

输水管道中淡水壳菜控制理论研究

SHUSHUIGUANDAOZHONGDANSHUIJIAOCAIKONGZHILILUNYANJIU

“十二五”国家重点图书

市政与环境工程系列研究生教材

刘冬梅 著
崔福义 主审

 哈尔滨工业大学出版社

“十二五”国家重点图书
市政与环境工程系列研究生教材

输水管道中淡水壳菜 控制理论研究

刘冬梅 著
崔福义 主审

哈尔滨工业大学出版社

内容简介

在我国南方地区,淡水壳菜导致了严重的输水管道污损,本专著针对这一问题展开探讨,内容主要包括我国生物污损现状分析、淡水壳菜的生物学特性和危害特性、氧化剂杀灭淡水壳菜的效果、水流冲刷和氧化剂协同作用去除、长距离输送管道中淡水壳菜的控制措施和实际工程运用,分析了技术方案和经济效益,提出了综合控制措施。

本书对水中淡水壳菜的生物污染控制的原理、发展、应用和问题给予了系统介绍,可作为市政工程、环境工程、环境科学等学科本科生、研究生的专业授课用书和参考用书,也可从事水处理科学研究、环境保护和行政管理等部门工作及工程技术人员提供理论基础和技术指导。

图书在版编目(CIP)数据

输水管道中淡水壳菜控制理论研究/刘冬梅著. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2014.2
ISBN 978-7-5603-4521-5

I. ①输… II. ①刘… III. ①输水管道-附着生物
防治-高等学校-教材 IV. ①Q179.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 300236 号

策划编辑 贾学斌
责任编辑 苗金英
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787mm×960mm 1/16 印张 12.25 字数 150 千字
版 次 2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-4521-5
定 价 38.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

饮用水处理是生态文明建设的重要组成部分,水质生物处理理论与技术中的水生生物污染控制问题已成为保证饮用水安全的热点问题之一。

近几年来,随着城市供水水源短缺的情况不断出现,很多城市不得不采用长距离输水的方式从水质较好的水源地取水使用。而附着型生物淡水壳菜在我国南部地区的江河中广泛存在,当它随着水流进入输水管道后就会依附在管壁上并且大量繁殖,长期下去便会造成水质恶化和增大输水阻力,甚至堵塞管道。

在水生生物污染控制方面,我国目前已经具备了一定的技术基础,但针对输水管道中淡水壳菜的控制,还没有出版相关的书籍进行系统的介绍,这对渴望了解该领域的科研人员造成了极大的不便。因此迫切需要出版一部系统阐述输水管道中淡水壳菜控制理论的专业著作,这对于推动我国饮用水安全领域基础研究和技术应用具有重要的意义。

本书相关课题研究来源于国家“十一五”水体污染控制与治理科技重大专项“珠江下游地区饮用水安全保障技术集成与综合示范”,并得到了城市水资源与水环境国家重点实验室自主课题(2014TS02)(哈尔滨工业大学)资助,在此表示感谢。

本书除介绍了生物污损现状、淡水壳菜的生物学特性、在输水

工程中的危害特性和杀灭淡水壳菜的传统方法外,还结合实验和工程经验,提出了氧化剂联用技术、氧化剂与水利冲刷联用技术杀灭淡水壳菜的方法,这对于输水工程中淡水壳菜的控制具有重要的实际意义。

除了著作人刘冬梅,参与本书内容研究和撰写的还有王睿、洪洁、唐欢、贾学斌、张敏,感谢大家付出的努力。还要感谢哈尔滨工业大学李圭白院士、崔福义教授的悉心指导,感谢广州自来水公司、南洲水厂、广东省建筑设计研究院等各相关人员在科研方面给予的大力支持。

本专著可作为市政工程、环境工程、环境科学等学科研究生的专业授课用书和参考用书,也可从事水处理科学研究、环境保护和行政管理等部门工作及相关工程设计人员提供理论基础和技术指导。

由于时间紧迫,作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请专业学者、广大师生和读者批评指正。

作 者

2013 年 12 月

目 录

第 1 章 疏水工程的生物污损	1
1.1 生物污损的概念	2
1.2 典型污损生物的附着机理	2
1.3 生物污损现状	5
第 2 章 淡水壳菜的生物学特性及环境条件的影响	12
2.1 淡水壳菜的行为及生长特性	12
2.2 工程沿线淡水壳菜的附着特性	31
2.3 淡水壳菜取样与培养方法	43
2.4 淡水壳菜的水力学特性	45
2.5 环境条件对淡水壳菜的影响	49
第 3 章 输水工程中淡水壳菜的危害及控制状况	59
3.1 淡水壳菜的分布	59
3.2 淡水壳菜滋生的成因分析	60
3.3 对管道输水能力的影响	62
3.4 淡水壳菜对水环境的影响	64
3.5 淡水壳菜对水质的影响	66
3.6 国内外淡水壳菜控制方法	71
第 4 章 氧化法控制淡水壳菜	83
4.1 单一氧化剂对淡水壳菜的杀灭技术	83
4.2 氧化剂联合作用对淡水壳菜的杀灭技术	116
4.3 本章小结	123

