

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.012

给水厂电解食盐制次氯酸钠系统中美标准对比研究

郜瑞莹¹, 黄保林², 林建中¹

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663;

(2. 湖南省公路设计公司广东分公司, 广州 510660)

摘要: [目的]为了便于涉外工程相关技术人员能快速、详细了解中美在给水厂消毒设施的设计方面的差异,更加合理地进行工程设计,减小涉外工程风险。[方法]详细说明了中美给水厂消毒设施的设计所执行的标准,并且针对中美给水厂采用氯作为消毒剂时加药量、加药点、消毒指标以及电解食盐制取次氯酸钠系统进行了详细对比。[结果]对比结果表明,相比中国标准,美国标准中加药量范围相对较宽泛,盐品质、盐系统的贮存量、次氯酸钠贮存罐的要求较高,制氯系统配置较灵活。[结论]旨在为采用美国标准设计的工程提供设计指导及参考依据。

关键词: 给水厂, 次氯酸钠, 电解食盐, 中美标准对比

中图分类号: TM621; TQ151

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)04-0075-05

Comparative Research of Chinese and American Standards for Electro-Chlorination System in Water Treatment Plant

GAO Ruiying¹, HUANG Baolin², LIN Jianzhong¹

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. Guangdong Branch, Hunan Highway Design Company, Guangzhou 510660, China)

Abstract: [Introduction] Many foreign projects need to adopt American standards for design, and many engineers are not familiar with these. [Method] In order to facilitate the relevant engineer involving in foreign projects to quickly understand the differences between Chinese and American standards in the design of disinfection facilities in water treatment plant and provide a more reasonable design, this paper described in detail the Chinese and American standards for the design of disinfection facilities in water treatment plant, and made a detailed comparison of the chlorine dosage, dosing point, disinfection index and electro-chlorination system's setting. [Result] The comparison results show that compared with the Chinese standard, the American Standard has a relatively wide range of dosage, high requirements for salt quality, salt storage capacity, sodium hypochlorite storage tank capacity and flexible configuration of chlorine generation system. [Conclusion] This paper aims to provide some guidance and reference for American Standard Design Engineering in the future.

Key words: water treatment plant, chlorine, electro-chlorination, comparison of Chinese and American standards

生活饮用水必须消毒^[1-3]。生活饮用水可选择化学消毒、物理消毒以及化学与物理组合消毒工艺。国内外常用的化学消毒工艺有氯(液氯或次氯酸钠、漂白粉、漂白精)消毒、氯胺(液氯与液氨或次氯酸钠与硫酸铵)消毒、二氧化氯消毒等,物理

消毒工艺则为紫外线消毒^[1,4]。

电解食盐制取低浓度次氯酸钠消毒技术,是以普通食盐做原料,通过无隔膜电解装置,电解产生次氯酸钠消毒液,次氯酸钠水解产生的次氯酸为一种强氧化剂,可以杀死病毒微生物。该技术相比目前常用的液氯及电解制备二氧化氯技术具有安全性高的优点;相比外购次氯酸钠、漂白粉、漂白精具有运行成本低的优点;相比紫外线消毒和臭氧消毒工艺具有可持续消毒的优点。另外,该技术还具有

收稿日期: 2019-10-18 修回日期: 2019-11-18

基金项目: 中国能建广东院科技项目“化水专业国内设计标准与美国设计标准的对比分析研究”(EX02521W)

原材料易获得、设备使用寿命长、操作维护简单方便的优点,因此,目前已经在中国及美国给水工程中开始广泛采用^[4,5]。

目前在国家“走出去”及“一带一路”战略格局的指引下,大量涉外工程正在执行,对于很多涉外工程,均要求采用美国标准进行设计。为了便于相关技术人员能快速、详细了解中美在给水厂消毒设施的设计方面的差异,更加合理化的进行工程设计,减小涉外工程风险。本文详细说明了中美给水厂消毒设施的设计所执行的标准,并且针对中美给水厂采用氯作为消毒剂时加药量、加药点、消毒指标以及电解食盐制取次氯酸钠系统进行了详细对比,旨在为美国标准设计的工程提供参考依据。

