

某H级燃机电厂再生水深度处理系统方案设计

肖建群

引用本文:

肖建群. 某H级燃机电厂再生水深度处理系统方案设计[J]. 南方能源建设, 2021, 8(2): 31-36.

XIAO Jianqun. Design of Advanced Treatment Scheme for Reclaimed Water of a H-class Gas Turbine Power Plant[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(2): 31-36.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

9H级燃机水汽系统化学控制和监测设计与优化

Design and Optimization of Chemical Control and Monitoring System for Class 9H Unit

南方能源建设. 2020, 7(z1): 82-87 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S1.016>

电解水制氢在电厂和氢能项目的设计应用

Design and Application of Hydrogen Production by Electrolysing Water in Power Plants and Hydrogen Energy Projects

南方能源建设. 2020, 7(2): 41-45 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.006>

F级改进型燃机电厂压缩空气系统设计优化

Design Optimization of the Compressed Air System in F Advanced Class Combined Cycle Power Plant

南方能源建设. 2015, 2(z1): 15-18,14 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.S1.004>

城市型燃机电厂景观设计浅析

Elementary Analysis of Landscape Design for Urban Gas Turbine Power Plant

南方能源建设. 2016, 3(4): 82-87 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.04.017>

进气冷却对燃机联合循环的性能影响分析

Effect of Inlet Air Cooling on Performance of Gas Turbine Combined Cycle

南方能源建设. 2019, 6(3): 64-69 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.011>

某H级燃机电厂再生水深度处理系统方案设计

肖建群[✉]

(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)

摘要: [目的] 为充分贯彻国家水资源开发利用方针, 体现水资源重复利用的节水政策, 越来越多南方地区电厂的工业用水水源采用再生水, 有必要对其再生水深度处理系统方案设计进行探讨。[方法] 以广东某H级燃机电厂为例, 通过分析污水处理厂处理工艺、再生水出水水质指标, 以及电厂工业用水水质要求, 设计出最适合的再生水深度处理系统方案。[结果] 采用的“接触絮凝斜板沉淀池+过滤池”方案, 系统流程简单, 投资和运行费用低, 且能保证系统安全、可靠运行。[结论] 旨在为将来类似水源电厂再生水深度处理系统设计提供可借鉴的方案。

关键词: H级燃机联合循环发电; 工业用水水源; 再生水深度处理

中图分类号: TM611.31; TM628

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)02-0031-06
开放科学(资源服务)二维码:



Design of Advanced Treatment Scheme for Reclaimed Water of a H-class Gas Turbine Power Plant

XIAO Jianqun[✉]

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

Abstract: [Introduction] In order to fully implement the national policies on water resource development and utilization, embody the water-saving policies on water resource reuse, more and more industrial water source supplied to power plants in south China is reclaimed water, so it is necessary to discuss the schematic design of advanced treatment for reclaimed water. [Method] Taking a power plant in Guangdong province as an example, this paper designed the most suitable advanced treatment for reclaimed water by analyzing the treatment process of wastewater treatment plant, water quality indicators of reclaimed water and industrial water quality requirements of power plant. [Result] Adopting the scheme of "contact flocculation inclined plate sedimentation tank + filter tank", the system process was simple, the investment and operation cost were low, and the system can guarantee the safe and reliable operation. [Conclusion] This paper aimed to provide a reference scheme for the advanced treatment system design of reclaimed water in similar water source power plants in the future.

Key words: H-class gas turbine combined cycle power generation; industrial water source; advanced treatment for reclaimed water
2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

再生水是指污水经适当再生工艺处理后, 达到一定的水质标准, 满足某种使用功能要求, 可以进行有益使用的水。再生水深度处理是指进一步去除再生水中杂质的净化处理过程^[1-3]。进入再生水深度处理系统的再生水水质至少应达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的二

级标准或《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中的一级标准^[4-5]。

北方缺水地区电厂已普遍利用再生水作为工业用水水源, 为充分贯彻国家水资源开发利用方针, 体现水资源重复利用的节水政策, 提高水的利用率, 减少废水排放对环境的影响^[6], 越来越多广东等南方地区电厂的工业用水水源也将陆续采用再生水。

