

PDA 在黄河高浊度水处理中的应用研究

谭万春¹ 孙光远² 金同轨¹ 李冬梅³ 高 湘¹

(1 西安建筑科技大学环境与市政工程学院,西安 710055; 2 湖南城建职业技术学院,湘潭 411101;

3 广东工业大学建设学院,广州 510643)

摘要 根据光散射颗粒分析仪(PDA)的检测原理,通过理论分析把平均透光强度(对应于 DC 值 U_D)确定为原水特性的表征参数。并通过试验得到,单位体积水中泥沙颗粒总表面积 S_p 与 DC 值具有幂函数关系: $S_p = c(U_D)^d$,且与原水中颗粒性质有关,对于黄河青铜峡泥沙来说, $c = 38.358$, $d = -0.791$, $R^2 = 0.977$ 。建立了高分子絮凝剂投药量 D 与原水 DC 值之间的幂函数关系,即在一定的浑液面沉速下 $D = f(U_D) = c(U_D)^f$,平均相关系数达到 0.981,从而得到了新的投药量公式。

关键词 高浊度水 PDA 平均透光强度 浑液面沉速

Study on application of PDA in treating Yellow River high-turbid water

Tan Wan-chun¹, Sun Guang-yuan², Jin Tong-gui¹, Li Dong-mei³, Gao Xiang¹

(1. School of Environmental & Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China; 2. Hunan urban construction college, Xiangtan 411101, China; 3. Faculty of Construction, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510643, China)

Abstract: The average transmitted light intensity (U_D correspond to DC value) is determined as the characteristic parameter of raw water by theoretic analysis on the basis of theory of photometric dispersion analyzer (PDA). The experimental results show that there is an exponential function relation between DC and surface area of sand clay (S_p) in unit volume water: $S_p = c(U_D)^d$, in which c and d are empirical coefficients related to the character of particles, for sand particles of Qingtongxia, $c = 38.358$, $d = -0.791$ and $R^2 = 0.977$. There is an exponential function relation between macromolecule flocculant dosage (D) and DC value under condition of fixed interface level settling velocity: $D = c(U_D)^f$. The average correlation coefficient equal to 0.981. So the new formula of macromolecule flocculant dosage is established.

Keywords: High-turbid water; Photometric dispersion analyzer (PDA); Average transmitted light intensity; Interface level settling velocity

黄河是我国黄河流域的主要水源,其年输沙量及年平均含沙量均居世界第一位。由于黄河泥沙粒径较细,自然沉速较慢,加上泥沙粒度和泥沙浓度的季节变化,增加了其混凝沉淀研究的难度,成为我国水处理领域的一项难题。

透光率脉动检测技术的出现给研究混凝过程提

供了一条新的途径,但以往的研究主要集中在絮凝指数 R 和脉动值 rms 上,本文对平均透光强度的研究扩展了这项技术的应用。

1 原水特性参数的确定

1.1 理论分析

在确定高浊度水混凝高分子投药量的研究中,多年来一直以含沙量 C_w (质量浓度)为基本参数。兰州自来水公司最先对聚丙烯酰胺的投量进行了较

系统的研究,提出了投药量与稳定泥沙的关系。但文献^[1]指出,泥沙颗粒因素在确定投药量时亦具有重要的影响,提出以单位体积水中泥沙颗粒总表面积 S_p 来表示颗粒因素的影响,并在大量试验的基础上得出,在浑液面相同的条件下,聚丙烯酰胺投量 D 与 S_p 有很好的幂函数关系,即:

$$D = f(S_p) = aS_p^b \quad (1)$$

式中 a, b 为经验系数; $S_p = S_0 C_w$, S_0 为颗粒比表面积。

综上可知,目前主要以泥沙浓度和颗粒比表面积为参数确定投药量,并有很好的精度。但不论是泥沙浓度还是颗粒比表面积,在实际运行中都很难实现在线控制,限制了其应用。而 PDA 具有在线监测功能,为实现在线控制提供了可能。

