

袁雅姝, 张丽伟, 马兴冠, 等. 北方水库水源净水厂剑水蚤应急处置对策[J]. 净水技术, 2022, 41(8):41-46,139.

YUAN Y S, ZHANG L W, MA X G, et al. Solution of emergency measures of *Cyclops* in north reservoir raw water for WTP[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(8):41-46,139.



扫我试试?

北方水库水源净水厂剑水蚤应急处置对策

袁雅姝¹, 张丽伟¹, 马兴冠¹, 王 薇², 王 东³

(1. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院, 辽宁沈阳 110168; 2. 沈阳水务集团有限公司, 辽宁沈阳 110168; 3. 海城市水务集团有限公司, 辽宁鞍山 114200)

摘 要 为了解决北方寒冷地区春夏交替及秋季时节水库水源剑水蚤大量孳生问题,对北方某水厂进行运行调试,提出一系列改进措施。研究确定准确合适的预氧化剂投加量,保障滤后水的余氯质量浓度为 0.05 mg/L;缩短沉淀周期;增加物理拦截措施,在水厂进水口的稳压井处、沉淀池出水集水槽处加装 100 目或 180 目滤袋;根据剑水蚤孵化周期调整过滤时间 ≤ 24 h,调整滤料粒径级配(<0.5 mm)。结果表明,次氯酸钠投加量为 1.0~2.0 mg/L,及时清理反应池、沉淀池,能有效防止剑水蚤富集;调整水厂的运行后,降低水蚤穿透滤层的风险。通过一系列调试措施,水蚤孳生问题得到有效控制,保证供水水质安全。

关键词 剑水蚤 调试 预氧化 沉淀周期 物理拦截 过滤 水厂

中图分类号: TU991 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2022)08-0041-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.08.006

Solution of Emergency Measures of *Cyclops* in North Reservoir Raw Water for WTP

YUAN Yashu¹, ZHANG Liwei¹, MA Xingguan¹, WANG Wei², WANG Dong³

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China;

2. Shenyang Water Group Co., Ltd., Shenyang 110168, China;

3. Haicheng Water Group Co., Ltd., Anshan 114200, China)

Abstract In order to solve the problem of large numbers of *Cyclops* in the reservoir water source during the spring and summer in the northern cold region and autumn, the commissioning of the operation of a northern water treatment plant (WTP) was carried out. And a series of improvement measures were proposed. In this study, the accurate and appropriate pre-oxidant dosage was determined to ensure that the residual chlorine of the filtered water was 0.05 mg/L, the sedimentation period was shortened, and physical interception measures were added. Install 100-mesh or 180-mesh filter bags at the pressure-stabilizing well at the water inlet of WTP and at the effluent collection tank of the sedimentation tank. Adjust the filter time ≤ 24 h according to the egg life cycle of *Cyclops*, and adjust the particle size gradation of the filter material (<0.5 mm). Results showed that adding sodium hypochlorite 1.0~2.0 mg/L, and cleaning the reaction tank and sedimentation tank in time could effectively prevent the concentration of *Cyclops*. After adjusting the operation of WTP, the risk of *Cyclops* penetrating the filter layer was reduced. Through a series of debugging measures, the breeding problem of *Cyclops* has been effectively controlled and the safety of water supply is guaranteed.

Keywords *Cyclops* commissioning pre-oxidation sedimentation period physical interception filtration water treatment plant (WTP)

[收稿日期] 2021-07-16

[基金项目] 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07601001)

[作者简介] 袁雅姝(1964—),女,硕士,正高级实验师,主要从事生活饮用水水质安全保障理论技术、水污染控制与理论技术、微生物技术在水处理工程中的研究与应用等研究,E-mail:yuanyashu2007@163.com。

剑水蚤是水源中常见的甲壳类浮游动物代表,体长约为 0.3~3 mm,躯体横断面直径一般小于 2 mm,头部有 1 个眼点、2 对触角,腹部 5 对胸足,头部较宽腹部较窄,躯体末端有一对尾爪。它们是一类分布地域广泛多样、具有杂食性、能适应多种生存环境的甲壳型桡足类浮游动物^[1],属于节肢类浮游动物门,是甲壳纲中相对较为低级的种类,也是各种鱼类的天然饵料。它们以藻类及更低级微生物为食,也可吞食鱼卵、鱼苗等,春季为其繁殖的高峰期,产卵量大,幼虫的孵化期为 1~5 d^[2-4]。

