

凝 结 水 处 理

杨 东 方 编

27.8

水 利 电 力 出 版 社

凝 结 水 处 理

杨东方 编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7.75印张 170千字

1989年6月第一版 1989年6月北京第一次印刷

印数0001—2360册 定价5.05元

ISBN 7-120-00572-3/TK·95

内 容 提 要

本书对凝结水处理的目的是，凝结水处理系统，凝结水除铁、除盐和除油的方法等均作了系统的介绍；特别对提高凝结水处理设备出水水质的新工艺作了较详细的叙述；此外，对我国火电厂凝结水处理的概况作了翔实的阐述并进行了展望。

本书主要供电力、石化、轻工、电子等工业部门从事水处理工作的技术人员阅读，对有关专业院校的师生也有参考价值。

前 言

许多工业部门都装有换热器，这些换热器多用蒸汽加热。蒸汽在加热介质后凝结成水，成为凝结水。凝结水中含有的盐分很少，又有一定的温度，若随便将其排掉，是很大的浪费，应回收利用。但是，因凝结水中含有较多的铁及少量溶解盐，有的还含有一些油类，所以要回收利用凝结水，必须对它进行相应的处理。例如，我国电力工业今后以300MW及600MW机组作为主力机组，这类高参数、大容量的机组，对锅炉给水水质提出了更高的要求。因此，在火力发电厂中对汽轮机凝结水进行处理显得日益重要。其它工业部门目前对凝结水处理的要求也越来越迫切。为了适应这一发展的需要，以火电厂为主编写了本书。全书共分六章，分别对凝结水处理的目的和设备选用；凝结水处理系统；凝结水处理的三个重要单元（除铁、除油和除盐），做了介绍，特别对提高凝结水处理设备出水质量的新工艺做了较详细的叙述。本书可供火电厂从事水处理工作的技术人员阅读，也可供石化、轻工、电子等行业的有关专业人员参考。

编写本书时，引用了国内外的一些资料，借此机会，向有关资料的作、译者表示衷心的感谢。另外，在编写本书时，得到了宋珊卿、何辉纯同志的指导，还得到了我的同事惠仁泉、王洁凡、高秀山、阎锟等的大力协助，也向他们表示深切的谢意。

限于编者的水平，书中不妥之处，请批评指正。

作者

1987年

目 录

前言

第一章 凝结水处理的目 的设备选用	1
第一节 凝结水中杂质的来源	1
第二节 凝结水处理的目 的	4
第三节 凝结水处理的选用	6
第二章 凝结水处理系统	9
第一节 凝结水处理系统	9
第二节 凝结水处理设备与热力系统的连接及布置方式	15
第三章 前置过滤器除铁和凝结水除油	19
第一节 覆盖过滤器	19
第二节 电磁过滤器	45
第三节 管式微孔过滤器和氢型阳床	69
第四节 凝结水的除油	77
第四章 凝结水除盐混床	83
第一节 处理凝结水用的离子交换树脂	83
第二节 混床的结构型式	93
第三节 混床的再生	97
第四节 混床中树脂的清洗	121
第五节 混床的运行	126
第五章 提高凝结水处理设备出水质量的新工艺	143
第一节 铵化混床	143
第二节 三层混床	195
第三节 增设混脂塔	211
第四节 单床和三室床	214

第五节 弱酸树脂的应用	226
第六节 分隔床	228
第六章 我国火电厂凝结水处理概况及展望	230
第一节 我国火电厂凝结水处理概况	230
第二节 我国火电厂凝结水处理展望	237
参考文献	239

第一章 凝结水处理的目 的及设备 选 用

第一节 凝结水中杂质的来源

凝结水中的杂质一般来自凝汽器的泄漏、热力设备金属的腐蚀和补充水中的杂质等。现分述如下：

一、凝汽器泄漏

凝汽器的泄漏可使冷却水中的悬浮物和盐类进入凝结水中。泄漏可分为两种情况：较大的泄漏和轻微的泄漏。前者多见于铜管发生应力破裂、管子与隔板磨擦而穿孔或大面积的腐蚀穿孔等。此时，大量冷却水进入凝结水中，凝结水质严重恶化；后者多因凝汽器管子轻度蚀穿或管子与管板连接处不严密，而使冷却水渗入凝结水中。即使凝汽器的制造和安装质量较好，在机组长期运行过程中，由于负荷和工况的变动，引起凝汽器的震动，也会使管子与管板连接处的严密性降低，造成轻微的泄漏。当用淡水作冷却水时，凝汽器的允许泄漏率一般应小于0.02%。严密性较好的凝汽器，泄漏量可小于此限值，甚至达到0.005%。凝汽器泄漏往往是电厂热力设备结垢、腐蚀的重要原因。凝结水的含盐量与冷却水含盐量及凝汽器泄漏率的关系如图1-1所示（它适用于冷却水为淡水和苦咸水的情况）。当用海水作为冷却水时，要求泄漏率小于0.0004%。

