

煤质颗粒活性炭反冲膨胀率的测定

刘德钱, 王兆凝, 蒋煜, 杨川, 万超然, 解强
(中国矿业大学<北京> 化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘要: 活性炭床层的反冲膨胀率是滤池设计及水厂运行的重要参数。利用自行设计的一体化活性炭反冲膨胀率测定装置测定了不同温度和冲洗强度下采制于太西和大同的五种活性炭样品的反冲膨胀率。结果表明, 20℃时, 在19 m/h的冲洗强度下, 大同30×60目破碎炭的膨胀率高达66%; 冲洗强度为39.5~59.9 m/h时, 太西无烟煤制1.5 mm柱状炭的反冲膨胀率为11.6%~30.8%; 冲洗强度为39.5~51.0 m/h时, 大同烟煤制8×30目破碎炭的反冲膨胀率为22.8%~40%。因此, 针对不同活性炭, 应选择和设计相适应的活性炭滤池。

关键词: 活性炭; 反冲膨胀率; 冲洗强度

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)07-0068-05

Measurement of Backwashing Expansion Rate of Coal-based Granular Activated Carbons

LIU De-qian, WANG Zhao-ning, JIANG Yu, YANG Chuan, WAN Chao-ran, XIE Qiang
(School of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: Backwashing expansion rate of activated carbon bed is an important parameter for the design of filters and operation of waterworks. Samples of five activated carbons made in Taixi and Datong were exploited to determine the effects of backwashing flow rate and water temperature on the expansion rates with aid of a self-designed and self-built apparatus. The results showed that the backwashing expansion rate of Datong 30×60 mesh granular activated carbon reached 66% at the backwashing flow rate of 19 m/h and water temperature of 20℃, while the expansion rate of 1.5 mm cylindrical activated carbon made from Taixi anthracite was 11.6%–30.8% at the backwashing flow rate of 39.5–59.9 m/h. The expansion rate of 8×30 mesh granular activated carbon made from Datong low rank bituminous coal was 22.8%–40% at the backwashing flow rate of 39.5–51.0 m/h. Therefore, different kinds of activated carbons should be chosen appropriately for the design of activated carbon filter.

Key words: activated carbon; backwashing expansion rate; backwashing flow rate

活性炭具有极其发达的孔隙结构和巨大的比表面积, 对水的浊度、色度、臭味及水中的铁、锰、有机质、氨氮等去除效果显著, 已广泛应用于饮用水深度

净化工艺^[1]。在活性炭滤池运行过程中, 杂质不断积累在活性炭表面和颗粒间的空隙内, 需定时进行反冲洗。而膨胀是活性炭床层在反冲洗时的外在表

现,活性炭床层的反冲膨胀率是滤池设计和运行管理的重要参数。目前国际活性炭生产商,如 Calgon 已在产品性能报告中加入了活性炭床层反冲膨胀率的数据,但国内活性炭生产商迄今未在商品活性炭的性能指标中包含膨胀率。

笔者采制 5 种典型的水处理用颗粒活性炭,在自行设计的活性炭反冲膨胀率测定装置上进行反冲洗试验,并测定反冲膨胀率,考察活性炭粒径、冲洗强度和冲洗水温等对活性炭反冲膨胀率的影响。

1 活性炭试样采制及反冲膨胀率的测定

1.1 活性炭试样的采制

水处理用活性炭主要为煤质活性炭,宁夏和山西大同是我国煤质活性炭的生产基地。试验选取了以上两个产地的 5 种用于饮用水处理的优质颗粒活

性炭进行研究,包括宁夏太西无烟煤制 1.5 mm 柱状活性炭、10 × 20 目柱状破碎活性炭,以及山西大同烟煤制 8 × 30 目、12 × 40 目和 30 × 60 目破碎活性炭。

颗粒活性炭的装填密度 ρ 和粒径分布分别按照 GB/T 7702. 4—1997、GB/T 7702. 2—1997 进行测试。床层孔隙率 ε 的测试方法为:取一定质量的活性炭颗粒,放入 100 mL 量筒中至体积达到 50 ~ 60 mL,体积记为 V_1 。加入体积为 V_2 的高纯水使活性炭颗粒完全浸没,且使水体积达到 80 mL 左右,此时量筒测得的体积为 V_3 ,则 $\varepsilon = (V_1 + V_2 - V_3)/V_1$,进行两次测量,以算术平均值表示结果。颗粒密度可由装填密度和床层孔隙率求出,即 $\rho_s = \rho/(1 - \varepsilon)$ 。活性炭样品的颗粒及粒度特性见表 1。

