

输水工程沼蛤（淡水壳菜）生物污损防治 池设计导则

**Design guideline of prevention and control pool for *Limnoperna
fortunei* biofouling in water transfer project**

（征求意见稿）

前 言

本标准按照按照 GB/T1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由清华大学提出。

本标准由中国水利学会归口。

本标准主编单位：清华大学

本标准参编单位：深圳市东江水源工程管理处、河南科技大学

本标准主要起草人：徐梦珍、王兆印、曹小武、李铁键、王光谦、赵娜、刘玮、王旭昭

目 录

1 范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 一般要求.....	3
5 原水集水池.....	4
6 生物附着池.....	4
7 沉降池	7
8 脉动灭杀池.....	8

输水工程沼蛤（淡水壳菜）生物污损防治池设计导则

1 范围

为减少跨流域输水工程带来的生物入侵，尤其是固着型生物造成的生物污损，减轻对工程运行及受水区生态安全等的危害，实施生态友好、安全健康、经济合理的生物污损防治措施，特制定本标准，以规范输水工程沼蛤生物污损防治系统设计。

本标准介绍了集吸附、沉降和脉动灭杀为一体的沼蛤防治原理，确立了输水工程沼蛤生物污损防治池的总体布置及材料、技术参数要求等。

本标准适用于跨区域调水、长距离供水、生态补水、引水等各类输水工程，本标准适用于各种规模的输水工程，生物污损防治池各部分的前后顺序应遵循本标准的规定，各部分的尺寸则需参照主体工程规模、输水流量等参数进行相应设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB50203 砌体结构工程施工质量验收规范

GB50141 给水排水构筑物工程施工及验收规范

GB/T17219 生活饮用水输配水设备及防护材料卫生安全评价规范

GB31603 食品接触材料及制品生产通用卫生规范

GB18401 国家纺织产品基本安全技术规范

GB/T17638 土工布/透水土工布短纤针刺国家标准

GB9684 不锈钢食具容器卫生标准

GB/T10002.1 给水用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材

GB/T10002.2 给水用硬聚氯乙烯(PVC-U)管件

GB/5836.1 建筑排水用硬聚氯乙烯（PVC-U）管材

GB50015 建筑给水排水设计规范

CECS144 水力控制阀应用设计规程

FZ/T64033 纺粘热轧法非织造布

JB/T8696 吸泥机技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 污损生物 (Fouling organism)

污损生物是固着型生物高密度附着在结构面上，对结构面造成污损破坏。其中，典型的污损性生物包括软体动物沼蛤(淡水壳菜)，属于双壳纲贻贝科底栖动物。该物种具有较长的浮游幼虫阶段，可随输水活动进入工程内部及受水体，逐步发育为营固着生活的成贝，成贝利用蛋白足丝牢固附着，通过滤食水中的浮游生物生活。

3.2 沼蛤生物污损(*Limnoperna fortunei* biofouling)

沼蛤随自然水源入侵进入输水通道及输水工程，在工程结构表面高密附着生长并肆意扩张，堵塞输水管道，影响输水建筑物和输水设备的正常运行。沼蛤呼吸作用消耗水中的溶解氧，代谢过程排泄氨氮，容易引起水质恶化。死亡贝体腐烂变质过程也会导致有害菌群显著增加，影响供水水质，威胁用水安全。

3.3 原水集水池(Fore bay)

原水集水装置，规模与输水工程前池规模相当，位于前池的上游（场地限制的情况下可与前池部分重叠）输水工程之前，原水进入输水工程前先进入原水集水池。

3.4 生物附着池(Attachment pool)

生物附着池位于原水集水池下游，池内主要装置包括稳定附着系统、不稳定吸附系统、便于提升起吊安装的分隔装置等，通过吸引污损生物集中附着，以便在生物性熟前集中暴晒灭杀的装置。

3.5 稳定附着系统(Stable attachment framework)

