

PAC+PAM+CLO₂+NaCLO联用及合理调整运行 除锰在水厂中的应用实例与体会

尹 义¹ 阴丽花² Suyeong yin³

1. 龙井市自来水公司 吉林 龙井 133400

2. 龙井市自来水公司 吉林 龙井 133400

3. 多伦多大学三一学院生命科学系 加拿大安大略省多伦多市 M5S-1H8

摘要:以吉林省龙井市自来水公司第三水厂分为新厂区和旧厂区。旧厂区在今年夏季、秋季水温偏高时出厂水的浑浊度、色度、COD浓度比往年明显增高,超出GB-5749-2022国家饮用水标准,经检测发现原水中锰浓度严重超出饮用水水源水三类(0.1mg/L以下)标准,锰浓度达到0.8mg/L以上,达到标准的八倍。为了彻底解决出厂水锰超标难题,通过模拟试验和生产性实验PAC+PAM+CLO₂+NaCLO联用及协同最佳的水厂运行基本上去除原水中的锰,锰去除率为89%,出厂水锰浓度为0.07mg/L,市政供水管网锰浓度降到0.05mg/L以下并大幅提高了浑浊度、色度、COD去除率。各项出厂水指标均达到GB-5749-2022国家饮用水标准。

关键词:聚合氯化铝(PAC);聚丙烯酰胺(PAM);二氧化氯(CLO₂);次氯酸钠(NaCLO);预氧化;接触反应时间;混凝沉淀;滤池运行

引言:随着用水户对生活饮用水水质要求不断提高,同时根据时代发展要求对生活饮用水卫生标准进行了修改,新版生活饮用水卫生标准[GB-5749-2022]将于2023年4月1日起实施。新标准的实施将进一步提升自来水水质,用水户的水质保障。但水温偏高、降水量少等极端天气的影响,水源水污染越来越严重,季节性污染现象屡见不鲜。龙井市自来水公司第三水厂日检时发现原水中锰浓度严重超标,导致浑浊度、色度也严重超标。锰是人体必须的微量元素,生活饮用水国家规定中锰含量限值为0.1mg/L。专家们的研究结果;饮用水中锰超标对人体健康造成多方面危害,主要涉及神经系统、肝肾功能、生殖系统以及儿童发育等。为了快速制定可行的除锰方案,连夜启动应急预案,组织精干力量,日夜奋战在生产一线,开展了不同的生产性实验,经过10多天的模拟试验及生产性实验,同时完成检测数据200余个。优化了氧化剂及净水剂、助凝剂投药量和氧化剂接触反应时间,同时更加完善了水厂最佳运行方案,终于解决锰超标难题。此经验拟分享给同行,供参考。

1 水源概况及水质

大新水库位于龙井市智新镇距离三水厂17公里。水库功能为防洪、城市供水、灌溉、发电、养鱼等综合利用的中型水库。设计洪水水位为455.59米,相应库容1396万立方米。

2025年入夏以来,随着气温偏高,雨水量偏少等多

重作用下,由其是入秋以后,取水口层水温明显高于往年数据,相比2024年同期高出5度左右,水库水位相比2024年同期下降4米,现库存水量为800万立方左右。由于水库入进水量偏少,水温高导致水体流动性差,形成厌氧环境,藻类繁殖现象异常,溶解氧耗尽,COD(高锰酸钾指数)增高,COD浓度达到6mg/L以上,比去年同期增加40%多,厌氧环境下沉积物中的不溶型四价锰被还原为可溶型二价锰溶解水体,锰浓度达到0.8mg/L以上,比去年同期高出8倍^[1]。

2 制水工艺

龙井市自来水公司第三水厂是箱式混凝土结构,分为新厂区和旧厂区。

新厂区水源是元东水库原水,水源水质是属于二类水源标准,日最大制水能力为2万吨,实际生产运行1.5万吨。

旧厂区水源是大新水库原水,日最大制水能力为3万吨,配备一座稳压配水井和两座独立净水车间,各为1.5万吨,实际日综合生产运行约1.5万吨。原常规水处理工艺:大信水库原水→稳压配水井(出水口投加CLO₂或NaCLO)→旋流絮凝池(进水管前端投加PAC)→沉淀池→普通快滤池→(投加NaCLO)→清水池→用水户。

