

实用化学清洗技术

化学工业出版社

窦照英 编著

实用化学清洗技术

李照英 编著

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

实用化学清洗技术/窦照英编著. —北京:化学工业出版社, 1998

ISBN 7-5025-2054-6

I. 实… II. 窦… III. 锅炉化学清洗 IV. TK228

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 23704 号

实用化学清洗技术

窦照英 编著

责任编辑:侯国艳

责任校对:王安达 麻雪丽

封面设计:于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河东柳装订厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 6 字数 161 千字

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数:1—3500

ISBN 7-5025-2054-6/TQ · 1013

定 价:10.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

序

无规矩难为方圆。在科学技术与经营管理中离不开技术规范和规章制度。

化学清洗本是分散于多种行业中的辅助性操作,顺应形势需要,已发展成为新兴的产业。锅炉和换热器的化学清洗既节能又保护设备;化工设备与机电产品的化学清洗保证了设备安全,提高了产品质量;建筑物的清洗美化了城市;家庭用品的清洗方便了生活。化学清洗已是现代生产与生活中不可缺少的组成部分。

化学清洗是高技术产业,又是带有一定风险的作业。清洗失误能给设备造成危害;管理疏漏能给环境带来污染。作者是电力行业最早从事化学清洗研究与实践的少数人之一。自 50 年代中期以来,主持过许多锅炉、汽轮机、凝汽器和其他换热器的清洗,使用过各种清洗方法和介质,清除过各类污垢和腐蚀产物。并参与过有关清洗规范的制定。所以本书是作者多年实践经验的总结。它有助于化学清洗规范,能建立良好的清洗秩序,创造更佳的运营环境,带来更大的效益。

希望本书的出版也能成为全国 30 余万台锅炉和为数更多的热交换器的守护神,使其安全经济地长周期运转。

窦照英

1997 年元月

目 录

第1章 污垢的形成、危害及防止	1
1. 污垢形成过程	1
1.1 锅炉污垢的形成过程	1
1.1.1 锅炉	1
1.1.2 水中可形成污垢的杂质	3
1.1.3 污垢的形成过程	3
1.2 热交换器污垢的形成过程	4
1.2.1 各类热交换器	4
1.2.2 热交换表面上污垢的形成	5
1.2.3 其他设备的污秽问题	6
2. 污垢的危害	6
2.1 结垢影响传热的损失	6
2.2 结垢引起金属传热面超温失效	7
2.3 结垢诱发的腐蚀	8
2.4 结垢的污塞、污秽等其他危害	8
3. 防止污垢对策	9
3.1 锅炉防垢技术	9
3.1.1 保证锅炉水质达到标准	10
3.1.2 关于硬度法定计量单位的说明	11
3.1.3 锅内防垢处理	12
3.1.4 补充水的消除硬度处理	12
3.1.5 水的脱盐处理	14
3.1.6 锅内校正处理	14
3.2 循环冷却水防垢技术	15
3.2.1 火电厂汽轮机凝汽器的防垢技术	15
3.2.2 其他冷却设备的防垢处理	19
第2章 化学清洗所涉及的标准	22
1. 化学清洗药剂的质量要求	22