1 中美给水厂消毒设施的设计所执行的标准

1.1 中国给水厂消毒设施的设计所执行的标准

中国给水厂消毒设施的设计主要执行的是《室外给水设计标准》(GB 5001—2018)^[1],出厂水消毒剂剩余浓度和消毒副产物应符合国家现行《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)^[6]的要求。用于生活饮用水处理的各种消毒剂产品必须符合卫生要求。

对于电解食盐制取次氯酸钠消毒技术,目前未有具体的设计标准,仅出台了《次氯酸钠发生器安全与卫生标准》(GB 28233—2011)^[7]。生活饮用水消毒用次氯酸钠发生器执行此标准。

1.2 美国给水厂消毒设施的设计所执行的标准

美国给水厂消毒设施的设计主要执行的美国给水工程协会(American Water Works Association,以下简称“AWWA”)编写的《水处理厂设计》^[8],出厂水消毒剂剩余浓度和消毒副产物应符合美国环保署(United States Environmental Protection Agency,以下简称“USEPA”)颁布的《安全饮用水法》。用于生活饮用水处理的各种产品必须符合美国NSF颁布的《饮用水系统部件·健康影响》(NSF/ANSI 61—2017, Drinking Water System Components-Health Effects,以下简称“NSF61”)^[9]和《饮用水处理化学品·健康影响》标准(NSF/ANSI 60—2013 Drinking Water Treatment Chemicals-Health Effects,以下简称“NSF60”)^[10]。另外,在给水处理方面,美国各州自行制定给水设计规范,《给水工程设计标准》

(Recommended Standards for Water Works),通常叫做“十州规范”(Ten State Standards)是一套由密西西比河上游理事会(the Great Lakes-upper Mississippi river board, GLUMRB)制定的规范,也被美国多个州广泛用作强制标准执行^[8]。

对于氯消毒技术及电解食盐制取次氯酸钠消毒技术,美国给水工程协会专门发布了《水氯化/氯胺化实践和原则》(AWWA M20, Water Chlorination / Chloramination Practices and Principles,以下简称“AWWA M20”)^[3]和《现场制备次氯酸盐》(AWWA M65, On-site Generation of Hypochlorite,以下简称“AWWA M65”)^[4]。电解食盐制取次氯酸钠系统的设计需按此执行。

2 中美给水厂采用氯作为消毒剂时加药量、加药点及消毒指标对比

氯是一种强氧化剂,能损害细胞膜,从而使细菌死亡。但在氯消毒杀灭水中病原微生物的同时,氯与水中的有机物反应,产生一系列氯的消毒副产物(DBP),比如THMs,这类物质具有致癌性。因此氯的投加量需适量,使其即能满足杀灭病原微生物作用又能避免因过多消毒副产物的产生对人体的危害^[3]。

国标《次氯酸钠发生器安全与卫生标准》中规定次氯酸钠用于生活饮用水消毒时,允许使用浓度为2~4 mg/L(以有效氯含量计),作用时间30 min^[7]。消毒后水应符合《生活饮用水卫生标准》中的要求^[1]。消毒剂通常在过滤后单独投加,也可在工艺流程中多点投加^[1]。

美国AWWA M20中表明,氯的典型加药量为1~5 mg/L。作用时间不少于根据实际杀灭的水中病原微生物的所需CT值(C 为加药浓度, T 为接触时间,CT值单位 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)和加药量计算得到的时间。消毒后出厂水中最大余氯限制不超过4 mg/L,进入输配水管网之前的水中余氯应至少连续4 h不低于0.2 mg/L。输配水管网中余氯应定时定点测量,并且每个月检测不到浓度的水样比例应小于5%。消毒剂通常两点投加(处理设施入口处和出口处),也可在工艺流程中多点投加^[3]。

美国“十州规范”(Ten State Standards)表明,加药量应保证在作用时间至少30 min后,出厂水中余氯浓度至少不低于2 mg/L。消毒后输配水管网

