

中华人民共和国化工行业标准



HG/T 20552—2016

代替 HG/T 20552—1994

---

# 化工企业化学水处理设计计算标准

Calculation standard for design of chemical  
water treatment in chemical plant

2016-01-15 发布

2016-07-01 实施

---

中华人民共和国工业和信息化部 发布

中华人民共和国化工行业标准

# 化工企业化学水处理设计计算标准

**Calculation standard for design of chemical  
water treatment in chemical plant**

HG/T 20552—2016

主编单位：中石化南京工程有限公司

中石化宁波工程有限公司

批准部门：中华人民共和国工业和信息化部

实施日期：2016 年 7 月 1 日

# 中华人民共和国工业和信息化部

# 公 告

2016 年 第 3 号

工业和信息化部批准《往复真空泵》等 643 项行业标准(标准编号、名称、主要内容及起始实施日期见附件),其中机械行业标准 214 项、汽车行业标准 7 项、航空行业标准 1 项、轻工行业标准 59 项、化工行业标准 110 项、冶金行业标准 21 项、建材行业标准 6 项、石化行业标准 20 项、民爆行业标准 6 项、电子行业标准 132 项、通信行业标准 67 项,现予以公告。

附件:8 项化工行业工程建设标准编号、标准名称和起始实施日期

中华人民共和国工业和信息化部

二〇一六年一月十五日

附件：

8 项化工行业工程建设标准编号、标准名称和起始实施日期

序号	标准编号	标准名称	被代替标准编号	起始实施日期
324	HG/T 22808—2016	化工矿山选矿厂工艺设计规范	HG/T 22808—1997	2016-07-01
325	HG/T 22803—2016	化工矿山工程设计三(二)级矿量原则规范	HG 22803—1993	2016-07-01
326	HG/T 22805.1—2016	化工矿山企业施工图设计内容和深度的规范—地质·采矿专业	HG 22805.1—1993	2016-07-01
327	HG/T 22805.2—2016	化工矿山企业施工图设计内容和深度的规范—选矿专业	HG 22805.2—1993	2016-07-01
328	HG/T 20552—2016	化工企业化学水处理设计计算标准	HG/T 20552—1994	2016-07-01
329	HG/T 20256—2016	化工高压管道通用技术规范		2016-07-01
330	HG/T 20655—2016	化工企业供热装置及汽轮机组热工监测与控制设计条件技术规范	HG/T 20655—1998	2016-07-01
331	HG/T 20538—2016	衬塑钢管和管件选用系列	HG 20538—1992 HG/T 21562—1994	2016-07-01

## 前 言

本标准根据工业和信息化部(工信厅科〔2011〕134号文)和中国石油和化学工业联合会(中石化联质发〔2011〕300号文)的要求,由中国石油和化工勘察设计协会委托全国化工热工设计技术中心站组织中石化南京工程有限公司和中石化宁波工程有限公司等单位编制。

本标准自实施之日起代替 HG/T 20552—1994《化工企业化学水处理设计计算规定》。

本标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,依据新的法律法规及相关标准规范,并在广泛征求意见的基础上,修订了本标准。

本标准的主要技术内容是:总则、术语、原水水质校核计算、水处理装置出力及其水质计算、离子交换工艺计算、除气器工艺计算、膜法除盐工艺计算、过滤设备工艺计算、石灰预处理设计计算、储存和计量设备计算、给水加药和锅内加药计算共 11 章,以及附录和条文说明。

本标准与 HG/T 20552—1994 相比,主要变化如下:

- (1)将《化工企业化学水处理设计计算规定》更名为《化工企业化学水处理设计计算标准》;
- (2)增加术语一章;
- (3)修订了原引用标准的名称,取消了引用标准的年号;
- (4)增加了超滤、反渗透、电除盐等新处理工艺的计算;
- (5)根据水处理运行现状,修改了部分计算取值。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出并归口。

本标准的技术内容由中石化南京工程有限公司和中石化宁波工程有限公司负责解释。本标准在执行过程中如有意见或建议,请寄送中石化南京工程有限公司(江苏省南京市江宁区科建路 1189 号,邮编:211100;电话:025—85561051)或中石化宁波工程有限公司(浙江省宁波市国家高新技术园区院士路 660 号,邮编:315103;电话:0574—87974629)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

**主 编 单 位:** 中石化南京工程有限公司(第 1 章至第 5 章、第 8 章)

中石化宁波工程有限公司(第 6 章、第 7 章、第 9 章至第 11 章)

**参 编 单 位:** 全国化工热工设计技术中心站

陶氏化学(中国)投资有限公司

中海油山东化学工程有限责任公司

山东齐鲁石化工程有限公司

中石化洛阳石油化工工程公司

浙江省天正设计工程有限公司

武汉都市环保工程技术股份有限公司

中央军委装备发展部工程设计研究总院

中国船舶重工集团公司第七〇三研究所无锡分部

中国轻工业长沙工程有限公司  
上海电力学院

参 加 单 位：常熟市华能水处理设备有限责任公司

主要起草人：陶 波 牟显民 孙志文 俞向东 张 萍 严和钦 韦昌健 廖卓丹  
许 颖 于益民 汪 红 江英姿 董春宏 钱 佳 陈灵超 张大全  
叶养忠 陈 佳

主要审查人：司克强 杨贵盛 孙振安 狄炳琪 张兴春 谭文胜 张 磊 汪承志  
宫 正 刘炎伟 彭国祥

目 次

1 总则 ..... ( 1 )

2 术语 ..... ( 2 )

3 原水水质校核计算 ..... ( 4 )

3.1 水质资料要求 ..... ( 4 )

3.2 水质分析项目校核计算 ..... ( 4 )

4 水处理装置出力及其水质计算 ..... ( 7 )

4.1 计算一般规定 ..... ( 7 )

4.2 装置出力确定 ..... ( 7 )

4.3 锅炉排污率确定 ..... ( 9 )

4.4 锅炉补给水质量指标及计算 ..... ( 9 )

4.5 出水水质主要指标 ..... (10)

4.6 锅炉相对碱度计算 ..... (15)

5 离子交换工艺计算 ..... (17)

5.1 计算一般规定 ..... (17)

5.2 离子交换器直径和台数选择计算 ..... (17)

5.3 混床工艺计算 ..... (18)

5.4 单床离子交换器工艺计算 ..... (21)

5.5 双室床离子交换器工艺计算 ..... (31)

5.6 离子交换器运行流速和再生次数校核计算 ..... (33)

5.7 离子交换器酸碱废水排放量及浓度计算 ..... (34)

5.8 离子交换器压降估算 ..... (37)

6 除气器工艺计算..... (38)

6.1 除气器横截面积和直径计算 ..... (38)

6.2 除气器填料表面积计算 ..... (38)

6.3 除气器填料高度计算 ..... (40)

6.4 鼓风机选择计算 ..... (41)

6.5 真空除气器计算 ..... (42)

7 膜法除盐工艺计算 ..... (45)

7.1 计算一般规定 ..... (45)

7.2 电渗析器除盐工艺计算 ..... (45)

7.3 反渗透除盐工艺计算 ..... (49)

7.4 电除盐(EDI)工艺计算 ..... (56)

8 过滤设备工艺计算 ..... (59)

8.1 计算一般规定 ..... (59)

8.2	压力式机械过滤器工艺计算 .....	(59)
8.3	超滤设备工艺计算 .....	(62)
9	石灰预处理设计计算 .....	(67)
9.1	石灰软化处理 .....	(67)
9.2	石灰凝聚镁剂除硅处理 .....	(68)
9.3	添加其他药剂石灰处理 .....	(70)
10	储存和计量设备计算 .....	(73)
10.1	储存设备容量计算 .....	(73)
10.2	再生剂计量箱容量计算 .....	(74)
10.3	常用水箱容量选择 .....	(74)
11	给水加药和锅内加药计算 .....	(76)
11.1	给水(补给水)加药处理计算 .....	(76)
11.2	锅内加磷酸三钠补充性处理计算 .....	(77)
附录 A	水质全分析报告样表 .....	(78)
附录 B	常用物质的基本单元及其摩尔质量 .....	(79)
附录 C	顺流再生离子交换器设计参考数据 .....	(82)
附录 D	对流再生离子交换器(固定床)设计参考数据 .....	(83)
附录 E	对流再生离子交换器(单室浮动床)设计参考数据 .....	(84)
附录 F	对流再生离子交换器(双室床)设计参考数据 .....	(85)
附录 G	硫酸溶液的密度 .....	(86)
附录 H	盐酸溶液的密度 .....	(90)
附录 J	氢氧化钠溶液的密度 .....	(91)
附录 K	氯化钠溶液的密度 .....	(93)
附录 L	机械过滤器设计参考数据 .....	(94)
附录 M	石灰乳的密度 .....	(95)
附录 N	常用盐溶液的密度 .....	(96)
附录 P	氨水的密度 .....	(97)
本标准用词说明 .....		(99)
引用标准名录 .....		(100)
附:条文说明 .....		(101)



## Contents

1	General provisions .....	( 1 )
2	Terms .....	( 2 )
3	Check calculation of raw water analysis data .....	( 4 )
3.1	Requirements of water quality reports .....	( 4 )
3.2	Check calculation of water quality analysis data .....	( 4 )
4	Productivity and water quality calculation of water treatment unit .....	( 7 )
4.1	General requirements of calculation .....	( 7 )
4.2	Productivity of unit .....	( 7 )
4.3	Blow-down rate of boiler .....	( 9 )
4.4	Quality requirements and calculation of boiler makeup water .....	( 9 )
4.5	Main quality requirements of the product water .....	(10)
4.6	Calculation of relative alkalinity of boiler water .....	(15)
5	Process calculation of ion exchange .....	(17)
5.1	General requirements of calculation .....	(17)
5.2	Diameter and number calculation of ion exchanger .....	(17)
5.3	Process calculation of mixed bed .....	(18)
5.4	Process calculation of single bed ion exchanger .....	(21)
5.5	Process calculation of double decker ion exchanger .....	(31)
5.6	Check calculation of operation velocity and regenerate times of ion exchanger .....	(33)
5.7	Amount and concentration calculation of ion exchanger discharging acid and alkaline wastewater .....	(34)
5.8	Pressure drop estimation of ion exchanger .....	(37)
6	Process calculation of deaerator .....	(38)
6.1	Cross-sectional area and diameter calculation of deaerator .....	(38)
6.2	Packing surface area calculation of deaerator .....	(38)
6.3	Packing height calculation of deaerator .....	(40)
6.4	Calculation of blower .....	(41)
6.5	Calculation of vacuum deaerator .....	(42)
7	Process calculation of membrane desalination .....	(45)
7.1	General requirements of calculation .....	(45)
7.2	Process calculation of electrodialysis desalination .....	(45)
7.3	Process calculation of reverse osmosis desalination .....	(49)
7.4	Process calculation of Electrodeionization(EDI) desalination .....	(56)
8	Process calculation of filtration equipment .....	(59)
8.1	General requirements of calculation .....	(59)

8.2	Process calculation of machine filter .....	(59)
8.3	Process calculation of ultrafiltration .....	(62)
9	Design calculation of lime pretreatment .....	(67)
9.1	Lime softening treatment .....	(67)
9.2	Lime treatment with condensed magnesium silicon removal .....	(68)
9.3	Lime treatment with other chemicals .....	(70)
10	Calculation of store and measure equipment .....	(73)
10.1	Capacity calculation of storage equipment .....	(73)
10.2	Capacity calculation of regeneration measure vessel .....	(74)
10.3	Capacity selection of all kinds of water tank .....	(74)
11	Chemicals dosing calculation of feedwater and boiler water .....	(76)
11.1	Chemicals dosing calculation of feedwater(makeup water) .....	(76)
11.2	Chemicals dosing calculation of trisodium phosphate to boiler .....	(77)
Appendix A	Water quality total analysis report template table .....	(78)
Appendix B	Basic unit and molar mass of substance in normal use .....	(79)
Appendix C	Design parameters of co-flow regeneration ion exchanger .....	(82)
Appendix D	Design parameters of reverse flow regeneration ion exchanger (static bed) .....	(83)
Appendix E	Design parameters of reverse flow ion exchanger (single decker floating bed) ...	(84)
Appendix F	Design parameters of reverse flow ion exchanger(double decker bed) .....	(85)
Appendix G	Density of sulfuric acid solution .....	(86)
Appendix H	Density of hydrochloric acid solution .....	(90)
Appendix J	Density of sodium hydroxide solution .....	(91)
Appendix K	Density of sodium chloride solution .....	(93)
Appendix L	Machine filter design parameters .....	(94)
Appendix M	Density of lime solution .....	(95)
Appendix N	Density of several salt solution .....	(96)
Appendix P	Density of ammonia .....	(97)
	Explanation of wording in this standard .....	(99)
	Normative standards .....	(100)
	Addition;Explanation of the provisions .....	(101)

# 1 总 则

**1.0.1** 为了统一化工企业化学水处理的计算方法,保证水处理装置的设计质量,使其安全可靠,经济合理,且具有一定的技术先进性,特制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于蒸汽压力不大于 12.6 MPa 的化工企业自备电站及化工生产装置配套的新建、扩建和改建软化水或除盐水系统的工艺设计计算。

**1.0.3** 本标准对化学水处理工艺设计中涉及的一般计算项目、公式、方法和应依据的资料做出了原则性规定。在进行水处理装置工艺设计计算时,还应考虑技术可靠、经济合理、节能降耗和保护环境。

**1.0.4** 进行化工企业化学水处理设计计算时,除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 溶解固形物 dissolved matter

水中溶解物质(盐类、酸、碱)的总含量。

### 2.0.2 溶解性总固体 total dissolved solids(TDS)

经过过滤的水样,在规定条件下蒸干水分后留下的物质(即水中的溶盐、有机物和胶体物质的总量)。

### 2.0.3 淤泥密度指数 silt density index(SDI)

由堵塞  $0.45\ \mu\text{m}$  微孔滤膜的速率所计算得出的、表征水中细微悬浮固体物含量的指数。

### 2.0.4 出力(产水量) productivity

在规定的运行条件下,装置或单元在单位时间内所生产的产品水量,包括自用产品水。

### 2.0.5 自用水率 consumption rate of self-using water

装置或单元的自用水量与外供产水量的百分比。

### 2.0.6 工作交换容量 working exchange capacity

离子交换剂在动态工作状态下的交换容量。

### 2.0.7 再生剂耗量 regeneration level

用于再生交换剂所消耗的再生剂的用量。

### 2.0.8 截污能力 filter mass capacity

单位滤料在工作周期内所拦截杂质的总量。

### 2.0.9 水回收率 water recovery rate

装置或单元产水量与进水量的百分比。

### 2.0.10 水净回收率 water net recovery rate

装置或单元扣除自用水后的产水量与进水量的百分比。

### 2.0.11 膜通量 flux

单位时间内单位膜面积透过组分的量。

### 2.0.12 透膜压差 trans-membrane pressure(TMP)

超滤产水侧压力和原水进出口压力平均值的差值。

### 2.0.13 渗透压 osmotic pressure

渗透现象到达平衡时,半透膜两侧溶液(半透膜的一侧为纯溶剂,一侧为溶液)产生的位能差。

### 2.0.14 脱除率/截留率 rejection/retention rate

表示脱除特定组分的能力。

### 2.0.15 极限电流密度 limiting current density

电渗析发生极化时的临界电流密度。

**2.0.16 流程长度 flow path length**

水流在电渗析器隔板中所流经的路程。

**2.0.17 段 stage**

膜装置流程中膜组件的配置方法,规定给水(含浓水)每流经一组膜组件为一段。

**2.0.18 级 pass**

给水(或产水)每流经由增压泵和膜组件等组成的一个系统为一级。

### 3 原水水质校核计算

#### 3.1 水质资料要求

3.1.1 设计前应根据原水(或预处理后的水)的历年水质资料及其年变化情况,选择有代表性的偏恶劣水质全分析资料作为设计依据,所需资料宜符合下列规定:

- 1 地表水、再生水为全年逐月资料,共 12 份;
- 2 地下水或海水为全年每季资料,共 4 份;
- 3 水质全分析资料的内容(项目)宜符合本标准附录 A 的要求。

3.1.2 对于地表水,应了解历年丰水期和枯水期的水质变化规律及可能被污染的情况,取得相应的水质全分析资料;对受海水倒灌或农田排灌影响的水源,还应掌握因此而引起的水质变化情况;对石灰岩地区的地下水,还应了解其水质的稳定性;对海水还应了解海水取水方式及周边环境变化情况。

#### 3.2 水质分析项目校核计算

3.2.1 原水的校核计算应符合下列规定:

- 1 阴、阳离子体积摩尔浓度总和的校核应按式(3.2.1-1)至式(3.2.1-3)计算:

$$\sum C = \frac{[K^+]}{39.10} + \frac{[Na^+]}{22.99} + \frac{[Ca^{2+}]}{20.04} + \frac{[Mg^{2+}]}{12.15} + \frac{[NH_4^+]}{18.04} + \dots\dots\dots (3.2.1-1)$$
$$\frac{[Fe^{2+}]}{27.92} + \frac{[Fe^{3+}]}{18.62} + \frac{[Al^{3+}]}{8.99} + \frac{[Mn^{2+}]}{27.47} + \dots\dots$$

$$\sum A = \frac{[Cl^-]}{35.45} + \frac{[SO_4^{2-}]}{48.03} + \frac{[HCO_3^-]}{61.02} + \frac{[CO_3^{2-}]}{30.01} + \frac{[NO_3^-]}{62.01} + \dots\dots\dots (3.2.1-2)$$

$$\delta = \frac{\sum C - \sum A}{0.5 \times (\sum C + \sum A)} \times 100 \dots\dots\dots (3.2.1-3)$$

式中:

$\sum C$ ——原水中各种阳离子基本单元的体积摩尔浓度之和(mmol/L);

$\sum A$ ——原水中各种阴离子基本单元的体积摩尔浓度之和(mmol/L);

$[K^+]$ 、 $[Na^+]$ 、 $[Cl^-]$ 、 $[SO_4^{2-}]$ ……——原水中各离子浓度(mg/L);

39.10、22.99、35.45、48.03……——相应离子基本单元的摩尔质量(mg/mmol),可按本标准附录 B 查取;

$\delta$ ——分析误差(%),允许范围为  $|\delta| \leq 4$ 。

按式(3.2.1-1)和式(3.2.1-2)分别求得的阴、阳离子体积摩尔浓度之和应按(3.2.1-3)进行校核。

- 2 溶解固形物的校核应按式(3.2.1-4)、式(3.2.1-5)计算:

$$R'_G = R_G - [\text{SiO}_2] + \frac{1}{2}[\text{HCO}_3^-] \dots\dots\dots (3.2.1-4)$$

$$\delta = \frac{R'_G - (\sum C' + \sum A')}{(\sum C' + \sum A')} \times 100 \dots\dots\dots (3.2.1-5)$$

式中：

$R'_G$ ——校正后的原水中溶解固形物的含量(mg/L)；

$R_G$ ——原水中溶解固形物的测量值(mg/L)；

$[\text{SiO}_2]$ ——过滤水样中总硅含量(mg/L)；

$[\text{HCO}_3^-]$ ——原水中  $\text{HCO}_3^-$  的浓度(mg/L)；

$\sum C'$ ——原水中各阳离子浓度总和(mg/L)；

$\sum A'$ ——除  $\text{SiO}_2$  外原水中各阴离子浓度总和(mg/L)；

$\delta$ ——分析误差(%),对于含盐量小于 100 mg/L 的水样,允许范围为  $|\delta| \leq 10$ ,对于含盐量大于或等于 100 mg/L 的水样,允许范围  $|\delta| \leq 5$ 。

由于大部分天然水中,水溶性有机物的含量都很小,计算时可忽略不计。

按式(3.2.1-4)求得的校正后的溶解固形物含量应按式(3.2.1-5)进行校核。

3 pH 的校核应按式(3.2.1-6)、式(3.2.1-7)计算：

$$\text{pH}' = 6.37 + \lg[\text{HCO}_3^-] - \lg[\text{CO}_2] \dots\dots\dots (3.2.1-6)$$

$$\delta = \text{pH} - \text{pH}' \dots\dots\dots (3.2.1-7)$$

式中：

$\text{pH}'$ ——原水中 pH 的计算值；

pH——原水中 pH 的实测值；

$[\text{HCO}_3^-]$ ——原水中  $\text{HCO}_3^-$  基本单元的摩尔浓度(mmol/L)；

$[\text{CO}_2]$ ——原水中  $\text{CO}_2$  基本单元的实测值(mmol/L)；

$\delta$ ——分析误差,允许范围为  $|\delta| \leq 0.2$ 。

注：此公式仅适用于 25℃、pH<8.3 的原水，pH≥8.3 的原水应考虑碳酸的二级平衡。

3.2.2 在制备软化水设计时,原水的校核计算可按以下规定进行：

1 总硬度的校核可按式(3.2.2-1)、式(3.2.2-2)进行：

$$H' = \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{20.04} + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12.15} \dots\dots\dots (3.2.2-1)$$

$$\delta = \frac{H - H'}{0.5 \times (H + H')} \times 100 \dots\dots\dots (3.2.2-2)$$

式中：

$H'$ ——原水中总硬度的计算值(mmol/L)；

$[\text{Ca}^{2+}]$ 、 $[\text{Mg}^{2+}]$ ——原水中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的浓度(mg/L)；

20.04、12.15——钙离子、镁离子基本单元的摩尔质量(mg/mmol)；

$H$ ——原水中总硬度的实测值(mmol/L)；

$\delta$ ——分析误差(%),允许范围为  $|\delta| \leq 10$ 。

2 碱度的校核可按式(3.2.2-3)、式(3.2.2-4)进行:

1) 酚酞碱度的校核:

$$A'_1 = \frac{1}{2} \times \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{30.01} + \frac{[\text{OH}^-]}{17.01} \dots\dots\dots (3.2.2-3)$$

$$\delta = \frac{A_1 - A'_1}{0.5 \times (A_1 + A'_1)} \times 100 \dots\dots\dots (3.2.2-4)$$

式中:

$A'_1$ ——原水酚酞碱度计算值(mmol/L);

$[\text{CO}_3^{2-}]$ 、 $[\text{OH}^-]$ ——原水中  $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{OH}^-$  的浓度(mg/L);

30.01、17.01 ——碳酸根离子、氢氧根离子基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

$A_1$ ——原水酚酞碱度实测值(mmol/L);

$\delta$  ——分析误差(%),允许范围为  $|\delta| \leq 4$ 。

2) 甲基橙碱度的校核可按下式进行:

$$A' = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{61.02} \times \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{30.01} + \frac{[\text{OH}^-]}{17.01} \dots\dots\dots (3.2.2-5)$$

$$\delta = \frac{A - A'}{0.5 \times (A + A')} \times 100 \dots\dots\dots (3.2.2-6)$$

式中:

$A'$ ——原水甲基橙碱度(即总碱度)的计算值(mmol/L);

$A$ ——原水甲基橙碱度(即总碱度)的实测值(mmol/L);

$[\text{HCO}_3^-]$ 、 $[\text{CO}_3^{2-}]$ 、 $[\text{OH}^-]$ ——原水中  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{OH}^-$  的浓度(mg/L);

61.02、30.01、17.01——碳酸氢根离子、碳酸根离子及氢氧根离子基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

$\delta$ ——分析误差(%),允许范围为  $|\delta| \leq 4$ 。

3 阴阳离子体积摩尔浓度总和校核方法应符合本标准 3.2.1 条中第 1 款的规定,但允许范围为  $|\delta| \leq 10\%$ 。

4 pH 的校核方法应符合本标准 3.2.1 条中第 3 款的规定。



## 4 水处理装置出力及其水质计算

### 4.1 计算一般规定

**4.1.1** 水处理装置出力计算应同时考虑全厂化水的小时平均用量和小时最大用量。其中全厂最大时用水量作为对设备选型进行校核的主要依据,平均时用水量作为水处理装置技术经济分析的主要依据。

**4.1.2** 水处理装置出力计算应考虑装置自身用水量。装置中各设备的出力计算应同时考虑下一级设备的进水量要求及相关设备清洗、再生消耗水量的需求。各级设备出力计算应从系统最后一级设备采用倒推法依次往前计算。

**4.1.3** 水处理装置出水水质应满足锅炉补给水及工艺用水水质的要求。

### 4.2 装置出力确定

**4.2.1** 水处理装置出力可按式(4.2.1-1)、式(4.2.1-2)计算:

$$Q = Q_1 + Q_2 \dots\dots\dots (4.2.1-1)$$

$$Q_{\max} = Q_{1\max} + Q_{2\max} + Q_3 \dots\dots\dots (4.2.1-2)$$

式中:

$Q$ ——水处理装置正常出力( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_1$ ——各用户正常需要补给水量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_2$ ——水处理装置正常产水自用量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_{\max}$ ——水处理装置最大出力( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_{1\max}$ ——在同一用水时段内,用户最大需要补给水量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_{2\max}$ ——水处理装置最大产水自用量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_3$ ——各用户在特殊工况下额外补给水额外需要量( $\text{m}^3/\text{h}$ )。

**4.2.2** 水处理装置总进水量可按式(4.2.2-1)计算:

$$Q_j = Q_c \times K \dots\dots\dots (4.2.2-1)$$

式中:

$Q_j$ ——水处理装置总进水量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_c$ ——水处理装置总产水量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$K$ ——水处理装置总自用水系数。

水处理装置总自用水系数  $K$  由系统中各级水处理设备的自用水率  $\eta_i$  确定,应按式(4.2.2-2)、式(4.2.2-3)计算:

$$\eta_i = \frac{Q_{zy}}{Q_c} \times 100 \dots\dots\dots (4.2.2-2)$$

$$K_i = 1 + \frac{\eta_i}{100} \dots\dots\dots (4.2.2-3)$$

式中：

- $\eta_i$ ——各级设备自用水率(%)；
- $Q_c$ ——各级设备产水量( $m^3/h$ )；
- $Q_{zy}$ ——各级设备自用水量( $m^3/h$ )；
- $K_i$ ——各级设备自用水系数。

传统机械过滤+离子交换水处理装置的总自用水系数  $K$  可认为是各级设备自用水系数  $K_i$  的连乘积。

膜法处理系统的总自用水系数  $K$  则根据膜侧浓水的回收利用方式而有较大差别,应根据具体工程分析确定。

#### 4.2.3 水处理装置各设备自用水率可按下列规定选取：

1 对于机械过滤设备,普通滤料机械过滤器自用水率宜为:当原水悬浮物含量小于或等于 10 mg/L 时,单流取 3%~6%,双流取 2%~4%;当原水悬浮物含量大于 10 mg/L 且小于或等于 20 mg/L 时,单流取 6%~12%,双流取 4%~8%。无烟煤滤料宜取低值,石英砂滤料宜取高值。

纤维束过滤器自用水率可取 2%~3%。

叠片式及滤网式过滤器自用水率可取 1%。

2 对于离子交换设备,一级离子交换器自用水率可由离子交换器工艺计算得出,也可按式(4.2.3-1)估算或按表 4.2.3-1 选取。混床自用水率可取 0.3%~1%,其中小型水处理系统宜取高值,对于大型水处理系统宜取低值。

$$\eta_i = \frac{E}{E_j} \times a \times b \times C \dots\dots\dots (4.2.3-1)$$

式中：

- $\eta_i$ ——每级离子交换器自用水率(%)；
- $E$ ——树脂标准工作交换容量( $mmol/L$  树脂);001×7 型树脂取 900,201×7 型树脂取 250,001×7-MB 型树脂取 500,201×7-MB 型树脂取 250;
- $E_j$ ——树脂实际工作交换容量( $mmol/L$  树脂);可按本标准附录 C、D、E、F 的规定取值;
- $a$ 、 $b$ ——自用水率系数,可按表 4.2.3-2 或表 4.2.3-3 的规定选取;
- $C$ ——进入交换器的水中总阴(或阳)离子或硬度含量( $mmol/L$ )。

表 4.2.3-1 各种型式离子交换器自用水率经验数据

进水中总阳(或总阴)离子含量 mmol/L	$\leq 2$			2~4			4~7		
交换器型式	SS	SN	NS	SS	SN	NS	SS	SN	NS
自用除盐率 %	2	2	1~2	4~5	4~5	3~4	7~8	7~8	4~5
自用进口水率 %	7~10	5~6	2~4	16~18	10~13	6~8	26~30	16~20	10~12

注：SS——顺流再生固定床；  
SN——无顶压对流再生固定床；  
NS——浮动床。

表 4.2.3-2 一级除盐系统自用水率系数

交换器型式	自用除盐水率系数/%				自用进口水率系数/%			
	阳床		阴床		阳床		阴床	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
顺流再生固定床	0.56	0.86	1.29	0.89	2.19	0.65	6.40	0.80
无顶压对流再生固定床	0.61	0.77	0.88	0.99	1.54	0.56	2.77	0.96
浮动床	0.30	0.94	0.70	0.98	0.57	0.87	2.16	0.93

表 4.2.3-3 单级钠离子软化系统自用水率系数

交换器型式	自用除盐水率系数/%		自用进口水率系数/%	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
顺流再生固定床	0.15	1.00	1.16	0.85
无顶压对流再生固定床	0.27	0.91	0.92	0.84

3 膜处理设备的自用水率可按下列规定确定：

膜处理设备的自用水率可按式(4.2.3-2)计算：

$$\eta_i = \left( \frac{100}{Y_i} - 1 \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (4.2.3-2)$$

式中：

$\eta_i$ ——各级膜处理设备自用水率(%)；

$Y_i$ ——各级膜设备净回收率(%)。

正常情况下,超滤净回收率可取 85%~95%;一级反渗透净回收率可取 70%~80%,二级反渗透净回收率可取 85%~90%;EDI 净回收率可取 90%~95%。

电渗析自用水率:当电渗析浓水直接排放时,通常其净回收率可取 45%~55%;当电渗析采用浓水循环时,通常其净回收率可取 70%~80%。

### 4.3 锅炉排污率确定

4.3.1 锅炉连续排污率宜符合下列规定的数值：

- 1 以化学软化水为补给水的压力不超过 2.5 MPa 的供热锅炉为 10%；
- 2 以化学软化水为补给水的压力大于 2.5 MPa 的供热锅炉为 5%；
- 3 以化学除盐水为补给水的供热式电厂锅炉为 2%；
- 4 以化学除盐水为补给水的凝汽式电厂锅炉为 1%。

### 4.4 锅炉补给水质量指标及计算

4.4.1 额定工作压力不小于 3.8 MPa 的锅炉用补给水中允许含硅量可按式(4.4.1)计算：

$$S_B = \frac{\alpha_P \times S_G + S_Q}{1 + \alpha_P} \dots\dots\dots (4.4.1)$$

式中：

$S_B$ ——补给水中允许  $\text{SiO}_2$  含量(mg/L)；

$S_G$ ——炉水中允许  $\text{SiO}_2$  含量(mg/L)，应符合标准 GB/T 12145 的规定，或采用锅炉制造厂规定的数值；

$\alpha_P$ ——锅炉连续排污率，以小数计；

$S_Q$ ——蒸汽中允许  $\text{SiO}_2$  含量(mg/L)，应符合标准 GB/T 12145 的规定，或采用锅炉制造厂规定的数值。

**4.4.2** 额定工作压力小于 3.8 MPa 锅炉用软化水作为补给水时允许溶解固形物含量或碱度可按式(4.4.2)计算：

$$\alpha_Y = \frac{(\alpha_P + \beta) \times A}{1 + \alpha_P} \dots\dots\dots (4.4.2)$$

式中：

$\alpha_Y$ ——补给水中允许溶解固形物含量(mg/L)或碱度(mmol/L)；

$A$ ——炉水中允许溶解固形物含量(mg/L)或碱度(mmol/L)，应符合 GB/T 1576 规定，或采用制造厂规定的数值；

$\beta$ ——汽包出口蒸汽含湿率(以小数计)，采用锅炉制造厂规定的数值；

其余符号意义同前。

## 4.5 出水水质主要指标

**4.5.1** 原水经凝聚过滤处理后的水质变化应符合下列规定：

**1** 碳酸盐硬度降低值可按式(4.5.1-1)计算：

$$H_z = \frac{D}{m} \dots\dots\dots (4.5.1-1)$$

式中：

$H_z$ ——碳酸盐硬度降低值(mmol/L)；

$D$ ——100%凝聚剂加入量(mg/L)；

$m$ ——100%凝聚剂基本单元的摩尔质量(mg/mmol)；

絮凝剂中的  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $\text{FeSO}_4$ 、 $\text{FeCl}_3$  基本单元的摩尔质量可按本标准附录 B 查取。

