

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.14.022

利用仪表监测数据判断生物活性炭系统调试工况

张晏晏

(上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 结合上海金海水厂臭氧生物活性炭系统的调试实测数据,创新性地总结如何利用仪表监测数据判断调试工况。为保证设备运行可靠,应确保其就地无故障运行后,再进行远程操控;并应在调试前期多次核对仪表监测数据远程反馈与就地数据。观察活性炭滤池清水调节阀开启度,可有效判断单格滤池进水均匀度,并间接检查透气孔是否畅通。利用流量计可确定水泵最低出水启动频率,并为其他非工作水泵提供安全的点动频率。利用流量计数据还可使不同水泵组合下的炭滤池反冲洗强度保持稳定。总结了炭滤池反冲过程中单格液位的变化规律,以判断相关设备是否开启及反冲状态。记录了炭滤池反冲时水池液位仪随时间的变化情况,以计算和研究反冲洗废水池的进水过程。

关键词: 调试; 仪表数据; 臭氧生物活性炭系统

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)14-0128-06

Commissioning Conditions of BAC System Judged by Instrument Monitoring Data

ZHANG Yan-yan

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on the test data of O₃-BAC system in Shanghai Jinhai waterworks, how to use instrument monitoring data to judge commissioning conditions is summarized innovatively. In order to ensure the reliable operation of the equipment, the remote control should be carried out without the local fault; and the remote feedback and local data should be checked many times in the early stage. The inflow uniformity of single filter can be judged by observing the opening degree of valve in BAC, and by indirectly checking whether the air vent is unblocked. The minimum water pump starting frequency data can be determined by flow meters, and provide a safe inching frequency for other non-working pumps. Data of flow meters can also ensure the stability of backwashing intensity under different pump combinations. Change of liquid level in single carbon filter during the backwashing process is also summarized, to judge the state of equipment and the backwashing process. The change of level meters during backwashing is recorded to study the influent process of the backwash tanks.

Key words: commissioning; instrument data; O₃-BAC system

1 概述

调试是水厂进入正式运行前最重要的一环。水厂调试期间,设备单机操作由施工人员完成,总体指挥则由熟悉工艺的水司或者设计院工程师担任。前

者人数虽然较多,但由于缺乏专业知识,对突发情况应变能力较差;后者人数较少,通常在中控室调试系统,无法现场观察设备,但可通过观察分析仪表监测数据,判断设备和系统运行状态。

观察仪表监测数据并对其记录分析,是在中控室的调试工程师了解设备和系统工况的重要手段,也是调试中对突发状况快速反应和处理的必要条件。随着智慧水务发展,水司人员越发精简,调试工作将更加依赖于仪表监测数据,因此研究其与系统工况的关系是十分必要且迫切的。而现今有关调试的研究以自控系统优化^[1-2]和调试完成后水质^[3-4]分析为主,对于仪表监测数据,如液位、设备运行频率、流量等与调试工况的关系的报道较少。

因此,以上海金海水厂生物活性炭系统的实际调试为例,以实测数据为基础,总结如何利用仪表监测数据判断调试工况,以期今后积累调试经验,从而减少调试人员数量,加快调试进度。

2 水厂基本概况

上海金海水厂处理规模为 $80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,在现有常规处理系统的基础上新建深度处理工程。预处理采用预臭氧工艺,深度处理采用臭氧活性炭工艺。初滤水及冲洗废水采用预浓缩处理后上清液回用工艺^[5]。

部分设计参数如下:

① 提升泵房规模为 $80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分成2组,每组设提升泵5台,4用1备。每台泵流量为 $4\,250 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为100 kPa,功率为200 kW。提升泵均配备变频调速装置。

② 后臭氧接触池和活性炭滤池合并设置,共设2座,每座规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,每座滤池分成10格,双排布置,每侧进水管设置1台流量计,共4台。反冲采用气冲结合单水冲,气冲强度为 $55 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,水冲强度为 $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