在设计凝结水处理装置时，应根据冷却水水质来考虑凝汽器的最大允许泄漏率。以某电厂的设计方案为例，冷却水

为海水，当凝汽器的泄漏率为0.0004%时，漏入的冷却水量为200L/h（升/时），在出力为900t/h（吨/时）时，其凝结水处理设备可保证出水水质合格，此时要求8h（小时）再生一次树脂。该设计方案还考虑到当泄漏率为0.002%，漏入的冷却水量为1000L/h时，用一台刚再生好的混床和供一台混床使用的再生备用树脂，可在最大出力下工作2h，从而为按程序停机提供了有利条件。

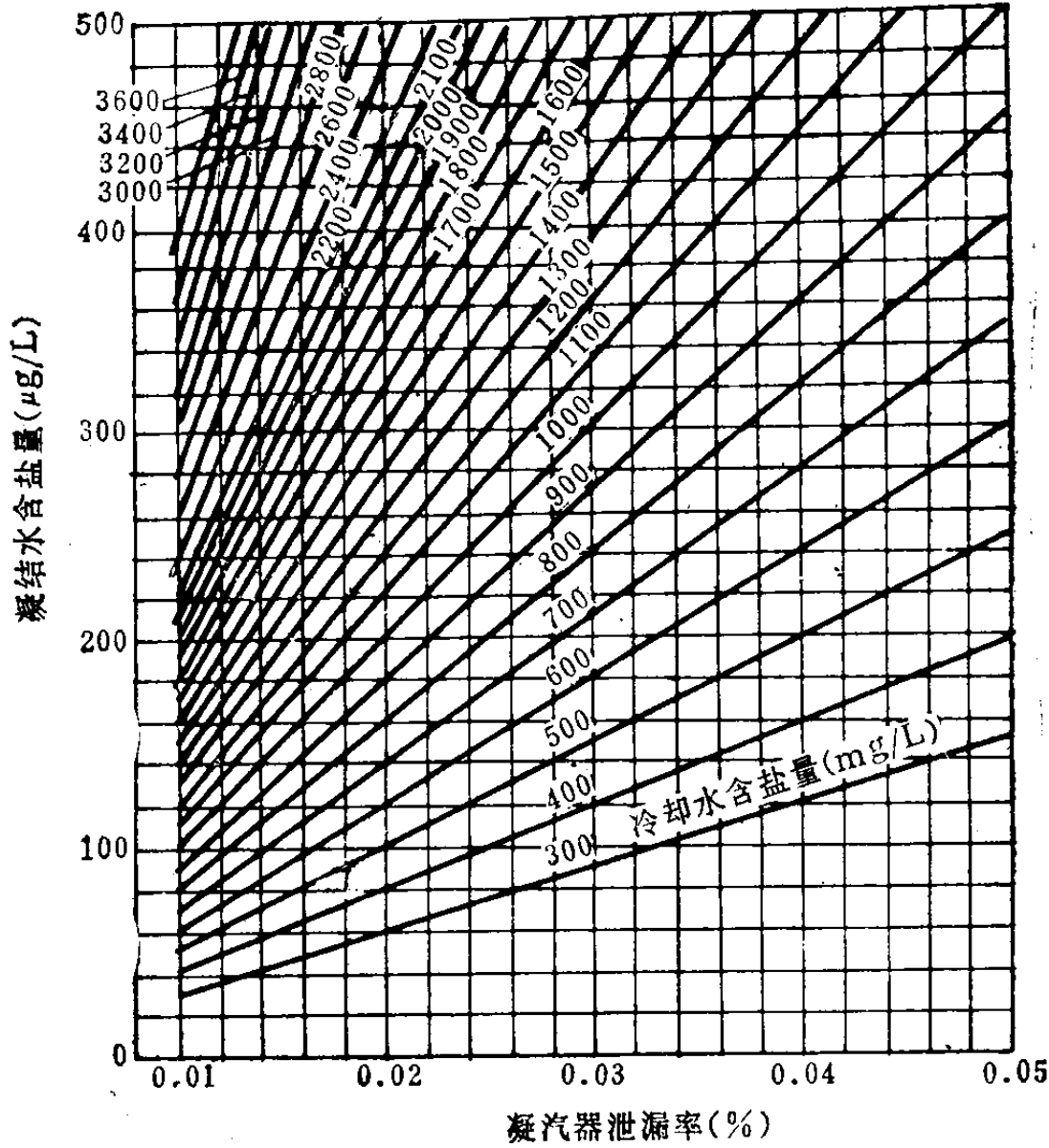


图 1-1 凝结水含盐量与冷却水含盐量及凝汽器泄漏率的关系

二、金属腐蚀产物带人

火电厂的蒸汽系统中的设备和管道，往往由于某些腐蚀性物质的作用而遭到腐蚀、致使凝结水中含有金属腐蚀产物，其中主要为铁和铜的氧化物。进入凝结水中金属腐蚀产物的量与很多因素有关，如：机组的运行工况，设备停用时保护得好坏，凝结水的pH值，溶解气体(氧和二氧化碳)的含量等。一般地说，在机组启动和负荷波动时，凝结水中的铁、铜含量急剧上升。以某电厂机组为例，大修后启动时，凝结水和给水中的铁、铜含量如表1-1所示。