

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.16.015

给水厂炭砂滤池设计参数探讨

镇祥华¹, 李露¹, 万年红¹, 张立¹, 顾学林², 巢猛³, 雷培树¹,
鲍任兵¹

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010; 2. 山东胜利水务有限公司, 山东 东营 257000; 3. 东莞市东江水务有限公司, 广东 东莞 523000)

摘要: 目前炭砂滤池在给水厂的应用还不是十分广泛,其设计往往是各设计院依据自身的经验来进行,在参考总结水专项成果及国内大型给水厂工程应用案例和设计经验的基础上,提出了炭砂滤池的设计参数和设计要点。炭砂滤池适用于占地受限或经费紧张同时原水受有机微污染的水厂改造或新建;其进水水质控制指标浊度宜小于1 NTU;用于改造工程时,可采用0.4~0.5 m的砂层厚度和0.8~1.0 m的炭层厚度,用于新建工程时,可采用0.6~0.7 m的砂层厚度和1.0~2.0 m的炭层厚度,石英砂宜选用 $d_{10}=0.55$ mm的细砂滤料,活性炭宜选用8×30目煤质破碎炭和 $\phi 1.5$ mm煤质柱状炭;正常设计滤速宜为6~9 m/h、空床接触时间宜为6~20 min;冲洗方式应采用日常冲洗和定期冲洗的方式,建议日常冲洗周期控制在1 d,定期冲洗周期控制在3~5 d。此外,活性炭的失效更换标准应以去除污染物效果能否达到目标值为主要依据,不宜以活性炭碘吸附值、亚甲基蓝吸附值作为判断活性炭失效的标准。

关键词: 炭砂滤池; 滤料和滤速; 反冲洗

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)16-0081-05

Discussion on Design Parameters of Carbon-Sand Filter in Waterworks

ZHEN Xiang-hua¹, LI Lu¹, WAN Nian-hong¹, ZHANG Li¹, GU Xue-lin², CHAO Meng³,
LEI Pei-shu¹, BAO Ren-bing¹

(1. *Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China*; 2. *Shandong Shengli Water Co. Ltd., Dongying 257000, China*; 3. *Dongjiang Shuiwu Co. Ltd., Dongguan 523000, China*)

Abstract: At present, the application of carbon-sand filter in waterworks is not widely used, and its design is often carried out by each design institute according to their own experience. On the basis of referring and summarizing the achievements of water special projects and the application cases and design experience of large-scale water supply plant in China, the design parameters and design points of carbon-sand filter were put forward. The carbon-sand filter is suitable for the reconstruction or new construction of water plants with limited land occupation or limited funds and organic micro pollutants exist in the influent. Its inflow water quality control index turbidity should be less than 1 NTU. When it is used for

基金项目: 2019年住房和城乡建设部科学技术计划项目(2019-K-143); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07501001)

通信作者: 镇祥华 E-mail: gongda1996@163.com

reconstruction projects, the sand layer thickness of 0.4–0.5 m and the carbon layer thickness of 0.8–1.0 m can be used. When it is used for new construction projects, the sand layer thickness of 0.6–0.7 m and the carbon layer thickness of 1.0–2.0 m can be used, the fine sand filter material with $d_{10} = 0.55$ mm should be selected for quartz sand, 8×30 mesh coal crushed carbon and $\varnothing 1.5$ mm coal columnar carbon should be selected for active carbon. The normal filtration rate and contact time of empty bed are respectively 6–9 m/h and 6–20 min. The daily washing and regular washing methods are recommended. Daily washing cycle control is within 1 d, regular washing cycle control is within 3–5 d. In addition, it is suggested that the evaluation index of activated carbon failure should be mainly based on whether the removal effect of pollutants could reach the target value, not on the iodine adsorption value and methylene blue adsorption value of activated carbon.

