

实验室纯水制备与检验技术设计与实施

何嘉慧

中国电子系统工程第二建设有限公司 江苏 无锡 214135

【摘要】 在科研实验中，对配备的纯水水质有着较高的要求，因此，本文通过实际的工程结合，论述了水中污染物的类别及检测方法，进而提出了相应的纯水制备方法和水质要求，通过多种方式的实验设计操作方式来分析其在纯水配置过程中的优缺点，并探讨了具体的检验技术设计与实践实施。

【关键词】 实验室纯水系统；纯水；反渗透；离子交换树脂

纯水技术的制备随其技术的发展已然涉及到了多种领域当中，其中包括：医药、工业、食品加工、化学生产、环保等。实验室纯水配置的方式也多种，本文选取了其中五类对其进行了相关的论述。

1 水中污染物的分类及检测

在日常生活中，我们所用到的自来水主要包涵以下五种类型的杂质。

1.1 电解质

水中的阴阳离子称为电解质，其具体涵盖了有机物、无机物（可溶）、胶体离子（带电）等。水的电解质阳离子主要包涵铜离子、镁离子、钙离子、钾离子、钠离子、氢离子等；阴离子主要包涵氯离子、硝酸根离子、碳酸氢根离子、硅酸氢根离子等；胶体离子（带电）主要包涵 Fe、Si、Al 的化合物或者胶体化合物（有机）等；此外，还存在着有机酸离子。具备导电性是电解质的主要特征，因此，可以利用测量水电导率($\mu\text{s}/\text{cm}$)的方式，或者测量水中电阻率($\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$)的多少来分析水中杂质的含量。

1.2 有机物

天然存在的有机会与人工合成的有机物共同组成了水中有机物的来源，其中包括有机金属等有机物，或者有机酸。通常情况下，有机物的体积都较大，其形态主要以中性或阴性为主，可以利用有机碳测定仪来测量其在水中的具体含量。

1.3 颗粒物

颗粒物不仅包括肉眼可见的水中泥沙、尘埃，还包括不可见的有机物、胶体、微生物颗粒等，颗粒物大都具有非可溶性，需要采用 SDI(Silt Density Index)仪来进行测量其在水中的含量。

1.4 细菌、微生物

可以采用膜过滤法或者培养法来测量水中微生物与细

菌的含量，其主要包括细菌、真菌、藻类等。

1.5 溶解气体

可溶于水中的气体主要包括：氮气、氧气、一氧化碳、二氧化碳、甲烷等，其测量方法有两种，分别为化学法测定与气相色谱法。

综上所述，水中存在着大量的杂质与污染物，在进行化学实验时或分子物理实验时，会对实验的结果造成一定的偏差与影响，因此，在实验过程中，纯水的配置与使用有着至关重要的作用^[1]。

2 实验室纯水的一般性定义

根据相应的数据，在实验室中，通常将纯水划分为 I、II、III 三个等级，超纯水为 I 超纯水、分析用的为 II 级水，实验时常用的实验水位 III 级水。

根据不同的实验类型所需要选择不同的纯水类别。例如：分子生物学实验就需要用到超纯水；微生物的培养、生化试剂的配置等需要用到 II 级水；实验室用于清洗仪器、消毒灭菌需要用到 III 级水。这三种等级的纯水制备都需要不同的纯化手段，如表 1 为纯水的水质标准介绍。

表 1 纯水水质标准

项 目	三级	二级	一级
电阻率/ $(\text{M}\Omega\cdot\text{cm})$	>0.05	>1.0	>18.0
TOC/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	<200	<50	<10
致热原/ $(\text{EU}\cdot\text{mL}^{-1})$	NA	NA	<0.03
粒径 $>0.2\ \mu\text{m}$ 微粒/ $(\text{个}\cdot\text{mL}^{-1})$	NA	NA	<1
SiO_2 / $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	$<1\ 000$	<100	<10
细菌/ $(\text{CFU}\cdot\text{mL}^{-1})$	$<1\ 000$	<100	<1

例如：在某跨国的“NN”生物制药公司的研发中心实验室中，用于清洗实验室、消毒灭菌的就为 II 级水，该实验室制药通过集中的系统管道供给，在需较高要求的基点单独设置超滤装置为其配备纯水。该项目建设与天津市西青区的某

环保园内，并将楼层区域划分为了三个不同的部分，为了满足 GLP / GMP 等认证的相关条件要求，其每个部分的功能和实验目标都存在着差异，在实验的过程中，采用的原水水质设计要求如表 2 所示。

表 2 原水设计水质

项目	指标	项目	指标
总溶解性固体/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.3	总碱度(以 CaCO_3 计)/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	235.0
钙/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	132.3	总硬度(以 CaCO_3 计)/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	238.6
镁/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	106.3	暂时硬度(以 CaCO_3 计)/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	235.0
总铁/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	<0.05	永久硬度(以 CaCO_3 计)/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3.6
锰/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	<0.007	余氯/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.30
氯化物/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	15.7	SiO_2 /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	15.0
耗氧量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.37	细菌总数	未检出
硝酸根/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3.12	大肠菌群	未检出
氟/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.33		
pH 值	7.76		
浊度/NTU	0.28		

