

给水处理过程中颗粒特征分析

王在刚¹, 徐勇鹏^{1,2}, 崔福义¹, 刘广奇¹

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 中国地震局 工程力学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 给水处理过程中颗粒物的粒径与其相对应颗粒数量的分布规律满足幂函数关系, 其参数 α 和 K 可以用于描述悬浮颗粒物的特征。结合试验探讨了参数 α 和 K 的意义及其变化规律。结果表明, α 反映了水中不同粒径颗粒物的分布情况, K 值则反映了水中颗粒物总体积的变化情况。对 S 水厂的原水、沉淀出水和过滤出水的试验结果表明, α 的变化显示了水中小粒径颗粒物 (2 ~ 15 μm) 所占比例逐渐降低; K 值的变化显示了水处理过程中颗粒物的逐步去除, 且 K 值的递减程度说明了各处理单元对水中颗粒物的去除效果; α 和 K 值可以间接体现水处理工艺的运行效果。

关键词: 给水处理; 粒径分布函数; 特征参数

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602(2006)17 - 0050 - 04

Analysis on Parameters of Particles Size Distribution in Drinking Water Treatment

WANG Zai-gang¹, XU Yong-peng^{1,2}, CUI Fu-yi¹, LIU Guang-qi¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China)

Abstract: In drinking water treatment, the use of the power law to describe particle size distributions (PSD) in particle counting practice is common. The power law is popular because it allows two meaningful parameters, slope (α) and intercept (K), to describe and identify size distribution characteristics of suspended particles. The meanings and their variations of the two parameters were studied in a series of full scale experiments. The slope (α) demonstrates the distribution regularity of different sized particles in water, and the intercept (K) shows the volume variation regularity of all particles in water. Results show that the variety of α values represents that the decreasing of small particle (2 - 15 μm) and the variety of K values represents the removing of particles in the water treatment processes. The findings from this study support the use of the power law model with the parameters α and K consequently to describe the PSD.

Key words: drinking water treatment; particle size distribution; characteristic parameters

颗粒计数器可直接计数并确定颗粒物的大小, 它较全面地提供了有关水中悬浮颗粒物特征的信

息,尤其对颗粒物的微小变化比较敏感,能从细节方面提供水中悬浮颗粒体系的微观特性。已有研究表明,颗粒的数量、表面积和体积均与颗粒分布函数 (Particle Size Distributions, PSD) 有较大的相关性^[1];开展水中颗粒数量及其分布规律的研究,一方面能够直接体现水中悬浮颗粒的情况,另一方面能间接表征水中污染物的存在^[2];另外,水中颗粒粒径的分布规律对混凝、沉淀与过滤的效果也有一定影响^[3]。因此,通过颗粒计数仪研究水中微颗粒的存在形式及其行为特征将有助于进一步对水处理技术的机理和工艺优化进行探讨。

目前描述颗粒计数仪测定结果最普遍的方法是用幂函数的方法来表示颗粒悬浮体系中颗粒物的数量及分布。由于对幂函数关系式中特征参数的探讨一直没有深入,又缺乏生产应用的试验结论,幂函数方法一直没有广泛应用到水处理生产过程中。故笔者在前人对水中颗粒物分布研究的基础上,分析特征参数 n 值和 K 值在水处理工程中的行为特征,并结合饮用水处理厂的生产数据,研究颗粒物分布规律及其特征参数与水处理过程的内在联系,以探索水处理技术的机理和工艺优化方法。

