



供水管网中余氯衰减变化的主要影响因素分析

刘 渊¹, 高 鹏²

(1太原理工大学环境科学与工程学院, 山西太原, 030024; 2长治钢铁集团有限公司设计规划院, 山西长治, 046031)

摘 要:对供水管网中影响余氯衰减消耗速率的诸多因素进行归类, 分析了它们对余氯衰减速率的影响, 这对管网的实际运行管理具有指导意义, 也为进一步研究管网余氯衰减规律乃至水质变化规律提供了依据。

关键词:供水管网; 余氯; 水质变化

中图分类号: TU991

文献标识码: A

由于供水管网中复杂的反应, 合格的出厂水在输送到用户时会变得不合格。据统计, 我国管网水的合格率较出厂水下降了 0.88 个百分点, 其中, 以浊度和细菌总数尤为显著。为了保证在管网输送过程中的水质, 我国水厂普遍采用了氯消毒的办法, 在自来水进入管网前一次性投加氯消毒剂, 使得在管网中保持了一定的余氯浓度, 这样可以有效地抑制细菌的再生。但是, 过量的余氯又会产生刺激性的气味, 引起用户的不满, 而且会腐蚀管材、产生诸多消毒副产物, 这些副产物已被证实具有致癌性。余氯浓度可以直接或间接地反映管网中的水质状况。因此, 深入分析研究余氯在管网中的衰减变化规律及其影响因素, 对于研究整个管网水质是十分必要的。

1 管网中余氯消耗机理

余氯是一种强氧化剂, 它在管网中的消耗大致包括 3 个方面: 与管网水相主体的有机物和无机物反应; 与管壁附着的生物膜反应; 与管壁材料发生的腐蚀反应。因此, 管网中的余氯浓度是呈逐渐衰减的趋势, 它的衰减变化是由出厂水水质、水温、pH 值、管材、管径, 以及水在管网中的停留时间等诸多因素共同作用的结果。

2 诸因素对余氯的影响

2.1 水力工况的影响

水力工况主要是指流速, 它影响余氯在管网中的停留时间, 从而影

响余氯的消耗量。研究检测数据发现, 管段水的停留时间越长, 水的流速越慢, 余氯浓度则越低。在管网末梢特别是管网死水区, 水力工况极差, 细菌孳生严重, 水中余氯浓度几乎为零。

2.2 管道属性的影响

管道属性包括管材性质(管材、敷设年代、有无防腐处理)和管径。

2.2.1 管材性质

同样水力工况时, 余氯在钢管中的衰减速率远大于在水泥管和塑料管中的衰减速率, 在未经防腐处理或敷设年代较久远的管段中的衰减速率远大于经过防腐处理或敷设较新的管段中的衰减速率。

2.2.2 管径

管径的影响是双重的。对于同一流量的水, 管径越大, 流速越慢, 从这点上讲, 余氯衰减速率越大; 另一方面, 管径越大, 水相与管壁的比表面积越小, 因而, 衰减速率会越小。对于某一管段, 如果余氯以与水相中物质反应消耗为主, 则管径越大衰减越快; 如果以腐蚀消耗为主, 则管径越大衰减越慢。

2.3 水质的影响

2.3.1 水温的影响

温度影响生物化学反应速度, 进而影响余氯的衰减速度。由于低温水体中细菌和病毒的生长和繁殖较慢, 新陈代谢产物较少, 所以消毒所需氯量也相应较少; 而随着水温的升高, 细菌和病毒的生长繁殖大大加快, 代谢产物增加, 相应消毒所耗氯量也显著增大。温度也影响着氯的消毒效果, 据有关研究表明: 温度升高使次氯酸易于透过细胞壁, 并加快它



们与酶的化学反应速度。在加氯量相同的情况下,水温高则杀菌快,在 0℃~5℃时杀灭一定量大肠杆菌所需时间比在 20℃~25℃时多 3 倍。但水温的影响主要体现在余氯的损耗上,有数据研究表明:当 pH 值为 7.0 时,杀灭 2℃~5℃水中大肠杆菌,需氯量为 0.03mg/L;杀灭 20℃~25℃水中大肠杆菌,需氯量为 0.04mg/L。一般夏季水温较高,余氯消耗大,往往需提高清水池的余氯量,从而增加了投氯量。

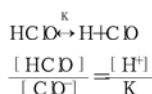
2.3.2 浊度的影响

浊度反映水中存在微粒的情况。微粒越多,浊度越大。同时这些微粒是微生物的载体,所以浊度越大,微粒所携带的细菌和病毒越多,消毒所需氯量越大。浊度还指示了悬浮固体的存在,悬浮固体会在管网中形成沉淀物,这些沉淀物能将细菌和病毒等微生物有效保护起来,使其免受消毒剂的作用,从而将促进微生物生长,使处理后的合格饮用水细菌和病毒再生,破坏水质。管网检测规律显示浊度高,余氯通常低,说明耗氯量高。

2.3.3 pH 值的影响

pH 值不仅影响水中余氯的存在形式,影响水中物质的反应活性,还影响着管壁材料的腐蚀速度。

(1) 我国供水消毒一般是采用次氯酸或次氯酸盐的形式投加的,水中自由余氯的存在形式主要是 HClO 、 ClO^- , 而 HClO 的消毒能力远大于 ClO^- 。