从表1-1中可看出，此值比机组正常运行时的铁、铜含量平均值(铁为15~30 $\mu\text{g/L}$ ，铜为2~3 $\mu\text{g/L}$)要高出十几倍。而且这种情况一般要延续1~2d(天)以后，水中的铁、铜含量才可以达到正常值，如图1-2所示。

表 1-1 机组启动时凝结水和给水中的铁、铜含量

时 间		凝 结 水		给 水	
		铁 ($\mu\text{g/L}$)	铜 ($\mu\text{g/L}$)	铁 ($\mu\text{g/L}$)	铜 ($\mu\text{g/L}$)
1980.7.16	最 高	2400	70	2000	200
	最 低	15	2	30	8
	平 均	540	38.7	411	46.4
1983.9.14	最 高	4500	130	700	100
	最 低	50	2	15	3
	平 均	500	35	198	28.3

凝结水进入锅炉后，其所含的金属腐蚀产物将在水冷壁管中沉积，引起锅炉结垢和腐蚀。

三、补充水带人的悬浮物和盐分

对于有凝结水处理设备的电厂，补充水有的只经过一级

化学除盐处理,即补入凝汽器,与凝结水混合后,再经混床处理。一级除盐水在25℃时的电导率一般为1~10 μ S/cm(微西/厘米),均含有一定量的残留盐分;除盐水流过除盐水箱、除盐水泵和管道,也会携带少量的悬浮物。

