

含氯胺水输配过程中 管材对水质的影响研究

INFLUENCE OF PIPE MATERIALS ON WATER QUALITY
DURING CHLORAMINATION DISINFECTION
OF DISTRIBUTION DRINKING WATER

■ 付 军 著



中国环境出版社

本书得到国家自然科学基金项目“典型新型污染物 BPA 在含氯胺水管网输配过程中的迁移、转化及反应机理研究”(项目号: 51508582) 资助

含氯胺水输配过程中管材对水质的影响研究

Influence of pipe materials on water quality during
chloramination disinfection of distribution drinking water

付 军 著



中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

含氯胺水输配过程中管材对水质的影响研究/付军
著. —北京: 中国环境出版社, 2016.5

ISBN 978-7-5111-2742-6

I. ①含… II. ①付… III. ①给水管道—影响—
水质—研究 IV. ①TU991.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 054916 号

出 版 人 王新程
责任编辑 张维平
封面设计 岳 帅

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67113412 (图书编辑部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2016 年 8 月第 1 版
印 次 2016 年 8 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 8.75
字 数 200 千字
定 价 35.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

摘 要

调查与研究表明,饮用水在管网系统中的输配过程对用户末端水质有重要影响。如何尽可能避免和控制饮用水输配过程中的“二次污染”,对保障用户端的饮用水安全具有重要意义。

本研究以上海杨树浦水厂出厂水以及北京市第九水厂出厂水为研究对象,针对消毒对输配水水质的影响,研究了不同输配管网中的水质变化规律、不同管材对水质的影响以及不同水质参数对输配过程水质变化的影响。结果表明,饮用水在输配过程中水质会发生明显变化,主要表现为消毒剂在管网输配过程中的衰减、金属离子的溶出、浊度的升高、消毒副产物的变化等。金属管材对水质的影响主要表现为金属的溶出及溶出金属沉淀析出而造成的浊度升高。采用 SEM(扫描电子显微镜)、EDX(能量弥散 X 射线谱)、XRD(X 射线衍射)等分析手段表征了金属管材内壁的腐蚀情况。pH、初始消毒剂浓度等水质条件对输配水水质有较大影响,提高出厂水 pH 能有效控制金属管材金属腐蚀、溶出和释放,是提高输配水化学稳定性的重要手段。消毒剂投量过大,其衰减速率加快,而且促进管材的腐蚀与金属溶出,不利于保障水质稳定与安全。优化出厂水消毒工艺的消毒剂种类和投量,在维持管网足够的消毒剂浓度的前提下尽可能降低消毒剂投量,是保证饮用水水质稳定的重要手段。

在模拟水质在不同管材系统中水质变化及对实际管网调研的基础上,重点针对金属管材(铜管、镀锌管)中金属离子铜、锌的溶出,深入探究了金属离子对消毒剂氯胺的稳定性及消毒副产物生成过程的影响。发现铜离子对氯胺有明显的催化降解作用,而锌离子对氯胺的衰减则没有任何影响。催化效果随着 pH 的降低而升高(pH 5.0~8.5),随着铜离子、氯胺初始浓度的增加而升高。UV 扫描显示,降低 pH 和加入铜离子对氯胺形态转化具有相同作用,进行固相萃取和 XPS 表征证实了催化过程中存在 Cu(I),并利用 ESR 表征进一步分析了反应过程中的羟基自由基和氨基自由基,提出了铜离子催化氯胺衰减的机理:①铜离子与氯胺的络合作用所产生的直接催化;②铜离子导致氯胺溶液中产生自由基所引发的间接催化。直接催化类似于质子酸催化氯胺分解的过程,铜离子的络合作用

促进了氯胺的形态转化,二氯胺形成后再与一氯胺很快发生氧化还原反应生成产物 N_2 , Cl^- , NH_3 和 H^+ 等。间接催化过程中产生的羟基、氨基自由基对氯胺的衰减也有一定的贡献,但自由基反应产生的催化作用要明显低于铜离子络合产生的直接催化作用。对比研究了不同 pH 条件下腐殖酸氯化化和氯胺化过程中铜离子对 THM 生成的催化作用,结果显示铜离子对消毒副产物 THM 的生成具有明显的催化作用,催化效果均随 pH 升高而降低,同时氯胺化过程的催化效果更明显。碳酸盐存在下的实验证明了铜离子投加导致氯胺分解产生羟基自由基是催化作用的原因之一。通过模型有机化合物的研究,提出铜离子催化作用的机理主要是因为促进了腐殖酸中柠檬酸类结构生成 THM 的反应过程。

Abstract

Former investigation indicated that the transportation showed great influence on the quality of tap water. It is important to avoid and control the “secondary pollution” to assure the safe drinking water with high quality.