表 1 活性炭样品颗粒及粒度特性

Tab. 1 Particle and size characteristics of activated carbon samples

项 目	装填密度/ (g · L ⁻¹)	孔隙 率/%	颗粒密度/ (g · cm ⁻³)	有效粒径 d_{10} /mm	有效粒径 d_{60} /mm	均匀系数 (d_{60}/d_{10})
大同煤基 8 × 30 目破碎炭	439	64	1.22	0.82	1.66	2.02
大同煤基 12 × 40 目破碎炭	458	59	1.12	0.94	1.39	1.48
大同煤基 30 × 60 目破碎炭	466	66	1.37	0.37	0.51	1.38
太西煤基 1.5 mm 柱状炭	469	55	1.04	—	—	—
太西煤基 10 × 20 目柱状破碎炭	500	57	1.16	1.01	1.71	1.69

由表 1 可知,太西无烟煤制 10 × 20 目柱状破碎炭的有效粒径大于大同烟煤制 8 × 30 目破碎炭,相同工艺生产的破碎炭其有效粒径的均匀系数大小为:8 × 30 目 > 12 × 40 目 > 30 × 60 目。

1.2 试验装置及反冲膨胀率的测定

试验采用自行设计的一体化活性炭反冲膨胀率测定装置(见图 1),包括有机玻璃反冲洗炭柱、循环水箱、水泵、转子流量计和流量调节阀等。

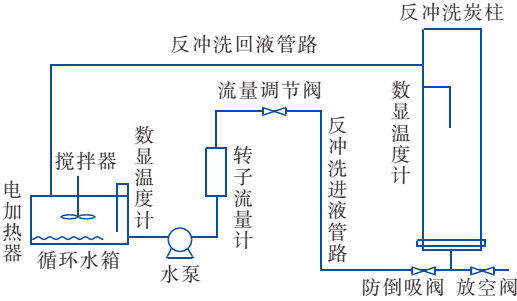


图 1 活性炭反冲膨胀率测定装置

Fig. 1 Apparatus for measurement of backwashing expansion rate of activated carbon

水泵和流量计构成进液管路,配有流量调节开

关,反冲洗水采用上向流的方式通过进液管路从反冲洗炭柱底端流入,顶部溢流口流出,由回液管路流回水箱。有机玻璃反冲洗炭柱外径为 110 mm,内径为 100 mm,高为 1.8 m,通过外加冰块和水箱内置电加热器调节反冲洗水的温度,反冲洗水采用实验室自来水。

试验中反冲洗水的流量和温度分别利用流量计、柱体温度计测定,柱体外壁设有刻度用于记录活性炭床层的厚度变化。反冲膨胀率为活性炭床层厚度变化与初始厚度的比值,即:

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$
 (1)

式中, L_0 为活性炭床层初始装填厚度,cm; L 为活性炭床层反冲膨胀后厚度,cm; e 为反冲膨胀率,%。

2 结果与讨论

2.1 活性炭种类对反冲膨胀率的影响

试验水温为 20 ℃,太西无烟煤制 1.5 mm 柱状活性炭、太西无烟煤制 10 × 20 目柱状破碎活性炭和 大同烟煤制 8 × 30 目破碎活性炭的初始装填厚度分

别为54、53和51 cm,底部装填10 cm的砾石作为承托层,其粒径为6~13 mm。3种活性炭的反冲膨胀率结果见图2。

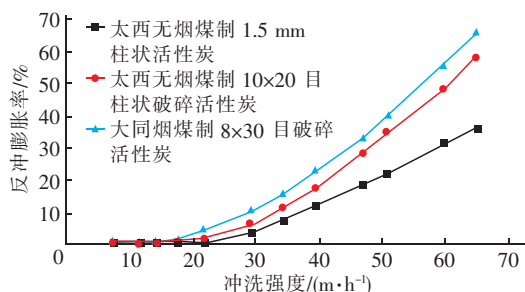


图2 20 °C水温条件下不同种类煤质颗粒活性炭的反冲膨胀率

Fig. 2 Backwashing expansion rates of various coal-based granular carbons at 20 °C