采用污损生物偏好的天然材料作为主要的吸附材料制作而成的装置系统，用于吸引污损生物的稳定附着，对污损生物进行初步治理的部件。

3.6 不稳定吸附系统(Unstable absorbing framework)

采用环保复合新材料对污损生物的浮游幼虫进行高效吸附的装置系统。

3.7 沉降池(Settling pool)

位于生物附着池下游，采用水力调节措施对从生物附着池逃逸的污损生物进行沉积，利用沉降池细颗粒落淤对沉底的生物进行灭杀治理的装置。

3.8 脉动灭杀池(High frequency turbulence killing system)

位于沉降池下游，采用人工生成水下强声波或其他机械振动生成的脉动场，灭杀自上游逃逸的污损生物的浮游幼虫的装置。

4 一般要求

4.1 输水工程生物污损防治池运行前应对水源地、输水工程内部已附着或死亡脱落的污损生物进行集中清理。

4.2 输水工程生物污损防治池包括原水集水池、生物附着池、沉降池与脉动灭杀池。

4.3 输水工程生物污损防治池应设置于水源地与输水工程进水口之间。

4.4 输水工程生物污损防治池应结合地理环境布置，充分利用高程落差，减少资源能源投入。

4.5 输水工程生物污损防治池选址应符合所属输水工程总体规划要求，充分考虑安全、环保、行洪等影响因素。

4.6 输水工程生物污损防治池的设计资料应包括：

4.6.1 基本参数：包括系统各装置的长度、高度、宽度、设计流速、设计水位、高程、坡度等，系统各构件的规格、形状、尺寸、数量、颜色、材料等。

4.6.2 配套功能要求：如配电、水质监测、视频监控、自动控制等。

4.6.3 系统安装、验收、运行与维护管理细则。

4.6.4 气象水文、生物调查、泥沙、水质、污染物等资料。

4.7 输水工程生物污损防治池整体框架为砌体结构，施工与验收应符合 GB50203（砌体结构工程施工质量验收规范 GB50203-2011）、GB50141（给水排水构筑物工程施工及验收规范 GB 50141 2008）、CECS138（给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程 CECS138-2002）等规定的要求。

4.8 输水工程生物污损防治池整体外观可以是沿水流方向的直线型，也可以是弯

曲或折线型。

5 原水集水池

5.1 原水集水池用于容纳自河流等自然水源引入的含有大量污损生物幼虫的原水。

5.2 原水集水池应控制进水流量至供水流量的 2 倍以上，尺寸设计与输水工程前池设计原则上相同，设置动力控制进水口，安装进水闸阀或水泵，应符合 GB/T17219（生活饮用水输配水设备及防护材料卫生安全评价规范 GB/T 17219-2001）的要求。

