

滤池出水 pH 值异常偏高的原因及解决方法探讨

贾伯林, 杨志宏, 王光辉, 顾宇盟

(太平洋水处理工程有限公司, 江苏 南通 226009)

摘要: 针对南方某水厂 V 型均质砂滤池出水 pH 值偏高的现象进行了研究。结果发现,引起该厂 V 型滤池出水 pH 值升高的主要原因是滤砂中钾长石缓慢释放。对比了多种来源的石英砂、钾长石等可能引起滤池出水 pH 值升高的材料,同时对如何解决 V 型滤池出水 pH 值偏高问题进行了试验。结果发现,采用弱酸如柠檬酸浸泡,可解决上述问题,但效率不高,而采用强酸如盐酸浸泡则可快速解决此问题。

关键词: 水厂; V 型均质砂滤池; pH 值; 石英砂; 钾长石

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)01-0056-04

Exploration of Causes and Solutions to Abnormal Increase in pH of Filter Effluent

JIA Bo-lin, YANG Zhi-hong, WANG Guang-hui, GU Yu-meng

(Pacific Water Treatment Engineering Co. Ltd., Nantong 226009, China)

Abstract: An abnormal increase in pH values of the V-type filter effluent was investigated. The phenomena were caused by the continuous release of impurity in quartz sand filter. Potash feldspar was identified as the material causing abnormal increase in pH, after comparing pH tests of various sources of commercial quartz sand and potash feldspar. Meanwhile, acid soaking tests were used to solve the problem, and it was found that both citric acid and hydrochloric acid could mitigate the raise of pH value.

Key words: waterworks; V-type quartz sand filter; pH; quartz sand; potash feldspar

1 项目背景

南方某新建水厂建设总规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,取水水源为某山区水库,采用常规水处理工艺,即混合→絮凝→沉淀→过滤→清水池→市政管网,采用次氯酸钠消毒。工程于 2015 年 6 月招标结束,2016 年 7 月试投产,设计供水水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。

本项目均质砂滤池采用石英砂滤料,是一种气水连续反冲洗重力型滤池,配有溢流、分流及恒定水位等速过滤控制系统和可调式滤头配水配气系统。滤池采用单层均质滤料,利用滤料深层截污技术,提高出水水质及延长反冲洗周期。滤池共 2 组,每组 8 格,共 16 格,每格滤池面积约为 113 m^2 ,单格有效

过滤面积为 93.99 m^2 。滤料上水深为 1.20 m,设计滤速为 7.5 m/h ;过滤水头为 2.0 m,池内水位波动范围为 $\pm 16 \text{ mm}$ 。

每格滤池铺装石英砂滤料厚度为 1.3 m,粒径为 $0.8 \sim 1.2 \text{ mm}$ ($K_{80} < 1.40$),石英砂体积为 122.2 m^3 ,16 格滤池总体积约为 1960 m^3 。单格滤池铺装承托料砾石厚度为 0.10 m,粒径为 $2 \sim 4 \text{ mm}$,16 格滤池总体积约为 150 m^3 。

试生产过程中,发现滤池出水 pH 值相对于进水异常偏高,且接近 8.5。考虑到自来水经过供水管网后 pH 值可能会更高,出厂水在管网末端的水质指标将可能会超过《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中 pH 值限值,成为不合格自来水。因

此,必须找到 pH 值异常升高的原因并加以排除。

2 pH 值异常升高的可能原因排查

2.1 混凝土

滤池内表面直接与水接触的混凝土包括池体水面以下部分及滤床表面。

混凝土一般呈碱性。根据《混凝土碱含量限值标准》(CECS 53:93),混凝土的碱含量是指混凝土中等当量氧化钠的含量,以 kg/m^3 计;混凝土原材料的碱含量是指原材料中等当量氧化钠的含量,以百分数计。等当量氧化钠含量是指氧化钠与 0.658 倍的氧化钾之和。混凝土的主要原材料包括水泥、骨料和拌合水、矿物掺合料、化学外加剂等,因此混凝土的碱含量为上述 4 类组分的碱含量之和。

2.2 石英砂滤料与砾石垫层

由于石英砂滤料与砾石垫层的原料来源相同,仅粒径不同,故重点对石英砂滤料进行讨论。

2.2.1 石英砂滤料的物理、化学特性

一般石英砂滤料的外观色泽均匀,为黄色、白色、棕色颗粒物的混合物。滤料表面坚硬,呈圆形颗粒。主要特性:容重为 $1\,500 \sim 1\,700 \text{ kg}/\text{m}^3$,密度为 $2.5 \sim 2.7 \text{ kg}/\text{cm}^3$,耐火度为 $1\,750\text{ }^\circ\text{C}$, $\text{SiO}_2 \geq 85\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 1\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 \leq 2\%$, $\text{CaO} + \text{MgO} \leq 0.5\%$, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} \leq 1\%$,挥发残余 $\leq 0.1\%$ 。

