

颗粒活性炭在饮用水深度处理中的应用

刘益萱 钟亮洁

提要 概括介绍了国内外活性炭水处理的发展和应用情况、活性炭深度处理的机理及处理效果。针对当前水源有机污染现状和发展趋势,论述了采用活性炭进行饮用水深度处理的必要性,给出了颗粒活性炭吸附池设计的参数及要求。最后介绍了北京市城子水厂炭吸附池设计及特点。

关键词 颗粒活性炭 有机污染 饮用水 深度处理

1 活性炭在国内外饮用水深度处理中的应用

1.1 国外活性炭水处理发展概要

由于活性炭对水中微量有机污染物具有优良的吸附特性,早在20世纪20年代末30年代初国外就开始用粉状活性炭去除水中的臭和味,1930年第一个使用颗粒活性炭吸附池除臭的水厂建于美国费城。在60年代末70年代初,由于煤质颗粒炭的大量生产和再生设备的问世,发达国家开展了利用活性炭吸附去除水中微量有机物的研究工作,对饮用水进行深度处理。颗粒活性炭净化装置在美国、欧洲、日本等国陆续建成投产。美国以地面水为水源的水厂已有90%以上采用了活性炭吸附工艺。目前世界上有成百座用颗粒炭吸附的水厂正在运行。

国外目前在给水处理中最常用的是降流式活性炭吸附池,据报道最大单池面积达 180m^2 ,单层炭层厚度为 $0.7\sim 2.5\text{m}$,空床接触时间 $6\sim 20\text{min}$,大多数采用压缩空气和水联合冲洗。

活性炭的使用方式有三种:

第一种,用颗粒活性炭替换部分砂滤料,成为炭砂双层滤料滤池。采用这种方式,净化效果比单层好,可以减少反冲洗次数,降低反冲洗强度。目前在瑞士、日本、美国等都有采用。由于仅用活性炭替换部分砂层,可以迅速投产使用。但是这种方式换炭较困难,一般只作为应急措施采用。

瑞士的苏黎世某水厂,有12个活性炭吸附池,每个池子面积为 44m^2 ,其池内下层有粒径为 $0.7\sim 1.0\text{mm}$ 的石英砂 0.5m 厚,上层为匹兹堡F400炭层 1.2m 厚,全年产水量4000万 m^3 。厂内设有再生炉。

第二种,用颗粒炭替换全部砂层,即活性炭吸附

兼过滤。目前法国、美国、瑞典等国的水厂采用这种方式的活性炭吸附池也很多。

法国南希市水厂,处理能力10万 m^3/d ,采用 $0.9\sim 1.0\text{mm}$ 的颗粒活性炭代替砂,炭层厚 1.5m ,主要用于去除水中的臭和味。美国西弗吉尼亚州尼特罗水厂,处理能力2.66万 m^3/d ,采用单池面积 72.3m^2 的颗粒活性炭吸附池2个,炭层厚 1.5m ,流速 $9\sim 10\text{m/h}$,在氯仿抽提物浓度较高时(约1000 $\mu\text{g/L}$),去除率可达84%~89%。

第三种,在砂滤之后建独立的活性炭吸附池。先经砂滤,再经炭吸附池,可以延长活性炭对去除杀虫剂、酚、有机物产生的臭与味的使用周期,有效地利用活性炭的吸附性能。特别是在原水中含铁和锰时效果更为明显。目前美国、荷兰、日本有不少水厂采用这种形式。

当水源受到生活水污染时,水中有机物及氨浓度增加,采用折点加氯法可能使出水中形成显著的氯氨味,用颗粒活性炭可以有效地去除氯氨味。

法国的一些水厂在混凝-沉淀之前进行折点加氯。采用颗粒活性炭吸附池,既可除臭、除味和有机物,又可利用活性炭表面的微生物除氨,可以减少在水处理过程中形成新的有机氯化物。

采用颗粒活性炭吸附池处理水时,一定要考虑失效炭的再生。从美国许多活性炭净化水厂的运转经验可知,颗粒活性炭吸附床的一次使用寿命一般为 $2\sim 3\text{a}$,有的更长些。由于在水厂内建造再生炉,基建费用较高,利用率低,在经济上不合算,因此活性炭再生由制造厂出租给水厂使用。日本采用颗粒活性炭吸附池的水厂,一般均设有再生炉。

