

大型臭氧系统在市政给水领域的运行维护经验总结

丁香鹏 张磊 王承宝
(青岛国林实业股份有限公司, 青岛 266031)

摘要: 本文结合在几个市政自来水厂的运行、系统设备维护情况, 初步总结了大型臭氧系统在运行及维护过程的经验和一些问题, 有待在新水厂建设和老水厂改造中进行改进。

关键词: 市政给水 大型臭氧系统 运行 维护

引言

我国自来水厂开始规模化应用臭氧处理技术已经有 20 多年时间,《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)的颁布实施,有力地推动了臭氧-活性炭深度处理技术的发展。近几年,各地一些中小规模的的新建、改建水厂也开始采用臭氧处理工艺,并采用国产臭氧设备。在国产臭氧系统设备运行过程中和对进口臭氧系统提供维修维护的过程中,总结了一些由于设计、控制、现场条件、运行管理等引发的问题,值得深入研究探讨。

1. 大型臭氧系统设备的运行

1.1 系统配置、设备选型

采用臭氧-活性炭深度处理工艺的臭氧系统设备,由臭氧发生器、气源装置、冷却装置、臭氧投加装置、尾气臭氧破坏器、仪表及控制系统等装置组成。作为饮用水处理应用的大型发生系统,系统配置完备,性能要求高,是一个复杂的成套系统。

在臭氧发生器的配套选型上,如总体按每立方米水投加 3g 臭氧计算,1 万 m³/d 供水需 1.25kgO₃/h,水厂按 30%备用量采购,则 1 万 m³/d 供水装机为 1.6kgO₃/h。这也是目前大部分水厂的臭氧配置情况。在此基础上,各水厂按照设备规格、建设投资等,因地制宜的采用了两台臭氧发生器互为备用、热备用、两用一备或三用一备、分期建设采购等方式。

1.2 运行控制方式

在 2008 年以前,市政自来水行业完全被国外设备垄断,几乎早期的所有臭氧系统都采用氧气源,当时氧气费用比较高,为了节约氧气消耗,几乎所有臭氧发生器都采用“恒定臭氧浓度,调节氧气流量”的方式调整臭氧发生量;后期随着 V-PSA 现场制氧的应用,也要求臭氧发生器可以实现“恒定氧气流量,调节臭氧浓度”的方式调整臭氧发生量,并要求两种控制方式能灵活切换。目前,这两种方式都非常容易实现。

另外,一些臭氧系统还要求根据水流量、余臭氧,自动调节臭氧产量,可根据管理人员要求设定的臭氧投加量自动调节臭氧产量。这要求连续性和检测精度非常高的水溶臭氧浓度检测仪。

1.3 系统设备运行指标

作为饮水处理需要的臭氧浓度要求,《水处理用臭氧发生器》CJ/T322-2010 规定了氧气源的两个要求指标分别为 120mg/L 和 150mg/L,并分别对应 9kW·h/kg 和 11kW·h/kg 的电耗。目前随着国产设备的技术进步,同等条件下的臭氧电耗已经可以做的更低,实现我国自来水厂 10wt% (148mg/L) 臭氧浓度、30℃冷却水条件下低于 10kW·h/kg 的臭氧电耗已经不是技术难题。根据目前国际和国林臭氧发生器的浓度、电耗指标,以及国内各地电价和氧气价格,在 10wt% (148mg/L) 臭氧浓度在运行,综合经济指标较高。

1.4 运行状况

对于长时间连续运行的自来水厂,臭氧设备的可靠性非常重要。国林臭氧设备完全可保障水厂的运行要求。通过符合要求的臭氧量及投加控制,满足水处理要求。

除可靠的产品质量保证外,还要建立合理的设备使用及维护制度,并对运行管理人员进

行必需的培训及辅导，使运行维护人员完成设备定期检查。国林公司提供完善的服务，在运行初期与客户同时在现场监控系统设备运行，并在后期随时跟踪系统设备运行状况。

随着液氧、现场制氧成本的不断降低，臭氧系统可综合核算不同运行参数下的氧气、电量成本，将系统总运行费用降到最低。

1.5 运行中发现的问题

1.5.1 作为对臭氧发生器实现“恒定臭氧浓度，调节氧气流量”控制方式最重要的仪器臭氧浓度监测仪故障率较高。当出现仪器故障后，即无法实现“恒定臭氧浓度，调节氧气流量”控制方式。