根据《水处理用滤料》(CJ/T 43—2005),用于水处理的石英砂滤料的主要质量标准如下: $\text{SiO}_2 \geq 85\%$,不应含可见泥土、粉屑、云母或有机杂质,灼烧减量不大于 0.7% ,密度 $< 2 \text{ g}/\text{cm}^3$ 的轻物质含量不大于 0.2% ,含泥量不大于 1% ,盐酸可溶率 $< 3.5\%$,破碎率和磨损率之和 $< 2\%$,不应使滤后水浸出液产生有毒、有害成分。

2.2.2 石英砂产地污染源及终端用户使用情况

供货商生产的石英砂原料来自福建漳浦近海水底,附近 10 km 内没有排污口等污染源。

该供货商长期为我公司及其他自来水处理项目提供石英砂滤料和砾石,除个别水厂因为前端需要加碱调节 pH 值外,据检索及调查结果,其他水厂均未见滤后水 pH 值异常情况。

2.2.3 石英砂滤料的生产制造过程

通常,石英砂滤料由天然矿物二氧化硅生成,一般生产过程如下:原砂自水底(或沙滩)经抽砂船抽出后,经皮带输送机输送至生产场所,经初级水洗筛、水洗分粒筛、水洗浮选机等工序,逐级去泥并浮

选有机物,沥干、干燥;干燥砂粒按产品要求的粒度分级进入精选筛精选,经检验、包装后成为合格的成品石英砂滤料。天然的海砂,根据洁净程度,一般可酌减初级水洗筛、水洗分粒筛等工序。

2.2.4 石英砂滤料和砾石垫层中的目测可视杂质

观察本项目石英砂样品,除了黄色、白色、棕色颗粒物外,还有极少量的细小圆形或长条形乳白色颗粒。分拣出上述乳白色颗粒 10 g ,并分别以 14 mL 纯水和柠檬酸溶液对其进行浸泡,观察浸泡液 pH 值变化情况。

2.2.5 石英砂滤料的浸泡试验

① 重金属离子

考虑到在实际水处理过程中,待过滤水以重力流的方式通过石英砂滤料层和砾石层的速度为 $7.5 \text{ m}/\text{h}$,参考《生活饮用水输配水设备及防护材料卫生安全评价规范(2001)》中对输配水设备的检验方法,在 $(25 \pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$ 避光条件下按 70 g 浸泡水 : 50 g 砂的比例浸泡 $(24 \pm 1) \text{ h}$ 后,对浸泡液进行检测。

② 不同生产厂家的石英砂浸泡试验

将不同厂家生产的石英砂,在 $(25 \pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$ 避光条件下同时进行浸泡试验,浸泡液分别采用清水及不同浓度的柠檬酸(浓度分别为 0.2% 、 0.5% 、 1% 、 2% 、 5%),记录浸泡 1 、 3 、 5 、 10 、 20 、 30 d 的结果。

③ 盐酸浸泡试验

在 $(25 \pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$ 避光条件下采用强酸—— $1 \text{ mol}/\text{L}$ 盐酸溶液对石英砂样品浸泡 24 h 后洗净,然后再用清水浸泡,记录试验结果。

④ 钾长石的浸泡试验

在 $(25 \pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$ 避光条件下对钾长石样品进行浸泡试验。

2.2.6 石英砂滤料的成分

委托国土资源部某矿产资源监督检测中心以 D/MAX-2500 型 X 光衍射仪对本项目石英砂样品进行成分分析。

3 对排查情况的分析

3.1 石英砂中白色可见杂质浸泡试验结果

通过浸泡试验可以发现,用纯水浸泡乳白色颗粒物,其浸泡液 pH 值由 7.81 变为 7.90 ,基本没有升高,说明乳白色颗粒物质不会引起浸泡液 pH 值升高,由此可以排除乳白色颗粒物对滤池出水 pH 值的影响。通过 2% 和 5% 柠檬酸浸泡,发现浸泡前后 pH 值变化较大,浸泡液呈乳白色且含有大量悬

浮物,可见柠檬酸可以与乳白色颗粒发生反应。分析悬浮颗粒的成分可知,乳白色悬浮颗粒为柠檬酸钙。

3.2 石英砂滤料的浸泡试验

3.2.1 浸泡液成分分析

石英砂浸泡液组分分析见表1。

表1 石英砂浸泡液组分分析

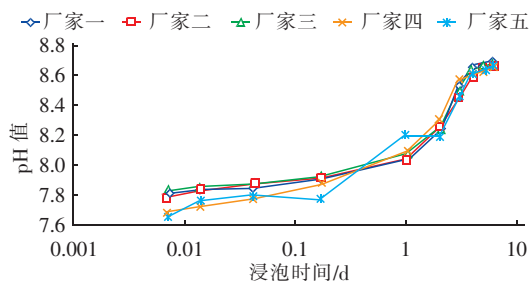
Tab.1 Composition analysis of soaking solution