当一束光线通过悬浊液时,由于水中颗粒的散射,光强减小,根据朗伯-比尔定律,透射光强与入射光强有如下关系:

$$I = I_0 \exp(-\tau L) \quad (2)$$

式中 I ——透射光强度;
 I_0 ——入射光强度;
 τ ——悬浊液浊度;
 L ——光路长度。

John Gregory^[2]根据式(2)原理设计了光散射颗粒分析仪(PDA),检测原理见图1。PDA具有三个输出信号,即平均透光强度(对应于 DC 值 U_D)、脉动值 V_R (rms 值)和 R 值。三个输出值均与颗粒数量和颗粒散射截面积相关,分析可知颗粒数量反映的是泥沙浓度因素,而颗粒散射截面积反映的则是比表面积因素。理论上三个输出值均能同时反映浓度 C_w 及比表面积 S_p 的影响,但根据PDA原理, $V_R = \bar{V}(NL/A)^{1/2}C$, $R = V_R/\bar{V} = (L/A)^{1/2}N^{1/2}C$, 可以看出,颗粒数量 N 因次为 $1/2$,颗粒截面积 C 的因次为 1 ,二者的权重不同, rms 值和 R 值都增大了颗粒粒径因素的影响,而减小了泥沙浓度的影响,不宜作为反映原水性质的控制参数。而平均透光强度 $I = I_0 \exp(-NCL)$, 浓度和比表面积并重,且检测过程中不同形态的颗粒从不同方向被多次检测,一定程度上减小了颗粒形态对检测结果的影响,从而减弱了以球形颗粒来计算比表面积所带来的误

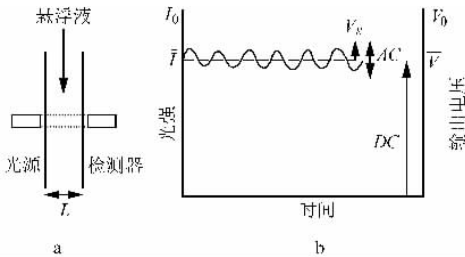


图1 PDA检测原理示意

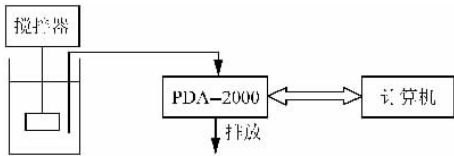


图2 试验装置示意

差,对应的 DC 值应与 S_p 有很好的相关性。所以选用 DC 值作为原水特性的表征参数,以下通过试验验证并找出 DC 值与 S_p 之间的关系。

1.2 试验研究

试验装置见图2。

采用PDA-2000光散射颗粒分析仪,DL-2型数控精密搅拌器,杯罐为有机玻璃制方罐,尺寸为长×宽×高=100 mm×100 mm×200 mm。试验用泥沙取自青铜峡的黄河泥沙,经西安市政管网浸泡分选,按不同比表面积分别配成不同浓度的原水。试验搅拌转速为200 r/min,以保证泥沙不沉积。水样体积为1 000 mL,取样管选用1 mm的硅胶管,取样点距罐底40 mm,检测后的水样排放,输出信号直接由计算机记录,检测时间为400 s,同一种原水重复检测3次以保证准确性,每次检测前用西安市市政管网水把 DC 值校正为10 V。

图3为比表面积 $0.57 \text{ m}^2/\text{g}$,不同泥沙浓度时的输出结果。由图3可见,随着原水通过检测管,平均透光强度减小, DC 值相应持续降低,在约30 s后逐渐进入平衡阶段,从而稳定在一个数值附近,并由

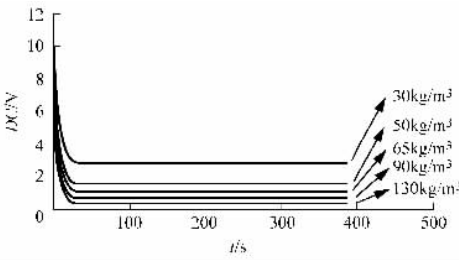


图3 比表面积 $0.57 \text{ m}^2/\text{g}$ 时不同泥沙浓度的 DC 值

于检测体积内颗粒的随机性而发生很小的波动,浓度不同,稳定后的 DC 值大小不同,浓度愈高,透光率愈低,相应的 DC 值愈小,此值即反映了在颗粒比表面积相同条件下水中泥沙浓度对 DC 值的影响。

图4为泥沙浓度 90 kg/m^3 ,不同比表面积时的输出结果。输出结果与图3有相同的变化趋势,比表面积不同,稳定后的 DC 值大小不同,比表面积愈大,颗粒愈细,透光率愈低,相应的 DC 值愈小,此值即反映了在水中泥沙浓度相同条件下颗粒比表面积对 DC 值的影响。

