

粒径及厚度对双层滤料滤池过滤的影响

王 群¹ 李 涛¹ 叶琳嫣¹ 马 军² 王静超³ 何文杰³ 韩宏大³

(1 西南交通大学地球科学与环境工程学院,成都 610031; 2 哈尔滨工业大学市政环境工程学院,哈尔滨 150090;

3 天津自来水(集团)有限公司,天津 300040)

摘要 滤料粒径(d)与滤层厚度(L)是影响过滤效果的关键因素,通过改变双层滤料的 $\Sigma L/d$,考察二者对双层滤料滤柱过滤效果的影响。试验结果表明:在 $\Sigma L/d$ 为1 400时,滤柱的出水效果较好,并且有很好的抗冲击能力;同时过滤效果受预处理以及进水浊度影响较大,预氧化可以明显改善过滤效果;在进水水质较好的情况下, $\Sigma L/d$ 分别为1 400、1 300的滤柱出水水质相差不多,无烟煤级配对过滤效果影响较小。

关键词 滤料级配 L/d 水头损失 浊度

0 前言

过滤是饮用水处理中不可缺少的一个环节,直接影响水厂的出厂水水质。过滤受到诸如滤料粒径、滤层厚度、滤速、过滤方式、滤前水水质及其预处理程度等因素的影响^[1~3]。滤池滤料粒径(d)及滤层厚度(L)是影响过滤效果的重要因素^[4~10],在进水水质相同的情况下,减小滤池滤料的粒径或增加滤料层厚度可以提高滤池出水效果,但会降低滤池的产水量以及过滤周期。所以,如何进行适当的滤料级配是滤池设计中的关键问题。

据国内外很多研究学者报道^[11],一般认为 L/d 越大,滤料的表面积越大,过滤效果越好。对于无烟煤/石英砂双层滤料滤池来说,其过滤效果主要受 $\Sigma L/d$ 的影响:

$$\Sigma \frac{L}{d} = \frac{L_1}{d_1} + \frac{L_2}{d_2} \quad (1)$$

式中 L_1 ——石英砂滤料层厚度,mm;

d_1 ——石英砂滤料粒径,mm;

L_2 ——无烟煤滤料层厚度,mm;

d_2 ——无烟煤滤料粒径,mm。

从式(1)中可以看出,当 $\Sigma L/d$ 、均匀系数以及进水水质等均相同的情况下,过滤效果也基本相同。

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07424-006, 2009ZX07424-005);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(SWJTU11BR053)。

但是对于无烟煤/石英砂双层滤料滤池来说,由于无烟煤及石英砂的表面性质的不同,截留悬浮颗粒效果以及含污能力等也不相同,通过改变石英砂或无烟煤的 L/d 来使 $\Sigma L/d$ 改变的办法能否取得相同的效果呢?所以,本文在进水条件以及均匀系数等相同的情况下,通过改变石英砂或无烟煤的 L/d 使 $\Sigma L/d$ 改变的办法来考察滤柱出水效果以及水头损失等的变化。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置及材料

滤前水为气浮出水。滤柱直径为90 mm,高3 m,每个滤柱配有7根测压管,滤速为9 m/h,采用变水头等速过滤。

为了便于实际工程应用,试验中的滤料粒径(d)采用有效粒径(d_{10})表示。另外,滤料的均匀系数(k_{60})以及不均匀系数(k_{80})是反应过滤效果的一个重要参数,二者的改变势必会影响到杂质沿滤层方向的迁移,较小的 k_{60} 会取得较好的过滤效果。不同滤柱的级配见表1。

表1 不同滤柱滤料级配

标号	滤料	有效粒径 d_{10}/mm	滤层厚度 L/mm	均匀系 数 k_{60}	不均 匀系 数 k_{80}	L/d	$\Sigma \frac{L}{d}$
I 滤柱	无烟煤	0.93	350	1.3	1.4	376	1 400
	石英砂	0.537	550	1.3	1.4	1 024	
II 滤柱	无烟煤	1.27	350	1.3	1.4	276	1 300
	石英砂	0.537	550	1.3	1.4	1 024	
III 滤柱	无烟煤	0.93	350	1.3	1.4	376	1 100
	石英砂	0.760	550	1.3	1.4	724	

