

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.18.016

华北某大型给水厂加氯加药间设计经验总结

李 晓¹, 鲍 磊¹, 杨 力¹, 姚左钢¹, 杨至瑜², 张少君¹

(1. 北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082; 2. 中规院<北京>规划设计有限公司, 北京 100044)

摘 要: 加氯加药系统是城市给水厂处理工艺的重要支撑,为城市给水厂提供药剂储存、配制、投加等服务。随着城市饮用水源地的数量增多,不同水源地的水质存在差异,此外水源经长距离输水管道输送,受到突发污染的风险亦有所增加。为了应对这些情况,城市主线工艺流程越来越长,药剂投加也呈多样性,因此对给水厂的加氯加药系统的设计提出更高要求。华北某大型给水厂加氯加药间包括三氯化铁、碱式氯化铝、硫酸、氢氧化钠、次氯酸钠和氨等多种药剂,属于典型的多种药剂复合型加氯加药投加系统。考虑到药剂化学特性各不相同,设计中根据药剂的不同特点采取了防腐、防喷溅、通风以及漏氨吸收等防护措施,可有效降低药剂使用过程中的危险性,同时也考虑了运行操作过程中的便捷性。

关键词: 给水厂; 加氯间; 加药间

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)18-0095-05

Design Experience Summary of Chlorination and Dosing Room in a Large Water Supply Plant in North China

LI Xiao¹, BAO Lei¹, YANG Li¹, YAO Zuo-gang¹, YANG Zhi-yu²,
ZHANG Shao-jun¹

(1. Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100082, China; 2. CAUPO Beijing Planning & Design Consultants Ltd., Beijing 100044, China)

Abstract: Chlorination and dosing system is an important supporting facility for the purification process of urban water supply plants. It provides chemical storage, preparation, dosing and other services for urban water supply plant. With the increase in the number of urban drinking water sources, the water quality of different water sources is different, and the risk of sudden contamination increases when source water is transported by long-distance pipelines. To cope with the problem, the process of water supply plant is getting longer, and the chemical dosing is also diverse. Therefore, higher requirements are imposed on the design of chlorination and dosing system in water supply plants. In a large water supply plant in north China, the chemicals of chlorination and dosing system includes ferric chloride, basic aluminum chloride, sulfuric acid, sodium hydroxide, sodium hypochlorite, ammonia and other agents, indicating that it is a typical multi-agent compound chlorination and dosing system. Considering the different chemical characteristics of the agents, protective measures such as anti-corrosion, anti-splash, ventilation and leaked ammonia absorption were adopted in the design according to the different

characteristics of the agents, which effectively reduced the risk of the use of agents and improved the convenience of the operation.

Key words: water supply plant; chlorination room; dosing room

目前,为了提高水源的保证率,多地已出台水厂双水源保障政策与措施,为应对不同水源水质及长距离输水带来的突发污染风险,水厂工艺流程越来越长,药剂投加也呈多样性,因此,对给水厂加氯加药的种类和数量均有了更高要求。

传统加氯加药间设计以投加混凝剂、液氯为主,其药剂种类、投加点等较为单一,应对水质相对稳定、工艺流程相对简单的净水厂可行。但如遇到水源水质复杂、突发性水质污染的状况,水厂需根据应急投加的药剂种类和性质,临时调用或增加投加设备,管理和操作难度均相对较大,效果往往也难以保证。而国内对净水厂或污水厂的加药研究主要停留在防腐、自控等层面^[1-3],对多药剂投加的加氯加药间研究相对较少。

1 项目背景

华北某大型给水厂设计规模为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,是国内首次采用BOT方式建设的大型净水厂。该项目采用双水源供水,既可采用传统水源地某水库作为水源,亦可采用南水北调中线工程输水即南水作为水源。而传统水库水源与南水水源水质水温不同:水库水质特性为冬季低温低浊、夏季汛期高浊、春秋偶有高藻;南水水源水质较好,基本达到地表水Ⅱ类标准,但经过1200 km的明渠输送至用水区,长距离的输送、突发性的意外污染均会给水质带来不确定性^[4]。本项目针对传统水源及南水水源的水质情况,采用了以传统机械加速澄清池+砂滤为基础,辅以臭氧、炭吸附+紫外处理工艺^[5]。根据以往经验,当传统水源逐步切换为南方水源时,水源水质的差异性容易引发管网水质的不稳定性,甚至出现“黄水”^[6],因此需针对本项目双水源、长流程的特点,有针对性地进行多药剂的加氯加药间设计。

