



300MW火电机组培训丛书

电厂化学

湖北襄樊发电有限责任公司 刘爱忠 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



电厂化学

中国电力出版社

中国电力出版社

300MW火电机组培训丛书

电厂化学

湖北襄樊发电有限责任公司 刘爱忠 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

火力发电厂化学专业具有技术性强、涵盖面广的特点,对机组安全、经济运行影响重大。长期以来,火力发电厂一直缺少贴近实际、针对性强的大容量、高参数机组化学专业培训教材。本书的出版是在培训基础化方向上的一次探索。

本书是 300MW 火电机组培训丛书之一。

本书论述了 300MW 火电机组化学补给水处理系统,中压凝结水精处理系统,中压水电解制氢站系统,工业废水和生活污水处理系统,化学分析仪表系统的组成、结构、工作原理、运行方式及维护事项,对热力设备水汽监督和防腐、防垢工作也进行了叙述。本书偏重于现场操作,力求做到将理论与实践有机地结合在一起,期望它成为火力发电厂一线化学员工的有益工具。

本书既可作为火力发电厂化学员工的培训教材,也可作为大专院校电厂化学专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电厂化学/刘爱忠主编. —北京:中国电力出版社,2001

(300MW 火电机组培训丛书)

ISBN 7-5083-0886-7

I. 电… II. 刘… III. 火电厂-电厂化学 IV. TM621.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 087211 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京通天印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 9 月第一版 2002 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.25 印张 247 千字

印数 0001—4000 册 定价 18.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

编委会名单

主 任	陈中义				
副 主 任	钱仲威	骆民强	刘爱忠	周支柱	唐凤平
主 编	刘爱忠				
副 主 编	王凤宾				
编 委	(姓氏笔划为序)				
	于洪君	王小惠	白育西	许 强	李成华
	陈才明	陈道禄	杨戎凡	翁汉兴	

前 言

长期以来,火力发电厂一直缺少贴近实际、针对性强的大容量、高参数机组化学专业培训教材,本书是在培训基础化方向上的一次探索。

本书是 300MW 火电机组培训丛书之一。本书根据湖北襄樊发电有限责任公司 4 × 300MW 火电机组化学系统设计方案,结合配套制造厂家设备说明书及《化学运行规程》,叙述了化学系统所辖设备的构造、调试、运行及维护知识。实践证明,本书在基建和生产阶段对化学员工培训起到良好作用,保证了化学系统的顺利调试、安全运行。

火力发电厂化学专业具有技术性强、涵盖面广的特点,对机组安全、经济运行影响重大。本书论述了 300MW 火电机组化学补给水处理系统,中压凝结水精处理系统,中压水电解制氢站系统,工业废水和生活污水处理系统,化学分析仪表系统的组成、结构、工作原理、运行方式及维护事项,对热力设备水汽监督和防腐、防垢工作也进行了叙述。本书偏重于现场操作,力求做到理论与实践相结合,为增强火力发电厂一线化学员工的操作技能提供帮助。

一本好的火力发电厂化学培训教材,做到由浅入深易,做到深入浅出难,做到深浅、厚薄总相宜则难上加难。由于某些设计资料和设备资料未能到位,本书初稿中的个别内容叙述不够详尽。在工程全部竣工进入生产阶段后,经过运行检验,又陆续发现一些问题。本书是在初稿的基础上,结合以上问题一并进行补充、修改而成的。