颗粒活性炭具有与其他滤料如陶粒、石英砂等相似的性质,当反冲洗水即上向水流的流速达到一定值时才会发生膨胀流化现象^[2],该冲洗强度称为最小流态化速度。活性炭种类不同,反冲膨胀率有所差别。由图2可知,太西无烟煤制1.5 mm柱状活性炭在冲洗强度为20 m/h时开始膨胀,而太西无烟煤制10×20目柱状破碎炭和大同烟煤制8×30目破碎炭则在冲洗强度分别为15和12 m/h时开始膨胀。膨胀是活性炭颗粒在反冲洗水剪切作用下的结果,活性炭表面越粗糙,水流的剪切作用越大。柱状活性炭外观为圆柱形,表面光滑,因此在反冲洗水的作用下不易膨胀。

颗粒活性炭的反冲膨胀率与反冲洗水的强度有关^[3~5]。活性炭的反冲膨胀率随冲洗强度的增加而增大。图2中曲线呈凹形,表明随冲洗强度的增加单位冲洗强度下活性炭的反冲膨胀率变化增大。不同种类活性炭随着冲洗强度的增加,活性炭之间的反冲膨胀率差值加剧。当冲洗强度为39.5~59.9 m/h时,太西无烟煤制1.5 mm柱状炭的反冲膨胀率为11.6%~30.8%,变化了19.2%;太西无烟煤制10×20目柱状破碎炭的反冲膨胀率为17.5%~48.4%,变化了30.9%;大同烟煤制8×30目破碎炭的反冲膨胀率为22.8%~55.5%,变化32.7%。冲洗强度越大,水流与活性炭颗粒间的剪切作用越大,活性炭越易膨胀,且活性炭在膨胀后,颗粒之间的距离拉大使得颗粒相互间的干扰和影响减小,且很小的冲洗强度变化就有很大的膨胀率变化。

2.2 粒径对活性炭反冲膨胀率的影响

活性炭的反冲膨胀率与颗粒的粒径有关^[6~8]。试验以大同烟煤为原料生产的8×30目、12×40目和30×60目破碎活性炭为研究对象,初始充填厚度分别为51、51和47.2 cm,冲洗水温为20 °C,反冲洗膨胀率结果如图3所示。

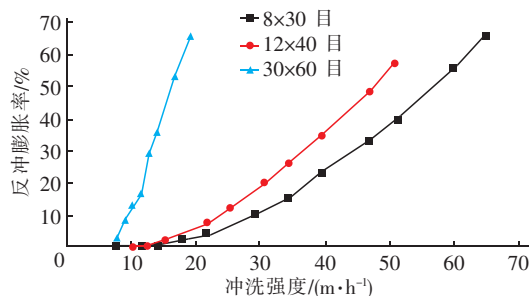


图3 20 °C水温条件下大同烟煤制不同炭型破碎活性炭的反冲膨胀率

Fig. 3 Backwashing expansion rates of granular carbons with different sizes made from Datong bituminous coal at 20 °C

粒径越小,反冲洗时活性炭越易膨胀。由图3可知,大同烟煤制30×60目破碎炭在8 m/h的冲洗强度下开始发生膨胀,而12×40目和8×30目破碎炭的最小流态化速度分别为10和12 m/h。并且随着冲洗强度的增加,30×60目破碎炭迅速膨胀,其反冲膨胀速率远大于另外两种破碎炭,在19 m/h的冲洗强度下,反冲膨胀率已高达66%。大同烟煤制12×40目和8×30目破碎炭的反冲膨胀率也随冲洗强度的增加而增大,且粒径相对小的12×40目破碎炭的反冲膨胀率增幅高于8×30目破碎炭。当冲洗强度为39.5~51.0 m/h时,8×30目破碎炭的反冲膨胀率为22.8%~40%,变化了17.2%;12×40目破碎炭的反冲膨胀率为34.8%~56.9%,变化了22.1%。

粒径越小,单位体积的活性炭表面积越大,反冲洗水的剪切作用面越大,活性炭越易膨胀。大同烟煤制30×60目破碎炭的有效粒径最小,且与12×40目和8×30目破碎炭的有效粒径相差很大,因此在很小的冲洗强度下就可以达到很大的反冲膨胀率。

