

## 上海动物园水环境工程生态修复技术探析

徐阳 (上海市园林工程有限公司, 上海 200083)

**摘要** 上海动物园是位于上海市长宁区一座城市动物园, 承担着动物保护、市民科普、生态保护等功能。园内水系复杂, 水体面积较大, 污染源主要为动物饲料粪便、园林绿化、雨水地表径流等。针对上海动物园水体存在的问题, 通过水力冲挖、生态浮床以及水、湿生植物垂直结构分区等工程技术手段, 改善园内水体质量, 修复园内生态环境, 以期为城市类似水环境的提升提供参考和依据。

**关键词** 水体; 生态修复技术; 上海动物园

中图分类号 X171.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)14-0198-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.14.056



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Analysis on Ecological Restoration Technology of Water Environment Engineering in Shanghai Zoo

XU Yang (Shanghai Garden Engineering Co., Ltd., Shanghai 200083)

**Abstract** Shanghai Zoo is a city zoo located in Changning District of Shanghai. It has many functions such as animal protection, public science popularization and ecological protection. The water system in the park is complex and the water body area is large. The pollution sources are mainly animal feed manure, landscaping, rainwater surface runoff, etc. In view of the problems existing in the water body of Shanghai Zoo, the quality of the water body in the zoo was improved and the ecological environment was restored through engineering techniques such as hydraulic digging, ecological floating bed and vertical structure division of water and wet plants, so as to provide reference and basis for the improvement of similar water environment in cities.

**Key words** Water body; Ecological restoration technology; Shanghai Zoo

上海动物园景观水体多为静止水体或流动性较差的封闭或半封闭水体<sup>[1]</sup>, 且多为露天水体, 容易受到污染, 其自身自净能力有限, 河面落叶等杂物较多, 如天鹅湖有较多禽类羽毛漂浮, 部分区域浮游藻类覆盖全水面, 水体形成缺氧环境, 有明显腥臭味。因此, 采取适当的措施对于动物园内水体的治理十分重要。

水、湿生植物是水体生态系统和园林水景的重要组成部分。大量研究表明, 水、湿生植物在水体净化、生态修复中发挥重要作用。袁东海等<sup>[2]</sup>研究了儿种湿地植物对生活污水的净化作用, 结果发现其对污染水体中化学需氧量(COD)、总氮(TN)的去除效果明显。陈亮等<sup>[3]</sup>对湿地植物开展的研究发现, 旱伞草(*Cyperus involucratus*)、灯心草(*Juncus effusus*)、美人蕉(*Canna indica*)等植物对污水具有较强的净化效果, 可以作为理想湿地植物, 实用性和适应性都很高, 不仅容易生长, 而且具有相当程度的美感。张倩妮等<sup>[4]</sup>以 29 种常见水生植物为材料, 对模拟农村污水出水进行净化, 发现植物处理对 TN(总氮)的净化率比无植物对照组提高 6.21%~26.66%, 对 NH<sub>3</sub>-N(氨氮)、TP(总磷)、COD<sub>Cr</sub>(化学需氧量)、SS(悬浮固体)的净化率分别提高 7.03%~23.92%、17.40%~28.13%、7.47%~18.62%和 8.90%~13.00%。Kadlec 等<sup>[5]</sup>研究发现人工湿地对废水的去除效果极佳, 对 BOD<sub>5</sub> 的去除率为 80%, 而对氨氮去除率高达 95%。

常规的景观水体修复方式, 往往在水体静止不动、又有大量动物粪便的动物园中失去应用的效能。笔者在对上海动物园水体进行调研的基础上, 分析了园内天鹅湖等污染水体区域存在的问题, 并创新性地采用水力冲挖、生态浮床与水、湿生植物垂直结构分区相结合的工程技术手段, 对问题