**2** 游离  $\text{CO}_2$  增加值可按式(4.5.1-2)计算：

$$\Delta C_{\text{CO}_2} = \frac{D \times 22 \times 2}{m} \dots\dots\dots (4.5.1-2)$$

式中：

$\Delta C_{\text{CO}_2}$ ——游离  $\text{CO}_2$  增加值(mg/L)；

22——二氧化碳基本单元的摩尔质量(mg/mmol)；

2——1 个摩尔浓度凝聚剂生成 2 个摩尔浓度  $\text{CO}_2$ ；

其余符号意义同前。

3  $[\text{Cl}^-]$  的增加值可按式(4.5.1-3)计算:

$$\Delta C_{\text{Cl}} = \frac{D \times 35.45}{m} \dots\dots\dots (4.5.1-3)$$

式中:

$\Delta C_{\text{Cl}}$  ——氯离子增加值(mg/L);

35.45——氯离子基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

其余符号意义同前。

4  $[\text{SO}_4^{2-}]$  的增加值可按式(4.5.1-4)计算:

$$\Delta C_{\text{SO}_4^{2-}} = \frac{D \times 48}{m} \dots\dots\dots (4.5.1-4)$$

式中:

$\Delta C_{\text{SO}_4^{2-}}$  ——硫酸根离子增加值(mg/L);

48——硫酸根离子基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

其余符号意义同前。

5  $[\text{CO}_3^{2-}]$  的减少值可按式(4.5.1-5)计算:

$$\Delta C_{\text{CO}_3^{2-}} = \frac{D \times 30}{m} \dots\dots\dots (4.5.1-5)$$

式中:

$\Delta C_{\text{CO}_3^{2-}}$  ——碳酸根离子减少值(mg/L);

30——碳酸根离子基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

其余符号意义同前。

6 蒸发残渣增加值可按式(4.5.1-6)计算:

$$S = \Delta C_{\text{Cl}} + \Delta C_{\text{SO}_4^{2-}} - \Delta C_{\text{CO}_3^{2-}} \dots\dots\dots (4.5.1-6)$$

式中:

$S$ ——硫酸根离子增加值(mg/L);

其余符号意义同前。

按式(4.5.1-1)至式(4.5.1-6)计算的结果见表 4.5.1。

**表 4.5.1 凝聚过滤处理后的水质变化汇总表**

项目	水质变化的关系式			100%凝聚剂加入量/(mg/L)					
				硫酸铝		硫酸亚铁		三氯化铁	
	凝聚剂			20	50	20	50	20	50
	硫酸铝	硫酸亚铁	三氯化铁						
碳酸盐硬度/(mol/L)	$-0.0175K$	$-0.0132K$	$-0.0185K$	-0.35	-0.88	-0.26	-0.66	-0.37	-0.92
游离 $\text{CO}_2$ /(mg/L)	$+0.77K$	$+0.579K$	$+0.814K$	+15.4	+38.6	+11.6	+29.0	+16.3	+40.7
氯离子( $\text{Cl}^-$ )/(mg/L)	—	—	$+0.655K$	—	—	—	—	+13.1	+32.8
硫酸根( $\text{SO}_4^{2-}$ )/(mg/L)	$+0.834K$	$+0.632K$	—	+16.9	+42.1	+12.6	+31.6	—	—

表 4.5.1 凝聚过滤处理后的水质变化汇总表(续)

项目	水质变化的关系式			100%凝聚剂加入量/(mg/L)					
				硫酸铝		硫酸亚铁		三氯化铁	
	凝聚剂			20	50	20	50	20	50
	硫酸铝	硫酸亚铁	三氯化铁						
碳酸根( $\text{CO}_3^{2-}$ )/(mg/L)	$-0.526K$	$-0.395K$	$-0.555K$	-10.5	-26.3	-7.9	-19.7	-11.1	-27.7
有机物质/(mg/L)				-75%	-75%	-75%	-75%	-75%	-75%
蒸发残渣/(mg/L)	$\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-}$			+6.4	+15.8	+4.7	+11.9	+2.0	+5.1

注：1. 表中  $K$  为纯度 100% 的凝聚剂投加量(mg/L)。

2. 表中“+”表示增加，“-”表示减少。

3. 加入凝聚剂后，碳酸盐硬度减少，但非碳酸盐硬度等量增加，总硬度不变。

4. 蒸发残渣中未包括有机物的减少量。

#### 4.5.2 常温条件下，过量石灰凝聚过滤处理后的水质变化可按下列规定确定：

##### 1 阴离子：

$[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{NO}_3^-]$ ：无变化；

$[\text{SO}_4^{2-}]$ ：原水中 $[\text{SO}_4^{2-}] + 0.632K_{\text{Fe}}$ (mg/L)，其中  $K_{\text{Fe}}$  为  $\text{FeSO}_4$  加入量，可按式(4.5.2-1)计算：

$$K_{\text{Fe}} = K \times 75.95 \quad \dots\dots\dots (4.5.2-1)$$

式中：

$K_{\text{Fe}}$ —— $\text{FeSO}_4$  加入量(mg/L)；

$K$ ——100% $\text{FeSO}_4$  基本单元加入量(mmol/L)，可取 0.2~0.5；

75.95—— $\text{FeSO}_4$  基本单元的摩尔质量(mg/mmol)；

$[\text{HCO}_3^-]$ ：0；

$[\text{CO}_3^{2-}]$ ：(0.7~0.9)mmol/L；

$[\text{OH}^-]$ ：(0.2~0.4)mmol/L。

##### 2 阳离子：

$[\text{K}^+]$ 、 $[\text{Na}^+]$ ：无变化；

$[\text{Mg}^{2+}]$ ：(0.4~0.8)mmol/L；当用脉冲澄清池石灰软化而原水中含  $\text{Mg}^{2+}$  又较大时，只除去原水中  $\text{Mg}^{2+}$  的 40%~50%。

$[\text{Ca}^{2+}]$ 可按式(4.5.2-2)计算：

$$[\text{Ca}^{2+}] = \sum A - ([\text{Mg}^{2+}] + [\text{K}^+] + [\text{Na}^+]) \quad \dots\dots\dots (4.5.2-2)$$

式中：

$\sum A$ ——石灰凝聚处理后水中阴离子总和(mmol/L)；

$[\text{Mg}^{2+}]$ 、 $[\text{K}^+]$ 、 $[\text{Na}^+]$ ——石灰凝聚处理后相应离子含量(mmol/L)。

3 可溶  $\text{SiO}_2$  含量：原水中含量 $\times (0.7 \text{ mg/L} \sim 0.8 \text{ mg/L})$ ，但残留可溶  $\text{SiO}_2$  不小于 2 mg/L~3.5 mg/L。

4 耗氧量:2 mg/L~4 mg/L,以 O<sub>2</sub> 计。

5 未计入有机物含量的蒸发残渣 C 可按式(4.5.2-3)、式(4.5.2-4)估算:

$$C = 20H_Y + 0.894K_{Fe} + [K^+] + [Na^+] + [Cl^-] + [SO_4^{2-}] + [NO_3^-] + [SiO_3^{2-}] + 49 \dots\dots\dots (4.5.2-3)$$

$$[SiO_3^{2-}] = 1.27 \times [SiO_2] \dots\dots\dots (4.5.2-4)$$

式中:

C——经石灰凝聚处理后水的蒸发残渣(mg/L);

H<sub>Y</sub>——原水中非碳酸盐硬度(mmol/L);

[K<sup>+</sup>],[Na<sup>+</sup>],[Cl<sup>-</sup>],[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>],[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]——原水中各离子含量(mg/L);

[SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>]——石灰凝聚处理后水中 SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 的含量(mg/L);

[SiO<sub>2</sub>]——原水中 SiO<sub>2</sub> 的含量(mg/L);

其余符号意义同前。

**4.5.3 软化水水质指标应符合下列规定:**

1 软化水硬度及碱度指标可按表 4.5.3-1 的规定确定。

**表 4.5.3-1 软化水指标**

序号	软化系统	出水水质		备注
		硬度/[mg/L(CaCO <sub>3</sub> )]	碱度/[mg/L(CaCO <sub>3</sub> )]	
1	-Na-	<2	与进水相同	
2	-Na <sub>1</sub> -Na <sub>2</sub> -	<0.25	与进水相同	
3	-H-D-Na-	<0.25	15~25	
4	-H- -Na-	<2	15~25	采用强酸氢离子交换树脂的氢、钠并联系统
5	-H-D-Na <sub>1</sub> -Na <sub>2</sub> -	<0.25	15~25	
6	-CaO-Na-	<2	40~60	

注:H——氢离子交换器;

Na——钠离子交换器(Na<sub>1</sub>:一级钠,Na<sub>2</sub>:二级钠);

D——除二氧化碳器;

CaO——石灰处理。

2 钠离子交换软化水及氢-钠离子交换软化水蒸发残渣计算应符合下列规定:

1) 当原水经凝聚处理后蒸发残渣可按式(4.5.3-1)计算:

$$C = 0.25O_p + 71.02 \times \left( \frac{[SO_4^{2-}]}{48.03} + K \right) + 58.44 \times \frac{[Cl^-]}{35.45} + 85.00 \times \frac{[NO_3^-]}{62.01} + 61.03 \times \frac{[SiO_3^{2-}] \times 0.70}{38.04} + 40.00\alpha \times A + 52.99 \times (1 - \alpha) \times A \dots\dots\dots (4.5.3-1)$$

式中:

C——蒸发残渣(mg/L);

O<sub>p</sub>——原水中有有机物含量(mg/L);

$[\text{SO}_4^{2-}]$ 、 $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{NO}_3^-]$ 、 $[\text{SiO}_3^{2-}]$ ——原水中各离子含量(mg/L)；

$A$ ——处理后水中残留碱度(mmol/L)；

$K$ ——凝聚剂加入量(mmol/L)，此时指加  $\text{FeSO}_4$ 。当加  $\text{FeCl}_3$  时， $K$  值应加在算式的  $\frac{[\text{Cl}^-]}{35.45}$  项

中，即  $58.44 \times \frac{[\text{Cl}^-]}{35.45}$  变成  $58.44 \times \left( \frac{[\text{Cl}^-]}{35.45} + K \right)$ ；

$\alpha$ ——锅内  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  转化为  $\text{NaOH}$  百分数(%)，可按表 4.5.3-2 的规定确定；

71.02、58.44、85.00、61.03、40.00、52.99——分别为  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaNO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 、 $\text{NaOH}$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  基本单元的摩尔质量(mg/mmol)；

48.03、35.45、62.01、38.04——分别为  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SiO}_3^{2-}$  基本单元的摩尔质量(mg/mmol)。

表 4.5.3-2  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  转化为  $\text{NaOH}$  百分数与汽包压力的关系

汽包压力/MPa		0.5	0.6	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.7
百分数/%	$\text{OH}^-$	10	20	40	50	60	74	83	89	96	100
	$\text{CO}_3^{2-}$	90	80	60	50	40	26	17	11	4	0

2) 当原水未经凝聚处理时的蒸发残渣可按式(4.5.3-2)计算：

$$C = O_p + 71.02 \times \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{48.03} + 58.44 \times \frac{[\text{Cl}^-]}{35.45} + 85.00 \times \frac{[\text{NO}_3^-]}{62.01} + \dots\dots (4.5.3-2)$$

$$61.03 \times \frac{[\text{SiO}_3^{2-}]}{38.04} + 40.00\alpha \times A + 52.99 \times (1 - \alpha) \times A$$

式中符号意义同前。

3 不足量酸再生氢—钠串联系统中钠交换器的进水硬度  $H_1$  可按式(4.5.3-3)计算：

$$H_1 = [\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-] + A_c - [\text{Na}^+] \dots\dots\dots (4.5.3-3)$$

式中： $H_1$ ——钠交换器进水硬度(mmol/L)；

$[\text{SO}_4^{2-}]$ 、 $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{NO}_3^-]$ 、 $[\text{Na}^+]$ ——进水中各离子含量(mmol/L)；

$A_c$ ——氢交换器出水碱度(mmol/L)。

4.5.4 除盐水水质指标应符合表 4.5.4 的规定。

表 4.5.4 除盐水指标

序号	除盐系统	出水质量	
		25℃ 氢电导率/( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$\text{SiO}_2$ /(mg/L)
1	-H-D-OH-	顺流再生： $<10$ 对流再生： $<5$	$<0.1$
2	-H-D-OH-H/OH-	$<0.2$	$<0.02$
3	-HW-H-D-OH-或 -HW/H-D-OH-	顺流再生： $<10$ 对流再生： $<5$	$<0.1$
4	-HW-H-D-OH-H/OH-或 -HW/H-D-OH-H/OH-	$<0.2$	$<0.02$



表 4.5.4 除盐水指标(续)

序号	除盐系统	出水质量	
		25℃ 氢电导率/(μS/cm)	SiO <sub>2</sub> /(mg/L)
5	-H-OHW-D-OH-	顺流再生: <10 对流再生: <5	<0.1
6	-H-OHW-D-OH-H/OH-	<0.2	<0.02
7	-HW-H-D-OHW-OH-或 -HW/H-D-OHW/OH-	<5	<0.1
8	-HW-H-D-OHW-OH-H/OH-或 -HW/H-D-OHW/OH-H/OH-	<0.2	<0.02
9	-H-OHW-D-H/OH-	<0.2	<0.02
10	ED-H-D-OH-H/OH-或 RO-(RO)-H-D-OH-H/OH-或 RO-(RO)-D-H/OH-	<0.1	<0.02
11	RO-RO-EDI	<0.1	<0.02

注: H——强酸阳离子交换器;

OH——强碱阴离子交换器;

D——除二氧化碳器;

HW——弱酸阳离子交换器;

OHW——弱碱阴离子交换器;

H/OH——阳阴混合离子交换器;

ED——电渗析装置;

HW/H——双层(室)床阳离子交换器;

OHW/OH——双层(室)床阴离子交换器;

RO——反渗透装置;

EDI——电除盐装置。

## 4.6 锅水相对碱度计算

4.6.1 对铆接或胀接的中低压锅炉,应满足锅水的相对碱度  $A$  小于 0.2 的要求。

4.6.2 锅水相对碱度可按式(4.6.2)计算:

$$A = \frac{A_c \times 40 \times \alpha}{C_1 + C_2} \dots\dots\dots (4.6.2)$$

式中:

$A$ ——锅水相对碱度;

$A_c$ ——补给水碱度(mmol/L);

$\alpha$ ——补给水碱度在锅水中转化为 NaOH 的转化率,以小数计,可按本标准表 4.5.3-2 的规定取值;

40——氢氧化钠基本单元的摩尔质量(mg/mmol)；

$C_1$ ——补给水中蒸发残渣(mg/L)；

$C_2$ ——加入锅水中  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  量(mg/L)。

**4.6.3** 当上述计算的相对碱度不合格时,可采用降低补给水的碱度或在锅水中加入  $\text{NaNO}_3$ ,加入  $\text{NaNO}_3$  的量为补给水中每 1 mmol/L 的碱度,需 15 mg 的 100%纯度的  $\text{NaNO}_3$ 。

## 5 离子交换工艺计算

### 5.1 计算一般规定

5.1.1 离子交换设备应根据装置的最大用水量、进出水水质变化、运行流速要求等条件,计算出设备的直径和台数。如有多台设备,还应核算在一台设备维修情况下,剩余设备能否满足用户的正常用水量需求。

5.1.2 离子交换设备树脂数量的计算,应根据正常工况下设备的再生周期要求确定。

5.1.3 离子交换设备的计算应从系统的最后一级交换器开始,根据各级交换器对进水及产品水的自用率逐级向前推算。

### 5.2 离子交换器直径和台数选择计算

5.2.1 离子交换器直径和台数的选择计算应符合下列规定:

1 交换器总面积应按式(5.2.1-1)计算:

$$F = \frac{Q_{\max}}{W} \dots\dots\dots (5.2.1-1)$$

式中:

$F$ ——交换器总面积( $\text{m}^2$ );

$Q_{\max}$ ——交换器最大产水量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$W$ ——交换器正常运行流速( $\text{m}/\text{h}$ ),可按本标准附录 C、D、E、F 的规定取值。

2 交换器计算台数应按式(5.2.1-2)计算:

$$n = \frac{F}{0.785 \times d^2} \dots\dots\dots (5.2.1-2)$$

式中:

$n$ ——交换器计算台数;

$d$ ——选用交换器直径( $\text{m}$ );

其余符号意义同前。

3 实际最大运行流速应按式(5.2.1-3)计算:

$$W_1 = \frac{Q_{\max}}{f \times n_1} \dots\dots\dots (5.2.1-3)$$

式中:

$W_1$ ——实际最大运行流速( $\text{m}/\text{h}$ ),应符合本标准附录 C、D、E、F 规定的运行流速范围;

$f$ ——选用交换器的横截面积( $\text{m}^2$ );

$n_1$ ——实际选用运行台数,应按式(5.2.1-2)计算的  $n$  值确定。

5.2.2 氢钠交换并联运行水量分配计算应符合下列规定:

1 通过钠离子交换器的水量应按式(5.2.2-1)计算:

$$Q_{Na} = \left( \frac{A_c + S_1}{A_1 + S_1} \right) \times Q \dots\dots\dots (5.2.2-1)$$

式中:

$Q_{Na}$ ——钠离子交换器进水量( $m^3/h$ );

$Q$ ——系统处理水量( $m^3/h$ );

$A_1$ ——原水中的碱度( $mmol/L$ );

$A_c$ ——混合水的碱度( $mmol/L$ ),可取 0.35~0.5;

$S_1$ ——原水的强酸根含量( $mmol/L$ )。

2 通过强酸氢离子交换器的水量应按式(5.2.2-2)计算:

$$Q_H = \left( \frac{A_1 - A_c}{A_1 + S_1} \right) \times Q \dots\dots\dots (5.2.2-2)$$

式中:

$Q_H$ ——强酸氢离子交换器进水量( $m^3/h$ );

其余符号意义同前。

### 5.2.3 足量酸再生氢钠交换串联运行水量分配计算应符合下列规定:

通过强酸氢离子交换器的水量应按式(5.2.3-1)计算:

$$Q_H = \left( \frac{H_z - A_c}{H_z + S_1} \right) \times Q \dots\dots\dots (5.2.3-1)$$

式中:

$H_z$ ——原水中碳酸盐硬度( $mmol/L$ );

其余符号意义同前。

## 5.3 混床工艺计算

### 5.3.1 混床树脂装填量计算应符合下列规定:

1 每台混床内阳树脂装载体积应按式(5.3.1-1)计算:

$$V_c = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times h_c \dots\dots\dots (5.3.1-1)$$

式中:

$V_c$ ——单台混床阳树脂装载体积( $m^3$ );

$D$ ——混床直径( $m$ );

$h_c$ ——阳树脂层高( $m$ )。

2 每台混床内阴树脂装载体积应按式(5.3.1-2)计算:

$$V_a = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times h_a \dots\dots\dots (5.3.1-2)$$

式中:

$V_a$ ——单台混床阴树脂装载体积( $m^3$ );

$h_a$ ——阴树脂层高( $m$ ),通常情况下,  $h_a = 2h_c$ ;

其余符号意义同前。

### 5.3.2 混床运行时间的计算应符合下列规定：

#### 1 一级离子交换设备后的混床运行时间可按式(5.3.2-1)估算：

$$T = \frac{6\,000 \times (V_c + V_a) \times n}{Q} \dots\dots\dots (5.3.2-1)$$

式中：

$T$ ——混床周期运行时间(h)；

6 000——每 1 m<sup>3</sup> 混合树脂的周期制水量(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> 树脂)；

$Q$ ——混床总出力(m<sup>3</sup>/h)；

$n$ ——设备运行台数；

其余符号意义同前。

#### 2 混床运行时间核算应符合下列规定：

##### 1) 混床阳树脂运行时间可按式(5.3.2-2)核算：

$$T_c = \frac{V_c \times E_{cj} \times n}{Q \times C} \dots\dots\dots (5.3.2-2)$$

式中：

$T_c$ ——混床阳树脂周期运行时间(h)；

$E_{cj}$ ——混床阳树脂工作交换容量(mmol/L 树脂)，可按厂方数据或按本标准附录 C 的规定取值；

$C$ ——混床进出水总阳离子数之差(mmol/L)，由于混床出口离子含量很低，因此可取混床进口阳离子数量；

其余符号意义同前。

##### 2) 混床阴树脂周期运行时间可按式(5.3.2-3)核算：

$$T_a = \frac{V_a \times E_{aj} \times n}{Q \times A} \dots\dots\dots (5.3.2-3)$$

式中：

$T_a$ ——混床阴树脂周期运行时间(h)；

$E_{aj}$ ——混床阴树脂工作交换容量(mmol/L 树脂)，可按厂方数据或按本标准附录 C 的规定取值；

$A$ ——混床进出水总阴离子数之差(mmol/L)，由于混床出口离子含量很低，因此可取混床进口阴离子数量；

其余符号意义同前。

3) 混床周期运行时间  $T$  应取阴树脂周期运行时间  $T_c$  与阳树脂周期运行时间  $T_a$  中的较小值。混床可按 3~7 天再生一次考虑。

### 5.3.3 混床再生工艺计算应符合下列规定：

#### 1 进再生液量计算应符合下列规定：

##### 1) 阴、阳树脂再生一次需 100% 纯度再生剂质量可按式(5.3.3-1)、式(5.3.3-2)计算：

$$G_a = V_a \times g_a \dots\dots\dots (5.3.3-1)$$

$$G_c = V_c \times g_c \dots\dots\dots (5.3.3-2)$$

式中：

$G_a$ ——100%纯度碱再生剂质量耗量(kg)；

$g_a$ ——碱再生剂耗量(kg/m<sup>3</sup> 树脂)，可按本标准附录 C 的规定取值；

$G_c$ ——100%纯度酸再生剂质量耗量(kg)；

$g_c$ ——酸再生剂耗量(kg/m<sup>3</sup> 树脂)，可按本标准附录 C 的规定取值；

其余符号意义同前。

2) 阴、阳树脂再生一次需液体工业产品再生剂体积可按式(5.3.3-3)、式(5.3.3-4)计算：

$$V_{a1} = \frac{100 \times G_a}{C \times \rho} \dots\dots\dots (5.3.3-3)$$

$$V_{c1} = \frac{100 \times G_c}{C \times \rho} \dots\dots\dots (5.3.3-4)$$

式中：

$V_{a1}$ ——液体工业产品碱再生剂体积耗量(m<sup>3</sup>)；

$V_{c1}$ ——液体工业产品酸再生剂体积耗量(m<sup>3</sup>)；

$C$ ——液体工业产品再生剂的百分浓度(%)；

$\rho$ ——液体工业产品再生剂的密度(kg/m<sup>3</sup>)，可从本标准附录 G、H、J 中选取；

其余符号意义同前。

3) 阴、阳树脂再生一次需稀释再生剂体积可按式(5.3.3-5)、式(5.3.3-6)计算：

$$V_{a2} = \frac{100 \times G_a}{C_1 \times \rho_1} \dots\dots\dots (5.3.3-5)$$

$$V_{c2} = \frac{100 \times G_c}{C_1 \times \rho_1} \dots\dots\dots (5.3.3-6)$$

式中：

$V_{a2}$ ——进混床稀碱再生剂体积(m<sup>3</sup>)；

$V_{c2}$ ——进混床稀酸再生剂体积(m<sup>3</sup>)；

$C_1$ ——进混床稀再生剂的浓度(%)；

$\rho_1$ ——进混床稀再生剂的密度(kg/m<sup>3</sup>)，可从本标准附录 G、H、J 中选取；

其余符号意义同前。

2 稀释再生剂用脱盐水量可按式(5.3.3-7)计算：

$$V = V_{a2} + V_{c2} - V_{a1} - V_{c1} \dots\dots\dots (5.3.3-7)$$

式中：

$V$ ——每台混床再生一次所需稀释再生剂用脱盐水量(m<sup>3</sup>)；

其余符号意义同前。

3 混合树脂空气消耗量可按式(5.3.3-8)计算：

$$Q_k = q_k \times f \times t \dots\dots\dots (5.3.3-8)$$

式中：

$Q_k$ ——空气消耗量(Nm<sup>3</sup>)；

$q_k$ ——空气强度 $[\text{Nm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min})]$ ,可按本标准附录 C 的规定取值;

$f$ ——混床横截面积( $\text{m}^2$ );

$t$ ——空气混合时间( $\text{min}$ ),可按本标准附录 C 的规定取值;

其余符号意义同前。

**5.3.4 液体工业产品再生剂年消耗量**可按式(5.3.4-1)、式(5.3.4-2)计算:

$$G'_a = \frac{T_y \times G_a}{10 \times (T + T') \times C} \dots\dots\dots (5.3.4-1)$$

$$G'_c = \frac{T_y \times G_c}{10 \times (T + T') \times C} \dots\dots\dots (5.3.4-2)$$

式中:

$G'_a$ ——液体工业产品碱再生剂年消耗量( $\text{t/a}$ );

$G'_c$ ——液体工业产品酸再生剂年消耗量( $\text{t/a}$ );

$T_y$ ——混床年操作时间( $\text{h/a}$ );

$T'$ ——混床再生用时( $\text{h}$ ),混床再生周期正常情况下远大于再生用时,因此该项可忽略;

$C$ ——液体工业产品再生剂的浓度( $\%$ );

其余符号意义同前。

## 5.4 单床离子交换器工艺计算

**5.4.1 单床离子交换器交换剂装填量**可按式(5.4.1-1)计算:

$$V = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times h \dots\dots\dots (5.4.1-1)$$

式中:

$V$ ——单台交换器交换剂装载体积( $\text{m}^3$ );

$D$ ——交换器直径( $\text{m}$ );

$h$ ——交换剂层高( $\text{m}$ )。

**5.4.2 单床离子交换器周期运行时间**应符合下列规定:

1 单床离子交换器周期运行时间可按式(5.4.1-2)计算:

$$T = \frac{V \times E_j \times n}{Q \times H(\text{或 } C)} \dots\dots\dots (5.4.1-2)$$

式中:

$T$ ——交换器周期运行时间( $\text{h}$ );

$E_j$ ——交换剂工作交换容量( $\text{mmol/L}$  树脂),可按本标准附录 C、D、E 的规定取值;

$n$ ——交换器工作台数;

$Q$ ——交换器总出力( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$H(\text{或 } C)$ ——交换器进出水总硬度或阴/阳离子数之差( $\text{mmol/L}$ );

其余符号意义同前。

经鼓风机填料的除碳器后,水中残余  $\text{CO}_2$  的量可取  $5 \text{ mg/L}$ ,真空除气后残余  $\text{CO}_2$  的量小于  $5 \text{ mg/L}$ 。

进强碱阴交换器水中的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$  以一价计算。

对单元制除盐系统,阴离子交换器的运行时间应比阳离子交换器的运行时间富裕 10%~15%。

2 同类型每台交换器每天再生次数可按式(5.4.2-2)计算:

$$n_r = \frac{24}{T + T_r} \dots\dots\dots (5.4.2-2)$$

式中:

$n_r$ ——交换器每天再生次数,可取每天每台 1~2 次;

$T_r$ ——交换器再生总用时(h);

其余符号意义同前。

5.4.3 单床离子交换器顺流再生工艺计算应符合下列规定:

1 反洗水量可按式(5.4.3-1)计算:

$$V_1 = \frac{f \times W_{fx} \times t_1}{60} \dots\dots\dots (5.4.3-1)$$

式中:

$V_1$ ——交换器反洗水量( $\text{m}^3$ );

$f$ ——交换器横截面积( $\text{m}^2$ );

$W_{fx}$ ——交换器反洗流速( $\text{m/h}$ ),可按本标准附录 C 的规定取值;

$t_1$ ——反洗时间(min),可按本标准附录 C 的规定取值。

2 静置时间  $t_2$  的选取:对磺化煤或阳树脂可取 5 min;对阴树脂可取 10 min。

3 进再生液量计算应符合下列规定:

1) 再生一次需 100%纯度再生剂质量可按式(5.4.3-2)计算:

$$G_r = V \times E_g \times g \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5.4.3-2)$$

式中:

$G_r$ ——100%纯度再生剂耗量(kg);

$E_g$ ——交换剂工作交换容量( $\text{mmol/L}$  树脂),可按本标准附录 C 的规定取值;

$g$ ——再生剂耗量( $\text{mg/mmol}$ ),可按本标准附录 C 的规定取值。

其余符号意义同前。

2) 再生一次需液体工业产品再生剂体积可按式(5.4.3-3)计算:

$$V_{r1} = \frac{100 \times G_r}{C \times \rho} \dots\dots\dots (5.4.3-3)$$

式中:

$V_{r1}$ ——液体工业产品再生剂体积耗量( $\text{m}^3$ );

$C$ ——液体工业产品再生剂的浓度(%);

$\rho$ ——液体工业产品再生剂的密度( $\text{kg/m}^3$ ),可从本标准附录 G、H、J、K 中选取;

其余符号意义同前。

3) 进交换器稀浓度再生剂体积可按式(5.4.3-4)计算:

$$V_{r2} = \frac{100 \times G_r}{C_1 \times \rho_1} \dots\dots\dots (5.4.3-4)$$



式中：

$V_{r2}$ ——进交换器稀再生剂体积( $m^3$ )；

$C_1$ ——进交换器稀再生剂的百分浓度(%)；

$\rho_1$ ——进交换器稀再生剂的密度( $kg/m^3$ )，可从本标准附录 G、H、J、K 中选取；

其余符号意义同前。

4) 当用硫酸进行分步再生时，稀硫酸的分步法浓度和进交换器的再生流速，可按表 5.4.3 的规定确定。

表 5.4.3 硫酸分步再生数据表

再生方式	分步								
	第一步			第二步			第三步		
	浓度 %	流速 m/h	再生剂 占总量 %	浓度 %	流速 m/h	再生剂 占总量 %	浓度 %	流速 m/h	再生剂 占总量 %
二步再生	0.8~1	7~10	≤40	2~3	5~7	≤60	—	—	—
三步再生	1	8~10	≤33	2~4	5~7	≤33	4~6	4~6	≤34

4 稀释浓再生液用水量可按式(5.4.3-5)计算：

$$V_2 = V_{r2} - V_{r1} \dots\dots\dots (5.4.3-5)$$

式中：

$V_2$ ——稀释再生剂用脱盐水量( $m^3$ )；

其余符号意义同前。

5 稀再生液通过交换器的时间可按式(5.4.3-6)计算：

$$t_3 = \frac{V_{r2} \times 60}{f \times W_r} \dots\dots\dots (5.4.3-6)$$

式中：

$t_3$ ——稀再生液通过交换器时间(min)；

$W_r$ ——稀再生液进交换器流速(m/h)，可按本标准附录 C 或表 5.4.3 的规定取值。

其余符号意义同前。

6 置换再生液水量可按式(5.4.3-7)计算：

$$V_3 = \frac{W_{zh} \times f \times t_4}{60} \dots\dots\dots (5.4.3-7)$$

式中：

$V_3$ ——置换用水量( $m^3$ )；

$W_{zh}$ ——置换流速(m/h)，可与再生液进交换器流速相同；

$t_4$ ——置换时间(min)，可按本标准附录 C 的规定取值；

其余符号意义同前。

7 正洗水量及正洗时间计算应符合下列规定：

1) 软化系统正洗水量可按式(5.4.3-8)计算：

$$V_4 = \frac{W_{zx} \times f \times t_5}{60} \dots\dots\dots (5.4.3-8)$$

式中：

$V_4$ ——软化系统正洗水量( $m^3$ )；

$W_{zx}$ ——正洗流速( $m/h$ )，可按本标准附录 C 的规定取值；

$t_5$ ——正洗时间( $min$ )，可按本标准附录 C 的规定取值；

其余符号意义同前。

2) 除盐水系统正洗水量可按式(5.4.3-9)计算：

$$V_4 = \alpha \times V \dots\dots\dots (5.4.3-9)$$

式中：

$V_4$ ——除盐水系统正洗水量( $m^3$ )；

$\alpha$ ——单位交换剂正洗水耗量( $m^3/m^3$  树脂)，可按本标准附录 C 的规定取值；

$V$ ——单台交换器交换剂装载体积( $m^3$ )。

3) 除盐水系统正洗时间可按式(5.4.3-10)计算：

$$t_5 = \frac{V_4 \times 60}{W_{zx} \times f} \dots\dots\dots (5.4.3-10)$$

式中：

$t_5$ ——正洗时间( $min$ )；

$W_{zx}$ ——正洗流速( $m/h$ )，可按本标准附录 C 的规定取值；

其余符号意义同前。

8 顺流再生所需总时间可按式(5.4.3-11)计算：

$$T_r = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \dots\dots\dots (5.4.3-11)$$