剑水蚤的出现不但会造成人感官的不适,而且是疾病传播的一个重要媒介。由于蚤卵与轮虫卵具有相似的结构,表面也有大量气孔,能吸附水中一些物质,这使雌性剑水蚤的卵囊成为细菌的重要载体,雌性剑水蚤能够比雄性剑水蚤携带更多数量的细菌^[5],人们的健康将很有可能受到很大的间接危害和严重威胁,可能会导致一些疾病的发生。水中致病微生物中间的寄主之一便是水蚤类,如线虫、血吸虫等^[6-7],它们体内可能还有大量的细菌、致病菌和其他可致病菌等^[8]。已有资料表明,裂头蚴病与剑水蚤有直接的关系^[9]。

剑水蚤通常存在于富营养化的湖泊、水库等水资源水中产卵繁育,可以通过休眠方式度过干旱、冰冻等多种不良环境。常规的水处理工艺对剑水蚤具有某些局限性,它不间断地跳跃难以沉淀,而排泥不及时也会导致沉淀下来水蚤的大量孳生。它还具有强抗氧化性的甲壳和游动性,一些体积较小的水蚤和一些卵囊可穿透滤池进入清水池中^[10],也导致其很难在消毒过程被灭活^[11],最终可能会直接进入用户供水管网,并且出现在用户的水龙头中。近年来,在许多城市水源,特别是水库、湖泊类水源水中发现

以剑水蚤为代表的水蚤类浮游动物,一些城市水厂的清水池乃至管网中都发现过剑水蚤。1998 年,哈尔滨一家县级自来水公司的用户在水中发现了某种动物的活体,经过检测后确定为剑水蚤,它们的数量有时可以高达 3~4 个/L。2004 年 11 月 3 日,在吉林省舒兰市一位居民的家中,管网末端的自来水里出现许多游动的剑水蚤,这件事引起了全国的关注并由央视进行报道^[4]。

传统工艺水厂现有技术措施难以应对原水中突发的微生物改变,应急措施和方法尚不够完善,运行管理缺乏数据支撑。由此可见,净水工程中对剑水蚤危险的管理研究在城市饮用水处理领域仍是一个重要的研究课题。近年来我国北方以水库水为水源的多个水厂的供水系统中,水蚤在春夏交替及秋季时节大量出现,水处理工艺难度和制水成本都有一定程度的增加,对用户用水安全带来了威胁和隐患。如何确保供水的水质安全以及控制和去除剑水蚤类浮游生物已是水处理技术中亟待解决问题。

1 材料与方法

1.1 水厂基本情况

甲、乙两个水厂位于辽宁两个不同地区,两个水厂原水分别取自不同水库。甲水厂原水取自大伙房水库,途经 250 余 km 输水管线至水厂,乙水厂供水水源来自当地红升水库,输水距离为 2~3 km。甲、乙两个水厂均采用常规给水处理工艺,主要生产工艺流程为混凝-沉淀-过滤-消毒,如图 1 所示。甲水厂设计供水能力为 10 万 m³/d,现水厂运行产水量为 5.5 万 m³/d;乙水厂设计供水能力为 2 万 m³/d,目前在用水高峰期供水能力已达上限,满负荷运转。

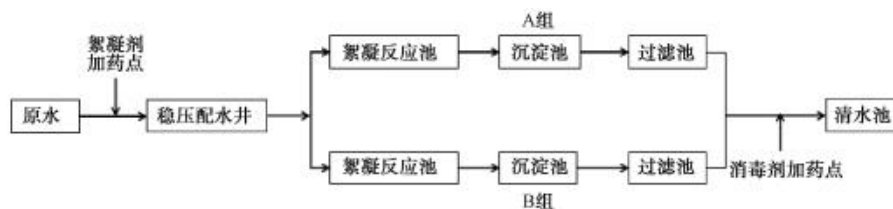


图 1 厂区内工艺流程图

Fig. 1 Flow Chart of Treatment Process of WTP

1.2 原水水质特征

大伙房水库和红升水库均为典型的北方水库,

特点是冬春季低温低浊,夏季水库水中总氮超标,细菌、以蓝绿藻为代表的藻类等微生物及浮游植物季

节性大量繁殖,水中季节性出现剑水蚤等浮游动物。汛期由于水质变化较大,浑浊度升高、有机物含量增加,水体受污染程度加重。在线检测数据显示,最低浑浊度为 3.0~4.0 NTU,最低温度为 3.0~5.0 ℃, pH 值为 7~8。