本书的编写工作得到了湖北襄樊发电有限责任公司有关部门的支持,在此表示感谢。由于编写时间短,本书仍有一些不当之处,敬请各位读者指正。

本书由湖北襄樊发电有限责任公司王凤宾、陈才明、于洪君同志编写,王凤宾同志统稿。

编 者

2001 年 11 月

QAA03/24

目 录

序言

前言

第一章 绪论	1
第一节 水和蒸汽是热力设备中的工质	1
第二节 机组水汽系统中杂质的来源	1
第三节 水中不良杂质的危害	2
第四节 补给水处理系统	3
第二章 水的混凝与澄清处理	6
第一节 水的混凝处理	6
第二节 沉淀处理和澄清池	13
第三章 水的过滤处理	22
第一节 LLY-B 高效过滤器	22
第二节 活性炭过滤器	24
第四章 离子交换	25
第一节 离子交换树脂	25
第二节 离子交换原理	29
第三节 离子交换树脂的物理和化学性质	30
第四节 离子交换平衡和离子交换速度	34
第五节 离子交换树脂的变质、污染和复苏	36
第五章 水的化学除盐	39
第一节 一级除盐系统概述	39
第二节 离子交换装置及运行操作	42
第三节 气顶压逆流再生阳离子交换器	47
第四节 鼓风除碳器	51
第五节 气顶压逆流再生阴离子交换器	52
第六节 混合离子交换器	54
第七节 再生系统及废水中和系统	58
第八节 转动机械设备	60
第六章 凝结水精处理	62
第一节 凝结水的污染	62
第二节 凝结水净化系统	63

第三节	高速混床	63
第四节	树脂的再生	65
第七章	水垢的形成和防止	69
第一节	水垢和水渣	69
第二节	水垢的形成和防止	70
第三节	汽包锅炉磷酸盐处理	72
第四节	磷酸盐“暂时消失”现象	73
第八章	热力设备的腐蚀和防止	75
第一节	热力设备运行时的耗氧腐蚀及防止	75
第二节	热力设备的停用腐蚀与停用保护	80
第三节	热力设备的二氧化碳腐蚀及防止	84
第四节	热力设备的酸腐蚀和碱腐蚀及其防止	86
第五节	热力设备的应力腐蚀及其防止	89
第六节	凝汽器铜管的腐蚀及防止	92
第七节	发电机空芯铜导线的腐蚀及防止	95
第九章	热力设备的化学清洗	97
第一节	锅炉化学清洗的必要性	97
第二节	常用清洗剂	98
第三节	化学清洗的工艺条件	100
第四节	化学清洗的系统	101
第五节	清洗工艺过程	101
第六节	化学清洗中的化学监督	103
第十章	热力设备的水汽监督	105
第一节	亚临界汽包锅炉的水汽质量标准	105
第二节	水汽集中取样分析装置	108
第三节	钠监测仪	111
第四节	硅酸根分析仪	114
第五节	氢中氧分析仪	116
第六节	氧中氢分析仪	119
第十一章	制氢原理及设备	123
第一节	氢气的性质	123
第二节	热力发电厂中的制氢系统	123
第三节	制氢的原理	125
第四节	制氢装置及系统流程	131
第五节	氢气的干燥	140
第十二章	废水处理	143
第一节	工业废水处理	143

第二节 冲灰水处理	148
第三节 生活废水处理	150
参考文献	155

第一章 绪 论

第一节 水和蒸汽是热力设备中的工质

在火力发电厂中，锅炉、汽轮机及其附属设备组成一个热力系统。热力系统中的各种热交换部件或水汽流经的设备，如锅炉的省煤器、水冷壁管、过热器、汽轮机、各种加热器、除氧器和凝汽器等，我们统称为热力设备。水和蒸汽是热力设备中的工质，在热力系统中循环运行，水汽循环系统工艺流程如图 1-1 所示。

