

# 纯化水系统水质控制分析

冯波\*

(汤臣倍健股份有限公司, 珠海 519040)

**摘要:** 本文介绍了纯化水系统制备方法与流程, 堆纯化水系统制备过程中的检测数据进行了回顾和总结, 并对纯化水系统制备过程的微生物进行了分析, 以便对纯化水系统的过程控制, 同时对纯化水系统型号、制备过程、微生物检测以及制水过程(工艺的温度、压力、流量、电压、电解质等)进行控制, 加强对石英砂、活性炭、EDI、保安过滤器的检查频率, 加强对水系统流量、压力、污染指数、余氯、硬度、电导率等的检测和控制分析, 有效地控制产水水质, 保证产品质量。

**关键词:** 纯化水; 过程控制; 数据分析; 限度

## Quality control of water produced by purified water system

FENG Bo\*

(By-Health Co., Ltd., Zhuhai 519040, China)

**ABSTRACT:** This paper introduced the preparation method and process of the purified water system, reviewed and summarized detection data in the process of preparation process of purified water system, and analyzed the microorganisms in the process of purified water system, in order to control the process of purified water system. The purified water systems model, preparation process, microbiological testing and water production process (temperature, pressure, flow, voltage, and electrolyte composition) were controlled, to strengthen the inspection of the frequency of quartz sand, activated carbon, electro-deionization (EDI), and strengthen the detection and control of the water flow, pressure, the pollution index, residual chlorine, hardness test, electrical conductivity. In this way, the quality of produced water could control effectively.

**KEY WORDS:** purified water; process control; data analysis; limitation

## 1 引言

水是保健品厂或药厂生产过程中一种重要的原料, 在工艺过程中水是直接关系到产品质量的重要因素以及过程介质, 所以制药厂、保健品食品厂均十分重视水系统的设计、安装、验证、运行和维护等环节。纯化水为饮用水经蒸馏法<sup>[1]</sup>、离子交换法<sup>[2]</sup>、反渗透法<sup>[3]</sup>等方法制备。制水过程要对工艺的温度、压力、流量、成分、电压、电解质等进行控制, 过程控制主要作用为: 保证生产稳定、防止事故发生、减少原料、能源、降低成本、

提高效率等<sup>[4,5]</sup>。

## 2 纯化水系统与设备

### 2.1 纯化水系统

纯化水系统是一条 3T/H 的生产线, 流程如图 1 所示, 以一级反渗透加 EDI(electro-deionization)技术为核心, 饮用水进入原水箱, 通过原水泵经过石英砂过滤器、活性炭过滤器<sup>[6]</sup>、1、2 号软化器<sup>[7]</sup>、一级反渗透<sup>[8]</sup>、EDI 电除盐装置<sup>[9]</sup>、达到纯化水箱, 最后经过巴氏消毒<sup>[10]</sup>微孔过滤器到达各个使用点。

\*通讯作者: 冯波, 主要研究方向为保健品分析检测。E-mail: 2665327488@qq.com

\*Corresponding author: FENG Bo, By-Health Co., Ltd., Zhuhai 519040, China. E-mail: 2665327488@qq.com