国外颗粒活性炭的应用情况见表1。

表1 国外颗粒活性炭应用情况

水厂名称	处理量/m ³ /d	处理工艺流程	活性炭吸附池的个数与参数	再生装置情况	活性炭的作用
美国 新英格兰曼彻斯特市水厂	114 000	高速混合、混凝沉淀、砂滤、活性炭吸附池	4池 :4.9m×16.8m×2 ;炭层 1.2m		除味及有机物
美国 丘吉威林水厂	9 120	澄清反应池、快滤池、活性炭吸附池	12 池	水厂内设再生炉(2~3t/d)	除味及有机物
日本 柏井净水厂	750 000	流化床活性炭吸附装置	8 池	设流化床再生炉	除味及有机物
苏联 秋明市水厂		混凝沉淀、双层滤料滤池、活性炭吸附池	炭层厚 1.2m		除味及有机物
法国 梅利水厂	100 000	预氯化、混凝沉淀、颗粒活性炭吸附、臭氧消毒、后氯化	6 池 ;接触时间 15min	再生周期 12 个月	除味、氯及有机物
法国 巴黎阿那纳水厂	25 000	混凝沉淀、活性炭吸附、臭氧氧化、后氯化	2 池 ;接触时间 13min	36 个月再生一次	除味及有机物
美国 萨默赛物某水厂	190 000	砂滤后活性炭二次吸附			除色、臭、味
日本 渡利水厂	59 000	混凝、沉淀、砂滤、炭吸附	空间 流速 15m/h ;炭层 2.5m		嗅阈值 20 降至 0~3
美国 辛辛那提市加利福尼亚水厂	620 000		12 池 ;9.1m×19.8m ;炭层 3.5m ;接触时间 15min	2 个流化床再生炉 ,再生能力每个炉 22 700kg/d	去除水中有机物污染

1.2 国内活性炭水处理的应用

我国在 20 世纪 60 年代末期 ,开始利用活性炭去除受污染水源中的臭和味。1967 年沈阳自来水公司用活性炭吸附去除由于工业废水污染引起的地下水的臭味 ,取得了较好的效果。白银地区把活性炭用于给水处理 ,规模为 3 万 m³/d ,由兰州市政工程设计院设计 ,于 1975 年 9 月建成投产。该工程以黄河为水源 ,位于兰州下游 100km 处 ,水源处于白银地区的矿山、冶金、化工企业废水排放口下游 500m 处 ,水源污染严重 ,石油、汞、酚、硝基化合物等方面都超过了国家规定的卫生标准 ,这套活性炭装置投产后 ,水质大有改善。

为了去除水库水源的色、臭、味 ,80 年代初北京市市政工程设计院在北京市第一座带有深度处理的地面水厂——田村山水厂进行了炭吸附试验 ,而后又在城子水厂进行输炭试验及试验参数验证试验。以验证参数为依据 ,先后在北京建成规模为 17 万 m³/d 的田村水厂炭吸附池 ,规模为 50 万 m³/d 的北京市第九水厂一期工程炭吸附池 ,规模为 4.32 万 m³/d 的城子水厂升流式炭吸附池和规模为 5 万 m³/d 的长辛店水厂炭吸附池 ,规模为 100 万 m³/d

的九厂二期、三期工程炭吸附池。实践证明炭吸附对去除微污染原水中有機物质、有毒物质是有效的 ,与其它处理方法相比 ,工艺比较简单 ,易上马 ,经济可靠。在常规处理不能满足饮用水水质标准时 ,需要通过对深度处理工艺方案进行技术经济比较 ,确定是否采用活性炭吸附工艺 ,并针对原水水质做现场炭柱试验 ,确定所采用的设计参数。1996 年 10 月 ,北京市政设计院编制了院定标准《活性炭水处理技术规定》 ,现正编制颗粒活性炭吸附池水处理设计规范。

国内活性炭使用的规模、性能见表 2。

国内失效炭再生方面 ,在白银地区饮用水深度处理工程中采用直接电流加热再生炉 ,构造简单、操作方便、体积小、热效率高 ,对于大型水厂的炭再生 ,因再生设施的基本建设费用高 ,用水、燃料、耗电的经常费用也高 ,1t 炭在厂内自己再生比到厂外再生费用高 ,经济上不合算 ,目前多数到再生专业厂再生。国内活性炭的应用情况见表 3。