5.3 原水集水池下游应布置出水口，设于下游池壁中线位置，出水口大小满足供水流量需求。

6 生物附着池

6.1 生物附着池包括水流稳动段、吸附段、出水段三个池段，集中吸附灭杀污损生物的幼虫。

6.1.1 水流稳动段布置具有抗冲力的稳定附着系统，减弱水体流速，对污损生物幼虫进行吸附过滤，提高装置吸附污损生物的效率。

6.1.2 吸附段布置不稳定吸附系统，实现对污损生物幼虫的大量吸附灭杀。

6.1.3 出水段设置分水装置，连接下游沉降池。

6.2 稳定附着系统：

6.2.1 横向附着装置：

——布置于生物附着池上游区域；

——装置由多组平铺的横向附着排自下而上交错铺设组成；

——装置的高度应大于设计水位；

——横向附着排的宽度应等于生物附着池的宽度；

——横向附着排顺水流方向的长度应大于 50 cm，小于 100 cm，如更长则须由绳索或其他材料固定为便于起重装置整体安装的附着单元；

——横向附着排由多个外表面朝上的竹片组成，竹片应选取胸径大于 60 mm 的

本土竹属植物、沿直径剖开制成；

——稳定附着系统应至少布置一套横向附着装置，根据输水流量及幼虫的最高浓度确定附着装置的套数。

6.2.2 竖向附着装置：

——布置于横向附着装置的下游；

——竖向附着装置的宽度应等于生物池宽度；

——装置由多组沿水流方向布置的直立附着排并联铺设组成；

——竖向附着排的长度应大于 100 cm，小于 150 cm，如更长则须由绳索或其他材料固定为便于起重装置整体安装的附着单元；

——竖向附着排的高度应大于设计水位；

——竖向附着排由多个弧面面向同一侧的竹片组成，竹片应选取胸径大于 60 mm 的本土竹属植物、沿直径剖开制成；

——稳定附着系统应至少布置两套竖向附着装置。

6.2.3 稳定附着系统内的固定连接件应选取安全、环保的复合材料，可选择聚丙烯、硅酸凝胶等材料，符合 GB31603（食品接触材料及制品生产通用卫生规范 GB 31603-2015）的规定。

6.3 不稳定吸附系统：

6.3.1 一组不稳定吸附装置由多个吸附板平行置于固定架上组合而成。

6.3.2 吸附板：

——吸附板由刚性框架包裹柔性吸附组件制成；

——刚性框架是边长等于设计水位的正方形框架或面板，材料可采用聚氯乙烯、聚丙烯、铝塑复合材料、不锈钢、球墨铸铁等材料，符合 GB/T17219（生活饮用水输配水设备及防护材料卫生安全评价规范 GB/T17219-2001）的要求。

6.3.3 吸附材料：

——吸附材料包括过滤吸附材料及强效吸附材料；

——过滤吸附材料应采用透水性好、强力高、耐腐蚀的柔性纤维材料，纤维缝隙能够满足透水过滤、污损生物幼虫足丝吸附的要求，选取规格不应超过 200 克，符合 GB18401（国家纺织产品基本安全技术规范 GB18401-2010）和 GB/T17638（土工布/透水土工布短纤针刺国家标准 GB/T17638-2008）、GB/T17219（生活饮

用水输配水设备及防护材料卫生安全评价规范 GB/T17219-2001) 的规定;

——强效吸附材料应采用耐腐蚀、抗老化、具有多孔结构的环保纤维材料, 强化污损生物幼虫吸附效果, 选取规格不应超过 100 克, 符合 GB18401 (国家纺织产品基本安全技术规范 GB18401-2010) 和 FZ/T64033 (FZ/T 64033-2014 纺粘热轧法非织造布)、GB/T17219 (生活饮用水输配水设备及防护材料卫生安全评价规范 GB/T 17219-2001) 的规定;

——吸附材料固定于吸附框架, 每个吸附板设置不少于 4 层吸附材料。

6.3.4 固定架:

——多个吸附板通过螺纹或焊接的方式置于固定架上, 间距不应大于 5 cm, 吸附板面与水流方向的交角应 $\geq 0^{\circ}$ 且 $\leq 30^{\circ}$;

——固定架长度应大于生物附着池宽, 并垂直固定于两侧池壁之上, 材料应选取铝塑复合材料、不锈钢、球墨铸铁等材料, 符合 GB/T17219 (生活饮用水输配水设备及防护材料卫生安全评价规范 GB/T17219-2001) 的要求;

——固定架应设计为可拆卸支架, 定期取出附着板进行离水晾晒、化学药剂浸泡、高温热处理或高压水冲洗、紫外线照射等措施, 促使生物死亡或脱落之后再放入附着池中可反复使用;

6.3.5 不稳定吸附系统应至少布置两组由过滤吸附材料制成、两组由强效吸附材料制成的吸附装置。

6.4 分水装置:

6.4.1 阻截栅:

——生物附着池出水口设置阻截栅, 拦截杂质、污染物及鱼类;

——阻截栅应为不锈钢制成的金属网, 应符合 GB 9684 (不锈钢食具容器卫生标准 GB 9684-2011) 的要求。

6.4.2 分水组件:

