

烧杯实验的优化设计及在饮用水生产中的应用

邱振华

(长沙市自来水公司 湖南长沙 410015)

摘要 论述了优化烧杯搅拌实验设计的重要性。提出了烧杯搅拌实验的建议程序,同时探讨了利用烧杯搅拌实验结果对提高饮用水处理单元生产效率的可能性

关键词 供水 混合 絮凝 沉淀 絮凝剂 烧杯搅拌实验 水质

Study on the Optimized Design of Jar Test and its Application in Process Control of Water Treatment

Qiu Zhenhua

(Changsha Municipal Waterworks Co. Changsha, 410015, China)

Abstract The significance of optimized design of Jar Test was introduced in this paper. The standard test procedure was suggested. The possible application of Jar Test for improving the efficiency of control of water treatment was also discussed.

Keywords water supply mixing flocculation sedimentation flocculant jar test water quality

烧杯搅拌实验利用简单的设备,在理想条件下模拟混合、絮凝和沉淀等水处理过程,自1918年首次应用以来,一直是生产单位、科研和设计院所最常采用的研究手段。

1 烧杯搅拌实验应用现状与其局限性分析

对混合、絮凝和沉淀等处理过程的研究一般以烧杯搅拌实验为基础。1983年,美国材料试验学会将烧杯搅拌列为标准实验,日本也规定了烧杯搅拌实验的一般原则,烧杯搅拌实验同样频繁见于国内文献报道中。

从专业期刊近10年来发表的研究报告可看出,尽管研究人员每年都要进行大量烧杯搅拌实验,但工作参数的选取相当混乱。以1998-2000年间的8篇研究报告为例^[1-8],快速搅拌转速最高500rpm^[8],最低150rpm^[6],多数200rpm^[1,3,4,7],也有采用280rpm^[2],另有一篇未作说明^[5];时间最短10s^[8],一般2min^[1,3,4],也采用1或3min^[5-7],最长4min^[2];慢速搅拌转速一般控制在40-60rpm,时间10-15min;李冬等将搅拌转速设定为快、中、慢三档,总实验时间略短^[8];静置沉淀时间有10、15、20、30min 4种情况。

日本提出的标准实验方法是先加药,以桨板周速40-60cm/s快档搅拌1min,继续以15cm/s的周速慢档搅拌10min,静置沉淀10min后用虹吸法取50ml上清液测浊度等水质指标。

Bell-Ajay等在研究通过优化混凝除去水中的天然有机物时采取的实验程序为加入药剂后快速混合60s,再用40和20rpm分别搅拌20min,静置沉淀30min后从烧杯中央取水检测水质指标^[9]。

由于上述文献均未说明搅拌器类型,故无法对实验参数,主要是GT值进行比较,也就不能合理外推实验结论。显而易见,实验参数设置的不规范降低了研究工作的参考和应用价值。

不少研究人员指出,烧杯搅拌实验的重现性差,尤其是与生产实际偏离甚远,对过程控制的指导作用小。出现这种情况的原因是多方面的,主要影响因素包括:(1)烧杯搅拌实验的设备和操作条件都未规范化。搅拌桨板的设置及搅拌能量的输入与烧杯内水的流态、混合剧烈程度等密切相关,因此要对搅拌器进行认真设计,并由专业厂家生产;(2)烧杯搅拌实验条件简单,而实际生产受复杂环境因素影响。烧杯搅拌实验处理水量小,混合强度大且效果好,絮

凝和沉淀也都是在无扰动情况下完成的,而在生产过程中,混合不均匀,墙壁摩擦、冲击,短流等严重降低处理效率。在可比条件下,烧杯搅拌实验的预期出水水质要优于实际生产;(3)实际生产中存在烧杯搅拌实验无法模拟的水力或理化微环境。净水构筑物与烧杯的外观规模相差几个数量级,在烧杯内形成的相对均匀的实验条件根本不能反映发生在净水构筑物内的复杂微观过程。另一方面,用于烧杯搅拌实验的水样的水质稳定,而净水构筑物内的水流处于不断混合和交换状态,水质连续变化。此外,很多水厂使用2-5%的液态絮凝剂,搅拌实验则常将溶液配制成较低浓度,絮凝剂的水解程度高,也使两种结果的差别扩大;(4)完成常规烧杯搅拌实验需要一段时间,不能对生产过程进行实时控制。

由于烧杯搅拌很难拟合与实际生产相当的处理参数,因此将实验室结果类推到实际生产中是危险的。然而,在目前情况下,只有通过烧杯搅拌实验才能完成大量基础研究工作。鉴于其在科研和生产中无可替代的作用,必须继续予以重视并从设备和实验设计等方面进一步完善。

