

供水管网水质监测点综合优化布置研究

马力辉¹ 信昆仑² 刘遂庆²

(1 北京市建设工程发包承包交易中心,北京 100083; 2 同济大学环境科学与工程学院,上海 200092)

摘要 监测供水管网的水质状况,提高供水水质的安全性是一个复杂而又亟待解决的课题。在基于污染预警监测的优化监测点布置中,加入节点水龄数据集约束,将两个目标综合优化,实现了常规监测意义下的污染灾害预警监控。通过小规模管网实际验证,证明了该方法的合理性和有效性。

关键词 供水管网 水质监测 监测点布置 优化布置

0 引言

监测供水管网的水质状况,提高供水水质的安全性是一个复杂而又亟待解决的课题。各国研究人员基于不同的概念和目的对供水管网水质监测系统进行了研究,如基于常规监测、预警监测(Early Warning Monitoring Systems, EWMS)、污染预警(Contaminant Warning System, CWS)等概念建立水质监测网。

根据供水管网水质监测的不同目的,可以将现有的监测方式归纳为常规监测和预警监测两类。供水管网水质常规监测是指在供水范围内对所选代表性点进行定期水质采样检测和其他常规日常管理下的水质实时监测。预警监测则是应付突发事件而设置的监测设备,尤其是低概率、高影响的污染事件。以往研究大多集中在单方面,即要么注重常规监测,要么注重预警监测,而没有综合兼顾两者,从而未发挥监测设备的最大功效。

本文将综合污染灾害预警和常规代表性水质监测两个目标进行水质监测点优化布置。利用该方法建立的水质监测网能够更加有效地利用水质监测设备,增强监控管网水质的能力,同时为管网优化控制决策提供更有代表性、更加准确的数据支持。

1 综合优化布置模型

1.1 解决方案

在同时考虑灾害预警与常规监测的水质监测点优化布置时,首要考虑的问题是两者的组合形式。水质污染事件是灾害性的,对居民或社会造成非常严重的影响,所以水质监测点的灾害预警是首要的,

而常规监测是第二位的,这样就应该以灾害预警为主,常规监测为辅。另外,供水管网常规监测是对代表性点进行定期监测,获得管网整体和局部区域的水质运行情况。这些点的选取,越具代表性越好,应用最多的就是分层抽样技术确定水质监测点。所以,常规监测应当在供水管网水质监测点综合优化布置模型中,以约束条件的形式出现。通常水龄可以作为常规水质监测的一个替代指标,可以将供水管网各节点水龄以约束条件的形式综合到基于灾害预警的水质监测点优化布置中。为此,笔者设计了供水管网水质监测点优化布置的基本框架如图1所示。

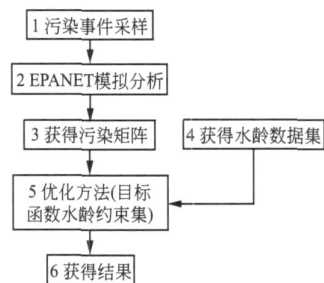


图1 综合水质监测点优化布置流程

1.2 目标函数

通常污染预警事件可以通过污染检出时间、污染水量、检出率三个指标进行基本的描述。作为供水管网的管理者总是希望以最高检出率水平、最快的时间、最小的污染水量实现水质污染的预警预报,所以监测点优化的目标函数可以设定为最小期望检出时间(Z_1)、最小期望污染水量(Z_2)和最大检出率(Z_3)。具体描述如下:

$$\min Z_1 = E(t_d) \quad (1)$$

$$\min Z_2 = E(V_d) \quad (2)$$

$$\max Z_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (3)$$

式中 $E()$ ——数学期望;

t_d ——所有监测点中的最早监测到污染的时间;

V_d ——所有被污染的节点水量之和;

d_i ——是否监测到污染发生的指示数,即当污染事件监测到时 $d_i = 1$,否则 $d_i = 0$;