1.5.2 臭氧系统还要求根据水流量、余臭氧自动调节臭氧产量的控制方式，要求连续性和检测精度非常高的水溶臭氧浓度检测仪。目前应用的采用气体透过膜极谱分析鉴定法的水溶臭氧浓度检测仪，在运行一段时间后，仪表的精度、快速响应、重复性等出现一定问题，而且由于水质、臭氧投加量等原因，水中的与臭氧量也会有差异，再受臭氧投加点、接触时间、水量等多个参量影响，采用这种方式实现自动控制几乎是不可行的。

1.5.3 目前的外循环冷却水，也包括进口臭氧设备在内，基本都没有设计外循环冷却水流量计/流量指示器，这在运行维护、故障问题判断上造成一定影响，比如当水冷却系统板式换热器的换热效率降低时，不能立即判断是属于水量降低、还是属于板片脏堵等。

1.5.4 补氮及仪表风空压机故障造成的影响。由于系统设备采用了一定数量的气动阀门，当空压机一旦出现故障时即导致系统停机。尽管空压机采用一用一备，如果设计中不考虑备用空压机的自动切换，还是存在很大的不确定性。

1.5.5 臭氧分解导致的投加量失准、运行额外消耗。臭氧投加量计数依据是安装于臭氧发生器出气端的臭氧浓度监测仪，由于臭氧不稳定、易分解，其检测的浓度与臭氧投加点的浓度会存在一定差异。虽然大部分臭氧输送管道建设在地沟中，但接触池顶的臭氧输送管道暴露在日光下。在夏季，阳光直射可使池顶的臭氧输送管道温度达到 50℃左右，造成大量的臭氧额外分解。

1.5.6 氧气利用率低。按照臭氧浓度 10wt% 计算，氧气利用率只有 10%，就是这 10% 还会分解为部分氧气。目前也有一些水厂采用了 V-PSA 现场制氧。由于臭氧总需求量并没有达到较高负荷运行，这种现场制氧的方式也没有带来有效的运行费用降低。目前国际、国内出现了氧气回收的技术装置，通过进一步验证其技术和稳定性如果过关，则可大大降低运行费用。

1.5.7 一些臭氧系统要求前、后臭氧扩散装置的臭氧转移效率 $\geq 95\%$ ，《生活饮用水净化用臭氧系统设备选用指南》中提供了检验方法。但由于没有涉及水量、水质、臭氧投加量等原因，实际运行中的考核难以量化实现。

1.5.8 进口臭氧设备的维护。某些进口品牌臭氧设备承诺臭氧发生室 10 年免拆卸，但运行 2-3 年时间，发生室的放电单元中积累了大量灰尘，电耗上升较大，同时介质管损坏加速，国林多个水厂的该类设备进行了发生室清洗，使技术指标回复正常。另外，进口臭氧设备主机一旦出现问题，国内代理商或办事机构人员难以处理，存在服务速度慢、服务价格高等难题。

2. 臭氧系统设备的维护工作

目前，国林公司在国内运行的几个市政自来水厂持续运行时间最长的已有 3 年多，目前在运行的几个水厂中，只有昆山三水厂三期所用的 20kg/h 臭氧设备进行过全面的维护，其他用户均为运行一年后进行了局部维护。

各水厂臭氧系统设备运行中相关的维护工作主要有：

2.1 臭氧发生器的维护

本部分维护包括臭氧发生室的维护、臭氧电源柜的维护、配套仪器仪表的维护、冷却系统的维护等，相关工作主要有：

拆开臭氧发生室，检查发生室内臭氧发生单元的熔断器，挑出损坏的熔断器；检查该发生单元的放电体，若有损坏应更换；完成时装机时同时更换密封条；检查高压进线端口的密封，如有破损同时更换密封件；检查出口的臭氧流量计，并拆机清洗；检查出气调节阀密封，判断如有泄漏则更换密封配件；检查、清洗、校准浓度检测仪；进气过滤器的检查，根据压力损失及脏污情况更换滤芯；进出气管路、阀门密封检查；等等。

开启臭氧电源柜门，清理灰尘、浮土；检查各接线端子的拧紧；检查风机运转；检查冷却水管路渗漏，检查冷却风机风量、阻力等；检查所有线缆，尤其是高压电缆、动力电缆等，看是否存在绝缘老化、破损等现象；等等。

冷却水系统的维护包括板式换热器清洗；过滤器清洗；循环水泵检查；温度压力流量监测仪表的检查等等。

2.2、臭氧投加及尾气破坏系统的维护

本部分维护包括臭氧投加单元的维护、尾气破坏器的维护、臭氧接触池积扩散器的检查、等，相关工作主要有：

臭氧投加单元：检查、清洗投加控制流量计；检查出气调节阀密封，判断如有泄漏则更换密封配件；检查手动阀门及密封情况；检查、拆机清洗前投加的射流器；检查投加增压水泵与运转，清理积累灰尘，检查机械密封、运行噪声情况；检查管路密封情况；等等。