中最小余氯应不低于 0.2 mg/L。消毒剂通常四点投加(原水、沉淀后、过滤后及进入分配系统前)^[11]。

美国 NSF60 规定, 次氯酸钠加药量一般为 10 mg/L, 次氯酸钠最大加药量可小于 10 mg/L 但不得低于 2 mg/L^[10]。

中美给水厂采用氯作为消毒剂时的加药量、加药点及消毒指标对比如表 1 所示。

表 1 采用氯作为消毒剂时加药量、加药点及消毒指标对比表

Tab. 1 Comparison of dosage, dosing point and disinfection index when chlorine is used as disinfectant

项目	《次氯酸钠发生器安全与卫生标准》、《生活饮用水卫生标准》	AWWA M20	Ten State Standards	NSF60
加药量/(mg·L ⁻¹)	2~4	1~5	在作用时间至少 30 min 后, 出厂水中余氯浓度至少不低于 2 mg/L	2~10
与水接触时间/min	≥30	根据 CT 值计算	≥30	—
出厂水中限制/(mg·L ⁻¹)	4	4	—	4
出厂水中余氯/(mg·L ⁻¹)	≥0.3	≥0.2 mg/L (至少连续 4 h)	≥0.2 mg/L	—
管网末梢水中余氯/(mg·L ⁻¹)	≥0.05	检测不到浓度的水样比例应小于 5%	—	—
加药点	过滤后单独投加或 多点投加	两点后 多点投加	四点投加	—

由表 1 中可以看出, 对于加药量, 中国标准相比美国标准范围窄, 其他方面差别不大。

3 中美电解食盐制取次氯酸钠系统对比

电解食盐制取次氯酸钠系统依所制得的次氯酸钠浓度分低浓度(≤0.8%)和高浓度(~15%)制备系统^[4]。两种制备系统的设置及对原料的要求不尽相同。本文主要是对常用的低浓度次氯酸钠系统进行对比。

3.1 原料盐品质要求对比

国标《次氯酸钠发生器安全与卫生标准》中不分

高低浓度系统, 规定次氯酸钠发生器用原料盐氯化钠含量(以干基计)≥97.00%(质量分数), 卫生质量需符合《食品安全国家标准 食用盐》(GB 2721—2015), 杂质含量需符合《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2017)^[12-13]。

美国 AWWA M65 对电解食盐制取次氯酸钠系统用原料盐的品质进行了规定, 对于制取低浓度次氯酸钠(≤0.8%)系统, 要求采用满足 AWWA《氯化钠》(AWWA B200—17)中食品级(氯化钠含量≥99.5%)或日晒级(氯化钠含量≥98%)的盐^[4]。

盐中杂质含量除满足 AWWA B200—17 的要求外, 还需满足 NSF60 中单一产品允许浓度(SPAC)的限值^[4,11]。

中美原料盐的品质要求及 NSF60 的规定如表 2、表 3 所示。

由表 2 和 3 可以看出, 美国标准中对于氯化钠干基含量(≥98%)较中国标准(≥97%)中高, 盐中杂质含量未直接给出一个定值, 而是需要根据加药量进行折算^[10]。

3.2 盐贮存系统配置对比

国标《室外给水设计标准》对于盐贮存系统配置主要包括^[1]:

表 2 原料盐品质要求对比表

Tab. 2 Comparison of quality requirements of salt

项目	《食品安全国家标准 食用盐》《食品安全国家标准 食品中污染物限量》	Sodium Chloride (AWWA B200—17) - Solar grade
水分	—	≤3%
氯化钠(以干基计)	≥97 g/100g	≥98%
氯化钾(以干基计)	10~35 g/100g	—
水不溶物	—	≤0.15%
硫酸盐(以 SO ₄ ²⁻ 计)	—	≤1.4%
总砷(以 As 计)	≤0.5 mg/kg	—
铅(Pb)	≤2 mg/kg	—
镉(Cd)	≤0.5 mg/kg	—
总汞(以 Hg 计)	≤0.1 mg/kg	—
钡(Ba)	≤15 mg/kg	—
碘(I) ^a	5	—
Ca 和 Mg	—	≤0.6%
总杂质(溶解+不溶解)	—	≤2%
油脂, 脂肪或油	—	≤0.01%

