

电力系统水处理和水分析人员
资格考核用书

电力系统水处理 培训教材

(第二版)

火电厂水处理和水分析人员资格考核委员会
西安热工研究院有限公司

编著

全国电力系统水处理专业**权威培训教材**

- ★ 持证上岗、培训考核必备读物
- ★ 案例分析深入、透彻
- ★ 内容紧贴工作实际，突出岗位技能



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电力系统水处理和水分析人员

资格考核用书



电力系统水处理

培训教材

(第二版)

火电厂水处理和水分析人员资格考核委员会
西安热工研究院有限公司

编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

根据火电厂水处理生产岗位需要持证上岗的要求,由火电厂水处理和水分析资格考核委员会于2009年组织编写了《电力系统水处理培训教材》。近几年来,火电厂水处理技术有了新的发展,很多相关标准也相继更新,使得水处理技术更加合理、完善。因此,对本教材进行全面修编。

本教材全面、系统地介绍了在火电厂的生产、科研和设计中遇到的各种水处理方面的问题。其主要内容包括:天然水的预处理、锅炉补给水的化学除盐、反渗透水处理技术、发电厂冷却水处理、火电厂废水处理、凝结水处理、锅炉给水处理、锅炉炉水处理、蒸汽系统的积盐及发电机内冷却水处理等。同时还提供了国内外最新的水处理动态和科研成果,对解决日常水处理工作中遇到的各种问题将有很大的帮助。

本书可作为火电厂水处理生产岗位培训教材使用,也可作为大专院校有关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统水处理培训教材/火电厂水处理和水分析人员资格考核委员会,西安热工研究院有限公司编著.—2版.—北京:中国电力出版社,2015.1

电力系统水处理和水分析人员资格考核用书

ISBN 978-7-5123-6831-6

I. ①电… II. ①火…②西… III. ①火电厂-电力系统-水处理-资格考试-教材 IV. ①TM621.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 283152 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 4 月第一版

2015 年 1 月第二版 2015 年 1 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 476 千字

印数 6001—9000 册 定价 80.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

编 写 人 员

主 编 孙本达

参 编 杨宝红 王广珠 王正江 许 臻
宋敬霞 田文华 张维科 王应高
吴文龙 马东伟



随着科学的进步，火电厂的水处理技术得到了飞速发展，近几年颁布了很多相关标准。这些标准汇集了世界各国最新的水处理技术及国内最新的科研成果，使火电厂的水处理技术更加系统、规范和完善。为了使读者对有关标准有更深、更准确地理解，本书对有关标准所涉及的各项指标进行了详细地说明，使工作人员在执行标准的过程中，能更加准确地把握标准中规定的各项指标，从而使设备更加安全、经济地运行，也给企业带来更大的经济效益。

本书全面、系统地介绍了在火电厂的生产、科研和设计中遇到的各种水处理和防腐、防垢方面的问题。本书的内容是从原水开始，按照火电厂的用水流程对水处理工艺、各种水处理设备在运行中容易出现的问题以及解决方法进行了分类讨论和分析，结合具体实例进行了较为详细地阐述。本书主要介绍了水资源可持续利用的理念和火电厂所用的各种水的预处理、化学除盐、物理除盐、锅炉给水、炉水、蒸汽、凝结水、发电机内冷却水、循环水和火电厂各种废水处理及回用技术。

本书的修编是在火电厂水处理和水分析人员资格考核委员会的统一安排下进行的。修编工作以西安热工研究院为主，华北电科院、河北电科院、安徽电科院等单位参加编写。由于编者水平有限，加之时间仓促，不足和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2014年10月

第一版前言

电力系统水处理培训教材 (第二版)



随着科学的进步,火力发电厂的水处理技术得到了飞速地发展,最近几年颁布了很多相关标准。这些标准汇集了世界各国最新的水处理技术及国内最新的科研成果,使火力发电厂的水处理技术更加系统、合理和完善。为了使读者对有关标准有更深、更准确地理解,本书对有关标准所涉及的各项指标进行了详细地说明。使您在执行标准的过程中,能更加准确地把握标准中规定的各项指标,使您掌管的设备更加安全、经济运行,从而给企业带来更大的经济效益。

本书全面、系统地介绍了在火力发电厂的生产、科研和设计中遇到的各种水处理和防腐、防垢方面的问题。本书内容从原水开始,按照火力发电厂的用水流程对水加工工艺、各种水处理设备在运行中容易出现的问题以及解决方法进行了分类讨论和分析,结合具体实例进行了较为详细地阐述。本书主要介绍了水资源可持续利用的理念和火力发电厂所用的各种水源水的预处理、化学除盐、物理除盐、锅炉给水、炉水、蒸汽、凝结水、发电机内冷却水、循环水和火力发电厂各种废水处理及回用技术。本书由以下人员编写:

