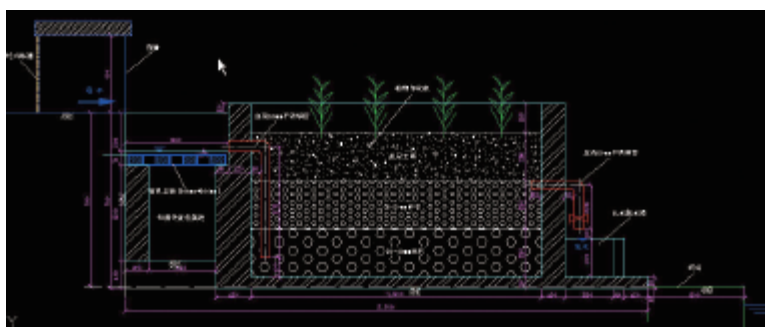


图8 长河雨水口改造剖面图

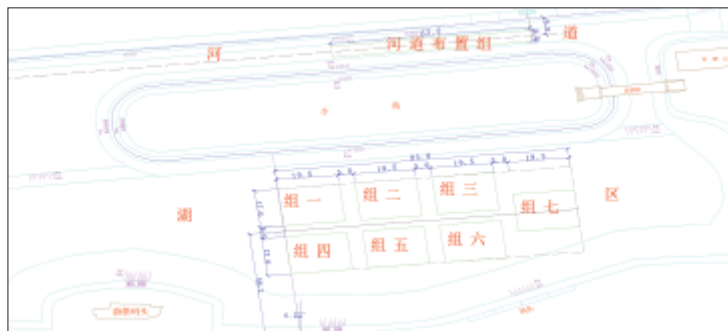


图9 北展后湖接触氧化填料布置平面图

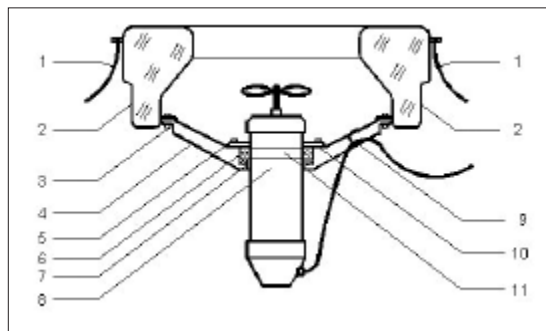


图10 北展后湖接触氧化曝气机

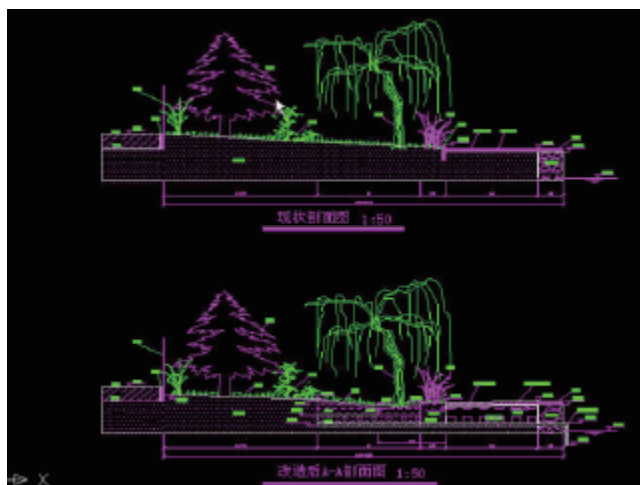


图11 西海面源污染控制改造前后示意图

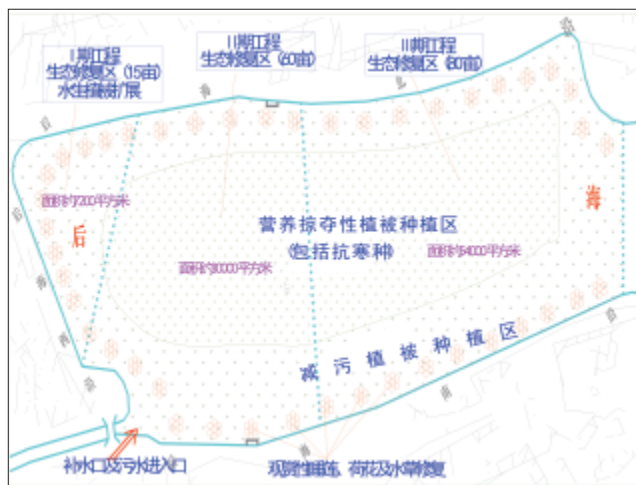


图12 后海沉水植物挺水植物种植平面图

4.4.3 西海面源污染控制工程

西海面源污染控制工程包括两部分内容。一是人行步道由东向西作成缓坡，高程差20mm，铺装面积207m²，透水砖面层高60mm，找平层高20mm，透水垫层高400~420mm；二是下挖低于路面150mm绿地，距步道1.3m处形成最低点，距步道0.5~2.5m范围内将原状土改为由薄层覆土、砂料、碎石组成的渗滤系统，覆土高50mm，砂层高160~300mm，料径5~20mm，碎石层高200mm，料径20~40mm，碎石层底部设收集管。

4.4.4 后海水质改善工程

拟分三期在后海种植水生植物，种植面积10.32万 m^2 。其中一期工程位于后海最西部，种植面积1.57万 m^2 ；为水生植被扩展区，以抗污染前沿冷水性水生植物为主。二期工程面积4.00万 m^2 ，为生态修复区，以温水性沉水植被恢复为主；三期工程面积5.33万 m^2 ，为生态修复区，以高温种沉水植被恢复为主，沉水植物恢复工程周边用观赏性睡莲、荷花等植物进行点缀，营造优美景观。

12.5 建成效果

12.5.1 工程造价

工程总投资961.22万元，单位面积造价约，其中工程直接费786.7万元，水质监测费15万元。

12.5.2 直观效果

北京市中心区水系是重点景观水域，其地理位置非常重要，但由于近年来水资源短缺及补水水质变差等诸多原因，水环境状况恶化明显，夏季水华现象严重，与重点景观水域功能要求相距甚远。本工程突出北方特大缺水型城市水环境特点，选择长河、西海、后海等中心区水域，利用强化处理与生物处理技术，建设城市河湖水体水质改善工程，使工程区水体水质总体上明显改观，由目前的V类、劣V类水体主要指标恢复到IV类，强化河湖水体的景观生态功能，抑制或减轻城中心区夏季水华暴发现象，使工程区下游的北海与中南海成为直接受益水体，在经济与政治方面都具有极其重要的意义，建议尽快实施。



图13 长河雨水口改造施工中



图14 长河雨水口改造实施效果



图15 北展后湖接触氧化填料



图16 北展后湖接触氧化措施



图17 后海沉水植物恢复围格内外



图18 后海沉水植物恢复效果

12.5.3 效益分析

本项目通过工程措施，使项目区水体水质由V类、劣V类恢复到IV类，河湖水体的景观生态功能得以提升，中心城区夏季水华暴发现象得到抑制。

本工程总投资961.22万元，运行费用约65.41万元/年，由于工程的实施，每年减少补水约960万 m^3 ，节约水资源费1056万元/年以上，经济效益显著。

项目的实施为实现“2008年前北京水务发展纲要”提出的“六环以内城市河湖水质基本还清，城中心区150公里河道水质达到III类”目标提供了支撑，项目的成功，为北京市民提供优质的亲水环境，促进人民身体健康和提高生活水平具有极其重要的意义。