

均质滤料直接过滤性能的评价指标^{*}

景有海 金同轨 范瑾初

提要 通过量纲分析法,结合均质滤料直接过滤试验,提出了均质滤料直接过滤性能的评价指标—— JF 指标。

关键词 过滤性能 评价指标 均质滤料

0 前言

过滤过程是饮用水处理中不可缺少的一个重要环节。对过滤性能的评价,目前还无统一指标来衡量。一般认为,过滤时间长,水头损失小,则过滤性能好,否则则差。但这样的评价比较笼统,主观因素影响较大,横向间缺乏比较性。杰米特(Gamet)和雷德美哈尔(Rademacher)提出了如下过滤性能的评价指标:

$$FPI = \frac{VT}{H_t} \quad (1)$$

式中 V ——过滤速度, m/h ;

T ——过滤时间, h ;

H_t ——过滤终期水头损失, m 。

式(1)为一无量纲纯数。它实际上是用单位滤池面积的周期产水量与过滤终期的水头损失的比值来评价过滤性能的。此指标值越大,说明过滤性能越好。

*国家自然科学基金资助项目(59778022)。

式(1)计算简单,便于应用,但不全面,缺乏考虑水质对过滤过程的影响。进出水水质不同,对过滤过程的影响很大,即使是同一过滤过程,当出水浊度的限值取不同值时(例如取 $1NTU$ 或 $3NTU$),过滤时间 T 有很大的差别,因而 FPI 指标值也会差异很大。美国国家暂行饮用水水质标准规定浊度为 $1NTU$;欧共体与世界卫生组织的饮用水标准建议浊度为 5 ,最大不超过 $10(SiO_2 TU)$;我国饮用水水质标准规定浊度不超过 3 度,特殊情况下不超过 5 度,但在实际运行中,很多自来水厂将其控制在 1 度以下。这样,用式(1)计算的 FPI 指标值缺乏横向比较性。

克里斯伯(Cleasby)建议采用如下指标来衡量过滤性能:

$$FI = \frac{C}{H} \quad (2)$$

式中 C ——过滤系数;

C ——单位滤层中的截污量;

H ——过滤终期的水头损失增长量。

去除 Hg^{2+} 。对于 Hg^{2+} 的去除,丙烯酸系的树脂去除能力大于苯乙烯系的树脂;苯乙烯系带伯胺官能团的树脂的去除能力大于带叔胺及仲胺官能团的树脂;而带季胺官能团的树脂对 Hg^{2+} 的去除能力很差。

(4) 703 树脂除 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 的产水试验结果表明,703 树脂确实可有效去除微污染源水中的重金属(Hg^{2+} 、 Cd^{2+}),而碱金属和碱土金属不被树脂所吸附;过渡金属 Fe 离子与 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 之间没有竞争吸附,而过渡金属 Mn 离子则与 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 共同参与竞争吸附反应。

参考文献

- 1 W H Hoell. Elimination of heavy metals from water by means of weakly basic anion exchange resins. Proc. IEX '96, Soc of Chem, Hartwells Ltd. Bodmin, U K, 1996
- 2 何炳林,黄文强主编. 离子交换与吸附树脂. 上海:上海科技教育出版社,1995

作者通讯处:100084 北京清华大学能科楼 601 室

电话:(010)62784843(0)

E-mail:tonggch@263.net

收稿日期:1999-10-8

式(2) 直接利用滤层中的截污量和水头损失净增长量来衡量过滤性能,较为科学。但和很难确定,因而实际上难以应用。

艾福斯(Ives)在式(1)的基础上,考虑到进出水水质的影响,提出了如下过滤性能评价指标:

$$F = \frac{H_t C}{C_0 V T} \quad (3)$$

式中 C ——过滤过程中的平均出水浊度;

C_0 ——过滤过程中的平均进水浊度,其它符号同前。

式(3)仍为一无量纲纯数,其优点是考虑了进出水水质对过滤过程的影响,此值越小,说明过滤性能越好。但在整个过滤过程中,出水浊度在允许值范围内是不断变化的,其出水浊度的平均值计算较为困难,因而实际应用中有一定难度。

