**工程建设行业标准**

**《电子工业超纯水用再生水处理工程技术规范》**

**编制说明**

**中国电子系统工程第二建设有限公司**

**二〇二四年十月**

**一、编制依据**

根据《工业和信息化部办公厅关于印发2023年第三批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》（工信厅科函〔2023〕291号）的要求，由中国电子系统工程第二建设有限公司会同有关单位，共同编制《电子工业超纯水用再生水处理工程技术规范》（计划号：2023-1772T-SJ）的编制工作。

**二、编制目的**

‌超纯水在电子行业，特别是半导体、液晶面板、光伏硅片发热制造中起着至关重要的作用，直接影响到产品的良率和生产效率。超纯水主要用于清洗硅片、光刻和蚀刻等环节，可以有效地去除硅片表面的微小颗粒和杂质这些污染物，确保半导体制造的高纯度要求。研究表明，沾污带来的缺陷引起的芯片电学失效比例高达80%，因此超纯水的纯度对半导体元件的良率有着直接的影响。

超纯水的制备过程非常复杂，需要经过多道处理工序，包括多介质过滤、活性炭吸附、离子交换、反渗透膜、紫外线杀菌、电渗析、超滤、纳滤、真空脱气等多个环节。这些工艺环节确保了超纯水的纯度接近绝对纯度，电导率接近18.24 MΩ•cm的理论极限值。因此，电子企业对超纯水制备系统进水中的小分子有机物、硼、硅浓度有严格的要求，以降低处理难度。

电子行业属于高耗水行业，水量需求大，据统计2022年全球半导体制造新水取用量7.31亿m3，中国大陆用水1.26亿m3。2023年全球面板制造新水取用量约18亿m3，中国大陆用水约9.6亿m3。随着我国高端电子行业自主生产的刚性需求，电子级超纯水需求将大幅增加，传统水资源越来越难以满足快速增长的纯水制备需求。

再生水是一种重要的工业用水水源，未来进一步拓展城市再生水在电子级超纯水制备中的应用将是我国电子行业高质量发展的重要支撑。但是，现有再生水水质标准体系并不完善，仅涉及工业冷却水、洗涤水、锅炉用水等工业用水水质，再生水处理工艺也缺少适用于超纯水制备的原水，电子企业对再生水品质存在顾虑，无法有效推进再生水的回用。

本规范在再生水厂、安全防护和监测控制、施工与验收、运行、维护及管理等方面针对超纯水用再生水水厂提出更具体、更有针对性的技术规范和要求，促进国内利用再生水制备超纯水整体水平的提高，为推动国内电子行业高质量发展、加快国产化替代提供基础保障。

**三、编制原则**

1. 通用性原则

本规范属于电子工业行业标准，规范将结合电子行业需求及超纯水水质特点，针对再生水的处理，全面研究再生水水源选择、预处理、精处理等方面的工程设计要求，提出适用于电子工业超纯水用再生水的工程建设标准。

2. 协调性原则

本规范的编制针对电子工业超纯水用再生水处理工程建设需求，细化个性化要求，如水源、预处理、反渗透、离子交换、高级氧化处理等，同时与《城镇污水再生利用工程设计规范》、《城市污水再生利用 工业用水水质》、建筑防火、给水排水等相关规范相协调，确保本规范中的技术内容不存在重复交叉和矛盾的情况。本规范所提出的规定内容、深度或格式要求，与现行有效的相关法规、标准、规范、规程相协调，避免重复、矛盾；同时还考虑与相关国际标准的衔接、协调问题，以及与国际工程惯例相互适应的问题。

3. 创新性原则

电子工业超纯水用再生水在国内属于电子和水处理新兴交叉行业，是十三五、十四五期间重点鼓励发展的行业，国内近年才随着电子产业的发展和应对水资源短缺而发展的。本规范是首次制定，填补了行业空白。本规范的编制将遵守和落实国家十四五期间的战略部署和相关要求。