Key words: granular activated carbon-sand filter; filtration medium and rate; backwashing

炭砂滤池也称为活性炭-石英砂双层滤料滤池或者活性滤池,是在同一构筑物中采用活性炭和石英砂滤料对水进行处理,上层活性炭滤料主要用于吸附水中的有机物或依靠炭层上附着的微生物对污染物进行生物降解,下层石英砂滤料主要是截留水中的颗粒物包括上部炭层脱落的生物膜,该工艺能够在出水水质接近炭吸附池和砂滤池组合工艺的基础上大幅减少占地面积。

随着炭砂滤池在国内的推广应用,新修订的《室外给水设计标准》(GB 50013—2018)中增加了对炭砂滤池相关部分的描述,但是关于炭砂滤池的设计参数,如砂层、炭层厚度配比,滤料级配,冲洗方式和强度等均未能明确,各设计院依据自身的经验进行设计,因此,笔者在总结水专项成果及国内大型工程应用案例和实际设计经验的基础上,对炭砂滤池的设计进行探讨。

1 炭砂滤池的基本规定

适用范围:适用于水厂升级改造或新建中受经济、场地条件限制的有机微污染源净水处理。炭砂滤池能在同一个构筑物内完成大部分有机物和浑浊度的去除,因此能大幅减少占地面积。

适用池型:适用于所有气水反冲洗滤池池型。炭砂滤池使用一段时间后进行气冲洗,有助于洗脱滤料深层处的污染物及滤料表面老化的生物膜,同时有助于减轻滤料板结的趋势。新建的炭砂滤池以翻板滤池和普通快滤池为主,改造工艺以普通快滤池及其衍变形式为主。

适用进水水质:炭砂滤池的进水浑浊度宜小于1 NTU。原水在进入炭砂滤池前应视水质情况进行

前处理,杭州清泰水厂炭砂滤池运行结果表明^[1],控制滤前浑浊度为2~4 NTU时,经过近一年的运行发现,炭砂滤池运行周期下降较快,个别滤池甚至不足24 h就需要反冲洗,可能原因是滤前水浑浊度偏高导致运行周期下降。王广智等^[2]在哈尔滨制水三厂的炭砂滤池运行研究中发现,炭砂滤池的进水浑浊度为1.6~3.8 NTU,平均浑浊度为2.83 NTU时,炭砂滤池出水浑浊度稳定在1.0 NTU以内,但很难达到0.5 NTU以下。可见进水浑浊度偏高会导致出水浑浊度偏高,离目前自来水厂内部普遍控制的出水0.3 NTU标准有较大差距。因此,为了避免炭砂滤池滤床堵塞、过滤周期缩短和出水浑浊度升高的风险,在正常情况下,要求炭砂滤池进水浑浊度小于1 NTU。如果炭砂滤池位于常规处理工艺中,比如沉淀池之后,可以通过增加投药量降低前端沉淀池运行负荷来改善进水浑浊度。

炭砂滤池的设置位置:位于常规处理工艺的沉淀池后或深度处理工艺中。改造工程中,一般是将现有砂滤池改造为炭砂滤池,设置于沉淀池之后,或在深度处理改造中将现有的炭滤池改造成炭砂滤池;新建工程中炭砂滤池一般设置在过滤工艺之后,如结合臭氧工艺应用,可形成臭氧-生物活性炭砂滤池。

炭砂滤池过流方式:采用下向流过滤。下向流方式保证炭滤出水经过石英砂滤层,对脱落的生物膜、前端进水颗粒物或微型动物有良好截留效果。

2 炭砂滤池的设计参数

2.1 滤料组成和设计参数

滤池滤料组成及滤速,建议参考表1。

表1 滤池滤料组成及滤速

Tab.1 Composition and filtration rate of filter media

项目	滤料规格		厚度/mm	正常滤速/ ($m \cdot h^{-1}$)	强制滤速/ ($m \cdot h^{-1}$)
下层细砂滤料	石英砂粒径 $d_{10} = 0.55 \text{ mm}$	不均匀系数 $K_{80} < 2.0$	400 ~ 700	6 ~ 9	9 ~ 12
上层活性炭滤料	$\phi 1.5 \text{ mm}$ 、 8×30 目、 12×40 目等		800 ~ 2 000		