第一章	锅炉补给水预处理	许 臻 马东伟
第二章	锅炉补给水的化学除盐	王广珠 许 臻
第三章	反渗透水处理技术	王正江
第四章	发电厂冷却水处理	杨汝周 王应高 吴文龙 孙本达
第五章	火力发电厂废水处理	杨宝红
第六章	凝结水处理	孙本达 韩隶传
第七章	锅炉给水处理	孙本达
第八章	锅炉炉水处理	孙本达
第九章	蒸汽系统积盐	孙本达
第十章	发电机内冷却水处理	孙本达

鉴于目前火力发电厂水处理生产岗位需持证上岗,并已经陆续开展,本书可作为电力系统水处理生产岗位培训教材,对电力院校相关专业的师生具有较高的参考价值。

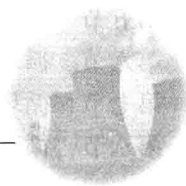
本书的编写是在火力发电厂水处理和水分析人员资格考核委员会的统一安排下进行的,在考核委员领导杜红纲、汪德良和孟玉婵等安排下完成编审校等工作,由于时间有限,错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 12 月

目 录

电力系统水处理培训教材 (第二版)



前言

第一版前言

第一章 天然水的预处理	1
第一节 火电厂常用的天然水源类型和主要杂质	1
第二节 混凝澄清处理工艺	3
第三节 石灰处理工艺	17
第四节 过滤处理工艺	20
第五节 超滤	29
第六节 水的吸附和杀菌消毒处理	34
第七节 预处理系统的选择	38
第二章 锅炉补给水的化学除盐	40
第一节 离子交换基本理论	40
第二节 离子交换树脂的有关性能	48
第三节 水的化学除盐	59
第四节 常用化学除盐水处理设备	62
第五节 锅炉补给水处理系统的设计原则	72
第三章 反渗透水处理技术	73
第一节 反渗透技术概述	73
第二节 反渗透脱盐原理及渗透理论	74
第三节 反渗透膜的主要特性	76
第四节 反渗透装置及影响性能的因素	80
第五节 反渗透预处理方法	87
第六节 反渗透水处理装置的设计	92
第七节 反渗透水处理装置的安装与运行管理	98
第八节 反渗透水处理装置的清洗	104
第四章 发电厂冷却水处理	107
第一节 发电厂冷却水系统	107
第二节 循环冷却水系统的结垢及其控制	116
第三节 循环冷却水的防垢处理方法	121
第四节 水质稳定剂处理	125

第五节	循环冷却系统补充水处理及旁流处理·····	130
第六节	循环冷却水系统的腐蚀及其控制·····	138
第七节	循环冷却水系统中微生物的控制·····	145
第八节	循环冷却水系统的运行管理·····	154
第五章	火电厂废水处理 ·····	159
第一节	火电厂废水的种类及性质·····	159
第二节	火电厂的废水排放控制标准和常见的污染物·····	162
第三节	火电厂废水处理的方式及设施·····	164
第四节	废水综合利用和废水零排放·····	171
第六章	凝结水处理 ·····	174
第一节	凝结水处理概述·····	174
第二节	凝结水前置处理·····	180
第三节	凝结水除盐·····	188
第七章	锅炉给水处理 ·····	209
第一节	火电厂给水系统·····	209
第二节	火电厂给水水质特点·····	210
第三节	火电厂给水系统的腐蚀与防护方法·····	211
第四节	锅炉给水处理·····	213
第八章	锅炉炉水处理 ·····	228
第一节	水垢和水渣及其危害·····	228
第二节	炉水处理·····	233
第三节	炉水加药处理和锅炉排污·····	244
第九章	蒸汽系统的积盐 ·····	249
第一节	影响蒸汽系统积盐的因素·····	249
第二节	蒸汽携带盐类的途径·····	252
第三节	盐类在蒸汽系统的沉积·····	257
第十章	发电机内冷却水处理 ·····	260
第一节	有关内冷却水的标准·····	260
第二节	现场经常遇到的问题·····	264
第三节	发电机内冷却水的处理方法·····	267
附录	复习题及参考答案 ·····	272

第一章 天然水的预处理

天然水体中常含有泥沙、黏土、腐殖质等悬浮物和胶体杂质，以及细菌、真菌、藻类和病毒等，它们在水中具有一定的稳定性，是造成水体混浊、有颜色和异味的主要原因。为了除去这些杂质，通常使用混凝、澄清和过滤等工艺，称之为水的预处理。电力锅炉的补给水必须使用除盐水，如不对原水进行预处理以除去这些杂质，后续的除盐工艺将无法进行。因此，预处理是锅炉补给水处理工艺流程中的一个重要环节。

第一节 火电厂常用的天然水源类型和主要杂质

火电厂常用的天然水源主要有地表水和地下水两种。地表水源包括各种河流、湖泊、水库和泉水等。地下水包括表层地下水、层间地下水和深层地下水。地表水和表层地下水的杂质都会随着季节而变化，但地表水的变化通常更快、更明显。

