

# 强化混凝在微污染水源水处理中的应用

姜瑞雪, 王 龙, 张 丽

(山东建筑大学市政与环境工程学院, 山东 济南 250101)

**摘要** 系统分析了微污染水强化常规混凝工艺的研究进展和局限性, 阐述了影响强化混凝的主要因素: 混凝剂种类的影响, 混凝剂投加量的影响, pH 值对混凝的影响, 以及碱度及原水水质的影响。说明了几种强化混凝方法, 展望了强化混凝处理技术在微污染水源水处理中的应用。

**关键词** 微污染; 强化混凝; 水处理; 粉末活性炭(PAC); 高锰酸钾复合药剂(PPC)

中图分类号: X524 文献标识码: B 文章编号: 1004-693X(2006)05-0068-03

## Application of enhanced coagulation to treatment of micro-polluted water

JIANG Rui-xue, WANG Long, ZHANG Li

(School of Municipal and Environment Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

**Abstract** Research progress and limitations of enhanced coagulation method in the treatment of micro-polluted water were analyzed systematically. The main factors that influence the enhanced coagulation include types and dosages of coagulator, pH, alkalinity, and raw water quality. Several enhanced coagulation techniques were given, and the application of enhanced coagulation in micro-polluted water treatment was prospected.

**Key words** micro-pollution; enhanced coagulation; water treatment; powdered activated carbon (PAC); potassium permanganate composite chemical (PPC)

水源地饮用水的污染对给水工程造成了各种损失, 向传统净水工艺提出了挑战<sup>[1]</sup>。Edzwald<sup>[2]</sup>指出, 水源水质的恶化, 一方面势必额外投加大量的混凝剂, 使制水成本大大增加; 另一方面水中藻类过量繁殖, 使给水产生一定的色度和臭味, 水源水的污染加剧了水资源的危机。强化混凝是给水常规处理中非常关键的环节, 通过强化混凝, 可去除原水中绝大部分浊度、色度, 提高常规混凝法处理中天然有机物(NOM)去除效果, 最大限度地去除消毒副产物前驱物(DBPFP)等有机物。

### 1 强化混凝

强化混凝是为提高常规混凝效果, 通过增加混凝剂的投药量、改变混凝剂的匹配或调整 pH 值, 保证浊度去除率的同时提高水中有机物去除率所采取的措施。广义上说, 可通过改善混凝条件提高出水水质。美国国家环保局认为, 强化混凝是达到饮用

水消毒/消毒副产物(D/DBP)条件第一实施阶段, 控制饮用水中 NOM 的最佳方法之一<sup>[3]</sup>, 并通过了消毒剂/消毒副产物(D/DBP)法规, 要求“给水进行强化絮凝处理”。

常规给水处理包括混凝、沉淀、过滤和消毒工艺。改进和强化常规处理工艺是目前控制给水厂出水有机物含量的有效手段, 处理效果的好坏直接关系到后续流程的运行工况、出水水质及运行费用<sup>[4]</sup>。

混凝工艺去除有机物的机理主要有以下 3 个方面: ①带正电的金属离子与带负电的有机物胶体发生电中和而脱稳凝聚; ②金属离子与溶解性有机物分子形成不溶性复合物而沉淀; ③吸附于金属氢氧化物表面上的共沉作用<sup>[5]</sup>。

### 2 影响强化混凝的主要因素

天然有机物的混凝主要依靠压缩双电子层、电性中和、吸附架桥以及混凝剂沉淀物的网捕卷扫等。

强化混凝去除天然有机物,其去除率的大小受混凝剂的种类和性质、混凝剂的投加量、pH 值、碱度以及原水水质等因素的影响。

### 2.1 混凝剂种类的影响

对强化混凝而言,无机混凝剂要比合成有机物混凝剂效果好<sup>[6]</sup>。通常认为,在合成有机物混凝剂在天然水的混凝过程中,由于无法提供有机物的吸附位,只能产生电中和作用参与腐殖酸的沉淀,所以混凝效果很不理想。相比之下,无机混凝剂(如铝盐、铁盐等)既具有电性中和、形成难溶络合物,其氢氧化物又能提供表面使有机物发生吸附等优势,所以使 NOM 去除效率较高。