2 工艺设计

2.1 工艺流程

该项目设计规模 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分为2个系列,主要生产构筑物分为水线及泥线两部分,主要设施包括格栅间、配水井、预臭氧接触池、机械混合井、机

械加速澄清池、砂滤池、主臭氧接触池、炭吸附池、紫外消毒间、清水池、配水泵房、滤池设备间、配电控制室、臭氧制备间、加氯加药间、粉末炭投加间、加酸加碱间等。工艺流程见图1。

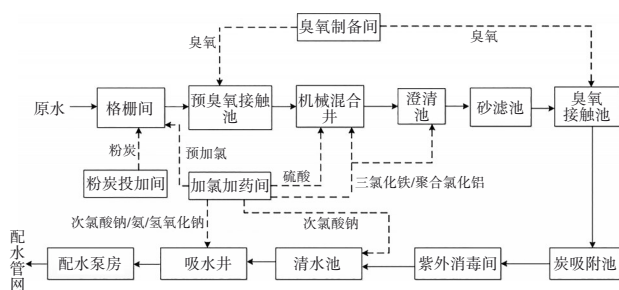


图1 给水厂工艺流程

Fig.1 Process flow chart of the water supply plant

2.2 平面布置

加氯加药间平面尺寸为 $68.6 \text{ m} \times 22.5 \text{ m}$,位于清水池北侧,炭吸附池西侧,平面布置见图2。加氯加药间共投加6种药剂,分别是三氯化铁、碱式氯化铝、硫酸、氢氧化钠、次氯酸钠和氨。其中包括混凝剂投加间、加酸加碱间、加氯间、加氨间。加氨间包括氨库、加氨机间、蒸发器间和氨吸收间。

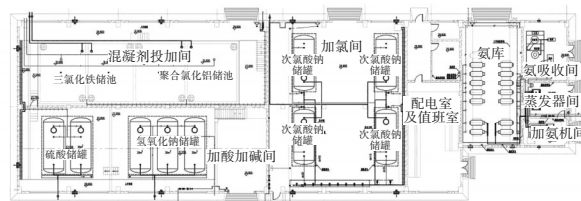


图2 加氯加药间平面布置

Fig.2 Plane layout of chlorination and dosing room

2.3 设计要点

2.3.1 混凝剂投加间

三氯化铁与碱式氯化铝作为饮用水净水剂各有千秋,其中三氯化铁具有矾花密度大易沉降的优点,但溶液具有一定腐蚀性,投加过量会导致出水pH偏低。碱式氯化铝优点是矾花形成速度快,投量少,缺点是水解生成沉淀物的水合作用比较强,形成矾花密度低,沉淀慢。因此在水厂实际运行时,常规工况投加铝盐,低温低浊工况投加铁盐。

① 工况

混凝剂投加系统包括三氯化铁投加系统和碱式氯化铝投加系统,平面尺寸为 30 m×10 m。其中三氯化铁设计最大投加量为 40 mg/L (21.7 t/d, 903.3 kg/h, 质量浓度 38%);碱式氯化铝设计最大投加量为 40 mg/L (21.7 t/d, 903.3 kg/h, 质量浓度 10%)。投加设备采用单头机械隔膜计量泵,共 16 台。其中碱铝投加计量泵 6 台(4 用 2 备), $Q=190$ L/h, $P_{\text{最大}}=0.7$ MPa, $N=0.75$ kW;三氯化铁投加计量泵 6 台(4 用 2 备), $Q=160$ L/h, $P_{\text{最大}}=0.7$ MPa, $N=0.75$ kW,带双隔膜破裂报警。设机械加速澄清池混凝剂计量泵 4 台(2 用 2 备), $Q=190$ L/h, $P_{\text{最大}}=0.7$ MPa, $N=0.75$ kW。两种混凝剂计量泵吸药总管采用串联布置型式,其中机械加速澄清池计量泵吸药口位于管道串联中间部位,可根据水源情况切换投加三氯化铁或碱式氯化铝。

② 经验总结

由于厂区加药管道较长,最远处长达 400~500 m,长期运行存在结晶堵塞管路的可能,因此每处投加点备用一套投加管道,以备堵塞时可切换到备用管道。此外在投加计量泵前后端均设冲洗接口,定时接入厂区自用水进行冲洗,以防止泵体堵塞。