一、地表水

地表水主要以河水、湖水等形式存在。地表水水源主要来自降雨、冰雪融化以及浅层地下水渗出（如泉水）等。地表水的水质易受环境的影响，悬浮物和有机物是地表水中最容易变化的指标。由于存在方式不同，河水和湖水在许多方面有各自的特点。

1. 河水的特点

连续流动、不断更替是河水最大的特点。河水与地表物质接触时间短，因此与其他陆地上的水体相比，含盐量较低，有一定的自净化能力。河水在流动过程中，会接触到各种岩石、土壤，会溶进泥沙、有机物和无机盐等多种杂质。

在各种水质指标中，悬浮物是河水中最容易变化的水质指标。东南沿海和东北地区河流的悬浮物较低；而长江流域和黄河流域因其相连的水系复杂，其悬浮物在较长的时间可以维持在 1000mg/L 以上。华北和西北地区的河水的悬浮物浓度较高，变化幅度也较大，这方面最典型的例子就是黄河水。在冬季，悬浮物仅几十毫克每升，而在夏季遇暴雨洪峰季节，可达几十万毫克每升。

与悬浮物相比，同一条河水的含盐量相对比较稳定，但地域之间的差别比较明显。一般是在降雨较多的东北和南方地区，河流的含盐量和硬度都较低，西北、华北干旱少雨地区的含盐量和硬度均较高。无论是哪个地区，入海口河段水的含盐量的变化往往很大，因为海水倒灌的影响，经常会出现含盐量突然升高的情况。

近年来，各种地表水源的工业污染加剧，使得原来水质好的河流受到污染，有机物、含盐量等水质指标大幅度升高。水源水质的恶化，增加了水处理成本。

2. 湖水、水库水

湖水、水库水是地表水资源存在的另一种重要形式。相对河水来讲，湖泊水的水流迟

缓，没有整体水的置换，更新期比较长。由于湖水对湖盆中的岩石、土壤的溶蚀，湖水蒸发量大，其含盐量一般都明显升高。对于深水湖泊，不同水深的水质分布也不同。湖泊的水质随水深的变化情况如下。

(1) 浊度。与河水相比，因为长时间静止沉降，湖水的浊度一般比较低。

(2) 溶解氧。水中的溶解氧在水的表面最高，一般为饱和状态；随着水深的增加，溶解氧稍有降低。

(3) 藻类。藻类物质一般漂浮于湖水的表层。水深达到水温跃动层时，藻类含量达到最大值。

(4) CO_2 。在水的表面， CO_2 的含量很小；随着水深增加，由于温度降低， CO_2 含量逐渐加大。

二、地下水

地下水的水质特征相对比较稳定，变化比较缓慢。按照贮存深度划分，地下水可以分为表层地下水、层间地下水和深层地下水。各层水的水质特征是不同的。

1. 表层地下水

表层地下水主要是天然水，是地层中不透水层以上的地下水。这部分水与外界环境的联系紧密，其水量、水质很容易受外界的影响。

2. 层间地下水

层间地下水是在不透水层以上的中层地下水，是雨、雪等降水和地表水经过长距离渗透进入地下而形成的水层。火电厂使用的主要是层间地下水。

层间地下水可以由雨雪降水或地表水通过地层的渗透得到补充。因为在渗透的过程中，补充的水经过了深层过滤，而且贮存时间长、贮存环境稳定，因此层间地下水的水质一般变化不大，其水质指标主要与地下的地质结构有关。由于长期与石灰石、石膏、白云石、菱镁矿和硅酸盐等矿物质接触，大量的钙、镁、钠、锶等元素溶入水中，因此一般地下水的硬度、碱度、含盐量、胶体硅、铁、二氧化碳等水质指标比地表水高。

层间地下水具有以下特征：水质稳定，透明，几乎没有悬浮物、有机物和细菌。

人类对地下水的开采和废水的排放等地面活动会对地下水产生一定的影响。如超量开采，就会产生水位下降、水质变差、地面沉降等一系列问题。

3. 深层地下水

深层地下水是指深度在地表之下 1000m 以上的蓄水层。深层地下水基本与外界隔绝，工业上一般不进行开采。

三、天然水中的主要杂质

通常所说的水质是指水的化学组成，即水中的杂质组分和含量。水中的杂质有多种分类方法。在水处理中，因为属于同一分散体系的杂质其处理工艺往往相同，所以常以杂质的分散体系对杂质进行分类。分散体系是以杂质颗粒大小为基础建立的，按照杂质的颗粒粒径由大到小将杂质分为悬浮物、胶体和溶解物质三部分。

1. 悬浮物

悬浮物是水中存在的可以通过某种过滤材料分离出来的固体物质，其颗粒粒径大于

0.1 μm ，是水发生混浊的主要原因。悬浮物在水中是不稳定的，在重力或者浮力作用下会发生沉淀或者上浮。悬浮物主要由水中的沙粒、黏土微粒和一些动植物生命活动过程中产生的物质或死亡后产生的腐败产物等组成。