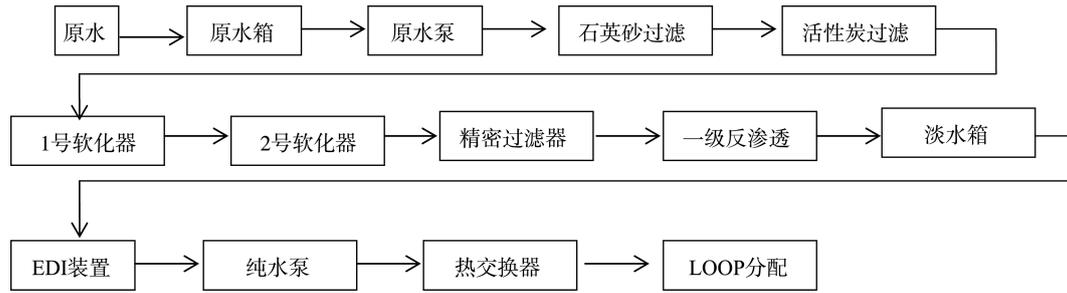


图1 纯化水系统流程图

Fig. 1 The flow chart of purified water system

## 2.2 纯化水主要设备型号

原水箱型号: 3 m<sup>3</sup>; 原水泵型号: CR15-4; 多介质过滤器型号: 40\*94 Inch; 活性炭过滤器型号: DN900\*1850 mm; 保安过滤器型号: 30 寸 5 芯 PCS; 多级泵型号: CM5-4; 反渗透膜型号: HSRO-390-FF; EDI 多模块型号: IP-LXM30HI; 电导率电极: 243E223;1025-67(7.6 m); 纯化水箱型号: 8000 L; 纯化水循环泵型号: LKH-25; 药水循环泵型号: MC-100 L。

### 2.2.1 纯化水系统石英砂过滤器

石英砂过滤器<sup>[11]</sup>是利用石英砂作为过滤介质, 主要是除去水中悬浮物、胶体、泥沙、铁锈, 采用水泵加压<sup>[12]</sup>, 使原水通过过滤介质<sup>[13]</sup>, 使水进一步得到净化, 主要用于截留水中的悬浮物、胶体等杂质, 净化进水水质从而达到过滤的目的。

### 2.2.2 纯化水活性炭过滤器

活性炭过滤器主要是用活性炭过滤来完成的, 其颗粒表面形成一层平衡的表面浓度, 再把有机物质杂质吸附到活性炭颗粒内, 颗粒状的活性炭因颗粒成形不易流动, 水中有机物等杂质在活性炭过滤层中也不易阻塞, 其吸附能力强, 携带更换方便<sup>[14,15]</sup>。

### 2.2.3 纯化水系统保安过滤器

保安过滤器是以滤芯作为过滤介质、利用加压作用使液固分离的一种过滤机。使用滤芯进行液固分离的方法属于微孔过滤技术, 将待过滤液体由过滤器进口压入, 经滤芯自外向里透过滤层而被过滤成澄清液体, 然后经出口排出, 杂质被截留在滤芯的深层及表面, 从而达到液体被过滤的目的<sup>[16,17]</sup>。

### 2.2.4 纯化水一级反渗透

反渗透装置是借助压力使水分子强迫通过对水分子有选择作用的反渗透膜, 可以除去水中的溶解性盐类、胶体<sup>[18]</sup>、微生物<sup>[19]</sup>、微粒、有机物等; 反渗透是一种以压力为动力膜分离过程, 是自然渗透的反过程<sup>[20]</sup>。

### 2.2.5 EDI

EDI 是一种电渗析技术和离子交换技术相融合的先进技术, 系统能够通过电磁对阴阳离子的选择性透过作用

与离子交换树脂对离子的交换作用, 发生定向迁移, 从而完成除去水中离子的作用<sup>[21-23]</sup>。

## 3 水质控制关键数据分析

### 3.1 纯化水系统石英砂过滤器出水污染指数(SDI)

对纯化水系统石英砂过滤器出水污染指数(SDI)<sup>[24]</sup>进行系统数据分析, 检测周期为 15 天/次(表 1)。

表 1 纯化水系统石英砂过滤器每月污染指数的平均值和最大值  
Table 1 The monthly average and maximum pollution index of quartz sand filter in the purified water system

月份	平均值	最大值
1	2.61	2.72
2	2.52	2.63
3	2.61	2.69
4	2.68	2.84
5	2.54	2.67
6	2.60	2.68
7	2.53	2.66
8	2.52	2.59
9	2.66	2.78
10	2.63	2.74
11	2.51	2.57
12	2.49	2.52