2.3 水温对活性炭反冲膨胀率的影响

冲洗水温不同,活性炭的反冲膨胀率不同^[9~12]。太西无烟煤制1.5 mm柱状活性炭和大同烟煤制8×30目破碎活性炭在不同水温下的反冲膨

胀率如图4所示。

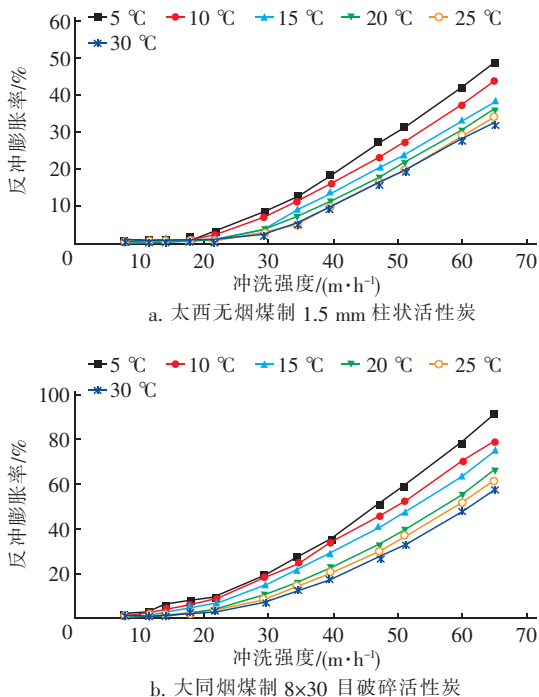


图4 不同温度条件下太西无烟煤制1.5 mm柱状活性炭和
大同烟煤制8×30目破碎活性炭的反冲膨胀率

Fig. 4 Backwashing expansion rates of 1.5 mm cylindrical activated carbon made from Taixi anthracite and 8×30 mesh granular carbon made from Datong bituminous coal at different water temperatures

水温越低,活性炭反冲洗时越易膨胀。从图4可以看出,活性炭开始膨胀的最小流态化速度随水温的降低而减小,并且温度越低膨胀率的差距越大。太西无烟煤制1.5 mm柱状炭在5和30℃的冲洗水温下,最小流态化速度分别为15和23 m/h;在51.0 m/h的冲洗强度下,当冲洗水温从5℃升高到10℃时,活性炭反冲膨胀率降低了3.5%;当冲洗水温从25℃升高到30℃时,活性炭反冲膨胀率降低了1.1%。

大同烟煤制8×30目破碎炭在5和30℃的冲洗水温条件下,最小流态化速度分别为7和13.8 m/h;在51.0 m/h的冲洗强度下,冲洗水温从5℃升高到10℃时,活性炭反冲膨胀率降低了7.6%;当冲洗水温从25℃升高到30℃时,活性炭反冲膨胀率降低了3.7%。

分析原因,温度越低,水的粘度越大,冲洗水流和活性炭颗粒间的剪切作用越大,活性炭越易膨胀。同时反冲膨胀率越大,活性炭颗粒间的相互作用越

弱,使得活性炭更加容易膨胀,因此温度越低,不同温度间的活性炭反冲洗膨胀率差距加大。在水厂的实际运行过程中,尤其要注意水温对活性炭反冲膨胀率的影响。夏季和冬季室外温度较高或较低时,应根据情况改变相应的冲洗水流强度,避免活性炭膨胀率不足使冲洗不干净或膨胀率过大造成炭粒流失。

2.4 滤池冲洗强度下活性炭反冲膨胀率

用于饮用水净化的滤池种类较多,不同滤池的设计结构不同,所要求的冲洗强度也不同,如普通快滤池、V型滤池的活性炭吸附池的冲洗强度一般为28~36 m/h,翻板滤池活性炭吸附池的冲洗强度一般为55~60 m/h。活性炭在不同滤池冲洗条件下的反冲膨胀率见表2。

表2 20℃时活性炭在不同滤池冲洗条件下对应的反冲膨胀率

Tab. 2 Backwashing expansion rates of granular carbons in different filters at 20℃

项 目	反冲膨胀率/%			
	太西煤基 1.5 mm 柱状炭	太西煤基 10×20目 柱状破碎炭	大同煤基 8×30 目破碎炭	大同煤基 12×40 目破碎炭
普通快滤池	2.8~8.6	5.2~13.4	9.5~17	16~28
V型滤池	2.8~8.6	5.2~13.4	9.5~17	16~28
翻板滤池	25~31	41~48	45.2~56	65~80

由表2可知,对于冲洗强度较小的普通快滤池和V型滤池的活性炭吸附池,冲洗强度为28~36 m/h对应的大同12×40目破碎活性炭的反冲膨胀率最高,为16%~28%。该类型的活性炭滤池应选用粒径较小的颗粒活性炭。对于冲洗强度较大的翻板滤池的活性炭吸附池,冲洗强度为55~60 m/h对应的太西1.5 mm柱状炭反冲膨胀率最小,为25%~31%。该类型的活性炭滤池适用于粒径较大的颗粒活性炭。不同的炭型适用于不同的活性炭滤池,应根据所选用的活性炭设计和建造合适的活性炭滤池。