式中：

$T_r$ ——再生所需总时间( $min$ )；

其余符号意义同前。

9 顺流再生所需水量可按式(5.4.3-12)至式(5.4.3-14)计算：

$$V_r = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \dots\dots\dots (5.4.3-12)$$

$$V_{rc} = V_2 + V_3 \dots\dots\dots (5.4.3-13)$$

$$V_{rj} = V_1 + V_4 \dots\dots\dots (5.4.3-14)$$

式中：

$V_r$ ——顺流再生所需总水量( $m^3$ )；

$V_{rc}$ ——顺流再生所需产品水量( $m^3$ )；

$V_{rj}$ ——顺流再生所需交换器进口水量( $m^3$ )；

其余符号意义同前。

10 顺流再生交换器平均自用水量可按式(5.4.3-15)计算：

$$q = \frac{V_r \times n_r}{24} \dots\dots\dots (5.4.3-15)$$

式中:

$q$ ——交换器平均自用水量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$n_r$ ——每台交换器每天再生次数;

其余符号意义同前。

11 顺流再生交换器自用水率可按式(5.4.3-16)计算:

$$\eta = \frac{q \times n}{Q} \times 100 \dots\dots\dots (5.4.3-16)$$

式中:

$\eta$ ——顺流再生交换器自用水率(%);

$n$ ——交换器工作台数;

$Q$ ——交换器总出力( $\text{m}^3/\text{h}$ );

其余符号意义同前。

5.4.4 单床离子交换器气、水顶压法和无压法对流再生工艺计算应符合下列规定:

1 小反洗水量可按式(5.4.4-1)计算:

$$V_1 = \frac{f \times W_{fx} \times t_1}{60} \dots\dots\dots (5.4.4-1)$$

式中:

$V_1$ ——交换器小反洗水量( $\text{m}^3$ );

$f$ ——交换器横截面积( $\text{m}^2$ );

$W_{fx}$ ——交换器小反洗流速( $\text{m}/\text{h}$ ),可按本标准附录 D 的规定取值;

$t_1$ ——小反洗时间( $\text{min}$ ),可按本标准附录 D 的规定取值。

2 放水过程,从中排装置排完水的时间  $t_2$ ,可取 10 min~15 min。

3 顶压过程应符合下列规定:

1) 气顶压用气量可按式(5.4.4-2)计算:

$$Q_k = q_k \times f \times (t_3 + t_4) \dots\dots\dots (5.4.4-2)$$

式中:

$Q_k$ ——空气消耗量( $\text{Nm}^3$ );

$q_k$ ——空气强度 [ $\text{Nm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ ],可按本标准附录 D 的规定取值;

$t_3$ ——预顶时间( $\text{min}$ ),可取 5;

$t_4$ ——再生时间( $\text{min}$ ),可按本标准式(5.4.4-7)计算;

其余符号意义同前。

2) 水顶压:预顶时间  $t_3$  可取 5 min;用水量可为再生液流量的 0.4~1 倍。

4 进再生液量计算应符合下列规定:

1) 再生一次需 100%纯度再生剂质量可按式(5.4.4-3)计算:

$$G_r = V \times E_g \times g \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5.4.4-3)$$

式中:

$G_r$ ——再生剂质量耗量( $\text{kg}$ );

$E_g$ ——交换剂工作交换容量(mmol/L 树脂),可按本标准附录 D 的规定取值;

$g$ ——再生剂耗量(mg/mmol),可按本标准附录 D 的规定取值;

其余符号意义同前。

2) 再生一次需液体工业产品再生剂体积可按式(5.4.4-4)计算:

$$V_{r1} = \frac{100 \times G_r}{C \times \rho} \dots\dots\dots (5.4.4-4)$$

式中:

$V_{r1}$ ——再生剂体积耗量( $m^3$ );

$C$ ——液体工业产品再生剂的百分浓度(%);

$\rho$ ——液体工业产品再生剂的密度( $kg/m^3$ ),可从本标准附录 G、H、J、K 中选取;

其余符号意义同前。

3) 进交换器稀浓度再生剂体积可按式(5.4.4-5)计算:

$$V_{r2} = \frac{100 \times G_r}{C_1 \times \rho_1} \dots\dots\dots (5.4.4-5)$$

式中:

$V_{r2}$ ——进交换器稀再生剂体积( $m^3$ );

$C$ ——进交换器稀再生剂的百分浓度(%);

$\rho_1$ ——进交换器稀再生剂的密度( $kg/m^3$ ),可从本标准附录 G、H、J、K 中选取;

其余符号意义同前。

4) 当用硫酸进行分步再生时,稀硫酸的分步法浓度和进交换器的再生流速,可按本标准表 5.4.3 的规定取值。

5 稀释浓再生液用水量可按式(5.4.4-6)计算:

$$V_2 = V_{r2} - V_{r1} \dots\dots\dots (5.4.4-6)$$

式中:

$V_2$ ——稀释再生剂用脱盐水量( $m^3$ );

其余符号意义同前。

6 稀再生液通过交换器的时间可按式(5.4.4-7)计算:

$$t_4 = \frac{V_{r2} \times 60}{f \times W_r} \dots\dots\dots (5.4.4-7)$$

式中:

$t_4$ ——稀再生液通过交换器时间(min);

$W_r$ ——稀再生液进交换器流速(m/h),可按本标准附录 D 或表 5.4.3 的规定取值;

其余符号意义同前。

7 置换再生液水量可按式(5.4.4-8)计算:

$$V_3 = \frac{W_{zh} \times f \times t_5}{60} \dots\dots\dots (5.4.4-8)$$

式中:

$V_3$ ——置换用水量( $m^3$ );

$W_{zh}$ ——置换流速(m/h),可按本标准附录 D 的规定取值;

$t_5$ ——置换逆清洗时间(min),可按本标准附录 D 的规定取值;

其余符号意义同前。

8 小正洗水量可按式(5.4.4-9)计算:

$$V_4 = \frac{W_{xz} \times f \times t_6}{60} \dots\dots\dots (5.4.4-9)$$

式中:

$V_4$ ——小正洗用水量( $m^3$ );

$W_{xz}$ ——小正洗流速(m/h),可按本标准附录 D 的规定取值;

$t_6$ ——小正洗时间(min),可按本标准附录 D 的规定取值;

其余符号意义同前。

9 正洗水量及正洗时间计算应符合下列规定:

1) 正洗水量可按式(5.4.4-10)计算:

$$V_5 = \alpha \times V \dots\dots\dots (5.4.4-10)$$

式中:

$V_5$ ——正洗水量( $m^3$ );

$\alpha$ ——单位交换剂正洗水耗量( $m^3/m^3$  树脂),可按本标准附录 D 的规定取值;

$V$ ——单台交换器交换剂装载体积( $m^3$ )。

2) 正洗时间可按式(5.4.4-11)计算:

$$t_7 = \frac{V_5 \times 60}{W_{zx} \times f} \dots\dots\dots (5.4.4-11)$$

式中:

$t_7$ ——正洗时间(min);

$W_{zx}$ ——正洗流速(m/h),可按本标准附录 D 的规定取值;

其余符号意义同前。

10 大反洗经若干周期运行后才进行一次。大反洗速度和时间可按顺流再生设备估算。每次大反洗后,再生剂耗量可为平常再生剂耗量的 2 倍。所需水量可不计在对流再生时所需总水量中。

11 对流再生所需总时间可按式(5.4.4-12)计算:

$$T_r = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 \dots\dots\dots (5.4.4-12)$$

式中:

$T_r$ ——再生所需总时间(min);

其余符号意义同前。

12 对流再生所需水量可按式(5.4.4-13)至式(5.4.4-15)计算:

$$V_r = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 \dots\dots\dots (5.4.4-13)$$

$$V_{rc} = V_2 + V_3 \dots\dots\dots (5.4.4-14)$$

$$V_{rj} = V_1 + V_4 + V_5 \dots\dots\dots (5.4.4-15)$$

式中:

$V_r$ ——对流再生所需总水量( $m^3$ );

$V_{rp}$ ——对流再生所需产品水量( $m^3$ )；

$V_{rj}$ ——对流再生所需交换器进口水量( $m^3$ )；

其余符号意义同前。

**13** 对流再生交换器平均自用水量可按式(5.4.4-16)计算：

$$q = \frac{V_r \times n_r}{24} \dots\dots\dots (5.4.4-16)$$

式中：

$q$ ——交换器平均自用水量( $m^3/h$ )；

$n_r$ ——每台交换器每天再生次数。

其余符号意义同前。

**14** 对流再生交换器自用水率可按式(5.4.4-17)计算：

$$\eta = \frac{q \times n}{Q} \times 100 \dots\dots\dots (5.4.4-17)$$

式中：

$\eta$ ——对流再生交换器自用水率(%)；

$n$ ——交换器工作台数；

$Q$ ——交换器总出力( $m^3/h$ )；

其余符号意义同前。

**5.4.5** 单室浮动床离子交换器对流再生工艺计算应符合下列规定：

**1** 落床时间  $t_1$  可取 3 min~5 min。

**2** 进再生液量计算应符合下列规定：

1) 再生一次需 100%纯度再生剂质量可按式(5.4.5-1)计算：

$$G_r = V \times E_g \times g \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5.4.5-1)$$

式中：

$G_r$ ——再生一次 100%纯度再生剂质量耗量(kg)；

$E_g$ ——交换剂工作交换容量(mmol/L 树脂)，可按本标准附录 E 的规定取值；

$g$ ——再生剂耗量(mg/mmol)，可按本标准附录 E 的规定取值；

其余符号意义同前。

2) 再生一次需液体工业产品再生剂体积可按式(5.4.5-2)计算：

$$V_{r1} = \frac{100 \times G_r}{C \times \rho} \dots\dots\dots (5.4.5-2)$$

式中：

$V_{r1}$ ——液体工业产品再生剂体积耗量( $m^3$ )；

$C$ ——液体工业产品再生剂的百分浓度(%)；

$\rho$ ——液体工业产品再生剂的密度( $kg/m^3$ )，可从本标准附录 G、H、J、K 中选取；

其余符号意义同前。

3) 再生一次需稀浓度再生剂体积可按式(5.4.5-3)计算：

$$V_{r2} = \frac{100 \times G_r}{C_1 \times \rho_1} \dots\dots\dots (5.4.5-3)$$

式中：

$V_{r2}$ ——进交换器稀再生剂体积( $m^3$ )；

$C_1$ ——进交换器稀再生剂的百分浓度(%)；

$\rho_1$ ——进交换器稀再生剂的密度( $kg/m^3$ )，可从本标准附录 G、H、J、K 中选取；

其余符号意义同前。

4) 当用硫酸进行分步再生时，稀硫酸的分步法浓度和进交换器的再生流速，可按本标准表 5.4.3 的规定取值。

3 稀释浓再生液用水量可按式(5.4.5-4)计算：

$$V_1 = V_{r2} - V_{r1} \dots\dots\dots (5.4.5-4)$$

式中：

$V_1$ ——稀释再生剂用脱盐水量( $m^3$ )；

其余符号意义同前。

4 稀再生液通过交换器的时间可按式(5.4.5-5)计算：

$$t_2 = \frac{V_{r2} \times 60}{f \times W_r} \dots\dots\dots (5.4.5-5)$$

式中：

$t_2$ ——稀再生液通过交换器时间(min)；

$W_r$ ——稀再生液进交换器流速(m/h)，可按本标准附录 E 或表 5.4.3 的规定取值。

其余符号意义同前。

5 置换再生液水量可按式(5.4.5-6)计算：

$$V_2 = \frac{W_{zh} \times f \times t_3}{60} \dots\dots\dots (5.4.5-6)$$

式中：

$V_2$ ——置换用水量( $m^3$ )；

$W_{zh}$ ——置换流速(m/h)，可取与再生液进交换器流速相同；

$T_3$ ——置换逆清洗时间(min)，可按本标准附录 E 的规定取值；

其余符号意义同前。

6 正洗水量及正洗时间计算应符合下列规定：

1) 正洗水量可按式(5.4.5-7)计算：

$$V_3 = \alpha \times V \dots\dots\dots (5.4.5-7)$$

式中：

$V_3$ ——正洗水量( $m^3$ )；

$\alpha$ ——单位交换剂正洗水耗量( $m^3/m^3$  树脂)，可按本标准附录 E 的规定取值；

$V$ ——单台交换器交换剂装载体积( $m^3$ )。

2) 正洗时间可按式(5.4.5-8)计算：

$$t_1 = \frac{V_3 \times 60}{W_{zx} \times f} \dots\dots\dots (5.4.5-8)$$

式中：

$t_1$ ——正洗时间(min)；

$W_{zx}$ ——正洗流速(m/h)，可按本标准附录 E 的规定取值；

其余符号意义同前。

7 顺洗(成床)水量可按式(5.4.5-9)计算：

$$V_4 = \frac{f \times W_{sx} \times t_5}{60} \dots\dots\dots (5.4.5-9)$$

式中：

$V_4$ ——交换器顺洗(成床)水量( $m^3$ )；

$W_{sx}$ ——交换器顺洗(成床)流速(m/h)，可按本标准附录 E 的规定取值；

$t_5$ ——顺洗时间(min)，可按本标准附录 E 的规定取值；

其余符号意义同前。

8 反洗。单室浮动床经若干周期运行后才将树脂送至体外树脂清洗罐进行反洗。每次反洗后，再生剂耗量可取平常再生剂耗量的 2 倍。所需水量可不计在再生时所需总水量中。

9 单室浮动床再生所需总时间可按式(5.4.5-10)计算：

$$T_r = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \dots\dots\dots (5.4.5-10)$$

式中：

$T_r$ ——再生所需总时间(min)；

其余符号意义同前。

10 单室浮动床再生所需水量可按式(5.4.5-11)至式(5.4.5-13)计算：

$$V_r = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \dots\dots\dots (5.4.5-11)$$

$$V_{rc} = V_1 + V_2 \dots\dots\dots (5.4.5-12)$$

$$V_{ij} = V_3 + V_4 \dots\dots\dots (5.4.5-13)$$

式中：

$V_r$ ——对流再生所需总水量( $m^3$ )；

$V_{rc}$ ——对流再生所需产品水量( $m^3$ )；

$V_{ij}$ ——对流再生所需交换器进口水量( $m^3$ )；

其余符号意义同前。

11 单室浮动床交换器平均自用水量可按式(5.4.5-14)计算：

$$q = \frac{V_r \times n_r}{24} \dots\dots\dots (5.4.5-14)$$

式中：

$q$ ——交换器平均自用水量( $m^3/h$ )；

$n_r$ ——每台交换器每天再生次数；

其余符号意义同前。



12 单室浮动床交换器自用水率可按式(5.4.5-15)计算：

$$\eta = \frac{q \times n}{Q} \times 100 \quad \dots\dots\dots (5.4.5-15)$$

式中：

$\eta$ ——单室浮动床交换器自用水率(%)；

$n$ ——交换器工作台数；

$Q$ ——交换器总出力( $\text{m}^3/\text{h}$ )；

其余符号意义同前。

## 5.5 双室床离子交换器工艺计算

5.5.1 阳树脂装填量计算应符合下列规定：

1 弱酸阳树脂量可按式(5.5.1-1)计算：

$$V_{\text{cl}} = \frac{(H_z - \alpha) \times Q \times T}{E_{\text{cl}}} \times K_{\text{cl}} \quad \dots\dots\dots (5.5.1-1)$$

式中：

$V_{\text{cl}}$ ——弱酸阳树脂体积( $\text{m}^3$ )；

$H_z$ ——暂硬即碳酸盐硬度( $\text{mmol/L}$ )；

$\alpha$ ——弱酸树脂层出水中平均碳酸盐硬度泄漏量( $\text{mmol/L}$ )，可按表 5.5.1 的规定确定；

$T$ ——周期运行时间( $h$ )，可按每天再生 1~2 次考虑；

$E_{\text{cl}}$ ——弱酸阳树脂的工作交换容量( $\text{mmol/L}$  树脂)，可按本标准附录 F 的规定取值；

$K_{\text{cl}}$ ——弱酸阳树脂的损耗系数，可取 1.10~1.15；

$Q$ ——交换器处理水量( $\text{m}^3/\text{h}$ )。

表 5.5.1  $\alpha$  值参考数据表

进水质	$\frac{H_0}{A_0}$	1.0~1.4		1.5~2.0	
	$H_z/(\text{mmol/L})$	<2	>2	<3	>3
$\alpha/(\text{mmol/L})$		0.15~0.20	0.20~0.30	0.10~0.20	0.30~0.40

注： $H_0$ ——进水总硬度( $\text{mmol/L}$ )；

$A_0$ ——进水总碱度( $\text{mmol/L}$ )。

2 强酸阳树脂量可按式(5.5.1-2)、式(5.5.1-3)计算：

$$V_{\text{c2}} = \frac{C_2 \times Q \times T}{E_{\text{c2}}} \times K_{\text{c2}} \quad \dots\dots\dots (5.5.1-2)$$

$$C_2 = C_k - H_z + \alpha \quad \dots\dots\dots (5.5.1-3)$$

式中：

$V_{\text{c2}}$ ——强酸阳树脂体积( $\text{m}^3$ )；

$C_2$ ——进入强酸阳树脂层的阳离子数( $\text{mmol/L}$ )；

$C_k$ ——原水中阳离子总数( $\text{mmol/L}$ )；

$E_{c2}$ ——强酸阳树脂的工作交换容量(mmol/L 树脂),可按本标准附录 F 的规定取值;

$K_{c2}$ ——强酸阳树脂损耗系数,可取 1.05~1.10;

其余符号意义同前。

### 5.5.2 阴树脂装填量计算应符合下列规定:

#### 1 弱碱阴树脂量可按式(5.5.2-1)计算:

$$V_{A1} = \frac{A_1 \times Q \times T}{E_{A1}} \times K_{A1} \dots\dots\dots (5.5.2-1)$$

式中:

$V_{A1}$ ——弱碱阴树脂体积( $m^3$ );

$A_1$ ——强酸阴离子( $SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$ 、 $Cl^-$ )之和(mmol/L);

$T$ ——周期运行时间( $h$ ),可按每天再生 1~2 次考虑;

$E_{A1}$ ——弱碱阴树脂的工作交换容量(mmol/L 树脂),可按本标准附录 F 的规定取值;

$K_{A1}$ ——弱碱阴树脂损耗系数,可取 1.15~1.20;

$Q$ ——交换器处理水量( $m^3/h$ )。

#### 2 强碱阴树脂量可按式(5.5.2-2)、式(5.5.2-3)计算:

$$V_{A2} = \frac{A_2 \times Q \times T}{E_{A2}} \times K_{A2} \dots\dots\dots (5.5.2-2)$$

$$A_2 = C_{SiO_2} + C_c \dots\dots\dots (5.5.2-3)$$

式中:

$V_{A2}$ ——强碱阴树脂体积( $m^3$ );

$A_2$ ——进入强碱阴树脂层的弱酸阴离子数(mmol/L);

$C_{SiO_2}$ ——进水中  $SiO_2$  含量(mmol/L);

$C_c$ ——进水中游离  $CO_2$  含量或脱碳水中  $CO_2$  含量(mmol/L);

$E_{A2}$ ——强碱阴树脂的工作交换容量(mmol/L 树脂),可按本标准附录 F 的规定取值;

$K_{A2}$ ——强碱阴树脂损耗系数,可取 1.10~1.15;

其余符号意义同前。

### 5.5.3 再生剂耗量计算应符合下列规定:

#### 1 阳床再生用酸量可按式(5.5.3-1)、式(5.5.3-2)计算:

$$G_1 = (V_{c1} \times E_{c1} + V_{c2} \times E_{c2}) \times g_c \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5.5.3-1)$$

$$V_1 = \frac{100 \times G_1}{C_1 \times \rho_1} \dots\dots\dots (5.5.3-2)$$

式中:

$G_1$ ——100%纯度酸再生剂质量耗量(kg);

$g_c$ ——酸再生剂耗量(mg/mmol),可按本标准附录 F 的规定取值;

$V_1$ ——液体工业产品酸再生剂体积耗量( $m^3$ );

$C_1$ ——液体工业产品酸再生剂的百分浓度(%);

$\rho_1$ ——液体工业产品酸再生剂的密度( $kg/m^3$ ),可从本标准附录 G、H、J、K 中选取;

其余符号意义同前。

2 阴床再生用碱量可按式(5.5.3-3)、式(5.5.3-4)计算:

$$G_2 = (V_{A1} \times E_{A1} + V_{A2} \times E_{A2}) \times g_A \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5.5.3-3)$$

$$V_2 = \frac{100 \times G_2}{C_2 \times \rho_2} \dots\dots\dots (5.5.3-4)$$

式中:

$G_2$ ——100%纯度碱再生剂质量耗量(kg);

$g_A$ ——碱再生剂耗量(mg/mmol),可按本标准附录 F 的规定取值;

$V_2$ ——液体工业产品碱再生剂体积耗量( $m^3$ );

$C_2$ ——液体工业产品碱再生剂的百分浓度(%);

$\rho_2$ ——液体工业产品碱再生剂的密度( $kg/m^3$ ),可从本标准附录 G、H、J、K 中选取;

其余符号意义同前。

## 5.6 离子交换器运行流速和再生次数校核计算

5.6.1 当选用的同一类型交换器台数为 2 台时,应作如下的校核计算:当同一类型的交换器中有 1 台(或单元制系统中有 1 个系列)检修时,同类型的其他交换器(或系列)应能满足正常供水量和向水箱积累再生备用水量的要求,此时其他交换器(或系列)的总负荷应按式(5.6.1-1)计算:

$$Q_1 = \frac{T + T_r}{T} \times Q \dots\dots\dots (5.6.1-1)$$

式中:

$Q_1$ ——有 1 台交换器检修时,其他交换器总出力( $m^3/h$ );

$T$ ——运行时间(h);

$T_r$ ——再生时间(h);

$Q$ ——交换器正常总出力( $m^3/h$ )。

按  $Q_1$  进行运行流速  $W_1$  的校核可按式(5.6.1-2)计算:

$$W_1 = \frac{Q_1}{f} \dots\dots\dots (5.6.1-2)$$

式中:

$W_1$ ——有 1 台交换器检修时,另 1 台交换器的运行流速(m/h),应符合本标准附录 C、D、E、F 的规定;

$f$ ——交换器的单台横截面积( $m^2$ );

其余符号意义同前。

5.6.2 当选用的同一类型交换器台数多于 2 台时,应作如下校核计算:当同类型交换器中有 1 台检修,同时又有若干台需要同时再生时,其余的同类型交换器应能满足正常供水量的要求。

此时用交换器正常总出力  $Q$  对交换器运行流速  $W_2$  进行校核,可按式(5.6.2-1)、式(5.6.2-2)进行:

$$W_2 = \frac{Q}{f \times (n_1 - n_3 - 1)} \dots\dots\dots (5.6.2-1)$$

$$n_2 = \frac{(n_1 - 1) \times n_r \times T_r}{24} \dots\dots\dots (5.6.2-2)$$

式中：

$W_2$ ——有 1 台交换器检修，同时有若干台再生时，其他交换器的运行流速(m/h)，应符合本标准附录 C、D、E、F 的规定；

$n_3$ ——同类型交换器每天需要同时再生的台数；

$T_r$ ——每台交换器再生时间(h)；

$n_r$ ——同类型离子交换器每台每天再生次数；

其余符号意义同前。

**5.6.3** 当出现恶劣水质时，交换器每昼夜再生次数应作如下校核计算：按照最恶劣水质和水处理站的正常出力，包括向水箱积累再生时的用水量，算出已选用的各类型离子交换器的再生次数。离子交换器再生次数每台每昼夜可按 1~2 次考虑；当采用程序控制时，每台每昼夜可按 2~3 次考虑。

**5.6.4** 当再生采用计量泵时，再生计量泵的流量可按式(5.6.4)计算：

$$Q_r = \frac{60 \times V_r}{t_r} \dots\dots\dots (5.6.4)$$

式中：

$Q_r$ ——再生泵流量(m<sup>3</sup>/h)；

$V_r$ ——再生一次需液体工业产品再生剂的体积(m<sup>3</sup>)；

$t_r$ ——稀再生液通过交换器时间(min)。

再生一次需再生剂体积及稀再生液通过交换器时间可按 5.3~5.5 节中相关公式计算。

再生计量泵的扬程应与再生水泵匹配。

## 5.7 离子交换器酸碱废水排放量及浓度计算

**5.7.1** 离子交换器每周期酸(碱)排放量的计算应符合下列规定：

1 离子交换器每周期酸(碱)理论排放量可按式(5.7.1-1)、式(5.7.1-2)计算：

$$G'_1 = V \times E_g \times (A - A_1) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5.7.1-1)$$

$$G'_2 = V \times E_g \times (C - C_1) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5.7.1-2)$$

式中：

$G'_1$ ——再生后 100%浓度废酸排放量(kg)；

$G'_2$ ——再生后 100%浓度废碱排放量(kg)；

$V$ ——单台交换器内交换剂体积(m<sup>3</sup>)，混床中指阳或阴树脂体积；

$E_g$ ——交换剂工作交换容量(mmol/L 树脂)，可按本标准附录 C、D、E、F 的规定取值；

$A$ ——再生剂酸实际耗量(mg/mmol)，可按本标准附录 C、D、E、F 的规定取值；

$C$ ——再生剂碱实际耗量(mg/mmol)，可按本标准附录 C、D、E、F 的规定取值；

$A_1$ ——再生剂酸理论耗量(mg/mmol)，即再生用酸基本单元的摩尔质量，可按本标准附录 B 查取；

$C_1$ ——再生剂碱理论耗量(mg/mmol)，即再生用碱基本单元的摩尔质量，可按本标准附录 B 查取。

2 在水处理站内如设有酸碱中和装置进行自行中和，则剩余的酸量计算应符合下列规定：

1) 废酸液中能被废碱液中和部分的酸量可按式(5.7.1-3)计算:

$$G_3 = \frac{G'_2 \times A_1}{40} \dots\dots\dots (5.7.1-3)$$

式中:

$G_3$ ——被中和的酸量(kg);

40——NaOH 基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

其余符号意义同前。

2) 剩余酸量可按式(5.7.1-4)计算:

$$G_4 = G'_1 - G_3 \dots\dots\dots (5.7.1-4)$$

式中:

$G_4$ ——剩余酸量(kg);

其余符号含义同前。

**5.7.2** 离子交换器酸(或碱)性废水每周期排放量计算可只考虑阳(或阴)离子交换器酸(或碱)性水排放量。没有经酸碱自行中和之前的酸(或碱)性废水排放量可按式(5.7.2)计算:

$$Q_1(Q_2) = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 \dots\dots\dots (5.7.2)$$

式中:

$Q_1$ ——未中和前酸性废水排放量( $m^3$ );

$Q_2$ ——未中和前碱性废水排放量( $m^3$ );

$V_1$ ——反洗(或对流再生的小反洗)水量( $m^3$ );

$V_2$ ——进交换器稀再生液体积( $m^3$ );

$V_3$ ——置换水量( $m^3$ );

$V_4$ ——正洗(或对流再生的小正洗及浮床成床顺洗)水量( $m^3$ );

$V_5$ ——对流再生顶压前的放水量(或浮动床落床放水量)( $m^3$ )。

对于阴离子交换器,如  $V_1$  和  $V_5$  不排放至酸碱中和池,则不需计入。

**5.7.3** 酸(碱)性废水浓度计算应符合下列规定:

1 水处理站内设有酸碱废液自行中和设施时,剩余废酸液的浓度可按式(5.7.3-1)计算:

$$G_A = \frac{G_1}{Q_1 + Q_2} \dots\dots\dots (5.7.3-1)$$

式中:

$C_A$ ——中和后剩余废酸液的浓度(g/L);

其余符号含义同前。

2 阳交换器排放酸性废水浓度可按式(5.7.3-2)计算:

$$G'_A = \frac{G'_1}{Q_1} \dots\dots\dots (5.7.3-2)$$

式中:

$C'_A$ ——酸性废水浓度(g/L);

其余符号含义同前。

3 阴交换器排放碱性废水浓度可按式(5.7.3-3)计算:

$$G'_c = \frac{G'_2}{Q_2} \dots\dots\dots (5.7.3-3)$$

式中:

$G'_c$ ——碱性废水浓度(g/L);

其余符号含义同前。

4 酸性废水 pH 可按式(5.7.3-4)计算:

$$\text{pH} = -\lg \frac{G'_A}{A_1} \dots\dots\dots (5.7.3-4)$$

式中:

pH——酸性废水 pH;

其余符号含义同前。

5 碱性废水 pH 可按式(5.7.3-5)、式(5.7.3-6)计算:

$$\text{pH} = -\lg[H^+] \dots\dots\dots (5.7.3-5)$$

$$[H^+] = \frac{K_s}{[OH^-]} \dots\dots\dots (5.7.3-6)$$

式中:

pH——碱性废水 pH;

$[H^+]$ ——碱性废水中氢离子浓度(mmol/L);

$K_s$ ——不同温度时水的离子积,10℃时, $K_s = 0.29 \times 10^{-14}$ ;20℃时, $K_s = 0.68 \times 10^{-14}$ ;

$[OH^-]$ ——碱性废水中氢氧根离子浓度(mmol/L)。

#### 5.7.4 酸碱中和池计算应符合下列规定:

1 酸碱中和池容积不应小于装置中同时再生一次阴(阳)交换器的总排放废水量,可按式(5.7.4-1)、式(5.7.4-2)计算:

$$V \geq K \times Q \dots\dots\dots (5.7.4-1)$$

$$Q = n \times (Q_1 + Q_2) \dots\dots\dots (5.7.4-2)$$

式中:

$V$ ——中和池容积( $\text{m}^3$ );

$K$ ——容积系数,可取 1.2;

$Q$ ——同时再生一次阴(阳)交换器的总排放水量( $\text{m}^3$ );

$n$ ——同时再生阴(阳)交换器台数;

其余符号含义同前。

2 酸碱中和池加 100%纯度 NaOH 量可按式(5.7.4-3)计算:

$$G = \frac{G_1 \times n_r \times n_1 \times 40}{A} \dots\dots\dots (5.7.4-3)$$

式中:

$G$ ——酸碱中和池加碱量(kg/d);

$n_r$ ——阳交换器每台每天再生次数;

$n_1$ ——阳交换器运行台数；  
 $40$ ——NaOH 基本单元的摩尔质量(mg/mmol)；  
 $A$ ——再生用酸基本单元的摩尔质量(mg/mmol)，可按本标准附录 B 查取；  
 其余符号含义同前。

5.8 离子交换器压降估算

5.8.1 水流通过树脂层的阻力可按式(5.8.1)计算：

$$\Delta h = \frac{0.5 \times W \times \nu \times H_R}{d_0^2} \dots\dots\dots (5.8.1)$$

式中：  
 $\Delta h$ ——水侧阻力(kPa)；  
 $W$ ——水在交换器中的运行流速(m/h)；  
 $\nu$ ——水的运动黏度系数(mm<sup>2</sup>/s)，可按表 5.8.1 查取；  
 $H_R$ ——包括压脂层在内的交换剂层高(m)；  
 $d_0$ ——树脂的平均粒径(mm)，可取 0.6~0.8。