2 对烧杯搅拌实验设计原则的探讨

设计烧杯搅拌实验应获得与实际生产类似的水力条件。一般要求经过混合、絮凝和沉淀处理后,将烧杯水样上清液的浊度控制在2-4NTU。

对混合、絮凝和沉淀过程的最近似模拟是使实验结果具有指导价值的关键所在。桨板搅拌混合应具有足够的扩散力,保证药剂迅速均匀地分散到水样中。烧杯搅拌实验使用的水样量小,较实际生产易获得均匀扩散效果。因此,相对低的转速(G值)也可满足充分混合的技术要求。

进入絮凝阶段,为提高碰撞效率,同时又防止已生成的絮凝体破碎,采取G值递减控制措施,使G值由初始的100或70s⁻¹逐渐降至末期的10s⁻¹左右。以此为设计依据,将烧杯絮凝搅拌划分为2阶段,反映颗粒物的变速絮凝规律。

絮凝结束后,烧杯内形成的凝聚体在理想状态下发生沉降,其过程较实际生产简单得多。首次取样分析时间可缩短,以间隔取样检测(如沉淀1,2,4,8,10,20,30min后取样)为宜。取样量、深度和液面位置等都要标准化,最好研制可调式取样器。

烧杯搅拌实验各阶段持续时间应视待处理水的性质调整。实验效果评价参数的选择则根据实验目的确定。此外,还应规范进行搅拌实验的环境条件,

如水温、避免阳光直射等。

圆形烧杯是盛装实验水样的常用容器,其最大缺点在于可能形成涡流,并且水体快速旋转起来后,颗粒同向同速运动,即使转速很快,混合、碰撞效果并不佳。美国从80年代开始启用改进型透明方杯。透明方杯内水流的水力条件更接近生产实际,边壁碰撞和剧烈紊流也显著提高颗粒凝聚效率。应推广使用成套方杯容器。

3 烧杯搅拌实验的建议程序

净水单元处理效率的实验室研究应尽可能在统一标准条件下完成,生产模拟实验则依据实际运行参数设计。

3.1 实验水样的准备

一般取原水作实验水样,也可人工配制实验水样。应保证实验水样的新鲜,保存期不宜超过4小时,以免水样的理化和生物性质发生改变。

必要时,对水样进行适当的预处理,如加NaOH或HCl调节pH,混合均匀后量取实验水样。

3.2 药剂投加

烧杯搅拌实验一般批量进行,每批次药剂应取自同一母液。为保证药剂同时投加,应使用加药小管。先将稀释水移入小管内,再滴进药剂母液,配制相同浓度的实验药液。按此操作,加入烧杯的实验药液的体积不等。考虑到药剂水解反应对混凝过程的影响显著,控制实验药液的浓度应是比控制体积更为合理的选择。

在投加药剂之前启动搅拌机,维持慢速搅拌一段时间,使实验水样混合均匀。将小管内的药液倾入搅拌活性区,迅速加大搅拌转速至设定的混合G值,完成后续模拟实验。

3.3 混合、絮凝和沉淀过程模拟控制

过程模拟参数可按以下标准设定:

(a)混合时间2min,G值200s⁻¹,则混合GT值= $(2 \times 60) \times 200 = 2.4 \times 10^4$ 。

(b)絮凝分2阶段进行。第1阶段持续7min,G值40s⁻¹,第2阶段持续5min,G值15s⁻¹,则絮凝GT值= $(7 \times 60) \times 40 + (5 \times 60) \times 15 = 2.1 \times 10^4$ 。

在混合和絮凝阶段,GT值近似为 4.5×10^4 。

(c)取出搅拌桨板,在无阳光直射下静置沉淀。

3.4 实验效果评价

很多指标都可用来评价搅拌实验效果,常选参数包括:

(a)加入絮凝剂后首次出现肉眼可见针尖大小

絮凝体所需时间(min);

(b)絮凝结束后,肉眼观察各种絮凝体的大小,分类等级包括针尖大小(0.3-0.5mm),细小(0.5-0.75mm),小(0.75-1.0mm),中(1.0-1.5mm),大(1.5-2.25mm),超大(>2.25mm);

(c)取沉淀上清液测浊度、色度、pH值、碱度、絮凝剂残余量等指标;

(d)测絮凝体沉降速率;

(e)测沉淀后水的可过滤性。取70mL沉淀上清液,用孔径1-2 μ m的滤膜过滤,记录滤过50mL水样所需时间并测滤后水浊度,计算过滤指数FI:

$$FI = \frac{\text{过滤 50mL 沉淀上清液所需时间}}{\text{过滤 50mL 蒸馏水所需时间}}$$

过滤指数没有绝对意义,但当原水浊度低,很难生成肉眼可见絮凝体时,过滤实验有助于确定絮凝剂的最佳用量。

4 烧杯搅拌实验的应用分析

通过搅拌实验对比研究药剂性能、不同参数的组合效果等是可靠的。

4.1 优选絮凝剂和助凝剂类型

絮凝剂无绝对优劣之分,其处理性能取决于待处理水的性质。在选取适合絮凝剂时,应通过搅拌实验对比分析可利用絮凝剂的成本和净化效率,最终确定对本地原水处理有效且经济的絮凝剂。