2. 胶体

胶体是天然水中的主要杂质，也是火电厂水处理中要除去的主要杂质之一。常见的胶体物质有铁、铝、硅的各种化合物。另外，腐殖酸等能溶于水的大分子有机物也具有胶体的性质，通常也列入胶体的范围。

胶体大多是由许多不溶于水的大分子组成的集合体，粒径为0.001~0.1 μm 。胶体物质的大小介于溶解物质与悬浮物之间，是在水中存在相分界面最小的颗粒。因为胶体的粒径极小，所以胶体颗粒具有很大的比表面积和界面自由能，这决定了胶体在一定条件下会脱稳而与水分离。但是，在自然条件下，水中的胶体物质能够稳定存在，这就是胶体的稳定性特征。

胶体的稳定性包括动力稳定性和凝聚稳定性。动力稳定性又称沉降稳定性，是由于存在布朗运动，使水中的胶体颗粒可以长时间保持分散状态而又不发生沉降。凝聚稳定性是由于胶体颗粒表面存在双电层，同性电荷的相斥力阻碍了胶体颗粒在碰撞时互相黏附长大，因此，胶体颗粒之间不会自行发生凝聚而脱稳。胶体的稳定性是胶体颗粒不容易沉降的根本原因。

3. 溶解杂质

溶解杂质包括无机盐和溶解气体。无机盐杂质来源于水流经过的地层、土壤等溶解的某些矿物质，如石灰石、石膏、白云石、钠盐矿、钾盐矿以及铝化合物和硅化合物。

天然水中常见的溶解气体杂质包括二氧化碳和硫化氢等。其中，二氧化碳是最主要的溶解气体，也是影响水中碳酸盐平衡的主要因素之一。

4. 有机物

有机物是指水中所含的各种形态的有机物质，这些有机物会以悬浮物、胶体或溶解态存在于水中。过去在水处理中，讨论的重点往往是腐殖酸、富里酸等天然有机物的去除，但近年来因为工业废水污染严重，地表水中存在的有机物主要是工业污染物，因此有机物的组成更为复杂。

天然水中的有机物种类很多，每类有机物又是多种有机分子组成的混合物，从而有很多分类方法。从生物降解的角度，可以将有机物划分为可降解的和不可降解的；从有机物的存在形态来分，又可以分为溶解性的和非溶解性的。

由于组成复杂，无法用确定的分子式表示水中所有的有机物，因此要分别测定有机物十分困难。在水处理中，目前只能用有机物的总量来表示其浓度的高低，而不再细分有机物的组成。在火电厂中一般用化学需氧量（COD）、生物需氧量（BOD）和总有机碳（TOC）来表示有机物的浓度。

第二节 混凝澄清处理工艺

一、混凝澄清的机理和过程

要使胶体颗粒沉降，首先要消除胶体颗粒稳定的因素，使其脱稳。使胶体颗粒脱稳的方法有投加电解质、投加高分子絮凝剂和反电荷胶体等。在水处理中常用的是投加电解质和高

分子絮凝剂两种方法。通常使用的混凝剂就是一种电解质，是混凝澄清处理中最重要的药剂。因为天然水中的胶体颗粒带负电荷，所以混凝剂都是水解后能够产生大量带正电荷离子的化合物，如明矾、聚合铝、聚合铁等。

混凝处理的机理是利用混凝剂在水中电离后产生的与胶体颗粒电性相反的离子，通过电中和作用减薄胶体表面的双电层，降低 ζ 电位，消除静电排斥力，使胶体颗粒相互凝聚而脱稳。在布朗运动（无规则的热运动）的作用下，相互凝聚成细小絮凝物的反应过程称为凝聚。细小絮凝物在范德华引力（即分子间的引力）的作用下或在絮凝剂的吸附架桥作用下，相互黏合成较大絮状物的过程称为絮凝。

所谓混凝过程，就是在水中投加混凝剂后，经过混合、凝聚、絮凝等综合作用，最后使胶体颗粒和其他微小颗粒聚合成较大的絮状物。凝聚和絮凝的全过程称为混凝。按照混凝理论，一个完整的混凝澄清过程包括胶体脱稳凝聚成絮体、絮体长大和絮体沉降三个过程。在此过程中，电中和、絮体相互吸附和泥渣的吸附过滤作用是三种主要的作用形式。从工艺过程来看，混凝澄清处理是由混凝和澄清两个连续的水处理过程组成的。在混凝阶段，水中的胶体杂质脱稳、凝聚，形成絮体。在澄清阶段，絮体不断生长，并发生沉淀分离。胶体和大颗粒悬浮物通过混凝澄清过程如图 1-1 所示。