注: a 仅适用于强化碘的食用盐。

表3 NSF60 中单一产品允许浓度 (SPAC) 限值

Tab. 3 Single product allowable concentration (SPAC) in NSF 60 mg/L

污染物名称	单一产品允许浓度 (Single product allowable concentration, SPAC)
金属	如下:
总砷(以 As 计)/(mg · L ⁻¹)	0.001
铅(Pb)/(mg · L ⁻¹)	0.001 5
铜(Cu)/(mg · L ⁻¹)	0.13
镉(Cd)/(mg · L ⁻¹)	0.000 5
钡(Ba)/(mg · L ⁻¹)	0.2
锑(Sb)/(mg · L ⁻¹)	0.000 6
铍(Be)/(mg · L ⁻¹)	0.000 4
总铬(Cr)/(mg · L ⁻¹)	0.01
无机汞/(mg · L ⁻¹)	0.000 2
硒(Se)/(mg · L ⁻¹)	0.00 5
铊(Tl)/(mg · L ⁻¹)	0.000 2
放射性核素	如下:
β 粒子与光子活动/(mrem/y)	0.4
总 α 粒子活性(pCi/L)	1.5
无机物	如下:
溴酸盐/(mg · L ⁻¹)	0.003

1) 次氯酸钠发生系统的盐水每日配置次数不宜大于 2 次, 并宜采用自动化程度配置较高的装置。

2) 次氯酸钠发生系统的原材料储备量可按平均投加量的 5~10 d 计算。

3) 贮藏面积计算时, 堆放高度可按 1.5~2.0 m 计。

美国 AWWA M65 中的主要规定包括^[4]:

1) 盐系统的贮存量应满足平均加药量工况下 15~30 d 盐消耗量的需求。

2) 制氯所需的饱和盐水通常是采用盐饱和器来提供。盐饱和器在贮存盐的同时, 进水溶解形成饱和盐水。对于每天耗盐量小于 400 lb (181.4 kg) 的小系统, 盐可以采用人工搬运至盐饱和器; 对于其他大型系统, 建议采用便于卸盐的地下式盐饱和器, 或采用压缩空气输送的地上式盐饱和器。

由上对比可见, 对于盐贮存系统的配置, 美国标准中要求的贮存时间(15~30 d)比中国标准(5~10 d)要长, 并且根据耗盐量的大小对输送方式和盐饱和器的形式进行了建议。

3.3 制备系统配置对比

国标《室外给水设计标准》规定^[1]:

1) 消毒设备应有备用。

2) 对于大型或重要性较高的水厂, 在采用次氯酸钠发生器时, 原盐溶解和次氯酸钠发生系统宜设置 2 组以上的, 宜有 20%~30% 的富裕能力。次氯酸钠制成溶液储存容量宜按 12~48 h 最大用量设置。

美国 AWWA M65 中的主要规定包括^[4]:

1) 设备的规模及安装数量根据最大平均加药量和最大加药量确定。

2) 系统的设计应该满足在任何工况下氯加药量的需求。可通过单独设置制备系统或者制备系统与备用贮存设备或备用系统相结合的方式来实现。建议设置备用机组或者通过与外购相结合的方式。

3) 对于有扩建规模的水厂, 应按最大流量和最大可预见的加药量计算。

4) 当有额外的贮存容量时, 也可用最大或尖峰负荷水量和平均加药量进行计算。

5) 贮存罐的设置需要考虑多种因素, 如场地情况、污染物情况和运行情况等。以往工程一般设置不小于 1 d 贮存量。一般当不考虑消毒副产物的情况下, 溶液储存时间一般不小于最大水量和最大加药量情况下 3 d 的贮存量。

由上对比可见, 对于备用机组的设置, 美国标准要求较灵活, 中国标准要求设备用机组。对于贮存罐的设置, 中国标准对于最小贮存时间的规定(12 h)低于美国标准要求(1 d), 对于最大贮存时间的规定(48 h)也低于美国标准要求(3 d)。

3.4 电解食盐制取次氯酸钠系统制备系统其他规定

中国标准对于次氯酸钠发生器上部通风及盐储存间设备防腐措施有所规定。除此之外, 未有其他详细规定。

美国标准对于次氯酸钠计量、氢气排除措施、辅助设备包括软化器、冷水机组、排污坑等的设计、电气系统设计、热控系统设计等方面进行了规定。

4 结论

本文详细说明了中美给水厂消毒设施的设计所执行的标准, 并且针对中美给水厂采用氯作为消毒剂时

加药量、加药点、消毒指标以及电解食盐制取次氯酸钠系统进行了详细对比。主要对比结果总结如下:

1) 采用氯作为消毒剂时, 中国标准允许使用浓度为2~4 mg/L, 相比美国标准范围(1~10 mg/L)窄, 其他方面包括加药点及消毒指标差别不大。

2) 电解食盐制取次氯酸钠系统中盐品质的要求, 美国标准对于氯化钠干基含量($\geq 98\%$)较中国标准($\geq 97\%$)中高, 盐中杂质含量未直接给出一个定值, 而是需要根据加药量进行折算。

3) 盐贮存系统的配置, 美国标准中要求的贮存时间(15~30 d)比中国标准(5~10 d)要长, 并且根据耗盐量的大小对盐饱和器的形式进行了建议。

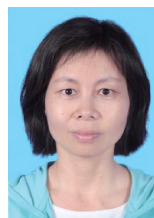
4) 对于贮存罐的设置, 中国标准对于最小贮存时间的规定(12 h)低于美国标准要求(1 d), 对于最大贮存时间的规定(48 h)也低于美国标准要求(3 d)。

5) 对于电解食盐制取次氯酸钠系统备用机组的设置, 美国标准要求较灵活。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 室外给水设计标准: GB 50013—2018 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China. Standard for design of outdoor water supply engineering: GB 50013—2018 [S]. Beijing: China Planning Press, 2018.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇给水排水技术规范: GB 50788—2012 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for water supply and sewerage of urban: GB 50788—2012 [S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2012.
- [3] American Water Works Association. Water chlorination/chloramination practices and principles. AWWA MANUAL M20, second edition [M]. CO: American Water Works Association, 2006.
- [4] American Water Works Association. On-site generation of hypochlorite. AWWA MANUAL M65, fifth edition [M]. CO: American Water Works Association, 2015.
- [5] 李慧娟, 梁森, 沈庆平. 电解食盐消毒技术在农村饮水工程中的应用 [J]. 江苏建筑职业技术学院学报, 2018, 18(2): 45-47+66.
LI H X, LIANG S, SHEN Q P. Application of electrolyzed salt disinfection technology in rural drinking water projects [J]. Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology, 2018, 18(2): 45-47+66.
- [6] 中华人民共和国卫生部. 生活饮用水卫生标准: GB 5749—2006 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
Ministry of Health of the People's Republic of China. Standards for drinking water quality: GB 5749—2006 [S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2006.
- [7] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会. 次氯酸钠发生器安全与卫生标准: GB 28233—2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
China National Standardization Administration Committee of the Ministry of health of the People's Republic of China. Safety and hygienic standard for disinfection by sodium hypochlorite generator: GB 28233—2011 [S]. Beijing: China Standards Press, 2012.
- [8] American Water Works Association and American Society of Civil Engineers. Water treatment plant design, fifth edition [M]. USA: Mc Graw Hill, Inc. 2012.
- [9] The NSF Joint Committee on Drinking Water Additives. Drinking water system components-health effects: NSF/ANSI 61—2017 [S]. Michigan: NSF International, 2017.
- [10] The NSF Joint Committee on Drinking Treatment Chemicals. Drinking water treatment chemicals-health effects: NSF/ANSI 60—2013 [S]. Michigan: NSF International, 2013.
- [11] Great Lakes-Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers. Recommended standards for water works(2012 edition) [M]. NY: Health Research Inc., Health Education Services Division, 2012.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食用盐: GB 2721—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard food grade salt: GB 2721—2015 [S]. Beijing: China Standards Press, 2016.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard limit of pollutants in food: GB 2721—2017 [S]. Beijing: China Standards Press, 2017.

作者简介:



GAO R Y

郜瑞莹(通信作者)

1980-, 女, 河南新乡人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司高级工程师, 清华大学环境科学与工程硕士, 主要从事发电厂水化学控制、给水和污水处理、海水淡化技术研究及设计工作(e-mail) gaoruiying@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)