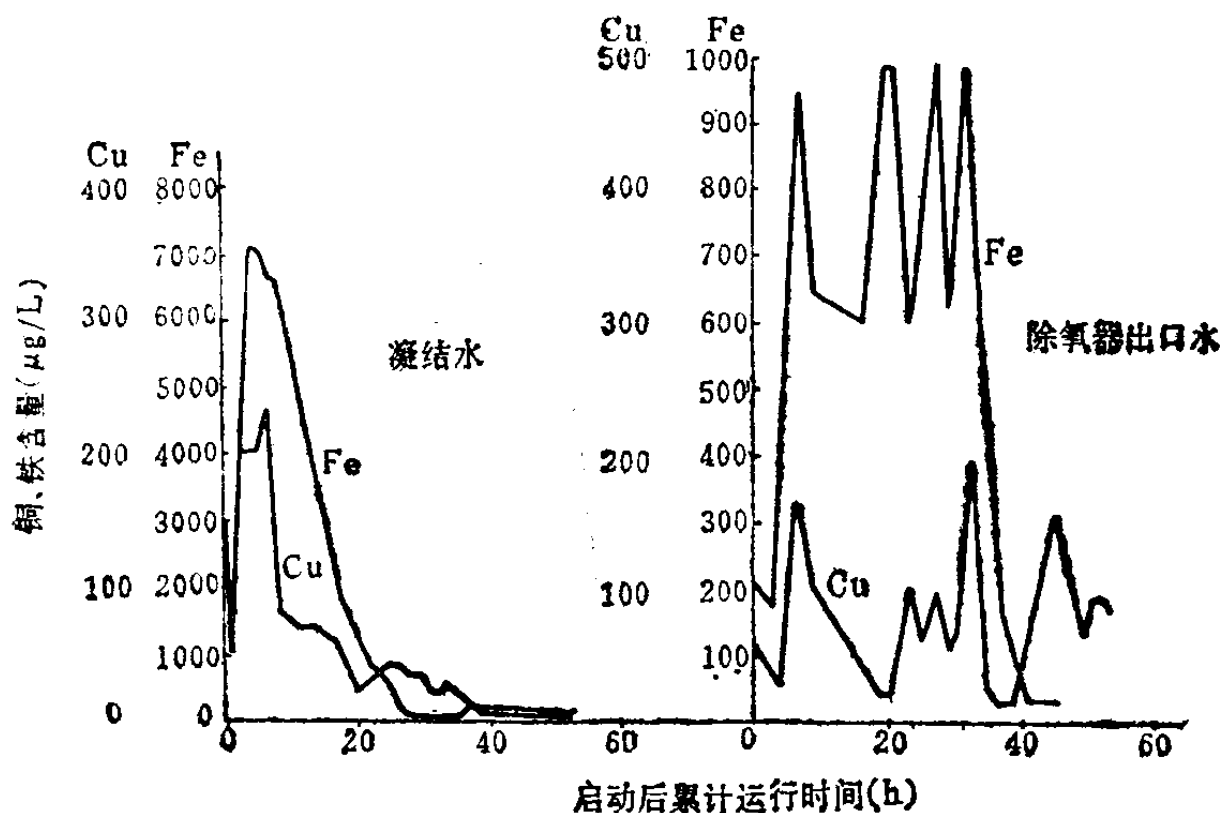


图 1-2 机组启动后累计运行时间与水中铁、铜含量变化的关系

第二节 凝结水处理的目的

为了确保锅炉给水水质纯净,须将部分或全部凝结水进行净化处理。

运行实践证明,有凝结水处理的机组,锅炉的腐蚀都轻于那些凝结水没有处理过的。另外还有资料报导,凝结水经过处理的超临界锅炉的腐蚀率,低于凝结水未经处理的亚临

界锅炉的腐蚀率。

1957年,某汽轮机制造厂提出的报告,列举了工作压力为 $12.4\sim 16.5\text{MPa}$ ($126\sim 168\text{kgf/cm}^2$) 的六个电厂的运行情况。由于汽轮机上有沉淀物,这些电厂的效率降低了1%。因此,主张压力大于 12.36MPa 的机组,对其凝结水应考虑进行净化。

随着运行机组参数的提高,对其给水水质的要求也越来越高,例如:

60年代提出: $\text{Na} < 5\text{ }\mu\text{g/L}$ (微克/升);

70年代提出: $\text{Na} < 1\text{ }\mu\text{g/L}$, $\text{Cl} < 1\sim 1.5\text{ }\mu\text{g/L}$;

80年代提出: $\text{Na} < 0.1\text{ }\mu\text{g/L}$, $\text{Cl} < 0.15\text{ }\mu\text{g/L}$ 。

给水水质要求得这样高,如果不对凝结水进行处理是很难达到的。

在我国,随着机组容量的增大,凝汽器的管子数量相应增多,泄漏的机率也随之增大,因凝汽器泄漏而造成炉管结垢爆破的事例时有发生。如1975年,某电厂一号锅炉水冷壁管发生爆裂,大面积管子遭受严重损坏。经检查分析,这次事故是由于氢脆造成的。结果换了水冷壁管225根,换管子总长为 1500m (米),机组停产一个半月,经济损失很大。

目前,我国大机组的给水含铁量一般较高,有的甚至超过 $20\text{ }\mu\text{g/L}$,因此锅炉水冷壁管的结垢速度也较快。例如,一台亚临界锅炉的双面水冷壁管,垢量最多的达 1500g/m^2 (克/米²),已发生过多次爆管。一些锅炉的局部热负荷较高处的炉管结垢量超过 $200\sim 300\text{g/m}^2$ 时,便可能发生爆管。为了防止炉管爆破,必须对锅炉频繁进行酸洗(酸洗一次费用高达几十万元)。另外,启停频繁的调峰锅炉,或负荷波动比较大的机组,有大量的氧化铁进入锅炉,也会加快炉管

的结垢速度。解决上述问题的办法，是设置凝结水处理设备。例如某电厂引进的 300MW 机组，因设备问题曾在 5a（年）的运行中，共启停 255 次。因设置了凝结水处理设备，当凝结水的含铁量低于 $1000\mu\text{g/L}$ 时，经处理后其含铁量一般不大于 $30\mu\text{g/L}$ ，水冷壁管的结垢量仅为 78.5g/m^2 （1978 年 12 月至 1980 年 7 月）。