3 应急处置方案探索

3.1 总体思路:在旧厂区除锰过程中,既要考虑锰的去除率,又要兼顾藻类处理及混凝沉淀效果,亦要考虑

通过消毒后发生的副产物指标。

3.2 二氧化氯除锰机理：二氧化氯与二价锰发生氧化还原反应： $2\text{ClO}_2+5\text{Mn}^{2+}+6\text{H}_2\text{O}\rightarrow 5\text{MnO}_2\downarrow+2\text{Cl}^-+12\text{H}^+$ ，锰离子被氧化为二氧化锰（ MnO_2 ）沉淀。

3.3 次氯酸钠除锰及去除有机物：次氯酸钠通过水解生成次氯酸，将水中的二价锰氧化为不溶性的四价锰，在通过絮凝沉淀或过滤去除锰，但效率较低。有关文献表明：次氯酸钠通过强氧化性分解有机物，破坏微生物的蛋白质结构实现杀菌效果。核心化学公式包括水解反应（ $\text{NaClO}+\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{HClO}+\text{NaOH}$ ）和氧化反应（有机物或无机物+[O]→氧化产物）。

3.4 增加投加系统：在原有常规水处理工艺基础上，首先，最大限度增加二氧化氯与二价锰接触反应时间，稳压配水井原水进水口DN500管道上紧急增加了二氧化氯投加点，反应时间达到11分钟，相当于稳压配水井内的原水停留时间；其次，提高沉淀效果，在絮凝池进水管末端增设助凝剂投加系统。

3.5 投加流程：二氧化氯（稳压配水井进水口）→次氯酸钠（稳压配水井出水口）→PAC（旋流絮凝池进水管前端）→PAM（旋流絮凝池进水管末端）。

3.6 调整斜管沉淀池运行参数：第一步将沉后水浑浊度由原来1.0NTV控制在0.2NTV以内，特殊情况下不超过0.4NTV。第二步缩短沉淀池排泥周期，由原来16小时排泥一次改为12小时排泥一次。

3.7 细化滤池半自动化运行：每4小时人工检测滤池总管出水浊度，总管滤池出水浊度控制在0.1NTV以内，特殊情况不超过0.2NTV。同时调整滤池反冲洗时间，气冲、气水冲、水冲由原来2、4、6分钟改为3、5、7分钟^[2]。

4 生产性实验及实际效果

4.1 投加NaClO除锰的效果

8月29日，水厂原水锰指标0.8--0.9毫克/L，平均0.85毫克/L。在稳压配水井出口应急投加次氯酸钠，投加量为3.1mg/L，絮凝池进口投加10%PAC液体，投加量为有效氧化铝9mg/L。借助简易的扩散器、管道混合器，原水进行预氧化反应，后加氯是NaClO₂，投加量为1mg/L，其3次检测结果平均如下：

表1 8月29日主要水质指标

单位/名称	锰 (mg/L)	浑浊度 (NTV)	色度 (度)	COD (mg/L)
原水	0.85	43.1	22	6.3
滤前	0.61	0.91	17	2.7
出厂水	0.55	2.42	20	2.2

4.2 投加ClO₂除锰的效果

8月31日同样工艺，单独投加ClO₂为2.7mg/L，3.1同

样的PAC投加量、同样的检测时间、同样次数的检测平均结果如下：

表2 8月31主要水质指标

名称/单位	锰 (mg/L)	浑浊度 (NTV)	色度 (度)	COD (mg/L)
原水	0.8	42.5	22	6.0
滤前	0.43	0.86	19	3.04
出厂水	0.32	2.02	18	2.22

