

电渗析给水处理

高隆绪 主编

中国铁道出版社

电 渗 析 给 水 处 理

主编 高隆绪
编者 高隆绪 (1、3~5章)
周国雨 (2章)
张美珍 (附录)

中 国 铁 道 出 版 社

1987年·北京

内 容 简 介

本书简要地叙述了电渗析给水处理技术的国内外发展概况和电渗析水处理的主要特点,详细地介绍了电渗析水处理设备的构造、除盐的原理、工艺流程、设备的运行管理、常见故障和故障处理。

本书可供从事给排水专业的工程技术人员学习和参考。

电 渗 析 给 水 处 理

高隆绪 主编

中国铁道出版社出版

责任编辑 李云国 封面设计 刘景山

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 4 字数: 86 千

1987年9月第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,000册 定价: 0.92 元

前 言

电渗析水处理是一项新兴水处理技术，可用于淡化海水及苦咸水，使之达到生产、生活用水的要求；还可用于制取初级纯水或与离子交换法相结合制取高纯水。电渗析水处理技术具有：设备简单，操作方便，能量消耗较少，化学药剂用量小，制水成本较低及除盐水质浓度范围适应性大等优点。从七十年代开始，国内各行各业逐步推广应用电渗析水处理技术，并取得了较好的效果。近几年来，铁路蒸汽机车锅炉用水及内燃机车冷却用水在采用电渗析水处理技术后，大大改进了用水水质，提高了机车运用效率和牵引能力，节约了能源，保证铁路运输安全正点起了重要作用。因此，普及和推广电渗析水处理技术，在当前是迫切需要的。

为了满足生产发展和铁路运输的需要，有利于各单位选用和管理好电渗析水处理设备，郑州铁路局高隆绪等同志，根据多年来的设计、施工、运行的实践经验，结合收集到的一些资料，编写成《电渗析给水处理》一书。重点介绍了电渗析水处理设备的型式和水处理工艺，以及安装调试和维护管理方面的知识。内容比较全面，可供从事水处理工作的技术人员和电渗析运行管理人员工作参考用。

铁道部机 务 局

铁道部基本建设总局

1984年9月

目 录

第一章 概 述	1
第一节 电渗析给水技术发展	1
一、国外发展概况	1
二、国内发展概况	2
第二节 电渗析给水处理的主要特点	4
第三节 电渗析除盐的适用范围	5
一、水淡化及除盐的概念	5
二、电渗析适用水质范围	6
第四节 经济技术比较	8
第二章 电渗析除盐处理原理	12
第一节 离子交换膜	12
一、离子交换膜概述	12
二、离子交换膜的结构	13
三、离子交换膜的特性	18
四、离子交换膜的分类	19
五、离子交换膜应具备的条件	21
第二节 渗析和电渗析的概念	23
一、渗 析	23
二、电 渗 析	24
第三节 电渗析除盐原理	25
一、电渗析除盐的依据	25
二、电渗析除盐原理	27
三、电极反应	29

四、电渗析过程·····	30
第四节 电渗析的极化和沉淀·····	32
一、极化现象的分析·····	32
二、极化和沉淀产生的原因及危害·····	37
第三章 电渗析给水处理设备·····	42
第一节 电渗析器构造·····	44
一、离子交换膜·····	44
二、隔 板·····	45
三、电 极·····	53
四、极 框·····	55
五、保 护 室·····	56
六、夹紧装置·····	57
第二节 电渗析水处理设备安装·····	57
一、电渗析器的组装·····	57
二、辅助配套设备·····	62
第四章 电渗析给水处理工艺·····	67
第一节 电渗析水处理的除盐方式·····	67
一、循环式除盐·····	67
二、直流式除盐·····	68
三、部分循环式除盐·····	68
第二节 电渗析水处理工艺流程·····	69
一、原水预处理系统·····	70
二、电渗析水处理工艺流程·····	72
三、示 例·····	74
第五章 电渗析设备的运行管理·····	79
第一节 运行管理机构·····	79
第二节 电渗析器的调试·····	79
一、通水压力试验·····	80