1 试验部分

1.1 n 值与 K 值的意义

一般认为颗粒分布函数遵循幂函数形式,且颗粒数量 (N) 与粒径 (D_p) 置于双对数轴,表现出近似的线性特征,可用幂指函数的形式进行表示:

$$\lg N = \lg A_0 - \lg D_p \quad (1)$$

截距 $K (\lg A_0)$ 中的参数 A_0 为 $D_p = 1.0 \mu\text{m}$ 时的颗粒数量值,并与粒径为 $0.5 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒物密度有关^[4]。参数 n 显示了颗粒数量密度的变化规律, Friedlander S K 等人计算得到水体中 n 值介于 $2 \sim 5$, 而且指出在以布朗运动为主的异向凝聚中 $n = 2.5$; 在以剪切力为主的同向絮凝中 $n = 4.0$; 而在差速沉降中 $n = 4.5$, 但是所提及的 n 值仅与絮凝反应形式有关, 而没有指出 n 值在表征水处理过程中颗粒特性的作用。Desmond F. Lawler 指出 n 是颗粒粒径的函数: n 值的递减说明了颗粒粒径范围是伸展的; 若 n 值增加则表示颗粒粒径范围是缩小的; 他同时讨论了颗粒分布在优化混凝与过滤过程中的作用, 但是并没有给出 n 值与处理工艺之间的相互关系。

在颗粒粒径分布函数中, n 是曲线斜率的绝对

值, 即是某粒径范围内的颗粒数量 N 与颗粒粒径范围 D 的比值, 其值反映了水中不同粒径颗粒的分布情况。当 n 值较大时, 表示水中小粒径颗粒物的数量相对较多, 在总颗粒数量中占有较大的比例, 同时也意味着粒径大的颗粒数量所占比重相对较小; 反之当 n 值较小时, 表示水中小粒径的颗粒所占比例相对较小。常数项 K (纵轴截距) 则与颗粒总体积 V 有关。

1.2 试验方法

以哈尔滨市 S 水厂为研究对象, 该厂以松花江水为原水, 工艺流程如图 1 所示。



图 1 S水厂工艺流程

Fig 1 Processes of S Waterworks

原水经过机械搅拌、混凝、斜管沉淀、V 型滤池过滤和氯消毒后进入市政供水管网, 分别测定原水、沉淀出水和过滤出水中颗粒物的粒径分布情况。试验仪器采用美国 HAC 公司的 9703 型颗粒计数仪, 设定颗粒粒径的测定范围为 $2 \sim 47 \mu\text{m}$ 。

2 试验结果与分析

2.1 S 水厂处理水中颗粒物的尺寸分布

按照公式 (1), 绘制 S 水厂处理工程中颗粒尺寸分布曲线, 结果如图 2 所示。图中数据为试验期间某一天取样的测定结果, 其中横坐标为粒径的对数, 纵坐标为颗粒数量的对数。

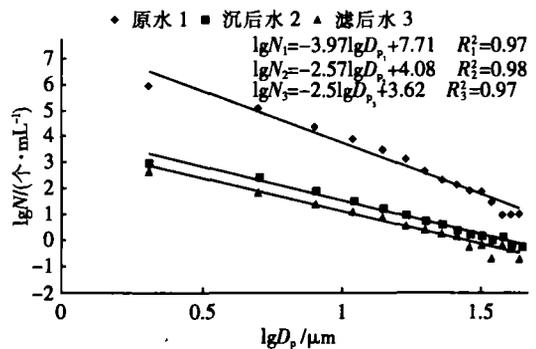


图 2 S水厂实测颗粒尺寸分布

Fig 2 Distribution of particle size measured in S Waterworks

由图 2 可以看出, 水中颗粒数量的对数值与相应粒径的对数值呈近似的线性关系, 即颗粒粒径与该粒径下颗粒数量存在幂函数关系, 其相关性

0.97,这与 Desmond F. Lawler 的结论相一致。

2.2 对 β 值的分析

为进一步了解 β 值在水处理过程中的变化规律及其与水处理过程的内在联系,于 2003 年 7 月—8 月连续测定了 S 水厂的原水、沉淀出水和过滤出水的颗粒分布情况,由 PSD 曲线得出参数 β 值如图 3 所示。