广东某H级燃气-蒸汽联合循环发电项目, 其

工业用水（包括锅炉补给水处理系统及循环冷却水等）水源采用附近市政污水处理厂的再生水，其中冷却用水主要是敞开式循环冷却水系统补充水。本文以该电厂为例，通过分析污水处理厂处理工艺、再生水出水水质指标，以及电厂工业用水水质要求，设计出最适合的再生水深度处理系统方案，也为将来类似水源电厂再生水深度处理系统设计提供可借鉴的方案。

1 污水处理厂简况

从电厂水资源论证报告书可知，该污水处理厂主要处理市政生活污水。污水厂总设计规模为40万 m^3/d ，分三期建设，一期工程规模为10万 m^3/d ，二期工程规模为10万 m^3/d ，三期工程规模为20万 m^3/d 。一期工程已于2009年9月建成投产，二期工程正在建设中。该电厂工业用水水源采用污水处理厂一期工程处理后的再生水。

已建成的一期工程设计处理规模为10万 m^3/d ，采用改良A2/O工艺（厌氧-缺氧-好氧法+生物脱氮除磷工艺），工艺流程为：污水经市政管网收集并输送至厂内粗格栅及进水泵池，粗格栅过滤后经进水泵提升至细格栅，后经细格栅去除固体垃圾后流入旋流曝气沉砂池，经沉砂池去除固体颗粒物后进入生化系统，生化池由选择池、厌氧池、缺氧池和好氧池组成，污水经生化池处理和沉淀池沉淀后，再经紫外消毒渠消毒。工艺流程图如图1所示。

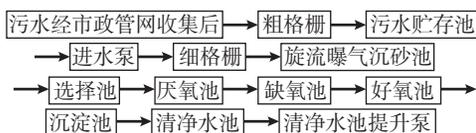


图1 再生水处理工艺流程图

Fig. 1 Process flow chart of reclaimed water treatment

污水处理厂一期工程处理后的再生水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）中的一级B标准及广东省地方标准《水污染物排放标准》（DB 44/26—2001）中的第二时段一级标准，^[4,7]该广东省地方标准水质指标严于《污水综合排放标准》（GB 8978—1996）中的一级标准。

从取得的近年逐月共12份再生水水质全分析资料可知，该污水处理厂处理后的再生水主要水质指标如下：

悬浮物： $\leq 20 \text{ mg/L}$ 。

BOD_5 ： $\leq 20 \text{ mg/L}$ 。

COD_{Cr} ： $\leq 30 \text{ mg/L}$ 。

氨氮： $\leq 5 \text{ mg/L}$ 。

总磷： $\leq 1 \text{ mg/L}$ 。

二氧化硅（ SiO_2 ）： $\leq 12 \text{ mg/L}$ 。

碳酸盐硬度（以 CaCO_3 计）： $\leq 66 \text{ mg/L}$ 。

总硬度（以 CaCO_3 计）： $\leq 117 \text{ mg/L}$ 。

2 再生水深度处理的必要性

再生水不需进行深度处理直接用于敞开式循环冷却水系统补充水和锅炉补给水水源时，其基本控制项目及指标限值应同时满足《城市污水再生利用工业用水水质》（GB/T 19923—2005）和《工业循环冷却水处理设计规范》（GB/T 50050—2017）中的相关规定^[1,8-9]，具体水质指标见表1。

根据该污水处理厂再生水主要水质指标和表1

表1 再生水直接用于工业用水水质指标

Tab. 1 Water quality indicators of reclaimed water directly used for industrial water