此外，设置凝结水处理设备，还可以降低机组启动时的用水量，缩短机组的启动时间。基于上述原因，从一些发达国家来看，采用凝结水处理有增加的趋势。

第三节 凝结水处理的选用

是否设置凝结水处理设备，取决于很多因素，综合起来，有以下几点：

1. 发电机组的参数和容量；
2. 锅炉的型式（直流炉或汽包炉）及燃料类别（烧油或烧煤）；
3. 凝汽器管材（黄铜管、镍铜管或钛管）及冷却水水质（淡水、苦咸水或海水）；
4. 机组的运行特性（带基本负荷或尖峰负荷）；
5. 锅内水处理方式（碱性处理或中性处理）。

目前，关于是否应设置凝结水处理设备，国内外较一致的看法是：

1. 直流炉机组（任何参数和容量）的凝结水要进行 100% 的处理。
2. 冷却水为海水时，对凝结水要进行 100% 的处理。
3. 冷却水为苦咸水时，一般对凝结水要进行处理，其处

理量为25%~100%。

4. 锅内采用中性处理方式时，由于对水质要求高，一般对凝结水要进行100%的处理。

5. 冷却水为淡水的高压和超高压汽包炉机组，一般不对凝结水进行处理。但也有人认为，对凝结水进行处理后，机组启动时间短，耗水省，并可大幅度降低汽包锅炉的排污量，虽然设置凝结水处理装置的投资较高，但综合起来看，在经济上还是合算的。

对于凝结水是否应进行处理，争议较大的问题如下：

1. 亚临界汽包炉应否对凝结水进行处理；

2. 冷却水虽为海水，但凝汽器使用钛管时，是否对凝结水进行处理；

3. 超高压调峰机组，是否对凝结水进行处理。

对于第一点，各工业发达国家的亚临界汽包炉在1960~1970年间很少对凝结水进行处理的。但是，近年来为了满足汽轮机对进汽质量越来越高的要求，加以周末停炉的情况增多，对亚临界参数汽包炉的凝结水也倾向于进行处理。从目前我国的运行情况来看，要完全防止凝汽器泄漏，是很难做到的。例如，某电厂的引进机组在运行初期，铜管端部冲击腐蚀比较严重，泄漏比较频繁，经采用往管端涂环氧树脂及硫酸亚铁成膜等措施后，泄漏情况大为好转，但并未根除，仅1982年一年内，两台机的凝汽器共发生泄漏十四次，给水硬度达 $3.5\mu\text{mol/L}$ （微摩尔/升）。由于这只是轻微泄漏，找漏不易，延长了水质恶化时间（如果当时有凝结水处理设备可投入运行，则可及时改善水、汽品质）。又如某厂亚临界参数机组，由于未设置凝结水处理设备，机组启动时因凝结水中含铁、铜量很高，被迫进行大量换水〔每次启动平均

用水3500t(吨)]。有时因供水问题，还进一步延长了机组启动时间。综合上述情况，编者认为，亚临界汽包炉因参数较高，容量较大，对给水质量要求较高，因此即使是用淡水作冷却水，仍应考虑全厂设置一台机组的凝结水处理设备为宜。

对于第二点，有人认为，当凝汽器的管子和管板全使用钛材料制造时，由于钛的抗腐蚀性能强，且管子和管板的连接采用焊接，因此，可以认为凝汽器是无泄漏的，无需对凝结水进行处理。但是，即使凝汽器的管子和管板全由钛材制造，也不能保证绝对不漏。例如某电厂为全钛凝汽器，两台机各发生过一次管子与隔板磨损而泄漏的事故，使给水中的 SiO_2 分别达到 $84\mu\text{g/L}$ 和 $184\mu\text{g/L}$ ，恶化了水、汽品质。由于该厂排污量极低，凝汽器堵漏后，到恢复汽、水质量正常，延续了约两个月时间。另外，钛材凝汽器也不能解决机组启动时凝结水中铁及铜含量高的问题。因此，即使用钛凝汽器，对装有亚临界压力汽包炉的电厂，仍应考虑设置一台机组的凝结水处理设备。

对于第三点，编者认为，应设置一套除去水中铁、铜氧化物的设备，作机组启动时用。

第二章 凝结水处理系统

第一节 凝结水处理系统

世界各国机组参数、容量和水处理技术发展的状况不一，热力设备的材质和加工工艺也存在差异，故凝结水处理系统也有所不同。一般说来，大致可归纳为美国系统和欧洲系统（欧洲系统以联邦德国为代表）。现分别说明如下。