药剂本身为液态,储存时受温度影响容易造成水分挥发,改变药剂浓度,因此混凝剂采用地下储存的形式,具有卸药方便、储存温度较低、药剂不易挥发的优点。缺点是相比地上设置的形式,储药池泄漏难以发觉,药剂长时间泄漏可能会导致加药间结构受到腐蚀。为此,在药池池体内侧采用玻璃钢防腐层进行防腐处理,施工采用底油、三布六油、二面油工艺;同时设置 3 m×0.5 m 观漏孔,便于及时发现渗漏,并在池体底部高于室内地面 0.5 m 处留有人工修补的操作空间。

2.3.2 加酸加碱间

原水 pH 是影响混凝剂发挥作用的要素之一,当发生突发污染时需要临时调整混凝剂或调节原水 pH。替换混凝剂时可临时清空储药池来完成,但临时投加浓硫酸、氢氧化钠等调节 pH 的化学物质时危险较大,因此本项目设置了加酸加碱间,便于应对突发污染。

① 工况

加酸加碱系统包括硫酸投加系统和氢氧化钠投加系统,平面尺寸为 30 m×10 m。硫酸质量浓度为 98%,氢氧化钠质量浓度为 45%,投加量分别为

20 mg/L 和 16 mg/L,最大投加量分别为 10.5 t/d (437.5 kg/h)和 766.7 kg/h。加酸加碱间配置单头机械双隔膜计量泵 6 台,其中浓硫酸投加计量泵 3 台(2 用 1 备), $Q=120$ L/h, $P_{\text{最大}}=0.7$ MPa, $N=0.75$ kW,带双隔膜破裂报警;氢氧化钠投加计量泵 3 台(2 用 1 备), $Q=370$ L/h, $P_{\text{最大}}=0.7$ MPa, $N=0.75$ kW,带双隔膜破裂报警。浓硫酸储药罐 2 座,有效容积 30 m³,设计储药时间 9 d;氢氧化钠储药罐 3 座,单罐有效容积 30 m³,设计储药时间 7 d。

② 经验总结

98% 浓硫酸和 45% 氢氧化钠均属于强腐蚀性液体,其中浓硫酸具有吸水性、脱水性和强氧化性等特殊性质。氢氧化钠具有中等毒性,挥发的气体能够形成毒性云烟。因此需采用一整套设计以降低浓硫酸及氢氧化钠使用过程中的危险性。

首先需考虑降低腐蚀性液体加压的必要性以及加压过程中产生的危害。主要措施:a. 储药罐采用半地下设置,以便腐蚀性液体输药过程中采用重力输药,避免加压输药时接口不严造成喷溅灼伤人体;b. 采用双隔膜计量泵,避免单隔膜破裂时造成药液泄漏;c. 投加间出口处设置安全喷淋设备(带洗眼器),便于一旦皮肤或衣物接触立即清洗;d. 计量泵、储药罐等关键位置设置塑料防护帘,防止药液溅出;e. 考虑到加酸和加碱管道加压输送过程中,输送管道可能出现点状泄漏,造成喷溅风险,因此将计量泵后的加压管道设置在 1.4 m×1.1 m 的管廊中,上设耐腐蚀玻璃钢盖板,一方面避免喷溅,一方面便于检修维护。

其次考虑应对加、输药时药罐压力变化造成的腐蚀性气体逸出,主要措施:a. 储药罐设置呼吸管,将罐内气体直接通过呼吸阀与室外大气连通,同时室外设置呼吸帽,防止蚊虫及雨水进入;b. 投加间内设置防腐轴流风机 3 台, $Q=8\ 327$ m³/h, $H=152$ Pa, $N=0.55$ kW,保持加酸加碱间通风顺畅。

另外,因为浓硫酸及氢氧化钠液体腐蚀性强,因此需考虑其强腐蚀性对储存设施的影响。首先采用 HDPE 储罐储存,利用 HDPE 耐腐蚀的特点,延长罐体使用时间。另外考虑到罐体破损泄漏的可能,储罐区采用玻璃钢内防腐的围堰包裹,围堰内容积大于单罐容积,可临时储存单罐药剂全部泄漏量。同时围堰内设置泵坑,泄漏时采用移动式耐腐蚀泵将药剂抽送至室外处理。围堰内设置踏步,便