控制项目	敞开式循环冷却水系统补充水	锅炉补给水
pH值	6.5~8.5	6.5~8.5
悬浮物(SS)/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 10	≤ 10
浊度/(NTU)	≤ 5	≤ 5
色度/度	≤ 30	≤ 30
生化需氧量(BOD_5)/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 10	≤ 10
化学需氧量(COD_{Cr})/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 60	≤ 60
铁/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 0.3	≤ 0.3
锰/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 0.1	≤ 0.1
氯离子/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 250	≤ 250
二氧化硅(SiO_2)	≤ 50	≤ 30
总硬度/(以 CaCO_3 计, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 450	≤ 450
总碱度/(以 CaCO_3 计, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 200	≤ 200
硫酸盐/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 250	≤ 250
氨氮/(以N计, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 5	≤ 5
总磷/(以P计, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 1	≤ 1
溶解性总固体/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\leq 1\ 000$	$\leq 1\ 000$
石油类/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≤ 1	≤ 1
余氯/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	≥ 0.1	≥ 0.1
细菌总数/(个 $\cdot\text{mL}^{-1}$)	$< 1\ 000$	$< 1\ 000$

中再生水直接用于工业用水水质指标对比可知，污水处理厂再生水悬浮物和 BOD_5 超标，不能直接作为敞开式循环冷却水系统补充水和锅炉补给水水源，为保证机组安全、可靠运行，电厂内应设置再生水深度处理系统。

3 再生水深度处理系统选择

3.1 再生水深度处理典型方案

设置再生水深度处理系统的主要目的是：

- 1) 进一步去除残余的悬浮物和胶体。
- 2) 进一步去除污水处理厂处理后残留的溶解性有机物。
- 3) 去除无机盐类（如氮、磷、重金属等）及微生物难以降解的有机物。
- 4) 去除色素。

据调查，广东地区的市政污水处理厂再生水一般会经过二级生化处理，因此，再生水深度处理系统的典型方案主要有以下三种：

a) 过滤加消毒处理（方案一）

污水处理厂二级处理后的市政污水如回用于水质要求不太高的工业企业，一般只需经过简单过滤及消毒，去除残余的悬浮物及细菌即可。消毒的目的是防止回用水系统中滋生微生物黏膜或藻类。

b) 混凝澄清加过滤处理（方案二）

混凝澄清加过滤处理是较多用于电厂再生水深度处理系统的工艺方案，一般采用“接触絮凝斜板沉淀池+过滤池”处理。“接触絮凝斜板沉淀池+过滤池”处理适合用于处理水质相对较好的再生水。

c) 石灰混凝澄清加过滤处理（方案三）

石灰混凝澄清加过滤处理也是常用于电厂再生水深度处理的工艺方案，主要用于处理含钙、镁、碳酸盐硬度、硅、氮、磷量等碳酸盐硬度和有机物高的再生水。对于碳酸盐硬度（以 $CaCO_3$ 计）低于 100 mg/L 的再生水水源，不宜采用石灰混凝澄清处理工艺。

3.2 再生水深度处理方案选择

上述三种典型的再生水深度处理工艺方案中：

过滤加消毒处理（方案一）工艺系统简单、投资省，但要求污水处理厂出水悬浮物和有机物含量低。方案一主要用于对水质要求不太高的工业企

业，该电厂如仅采用过滤加消毒处理，不能满足工业用水水质指标要求。

“接触絮凝斜板沉淀池+过滤池”（方案二）主要处理再生水中的悬浮物和有机物，系统流程简单，占地小，省去了加酸、加石灰装置，运行费用低。

石灰混凝澄清加过滤处理（方案三）主要处理再生水中的碳酸盐硬度和氮、磷等有机物，系统流程相对复杂，占地大，运行费用相对较高，除了需配置混凝剂、助凝剂、次氯酸钠等加药设备外，还需配置加酸、加石灰装置，会使运行环境变差，增加以后运行人员的劳动强度。

该电厂采用的污水处理厂再生水出水水质较好，碳酸盐硬度、硅和氮、磷等有机物含量均不高，仅悬浮物和 BOD_5 未满足电厂工业用水的水质指标要求。

综上所述，该电厂再生水深度处理系统最适合的方案是采用“接触絮凝斜板沉淀池+过滤池”方案，并配置相应的加药设备。该方案系统流程简单，占地小，投资和运行费用低，且能保证系统安全、可靠运行。