2 活性炭深度水处理机理及处理效果

活性炭是水处理中最常用的一种吸附剂。在制造活性炭的活化阶段 ,炭粒晶格间生成的空隙形成

表 2 国内用于水处理的颗粒活性炭的性能及规格

性能	厂名 山西太原新 华厂 ZJ15 炭 (8#炭)	北京光华厂 GH-16 炭	宁夏华辉 PAC616	宁夏核工业 217 活性炭厂 H-15
原料与形状	煤质、柱状	杏核、无定形	无烟煤、无定形	
粒径/mm	1.5			1.5
粒度/筛目	10~20	10~28		
充填密度/g/L	450~530	340~440	380~450	~530
真密度/g/L	2.2	2.0		
比表面积/m ² /g	900	1 000	1 000~1 100	
总孔容积/ml/g	0.8	0.9		
机械强度/%	>75	≥90	90	90
水分/%	<10	<10		
灰分/%	<30	<4	<12	≤12
碘值/mg/g	≥800	≥1 000	≥950	≥900
亚甲蓝值/mg/g			≥150	≥150

了各种形状和大小不同的细孔 ,其中大孔孔隙半径 100~10 000nm ,中孔孔隙半径为 2~100nm ,小孔孔隙半径<2nm ,大、中、小孔孔壁的总面积就是活性炭的总表面积 ,活性炭的强吸附性能主要就发生在这些孔的表面上。活性炭的吸附量除与表面积有关外 ,还与细孔的形状、分布及表面的化学性质有关。一般情况 ,用于水处理的活性炭应具有适当比例的孔 ,以去除水中分子量(或分子直径)较大的吸附质。活性炭表面具有微弱的极性 ,不仅可以去除水中的非极性吸附质 ,还可以去除极性吸附质 ,甚至某些微量的金属离子及其化合物。

天然水源所受到的污染 ,严重时造成水源的富

营养化 ,藻类的大量繁殖 ,使水源带有色、臭、味。活性炭吸附是除色、臭、味最有效的方法之一。此外 ,活性炭用于由铁、锰及植物分解产物或由于有机污染而使水体带有的颜色的去除也是十分有效的。

此外 ,用活性炭去除水中微量有机氯及其产生的异臭味也是最为有效的方法之一。

3 颗粒活性炭吸附池设计参数及要求

3.1 设计参数

接触时间>7.5min ,炭层厚度 1.0~2.5m ,空床流速 8~20m/h ,炭层水头损失 0.4~0.6m ,冲洗膨胀率 15%~35% ,冲洗强度及历时 :常温下经常冲洗强度为 13L/(m²·s) ,历时 8~12min ,定期采用大流量冲洗强度为 15~18L/(m²·s) ,历时 8~12min ;冲洗周期 :经常性冲洗周期 3~6d ,定期冲洗周期 30d。

炭吸附池进水浊度应<3NTU。冲洗水可采用过滤水或炭吸附水 ,冲洗水浊度应小于 3NTU。

3.2 炭吸附池的形成

炭吸附池采用升流式或降流式 ,应根据原水水质 ,构筑物衔接方式 ,重力排水要求 ,当地运行管理经验等因素 ,结合工程地形条件 ,通过技术经济比较后确定。

3.3 配水系统

(1)炭吸附池宜采用小阻力配水系统 ,其配水孔眼面积与炭吸附池面积之比应为 1%~1.5%。

(2)承托层宜采用大、小、大分层级配 ,即砾石承托层的粒径级配是上下大中间小的一种级配形式。

表 3 国内颗粒活性炭应用情况

水厂名称	投产年	处理量/m ³ /d	处理工艺流程	活性炭滤池的个数与参数	再生装置情况	活性炭的作用
白银有色金属公司动力厂水厂	1975	30 000	砂滤池、活性炭吸附塔	6 个吸附塔 ,直径 4.5m ,高 7.5m ,1kg 炭处理 11~14m ³ 水	直接电流法再生	除味及有机物
北京城子水厂	1986 ,1990	50 000	混合、机械加速澄清池砂滤池、升流式炭吸附池	6 池 ,单池面积 32m ² ,炭层 1.5m	无再生装置	除臭、除味及有机物
北京田村山水厂	1985	170 000	预臭臭、常规处理、活性炭吸附池	24 池 ,单池面积 33m ² ,炭层 1.5m	无再生装置	除味及有机物
北京第九水厂(1 期)	1987	500 000	混合、机械加速澄清池、双层滤料过滤、炭吸附池	24 池 ,单池面积 96m ² ,炭层 1.5m	无再生装置	除臭、除味及有机物
北京第九水厂(2 ~3 期)	1995 ,1999	1 000 000	快速混合 ,水力絮凝、侧向流波形斜板沉淀池、均质煤滤池、炭吸附池	48 池 ,单池面积 97m ² ,炭层 1.5m	无再生装置	除臭、除味及有机物