于运行巡视。另外,在投加间内设置进车平台,主要用于储罐的安装或更换。

2.3.3 加氯间

次氯酸钠消毒剂具有使用安全性高、消毒效果较好等优点,在国内水厂的应用越来越广泛。该项目采用次氯酸钠与紫外联合消毒,在此主要讨论其中的次氯酸钠加药部分。

① 工况

加氯间平面尺寸为20.4 m×16 m,消毒剂为质量分数10%的液态次氯酸钠。加氯系统分为预加氯、主加氯和补氯,并预留污泥处理车间污泥消毒条件。其中,预加氯设计最大投加量为1 mg/L(5.25 t/d,218.8 kg/h);主加氯设计最大投加量为2 mg/L(10.50 t/d,437.5 kg/h);补氯设计最大投加量为1 mg/L(5.18 t/d,215.83 kg/h)。预加氯投加点位于进水分水渠;主加氯投加点位于清水池前阀门井;补氯投加点位于清水池后阀门井;污泥系统膜冲洗消毒投加点加氯位于污泥处理车间。

次氯酸钠储药罐4座,有效容积30 m³,设计储药时间7 d。储药罐周围设置防护帘,以防止药液溅出。储药罐设人孔,排空管、溢流管、通气管、泄压管预留孔及液位计安装孔。

预加氯、主加氯和补氯计量泵为单头机械隔膜计量泵,共7台;污泥系统用计量泵为单头计量泵,共4台。其中预加氯计量泵1台, $Q=200$ L/h, $P_{\text{最大}}=0.7$ MPa, $N=0.75$ kW,与主加氯共用1台备用泵;主加氯计量泵3台(2用1备), $Q=200$ L/h, $P_{\text{最大}}=0.7$ MPa, $N=0.75$ kW;补氯计量泵3台(2用1备), $Q=140$ L/h, $P_{\text{最大}}=0.7$ MPa, $N=0.75$ kW。污泥系统膜冲洗消毒用计量泵4台(2用2备)。计量泵座前设置防护帘,以防止药液喷出。

② 经验总结

次氯酸钠属于净水厂高消耗的耗材,而按照我国相关规定,有效氯5%以上的次氯酸钠为危险化学品,其运输、储存均受到严格监控,其生产、运输、调度均需要一定周期,因此储罐内剩余用量等数据对运行调度极为重要。因常规的超声波液位计、透明管液位计容易受到结垢、腐蚀影响造成稳定性相对较差,因此本项目采用卧式储罐称重模块,最大量程30 t,每个储料罐安装4套不锈钢称重模块和1个接线盒,具备储罐剩余储量现场显示及远传功能,可有效解决以上问题。

2.3.4 加氨间

根据《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)要求,自来水厂出厂水余氯要小于4 mg/L,同时分别采用氯或氯胺消毒时,对管网末梢水余氯或氯胺亦有最小限值要求。氯胺是氨与氯反应生成的产物,相对于自由氯,氯胺具有更强的控制生物膜生长的能力,并且更稳定,衰减速率更低。但氯胺灭活水中微生物的能力比自由氯低很多,因此氯胺一般作为二次消毒剂使用。本项目在吸水井投氨,主要考虑到一方面氨气可与氯气反应,消耗掉高出国标限值的余氯,另一方面可产生一部分氯胺,控制给水管网中微生物的生长势。

① 工况

根据华北某地自来水公司的运行经验,按余氯设计值的1/3~1/2计算加氨量,出厂余氯设计为1.0 mg/L,则加氨量设计为0.4 mg/L。日供水 50×10^4 m³时加氨量为210 kg/d,高时加氨量为12.25 kg/h。投加点位于清水池出水阀门井处,采用管道式扩散器。

加氨系统流程见图3。

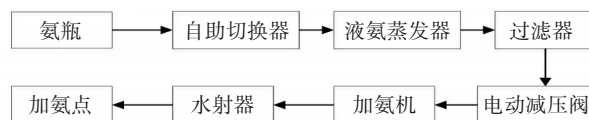


图3 加氨系统流程

Fig.3 Flow chart of ammonia dosing system

加氨间包括氨库、蒸发器间、加氨机间和氨吸收间。加氨间整体平面尺寸为12 m×14.8 m。其中氨库按15 d加氨量计算,总储氨量为3.11 t,采用0.22 t氨瓶14个。氨吸收间内设置漏氨吸收装置1台,包括风机、碱液槽、酸液槽、吸收塔和漏氨吸收管道。氨气自然蒸发量较小(3 kg/h),如自然蒸发则需要设置较多在线氨瓶,因此本设计按蒸发器蒸发量设计,蒸发器间内设置两台液氨蒸发器(24 kg/h),蒸发器采用水浴加热蒸发法。加氨机间设3台(2用1备)正压加氨机(10 kg/h)。