4 再生水深度处理系统方案设计

4.1 方案说明

接触絮凝斜板沉淀池是在斜板沉淀池构筑物中设置整流段，在斜板区和整流段内形成絮体粒子动态悬浮絮凝区，利用接触絮凝和沉淀原理去除水中固体颗粒。斜板采用乙丙共聚（聚丙烯与聚乙烯按适当比例合成），表面光滑利于排泥，有利于提高上升流速和表面负荷，沉淀效果良好，沉淀后水中悬浮物目标值可保证小于 10 mg/L ，期望值可小于 3 mg/L 。

原水在进入接触絮凝斜板沉淀池处理前，先连续投加混凝剂、助凝剂（需选择对后续锅炉补给水处理系统反渗透膜运行无影响的产品），间断投加次氯酸钠杀菌剂，保证沉淀池处理后出水悬浮物小于 10 mg/L 。

沉淀池出水一部分自流至循环冷却水前池，作为循环冷却水系统补充水；一部分进入过滤池进行过滤，过滤池出水直接进入化学水水池，作为锅炉补给水处理系统水源。过滤池出水中悬浮物目标值

可保证小于5 NTU，期望值可小于2 NTU。

接触絮凝斜板沉淀池排泥送入污泥浓缩池，然后再通过污泥输送泵送至污泥脱水机间脱水，泥饼外运处理。过滤池反洗排水经中间水池回收后，送至沉淀池入口，与再生水混合后一起处理后回用，减少了再生水取水量。

4.2 主要处理构筑物及设备

4.2.1 接触絮凝斜板沉淀池

根据该电厂全厂水量平衡计算，需沉淀池处理

的水量为2 030 m³/h。设置4座处理水量为610 m³/h的接触絮凝斜板沉淀池，每座沉淀池考虑一定的处理裕量，不设备用。斜板沉淀池采用重力排泥，进水管道上安装流量计，出水管上安装浊度计，系统运行时，斜板沉淀池之间也能根据需水量大小进行相互切换或互为备用。

接触絮凝斜板沉淀池采用钢筋混凝土结构，地上式布置，包括完整的絮凝设备、斜板、管道、水槽等，其运行流程示意如图2所示。

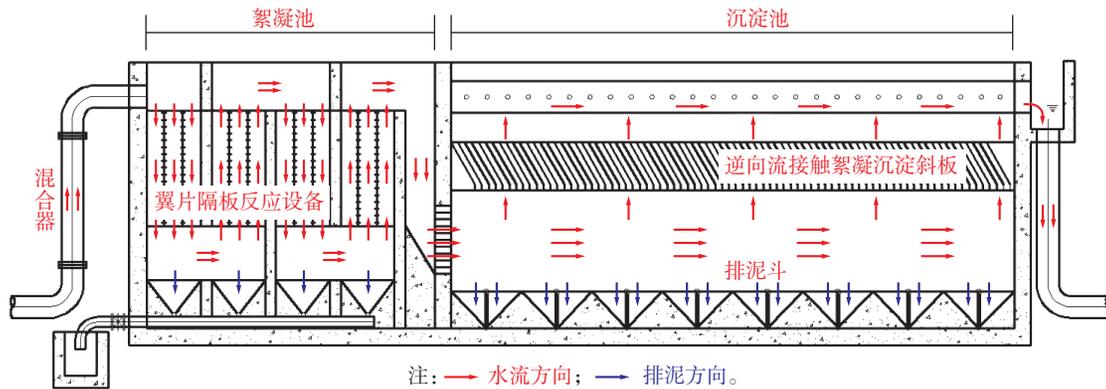


图2 接触絮凝斜板沉淀池流程示意图

Fig. 2 Schematic diagram of contact flocculation inclined plate sedimentation tank

4.2.2 过滤池

需过滤池处理的水量为1 050 m³/h，设置4座处理能力为350 m³/h的过滤池，3用1备，当有1台检修时，其余过滤池应保证正常供水。过滤池可自动控制反冲洗周期、反冲洗历时，反冲洗方式为气水反冲洗，气源为专用罗茨风机来气，水源采用经过滤后的清水^[10]。过滤池采用混凝土结构，地上式布置。