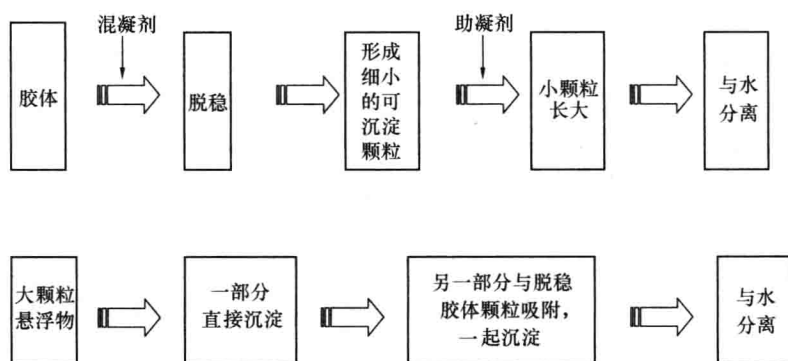


图 1-1 混凝澄清过程示意图

二、混凝澄清处理的主要影响因素

因为混凝处理的目的是除去水中的悬浮物，同时使水中胶体、硅化合物及有机物的含量降低，所以通常以出水的浊度来评价混凝处理的效果。因为混凝澄清处理包括了药剂与水的混合，混凝剂的水解、羟基桥联、吸附、电性中和、架桥、凝聚及絮凝物的沉降分离等一系列过程，因此混凝处理的效果受到许多因素的影响，其中影响较大的因素有水温、水的 pH 值和碱度、水的浊度、泥渣特性、排泥及混凝剂的特性和剂量。

1. 水温

水温对混凝处理效果有明显影响。因为高价金属盐类混凝剂的水解反应是吸热反应，水温低时，混凝剂水解比较困难，所形成的絮凝物结构疏松，含水量多，颗粒细小，不利于胶体的脱稳；水温低时，水的黏度大，水流剪切力大，絮凝物不易长大，沉降速度慢。

在电厂水处理中，为了提高混凝处理效果，冬季常常采用生水加热器提高来水温度，也可增加投药量来改善混凝处理效果。采用铝盐混凝剂时，水温在 20~30℃ 比较适宜，相比

之下,铁盐混凝剂受温度的影响较小,针对低温水处理效果较好。

2. 水的 pH 值和碱度

混凝剂的水解过程是一个不断放出 H^+ 的过程,会改变水的 pH 值和碱度。反过来,原水的 pH 值和碱度直接影响到混凝剂水解中间产物的形态,影响絮凝反应的效果。各种混凝剂都有一定的 pH 适应范围。

尽管水的 pH 值和碱度对混凝效果影响较大,但在天然水体的混凝处理中,却很少通过投加碱性或酸性药剂调节 pH 值。这主要是因为大多数天然水体都接近于中性,投加酸、碱性物质会给后续处理增加负担。

3. 水的浊度

原水浊度小于 50FTU 时,浊度越低越难处理。当原水浊度小于 20FTU 时,为了保证混凝效果,通常采用加入黏土增浊、泥渣循环、加入助凝剂等方法;当原水浊度过高(如大于 3000FTU),则因为需要频繁排渣而影响澄清池的出力和稳定性。我国所用地表水大多属于中低浊度水,少数高浊度原水经预沉淀后也属于中等浊度水。

4. 泥渣特性

在混凝澄清处理中,泥渣特性是影响混凝澄清效果的最主要因素之一。无论是哪一类型的澄清设备,良好的泥渣特性是澄清器稳定运行的基础。所有影响泥渣特性的因素都会影响澄清器的运行效果。泥渣特性主要包括泥渣活性、泥渣浓度和泥渣层高度三方面的内容。

(1) 泥渣活性。混凝反应所形成的絮体并不是松散的、互不相关的、类似于沙粒的固体物,而是具有一定吸附能力的活性物质。影响泥渣活性的因素主要是混凝剂的种类、剂量和原水中胶体杂质的组成。对于相同的混凝剂和水质,混凝剂剂量的影响十分明显。剂量不足时,泥渣的活性差,絮体外观松散、易破碎,不易吸附和长大,形成的泥渣层强度差,出水残留的絮体多,影响出水水质。

实质上,泥渣的活性主要是指泥渣的内聚力,即泥渣之间相互吸附的能力。泥渣活性好,相互之间的吸附能力强,絮体容易长大,容易形成稳定的泥渣层。活性好的泥渣层有一定的“抗拉强度”,能够抵抗强的水流冲击,而且一旦泥渣层被破坏,能很快的恢复。

(2) 泥渣浓度。泥渣浓度是指在反应区和泥渣悬浮区单位体积水中泥渣的体积,一般用沉降比来表示。在一定的范围内,泥渣浓度高,出水水质好。反应区的泥渣浓度越大,混凝反应速度就越快;分离区的泥渣浓度越大,泥渣层的网捕过滤作用就越强。

影响泥渣浓度的因素主要是澄清池的上升流速(出力)、混凝剂的剂量和原水中胶体、悬浮物的含量。上升流速越大,泥渣受到的剪切力也越大,泥渣之间的距离就越大,因此泥渣浓度就低。混凝剂的剂量和原水中胶体、悬浮物的含量对泥渣浓度的影响是相同的。原水中的胶体、悬浮物的含量越少,泥渣浓度也越小,这就是为什么低浊水反而难处理的原因。混凝剂量大,水解产物数量就越多,泥渣的浓度也越大。