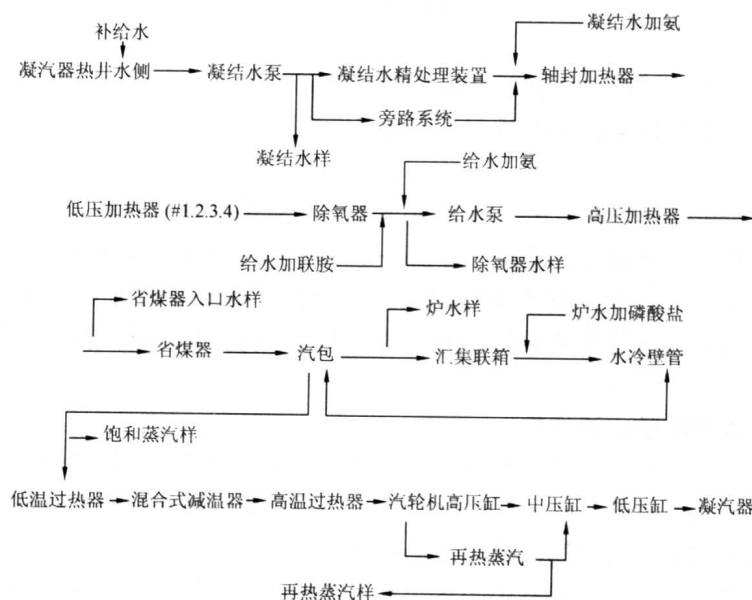


图 1-1 水汽循环系统工艺流程

水汽在热力系统循环过程中,总不免会有些损失。这些工质的损失是由热力系统某些设备的排汽放水、管道阀门的漏汽漏水、水箱等设备的溢流或热水蒸发等原因造成的。为了维持热力系统正常的水汽循环运行,要用水补充工质的损失。用来补充热力系统水汽损失的水叫作补给水。送进锅炉的水称为给水,给水一般由凝结水、补给水、疏水组成。

第二节 机组水汽系统中杂质的来源

火力发电厂热力设备水汽循环系统中的工质总是含有一些杂质的，这些杂质是引起热力设备结垢、腐蚀和蒸汽品质不纯等故障的主要根源。

襄樊电厂机组属于亚临界压力机组，水汽系统中的杂质的根源主要有以下几方面，分别予以说明。

一、补给水含有杂质

襄樊电厂采用二级除盐系统（一级除盐系统 + 混床）制备除盐水作为补给水，水质很好，补给水水质控制标准如下：二氧化硅 $\leq 20\mu\text{g/L}$ ；电导率（25℃） $\leq 0.2\mu\text{S/cm}$ 。

但是应该知道，二级除盐水中仍然含有各种微量杂质（含量以 $\mu\text{g/L}$ 计），这些微量杂质的种类包括盐类、硅化合物和有机物等许多种。当水处理除盐系统的设备有缺陷或者运行操作管理不当时，除盐水中钠化合物、硅化合物和有机物等杂质的含量还会增加。除盐水中有机物的种类和含量与原水中有机物的种类和含量有关，而且与预处理过程（特别是混凝过程）的进行程度有关。除盐水中还可能带有离子交换树脂的粉末等合成有机物和离子交换床内滋生的细菌、微生物等。

二、冷却水渗漏使杂质进入凝结水

凝汽器水侧流过的是冷却水。襄樊电厂采用直流冷却系统，从汉江取天然水作冷却水，一次性流过凝汽器再排入到汉江中。冷却水中含有与天然水几乎相同的悬浮态、胶态、离子态等各种杂质。

当冷却水从凝汽器不严密处进入汽侧蒸汽凝结水中时，冷却水中的杂质就会随之进入凝结水，使凝结水中含有各种盐类物质（包括 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等）、硅化合物和各种有机物等杂质。

襄樊电厂每台机组设置两台出力各为50%凝结水量的高速混床作为凝结水精处理设备，但它仍不能除尽从冷却水漏入的杂质，特别是冷却水中的胶体硅和胶态有机物。当一台高速混床再生或检修时，就有50%的汽轮机凝结水走旁路，即未经处理直接进入汽水系统，这时随冷却水漏入到凝结水的各种杂质也随之进入热力系统。而当凝汽器发生泄漏时，进入系统的杂质会更多。

三、金属腐蚀产物被水流携带

补给水系统、给水系统、凝结水系统、疏水系统中各种管道和热力设备不可避免遭受到的腐蚀都会给机组水汽系统带入金属腐蚀产物。这些金属腐蚀物主要是铁和铜的腐蚀产物。

此外，在机组安装、检修期间也会使一些杂质残留在系统中。

由于有杂质的存在，热力设备中必然会发生各种结垢、腐蚀和蒸汽污染等问题，导致热力设备在短时间内发生重大故障，甚至造成事故停机、停炉的严重局面，影响机组的安全、经济运行。