1.1 溶垢清洗剂	22
1.1.1 盐酸 HCl	22
1.1.2 硝酸 HNO_3	22
1.1.3 氨基磺酸 $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$	23
1.1.4 硫酸 H_2SO_4	23
1.1.5 磷酸 H_3PO_4	23
1.1.6 醋酸(乙酸) CH_3COOH	23
1.1.7 甲酸(蚁酸) HCOOH	24
1.1.8 次磷酸 H_3PO_2	24
1.2 络合清洗剂	24
1.2.1 EDTA 的钠(或铵)盐 $\text{Na}_2\text{H}_2\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_8\text{N}_2$	24
1.2.2 氢氟酸 HF	25
1.2.3 柠檬酸 $\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$	25
2. 缓蚀剂、钝化剂及其他助剂的质量要求	25
2.1 缓蚀作用评定及缓蚀剂	25
2.1.1 对缓蚀剂的基本要求	25
2.1.2 乌洛托品(六次甲基四胺) $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$	26
2.1.3 粗吡啶 $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	26
2.2 钝化效果的评定及钝化剂	26
2.2.1 对钝化膜的基本要求	26
2.2.2 氢氧化钠 NaOH	27
2.2.3 磷酸三钠 $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	27
2.2.4 三聚磷酸钠 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	27
2.2.5 六偏磷酸钠 $(\text{NaPO}_3)_6$ 及磷酸氢二钠 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	28
2.2.6 碳酸钠 Na_2CO_3	28
2.2.7 亚硝酸钠 NaNO_2	28
2.2.8 联氨 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 与双氧水 H_2O_2	28
2.3 清洗助剂	29
2.3.1 除油用的表面活性剂	29
2.3.2 溶垢强化剂	29
2.3.3 铁离子的还原剂与铜离子的隐蔽剂	29
2.3.4 有缓蚀作用的增强剂 MBT	29
2.3.5 消泡及减轻酸雾刺激的辅助剂	30

3. 化学清洗工艺的有关规定	30
3.1 低压锅炉化学清洗的有关规定	30
3.1.1 《低压锅炉化学清洗规则》及其内涵	30
3.1.2 从事低压锅炉化学清洗单位的资格条件	31
3.1.3 低压锅炉化学清洗的前期工作	31
3.1.4 低压锅炉化学清洗的有关工作	32
3.1.5 清洗废液的达标排放	32
3.2 3.8MPa 及以上锅炉化学清洗的有关规定	33
3.2.1 《火力发电厂锅炉化学清洗导则》及其内涵	33
3.2.2 从事电站锅炉化学清洗单位的资格条件	34
3.2.3 电站锅炉化学清洗的前期工作	35
3.2.4 关于垢分析方法	37
3.2.5 电站锅炉化学清洗的其他有关问题	37
3.3 煮炉的有关规定	39
3.3.1 新建电站锅炉的煮炉	39
3.3.2 新建低压锅炉的煮炉	40
3.3.3 结垢锅炉的煮炉除垢	40
4. 与清洗有关的环境质量标准	40
4.1 不同化学清洗方法排放的有害物质	40
4.1.1 煮炉	40
4.1.2 盐酸和硝酸溶垢清洗	41
4.1.3 络合溶垢和有机酸清洗	41
4.2 有关水污染及防治的法规标准	42
4.2.1 环保法规与法令	42
4.2.2 各类水质标准及排放标准	43
4.3 清洗作业涉及的噪声标准	44
第3章 清洗原理概要及质量保证体系	46
1. 污垢成分	46
1.1 锅炉和热交换器的污垢	46
1.1.1 水垢	46
1.1.2 腐蚀产物	47
1.2 机电产品投产前与运转期间所生成的污垢	47
2. 污垢成分分析	47

2.1 污垢的定性判别	48
2.1.1 外观及水质处理提供的信息	48
2.1.2 电站锅炉的水垢	48
2.1.3 热交换器和凝汽器中的垢	49
2.1.4 对水垢溶解特性的试验	49
2.2 污垢主要成分分析	50
2.2.1 垢的分解与处理	50
2.2.2 碳酸钙垢的分析方法	51
2.2.3 磷酸盐垢的分析方法	53
2.2.4 铁铜垢的分析方法	53
2.2.5 硅酸盐垢与硫酸钙垢的分析方法	54
2.3 污垢成分分析结果的校核判断	55
2.3.1 常用的校核判断方法	55
2.3.2 采取组合匹配的方法校核	55
3. 清洗、缓蚀、钝化的基本原理与应用	56
3.1 清洗机理与应用	56
3.1.1 各种溶剂对污垢的溶解与清除	56
3.1.2 各种溶解性除垢剂的清洗原理	58
3.1.3 各种络合性除垢剂的清洗原理	62
3.2 缓蚀机理与应用	65
3.2.1 缓蚀作用机理	65
3.2.2 缓蚀剂的评定筛选原则与评定方法	67
3.3 钝化机理与应用	69
3.3.1 钝化作用机理	69
3.3.2 各种钝化工艺形成的表面膜	70
4. 煮炉、转化的基本原理与应用	72
4.1 煮炉原理与应用	72
4.1.1 碱煮炉原理与应用	72
4.1.2 栲胶(单宁)煮炉原理与应用	73
4.2 使难溶垢种转化清除的原理及应用	73
4.2.1 使硅酸盐和硫酸钙转化溶解的原理与应用	74
4.2.2 大容量锅炉化学清洗中的碱处理	74
5. 化学清洗中的安全质量保证体系	75