③ 鼓风机房及反冲洗泵房设独立的2组,每组设备均设置水冲流量仪和气冲流量仪各1套。每组鼓风机设2台(1用1备);每台鼓风机风量 $4\,350 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程40 kPa,功率110 kW,均为变频。每组冲洗水泵设4台(3用1备),泵流量为 $1\,350 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为115 kPa,功率为55 kW。

3 调试注意事项

3.1 关键位置

关键位置是指调试过程中应有人员就地观察的位置。前期人员应定点观察液位和相关设备运行情况;后期应有人员对调试关键位置进行巡检和故障处置。关键位置人员应与中控室或者指挥部

密切通信。具体关键位置如下:

① 堰口观察孔

包括预臭氧出水堰、提升泵房出水堰、后臭氧出水堰、炭滤池进水堰、炭滤池反冲洗排水槽、炭滤池出水堰、反冲洗水池的水位堰等。

堰与顶板的距离较池体其他部位近,此处人员需要观察过水情况,既要防止流量不足无法翻堰,也要防止流量过大溢出池顶。

② 各池池顶

包括预臭氧接触池、后臭氧接触池、炭滤池、回用水池等。主要观察池体是否进水漏水,相关阀门是否正常运行,炭滤池反冲洗状况以及是否有跑炭现象,同时根据池体实时进水情况调整水泵等设备参数。

③ 设备就地控制柜

观察设备是否正常运行。前期应多次就地开启和设定设备运行参数,保证设备运行完全正常。中期应配合中控室确认远程操作命令是否已下达设备。后期应巡查就地控制柜的数据反馈和中控室数据是否保持一致。

④ 液位仪和流量仪

校核就地数据是否与中控室数据保持一致。

3.2 设备开启步骤

设备一般按如下步骤开启:①设备正确安装完成;②设备空载调试运行正常;③设备就地开启调试运行正常;④远程开启。

其中③为最重要的步骤。步骤③确认后,系统调试时若远程命令无法下达使设备正常使用,那么仍能就地开启设备,使调试工作进度不会因此延误。而步骤③的确认也降低了设备自身原因导致故障发生的可能性,从而加快故障的识别及自控系统的完善。

因此,在设备调试进入步骤③时,必须要求设备厂商派遣相关技术人员一同现场确认。仅当设备运行时不存在任何故障后,技术人员方可撤离,并进入步骤④的远程操作。

3.3 流量及水位的验证

液位仪和流量仪的数据精准,可以有效判断设备是否正常运行、所调试系统是否稳定,减少关键位置及人员,加快调试进度。

① 液位仪校准

液位仪的准确是流量仪校准的前提。判断液

位仪是否准确反馈,主要采用如下方式:

a. 利用池体的结构(如梁底、滤池排水槽等),对比物理标高与显示水位的相对关系。

b. 利用池体溢流设施,对比理论计算溢流水位与显示水位。

在液位仪校准过程中,应注意液位仪的量程,当显示液位与溢流液位接近时,需要现场时刻注意是否有水溢出池体现象。

② 流量计的校准

流量计的校准主要是通过上下游池体的液位变化并计算确定,比如反冲洗水池液位下降幅度与反冲洗流量的关系。也可通过对比并联流量计的数据判断本流量计的精准度,如单台提升泵在相同频率下运行,分别进入不同管道时,2台流量计显示数据是否匹配。

4 调试的启示

4.1 透气孔的设置

透气孔的布置是水厂建设过程中经常忽略的部分,设计中可能遗忘布置透气孔,而施工中对于图纸的理解不到位也会遗忘预留透气孔,甚至表层砂浆涂抹也会造成透气孔再次堵塞。

透气孔虽为极小的设计细节,但会对构筑物的过水能力和过水均匀性产生较大的影响。调试开始时必须检查透气孔是否畅通,调试过程中也要通过观察各仪表的监测数据判断透气孔是否仍有遗漏。