文献调研<sup>[7]</sup>表明,在去除天然有机物时,铁盐的混凝效果比铝盐好。高分子絮凝剂单独作为混凝剂时,它的效果不如无机金属盐类混凝剂,因为它不能有效地去除溶解性有机物(DOM),但当被用作助凝剂时,则可发挥其提高固液分离的功能,有效地提高 TOC 的去除率<sup>[8]</sup>。

### 2.2 混凝剂投加量的影响

Gregor 等<sup>[9]</sup>提出通过适量增加混凝剂投加量可以有效地去除天然有机物。徐勇鹏等<sup>[10]</sup>通过一些对比实验,进一步探讨混凝剂量对有机物去除的影响。分别对不同原水浊度下、不同有机物含量的水样进行试验。试验表明,随着混凝剂投加量的增加,浊度、COD<sub>Mn</sub>、UV<sub>254</sub>的去除率也随之相应地提高。当浊度的去除率达最大值 80% 时,随着混凝剂投加量的继续增加,UV<sub>254</sub>、COD<sub>Mn</sub>的去除率仍有提高,这是因为混凝剂水解形成的缩聚产物如 $[Al_n(OH)_m]$ 的巨大的超吸附作用发生共沉淀的效果。随着投药量的继续增加,已被中和的带负电的胶体粒子可能重新因吸附作用而带正电,并重新获得稳定,混凝效果减弱,从而表现为 UV<sub>254</sub>、COD<sub>Mn</sub>去除率提高变得缓慢。

总之,适量增加混凝剂的投加量能有效提高浊度、有机物的去除,并且去除有机物的投药量要高于除浊的投药量。当然也不能一味增加混凝剂的投药量,过量量会引起胶体重新稳定,并且易产生大量的污泥,造成二次污染。合适的投量应该根据水源水质特点和处理后水质要求来确定。

### 2.3 pH 值对混凝的影响

水温恒定时,pH 值是影响混凝的最重要因素之一,每种混凝剂因其自身特性通常都有自己最佳的 pH 值范围。

浊度和有机物最佳去除的 pH 值范围并不吻合,随着 pH 值由小变大,通常在 pH 值在 5.0 ~ 6.0 之间时,有机物的去除效果较好<sup>[10]</sup>,这是因为铝盐、

铁盐在此条件下水解产物带较高正电荷,而富里酸和腐殖酸等溶解性有机物带过量负电荷,因此在此 pH 值内电性中和作用比较明显。Gill 等<sup>[3]</sup>发现,在采用氯化铁混凝剂并调节 pH 值为  $6 \pm 0.2$  时,可使 NOM 去除率达到 65%。董秉直等<sup>[11]</sup>对黄浦江水采用强化混凝法去除有机物进行的试验研究表明,pH 值越低,达到最佳有机物去除效果所需的混凝剂投加量就越少。这是由于在低 pH 值条件下,分子态有机物增多,离子态有机物减少,有机物溶解度下降,从而相对容易吸附到大量存在的  $Fe(OH)_3$  或  $Al(OH)_3$  等颗粒上发生共沉淀,从而提高有机物的去除效率<sup>[12]</sup>。当 pH 值在 6.0 ~ 9.0 之间时,浊度的去除效果较好,这是因为在此 pH 值范围内,混凝条件的碱度增大,混凝剂 Al、Fe 盐水解缩聚产物带的正电荷对水中胶体主要表现为较强的凝聚吸附作用,浊度去除率增加。