4. 先进性原则

本规范为国内首次制定，国际方面的标准目前也是空白。国内现有规范是一般工业回用水项目，未体现电子工业超纯水用再生水处理工程的特殊要求及特点。国际方面SEMI F98-0618总结和推荐了半导体行业厂内废水再生回用的方式和工艺路线，未对水源和水质进行规定，不适用于集中处理设施进行再生水处理。本规范的编制将结合电子化学品行业快速发展的形势和特点，充分调研国际国内技术水平，将先进的技术和工艺综合考虑到规范的技术要求中，使规范具有一定的先进性和前瞻性，为电子工业超纯水用再生水厂的规范化建设和发展提供有力支持。

**四、编写方法**

标准主编单位中国电子系统工程第二建设有限公司筹建成立编制组，编制组由具有丰富专业理论和实践经验，熟悉业务及有关法规、文字表达能力较强的人员组成。主编单位提出标准工作大纲，包括标准框架及主要内容，组织参编单位讨论并根据框架开展有关调研编制工作。参编单位根据本单位优势领域承担相应工作，主编单位明确编制工作分工及编制计划。

1、规范结构、书写格式、用语按住房和城乡建设部《工程建设标准编写规定》和《工程建设标准出版印刷规定》（建标〔2008〕182号）的规定执行；

2、编写工作按准备（含调研）、征求意见、送审、报批四个阶段进行；

3、所涉及技术要求能定量的要定量，不能定量的要定性，定性和定量要做到准确。

**五、编制过程**

第一阶段，启动阶段（2024年1月～2024年4月）

主编单位在本阶段收集了大量的相关资料，多次召开内部讨论会和院内启动会，讨论标准主要技术内容，起草工作大纲。2024年4月26日，由中国电子系统工程第二建设有限公司在无锡市以线上线下会议相结合的形式组织召开了本项工程建设行业标准编制工作组成立暨第一次工作会议。规范主管部门工业和信息化部、管理机构中国电子技术标准化研究院电子工程标准定额站、起草单位中国电子系统工程第二建设有限公司、中国电子技术标准化研究院、江苏中电创新环境科技有限公司、清华大学、清华大学深圳国际研究生院、河海大学、武汉京东方光电科技有限公司、江苏卓胜微电子股份有限公司、上海集成电路装备材料产业创新中心有限公司、安徽华鑫微纳集成电路有限公司、西安蓝晓科技新材料股份有限公司、沃顿科技股份有限公司、佛山柯维光电股份有限公司、中冶京诚工程技术有限公司共12家单位的19领导和专家参加了会议。

会议由中国电子系统工程第二建设有限公司熊江磊高级工程师主持。工业和信息化部电子工业标准化研究院电子工程标准定额站杜宝强高级工程师杜宝强向与会代表传达了工业和信息化部工程建设标准化工作的新形势和下一阶段标准制修订工作部署，希望各编制单位对标准制修订提高站位，以“三新一高”的标准落实主管部门要求，圆满完成标准制修订工作；并对编制过程提出了具体要求。中国电子系统工程第二建设有限公司工程师陈炜彧宣布编制组成立并宣读了编制组成员名单，并详细介绍了《电子工业超纯水用再生水处理工程技术规范》的工作大纲，包括规范的编制任务、要点、适用范围、主要技术内容等。与会代表对编制工作大纲进行了热烈讨论，做了局部修改和补充，形成会议纪要如下：

1）经过讨论在总则部分对再生水源水来源进行了规定：来源于城镇污水处理厂、电子工业园区污水厂达标出水；

2）暂定来源水水质要求：参照《城镇污水处理厂排放标准》一级A标准；

3）暂定再生水处理工艺部分主要关注的是精处理阶段，与《水质规范》规定的水质级别，分别设计精处理工艺。主体工艺方向为预处理+膜分离+离子交换+高级氧化，对于特殊水体进行特别的规定。