5.1 化学清洗中的安全防范工作	76
5.1.1 安全保证体系	76
5.1.2 安全保证规范	77
5.2 化学清洗中的质量保证工作	78
5.2.1 质量保证体系	78
5.2.2 质量保证规范	79
第4章 各种清洗工艺	82
1. 机械清洗与煮炉	82
1.1 机械清洗	82
1.1.1 人工清扫、清理	82
1.1.2 机械除垢	83
1.2 煮炉	83
1.2.1 新炉的除油钝化	83
1.2.2 结垢锅炉的煮炉除垢	84
1.2.3 碱煮炉和碱处理钝化的防腐蚀作用	86
2. 盐酸清洗	87
2.1 静态浸泡清洗与氮气鼓泡清洗	87
2.1.1 静态浸泡清洗	87
2.1.2 氮气鼓泡清洗	89
2.2 循环清洗	91
2.2.1 循环清洗参数的选择	91
2.2.2 清洗工艺	92
3. 其他清洗方法	94
3.1 柠檬酸清洗	94
3.1.1 柠檬酸清洗的要点	94
3.1.2 柠檬酸清洗工艺	95
3.1.3 柠檬酸清洗的应用例证	95
3.2 氢氟酸清洗	96
3.2.1 氢氟酸清洗的要点	96
3.2.2 氢氟酸清洗工艺	96
3.2.3 氢氟酸清洗应用例证	97
3.3 EDTA 钠盐清洗	98
3.3.1 EDTA 钠盐清洗的要点	98

3.3.2	EDTA 钠盐清洗工艺	99
3.3.3	EDTA 钠盐清洗应用例证	100
3.4	甲酸与羟基乙酸的混酸清洗	101
3.4.1	甲酸与羟基乙酸清洗的要点	101
3.4.2	有机混酸清洗工艺	102
3.4.3	有机混酸清洗应用例证	103
4	人工建立永久钝化膜及洗硅	104
4.1	引进设备使用的成膜洗硅工艺	104
4.1.1	由联氨与氨热态处理建立的永久钝化膜	104
4.1.2	按照蒸汽二氧化硅含量渐升压力洗硅	104
4.1.3	引进的热态成膜洗硅工艺的应用情况	105
4.2	碱处理热态成膜洗硅及氧化成膜工艺	105
4.2.1	碱处理热态成膜	106
4.2.2	碱处理热态洗硅	106
4.2.3	碱处理热态成膜洗硅的应用情况	107
4.2.4	纯净水氧化成膜及其应用	108
5	凝汽器及其他设备的化学清洗	108
5.1	凝汽器的清洗除垢	109
5.1.1	凝汽器的热力、机械除垢法	109
5.1.2	凝汽器垢的化学清洗	109
5.1.3	凝汽器黄铜管的成膜处理	110
5.2	其他设备的除垢与去污	112
5.2.1	热交换器管与火电厂冲灰管的除垢	112
5.2.2	油污设备的清洗	113
第5章	废液处理	115
1	清洗废液的处理	115
1.1	盐酸废液的处理	115
1.1.1	使用乌洛托平等无害缓蚀剂的废液处理	115
1.1.2	含有污染物质的废液处理	116
1.2	其他清洗方法的废液处理	116
1.2.1	柠檬酸清洗废液的处理	116
1.2.2	氢氟酸清洗废液的处理	117
1.2.3	EDTA 钠盐清洗废液的处理	118