1.3 现场调研存在的问题

在对水厂现场调研时,甲水厂原水中存在肉眼可见一定数量跳动性、活跃性很强的剑水蚤。乙水厂水库原水总磷(以 P 计)质量浓度为 0.71 mg/L,滤后水总磷(以 P 计)质量浓度为 0.26 mg/L,超出地表水(Ⅱ类)10 倍,说明属于富营养化状态。在水处理工艺中滤池前端、沉淀池出水中,水厂工作人员发现水样中肉眼可见大量跳跃、

活动性较强的白色剑水蚤,数量较多为沉淀池堰前水面,每年 6 月和 9 月数量最多。现场原水取样,肉眼可见游动跳跃性和活性很强的水蚤;沉淀池出水滤网拦截的水样,在烧杯中观察,很难见到跳跃性、活动性较强的水蚤。本试验采集了水厂原水进水取样口与滤前水水样。

实验室对采集的水样进行了显微镜观察。观察结果:原水中存在一定数量跳动性、活跃性很强的剑水蚤;滤前水中发现较原水数量多的剑水蚤,但大部分已经不具有活动性、已经死亡或肢解,个别剑水蚤具有缓慢游动跳跃性。观察到甲水厂和乙水厂的剑水蚤有一定的区别。显微镜下观察到的剑水蚤如图 2~图 4 所示。



图 2 原水中观察到活体剑水蚤

Fig. 2 Living *Cyclops* Observed in Raw Water



图 3 滤池表面水中发现的蚤卵

Fig. 3 *Cyclops* Eggs Found in Water on the Surface of the Filter

1.4 调试方案

针对水厂剑水蚤大量存在的问题,提出以下几点改善措施:①增加预氧化过程,充分发挥工艺过程的协同作用,投加计量安全的预氧化剂,与水厂絮凝沉淀、过滤等净水工艺相结合,根据不同水厂消毒方式的不同,按实际情况择优处理,通过烧杯小试和中试试验确定,对二氧化氯和次氯酸钠两种预氧化试剂进行对比,确定适合的药剂及合适准确的投加量;②反应池、沉淀池及时清理,缩短清洗周期,减少剑

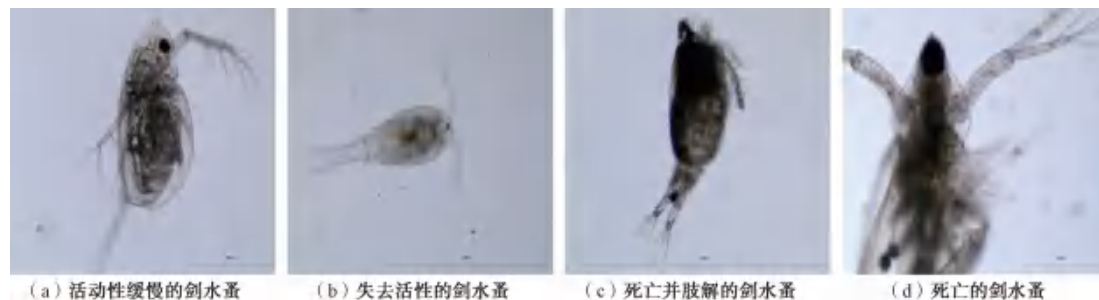


图 4 滤前水观察到的剑水蚤

Fig. 4 *Cyclops* Observed in Pre-Filtered Water

水蚤的繁殖、富集;③调整水厂运行,适当增加混凝剂投加量和调整滤池工艺参数,控制滤池中的藻类孳生;④在合适的工艺节点继续采取物理拦截措施,加装滤袋,及时清洗和更换,保证滤前有效拦截;⑤进一步加强质量监督管理力度,增加与企业生产现场实际密切相关的质量监督检测工作项目;⑥对水源地进行生态治理,保护水资源生态平衡和食物链的完整性。