① 臭氧接触池

预臭氧接触池和臭氧接触池应在未注入氧气或者臭氧之前进水,并观察臭氧接触池池顶安装的安全阀(双向透气阀)在进水过程中是否有向外排气现象。若没有,则应先减小安全阀开启阈值并再次进行观察,若池体进水时仍无排气现象,则应检查池体顶部下翻梁上是否预留透气孔并保持通畅,以免今后氧气或者臭氧等大流量气体进入后,池体受气压影响,过流发生阻碍。

② 活性炭滤池

当活性炭滤池首次进行单侧一组5格同时过滤时,各格滤池的出水调节阀开启度如图1所示。随着进水流量的不断增加,阀门开启度的不均匀性越来越大,意味着一组5格滤池进水流量差异较大。而理论水损计算结果无法解释这一现象。

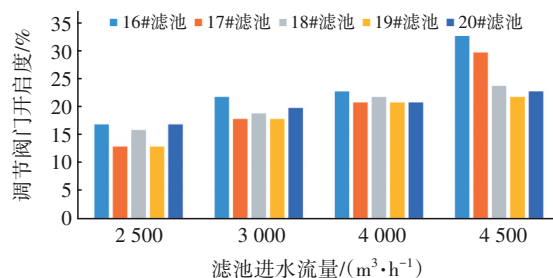


图1 进水流量与阀门开启度

Fig.1 Relationship with influent flow and opening degree of valve

根据其他工程的调试经验判断,此现象为进渠道透气孔的堵塞导致(见图2)。

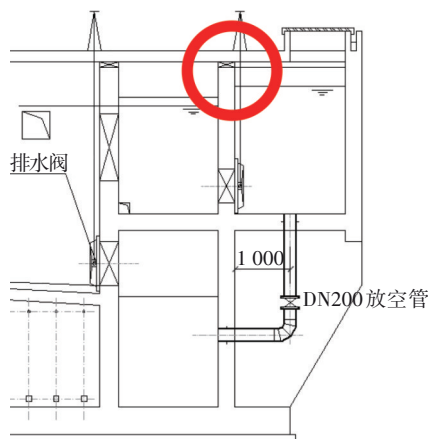


图2 不畅透气孔位置

Fig.2 Location of blocked air hole

当透气孔恢复通气功能后,相同进水流量条件下(3000 m³/h)阀门开启度对比见图3。在透气孔畅通之后单侧各滤格的进水均匀性有较大幅度的改善。

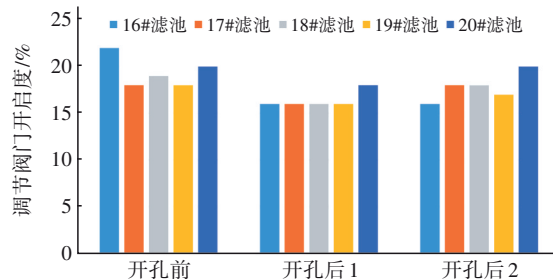


图3 透气孔与进水均匀性

Fig.3 Relationship with air hole and uniformity of influent flow

4.2 提升泵频率及流量

为核验提升泵房的运行曲线,需测定不同频率下泵的出水流量。为确定自控程序中泵的启动频

率,需研究必定出流时泵的最小运行频率。为在进水泵运行过程中,仍可对其他不出水水泵进行点动工作,还需确定水泵不出水频率,以加快其他水泵的调试进度。

调试过程中 10 台提升泵的单台开启频率和流量的对应关系见图 4。

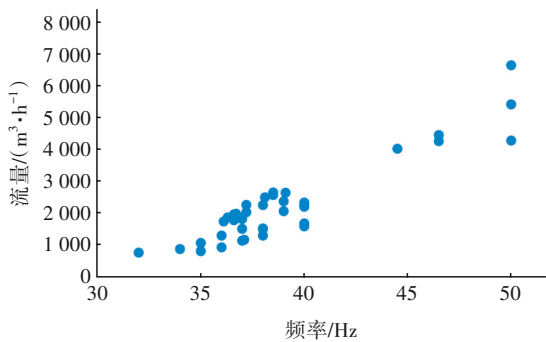


图 4 提升泵开启频率和流量的关系
Fig.4 Relationship with start frequency and flow of lift pump

综上,该提升泵满足设计最大流量要求,调试进水时提升水泵最小开启频率为 32 Hz,≤30 Hz 低频率开启时可以进行点动操作。

不同水泵,相同的开启频率下其出水流量在一定范围内波动。波动原因除了水泵自身的特性曲线略有差别外,主要是因为吸水井的液位波动比较大。水位波动设计值为 4 m,调试期间为 1.7 m 左右。水泵运行频率越高,出水流量随吸水井水位的变化越明显,频率在 50 Hz 时最大出水流量为 6 700 m³/h。