布斯克(Bisker)和杨(Young)提出了如下过滤性能评价指标:

$$SC = \frac{(C_0 - C) V T}{H_t} \quad (4)$$

此式虽然也考虑了进出水水质的影响,但因 SC 为一有量纲量(为浊度量纲),因而不是最佳参数。

利卡斯(Lekkas)则提出了如下经过修正的过滤性能评价指标:

$$MFI = \frac{H_t}{H_t C_t (C_0 - C_t) V T} \quad (5)$$

式中 H_t —— $(H_{lim} - H_t) / H_{lim}$ 为剩余水头的比率,其中 H_{lim} 为极限水头损失, H_t 为计算时的水头损失;

C_t —— $(C_{lim} - C_t) / C_{lim}$ 为计算点的富余浊度比率,其中 C_{lim} 为允许极限浊度, C_t 为计算时的出水浊度,其它符号同前。

在实际生产中,人们总是充分利用过滤水头,以减少能量浪费。然而在式(5)中,当 H_t 接近 H_{lim} 时, H_t 趋近于 0,致使 MFI 指标值趋于无穷大,得出过滤性能差的结论,这显然与实际结论相违背。

以上各指标从不同角度反映了过滤性能,但都未考虑滤层厚度对过滤性能的影响。显然,在其它条件相同的情况下,滤层厚度薄,说明滤层截污量大,运行和投资成本低,过滤性能好,但上述各指标

均无法反映出来。

1 JP 指标

1.1 过滤性能影响因素的确定

对过滤性能的评价,可通过以下几个因素加以确定:

(1) 滤速 V : 滤速大,则滤池面积减小,节省占地,因而过滤性能好;

(2) 过滤时间 T : 连续过滤时间长,则周期产水量大,反冲洗次数少,节约自用水量,过滤性能优良;

(3) 出水浊度 C_e : 出水浊度小,水质优良,则过滤性能好;

(4) 进水浊度 C_0 : 进水浊度大,说明滤池能接受的负荷高,过滤性能优良;

(5) 过滤终期的水头损失 H_t : 过滤终期的水头损失小,则能量消耗低,说明过滤性能好;

(6) 滤层厚度 L : 所需要的滤层厚度薄,则滤池高程小,投资成本小,过滤性能好。

因此,过滤性能可用上述各因素的函数关系加以衡量,即:

$$JP = f(V, T, C_e, C_0, H_t, L) \quad (6)$$

为了使 JP 指标为一纯数,将上式无量纲化。取 V, T, C_e 为基本量纲,其量纲为:

$$[V] = L/T \quad (7)$$

$$[T] = T \quad (8)$$

$$[C_e] = N(\text{指浊度量纲}) \quad (9)$$

利用 定理,定义:

$$1 = \frac{C_0}{V^1 T^1 C_e^1} = \frac{C_0}{C_e} \quad (10)$$

$$2 = \frac{H_t}{V^2 T^2 C_e^2} = \frac{H_t}{V T} \quad (11)$$

$$3 = \frac{L}{V^3 T^3 C_e^3} = \frac{L}{V T} \quad (12)$$

则式(6)可改写成:

$$JP = f_1 \left[\frac{C_0}{C_e}, \frac{H_t}{V T}, \frac{L}{V T} \right] \quad (13)$$

1.2 JP 指标计算式的确定

式(13)为一隐式关系,为了使其显式化,考虑到出水浊度 C_e 有可能为 0,要使 JP 值永远有意义,参考各因素对过滤性能的影响评价,取 JP 指标值的显式计算式为:

$$JP = \frac{H_i}{VT} \times \frac{L}{VT} \div \frac{C_0}{C_e} = \frac{H_i L C_e}{V^2 T^2 C_0} \quad (14)$$

式(14)中各因素对 JP 值的影响,完全能反映出过滤性能的好坏。显然, JP 值越小,过滤性能越好。式(14)中 JP 与 T^2 成反比,而与 C_e 成正比。我们知道,在同一过滤过程中,当 C_e 取值不同时, T 值亦不同, C_e/C_0 对 JP 值的影响难以与 T 对 JP 值的影响相抗衡。为此,对式(14)进行修正如下:

$$JP = \frac{H_i L C_e}{V^2 T^2 (C_0 - C_e)} \quad (15)$$

式(15)即为本文作者提出的新的衡量过滤性能的评价指标 JP 的计算式。

2 应用实例

图1、图2为采用硫酸铝混凝剂,投加量为10mg/L,原水浊度10NTU,滤速5m/h,通过滤层厚度60cm,滤料粒径分别为0.9mm和1.35mm的直接过滤曲线。