1.5 检测项目及方法

具体检测项目及方法如表 1 所示。

表 1 检测项目及方法
Tab. 1 Testing Items and Methods

检测项目	检测方法	仪器型号
剑水蚤形态观察	仪器测定	奥林巴斯荧光生物显微镜
预氧化剂投加量	烧杯试验	/
浑浊度	仪器测定	哈希浑浊度仪(1720E)
温度、pH	仪器测定	pH 计(pHBJ-260 型)
氨氮	纳氏试剂分光光度法	紫外可见分光光度计(UV1810)
COD _{Mn}	快速消解法	美国 HACH(DR1010)
溶解氧	仪器测定	溶氧仪(HQ30d)
UV ₂₅₄	仪器测定	紫外可见分光光度计(UV1810)

2 结果与讨论

2.1 剑水蚤产生原因分析及氧化试验

大伙房水库和红升水库均为典型的北方水库,冬春季低温低浊,夏季水库水中总氮超标,细菌、以蓝绿藻为代表的藻类等微生物及浮游植物季节性大量繁殖,水中季节性出现剑水蚤等浮游动物。汛期洪水水质变化较大,浑浊度增加、水中有机物含量高,水体受污染程度加重。在线检测数据显示,最低浑浊度为 3.0~4.0 NTU。大伙房水库属多水源混合联动,具有夏季水量丰沛、冬季水位低、会发生枯水、春秋过渡的季节特点。混合水源水质的季节性变化以及渔业的过度捕捞已经影响了水体的生态平衡,因水体富营养化,浮游动物获得了充足的饵料,生存压力降低,使其得到了迅猛的孳生、繁殖^[12]。北方地区原水多来自地下水 and 水库水。由于春天温度适宜、库容较小、稀释功能相对较差、滤食性鱼类的过度捕获等,水中剑水蚤大量生长并且为其繁殖

高峰期。常规的水处理技术对于体型较小的水蚤及其蚤卵去除效果不佳,导致水蚤在沉淀池和滤池上层二次繁殖^[13]。同时滤池反冲洗水周期过长及冲洗不彻底,会导致剑水蚤富集于滤池,一些体型较小个体及其卵囊有可能穿透滤层进入到管网水尤其是一些管网末梢。由于其很强的抗氧化生物特性,传统的消毒方法(如氯消毒)不能有效地灭活^[5],有再次出现或增殖的可能,对供水安全性造成极大的威胁。如果采用铸铁、钢等金属铁制管材作为输配水管网管材,在输配水长期使用过程中,严重腐蚀、沉积的管材管壁为细菌等微生物提供了附着以及躲避消毒剂作用的栖身之所,并从水中汲取营养,加剧微生物的生长繁殖。供水管网在余氯不足条件下,也会出现原生动物等微生物,为水蚤的繁殖提供良好的条件,对供水的安全性埋下安全隐患。

预氧化药剂采用次氯酸钠和二氧化氯,加药点设在混合池前端。对次氯酸钠和二氧化氯灭活剑水蚤进行烧杯小试和现场中试试验研究。试验结果表明,当药剂浓度高、投加量足够大时,两种药剂都在短时间内获得很好的灭活效果;当投加药量浓度降低时,次氯酸钠灭活作用时间优于二氧化氯,但时间过长,灭活时间达到 5 h 以上,不能满足实际运行要求。所以在原水中出现水蚤的春夏之际,无论使用哪一种预氧化剂,投加药剂时,均要保证在滤池前端将水蚤有效灭活。影响水蚤灭活效果的主要因素是药剂投加浓度,投加浓度越高,灭活时间就越短。严格按照试验结果的药剂浓度及投加剂量,这一点至关重要,需确定合适准确的预氧化药剂投加量,指导运行操作,保证供水安全。根据烧杯试验,预投加次氯酸钠(1.0~2.0 mg/L)、二氧化氯(0.5~2.0 mg/L)(图 5),对剑水蚤的灭活均可起到较好的作用,但二氧化氯的成本相对较高。

剑水蚤的游动性导致其活体在水处理中去除难度较大。国内外普遍采取的除蚤措施是利用化学氧化法降低剑水蚤的活性,杀灭剑水蚤类浮游动物,将其灭活。与水厂絮凝沉淀、过滤等净水工艺相结合,增加预氧化过程,充分发挥工艺过程的协同作用。次氯酸钠普遍取代其他氯消毒措施,所以建议未使用次氯酸钠的水厂,预氧化剂可以选用安全可靠、易于实现、存放管理方便的次氯酸钠,可以将次氯酸钠的最大投加量控制在 2.5 mg/L,保证滤后水余氯为 0.05 mg/L,以控制剑水蚤类浮游动物的孳生。增大