由以上方程式计算得,在 25℃、pH 值小于 7.5 时,余氯的存在形式主要是 HClO , 可见, pH 值影响水中余氯的存在形式,进而影响对水的消毒效果。

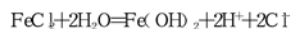
(2) 余氯导致的管材腐蚀方程为:

负极: $\text{Fe} - 2\text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$

正极: $3\text{HClO} + \text{Fe}^{2+} + 5\text{e}^- = 3\text{Cl}^- + \text{Fe}(\text{OH})_3$

完整的腐蚀电池反应为: $6\text{HClO} + 5\text{Fe} = 3\text{FeCl}_3 + \text{Fe}(\text{OH})_3$

FeCl_3 是其中一种腐蚀生成物,它能发生水解:



所生成的氢离子和氯离子会刺激铁的继续溶解,使腐蚀反应随着时间而加速进行,整个反应具有一种“自催化”的性质。如能够维持一个较高的 pH 值,就会有效抑制腐蚀反应的发生。研究表明: pH 值小于 6.5 时,水对钢管及铸铁管的腐蚀将大大增强。因此,管网水 pH 值在 6.5~7.5 范围内为宜。

2.3.4 AOC 的影响

AOC(Assimilable Organic Carbon)即生物可同化有机碳。AOC 是有机物中最易被细菌吸收,直接同化成细菌体的部分,它表征了饮用水质的生物稳定性,是指饮用水中可生物降解有机物支持异养细菌生长的潜力,即当有机物成为异养细菌生长的限制因素时,水中有机营养基质支持细菌生长的最大可能性。一般的饮用水配水系统中,影响异养细菌生长的营养限制因素往往就是有机物含量。因而,生物稳定性对于饮用水中的异养细菌生长繁殖状况具有重大的影响。AOC 越高,水质越不稳定。

清华大学研究提出,以 200 $\mu\text{g/L}$ 乙酸碳作为饮用水生物稳定性的标准,而国外学者提出达到 50 $\mu\text{g/L}$ ~100 $\mu\text{g/L}$ 乙酸碳才能保持生物稳定性。由于 AOC 是新近提出的评价指标,其影响机理和标准还有待进一步研究。

2.3.5 三氮物质的影响

三氮物质包括氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮。三氮之间的转化关系如下:有机氮→氨氮→亚硝酸盐氮→硝酸盐氮→氮气。

由于许多饮用水的源水被污染,水中含有大量铵盐。铵与氯反应优先于氯与水中其他物质的反应,因此,氯消毒时会先生成氯胺而后再生成 HOCl 和 ClO^- 。氯胺在水中稳定性虽强于 HOCl 和 ClO^- ,但它的消毒能力远小于 HOCl 和 ClO^- 。为达到良好的消毒效果,使出厂水游离余氯不小于 0.3mg/L,必须投加大量的氯,先中和水中的铵盐后才能满足要求。也就是说,若水中含无机氮(包括氨、亚硝酸盐、硝酸盐),加氯量与余氯的关系就是我们常说的“折点加氯”关系。当水中只含有机氮化合物时,水的氯化反应极为复杂,将生成各种有机氯化物,加大了氯的消耗量。因此,在水厂的净水处理时要尽量提高三氮物质的去除率。

3 结语

本文对供水管网中影响余氯衰减的诸多因素进行了合理的归类和详细的分析,为进一步模拟管网中余氯衰减乃至研究管网水质变化奠定了基础,也为实际管网运行管理提供了理论依据。

以上分析结果可得:第一,管网水的 pH 值控制在 6.5~7.5 之间时,不仅有利于高效发挥消毒效率,而且有利于抑制管材的腐蚀发生;第二,在水厂的净化处理中应对三氮物质和 DBPS 前体的去除给予足够的重视;第三,尽量采用新型的管材防止腐蚀耗氯;第四,对不合理以及陈旧的管段应积极改造。

参考文献

- [1] Chen X, Stewart P S. Chlorine Penetration into Artificial Biofilm is Limited by a Reaction-diffusion Interaction Envir[J]. Sci and Technol 1996 (6): 2 087-2 083
- [2] 赵洪宾. 给水管道余氯消耗规律的初步研究[J]. 给水排水, 1986 12 (6): 11-15
- [3] 赵洪宾. 配水管网水质变化的研究(II)——余氯消耗动力学机制的研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1999 32(3): 52-56
- [4] 尤作亮. 配水管网中水质变化规律及主要影响因素的分析[J]. 给水排水, 2005 31(10): 21-26
- [5] 迟海燕. 城市供水管网氯的优化配置[D]. 天津: 天津大学出版社, 2004
- [6] 王丽花. 供水管网中 AOC、消毒副产物的变化规律[J]. 中国给水排水, 2001 17(6): 1-3

(责任编辑: 薛培荣)

第一作者简介: 刘 渊, 男, 1980 年 9 月生, 现为太原理工大学环境科学与工程学院市政工程专业 2003 级硕士研究生, 山西省太原市迎泽西大街 79 号, 030024

The Analysis on the Main Factors Influencing the Residual Chlorine Decay Process in Water-supply Pipeline

LIU Yuan, GAO Peng

ABSTRACT: This paper assorts the factors influencing the residual chlorine decay process in water-supply pipelines analyzes on their influence on the residual chlorine decay rate, which possesses the guiding significance on the actual operation and management of the pipelines, and also provides the basis for the further researches on the residual chlorine decay regularities and the water-quality change regularities.

KEY WORDS: water-supply pipeline; residual chlorine; water-quality change