第 5 章	水力冲刷及氧化杀灭去除淡水壳菜技术综合评价	127
5.1	氧化剂协同水力冲刷作用杀灭去除淡水壳菜	127
5.2	氧化杀灭去除淡水壳菜技术综合评价	130
5.3	本章小结	136
第 6 章	封闭缺氧法杀灭去除淡水壳菜	138
第 7 章	长距离输送管道中淡水壳菜的控制措施	141
7.1	生产性试验结果分析	141
7.2	实际长距离输送管道中淡水壳菜污染的控制技术方案	147
第 8 章	控制淡水壳菜危害的生产性试验	150
8.1	原水余氯和高锰酸钾衰减规律	150
8.2	淡水壳菜控制措施的技术分析	154
8.3	淡水壳菜控制措施的经济分析	155
8.4	输水管道内附着淡水壳菜综合控制措施	156
8.5	本章小结	157
参考文献		159
名词索引		179

第 1 章 疏水工程的生物污损

随着经济的飞速发展和人口压力的剧增,当前世界水资源问题已达到空前严峻的地步。我国水资源分布不均,局部地区水体污染严重,导致部分地区资源型缺水、工程型缺水 and 水质型缺水并存。为使日常生活、工业发展及城市建设正常进行,各种取水输水工程也应运而生。为缓解水资源分布不均和城镇、农村生活、工业、农业及景观用水压力,建设长距离、跨流域输水工程成为水资源优化配置的重要选择。为了减少水资源调运过程中的流失和污染,管道、箱涵、隧洞、泵站等输水通道及结构在输水工程中广泛使用。然而,这些输水工程,尤其是跨流域调水工程,在调解水资源时空分布不均的同时,还可能引起不同流域间物种随水流输入到其他流域,导致物种入侵,给原生生态系统带来广泛、剧烈持续的生态压力。而且,原本在自然水体的平衡的生态系统中和谐生活的物种也随水流侵入到输水通道中生活,甚至引起“生物污损”问题。

1.1 生物污损的概念

“生物污损”是指大量附着型生物入侵到输水构筑物及相关生产设备中附着,密度高达 $10\,000 \sim 100\,000$ 个/ m^2 ,对结构表面产生污损,腐蚀结构,甚至堵塞管道,影响工程的正常运行。

污损生物过去也称周丛生物、固着生物或附着生物,是指附着在船底、浮标和一切人工设施上的动物、植物和微生物的总称。污损生物是包括以固着生物为主体的复杂群落,其种类繁多,包括细菌、附着硅藻和许多大型的藻类以及自原生动物至脊椎动物的多种门类。

1.2 典型污损生物的附着机理

生物污损可分为两类:一类是由贻贝、藤壶和水螅虫等大型生物引起的管道系统和排水渠的阻塞;另一类是由细菌和真菌等微生物生长形成的生物膜^[1]。两类生物污损相互联系,生物膜是大型生物附着的基础^[2],两者都可导致热传导和输送效率降低,给企业运行带来不良影响。

生物污损过程大致分为4个阶段:第一个阶段是蛋白质、多糖等可溶性有机碳在材料表面吸附形成条件膜;第二个阶段是细菌等原核微生物的附着和生物膜的形成;第三个阶段是真菌、藻类

等生物的附着；最后是大型污损生物藤壶、牡蛎、贻贝等的附着。诸多研究结果表明，生物污损发展的前一阶段对后续阶段生物的附着有重要影响：条件膜的形成不仅改变材料表面的物理化学性质，也影响后期细菌、微藻等的附着^[3-5]；生物膜在材料表面的形成情况及性质决定了后续大型生物的附着情况^[6-9]。若前期生物膜演替过程被阻止，则后续大型生物，特别是硬壳生物的附着将被阻止，因此对材料表面初期微生物污损进行防控不仅能够避免生物膜带来的危害，而且能够防止大型污损生物的附着。