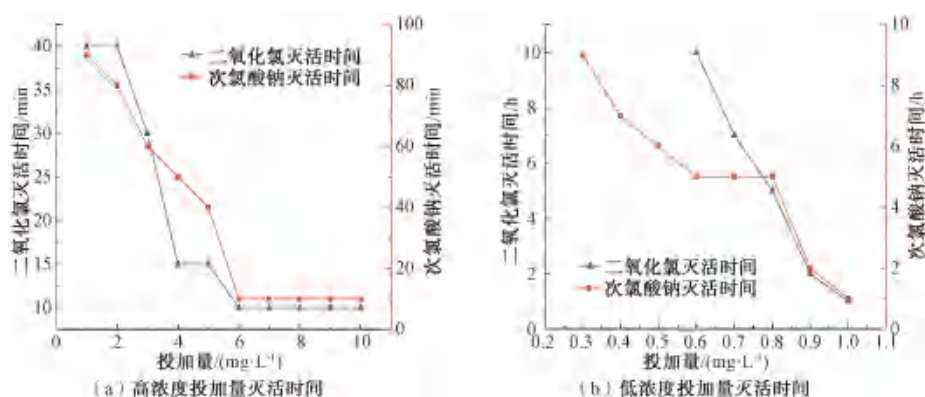


图5 二氧化氯和次氯酸钠对剑水蚤的灭活作用

Fig. 5 Inactivation of *Cyclops* by Sodium Hypochlorite and Chlorine Dioxide

次氯酸的投加量会增加消毒副产物,混凝工艺可以去除消毒副产物,次氯酸投加位置可设置在水厂内输水管检查井处,即投加混凝剂的操作井处,此处有预留加药管阀门,可操作性强。Sun 等^[14]研究了采用氯胺消毒对剑水蚤进行去除时对 DBPs 影响,表明氯胺消毒能更好地控制 DBPs,建议可采用小试试试验测试消毒能力。通过预氧化手段灭活水蚤是提高沉淀池去除效率的最有效手段,灭活水蚤同时可以缓解水蚤在各个处理构筑物中的孳生。

2.2 水厂运行的调整

根据现在生产运行实际情况,因水厂实际处理水量为设计水量的一半,混凝强度不足,速度梯度达不到要求,絮凝效果难以保证,故关闭一套工艺系统,单独运行一套系统,保证水力运行条件。此外,适当改变滤池的工艺参数,适当缩短滤池工作周期。根据现在生产运行实际情况减少滤池处理水量,降低穿透滤层的剑水蚤;调整反冲洗强度,增加反冲洗时间,滤池的良好冲洗效果能够避免滤后水出现剑水蚤泄露。水厂现在运行过滤工艺周期为 72 h,剑水蚤蚤卵经过 0.5~5 d 即可孵化为幼虫,为防止蚤卵孳生,调整滤池过滤时间 ≤ 24 h。缩短运行周期,同时延长每次冲洗时间,保证蚤卵及幼蚤及时被冲洗掉。从沉淀池出水滤网拦截的剑水蚤来看,沉淀池不能有效去除水蚤尸体及部分水蚤活体。可采用提高絮凝剂使用量的方式解决水蚤泄露的问题,矾花附着于水蚤体,沉降时会携带漂浮性微型动物的尸体进行沉降,尤其是对经过预处理而被杀死的水蚤有效。

一般情况下,当滤料级配不当时,卵囊和较小的

剑水蚤都有可能穿透滤料层,所以降低滤料的粒径(<0.5 mm),通过滤料的调整,降低滤料间的空隙,产生表面过滤效果,降低水蚤穿透滤层的风险。

2.3 其他有效措施

2.3.1 对滤池的清理

由水厂以往沉淀池清洗出的底泥可知,底泥呈墨绿色,说明底泥中含有大量微生物,尤其是藻类,为剑水蚤提供食物来源;又因春季水温适宜,产卵量大,水厂实际运行中底泥清洗周期过长,每年清洗次数有限,最长可达半年之久,为剑水蚤及蚤卵的生存和大量繁殖提供了良好的生存环境条件,而且剑水蚤可能会大量繁殖并游到上部的清水区。