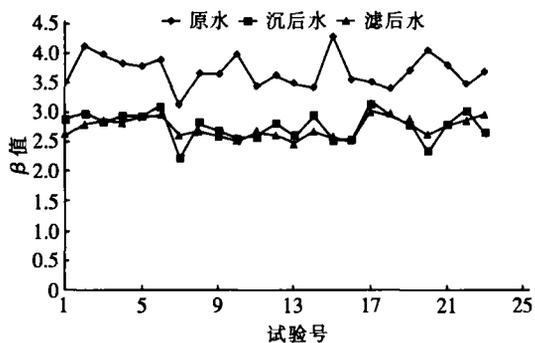


图 3 处理工艺出水中 β 值的变化

Fig 3 Variations of β value in outflow of treatment processes

PSD 曲线表明,在试验测定的 23 组水样中均存在颗粒数量与对应粒径呈双对数的线性关系,且相关系数 >0.95 。由图 3 可知,原水的 β 值明显偏大,均在 3.2 以上,集中于 3.5~4.0,这说明在试验的原水中,悬浮小颗粒的数量比较多,粒径大的颗粒数量相对较少;沉后水和滤后水的 β 值均在 2.5~3.0,但滤后水的 β 值略小于沉后水的,这说明过滤出水中的小粒径颗粒所占比例较沉后水的小。由图 3 还可以看出, β 值随处理过程的进行而变小,结合图 2 究其原因可能是混凝过程中,混凝药剂的投加使粒径相对较小的颗粒 (2~15 μm) 脱稳聚集并形成大的絮团,在后续的沉淀过程中得到去除;当水经过滤之后,滤层截留一部分颗粒导致水中小粒径颗粒所占比例降低。

结果表明, β 值所反映的水处理过程中小颗粒悬浮物的变化与水经过混凝、沉淀和过滤处理后胶体颗粒大量去除的规律相吻合。可见, β 值的大小间接体现了混凝和过滤效果的好坏。对于沉淀出水和过滤出水来说, β 值越小则混凝时小颗粒物质的脱稳聚集程度越高,小颗粒物质在滤料上的截留、附着效果越好,出水效果也越好。

此外,由图 3 还可以看出,沉淀出水和过滤出水

的 β 值具有相同的变化趋势,表明沉淀出水的水质对过滤出水的水质存在一定的影响,对应于水处理工艺来说,各单元工艺的运行效果决定整体水处理系统的处理效果,只有各单元工艺稳定运行才能实现系统的最优运行。 β 值在较小的范围内波动时系统具有较高的稳定性。

2.3 对 K 值的分析

试验期间原水、沉后水和滤后水浊度平均值分别为 288、23、0.6 NTU。对截距 K 值的测定结果见图 4。

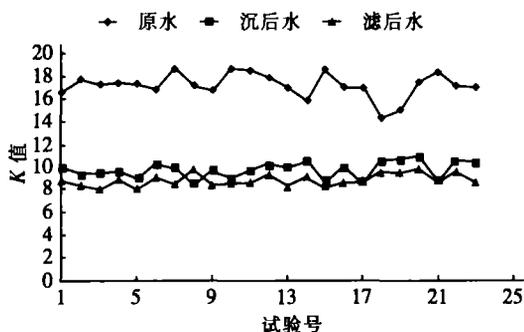


图 4 处理工艺出水 K 值的变化

Fig 4 Variations of K value in outflow of treatment processes

由图 4 可以看出,原水的 K 值最大,这是因为原水中浊度最高,颗粒物浓度最大所致;滤后水浊度最低则滤后水的 K 值也最小。这表明了各单元工艺对水中颗粒物的去除效果,原水经混凝沉淀和过滤后颗粒物的体积不断降低,说明截距 K 值与颗粒物的总体积相关,并存在一定的相关关系。

原水、沉后水以及滤后水的 K 值平均为 17.21、9.75、8.83,可见 K 值经原水到沉淀出水变化幅度较大,平均降低 7.46;而沉淀出水到过滤出水的 K 值递减程度降低,平均只降低了 0.98,说明混凝沉淀去除颗粒物的贡献较大,这与水厂的实际运行结果是一致的。此外,由图 4 还可知,每组水样中沉后水与对应的滤后水的 K 值具有相似的变化趋势,说明 S 水厂的砂滤池对水中颗粒物的去除效果受沉后水中颗粒物的含量影响较大,沉淀出水水质的好坏制约着滤后水的水质,这个结论与 β 值的结论相一致。

