

# 透光脉动检测值与悬浮液颗粒浓度的关系

杨艳玲 李志坚 李圭白 李 星

**提要** 介绍了一种全新的检测方法——透光脉动检测技术。理论分析和实测结果表明,在较低颗粒浓度范围内(本试验在 1~200 NTU 范围内),透光脉动检测值  $R$  与颗粒浓度的平方根确实存在良好的直线关系。这个结果在实用上有重要意义,有可能利用透光脉动检测仪在比浊度更灵敏的粒径范围内( $d > 1\mu\text{m}$ )监测水中颗粒物质的浓度以及总量的相对变化情况,从而成为一个全新的颗粒物质检测指标。

**关键词** 透光脉动检测技术 颗粒浓度 连续在线检测

## 1 理论分析

在有悬浮液流动的管状器皿两侧分别设置光源和检测器,如图 1a 所示。当一束光线透射过含有颗

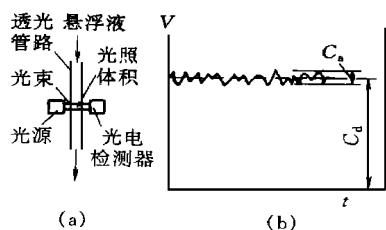


图 1 透光脉动检测原理

粒物质的悬浮液时,光束照射到(或检测到)的悬浮液体积中颗粒物质的数量是随机变化的。因此透射光强度也会随着颗粒数的变化而发生变化,就会观察到图 1b 所示的透射光强度的波动(脉动),变化规律遵循泊松分布。从检测器输出的带有脉动现象的

透射光强度信号可以看成由两部分组成:一部分为直流(DC)成分,相当于平均透射光强度  $\bar{I}$ ;另一部分是非常小的脉动(AC)成分,相当于悬浮液中颗粒数随机变化(脉动)。对于遵循泊松分布的随机脉动,可以用实际电压  $V$  相对于平均电压  $\bar{V}$  的标准偏差  $V_R$  来反映实际颗粒数相对于平均颗粒数的脉动情况(其中  $\bar{V}$  是平均透射光强度  $\bar{I}$  所对应的电压值),经过一定的假设和数字运算就可以得到反映脉动程度的表达式。如果假定光束在悬浮液中的长度为  $L$ ,光束的有效截面积为  $A$ ,对于有粒径分布的非均相分散系统(悬浮液),假定第  $i$  种颗粒的数量浓度和光散射截面积分别为  $N_i$  和  $C_i$ ,经过推导可得到如下表达式:

$$V_R = \bar{V} (L/A)^{1/2} \cdot (N_i \cdot C_i^2)^{1/2} \quad (1)$$

式中求和  $N_i \cdot C_i^2$  是考虑各种粒径颗粒物质的综合影响。

## 参考文献

- 1 G. E. Schrab, K. W. Brown and K. C. Donnelly. Acute and Genetic Toxicity of Municipal Landfill Leachate. Water, Air and Soil Pollution, 1993, 69(1~2): 99~112
- 2 郑曼英,李丽桃. 垃圾渗滤液中有机污染物初探. 重庆环境科学, 1996, 18(4): 41~43
- 3 James O. Leckie, John G. Pacey, and Constantine Hahadakis. Landfill Management With Moisture Control. Journal of the Environmental Engineering Division, 1997, 105(EE2): 337~355
- 4 李国建,徐迪民,于晓华. 垃圾填埋场渗滤水回灌技术的研究, 填埋场对渗滤水净化能力的研究. 同济大学学报(自然科学版), 1997, 25(2): 195~199
- 5 徐迪民,李国建,于晓华,吴蔚萍. 垃圾填埋场渗滤水回灌技术

的研究. 垃圾渗滤水填埋场回灌的影响因素. 同济大学学报, 1995, 123(4): 371~375

- 6 唐家富. 土壤净化垃圾填埋场渗滤液的研究. 同济大学硕士学位论文, 1996
- 7 P. A. 维林西德著,吴柏青译. 资源回收工程原理. 北京:机械工业出版社, 1985
- 8 何品晶,邵立明. 城市垃圾 BDM 测试方法的特性及其应用. 环境卫生工程, 1994(2): 27~30