4）本规范书写格式应参照住建部工程技术规范，注意要涵盖工程设计、验收、管理等全生命周期并突出再生水工程重点。

经过与会代表的认真讨论和完善，最终制订了编制工作进度计划，形成《电子工业超纯水用再生水处理工程技术规范》编制工作大纲。

第二阶段：征求意见阶段（2024年4月～2024年10月）

编制组各成员单位根据工作大纲任务分工，由专人负责起草所分担章节的技术内容。主编单位和参编单位通过组织专题讨论会，开展实际调研等方式，重点对超纯水用再生水的精制处理工艺如反渗透、离子交换、高级氧化等工艺的设计参数进行重点讨论。2024年10月25日，在无锡市召开编制组全体会议讨论规范初稿，会议由线上和线下同步进行。中国电子系统工程第二建设有限公司、中国电子技术标准化研究院、江苏中电创新环境科技有限公司、清华大学、清华大学深圳国际研究生院、河海大学、武汉京东方光电科技有限公司、江苏卓胜微电子股份有限公司、上海集成电路装备材料产业创新中心有限公司、安徽华鑫微纳集成电路有限公司、西安蓝晓科技新材料股份有限公司、沃顿科技股份有限公司、佛山柯维光电股份有限公司、中冶京诚工程技术有限公司共14家单位的20余位领导和专家参加了会议。会议由中国电子系统工程第二建设有限公司主任工程师罗嘉豪主持，会议对标准逐条进行讨论，明确修改意见，包括补充超纯水用再生水处理工艺特有要求等问题。

编制组基于调研和讨论情况，形成标准征求意见稿。

**六、主要内容**

**6.1 标准适用范围**

本规范适用于新建、改建和扩建电子工业超纯水用再生水的设计。本标准规定了作为电子工业超纯水用再生水的水源。

本规范适用于以城镇污水处理厂达到现行国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918一级A标准，或电子工业污水集中处理设施达到《电子工业水污染物排放标准》GB39731直接排放标准的出水为水源，经进一步处理后满足电子工业超纯水用再生水标准的项目。

**6.2 标准文本主要章节**

主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、水源、水质和水量、再生水厂、安全防护和监测控制、施工与验收、运行、维护及管理等8章。

1. 总则 该部分主要明确规范编制目的、适用范围以及与其他标准的关系。
2. 术语 该部分主要是重要术语和缩略语的定义和解释。
3. 基本规定 该部分主要对再生水厂设计年限、设计规模、设计目标、水源及设计方案等内容进行了基本规定。
4. 水源、水质和水量 该部分对再生水的水源、水质和设计水量提出要求。
5. 再生水厂 该部分提出了再生水厂的主要工艺流程，并对预处理、反渗透、离子交换、高级氧化和消毒等部分提出了具体设计要求。
6. 安全防护和监测控制 该部分对再生水厂的二次污染防治、安全防护和监测控制提出要求。
7. 施工与验收 该部分对再生水厂的施工与验收提出要求。
8. 运行、维护及管理 该部分对再生水厂的运行、维护及管理提出要求。