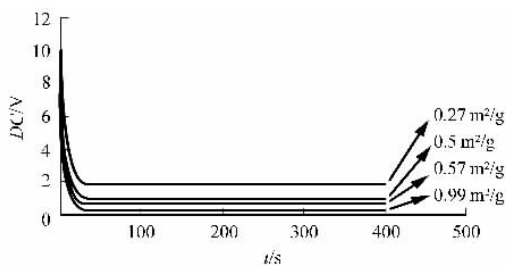


图4 泥沙浓度 90 kg/m^3 时不同比表面积的 DC 值

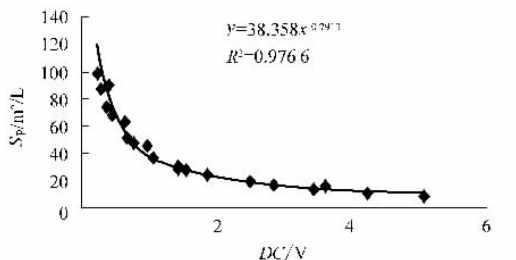


图5 原水 S_p 与 DC 的关系

图5为不同比表面积,不同泥沙浓度的原水 DC 值检测结果与相应的 S_p 值之间的关系。 DC 值为每种原水三次检测结果的平均值,每次检测值取100 s到400 s的平均值。可见二者具有良好的相关性,回归分析得如下关系:

$$S_p = c(U_D)^d \quad (3)$$

式(3)中 c, d 为经验系数,与原水中颗粒性质(主要是密度与光散射性质)有关,对于黄河青铜峡泥沙来说, $c = 38.358, d = -0.791, R^2 = 0.977$ 。

试验研究表明, S_p 与 PDA 的输出值 DC 之间具有相关系数较高的幂函数关系,根据式(1)分析可知,混凝剂投量 D 与 DC 值之间亦应具有幂函数关系。而 PDA 可以实现在线监测控制,若能得到 D 与 DC 值之间的关系,将为水厂生产提供新的投药

控制模型,本研究的目的即在于此。

2 絮凝剂投药量研究

2.1 试验设计及分析方法

试验所用泥沙及原水配制与上述相同,所用高分子絮凝剂为法国 SNF 公司产丙烯酰胺类聚合物,代号为 FO4190SH,为阳离子型高分子聚合物,分子量为 600 万 ~ 800 万,高分子溶液用蒸馏水配制,浓度 0.1%,为保证效果,均为试验当天配制。

试验在容积为 1 L (高 316 mm,直径 63.5 mm) 的沉降柱中进行,沉降柱底部平整,用有机玻璃制成。原水加入高分子絮凝剂后,用带孔圆铁片制成的搅拌器搅拌,再进行静止沉降,记录不同时刻的浑液面位置,计算出温度 20°C 时的平均沉速,试验采用的平均沉速包括加速段(如果存在)和第一等速段。

试验中搅拌器为直径 $d = 52 \text{ mm}$ 的圆铁片,钻有 18 个圆孔,孔径 $= 7 \text{ mm}$ 。搅拌时在 10 s 内上下搅拌 5 次,经计算对于含沙量为 100 kg/m^3 的高浊度水, 20°C 时其 $G = 439 \text{ s}^{-1}$,搅拌历时 10 s, $GT = 4390$,全部试验均采用这个固定的 GT 值,因受水温、含沙量以及操作条件的影响会略有波动,但对试验结果的影响可以忽略。

不同级配、不同浓度的水样用 PDA-2000 进行检测,记录其输出的 DC 值,检测原理及试验操作与上述相同。

2.2 试验结果与分析

试验结果按不同浑液面沉速分为 $0.3 \text{ mm/s}, 0.5 \text{ mm/s}, 0.7 \text{ mm/s}, 1.0 \text{ mm/s}, 1.5 \text{ mm/s}$ 共五组,分别进行统计分析。图6为浑液面沉速 0.3 mm/s 时投药量与 DC 值关系,图6中曲线为最小二乘法拟合曲线。

由图6可知,在一定的浑液面沉速下,高分子絮凝剂投药量与原水 DC 值之间有良好的负相关性, DC 值越大,水中泥沙浓度和颗粒比表面积越小,单

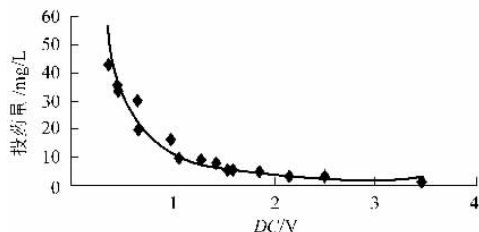


图6 浑液面沉速 0.3 mm/s 时投药量与 DC 关系

位体积水样中颗粒总表面积越小,达到一定的浑液面沉速所需要的投药量也就越少;反之亦然。说明 DC 值确实综合反映了泥沙浓度和颗粒比表面积两项因素,以它作为表征原水特性的参数来研究混凝剂投药量是适宜的。