3 结论

① 活性炭在上向水流的冲洗作用下,达到最小流态化速度后开始膨胀。之后,随着冲洗强度的增加,活性炭反冲膨胀率增大,颗粒之间的相互作用减弱,单位冲洗强度下的反冲膨胀率变化趋势升高,膨胀率曲线呈凹形。

② 在选取的商品活性炭中,柱状活性炭最不

易膨胀。20℃冲洗水温下,太西无烟煤制1.5mm柱状炭的最小流态化速度为20m/h,高于太西无烟煤制10×20目柱状破碎炭(15m/h)和大同烟煤制8×30目破碎炭(12m/h)。

③ 粒径越小,活性炭越易膨胀。相同冲洗条件下大同烟煤制30×60目破碎炭的反冲膨胀率远高于8×30目和12×40目破碎炭,在水温为20℃、冲洗强度为19m/h条件下,30×60目破碎炭的膨胀率高达66%,而8×30目和12×40目破碎炭刚开始膨胀。

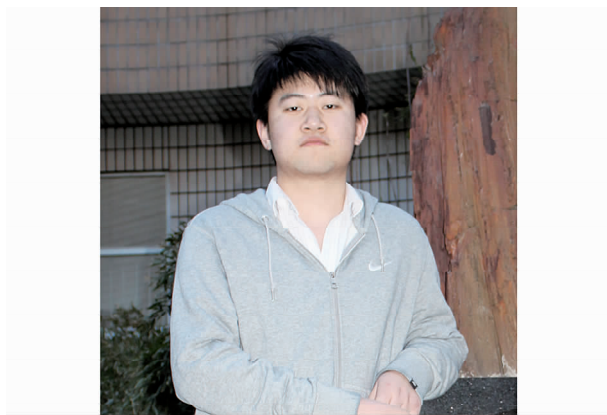
④ 水温越低,反冲洗水的粘度越大,活性炭越易膨胀。大同烟煤制8×30目破碎活性炭在5和30℃的冲洗水温下,最小流态化速度分别为7和13.8m/h。在51.0m/h的冲洗强度下,冲洗水温从5℃升高到10℃时,活性炭反冲膨胀率降低了7.6%;冲洗水温从25℃升高到30℃,活性炭反冲膨胀率降低了3.7%。

参考文献:

- [1] 王晟,徐祖信,王晓昌. 饮用水处理中臭氧—生物活性炭工艺机理[J]. 中国给水排水,2004,20(3):33-35.
- [2] 张朝晖,吕锡武,乐林生,等. 生物活性炭滤池反冲洗技术的优化[J]. 中国给水排水,2005,21(4):51-53.
- [3] Amburgey J E. Optimization of the extended terminal subfluidization wash (ETSW) filter backwashing procedure[J]. Water Res,2005,39(2/3):314-330.
- [4] 林浩添,陆少鸣,叶恒朋. 生物活性炭滤池反冲洗工艺研究[J]. 城镇供水,2006,(1):26-28.
- [5] Weeks M A, Leadbeater B S C, Callow M E, et al. Effects of backwashing on the prosobranch snail *Potamopyrgus jenkinsi* Smith in granular activated carbon (GAC) adsorbers[J]. Water Res,2007,41(12):2690

-2696.

- [6] 张捷,徐子松. 活性炭的选型及炭滤池的运行维护[J]. 中国给水排水,2005,21(10):99-101.
- [7] 冯硕. 炭砂滤池的构建技术、处理效果和工艺特性研究[D]. 北京:清华大学,2012.
- [8] 陈默,刘文君,谭古今,等. 上向流活性炭床膨胀率影响因素研究[J]. 给水排水,2013,39(3):115-120.
- [9] 陈士才,陈静,许建华,等. 不同类型活性炭去除水中污染物的试验研究[J]. 净水技术,2005,24(4):18-21.
- [10] Dabrowski W, Spaczynska M, Mackie R I. A model to predict granular activated carbon backwash curves[J]. Clean-Soil, Air, Water,2008,36(1):103-110.
- [11] 查人光,徐兵,朱海涛,等. 上向流BAC吸附池在净水生产中的应用[J]. 给水排水,2010,36(6):14-17.
- [12] 芮旻. 上向流生物活性炭吸附池的运行特性研究[J]. 给水排水,2015,41(5):11-15.



作者简介:刘德钱(1991-),男,安徽蚌埠人,硕士研究生,主要从事活性炭制备及其应用研究。

E-mail:ldq_cumtb@163.com

收稿日期:2016-10-05