尾气破坏器：检查加热器、风机运转情况；检查温度器、控制系统；检查催化剂运行情况，如有破坏不彻底应更换催化剂；检查、校正排气浓度监测仪；验证安全报警；等等。

臭氧接触池：调整不同进气流量，从压差判断是否存在扩散器损坏；检查、清洗除雾器；检查、清洗双向透气阀；等等。

2.3、电气、仪表、自控系统：

本部分维护包括配电柜、总控 PLC 柜、投加控制柜，以及所有连结线缆，尤其是动力电缆等，看是否存在绝缘老化、破损等现象；检查清理内部灰尘、浮土；检查各接线端子的拧紧；检查冷却风机运转、检查风量、阻力等；检查、校正氧气、臭氧泄漏报警仪；验证安全报警；等等。

2.4、气源（氮气补加急仪表风系统）：

本部分维护包括：

空压机：检查三滤，检查润滑油，检查、张紧皮带；

冷干机：吹扫、清洁冷凝器，检查冷媒工作压力，检查、清理排污阀；

吸附式干燥机：检查、补充吸附剂，如有需要进行更换；检查切换阀门；检查排气消音器的阻力情况，如有需要进行更换；

检查空气过滤器滤芯，如有需要进行更换；

检查膜式干燥器的再生调节阀、排气消音器；

流量计、电磁阀检查、清洗；

等等。

3. 问题分析及解决方式总结

针对近年来大型臭氧系统在市政自来水厂的运行和维护中所遇到的不同类型问题，分析和总结如下。

3.1 针对臭氧浓度监测仪故障率较高问题，臭氧发生器可实现“恒定臭氧浓度，调节氧气流量”和“恒定氧气流量，调节臭氧浓度”两种调整控制方式，两种控制方式能灵活切换。臭氧发生器增加“功耗异常”判断识别，当功耗高于或低于某值时输出“功耗异常”报

警，提醒操作人员察看现场，及时做出判断，转换运行模式，在出现臭氧浓度监测仪故障时，采用经验运行数据的开环控制方式。

3.2 针对“根据水流量、余臭氧自动调节臭氧产量”控制方式不可行的情况，将采用气体透过膜极谱分析鉴定法的水溶臭氧浓度检测仪监控，仅用于开环运行方式，即“只在线监控水溶臭氧浓度，不反馈控制”，臭氧总量按照设定的投加比例和监测到的水流量计算，甚至监测到的水流量也按照设定的固定数值量，保证系统的连续平稳运行。

3.3 目前的外循环系统脏堵问题，开始增加设计外循环冷却水流量、压力显示仪表，加强对水量降低、板片脏堵等的判断。

3.4 针对补氮及仪表风系统空压机故障造成的影响，应考虑设计备用空压机自动切换的控制，以及对于主要、重要阀门采用电动型，或气动型带有手动启闭功能，最大限度消除空压机一旦出现故障时造成的停机影响。

3.5 对于接触池顶臭氧输送管道高温导致的臭氧额外分解，在管路敷设、投加单元安装时安装必要的保冷、遮挡装置。

3.6 针对系统极低的氧气利用率低问题，国林开发了专门的尾气回收利用系统。分为两个应用方向，一个是应用到工艺的生化曝气系统（尤其是污水处理中），一个是应用为臭氧发生器的原料气体。前者应用比较简单，属于氧气综合利用，已在多个污水处理工艺中应用；后者应用相对复杂，属于氧气循环利用。节约 90%的氧气消耗，进一步适当扩大氧气循环量使臭氧发生器在 7wt%左右的浓度运行，还可最大限度的降低臭氧电耗。

3.7 建议招标中约束臭氧系统对前、后臭氧扩散装置的臭氧转移效率 $\geq 95\%$ 的考核条件，最大限度约束系统设备质量，保证用户利益。考核方法可按《生活饮用水净化用臭氧系统设备选用指南》中规定。

3.8 针对国外臭氧设备的服务时间、价格问题，国林可提供相应的服务，目前仅有部分原装配件不能国产替代，大多数故障能够解决。近年来，国林公司已维护、维修过多家使用的 OZONIA、WEDECO 设备，包括放电管、发生室、电源、投加装置、仪表、控制等部件，乃至成套的装置，也积累了丰富的经验。

参考文献

[1] CJ/T322-2010 水处理用臭氧发生器

[2] 生活饮用水净化用臭氧系统设备选用指南