所以我们必须弄清楚热力设备内水汽侧所发生的结垢、腐蚀和蒸汽污染等问题的实质，以便找到解决的办法。

第三节 水中不良杂质的危害

水在火力发电厂的生产工艺中，既是热力系统的工作介质，也是某些热力设备的冷却介质。水质的好坏是影响电厂安全经济运行的重要因素。水处理工作者的主要任务是改善水质，或采用其他措施消除由于水质异常而引起的危害。

在火力发电厂中，如果汽水品质不符合规定，则可能引起以下危害：

一、引起热力设备的结垢

进入锅炉的水中如果有易于沉积的物质，或发生反应后生成难溶于水的物质，则在运行

过程中会发生结垢的现象。垢的导热性比金属差几百倍，且它又极易在热负荷很高的部位生成，使金属壁的温度过高，引起金属强度下降，致使锅炉的管道发生局部变形、鼓包，甚至爆管；而且锅炉内结垢还会降低锅炉的热效率，从而影响发电厂的经济效益。

锅炉给水中硬的硬度盐类是造成结垢的主要因素，但对于高参数的大型锅炉，由于给水中硬度已被全部去除，故形成的水垢主要是铁的沉积物。

在汽轮机凝汽器内，因冷却水水质问题而结垢会导致凝汽器真空度下降，从而使汽轮机的热效率和出力降低。

热力设备结垢后需要清洗，不但增加了检修工作量和费用，而且使热力设备的年运行时间减少。

二、热力设备的腐蚀

火力发电厂中热力设备的金属面经常和水接触，会发生由于水质问题而引起的金属腐蚀。易于发生腐蚀的设备有：给水管道、加热器、锅炉的省煤器、水冷壁、过热器和汽轮机凝汽器等。

腐蚀不仅会缩短设备本身的使用寿命，而且由于金属腐蚀产物转入水中，使给水中杂质增多，其结果是这些杂质会促进炉管内的结垢过程，结成的垢转而又加剧炉管的腐蚀，形成恶性循环。如果金属的腐蚀产物被蒸汽带到汽轮机中，则会因它们沉积下来而严重影响汽轮机的安全和运行的经济性。

三、过热器和汽轮机内积盐

水质不良还会引起锅炉产生的蒸汽不纯，从而使蒸汽带出的杂质沉积在蒸汽通过的各个部位，例如过热器或汽轮机，这种现象称为积盐。

过热器管内积盐会引起金属管壁温度过高，以致爆管。汽轮机内积盐会大大降低汽轮机的出力和效率。当汽轮机内积盐严重时，还会使推力轴承负荷增大，隔板弯曲，造成事故停机。

火力发电厂水处理工作者的任务不仅仅是制取品质合格的给水，而且还应在以下各方面采取有效的措施：

- (1) 防止或减缓热力设备和系统的腐蚀；
- (2) 防止或减缓受热表面上结垢或形成沉积物；
- (3) 保证高纯度的蒸汽品质。

第四节 补给水处理系统

根据亚临界汽包锅炉的给水质量要求，襄樊电厂锅炉补给水处理系统采用一级除盐加混床。原水来源于汉江水，通过江边泵房进入循环水管，在循环水管上接有两根 DN800 的工业原水管输送至净水站，再从 DN800 的水管上接有两根 DN300 的水管送往化学水处理车间的机械搅拌澄清池。如原水压力低，则通过升压泵送往澄清池。由于水源为汉江水，且化学耗氧量（COD）偏高，为确保除盐系统进水浊度小于 2mg/L，降低水中硅及 COD 含量，在除盐设备前面设置了凝聚澄清、高效过滤和活性炭吸附等设施。