2.1.1 滤料选用

滤料的选用应按《室外给水设计标准》(GB 50013—2018)中有关过滤和活性炭吸附池的规定执行,滤料的技术性能应满足现行行业标准《水处理用滤料》(CJ/T 43—2005)、《生活饮用水净水厂用煤质活性炭》(CJ/T 345—2010)的有关规定。

下层石英砂滤料选用 $d_{10} = 0.55 \text{ mm}$ 的细砂滤料,相比全规格的砂滤池,炭砂滤池砂层偏薄,采用粒径较小的细砂滤料能更好地解决微型生物穿透问题,同时也能提高对浑浊度的去除率。

上层活性炭滤料主要选用煤质颗粒活性炭,常见的规格有 $\phi 1.5 \text{ mm}$ 、 8×30 目、 12×40 目等。郭公庄水厂炭砂滤池采用 $\phi 1.5 \text{ mm}$ 煤质柱状活性炭^[3];深圳市上南水厂炭砂滤池开始采用粒径为 8×30 目的破碎活性炭,后期改为 $\phi 1.5 \text{ mm}$ 柱状活性炭^[4-5];杭州清泰水厂、嘉兴南门水厂炭砂滤池均采用 8×30 目的柱状颗粒活性炭^[1,6];冯硕^[7]对3种粒径活性炭应用于炭砂滤池的研究结果表明, 8×30 目破碎炭更适用于炭砂滤池的运行。目前炭砂滤池大型工程案例调研的结果也表明, 8×30 目破碎炭和 $\phi 1.5 \text{ mm}$ 柱状炭应用较为普遍。

2.1.2 滤料厚度

调研统计发现,下向流砂滤池在一个反冲洗运行周期内,纳污层深度一般在 $0.4 \sim 0.6 \text{ m}$ 。现有砂滤池改造为炭砂滤池时,一般普通快滤池和V型滤池的滤料层厚度在 $1.2 \sim 1.5 \text{ m}$ 之间,由于现有构筑物可利用的深度有限,建议改造后炭层厚度为 $0.8 \sim 1.0 \text{ m}$,砂层厚度为 $0.4 \sim 0.5 \text{ m}$ 。对于新建炭砂滤池,可适当增加炭砂层厚度,建议砂层厚度为 $0.6 \sim 0.7 \text{ m}$,炭层厚度为 $1.0 \sim 2.0 \text{ m}$ 。此外,在常年水温较低的地区,可适当增加炭层厚度来增强炭砂滤池吸附和生物降解有机物的效果;在常年水温较高的地区,可适当增加砂层厚度来提高炭砂滤池拦截微型生物和去除浑浊度的效果。

2.1.3 承托层

承托层的设置与配水配气系统有关,材料粒径

及厚度可参考《室外给水设计标准》(GB 50013—2018)第9.5.10和9.5.11节选用。

2.1.4 滤速

建议炭砂滤池的空床滤速为 $6 \sim 9 \text{ m/h}$ 。对于单层细砂滤料,正常滤速为 $6 \sim 9 \text{ m/h}$,对于活性炭吸附池的空床流速为 $8 \sim 20 \text{ m/h}$,考虑到过高的滤速会导致过滤阻力的增加,出水水质变差,所以从出水安全性考虑,建议炭砂滤池的空床滤速为 $6 \sim 9 \text{ m/h}$ 。实际炭砂滤池工程上多采用 $7 \sim 8 \text{ m/h}$ 滤速。