② 经验总结

氨气属易燃易爆气体,并且会对人体呼吸道造成较大危害,因此其泄漏的预防和控制为加氨系统设计的重中之重。

首先氨库、蒸发器间、加氨机间设备采用防腐防爆措施,由于厚壁不锈钢钢管具有较强的耐腐蚀

性,加氨管、液氨蒸发器压力释放管、加氨机氨气放空管采用厚壁无缝钢管。

其次,与氯气不同,氨比空气轻,泄漏的氨气容易向上飘移,在顶部聚集,因此漏氨吸收管道采用屋顶吊装,通过DN400漏氨吸收管道与漏氨吸收装置连通。氨库、蒸发器室、加氨间设高位氨气检测仪、漏氨报警器、轴流风机,与漏氨吸收装置实现自动联动:当室内空气含氨量 $\geq 10 \text{ mg/m}^3$ 时,自动开启通风装置;当室内空气含氨量 $\geq 20 \text{ mg/m}^3$ 时,自动报警,并关闭通风装置,开启事故喷淋设备;当室内空气含氨量 $\geq 25 \text{ mg/m}^3$ 时,继续开启事故喷淋设备,并自动开启漏氨吸收装置。

氨气蒸发系统包括膨胀罐、切换控制箱以及配套阀门仪表设备,需要固定在墙体上,目前墙体采用梁柱结构,墙体砌块而成,牢固性不足,难以承重,因此结构设计上需考虑改变为混凝土墙体或采用加药泵架固定。

3 运行效果

该项目自2019年年底投产以来,出水水质均达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022),出厂水的浊度为0.1~0.2 NTU,硝酸盐含量最低只到0.7 mg/L,硬度380 mg/L以下,消毒副产物平均浓度为0.011 mg/L,水质良好。

4 结语

该水厂为华北地区采用双水源供水的大型水厂之一,不同水源在水质、温度等方面变化较大,为了应对原水的多种不确定性,在延长水厂处理流程的同时,需要加配满足主线处理流程的多药剂投加系统,其中包括多混凝剂投加、酸碱投加、氯投加以及氨投加等。由于药剂化学特性各不相同,在设计中需针对腐蚀性、挥发性、毒性、易燃易爆等特点,采取对应的防护措施,以降低事故发生的可能性,减轻事故后果。

参考文献:

- [1] 罗越月. 加药间防腐蚀工艺设计在水厂的应用与优化[J]. 净水技术,2021,40(5):108-111.
LUO Yueyue. Application and optimization of corrosion prevention process design for dosing room in WTP [J].

Water Purification Technology, 2021, 40(5): 108-111 (in Chinese).

- [2] 陈岸颖,王勇,陈晓恂. 汕头市新津水厂加药系统的改造[J]. 中国给水排水,2010,26(12):87-89.
CHEN Anying, WANG Yong, CHEN Xiaoxun. Reconstruction of chemical dosing system in Xinjin water treatment plant in Shantou City [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(12): 87-89 (in Chinese).
[3] 王冬生,侯秀丽,蒋福春,等. 自来水厂药剂投加的前馈-反馈复合控制[J]. 中国给水排水,2019,35(17): 62-68.
WANG Dongsheng, HOU Xiuli, JIANG Fuchun, et al. Feedforward-feedback hybrid control of chemical dosing in waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(17): 62-68 (in Chinese).
[4] 周大农. 北京市第十水厂处理工艺的选择[J]. 中国给水排水,2015,31(6):12-15,21.
ZHOU Danong. Selection of treatment process in Beijing No. 10 waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(6): 12-15, 21 (in Chinese).
[5] 杨力. 双水源水厂净水工艺选择及主要构筑物设计[J]. 中国给水排水,2013,29(22):49-53.
YANG Li. Process choice and design of main structures in double water source waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(22): 49-53 (in Chinese).
[6] 王璐. 南水北调水源切换对北京供水管网的影响及应对[D]. 北京:清华大学,2015.
WANG Lu. Effects of Water Source Switching by South-to-North Water Diversion Project on Distribution Systems in Beijing and Countermeasures [D]. Beijing: Tsinghua University, 2015 (in Chinese).

作者简介:李晓(1986—),男,河南郑州人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),北京市市政工程设计研究总院有限公司项目中心工程事业部副部长,具有十年污水厂、给水厂、黑臭水体设计及污水管网等工程设计经验,同时兼任大中型市政工程项目经理。

E-mail: gentleharry@bmedi.cn

收稿日期:2022-06-30

修回日期:2022-09-01

(编辑:孔红春)