二、极限电流测定.....	81
第三节 电渗析器的操作运行.....	85
一、操作运行.....	85
二、电渗析器稳定运行的措施.....	89
第四节 电渗析器的运行指标与计算.....	95
一、淡水产量与线速度.....	95
二、除盐率.....	95
三、原水利用率.....	96
四、耗电量.....	96
五、电流效率.....	97
第五节 电渗析器的维护保养.....	98
一、电渗析器的维护.....	98
二、电渗析器的故障及故障处理.....	101
附 录.....	108
一、水质标准.....	108
二、电渗析设备性能规格.....	110
三、总含盐量的简易测定方法.....	116

第一章 概 述

第一节 电渗析给水处理技术发展

电渗析给水处理技术是薄膜分离技术的一种，这种技术是利用离子交换膜的特性，使水得到淡化除盐。离子交换膜是由离子交换树脂制成的，电渗析除盐实际上也是离子交换树脂除盐的另一种应用形式。在给水处理方面，这项技术首先用于苦咸水的淡化，尔后逐步扩大到海水淡化和制取工业纯水。当前，国外电渗析已成为咸水淡化制取生活饮用水和工业用水行之有效的技术，并用于水的纯化除盐方面。

一、国外发展概况

电渗析水处理技术萌芽于本世纪初，开始发展缓慢，直到1940年，K.H.迈尔和W.斯特劳斯提出多隔室电渗析器，1950年，W.裘德试制出高选择透过性的阴阳离子交换膜后，才奠定了电渗析水处理技术的实用基础。1954年，美、英等国将电渗析器正式用于生产实践中，淡化苦咸水，制取工业用水和饮用水。此后，其他国家也陆续采用电渗析水处理技术。当前，电渗析水处理技术领先的国家是美国和日本。

二十多年来，电渗析水处理技术不断改进，尤其近年来，随着电渗析淡化除盐水处理站建设规模的扩大，新型电渗析器单台产水量和除盐率都有大幅度增加。过去产水量每小时不到一吨，现在已研制出每小时产水量约两百吨以及除盐率可达83~90%的新型设备。电渗析淡化除盐水处理站的规模也越大。五十年代建造的仅是日产百吨级的，六十年代增至

日产千吨级，七十年代发展到日产万吨级的。现在世界上规模最大的1974年由美国在利比亚班加西地区建造的日产一万九千二百吨电渗析苦咸水淡化厂。据报导以后还将出现十万吨级以上的大型淡化厂。

目前，国外电渗析水处理技术发展的主要特点是：

1. 七十年代以来电渗析已用于深度除盐，并将电渗析法和离子交换法组合起来制取纯水或高纯水，这就是国外称之为 ED/DI 系统。

2. 七十年代以来，美国爱奥尼斯公司把倒极电渗析技术正式用在设备上，该公司称之为 EDR ，即每小时倒极3~4次的电渗析。据介绍 EDR 可以清除沉淀和保证淡水水质。

3. 电渗析设备的运行操作已趋向自动化，电子计算机控制等无人操作技术。

4. 广泛深入地进行电渗析水处理技术的研究。试制各种特殊性能的离子交换膜，例如新型的抗氧化、耐腐蚀的膜、抗有机污染的膜、对某种离子优先透过的膜、耐高温的膜等，研制新型电渗析器，如高温电渗析及对电渗析器的隔网电极，设备材质和组装等方面的研究，

二、国内发展概况

五十年代末期，中国科学院化学研究所等科研单位，开始研制离子交换膜，并将交换膜用于电渗析器。1964~1965年研制异相膜，并用这种膜组装成循环式除盐电渗析器，进行了苦咸水和海水淡化运行试验。1966年，上海化工厂开始工业化试产生异相离子交换膜和生产了一批小型短流程循环式电渗析器，促进了电渗析水处理技术的应用。1967年~1969年国防部门组织了苦咸水和海水淡化研究，针对性地解决了电渗析器运行中的一些问题。1966年以来，电渗析水处

理技术推广应用于生产，但单台电渗析设备的产水量较小，一般每小时在五吨以下。到七十年代初，我国各研究单位开展了提高单台电渗析设备的产水量的研究工作，改进薄膜隔板，使同样大小平面尺寸的隔板产水量增加近十倍，单台电渗析设备的产水量达到 $20\sim 30\text{t/h}$ 。现在单台电渗析设备的产水量已达到 $50\sim 60\text{t/h}$ 。1983年试制成每小时产水量为 50t 的一级一段大容量电渗析器改进试验获得成功；1981年建成了一个日产 200t 的海水淡化厂，1984年某厂组装了四级两段大容量电渗析器，产水量为 $35\sim 40\text{t/h}$ 。