表 5.8.1 水的运动黏度

温度/℃	黏度/(mm <sup>2</sup> /s)	温度/℃	黏度/(mm <sup>2</sup> /s)
0	1.79	40	0.66
5	1.52	45	0.60
10	1.31	50	0.55
15	1.14	60	0.47
20	1.01	70	0.41
25	0.89	80	0.36
30	0.80	90	0.32
35	0.72	100	0.28

## 6 除气器工艺计算

### 6.1 除气器横截面积和直径计算

6.1.1 除气器的横截面积可按式(6.1.1)计算:

$$f = \frac{Q}{q} \dots\dots\dots (6.1.1)$$

式中:

$f$ ——单台除气器横截面积( $\text{m}^2$ );

$Q$ ——单台除气器进水量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$q$ ——设计淋水密度( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ),可取 50~60。

6.1.2 除气器的直径可按式(6.1.2)计算:

$$D = 1.13 \sqrt{f} \dots\dots\dots (6.1.2)$$

式中:

$D$ ——除气器直径( $\text{m}$ );

其余符号含义同前。

### 6.2 除气器填料表面积计算

6.2.1 除气器填料表面积可按式(6.2.1)计算:

$$F = \frac{G}{K \times \Delta C} \dots\dots\dots (6.2.1)$$

式中:

$F$ ——填料的表面积( $\text{m}^2$ );

$G$ ——除气量( $\text{kg}/\text{h}$ ),可按本标准公式(6.2.2-1)计算;

$K$ ——解吸系数( $\text{m}/\text{h}$ ),可按本标准公式(6.2.3-1)计算;

$\Delta C$ ——平均推动力( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),可按本标准公式(6.2.4)计算。

6.2.2 除气量可按式(6.2.2-1)计算:

$$G = \frac{Q \times (C_1 - C_2)}{1\,000} \dots\dots\dots (6.2.2-1)$$

式中:

$C_1$ ——除气器进水中  $\text{CO}_2$  或  $\text{O}_2$  含量( $\text{mg}/\text{L}$ ),其中进水中  $\text{CO}_2$  含量  $C_{\text{C}1}$  可按式(6.2.2-2)或式(6.2.2-3)计算;进水中  $\text{O}_2$  含量  $C_{\text{O}1}$  可按表 6.2.2 查取;

$C_2$ ——除气器出水中  $\text{CO}_2$  或  $\text{O}_2$  含量( $\text{mg}/\text{L}$ ),其中出水中  $\text{CO}_2$  含量  $C_{\text{C}2}$  可取 3~5;出水中  $\text{O}_2$  含量  $C_{\text{O}2}$  可取 0.05;

其余符号含义同前。



当原水水质分析有游离 CO<sub>2</sub> 时,应按式(6.2.2-2)计算;无 CO<sub>2</sub> 时,应按式(6.2.2-3)进行近似计算。

$$C_{Cl} = 44 \times A + CO_2 \dots\dots\dots (6.2.2-2)$$

$$C_{Cl} = 44 \times A + 0.268 \times A^3 \dots\dots\dots (6.2.2-3)$$

式中:  
 C<sub>Cl</sub>——进水中 CO<sub>2</sub> 的含量(mg/L);  
 A——进水中碳酸盐碱度(mmol/L);  
 CO<sub>2</sub>——进水中游离 CO<sub>2</sub> 数值(mg/L);  
 其余符号含义同前。

**表 6.2.2 水中含氧量与温度、压力的关系**

水面上 空气压力/kPa	水温/℃										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	含氧量/(mg/L)										
101.3	14.5	11.3	9.1	7.5	6.5	5.6	4.8	3.9	2.9	1.6	0
81.04	11	8.5	7.0	5.7	5.0	4.2	3.4	2.6	1.6	0.5	0
60.78	8.3	6.4	5.3	4.3	3.7	3.0	2.3	1.7	0.8	0	0
40.52	5.7	4.2	3.5	2.7	2.2	1.7	1.1	0.4	0	0	0
20.26	2.8	2.0	1.6	1.4	1.2	1.0	0.4	0	0	0	0
10.13	1.2	0.9	0.8	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0

**6.2.3 解吸系数可按式(6.2.3-1)计算:**

$$K = \frac{1.02 \times \xi \times Re^{0.86} \times Pr^{0.33}}{d} \dots\dots\dots (6.2.3-1)$$

式中:  
 ξ—— CO<sub>2</sub> 或 O<sub>2</sub> 在水中的扩散系数(m<sup>2</sup>/h);20℃时,CO<sub>2</sub> 扩散系数 ξ<sub>CO<sub>2</sub></sub><sup>20</sup> = 6.37×10<sup>-8</sup>, O<sub>2</sub> 扩散系数 ξ<sub>O<sub>2</sub></sub><sup>20</sup> = 7.488×10<sup>-8</sup>,其他温度时的 CO<sub>2</sub> 扩散系数可按式(6.2.3-2)计算;  
 Pr——普兰特准数,可按式(6.2.3-3)计算;  
 Re——雷诺准数,可按式(6.2.3-4)计算;  
 d——填料的水力当量直径(m),可按表 6.2.3 查取;  
 其余符号含义同前。

$$\xi_{CO_2} = \xi_{CO_2}^{20} \times [1 + 0.02 \times (T - 20)] \dots\dots\dots (6.2.3-2)$$

$$Pr = 0.36 \times 10^{-2} \times \frac{\nu}{P_1} \dots\dots\dots (6.2.3-3)$$

$$Re = \frac{10^2}{0.36} \times \frac{q \times d}{\nu} \dots\dots\dots (6.2.3-4)$$

式中：

$\xi_{\text{CO}_2}$ —— $\text{CO}_2$  在水中的扩散系数( $\text{m}^2/\text{h}$ )；

$T$ ——水的温度( $^{\circ}\text{C}$ )；

$\nu$ ——水的运动黏度( $\text{mm}^2/\text{s}$ )，可按本标准表 5.8.1 查取；

$q$ ——设计淋水密度 $[\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$ ，可取 50~60；

其余符号含义同前。

表 6.2.3 水力当量直径

填料	填料特性数据				
	填料规格 mm	每立方米 填料个数	空隙率 $f_K$ $\text{m}^3/\text{m}^3$	比表面积 $S$ $\text{m}^2/\text{m}^3$	水力当量直径 $d = \frac{4f_K}{S}$ m
瓷环	25×25×3	49 000(乱堆)	0.780	190	0.016 4
	25×25×3	53 200(排列)	0.740	204	0.014 5
	40×40×4.5	12 700	0.750	126	0.023 8
	50×50×4.5	6 000	0.81	93	0.034 8
多面空心球	25	85 000	0.840	460	0.007 3
	32	28 500	0.870	325	0.010 7
	50	11 500	0.900	236	0.015 3

6.2.4 平均推动力可按式(6.2.4)计算：

$$\Delta C = \frac{C_1 - C_2}{2.44 \times \lg \frac{C_1}{C_2}} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (6.2.4)$$

式中符号含义同前。

### 6.3 除气器填料高度计算

6.3.1 除气器填料高度可按式(6.3.1-1)、式(6.3.1-2)计算：

$$V = \frac{F}{S} \dots\dots\dots (6.3.1-1)$$

$$H = \frac{V}{f} \dots\dots\dots (6.3.1-2)$$

式中：

$V$ ——填料容积( $\text{m}^3$ )；

$F$ ——填料的表面积( $\text{m}^2$ )，可按本标准公式(6.2.1)计算；

$S$ ——填料的比表面积( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )，可按本标准表 6.2.3 查取；

$H$ ——填料高度(m)；

$f$ ——除气器横截面积( $\text{m}^2$ )。

## 6.4 鼓风机选择计算

6.4.1 鼓风机的风量可按式(6.4.1-1)至式(6.4.1-3)计算:

$$L = 1.1 \times g \times Q \times K \times K_1 \times K_2 \dots\dots\dots (6.4.1-1)$$

$$K = \frac{101.325}{P'} \dots\dots\dots (6.4.1-2)$$

$$K_1 = \frac{273 + T}{273} \dots\dots\dots (6.4.1-3)$$

式中:

$L$ ——风机风量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

1.1——风机风量备用系数;

$g$ ——每处理  $1 \text{ m}^3$  水所需空气量( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ),可取 15~20;

$Q$ ——进除气器水量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$K$ ——气压修正系数;

$P'$ ——当地大气压(kPa);

$K_1$ ——空气温度修正系数;

$T$ ——进入风机的空气温度( $^{\circ}\text{C}$ );

$K_2$ ——进水温度修正系数,可按表 6.4.1 查取。

表 6.4.1 进水温度修正系数

水温/ $^{\circ}\text{C}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
系数	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4

6.4.2 风机的风压可按式(6.4.2-1)、式(6.4.2-2)计算:

$$P = 1.2 \times (A \times H + \Delta h) \times K \times K'_1 \dots\dots\dots (6.4.2-1)$$

$$K'_1 = \frac{273 + t}{273 + 20} \dots\dots\dots (6.4.2-2)$$

式中:

$P$ ——风机风压(Pa);

1.2——风压备用系数;

$A$ ——单位高度填料阻力(Pa/m),对于  $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$  瓷环,每 1 m 高阻力为 294 Pa;

$H$ ——填料高度(m);

$\Delta h$ ——除气器内其余部分总阻力(Pa),可取 294~392;

$K'_1$ ——空气温度修正系数;

其余符号含义同前。

6.4.3 风机所需功率可按式(6.4.3)计算:

$$N = 2.78 \times 10^{-7} \times \frac{L \times P}{\eta_1 \times \eta_2} \dots\dots\dots (6.4.3)$$

式中：

$N$ ——风机功率(kW)；

$\eta_1$ ——风机在全压时的效率，以小数计，可取 0.8~0.9；

$\eta_2$ ——风机传动效率，以小数计；当风机与电机直联时， $\eta_2 = 1$ ；

其余符号含义同前。

**6.4.4** 所配电机功率可按式(6.4.4)计算：

$$N' = \frac{N \times \beta}{\eta_3} \dots\dots\dots (6.4.4)$$

式中：

$N'$ ——电机功率(kW)；

$\beta$ ——电机备用系数，可取 1.15；

$\eta_3$ ——电机效率，以小数计，可取 0.9；

其余符号含义同前。

**6.5 真空除气器计算**

**6.5.1** 真空系统压力可按式(6.5.1-1)、式(6.5.1-2)计算：

$$P_{CO_2} = \frac{101 \times C_{CO_2}}{\beta_1} \dots\dots\dots (6.5.1-1)$$

$$P_{O_2} = \frac{101 \times C_{O_2}}{\beta_2} \dots\dots\dots (6.5.1-2)$$

式中：

$P_{CO_2}$ ——出水中允许  $CO_2$  含量所对应的水面上的  $CO_2$  分压(kPa)；

$C_{CO_2}$ ——出水允许  $CO_2$  含量(mg/L)，可取 3~5；

$\beta_1$ ——当分压为标准大气压时，出水中  $CO_2$  溶解度(mg/L)，可按表 6.5.1 中查取；

$P_{O_2}$ ——出水中允许  $O_2$  含量所对应的水面上的  $O_2$  分压(kPa)；

$C_{O_2}$ ——出水中允许  $O_2$  含量(mg/L)，可取 0.05；

$\beta_2$ ——当分压为标准大气压时，出水中  $O_2$  溶解度(mg/L)，可按表 6.5.1 查取。

**表 6.5.1 标准大气压下  $O_2$  和  $CO_2$  的溶解度**

水温 ℃	二氧化碳的溶解度 $\beta_1$ mg/L	氧的溶解度 $\beta_2$ mg/L
0	3 350	69.5
10	2 310	53.7
20	1 690	43.4
30	1 260	35.9
40	970	30.8
50	760	26.6
60	580	22.8

表 6.5.1 标准大气压下 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的溶解度(续)

水温 ℃	二氧化碳的溶解度 $\beta_1$ mg/L	氧的溶解度 $\beta_2$ mg/L
70	—	—
80	—	13.8
90	—	—
100	0	0

6.5.2 真空除气器工作压力应满足下列条件：

$$P'_{\text{CO}_2} < P_{\text{CO}_2} \dots\dots\dots (6.5.2-1)$$

$$P'_{\text{O}_2} < P_{\text{O}_2} \dots\dots\dots (6.5.2-2)$$

式中：

$P'_{\text{CO}_2}$ ——真空除气器工作压力中的 CO<sub>2</sub> 分压(Pa)；

$P'_{\text{O}_2}$ ——真空除气器工作压力的 O<sub>2</sub> 分压(Pa)；

其余符号含义同前。

根据本标准中表 6.2.2 中的数据,如果进水温度为 20 ℃,允许出水中的氧含量为 1.2 mg/L,则真空除气器水面对应的大气压力应小于 15.195 kPa;如果水温提高到 40 ℃,则对应的大气压力应小于 20.26 kPa。

6.5.3 总抽气量计算应符合下列规定：

1 工作状态总抽气量可按式(6.5.3-1)至式(6.5.3-3)计算：

$$W_s = W_{\text{CO}_2} + W_{\text{O}_2} \dots\dots\dots (6.5.3-1)$$

$$W_{\text{CO}_2} = \frac{101 \times G_{\text{CO}_2} \times (273 + T)}{520 \times P_{\text{CO}_2}} \dots\dots\dots (6.5.3-2)$$

$$W_{\text{O}_2} = \frac{101 \times G_{\text{O}_2} \times (273 + T)}{377 \times P_{\text{O}_2}} \dots\dots\dots (6.5.3-3)$$

式中：

$W_s$ ——工作状态下的总抽气量(m<sup>3</sup>/h)；

$W_{\text{CO}_2}$ ——CO<sub>2</sub> 抽气量(m<sup>3</sup>/h)；

$W_{\text{O}_2}$ ——O<sub>2</sub> 抽气量(m<sup>3</sup>/h)；

$G_{\text{CO}_2}$ ——真空除气器的除 CO<sub>2</sub> 量(kg/h),应符合本标准第 6.2.2 条的规定；

$G_{\text{O}_2}$ ——真空除气器的除 O<sub>2</sub> 量(kg/h),应符合本标准第 6.2.2 条的规定；

$T$ ——设计进水温度(℃)；

其余符号含义同前。

2 标准状态下的抽气量可按式(6.5.3-4)计算：

$$W_B = \frac{W_s \times P}{101 \times (1 + \frac{T}{273})} \dots\dots\dots (6.5.3-4)$$

式中：

$W_B$ ——换算成标准状态下真空除气器的总抽气量( $Nm^3/h$ )；

$P$ ——除气器中混合气体压力(kPa)，即真空除气器所需的真空压力设计值，由进水温度代替沸点按表 6.5.3 查取，该表查出的压力值为选择真空机组或设计水力喷射器的依据；

其余符号含义同前。

表 6.5.3 水面空气压力与水的沸点

水面空气压力 kPa	水的沸点 ℃	水面空气压力 kPa	水的沸点 ℃	水面空气压力 kPa	水的沸点 ℃
0.705 6	2	2.338 0	20	6.627 0	38
0.813 2	4	2.644 0	22	7.377 0	40
0.935 1	6	2.983 0	24	8.201 0	42
1.072 0	8	3.361 0	26	9.103 0	44
1.228 0	10	3.780 0	28	10.089 0	46
1.402 0	12	4.243 0	30	11.166 0	48
1.598 0	14	4.755 0	32	12.339 0	50
1.818 0	16	5.320 0	34	—	—
2.063 0	18	5.942 0	36	—	—

## 7 膜法除盐工艺计算

### 7.1 计算一般规定

7.1.1 应根据给定的进水水质及出水水质要求,选择合理的膜组件及计算参数(通量、回收率等),确定膜组件数量及排列方式。

7.1.2 应尽量选择单个产水量大的组件,以减少组件的数量,简化系统。

7.1.3 膜法除盐工艺计算除应符合本计算规定外,还需符合制造厂商的规范。

### 7.2 电渗析器除盐工艺计算

7.2.1 电渗析器的出力计算应符合下列规定:

1 设计淡化水量可按式(7.2.1-1)计算:

$$Q_d = r_1 \times r_2 \times r_3 \times Q'_d \dots\dots\dots (7.2.1-1)$$

式中:

$Q_d$ ——设计淡化水量( $m^3/h$ );

$r_1$ ——长期安全稳定运行系数,可取 1.1~1.3;

$r_2$ ——温度系数,可按表 7.2.1 经验数据查取;

$r_3$ ——自用水量系数,包括酸洗倒换电极等用水,可取 1.05;

$Q'_d$ ——用水高峰期平均淡化水量( $m^3/h$ )。

表 7.2.1 电渗析器的温度系数

温度/ $^{\circ}C$		5	10	15	20	25	30	35	40
20 $^{\circ}C$ 时的 除盐率	51.5%	1.36	1.20	1.08	1	0.9	0.84	0.77	0.71
	59.0%	1.23	1.14	1.06	1	0.94	0.87	0.80	0.75
	83.0%	1.13	1.08	1.04	1	0.97	0.93	0.90	0.87
	93.0%	1.08	1.05	1.03	1	0.98	0.97	0.95	0.94

2 设计预处理水量可按式(7.2.1-2)计算:

$$Q = (Q_d + Q_n + Q_j) \times \beta \dots\dots\dots (7.2.1-2)$$

式中:

$Q$ ——设计预处理水量( $m^3/h$ );

$Q_n$ ——浓水总排放量( $m^3/h$ ),浓水不循环时, $Q_n = Q_d$ ;浓水循环时,可按  $Q_n = (0.2 \sim 0.3) Q_d$  考虑;

$Q_j$ ——极水总排放量( $m^3/h$ );

$\beta$ ——预处理设备自用水量系数,可取 1.05~1.10;

其余符号含义同前。

设计直流式(浓水不循环)的流量比,可按  $Q_d:Q_n:Q_j = 1:1:0.2$ ,此时的净回收率为 45%~55%,每制取 1 m<sup>3</sup> 的淡水需耗 2.2 m<sup>3</sup> 原水。

### 7.2.2 其他主要运行参数的估算应符合下列规定:

#### 1 极限电流密度可按式(7.2.2-1)、式(7.2.2-2)计算:

$$I_{\text{lim}} = K \times V^m \times C_{\text{dp}} \dots\dots\dots (7.2.2-1)$$

$$C_{\text{dp}} = \frac{C_{\text{dj}} - C_{\text{de}}}{2.3 \lg \left( \frac{C_{\text{dj}}}{C_{\text{de}}} \right)} \dots\dots\dots (7.2.2-2)$$

式中:

$I_{\text{lim}}$ ——极限电流密度(mA/cm<sup>2</sup>);

$K$ ——水力特性常数,由制造厂提供或由实验测定;

$V$ ——淡水室流水道中的水流速度(cm/s),可按本标准公式(7.2.2-12)计算;

$m$ ——流速指数,可取 0.5~0.7;

$C_{\text{dp}}$ ——淡水室中水的平均含盐量(mmol/L);

$C_{\text{dj}}$ ——淡水室进水的含盐量(mmol/L);

$C_{\text{de}}$ ——淡水室出水的含盐量(mmol/L)。

#### 2 除盐流程长度可按式(7.2.2-3)计算:

$$L = \frac{(C_{\text{dj}} - C_{\text{de}}) \times F \times V \times d}{i \times \eta} \dots\dots\dots (7.2.2-3)$$

式中:

$L$ ——除盐流程长度(cm);

$F$ ——法拉第常数(C/mmol),取 96.5;

$d$ ——淡水室隔板厚度(cm),按选定的隔板形式选取;

$i$ ——平均电流密度(mA/cm<sup>2</sup>),可取(0.7~0.9) $I_{\text{lim}}$ ,原水中含盐量、硬度、有机物含量高时取低值,反之取高值;

$\eta$ ——电流效率,以小数计,可取 0.80~0.95;

其余符号含义同前。

#### 3 串联段数可按式(7.2.2-4)计算:

$$N = \frac{L}{l} \dots\dots\dots (7.2.2-4)$$

式中:

$N$ ——串联段数;

$l$ ——每段隔板流程长度(cm);

其余符号含义同前。

#### 4 膜对数可按式(7.2.2-5)、式(7.2.2-6)计算:

$$n = n' \times N \dots\dots\dots (7.2.2-5)$$



$$n' = \frac{278 \times Q_d}{V \times d \times B} \dots\dots\dots (7.2.2-6)$$

式中：

$n$ ——总膜对数；

$n'$ ——每段膜对数；

$B$ ——隔板流水道宽度(cm)；

其余符号含义同前。

## 5 级数计算应符合下列规定：

1) 并联运行时级数可按式(7.2.2-7)、式(7.2.2-8)计算：

$$M = M' \times N \dots\dots\dots (7.2.2-7)$$

$$M' = \frac{n'}{n_j} \dots\dots\dots (7.2.2-8)$$

式中：

$M$ ——总级数；

$M'$ ——每段中的级数；

$n_j$ ——每级中的膜对数；

其余符号含义同前。

2) 串联运行时级数可按式(7.2.2-9)、式(7.2.2-10)计算：

$$M = \frac{\lg(1 - \sum m)}{\lg(1 - \sum d)} \dots\dots\dots (7.2.2-9)$$

$$\sum d = \frac{C_{dj} - C_{de}}{C_{dj}} \dots\dots\dots (7.2.2-10)$$

式中：

$\sum m$ —— $M$ 级(段)的总除盐率,以小数计；

$\sum d$ ——每段的除盐率,以小数计；

其余符号含义同前。

## 6 除盐量可按式(7.2.2-11)计算：

$$\Delta G = 1\,000 \times Q_d \times (C_{dj} - C_{de}) \dots\dots\dots (7.2.2-11)$$

式中：

$\Delta G$ ——除盐量(mmole/h)；

其余符号含义同前。

## 7 淡水室水流速度可按式(7.2.2-12)计算：

$$V = \frac{278 \times Q_d}{n' \times d \times B} \dots\dots\dots (7.2.2-12)$$

式中符号含义同前。

## 8 压降可按式(7.2.2-13)、式(7.2.2-14)计算：

$$\Delta P = a \times V^b \times 10^{-1} \dots\dots\dots (7.2.2-13)$$

$$\sum \Delta P = \sum a \times V^b \times 10^{-1} \dots\dots\dots (7.2.2-14)$$

式中：

$\Delta P$ ——每段(或隔板)综合压力降(MPa)；

$a、b$ ——系数,由制造厂提供；

$\sum \Delta P$ ——总压力降(MPa),不大于 0.3,否则要设法降低  $V$  值；

其余符号含义同前。

9 电流可按式(7.2.2-15)计算：

$$I = S \times i \times 10^{-3} \dots\dots\dots (7.2.2-15)$$

式中：

$I$ ——电流(A)；

$S$ ——离子交换膜的有效面积( $\text{cm}^2$ )；

$i$ ——工作电流密度( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )，一段采用平均电流密度,可按表 7.2.2-1 的规定确定。

表 7.2.2-1 含盐量—电流密度对照

进水含盐量/(mg/L)	35 000~5 000	5 000~2 000	2 000~500	500 以下
电流密度/( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	25~10	10~3	3~1	1~0.2

10 电压可按式(7.2.2-16)计算：

$$U = U_j + U_m \dots\dots\dots (7.2.2-16)$$

式中：

$U$ ——一级的总电压降(V)；

$U_j$ ——极区电压降(V)；

$U_m$ ——膜对电压降(V),在极限电流条件下运行时,可按表 7.2.2-2 的规定确定。

表 7.2.2-2 膜对电压降

用途	进水含盐量/(mg/L)	每对不同隔板厚度的电压/V	
		0.5 mm~1.0 mm	1.0 mm~2.0 mm
苦咸水淡化	4 000~2 000	0.3~0.6	0.6~1.2
	2 000~500	0.4~0.8	0.8~1.6
水的深度除盐	500~100	0.6~1.2	1.2~2.0

11 电耗可按式(7.2.2-17)、式(7.2.2-18)计算：

$$W = \frac{U \times I}{Q_d \times \eta} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (7.2.2-17)$$

$$W' = \frac{U \times I}{Q_d} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (7.2.2-18)$$

式中：

$W$ ——电渗析器本体电耗( $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 淡水)；

$W'$ ——电渗析器直流电耗(kW·h/m<sup>3</sup>淡水);

$\eta$ ——整流器效率,以小数计,可取 0.85~0.95;

其余符号含义同前。

**12** 电流效率可按式(7.2.2-19)或式(7.2.2-20)计算:

$$\eta = \frac{100 \times (C_{dj} - C_{de}) \times F \times V \times d}{i \times L} \dots\dots\dots (7.2.2-19)$$

$$\eta = \frac{2680 \times (C_{dj} - C_{de}) \times Q}{n \times I} \dots\dots\dots (7.2.2-20)$$

式中:

$\eta$ ——电流效率(%);

其余符号含义同前。

### 7.3 反渗透除盐工艺计算

**7.3.1** 所需膜元件数量可按式(7.2.3-1)、式(7.2.3-2)计算:

$$N_E = \frac{1\,000 \times Q_P}{J_P \times S_E} \dots\dots\dots (7.3.1-1)$$

$$J_P = \frac{1\,000 \times Q'_P}{S_E} \dots\dots\dots (7.3.1-2)$$

式中:

$N_E$ ——膜元件数量;

$Q_P$ ——反渗透总设计产水量(m<sup>3</sup>/h);

$J_P$ ——膜平均产水通量[L/(m<sup>2</sup>·h)],根据厂商数据选取;

$Q'_P$ ——膜元件设计产水量(m<sup>3</sup>/h);

$S_E$ ——膜元件的膜面积(m<sup>2</sup>)。

**7.3.2** 所需的膜组件数可按下式计算:

$$N_{PV} = \frac{N_E}{N_{EPV}} \dots\dots\dots (7.3.2-1)$$

式中:

$N_{PV}$ ——圆整到整数的膜组件的数量;

$N_{EPV}$ ——每支膜组件可安装的元件数量。

其余符号含义同前。

对于大型系统,可选用 6~7 芯装的膜组件,目前世界上最长的膜组件为 8 芯装,对于小型或紧凑型的系统,选择较短的膜组件。

**7.3.3** 反渗透水回收率的计算应符合下列规定:

**1** 水回收率可按式(7.3.3-1)或式(7.3.3-2)计算:

$$R = \frac{Q_p}{Q_f} \times 100 \dots\dots\dots (7.3.3-1)$$

$$R = \frac{Q_p}{Q_p + Q_c} \times 100 \dots\dots\dots (7.3.3-2)$$

式中：

$R$ ——水回收率(%)；

$Q_p$ ——产水流量( $m^3/h$ )；

$Q_f$ ——进水流量( $m^3/h$ )；

$Q_c$ ——浓水流量( $m^3/h$ )。

**2 两级反渗透总的水回收率计算应符合下列规定：**

1) 当第二级反渗透浓水不回用时，水回收率可按式(7.3.3-3)计算：

$$R = R_1 \times R_2 \times 100 \dots\dots\dots (7.3.3-3)$$

式中：

$R$ ——两级反渗透总的水回收率(%)；

$R_1$ ——第一级反渗透水回收率，以小数计；

$R_2$ ——第二级反渗透水回收率，以小数计。

2) 当第二级反渗透浓水回用时，水回收率可按式(7.3.3-4)计算：

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{1 - R_1 \times (1 - R_2)} \times 100 \dots\dots\dots (7.3.3-4)$$

式中符号含义同前。

**7.3.4 段数的确定应符合下列规定：**

在设计普通地表水及地下水除盐系统时，膜系统的段数可按表 7.3.4-1 的规定确定。

**表 7.3.4-1 苦咸水淡化膜系统的段数**

系统回收率/%	串联元件的数量	6 元件装膜组件的段数
40~60	6	1
70~80	12	2
85~90	18	3

注：如果采用浓水循环方式，单段式系统也可以设计成较高的回收率。

在设计海水淡化系统时，其回收率应该比普通水系统的回收率低，膜系统的段数取决于系统回收率，此时膜系统的段数可按表 7.3.4-2 的规定确定。

**表 7.3.4-2 海水淡化膜系统的段数**

系统回收率/%	串联元件的数量	膜组件的段数		
		6 芯	7 芯	8 芯
35~40	6~7	1	1	—
45	7~12	2	1	1
50	8~14	2	2	1
55~60	12~14	2	2	—

注：1. 海水淡化膜系统的回收率应根据进水水质、预处理工艺、膜元件特性、工程投资等因素确定，宜控制在 35%~55%。

2. 海水淡化膜系统应优先采用一级一段设计。

7.3.5 相邻段膜组件排列比,可参阅膜制造商资料,或按表 7.3.5 的规定确定。

表 7.3.5 二段苦咸水反渗透系统相邻段膜组件排列比

系统回收率/%	含 6 元件膜组件的段数	各段膜组件排列比
70~80	2	2:1
85~90	2	3:1

7.3.6 反渗透系统性能预测计算应符合下列规定:

1 盐通量可按式(7.3.6-1)计算:

$$J_s = 1\,000 \times B \times (C_{fc} - C_p) \dots\dots\dots (7.3.6-1)$$

式中:

$J_s$ ——盐的通量[ $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ];

$B$ ——盐的透过系数( $\text{m}/\text{h}$ );

$C_{fc}$ ——膜元件进水和浓水侧膜面平均含盐量( $\text{mg}/\text{L}$ );

$C_p$ ——膜元件产水侧含盐量( $\text{mg}/\text{L}$ )。

2 流量因子  $FF$  表示由于膜发生污堵后或者膜性能变差后纯水透过系数下降的比值,其值可根据反渗透膜供应商资料或按表 7.3.6-1 的规定选取。

表 7.3.6-1 流量因子的选择

进水水质	流量因子 $FF$
地下水	0.85
地表水	0.80~0.85
受污染地表水	0.70~0.80
二级达标排放废水	0.70
一级反渗透产水	0.90
一级海水反渗透	0.70

3 反渗透系统进水压力的预测计算应符合下列规定:

1) 反渗透系统的进水压力可按式(7.3.6-2)、式(7.3.6-3)计算:

$$P_f = NDP + \frac{\Delta P_{fc}}{2} + P_p + \Delta\pi \dots\dots\dots (7.3.6-2)$$

$$NDP = \frac{J_p}{A \times FF} \dots\dots\dots (7.3.6-3)$$

式中:

$P_f$ ——进水侧压力( $\text{MPa}$ );

$NDP$ ——净驱动压( $\text{MPa}$ );

$\Delta P_{fc}$ ——膜进水和浓水的压差( $\text{MPa}$ );

$P_p$ ——产水侧压力( $\text{MPa}$ );

$\Delta\pi$ ——溶液的净渗透压(MPa)；

$A$ ——膜的纯水透过系数[L/(m<sup>2</sup>·h·MPa)]；

$FF$ ——流量因子；

其余符号含义同前。

2) 不同膜元件的纯水透过系数差距较大,可以咨询反渗透膜供应商。通常情况下标准苦咸水膜的纯水透过系数可按式(7.3.6-4)估算:

$$A = \bar{A} \times TCF \dots\dots\dots (7.3.6-4)$$

式中:

$\bar{A}$ ——平均膜水力渗透系数[L/(m<sup>2</sup>·h·MPa)]；

$TCF$ ——温度校正系数；

其余符号含义同前。

其中,平均膜水力渗透系数是纯水透过系数在 25℃ 情况下的数值,其他温度下的数值可由温度校正系数校正后求得。典型反渗透膜的平均膜水力渗透系数取值范围可按表 7.3.6-2 的规定选择。

**表 7.3.6-2 平均膜水力渗透系数取值**

膜元件材料	膜元件类型	平均膜水力渗透系数
螺旋卷式聚酰胺复合膜元件	苦咸水系列,标准型	36.8~49.9
	苦咸水系列,低压型	68.3~92.5
	海水膜系列,高脱盐低能耗标准型	22.9~30.9
	海水膜系列,高脱盐型	12.1~16.4
	海水膜系列,低能耗型	30.2~40.8
螺旋卷式醋酸纤维素膜元件	苦咸水系列,标准型	18.4~25.0

3) 温度校正系数可按式(7.3.6-5)计算:

$$TCF = e^{26.10 \times \left( \frac{1}{273.15+25} - \frac{1}{273.15+T} \right)} \dots\dots\dots (7.3.6-5)$$