此外，对出水水质也制定了相关的要求，需要达到 II 级纯水标准，部分实验结构需要采用一级超纯水，该实验项目的总水量约为 1500L / d。该实验室在制备纯水时采用的步骤如表 3 所示。

表 3 实验步骤流程图

1	自来水
2	石英砂过滤器
3	活性炭过滤器
4	软水器
5	5 μm 预过滤器
6	反渗透柱
7	EDI 装置(电去离子)
8	储存罐
9	紫外灯
10	精纯化柱
11	超纯水

使用的纯水处理设备为密理博的 ElixIOO 型模块化纯水制备器，该设备进水为自来水，通过相关的处理能处理出不低于二级的纯水水质。

3 水质纯化方法

常用的水质纯化方法包括蒸馏法、反渗透膜法、活性炭吸附法、离子交换树脂法、UV 光照射法等，具体操作内容如下。

3.1 蒸馏法

根据使用的器具划分，蒸馏所用的通常为三种，即玻璃、石英、金属；根据蒸馏的次数划分，蒸馏法分为一次、二次、多次。蒸馏的方式能在一定程度上去除掉水中的大部分杂质，但由于其需要加热的性质，很难阻碍二氧化碳气体的融入，因此，导致水中电阻率较低，无法满足更过的实验需求。蒸馏法的操作模式建议，但是存在二次污染的缺点，无法准确的实现纯水水质的控制，对水资源的消耗也较多。

3.2 反渗透膜

该技术主要应用在脱盐方面，有着显著的成效，反渗透方法进行纯水制备的原来在于通过改变外加的压力进而改变水流的方式，使水从高渗透压区域流向低渗透压区域，达到祛除杂质的目的。反渗透膜技术能够不仅过滤掉水中的无机盐和有机物，还能过滤掉水中的细菌、病毒、悬浊物等。实验室中常用的反渗透膜为了三种，分别为聚酰胺膜、聚砜膜、醋酸纤维素膜等，这三类反渗透膜的孔径范围都在 0.0001-0.001 μm ，再制备纯水的过程中，膜性能的好坏与进出的比例决定了其纯水制备能力的水平。该类操作模式制备的纯水电阻率能在原水的基础上提高 10 倍左右。

例如：进水的电阻率为 1.8 $\text{K}\Omega \cdot \text{cm}$ (25° C)，而反渗透后产出的纯水电阻率为 13 $\text{K}\Omega \cdot \text{cm}$ ，不仅操作简单，成本低，也不用经过强酸的冲洗，但其在操作的过程中容易受到膜质量的影响，产生堵塞现象，因此，制备出来的纯水只能用于二级实验用水^[2]。

3.3 活性炭吸附

多孔性是活性炭的主要特征，其主要利用相关的木质材料经过较长时间的活化处理或者加热干馏而制成的。活性炭经过活化处理，其表面积被扩大，形成了大量的活性孔，从而具备了较强的吸附能力，能够同时吸附有机物与无机物。通常情况下，有颗粒脱落的天然活性炭会对水质产生二次污染，因此，在纯水制备的过程中，通常只能用于前期的氯化物过滤和有机物过滤。与天然活性炭不同的是，人工合成的活性炭脱落物质均匀，对水质造成较小的污染。因此，对于水中的有机物能够实现有效的去除，是良好的超纯水制备方式。

3.4 离子交换树脂

从构成上来看，离子交换树脂的主要构成为有机单分子结构，属于一种高分子化合物，具有多孔海绵状的特性，呈三向立体空间网架的形式。离子交换树脂用于制备纯水的原理在于，其可以用游离的树脂离子与水中同行的阴阳离子进

行交换。

长期的使用该方式进行水质处理会产生后期质量与数量下降的问题，因此，在后期过程中需要用再生的方式用化学试剂对其进行处理。离子交换树脂制备出的纯水有着较高的电阻率，但其也存在一定的问题，引起去离子的过程中，树脂的离子交换也可能产生新的颗粒溶出，对水质造成二次污染，较高的无机物含量还会在一定程度上催生了微生物的成长，进而影响到水质。市场目前所存在的离子交换树脂质量与介个都有着较大的差异，在制备纯水方面，如果需要制备一级超纯水，建议使用材质较好，不会出现再生的现象的离子交换树脂进行纯水制备。

参考文献：

- [1] 周合修.实验室纯水制备与检验技术设计与实践[J].教育教学论坛,2018(50):279-280.
- [2] 周末,姚璐,薛晓霞,崔泽实.实验室超纯水机的规范应用与维护技术[J].中国医学装备,2015,12(06):8-11.

3.5 UV 光照射法

当达到 185 nm 的波长时，紫外线会发生一定的光氧化反应，且当波长达到 254 nm 时，该反应达到峰值。因此，在该范围内，采用 UV 光照射法可以有效的杀灭水中的细菌，并组织它的反之。UV 光照射法在水质杀菌方面有着高效、快速的特点，效果显著，且不会改变水中的物理性质与化学性质。因此，UV 光照射法是去除水中有机物的最有效方式之一。

结束语：

综上所述，实验室纯水的制备发展多样，作为设计人员，需要根据实际情况与相关需求来进行考虑，进而选择最佳的纯水制备方式，以达到更好的实验效果。