水处理系统流程如图 1-2 所示。

此外，从净水站斜管沉淀池出水母管接有一路清水管至清水箱，作为水处理车间备用清

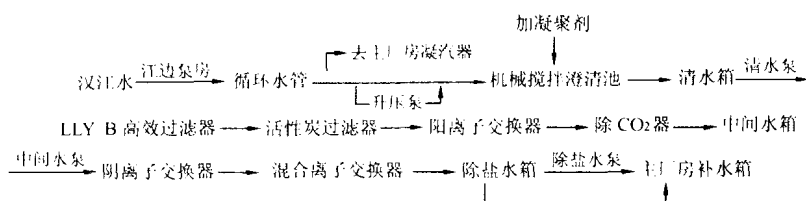


图 1-2 水处理系统流程

水源，以防紧急事故。

除盐水经除盐水泵通过两根 DN200 不锈钢管道送往主厂房凝结水补水箱。另外从除盐水泵出口引一根 DN80 衬胶管道将除盐水送至启动锅炉房补水水箱。

一、系统出水水质指标

机械搅拌澄清池出水悬浮物	$\leq 5\text{mg/L}$
LLY-B 高效过滤器出水浊度	$< 2\text{mg/L}$
活性炭过滤器出口 COD	$< 2\text{mg/L}$
阳离子交换器出口钠含量	$< 100\mu\text{g/L}$
阴离子交换器出口电导率	$< 5\mu\text{S/cm (25}^{\circ}\text{C)}$
二氧化硅	$< 50\mu\text{g/L}$

混床出水水质：

硬度	约为 $0\mu\text{mol/L}$
二氧化硅	$\leq 15\mu\text{g/L}$
电导率	$\leq 0.2\mu\text{S/cm (25}^{\circ}\text{C)}$

二、电厂水汽损失 (见表 1-1)

表 1-1 电厂水汽损失

项 目	采用数据	4×300MW 机组汽水损失量	
		正常 (t/h)	最大 (t/h)
厂内汽水损失	锅炉最大连续蒸发量的 1.5%	61.536	61.536
锅炉启动及事故损失	最大一台锅炉蒸发量的 6%		61.536
锅炉排污损失	凝汽式电厂取 1%	41.024	41.024
采暖、空调用汽用凝结水	根据暖通专业资料	16	16
吹灰燃油用汽	根据机务专业资料	17.6	17.6
闭式循环冷却补充水	根据机务专业资料	3.5	3.5
制氢装置用除盐水	根据机务专业资料	0.5	0.5
其他损失	根据机务专业资料	10	10
凝结水精处理设备再生用水		12.5	12.5
合计		162.6	224.1

三、水处理设备容量

根据全厂汽水损失，再考虑设备的自用水量 and 再生储备水量，按水处理系统出力的 120% 计：

正常运行出力： $q_m = 162.6 \times 120\% = 195.12 \text{ t/h}$

机组启动与事故时出力： $q_m = 224.1 \text{ t/h}$

预处理设置两座 200 t/h 的机械加速澄清池，三台 $\phi 2500$ 的高效过滤器，三台 $\phi 3000$ 的活性炭过滤器。

一级除盐设备选用三列串联运行的主设备，正常工况：两列运行，一列备用。机组启动时，三列设备同时投入运行，满足最大的补给水量。

除盐水箱的容积为 $2 \times 1500 \text{ m}^3$ ，以满足机组启动时大量供水及锅炉酸洗时的冲洗水量。

四、水处理控制方式

一级除盐设备串联方式运行，其投运和再生采用程序控制，也可以通过键盘和鼠标远程操作。高效过滤器、活性炭过滤器、混床均为并联方式运行，采用键盘和鼠标远程操作。酸碱废液的处理也采用键盘和鼠标远程操作。

一级除盐设备阴离子交换器出口装置有导电度表及累计流量表控制失效终点。运行周期按阳离子交换器先于阴离子交换器失效，当制水量和出水电导率有一项超过控制指标，就停止运行，自动解列，进行程序再生确定。混合离子交换器出口用电导率仪及硅表控制失效终点。