2.1.5 空床接触时间

建议炭砂滤池的空床接触时间为 $6 \sim 20 \text{ min}$ 。以去除臭味为主时,空床接触时间一般取 $8 \sim 10 \text{ min}$,以去除高锰酸盐指数为目的时,空床接触时间一般取 $12 \sim 15 \text{ min}$ 。下向流颗粒活性炭吸附池处理水与活性炭层的空床接触时间宜采用 $6 \sim 20 \text{ min}$,上向流颗粒活性炭吸附池的空床接触时间宜采用 $6 \sim 10 \text{ min}$,实际炭砂滤池工程空床接触时间多在 13 min 左右。综合考虑,炭砂滤池最低接触时间为 6 min ,最长接触时间为 20 min 。

2.2 冲洗方式、强度及周期

2.2.1 冲洗方式

建议炭砂滤池采用日常冲洗和定期冲洗的方式进行冲洗,参考表2进行。

表2 冲洗方式和程序

Tab.2 Backwashing method and procedure

项目	冲洗方式、程序
日常冲洗	大水量冲洗
定期冲洗	气冲—小水量冲洗—大水量冲洗

炭砂滤池在冲洗过程中,为减少活性炭的磨损,应尽量减少气冲洗频率,此外,炭砂滤池不适合采用气水同时冲洗,否则密度较小的活性炭会在气泡的裹挟下随水流向上运动,容易出现滤料流失的情况。在气洗结束后,大水量冲洗前增加小水量冲洗方式,以带走气洗时产生的气泡,避免活性炭滤料的流失。

2.2.2 冲洗强度及时长

有条件时冲洗强度和冲洗时长可通过试验确定,也可参考以下内容选用:滤池冲洗水的供给宜采

用变频水泵或大小泵搭配冲洗,以便合理调节冲洗流量。对于普通快滤池或V型滤池,采用定期气水反冲洗时,气冲强度为 $14 \sim 17 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,时间 $2 \sim 3 \text{ min}$,小水量冲洗强度 $4 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,时间 $1 \sim 2 \text{ min}$,大水量水冲洗强度 $12 \sim 15 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,时间 $6 \sim 8 \text{ min}$;日常冲洗为大水量冲洗强度 $12 \sim 15 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,时间 $6 \sim 8 \text{ min}$ 。对于翻板滤池池型,冲洗方式及冲洗强度同V型滤池,但大水量冲洗时长宜控制在 $1 \sim 2 \text{ min}$,并可根据实际情况采用两次清洗方式以保证清洗效果。

中桥水厂^[8]的炭砂滤池运行初期破碎炭和柱状炭的反冲强度分别为 $7.3 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $10.8 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,由于达不到充分冲洗的要求,炭层表面相继出现泥球、板结等现象,后期将反冲强度分别增到 $10.3 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $12.0 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,滤层泥球、板结等现象大有改善,活性炭碘值也得以部分恢复。北京某水厂^[9]炭砂滤池水冲洗强度由 $4 \sim 6 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 增加为 $14 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,滤料膨胀率可达到25%,滤池改造后,反冲强度得以保证,冲洗均匀,分层明显,含泥量明显降低,在来水水质稳定的情况下,滤程可由原来最短8 h延长至 $24 \sim 36 \text{ h}$ 。

2.2.3 冲洗周期

滤池反冲洗周期应根据水头损失、滤前滤后水浑浊度、运行时间、南北方气候以及炭砂滤池的设置位置等因素确定。在南方湿热地区,由于微生物繁殖较快,建议日常冲洗周期控制在1 d,定期冲洗周期控制在 $3 \sim 5 \text{ d}$;而在北方寒冷地区,冲洗周期可适当延长,日常冲洗周期控制在 $2 \sim 3 \text{ d}$,定期冲洗周期控制在 $7 \sim 10 \text{ d}$ 。此外,冲洗周期还与炭砂滤池的设置位置有关,在常规处理工艺中位于沉淀池后,一般由于进水浑浊度偏高,所以经常性冲洗周期可能在1 d左右,而位于深度处理中,可以适当延长冲洗周期。实地调研的山东东营耿井水厂,炭砂滤池位于深度处理工艺中,夏季基本上控制在2 d冲洗一次,冬季可以延长至 $5 \sim 7 \text{ d}$ 冲洗一次。