(3)当采用升流式炭吸附池时,应封闭防二次污染。

(4)池壁应采用防电化学腐蚀措施。

4 颗粒活性炭吸附池设计实例

城子水厂是北京市自来水公司门头沟区的地表水水厂,规模为 $8.64\text{万 m}^3/\text{d}$,分期建设。一期 $4.32\text{万 m}^3/\text{d}$,水源是官厅水库,由三家店水库取水。采用机械加速澄清池、虹吸式砂滤池的常规处理方法,于1986年建成。由于官厅水库水质恶化,来水经常规处理后,在嗅阈值、色度、酚、汞等项指标方面还不能达到饮用水水质标准,因此采用颗粒活性炭吸附进行深度处理来确保出厂水水质。炭吸附池于1990年建成投产。由于城子水厂受排水水体——永定河水位限制。炭吸附池按升流式设计。单池面积 32m^2 。

4.1 主要设计参数

炭层厚度 1.5m ,垫层厚度 0.5m ;接触时间 8min ;冲洗强度 $13\sim 15.6\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$;冲洗水头 1.3m ;冲洗膨胀率 $20\%\sim 40\%$;炭层水头损失 0.6m ;冲洗周期 $7\sim 15\text{d}$ 。

4.2 炭吸附池特点

(1)采用升流式炭吸附池,充分利用水源与排水水体之间的高程差,不设提升设备节省能源,简化管理。

(2)利用炭吸附池的进水与冲洗不同时发生的特点,使用了同一根管道及一个带开度指示的蝶阀,控制两种开启度,以达到控制进水量小与冲洗水量大的两种流量要求。为了便于操作,将蝶阀的操作手轮设于室内地面上。采用该种形式的炭吸附池,构造简单、操作省力方便、节省设备、管材。

(3)炭吸附池内炭粒层采用水力输送,根据进、出炭两工序不会同时发生这一特点,采用同一根不锈钢管进炭和出炭,以节省管材、设备和投资,也可以简化安装。

(4)为保证升流式炭吸附池的出水中不含有漂浮的炭沫,采用潜流式穿孔管出水,运行效果很好。

(5)采用炭吸附池备用格,增加投资不多,备用格既可起到贮存炭的作用,又可以在炭格检修期间及时投入运行,大大提高运行的安全度,减少贮炭库用地。

在国内大中型水厂中建造规模这么大的升流式钢筋混凝土炭吸附池尚属首次。本设计获1993年北京市优秀设计三等奖。

参考文献

- 1 兰淑澄编著,沈光范审校.活性炭水处理技术.北京:中国环境科学出版社,1991
- 2 H·凯利, E·巴德著,德·魏同成译.活性炭及其工业应用,1990
- 3 北京市政设计院,北京自来水公司.提高地面水质处理的研究(内部资料).1981
- 4 北京市政设计院研究所.城子水厂扩建工程活性炭吸附池参数试验(内部资料).1981
- 5 北京市政设计院研究所.喷射器水力输送活性炭试验报告(内部资料).1983

○作者通讯处:100045 北京月坛南街乙2号

北京市市政工程设计研究总院

电话(010)68023409

修回日期 2000-12-19

全国建筑给水排水委员会气体消防分会 成立大会暨第一届学术年会在沪召开

2000年12月22日至25日,全国建筑给水排水委员会气体消防分会在上海召开了分会成立大会暨第一届学术年会。

出席本届大会的气体消防界各地委员和代表共82人,其中包括36名团体委员代表。会议总结了自上届年会以来,全国气体消防技术研究会的各项工作,并宣布了改组为气体消防分会后的理事长、秘书长人员名单。

大会研讨的话题围绕着《蒙特利尔协议书》规定限制哈龙灭火剂使用后,究竟使用哪一种安全有效的气体灭火剂为好?比较一致的看法是,直至目前为止,就灭火效果而言,还没有一种能完全取代卤代烷1301灭火剂。“限制使用”与“禁止使用”是两种截然不同的概念。各地代表就各自接触的二氧化碳、SDE、惰性气体、七氟丙烷、气溶胶灭火剂等开展讨论,对上述各类灭火剂的利弊功效,还存在分歧和争论。大会中介绍的某些气体灭火剂侯选替代物虽有一定的灭火效果,但其灭火机理及试验数据尚有待进一步研究。两天的大会开得务实紧凑,学术气氛浓厚。

(陶端)

GAC Based Advanced Treatment of Drinking Water *Liu Yixuan et al* (12)

Abstract : The mechanism , development and application of advanced water purification processes by means of granular activated carbon (GAC) worldwide are presented , also the necessity of GAC based advanced treatment of drinking water is described. In this paper , the parameters and requirement for GAC adsorbing tank design are given and the design criteria of GAC adsorbing unit in Chengzi Waterworks in Beijing are specified eventually.