及时清洗反应池和沉淀池可以有效地去除池中底泥所裹挟的大量水生生物,减少它们在池中的扩散和增殖。为使得后续工艺的负荷降低,避免剑水蚤长期地在积泥土壤区富集,排泥的周期一定要尽量地缩短,必要时每月至少可以进行 1~2 次清洗。

2.3.2 增加物理拦截措施

沉淀池出水处加装滤袋,确保剑水蚤在滤池前得到有效拦截。在水厂进水口的稳压井处、沉淀池出水集水槽处加装 100 目或 180 目的滤袋,保证每天清洗更换滤袋 1~2 次,水蚤数量多时可 4~6 h 更换,确保在处理工艺前及滤池前有效拦截,同时可以减少预氧剂的使用剂量,保证灭蚤效果。

2.3.3 加强检测力度并增加与实际生产相关的检测项目

对原水中的水生生物的监控和管理力度一定要有所加强,对工段用水特别是过滤池中的反冲水进

行生物的监控也很重要。水质状态情况一定要准时、精确地掌握,及时发现剑水蚤产生,工艺操作参数也要及时调整。

2.3.4 对水源进行生态治理,保护生态平衡和食物链的完整

人为等原因打破了水蚤原有的自然生态平衡,造成了水蚤过量繁殖。利用“生物操纵”技术^[15-16],在水库水体中投放一定数量以浮游生物为食的鱼类并配合以其他植食性的鱼类,实现捕食压力、生存空间、营养物质等诸多方面影响因素的综合管理,将生态平衡尽可能地恢复。该技术符合可持续发展的理念,是长期解决这一问题的根本方法。不仅解决了饮水安全问题,而且还具备了生态环境等诸多优点。

3 调试运行效果

经过运行调试,剑水蚤孳生问题得到了有效控制。在预氧化过程中,次氯酸钠的最大投加量控制在 2.5 mg/L,剑水蚤被有效灭活,难以观察到活体剑水蚤;在絮凝过程中,絮凝剂的用量相应增加,一些剑水蚤的尸体随着矾花沉降,降低了后续沉淀池的出水拦截阻力。过滤时间缩短为 24 h,反冲洗时间相应延长,对滤池每个月进行了两次清洗,避免了剑水蚤二次繁殖。

通过一系列措施,剑水蚤暴发问题得到有效解决,在后续剑水蚤少量存在的情况下,水厂采用增加滤袋的方式去除,两重滤袋过滤,一层 100 目和一层 180 目滤袋,并且及时更换和清洗,去除效果良好(表 2)。

表 2 两水厂处理前后水质对比
Tab. 2 Comparison of Water Quality before and after Treatment in Two WTPs

水质指标	甲水厂		乙水厂	
	甲水厂	乙水厂	甲水厂	乙水厂
氨氮/(mg·L ⁻¹)	0.15~0.31	0.12~0.16	<0.02	0.08
COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	2.82~3.51	3.94~5.17	2.13~2.39	1.91~2.46
浑浊度/NTU	4.0~5.0	3.4~3.6	0.51	0.89
温度/℃	2~4	8~11	5~6	8~11
pH 值	7.94	7.12	7.53	7.01
	剑水蚤密度/(个·L ⁻¹)	20~40	25~50	0
溶解氧/(mg·L ⁻¹)	8.42	8.98	9.26	10.11
细菌总数/(CFU·mL ⁻¹)	1.26×10 ⁶	2.41×10 ⁵	0	2
总大肠菌群数/[MPN·(100 mL) ⁻¹]	40	16	未检出	未检出

4 结论

(1)剑水蚤出现是具有季节性的,特别是春夏交替之际,对人体有着很大的潜在危害,是疾病传播的媒介,在供饮用的水源与给水技术的过程中必须全方位综合预防和控制剑水蚤,防治它的孳生,以保证供水安全。

(2)经过运行调试,剑水蚤问题得到有效控制,水厂要根据建议坚持调试运行,防止剑水蚤再次出现。

(3)要尽可能地恢复水源原有的生态平衡,对水源地进行生态治理,提供良好的水体生物链关系,使其富营养化的程度得到减轻,保护水源原有的生

态平衡及食物链健康完整性,保护环境及水资源管理部门都应该引起足够重视。

参考文献

- [1] 张英. 自来水生产中剑水蚤的发生原因及处理对策[J]. 城镇供水, 2015(5): 23-25.
- [2] 胡阳. KMnO₄ 预氧化对剑水蚤 DBPsFP 去除效果研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
- [3] 车璐. 氯胺消毒铜绿微囊藻与剑水蚤共存消毒副产物规律研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015.
- [4] 杨红海. 北方水库水季节性浮游生物抑制方法与实践[J]. 辽宁化工, 2021, 50(5): 658-659.