作者通讯处:200002 上海市圆明园路 133 号

上海市市政工程设计研究院水工室

电话:(021)63217489-5802 徐迪民:同济大学科研处

收稿日期:1998-1-13

如将上式表达成比值的形式,用  $R$  表示该比值,则:

$$R = V_R / \bar{V} = (L/A)^{1/2} \cdot (N_i \cdot C_i^2)^{1/2} \quad (2)$$

对于某一特定的检测仪器,其  $L/A$  值是常数,因此  $R$  值仅与颗粒物质的数量浓度和光散射特性有关。因  $V_R$  和  $\bar{V}$  值是从实测电压值  $V$  中分离得到的,由于检测仪器的电子元器件老化漂移,以及器皿表面粘污对  $V$  值造成的影响,对分子  $V_R$  和分母  $\bar{V}$  值是相同的,所以它们的比值  $R$  则消除了这些影响,这一点从式(2)中也可明显地看出。这是该检测技术不同于一般光电检测仪器的一个突出特点,使得检测仪器在运行或操作中免除了经常的清洗和标定过程,这对于低颗粒浓度的测定特别重要,并为实现长时间连续在线检测提供了理论依据和基础。

从式(2)中可看到,  $N_i \cdot C_i^2$  项是悬浮液中所有颗粒的综合结果。对于较小粒径的颗粒,其散射截面积较小,相应的  $N_i \cdot C_i^2$  也较小(尽管有时其颗粒浓度相对较大);较大颗粒的散射截面积相对较大,即使颗粒浓度较低,仍能得到较大的  $N_i \cdot C_i^2$  值,对  $R$  值的贡献相对较大,所以  $R$  值主要由大颗粒的多少决定。如用  $R$  值作为该检测技术的有效表达值,则检测值  $R$  对较小颗粒的检测不灵敏,而对较大颗粒的检测很灵敏。这是该技术的另一个非常重要的特性。

检测值  $R$  在理论上既与颗粒浓度  $N_i$  有关,也与颗粒尺寸因子  $C_i$  有关,这一特性现已成功地用于检测颗粒粒径变化的絮凝过程控制中。但是,  $R$  与  $N_i$  有关的论断至今尚未得到充分研究和试验验证。

本试验研究使用人工配制的悬浮液母液,可以假定其颗粒组成和分布状态基本不变。由于  $L/A$  项为常数,如果悬浮液的颗粒组成和分布状态不变,则当悬浮液浓度发生变化时,  $N_i \cdot C_i^2$  项中仅有  $N_i$  变化。假设颗粒浓度变化  $m$  倍,即由  $N$  变化到  $mN$ ,则  $R$  值变化如下:

$$\begin{aligned} R_m &= V_R / \bar{V} \\ &= (L/A)^{1/2} \cdot (m \cdot N_i \cdot C_i^2)^{1/2} \\ &= m^{1/2} \cdot R \end{aligned} \quad (3)$$

可见,  $R$  值与颗粒浓度变化倍数的平方根成正比。

## 2 $R$ 值与颗粒浓度的关系

试验都使用同一种泥液母液配制,其颗粒粒径分布可认为是一样的。由于水的浊度是由各种颗粒组分的浊度加和而成,各组分的浊度又与各组分的颗粒浓度成正比,在颗粒分布不变的情况下,浊度的变化应能反映颗粒浓度的变化。本试验采用浊度作为颗粒浓度的替代值进行分析和计算。

为了证实浊度与颗粒浓度的关系,进行了以下试验。试验向 1L 容积的烧杯中加入一定体积的泥水母液,加清水至 1L,用搅拌机搅拌均匀,测定水样的浊度。图 2 绘出了浊度与颗粒浓度的关系;图 3 中  $Y$  轴为向烧杯水中投加的泥水母液体积,代表颗粒浓度; $X$  轴为测出的浊度值。由图 2 可见,在试验范围内,浊度与颗粒浓度有良好的线性关系。

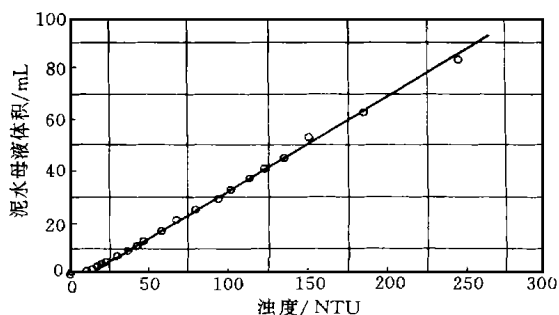


图 2 悬浮液颗粒浓度与浊度相关性

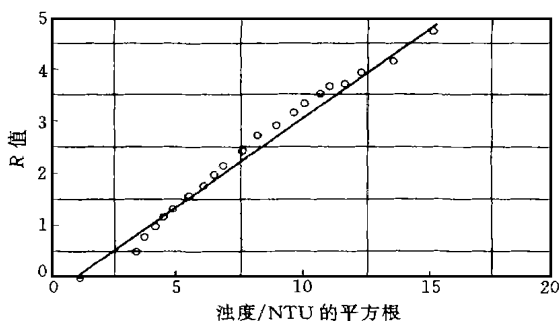


图 3 浊度值与  $R$  值相关性

上述试验中,在测定水样浊度的同时,也测定检测值  $R$ ,结果如图 3 所示。在图 3 中用浊度值的平方根作为  $X$  轴,  $R$  值为  $Y$  轴,得到了浊度值与  $R$  值的关系。可见,从大约 10NTU 到 230NTU 范围内,它们都呈很好的直线关系。对试验数据进行线性回归后得到如下的回归方程:

$$Y = 0.36 X - 0.40 \quad (4)$$

其线性相关系数 为 0.9929。

在更低的浊度 1NTU 到 60NTU 范围内的另外一组试验,也获得了相同的结果,如图 4 所示,两者之间仍存在良好的直线关系。

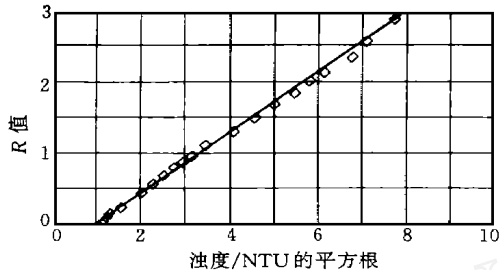


图 4 浊度值与  $R$  值相关性

综上所述,在浊度低于 200NTU 以下的范围内, $R$  值与颗粒浓度的平方根之间确实存在直线关系。这里用试验很好地验证了上述理论分析的结果。这个结果在实用上有重要意义。

浊度是一种应用最广的检测水中悬浮颗粒浓度的方法,浊度测定出的是水中悬浮颗粒浓度的光学特性,它只是间接地反映出水中悬浮颗粒的浓度值。但由于其检测方便、快捷,能在线连续检测的特点,所以在工程中得到广泛应用。但是,浊度检测对不同粒径悬浮颗粒的检测精度是不同的,对粒径较小的颗粒,检测精度较高,而对粒径较大的颗粒,检测精度较低。图 5 为浊度检测对不同粒径颗粒的检出极限浓度值,由图 5 可见,随颗粒粒径增大,检出极限浓度也不断增高。透光脉动检测技术则恰恰相反,检测值对粒径较大的颗粒更为灵敏。图 5 也给出了透光脉动检测对不同粒径颗粒的检出极限浓度值,由图 5 可见,随颗粒粒径增大,检出极限浓度迅速降低。图 5 中两曲线相交于  $0.8\mu\text{m}$  处,即对于  $d$

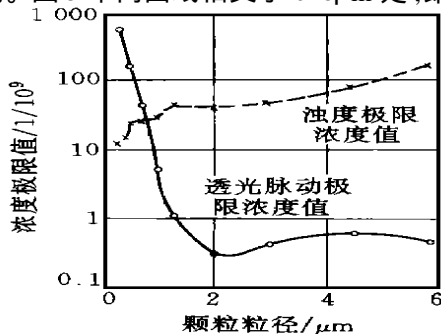


图 5 浊度及  $R$  值检出极限浓度曲线

$<0.8\mu\text{m}$  的颗粒,浊度检测技术较灵敏,而对  $d > 0.8\mu\text{m}$  的颗粒,透光脉动检测技术较灵敏。

综上所述可知,透光脉动检测技术正好弥补了浊度检测技术对粗颗粒浓度不灵敏的不足。如能将两者结合起来,将使得在整个颗粒粒径范围内都有了高精度的颗粒浓度检测方法,这无疑是非常有意义的。

透光脉动检测技术也具有与浊度检测同样方便、快捷和在线连续检测的特点,所以它将像浊度一样成为一个新的颗粒物质浓度的检测指标。

### 3 结论

透光脉动检测技术是一种全新的水中悬浮颗粒浓度的检测方法。理论的分析 and 推导表明,在较低颗粒浓度范围内, $R$  值应与颗粒浓度的平方根呈正比例关系,因此有可能利用透光脉动方法检测水的颗粒浓度及其变化。但这方面至今尚未得到充分研究和试验验证。本试验研究证实了它们在 1 ~ 200NTU 范围内确实存在良好的直线关系。这个结果在实用上有重要意义。

利用透光脉动检测技术检测水中颗粒物质的浓度,在较粗颗粒粒径 ( $d > 0.8\mu\text{m}$ ) 范围内能得到比浊度检测更精确的检测结果,它与浊度一起将使整个颗粒粒径范围内都有了高精度的检测方法,检测值  $R$  也将成为一个新的检测指标。