由图 4 还可知,水泵运行频率高于 32 Hz 时,水泵电机提供的动力才可克服出水堰的物理高程和泵口及拍门的水头损失,将吸水井的水提升翻过出水堰进入臭氧活性炭滤池,此时流量为 760 m³/h,满足一个滤池的小水量进水需求。

4.3 反冲洗强度的确定

活性炭滤池的反冲洗水冲强度即反冲洗泵的出水流量,与反冲洗水泵的运行频率密切相关。当频率为某一数值范围时,反冲洗水强度可以保持相对稳定。系统自动运行时,也是通过固定水泵开启频率来控制炭滤池反冲洗强度。因此,为确定该自控参数,进行反冲洗水泵频率和流量的对应关系分析是十分必要的。

确定反冲洗强度时,应完成流量仪数据的校对,同时对水泵进行就地运行检查,关键位置人员

也要对反冲状态反复确认,最终再结合流量仪的反馈值确定合理的反冲洗水泵冲洗流量,并记录该条件下的水泵运行频率。

根据现场观察结果,只有流量超过 2 500 m³/h 时,炭层中富集的杂质才能随反冲洗水流带出池体,此时对应的反冲洗强度为 16 m³/(m²·h),较设计值 25 m³/(m²·h) 偏小,但符合一般水厂实际反冲洗强度标准。同时调试过程中观察到,若反冲洗强度过大,会发生跑炭现象。

表 1 是水泵开启时的流量和频率实测数据。由表 1 可知,至少开启 2 台水泵,且频率为 45、50 Hz 时,反冲洗流量才会超过 2 500 m³/h。可见要保证滤池反冲洗流程可进行,至少需要 2 台水泵在线。

表 1 反冲洗水泵开启频率与流量的关系
Tab.1 Relationship with start frequency and flow of backwash water pump

水泵 1 频率/Hz	水泵 2 频率/Hz	反冲洗流量/(m³·h ⁻¹)
35	45	1 452
40	40	1 671.7
35	50	2 165.5
40	50	2 197.5
40	50	2 454.5
45	50	2 641.7
45	50	2 780
45	50	2 827
50	50	2 875

设计反冲洗工况为单组反冲水泵 3 用 1 备。开启 3 台水泵,观察频率与流量对应关系,经多次试验确定水泵常态工况开启频率为 35 Hz,并将数值写入自控一键反冲程序。图 5 为 3 台水泵在 35 Hz 频率下开启时流量数据,可知此工况下流量均可达到 2 400 m³/h,当反冲洗水池液位>6.0 m 时(水池水位堰高度),流量可以稳定在 2 700 m³/h 以上,具有较好的反冲洗效果。

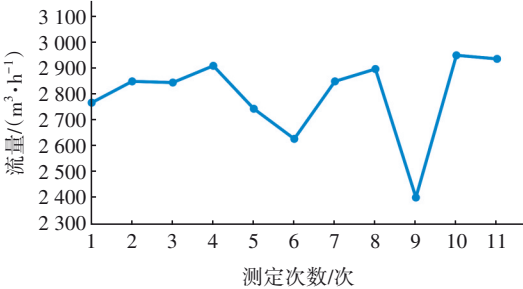


图 5 3 台水泵 35 Hz 开启时的管道流量
Fig.5 Flow data for three pumps started at 35 Hz

综上,炭滤池现阶段最小反冲洗强度为 $16 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。为保证反冲洗水冲过程的进行,至少需要2台反冲洗泵可以正常运行。额定3用1备工况下,单台水泵的最小开启频率为35 Hz。过大的反冲洗强度会造成炭滤池跑炭。