水体进行了工程修复, 取得了良好的效果。

#### 1 上海动物园水体现状

上海动物园建立至今, 已有 60 多年的发展, 园内饲养多种稀有、珍贵的野生动物, 还种植了大面积树木和草坪, 成为旅游热门地点。上海动物园园内园外水系复杂, 园外由北夏家浜、直挺浜、夏家浜和新泾港组成动物园周边水系, 园内景观水体类型丰富, 以湖泊和河流为主, 水面积达 60 342 m<sup>2</sup>, 占园区总面积的 8.69%。动物园内的景观水体主要来自园外市政河道中的水, 引入后基本上静止不动, 需要采取合理的措施进行治理和修复。

该工程于 2019 年 7 月份启动, 在工程实施之前, 对动物园主要项目实施区域, 同时也是水环境污染严重的天鹅湖区域(图 1)等附近水样进行了抽检, 测定指标包括 NH<sub>3</sub>-N(氨氮)、SS(悬浮物)、TP(总磷)、TN(总氮)、COD<sub>Mn</sub>(高锰酸钾指数)、DO(水体溶解氧)等(表 1)。通过水体检测数据与其所在位置进行综合分析, 结果表明水体的污染来源中, 外源主要是由园内的枯枝落叶、动物的排泄物、羽毛等组成, 由雨水和地表径流被带入水体以及游客带来的垃圾和游客投喂行为。其中, 天鹅湖受到外源污染较为严重, 湖面上漂浮大量羽毛以及鸟类粪便(图 2); 内源污染主要来自底泥, 经分析全园水系淤泥厚度是 0~80 cm, 主要成分是落叶等沉积物。

综上所述, 上海动物园内的污染水体主要存在以下问题: ①水体氮、磷含量高, 大部分轻度富营养化, 且部分有藻类暴发现象。②根据地表水标准, 天鹅湖 4 个水质采样点水质均为劣 V 类或 V 类。金鱼廊附近水体水质为 III 类, 水面悬浮物多。③溶解氧较低, 无法满足水中动植物的需求, 水质整体有轻度黑臭化的趋势。