**6.3 水源的选择**

由于现有的超纯水系统的水源多为自来水，采用再生水制备超纯水时，对再生水水质要求高于一般工业回用水水质，需达到或高于当地自来水的水质，基于城镇污水处理厂尾水和电子企业废水集中处理设施的尾水将成为重要的电子级水水源。目前北京亦庄工业开发区对城市再生水进行反渗透处理将再生水用于集成电路芯片、液晶显示屏制造行业等电子级水源，再生水在电子级水制备中的使用将推动工业水循环。但是，各厂家对再生水水质的要求以运行经验推断为主，缺少科学依据，水质指标不全面、限值不合理等问题十分突出。无锡市胡埭再生水厂以无锡芯卓半导体有限公司企业出水为水源，经处理后回用到芯卓纯水制备产线，实现水的循环使用。为统一再生水水源标准，扩大超纯水用再生水工程范围，本规范规定城镇污水水源应至少达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918一级A标准（见表6-1），工业水源仅选用电子工业污水集中处理设施的出水且水质应达到《电子工业水污染物排放标准》GB39731直接排放标准（见表6-2）。考虑到上述两个水质标准并非针对超纯水用再生水水源，因此还需要还应对水源进行硬度、电导率、总有机碳（TOC）、硼、溶解性总固体（TDS）、氟、总硅、尿素、总三卤甲烷等超纯水制备中特别关注的指标进行检测、记录和分析。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 基本控制项目 | 一级标准 | 二级标准 | 三级标准 |
| A标准 | B标准 |
| 1 | 化学需氧量（COD） | 50 | 60 | 100 | 120① |
| 2 | 生化需氧量（BOD₅） | 10 | 20 | 30 | 60① |
| 3 | 悬浮物（SS） | 10 | 20 | 30 | 50 |
| 4 | 动植物油 | 1 | 3 | 5 | 20 |
| 5 | 石油类 | 1 | 3 | 5 | 15 |
| 6 | 阴离子表面活性剂 | 0.5 | 1 | 2 | 5 |
| 7 | 总氮 （以N计） | 15 | 20 | - | - |
| 8 | 氨氮 （以N计）② | 5（8） | 8（15） | 25（30） | - |
| 9 | 总磷（以P计） | 2005年12月31日前建设的 | 1 | 1.5 | 3 | 5 |
| 2006年1月1日起建设的 | 0.5 | 1 | 3 | 5 |
| 10 | 色度（稀释倍数） | 30 | 30 | 40 | 50 |
| 11 | pH | 6-9 |
| 12 | 粪大肠菌群数（个/L） | 10³ | 10⁴ | 10⁴ | - |
|  | 注：①下列情况下按去除率指标执行：当进水 COD大于350mg/L时，去除率应大于60%； |
|  | BOD大于160mg/L时，去除率应大于50%。 |
|  | ②括号外数值为水温>12℃时的控制指标，括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。 |

**表6-1 《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918基本控制项目最高允许排放浓度（日均值） 单位 mg/L**

**表6-2 《电子工业水污染物排放标准》GB39731水污染物排放限值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 污染物项目 | 排放限值 |  |
| 直接排放 | 间接排放（1） |  |
| 电子专用材料 | 电子元件 | 印制电路板 | 半导体器件 | 显示器件及光电子器件 | 电子终端产品 | 电子专用材料 | 电子原件 | 印制电路板 | 半导体器件 | 显示器件及光电子器件 | 电子终端产品 | 污染物排放监控位置 |
| 1 | pH值 | 6.0~9.0 | 6.0~9.0 | 企业废水总排口 |
| 2 | 悬浮物（SS） | 70 | 400 |
| 3 | 石油类 | 5.0 | 20 |
| 4 | 化学需氧量（CODCr） | 100 | 500 |
| 5 | 总有机碳（TOC） | 30 | 200 |
| 6 | 氨氮 | 25 | 45 |
| 7 | 总氮 | 35 | 70 |
| 8 | 总磷 | 1.0 | 8.0 |
| 9 | 阴离子表面活性剂（LAS） | 5.0 | 20 |
| 10 | 总氰化物 | 0.5 | 1.0 |
| 11 | 硫化物 | - | - | 1.0 | 1.0 | - | - | - | - | 1.0 | 1.0 | - | - |
| 12 | 氟化物 | 10 | - | 20 | - |
| 13 | 总铜 | 0.5 | 0.5（2） | 2.0 | 2.0（2） |
| 14 | 总锌 | 1.5 | 1.5 | - | 1.5 | 1.5 | 1.5（2） | 1.5 | 1.5 | - | 1.5 | 1.5 | 1.5（2） |
| 15 | 总铅 | 0.2 | 0.2（2） | 0.2 | 0.2（2） | 车间或生产设施排放口 |
| 16 | 总镉 | 0.05 | 0.05 | - | 0.05 | - | 0.05（2） | 0.05 | 0.05 | - | 0.05 | - | 0.05（2） |
| 17 | 总铬 | 1.0 | 1.0 | - | 1.0 | - | 1.0（2） | 1.0 | 1.0 | - | 1.0 | - | 1.0（2） |
| 18 | 六价铬 | 0.2 | 0.2 | - | 0.2 | - | 0.2（2） | 0.2 | 0.2 | - | 0.2 | - | 0.2（2） |
| 19 | 总砷 | 0.5 | 0.5 | - | 0.5 | 0.5 | - | 0.5 | 0.5 | - | 0.5 | 0.5 | - |
| 20 | 总镍 | 0.5 | 0.5（2） | 0.5 | 0.5（2） |
| 21 | 总银 | 0.3 | 0.3（2） | 0.3 | 0.3（2） |
| 注：（1）当企业废水排向城镇污水集中处理设施时，执行本表规定的间接排放限值。当企业废水排向电子工业污水集中处理设施时，第1-14 项指标可协商确定间接排放限值，未协商的执行本表规定的间接排放限值。如果企业含总铅、总镉、总饹、六价饹、总砷、总镍、总银中任一种污染物的污水，实行分类收集、专管专送和分质集中预处理，且在企业出口端和电子工业污水集中处理设施入口端均对水质及水量进行监测，则第15-21项指标可协商确定间接排放限值，未协商的执行本表规定的间接排放限值:电子工业污水集中处理设施的分质集中预处理单元出口执行本表规定的排放限值。当企业废水排向其他污水集中处理设施时，第 1-8项指标可协商确定间接排放限值,未协商的指标以及第 9-21 项指标执行本表规定的间接排放限值。（2）适用于有电镀、化学镀工艺的电子终端产品生产企业。 |