This study holds on the key point of disinfection to investigate the trends of quality variation during transportation, the impact of different pipeage on water quality, and the influence of water parameter on water quality during transportation. The treated water from Yangshupu Water Works is employed as raw water in this study. Results of this study show that water quality shows obvious difference during transportation, which mainly includes as the decay of disinfectants in pipeage, the increase of metal concentration and turbidity, therefore showing obvious influence on the safety on drinking water. The decay of disinfectants, the release of metals and the formation of chlorinated disinfection by-products are the main parameters for disinfectants as chlorine and chloramines. Metal pipeage exhibits to increase metal concentration and subsequent turbidity, which is due to the coprecipitation of metal ions. There shows no obvious pollutants release for organic pipeage. Such parameters as pH and initial disinfectants concentration show great impact on transported water. The elevation of pH would steadily control the metal corruption and release, and is important means to increase chemical stability for drinking water. The decay of disinfectant accelerates at higher disinfectants dosage and facilitates pipeage corrosion and metals release. It is critical to optimize the kinds and dosage of disinfectants, and reduce the dosage of disinfectants as possible to assure the stabilization of drinking water.

Experimental results showed that monochloramine decomposition can be catalyzed by Cu (II) in simulated and real drinking waters. The catalytic effectiveness was obviously affected by Cu (II) concentration. The decomposition of monochloramine was more enhanced when the initial Cu (II) concentration increased during 0~1.0 mg/L. The pH also played an important role in the decomposition of monochloramine. The catalysis became more significant when the pH decreased from 8.0 to 6.1. It was also observed that monochloramine

was less stable than chlorine when Cu (II) was present in moderately acidic solutions. The mechanism of monochloramine decomposition catalyzed by Cu (II) in aqueous solution was investigated. Ultraviolet (UV) spectral results showed that either Cu (II) addition or pH decrease would significantly promote the transformation of monochloramine to dichloramine. A copper intermediate, Cu (I), was extracted from the NH_2Cl -Cu (II) solution by solid-phase extraction and identified by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). Electron spin resonance (ESR) results showed that hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) and amidogen radical ($\cdot\text{NH}_2$) were generated in the reaction between monochloramine and Cu (II). These radical intermediates also contributed to monochloramine decomposition. Based on the experimental results, the reaction mechanism for Cu (II) - catalyzed monochloramine decomposition was proposed which consisted of two pathways: ① direct catalysis in which Cu (II) acts as a Lewis acid to accelerate monochloramine decomposition to dichloramine (major pathway); and ② indirect catalysis in which the active radical intermediates ($\cdot\text{OH}$ and $\cdot\text{NH}_2$) react with monochloramine and lead to its decomposition (minor pathway).

The catalytic effect of Cu (II) on trihalomethane (THM) formation during chlorination and monochloramination of humic acid (HA) containing water was comparatively investigated under various pH conditions. Results indicate that in the presence of Cu (II), the formation of THMs was significantly promoted as pH decreased in both chlorination and monochloramination. More THMs were formed during Cu(II)-catalyzed monochloramination which was partially due to enhanced hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) generation as demonstrated by electron spin resonance (ESR) analysis. To discriminate the reactive moieties of HA, nine model compounds, which approximately represented the chemical structure of HA, were individually oxidized by chlorine or monochloramine. Results show that Cu (II) could promote THM formation through reacting with citric acid and similar structures in HA. During chlorination and monochloramination of citric acid in the absence of Cu (II), major intermediates including chlorocarboxylic acid, chloroacetone and chloroacetic anhydride were identified. However, the catalysis of Cu (II) did not produce any new intermediate. The complexation of Cu (II) with model compounds was characterized via FTIR analysis. The reaction mechanism for Cu (II) -catalyzed THM formation was proposed to comprise two pathways: ① indirect catalysis in which $\cdot\text{OH}$ oxidizes the large molecules of HA into small ones to enhance THM formation; and ② direct catalysis in which Cu(II) complexes with HA to accelerate the decarboxylation steps for THM formation.