需要说明的是,泥渣浓度过大对澄清器的运行也不利,主要表现在悬浮泥渣层膨胀太快,排泥频繁,水耗大;同时,泥渣容易老化而失去活性。因此,在实际运行中,需要通过一定的手段,维持合理的泥渣浓度范围。

(3) 泥渣层高度。悬浮泥渣层的高度是影响澄清效果的另一个重要因素。泥渣层高度越高,泥渣层的网捕过滤作用就越强,出水水质就越好,这与过滤器滤层的高度对出水水质的影响是相似的。

悬浮泥渣层高度也是需要控制的。如果渣层高度太高,清水区会缩短,影响水质;内有斜管的澄清器,过高的泥渣层有可能堵塞斜管,使出水变差。

在澄清器运行中的排泥操作,实质上就是控制泥渣的特性。通过排泥,排去活性较差的泥渣、调整泥渣浓度和悬浮泥渣层的高度。

5. 排泥

澄清池在运行过程中,会产生悬浮泥渣层。悬浮泥渣层具有吸附水中小矾花的作用,其高度的变化对澄清池的出水浊度影响很大,必须维持在一定的范围内。若悬浮泥渣层太高,会因清水区变短将矾花带入出水区,增加出水的浊度;反之则起不到吸附水中小矾花的作用,出水水质也要变差。当运行条件固定后,泥渣层高度主要通过排泥来控制。因此,科学合理的排泥控制方式对澄清池的运行极为关键。较为科学的排泥方式有如下两种。

(1) 根据泥渣高度自动排泥。这种排泥方式的工作原理是在设备体内设置泥位计检测泥渣高度,以澄清池内的泥渣层高度为信号控制排泥。

(2) 根据泥渣浓度自动排泥。这种排泥方式的原理是通过连续监测悬浮泥渣层的泥渣浓度来控制排泥。研究表明,在装有斜管时,对于大多数水质来讲,澄清器分离区泥渣浓度是逐渐增大的;当增大到一定程度后,渣层才开始淹没斜管而上升。因此,当浓度到达一定值时开始排泥,就可以控制泥渣层高度。对于很多澄清器,尤其是加装斜管后,运行时并没有清晰的泥渣层界面,甚至不存在泥渣层界面。在这种情况下,渣位的测量已经不可能,因此,采用泥渣浓度控制排泥比泥位高度控制更为合理。

6. 混凝剂的特性和剂量

混凝剂的特性和剂量是影响混凝效果的重要因素。首先要筛选适应于水处理的混凝剂,其次要有合理经济的剂量。当加药量不足时,尚未起到使胶体脱稳、凝聚的作用,出水浊度较高;当加药量过大时,会生成大量难溶的氢氧化物絮状沉淀,通过吸附、网捕等作用,会使出水浊度大大降低,但经济性不好。对于不同的原水水质,需通过烧杯试验确定最佳混凝剂剂量。

三、混凝试验

混凝过程是一个比较复杂的物理化学过程,影响混凝效果的因素很多。对某一具体水质或水处理工艺流程,通常根据混凝剂的特性及具体情况,先用烧杯试验比较筛选出某种混凝剂,然后通过模拟试验来确定最优混凝条件。

模拟试验的内容一般只需确定最优加药量和 pH 值。在电厂补给水预处理中,往往用出水残留浊度和有机物的去除率判断混凝效果。

混凝试验的设备主要采用定时变速搅拌机,搅拌机设 4~6 组叶片,确定最优加药量的方法如下。

(1) 测定原水的浊度、pH 值和温度。

(2) 在每一个 2000mL 的烧杯中,分别加入代表性水样 1000mL,将搅拌机的叶片放入烧杯中。

(3) 在各个烧杯中,同时加入不同的混凝剂量,开动搅拌机,待旋转速度 (160r/min) 稳定后,转动加药柄,同时向各烧杯注入混凝剂溶液,搅拌混合 1min 后,搅拌机转速降至 40r/min,持续 5 min 后停止。

(4) 在搅拌过程中,注意观察各个烧杯产生絮凝物 (矾花) 的时间、大小及密疏程度。

(5) 搅拌结束后, 轻轻提起搅拌机叶片, 使水样静止 10min, 观察矾花沉降情况。

(6) 取沉淀后的上层清液, 测定各水样的残留浊度、有机物等, 计算去除率, 通过分析确定最优加药量。

在实际工业设备投运时, 还需根据出水水质对最优加药量进行调整, 同时确定其他最优混凝条件, 如污泥沉降比、水力负荷变化速率、最优设备出力等。

四、常用混凝剂、助凝剂

1. 碱式氯化铝

碱式氯化铝 (PAC) 又称聚合铝、聚合氯化铝, 是一种无机高分子化合物, 是目前火电厂应用最广泛的一种混凝剂。PAC 的结构并不固定, 一般认为是以 Al^{3+} 为中心, 以 OH^- 和 Cl^- 为配位体, 通过羟基的架桥交联而形成的聚合物。