**6.4再生水应达到的水质要求**

再生水用作工业超纯水水源，其所需达到的水质要求可参考以下标准，①参考《生活饮用水卫生标准》GB 5749、新加坡NEWater再生水水质标准以及对应电子行业的各个细分行业中使用再生水的企业的再生水水质标准；②结合实测的全国各地区自来水水质，参照其水质指标的范围和平均值；③依据超纯水制备系统中，各处理工艺环节对污染物的去除效率和终端水质限值，反推其进水的污染物限值；④结合现有超纯水系统对水源的实际要求。

以已经实施的项目为例，北京中芯国际、京东方B4和台积电分别针对自身需求和当地供水情况设定企业标准，具体企业标准限值如表6-1所示。

**表6-3 再生水用于电子级水制备的企业标准**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 编号 | 指标 | 单位 | 限值 |
| 台积电 | 中芯国际 | 京东方B4 |
| 1 | 温度 | ℃ | 15-35 | 15-20 | - |
| 2 | SS | mg/L | ＜1.0 | - | - |
| 3 | 浊度 | NTU | ＜0.3 | ＜5 | ＜5 |
| 4 | 色度 | - |  | ＜5 | ＜5 |
| 5 | COD | mg/L | ＜4 | ＜10 | ＜10 |
| 6 | pH | - | 6.5-8.5 | 6.4-6.6 | 6.5-7.5 |
| 7 | TDS | mg/L | ＜150 | ＜150 | 270-380 |
| 8 | 电导率 | $$μS/cm$$ | ＜250 | ＜250 | ＜540 |
| 9 | TOC | mg/L | ＜1.0 | ＜0.5 | ＜2 |
| 10 | 总硬度 | mg/L as CaCO3 | ＜50 | ＜50 | ＜230 |
| 11 | 碱度 | mg/L | ＜30 | ＜15 | ＜170 |
| 12 | 氨氮 | mg/L | ＜0.5 | ＜1 | ＜2 |
| 13 | 亚硝酸氮 | mg/L | ＜0.1 | 0.06-0.08 | ＜20 |
| 14 | 硝酸盐氮 | mg/L | ＜10 | ＜15 | ＜15 |
| 15 | SiO2 | mg/L |  | ＜3 | ＜11 |
| 16 | As | mg/L | ＜0.05- | - | - |
| 17 | B | mg/L | 100 | 200 | 500 |
| 18 | Cr | mg/L | ＜0.05 | ＜0.002 | ＜0.002 |
| 19 | Al | mg/L |  | ＜0.01 | ＜0.1 |
| 20 | Ba | mg/L |  | ＜0.1 | - |
| 21 | Ca | mg/L |  | 4-20 | ＜130 |
| 22 | Cu | mg/L |  | ＜0.05 | ＜0.05 |
| 23 | Cd | mg/L | ＜0.005 | - |  |
| 24 | Fe | mg/L |  |  | ＜0.04 |
| 25 | Mn | mg/L |  | ＜0.05 |  |
| 26 | Na | mg/L |  | 15-35 | ＜35 |
| 27 | Sr | mg/L |  | ＜0.1 | ＜0.1 |
| 28 | Zn | mg/L |  | ＜0.1 | ＜0.1 |
| 29 | 氟离子 | mg/L |  | ＜0.5 | ＜0.5 |
| 30 | 氯化物 | mg/L | ＜15 | ＜20 | ＜25 |
| 31 | 硫酸盐 | mg/L | ＜45 | ＜5 | ＜60 |
| 32 | 磷酸根 | mg/L | ＜0.5 | - | - |
| 33 | 余氯 | mg/L |  | ＜0.5 |  |
| 34 | 尿素 | mg/L | ＜0.005 | 0.015-0.02 | 0.025-0.035 |