在系统中设置了各种必要的带指示或记录的监测仪表及声光信号、报警装置等。

五、药品贮存及运输

考虑采用火车运输酸碱，在电厂专用铁路旁设有卸酸碱站房，用卸酸碱泵将酸碱送到水处理室外的高位酸碱贮存罐，同时在水处理室外设有汽车运输酸碱及卸酸碱设施。

鉴于盐酸和氢氧化钠质量直接影响再生效果，特别是若氢氧化钠溶液中含有的 NaCl 含量大于 5% 时，则阴离子交换树脂的交换容量降低近 5% ，运行中应注意采购符合标准的酸碱液。酸碱液的标准为：

盐酸	HCl 含量 $> 31\%$
	Fe 含量 $< 0.01\%$
	SO_4^{2-} $< 0.007\%$
碱液	NaOH 含量 $> 30\%$
	NaCl 含量 $< 5\%$

第二章 水的混凝与澄清处理

天然水中杂质的种类很多，通常按杂质的分散态进行分类，可相应地分成悬浮物、胶体和溶解物质。天然水中常含有泥砂、粘土、腐殖质、纤维素等杂质和病毒、细菌、藻类等微生物，它们在水中具有一定的稳定性，是构成水的浊度和颜色的主要原因。其中有些悬浮物的颗粒直径大于 0.1mm，可靠重力作用自然沉降法除去，但对颗粒直径小于 0.1mm 的颗粒，特别是胶体颗粒，就不能直接用自然沉降法除去。除去水中这些细小颗粒的方法有两种：一种方法是在水中加入混凝剂，使细小颗粒相互吸附粘结成较大的絮状物，从水中沉淀分离出来，这种方法叫混凝沉淀处理；另一种方法是在水中加入混凝剂后，立即进入过滤设备，使水中细小颗粒直接吸附在滤料颗粒的表面上，这种方法叫接触凝聚。

通过混凝处理除去水中的小颗粒悬浮物和胶体物质，是火力发电厂补给水处理系统中的一个重要环节，它们的去除有利于提高过滤、膜分离以及离子交换工艺的处理效率。近年来，由于水源被有机物污染的程度加剧，如何提高去除有机物的效率就成为混凝处理迫切需要解决的问题之一。

第一节 水的混凝处理

为了比较深入地理解混凝处理的原理，下面先介绍有关胶体化学的基本知识。

一、胶体化学基础

1. 分散体系

一种或几种物质均匀地分散在另一种物质中，它们共同组成的体系称为分散体系。其中分散为许多微小粒子的物质称为分散相，而各分散微粒周围的另一种物质称为分散介质。若粘土微粒分散在水中，则粘土微粒叫分散相，水就是分散介质。

天然水中粒径在 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ mm 之间的各种微小颗粒都被划为胶体范围，因为他们具有胶体的性质。这些微小粒子可以是粘土的粒子，也可以是分子量非常大的高分子化合物。这些微粒都有三维空间或二维平面结构，占有一定的体积或面积，由大量的分子或原子结合而成，其形状可以是晶体，也可以为碎片，由于不溶于水，所以这些胶体颗粒与水之间存在相间分界面，组成一个微多相分散体系。

2. 布朗运动

胶体颗粒在水中处于不断的热运动中，这种运动是周围水分子对胶体颗粒进行无规则碰撞的综合结果，胶体颗粒运动的轨迹是一条杂乱的折线，这种现象是布朗在观察花粉运动时所观察到的一种现象，所以叫做布朗运动。

由于布朗运动，在胶体溶液中就产生扩散现象，胶体颗粒可以从浓度高的区域向浓度低的区域扩散，最后使胶体颗粒在溶液中均匀分布。由于胶体颗粒不断地进行布朗运动，因此就不会像泥砂颗粒那样靠重力沉淀下来，这就是地表水中的粘土等胶体颗粒能长期稳定的存在于水中，并使水产生浑浊的主要原因。