电渗析水处理技术用于高、中压锅炉给水前级处理已普遍应用。对于低压锅炉给水处理，采用电渗析水处理后可直接进锅炉。

我国电渗析水处理技术发展的主要特点是：

1. 国外，开始是用于苦咸水淡化方面，六十年代末才逐渐采用离子交换组合使用，制取纯水或高纯水。我国在开始使用时，就有与离子交换组合使用的系统。

2. 国外，以前大都是用浓室加药来防止结垢，保证长期运行，七十年代以来才重视推广频繁倒极的所谓EDR方式。而我国一开始就采用了定期（ $2\sim 8\text{h}$ ）倒极和定期酸洗（ $2\sim 4$ 次/月）作为防垢和保证长期稳定运行措施。频繁倒极（每小时 $3\sim 4$ ）电渗析器，目前已试制成功。

3. 我国一开始就同时研制了离子交换膜和电渗析器，并结合国情生产出 800×1600 及 $400\times 1600\text{mm}$ 隔板和异相离子交换膜。

总之，我国电渗析水处理技术已经有了一定的基础。电渗析给水处理已成为设计中考虑采用的淡化除盐技术之一。

第二节 电渗析给水处理的主要特点

根据国内外资料介绍,电渗析水处理与离子交换水处理相比较,电渗析水处理具有以下优点:

1. 能量消耗少

电渗析器在运行中,不发生相的变化,只是用电能来迁移水中已解离的离子。它耗用的电能一般是与水中含盐量成正比的。大多数人认为,对含盐量 $4000\sim 5000\text{mg/l}$ 以下的苦咸水的淡化,电渗析水处理是耗能少的较经济的技术(包括水泵的动力耗电在内,耗电量为每吨水 $6.5\text{kW}\cdot\text{h}$)。如商邱给水站对含盐量 1300mg/l 的水淡化,除盐率达 63.5% ,每吨处理水:电渗析本体耗电 $0.7\sim 0.6\text{kW}\cdot\text{h}$;动力(一、二、三级泵)耗电 $1.4\text{kW}\cdot\text{h}$,总耗电 $2.1\sim 2.0\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

2. 药剂耗量少,环境污染小

离子交换水处理在树脂交换失效后要用大量酸、碱进行再生,水洗时有大量废酸、碱排放,而电渗析水处理仅酸洗时需要少量酸。例如,开封给水站若用部分氢离子交换法,在除盐率 65% 时,每月要盐酸 128t ,而电渗析法每月酸洗仅用酸 5t ,比离子交换法减少 96% 。因此说,电渗析法是耗用药剂少,环境污染小的除盐手段。

3. 设备简单,操作方便

电渗析器是用塑料隔板与离子交换膜及电极板组装而成,它的主体与配套设备都比较简单,而且膜和隔板都是高分子材料制成,因此,抗化学污染和抗腐蚀性能均较好。由于在运行时通电即可得淡水,而不需要用酸碱进行繁复的再生处理。

4. 设备规模和除盐浓度范围的适应性大

电渗析水处理设备可以从每日几十吨的小型生活饮用水

淡化水站到几千吨的大、中型淡化水站。

5. 用电较易解决、运行成本较低。

电渗析水处理虽然有上述优点，但还存在以下缺点：

1. 对离解度小的盐类及不离解的物质难以去除，例如，对水中的硅酸和不离解的有机物就不能去除掉，对碳酸根的迁移率就小一些。

2. 电渗析器是由几十到几百张较薄的隔板和膜组成。部件多，装组技术要求比较高，往往因为组装不好，会影响配水均匀。

3. 电渗析水处理是使水流在电场中流过，当施加一定电压后，靠近膜面的滞流层中电解质的盐类含量较少。此时，水的离解度增大，易产生极化结垢和中性扰乱现象，这是电渗析水处理技术中较难掌握又必须重视的问题。

4. 电渗析器本身耗水量还是较大的。虽然采取极水全部回收，浓水部分回收或降低浓水进水比例等措施，但本身的耗水量仍达20~40%。因此，缺水地区，应用电渗析水处理技术受到一定限制。