4.2.3 储药及加药设备

设置1套次氯酸钠贮存罐、溶液箱和加药计量泵，1套混凝剂贮存罐、溶液箱和加药计量泵，助凝剂（脱水剂）制备装置、助凝剂计量泵和脱水剂计量泵。

4.2.4 污泥浓缩池

设置1座污泥浓缩池，采用钢筋混凝土结构，半地下式布置。污泥浓缩池采用机械刮泥方式排泥，配套刮泥机，其沉泥用泵输送至污泥脱水机间脱水，泥饼外运处理。

4.2.5 中间水池

设置1座中间水池，收集过滤池反洗排水，经

泵提升与再生水混合后重新进入絮凝沉淀池处理。中间水池采用钢筋混凝土结构，地下式布置。

4.3 辅助系统及设备

4.3.1 罗茨风机

设置2台罗茨风机，一用一备，供过滤池反洗用。

4.3.2 压缩空气系统

系统气动阀门气源采用无油干燥压缩空气，由全厂空压机组的仪用压缩空气系统供给。设置1台仪用压缩空气贮存罐。

4.4 主要检测表计

在接触絮凝斜板沉淀池进水管及出水管上安装流量计量装置，进行数据统计，在沉淀池和过滤池出口设有浊度仪，在各水泵、加药计量泵和罗茨风机出口设置压力表，在过滤池、污泥浓缩池、中间水池、各药品贮存罐和溶液箱上设置液位计，便于对各主要工艺系统进行监督管理，为电厂水务管理创造条件。

4.5 主要设备规范

再生水深度处理系统主要设备规范见表2。

表2 主要设备规范表

Tab. 2 Main equipments specifications

设备名称	型号及规范	数量
接触絮凝斜板沉淀池	$Q=610\text{ m}^3/\text{h}$	4座
列管式混合器	$\text{DN}450, p=1.0\text{ MPa}$	4台
过滤池	$Q=350\text{ m}^3/\text{h}$	4座
过滤池反洗水泵	$Q=760\text{ m}^3/\text{h}, p=0.20\text{ MPa}$	3台
罗茨风机	$Q=42\text{ Nm}^3/\text{min}, p=50\text{ kPa}$	2台
中间水池	$V=350\text{ m}^3$	1座
中间水池提升泵	$Q=50\text{ m}^3/\text{h}, p=0.25\text{ MPa}$	2台
污泥浓缩池	$V=390\text{ m}^3, \text{DN}13\ 000$	1座
污泥输送泵	$Q=20\text{ m}^3/\text{h}, p=0.25\text{ MPa}$	2台
污泥脱水机	$Q=15\text{ m}^3/\text{h}, p=0.25\text{ MPa}$	1台
电动污泥斗	$V=6\text{ m}^3$	1台
电动单轨起重机	起重量2 t, 起升高度9 m	1台
仪用压缩空气贮存罐	$V=8\text{ m}^3, \text{DN}1500$	1台
次氯酸钠贮存罐	$V=25\text{ m}^3, \text{DN}2500$	2台
次氯酸钠溶液箱	$V=1.5\text{ m}^3$	2台
次氯酸钠计量泵	$Q=120\text{ L/h}, p=0.70\text{ MPa}$	3台
混凝剂贮存罐	$V=25\text{ m}^3, \text{DN}2500$	2台
混凝剂溶液箱	$V=3\text{ m}^3$	2台
混凝剂计量泵	$Q=580\text{ L/h}, p=0.70\text{ MPa}$	5台
助凝剂(脱水剂)制备装置	$Q=1\ 000\text{ L/h}$	1套
助凝剂计量泵	$Q=580\text{ L/h}, p=0.70\text{ MPa}$	5台
脱水剂计量泵	$Q=1\ 000\text{ L/h}, p=0.70\text{ MPa}$	2台

4.6 设备布置

再生水深度处理系统设备与锅炉补给水处理系统、工业废水处理系统等集中布置在电厂水务中心,各系统可共用次氯酸钠和混凝剂贮存罐及溶液箱、助凝剂(脱水剂)制备装置、污泥浓缩池、脱水机和仪用压缩空气贮存罐等,减少电厂投资和运行费用,有利用运行维护管理。