### 参考文献

- 1 Gregory J and Nelson D W. A New Optical Method for Flocculation Monitoring in Solid-Liquid Separation (Ed J Gregory). Ellis Horwood, Chichester, 1984. 172 ~ 182
- 2 Gregory J. Turbidity Fluctuations in Flowing Suspensions. J Colloid Int Sci, 1985. 105, 357 ~ 371
- 3 Gregory J and Nelson D W. Monitoring of Aggregates in Flowing suspensions. Colloids Surfaces, 1986(18) : 175 ~ 188
- 4 李星. 悬浮液透光率脉动检测技术与应用研究. 哈尔滨建筑大学博士学位论文, 1995
- 5 杨艳玲. 透光脉动检测技术在低浊度水中应用研究. 哈尔滨建筑大学硕士学位论文, 1998

作者通讯处: 150008 哈尔滨建筑大学新区 805 信箱

李志坚 青岛市自来水公司

电话: (0451) 6282291

收稿日期: 1998-11-16

## CONTENTS

**Sludge Disposal Design of the 9th Waterworks in Beijing** ..... *Pan Ming et al* (1)

**Abstract :** The sludge disposal project and the process design of the 9th waterworks in Beijing are briefly presented in this paper. The operation shows that the supernatant fluid can be recycled back successively to the distribution tank for reuse. Dewatered sludge cakes with moisture of 50 % ~ 60 % from the frame type filter-press were obtained.

**The Limitations and Role of Dual Water Supply for Relieving Deterioration of Portable Water** ..... *Li Tian et al* (4)

**Abstract :** Based on literature retrieval and residential water usage analysis, the limitations of a kind of dual water supply, which only supplies several liters of drinking water per capita per day other than subpotable water, is discussed; meanwhile the difference between the dual water supply and common dual distribution systems is pointed out. It is pernicious to practice this kind of dual water supply as complete dual distribution systems for large cities. Nevertheless, the dual water supply might be available in residential districts in today's China as an interim measure.

**Cleaning, Regeneration and Reuse of Polluted Filtrating Materials** ..... *Tian Deyong et al* (9)

**Abstract :** The reuse instead of waste of the polluted filtrating material was studied. In this paper the cleaning and regeneration manipulation process and the reuse of polluted filtrating material are presented. The pilot run says that good performance has been obtained by regenerated materials.

**Operation of Urban WTP in South China** ..... *Shao Linguang* (11)

**Abstract :** Always the concentration of the inlet wastewater which loads the WTP in south China is much lower than the expected level in the design stage. The reasons to cause this problem and the countermeasures are discussed. Also the selectable design method and process are proposed in this paper.

**Study on Deodorizing and COD Degradation of Composite Biofilm Reactor** ..... *Guo Jing et al* (14)

**Abstract :** A new facility called Composite Biofilm Reactor has been adopted for deodorization of  $H_2S$ , a gas has high intensity of foul odor. When the volumetric load  $N_v$  165 g  $H_2S$  / (m<sup>3</sup> · d) and the inlet concentration of  $H_2S$  = 6 ~ 340 mg / m<sup>3</sup>, a removal ratio up to 90 % for  $H_2S$  has been obtained and at the same time a good removal of COD in the liquid was observed.

**Mathematical Model for Hydraulic Calculation of Water Distributing Network in Shenzhen** ..... *Sun Wenshen et al* (17)

**Abstract :** The Mathematical Model for Hydraulic Calculation of Water Distributing Network in Shenzhen has been established. The method to establish and the usage of this model including the principle to simplify the nodes and sections of pipeline are presented. Also some assumes to improve and maintain the model are described.

**Study on Influence Factors on the Quality of Leachate of Municipal Refuse Landfill** ..... *Lu Chenghong et al* (20)

**Abstract :** The leachate is one of the main pollutants in the landfills. The determination of leachate quality is a prerequisite for its treatment. Lysimeters were established in the laboratory to study the impact to the leachate in cases of water make-up and leachate recycling operations. The results indicate that the steady run of land filling and leachate seepage were accelerated and the quality of the leachate became homogenous at both cases. The leaching out of pollutants increased in case of water make-up, opposite in case of leachate recycling.

**Correlation on the Readout of Transmitted Fluctuation and the Concentration of SS Particles** ..... *Yang Yanling et al* (23)

**Abstract :** A new monitoring method, the technique of transmitted light fluctuation (TLF), is introduced in this paper. The results of theoretical analysis and practical verification show that good linear correlation of the readout value  $R$  to the square root of particle concentration is really exists in the range of lower particle concentration (turbidity is about 1 to 200 NTU in this experiment). This has great significance in practice, as it is possible to detect the concentration and mass changes of particle matters in water by TLF monitor within the range of particle diameter ( $d > 1 \mu m$ ) with higher sensitivity more than turbidity monitoring. Sequentially it might become a quite new monitoring index of particle matters in water.