在周期内, 纯化水系统石英砂过滤器的污染指数均符合可接受标准, 平均为 2.62, 标准偏差为 0.14, 最大值为 2.84, 警戒度为 2.86, 纠偏度为 2.90, 数据比较稳定均在范围内, 没有出现较大波动。

### 3.2 纯化水系统石英砂过滤器的污染指数

在周期内, 纯化水系统石英砂过滤器的污染指数均

符合可接受标准, 2013 年对纯化水活性炭过滤器数据进行统计分析见表 2。

表 2 纯化水系统活性炭过滤器每月余氯检测的平均值和最大值  
Table 2 The monthly average and maximum residual chlorine of active carbon filter in the purified water system

月份	平均值(mg/L)	最大值(mg/L)
1	0.041	0.06
2	0.044	0.06
3	0.042	0.05
4	0.041	0.05
5	0.043	0.06
6	0.036	0.06
7	0.035	0.05
8	0.047	0.06
9	0.056	0.05
10	0.039	0.06
11	0.038	0.06
12	0.040	0.05

在分析周期内余氯值均为可接受标准之内平均为 0.042 mg/L, 标准偏差 0.010; 最大值为 0.08 mg/L, 警戒度 0.066 mg/L, 纠偏度<sup>[26]</sup>: 0.075 mg/L; 数据较稳定, 均在符合范围内, 没有较大波动<sup>[24,25]</sup>。

由于水的硬度主要由钙、镁离子形成, 钠离子交换软化处理的原理是将原水通过钠的阳性离子在离子交换树脂中完成, 使水中的硬度成分离子 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>与交换树脂中的 Na<sup>+</sup>交换, 其交换过程如下:

$2RNa^+ + Ca^{2+} = 2RCa + 2Na^+$ ,  $2RNa^+ + Mg^{2+} = 2RMg + 2Na^+$ ; 通过钠离子交换后水中的 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>离子置换成 Na<sup>+</sup>, 树脂中 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>增加, 树脂中的除去 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>能力逐渐降低, 当树脂吸收一定量的钙、镁离子后, 就必须进行再生<sup>[26,27]</sup>。

### 3.3 纯化水系统软化器出水硬度

对车间纯化水系统进行数据分析和处理, 确定软化系统在分析周期内是否出现较大波动, 检测周期为 1 次/月, 结果见表 3。

在分析周期内, 纯化水软化系统检测出的水的硬度复核可接受标准平均值为 24.36 mg/L, 标准偏差 2.53, 最大值 30 mg/L, 数据比较稳定一级反渗透出水电导率及回收率可接受标准为出水电导率 < 20 us/cm, 55% < 回收率 < 80%。

### 3.4 纯化水系统一级反渗透

对车间纯化水系统一级反渗透进行数据分析和处理见表 4。

表 3 纯化水系统软化器出水硬度每月检测的平均值和最大值  
Table 3 The monthly average and maximum hardness of the water system in the purified water system

月份	平均值(mg/L)	最大值(mg/L)
1	24.36	28.00
2	24.16	29.00
3	24.36	30.00
4	24.28	28.00
5	24.26	28.00
6	24.50	29.00
7	24.62	29.00
8	24.32	30.00
9	24.35	30.00
10	24.52	29.00
11	24.14	28.00
12	24.35	29.00

表 4 年度分析数据表  
Table 4 The annual analysis data sheet

月份	平均值(us/cm)	最大值(us/cm)
1	7.77	8.80
2	7.70	8.90
3	7.57	8.90
4	7.45	8.88
5	7.56	8.80
6	7.58	8.80
7	7.55	8.90
8	7.60	8.90
9	7.62	8.90
10	7.55	8.90
11	7.59	8.80
12	7.53	8.80

在分析周期内, 纯化水系统一级反渗透每天出水电导率最大平均值 7.56 us/cm, 标准偏差为 0.86, 警戒度为 9.23 us/cm, 纠偏度为 10.15 us/cm, 数据在纠偏度以内且没有较大波动, 比较稳定<sup>[28]</sup>。