——出水口设置分水管道, 连接下游一个或多个沉降池, 并连接生物附着池导流管道, 每个分叉管道均应设置阀门;

——对于场地限制的工程, 生物附着池导流管道可连接至生物附着池进水口, 促使水体在生物附着池内多次循环吸附;

——分水管道及管件采用聚氯乙烯材料, 应符合 GB/T10002.1 (给水用硬聚氯乙烯

烯(PVC-U)管材 GB/T10002.1-2006)、GB/T10002.2 (给水用硬聚氯乙烯(PVC-U)管件 GB/T10002.2-2003) 的要求。

6.5 生物附着池应放养以污损生物成体或幼虫为食的鱼类，应选择鲤鱼、黑鱼、鲫鱼的其中一种或多种，以控制附着装置上的生物密度。

7 沉降池

7.1 输水工程生物污损防治池可以设置一个或多个沉降池，多个沉降池为并联结构，以保证极低的过流流速促使污损生物及细颗粒泥沙的沉降和落淤，促进幼虫的灭杀。

7.2 沉降池进水端与生物附着池出水端相连，设置闸门控制流量，沉降池流速应低于 0.1 m/s。

7.3 全部沉降池的过水断面之和应大于生物附着池过水断面，沉降池深度可大于或等于生物附着池的深度。

7.4 沉降池应为平底或斜坡底，斜坡底的坡度应 $\geq 1:200$ 。

7.5 沉降池下游靠近出水端设置便于更换的不锈钢沉降物收集槽（单个或多个），收集槽总体积不小于原水集水池体积的 1/10，以集中沉降污损生物幼虫及杂质，便于清理：

7.5.1 沉降物收集槽布置于靠近溢流装置迎水方向一侧的底部。

7.5.2 平行于水流方向的竖直截面为上宽下窄的形状。

7.5.3 上游槽壁为斜坡面，坡度 $\geq 1:50$ 。

7.5.4 下游槽壁为直立壁。

7.6 沉降池出水口设置溢流堰和闸门装置：溢流堰沿沉降池过流断面布置，应低于沉降池设计水位，溢流堰顶设置闸门装置以控制沉降池水位，水位不应超过沉降池壁。

7.7 溢流堰迎水一侧设置水流扰动挡墙，以减少水流的扰动，挡墙可为砖砌，应满足稳定性要求：

7.7.1 水流扰动挡墙垂直水流，长度与沉降池内宽相同，宽度可为普通砖宽或根据沉降池规模设计，高度为沉降池的 1/5。

7.7.2 水流扰动挡墙应根据排水需要设置上下排水孔，为排空时所需。

7.7.3 水流扰动挡墙可设置一个或多个，设计规格应保持与上述一致。

7.8 沉降池应设置排污装置，与沉降池底部连接，用于排出沉降池内的沉底泥，设计应选择以下两种方式之一：

7.8.1 安装排污管，定期排干沉降池水，集中清理底泥，管材应符合 GB/5836.1（建筑排水用硬聚氯乙烯（PVC-U）管材 GB/5836.1-2006）的要求；

7.8.2 安装排污动力装置抽泥机，应符合 JB/T 8696（吸泥机技术条件 JB/T 8696—2013）的要求。

8 脉动灭杀池

8.1 脉动灭杀池位于沉降池下游，采用装置生成水下强声波或利用其他机械振动生成的脉动场，灭杀自上游逃逸的污损生物的浮游幼虫的装置。脉动灭杀池内安装一套或多套脉动场发生装置。