I、II、III 滤柱 $\Sigma L/d$ 分别为 1 400、1 300、1 100,石英砂高度均为 550 mm,无烟煤高度均为 350 mm。I、II 滤柱石英砂相同,无烟煤的级配不同,III 滤柱与 I 滤柱的无烟煤相同,但石英砂的级配不同。

1.2 测定方法

水的浊度采用浊度仪(HACH,2100N)测定,当测定膜滤后水的浊度时,首先将水样经过 0.45 μm 的滤膜过滤之后,再通过浊度仪测定其浊度;滤前水经过滤层的水头损失采用测压管测定,每根滤柱配有 7 根测压管,通过测定测压管之间的高度差来计算对应滤层的水头损失;不可滤残渣采用《水和废水监测分析方法》中相应的不可滤残渣测定方法。

2 试验结果与讨论

试验的进水浊度在 (1.6 ± 0.9) NTU,投加的预氧化剂为液氯,投药量为 0.6 mg/L。本文通过改变石英砂或无烟煤的 L/d 使 $\Sigma L/d$ 改变的办法,考察了其对滤层的滤后水浊度、膜滤后水的浊度、滤层水头损失以及不可滤残渣等的影响。

2.1 滤料级配对滤柱出水浊度的影响

浊度是评价过滤效果最主要的指标之一。水的浊度大小与水中颗粒的数量、大小、折光率及入射光的波长有关^[12]。

由于滤前水取自气浮池的出水,受气浮池排泥以及原水水质等影响,滤前水水质有一定的波动,见图 1 和图 2,图 1、图 2 可能并不能体现出滤柱出水在一个周期内真实的变化情况,但是可以有效地对不同滤柱出水水质进行对比,从而得出滤料级配对过滤效果的影响。从图 1 中可以看出:在初始的一段时间内,I 滤柱的出水效果要好于 II、III 滤柱的出

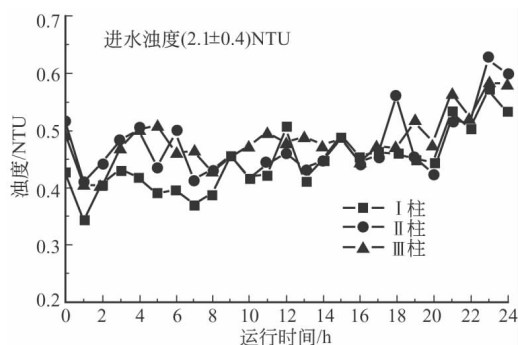


图 1 不同级配对滤柱出水浊度的影响(未加预氧化药剂)

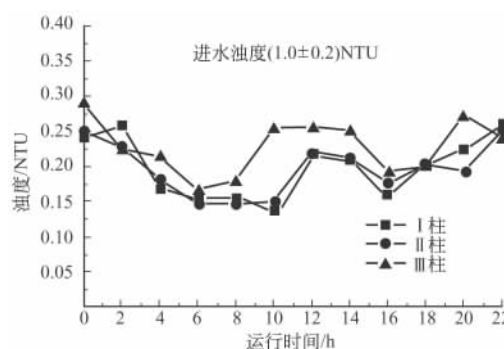


图 2 不同级配对滤柱出水浊度的影响(投加预氧化药剂)

水效果,但在接下来的时间里 I 滤柱与 II 滤柱的出水相差不多,原因可能是由于在开始的一段时间内由于无烟煤粒径较小,表面吸附的物质较少,无烟煤的级配在很大程度上影响了出水水质,而在接下来的时间里随着无烟煤表面杂质的增多,无烟煤的级配不再是主要的影响出水水质的因素,保证出水水质的石英砂的级配开始起作用,由于 I、II 滤柱石英砂相同,在运行过程中的中后期,I、II 滤柱出水浊度相差不多,并且均好于 III 滤柱的出水浊度。总的来说滤池的出水浊度还是随 L/d 的增加而减小的。