### 3.5 纯化水系统 EDI 电除盐装置电导率、产水流量分析

对车间使用纯化水系统 EDI 电除盐装置电导率进行了历史性数据分析见表 5。

表 5 EDI 电导率数据分析  
Table 5 EDI conductivity data analysis

月份	出水电阻率最小平均值	出水电阻率最大平均值
1	10.33	9.80
2	10.32	9.86
3	10.16	9.90
4	10.25	9.90
5	10.34	9.85
6	10.22	9.86
7	10.36	9.80
8	10.18	9.80
9	10.24	9.90
10	10.33	9.82
11	10.29	9.83
12	10.21	9.80

每月 EDI 产水流量、浓排量最大值和最小值所统计的数据进行分析, 计算出每月的最大产水回收率和最小产水

回收率, 均达到要求(见表 6)。

### 3.6 纯化水系统进水压力和产水压力

对纯化水系统的进水压力和产水压力历史数据进行了历史性分析, 结果均在控制范围内(见表 7)<sup>[29]</sup>。

### 3.7 纯化水制备过程中微生物限度的控制

纯化水微生物检测用于检测纯化水内细菌、霉菌、酵母菌<sup>[30]</sup>的数量。

#### 3.7.1 标准

根据中国药典 2010 版, 纯化水微生物限度标准每毫升 100 个, 而我公司控制标准为: 每毫升 50 个。

#### 3.7.2 微生物限度检测取样点以及取样频次

纯化水日常取样检测, 对总送、总回, 每 15 d 进行取样, 车间纯化水使用点一个月取样检测一次本公司有一个纯化水站, 分别供应 3 个车间使用, 分两次取样<sup>[31]</sup>, 将车间纯化水使用点全部取样完毕, 见表 8。

#### 3.7.3 纯化水微生物限度统计分析

2013 年我公司对纯化水制备过程中, 纯化水用水点进行取样检测, 对历史数据进行分析, 并考察其稳定性<sup>[32]</sup>。结果见表 9。

从数据上分析纯化水制备过程微生物限度符合要求。其中对微生物隐患点比较严重的地方进行整改以及重新设计, 从而达到要求。

表 6 EDI 电除盐装置每月产水分析表  
Table 6 Monthly water production analysis of EDI

月份	EDI 电除盐装置产水流量(L/h)		EDI 电除盐装置浓排流量(L/h)		EDI 电除盐装置产水回收率%	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
1	519.00	487.00	166500	14400	77.70	75.10
2	517.00	486.00	164.00	14300	77.70	75.30
3	515.00	487.00	163.00	14500	77.90	75.40
4	516.00	486.00	164.00	147.00	77.80	75.30
5	517.00	487.00	16600	14600	77.70	75.30
6	518.00	485.00	16500	14800	77.70	75.40
7	517.00	486.00	16600	147.00	77.90	75.10
8	518.00	486.00	165.00	145.00	77.90	75.40
9	516.00	485.00	164.00	146.00	77.90	76.0
10	516.00	485.00	165.00	146.00	77.80	75.80
11	517.00	486.00	164.00	147.00	77.90	75.90
12	514.00	487.00	165.00	148.00	77.70	75.70

表 7 纯化水系统进水压力和产水压力分析

Table 7 Analysis of in and out water pressure in the purified water system

月份	进水压力 MPa		产水压力 MPa	
	最大值	最小值	最大值	最小值
1	0.25	0.22	0.19	0.16
2	0.26	0.24	0.18	0.16
3	0.27	0.23	0.17	0.15
4	0.29	0.24	0.19	0.17
5	0.27	0.23	0.18	0.16
6	0.28	0.24	0.18	0.17
7	0.27	0.23	0.17	0.16
8	0.28	0.22	0.18	0.17
9	0.29	0.23	0.17	0.16
10	0.29	0.24	0.19	0.16
11	0.28	0.23	0.18	0.17
12	0.29	0.22	0.17	0.16