1.2.4 甲酸与羟基乙酸清洗废液的处理	118
2. 钝化及其他废液的处理	119
2.1 碱液钝化后的处理	119
2.2 亚硝酸钠钝化液的处理	119
2.2.1 尿素分解法	120
2.2.2 氯化铵分解法	120
2.2.3 氨基磺酸分解法	120
2.2.4 用漂粉精或次氯酸钠分解处理	120
2.3 联氨钝化液的处理	120
2.4 含油废液的处理	120
3. 作业区噪声的控制	121
3.1 噪声与噪声源	121
3.2 噪声的防治	121
3.2.1 对化学清洗操作人员的防护	121
3.2.2 噪声的控制与治理	122
第6章 化学清洗中的监测	123
1. 基础知识	123
1.1 容量分析方法的基本原理	123
1.1.1 容量分析要点	123
1.1.2 中和法	125
1.1.3 络合滴定法	125
1.1.4 氧化还原法	126
1.1.5 沉淀法	127
1.2 标准溶液	127
1.2.1 中和法常用的标准溶液	127
1.2.2 络合滴定法使用的 EDTA 二钠盐	128
2. 化学清洗中常用的分析方法	128
2.1 清洗药剂的检测	128
2.1.1 相对密度 d_4^{20}	128
2.1.2 盐酸浓度的测定	129
2.1.3 氢氧化钠浓度的测定	129
2.2 清洗过程中主要监控项目	129
2.2.1 清洗液酸度测定	129

2.2.2	氢氧化钠与磷酸三钠清洗液测定	130
2.2.3	氢氟酸浓度测定	130
2.2.4	清洗液中铁离子含量测定	130
2.2.5	清洗液中铜离子含量测定	131
2.3	清洗废液的监测	132
2.3.1	pH 值的测量	132
2.3.2	氢氟酸清洗时的氟离子测量	132
2.3.3	亚硝酸根残留含量的测定	134
2.3.4	联氨残留含量的测定	135
3.	化学清洗中的腐蚀评定	136
3.1	静态腐蚀速度测量	136
3.1.1	锅炉常用材料(腐蚀试片用材)	136
3.1.2	腐蚀试片规范	137
3.1.3	静态腐蚀速度的测量与计算	138
3.2	用静态腐蚀速度评选缓蚀剂与工艺条件	138
3.2.1	受热面垢量的测量	138
3.2.2	清洗剂的选择	139
3.2.3	缓蚀剂的评定	140
3.2.4	化学清洗中的腐蚀速度监测	141
3.3	动态腐蚀速度测量	142
3.3.1	清洗流速与清洗效果的确定	142
3.3.2	动态清洗时腐蚀速度的测量	142
3.3.3	用氮气鼓泡清洗的效果与腐蚀速度测量	143
4.	其他监测方法	143
4.1	奥氏体不锈钢的腐蚀试验	143
4.1.1	均匀腐蚀速度测量及试样的特点	143
4.1.2	应力腐蚀倾向试验	144
4.2	钝化效果评定	144
4.2.1	对钝化效果的评价	144
4.2.2	对钝化膜的测量	145
第7章	锅炉与蒸汽器的清洗实践	147
1.	锅炉碳酸盐垢的清洗	147
1.1	低压小容量锅炉的盐酸清洗	147