从图 2 可以看出:投加预氧化后,在整个周期内 I、II 滤柱的出水浊度相差不多,I、II 滤柱浊度相差较小的原因可能是由于预氧化提高了气浮池出水效果,滤池进水中颗粒表面的电位发生改变,使得无烟煤对出水水质影响较小;III 滤柱的出水效果明显差于其他两个滤柱出水效果,原因可能是由于当滤柱进水效果较好时,水中的颗粒物明显减少,经过滤柱过滤后,颗粒物的去除效率就会相应降低,而此时受滤料粒径的影响就会相应增大,石英砂的级配开始体现出较大的作用。

由此可见,过滤的前处理条件以及滤池的进水水质对无烟煤/石英砂双层滤料的级配以及出水效果有很大的影响。当滤池进水浊度相对较高时,无烟煤以及石英砂的级配共同影响了滤池的出水效果;当滤池进水浊度相对较低时,石英砂的级配在过滤过程中起到了非常重要的作用。由于无烟煤不容易筛分得太细,且筛分得过细损失煤料太多,在反冲洗时,无烟煤也容易流失,根据经验最小粒径不小于 1.0 mm 较为合适,且由于含污能力要求选择比较均匀的粒径。所以,当滤池的进水浊度相对较低时,

可以适当地增大无烟煤的粒径。

2.2 滤料级配对滤柱出水膜滤后浊度的影响

将水样经过 $0.45\ \mu\text{m}$ 滤膜过滤后,考察不同级配对水中小粒径的颗粒物以及有机物等的影响。

从图 3 和图 4 中可以看出,膜滤后水中的物质也引起了一定的浊度,虽然膜滤后水的浊度都较低,并且相差不多,均小于 $0.14\ \text{NTU}$,但是其变化规律与前面浊度的变化规律相似。I 滤柱投加预氧化后,膜滤后水的浊度明显低于 II 滤柱,并且好于未投加预氧化药剂的情况。

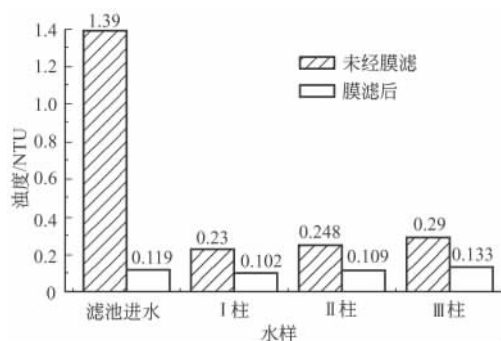


图3 不同级配对膜滤后水浊度的影响(未投加预氧化药剂)

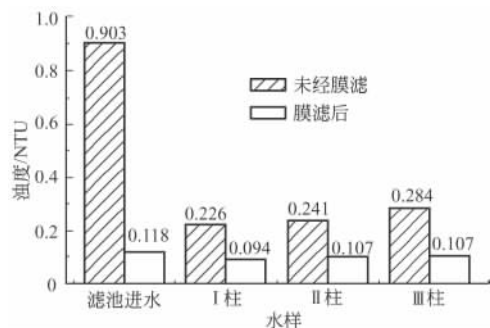


图4 不同级配对膜滤后水浊度的影响(投加预氧化药剂)

此现象产生的原因可能是:膜滤后水的浊度体现出了能通过 $0.45\ \mu\text{m}$ 膜的物质所引起的浊度,这部分物质尺寸较小且有很多是水中溶解性物质,这部分物质理论上说很难被过滤去除,所以不同滤柱膜滤后水的浊度相差不多,预氧化使得水中一部分胶体脱稳,更有利于滤料对其截留。

2.3 滤料级配对滤层水头损失的影响

虽然滤料的 $\sum L/d$ 越大,对悬浮颗粒的截留作用越强^[13],出水水质越好,但是增加 $\sum L/d$ 的过程中会增加整个滤层的水头损失,从而降低滤池的过滤周期,使反冲洗频繁。所以,在不影响滤池出水水