表 8 取样点和频次表

Table 8 Sampling points and frequency tables

序号	取样点	取样频次
1	总送 1	15 d/次
2	总送 2	15 d/次
3	总回 1	15 d/次
4	总回 2	15 d/次
5	清洗站	15 d/次
6	洁具间 1	15 d/次
7	包衣间	15 d/次
8	辅机房	15 d/次
9	器具清洗间	15 d/次
10	制粒间 1	15 d/次
11	制粒间 2	15 d/次
12	总混间	15 d/次

表 9 年度稳定性考察

Table 9 The stability of the annual inspection

使用点	月份											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
总送 1	2	3	2	3	4	3	4	5	3	0	0	2
总送 2	3	5	3	0	5	2	3	2	2	5	0	3
总回 1	2	3	3	2	4	6	5	3	2	4	0	6
总回 2	0	2	5	1	3	0	4	3	2	5	3	5
清洗站	6	0	0	6	4	1	4	3	3	5	2	4
洁具间 1	3	0	4	3	5	2	5	3	6	2	3	2
洁具间 2	4	3	3	5	5	3	3	4	2	3	3	3
包衣间	3	0	5	2	2	6	3	5	4	4	3	3
辅机房	0	2	6	3	3	5	3	5	3	4	4	3
器具清洗间	3	3	3	3	0	0	2	2	4	2	5	0
制粒间 1	2	4	4	6	1	0	3	3	5	3	2	2
制粒间 2	2	6	4	3	3	3	3	3	2	3	1	4
总混间	3	5	0	4	4	0	3	0	3	2	2	3

#### 4 结 论

随着纯化水在工业中广泛应用, 我公司对纯化水过程把关中需要对微生物以及检查方法频次以及部位进行严格控制, 过程中需要对 EDI 以及 RO 膜进行定期更换以及对活性炭的运用, 同时对最大浓排速度、最大产水率、余氯的控制、电导率的监控等方面作了系统的控制, 以及在生产运用中对过程参数的固化, 使过程控制更加稳定有效,

可达到安全使用标准。

#### 参考文献

- [1] 冯敏. 现代水处理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.  
Feng M. Modern water treatment technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [2] 杨永宽, 曾桂树. 聚丙烯纤维混凝土的机理及应用[J]. 广东建材, 2006, (8): 60-61.  
Yang YK, Zeng GS. The mechanism and application of polypropylene fi-