5. 电渗析水处理对原水净化处理要求较高，需增加精过滤设备。

第三节 电渗析除盐的适用范围

一、水淡化及除盐的概念

淡化 是指将水中的溶解盐类降低到一定程度的处理过程。即含盐量较高的水经过处理后，变成含盐量较低的水，所以称“淡化”。

除盐 除盐也称脱盐，是指将水中的溶解盐类去除的处

理过程。即经过处理后的水，剩余含盐量很小，所以这种处理过程称“除盐”。一般剩余含盐量在 $5\sim 50\text{mg/l}$ 叫初级除盐水；在 $1\sim 5\text{mg/l}$ ，叫除盐水，相当于普通蒸馏水，电阻率应为 $0.1\sim 1.0\times 10^8\Omega\cdot\text{cm}$ ；在 $0.1\sim 1\text{mg/l}$ ，叫深度除盐水，亦称纯水或称去离子水，电阻率应为 $1.0\sim 10\times 10^8\Omega\cdot\text{cm}$ ；在 0.1mg/l 以下，叫高纯水，电阻率应在 $10\times 10^8\Omega\cdot\text{cm}$ 以上。

电渗析水处理技术作为制取除盐水，深度除盐水及高纯水的前级处理较为经济。另外电渗析水处理技术也无法直接制得高纯水，其原因是水的纯度提高以后，水的导电率就逐渐降低，如继续增高操作电压，就会迫使水分子电离为 H^+ 和 OH^- 离子，这就使大量的电能消耗在水的电离上，而水质提高很少。为了叙述方便，常将“淡化”、“除盐”两方面的含义均以“除盐”一词加以概括。

二、电渗析适用水质范围

国外对电渗析的评价，大都认为用于苦咸水淡化已完全进入实用阶段，还认为电渗析淡化低浓度苦咸水是节约能源的好方法。由于各国具体情况不同，提出的除盐适用范围差异较大，如表1—1。又如1981年8月日本一位博士在上海技术交流时，提到他个人对水处理除盐的最佳适用范围是 $200\sim 2500\text{mg/l}$ 。表1—1中，美国所提的 $1000\sim 5000\text{mg/l}$ ，日本所提的 $1000\sim 3000\text{mg/l}$ ，都是结合本国国情经过大量经济计算而得出的比较权威的观点。

我国处理 $1000\sim 4000\text{mg/l}$ 的苦咸水，已经有十多年的运行经验，但是应用最广泛的将是 500mg/l 左右的水进行淡化处理。结合我国具体情况，根据水的用途不同，电渗析给水处理适用水质范围见表1—2。

表 1—1

提 出 国 家	除盐适用范围 (mg/l)	提 出 年 份
美 国	1000~4000	1969年
美 国	1000~5000	1976年
美 国	200~5000	1977年
美 国	3000以下苦咸水	1978年
日 本	500~2000	1974年
日 本	500~5000	1975年
日 本	500~10000	1976年
日 本	1000~3000最经济	1976年
日 本	10000以下苦咸水	1978年
苏 联	3000~8000	1976年
利 比 亚	2000~8000	1976年
澳大利亚	2000以下	1976年

表 1—2

处理对象	水 的 用 途	水中含盐量 (mg/l)	
		原 水	处理后的水
海水淡化	生 活 用 水	25000~35000	500~1000
苦咸水淡化	生 活 用 水	1000~10000	500~1000
	工 业 用 水		
水的淡化	蒸汽机车用水	500~2000	300~500
	工 业 用 水		
初级除盐	机车冷却用水	100~500	5~50
	低压锅炉用水		

第四节 经济技术比较

据1982年铁道部郑州局对某机车交路的三个给水站改建电渗析水处理技术后，与离子交换水处理技术进行了全面的技术经济比较，证明电渗析水处理技术是经济可行的，现将各项费用的比较列表1—3~5。

从上述三站的经济技术比较可以看出：

1. 电渗析法与离子交换法的基建投资费用进行比较，当采用电渗析法时甲站可节约投资费21.2%，丙站可节约投资费5.66%，而乙站需增加投资费2.66%。

2. 按生产每吨符合机车用水水质标准的水成本进行比较，当采用电渗析法时，甲站可降低42.24%，乙站可降低7.46%，丙站可降低16.43%。

3. 电渗析法不需要消耗大量的酸、碱和盐，而离子交换法需要消耗大量的酸、碱、盐。

表 1—8
(費用单位: 万元)