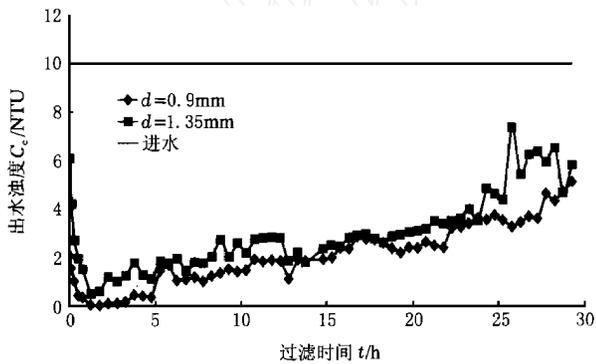


图1 60cm 滤层过滤出水浊度

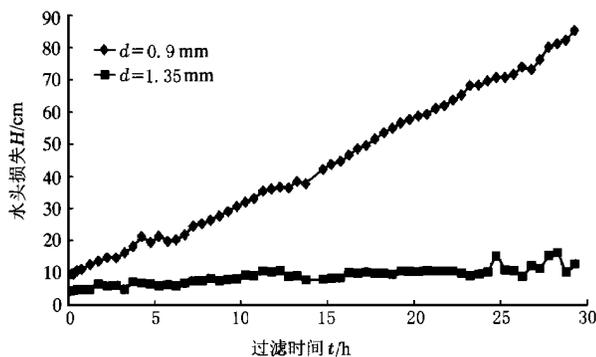


图2 60cm 滤层过滤水头损失

图3、图4为采用PAM(F04240)混凝剂,投加量为0.05mg/L,原水浊度10NTU,滤速5m/h,通过滤层厚度60cm,滤料粒径分别为0.9mm和1.35mm

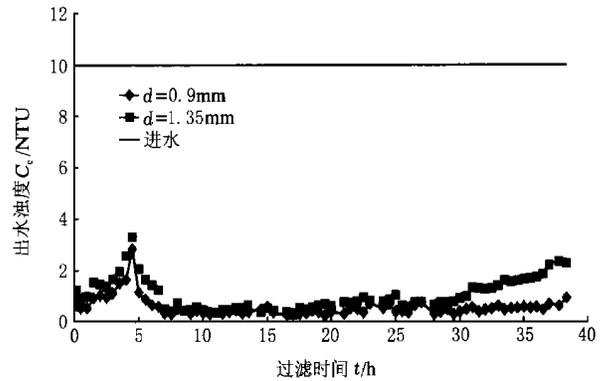


图3 60cm 滤层过滤出水浊度

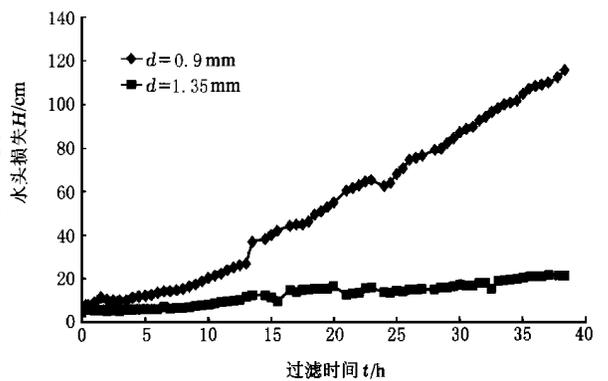


图4 60cm 滤层过滤水头损失

的直接过滤曲线。

图5、图6为采用PAM(F04240)混凝剂,投加量为0.05mg/L,原水浊度5NTU,滤速5m/h,通过滤层厚度90cm,滤料粒径分别为0.9mm和1.35mm的直接过滤曲线。

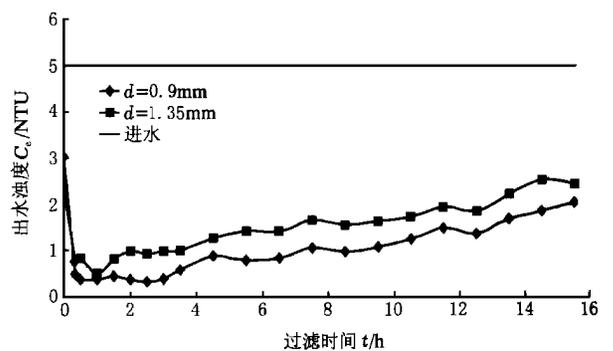


图5 90cm 滤层过滤出水浊度

表1为采用上述直接过滤数据计算的过滤性能指标。

从表1过滤指标计算结果可以看出:

(1)对于1号样本,水头损失和出水浊度同步均

表 1 直接过滤过滤性能指标值

序号	层厚 L / cm	粒径 d_{10} / mm	混凝剂	进水浊度 C_0 / NTU	滤速 V / m/h	出水浊度 C_e / NTU	过滤时间 T / h	水头损失 H_t / cm	FPI	F ($\times 10^{-4}$)	SC	JP ($\times 10^{-5}$)	周期产 水量 / m^3/m^2
1	60	0.9	硫酸铝	10	5	1	5.1	20	128	7.84	1 152	2.05	25.5
						2	15.6	44	177	11.28	1 416	1.08	78.0
						3	22.3	63.5	176	17.09	1 232	1.31	111.5
2	60	1.35	硫酸铝	10	5	1	1.0	6	83	12.0	747	16.0	5.0
						2	7.3	8	456	4.38	3 648	0.90	36.5
						3	19.7	10.5	938	3.20	6 566	0.28	98.5
3	60	0.9	PAM	10	5	1	32.3	110	147	6.81	1 323	0.28	161.5
						2	24.0	17	706	1.42	6 354	0.08	120
4	60	1.35	PAM	10	5	2	31.5	21	750	2.67	6 000	0.13	157.5
						1	7.4	41.5	178	11.22	1 602	1.71	74
5	90	0.9	PAM	5	10	2	15.8	63	251	15.95	2 008	1.51	158
						1	3.8	14.5	262	7.63	2 358	2.26	38
6	90	1.35	PAM	5	10	2	13.2	22	600	6.67	4 800	0.76	132

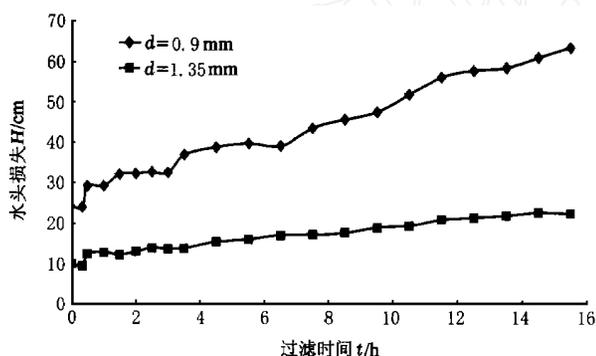


图 6 90cm 滤层过滤水头损失

匀增长,因而对取不同出水限值时, JP 值变化不大,加之 JP 值较小,说明此种工况过滤性能良好。

(2) 对于 2 号样本,因滤料粒径较大,加之滤层较薄,较难满足低浊度出水要求。因此,对于要求出水浊度限值为 1NTU 时,过滤时间很短, JP 值很大,说明此种工况不好。但当出水允许浊度较高时,则可取得较长的过滤时间和较多的产水量, JP 值较小,说明工况良好。

(3) 对于 3 号、4 号样本,因投加高分子混凝剂,滤层截污效果好,出水浊度低,过滤过程较理想, JP 值较小,说明工况好。

(4) 对于 5 号样本,虽然过滤过程仍然可行,周期产水量也较大,但因滤层较 60cm 为厚,其 JP 指标值并不小,过滤性能与 3 号样本相比,后者更优。

(5) 6 号样本的情况与 2 号样本有类似情形。

由此可见, JP 指标更加科学地描述了过滤过程的性能。

3 结语

在过滤性能评价指标计算式中,考虑滤层厚度因素对过滤性能的影响,将更加科学、合理。式(15)是本文作者提出的新的过滤性能评价指标计算式。

参考文献

- 1 M B Gamet, J M Rademacher. Measuring filter performance. Wat Wks Eng, 1959
- 2 J L Cleasby. Approaches to a filtrability index for granular filters. J Am Wat Wks Assn, 1969: 372 ~ 381
- 3 K J Ives. Specification for granular filter media. Effl and Wat Treat Jour, 1975: 297 ~ 305
- 4 C D Bisker, J C Young. Two - stage filtration of secondary effluent. J Wat Pollution Control Federation, 1977: 319 ~ 331
- 5 T D Lekkas. A Modified Filtrability Index for Granular Bed Water filters. filtration & separation, May/June 1981: 214 ~ 216
- 6 刘鹤年. 水力学. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998, 12

作者通讯处: 景有海 金同轨 710055 西安建筑科技大学
环境与市政工程学院

电话: (029) 5234941

范瑾初 200092 上海同济大学环境工程学院

收稿日期: 1999-7-26