4.3 ClO₂+NaClO+PAC联用除锰效果

9月1日--9月3日，旧厂区原水锰0.8毫克/L，最高是0.9mg/L以上，原水浑浊度及COD、色度变化不大。ClO₂和NaClO比例为3:1，先后投加顺序是（稳压配水井前投加ClO₂→（稳压配水井后投加）NaClO→PAC，投加量各为2.4mg/L、0.8mg/L、有效氧化铝铝9mg/L^[3]。

表3 9月1日--9月3日主要水质指标

名称/单位	锰 (mg/L)	浑浊度 (NTV)	色度 (度)	COD (mg/L)
原水	0.85	41.8	23	6.0
滤前	0.36	0.69	12	1.98
出厂水	0.19	1.81	17	1.65

4.4 ClO₂+NaClO+PAC+PAM联用除锰效果

9月4日--9月5日，表3.3同样工艺，同样的投加量外，投加了PAM（聚丙烯酰胺），水厂原水变化不大，先后投加顺序是+ClO₂+NaClO+PAC+PAM，投加量各为2.4mg/L、0.8mg/L、有效氧化铝铝9mg/L、0.09mg/L（PAM）。

表4 9月4日--9月5日主要水质指标

名称/单位	锰 (mg/L)	浑浊度 (NTV)	色度 (度)	COD (mg/L)
原水	0.7	43.2	22	6.3
滤前	0.21	0.2	10	1.95
出厂水	0.12	0.5	7	1.28

4.5 延长预氧化时间，合理调整运行管理

9月6日起，启用旧厂区备用净水间，两个净水间同时运行，原水水量比较合理的分配，增加预氧化时间，二氧化氯接触反应时间由原来的26-27分钟延长到40-42分钟，沉淀池停留时间由原来45分钟左右延长到90分钟左右。

表5 9月7日--9月9日主要水质指标

名称/单位	锰 (mg/L)	浑浊度 (NTV)	色度 (度)	COD (mg/L)
原水	0.7	40.8	26	5.9
滤前	0.12	0.2	5	1.81
出厂水	0.07	0.2	<5	1.13

5 结果

按照吉林省住房和城乡建设厅《吉建涵〔2025〕294

号》文件要求，于9月11日，国家城市供水水质监测网长春监测站到龙井市自来水公司第三水厂，针对出厂水、市政供水主管网及4处二次供水加压站进行了采样检测。检测结果表明：各项指标均达到《GB—5749—2022》国家饮用水标准，其中八项是消毒副产物指标。

6 体会

(1) 极端天气影响下水资源污染问题，特别是水源出现厌氧环境，水源严重污染问题是进一步需要探讨和待解决的课题。

(2) 水处理中除锰是一种系统工程。首先要具备投加设备、投加点。其次要细化氧化剂、净水剂、助凝剂投加比例、投加量，氧化剂接触反应时间，沉淀池沉淀时间，滤池反冲洗强度等达到准确融合效果时，才能达到预期的处理效果。

(3) 化学氧化法除锰具有局限性，锰浓度超过1毫克/L以上时，出厂水水质难以达到GB—5749—2022饮用水标准，需要继续探讨^[4]。

(4) 县级市供水企业监测部门的检测设备普遍落

后，亟待引进先进的检测设备，强化系统建设，增加检测项目是非常必要、非常重要的。

(5) 此次水源锰污染时间点，恰逢《九·三大阅兵》及“延边朝鲜族自治州州庆”的法定假日（9月3日至9月7日），因此受到了龙井市广大群众的高度关注。本次应急处置除锰工作是在龙井市委、市政府的大力支持下，水司全体员工共同努力下完成的，体现了集体智慧的有效融合。

参考文献

- [1]《生活饮用水卫生标准》（GB—5749—2022）。
- [2]《地面水环境质量标准》（GB—3838—88）。
- [3]梁思宸，张金松，伍驰中，安娜，李悦，王巍巍等《原水2-MIB影响因素及数据AI应用探索》。净水技术，2024，总43卷（12）。
- [4]胡增宝，乔龙君，何苗，汤峰等《高锰酸钾+活性炭联用去除2-MIB在水厂中的应用》。城镇供水，2024，总第238期（1）。