### 2.4 碱度及原水水质的影响

给水中的大量总有机碳(TOC)通常源于水源中的腐殖质,一般只有小于 10% 的部分是合成有机化合物。这些有机物的含量与加氯后形成的氯化有机物量之间呈正相关关系,即 TOC 含量高时,三卤甲烷总生成量也相应增多。因此,可用 TOC 去除率来衡量 DBP 前驱物质的去除效率<sup>[13]</sup>。

D/DBP 条例规定了原水不同 TOC 浓度和碱度情况下有机物的去除率,见表 1<sup>[4]</sup>。表 1 说明,若原水的 TOC 越高、碱度越低,所要求的 TOC 的去除率就越高,需要投加的混凝剂量就相对较大,反之则要求的 TOC 去除率越低,混凝剂投药量相对较小。

表 1 D/DBP 规则中强化混凝需要达到的 TOC 去除率

$\rho(\text{TOC}) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{CaCO}_3) < 60 \text{ mg/L}$	$\rho(\text{CaCO}_3) = 60 \sim 120 \text{ mg/L}$	$\rho(\text{CaCO}_3) > 120 \text{ mg/L}$
2 ~ 4	40%	30%	20%
4 ~ 8	45%	35%	25%
> 8	50%	40%	30%

## 3 强化混凝的主要方法

### 3.1 增加混凝剂投加量

通过增加混凝剂投量,使有机物的水化壳压缩,水解的阳离子与有机物阴离子电中和,消除有机物对无机胶体的影响,从而使无机胶体脱稳。不同水质对混凝剂用量的要求不同,混凝剂对水中大分子有机物(UV<sub>254</sub>值较大)和憎水性有机物有较好效果。

### 3.2 调整 pH 值

当原水 pH 值较高时,可通过加酸来降低 pH 值。pH 值为 5.0 ~ 6.0 时有利于形成腐殖酸、富里酸的聚合物,有机物的去除效果较好。一般在混凝剂投加前加酸,以促使混凝剂水解形成高价正电荷。

### 3.3 投加高锰酸钾复合药剂(PPC)

高锰酸钾复合药剂(PPC)是以高锰酸钾为主剂的一种复合性药剂,因此水中含有有机物等污染成分时,PPC可发挥其较强的氧化作用,将一部分有机物氧化破坏,从而降低后续处理的有机负荷。不同季节、不同污染水体的实验室研究和生产性试验研究证明了PPC在以下几方面具有非常好的处理效果:①去除浊度、藻类、臭味方面<sup>[14]</sup>;②去除水中的微量有机污染物和致突变活性物质<sup>[15]</sup>;③适应不同污染水体和不同温度尤其是低温低浊水体方面;④取代预氯化助凝等方面。投加PPC的同时还可以降低混凝剂用量,从而减少了污泥产量。张锦<sup>[16]</sup>等对某富营养化严重的湖泊水进行的试验研究表明,PPC预处理对含藻水具有较高的强化净水作用,它能明显降低出水中的藻,对藻类引起的臭味及有机污染物更具有显著的强化去除效果,强化效果远远高于高锰酸钾,更好于单纯混凝;刘伟等<sup>[17]</sup>对有机物含量较高的水库水进行的高铁酸钾预氧化强化混凝试验研究表明,少量的高铁酸钾(0.5~1.0mg/L)预氧化即可显著提高混凝效果,出水浊度明显下降。水中色度、UV<sub>254</sub>和氯仿生成量等有机物综合指标均随着高铁酸钾投量的增加呈明显下降趋势。与此同时,水中铁、锰浓度也显著降低。

### 3.4 投加粉末活性炭(PAC)

PAC应用于微污染水源水处理的特点:①使用灵活,可以根据水体的污染状况确定粉末活性炭的投量,对季节性污染水体,可在污染严重时投加PAC;②具有巨大活性比表面积,PAC的吸附速度快;③可以提高矾花的沉淀性能。