N ——所有污染事件的采样数。

1.3 约束条件

水龄加入监测点优化布置的优化函数中,可以根据管理人员的实际需要,选出有代表性的点,在实现水质预警的同时,履行常规监测的任务,实现水质监测点功能的最大化。具体做法为:通过对供水管网进行水质模拟计算,获得供水管网各节点水龄直方图,然后根据水质监测点数,对所有节点划分相应水龄段的数据约束集,将这些约束集作为约束条件。

除了水龄节点数据集约束外,水质监测点还应该有其他约束,如用地、建筑物结构、水质监测点成本、通讯及电力成本、运行维护成本等^[1]。如果获得这些监测点的约束数据,将会大大简化图 1 中第 5 部分优化的工作量,从而提高模型的合理性和运算的速度。本文无法获得这些数据,所以这些约束暂不予考虑。

2 求解方法

本算法采用 MATLAB 编程,在 lenovo/Cerelon1.4G/500M 的计算机上实现。图 1 中第 2 步的水质模拟和第 4 步的水龄数据集调用 EPANET 程序库中的 EPANET2.dll 动态链接库来完成。EPANET 在优化之前获得的所需数据都存储于计算机内存,这种方法节省计算时间,但需消耗大量内存^[2]。

图 1 中第 5 步优化算法选用综合性能优良的改进型非劣遗传算法(Nondominated Sorting Genetic Algorithm, NSGA — II)实现。

3 实例研究

3.1 管网简介及参数选择

3.1.1 管网简介

该管网是 2006 年在美国 Cincinnati 召开的“供水管网系统分析”年会中,供水管网水质监测点优化布置专题采用的管网^[3]。供水管网布置如图 2 所示,基本数据资料如表 1 所示。

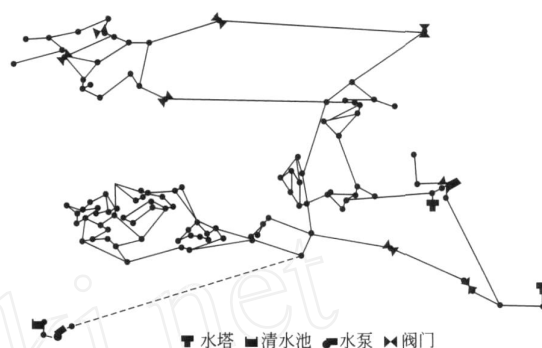


图 2 小规模试验管网布置

表 1 实例管网基本数据

项目	数量	项目	数量
节点	126	管道	168
水池	1	水泵	2
水塔	2	阀门	8

3.1.2 污染事件的设定

模拟供水管网水质污染事件是一项非常艰巨的任务,污染事件联合概率变量包括位置、开始时间、强度、历时等。事故污染可能源于各类压力损失,如供水管网漏损点高压漏损、低压污染等现象及停电、爆管等事故造成的污染^[4,5]。所以研究工作进行之前,必须进行各类假设。

污染物质:恒定物质(大部分研究采用^[5,6]);污染类型:单源污染;污染时刻:1~24 小时整点时刻(共 126 × 24 个污染情况);污染流量:125 L/h;污染物浓度:230 000 mg/L;投加历时:5 h;延时长度:96 h;水力时间步长:1 h;水质时间步长:5 min;污染浓度门限值:0.3 mg/L;监测设备假设:一旦发现污染物,即认为发现污染;企业的反应和应急能力:不同延时水平只是表现在最后的优化结果数值上,对优化结果没有实质的影响,本文设为立即采取操作,即延时为 0。

3.1.3 优化算法参数

NSGA — II 的参数经过相应的优化比较,发现种群数不能小于 50,代数不能小于 200 代,尤其是对于随后研究的监测点数目较多的情况时,更不能

表2 算法主要参数选择

参数	参数值	参数	参数值
种群数	50	变异概率	$1/N^*$
代数	200	交配池个体数目	25
交叉概率	0.9	锦标赛选择数目	2

注: * N 为变量个数。

少于该值。算法主要参数的选择见表2。

3.2 综合水质监测点布置比较

笔者^[7]针对该实例进行了不同监测点数据、污染历时、单双源污染比较研究,由于篇幅限制,这里不再详述。

通过水质计算获得各节点的水龄,水龄分布的直方图如图3所示。节点水龄 ≤ 18 h 和 ≥ 65 h 的节点,将不设为备选节点。主要原因如下:

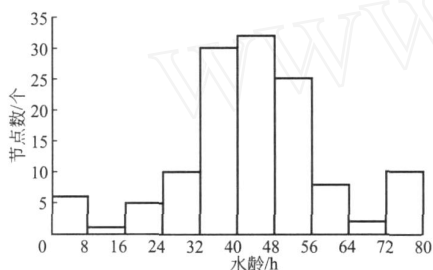


图3 水龄分布示意

(1) 出厂水有给水厂的处理为保障,而且出厂水节点一般都设有水质监测点;

(2) 管网末端节点在 EPANET 软件中是做过处理的,由此产生的水质数据是不可靠的,这些节点必须排除在备选方案集外。而且设置昂贵在线监测设备的利用率不高,除非用水量大、非常重要、整体销售给其他大用户的情况,再考虑设置。

如考虑设置5个监测节点,那么将 $18 \text{ h} < \text{水龄} < 65 \text{ h}$ 的分成5段:

第一时间段水龄集为(JUNCTION-):{30,31,46,54,55,106,117,118};

第二时间段水龄集为:{21,22,23,24,25,32,33,43,44,45,48,49,50,53,56,58,59,68,95};

第三时间段水龄集为:{6,8,9,17,18,20,26,27,28,29,35,37,47,51,52,57,60,61,62,67,69,70,89,90,91,92,93,94,96,97,98,103,113,114};

第四时间段水龄集为:{4,5,12,19,39,40,63,64,65,66,72,73,74,77,79,80,81,82,84,85,86,

87,88,99,100,101,115,116,124};

第五时间段水龄集为:{0,2,3,14,15,41,42,71,75,76,78,83,102,109,110,119,120,127};

在以上第四、第五水龄集中有三个(带框节点),节点 JUNCTION-11 属于水龄大于 65 个小时数据集,节点 JUNCTION-121 节点水龄剧烈变化,主要由于水塔 TANK-131 进水和出水对管网水力条件影响。在 JUNCTION-121 设置是合理的,水流方向会在一天中有变化,所以水力冲刷对水质影响大,监测很有必要。其他节点主要设置在下流节点,尤其是 JUNCTION-83 设置在管网末梢。

表3列出了有无水龄约束的情况下,供水管网水质监测点优化布置比较结果,图4显示了有无水龄约束的对比情况,除两点 JUNCTION-100 和 121 布置相同外,其他都略微进行了调整。通过比较我们发现,有水龄约束的情况较无水龄约束的情况下,指标 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 质量都有所下降。

表3 有无水龄约束的监测点优化布置比较

项目	检测点(JUNCTION-)					Z_1	Z_2	Z_3
无水龄约束	11	83	100	116	121	24.59	25.17	88.10
有水龄约束	17	45	81	110	121	29.84	45.99	79.37

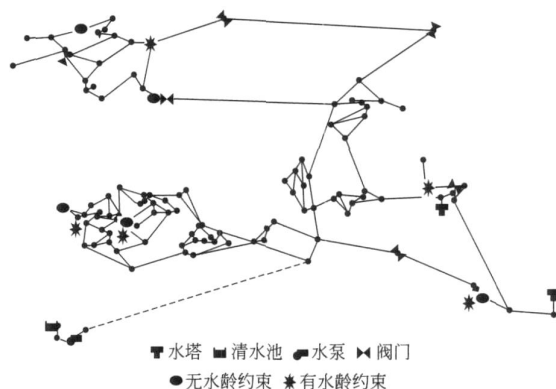


图4 有无水龄约束的优化监测点对比

通过实例研究发现,本算法有如下优点:

(1) 避免了在管网末端节点等不适宜节点设置监测点;

(2) 提高了水质监测点在各水龄特征上分配的均匀性,更加全面反映整个供水管网的水质特征;