目 录

引 言	1
第 1 章 文献综述	4
1.1 概述	4
1.2 输配过程水质污染控制技术研究的进展	5
1.2.1 饮用水水质标准及其发展	5
1.2.2 管网水质化学稳定性及评价方法	5
1.2.3 输水管材及其发展	7
1.2.4 管网生物稳定性及评价方法	16
1.2.5 管网水质模型	18
1.3 氯胺消毒及其稳定性研究的进展	19
1.3.1 氯胺消毒条件及效果	20
1.3.2 管网中氯、氯胺分解的影响因素	20
1.3.3 管网消毒副产物的研究	25
第 2 章 实验材料、方法及评价系统	28
2.1 北京市输水干管使用调研	28
2.2 实验装置	29
2.2.1 户线管网实验模型	29
2.2.2 干管输配模拟系统	30
2.3 实验水样	30
2.4 分析仪器与方法	31
2.5 试验模拟管材的卫生安全性评价	32
本章小结	32

第3章 含氯胺水输送过程中五种户线管材对水质的影响	33
3.1 出厂水水质特征	33
3.2 不同管材对输配水质的影响	34
3.2.1 不同季节各管道中氯胺的衰减规律	35
3.2.2 不同初始氯胺投加量对管道水质变化的影响	36
3.2.3 氯、氯胺消毒使铜管中铜溶出的情况	42
3.2.4 不同 pH 条件下管中的水质变化	43
3.3 不同管材管道中消毒副产物生成量对比	51
3.3.1 三氯甲烷 (THMs) 生成对比	51
3.3.2 氯乙酸 (HAAs) 生成对比	52
3.4 各管路中水质生物稳定性变化	53
3.4.1 细菌总数的变化	53
3.4.2 HPC (异养菌) 的变化	54
3.4.3 AOC 的变化	57
3.5 管路中的温度、pH、溶解氧等理化指标	59
3.6 户线管材腐蚀表征	60
3.6.1 管壁腐蚀宏观形貌	60
3.6.2 腐蚀层结构及产物元素分析	61
本章小结	63
第4章 含氯胺水输送过程三种干线管材对水质的影响	64
4.1 新干管中水质变化规律	64
4.1.1 不同氯胺投加量下管中氯胺衰减动力学	64
4.1.2 管路中 pH 的变化	65
4.1.3 不同氯胺投加量下金属离子溶出动力学	66
4.1.4 管壁生物膜表征	68
4.2 旧管 (管龄约 15 年) 水质变化规律	69
4.2.1 不同氯胺投加量下旧管路中氯胺衰减动力学	70
4.2.2 不同氯胺投加量下旧管路中金属离子溶出动力学	71
4.2.3 不同 pH 条件下旧管路中氯胺衰减动力学	72
4.2.4 不同 pH 条件下旧管路系统铁溶出动力学	73
4.2.5 旧管道系统中铁溶出物形态	74
4.2.6 管内壁腐蚀结垢物表征 (SEM、EDX、XRD)	75

本章小结	77
第 5 章 溶出金属离子对氯胺的分解作用	79
5.1 实验材料及方法	79
5.2 实验结果及讨论	80
5.2.1 铜离子对实际水中氯胺衰减的影响	80
5.2.2 铜离子及氯胺初始浓度对氯胺衰减速率的影响	81
5.2.3 初始 pH 对催化效果的影响	82
5.2.4 铜离子存在条件下氯/氯胺的衰减对比	84
5.2.5 铜/锌离子对氯胺衰减作用的对比	84
5.2.6 催化机理的分析	85
本章小结	92
第 6 章 溶出金属离子对氯/氯胺消毒副产物的影响	93
6.1 材料与方法	93
6.1.1 药品和玻璃器皿	93
6.1.2 消毒副产物的测定	94
6.1.3 氯化 and 氯胺化过程	94
6.2 实验结果与讨论	94
6.2.1 金属离子 (铜、锌) 对生成氯代消毒副产物的影响	94
6.2.2 腐殖酸 (HA) 的氯化 and 氯胺化反应过程	95
6.2.3 模型有机物的氯/氯胺化反应过程	99
6.2.4 模型化合物与铜离子络合作用的 FTIR 扫描	104
6.2.5 催化机理的分析	105
本章小结	106
第 7 章 北京市管网水质调查及管网“红水”现象的研究	107
7.1 实际管网水质调查及模拟	107
7.1.1 管网情况及采样点布设	107
7.1.2 干线水质变化及拟合	109
7.2 管网“红水”现象控制的研究	110
7.2.1 “红水”产生的原因	110
7.2.2 产生“红水”管道的内壁腐蚀层的表征	110