1.2.1 细菌

生物膜是细菌生长过程中为适应生存环境而在固体表面上生长的一种与浮游状态相对应的存在形式。生物膜广泛分布于水环境中，它的形成经历了3个阶段：首先是细菌通过疏水性作用、静电作用等在材料表面形成初始附着；随后细菌通过其表面的蛋白样成分与材料表面的受体形成特异性的吸附；最后细菌与细菌之间相互聚集，形成生物膜。生物膜中97%以上的含量是水，除了水和细菌外，生物膜中还包括胞外多聚物、吸附的营养物质及细菌裂解产物等，因此生物膜中存在各种主要的生物大分子，如蛋白质、多糖、DNA、RNA、肽聚糖、磷脂等物质^[10]。细菌浓度、菌龄、表面鞭毛、菌毛等附加结构、环境温度、流体力学、营养物种类与浓度、材料表面的物理化学性质等都影响细菌生物膜的形成。

1.2.2 微藻

海洋微藻具有种类多、数量大的特点，其中底栖硅藻是一种

典型的污损微藻。硅藻的附着过程包括到达表面后的随机着陆、初始附着、滑行及永久附着 4 个步骤。

1.2.3 大型污损生物

大型污损生物主要包括藤壶、贻贝和巨型海藻等,它们在附着过程中具有相似性,都是以浮游阶段的孢子或幼虫形式附着在材料表面,然后发育成熟为产生严重危害的污损生物。藤壶是常见的甲壳类动物,也是主要的污损生物。藤壶在整个生命周期中经历了营浮游生活的无节幼虫期和腺介幼虫期及固着生活时期。藤壶在腺介虫幼虫期寻找合适的基底材料附着、变态,在这一过程中向体外分泌胶质。藤壶分泌的初生胶是透明的、无黏性流体,在 6 h 内通过键合作用逐渐聚合成不透明的“橡胶块”。在形成稳定的化学键前,胶质借助于表面细微结构,吸收或排水以利于对基材的成功黏结与材料表面形成联膜。胶质与基材的实际黏结有时间依赖性,随着时间的增长,黏结力有一个渐近增长过程。^[11] 贻贝也是沿岸和近海中较普遍的一种生物,在分类地位上属于软体动物门,瓣鳃纲。贻贝的足丝腺能分泌足丝使其附着在材料表面。足丝由胶原腺和辅助腺分泌的蛋白质类物质组成。蛋白质主要为多酚蛋白质。富含赖氨酸的多酚蛋白质与黏液腺分泌的富含硫酸盐的黏多糖能在基材表面置换水。试验表明,贻贝的实际黏结聚合物是多酚蛋白。足丝的产生受温度、盐度、流速和贻贝的年龄等因素的影响。大型污损生物在材料表面的附着受材料表面微观结构、光照情况、流体动力学和基底材料性质影响,同时也受材料表面生物膜的影响。一些种类海洋细菌可以促进大型生物的附

着,另外一些菌种则对相同的海洋生物附着有抑制作用。生物膜的这种作用在藤壶、多毛环虫、贻贝、扇贝、苔藓虫、海星、海鞘、鲍鱼、海参、孔石莼中都有发现。生物膜对大型污损生物的附着可解释为生物膜中的微生物产生了对大型海洋生物附着不利的代谢产物。

1.3 生物污损现状

1.3.1 海洋生物污损

海洋污损生物又称海洋附着生物,是生长在海洋水下设施表面和船底的动物、植物和微生物的总称,生物污损是人类开始从事海洋开发就遇到的生物危害。Horne^[12]曾说:“自古以来,海洋生物的污损比起腐蚀来是个更为麻烦的问题,污损生物生命力之坚韧,将使污损问题成为人类征服海洋的一个难以逾越的障碍。”

以海水替代淡水作为工业用水,是解决沿海城市和地区淡水资源贫乏的重要途径,然而贻贝、藤壶等生物的幼虫会在海水管道系统内壁上附着生长,^[13]引发生物污损危害,可引起舰船表面粗糙度增加、自重增大、航行阻力增大、航速减慢、燃料消耗增多,造成舰船进坞维修频率增多,严重影响舰船在航率和使用寿命,污损生物还会阻塞海水管道、干扰声呐信号、造成材料结构损坏,严重影响舰船战斗力的发挥。其中危害较大的种类主要是硬性污损生物,即营固着生活、具有石灰质外壳或骨架的种类,包括双壳类软

体动物、无柄蔓足类和苔藓虫。^[14,15] 目前全球已知的大型污损生物共有 4 000 多种,我国海域的污损生物有 600 多种,其中主要包括海藻、藤壶、苔藓虫、海绵、水螅等。大部分附着在船舶的水下部位、水线区、螺旋桨和海水管系等污损生物主要是来自邻近海域和当地的底栖或浮游种类,本底挂板调查是研究其群落演替变化规律的有效途径^[16]。