针对以上问题, 将通过工程技术措施对上海动物园内水环境进行治理和提升。

**基金项目** 上海建工集团股份有限公司科研计划项目(16JCSF-32)。  
**作者简介** 徐阳(1983—), 女, 山东高密人, 工程师, 硕士, 从事园林景观设计研究。  
**收稿日期** 2020-03-25

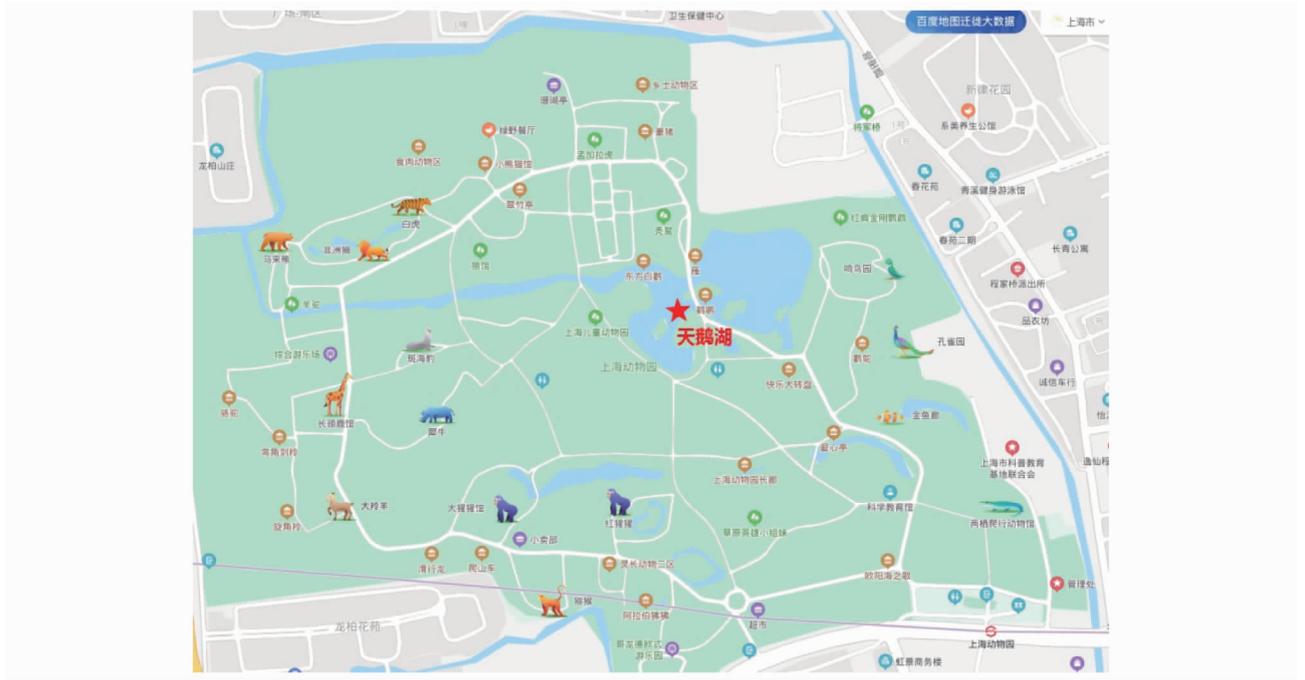


图 1 采样点位置

Fig.1 Location of sampling points

表 1 2019 年 7 月上海动物园局部污染水体水质指标检测

Table 1 Detection of water quality indices of partially polluted water body in Shanghai Zoo in July of 2019

取样点 Sampling sites	COD 浓度 COD concentration mg/L	NH <sub>3</sub> -H 浓度 NH <sub>3</sub> -H concentration mg/L	TN 浓度 TN concentration mg/L	TP 浓度 TP concentration mg/L	SS 浓度 SS concentration mg/L	DO 浓度 DO concentration mg/L	水质类别 Water quality category
天鹅湖(鸳鸯池) Swan Lake (Mandarin Duck Pond)	5.95	1.78	1.44	1.37	14.77	2.66	劣V类
天鹅湖(小游禽) Swan Lake (small swimming bird)	6.87	1.72	1.43	0.25	8.84	2.56	V类
天鹅湖西北 Northwest of Swan Lake	5.65	1.76	1.49	1.39	1.33	3.05	劣V类
天鹅湖东北 Northeast of Swan Lake	5.41	1.83	1.33	1.35	4.05	3.01	劣V类
金鱼廊南 South to Goldfish Gallery	3.80	0.31	2.28	0.18	10.20	5.85	Ⅲ类

## 2 上海动物园水环境工程生态修复技术

针对上海动物园水体存在的问题,提出通过工程技术来改善园内水体质量,加强园内水环境的护理。修复工程的主要目的是提高水体水质,完善水体生态系统,提高水体动植物多样性,从而间接提高水体的自净能力,实现水体的长期治理。该工程的主要技术手段是水利冲挖、生态浮床以及水、湿生植物垂直结构分区水湿生植物配置及生态净化。

**2.1 水力冲挖技术** 水力冲挖技术是指在河道施工段构筑临时围堰,将河道水排干,之后采用水力冲挖机组的高压水枪冲刷底泥,将底泥搅动成泥浆。其技术原理是模拟自然界水流冲刷原理,借水力作用来进行挖土、输土、填土,即水流经高压泵产生压力,通过水枪喷出一股密实的高速水柱,切割、粉碎土体,使之湿化、崩解,形成泥浆和泥块的混合。流动的泥浆汇集到事先设置好的低洼区,由泥泵吸取、管道输送、将泥浆输送至岸上的堆场或集浆池内<sup>[6-8]</sup>。

针对上海动物园天鹅湖水体现状,其技术实施过程中的关键技术为:挖泥机挖至河底以下 1.5 m 深,结合原先水深 1 m 并考虑围堰超出地面 0.5 m,合计池深约 3.5 m。将池构筑成大致中部倒圆台形,以利于泥浆的沉淀与集中,填筑折合直径约 20 m(图 3)。在截水回流时,为利用泥浆沉淀水,减少冲挖用水的补充量,在距临河侧围堰 3 m 外的河底设 100 cm×80 cm 的排水沟或截水沟将渗水、漫水及泄水回流至供冲挖施工抽水的导流沟(200 cm×150 cm)以重复利用(图 4)。施工时,泄水口应随时填筑沙袋,保持堰上水头为 0.05 m,防止水流太急造成带浆溢出。