一、美国系统

美国系统可以概括为以下几种：

1. 凝结水→纤维素覆盖过滤器→混床；
2. 凝结水→粉末树脂覆盖过滤器；
3. 凝结水→粉末树脂覆盖过滤器→混床；
4. 凝结水→混床。

有人提出，覆盖纤维素过滤器的设备费、安装费和运行费约等于混床的费用，因此，取消前置覆盖过滤器，就可使凝结水处理的总费用降低近一半。另外，有些报导中提出取消前置过滤器后，还可带来以下好处：

1. 减少系统中的压降 $0.1\sim 0.15\text{MPa}$ ($1\sim 1.5\text{kgf/cm}^2$)，从而降低主凝结水泵的初投资和动力消耗；
2. 简化系统和操作，在机组工况波动时，不必担心过滤器脱膜，从而提高运行的可靠性；
3. 避免纤维素带入混床，造成树脂层的污堵及阴树脂污染等问题。

无前置过滤器的混床运行实践表明：

1. 体外再生混床能除去凝结水中85%~95%的悬浮氧化铁，所以只设混床是可行的。

2. 采用空气擦洗法，可以除去树脂层中绝大部分污物，防止树脂的污染，保持混床持续的除铁能力。

3. 当采用高流速混床时，悬浮杂质不致聚集在混床表面而形成压降急剧升高的“表面过滤”，而是渗入到树脂层中，实现“容积过滤”。这种所谓“深层过滤混床”，可以避免压降的急剧升高。

为了防止混床树脂层形成“表面过滤”，也可在上部树脂层下200~300mm(毫米)处设反洗装置，以便定期对树脂进行反冲洗。

当混床的流速提高到大约120m/h时，要求树脂必须有较好的强度。选择大孔树脂可以满足混床高流速运行的需要。

4. 一般通过混床的特殊运行方式来解决初投运时悬浮杂质含量极高的问题。例如某厂在机组试运的前十天，混床只装入阳树脂，即单脂氢型运行。树脂层高650~670mm，运行流速为90~120m/h，共运行11d。在进水含铁量为200~1000 $\mu\text{g/L}$ 时，出水含铁量小于15 $\mu\text{g/L}$ 。工作周期为25~30h。单脂运行时，在树脂失效后，既用空气擦洗又通酸再生。这样步骤少，时间短，适合启动初期再生频繁的特点。

根据上述一些情况，有人认为，今后将向取消前置过滤器的目标发展。早在1966~1969年，美国建设的65台超临界压力和亚临界压力直流炉机组中，有10台采用的是覆盖纤维素过滤器—混床系统，12台采用的是粉末树脂过滤器—混床系统，18台采用的是粉末树脂覆盖过滤器，25台采用的是无前置过滤的混床系统(约占总数的40%)。70年代初，

美国运行的135台直流炉中，约有75%的凝结水处理，采用无前置过滤的高流速混床，12%用前置过滤器—混床系统，13%为粉末树脂覆盖过滤器。但也有人认为欧洲凝结水处理系统较好。

日本1973年对94个电厂凝结水处理情况进行了调查，无前置过滤混床的凝结水处理系统约占40%。

二、欧洲系统

欧洲系统即联邦德国的凝结水处理系统，大体有以下四种：

1. 凝结水→石英砂/阳床→混床；
2. 凝结水→阳床→混床；
3. 凝结水→电磁过滤器→混床；
4. 凝结水→管式微孔过滤器→混床。

在50~60年代，采用第1种系统的较多；70年代后，采用第2、4种系统的较多，应用电磁过滤器（钢球型）的不多。

在第1种系统中，石英砂及阳交换器基本上是两台分开的独立设备，但装在同一罐内。石英砂的粒径为0.8~1.2mm，层高为0.5~0.6m。阳交换器内树脂层高度为1m，使用Lewatit S100型凝胶树脂。运行流速为40~100m/h。

在第2种系统中，阳离子交换器可除去系统中铁的氧化物和氨，使混床的运行周期延长。在设有前置阳床的情况下，混床中阳、阴树脂的比例为1:2~1:1。在未设前置阳床时，阳、阴树脂比例为2:1~1:1。因阳树脂价格便宜，所以联邦德国认为这样的系统是经济的。

在第3种系统中，联邦德国目前应用的电磁过滤器是钢球型的。

在第4种系统中，管式微孔过滤器的滤元由不锈钢或塑