海水管道系统内大型污损生物主要为双壳类,其次为无柄蔓足类、管栖多毛类和水螅;苔藓虫仅出现在有光线的部位^[17]。栖息附着在海水管道内壁的污损生物主要为滤食性的双壳类,其中紫贻贝多在北半球温带海域产生严重危害^[18],而在热带海区则以翡翠贻贝为优势种;另外,还会有牡蛎和偏顶蛤等种类出现。无柄蔓足类主要为钟巨藤壶、致密藤壶、象牙藤壶、尖吻藤壶、缺刻藤壶等种类;管栖多毛类通常是龙介虫^[19],华美盘管虫仅在某些海域作为常见的污损生物出现^[20]。腔肠动物主要是筒螅、藪枝螅及长钟螅,具体种类与所处地理位置有关。尽管苔藓虫种类繁多,分布广泛,但在海水管道系统中仅在进水口和滤水池等有光照的部位可见其附着。控制海水流速及采用热处理、电解和投加化学药剂等方法均能有效阻止污损生物的附着,但耗电量大,营运成本高,设备改造困难,并存在环境污染的潜在风险。热带海洋环境中生物种类繁多,生存竞争激烈,任何大型动、植物都是污损生物的潜在附着对象。然而,许多生物凭借自身独特的自我保护机制保持体表洁净。

开发海洋石油所建造的石油平台在下海后很快就会附着上大量的海洋生物,生物的附着、生长增加了导管架平台桩腿的体积

和粗糙度,加大其外荷载,特别是风暴期间可能使平台发生倾斜或倒塌,造成重大损失。另外,生物的附着增加了平台的自重并提高了平台的重心,当地震、海啸时危险性更大。为使海上石油平台的设计更加合理、安全,需要掌握平台设置海域附着生物的种类组成、群落的生态特点、优势种、附着量、附着厚度和样品比重等有关生物参数^[21]。

海水中的附着生物也会对贝类养殖造成不良影响^[22]。浅海筏式吊笼或吊绳养殖是目前被广泛采用的贝类集约化养殖方式。近年来,随着养殖品种和养殖器材的增多,浮漂、浮梗、吊绳、网笼等筏式养殖器材给附着生物的蔓延提供了良好的附着基质和生活条件,滤食性附着生物的栖身之地也随之增加,这些滤食性生物,如海鞘、贻贝等,除了与养殖贝类争夺附着基和饵料外,还会堵塞养殖网具的网孔,影响网笼内外的水体交换,妨碍养殖对象的生长发育,降低水产品的品质^[23]。国内外许多学者曾报道,附着生物对贝类养殖的危害是造成贝体生长不良和死亡的重要原因之一^[24,25]。附着生物的大量附着会造成网孔堵塞,水流不畅,养殖网具的阻力增加,重量加大,使得网笼在自然海区中受到水流的冲击增大,造成漂移和磨损,大大影响网笼的使用寿命,再加上附着生物本身生命活动对网线的侵蚀作用及人们在清理附着生物操作过程中对网具的物理损伤,也会缩短网笼的使用寿命^[26]。养殖在网笼里的贝类主要是靠摄取水交换带来的食物,而养殖器材上的附着生物会堵塞养殖笼目,致使笼内外水交换量减少,在网笼内部就形成了一个相对封闭的环境,使外界饵料供应受阻。此外,养殖贝类的新陈代谢产物不能及时排出笼外,导致养殖笼内

小环境恶化,促使有害病原菌的滋生,从而导致疾病的爆发^[27]。同时,笼内养殖种类排出的大量代谢废物和有机碎屑为笼外的附着生物提供了丰富的食物,养殖网笼本身也构成了一个有利于附着生物生长的小生态环境。在贝类的筏式养殖生产中,目前还没有经济高效的防附着方法。

随着保护海洋环境、维护海洋生态平衡的呼声高涨,研究环境友好型防污方法是未来海洋防污的主导方向,生物生态防污方法必将成为新的防污方法的突破口。

1.3.2 输水工程生物污损

国内外输水工程中生物污损的问题比较普遍,例如北美地区由入侵性底栖动物斑马纹贻贝引起了严重的生物污损,我国南方地区生长的贻贝科物种淡水壳菜也造成了输水管道中的生物污损,如武钢冷却水管道被层层附着的淡水壳菜堵塞,从东江向香港供水的粤港供水工程以及向深圳供水的东江水源工程都遭受到淡水壳菜入侵的困扰,如图 1.1 所示是输水工程中附着的淡水壳菜,根据采样分析,输水管涵内水生生物主要为淡水壳菜(俗称沼蛤,别名“死不了”或“死不丢”)、河蚬、囊螺 3 种,其中最普遍并大量附着在管壁上生长的为淡水壳菜,隧洞、箱涵底部等附着的为少量的河蚬、囊螺等。由于淡水壳菜是特有的淡水种贝类,在南方温暖湿润的环境中,繁殖速度和数量惊人,同时它的群栖特性和分泌物对混凝土输水管涵有一定的侵蚀危害及淤积影响。