在应用效果上,水力冲挖在上海动物园水环境重建及提升工程中起到基础性作用。通过合理计算清淤量及清淤位置,重点清除了天鹅湖等 5 个区域的淤泥(图 5)。这几个区域不仅是重点污染区域,并且由于处于中心地带,也是连接上海动物园内水系的重点区域。水力冲挖后,污染淤积得到

了缓解,并在一定程度上增加了园内水循环的动力。



图2 天鹅湖浑浊的湖面

Fig.2 The muddy lake surface of Swan Lake



图3 底泥冲刷及泥泵吸泥

Fig.3 Bottom mud's flushing and mud pump's suction



图4 导流沟设置

Fig.4 The settings of diversion trench

**2.2 生态浮床技术** 人工生态浮床净化技术的原理是通过无土栽培,将具有净化水质、具有观赏性的水生或者湿生植物,种植在具有水面浮力的载体上,通过拼装成块,使其生长在污染水体上,利用植物强大根系的吸收、吸附、截留作用和微生物的生化降解等作用,削减污染水体中的重金属离子或将富营养化的N、P及有机物质等污染物质富集在浮床的植

物体内。若将生态浮床搬离水体,即可达到净化水质的效果。同时,生长于水面的植物也可以形成多元化的生态环境,可作为鱼类、浮游生物类、昆虫等的栖息地和繁殖产卵区。多种植物间杂生长也能营造良好的水上景观,美化环境<sup>[9-10]</sup>。



图5 天鹅湖区水体提升效果

Fig.5 The lifting effect of water body in Swan Lake

根据上海动物园水体的特点,该工程应用的生态浮床实施的技术关键包括:①生态浮床植物种植。项目实施中,所采用的种植床主体结构为长丝编织聚酯纤维结构(填充物),覆盖材料有机植物纤维,中间通过钢骨架连接。单体结构尺寸为200 cm×150 cm×22 cm,种植床每平方有25个种植穴,在指定种植穴位置进行种植,种植时确保植物根系浸泡在水下。该项目选用的生态浮床植物主要有菖蒲(*Acorus calamus*)、美人蕉、鸢尾(*Iris tectorum*)、芦苇(*Phragmites australis*)等(图6)。②生态浮床拼接。水生植物种植完毕后,便可以开始浮动湿地单元的拼接。浮动湿地单元内部有不锈钢管作为骨架。在拼接过程中,需将不锈钢管对齐,并采用套管的方式进行对接。由于在水面上进行拼接,可能产生无法移动浮动湿地单元等情况,则需在漂浮湿地单元两侧绑扎绳索,并进行人力牵扯,使漂浮湿地移动并达到指定位置(图7)。③浮床固定。水下固定是浮动湿地建造的重要环节。上海动物园生态浮床采用插杆固定方式,在浮动湿地的

四周插入 4 根镀锌钢管作为固定支撑,并以尼龙绳作为连接,将浮动湿地固定在一定范围之内,使之无法移动。为保持浮动湿地平衡性,不被波浪所打翻,在尼龙绳上栓上重物如水泥块等,使其保持平衡(图 8)。

④生态浮床维护。浮床植物种植后若发现植物枯萎、虫害等现象要及时查看原因并予以解决。如因固定连接不牢导致单元连接松散,要及时加固,防止冲击能力变弱。待植物生长到一定规模后进行收割并重新种植。具体收割时间以植物品种及类别而异,一般为 1~2 年。