式中:

$T$ ——工作温度(℃)；

其余符号含义同前。

4) 膜进水浓水侧平均含盐量可按式(7.3.6-6)计算:

$$C_{fc} = C_f \times \frac{\ln\left(\frac{1}{1-R}\right)}{R} \dots\dots\dots (7.3.6-6)$$

式中:

$C_{fc}$ ——膜元件进水和浓水侧膜面平均含盐量(mg/L)；

$C_f$ ——膜元件给水侧含盐量(mg/L)；

$R$ ——水回收率,以小数计。

5) 渗透压可按式(7.3.6-7)、式(7.3.6-8)计算:

$$\pi_{fc} = \frac{0.003\ 85}{14.5} \times C_{fc} \times \frac{273.15 + T}{1\ 000 - \frac{C_{fc}}{1\ 000}} \dots\dots\dots (7.3.6-7)$$

$$\pi_p = \frac{0.003\ 85}{14.5} \times C_p \times \frac{273.15 + T}{1\ 000 - \frac{C_p}{1\ 000}} \dots\dots\dots (7.3.6-8)$$

式中:

$\pi_{fc}$ ——进水浓水侧平均渗透压(MPa);

$\pi_p$ ——产水浓水侧平均渗透压(MPa);

其余符号含义同前。

$\pi_p$ 的计算需要膜产水侧含盐量,需要由以下反渗透产水水质的预测得到。粗略估算时,可以近似假设  $C_p$  为 0。

净渗透压差可按式(7.3.6-9)计算:

$$\Delta\pi = \pi_{fc} - \pi_p \dots\dots\dots (7.3.6-9)$$

式中:

$\Delta\pi$ ——净渗透压差(MPa);

其余符号含义同前。

6) 压降计算应符合下列规定:

单段膜系统进水和浓水间压降可按式(7.3.6-10)、式(7.3.6-11)计算:

$$\Delta P_{fc} = 0.000\ 857 \times n \times \bar{q}_{fc}^{1.7} \dots\dots\dots (7.3.6-10)$$

$$q_{fc} = \frac{Q_f + Q_c}{2 \times N} \dots\dots\dots (7.3.6-11)$$

式中:

$\Delta P_{fc}$ ——单段膜系统进水和浓水间压降(MPa);

$n$ ——单段膜系统的膜组件中串联的膜元件数量;

$N$ ——单段膜系统的膜组件数量;

$q_{fc}$ ——单个膜组件内膜面进水浓水侧平均流量( $m^3/h$ );

$Q_f$ ——进水流量( $m^3/h$ );

$Q_c$ ——浓水流量( $m^3/h$ )。

多段系统的压差由各段的压差相加得到。

4 反渗透系统产水水质的预测应符合下列规定:

反渗透的产水水质可按式(7.3.6-12)或式(7.3.6-13)计算:

$$C_p = \frac{J_s}{J_p} \dots\dots\dots (7.3.6-12)$$

$$C_p = 1\ 000 \times B \times \frac{(C_{fc} - C_p)}{J_p} \dots\dots\dots (7.3.6-13)$$

因  $C_{fc} \gg C_p$ , 反渗透的产水水质可近似按式(7.3.6-14)、式(7.3.6-15)计算:

$$C_p \approx 1\,000 \times B \times \frac{C_{fc}}{J_p} \dots\dots\dots (7.3.6-14)$$

$$B = \bar{B} \times TCF \dots\dots\dots (7.3.6-15)$$

式中：

$C_p$ ——膜元件产水侧含盐量(mg/L)；

$J_p$ ——水的通量[L/(m<sup>2</sup>·h)]；

$B$ ——盐的透过系数(m/h)；

$C_{fc}$ ——膜元件进水和浓水侧膜面平均盐浓度(mg/L)；

$\bar{B}$ ——平均盐透过系数(m/h),是在 25℃ 的情况下的盐透过系数数值,典型反渗透膜的平均盐透过系数可按表 7.3.6-3 的规定确定；

$TCF$ ——温度校正系数；

其余符号含义同前。

表 7.3.6-3 平均盐透过系数取值

膜元件材料	膜元件类型	平均盐透过系数
螺旋卷式聚酰胺复合膜元件	苦咸水系列,标准型	$(4.0 \sim 5.4) \times 10^{-4}$
	苦咸水系列,低压型	$(6.0 \sim 8.1) \times 10^{-4}$
	海水膜系列,高脱盐低能耗标准型	$(2.0 \sim 2.7) \times 10^{-4}$
螺旋卷式聚酰胺复合膜元件	海水膜系列,高脱盐型	$(1.4 \sim 1.9) \times 10^{-4}$
	海水膜系列,低能耗型	$(2.4 \sim 3.2) \times 10^{-4}$
螺旋卷式醋酸纤维素膜元件	苦咸水系列,标准型	$(8.0 \sim 10.8) \times 10^{-4}$

注：平均盐透过系数都是考虑到膜长期使用后的数据,因此膜初期投运时的数值要高于此数据。

5 反渗透系统脱盐率可按式(7.3.6-16)、式(7.3.6-17)计算：

$$SP = \frac{C_p}{C_f} \times 100 \dots\dots\dots (7.3.6-16)$$

$$R_{ej} = 100 - SP \dots\dots\dots (7.3.6-17)$$

式中：

$SP$ ——反渗透系统透盐率(%)；

$R_{ej}$ ——反渗透系统脱盐率(%)；

其余符号含义同前。

### 7.3.7 反渗透系统常用化学药剂及建议用量应符合下列规定：

1 脱氯处理时,根据理论计算,1.34 mg 的亚硫酸氢钠(SBS)可以脱除 1.0 mg 的余氯(以 Cl<sub>2</sub> 计),但是在工程实践中,每脱除 1.0 mg 的余氯需要加入约 3.0 mg 左右的亚硫酸氢钠(SBS)。

亚硫酸氢钠加药量可按式(7.3.7-1)计算：

$$Q_s = \frac{Q_f \times C_{s2}}{\rho_{s1} \times C_{s1}} \dots\dots\dots (7.3.7-1)$$



式中:

$Q_s$ ——反渗透系统进水亚硫酸氢钠加药泵流量(L/h);

$Q_f$ ——反渗透系统进水流量( $m^3/h$ );

$C_{s1}$ ——亚硫酸氢钠原液质量百分比浓度,以小数计;

$\rho_{s1}$ ——亚硫酸氢钠原液密度( $kg/m^3$ );

$C_{s2}$ ——反渗透系统亚硫酸氢钠设计加药浓度(mg/L)。

2 加酸除垢时,可按式(7.3.7-2)、式(7.3.7-3)判断:

$$LSI = pH_c - pH_s \dots\dots\dots (7.3.7-2)$$

$$S\&DSI = pH_c - pH_s \dots\dots\dots (7.3.7-3)$$

式中:

$LSI$ ——朗格利尔饱和指数,用于苦咸水( $TDS \leq 10\,000\text{ mg/L}$ );

$S\&DSI$ ——斯蒂夫和大卫饱和指数,用于海水( $TDS > 10\,000\text{ mg/L}$ );

$pH_s$ ——水中碳酸钙饱和时的 pH;

$pH_c$ ——实际水溶液的浓水的 pH。

当  $LSI \geq 0$  或  $S\&DSI \geq 0$  时,就会出现碳酸钙结垢。

控制  $CaCO_3$  结垢的条件为:

$LSI < 0$ ,不需要投加阻垢剂;

$LSI \leq 1.8 \sim 2.0$ ,单独投加阻垢剂或完全采用化学软化;

$LSI > 1.8 \sim 2.0$ ,加酸至  $LSI$  达  $1.8 \sim 2.0$ ,然后再投加阻垢剂;或完全采用化学软化预处理。

3 阻垢剂加药量可按式(7.3.7-4)计算:

$$Y_i = \frac{Q_f \times \alpha_i}{\rho_i} \dots\dots\dots (7.3.7-4)$$

式中:

$Y_i$ ——反渗透系统阻垢剂加药泵流量(L/h);

$Q_f$ ——反渗透系统进水流量( $m^3/h$ );

$\rho_i$ ——稀释后阻垢剂溶液密度( $kg/m^3$ );

$\alpha_i$ ——反渗透系统阻垢剂设计加药浓度(mg/L)。

4 非氧化性杀菌剂加药量可按式(7.3.7-5)计算:

$$Y_D = \frac{Q_f \times \alpha_D}{\rho_D} \dots\dots\dots (7.3.7-5)$$

式中:

$Y_D$ ——反渗透系统杀菌消毒剂加药泵流量(L/h);

$Q_f$ ——反渗透系统进水流量( $m^3/h$ );

$\rho_D$ ——杀菌消毒剂溶液密度( $kg/m^3$ ),目前常用的 20% 浓度 DBNPA 杀菌剂的密度为  $1\,240\text{ kg/m}^3 \sim 1\,270\text{ kg/m}^3$ ;

$\alpha_D$ ——反渗透系统杀菌消毒剂设计加药浓度(mg/L),目前常用 DBNPA 杀菌剂商品浓度为 20%。

### 7.3.8 反渗透化学清洗装置计算应符合下列规定：

#### 1 反渗透化学清洗水箱容积可按式(7.3.8-1)至式(7.3.8-3)计算：

$$V_{\text{CIP}} = K \times (V_{\text{PV}} + V_{\text{P}}) \dots\dots\dots (7.3.8-1)$$

$$V_{\text{PV}} = \frac{N'_{\text{PV}} \times L_{\text{PV}}}{1\,000} \dots\dots\dots (7.3.8-2)$$

$$V_{\text{P}} = \pi \times r^2 \times L_{\text{P}} \dots\dots\dots (7.3.8-3)$$

式中：

$V_{\text{CIP}}$ ——化学清洗水箱容积( $\text{m}^3$ )；

$V_{\text{PV}}$ ——每组反渗透模块中膜组件的容积( $\text{m}^3$ )；

$V_{\text{P}}$ ——化学清洗管道回路管道容积( $\text{m}^3$ )；

$K$ ——裕量系数,通常可取 1.2；

$N'_{\text{PV}}$ ——每组反渗透模块中膜组件数量；

$L_{\text{PV}}$ ——单支膜组件容积(L),根据厂家资料选取；

$r$ ——清洗回路管道半径(m)；

$L_{\text{P}}$ ——清洗回路管道长度(m)。

#### 2 反渗透清洗泵流量可按式(7.3.8-4)计算：

$$Q_{\text{CIP}} = N''_{\text{PV}} \times q_{\text{c}} \dots\dots\dots (7.3.8-4)$$

式中：

$Q_{\text{CIP}}$ ——清洗水泵流量( $\text{m}^3/\text{h}$ )；

$N''_{\text{PV}}$ ——每组反渗透模块中第一段的膜组件数量；

$q_{\text{c}}$ ——单支膜组件清洗流量( $\text{m}^3/\text{h}$ ),根据厂家资料选取。

#### 3 反渗透清洗水泵出口计算压力可按式(7.3.8-5)计算：

$$P_{\text{CIP}} = \Delta P_{\text{PV}} + \Delta P_{\text{P}} \dots\dots\dots (7.3.8-5)$$

式中：

$P_{\text{CIP}}$ ——清洗水泵出口计算压力(MPa)；

$\Delta P_{\text{PV}}$ ——膜组件清洗压降(MPa),根据厂家资料选取；

$\Delta P_{\text{P}}$ ——化学清洗管路损失(MPa)。

## 7.4 电除盐(EDI)工艺计算

### 7.4.1 所需 EDI 膜组件数量可按式(7.4.1)计算：

$$N_{\text{E}} = \frac{Q_{\text{d}}}{Q_{\text{m}}} \dots\dots\dots (7.4.1)$$

式中：

$N_{\text{E}}$ ——EDI 膜组件数量；

$Q_{\text{d}}$ ——EDI 系统产水流量( $\text{m}^3/\text{h}$ )；

$Q_{\text{m}}$ ——单支膜组件产水流量设计值( $\text{m}^3/\text{h}$ )。

### 7.4.2 EDI 回收率可按式(7.4.2-1)、式(7.4.2-2)计算：

$$R = \frac{Q_d}{Q_f} \times 100\% \dots\dots\dots (7.4.2-1)$$

$$Q_f = Q_d + Q_c + Q_e \dots\dots\dots (7.4.2-2)$$

式中:

$R$ ——回收率(%);

$Q_f$ ——进水流量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_d$ ——淡水流量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_c$ ——浓水流量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_e$ ——极水流量( $\text{m}^3/\text{h}$ )。

EDI 系统的回收率可取 90%~95%,有时为了提高回收率,可以将浓水返回到前置预处理进行回收。

**7.4.3** 浓水循环时,在没有向浓水回路投加盐水的情况下,浓水电导率可按式(7.4.3)估算:

$$\text{Cond}_c = \frac{\text{Cond}_f}{1-R} \dots\dots\dots (7.4.3)$$

式中:

$\text{Cond}_c$ ——EDI 系统浓水回路计算电导率( $\mu\text{S}/\text{cm}$ );

$\text{Cond}_f$ ——EDI 系统进水电导率( $\mu\text{S}/\text{cm}$ );

其余符号含义同前。

**7.4.4** 浓水回路中需投放盐水时,饱和盐水投加量可按式(7.4.4)估算:

$$Q_s = \frac{\text{Cond}'_c \times (Q_c + Q_e) - \text{Cond}_f \times Q_f}{\text{Cond}_s} \dots\dots\dots (7.4.4)$$

式中:

$Q_s$ ——饱和盐水投加量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$\text{Cond}'_c$ ——EDI 系统浓水回路所需电导率( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ),根据制造商资料选取;

$\text{Cond}_s$ ——饱和盐水的电导率( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ),在 25℃温度下,饱和盐水的电导率通常为  $6.96 \times 10^5 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。

**7.4.5** 浓水流量和极水流量的确定应符合下列规定:

浓水流量可按式(7.4.5)计算:

$$Q_c = Q_d \times \frac{1-R}{R} - Q_e \dots\dots\dots (7.4.5)$$

式中符号含义同前。

极水流量可以根据 EDI 厂家推荐的范围设定。

**7.4.6** 电极电解气体量应符合下列规定:

1 电极产生的氢气和氧气的量可按式(7.4.6-1)、式(7.4.6-2)计算:

$$n = \frac{I}{Z \times F} \dots\dots\dots (7.4.6-1)$$

$$Q = 22.4 \times n \dots\dots\dots (7.4.6-2)$$

式中:

$n$ ——气体摩尔产量( $\text{mol}/\text{s}$ );

$I$ ——电流(A);

$Z$ ——计量系数,对氢气和氯气, $Z$ 为2;对氧气, $Z$ 为4;

$Q$ ——气体体积产量(L/s);

22.4——理想气体摩尔体积(L/mol);

$F$ ——法拉第常数(C/mol),取96 485.3。

2 根据法拉第定律,氢气和氧气的混合气体(体积比为2:1)以大约0.174 mL/(A·s)的速度产生。

3 电极产生的氯气的量取决于进水中氯离子含量,以及浓水中氯离子的含量。通常情况下,在浓水电导率400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 下,在极水中含有1 mg/L~3 mg/L的氯气。

7.4.7 整流器的工作电流和吨水耗电量的计算应符合下列规定:

1 根据法拉第定律,工作直流电流可按式(7.4.7-1)估算:

$$I = \frac{F \times Q_d \times \Delta N}{3.6 \times \eta \times N_{cp}} \dots\dots\dots (7.4.7-1)$$

式中:

$I$ ——工作直流电流(A);

$Q_d$ ——淡水流量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$\Delta N$ ——淡水室进水和出水当量浓度差(mol/L);

$\eta$ ——电流效率,以小数计;

$N_{cp}$ ——EDI膜组件离子膜对数量;

其余符号含义同前。

2 EDI耗电量可按式(7.4.7-2)计算:

$$E = \frac{V_{DC} \times I}{1\,000 \times e \times Q_d} \dots\dots\dots (7.4.7-2)$$

式中:

$E$ ——EDI系统吨水耗电量[ $(\text{kW}\cdot\text{h})/\text{m}^3$ ];

$V_{DC}$ ——EDI系统工作直流电压(V);

$I$ ——EDI系统工作直流电流(A);

$Q_d$ ——EDI系统产水流量设计值( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$e$ ——整流器效率,以小数计,可取0.85~0.95。

## 8 过滤设备工艺计算

### 8.1 计算一般规定

**8.1.1** 过滤设备的出力应根据后续设备进水量的要求确定。如过滤设备清洗采用其出水,则设备出力还应考虑清洗水量。

**8.1.2** 过滤器应根据设备的最大出力要求、运行流速要求等条件,算出设备的直径和台数。如有多台设备,还需核算在有 1 台设备维修情况下,剩余设备能否满足正常出力需求。

**8.1.3** 超滤设备应根据设备的最大出力要求、所选膜在设计条件下的膜通量等条件,算出所需膜总面积和膜组件只数。确定超滤设备出力时,还应考虑膜运行一段时间后的衰减系数。正常情况下,超滤装置的套数不应少于 2 套,且其中 1 套超滤装置化学清洗时,其余设备能满足后续系统水量需求。

### 8.2 压力式机械过滤器工艺计算

**8.2.1** 过滤器台数和直径计算应符合下列规定:

1 过滤器出力可按式(8.2.1-1)计算:

$$Q = Q_1 + \frac{V \times n}{24} \dots\dots\dots (8.2.1-1)$$

式中:

$Q$ ——过滤器总的出力( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_1$ ——后续设备进水量要求( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$V$ ——每台过滤器每次冲洗耗水量( $\text{m}^3$ ),可按本标准 8.2.5 条至 8.2.7 条的规定确定,当不用过滤器出水冲洗时,此项为 0;

$n$ ——全部过滤器每昼夜反洗总次数,可按本标准 8.2.3 条的规定确定。

2 过滤器计算总截面积可按式(8.2.1-2)计算:

$$F = \frac{Q}{W} \dots\dots\dots (8.2.1-2)$$

式中:

$F$ ——过滤器计算总截面积( $\text{m}^2$ );

$W$ ——过滤器正常运行流速( $\text{m}/\text{h}$ ),可按表 8.2.1-1 或表 8.2.1-2 的规定确定;

其余符号含义同前。

**表 8.2.1-1 活性炭过滤器滤速**

功能	滤速/( $\text{m}/\text{h}$ )	装填高度/ $\text{m}$	系统连接位置
吸附有机物	5~10	$\geq 2.0$	滤池与阳床或滤池与反渗透之间
	5~15		脱碳器与阴床之间
吸附游离余氯	$\leq 20$	$\geq 1.5$	—

表 8.2.1-2 过滤器滤速

过滤器类型		滤速/(m/h)	
		混凝澄清过滤	接触混凝过滤
细砂过滤		6~8	—
单层滤料	单流	8~10	6~10
	双流	15~18	
双层滤料		10~14	6~10
三层滤料		18~20	6~10
纤维过滤		20~40	—

3 过滤器计算台数可按式(8.2.1-3)计算:

$$n = \frac{F}{0.785 \times d^2} \dots\dots\dots (8.2.1-3)$$

式中:

$n$ ——过滤器计算台数;

$d$ ——所选过滤器直径(m);

其余符号含义同前。

4 校核实际运行流速可按式(8.2.1-4)计算:

$$W_1 = \frac{Q}{f \times n_1} \dots\dots\dots (8.2.1-4)$$

式中:

$W_1$ ——过滤器实际运行流速(m/h),不应大于规定的正常运行流速;

$f$ ——所选每台过滤器截面积(m<sup>2</sup>);

$n_1$ ——实际选用台数;

其余符号含义同前。

5 校核实际强制运行流速  $W'_1$  应符合下列规定:

当有 1 台设备检修时,其他过滤器实际强制运行流速可按式(8.2.1-5)计算:

$$W'_1 = \frac{Q}{f \times (n_1 - 1)} \dots\dots\dots (8.2.1-5)$$

式中:

$W'_1$ ——过滤器强制运行流速(m/h),不应大于规定的设备最大运行流速;

其余符号含义同前。

## 8.2.2 过滤器连续运行时间估算应符合下列规定:

1 滤料截污能力的确定应符合下列规定:

- 1) 当原水不加药剂处理和不通过沉降池时,滤料截污能力取值应符合下列规定:滤料用石英砂或大理石,单流取 0.75 kg/m<sup>3</sup>,双流取 1.87 kg/m<sup>3</sup>;滤料用无烟煤,单流取 1.0 kg/m<sup>3</sup>,双流取 2.5 kg/m<sup>3</sup>。
- 2) 当原水经石灰或凝聚处理并通过沉降池时,滤料截污能力取值应符合下列规定:滤料用石

英砂或大理石,单流取 1.25 kg/m<sup>3</sup>,双流取 3.15 kg/m<sup>3</sup>;滤料用无烟煤,单流取 1.5 kg/m<sup>3</sup>,双流取 3.75 kg/m<sup>3</sup>;滤料用纤维束,取 5 kg/m<sup>3</sup>。

3) 当用活性炭作过滤器滤料使用时,其截污能力可按本标准 8.2.2 条第 1 项第 2 款中无烟煤滤料的截污能力进行估算;当用活性炭作吸附剂(除去有机物降低化学耗氧量和除去活性余氯)使用时,其吸附容量应由试验确定。

4) 地下水除铁用锰砂的截污能力可按 0.8 kg/m<sup>3</sup>~1.2 kg/m<sup>3</sup> 估算。

2 每台过滤器运行时间可按式(8.2.2)估算:

$$t = \frac{1\,000 \times E_j \times V \times n_1}{g \times Q_0} \dots\dots\dots (8.2.2)$$

式中:

$t$ ——过滤器运行时间(h);

$E_j$ ——滤料截污能力(kg/m<sup>3</sup>);

$V$ ——每台过滤器过滤层体积(m<sup>3</sup>);

$n_1$ ——运行台数;

$g$ ——进出过滤器水中悬浮物含量之差(mg/L);

$Q_0$ ——单台过滤器的正常出力(m<sup>3</sup>/h)。

8.2.3 每台过滤器每昼夜反冲洗次数可按式(8.2.3)估算:

$$n_r = \frac{Q_0 \times g \times 24}{n_1 \times E_j \times V \times 1\,000} \dots\dots\dots (8.2.3)$$

式中:

$n_r$ ——每台过滤器每天反冲洗次数;

其余符号含义同前。

8.2.4 每台过滤器每次吹洗用压缩空气量可按式(8.2.4)计算:

$$L = 60 \times q_1 \times t_1 \times f \times 10^{-3} \dots\dots\dots (8.2.4)$$

式中:

$L$ ——每次吹洗用压缩空气量(m<sup>3</sup>);

$q_1$ ——压缩空气吹洗强度[L/(m<sup>2</sup>·s)],可按本标准附录 L 的规定取值,双流过滤器空气吹洗强度应增加 20%;

$t_1$ ——压缩空气吹洗时间(min),可按本标准附录 L 的规定取值;

$f$ ——过滤器横截面积(m<sup>2</sup>)。

8.2.5 每台过滤器每次反冲洗用水量可按式(8.2.5)计算:

$$V_1 = 60 \times q_2 \times t_2 \times f \times 10^{-3} \dots\dots\dots (8.2.5)$$

式中:

$V_1$ ——每次反冲洗用水量(m<sup>3</sup>);

$q_2$ ——反冲洗强度[L/(m<sup>2</sup>·s)],可按本标准附录 L 的规定取值,双流过滤器反冲洗强度应增加 20%;

$t_2$ ——水反冲洗时间(min),可按本标准附录 L 的规定取值,双流过滤器反冲洗时间应增加 1 倍;

其余符号含义同前。

反冲洗水压头应大于 0.15 MPa。

**8.2.6** 每台过滤器每次正冲洗耗水量可按式(8.2.6)计算:

$$V_2 = \frac{W_1 \times t_3 \times f}{60} \dots\dots\dots (8.2.6)$$

式中:

$V_2$ ——每次正洗用水量( $m^3$ );

$W_1$ ——正洗速度( $m/h$ ),单流可取 3,双流可取 6;

$t_3$ ——正洗时间( $min$ ),可取 5~10;

其余符号含义同前。

**8.2.7** 每台过滤器冲洗总耗水量可按式(8.2.7)计算:

$$V = V_1 + V_2 \dots\dots\dots (8.2.7)$$

式中:

$V$ ——过滤器每次冲洗总耗水量( $m^3$ );

其余符号含义同前。

### 8.3 超滤设备工艺计算

**8.3.1** 超滤实际运行时间计算应符合下列规定:

1 超滤每天反洗次数可按式(8.3.1-1)计算:

$$N = \frac{60 \times 24}{t_1 + t_2} \dots\dots\dots (8.3.1-1)$$

式中:

$N$ ——超滤每天反洗次数;

$t_1$ ——超滤反洗间隔时间( $min$ ),根据水质及厂家要求选取,估算时地表水可取 25~35,地下水及自来水可取 40~60;

$t_2$ ——超滤每次反洗总耗时( $min$ ),可取 2~3。

2 超滤每天实际运行时间可按式(8.3.1-2)计算:

$$t = 60 \times 24 - N \times t_2 \dots\dots\dots (8.3.1-2)$$

式中:

$t$ ——超滤每天运行时间( $min$ );

其余符号含义同前。

**8.3.2** 超滤净出力可按式(8.3.1-3)计算:

$$D = \frac{60 \times 24 \times Q}{t} \dots\dots\dots (8.3.2-1)$$

式中:

$D$ ——超滤净出力( $m^3/h$ ),不含反洗用水;

$Q$ ——后续设备需要进水量( $m^3/h$ );

其余符号含义同前。



### 8.3.3 超滤装置规模的计算应符合下列规定：

1 超滤实际操作膜通量可按式(8.3.3-1)、式(8.3.3-2)计算：

$$J_g = k_w \times k_t \times J \quad \dots\dots\dots (8.3.3-1)$$

$$k_t = (1 + 0.0215)^{T-25} \quad \dots\dots\dots (8.3.3-2)$$

式中：

$J_g$ ——超滤实际工作膜通量[L/(m<sup>2</sup>·h)]；

$J$ ——超滤膜在设计水质下,25℃时的标称通量[L/(m<sup>2</sup>·h)],根据厂家资料选取；

$k_w$ ——稳定系数,即超滤膜运行一段时间后的稳定通量与超滤膜标称通量的比值,与进水水质有关,通常可取0.8；

$k_t$ ——温度校正系数,即超滤膜在操作温度下的通量与基准温度(25℃)下通量的比值,应根据厂家资料选取或按式(8.3.3-2)计算；

$T$ ——超滤实际工作温度(℃)。

2 超滤所需膜面积的可按式(8.3.3-3)或式(8.3.3-4)计算：

$$F = \frac{1\,000 \times (D + Q_1)}{J_g} \quad \dots\dots\dots (8.3.3-3)$$

$$F = \frac{1\,000 \times t \times D}{J_g \times t - q \times N \times t_3} \quad \dots\dots\dots (8.3.3-4)$$

式中：

$F$ ——超滤膜总面积(m<sup>2</sup>),其中式(8.3.3-4)仅适用于超滤反洗采用自产水的情况；

$Q_1$ ——超滤折算反洗耗水量(m<sup>3</sup>/h),可按式(8.3.3-5)计算,如反洗不采用超滤产水,则取0；

$q$ ——超滤反洗通量[L/(m<sup>2</sup>·h)],可根据厂家资料选取,估算时PVDF膜可取100~150,PE/PES膜可取150~250；

$t_3$ ——每次反洗时间(min),根据厂家资料选取,通常可取1~2；

其余符号含义同前。

3 超滤折算反洗耗水量可按式(8.3.3-5)计算：

$$Q_1 = \frac{F \times q \times N \times t_3}{1\,000 \times t} \quad \dots\dots\dots (8.3.3-5)$$

式中符号含义同前。

4 超滤膜组件只数可按式(8.3.3-6)计算：

$$n = \frac{F}{f} \quad \dots\dots\dots (8.3.3-6)$$

式中：

$n$ ——超滤膜组件只数；

$f$ ——单只膜组件膜面积(m<sup>2</sup>)；

其余符号含义同前。

5 超滤模块数量可按式(8.3.3-7)计算：

$$M = \frac{n_1}{n_2} \quad \dots\dots\dots (8.3.3-7)$$

式中:

$M$ ——超滤模块数;

$n_1$ ——膜组件实际选用数量;

$n_2$ ——每个模块包含膜组件数量。

#### 8.3.4 超滤配套系统计算应符合下列规定:

##### 1 超滤给水泵的计算应符合下列规定:

1) 超滤给水泵流量计算,按每组超滤模块配套 1 台考虑,可按式(8.3.4-1)、式(8.3.4-2)计算:

$$Q_g = \frac{100 \times (D + Q'_1)}{M \times \eta} \dots\dots\dots (8.3.4-1)$$

$$\eta = \frac{Q_c}{Q_i} \times 100 \dots\dots\dots (8.3.4-2)$$

式中:

$Q_g$ ——给水泵计算流量( $m^3/h$ );

$\eta$ ——超滤错流运行回收率(%),如超滤采用死端(全流)过滤,则  $\eta = 100$ ;

$Q'_1$ ——超滤实际折算反洗水量( $m^3/h$ ),可按式(8.3.4-4)计算,如反洗不采用超滤产水,则取 0;

$Q_c$ ——超滤出水量( $m^3/h$ );

$Q_i$ ——超滤进水量( $m^3/h$ );

其余符号含义同前。

2) 超滤给水泵出口计算压力可按式(8.3.4-3)计算:

$$P_g = TMP + \Delta P + P_c \dots\dots\dots (8.3.4-3)$$

式中:

$P_g$ ——给水泵出口计算压力(MPa);

$TMP$ ——超滤运行跨膜压差(MPa);

$\Delta P$ ——进口管路损失(MPa),包括超滤进口过滤设备;

$P_c$ ——超滤出口需要余压(MPa)。

通常情况下,超滤膜跨膜压差在 0.15 MPa~0.2 MPa 左右,考虑管路损失,超滤给水泵扬程可取 25 m~30 m。

##### 2 超滤反洗水泵的计算应符合下列规定:

1) 超滤实际折算反洗水耗量可按式(8.3.4-4)计算:

$$Q'_1 = \frac{n_1 \times f \times q \times N \times t_3}{1\,000 \times t} \dots\dots\dots (8.3.4-4)$$

式中:

$Q'_1$ ——超滤实际折算反洗水量( $m^3/h$ );

$n_1$ ——膜组件实际选用数量;

$f$ ——单只膜组件膜面积( $m^2$ );

其余符号含义同前。

2) 超滤反洗水泵流量按每组模块交替反洗考虑,可按式(8.3.4-5)计算:

$$Q_f = \frac{n_2 \times f \times q}{1\,000} \dots\dots\dots (8.3.4-5)$$

式中:

$Q_f$ ——反洗水泵计算流量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

其余符号含义同前。

3) 超滤反洗水泵出口计算压力可按式(8.3.4-6)计算:

$$P_r = TMP' + \Delta P' \dots\dots\dots (8.3.4-6)$$

式中:

$P_r$ ——反洗水泵出口计算压力(MPa);

$TMP'$ ——超滤反洗跨膜压差(MPa),可近似取 0.1;

$\Delta P'$ ——反洗管路损失(MPa)。

通常情况下,超滤反洗水泵扬程可取 20 m~25 m。

### 8.3.5 超滤系统常用化学药剂及建议用量应符合下列规定:

1 在超滤进水中加氯或非氧化性杀菌剂的加药量可按式(8.3.5-1)计算:

$$q_1 = \frac{Q_g \times C_2}{\rho \times C_1} \dots\dots\dots (8.3.5-1)$$

式中:

$q_1$ ——超滤进水加药泵流量(L/h);

$C_1$ ——药品原液质量百分比浓度,以小数计;

$\rho$ ——药品原液密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$C_2$ ——进水要求加药浓度(mg/L),进水中加氯浓度,按产水保持 0.5 mg/L~1.0 mg/L 余氯浓度控制,可取 1.0~3.0;非氧化性杀菌剂浓度按药品厂商要求;