(3) 在不显著降低污染预警能力的前提下,提高了水质监测设备的利用率。

·科技信息综述·

输水管道中淡水壳菜的防治研究

徐梦珍 王兆印 段学花

(清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084)

摘要 淡水壳菜(*Limnoperna fortunei*)是贻贝科软体动物,能够在淡水环境大量生长,其在输水管道内大量繁殖附着,增大输水阻力,腐蚀管壁,影响水质,干扰自然生态系统,造成生态灾害。总结了国内外对淡水壳菜的研究,介绍了其生活习性 & 国内外采用的防治方法。结合淡水壳菜的生活习性,从预防、杀灭、清除多个方面,分析比较了各方法的适用性及优缺点。针对输水管线提出以防为主,防治结合的系统方案,为输水系统中淡水壳菜的防治提供了控制思路。

关键词 淡水壳菜 输水管道 生理特性 防治方法

淡水壳菜属双壳纲异柱目贻贝科,学名沼蛤,拉丁名:*Limnoperna lacustris* 或 *Limnoperna fortunei*, 英文名:the golden mussel。国内外关于淡水壳菜在供水管道壁面大量附着,严重影响人类活动的报道频频出现^[1]。淡水壳菜的大量生长,减小了管道的过流面积,增大管道糙率,甚至堵塞管道,降低国家自然科学基金项目(50779027);国家“十一五”科技支撑重大项目课题(2006BAB04A08);水利部科研专项(2007SHZ0901034)。

输水效率,同时淡水壳菜呼吸消耗水中的溶解氧,代谢过程中排泄氨氮和营养盐,引起水质恶化,而且附着在壁面的贝壳腐烂后会腐蚀管壁^[2~4],常常导致生产系统停止运行,需要依赖物理化学方法清除,甚至需要更换生产设备。

国外一些学者将淡水壳菜作为自然水体的入侵物种进行研究,并提出了一定的治理措施^[1,5],但治理费用高,治理过程中可能产生不可预见的影响。淡水壳菜一旦侵入,几乎无法彻底根除^[6],因此预防

4 结语

监测供水管网的水质状况,提高供水水质的安全性是一项重要研究课题,是管网水质优化控制中非常重要的环节,是决策支持的依据。以往的研究都是将小概率的灾害预警和与常规监测分开考虑的,这样就大大降低水质监测点的利用效率。本文在基于污染事件的优化监测点布置中,加入节点水龄数据集约束,将这两个目标综合起来,实现了常规监测意义下的污染灾害预警监控。通过小规模管网的实际验证,证明了该方法的合理性和有效性。

参考文献

- 1 Berry J W, Hart W E, Phillips C A, et al. Water Quality Sensor Placement in Water Networks with Budget Constraints, Proceedings of the 2005 World Water and Environmental Resources Congress. Location, ASCE, 2005
- 2 Guan J, Aral M M, Maslia M L, et al. Optimization Model and Algorithms for Design of Water Sensor Placement in Water

Distribution Systems, Proceedings of the 8th Annual International Symposium on Water Distribution Systems Analysis, August 27~30, Cincinnati, Ohio, USA, 2006

- 3 Session D-3: Battle of the water sensor networks, proceedings of the 8th annual international symposium on water distribution systems analysis, Cincinnati, Ohio, USA, 2006
- 4 Propato M. Contamination warning in water networks: General mixed-integer linear models for sensor location design. Water Resources Planning and Management, 2006, 132(4): 225~233
- 5 Propato M, Piller O, Uber J G A sensor location model to detect contaminations in water distribution networks. Proceeding of World Water and Environmental Resources Congress, Anchorage, Alaska, USA, 2005
- 6 Khanal N, Buchberger S G, McKenna S A. Distribution system contamination events: exposure, influence, and sensitivity. Water Resources Planning and Management, 2006, 132(4): 283~292
- 7 马力辉. 供水管网余氯优化控制决策支持系统研究:[学位论文]. 上海:同济大学, 2007

✉ 收稿日期:2008-05-20