8.2 水下强声波发生装置优先推荐用作脉动灭杀池脉动场的发生装置。

8.2.1 水下强声波发生装置采用电声换能器声源原理，将交流电信号转化为声信号，再放大到所需的频率和声强。声波的频率和声强根据工程实际情况优选。

8.2.2 电声换能器是水下强声波发生装置的技术重点，最常用的材料是压电陶瓷和稀土。

8.2.3 水下强声波发生装置配备有对应不同频率的变幅杆和多重报警系统，针对体长范围 100-400 μm 的幼虫进行灭杀，可实现电脑通讯和数据打印。

8.2.4 制造出强声波驱动的脉动场，结合射流循环曝气装置促进水体流动，实现对不同体长范围的沼蛤幼虫的高效灭杀。

8.2.5 水下强声波驱动脉动场具有操作简便，在处理中不引入其他化学物质，反应条件温和，反应速度快等优点，可直接导致幼虫壳体破碎、组织流出、细胞死亡，也可抑制其生长。

8.3 脉动灭杀池出水端与输水工程的进水口无压连接。

8.4 根据工程规模，脉动灭杀池可分割为多个子池体，设置多套水下强声波发生装置。对于场地受限的工程，脉动灭杀池可设置为循环系统，水流反复循环，接受脉动场的灭杀处理。

9 质量验收

根据该导则设计施工的沼蛤控制系统质量应按以下要求验收:

- (1) 应符合本标准和相关专业验收规范的规定;
- (2) 应符合工程勘察、设计文件的要求;
- (3) 参加验收的各方人员应具备规定的资格;
- (4) 验收应在施工单位自行检查评定的基础上进行;
- (5) 运行后应将进入工程的活体幼虫密度降低 50-80%，运行一年后，平均成贝附着密度应该降低 50-80%。

10 运行维护及防治效果

运行维护:

- (1) 需要定期监测稳定吸附系统的竹排和不稳定吸附系统的柔性纤维材料上沼蛤成贝的体长,当稚贝进入性成熟前(体长 6-8mm)时,需要提出吸附装置,将其在阳光下暴晒 5-7 天,待稚贝死亡后进行清理,并修复局部受损吸附材料,然后再放置池中重复使用;
- (2) 沉降池需要定期清理底部落淤的泥沙和死亡贝体;
- (3) 脉动系统需定期维护和检查,防止装置被着生藻类附着。

防治效果:

最佳防治效果可达 80%，以深圳东江水源为例，自沼蛤防治池应用以来，工程输水能耗降低 5%以上，运行管理效率提升 8%，每年节约壁面清理费用 100 万元，同时缩短了停水检修时间，提高了输水保障率。

11 设计尺寸及运行参数—以深圳东江水源工程为例

由于输水工程规模各异，在上文中无法提供具体的设计尺寸和运行参数，下面以深圳东江水源工程为例，给出设计尺寸和运行参数，供参考。

深圳东江水源工程西枝江取水口设计流量为 $3.75\text{m}^3/\text{s}$ ，为防治沼蛤，设计应

用了沼蛤防治池，包括原水集水池、生物附着池、沉降池和脉动灭杀池，各部分尺寸和参数如下：

原水集水池：池长 6 m，池宽 17.5 m，池高 6.95 m，进水口距离池底 0.5 m。

生物附着池：池长 30 m，池宽 17.5 m，池高 6.95 m，用钢筋混凝土墙将生物附着池分为 7 个通道，水流垂直方向上每个断面（池宽）设置 7 个吸附排，每个吸附排宽度 2.1 m；沿水流方向上设置 21 个吸附排，其中，稳定吸附段长度为 20 m，吸附材料为竹排，不稳定吸附段长度为 10 m，吸附材料为无纺布。生物附着池段流速应控制在 0.4-0.9 m/s。在生物附着池上设置电动葫芦龙门起重机（跨度 18 m，起吊高度 9 m），方便吸附排的检修和更换。

沉降池：池长 6 m，池宽 17.5 m，池高 6.95 m。由于生物附着池装有混凝土墙，所以沉降池过流断面大于生物附着池，保证沉降池流速小于 0.1 m/s，以保障沉降效果。

脉动灭杀池：池长 2 m，采用水下强声波发生装置，以保证前面逃逸过来的幼虫得以灭杀。