7.2.3 氯胺和氯消毒条件下对旧管路铁溶出的对比分析	112
7.2.4 硫酸盐对铁溶出的影响	113
本章小结	114
第 8 章 结论与展望	115
8.1 结论	115
8.2 展望	116
参考文献	117

引 言

1 背景及意义

饮用水输配是城市供水系统中的重要环节,供水管网状况对终端用户水质有直接影响。目前,我国大多数的城市供水企业把提高水质的工作主要用于水厂的净化处理工艺上,往往忽略了供水管网产生的水质污染问题。事实表明,即使水处理的技术和工艺非常先进,出厂的水质比较高,如果在输送过程中发生了二次污染,用户仍然不能得到满意的水质,甚至会对人的生命健康造成威胁。

近年来,对水输送管网可能造成水二次污染的重视日益提高。目前对管网的研究主要集中在对金属管材腐蚀的研究、输水管道中微生物的研究以及消毒剂在管网中的衰减和消毒副产物的生成几个方面。其中管网中消毒剂的衰减和消毒副产物的研究,主要集中在建立模型预测水质变化等。事实上,由于输配水管网结构布局错综复杂,各种附属设备相互交联,管道的材质、管径、使用年限也不尽相同,因而所预测的最终水质指标体现的是一个综合的结论,最终水质变化的引发因素和影响机制无法反映。饮用水从处理厂经长距离的输配、蓄积设施到用户终端,由于用户端所处管网位置的不同,停留时间通常在数小时至数天之间。在这个过程中,水与管道内壁和附属设备内表面接触,会发生许多复杂的物理、化学和生物反应,从而不可避免地导致水质发生不同程度的变化。在这个过程中,各种管材对水质指标的变化产生影响,因而对管材的研究显得尤其重要。同时,管网系统建设中管材选择是一个重要环节,不仅关系到建设成本、资源消耗等方面,而且管材对水质的影响也不容忽视。管壁上滋生的生物膜和管线腐蚀产物会导致水质恶化。因此将高品质饮用净水送到千家万户,管材的类型与质量至关重要。

保持一定浓度水平的二次消毒剂(氯,氯胺)是维持饮用水输送过程中水质稳定的关键要素之一。但活性氯的存在在控制水体中微生物繁殖的同时,也会带来很多负面影响。譬如,不可避免地天然水体中的有机物反应生成有致癌、致畸的消毒副产物;另

外,由于活性氯具有强氧化性对金属管材的腐蚀影响也不容忽视。本书选取了目前饮用水输配中常见的几类户线管材(铜管、PPR管、PE管、不锈钢管和镀锌管),全面地了解了市政饮用水在这五种管中输送时,各管中的主要水质指标的变化情况。在此基础上,以重点水质指标氯胺为对象,考察了五种管中氯胺分解的影响因素,以及氯胺存在条件下,会对金属管材腐蚀产生的影响。在考察了各管中氯胺消耗的影响因素之后,揭示不同管道中消毒副产物的不同生成规律,并结合考察氯胺化水对铜管中铜离子溶出影响,发现铜离子对氯胺分解和消毒副产物生成的影响,阐明了铜离子催化氯胺分解及消毒副产物的生成规律的机理。