质的情况下,如何进行级配进而延长滤池的过滤周期是非常重要的,下面就不同滤料级配对滤池水头损失的影响进行了研究。

图 5 和图 6 显示了滤前水经过无烟煤滤料以及石英砂滤料整个滤料层在一个过滤周期内的水头损失变化情况。

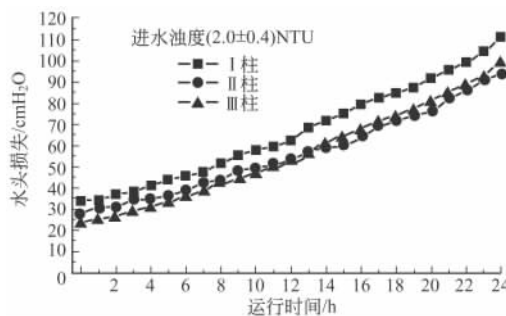


图5 不同级配对滤柱水头损失的影响(未加预氧化药剂)

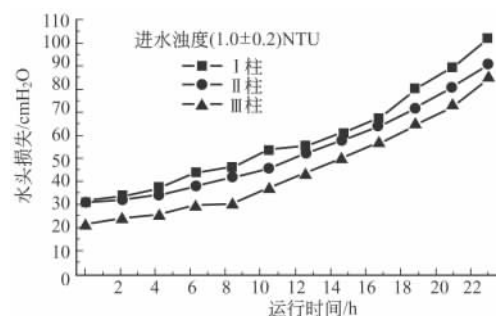


图6 不同级配对滤柱水头损失的影响(投加预氧化药剂)

从图 5 和图 6 中可以看出,在刚运行的过程中,由于 $\sum L/d(\text{I柱}) > \sum L/d(\text{II柱}) > \sum L/d(\text{III柱})$,所以过滤初期水经过滤层的水头损失依次降低。

在运行过程中,无论是否投加预氧化药剂,在整个过滤周期内 I、III 滤柱的水头损失增速要快于 II 滤柱水头损失的增速。原因可能是由于 I、III 滤柱的无烟煤粒径较小,杂质首先在滤料上部进行截留,无烟煤截留杂质相对较多,水头损失增加得相对较快。此结果与前期对滤料级配均匀 $\sum L/d=1300$ 的滤柱进行的研究结果相似,研究结果表明当 $\sum L/d$ 相同时,虽然粒径及高度较小的滤柱处理效果好于粒径及高度较大的滤柱,但是粒径及高度较小的滤柱水头损失增加较快^[14]。

2.4 滤料级配对不可滤残渣的影响

水中的残渣分为总残渣、可过滤残渣和不可滤残渣。不可滤残渣通常表示为悬浮颗粒物的含量。

图 7 和图 8 体现了经过不同级配滤料过滤前后水中不可滤残渣的情况。从图 7 和图 8 中可看出, 滤后水的不可滤残渣受滤池进水影响较大, 并且无论是否投加预氧化药剂, 不可滤残渣的量随 $\Sigma L/d$ 的增加而减小, 也就是说 $\Sigma L/d$ 越大, 滤池去除水中悬浮颗粒物的效果越好, 其结果与不同 $\Sigma L/d$ 对滤后水浊度的影响相似。

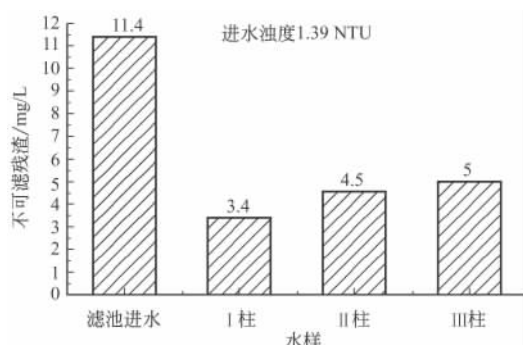


图 7 不同级配对滤池出水不可滤残渣的影响(未投加预氧化药剂)