表 1 是各浑液面沉速下高分子絮凝剂投药量的拟合表达式及其相关系数。

表 1 投药量公式拟合结果

浑液面沉速/mm/s	投药量公式	数据量	相关系数
0.3	$D = 11.21 \times (U_D)^{-1.63}$	16	0.979
0.5	$D = 14.60 \times (U_D)^{-1.47}$	15	0.984
0.7	$D = 16.66 \times (U_D)^{-1.32}$	15	0.982
1.0	$D = 19.72 \times (U_D)^{-1.20}$	15	0.981
1.5	$D = 23.50 \times (U_D)^{-1.08}$	15	0.977

注:数据量合计 76;相关系数平均 0.981。

可见,在浑液面沉速一定的条件下,高分子絮凝剂投药量与原水 DC 值有很好的幂函数关系,即:

$$D = f(U_D) = e(U_D)^f \quad (4)$$

式中 e, f ——经验系数;

D ——高分子絮凝剂投药量, mg/L ;

U_D ——原水 DC 值, V 。

平均相关系数达到 0.981。

这样水厂可根据生产所要求的浑液面沉速建立投药数学模型,用 PDA 检测进水的 DC 值,实现在线自动投药控制。应用本文所建立的关系式来控制投药,不需知道进水泥沙浓度和颗粒粒径分布,只需检测 DC 值,就可准确地控制投药量,大大简化了自动控制系统,且无时间滞后现象,能够适应黄河汛期泥沙浓度和粒度的迅速变化。应该注意的是,对于黄河不同河段的原水,泥沙的密度及光散射性质不同,还应按本文试验方法根据水厂设计操作参数通过试验来确定经验系数 e, f 。

3 结论

通过理论分析和试验研究,将平均透光强度(对应于 DC 值)作为原水特性的表征参数,并得到了单位体积原水中颗粒总表面积 S_p 与 DC 值之间的关系: $S_p = c(U_D)^d$, c, d 为经验系数,与原水中颗粒性质(主要是密度与光散射性质)有关,对于黄河青铜峡泥沙来说, $c = 38.358$, $d = -0.791$, $R^2 = 0.977$ 。建立了黄河高浊度水处理中高分子絮凝剂

投药量 D 与原水 DC 值之间的幂函数关系,即在一定的浑液面沉速下: $D = f(U_D) = e(U_D)^f$, e, f 为经验系数,平均相关系数达到 0.981,从而得到了新的投药量公式。

应用本文所得到的关系式,不需知道原水各项参数,而只要用 PDA 检测进水 DC 值,就可实现准确的自动投药控制,且无时间滞后,大大简化了水厂自动投药控制系统。另外,本文的研究也扩展了光散射粒度分析仪(PDA)的应用范围。

参考文献

- 1 陈保平,金同轨.高浊度水处理时聚丙烯酰胺投量与水中泥沙颗粒表面积关系的研究.西安冶金建筑学院学报,1985,17(2):46~57
- 2 Gregory J. Turbidity fluctuations in flowing suspensions. J Colloid and Interface Science,1985, 105(2): 357~371
- 3 Li Guibai, Gregory J. Flocculation and sedimentation of high-turbidity water. Wat Res, 1991, 25(9): 1137~1143
- 4 金同轨,陈保平,梁春华,唐荣昌.黄河水浊度与含沙量、泥沙粒度之间的关系.中国给水排水,1989,5(1):10~13
- 5 张浩,任增海,蒋素绮,孙东智,吕乃士.高含沙水流沉降规律和阻力特性.见:河流泥沙国际学术讨论会论文集.北京,1980.185~194
- 6 金同轨,陈保平,高湘.高浊度水自动投药基本数学模型及反馈参数的确立.西安冶金建筑学院学报,1993,25(1):117~122

○电话:(029)82204028

E-mail: wanchuntan@sina.com

收稿日期:2003-6-12

《给水排水》编辑部荣获首都广告行业精神文明先进单位称号

在由中共北京市委宣传部、北京市工商行政管理局、北京广告协会联合主办的 2002~2003 年“争创首都广告行业精神文明先进单位”活动中,因《给水排水》编辑部在广告经营中一贯坚持实事求是、诚信经营、严格自律的工作作风,被评为“2002~2003 年度首都广告行业精神文明先进单位”。并成为该年度 132 个广告经营先进单位中唯一一个获此殊荣的专业期刊。获得此项精神文明先进称号的还有中央电视台、北京电视台、北京日报、北京晚报等媒体。

(本刊)