2 主要研究内容

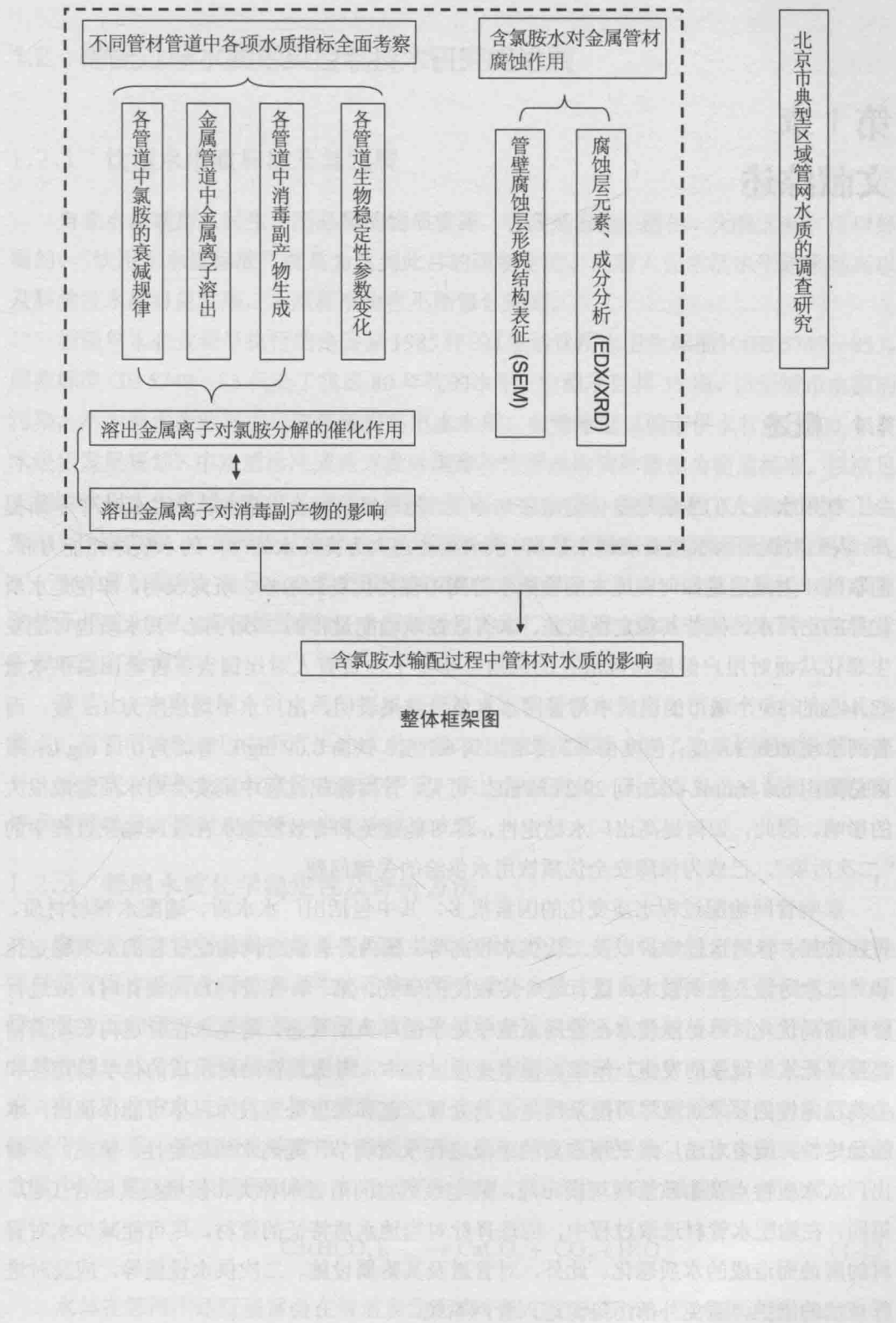
(1) 建立户线和干线管材实验评价系统,并在此基础上研究含氯胺水在不同户线管材(铜管、PPR管、PE管、不锈钢管和镀锌管)和不同干线管材管道输送过程中,管材对水质各项化学和生物指标的影响。

(2) 针对各管中水质差别较大的氯胺消耗情况,分别考察 pH、初始氯胺浓度等因素对各管材中氯胺消耗速率的影响。结合实际管网水质的考察,对实验室模型研究进行验证。

(3) 结合 XPS, XRD, SEM 和 EDX 技术对铜管、镀锌管、铸铁管表面腐蚀成分进行分析;重点研究溶出金属铜离子对氯胺衰减的促进及消毒副产物生成的作用机理。