**6.5 主要工艺的选择**

**6.5.1 工艺流程**

根据现有再生水制备超纯水项目的工艺调研，结合不同的再生水水源及供水水质要求，列出了再生水处理工程可选择的工艺流程：

1. 来源水-预处理-反渗透-高级氧化-消毒；
2. 来源水-预处理-反渗透-离子交换-消毒；
3. 来源水-预处理-反渗透-高级氧化-离子交换-消毒；
4. 来源水-预处理-反渗透-离子交换-高级氧化-消毒。

**6.5.2 预处理工艺**

超纯水用再生水水源可为城镇污水水源（达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918一级A标准），或电子工业污水集中处理设施的出水（达到《电子工业水污染物排放标准》GB39731直接排放标准）。此外还需要还应对水源进行硬度、电导率、总有机碳（TOC）、硼、溶解性总固体（TDS）、氟、总硅、尿素、总三卤甲烷等超纯水制备中特别关注的指标进行检测、记录和分析。例如硬度等指标过高，还需要对水源进行预处理，由于无法确定那种指标过高，因此在预处理工艺部分提出了几种选择，“预处理单元可选择一种或多种，包括化学混凝、化学软化、生物处理等。”主要目的是达到进入后续处理单元的水质要求，处理深度需要具体情况具体分析，而不规定具体的指标要求，希望各相关企业和研究机构积极从事这方面的研究和实践工作。

**6.5.3 反渗透**

本小节根据再生水的水质特点，结合主编、参编单位在超纯水、再生水领域的工程经验和现场调研实例，并参照 《膜分离法污水处理工程技术规范》HJ 579等标准，规定了反渗透的主要技术要求，工程中应结合实际情况通过试验优化设计参数。

其中规定反渗透装置膜通量宜为10 L/(m•h)~22 L/(m•h)，水回收率不宜小于70%，脱盐率不宜小于 95%，小分子有机物截留率不宜小于30%，B脱除率不宜小于40%，SiO2脱除率不宜小于90%，出水pH值应根据后续处理单元的进水要求进行中和调整。以上数据根据主编单位长期实验验证和工程实践获得。表6-4是典型国产反渗透膜和进口反渗透膜的测试数据。