项 目	浸泡前	浸泡后	规范要求
pH 值	7.33	7.87	改变量 ≤ 0.5
钠/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	ND	1.05	
钾/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	ND	1.70	
铁/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	ND	0.78	增加量 ≤ 0.06
锰/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	ND	3.50	增加量 ≤ 0.02
铍/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	ND	0.143×10^{-3}	
锑/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	ND	0.047×10^{-3}	增加量 ≤ 0.0005
镍/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	ND	ND	增加量 ≤ 0.002
锌/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	ND	ND	增加量 ≤ 0.2
铜/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	ND	ND	增加量 ≤ 0.2
色度	无色透明	无色透明	增加量 ≤ 5 度

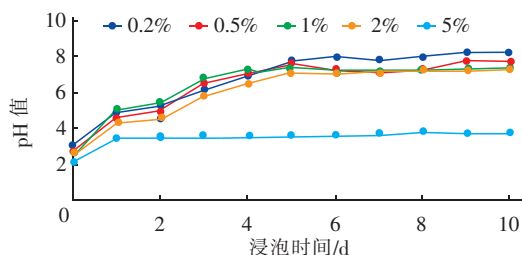
从表1可以看出,浸泡后 pH 值上升 0.54,已超过《生活饮用水输配水设备及防护材料卫生安全评价规范(2001)》对涉水材料的卫生要求(pH 值改变量 ≤ 0.5)。此外还发现钾、钠、铁等指标增加值较大,分别达到 1.70、1.05、0.78 mg/L ,而规范要求铁增加量 $\leq 0.06 \text{ mg/L}$ 。

3.2.2 石英砂浸泡试验结果

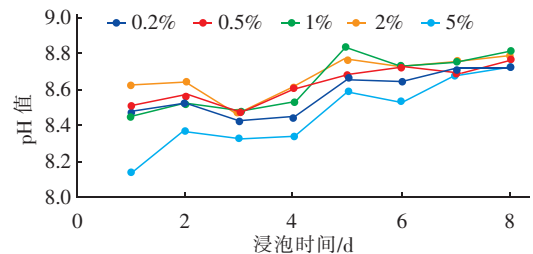
图1为石英砂浸泡试验结果。



a. 不同来源石英砂清水浸泡



b. 不同浓度柠檬酸浸泡



c. 柠檬酸浸泡且清洗后再用自来水浸泡

图1 石英砂浸泡试验结果

Fig.1 Soaking results of quartz sand

图1(a)对比了不同厂家的石英砂,其水体 pH 值随接触时间增加而逐渐增加,趋势类似,说明石英砂在清水浸泡过程中,或多或少都存在浸泡液 pH 值上升现象,区别在于增长趋势和增长量,且清水浸泡石英砂,浸泡液 pH 值缓慢而稳定上升,说明石英砂中致碱性物质是稳定而缓慢释放的。

图1(b)显示柠檬酸浓度越高,对 pH 值升高的抑制效果越好;pH 值会随着浸泡时间的延长而缓慢上升。图1(c)显示柠檬酸浸泡且滤砂用水清洗后再采用自来水浸泡,溶液还是会呈现碱性。

图2对比了两个不同滤池的 pH 值变化曲线,一格直接过滤运行,一格用 0.2% 柠檬酸浸泡后再过滤运行。对比发现,柠檬酸浸泡后,滤池出水 pH 值下降速率明显加快。可见,柠檬酸浸泡滤砂可在一定程度上加快滤砂的恢复,但也要通过一段时间的清水再清洗,不能一劳永逸地解决问题,但可加快解决问题的速度。

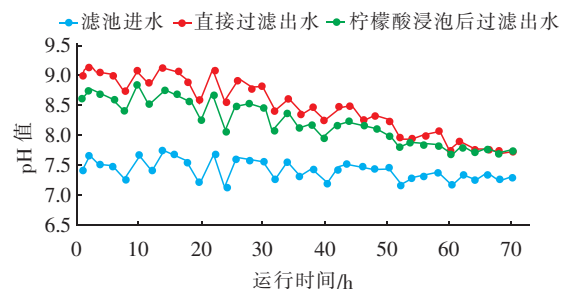


图2 两滤池长时间冲洗时 pH 值随冲洗时间的变化曲线

Fig.2 pH changes in two filters for a long time flushing

3.2.3 石英砂成分分析

石英砂成分分析光谱显示,其 SiO_2 含量为 99.5%,钾长石含量为 0.5%。清水长期浸泡后的石英砂样品,其 SiO_2 含量为 99%,钾长石含量为零。浸泡前后,钾长石含量发生变化,由浸泡前的 0.5% 降低到零。根据文献^[1],钾长石会与溶入水中的 CO_2 及水发生反应生成碳酸氢根,使得溶解液 pH