(下转第 139 页)



图 15 内衬层树脂材料固化情况

Fig. 15 Curing Resin Material of Inner Liner

温度为 60℃,在蒸汽、空压机设备运行不正常等特殊情况下,三通出口温控阀门可关闭蒸汽进管通道,进而实现辅助快速固化及冬季施工系统设备的稳定性。

5 结论与展望

本研究针对压力管道更新、修复的特点,基于树脂常温固化技术基础,在常温固化树脂类型的选择和常温固化树脂在低温条件下的固化工艺方面开展试验、分析,确定了环氧树脂类材料更适合常温固化压力管道非开挖内衬修复应用,并给出了配比设计;设计研究了常温固化管道内衬修复技术主要设备及实施方案;确定了蒸汽辅助加热方案二作为常温固化树脂在寒冷地区冬季(-20~-15℃)应用的工艺方法。但本文的研究未能实现两个加热方案内衬层应力、应变的具体测定,计划后期进一步采用光纤、光栅应力、应变装置测试方法,以蒸汽辅助加热方案

二为基础,精确测定不同温度条件下、不同区域内衬层树脂材料固化过程中的受力变化情况,实现进一步优化加热系统。总体上,本研究为常温固化非开挖内衬修复技术在单次长距离管道修复领域大范围应用创造了条件,为该技术在低温作业条件下施工提供了理论基础和实践参考。

参考文献

- [1] 易安民声[J]. 劳动保护, 2014(8): 53-53.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇给水管道非开挖修复更新工程技术规程: CJJ/T 244—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [3] 钱吉洪, 陈威任, 王喆. 非开挖 CIPP 常温固化翻转内衬修复技术在供水管道的应用[J]. 城镇供水, 2021(4): 48-51.
- [4] 李恒, 王德海, 钱夏庆. 环氧树脂固化动力学的研究及应用[J]. 玻璃钢/复合材料, 2013(4): 44-51.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 树脂浇注体性能试验方法: GB/T 2567—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 塑料 拉伸性能的测定 第 2 部分: 模塑和挤塑塑料的试验条件: GB/T 1040.2—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 塑料 弯曲性能的测定: GB/T 9341—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 色漆和清漆 拉开法附着力试验: GB/T 5210—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [9] 林涛, 曹钰, 陈卫. 饮用水处理中剑水蚤携带细菌的研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(4): 128-132.
- [10] 蔡博, 谢美萍, 颜勇, 等. 饮用水中剑水蚤体表携带细菌机制研究[J]. 水资源保护, 2015, 31(2): 40-44.
- [11] KHORRAMABADI S S, BOROUSHAKI M, LUCAS C. Emotional learning based intelligent controller for a PWR nuclear reactor core during load following operation [J]. Annals of Nuclear Energy, 2008, 35(11): 2051-2058.
- [12] 丁立君. 净水工艺中猛水蚤风险控制技术研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.
- [13] 杨龙翔. 地表水源剑水蚤去除技术与工艺改造[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2020.
- [14] 施爱华, 李润芳, 苑晨, 等. 常规水处理工艺预氧化去除剑水蚤试验研究[J]. 供水技术, 2018, 12(5): 34-36.
- [15] 于蕾. 水厂原水经长距离管道输送的水质应急措施[J]. 城镇供水, 2020(2): 46-50.
- [16] 郭文东. 混凝预氧化/过滤处理高浊高氨水的试验研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2019.
- [17] 周宇轩. 组合工艺处理高氨水源试验与改造方案设计[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2019.
- [18] SUN X B, SUN L, LU Y, et al. Influencing factors of disinfection byproducts formation during chloramination of *Cyclops* metabolite solutions [J]. Journal of Environmental Sciences, 2014, 26(3): 575-580.
- [19] 朱明. 生物操控技术在景观水体生态修复中的应用[J]. 科技创新导报, 2011(15): 125-125.
- [20] 卫臻, 卫晓露, 朱明, 等. 生物操控技术在城市静态受污染水体生态修复中的应用[J]. 水资源保护, 2009, 25(6): 45-47.

(上接第 46 页)