布朗运动的速度与颗粒的粒径大小有关，粒径越大，布朗运动的速度就越小，当粒径达到 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 以上时，布朗运动就停止了。

3. 界面特性

由于胶体颗粒甚小而数目众多，所以相间界面的总表面积很大。例如体积为 1cm^3 的颗粒，若每边长为 1cm ，总表面积仅有 6cm^2 ，比表面积为 $6\text{cm}^2/\text{cm}^3$ ，若把此颗粒不断分割成边长更小的许多小立方体颗粒，则总表面面积将随之不断增加。如分割到胶体范围，即小颗粒边长为 10^{-5}cm 时，颗粒数达到 10^{15} 个，总表面积达到 60m^2 。由于胶体颗粒具有这样巨大的表面积，因此表现出特殊的吸附能力和溶解现象。它可以从溶液中吸附各种电解质离子、有机物分子、表面活性物质、络合物和高分子等。这种吸附能力是由于范德华力、氢键、静电作用力和化学键力等产生的。胶体颗粒的带电现象就是这样产生的。

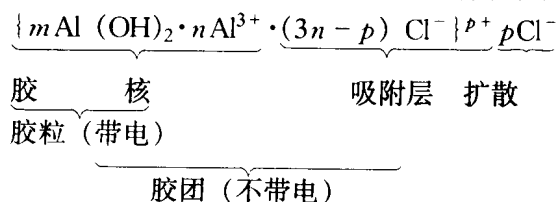
胶体颗粒之间的作用及溶液中分子或离子对它们的作用，往往只限于表面部位或个别部位的某些基团，其余部分则仍保持原来状态不变，而不象分子或离子那样整个参与反应，反应后完全转化为另一种物质。

4. 胶体颗粒结构

胶体颗粒由胶核、吸附层和扩散层三部分组成。胶体通常是由数十、数百甚至数千个分子结合成细小颗粒，它不溶于水而成为胶体颗粒的核心，称为胶核。由于胶核表面部分分子的电离作用或是由于胶核表面的巨大吸附能力，使胶核从溶液中吸附各种离子（称为电位离子），从而使胶核带有电荷。如果电位离子为阳离子，胶核带正电，如果电位离子为阴离子，胶核带负电。

胶核表面的电位离子，由于静电引力作用，吸引水溶液中符号相反、电荷量相等的离子到胶核周围，以中和这部分电位离子的电量，被吸引的离子称为反离子。这样就在胶核与周围水溶液之间的界面区域内形成一个双电层的结构，内层为胶核的电位离子层，外层为水溶液中的反离子层。电位离子与胶核结合紧密，很难分开，反离子靠静电引力与胶核联系，结合比较松散。由于水分子的热运动和浓差扩散等作用，反离子会脱离胶核扩散到水溶液的深处，达到平衡时形成一个松散分布的反离子层。其中一部分反离子与胶核之间静电引力大，紧紧包着胶核，这部分反离子叫吸附层，吸附层以外的反离子层叫扩散层。在吸附层中除了反离子外，还有一层水分子，如果这些水分子和胶核之间的亲合力很小，这种胶体叫憎水胶体，无机物所形成的胶体大多是憎水胶体。

由胶核、电位离子层和反离子的吸附层构成的颗粒叫胶粒，若把反离子的扩散层也包括在内则叫胶团。因此，胶体颗粒的结构，以氢氧化铝形成的胶体颗粒为例，可表示如下。



天然水中的粘土胶体颗粒都是一些片状结晶，由于水的溶解作用，使粘土颗粒表面溶解了一部分原子，在表面上留下了带负电荷的部位。粘土还具有吸附负离子的特性，特别容易吸附 OH^- 离子，使粘土胶体颗粒变成带负电荷的粒子，以这个粒子为核心（胶核）与水中反离子形成胶团。