- ber concrete [J]. *Guangdong Build Mater*, 2006, (8): 60–61.
- [3] 聂志刚. 工业控制系统的现状[J]. *科技广场*, 2007, (5): 242–243.  
Nie ZG. Current situation of industrial control system [J]. *Sci Technol Square*, 2007, (5): 242–243.
- [4] 孙喜荣. 工业电导率仪检定中常遇到的几个问题及解决方法[J]. *计量技术*, 2002, (12): 39–40.  
Sun XR. Industrial conductivity meter verification several problems often encountered and solutions [J]. *Metrology*, 2002, (12): 39–40.
- [5] 牛培峰, 化克, 张泽. 自适应控制流化床锅炉主气压力系统 [J]. *动力工程学报*, 2007, 27(4): 533–536  
Niu PF, Hua K, Zhang Z. Adaptive control of the main air pressure system of fluidized bed boiler [J]. *J Power Eng*, 2007, 27(4): 533–536
- [6] GB 50457–2008 医药工业洁净厂房设计规范 [S].  
GB 50457–2008 Pharmaceutical industry clean workshop design specification [S].
- [7] 潘莉莎, 张德拉, 孙中亮, 等. Microsoft Excel 在化工原理恒压过滤实验教学中的应用[J]. *化工高等教育*, 2008, 2: 87–90.  
Pan LS, Zhang DL, Sun ZL, *et al.* Application of microsoft excel on chemical engineering experiment "measurement of constant pressure filtration parameter" [J]. *Higher Educ Chem Eng*, 2008, 2: 87–90.
- [8] 艾军, 张卫民. OPC 及其在水泥工厂中的应用[C]. *中国硅酸盐学会学术年会水泥基材料*, 2003: 59–61.  
Ai J, Zhang WM. OPC and its application in cement plant [C]. *Chinese Academy of Silicate Society Cement Base Material*, 2003: 59–61.
- [9] 姚志麒. 大气质量指数应用进展[J]. *国外医学:卫生学分册*, 1986, (1): 14–19.  
Yao ZQ. Application progress of air quality index [J]. *Foreign Med Sci (Section Hyg)*, 1986, (1): 14–19.
- [10] 周德庆. 微生物学教程[M].北京: 高等教育出版社, 1993.  
Zhou DQ. *Microbiology course* [M]. Beijing: Higher Education Press, 1993.
- [11] 许锋, 罗雄麟. 过程控制与工艺设计一体化研究进展[C]. *第九届全国化学工艺年会*. 2005.  
Xu F, Luo XL. Integration of process control and process design is reviewed [C]. *The 9th National Chemical Technology Conference*, 2005.
- [12] 童秋阶. 浅谈合成氨装置过程控制技术发展趋势[J]. *化工设计*, 2004, 10(4): 16–18.  
Tong QJ. Discussion on development trend of control technology for ammonia unit [J]. *Chem Eng Design*, 2004, 10(4): 16–18.
- [13] 张睿彬. PLC 在电厂化学水处理系统中的应用[J]. *河南广播电视大学学报*, 2007, 20(1): 55–56.  
Zhang RB. The application of PLC used on chemical water treatment system of power plant [J]. *Henan Radio TV Univ J*, 2007, 20(1): 55–56.
- [14] 石棣, 刘大明, 赵春宏, 等. 工艺用水系统管路在线紫外消毒的使用[J]. *甘肃科技纵横*, 2011, 40(4): 37–38.  
Shi D, Liu DM, Zhao CH, *et al.* The use of process water system piping online ultraviolet disinfection [J]. *Gansu Sci Technol*, 2011, 40(4): 37–38.
- [15] 张仲君. 多效蒸馏水机制备注射用水内毒素污染研究[J]. *现代商贸工业*, 2011, 23(11): 284–284  
Zhang ZJ. The study on the mechanism of multiple effect distilled water system for water for injection of endotoxin pollution [J]. *Mod BusTrade Ind*, 2011, 23(11): 284–284.
- [16] 杨宁波, 吕晓倩, 孙新蕊. 制药洁净厂房设备设施表面甲醛残留的测定[J]. *医药工程设计*, 2011, (4): 27–29.  
Yang NB, Lv XQ, Sun XR. The determination of residual formaldehyde on the surface of the equipment in the pharmaceutical clean workshop [J]. *Pharm Eng Design*, 2011, (4): 27–29.
- [17] 罗迪, 梁毅. EDI 替代 IE 用于制药纯化水制备的可行性分析[J]. *现代制造*, 2009, (32): 22–24.  
Luo D, Liang Y. Feasibility analysis of pharmaceutical preparation of purified water using EDI instead of IE [J]. *Mod Manuf*, 2009, (32): 22–24.
- [18] 刘红斌, 马军. EDI 技术制备药用纯水若干问题探讨[C]. *第四届全国医药行业膜分离技术应用研讨会论文集*, 2007.  
Liu HB, Ma J. The preparation of medicinal water problems discussed with EDI technology [A]. *The Fourth National Pharmaceutical Industry Membrane Separation Technology Application Seminar Papers Set*, 2007.
- [19] 冯庆, 黄浩. 制药用水储存及分配系统设计[J]. *医药工程设计*, 2010, 31(1): 16–25.  
Feng Q, Huang H. Design of deposit and distribution of pharmaceutical used water [J]. *Pharm Eng Design*, 2010, 31(1): 16–25.
- [20] 李纬. 反渗透系统在药用纯化水制备工艺过程的应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.  
Li W. Application of reverse osmosis system in the preparation of pharmaceutical purified water [D]. Tianjin: Tianjin University, 2006.
- [21] 龚承元, 刘红斌, 苏建勇, 等. 反渗透-电去离子技术制备药用纯水可行性分析[J]. *膜科学与技术*, 2004, 20(5): 55–59  
Gong CY, Liu HB, Su JY, Zhu MF. Evaluation of electrodeionization post-reverse osmosis process for production of pharmaceutical grade water [J]. *Membrane Sci Technol*, 2004, 20 (5): 55–59.
- [22] 王金平, 李红星, 王爱平. 制药用纯化水的制备与灭菌方法讨论[J]. *重庆中草药研究*, 2009, (2): 18–19.  
Wang JP, Li HX, Wang AP. Preparation and sterilization method of purified water [J]. *Chongqing Chin Herb Med Res*, 2009, (2): 18–19.
- [23] 王树民, 王立峰, 金磊. 制药企业水系统存在问题分析[J]. *现代制造*, 2011, (11): 9–11.  
Wang SM, Wang LF, Jin L. The problem of water system in pharmaceutical enterprise [J]. *Mod Manuf*, 2011, (11): 9–11.
- [24] 朱世斌. 解读新版 GMP 对制药用水系统的要求[J]. *现代制造*, 2012, (23): 1–9.  
Zhu SB. Interpretation of the new version of the GMP requirements for pharmaceutical water system [J]. *Mod Manuf*, 2012, (23): 1–9.
- [25] 吴坤林, 张荣, 王庆芬. 注射用水的储水罐及循环管路灭菌方法筛选[J]. *海峡药学*, 2012, 23(10): 28–29.  
Wu KLm Zhang Rm Qing FW. To screening of the antiseptic method for the pot used in storing injection water and the circulation pipeline [J]. *Strait Pharm J*, 2012, 23(10): 28–29.
- [26] 郭增田. 制药用水系统的工程设计开发与实践[D]. 天津: 天津大学, 2007.  
Guo ZT. Engineering design and development and practice of pharmaceutical water system [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [27] 秦晓君. 纯化水制备工艺的研究与验证[D]. 天津: 天津大学, 2003.  
Qin XJ. Preparation process and validation of purification of water [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [28] 赵海英, 陈宝福. 制药企业工艺用水系统制备流程及其构成[J]. *黑龙江*