图 6 生态浮床植物种植

Fig.6 Planting of plants on ecological floating bed

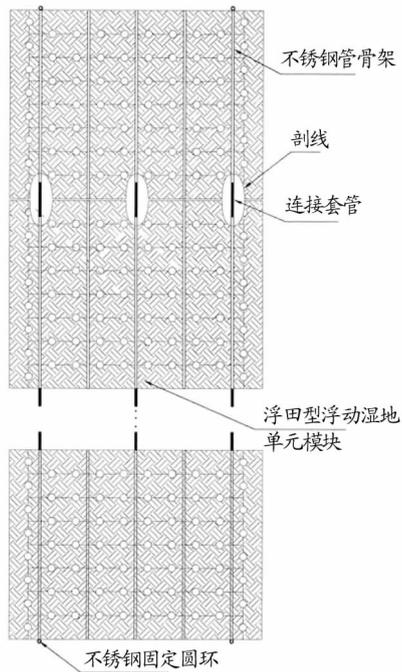


图 7 生态浮床拼接示意

Fig.7 Splicing of ecological floating bed

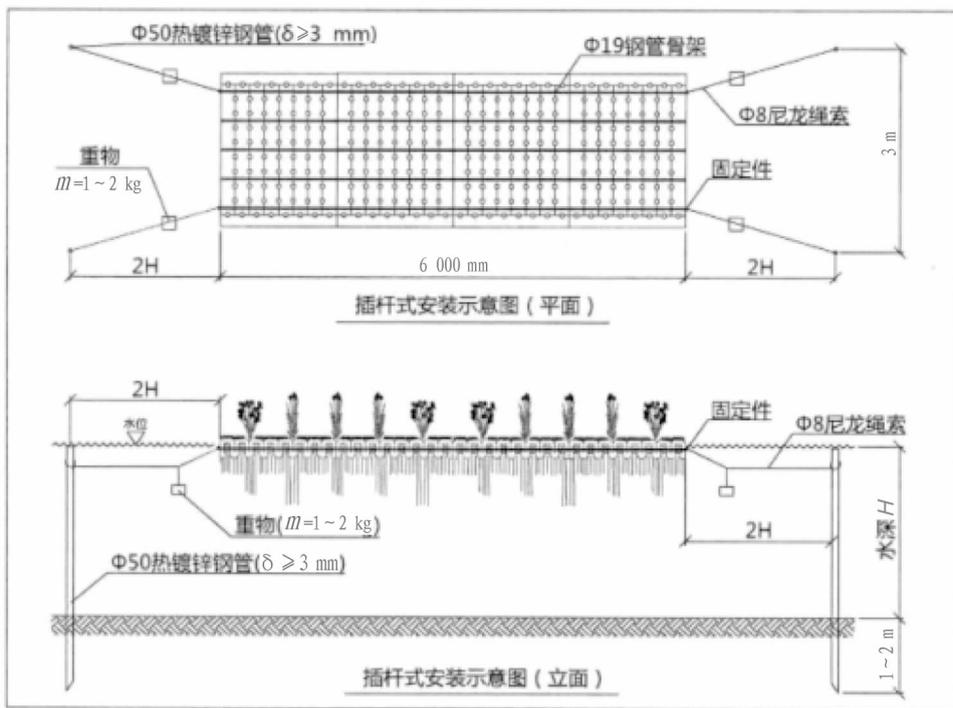


图 8 生态浮床固定示意

Fig.8 The fixing of ecological floating bed

实践结果表明,上海动物园水体构建生态浮床的意义和应用效果在于:①生态浮床能够有效吸收、吸附和富集富营养化物质元素(如 N、P 等),缓解了水体富营养化程度,使天鹅湖、金鱼廊段水体水华频繁暴发的区域富营养化的程度有效降低;②能通过植物呼吸作用向水体有效输氧,使传统黑臭隐患区域不仅解决了黑臭问题,而且在景观上得到了大幅度提升;③生态浮床能够建设和谐健康的生态循环系统。在

金鱼廊段水体构建生态浮床后,其水体内的鱼类和蚌类明显增多(图 9)。

**2.3 水、湿生植物垂直结构分区净化技术** 景观水体的治理中,植物修复技术是普遍使用的一种方法,其原理是以构建水生植物群落为中心,利用其自身联合共生系统中其他生物体去除污染物的一种技术,而水湿生植物对景观水体的净化效果明显。



图9 金鱼廊水体生态浮床实景

Fig.9 Real scene of the ecological floating bed in the water body of Goldfish Gallery