接触絮凝斜板沉淀池、过滤池、中间水池和污泥浓缩池室外布置,脱水机布置在污泥脱水机间,罗茨风机和过滤池反洗水泵分别布置在风机间和水泵间,药品贮存罐、溶液箱和加药计量泵布置在加药间。

5 结论

综上所述,再生水深度处理系统方案设计前应取得市政污水处理厂再生水近年逐月共12份水质全分析资料^[10]。通过分析污水处理厂处理工艺、再生水出水水质指标,以及电厂工业用水水质要

求,设计出最适合的再生水深度处理系统方案。

本文列举的广东某2×9H级燃气蒸汽联合循环机组电厂,再生水水质在广东等南方地区具有一定的代表性,采用的“接触絮凝斜板沉淀池+过滤池”方案,系统流程简单,占地小,投资和运行费用低,且能保证系统安全、可靠运行,可为将来类似水源电厂再生水深度处理系统设计提供可借鉴的方案。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 城市污水再生利用 工业用水水质: GB/T 19923—2005 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration Committee. The reuse of urban recycling water-water quality standard for industrial uses: GB/T 19923—2005 [S]. Beijing: China Standard Press, 2005.
- [2] 国家能源局. 火力发电厂再生水深度处理设计规范: DL/T 5483—2013 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
National Energy Administration. Code for design of advanced treatment for reclaimed water of thermal power plants: DL/T 5483—2013 [S]. Beijing: China Planning Press, 2013.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 污水排入城镇下水道水质标准: GB/T 31962—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration Committee. Water quality standard for sewage discharged into urban sewers: GB/T 31962—2015 [S]. Beijing: China Standard Press, 2016.
- [4] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. 城镇污水处理厂污染物排放标准: GB 18918—2002 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Discharge standard of pollutants for municipal wastewater treatment plant: GB 18918—2002 [S]. Beijing: China Standard Press, 2002.
- [5] 国家环境保护局,国家技术监督局. 污水综合排放标准: GB 8978—1996 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
State Environmental Protection Administration, State Bureau of Technical Supervision. Integrated wastewater discharge standard: GB 8978—1996 [S]. Beijing: China Standard Press, 1996.
- [6] 国家能源局. 发电厂废水治理设计规范: DL/T 5046—2018 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
National Energy Administration. Code for design of wastewa-

- ter treatment of power plant: DL/T 5046—2018 [S]. Beijing: China Planning Press, 2018.
- [7] 广东省环境保护局,广东省质量技术监督局. 水污染物排放限值:DB 44/26—2001 [S]. 广州:广东省环境保护局,2001. Guangdong Provincial Environmental Protection Bureau, Guangdong Bureau of Quality and Technical Supervision. Discharge limits of water pollutants: DB 44/26—2001 [S]. Guangzhou: Guangdong Provincial Environmental Protection Bureau, 2001.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 工业循环冷却水处理设计规范:GB/T 50050—2017 [S]. 北京:中国计划出版社,2017. National Development and Reform Commission, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of industrial circulating cooling water treatment: GB/T 50050—2017 [S]. Beijing: China Planning Press, 2017.
- [9] 国家能源局. 发电厂节水设计规程:DL/T 5513—2016 [S]. 北京:中国计划出版社,2016. National Energy Administration. Code for design of water saving for power plant: DL/T 5513—2016 [S]. Beijing: China Planning Press, 2016.
- [10] 国家能源局. 发电厂化学设计规范:DL 5068—2014 [S]. 北京:中国计划出版社,2014. National Energy Administration. Code for design of chemistry of power plant: DL 5068—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014.

作者简介:



肖建群

肖建群 (通信作者)

1977-, 女, 江西永新人, 高级工程师, 武汉水利电力大学环境工程学士, 主要从事发电厂水化学控制、工业给水和污水处理、垃圾渗滤液处理、海水淡化处理技术研究及设计 (e-mail) xiaojianqun@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)