当胶体颗粒在水中运动时，由于扩散层中的反离子与胶核之间的静电引力较弱，所以扩散层中的大部分反离子脱离胶核，这样就形成了一个脱开的界面，这个界面叫滑动面。

5. 胶体颗粒的稳定性

悬浮于水中的胶体颗粒同时受到两个因素的作用：一个是使胶体颗粒产生凝聚作用的不稳定因素，另一个是使胶体颗粒保持分散状态的稳定因素。胶体颗粒的布朗运动和水体的湍流运动既是胶体颗粒的稳定因素也是不稳定因素。但使胶体颗粒保持分散状态的稳定因素是胶体颗粒的带电性和溶剂化作用。另一个不稳定因素是存在于粒子之间的范德华吸引力和化学（离子键、共价键、氢键）结合力，这种化学结合力只有在作用距离很近时才很强。胶体颗粒的稳定因素和不稳定因素，在一定的条件下是可以相互转化的。下面对颗粒之间的作用力加以分析，以说明胶体颗粒能长期稳定地存在于水中的原因。

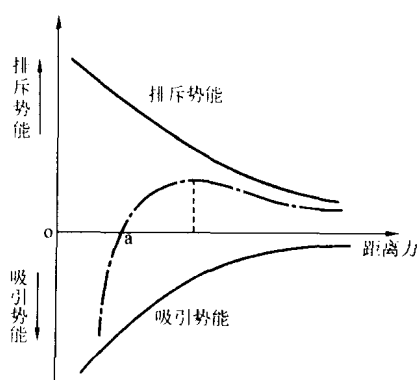


图 2-1 胶粒间的作用与距离的关系

当两个胶体颗粒相互接近时，实际上是以滑动面为界的带有相同电荷的两个颗粒的接触。按库仑定律，相同电荷的两个颗粒之间有静电斥力，中心距越小，斥力越大。但当两个颗粒接近时，还存在范德华引力和化学结合力，同样是中心距越小，吸引力越大。所以，当两个胶体颗粒相互碰撞时，最后能否粘结变成一个大的絮状颗粒，失去稳定性，从水中分离出来，决定于排斥力和吸引力的合力大小。如图 2-1 所示为排斥力、吸引力和合力与中心距之间的关系。

由于范德华吸引力与颗粒中心距的 6 次方成反比，而库仑斥力只与颗粒中心距的 2 次方成反比，所以，随着中心距的增大，吸引力比排斥力的绝对值减小得快。当中心距大于 oa 时，斥力占优势，合力为斥力。当中心距小于 oa 时，吸引力占优势，合力为吸引力。天然水中的胶体颗粒能长期处于分散稳定状态，说明两个颗粒的半径之和比 oa 值大，合力为斥力。

胶体颗粒的另一个稳定因素是溶剂化作用。由于胶体颗粒表面离子的水合作用，在颗粒周围形成一个水化层，从而妨碍了颗粒之间的接触，而不易凝聚。因此，要想使胶体颗粒直接接触，必须首先除去颗粒之间的自由水，然后再除去水合作用的表面水化层，这就要消耗一定的能量。

6. 胶体颗粒的脱稳

在胶体微粒与水溶液之间有三种不同的电位：微粒表面处的电位、吸附层与扩散层分界处的电位以及滑动界面处的电位即 ζ 电位。在水中加入混凝剂降低胶体颗粒的 ζ 电位，破坏它的稳定性，使相互碰撞的颗粒能粘结成大的絮状颗粒，最后从水中沉降下来。这种使胶体颗粒失去稳定性的过程叫脱稳。

不同的混凝剂以不同的方式脱稳。脱稳的效果除与混凝剂的种类有关以外，还与使用条件等因素有关。为了正确选择混凝剂和加药量，保证混凝处理的效果，下面介绍胶体脱稳的方法。

(1) 投加电解质。向含有负电荷胶体的天然水中投加带高价反离子的电解质后，水中反离子浓度增大，此时水中胶体微粒的扩散层在反离子的压缩作用下减薄， ζ 电位下降。当 ζ