**表6-4 典型国产反渗透膜和进口反渗透膜的测试数据**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 性能指标 | 测试方法 | CR30FR/400 | PROC 10 |
| 膜通量范围1 | 超声波流量计 | 3.38m3/h | 3.29 m3/h |
| 稳定压差（进水-浓水）1 | 现场压力表 | 0.63-0.48=0.15MPa |
| 稳定脱盐率1 | IMG_258电导率仪离线检测膜进水(V10421)、出水（V10423A/B） | 96.06%： 127μS/cm→5.00μS/cm | 98.06%：127μS/cm→2.46μS/cm(备注:东丽4.38μS/cm) |
| 稳定TOC脱除率1 | A1000在线检测V10421、V10423A/B处出水  | 92.48%：766ppb→57.7ppb | 93.48%：766ppb→49.9ppb |
| 稳定SiO2脱除率1 | V10421、V10423A/B取样后寄送至环境所检测 | 92.70%：4.07ppm→0.297ppm | 97.91%：4.07ppm→0.085ppm |
| 稳定B脱除率1 | V10421、V10423A/B取样后寄送至环境所检测 | 28.26%：46ppb→33ppb | 41.30%：46ppb→27ppb |
| 稳定F脱除率1 | V10421、V10423A/B取样后寄送至环境所检测 | 进水0.19ppm，出水＜0.01ppm | 进水0.19ppm，出水＜0.01ppm |
| 稳定NH4+脱除率1 | V10421、V10423A/B取样后寄送至环境所检测 | / |

**6.5.4 离子交换**

 本小节根据再生水的水质特点，结合主编、参编单位在超纯水、再生水领域的工程经验和现场调研实例，规定了离子交换的主要技术要求，工程中应结合实际情况通过试验优化设计参数。

经过前置的反渗透单元，本单元的主要作用是除硼，因此规定了树脂的类型宜选用大孔结构螯合树脂，功能基团宜为N-甲基葡萄糖胺，并根据实验和工程运行经验，规定除硼树脂总交换容量宜大于0.8 meq/mL，树脂填充高度宜大于800 mm，运行流速宜为10 BV/h~60 BV/h。

**6.5.5 高级氧化**

 本小节根据再生水的水质特点，结合主编、参编单位在超纯水、再生水领域的工程经验和现场调研实例，规定了高级氧化的主要技术要求，工程中应结合实际情况通过试验优化设计参数。

高级氧化单元主要是去除水中的小分子有机物。研究发现，反渗透产水中的有机物以电荷中性的小分子有机物为主，包括卤代有机物（如三卤甲烷、卤代乙腈的卤化消毒副产物）、含氮有机物（尿素、亚硝胺）和羰基有机物（臭氧氧化副产物），其中三卤甲烷和尿素是两种典型的电荷中性小分子有机物常常被电子企业作为特征小分子有机物。因此，再生水用于电子级水源时应尤其重视小分子有机物，减少其导致的TOC超标、电子和半导体产品良率降低等问题。反渗透对小分子有机物的截留率一般为30%，剩余的有机物如尿素等，易在水的循环使用中造成累积。因此有必要采用高级氧化工艺进行对小分子有机物的处理。

降解小分子有机物的高级氧化工艺主要有紫外线高级氧化、卤素含氧酸根氧化两种，规范中分别对两种工艺的设计参数进行了规定，其中对小分子有机物的去除率均不宜低于35%，这符合实验和工程运行经验，也是本单元设置的基本条件，相关实验数据如下，前置反渗透产水TOC为151 ppb，经高级氧化处理后TOC剩余97 ppb，去除率35.7%。



**图6-1 高级氧化单元对小分子有机物的去除**

另外，若采用紫外线高级氧化法，紫外灯的选择尤为关键，参照《低压高强紫外线灯》等标准，规定紫外灯宜选用低压高强，兼顾反应器体积和效能的紫外灯，9000 h使用时间内254 nm光维持率不低于80%，灯管功率不低于150 w，254 nm输出效率最小值应不低于23%，反应器内最小光照强度不低于9000 μw/cm2。如选用双波长紫外线灯，除了应保证254 nm输出效率外，185 nm输出效率最小值应不低于4%。

**6.6 安全防护与检测控制**

 再生水厂，尤其是本规范约定的电子工业超纯水用再生水，其水质要求较高，经过预处理和精处理后的水需要注意保护，因此特别规定了二次污染防控措施，避免处理后的水受到二次污染。