混凝处理是一种复杂的过程, 有多个凝聚反应同时存在, 因此称为混凝。无机盐混凝剂在加入水中后, 首先要进行水解反应, 在生成带电荷的聚合分子之后才具有使胶体脱稳的能力。影响混凝剂水解的因素很多, pH、水温等都可以影响水解产物的形态, 任何一个条件变化都会改变混凝的效果。

如果混凝剂在水中溶解后, 能够直接形成混凝效果好的高聚合度、带适量电荷的离子, 就可以降低 pH、水温等对混凝效果的干扰, 聚合铝就是按照这种思路研制的。该产品的最大特点是将铝盐制成以氢氧化铝为基础的、带有适量正电荷并具有一定聚合度的无机高分子, 使水解后处于能够发挥凝聚作用的最佳形态。因此, 用它处理水时, 没有混凝剂的水解步骤, 从而使混凝过程变得简单, 影响因素减少, 混凝效果易于控制。

总体来讲, 与铝盐和铁盐混凝剂相比, 聚合铝混凝剂具有以下特点。

(1) 混凝反应速度快。烧杯试验发现, 最快时仅反应 10s 左右即可发现有矾花生成。

(2) 混凝剂剂量范围广。与硫酸铝等混凝剂不同, PAC 的剂量范围较广; 对于大多数地表水, 剂量在 20~100mg/L 的范围内都可以取得良好的混凝效果。

(3) 低温混凝效果优于硫酸铝、氯化铁等。

(4) 适用的 pH 范围比铝盐、铁盐混凝剂广。

聚合铝在使用过程中要注意以下问题。

(1) 贮存。因为 PAC 容易潮解成块, 贮存时要注意包装袋完好, 保持密封。

(2) 配药。在配药时应先启动搅拌装置, 然后再将药粉缓缓加入配药容器并持续搅拌; 否则, 药粉遇水后容易快速结块而沉淀在槽底。

(3) 加药管道不宜使用不锈钢、碳钢等材质, 而应使用衬胶 (塑)、铝塑管。ABS 和 PVC 等工程塑料管在使用中容易发生振动破裂或黏接口泄漏的问题, 因此, 在使用工程塑料管道时要合理地选材, 并布置支撑点, 减少故障的发生。

2. 聚合硫酸铁

聚合硫酸铁 (PFS) 简称聚铁, 是 20 世纪 70 年代开发的新型混凝剂, 最初是利用铁屑 (或铁矿粉、铁矿熔渣粉) 和硫酸为原料, 在氧气和硝酸的作用下, 进行聚合反应生成液体产品。PFS 产品有液体和固体两种形式: 液体为红褐色或深红褐色, 黏稠; 固体为淡黄色或者浅灰色的颗粒。其混凝原理与 PAC 完全相同。

PFS 除了具有 PAC 的优点外, 还具有絮体沉降速度快、出水不增加氯离子 (很多使用

场合对氯离子有限制)、适用的 pH 范围更广等优点。但是,在使用 PFS 的过程中要注意剂量的控制,如果剂量过高,出水残留铁较高,则对后续处理不利。如果水中的有机物含量较高时,水中残留的铁离子容易与有机物形成带色的胶体,出水的色度会很大。

3. 硫酸亚铁

硫酸铝、氯化铁等混凝剂在火电厂的应用已经很少,在此不再详述。但是,硫酸亚铁(FeSO_4)是一种特殊的亚铁盐混凝剂,在石灰处理系统中的应用还比较广泛。

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,又名绿矾,是一种绿色透明的晶体;在空气中,由于常常有一些 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} 而带棕色,其水溶液呈酸性。

用铁盐作混凝剂时,其混凝性能与铝盐相似。但是,在用 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 进行混凝时,因为 FeSO_4 直接水解生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 沉淀,所以混凝效果不好。为此,在混凝过程中必须将 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} 。但是,当水的 pH 较低时, Fe^{2+} 的氧化反应比较缓慢;只有当 $\text{pH} \geq 8.5$ 时,该反应才比较容易进行。所以, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 只能用于 pH 较高的石灰处理。

4. 聚丙烯酰胺

聚丙烯酰胺是由丙烯酸酰胺和丙烯酸的盐聚合而成的高分子类水溶性聚合物。其特点是分子为长链结构,且分子量很大,一般为 $10^3 \sim 10^7$;水溶性好,分子量对溶解度的影响较小,能以任何比例溶解于水;水溶液为均匀透明的液体。当浓度超过 10% 时,因为分子间力的作用,会出现凝胶状的结构。聚丙烯酰胺水溶液的黏度随分子量的增高明显增加,温度对溶液的黏度的影响不明显。