我国水资源贫乏,且在时间与空间的分布上又极不均匀,西北、华北、东北的“三北”地区水资源尤其短缺。改革开放以来,由

于我国经济迅速发展,人民生活水平有了较大的提高,城市的工业用水与生活用水量也随之增加,另外经济建设发展的同时,又忽略了环境的保护与治理,造成了水资源的污染,因此我国的“三北”地区和东南沿海的一些省市有的因为本地区的水资源不足,有的因为本地区的水源已被污染,不能作为城市供水的水源,因此不得不跨流域、跨地区进行长距离引水。这些供水管线大多受到了淡水壳菜入侵及生物污损的危害,例如东江水源工程、龙茜供水工程、东湖水厂、梅林水厂、粤港供水管线等的管道、箱涵、隧洞等结构壁面上都被大量淡水壳菜附着,形成严重的生物污损^[28-31]。近年来,南美的许多输水工程中又陆续报道了淡水壳菜在输水管道壁面及接缝、闸阀等重要结构上附着,甚至引起安全事故^[32]。

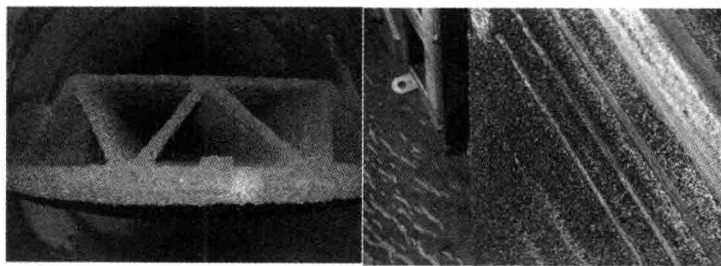


图 1.1 滤网及闸门壁面上附着的淡水壳菜

叶宝民等^[33]基于深圳市东江水源工程,利用工程停水检修期,对工程全线中淡水壳菜的附着情况进行了调查,基于调查结果,探究了淡水壳菜入侵输水管道的特征和规律。2010年10~11月停水检修期间,自东江泵站取水口的引水隧洞至末端的铁岗水库沿线选择代表性附着断面进行观测,淡水壳菜附着密度变化大的地段加密,密度变化小的地段则放稀,总体上能反映控制线路中淡水壳菜的密度及分布情况。在每个观测点均进行淡水壳菜聚团取

样,根据取样点处淡水壳菜附着疏密程度确定各样方采样面积,并做好记录。在采样的同时,测量样方处淡水壳菜附着造成的管壁的腐蚀坑深度。同时测量各断面与取水口之间的距离,调查断面处工作压力及平均流速。采样完成后,将各样方内的全部样本带回实验室计数,统计各个断面处淡水壳菜的附着密度。分析了影响淡水壳菜附着因素,淡水壳菜入侵输水管道的特征和规律,以及淡水壳菜造成的生物污损对管壁的腐蚀程度。

淡水壳菜对水利工程输水通道的入侵,造成工程结构上发生严重的生物污损问题,给工程带来巨大危害。在输水管道、箱涵、隧洞,水电厂冷却管道,原水处理厂生物膜,水泵、闸门等人工系统中,水流条件适宜,食物丰富,又缺乏淡水壳菜的天敌,因此,淡水壳菜极易层层叠叠高密度附着,附着厚度可达数十厘米,引起如下各种问题:

(1)输水管道中的淡水壳菜生物污损会导致管道断面面积减小,甚至堵塞。

(2)淡水壳菜在管壁的附着造成管壁糙率增加,输水效率降低,对工程供水造成影响。

(3)淡水壳菜在混凝土结构面的管道或结构上的附着还会引起壁面腐蚀,造成混凝土保护层的脱落,对混凝土结构强度、耐久性产生危害。

(4)淡水壳菜的呼吸作用会消耗水中的溶解氧,导致溶解氧降低,其呼吸代谢过程会排泄氨氮等化学物质,容易引起水质污染,同时,淡水壳菜死亡后的腐烂变质会产生刺激性气味,其他腐生物也会恶化供水水质。