2.3 其他设计参数

① 为了避免反冲洗时跑炭,滤池排水槽顶与活性炭滤料层表面的高差设计为800 mm左右,如果炭砂层较厚,应按照炭砂层膨胀率35%复核,适当加大设计高差。翻板滤池一般排水孔底距活性炭层顶面不小于300 mm。

② 炭砂滤池冲洗前水头损失宜采用 $2.0 \sim$

2.5 m ,滤层表面以上的水深宜采用 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}$ 。普通快滤池的单层、双层滤料滤池以及V型滤池、翻板滤池冲洗前水头损失宜采用 $2.0 \sim 2.5 \text{ m}$ 。为使滤池保持足够的过滤水头,避免滤层出现负压,除V型滤池滤层表面以上的水深不应小于 1.2 m 外,其余在 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}$,所以统一规定为 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}$ 。

3 炭砂滤池的设计要点

① 炭砂滤池应采用加盖设计,一方面可以避免蚊蝇繁殖、周围环境中的尘土进入,也可以避免光照带来藻类在滤池内生长,造成感官和滤池清洗的困扰。

② 滤后水应设置质量控制点,安装滤后水在线浑浊度监测仪和颗粒物检测仪,以便实时监测滤后水浑浊度和微型动物泄漏情况,并根据情况采取相应的措施,如加快反冲洗周期、延长冲洗时长等。

③ 滤池配水配气系统应根据气水反冲洗滤池相关规定设计。

④ 滤池宜考虑初滤水排放设计。一般初滤水排放时间约在 30 min ,只有滤池出水浑浊度符合国家及企业内部标准时,方可允许滤池出水进入下一级净水处理工艺。

⑤ 宜采用炭砂滤池的滤后水作为冲洗水源,不宜采用含氯水进行反冲洗。冲洗结束时,排水的浑浊度不宜大于10 NTU。

4 活性炭失效评价

活性炭失效的评价指标应主要以去除污染物效果能否达到目标值为依据,不宜以活性炭碘吸附值、亚甲蓝吸附值作为判断活性炭失效的标准。根据国内活性炭使用经验,把活性炭碘吸附值 $\leq 600 \text{ mg/g}$ 、亚甲蓝吸附值 $\leq 85 \text{ mg/g}$ 作为判断活性炭失效标准[《颗粒活性炭吸附池水处理设计规程》(CECS 124:2001)]。但是在实际调研中发现,不少水厂运行时间在 $5 \sim 8 \text{ 年}$,活性炭仍然保持一定的去除能力,但是碘吸附值在规定范围以下,可能原因在于活性炭表面形成了生物膜,对有机物的降解不仅仅是依靠活性炭的吸附作用,可能还有生物降解的作用,所以仅靠碘吸附值等很难作出正确的判断。

5 结论

炭砂滤池相关的设计参数和设计要点:炭砂滤池适用于占地受限或经费紧张同时受有机微污染的水厂改造或新建,其进水水质控制指标浑浊度宜小于1 NTU。用于改造工程时,可采用 $0.4 \sim 0.5 \text{ m}$ 的