固体聚丙烯酰胺的密度为 $1.302\text{g}/\text{cm}^3$ (23°C),玻璃熔化温度为 153°C ,软化温度为 210°C 。

聚丙烯酰胺通过化学转化可以得到非离子型、阴离子型和阳离子型产品。现在火电厂多使用阳离子型聚丙烯酰胺和水解聚丙烯酰胺(HPAM)。

阳离子型聚合物是指大分子结构重复单元中带有正电荷氨基、亚氨基或季氨基。阳离子型聚丙烯酰胺是阳离子单体与丙烯酰胺合成的共聚物。由于水中的胶体一般带负电荷,因此,这类絮凝剂无论分子量大小,均兼有凝聚和絮凝两种作用。

在使用聚丙烯酰胺时应注意以下问题。

(1) 贮存。聚丙烯酰胺的产品形态包括水溶液、胶乳和固体粉末三种形式。固体粉末吸湿性强,应注意严密包装。一般固体产品有效年限是 2 年,液态为 3~6 个月。贮存温度为 $0 \sim 32^\circ\text{C}$ 。

(2) 工作液的配制。固体粉末产品的溶解比较困难,在溶解过程中容易形成俗称为“鱼眼”的胶团。一般不直接将固体粉末加入大容积的溶药槽,而是先用小容器将固体粉末预溶,浸泡 4h 以上,使其充分溶胀,然后搅拌,使胶团均匀分散后,再加入大容积的溶药槽加水后搅拌、稀释。搅拌的时间不宜太长。因为聚丙烯酰胺为假塑性流体,若长时间受剪切力的影响,可导致大分子链断裂,影响使用效果。通常搅拌时间为 10min。

胶状产品的溶解相对容易,可以先在溶药箱内加一半水,再加入胶状物,搅拌;待药品均匀分散后加足水继续搅拌。液态产品可直接搅拌稀释使用。

(3) 因聚合物会缓慢降解,因此配制的稀溶液不宜存放过长时间,一般不超过 5 天。

五、混合设备

混合设备的作用是让药剂迅速、均匀地扩散到水流中,使之形成的带电粒子并与原水中

的胶体颗粒及其他悬浮颗粒充分接触，形成许多微小的絮凝物（又称小矾花）。为了增加颗粒间的碰撞，通常要求水处于湍流状态，并在 2min 以内形成絮凝物。为了产生湍流可利用水力或机械设备来完成。混合设备种类很多，包括管道式混合、水泵式混合、涡流式混合和机械混合等。

1. 管道式混合

管道式混合是将配制好的药剂直接加到混凝沉降设备或絮凝池的管道中。因为它不需要设置另外的混合设备，布置比较简单，所以应用较多。为使药剂能与水迅速混合，加药管应伸入水管中，伸入距离一般为水管直径的 $1/4 \sim 1/3$ 。另外，为了混合均匀，通常规定管道式混合投药点至水管末端出口的距离不小于 50 倍的水管直径，而且管道内的流速宜维持在 $1.5 \sim 2.0 \text{ m/s}$ ，加药后水在沿途水头损失不应小于 $0.3 \sim 0.4 \text{ m}$ 。

2. 水泵式混合

水泵式混合是一种机械混合，它是将药剂加至水泵吸水管中或吸水喇叭口处，利用水泵叶轮高速旋转产生的局部涡流，使水和药剂快速混合。水泵式混合不仅混合效果好，而且不需另外的机械设备，是目前经常采用的一种混合方式。

3. 涡流式混合

涡流式混合主要原理是将药剂加至水流的漩涡区，利用激烈旋转的水流达到药剂与水的均匀快速混合。近年来，人们研究了各种形式的“静态混合器”，并得到广泛的应用。这种混合装置呈管状，接在待处理水的管路上。管内按设计要求装设若干个固定混合单元，每一个单元由 2~3 块挡板按一定角度交叉组合而成，形式多种多样，图 1-2 给出了单元的示意结构的一种。当水流通过这些混合单元时被多次分割和转向，达到快速混合的目的。它有结构简单、安装方便等优点。

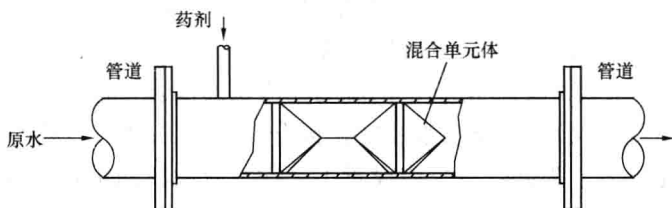


图 1-2 静态混合器示意图

4. 机械混合

机械混合是利用电动机驱动螺旋器或浆板将药剂和水进行强烈混合，通常在 $10 \sim 30 \text{ s}$ 以内完成。一般认为螺旋器的效果比浆板好，因为浆板容易使整个水流随浆板一起转动，混合效果较差。

六、混凝澄清设备

（一）机械搅拌澄清池

1. 结构和特点

机械搅拌澄清池是火电厂常见的一种泥渣循环型澄清器，该设备的特点是有动力输入和泥渣回流，利用叶轮旋转完成泥渣的提升与回流。设备设有第一反应室、第二反应室、分离区，如图 1-3 所示。进水通过环形进水槽（三角槽）均匀分配到设备的第一反应室。在叶轮