4.4 反冲洗期间液位变化

调试后期在中控室通过观察液位,能够有效了解炭滤池过滤或反冲进度及其相关系统的状态。有效利用液位仪反馈,在炭滤池池顶无观察人员的情况下,仍可判断调试过程是否正常运行。

根据本工程调试经验和实测数据,活性炭滤池在反冲洗过程中液位变化见图6。

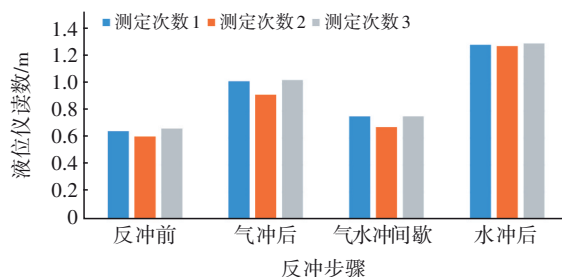


图6 反冲洗过程中水位变化

Fig.6 Change of water level during backwashing

由图6可知,为减少反冲洗过程中的跑炭量,气

冲前炭滤池液位需降低至炭面0.7 m以下。鼓风机启动后,气冲后最终液位可达0.9 m,甚至超过1.0 m,气水冲间歇由于鼓风机停止运行,炭滤池液位有非常明显的回落。水冲过程中,炭滤池液位可达1.30 m,这与理论计算的排水槽的高度+堰上水位的数值相符合。

图6的数据表明,反冲前-气冲后-气水冲间歇-水冲后4个过程的液位明显不同。在调试过程中可以通过液位变化间接判断鼓风机、反冲水泵是否正常开启与关闭,以及气冲和水冲管道是否畅通。

此外,炭滤池过滤过程中如发生溢流,液位可达1.90 m(接近炭滤池超高)。故当液位仪数据过高时,应尽快现场确认是否溢流,并采取合理措施进行进水引流或停止进水。

4.5 反冲洗排水过程

调试期间滤池反冲洗频率较正常运行工况高,虽然自控系统中存在废水池液位过高,反冲会无法开始或者持续的情况,但前期自动化程序的不完善,仍需要随时根据液位情况判断反冲洗废水池剩余的可接纳废水。

表2为调试过程中实测的两个废水池在反冲洗不同阶段的液位变化情况。

表2 反冲洗各阶段排水量

Tab.2 Discharge in each stage of backwashing

阶 段		反冲洗池1 水位/m	反冲洗池2 水位/m	两池单阶段 增加水位/m	两池累计增 加水位/m	本阶段排水 量占比/%	排水量累计占 比/%
测试 次数 1	反冲开始前	2.92	4.58	0	0	0	0
	排水阀开	3.17	4.58	0.25	0.25	13.0	13.0
	气冲后	3.36	4.58	0.19	0.44	9.9	22.9
	反冲6 min后	4.00	4.59	0.65	1.09	33.3	56.3
	液位最终稳定时	4.84	4.59	0.84	1.93	43.8	100.0
测试 次数 2	开始前	3.80	2.52	0	0	0	0
	排水阀开	3.87	2.83	0.38	0.38	24.7	24.7
	气冲后	3.87	2.95	0.12	0.50	7.8	32.5
	反冲6 min后	3.92	3.20	0.30	0.80	19.5	51.9
	液位最终稳定时	4.11	3.75	0.74	1.54	48.1	100.0

由表2可知,反冲洗6 min水泵停止运行后到液位最终稳定时,液位较前一阶段分别增长了0.65、0.84 m,以及1.09、1.93 m;较反冲开始前的初始液位分别增长了0.30、0.74 m,以及0.80、1.54 m。