电渗析法与离子交换法基建投资費用比較

項 目	甲站, 处理水量2500t/d				乙站, 处理水量3000t/d				丙站, 处理水量1500t/d			
	电渗析法		阴、阳离子交换法		电渗析法		氢型离子交换加原水法		电渗析法		氨碱并联离子交换法	
	用量	費用	用量	費用	用量	費用	用量	費用	用量	費用	用量	費用
电渗析及配套设备(组)	6	42.00	—	—	6	45.00	—	—	4	28.00	—	—
交换罐及配套设备(台)	—	—	4	46.00	—	—	2	22.00	—	—	4	20.0
除气塔及配套设备(座)	—	—	—	—	—	—	1	4.50	—	—	1	3.00
水泵及配套设备(套)	6	4.20	4	2.80	6	4.20	5	3.50	6	4.20	4	2.80
贮、配、送酸设备(套)	1	3.00	1	21.00	1	2.00	1	21.00	1	2.00	1	12.00
贮、配、送碱或盐设备(套)	—	—	1	1.00	—	—	—	—	—	—	1	1.00
室外给排水设备(项)	1	3.00	1	4.00	1	3.00	1	4.00	1	3.00	1	3.50
室外电力设备(项)	1	6.00	1	5.00	1	6.00	1	5.00	1	5.50	1	4.50
锅炉及其它设备(项)	1	4.00	1	4.00	1	4.00	1	4.00	1	4.00	1	4.00
各种水池(座/m ³)	3/1250	6.50	2/1000	6.00	3/1500	9.00	2/1200	7.20	3/800	4.80	2/600	3.60
生产及附属房屋(m ²)	650	9.10	650	9.10	650	9.10	600	8.40	550	7.70	600	8.00
围墙、道路(项)	1	2.50	1	3.00	—	2.5	1	3.00	1	2.50	1	3.00
合 计		80.30		101.90		84.80		82.60		58.70		65.40

注: 1. 电渗析每组出力, 甲站及丙站为25t/h, 乙站为30t/h.

2. 离子交换均为浮动床设备, 每个交换罐直径, 甲站及乙站为2.0m, 丙站为1.1m.

表 1—4
(费用单位: 元)

电渗析法与离子交换法运行成本费用比较

项 目	甲站, 处理水量2500t/d				乙站, 处理水量3000t/d				丙站, 处理水量1500t/d			
	电渗析法		阴、阳离子 交换法		电渗析法		氢型离子交 换加原水法		电渗析法		氢钠并联系 子交换法	
消耗原水 (t)	1.6	0.160	1.1	0.110	1.3	0.130	1.1	0.11	1.1	0.11	1.1	0.11
二级泵耗电 (kW·h)	0.5	0.095	0.5	0.095	0.5	0.080	0.4	0.064	0.5	0.08	0.4	0.004
三级泵耗电 (kW·h)	0.2	0.038	0.2	0.038	0.2	0.032	0.2	0.032	0.4	0.064	0.2	0.032
电渗析耗电 (kW·h)	0.7	0.133	—	—	0.5	0.080	—	—	0.4	0.064	—	—
鼓风机耗电 (kW·h)	—	—	—	—	—	—	0.05	0.008	—	—	0.05	0.008
电渗析耗电极板 (块)	0.00004	0.016	—	—	0.00003	0.012	—	—	0.00003	0.012	—	—
电渗析耗交换膜 (对)	0.0006	0.018	—	—	0.0006	0.018	—	—	0.0006	0.018	—	—
离子交换消耗树脂 (kg)	—	—	0.002	0.016	—	—	0.001	0.004	—	—	0.001	0.004
纯度30%盐酸 (kg)	0.06	0.009	1.72	0.258	0.05	0.008	1.14	0.171	0.05	0.008	0.59	0.089
纯度95%食盐 (kg)	—	—	0.59	0.295	—	—	—	—	—	—	—	—
纯度95%火碱 (kg)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.34	0.119
生产每吨处理水 (元)	—	0.469	—	0.812	—	0.360	—	0.389	—	0.356	—	0.426

注: 1. 甲站按除盐率65%比较, 故阴、阳离子交换法酸碱用量是乘以0.65后的数字。

2. 丙站电渗析的浓水, 补充适当硬水后, 用三级泵送入生活水系统, 供生活, 洗涤用水, 所以三级泵耗电量增加一倍。