在净化低温低浊等难处理水时,助凝剂应用较多。主凝剂与助凝剂的最佳组合也可通过搅拌实验确定。很多实例表明,铝盐与阳离子型有机聚合物联用净化效率高而成本低。

4.2 预测絮凝剂和助凝剂用量

絮凝剂和助凝剂的合理用量通过无限逼近法确定。首先,寻找大致投加范围,药剂用量梯度大,如2.5,5,10,20,40,60mg/L系列,然后精确逼近,如在20mg/L效果好,则尝试12.5,15,17.5,20,22.5,25和27.5mg/L系列,依此继续逼近合理用量。

有机絮凝剂成本高,用量一般不超过5mg/L,故初试梯度可按0.25,0.5,1.2,2,3和4mg/L系列设计,再精确逼近。

如果铁、铝絮凝剂和有机絮凝剂联用,初试梯度系列可设计为(单位:mg/L):

铁、铝盐	6	12	20	6	12	20
有机絮凝剂	0.25	0.25	0.25	0.5	0.5	0.5

再在保持有机絮凝剂用量相对稳定的情况下进

一步调节铁、铝盐用量。

搅拌实验确定絮凝剂和助凝剂合理用量未考虑实际生产混合不均,水体的缓冲作用等影响因素,因而所得结果不能作为生产控制参数直接应用,必须经过实地调试予以修正。

4.3 研究水处理药剂的投加序列和时间间隔

石灰、碳酸钠、高锰酸钾、粉末活性炭、粘土、回用污泥等多种化学物质都在水处理过程中有所应用,分别达到调节水体碱度、pH、除去有机物污染等目的。这些化学物质与絮凝或助凝剂的投加要分开,以免彼此发生反应,降低处理效率。例如,将石灰和聚合氯化铝加入待处理水中,应先投加聚合氯化铝,再投加石灰。

根据待处理水的性质决定需使用化学物质的种类,对它们的特性进行分析,初步设计投加序列。再通过烧杯搅拌对比实验确证序列安排的合理性,并研究取得最佳处理效果的投加时间间隔。

4.4 探讨提高处理效率的技术

用搅拌实验分析调节原水最佳pH或碱度等处理参数的技术,并比较不同调节技术的优劣。

投加浓度决定混凝剂或助凝剂的水解进行程度,进而影响絮凝过程。各饮用水处理厂应通过搅拌实验确定适合本地的最佳浓度配比。

用搅拌实验研究使混合、絮凝处理达到最佳效果的搅拌能量和持续时间。用以指导搅拌设备的安装和运行。

4.5 提高生产水平

稳定生产是城市供水的基本要求。然而,出水水质的正常和非正常变化是不可避免的,可通过搅拌实验发现控制或设备方面的缺陷并进行调节。

4.6 利用搅拌实验研究特殊处理技术

随着水质标准的提高,传统处理工艺面临挑战,而特殊工艺或新药剂的应用等首先都要通过实验室规模的烧杯搅拌实验研究。

净水构筑物的生产运行是一个极为复杂的过程,为提高对这个过程的控制能力,应强调现场调查与实验室研究相结合,尤其要注意对过程参数的综合分析。搅拌实验简单,易于开展多因素研究,其作用应得到进一步发挥。

参考文献

- 1 马军,王东田,杨万东等.高铁酸盐氧化助凝效能研究,给水排水,1998,24(8):14-17
- 2 陈宛华,蔡燕萍,梁伟杰. RD 净水剂室内净化效果试验,广东供

- 水信息, 1998, 12(2): 6-8
- 3 周世辉, 师绍琪, 蒋展鹏等. 城市生活污水强化一级处理中絮凝剂的选择研究, 给水排水, 1999, 25(11): 14-16
 - 4 高宝玉, 岳饮艳, 王占生等. 聚硅氯化铝混凝剂的混凝效果研究, 中国给水排水, 1999, 15(12): 14-17
 - 5 肖锦, 周勤, 孙伟等. 微污染原水强化混凝净化研究, 给水排水, 1999, 25(12): 14-17
 - 6 李亨枝, 叶润来. 助凝剂聚丙烯酰胺在净水生产中的应用, 城镇供水, 1999, (2): 3-7
 - 7 李明玉, 陈伟红, 杜海宽等. 聚硅硫酸铝的混凝性能与其对水中残留铝的影响, 给水排水, 2000, 26(11): 16-18
 - 8 李冬, 张金松, 汪义强等. 混凝沉淀最佳工艺条件探讨, 深圳自来水, 1999, (4): 13-18
 - 9 Bell-Ajy K, Abbaszadegan M, Ibrahim E, et al. Conventional and optimized coagulation for NOM removal, AWWA2000, 92(10): 44-48