构建合理健康的水生植物的关键是进行垂直结构上的分区。上海动物园工程实践中,其垂直结构分区为水边与驳岸的挺水、喜湿植物区,水面的浮叶型、飘浮型植物区及水底的沉水型植物区。植物分区净化技术实施要点如下:在植物选择上,水边和驳岸主要选择黄菖蒲(*Iris pseudacorus*)、旱伞草、花菖蒲(*Iris ensata* var. *hortensis*)、千屈菜(*Lythrum salicaria*)、美人蕉和慈姑(*Sagittaria trifolia* L. var. *sinensis*) 5种挺水、喜湿植物;水底选择的沉水植物主要有金鱼藻(*Ceratophyllum demersum* L.)、微齿眼子菜(*Potamogeton maackianus* A. Bennett)、龙须眼子菜[*Stuckenia pectinata* (Linnaeus) Borner]、轮叶黑藻[*Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle]、苦草[*Valisneria natans* (Lour.) Hara]等;浮叶植物则重点选用了睡莲(*Nymphaea tetragona*)。这几种水生植物不但观赏性都较强,且对水体的净化作用也十分明显(图10),不仅能够去除氮、磷,降低COD和BOD,对一些重金属(如Cu、Pb、Zn等)也具有去除效果,并能抑制其他藻类生长<sup>[2-3]</sup>。

在应用效果上,水、湿生植物的选择和垂直结构分区的设置,有效解决了上海动物园植物景观效果与污染防治之间的矛盾。作为一个修复性的功能,不仅与水力冲挖、生态浮床技术带来的污染防治成果相衔接并构建了一个相对完整的生态系统,而且呈现给游客良好的视觉景观效果,达成了提升动物园整体水环境的目的。

### 3 结语

像上海动物园这样历史悠久、规模大、情况复杂、污染严重、水体更新缓慢的水体中,仅仅强调植物配植生态修复,不能起到很好的效果,往往植物还会因为环境缺氧或多菌而枯

萎。通过大量文献的查阅及以往工程实践的研究总结,探究出水力冲挖、生态浮床与水、湿生植物垂直结构分区相结合的水环境提升技术。水力冲挖可实现水体物理性的水质提升,生态浮床是实现园区内水生态的基本保障,水、湿生植物筛选及垂直分区技术则实现大量污染物质的有机代谢及系统维护以及园区内生态景观观赏效果的保障。这一系列工程技术的配合使受污染的水体在较短的时间内达到了很好的生态净化效果。此技术在水域范围大、水体流动性不强,并且有机物富集的景观水体中能够发挥很好的净化效果,在复杂的水环境提升中也将具有重要的参考意义。



图10 上海动物园水、湿生植物水景效果

Fig.10 The water and wet plants waterscape effect of Shanghai Zoo

### 参考文献

- [1] 马永鹏,田娟娟,李博,等.水生植物对受污染景观水体的净化效果研究[J].轻工学报,2018,33(6):27-33.
- [2] 袁东海,任全进,高士祥,等.几种湿地植物净化生活污水COD、总氮效果比较[J].应用生态学报,2004,15(12):2337-2341.
- [3] 陈亮,刘锋,肖润林,等.人工湿地氮去除关键功能微生物生态学进展[J].生态学报,2017,37(18):6265-6274.
- [4] 张倩妮,陈永华,杨皓然,等.29种水生植物对农村生活污水净化能力研究[J].农业资源与环境学报,2019,36(3):392-402.
- [5] KADLEC R H, KNIGHT R L. Treatment wetlands [M]. New York: Lewis Publishers, 1996.
- [6] 赵世杰.水力冲挖土方在混凝土沉箱施工中的应用[J].四川建材,2011(6):139,141.
- [7] 包建平,朱伟,闵佳华.中小河道治理中的清淤及淤泥处理技术[J].水资源保护,2015(1):56-62,68.
- [8] 沈俊毅,余文臻.河道环保清淤原则与要点[J].资源节约与环保,2018(7):112.
- [9] 靳明建,王超.如东县四种南美白对虾养殖尾水处理模式的比较[J].河北渔业,2019(11):17-19,62.
- [10] 靳明建,王超.如东县四种南美白对虾养殖尾水处理模式的比较[J].江西水产科技,2019(3):23-25,28.