3 结论

以水中颗粒物的直径和对应数量的函数关系表示颗粒分布规律更加简便,其中参数 β 值随着 (下转第 56 页)

设计方面

根据管道所处的地形、地质和水位等情况,在管材、基础、检查井、接口等方面加以考虑,如采用柔性接口以减小地震区管道位移产生的影响;采用塑料管时以 T、Y 形管件连接,而不是在干管上打孔连接;减少砖砌检查井的数量。

施工方面

管道基础使用优质混凝土浇注(尤其在检查井与管道连接等挖深不一样的地方);回填采用黄砂或粘土并分层压实,以达到管道设计承载力的要求^[2]。

管理和维护方面

加强对管网的管理,定期进行检漏,并对旧管网实施改造和修复。在日本常用的修复方法主要有三大类^[3~6],第一类是“管中管”法,它包括内衬法、原位固化法、局部法等;第二类是管线破损部位的粘接修复法,通常采用灰浆,通过特殊的封隔器或管内机器人来完成;第三类是开挖灌浆法,通过裂缝或渗漏点将灰浆或凝胶注入,以防止不明水渗入。

4 结语

所调查城区的地下排水管道已年久失修,加之地下水位较高,使得不明水量占总水量的比例达

55%左右,大大增加了污水厂的处理成本。这种情况若发生在地下水位较低的地区,有可能造成污水渗漏而污染地下水。因此,对不明水问题应给予足够的重视。

参考文献:

- [1] 社团法人,日本下水道协会. 下水道管路施設における浸入水防止対策指針 [M]. 日本:下水道协会, 2000.
- [2] 张忠和. 给水排水设计手册(第 2 版) [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2004.
- [3] 栗林宗人. 設計・施工の浸入水対策のポイント [J]. 下水道, 1996, 7(10): 2 - 8.
- [4] 松田安可. 不明水の削減に向けて [J]. 下水道, 2001, 21(5): 47 - 50.
- [5] 徐富. 回填土地区给排水管道施工基础处理的探讨 [J]. 山西建筑, 2004, 11(4): 78 - 79.
- [6] 秋川史郎. 不明水削減計画を短期間で進める方法 [J]. 下水道, 2001, 21(5): 45 - 46.

电话: (0532) 88672050

E-mail: Yilingguo@qingdaonews.com

收稿日期: 2006 - 03 - 20

(上接第 52 页)

水中悬浮微颗粒物含量的变化而变化,其大小反映了水中不同粒径的颗粒物所占比例,值越大说明水中小粒径颗粒物的相对含量越高。

K 值与颗粒总体积 V 的关系较大,水中的颗粒物随水处理工艺的进行被去除,对应的 K 值也随之递减,与颗粒的逐级去除相对应。同时不同工艺单元的水质所对应 K 值的递减程度说明了各工艺单元对水中颗粒数去除的比率。

在试验范围内沉淀出水的水质对过滤出水的水质存在一定的影响,各单元工艺的运行效果对整体水处理系统的运行效果影响较大,只有各单元工艺具有稳定的运行效果才能实现全系统的最优运行。

参考文献:

- [1] Stumm W, Morgan J J. Aquatic Chemistry (Third Edition)

[M]. New York: Wiley - Interscience, 1996.

- [2] Wolfgang Schubert, Wolfgang Gunther F. Particle size distribution in effluent of trickling filters and humus tanks [J]. Water Res, 2001, 35(16): 3993 - 3997.
- [3] Vlaski A, vanbreemen A, A laerts G J. The role of particle size and density in dissolved air flotation and sedimentation [J]. Water Sci Technol, 1997, 36(4): 177 - 189.
- [4] Ceronio A D, Haarhoff J. An improvement on the power law for the description of particle size distributions in potable water treatment [J]. Water Res, 2005, 39(2 - 3): 305 - 313.

电话: 13304600031

E-mail: zaigang_w@hit.edu.cn

收稿日期: 2006 - 03 - 17