3 整体框架图

本书以水处理过程中氯胺消毒为研究核心,在全面考察了含氯胺水在五种户线管材和 3 种干线管材管道输送过程中,各项水质指标变化的基础上,重点考察了各管中氯胺衰减的影响因素、生物稳定性参数(AOC、HPC)及消毒副产物的生成情况。并以铜管中消毒副产物的生成情况为代表,结合氯胺化水对铜管腐蚀的影响,研究了金属管道中消毒副产物生成的各项影响因素及作用机理。



第 1 章

文献综述

1.1 概述

饮用水与人们生活与身体健康密切相关。随着经济社会发展与人们生活水平不断提高,人们对饮用水水质要求越来越高。供水企业在大力提高水处理厂的水质净化能力后,面临的一大难题是如何在庞大的输配水管网中保持优良的水质。研究表明,即便是水质优异的出厂水,倘若其稳定性较差、未有效控制输配过程的二次污染,其水质也可能发生恶化从而对用户健康造成潜在的风险。事实上,曾有人对比调查了占全国总供水量 42.44% 的 36 个城市的出厂水与管网水水质,结果表明,出厂水平均浊度为 1.3 度,而管网水增加到 1.6 度;色度由 5.2 度增加到 6.7 度;铁由 0.09 mg/L 增加到 0.11 mg/L;细菌总数由 6.6 cfu/mL 增加到 29.2 cfu/mL。可见,管网输配过程中确实会对水质造成很大的影响。因此,如何提高出厂水稳定性,尽可能避免和有效控制水在管网输配过程中的“二次污染”,已成为保障安全优质饮用水供给的关键问题。

影响管网输配过程水质变化的因素很多,其中包括出厂水水质、输配水管材材质、管网布局、管网运行维护以及二次供水设施等。国内外曾就管网输配过程的水质稳定性和“二次污染”控制技术,进行过一定程度的研究。第一,在管网布局设计时,应进行管网布局优化,尽可能使水在管网系统中处于循环流动状态,避免水在管道内长期滞留甚至“死水”现象的发生。第二,在水处理过程中,考虑到管网对水质的化学稳定性和生物稳定性的要求,应尽可能采用先进的处理工艺和深度处理技术,尽可能保证出厂水的稳定性;或者对出厂水采用必要的手段进行水质调节,提高水质稳定性。第三,针对出厂水水质特点及市政管网规模布局,确定最适宜的消毒剂种类、投量及其组合工艺。第四,在输配水管材选取过程中,应选择针对当地水质特征的管材,尽可能减少水对管材的腐蚀而造成的水质恶化。此外,对管道及其附属设施、二次供水设施等,应及时进行规范的维护,避免外部污染源进入管网系统。

1.2 输配过程水质污染控制技术研究进展

1.2.1 饮用水水质标准及其发展

自来水是城市人民生活所必需的物质资源,它应是安全、清洁、无臭无味、可口好喝的。“饮用水水质标准”就是为达到此目的而制定的。随着人们生活水平越来越高以及科学技术的日益发展,水质标准也在不断修订提高。

城镇供水企业最早执行的是国家 1985 年的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85)。国家标准 GB 5749—85 代表了我国 80 年代的水平,检测项目共 35 项。由于城市水源的污染,不少供水企业努力采取措施提高出水水质,自觉地以《城市供水行业 2000 年技术进步发展规划》中水质标准或西方发达国家的饮用水水质标准作为衡量标准,以满足人们对饮用水水质越来越高的要求。至 2007 年 7 月 1 日,我国新的《生活饮用水卫生标准》开始实施,水质指标从原来的 35 项增加到 106 项,其中 42 项属于强制检测项目。

有关资料显示,我国 660 多个设市城市的 3 000 多家水厂中,能完全执行 106 项检测的不超过 10 家;即使能检测 42 个强制项目的水厂也只有 15%左右;另有约 51%的水厂根本没有检测能力。

事实上,大多数城市供水部门把水处理技术工艺革新和提高出厂水水质作为工作的重点,而管网输配过程中所产生的水质问题未引起足够重视。除了水质检测能力滞后之外,城市供水管网的老化现象也非常严重。供水管网老化,不仅容易造成漏损率增加、停水事故频发,同时也会进一步影响供水水质。