值升高。可见,导致 V 型滤池 pH 值升高的主要原因应是钾长石类矿物质的溶解释放。

3.2.4 钾长石的浸泡试验

对纯钾长石进行浸泡试验,清水浸泡石英砂及钾长石后 pH 值变化见图 3。可以看出,浸泡液 pH 值随浸泡时间呈相似的增长趋势,因此滤池出水 pH 值升高与石英砂内钾长石的存在呈正相关。

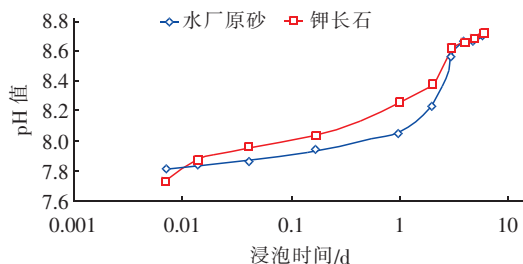


图 3 水厂石英砂原砂及钾长石浸泡液 pH 值变化

Fig. 3 Change of pH of raw quartz sand and potash feldspar soaking solution

3.2.5 盐酸浸泡后清水再浸泡试验结果

滤砂首先经 1 mol/L 盐酸溶液浸泡 24 h 后清洗至初始 pH 值再用自来水浸泡,发现盐酸对滤砂具有很好的清洗效果。

3.3 混凝土对 pH 值升高的影响

由于试运行阶段发现滤池 pH 值异常时,土建施工单位已撤场多日,构筑物的混凝土试块暂无法寻得,同时石英砂的浸泡试验数据显示,石英砂浸泡后 pH 值升高的情况与本项目滤池实际试运行过程中 pH 值升高的情况比较接近,基本可以断定引起 pH 值升高的原因主要来自石英砂,故未就混凝土对滤池出水 pH 值升高的影响进行深入评估。

4 应对策略

4.1 柠檬酸浸泡

按试验结果,兼顾到酸性液体对混凝土池体的腐蚀作用,建议采用 0.2% 的柠檬酸对石英砂先进行反复浸泡、清洗后,再正常投入使用。柠檬酸约 5 000 元/ m^3 ,16 格滤池约需费用 39 807 元。

4.2 CO_2 气体投加

刘锦荣等提出^[2],以 CO_2 气体投加来调节水处理中 pH 值,实际运行成本约为 0.003 元/ m^3 。该方法具有一定的参考价值。

4.3 浸泡、冲洗后快速过滤

该厂设计规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,由于用户需求不足,两条 $12.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的生产线目前只运行

了一条,且实际运行规模在 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,其中滤池运行了一组共 8 格。据此计算,实际滤池的滤速为 1.8 m/h,是设计滤速的 0.25 倍。由于实际滤速远远低于设计滤速,滤料中碱性物质的溶解释放浓度相对较高,因此提高滤速至设计滤速,有助于降低滤料中碱性物质的溶解释放浓度。实际试运行过程中,大约两个月后,滤料能达到正常工作状态。

5 结论

南方某水厂 V 型均质砂滤池出水 pH 值偏高,研究发现主要原因是滤砂中钾长石缓慢释放。采用弱酸浸泡,如柠檬酸浸泡,可解决上述问题,但效率不高,而采用强酸如盐酸浸泡则可快速解决此问题。

生产产地不同,或者同一生产产地的场地不同,石英砂中除 SiO_2 之外的其他杂质的成分可能不同,滤后水 pH 值比滤前水 pH 值异常升高,其原因也可能不同。本项目中,引起滤池出水 pH 值异常升高的杂质主要是钾长石,并不代表其他项目上类似情况发生时其原因也一定是钾长石。

参考文献:

- [1] Xie H P, Wang Y F, Ju Y, et al. Simultaneous mineralization of CO_2 and recovery of soluble potassium using earth-abundant potassium feldspar[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(1): 128 - 132.
- [2] 刘锦荣,肖帆,刘小东,等. 小型水厂原水 pH 值异常升高的应对策略[J]. 中国给水排水, 2016, 32(17): 48 - 50.



作者简介:贾伯林(1966 -),男,江苏南通人,大学本科,高级经济师,主要从事水处理工程项目管理和技术管理工作。

E-mail: 18605134911@163.com

收稿日期:2017-08-12