其余符号含义同前。

2 化学加强反洗加药量可按式(8.3.5-2)计算:

$$q_2 = \frac{Q_f \times C_2}{\rho \times C_1} \dots\dots\dots (8.3.5-2)$$

式中:

$q_2$ ——超滤反洗加药泵流量(L/h);

$C_1$ ——药品原液质量百分比浓度,以小数计;

$\rho$ ——药品原液密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$C_2$ ——反洗水要求加药浓度(mg/L),按超滤厂商要求;

其余符号含义同前。

### 8.3.6 超滤化学清洗装置计算应符合下列规定:

1 超滤化学清洗水箱容积可按式(8.3.6-1)至式(8.3.6-3)计算:

$$V_{\text{CIP}} = K \times (V_m + V_p) \dots\dots\dots (8.3.6-1)$$

$$V_m = \frac{n_2 \times l_m}{1\,000} \dots\dots\dots (8.3.6-2)$$

$$V_P = \pi \times r^2 \times L_P \dots\dots\dots (8.3.6-3)$$

式中:

$V_{CIP}$ ——化学清洗水箱容积( $m^3$ );

$V_m$ ——单台超滤模块中膜组件水容积( $m^3$ );

$V_p$ ——化学清洗管道回路管道容积( $m^3$ );

$K$ ——裕量系数,通常可取 1.2;

$l_m$ ——单支超滤膜组件水容积(L),根据厂家资料选取;

$r$ ——清洗回路管道半径(m);

$L_p$ ——清洗回路管道长度(m);

其余符号含义同前。

**2** 超滤清洗泵流量可按式(8.3.6-4)计算:

$$Q_{CIP} = n_2 \times q_3 \dots\dots\dots (8.3.6-4)$$

式中:

$Q_{CIP}$ ——清洗水泵流量( $m^3/h$ );

$q_3$ ——单支超滤膜组件清洗流量( $m^3/h$ ),根据厂家资料选取;

其余符号含义同前。

**3** 超滤清洗水泵出口压力可按式(8.3.6-5)计算:

$$P_{CIP} = TMP'' + \Delta P'' \dots\dots\dots (8.3.6-5)$$

式中:

$P_{CIP}$ ——清洗水泵出口计算压力(MPa);

$TMP''$ ——超滤清洗跨膜压差(MPa),通常可近似取 0.1;

$\Delta P''$ ——化学清洗管路损失(MPa)。

通常情况下,超滤清洗水泵扬程可取 20 m~25 m。

## 9 石灰预处理设计计算

### 9.1 石灰软化处理

石灰软化处理既降低了原水碱度、除去  $\text{CO}_2$  和碳酸盐硬度,又除去部分铁和硅的化合物及有机物。石灰软化处理主要用来除去水中的碳酸盐硬度和碱度,故适用于碳酸盐硬度较高、非碳酸盐硬度较低且不要求深度软化或必须降低原水碱度的场合。

由于石灰乳浆配置系统复杂,劳动强度大,卫生条件差,管道易堵塞,所以仅适用于大中型或化工工艺(如纯碱厂)有现成石灰乳可用的并有显著经济效益的场合,其余场合以弱酸树脂脱碳系统为宜。

#### 9.1.1 石灰加药量计算应符合下列规定:

当  $H_{\text{Ca}} \geq H_z$  时,可按式(9.1.1-1)计算:

$$\text{CaO} = 28 \times (H_z + \text{CO}_2 + \text{Fe} + K + a) \quad \dots\dots\dots (9.1.1-1)$$

当  $H_{\text{Ca}} < H_z$  时,可按式(9.1.1-2)计算:

$$\text{CaO} = 28 \times (2H_z - H_{\text{Ca}} + \text{CO}_2 + \text{Fe} + K + a) \quad \dots\dots\dots (9.1.1-2)$$

式中:

$\text{CaO}$ ——石灰加药量( $\text{g}/\text{m}^3$ );

28—— $\text{CaO}$  基本单元的摩尔质量( $\text{mg}/\text{mmol}$ );

$H_z$ ——原水中碳酸盐硬度( $\text{mmol}/\text{L}$ );

$H_{\text{Ca}}$ ——原水中的钙硬度( $\text{mmol}/\text{L}$ );

$\text{CO}_2$ ——原水中的游离  $\text{CO}_2$  含量( $\text{mmol}/\text{L}$ );

$\text{Fe}$ ——原水中的铁含量( $\text{mmol}/\text{L}$ );

$K$ ——混凝剂的投加量( $\text{mmol}/\text{L}$ ),可取 0.1~0.5,当耗氧量大于 20  $\text{mg}/\text{L}$  时, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  的有效剂量允许大于 0.5;

$a$ —— $\text{Ca}(\text{OH})_2$  过剩量( $\text{mmol}/\text{L}$ ),可取 0.2~0.4。

#### 9.1.2 石灰处理后的水质计算应符合下列规定:

1 经石灰处理后的水中 $[\text{OH}^-]$ 为 0.1  $\text{mmol}/\text{L}$ ~0.2  $\text{mmol}/\text{L}$ ,碳酸盐硬度  $H_z$  为 0.5  $\text{mmol}/\text{L}$ ~1.0  $\text{mmol}/\text{L}$ ,残余碱度  $A_c$  为 0.8  $\text{mmol}/\text{L}$ ~1.2  $\text{mmol}/\text{L}$ ,有机物可去除 25%左右,硅化物可去除 30%~35%,铁含量为 0.1  $\text{mg}/\text{L}$ 。

2 经石灰处理后的水中总残余硬度可按式(9.1.2-1)计算:

$$H_0 = H_Y + H_{\text{ZC}} + K \quad \dots\dots\dots (9.1.2-1)$$

式中:

$H_0$ ——石灰处理后的残余硬度( $\text{mmol}/\text{L}$ );

$H_Y$ ——原水中非碳酸盐硬度( $\text{mmol}/\text{L}$ );

$H_{ZC}$ ——原水中残余碳酸盐硬度(mmol/L),可取 0.5~1.0;

$K$ ——凝聚剂的投加量(mmol/L),可取 0.1~0.5。

3 石灰处理后水中残留的溶解固体近似值计算应符合下列规定:

当  $H_{Ca} \geq H_Z$  时,可按式(9.1.2-2)计算:

$$g_C = g_Y - 50(H_Z - H_{ZC}) + 8\Delta H_{Mg} + 37a + 48K - 3.5Q_r \dots\dots\dots (9.1.2-2)$$

当  $H_{Ca} < H_Z$  时,可按式(9.1.2-3)计算:

$$g_C = g_Y - 50(H_{Ca} - H_{ZC}) - 42(H_Z - H_{Ca}) + 8\Delta H_{Mg} + 37a + 48K - 3.5Q_r \dots\dots\dots (9.1.2-3)$$

式中:

$g_C$ ——石灰处理后水中残留的溶解固体(mg/L);

$g_Y$ ——原水中的溶解固体(mg/L);

50—— $CaCO_3$  基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

42—— $MgCO_3$  基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

37—— $Ca(OH)_2$  基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

8—— $CaCO_3$  与  $MgCO_3$  基本单元的摩尔质量之差(mg/mmol);

$\Delta H_{Mg}$ ——石灰处理中镁的去除量(mmol/L),可按本标准公式(9.1.2-4)计算;

$O_r$ ——石灰处理中耗氧量降低值(mg/L),有机物降低值可为原水中的 25%左右;

其余符号含义同前。

4 经石灰处理后,水中镁含量的降低值可按式(9.1.2-4)计算:

$$\Delta H_{Mg} = H_{Mg} - H_{gC} \dots\dots\dots (9.1.2-4)$$

式中:

$H_{Mg}$ ——原水中的镁硬度(mmol/L);

$M_{gC}$ ——石灰处理后水中残留的镁硬度(mmol/L),可按本标准公式(9.1.2-5)计算;

其余符号含义同前。

5 在氢氧碱度运行条件下,石灰处理后水中残留的镁硬度  $M_{gC}$ 可按式(9.1.2-5)计算:

$$M_{gC} = \frac{2K_{SMg(OH)_2}}{f_Z \times (14 - pH)} \times 10^5 \dots\dots\dots (9.1.2-5)$$

式中:

$K_{SMg(OH)_2}$ ——氢氧化镁的溶度积,当 25 °C 时,为  $5 \times 10^{-12}$ ;

$f_Z$ ——水中离子的活动系数,当水中阳离子(或阴离子)总量为 1.1 mmol/L 时, $f_Z = 0.92$ ;总量为 5.8 mmol/L 时, $f_Z = 0.74$ ;

pH——处理后水的 pH;在氢氧碱度条件下, $[OH^-]$ 维持(0.2~0.4)mmol/L 时,pH = 9.6~10.4;

其余符号含义同前。

## 9.2 石灰凝聚镁剂除硅处理

由于石灰处理可为混凝过程提供最适宜的 pH,同时也给镁剂  $MgO$  水解提供了有利条件,所以当原水中胶体硅含量高时,石灰往往与凝聚剂( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ )和镁剂( $MgO$ )一起加入到澄清池中,

可以提高综合处理效果。

**9.2.1** 石灰的有效剂量在运行中予以调整。粗略的石灰加药量可按式(9.2.1)计算:

$$CaO = 28 \times (H_z + H_{Mg} + CO_2 + Fe + K + a) \dots\dots\dots (9.2.1)$$

式中:

$CaO$ ——石灰加药量( $g/m^3$ );

28—— $CaO$ 基本单元的摩尔质量( $mg/mmol$ );

$H_z$ ——原水中碳酸盐硬度( $mmol/L$ );

$H_{Mg}$ ——原水中的镁硬度( $mmol/L$ );

$CO_2$ ——原水中的游离  $CO_2$  含量( $mmol/L$ );

$Fe$ ——原水中的铁含量( $mmol/L$ );

$K$ ——混凝剂的投加量( $mmol/L$ ),可取 0.1~0.5,当耗氧量大于 20 $mg/L$  时, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  的有效剂量允许大于 0.5;

$a$ —— $Ca(OH)_2$  过剩量( $mmol/L$ ),可取 0.2~0.4。

**9.2.2** 镁剂投加量计算应符合下列规定:

1 每立方米水中 100%氧化镁的投加量可按式(9.2.2-1)计算:

$$MgO = P_{MgO} \times [SiO_3^{2-}] \dots\dots\dots (9.2.2-1)$$

式中:

$MgO$ ——氧化镁加药量( $g/m^3$ );

$P_{MgO}$ ——氧化镁的单位剂量( $mg/mg$ ),即除去 1  $mg SiO_3^{2-}$  所需  $MgO$  的质量,可取 10~15;

$[SiO_3^{2-}]$ ——被处理水中  $SiO_3^{2-}$  的含量( $mg/L$ )。

2 菱苦土和白云灰的投加量计算应符合下列规定:

1) 用菱苦土和石灰处理时,菱苦土投加量可按式(9.2.2-2)计算:

$$M_L = (P_{MgO} \times [SiO_3^{2-}] - H_{Mg} \times 20.15) \times \frac{1}{C} \dots\dots\dots (9.2.2-2)$$

式中:

$M_L$ ——菱苦土加药量( $g/m^3$ );

$C$ ——菱苦土中  $MgO$  的纯度,以小数计;

20.15—— $MgO$  基本单元的摩尔质量( $mg/mmol$ );

其余符号含义同前。

石灰用量可按本标准式(9.2.1)计算。

2) 采用白云灰和石灰处理时,白云灰投加量可按式(9.2.2-3)计算:

$$M_B = (P_{MgO} \times [SiO_3^{2-}] - H_{Mg} \times 20.15) \times \frac{1}{C'} \dots\dots\dots (9.2.2-3)$$

式中:

$M_B$ ——白云灰加药量( $g/m^3$ );

$C'$ ——白云灰中  $MgO$  的纯度,以小数计;

其余符号含义同前。

这时,石灰用量可按式(9.2.2-4)计算:

$$CaO = 28 \times (H_Z + H_{Mg} + CO_2 + Fe + k + a) - M_B \times C_{CaO} \dots\dots\dots (9.2.2-4)$$

式中:

$C_{CaO}$ ——白云灰中 CaO 的纯度,以小数计;

其余符号含义同前。

3) 采用白云灰与菱苦土同时处理时,其加药量可按式(9.2.2-5)、式(9.2.2-6)计算:

$$M_B = \frac{28}{C_{CaO}} \times (H_Z + H_{Mg} + CO_2 + Fe + K + a) \dots\dots\dots (9.2.2-5)$$

$$M_L = (P_{MgO} \times [SiO_3^{2-}] - H_{Mg} \times 20.15 - M_B \times C') \times \frac{1}{C} \dots\dots\dots (9.2.2-6)$$

式中符号含义同前。

### 9.2.3 混凝剂投加量

混凝剂的有效剂量应通过试验确定。 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  的有效剂量可取 0.2 mmol/L~0.5 mmol/L。当水中耗氧量大于 20 mg/L 时,菱苦土的剂量大于 350 mg/L, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  加药量允许大于 0.5 mmol/L。

### 9.2.4 石灰凝聚镁剂除硅后的水质应符合下列规定:

$H_Z$  残留量为 0.7 mmol/L~1.0 mmol/L;

$SiO_3^{2-}$  残留量为 1 mg/L~1.5 mg/L;

Fe 残留量小于 0.1 mg/L;

有机物可以除掉 60%~80%;

悬浮物小于 20 mg/L,一般为 10 mg/L 以下;

出水 pH≈10~10.3。

注:经过量石灰凝聚过滤处理后的水质应符合本标准第 4.5.2 条的规定。

## 9.3 添加其他药剂石灰处理

### 9.3.1 石灰苏打软化法应符合下列规定:

适用水质为总硬度大于总碱度。处理后水质的残余总硬度为 0.3 mmol/L~0.4 mmol/L。

石灰加药量可按本标准式(9.2.1)计算。

苏打加药量可按式(9.3.1)计算:

$$Na_2CO_3 = 53 \times (H_Y + K + \beta) \dots\dots\dots (9.3.1)$$

式中:

$Na_2CO_3$ ——苏打加药量(g/m<sup>3</sup>);

53—— $Na_2CO_3$  基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

$H_Y$ ——原水中非碳酸盐硬度(mmol/L);

$K$ ——凝聚剂加药量(mmol/L),可取 0.1~0.5;

$\beta$ —— $CO_3^{2-}$  的过剩量(mmol/L),可取 1.0~1.4。



### 9.3.2 石灰苏打磷酸三钠软化法应符合下列规定：

适用水质为总硬度大于总碱度，石灰苏打软化水的残余总硬度为 0.3 mmol/L~0.4 mmol/L，需进一步软化的情况。

石灰加药量可按本标准式(9.2.1)计算。

苏打加药量可按本标准式(9.3.1)计算。

磷酸三钠加药量可按式(9.3.2)计算：

$$Na_3PO_4 = 54.67 \times (H_C + 0.18) \dots\dots\dots (9.3.2)$$

式中：

$Na_3PO_4$ ——磷酸三钠加药量(g/m<sup>3</sup>)；

54.67—— $Na_3PO_4$  基本单元的摩尔质量(mg/mmol)；

$H_C$ —— $Na_3PO_4$  处理前水残余硬度(mmol/L)；

0.18—— $Na_3PO_4$  的过剩量(mmol/L)。

### 9.3.3 石灰苛性钠软化法应符合下列规定：

适用水质为  $2H_Z + CO_2 > H_{Ca} + K + \beta$ 。原水中含有过多的  $CO_3^{2-}$ ，用石灰除去碱度。

石灰加药量可按式(9.3.3-1)计算：

$$CaO = 28 \times (H_Z + H_{Mg} + CO_2 - H_Y - A_C + Fe + a) \dots\dots\dots (9.3.3-1)$$

苛性钠加药量可按式(9.3.3-2)计算：

$$NaOH = 40 \times (H_Y + K + A_C) \dots\dots\dots (9.3.3-2)$$

式中：

$CaO$ ——CaO 加药量(g/m<sup>3</sup>)；

$NaOH$ ——NaOH 加药量(g/m<sup>3</sup>)；

28——CaO 基本单元的摩尔质量(mg/mmol)；

$H_Z$ ——原水中碳酸盐硬度(mmol/L)；

$H_{Mg}$ ——原水中镁硬度(mmol/L)；

$CO_2$ ——原水中游离  $CO_2$  含量(mmol/L)；

$H_Y$ ——原水中非碳酸盐硬度(mmol/L)；

$A_C$ ——NaOH 的过剩碱度(mmol/L)，可取 0.2~0.4；

$Fe$ ——原水中铁含量(mmol/L)；

$a$ ——石灰的过剩加药量(mmol/L)，可取 0.2~0.4；

40——苛性钠基本单元的摩尔质量(mg/mmol)；

$K$ ——凝聚剂加药量(mmol/L)，可取 0.1~0.5。

### 9.3.4 石灰石膏或石灰氯化钙软化法应符合下列规定：

适用水质为  $A - H_0 > 2$  mmol/L 的负硬水。

石灰加药量可按式(9.3.4-1)计算：

$$CaO = 28 \times (A + H_{Mg} + CO_2 + Fe + K + a) \dots\dots\dots (9.3.4-1)$$

石膏加药量可按式(9.3.4-2)计算：

$$CaSO_4 = 68.07 \times (A - H_Z - \beta) \dots\dots\dots (9.3.4-2)$$

氯化钙加药量可按式(9.3.4-3)计算:

$$CaCl_2 = 55.5 \times (A - H_z - \beta) \dots\dots\dots (9.3.4-4)$$

式中:

$CaSO_4$ ——石膏加药量(mmol/L);

$CaCl_2$ ——氯化钙加药量(mmol/L);

$A$ ——原水的总碱度(mmol/L);

68.07—— $CaSO_4$  基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

$\beta$ —— $CO_3^{2-}$  的过剩量(mmol/L),可取 1.0~1.4;

55.5—— $CaCl_2$  基本单元的摩尔质量(mg/mmol);

其余符号含义同前。

为便于计算石灰和各种药剂的实际体积投加量,需要上述药品的纯度、浓度和密度数据,可按本标准附录 M、N 的规定取值。

## 10 储存和计量设备计算

### 10.1 储存设备容量计算

#### 10.1.1 石灰储存计算应符合下列规定:

##### 1 需要石灰库的有效容积可按式(10.1.1-1) 计算:

$$V = \frac{M \times G}{r} \dots\dots\dots (10.1.1-1)$$

式中:

$V$ ——石灰库有效容积( $\text{m}^3$ );

$M$ ——储存天数( $\text{d}$ ),正常情况下可取大于 15;

$G$ ——每天工业石灰消耗量( $\text{t/d}$ );

$r$ ——石灰的堆积密度( $\text{t/m}^3$ ),可取 0.8~1.0;

##### 2 需要石灰库的有效面积可按式(10.1.1-2) 计算:

$$F \geq \frac{V}{H} \dots\dots\dots (10.1.1-2)$$

式中:

$F$ ——石灰库有效面积( $\text{m}^2$ );

$H$ ——石灰堆积高度( $\text{m}$ ),可取 1.5~2.0;

其余符号含义同前。

##### 3 每昼夜石灰乳消耗量可按式(10.1.1-3) 计算:

$$V_1 = \frac{G \times \epsilon}{C \times r} \dots\dots\dots (10.1.1-3)$$

式中:

$V_1$ ——每昼夜石灰乳消耗量( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$G$ ——每昼夜工业石灰消耗量( $\text{t/d}$ );

$\epsilon$ ——工业石灰含  $\text{CaO}$  量,以小数计,可取 0.5~0.6;

$C$ ——石灰乳浓度,以小数计,可取 0.05;

$r$ ——在  $C$  浓度下石灰乳的密度( $\text{t/m}^3$ ),5%浓度石灰乳的密度可取 1.04。

##### 4 石灰乳搅拌箱的容积可按式(10.1.1-4) 计算:

$$V_2 = \frac{V_1}{M_s} \dots\dots\dots (10.1.1-4)$$

式中:

$V_2$ ——石灰乳搅拌箱容积( $\text{m}^3$ );

$M_s$ ——每昼夜搅拌箱装料次数,可取 2~3;

其余符号含义同前。

#### 10.1.2 凝聚剂储存计算应符合下列规定：

1 每昼夜所需工业凝聚剂量可按式(10.1.2-1)计算：

$$G = \frac{24 \times Q \times P}{1\,000 \times \epsilon} \dots\dots\dots (10.1.2-1)$$

式中：

$G$ ——每昼夜所需工业凝聚剂量(kg/d)；

$Q$ ——原水处理量( $\text{m}^3/\text{h}$ )；

$P$ ——凝聚剂( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )加入量(mg/L)，可取 14~70；

$\epsilon$ —— $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  纯度，以小数计。

2 凝聚剂溶液箱所需容积通常按一昼夜消耗量考虑，其容积可按式(10.1.2-2) 计算：

$$V_3 = \frac{K \times G \times \epsilon}{1\,000 \times C_1 \times r_1} \dots\dots\dots (10.1.2-2)$$

式中：

$V_3$ ——凝聚剂溶液箱容积( $\text{m}^3$ )；

$K$ ——容积系数，可取 1.3；

$C_1$ ——凝聚剂溶液浓度，以小数计，可取 0.05~0.07；

$r_1$ ——在  $C_1$  浓度下凝聚剂溶液的密度( $\text{t}/\text{m}^3$ )，可取 1.05；

其余符号含义同前。

### 10.2 再生剂计量箱容量计算

#### 10.2.1 再生剂计量箱容量可按式(10.2.1) 计算：

$$V = \frac{K \times G}{1\,000 \times C \times r} \dots\dots\dots (10.2.1)$$

式中：

$V$ ——再生剂计量箱容量( $\text{m}^3$ )；

$K$ ——容积系数，可取 1.3；

$G$ ——再生耗量最大的一台交换器再生剂用量(kg)，按 100%纯度计；

$C$ ——计量箱中再生剂浓度，以小数计；

$r$ ——再生剂溶液的密度( $\text{t}/\text{m}^3$ )，可按本标准附录 G、H、J、K 查取。

### 10.3 常用水箱容量选择

#### 10.3.1 原水箱的有效容积，宜为 1 h~2 h 原水的消耗量。

#### 10.3.2 中间水箱的有效容积应符合下列规定：

- 1 单元制化学除盐系统，宜为 2 min~5 min 产水量，且不小于  $2 \text{ m}^3$ 。
- 2 并联化学除盐系统，宜为 15 min~30 min 产水量。
- 3 软化系统宜为 30 min 产水量。
- 4 规模较小的化学水处理站，可按 1 h 产水量设计，且不小于  $2 \text{ m}^3$ 。

**10.3.3** 软化水(除盐)水箱的有效容积可按下列数值中的最大一项确定：

- 1 满足 2 h~3 h 的正常对外供水量。
- 2 正常 1 h 外供水量与出力最大的一台离子交换器再生时所需产水量之和。
- 3 当工艺装置有特殊要求时,可适当加大水箱容积。

**10.3.4** 反洗水箱的有效容积,可按最大的一台设备反洗用水量的 1.5 倍考虑。

## 11 给水加药和锅内加药计算

### 11.1 给水(补给水)加药处理计算

#### 11.1.1 加氨处理计算应符合下列要求:

1 为了防止氢钠并联系统或除盐系统出口到用户之间输水管道的腐蚀,同时也是维持炉内 pH 的需要,可往软化水或脱盐水中加氨以提高其 pH。加氨量可按式(11.1.1-1)估算:

$$G_A = K \times Q \dots\dots\dots (11.1.1-1)$$

式中:

$G_A$ ——100%纯度氨消耗量(g/h);

$K$ ——单位体积加氨量(g/m<sup>3</sup>),取 1~2(软水时取高值,脱盐水取低值);

$Q$ ——通过输水管道的水量(m<sup>3</sup>/h)。

2 为防止蒸汽冷凝液中的 CO<sub>2</sub> 对管道或设备的腐蚀,当补给水采用石灰-钠或氨-钠系统时,向给水系统中加入氨量可按式(11.1.1-2)估算:

$$G_A = 0.386 \times CO_2 \times Q \dots\dots\dots (11.1.1-2)$$

式中:

CO<sub>2</sub>——补给水中 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 或 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 在锅炉内分解出 CO<sub>2</sub> 量(mg/L),其中补给水中 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 在大气式除氧器中分解出 CO<sub>2</sub> 量略去不计,Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 在锅炉中转化率按本标准表 4.5.3-2 选取;其余符号含义同前。

3 加入管道或水箱内的氨溶液体积可按式(11.1.1-3)计算:

$$V_A = \frac{0.1 \times G_A}{C \times r} \dots\dots\dots (11.1.1-3)$$

式中:

$V_A$ ——加入氨溶液体积(m<sup>3</sup>/h);

$C$ ——计量箱中氨溶液浓度(%),可取 0.5~5;

$r$ ——在  $C$  浓度下氨溶液的密度(kg/m<sup>3</sup>),可按本标准附录 P 选取;

其余符号含义同前。

#### 11.1.2 加联氨处理计算应符合下列规定:

1 高压锅炉给水除氧后加入的联氨量,可按每升热力除氧后给水需 100%纯度的联氨 0.1 mg 估算。通常采用 40%N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 的加入量,可按式(11.1.2-1)计算:

$$G_L = \frac{0.1 \times Q}{0.4 \times 0.64} \dots\dots\dots (11.1.2-1)$$

式中:

$G_L$ ——以 40%N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 计需加入联氨量(g/h);

$Q$ ——给水量(m<sup>3</sup>/h)。

2 加入管道或水箱中稀浓度的联氨量可按式(11.1.2-2)计算:

$$V_L = \frac{0.1 \times G_L}{C_1 \times r_1} \dots\dots\dots (11.1.2-2)$$

式中:

$V_L$ ——稀浓度的联氨量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$C_1$ ——计量箱中联氨溶液浓度(%),可取 0.1~3;

$r_1$ ——在  $C_1$  浓度下联氨溶液的密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

其余符号含义同前。

## 11.2 锅内加磷酸三钠补充性处理计算

一般对供汽轮机用汽或压力大于 1.6 MPa 的锅炉,应在炉内加磷酸三钠进行补充性处理。

11.2.1 锅炉启动加磷酸三钠量可按式(11.2.1-1)计算:

$$G = \frac{V \times I + 31.7 \times H \times V}{250 \times \epsilon} \dots\dots\dots (11.2.1-1)$$

式中:

$G$ ——锅炉启动加磷酸三钠量( $\text{kg}$ );

$V$ ——锅炉水系统的容积( $\text{m}^3$ );

$I$ ——锅炉水中应维持的磷酸根量( $\text{mg}/\text{L}$ ),应按 GB/T 1576 或 GB/T 12145 的规定选取;

$H$ ——给水的硬度( $\text{mmol}/\text{L}$ );

$\epsilon$ —— $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  的纯度,以小数计,可取 0.92~0.98。

11.2.2 锅炉运行时加磷酸三钠量可按式(11.2.2-1)计算:

$$G' = \frac{31.7 \times H \times D + D' \times I}{250 \times \epsilon} \dots\dots\dots (11.2.2-1)$$

式中:

$G'$ ——锅炉运行时加磷酸三钠量( $\text{kg}/\text{h}$ );

$I$ ——锅炉水中应维持的磷酸根量( $\text{mg}/\text{L}$ ),应按 GB/T 1576 或 GB/T 12145 的规定选取;

$\epsilon$ —— $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  的纯度,以小数计,可取 0.92~0.98;

$D$ ——锅炉给水量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$D'$ ——锅炉排污量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

其余符号含义同前。

11.2.3 锅炉运行时向汽包内加入稀  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  溶液量可按式(11.2.3-1)计算:

$$V_1 = \frac{100 \times G'}{C \times r} \dots\dots\dots (11.2.3-1)$$

式中:

$V_1$ ——加入稀  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  溶液量( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$C$ —— $\text{Na}_3\text{PO}_4$  溶液浓度(%),可取 1~5;

$r$ ——在  $C$  浓度下  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  的密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),可按本标准附录 N 选取;

其余符号含义同前。

## 附录 A 水质全分析报告样表

取样日期：        年        月        日

分析日期： 年 月 日

水样编号:

水样编号:

表 A 水质分析项目表

分析项目		数值 mg/L	数值 mmol/L	分析项目	数值 mg/L	数值 mmol/L
阳离子	Na <sup>+</sup>			全固体		—
	K <sup>+</sup>			溶解性固体		—
	Ca <sup>2+</sup>			悬浮性固体		—
	Mg <sup>2+</sup>			电导率 (25℃,μS/cm)		—
	Fe <sup>2+</sup>					
	Fe <sup>3+</sup>			总硬度		
	Al <sup>3+</sup>			碳酸盐硬度		
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			非碳酸盐硬度		
	—			酚酞碱度(P)		
	Σ					
阴离子	Cl <sup>-</sup>			甲基橙碱度(M)		
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			总碱度		
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			pH		
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>			游离二氧化碳		
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			全硅(SiO <sub>2</sub> )		
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>			活性硅(SiO <sub>2</sub> )		
	OH <sup>-</sup>			COD <sub>Mn</sub>		
	—			浊度(NTU)		
	Σ			灼烧减量		

注:1.当采用反渗透处理系统时,还应化验水中  $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$  离子含量。

2. 当水源位于高氟、高锰地区时应化验水中  $F^-$ 、 $Mn^{2+}$  离子含量。

3.表中分析项目可根据工程情况酌情增减。



## 附录 B 常用物质的基本单元及其摩尔质量

表 B 常用物质的基本单元及其摩尔质量

名称	基本单元	摩尔质量 mg/mmol
铝离子	$\frac{1}{3} \text{Al}^{3+}$	8.99
氢氧化铝	$\frac{1}{3} \text{Al}(\text{OH})_3$	25.99
硫酸铝	$\frac{1}{6} \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	57.02
十八水合硫酸铝	$\frac{1}{6} [\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}]$	111.05
钙离子	$\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+}$	20.04
氯化钙	$\frac{1}{2} \text{CaCl}_2$	55.50
碳酸钙	$\frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	50.05
重碳酸钙	$\frac{1}{2} \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	81.06
氧化钙	$\frac{1}{2} \text{CaO}$	28.04
氢氧化钙	$\frac{1}{2} \text{Ca}(\text{OH})_2$	37.05
磷酸钙	$\frac{1}{6} \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	51.72
硫酸钙	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4$	68.07
氯离子	$\text{Cl}^-$	35.45
二氧化碳	$\frac{1}{2} \text{CO}_2$	22.00
碳酸根	$\frac{1}{2} \text{CO}_3^{2-}$	30.01
铁离子	$\frac{1}{3} \text{Fe}^{3+}$	18.62
氯化亚铁	$\frac{1}{2} \text{FeCl}_2$	63.48
氯化铁	$\frac{1}{3} \text{FeCl}_3$	54.07
氢氧化铁	$\frac{1}{3} \text{Fe}(\text{OH})_3$	35.62

表 B 常用物质的基本单元及其摩尔质量(续)

名称	基本单元	摩尔质量 mg/mmol
硫酸亚铁	$\frac{1}{2}\text{FeSO}_4$	75.95
七水合硫酸亚铁	$\frac{1}{2}(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$	138.99
硫酸铁	$\frac{1}{6}\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	66.66
盐酸	HCl	36.46
重碳酸根	$\text{HCO}_3^-$	61.02
硫酸	$\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$	49.04
钾离子	$\text{K}^+$	39.10
氢氧化钾	KOH	56.11
镁离子	$\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}$	12.15
氯化镁	$\frac{1}{2}\text{MgCl}_2$	47.61
碳酸镁	$\frac{1}{2}\text{MgCO}_3$	42.16
重碳酸镁	$\frac{1}{2}\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	73.17
氢氧化镁	$\frac{1}{2}\text{Mg}(\text{OH})_2$	29.16
硫酸镁	$\frac{1}{2}\text{MgSO}_4$	60.18
钠离子	$\text{Na}^+$	23.00
氯化钠	NaCl	58.45
碳酸钠	$\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3$	53.00
含水碳酸钠	$\frac{1}{2}(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$	143.10
碳酸氢钠	$\text{NaHCO}_3$	84.01
一水合磷酸二氢钠	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	138.00
十二水合磷酸氢二钠	$\frac{1}{2}(\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$	179.10
氢氧化钠	NaOH	40.00
十二水合磷酸三钠	$\frac{1}{3}(\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$	126.75