1.2.2 管网水质化学稳定性及评价方法

管网水质二次污染的问题是因素共同作用的结果,其中化学稳定性和生物稳定性是导致管网水质理化污染和微生物污染的两个重要参数。目前,国内外在管网水质化学稳定性方面的研究成果较多。管网水质的化学稳定性是指水在经过处理进入管网后其自身各种组成成分之间继续发生反应的趋势,即水在管道输送过程中既不结垢又不腐蚀管道。在水工业中水质的化学稳定性常被定义为既不溶解又不沉积碳酸钙。水中的 CaCO_3 溶解平衡体系一般是指重碳酸钙、碳酸钙和二氧化碳之间的平衡。如水中游离二氧化碳含量少时,则发生碳酸钙沉淀,如超过平衡量时,则发生二氧化碳腐蚀,反应式如下:



水体在管网中运行通常会在管道表面形成一层 CaCO_3 沉淀,当水体达到 CaCO_3 溶

解平衡时,该层 CaCO_3 沉淀成为一种保护膜有效地阻隔水体与管壁的直接接触及溶解氧向管道表面的扩散,从而减缓管道腐蚀;当水中的 CaCO_3 过饱和时,倾向于持续沉淀析出 CaCO_3 ,这种水体在管道中流动时,会不断产生 CaCO_3 沉淀沉积在管壁上,引起结垢现象,称为结垢性水。当水中 CaCO_3 含量低于饱和值时,则倾向于使已沉淀的 CaCO_3 溶解,这种水在金属管道中流动时则会溶解管道内壁的碳酸钙保护膜,对金属产生腐蚀作用,称为腐蚀性水。因此,达到 CaCO_3 溶解平衡,既无沉淀 CaCO_3 倾向,也无溶解 CaCO_3 倾向的水,才是化学稳定性良好的水。

为了对水质的腐蚀性和结垢性进行研究和控制,必须建立一个评价水质化学稳定性的指标体系,以对水质化学稳定性进行定性或者定量的判别,才能针对不同水体采取相应的化学稳定性控制与调节措施。水质化学稳定性的判别指数分为两大类:一类主要是基于碳酸钙溶解平衡的指数,如 Langelier 饱和指数 I_L , Ryznar 稳定指数 I_R , 碳酸钙沉淀势 CCPP 等;另一类则是基于其他水质参数的指数,如 Larson 比率等。Langelier 饱和指数与 Ryznar 稳定指数较为普遍地应用于水体的腐蚀性倾向性和水质化学稳定性的评价,可以简易、快捷地对目标水体的化学稳定性进行定性判断。两种指数的评价方法见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 Langelier 饱和指数评价体系

I_L	$I_L > 0$	$I_L = 0$	$I_L < 0$
水质化学稳定性	有结垢倾向	基本稳定	有腐蚀的倾向

表 1-2 Ryznar 稳定指数评价体系

I_R	4.0~5.0	5.0~6.0	6.0~7.0	7.0~7.5	7.5~9.0	>9.0
水质化学稳定性	严重结垢	轻度结垢	基本稳定	轻微腐蚀	严重腐蚀	极严重腐蚀

Larson 比值 (L_R)^[1, 2] 是基于对铁的腐蚀速率研究的基础上建立起来的,其表达式为:

$$L_R = \frac{[\text{Cl}^-] + 2[\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \tag{1-2}$$

为了有效控制铁的腐蚀速率,应使 L_R 值小于 0.2~0.3。 Cl^- 和 SO_4^{2-} 能够促进铁的腐蚀, HCO_3^- 能够抑制铁的腐蚀,铁的腐蚀速率与二者的比值呈正相关。另有研究发现 Cl^- 对有些管壁上的钝化保护层有破坏作用,对钢管还有诱发点蚀的现象。Larson 比值的有效性可以从许多化学作用机理上得到支持,也与高硬度、高缓冲能力的水腐蚀性较弱的实验观察相一致。

其他腐蚀指数还有如 Riddick 指数 (R_I)^[3, 4]、改进的 LSI 指数等^[5]。这类指数的