- 江科技信息, 2009, (4): 169.
- Zhao HY, Chen BF. Process water system for pharmaceutical enterprise process and its composition [J]. Heilongjiang Sci Technol Inf, 2009, (4): 169.
- [29] 朱世斌, 方根满. PEM 低压电解臭氧技术的优势及在制药工艺用水中的应用[J]. 现代制造, 2012, (5): 8-14.
- Zhu SB, Fang GM. The advantages of PEM low voltage electrolytic ozone technology and its application in pharmaceutical process water [J]. Mod Manuf, 2012, (5): 8-14.
- [30] 李大鹏, 徐乐中. 预氯化对粉末活性炭除嗅的影响[J]. 苏州科技学院学报:工程技术版, 2006, 19(4): 39-42.
- Li DP, Xu LZ. The effect of prechlorination on powdered activated carbon for removing odor [J]. J Suzhou Univ Sci Technol: Eng Technol Ed, 2006, 19(4): 39-42.
- [31] 孙丽娜. 活性炭对水中微量有机物的净化效能与处理工艺中试研究 [D]. 天津: 天津大学, 2004.
- Sun LN. Active carbon on the purification of trace organic compounds in water and the treatment process of pilot study [D]. Tianjin: Tianjin University, 2004.

(责任编辑: 白洪健)

### 作者简介



冯 波, 主要研究方向为保健品分析检测。

E-mail: 2665327488qq.com