表 B 常用物质的基本单元及其摩尔质量(续)

名称	基本单元	摩尔质量 mg/mmol
磷酸三钠	$\frac{1}{3}\text{Na}_3\text{PO}_4$	54.67
亚硫酸钠	$\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{SO}_3$	63.02
七水合亚硫酸钠	$\frac{1}{2}(\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$	126.09
硫酸钠	$\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{SO}_4$	71.02
氧离子	$\frac{1}{2}\text{O}^{2-}$	8.00
氢氧根	$\text{OH}^-$	17.01
磷酸根	$\frac{1}{3}\text{PO}_4^{3-}$	31.68
硅离子	$\frac{1}{2}\text{Si}^{4+}$	7.02
二氧化硅	$\frac{1}{2}\text{SiO}_2$	30.04
三氧化硅	$\frac{1}{2}\text{SiO}_3^{2-}$	38.04
亚硫酸根	$\frac{1}{2}\text{SO}_3^{2-}$	40.03
硫酸根	$\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}$	48.03

注：表中常用物质按其化学分子式首字母排序。

附录 C 顺流再生离子交换器设计参考数据

表 C 顺流再生离子交换器设计参考数据

设备名称		强酸阳离子交换器		强碱阴离子交换器	混合离子交换器			钠离子交换器		二级钠离子交换器		弱酸阳离子交换器	弱碱阴离子交换器
运行	流速/(m/h)	20~30		20~30	40~60			树脂	磺化煤	树脂	磺化煤	20~30	20~30
	流速/(m/h)	15		6~10	10			15	15	15	10~15	15	5~8
再生	时间/min	15		15	15			15		15		15	15~30
	药剂	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	NaOH	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaOH	NaCl		NaCl		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl
	耗量/(g/mol)	100~150	70~80	100~120	100~150	200~250	200~250	100~120	100~200	400		60	40~50
	浓度/%	—	2~4	2~3	5	1~2	4	5~8		5~8		1	2~2.5
置换	流速/(m/h)	—	4~6	4~6	5	5~6	5	4~6		4~6		>10	4~5
	时间/min	25~30		20~40	—			—		—		20~40	40~60
正洗	水量 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> 树脂	5~6		10~12	—			3~6		—		2~2.5	2.5~5
	流速/(m/h)	12		10~15	20~30			15~20		20~30		15~20	15~20
	时间/min	30		60	—			30	60	50		10~20	25~30
工作交换容量 mol/m <sup>3</sup> 树脂		500~650	800~1 000	250~300	500~550	400~450	200~250	900~1 000		250~300		1 800~2 300	800~1 200
备注		—		再生时间不 少于 30 min	正洗前空气混合,空气压力: 0.98×10 <sup>5</sup> kPa~1.47×10 <sup>5</sup> kPa 空气量: 2 Nm <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> ·min)~3 Nm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·min), 混合时间:0.5 min~1 min;周期制水 量:6 000 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ;混合树脂 100%盐酸 耗量:75 kg/m <sup>3</sup> ,混合树脂 100% NaOH 耗量:70 kg/m <sup>3</sup> ,混合树脂 100%硫酸耗量:110 kg/m <sup>3</sup>			—		—		当树脂层高于 2 m 时,流速降 低,工作交换容 量可不受影响	工作交换 容量与出 水水质有 关,可取 1 000

注: 1. 置换流速与再生流速相同。  
2. 硫酸二步再生法: 第一步浓度 0.8%~1%, 流速 7 m/h~10 m/h, 占总量的 40%; 第二步浓度 2%~3%, 流速 5 m/h~7 m/h, 占总量的 60%。  
3. 工作交换容量为参考数据。

附录 D 对流再生离子交换器(固定床)设计参考数据

表 D 对流再生离子交换器(固定床)设计参考数据

设备名称		强酸阳离子交换器	强碱阴离子交换器	钠离子交换器
运行	流速/(m/h)	20~30	20~30	20~30
	流速/(m/h)	5~10	5~10	5~10
小反洗	时间/min	15	15	3~5
	放水	至树脂层上表面	至树脂层上表面	至树脂层上表面
顶压	气顶压/MPa	气体压力 $P \approx 0.03 \sim 0.05$ , 顶压用空气量为 $0.2 \text{ Nm}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{min}) \sim 0.3 \text{ Nm}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{min})$ , $\text{m}^2$ 为横截面积单位		
	水顶压/MPa	水压力 $P \approx 0.05$ , 顶压用水量为再生液流量的 $0.4 \sim 1$ 倍		
再生	药剂	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{NaOH}$	$\text{NaCl}$
	耗量/(g/mol)	$\leq 70$	60~65	80~100
	浓度/%	—	3~5	3~5
	流速/(m/h)	—	$\leq 5$	$\leq 5$
置换(对流)	流速/(m/h)	8~10	$\leq 5$	$\leq 5$
	时间/min	30	30	30
小正洗	流速/(m/h)	10~15	7~10	10~15
	时间/min	5~10	5~10	5~10
正洗	流速/(m/h)	10~15	10~15	15~20
	水耗/( $\text{m}^3/\text{m}^3$ 树脂)	1~3	1~3	3~6
工作交换容量/(mol/ $\text{m}^3$ 树脂)		500~650	800~900	800~1 000
出水质量		$\text{Na}^+ < 50 \text{ } \mu\text{g/L}$	$\text{SiO}_2 < 100 \text{ } \mu\text{g/L}$	....

注：1. 再生置换水质：阳床和阴床用除盐水。  
2. 工作交换容量应根据生产厂家提供的工艺性能确定，没有数据时可参考本表数据。  
3. 无顶压对流再生时，要有足够压脂层，高度不小于 200 mm，而且其中排装置排水管小孔流速应小于 0.1 m/s。

附录 E 对流再生离子交换器(单室浮动床)设计参考数据

表 E 对流再生离子交换器(单室浮动床)设计参考数据

设备名称		强酸阳离子交换器		强碱阴离子交换器	钠离子交换器(装树脂)
运行	流速/(m/h)	30~50		30~50	30~50
	药剂	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	NaOH	NaCl
	耗量/(g/mol)	55~65	40~50	60	80~100
	浓度/%	—	3~5	1~2	3~5
再生	流速/(m/h)	—	5~7	4~6	5~7
	时间/min	20		30	15~20
	流速/(m/h)	同再生进液流速			
	流速/(m/h)	15		15	15
正洗	时间/min	计算确定			
	水耗/(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> 树脂)	1~2		3~5	3~5
	流速/(m/h)	30~50		30~50	30~50
	时间/min	—		—	—
成床	顺洗时间/min	3~5		3~5	3~5
	工作交换容量/(mol/m <sup>3</sup> 树脂)	500~650	800~900	250~300	800~900
	出水质量	Na <sup>+</sup> <50 μg/L		SiO <sub>2</sub> <50 μg/L	—
	周期/h	—		—	—
反洗	流速/(m/h)	10~15		10~15	10~15
	时间/min	—		—	—

注：1. 防止乱床最低流速：阳交换器大于 10 m/h，阴交换器大于 7 m/h，树脂输送管内流速为 1 m/s~2 m/s。

2. 工作交换容量为参考数据，树脂粒径宜采用 0.4 mm~1.2 mm。

3. 反洗在反洗槽中进行，每次反洗后可视情况增加再生剂量 50%~100%。

附录 F 对流再生离子交换器(双室床)设计参考数据

表 F 对流再生离子交换器(双室床)设计参考数据

设备名称		强酸、弱酸阳离子交换器				强碱、弱碱阴离子交换器	
运行流速/(m/h)		(固)20~30		(浮)30~50		(固)20~30	(浮)30~50
再生	药剂	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	NaOH	NaOH
	耗量/(g/mol)	70	55	55~65	40~50	60~65	50~60
	浓度/%	0.7~1.5	2~3	0.7~1.5	3~8	2~3	1.5~2.5
		1.5~3.0	—	1.5~3.0	—	—	—
	流速/(m/h)	7~10	≤5	7~10	5~7	4~6	6~7
置换	时间/min	5~7	—	5~7	—	—	—
	流速/(m/h)	30	30	30	30	30	35
	时间/min	8~10	≤5	6~7	6~7	≤5	6~8
小反洗(固) 清洗(浮)	时间/min	10~15	10~15	10~15	10~15	7~10	10~15
	流速/(m/h)	5~10	5~10	计算确定		5~10	计算确定
	水耗/(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> 树脂)	计算确定					
正洗(固) 成床(浮)	流速/(m/h)	10~15	10~15	30~50	30~50	10~15	30~50
	时间/min	计算确定					
	水耗/(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> 树脂)	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3	1~3
成床(浮)	成床速度/(m/h)	—	—	>10	>10	—	>7
	工作交换容量/(mol/m <sup>3</sup> 树脂)	强:500~650	强:800~900	强:850~950	强:900~1 000	强:300~350	强:350~400
		弱:1 200~1 500	弱:1 400~1 700	弱:1 400~1 700	弱:1 500~1 800	弱:600~800	弱:800~850
出水质量		Na <sup>+</sup> <30 μg/L				电导率≤5 μs/cm, SiO <sub>2</sub> <100 μg/L	
反洗	周期/h	一般与进水浊度及周期出水量有关;一般在清洗前进行反洗					
	流速/(m/h)	10~15					
	时间/min	15(在加药放水前进行)	15~25	15~25	15(在加药放水前进行)	15~25	

注: 1. 固、浮——分别代表双室固定床与双室浮动床。  
2. 双室固定床再生步骤还可参考单室固定床对流再生步骤。  
3. 双室固定床内弱酸树脂层上设有二次进水稀释器,改为2种或4种再生浓度。  
4. 浮动床树脂粒径宜采用0.4 mm~1.2 mm。

## 附录 G 硫酸溶液的密度

表 G 硫酸溶液的密度 (20 °C)

密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L	密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L
1.000	0.261	0.027	1.135	19.420	2.247
1.005	0.986	0.101	1.140	20.080	2.334
1.010	1.731	0.178	1.145	20.730	2.420
1.015	2.485	0.260	1.150	21.380	2.507
1.020	3.242	0.337	1.155	22.030	2.594
1.025	4.000	0.418	1.160	22.670	2.681
1.030	4.746	0.498	1.165	23.310	2.768
1.035	5.493	0.580	1.170	23.950	2.857
1.040	6.237	0.661	1.175	24.580	2.945
1.045	6.956	0.741	1.180	25.210	3.033
1.050	7.704	0.825	1.185	25.840	3.122
1.055	8.415	0.905	1.190	26.470	3.211
1.060	9.129	0.987	1.195	27.100	3.302
1.065	9.843	1.066	1.200	27.720	3.401
1.070	10.560	1.152	1.205	28.330	3.481
1.075	11.260	1.235	1.210	28.950	3.572
1.080	11.960	1.317	1.215	29.570	3.663
1.085	12.660	1.401	1.220	30.180	3.754
1.090	13.360	1.484	1.225	30.790	3.846
1.095	14.040	1.567	1.230	31.400	3.938
1.100	14.730	1.652	1.235	32.010	4.031
1.105	15.410	1.735	1.240	32.610	4.123
1.110	16.080	1.820	1.245	33.220	4.216
1.115	16.760	1.905	1.250	33.820	4.310
1.120	17.430	1.990	1.255	34.420	4.404
1.125	18.090	2.075	1.260	35.010	4.498
1.130	18.760	2.161	1.265	35.600	4.592



表 G 硫酸溶液的密度(20 ℃)(续)

密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L	密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L
1.270	36.190	4.686	1.405	51.610	7.307
1.275	36.780	4.781	1.410	51.520	7.406
1.280	37.360	4.876	1.415	52.020	7.505
1.285	37.950	4.972	1.420	52.510	7.603
1.290	38.530	5.068	1.425	53.010	7.702
1.295	39.100	5.163	1.430	53.500	7.801
1.300	39.680	5.259	1.435	54.000	7.901
1.305	40.250	5.356	1.440	54.490	8.000
1.310	40.820	5.452	1.445	54.970	8.099
1.315	41.390	5.549	1.450	55.450	8.198
1.320	41.950	5.646	1.455	55.930	8.297
1.325	42.510	5.743	1.460	56.410	8.397
1.330	43.070	5.840	1.465	56.890	8.497
1.335	43.620	5.938	1.470	57.360	8.597
1.340	44.170	6.035	1.475	57.840	8.699
1.345	44.720	6.132	1.480	58.310	8.799
1.350	45.260	6.229	1.485	58.780	8.899
1.355	45.800	6.327	1.490	59.240	9.000
1.360	46.330	6.424	1.495	59.700	9.100
1.365	46.860	6.522	1.500	60.170	9.202
1.370	47.390	6.62	1.505	60.620	9.303
1.375	47.920	6.718	1.510	61.080	9.404
1.380	48.450	6.817	1.515	61.540	9.506
1.385	48.970	6.915	1.520	62.000	9.608
1.390	49.480	7.012	1.525	62.450	9.711
1.395	49.990	7.110	1.530	62.910	9.813
1.400	50.500	7.208	1.535	63.360	9.916

表 G 硫酸溶液的密度(20℃)(续)

密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L	密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L
1.540	63.810	10.020	1.680	75.920	13.000
1.545	64.260	10.120	1.685	76.340	13.120
1.550	64.710	10.230	1.690	76.770	13.230
1.555	65.150	10.330	1.695	77.200	13.340
1.560	65.590	10.430	1.700	77.630	13.460
1.565	65.030	10.540	1.705	78.060	13.570
1.570	66.470	10.640	1.710	78.490	13.690
1.575	66.910	10.740	1.715	78.930	13.800
1.580	67.350	10.850	1.720	79.370	13.920
1.585	67.790	10.960	1.725	79.810	14.040
1.590	68.230	11.060	1.730	80.250	14.160
1.595	68.660	11.160	1.735	80.700	14.280
1.600	69.090	11.270	1.740	81.160	14.400
1.605	69.530	11.380	1.745	81.620	14.520
1.610	69.960	11.480	1.750	82.090	14.650
1.615	70.390	11.590	1.755	82.570	14.780
1.620	70.820	11.700	1.760	83.050	14.900
1.625	71.250	11.800	1.765	83.570	15.040
1.630	71.670	11.910	1.770	84.080	15.170
1.635	72.090	12.020	1.775	84.610	15.310
1.640	72.520	12.130	1.780	85.160	15.460
1.645	72.950	12.240	1.785	85.740	15.610
1.650	73.370	12.340	1.790	86.350	15.760
1.655	73.080	12.450	1.795	86.990	15.920
1.660	74.220	12.560	1.800	87.690	16.090
1.665	74.640	12.670	1.805	88.430	16.270
1.670	75.070	12.780	1.810	89.230	16.470
1.675	75.490	12.890	1.815	90.120	16.680

表 G 硫酸溶液的密度(20 °C)(续)

密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L	密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L
1.820	91.110	16.910	1.828	93.030	17.340
1.821	91.330	16.960	1.829	93.330	17.400
1.822	91.560	17.010	1.830	93.640	17.470
1.823	91.780	17.060	1.831	93.940	17.540
1.824	92.000	17.110	1.832	94.320	17.620
1.825	92.250	17.170	1.833	94.720	17.700
1.826	92.510	17.220	1.834	95.120	17.790
1.827	92.770	17.280	1.835	95.720	17.910

## 附录 H 盐酸溶液的密度

表 H 盐酸溶液的密度(20 °C)

密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L	密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L
1.000	0.360	0.099	1.110	22.330	6.796
1.005	1.360	0.375	1.115	23.290	7.122
1.010	2.364	0.655	1.120	24.250	7.449
1.015	3.374	0.939	1.125	25.220	7.782
1.020	4.388	1.227	1.130	26.200	8.118
1.025	5.408	1.520	1.135	27.180	8.459
1.030	6.433	1.817	1.140	28.180	8.809
1.035	7.464	2.118	1.145	29.170	9.159
1.040	8.490	2.421	1.150	30.140	9.505
1.045	9.510	2.725	1.155	31.140	9.863
1.050	10.520	3.029	1.160	32.140	10.225
1.055	11.520	3.333	1.165	33.160	10.595
1.060	12.510	3.638	1.170	34.180	10.970
1.065	13.500	3.944	1.175	35.200	11.340
1.070	14.495	4.253	1.180	36.230	11.730
1.075	15.485	4.565	1.185	37.270	12.110
1.080	16.470	4.878	1.190	38.320	12.500
1.085	17.450	5.192	1.195	39.370	12.900
1.090	18.430	5.5095	1.198	40.000	13.140
1.095	19.410	5.829			
1.100	20.390	6.150			
1.105	21.360	6.472			

## 附录 J 氢氧化钠溶液的密度

表 J 氢氧化钠溶液的密度(20 ℃)

密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L	密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L
1.000	0.159	0.040	1.130	11.920	3.367
1.005	0.602	0.151	1.135	12.370	3.510
1.010	1.045	0.264	1.140	12.830	3.655
1.015	1.490	0.378	1.145	13.280	3.801
1.020	1.940	0.494	1.150	13.730	3.947
1.025	2.390	0.611	1.155	14.180	4.095
1.030	2.840	0.731	1.160	14.640	4.244
1.035	3.290	0.851	1.165	15.090	4.395
1.040	3.745	0.971	1.170	15.540	4.545
1.045	4.200	1.097	1.175	15.990	4.697
1.050	4.655	1.222	1.180	16.440	4.850
1.055	5.110	1.347	1.185	16.890	5.004
1.060	5.560	1.474	1.190	17.345	5.160
1.065	6.020	1.602	1.195	17.800	5.317
1.070	6.470	1.731	1.200	18.255	5.476
1.075	6.930	1.862	1.205	18.710	5.636
1.080	7.380	1.992	1.210	19.160	5.796
1.085	7.830	2.213	1.215	19.620	5.958
1.090	8.280	2.257	1.220	20.070	6.122
1.095	8.740	2.391	1.225	20.530	6.286
1.100	9.190	2.527	1.230	20.980	6.451
1.105	9.645	2.664	1.235	21.440	6.619
1.110	10.100	2.802	1.240	21.900	6.788
1.115	10.555	2.942	1.245	22.360	6.958
1.120	11.010	3.082	1.250	22.820	7.129
1.125	11.460	3.224	1.255	23.275	7.302

表 J 氢氧化钠溶液的密度(20 ℃)(续)

密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L	密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L
1.260	23.730	7.475	1.400	36.990	12.950
1.265	24.190	7.650	1.405	37.490	13.170
1.270	24.645	7.824	1.410	37.990	13.390
1.275	25.100	8.000	1.415	38.490	13.610
1.280	25.580	8.178	1.420	38.990	13.840
1.285	26.020	8.357	1.425	39.495	14.070
1.290	26.480	8.539	1.430	40.000	14.300
1.295	26.940	8.722	1.435	40.515	14.530
1.300	27.410	8.906	1.440	41.030	14.770
1.305	27.870	9.092	1.445	41.550	15.010
1.310	28.330	9.278	1.450	42.070	15.250
1.315	28.800	9.466	1.455	42.590	15.490
1.320	29.260	9.656	1.460	43.120	15.740
1.325	29.730	9.847	1.465	43.640	15.980
1.330	30.200	10.040	1.470	44.170	16.230
1.335	30.670	10.230	1.475	44.695	16.480
1.340	31.140	10.430	1.480	45.220	16.730
1.345	31.620	10.630	1.485	45.750	16.980
1.350	32.100	10.830	1.490	46.270	17.230
1.355	32.580	11.030	1.495	46.70	17.490
1.360	33.060	11.240	1.500	47.330	17.750
1.365	33.540	11.450	1.505	47.850	18.000
1.370	34.030	11.650	1.510	48.380	18.260
1.375	34.520	11.860	1.515	48.905	18.520
1.380	35.010	12.080	1.520	49.440	18.780
1.385	35.505	12.290	1.525	49.970	19.050
1.390	36.000	12.510	1.530	50.500	19.310
1.395	36.495	12.730			

## 附录 K 氯化钠溶液的密度

表 K 氯化钠溶液的密度(20 ℃)

密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L	密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L
1.005	1	0.1720	1.101	14	2.636
1.012	2	0.3464	1.116	16	3.055
1.027	4	0.7026	1.132	18	3.485
1.041	6	1.069	1.148	20	3.927
1.056	8	1.445	1.164	22	4.380
1.071	10	1.831	1.180	24	4.846
1.086	12	2.228	1.197	26	5.325

## 附录 L 机械过滤器设计参考数据

表 L 机械过滤器设计参考数据

过滤器 类型	滤料			反洗强度 L/m <sup>2</sup> ·s			备注
	种类	粒径 ϕ mm	层高 mm	水反洗	风水合洗		
					空气	水	
细砂 过滤器	石英砂	0.3~0.5	600~800	10~12	27~33	—	水洗历时 10 min~ 15 min,空气擦洗历 时 3 min~5 min
单层滤料 过滤器			0.5~1.2	1 200	12~15	20	—
	无烟煤	0.5~1.2	800	10~12	10	—	
双层滤料 过滤器	石英砂	0.5~1.2	800	13~16	10~15	8~10	
	无烟煤	0.8~1.8	400				
三层滤料 过滤器		0.8~1.6	450~600	16~18	—		不宜采用空气擦洗
	石英砂	0.5~0.8	230				历时 5 min~10 min
	重质 矿石	0.25~0.5	70				此部分为承托层
		0.5~1.0	50				
		1.0~2.0	50				
		2.0~4.0	50				
		4.0~8.0	50				
	砾石	8.0~16	100				
		16~32	本层顶面 高度应高 出配水系 统孔眼 100				
纤维 过滤器	丙纶纤 维束	—	1 200~ 1 300	—	60	上向洗: 3~5; 下向洗: 6~10	空气气源宜采用罗 茨鼓风机,空气压力为 0.05 MPa~0.1 MPa, 清洗水压力不小于 0.1 MPa,清洗时间 20 min~60 min
活性炭 过滤器	活性炭	—	吸附有机物 ≥2 000 吸附余氯 ≥1 500	7	10	—	水洗历时 20 min~ 30 min,空气擦洗历 时 15 min~20 min

注: 1. 表中所列为反洗水温 20℃ 的数据, 水温每增减 1℃, 反洗强度相应增减 1%。

2. 设计计算用的滤料反洗膨胀率: 石英砂单层滤料过滤为 45%; 双层滤料过滤为 50%; 三层滤料过滤为 55%。

3. 应考虑全年水温、水质变化因素, 可适当调整反洗强度。

4. 设计纤维过滤器时, 其进水水质宜控制在 5 NTU~20 NTU。

5. 采用水反洗和压缩空气交替反洗时, 水反洗强度应适当降低。



## 附录 M 石灰乳的密度

表 M 石灰乳的密度(20 °C)

密度 g/cm <sup>3</sup>	CaO 的含量		Ca(OH) <sub>2</sub> 的重量百分浓度 %
	%	g/L	
1.009	0.99	10	1.31
1.017	1.96	20	2.59
1.025	2.93	30	3.87
1.032	3.88	40	5.13
1.039	4.81	50	6.36
1.046	5.74	60	7.58
1.054	6.65	70	8.79
1.061	7.54	80	9.96
1.068	8.43	90	11.14
1.075	9.30	100	12.29
1.083	10.16	110	13.43
1.090	11.01	120	14.55
1.097	11.86	130	15.67
1.104	12.68	140	16.76
1.111	13.50	150	17.84
1.119	14.30	160	18.60
1.126	15.10	170	19.95
1.133	15.89	180	21.00
1.140	16.67	190	22.03
1.148	17.43	200	23.03
1.155	18.19	210	24.04
1.162	18.94	220	25.03
1.169	19.68	230	26.01
1.176	20.41	240	26.96
1.184	21.12	250	27.91
1.191	21.84	260	28.86
1.198	22.55	270	29.80
1.205	23.24	280	30.71
1.213	23.92	290	31.61
1.220	24.60	300	32.51

## 附录 N 常用盐溶液的密度

表 N 常用盐溶液的密度 (g/cm<sup>3</sup>)

名称		Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	FeCl <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	FeSO <sub>4</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
温度 ℃		19	20	18	18	18	18	15
溶液质 量浓度 %	1	1.009	1.007	1.007	1.009	1.006	1.009	1.009
	2	1.019	1.105	1.016	1.018	1.013	1.020	1.019
	4	1.040	1.032	1.033	1.038	1.028	1.043	1.041
	6	1.061	1.049	1.050	1.056	1.043	1.067	1.062
	8	1.083	1.067	1.067	1.079	1.058	—	1.085
	10	1.105	1.085	1.084	1.100	—	—	1.108
	12	1.129	1.104	1.103	1.122	—	—	—
	14	1.152	1.123	—	1.145	—	—	—
	16	1.176	1.142	1.141	1.168	—	—	—
	18	1.201	1.162	—	1.191	—	—	—
	20	1.226	1.182	1.181	1.214	—	—	—
	22	1.252	—	—	—	—	—	—
	24	1.278	—	—	—	—	—	—
	26	1.306	—	—	—	—	—	—
	28	1.333	1.268	—	—	—	—	—
	30	—	1.292	1.307	—	—	—	—
	40	—	1.415	1.449	—	—	—	—
	50	—	1.574	1.613	—	—	—	—

## 附录 P 氨水的密度

表 P 氨水的密度(20 °C)

密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L	密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L
0.998	0.05	0.03	0.946	13.14	7.29
0.996	0.51	0.30	0.944	13.71	7.60
0.994	0.98	0.57	0.942	14.29	7.91
0.992	1.43	0.83	0.940	14.88	8.21
0.990	1.89	1.10	0.938	15.47	8.52
0.988	2.35	1.37	0.936	16.06	8.83
0.986	2.82	1.64	0.934	16.65	9.13
0.984	3.30	1.91	0.932	17.24	9.44
0.982	3.78	2.18	0.930	17.85	9.75
0.980	4.27	2.46	0.928	18.45	10.06
0.978	4.76	2.73	0.926	19.06	10.37
0.976	5.25	3.01	0.924	19.67	10.67
0.974	5.75	3.29	0.922	20.27	10.97
0.972	6.25	3.57	0.920	20.88	11.28
0.970	6.75	3.84	0.918	21.50	11.59
0.968	7.26	4.12	0.916	22.125	11.90
0.966	7.77	4.41	0.914	22.75	12.21
0.964	8.29	4.69	0.912	23.39	12.52
0.962	8.82	4.98	0.910	24.03	12.84
0.960	9.34	5.27	0.908	24.68	13.16
0.958	9.87	5.55	0.906	25.33	13.48
0.956	10.41	5.84	0.904	26.00	13.80
0.954	10.95	6.13	0.902	26.67	14.12
0.952	11.49	6.42	0.900	27.33	14.44
0.950	12.03	6.71	0.898	28.00	14.76
0.948	12.58	7.00	0.896	28.67	15.08

表 P 氨水的密度(20 ℃)(续)

密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L	密度 $\rho$ g/mL	质量浓度 $W_B$ %	摩尔浓度 $C_B$ mol/L
0.894	29.33	15.40	0.886	32.09	16.69
0.892	30.00	15.71	0.884	32.84	17.05
0.890	30.66	16.04	0.882	33.60	17.40
0.888	31.37	16.36	0.880	34.35	17.75

## 本标准用词说明

- 1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- [1] 工业锅炉水质 GB/T 1576
- [2] 火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量 GB/T 12145
- [3] 锅炉房设计规范 GB 50041
- [4] 小型火力发电厂设计规范 GB 50049
- [5] 工业用水软化除盐设计规范 GB/T 50109
- [6] 化工企业化学水处理设计技术规定 HG/T 20653
- [7] 锅炉房设计工艺计算规定 HG/T 20680
- [8] 火力发电厂水汽分析方法 DL/T 502.1~502.32
- [9] 火力发电厂化学设计技术规程 DL/T 5068

中华人民共和国化工行业标准

# 化工企业化学水处理设计计算标准

HG/T 20552—2016

条 文 说 明

## 目 次

修订说明	(103)
1 总 则	(104)
2 术 语	(105)
3 原水水质校核计算	(106)
3.1 水质资料要求	(106)
3.2 水质分析项目校核计算	(106)
4 水处理装置出力及其水质计算	(107)
4.1 计算一般规定	(107)
4.2 装置出力确定	(107)
4.3 锅炉排污率确定	(107)
4.4 锅炉补给水质量指标及计算	(107)
4.5 出水水质主要指标	(108)
5 离子交换工艺计算	(109)
5.1 计算一般规定	(109)
5.2 离子交换器直径和台数选择计算	(109)
5.3 混床工艺计算	(109)
5.4 单床离子交换器工艺计算	(109)
5.5 双室床离子交换器工艺计算	(110)
5.6 离子交换器运行流速和再生次数校核计算	(110)
5.7 离子交换器酸碱废水排放量及浓度计算	(110)
6 除气器的工艺计算	(111)
7 膜法除盐工艺计算	(112)
7.3 反渗透除盐工艺计算	(112)
7.4 电除盐(EDI)工艺计算	(115)
8 过滤设备工艺计算	(118)
8.1 计算一般规定	(118)
8.2 压力式机械过滤器工艺计算	(118)
8.3 超滤设备工艺计算	(118)
9 石灰预处理设计计算	(121)
10 储存和计量设备计算	(122)
11 给水加药和锅内加药计算	(123)



## 修 订 说 明

《化工企业化学水处理设计计算规定》(HG/T 20552—1994)经原化学工业部 1994 年 12 月 29 日以第 893 号文件批准发布。

本标准是在《化工企业化学水处理设计计算规定》(HG/T 20552—1994)基础上修订而成,上一版主编单位是中国成达化学工程公司。本次修订的主要内容是:(1)增加术语一章;(2)修订了原引用标准的名称、取消了引用标准年号;(3)增加了超滤、反渗透、电除盐等新处理工艺的计算;(4)根据水处理运行现状,修改了部分计算取值。

本标准修订过程中,编制组进行了膜法除盐(反渗透、电除盐)工艺和超滤工艺的调研,总结了我国化工企业化学水处理的实践经验,同时参考了国内化学水处理方面相关国家、行业标准(见本标准引用标准名录)及相关设计手册,包括《热能工程设计手册》(化学工业出版社),《工业用水处理设施设计计算》(化学工业出版社),《给水排水设计手册(第 4 册:工业给水处理(第二版))》(中国建筑工业出版社)等,获得了化学水处理设计计算重要技术参数。

为了便于广大设计人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,《化工企业化学水处理设计计算标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,条文说明不具备与标准正文等同的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

## 1 总 则

**1.0.1** 本条说明了制定本标准的目的。

**1.0.2** 本条明确了本规定的适用范围主要为化工企业高、中及低压锅炉和化工生产装置所需的软化水或除盐水处理装置的工艺设计计算。

**1.0.3** 本条为新增内容,说明了本标准的共性要求。

**1.0.4** 本条规定了执行相关标准的要求。

## 2 术 语

本章为新增内容,主要将本次修订中新使用的名词及易误解的名词作了规定。

### 3 原水水质校核计算

#### 3.1 水质资料要求

本节是对原规定 2.1 节的修订。

**3.1.1、3.1.2** 这两条规定了水处理系统设计对水质资料的基本要求,明确设计中应了解各类水源的特点及变化情况。

原水分析方法可参照 DL/T 502.1~502.32—2006《火力发电厂水汽分析方法》进行。

#### 3.2 水质分析项目校核计算

本节是对原规定 2.3 节的修订。

**3.2.1** 本条第 2 款是对原规定 2.3.1.2 条的修订。校核方法参照 DL/T 502.1—2006《火力发电厂水汽分析方法 第一部分:总则》中 5.3 节的内容编写。

本条第 3 款是对原规定 2.3.1.3 条的修订。校核方法参照 DL/T 502.1—2006《火力发电厂水汽分析方法 第一部分:总则》中 5.4 节的内容编写。

**3.2.2** 本条是对生产软化水用原水的校核计算。按式(3.2.2-1)计算出的硬度值与实测值不同时,一般可以认为  $\text{Ca}^{2+}$  值分析是正确的,据此修正  $\text{Mg}^{2+}$  值。在一般清水中, $\text{Ca}^{2+}$  含量都大于  $\text{Mg}^{2+}$  的含量,甚至会大出几倍。因此,如发现相反现象,应注意检查校正。同时总硬度为碳酸盐硬度与非碳酸盐硬度之和。当有非碳酸盐硬度存在时应当没有负硬度存在,这时总硬度值应大于总碱度值;当有负硬度存在应当没有非碳酸盐硬度存在,这时总硬度值应小于总碱度值。