PAC应用于微污染水源水处理需注意的问题:①投加点的选择。正确的投加点可解决混凝去除有机污染物与PAC吸附去除有机污染物的竞争问题,PAC最优投加点应使这种竞争降至最低程度,还应保证足够的炭水接触时间,应根据具体情况通过试验决定。②PAC的自凝聚作用。颗粒的分散程度取决于自凝聚和水力搅拌强度,并将直接影响吸附效果。PAC直接投入水中后,因自凝聚作用而形成较大团块,而采用强制分散技术,PAC颗粒分散程度可大大提高。因此,需注意PAC的自凝聚作用,使PAC吸附效果得到充分发挥。

总体来说,PAC不但可以去除水中的臭味,还可以去除水中的色度、酚类等有机物,同时有助凝作用。有研究表明,投加粉末活性炭,可以节省1/3的混凝剂。

## 4 结 语

强化混凝相对其他处理工艺,优点显而易见,它

易与我国现行的常规处理工艺相结合,并且在设备和基建投资费用方面以及运行成本方面较常规工艺均有一定的优势。结合当前我国的经济实力,要求普遍增加微污染水源水预处理或深度处理是不现实的,改造常规处理的强化混凝工艺,在技术上和经济上都是可行的,因此强化混凝是适合我国国情的微污染水源水处理技术之一,应用前景广阔。

### 参考文献:

- [1] 许保玖.论水质科学与工程:兼论21世纪的水处理技术[J].工业水处理,2000,20(1):1-4.
- [2] EDZWALD J K. Coagulation in drinking water treatment: Particles, organics and coagulants[J]. Water Sci Tech, 1993, 27(11):21-35.
- [3] GILL C. Its effect on NOM removal and chemical cost[J]. JAWWA, 1995, 87:78-89.
- [4] 游晓宏,陈晓琼.混凝技术及其发展[J].工业水处理,2002,22(11):7-9.
- [5] 王占生,刘文君.微污染水源饮用水处理[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [6] 刘国平.混凝和活性炭吸附配合去除水中有机物[J].水处理技术,1998(2):111-114.
- [7] RANDTKE S J. A comprehensive assessment of DBP precursor removal by enhanced coagulation and softening[C]//Water Quality. AWWA Ann Conf, New York:1994:737-777.
- [8] EDZWALD J K. Polymer coagulation of humic acid waters[J]. Envir Eng Div(ASCE), 1977, 103:989.
- [9] GREGOR J E, NOKES C J, FETON E. Optimising natural organic matter removal from low turbidity waters by controlled pH adjustment of aluminium coagulation[J]. Water Reserch, 1997, 31(12):2949-2958.
- [10] 徐勇鹏,崔福义.强化混凝工艺及对去除有机污染物的影响[J].东北农业大学学报,2003,34(4):404-407.
- [11] 董秉直,曹达文,范瑾初.最佳混凝投加量和pH去除水中有机物的研究[J].工业水处理,2002,22(6):29-31.
- [12] SEUNE-HYUN K, BYUNG-HYUN M, HYANG-In L. Effects of pH and dosage on pollutant removal and floc structure during coagulation[J]. Microchemical Journal, 2001, 68:197-203.
- [13] STUART W K. Jar-tests evaluation of enhanced coagulation[J]. AWWA, 1995(10):93-107.
- [14] 许国仁,李圭白.高锰酸钾复合药剂对水中藻类和臭味去除效果的研究[J].给水排水,1998,24(12):7-9.
- [15] 许国仁,李圭白.高锰酸钾复合药剂对水中微量有机污染物去除效能的研究[J].给水排水,1995,25(7):14-16.
- [16] 张锦,陈忠林,范洁,等.高锰酸钾及其复合药剂强化混凝除藻除臭对比[J].哈尔滨工业大学学报,2004,36(6):736-738.
- [17] 刘伟,马军.高铁酸钾预氧化处理受污染水库水[J].中国给水排水,2001,17(7):70-73.

(收稿日期:2005-02-05 编辑:高渭文)