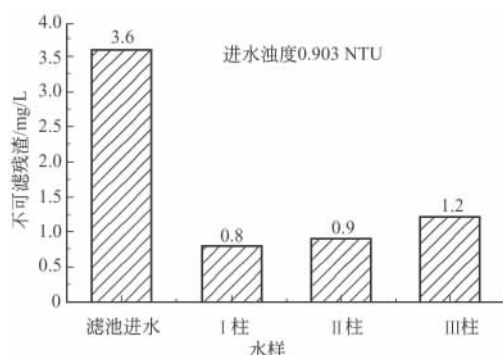


图 8 不同级配对滤池出水不可滤残渣的影响(投加预氧化药剂)

另外, 在试验过程中作者还发现滤池进水中的剩余混凝剂量对过滤过程有很大的影响, 特别对过滤初始阶段以及更换完滤料之后的一段时间影响更大。原因可能是由于过滤过程不单是滤池滤料对水中杂质颗粒物的一个截留过程, 在此过程中还有滤料对水中的杂质颗粒物的一个吸附过程, 吸附在整个过滤过程中也起到了非常重要的作用。所以, 为了增加滤池滤料的吸附作用, 提高滤池的过滤效果, 很多研究人员通过对滤料表面进行改性的办法来改变滤料的表面性质(比表面积、表面 zeta 电位等), 但是改性滤料价格相对较高, 同时改性滤料在反冲洗的过程中表面的涂层有脱落的可能性, 如果反冲洗不彻底的话同样会影响改性滤料的过滤效果。特

别是对于已建水厂来说, 水厂更换滤料的工程较大, 投资也同样巨大。所以, 投加助滤剂强化过滤过程有很大的发展空间以及市场前景, 特别是对过滤初期水质的影响, 同时也可以用于突发事件的应急处理过程, 但是其过滤周期相对较短, 助滤剂的投加方式以及投加量对过滤出水以及滤料表面性质的影响将非常值得研究。

3 结论

(1) $\Sigma L/d$ 越大, 滤柱的出水效果越好, 出水浊度、不可滤残渣以及膜滤后水的浊度都相对较低, $\Sigma L/d$ 较大时其抗冲击能力大大增强, 特别是在过滤的初始一段时间内。

(2) 当滤柱滤料的 $\Sigma L/d$ 为 1 300、1 400 时, 投加预氧化后, 滤柱的出水浊度相差不多, 其原因可能是由于预氧化提高了气浮池出水效果, 滤池进水中的颗粒表面电位发生改变, 使得无烟煤对出水水质影响较小; 当滤柱进水效果较好时, 水中的颗粒物明显减少, 经过滤柱过滤后, 颗粒物的去除效率会相应降低, 而此时受滤料粒径的影响就会相应增加。所以, 滤柱 $\Sigma L/d$ 为 1 100 时的出水效果明显差于其他两个滤柱的出水效果。

(3) 过滤的前处理条件以及滤池的进水水质对无烟煤/石英砂双层滤料的级配以及出水效果有很大的影响。当滤池进水浊度相对较高时, 无烟煤以及石英砂的级配共同影响了滤池的出水效果; 当滤池进水浊度相对较低时, 石英砂的级配在过滤过程中起到了非常重要的作用。杂质颗粒首先在滤料上部进行截留, 无烟煤截留杂质相对较多, 水头损失增加地相对较快。所以, 当滤池的进水浊度相对较低时, 可以适当增大无烟煤的粒径。

参考文献

- 1 Kawamura S. Design and operation of high-rate filters. AWWA, 1999, 91(12):77~90
- 2 余健, 何元春, 曾光明, 等. 影响常规过滤因素的实验研究. 湖南大学学报(自然科学版), 2002, 29(3):108~113
- 3 李晓, 杨立中, 于苏俊. 重庆白沙渗流井渗透水水质特征研究. 西南交通大学学报, 2002, 37(6):610~614
- 4 Amirtharajah A. Some Theoretical and Conceptual View of Filtration. AWWA, 1988, 80(12):36~46
- 5 Morand C. Particle Behavior in Deep-Bed Filtration: Part 1-Ripening and Breakthrough. AWWA, 1993, 85(12):69~81

活性污泥工艺需氧量的计算分析

李征军¹ 李大成² 崔启航³

(1 中冶华天工程技术有限公司, 马鞍山 210019; 2 无锡市政设计研究院有限公司, 无锡 214072;