## 4 水处理装置出力及其水质计算

### 4.1 计算一般规定

本节是对原规定 3.1 节的修订。

**4.1.1~4.1.3** 这 3 条规定了设备选型校核及技术经济分析所各自依据的水量,同时强调装置及各设备的出力应考虑自身用水的需求。其中在全厂最大用水量情况下对设备选型进行校核计算时,不应简单地将全厂最大用水量作为设备的出力,而应根据具体情况具体分析。如装置内脱盐水箱容积足够大,在全厂用水波动时能保证提供足够的水量,设备设计可按全厂正常用水量考虑。

### 4.2 装置出力确定

本节是对原规定 3.2 节的修订。

**4.2.1** 本条规定了水处理装置正常出力及最大出力的计算方法,分别作为设备选型校核及技术经济分析的依据。原规定 3.2 节中对出力的计算方法不十分合理。水处理装置的自用水包括产品水和其他水,而出力是指产品水的产量,因此出力不能简单地用自用水系数与外供水量相乘。同时原公式中出力需扣除可回收的凝结水量的算法也不十分合理,因为凝结水也有可能需重回水处理装置处理。因此本条将水处理装置的出力简化为需外供的水量与自用产品水之和。

**4.2.2** 本条规定了水处理装置总用水量的计算方法。由于目前水处理工艺日趋复杂,有些设备的排水可能作为其他设备的用水,如反渗透所排浓水可作为过滤器反洗水;EDI 所排浓水可作为反渗透水进水。因此水处理装置的总自用水系数已不能按各设备自用水系数简单计算而得,而应根据具体工程分析确定。

**4.2.3** 本条确定了各设备的自用水率范围。其中第 2 款,离子交换器自用水率计算是根据《热能工程设计手册》(化学工业出版社出版)中 8.6 节内容编写,交换器自用水按正、反洗采用设备进口水,再生和置换采用脱盐水考虑。第 3 款为新增内容,膜处理设备的自用水率根据工程经验及制造商资料编写。

### 4.3 锅炉排污率确定

本节是对原规定 3.3 节的修订。

**4.3.1** 锅炉排污率的取值参照 HG/T 20680—2011《锅炉房设计工艺计算规定》中 4.3.3 条编写。锅炉排污率的具体计算可参照 HG/T 20680—2011《锅炉房设计工艺计算规定》中 4.3.2 条进行。

### 4.4 锅炉补给水质量指标及计算

本节是对原规定 3.4 节和 3.5 节的修订。

原规定中 3.4.1 条取消。因为高中压锅炉普遍采用脱盐水,其含盐量很低,而锅内加药系统带

入的盐分却占到很大的比例。因此在不考虑加药系统带入盐分的情况下进行盐平衡计算,其参考意义不大。同时按照 GB/T 12145—2008《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量》的规定,其对  $P \geq 5.9$  MPa 锅炉的给水电导率有了明确规定,而对  $3.8 \text{ MPa} \leq P \leq 15.6$  MPa 锅炉的给水中  $\text{SiO}_2$  含量没用明确数值规定,只是要求所产蒸汽中的  $\text{SiO}_2$  含量满足相关要求。因此对高中压锅炉,主要是对给水中  $\text{SiO}_2$  含量进行复核计算。

**4.4.1** 本条是对原规定 3.4.2 条的修订。式(4.4.1)是根据进出锅炉的  $\text{SiO}_2$  物料平衡推导得出。

**4.4.2** 本条是对原规定 3.5 节的修订。式(4.4.2)是根据进出锅炉的溶解固形物及碱度平衡推导得出。

#### **4.5 出水水质主要指标**

本节是对原规定 3.6 节的修订。

本节规定了不同化学水处理工艺产水水质的主要指标要求。各化学水处理工艺适用进水水质可参见 HG/T 20653—2011《化工企业化学水处理设计技术规定》中 4.2 节的相关要求。

**4.5.3** 本条是对原规定 3.6.3~3.6.8 条的修订。与原规定相比,增加了软化水指标表。

**4.5.4** 本条是对原规定 3.6.9~3.6.10 条的修订。与原规定相比,增加了脱盐水指标表。

## 5 离子交换工艺计算

### 5.1 计算一般规定

本节是对原规定 4.1 和 4.2 节的修订。

**5.1.1~5.1.3** 这 3 条规定了离子交换工艺设计的依据。首先应根据设备出力确定设备的规格及台数,再根据再生周期要求确定树脂的规格及用量。

### 5.2 离子交换器直径和台数选择计算

本节是对原规定 4.3 和 4.5 节的修订。

**5.2.1~5.2.3** 这 3 条将各种床型交换器直径和台数的选择采用统一的计算公式。通过设备出力及允许的操作流速等参数来确定设备规格。

### 5.3 混床工艺计算

本节是对原规定 4.4 节的修订。

**5.3.2** 本条是对原规定 4.4.3 条的修订,增加了混床运行周期核算。其中第 1 款中树脂周期制水量  $6000 \text{ m}^3/\text{m}^3$  原适用于一级复床后的混床计算。实际目前混床前的脱盐技术日趋多样性,如可采用两级反渗透或一级反渗透+阴阳离子交换器等技术,混床进水条件也因此各有不同,所以本条提出在了解混床进水水质条件的情况下,其运行周期可按第 2 款进行核算。同时在有些情况下,混床按第 2 款进行核算出的运行周期较长。而在实际运行中,为避免混床树脂结块,往往在混床运行周期到达之前,如 1~2 个月就对混床进行强制再生。

**5.3.3、5.3.4** 这 2 条是对原规定 4.4.4~4.4.17 条的修订,将酸碱再生计算公式统一。由于混床再生方式较多,再生时间也差异较大,因此再生用水量及再生时间很难用计算公式表达齐全。同时考虑混床再生自用水率较低,一般为  $0.5\% \sim 1\%$ ;再生时间与再生周期比值也较小,因此对混床选型及整个水处理装置运行的技术经济分析影响较小,故本节不作具体分析。如有需要,可参考《工业用水处理设施设计计算》(化学工业出版社出版)第二章的相关内容。

### 5.4 单床离子交换器工艺计算

本节是对原规定 4.6 节和 4.8 节的修订。

**5.4.2** 本条第 2 款是对原规定 4.6.3 条的修订。交换器每天再生次数计算应考虑再生所用时间。特别是对再生频繁的设备,如不考虑再生所用时间,则每天再生次数计算误差较大。

**5.4.3、5.4.4** 这 2 条是对原规定 4.8.1 条和 4.8.2 条的修订,将再生所需水量分为产品水需要量和交换器进口水需要量两类,以便准确计算各级设备的出力。本条按交换器再生、置换采用产品水,而其他过程采用交换器进口水考虑。如在实际运行中用水方式有差异,可参照公式进行适当调整。

**5.4.5** 本条为新增内容,给出了单室浮动床的再生工艺计算方法。

### **5.5 双室床离子交换器工艺计算**

本节是对原规定 4.9 节的修订。现根据 GB/T 14792—1993《锅炉水处理设备术语》的规定,将原规定中的双室双层床离子交换器统一命名为双室床离子交换器。

**5.5.1~5.5.3** 主要列出树脂装填量和再生剂耗量的计算方法。双室固定床再生工艺具体步骤计算可参照本标准 5.4.4 条对流再生固定床的再生工艺计算;双室浮动床再生工艺具体步骤计算可参照本标准 5.4.5 条单室浮动床的再生工艺计算。

### **5.6 离子交换器运行流速和再生次数校核计算**

本节是对原规定 4.7 节的修订。

**5.6.2** 本条计算未考虑脱盐水箱的缓冲作用。当脱盐水箱容积足够大,交换器再生时能满足正常的供水量,同时交换器运行期间能对脱盐水箱进行及时补充时,交换器运行流速可不按此条校核。

### **5.7 离子交换器酸碱废水排放量及浓度计算**

本节是对原规定 4.10 节的修订。

**5.7.4** 本条为新增内容,给出了酸碱中和池及中和碱需求量的计算方法。



## 6 除气器的工艺计算

本章为原规定第 5 章的内容。

## 7 膜法除盐工艺计算

### 7.3 反渗透除盐工艺计算

本节为新增内容。

**7.3.4** 段数由多少支膜组件串联在一起决定,而每一段都有一定数量的膜组件并联组成,段的数量是系统设计回收率、每一支膜组件所含元件数量和进水水质的函数。系统回收率要求越高,进水水质就越差,则膜系统的流程就应该越长,即串联的元件就应该越多,以降低单支膜元件的回收率及浓差极化。例如,第一段使用4支6元件装膜组件、第二段使用2支6元件装膜组件的系统,就有12支元件相串联;一个三段系统,每段采用4元件的压力外壳,以4:3:2排列的话,也是12支元件串联在一起。一般地,串联元件数量与系统回收率和段数的关系如本标准表7.3.4-1所示。

**7.3.5** 相邻段膜组件的数量之比称为排列比。例如,第一段为4支膜组件、第二段为2支膜组件所组成的系统,排列比为2:1,而一个三段式的系统,第一段、第二段和第三段分别为4支、3支和2支膜组件时,其排列比为4:3:2。当采用常规6元件装膜组件时,相邻两段之间的排列比通常接近2:1,如果采用较短的膜组件时,应该降低排列比。另一个确定膜组件排列的重要因素是第一段的进水流量和最后一段每支膜组件的浓水流量,根据产水量和回收率确定进水和浓水流量,一般可参阅膜制造商资料,或参考本标准表7.3.5的规定。

由于反渗透元件受进水水质及自身材质的影响,设计参数各有不同,具体应以制造商提供的数据为准。表7-1为某厂家8英寸螺旋卷式聚酰胺复合膜元件的设计导则。

表 7-1 某厂家 8 英寸膜元件在水处理应用中的设计导则

给水类型	反渗透产水作进水	井水	地表水		废水 (过滤后的市政污水)		海水	
					MF/UF	传统过滤	沉井/ MF/UF	表面取水
给水 SDI	SDI<1	SDI<3	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5
平均系统通量 L/(m <sup>2</sup> ·h)	36~43	27~34	22~29	20~27	17~24	14~20	13~20	11~17
元件最大回收率 %	30	19	17	15	14	12	15	13
有效膜面积	最大产水流量 m <sup>3</sup> /d							
33.9 m <sup>2</sup> 元件	38	31	27	25	22	20	—	—
37.2 m <sup>2</sup> 元件	42	34	30	27	24	22	—	—
40.9 m <sup>2</sup> 元件	45	38	33	30	27	24	—	—

表 7-1 某厂家 8 英寸膜元件在水处理应用中的设计导则(续)

给水类型		反渗透产水 作进水	井水	地表水		废水 (过滤后的市政污水)		海水	
						MF/UF	传统过滤	沉井/ MF/UF	表面取水
膜元件类型		最小浓水流量 m <sup>3</sup> /h							
苦咸水膜元件(33.9 m <sup>2</sup> )		2.3	3.0	3.0	3.4	3.6	4.1	—	—
苦咸水膜元件 (37.2 m <sup>2</sup> 和 40.9 m <sup>2</sup> )		2.3	3.0	3.0	3.4	4.1	4.6	—	—
海水膜元件		2.3	3.0	3.0	3.4	3.6	4.1	3.0	3.4
给水 SDI		SDI<1	SDI<3	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5
元件类型	有效面积 m <sup>2</sup> (ft <sup>2</sup> )	最大给水流量 m <sup>3</sup> /h							
苦咸水膜元件	33.9(365)	15	15	14	13	12	12	—	—
苦咸水膜元件	37.2 (400)	17	17	16.6	15	14	14	—	—
苦咸水膜元件	40.9(440)	17	17	16.6	15	14	14	—	—
海水膜元件	37.2(400)	16	16	16	15	13	13	16	14

7.3.6 第 1 款中,盐分通过扩散作用透过膜正面,盐通量( $J_s$ )与膜正反两侧盐分的浓度差成正比,比例常数称为盐扩散(或透过)系数( $B$ ),其值和膜本身的脱盐特性、温度、pH 和溶液的离子强度等因素有关。

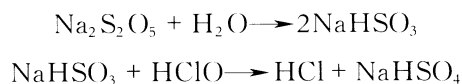
第 3 款中,膜进水和浓水的压差( $\Delta P_{fc}$ )与膜元件的进水隔网流道、膜面流速和流道的污堵状态有关。

渗透压( $\pi$ )是含盐溶液本身的属性,溶液的净渗透压差( $\Delta\pi$ ),即膜进水和浓水侧的平均压力与产水侧的压差,与溶液的含盐量、温度和离子强度等因素有关。

膜的纯水透过系数( $A$ )与膜本身的透水特性、温度、膜是否被压实等一系列因素有关,不同膜元件的纯水透过系数  $A$  值差距较大。

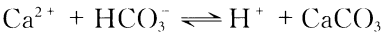
温度校正系数( $TCF$ )反映反渗透膜元件的特性随温度变化的关系,本标准中膜元件和水的特性参数以 25℃ 为基准,因此在 25℃ 时  $TCF$  为 1,其他温度时膜元件和水的特性参数需由该温度下的  $TCF$  校正,不同温度下的  $TCF$  可按本标准式(7.3.6-5)计算。

7.3.7 第 1 款中,为了防止反渗透膜被氧化,反渗透系统的进水应进行脱氯处理。焦亚硫酸钠(SMBS)是最常用的去除余氯及抑制微生物活性的化学品,焦亚硫酸钠溶于水时形成亚硫酸氢钠(SBS),亚硫酸氢钠可以还原水中的次氯酸。



第 2 款中,一般来讲,盐分的溶解度受在水中成分的浓度、pH、温度及共存的其他盐分浓度的影响。水中的  $\text{CaCO}_3$  的溶解度根据水的 pH 不同有很大变化,通过投加酸将 pH 调节到酸性区域,可

以起到防止  $\text{CaCO}_3$  析出的作用,从而避免结垢。



是否生成垢的表征指标,对于苦咸水可以用朗格利尔饱和指数( $LSI$ )进行评价,对于海水可以用斯蒂夫和大卫饱和指数( $S\&DSI$ )进行评价。

仅采用加酸控制碳酸钙结垢时,要求浓水中的  $LSI$  或  $S\&DSI$  指数必须为负数,加酸仅对控制碳酸盐垢有效。所用酸的品质必须是食品级。在大多数国家和地区,硫酸比盐酸更易于使用,但另一方面,进水中硫酸根的含量增加了,就硫酸盐垢而言,问题会严重。

大多数天然水未经处理时,反渗透浓水中的  $LSI$  将会是正值,为了防止  $\text{CaCO}_3$  结垢,除非在反渗透系统进水中投加阻垢剂或采取针对性的预防性清洗措施,否则必须确保  $LSI$  为负值。

第 3 款中,当通过计算或者反渗透设计计算软件模拟发现反渗透浓水的  $LSI$  或者  $S\&DSI$  指数大于 0 时,或者其他难溶盐比如硫酸盐、硅酸盐及氟化钙等超过其溶度积时,为了防止无机盐结垢,可以在反渗透进水中加入阻垢剂。

通常反渗透使用的有三类阻垢剂:六偏磷酸钠( $SHMP$ )、有机磷酸盐和多聚丙烯酸盐。对于实际的项目,根据具体的水质条件,咨询阻垢剂厂家,确定合适的阻垢剂和投加量。表 7-2 为某厂家阻垢剂的设计参数。

表 7-2 某厂家阻垢剂浓水饱和限制

无机垢物	指数	饱和限制	进水典型投加量/(mg/L)
$\text{CaCO}_3$	$LSI$	$<2.6$	1.0~3.5
$\text{CaSO}_4$	$IP_b : K_{sp}^{(1)}$	$<3$	1.5~2.5
$\text{BaSO}_4$	$IP_b : K_{sp}$	$<50$	0.5~2.5
$\text{SrSO}_4$	$IP_b : K_{sp}$	$<12$	—
$\text{CaF}_2$	$IP_b : K_{sp}$	$<120$	—
二氧化硅	$SCR^{(2)}$	$<1.32$	0~4.0
铁	$IFI^{(3)}$	$<1.2$	0~6.0

注: 1.  $IP_b$  是离子积;  $K_{sp}$  是溶度积;  $IP_b : K_{sp}$  是离子积和溶度积的比值。

2. 饱和浓度比( $SCR$ ), 在 25 °C, pH = 7.5, 浓水二氧化硅浓度 165 mg/L 条件下。

3. 铁污堵因子( $IFI$ ), 浓水中总铁浓度 1.2 mg/L。

第 4 款中,对于利用废水、海水及含有微生物来源的地表水作为水源的反渗透脱盐系统,反渗透膜的生物污染是一个普遍存在的问题。当水中的微生物大量繁殖时,不仅导致细菌含量超高,同时还结合反渗透系统中可能的无机垢、有机油脂形成生物膜污染,引起反渗透系统产水量下降,运行压力增加,脱盐率降低,当上述任一症状出现时,就应怀疑出现了微生物污染,用户应使用杀菌消毒剂,尝试“再生”反渗透系统。

非氧化性杀菌剂的效果不仅与杀菌消毒剂活性物分子本身有关,杀菌剂配方中的溶剂、稳定剂离子、杂质含量控制也对反渗透膜有一定程度的影响。在使用非氧化性杀菌消毒剂时,应综合考虑这些因素。符合以上这些要求的非氧化性杀菌消毒剂包括常见的  $DBNPA$  化合物(2,2-dibromo-3-

nitriilo-propriionamide,2,2-双溴代-3-次氨基-丙酰胺),如表 7-3 所示为某厂家水处理杀菌剂 A 和杀菌剂 B。

表 7-3 某厂家非氧化性杀菌剂使用指南

水源类型	杀菌剂 A 加入量/(mg/L)	杀菌剂 B 加入量/(mg/L)	常见投加方式
地表水	10~50	40~200	连续式或者冲击式
废水回用	30~100	120~400	冲击式
已污染系统	150	600	冲击式

微生物如细菌的生长程度与水环境、水中有机物含量及温度密切相关,同时受到预处理工艺影响。通常微生物在水中达到或者高于 100 CFU/mL 时,就有可能形成生物膜污染,继而影响反渗透系统的正常运行。在生物活动旺盛期(如冬春交际,春、夏两季)时,废水回用系统处于较高污染风险,建议每天冲击添加一次,每次 1 h~2 h,每次投加 50 mg/L~100 mg/L。也可以采用连续式投加方式,投加 10 mg/L 甚至更高浓度。

当反渗透系统已经明确属于生物膜污染时,可以先离线清洗,通常在清洗结束后增加杀菌剂消毒程序,如 200 mg/L~400 mg/L 浓度杀菌剂 A,循环或者浸泡 1 h~3 h,确保膜元件及死角与杀菌剂充分接触,彻底清除生物膜污染。同时,系统在冲击使用杀菌剂的初期,比如前 1~3 个月,添加剂量需较高,如 150 mg/L 左右才能达到较好的生物污染控制效果。

当反渗透系统的水源较干净同时有机物含量很低时,也可以采用低剂量连续式投加方式,如使用 2 mg/L~10 mg/L 浓度杀菌剂 A。

关于生物膜的检测及杀菌剂实际投加剂量可以采用平皿培养、梯度稀释技术等技术方法验证,以达到在实际情况下的最合理、最优化使用方案。

7.3.8 清洗泵的参数应根据膜组件的清洗流量和压降及管路(含过滤器)的压力损失来确定。表 7-4为某厂家反渗透产品建议清洗参数。

表 7-4 某厂家反渗透产品建议清洗参数

元件规格	清洗压降/bar	每支膜组件的流量值/(m³/h)
8 英寸膜元件(33.9 m² 膜面积)	1.5~4.0	6.0~9.1
8 英寸膜元件(37.2 m² 或 40.9 m² 膜面积)	1.5~4.0	8.0~10.2

在反渗透多段系统的清洗过程中,由于各段系统的膜组件数量不同,建议进行分段清洗,以保证第一段的循环流量不会太低而最后一段的循环流量不会太高。这可以通过一台泵每次分别清洗各段或针对每段流量要求设置不同的清洗泵来实现。本标准按设置一台泵每次分别清洗各段考虑。

7.4 电除盐(EDI)工艺计算

本节为新增内容。

7.4.1 不同 EDI 膜组件推荐的运行条件不同,需要根据项目的具体条件选择膜组件和考虑合适的运行参数。表 7-5 为不同 EDI 膜组件厂家推荐的运行条件。

表 7-5 不同 EDI 膜组件推荐的运行条件

参数	厂家 D		厂家 E		厂家 S	
	膜组件 A	膜组件 B	膜组件 C	膜组件 D	膜组件 E	膜组件 F
淡水流量/(m <sup>3</sup> /h)	1.5~2.2	1.5~2.2	1.7~4.5	1.7~4.5	1.65~4.95	5.7~17.0
进水温度/℃	10.0~38.0	10.0~38.0	4.4~38.0	4.4~40.0	5.0~45.0	5.0~45.0
最大进水压力/bar	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
淡水压降/bar	1.5~2.5	1.5~2.5	0.7~3.4	0.7~3.4	1.4~2.1	1.4~2.1
浓水压力 (小于淡水压力)/bar	0.50~0.70	0~0.70	≥0.35	≥0.35	0.35	0.35
浓水循环流量/(m <sup>3</sup> /h)	0.50~1.00	—	0.34~1.23	—	—	—
极水排放量/(L/h)	50~70	40~60	90	90	—	—
浓水电导率/(μS/cm)	250~600	—	400~500	—	—	—
最大工作电压/V (DC)	160	160	600	400	400	600
最大电流/A	9.0	9.0	4.5	5.2	6.0	13.2

**7.4.2** 为了防止 EDI 膜组件结垢,进水中的硬度必须足够低。EDI 膜组件中稳定的再生 OH<sup>-</sup> 离子量导致阴膜的浓水侧 pH 很高,容易形成 Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 结垢(碳酸盐和氢氧化物)。进水硬度决定 EDI 系统的回收率,当系统要求达到 90%回收率时,进水硬度限制在 0.5 mg/L(以 CaCO<sub>3</sub> 计)以下;当系统要求达到 95%时,进水硬度限制在 0.1 mg/L(以 CaCO<sub>3</sub> 计)以下,这将适用于规范的 EDI 操作和维护程序。表 7-6 为不同进水硬度条件下 EDI 系统回收率。

表 7-6 不同进水硬度条件下 EDI 系统回收率

进水硬度/(mg/L, 以 CaCO <sub>3</sub> 计)	回收率/%	浓水电导率/(盐水投加后, μS/cm)
0.00~0.10	95	250~600
0.10~0.50	90	250~600
0.50~0.75	85	250~600
0.75~1.00	80	250~600

注: 1. 减少系统回收率将会降低浓水回路中的硬度水平,从而减少了结垢的可能性。

2. 浓水回路中投加 NaCl 也会降低 EDI 膜组件的电阻,从而会提高整流器的效率。

**7.4.3** 为了达到产水水质指标,浓水回路中的水需要具有足够的导电性以使有效的电流能够通过,因此通过循环浓水,达到足够的浓水电导率,大多数情况下,浓水回路中的电导率至少必须达到 150 μS/cm。

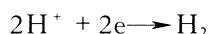
**7.4.4** 当进水电导率比较低时,为了增加浓水回路的导电性,需要向浓水回路的补充水投加饱和盐水来提高浓水电导率。本标准中式(7.4.4)计算是假设浓水回路补充水没有携带盐分,同时是按水中含盐量与电导率的比值为一固定值考虑,实际上含盐量与电导率的比值随着含盐量的多少及盐分种类不同而有所变化的。

**7.4.5** 淡水中被去除的杂质离子通过浓水和极水被排放出系统。如果杂质离子不被排放,会在浓水室累积并导致结垢;同时,极水中含有  $O_2$  和会对 EDI 膜组件产生破坏的  $Cl_2$  气体。为了避免这种故障和破坏,浓水和极水必须被适量排放。

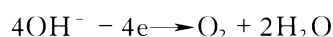
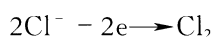
排放的浓水流量取决于回收率、淡水流量和极水流量,由已知的回收率、淡水流量和极水流量,就可以确定浓水流量。

**7.4.6** 水的电解过程会在电极处生成气体(氢气、氧气和少量氯气),这些气体将通过浓水和极水排放被带出系统。

阴极反应:阴极主要发生  $H^+$  的还原反应,产生  $H_2$ 。反应式如下:



阳极反应:阳极主要发生  $Cl^-$  和  $OH^-$  的氧化反应,析出  $Cl_2$  和  $O_2$ ,大部分  $Cl_2$  会以溶解形态存在水流中。反应式如下:



**7.4.7** 第 1 款中,工作电流是 EDI 系统最重要的参数之一。为了使 EDI 膜组件能够生产高品质合格淡水,必须确保有足够的电流通过膜组件。因此,在任何情况下,整流器都能够提供最大额定直流电压  $V_{DC,max}$ ,具体要求参看 EDI 厂家推荐运行条件。

EDI 膜组件的外加直流电压与电流和其他工作参数成非线性关系,这主要是由于水分解和气体释放反应的电化学过程中的动力学特性所决定的。

第 2 款中,通常,采用 EDI 厂家提供的专门计算软件工具对包括工作电流、直流电压、回收率、进水参数和经验动力学参数等进行评估计算。而根据这个直流电压、工作电流就可以估算工作过程中的吨水耗电量。

## 8 过滤设备工艺计算

### 8.1 计算一般规定

本节为新增内容。

**8.1.1~8.1.3** 规定了过滤设备计算的依据。首先应根据设备出力确定设备的规格及数量。过滤器还应核算在其他设备维修或反洗情况下的最大流速；超滤计算应考虑设备运行后的衰减系数。

### 8.2 压力式机械过滤器工艺计算

**8.2.1** 第1款是对原规定7.1.1条的修订。由于目前过滤器后续设备不仅限于离子交换器，还包括反渗透等设备，因此过滤器出力应由水处理系统反推得出的下一级设备进水需求量决定。

第2款是对原规定7.1.2条的修订。与原规定相比，增加了活性炭过滤器滤速表和过滤器滤速表。

第5款是对原规定7.1.5条的修订。与原规定相比，过滤器强制运行流速校核只考虑有1台设备检修的情况，而不同时考虑有1台设备反洗的工况。因为如同时考虑设备的检修和反洗，会造成设备选型过大。同时由于过滤器反洗时间较短，一般可通过设置较大的过滤水箱来弥补过滤器反洗时系统所缺的水量，因此过滤器强制运行流速校核可不考虑有1台设备反洗的工况。

**8.2.2** 第1款是对原规定7.2.1条的修订。根据工程数据，增加了纤维束的滤料截污能力。

**8.2.3** 过滤器清洗用时通常远小于运行时间，因此估算每昼夜反冲洗次数时可不考虑清洗用时。

### 8.3 超滤设备工艺计算

本节为新增内容。由于目前化学水处理所用超滤膜绝大部分为中空纤维膜，因此本节计算仅针对中空纤维超滤膜。

超滤同时受进水水质及自身材质的影响，设计参数各有不同，本计算中所采用的部分设计参数仅适用于初步的估算，具体应以制造商提供的数据为准。表8-1、表8-2为2种不同材质超滤膜的设计参数。

表 8-1 某 PVDF 材质超滤膜设计指导

水源	浊度 NTU	总固溶物 mg/L	运行通量 LMH	反洗间 隔时间 min	反洗通量 LMH	化学加强反洗 NaClO 投加频率 及投加量 mg/L	化学加强反洗 NaOH 投加频率， pH 控制值，及估 计投加量 mg/L	化学加强反洗 HCl 投加频率， pH 控制值，及估 计投加量 mg/L
自来水	<1~2	<10	85~120	45~60	65~150	每次反洗 5~10	可选	可选
	<2~5	<10~20	75~90	40~45	65~150	每次反洗 10~15	可选	可选



表 8-1 某 PVDF 材质超滤膜设计指导(续)

水源	浊度 NTU	总固溶物 mg/L	运行通量 LMH	反洗间隔时间 min	反洗通量 LMH	化学加强反洗 NaClO 投加频率 及投加量 mg/L	化学加强反洗 NaOH 投加频率, pH 控制值,及估计 投加量 mg/L	化学加强反洗 HCl 投加频率, pH 控制值,及估计 投加量 mg/L
地表水	<5~15	<10~20	55~90	40~60	65~150	每次反洗 5~15	可选	可选
	15~75	<30~50	40~70	30~40	65~150	每 24 h 750	每 24 h pH = 12 700	每 72 h pH = 2 550
废水 回用	<5~10	<5~20	50~65	20~30	65~150	每 12 h 750	每 12 h pH = 12 650	每 36 h pH = 2 400
	<10~30	<20~40	40~50	20~30	65~150	每 12 h 750	每 12 h pH = 12 650	每 36 h pH = 2 400

注：1. 运行通量均为瞬间通量。

2. 设计通量和反洗间隔时间应以中试数据为依据。

表 8-2 某 PS/PES 材质超滤膜设计指导

水源	浊度 NTU	总固溶物 mg/L	运行通量 LMH	反洗间隔时间 min	反洗通量 LMH	化学加强反洗 NaClO 投加频率 及投加量 mg/L	化学加强反洗 NaOH 投加频率, pH 控制值,及估计 投加量 mg/L	化学加强反洗 HCl 投加频率, pH 控制值,及估计 投加量 mg/L
自来水	<2	<5	85~135	45~60	170~300	每次反洗 5~10	—	—
	<5	<10	70~120	40~60	170~300	每次反洗 10~15	—	—
地表水	<5	<10	80~120	45~60	170~300	每次反洗 10~25	—	—
	<15	<20	65~100	30~40	170~300	每 24 h 200	每 24 h pH = 12 500	每 48 h pH = 2 500
废水 回用	<5	<5~10	65~90	20~30	170~300	每 12 h 200	每 12 h pH = 12 500	每 36 h pH = 2 500

注：1. 运行通量均为瞬间通量。

2. 设计通量和反洗间隔时间应以中试数据为依据。

**8.3.1** 由于超滤反洗频繁,使反洗时间占整个操作时间的比例较高。为准确计算设备出力,计算其实际运行时间时应将反洗时间去除。超滤清洗时间间隔和进水条件关系密切,应根据厂家资料选取。本条给出的 30 min 清洗间隔为通常水质常用时间,仅供设计估算时使用。

**8.3.2** 超滤运行一段时间后,膜通量会下降达到另一稳定值。根据工程经验及厂家资料,该稳定值

一般为初始值的 80% 左右,同时超滤膜通量还受进水温度的影响,因此超滤计算时应考虑这两方面的因素。如超滤采用恒流设计,即超滤给水泵采用变频控制,则超滤膜通量的下降可通过透膜压差的提高而部分弥补,因此稳定系数可适当提高或不考虑温度校正系数的影响。

**8.3.4** 超滤如采用死端过滤,则超滤进水量即超滤给水泵流量与产水量相同。如采用错流过滤,则超滤给水泵流量为超滤产水量与浓水流量之和。

**8.3.5** 第 1 款中,为防止微生物污染影响膜系统的性能,通常在超滤进水中采用加氯或非氧化性杀菌剂进行消毒。

第 2 款中,为了抑制超滤膜组件的污染,在通过常规反洗无法除去所有污染物的情况下,通过在超滤反洗时投加化学药剂可以加强反洗的效果,即化学加强反洗 (Chemical Enhanced Backwash, CEB)。一般使用的化学药剂为  $\text{NaClO}$ 、 $\text{NaOH}$  和  $\text{HCl}$  或者  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 。

超滤进水加药泵流量按连续加药考虑,如采用间断加药 (冲击性投药),则加药泵流量用实际加药时间与超滤实际运行时间的比值进行修正。

## 9 石灰预处理设计计算

本章为原规定第 8 章的内容。

## 10 储存和计量设备计算

本章为原规定第 9 章的内容。

## 11 给水加药和锅内加药计算

本章为原规定第 10 章的内容。