在反冲水泵未开条件下,废水池液位的增加比例与进入水池反冲洗废水量增量相同。通过分析2次排水数据可知,水冲过程中从开泵到最后关泵时

滤池反冲洗废水排放量低于整个反冲洗排水量的1/3,至少40%以上的反冲洗排水在水泵关闭后通过管道进入反冲洗废水池。在预估废水池剩余接纳水量时,应着重计算这部分水量,防止关泵后废水池容积不够而发生溢出现象。

此现象的形成原因是反冲洗废水池与活性炭接触池之间的废水管道有一定距离,距离越长,关

泵后的排水量占比越大。一般两池不叠合设置,因此各工程废水管长度都较长。本工程属于两者距离较近的案例,如有两池距离更大的其他工程,应根据自身实测调试数据,计算废水池接纳余量。

4.6 对设计的启示

① 图纸设计和校审过程中应重视透气孔的布置,并在施工交底时强调透气孔施工的重要性。

② 在提升泵房体积相同条件下,设计时尽可能增加吸水井的平面面积,使得液位波动幅度较小,可以减少水泵出水流量的波动,增加系统运行的稳定性。

5 结论

① 水厂调试时,工作人员前期在关键位置确认设备就地运行不存在故障后,才可对设备进行远程操作。调试前期应确保液位仪和流量计等仪表反馈准确。

② 池体梁顶透气孔是否通畅对池体的进水能力和进水均匀度有较大影响,通过调节阀开启度可判断其是否堵塞。

③ 合理利用液位仪和流量计的远传数据,判断设备运行情况和调试进度,可有效减少后期调试人员。

④ 本工程通过流量计判断提升泵最低运行频率必须高于32 Hz,臭氧活性炭滤池才具备进水条件。通过流量计调节炭滤池反冲洗强度大于 $16 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,从而保证水冲效果。

⑤ 本工程通过液位仪判断炭滤池的反冲洗状态,并观察到至少40%以上的反冲洗排水在水泵关闭后进入废水池。

参考文献:

- [1] 邹振裕,黄明珠,罗永恒,等. 佛山新城浸没式超滤膜水厂设计经验及运行调试实践[J]. 中国给水排水, 2016,32(22):98-102.

ZOU Zhenyu, HUANG Mingzhu, LUO Yongheng, *et al.* Design experience and operation practice of waterworks with submerged ultrafiltration membrane in Xincheng District, Foshan City [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(22):98-102(in Chinese).

- [2] 杨超,刘杰,刘忠祥,等. 水厂超滤膜工艺自控系统的实现[J]. 中国给水排水, 2019,35(10):88-91.

YANG Chao, LIU Jie, LIU Zhongxiang, *et al.* Realization of automatic control system for ultrafiltration membrane in a waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2019,35(10):88-91(in Chinese).

- [3] 周夏海,杨燕华,疏明君. 臭氧活性炭滤池的调试[J]. 中国给水排水, 2014,30(22):30-33.

ZHOU Xiahai, YANG Yanhua, SHU Mingjun. Commissioning of ozone/activated carbon filter [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(22):30-33(in Chinese).

- [4] 门绚,李冬,蔡言安,等. 供水厂水质超标问题诊断与调试运行思路[J]. 中国给水排水, 2015, 31(11):1-4.

MEN Xuan, LI Dong, CAI Yan'an, *et al.* Analysis on reasons of standard-exceeding of water quality in waterworks and its solutions [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(11):1-4(in Chinese).

- [5] 张晏晏,沈小红,赵晖,等. 金海水厂深度处理工程回用水工艺设计[J]. 给水排水, 2020, 46(10):14-18.

ZHANG Yanyan, SHEN Xiaohong, ZHAO Hui, *et al.* Design of reused water system of advanced treatment in Jinhai waterworks [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(10):14-18(in Chinese).

作者简介:张晏晏(1989-),女,江苏南通人,硕士,高级工程师,主要从事水处理技术工作。

E-mail:zyy_121@163.com

收稿日期:2021-03-20

修回日期:2021-04-21

(编辑:衣春敏)