作者简介: 邱振华, 1954年11月出生, 研究生, 高级工程师, 长沙市自来水公司总经理, 主要从事饮用水处理技术与管理工作。

(上接第11页)

- 3 A·涅泽尔, R·G·赖斯(美). 臭氧技术及应用手册
- 4 张晖等. 水中臭氧分解动力学研究. 环境科学研究, 1999(1)
- 5 冀滨弘, 章非娟. 臭氧技术在水处理中的应用. 污染防治技术, 1997, 10(4): 191-194
- 6 张晖等. 臭氧化法处理的进展. 环境保护, 1995, (6): 12-13
- 7 张彭义, 祝万鹏. 臭氧水处理技术的进展. 环境科学进展, 1995, 3(6): 18-23
- 8 赵朝成, 赵东风. 超声-臭氧化处理硝基苯废水实验研究. 上海环境科学, 2001年第20卷, 第9期, P446
- 9 王福平, 等. 用纤维 TiO₂ 作光催化剂降解饮用水中腐殖质. 高技术通讯, 1998年第12期
- 10 曲久辉. 强化臭氧化在水处理的进展. 环境科学进展, 1997, (3): 77-79
- 11 O·Leitzke. 臭氧与生物处理净化重度污染废水. 中国给水排水, 1998, 14(4): 46-49
- 12 张芳西, 周淑芬, 等. 实用废水处理技术. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1983
- 13 张彭义, 等. 染料中间体废水的催化臭氧预处理. 环境科学, 1996, 17(4): 14-17
- 14 张彭义, 等. Ni, Fe 氧化物对吐氏酸废水催化臭氧化研究. 上海环境科学, 1996, 15(10): 25-27
- 15 王晓书, 孔令仁. 光和 O₃ 降解偶氮染料水溶液的研究. 污染防治技术, 1996, 9(112): 28-30
- 16 J·Sarasa 等. Treatment of a wastewater resulting from dyes manufacturing with ozone and Chemical coagulation. Water Research, 1998, 32(9): 2721-2727
- 17 张晖, 等. O₃/UV 法降解水中对硝基酚. 环境化学, 1996, 15(4): 313-319
- 18 M·A·谢甫琴柯, B·B·利荣诺夫. 臭氧化法水处理工艺学. 北京: 清华大学出版社, 1987
- 19 F·Javier Brnitez, 等. Degradation of protocatechnic acid by two advanced oxidation process: Ozone / UV radiation and H₂O₂ / UV radiation. Water Research, 1996, 30(7): 1597-1604
- 20 Fernando J·Beltran, 等. Effects of single and combined ozonation with hydrogen peroxide or UV radiation or the chemical degradation and biodegradability of debittering table dive industrial wastewaters. Water Research, 1999, 33(3): 723-732
- 21 喻旗等. 臭氧处理黄磷废水的试验研究. 化工环保, 1988, 8(6): 326-329
- 22 罗东升. 臭氧催化氧化法处理高浓度有机工业废水. 工业水处理, 1987, 7(1): 34-36
- 23 C·E·Bremmaon, 等. 造纸厂废液臭氧化生产甲烷. 环境污染治理译文集, 1982(1): 37-42
- 24 杨志华, 等. H₂O₂-O₃ 氧化法处理中间体 H 酸和 1-氨基蒽醌生产废液. 环境科学, 1994 年第 6 期
- 25 Miv Yang, 等. America removal in bubble column by ozonation in the persence of bromide. Water Research, 1999, 33(8): 1911-1917
- 26 Hermann Storkinger etc. Ozonation of wastewater containing N-methylmorpholine-N-oxide. Water Research, 1996, 30(8): 1745-1748
- 27 Sheng H·Lin etc. Removal of nitrogenous compounds from aqueous solution by ozonation and ion charge. Water Research, 1996, 30(8): 1851-1857
- 28 Fernando J·Beltran etc. Industrial wastewater advanced oxidation Part2: ozone combined with hydrogen peroxide or UV radiation. Water Research, 1997, 31(10): 2415-2428
- 29 O·Fiehn etc. Analysis of the ozonation of α-mercaptobenzothiazole in water and tannery wastewater using sum parameters liquid-and gas chromatography and capillary electrophoresis. Water Research, 1998, 32(4): 1075-1084

第一作者简介: 张林生, 男, 东南大学环境工程系教授。