3 中国市政工程东北设计研究总院, 长春 130021)

摘要 活性污泥工艺需氧量的计算是工艺设计的重要内容, 是厂区节能降耗的关键。介绍了四种计算方法, 并结合工程实例对计算结果进行了比较。分析了各种需氧量计算方法的差异, 提出了符合实际的可操作性较强的需氧量计算方法, 并建议现有理论计算公式应结合能量代谢方程进行深入研究。

关键词 污水处理 活性污泥工艺 需氧量 计算方法

活性污泥法是利用悬浮培养液处理废水的一种生物化学工程方法, 用于去除废水中溶解的以及胶体的有机物质。是目前城市污水二级处理的常用工艺, 曝气是活性污泥法的中心环节, 需氧量计算是工艺设计的重要内容, 直接关系到活性污泥工艺的工程投资、运行费用以及处理效果。本文通过实例, 对四种需氧量计算方法进行比较分析, 以寻求更为切合工程实际的计算方法, 对工程设计优化有积极意义。

1 目前常见的需氧量计算方法

1.1 方法一^[1]

《室外排水设计规范》(GB 50014—2006) 中 6.8.2 指出, 生物反应池中好氧区的污水需氧量, 根据去除的五日生化需氧量、氨氮的硝化和除氮等要求, 宜按式(1)计算:

$$O_2 = 0.001a'Q(S_0 - S_e) - c'\Delta X_v + b'[0.001$$

$$Q(N_t - N_{ke}) - 0.12\Delta X_v] - 0.62b'[0.001$$

$$Q(N_t - N_{ke} - N_{oe}) - 0.12\Delta X_v] \quad (1)$$

式中 O_2 ——污水需氧量, kgO_2/d ;

Q ——生物反应池的进水流量, m^3/d ;

S_0 ——生物反应池进水五日生化需氧量, mg/L ;

S_e ——生物反应池出水五日生化需氧量, mg/L ;

ΔX_v ——排出生物反应池系统的微生物量, kg/d ;

N_k ——生物反应池进水总凯氏氮浓度, mg/L ;

N_{ke} ——生物反应池出水总凯氏氮浓度, mg/L ;

N_t ——生物反应池进水总氮浓度, mg/L ;

N_{oe} ——生物反应池出水硝态氮浓度, mg/L ;

$0.12\Delta X_v$ ——排出生物反应池系统的微生物中含氮量, kg/d ;

a' ——碳的氧当量, 当含碳物质以 BOD_5 计时, 取 1.47;

b' ——常数, 氧化每 kg 氨氮所需氧量, kgO_2/kgN , 取 4.57;

c' ——常数, 细菌细胞的氧当量, 取 1.42。

6 李荣光, 韩宏大, 李玉仙, 等. 过滤影响因素的试验研究. 供水技术, 2007, 1(3):14~17

7 Moran C. Particle Behavior in Deep-Bed Filtration: Part 1—Ripening and Breakthrough. AWWA, 1993, 85(12):69~81

8 Clark S C. Contact Filtration: Particle Size and Ripening. AWWA, 1992, 84(12):61~71

9 罗旭胜. 常规过滤影响因素的试验研究. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2008, 17(1):21~24

10 Adin A, Rebhun M. High-Rate Contact Flocculation-Filtration with Cationic Polyelectrolytes. AWWA, 1974, 66(2):109~117

11 Kawamura S. Design and operation of high-rate filters Part I.

AWWA, 1975, 77(10):77~90

12 朱普霞. 给水中的浊度问题. 净水技术, 2004, 23(5):22~24

13 阮如新. 滤料粒度对过滤的影响. 给水排水, 1997, 23(11):15~17

14 杨一, 王群, 翟学东, 等. 滤料级配对双层滤料滤池过滤效果的影响. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2010, 26(3):300~303

○ 通讯处: 610031 西南交通大学地球科学与环境工程学院

电话: (028)87601471

E-mail: wangqun-hit@126.com

收稿日期: 2011-07-19