砂层厚度和0.8~1.0 m的炭层厚度;用于新建工程时,可采用0.6~0.7 m的砂层厚度和1.0~2.0 m的炭层厚度,石英砂宜选用 $d_{10}=0.55$ mm的细砂滤料,活性炭宜选用8×30目煤质破碎炭和 $\phi 1.5$ mm煤质柱状炭。正常设计滤速宜为6~9 m/h、空床接触时间宜为6~20 min。冲洗方式建议采用日常冲洗和定期冲洗的方式进行,定期气水反冲洗时,气冲强度为14~17 L/($m^2 \cdot s$),时间2~3 min,小水量冲洗强度为4 L/($m^2 \cdot s$),时间1~2 min,大水量冲洗强度为12~15 L/($m^2 \cdot s$),时间6~8 min;日常冲洗为大水量冲洗,强度为12~15 L/($m^2 \cdot s$),时间6~8 min。建议日常冲洗周期控制在1 d,定期冲洗周期控制在3~5 d。冲洗周期和时长可根据进出水水质、水头损失、运行时间和南北方季节气候等因素适当调整。此外,活性炭的失效更换标准应以去除污染物效果能否达到目标值为主要依据,不宜以活性炭碘吸附值、亚甲基蓝吸附值作为判断活性炭失效的标准。

参考文献:

- [1] 代荣. 炭砂滤池吸附工艺生产运行研究[J]. 给水排水,2012,38(3):11-17.
Dai Rong. Study on the adsorption process operation of carbon-sand filter[J]. Water & Wastewater Engineering, 2012,38(3):11-17(in Chinese).
- [2] 王广智,李伟光,王锐,等. 炭砂滤池在松花江污染应急处理中的应用特性研究[J]. 给水排水,2007,33(8):11-15.
Wang Guangzhi, Li Weiguang, Wang Rui, et al. Study on emergent application of combined activated carbon and sand filter in the Songhua River pollution accident[J]. Water & Wastewater Engineering, 2007,33(8):11-15(in Chinese).
- [3] 饶磊. 浅谈郭公庄水厂的工艺设计及优化[J]. 给水排水,2015,41(4):9-12.
Rao Lei. Probe into Guogongzhuang water treatment plant design and its optimization[J]. Water & Wastewater Engineering, 2015,41(4):9-12(in Chinese).
- [4] 黄孟斌,王长平,张毅,等. 老旧水厂炭砂滤池改造及运行效果[J]. 净水技术,2019,38(4):31-34,53.
Huang Mengbin, Wang Changping, Zhang Yi, et al. Performance of reconstruction and operation for carbon and sand filters in old and aging water treatment plants[J]. Water Purification Technology, 2019,38(4):31-34,53(in Chinese).
- [5] 邵志昌,王长平,黄孟斌,等. 老旧水厂深度处理改造工程实践[J]. 中国给水排水,2018,34(2):81-85.
Shao Zhichang, Wang Changping, Huang Mengbin, et al. Reconstruction practice of advanced treatment process in an aging waterworks[J]. China Water & Wastewater, 2018,34(2):81-85(in Chinese).
- [6] 徐兵,高翔,蒋黎明. 活性炭/砂双滤料滤池处理微污染原水[J]. 中国给水排水,2007,23(14):23-25.
Xu Bing, Gao Xiang, Jiang Liming. Treatment of micro-polluted raw water by activated carbon/sand filter[J]. China Water & Wastewater, 2007,23(14):23-25(in Chinese).
- [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.
Feng Shuo. Construction, Performance and Characteristics of Granular Activated Carbon-Sand Dual Media Filter[D]. Beijing:Tsinghua University,2012(in Chinese).
- [8] 邹琳,笪跃武,周圣东. 中桥水厂炭砂滤池改造与运行管理[J]. 中国给水排水,2011,27(16):99-103.
Zou Lin, Da Yuewu, Zhou Shengdong. Reconstruction and operation management of activated carbon and sand filter in Zhongqiao water treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2011,27(16):99-103(in Chinese).
- [9] 王文静. 炭砂滤池应用的问题与探讨[J]. 城镇供水,2017(3):23-27.
Wang Wenjing. Discussion on the application of carbon sand filter[J]. City and Town Water Supply, 2017(3):23-27(in Chinese).



作者简介:镇祥华(1977-),男,湖北松滋人,博士,高级工程师,主要从事水污染控制理论与技术研究。

E-mail:gongda1996@163.com

收稿日期:2020-01-05