1.1.1	饮水茶炉的盐酸清洗	147
1.1.2	2t/h 快装锅炉的清洗除垢	147
1.1.3	10t/h 供汽锅炉的清洗除垢	148
1.2	电站锅炉的盐酸清洗	149
1.2.1	10.8MPa 电站锅炉的静态清洗	149
1.2.2	3.8MPa 电站锅炉的循环清洗	150
2.	锅炉结其他垢种时的清洗	151
2.1	混合垢种的浸泡清洗与鼓泡清洗	151
2.1.1	使用盐酸浸泡清洗碳酸盐、磷酸盐与铁铜混合垢	151
2.1.2	以氧化铁为主的垢种的浸泡清洗	152
2.1.3	高压锅炉混合垢种的氮气鼓泡清洗	152
2.2	以铁的氧化物为主的垢种清洗	154
2.2.1	氧化铁垢的盐酸清洗	155
2.2.2	氧化铁垢的 EDTA 钠盐清洗	156
2.2.3	含硅氧化铁垢的盐酸氢氟酸清洗	159
2.2.4	锈蚀较严重的新建超高压炉盐酸-柠檬酸清洗	160
2.2.5	用有机混酸清洗腐蚀严重的亚临界锅炉	162
3.	凝汽器与热交换器的清洗	163
3.1	凝汽器的清洗与成膜保护	163
3.1.1	凝汽器黄铜管在酸洗时的腐蚀与缓蚀	163
3.1.2	用乌洛托平作缓蚀剂的盐酸清洗	164
3.1.3	用 MBT 作缓蚀剂的盐酸清洗	166
3.1.4	用 801 和 831 作缓蚀剂对铝黄铜管清洗	168
3.1.5	凝汽器管的氨基磺酸清洗	169
3.1.6	凝汽器管的水力冲击除垢	171
3.1.7	凝汽器管的成膜保护	172
3.2	热交换器的清洗	174
3.2.1	油污热交换器的清洗	174
3.2.2	原水预热器的清洗	174
3.2.3	不锈钢板式换热器的清洗	175
3.2.4	闪蒸器加热器的清洗	175
3.2.5	中央空调机冷却器的清洗	176
3.2.6	家用热水器的清洗(包括水壶结垢的清洗)	176

第1章 污垢的形成、危害及防止

清洗是清除污垢的专用技术。在人工清理与机械清除无能为力的情况下，发展起化学清洗技术。

为有效地除垢，必须研究污垢的形成过程及防垢方法。防垢难保无垢，防垢技术在实施中也难免疏漏，因此，清洗，尤其是化学清洗，永远是必要的。

1. 污垢形成过程

除垢作为专门技术和形成行业，来自蒸汽机的工业应用。蒸汽机的发明与应用推动了工业革命，但是自从它诞生之日起，结水垢问题也随之产生。为了防止结水垢，发展起水处理行业；为了除垢，发展起清洗行业。后者出现得更早。无论是为了更好地防垢，还是为了有效地除垢，都应研究污垢的性质及其形成过程。

为了回收蒸汽凝结水，或者为了利用蒸汽的热能，出现了各种热交换器，在换热面上也会形成污垢的热交换器的广泛应用，使其防垢、除垢与锅炉防垢、除垢并驾齐驱。因此，也有必要研究冷却水系统中污垢特点及其形成机理。

污秽存在于被大气笼罩着的所有处所。小到家庭厨房房间，大到各种设施，随着人们物质文化水平的提高，人们消费生活的需要，防污与清污技术将有很大发展。研究污秽的成因，对于开拓这一有极大潜力的市场有重要意义。

1.1 锅炉污垢的形成过程

1.1.1 锅炉

锅炉在其200多年的发展中有了很大演化。按其功能分，有采暖锅炉、工业锅炉和发电锅炉；按其参数分，有低压锅炉、中压锅炉、次高压

锅炉、高压锅炉、超高压锅炉、亚临界参数锅炉和超临界参数锅炉；按工作介质的循环方式分，有自然循环锅炉、强制循环锅炉和直流锅炉。

采暖锅炉都是低压锅炉，按采暖方式又可分为蒸汽供热锅炉和热水锅炉两大类。低压蒸汽锅炉均为自然循环锅炉，它利用锅炉水与补给水的密度大于带有蒸汽的锅炉水（常称作水汽混合物）密度的原理而循环，以带走燃烧产生的热量。

轻工业供汽用的工业锅炉多为低压锅炉，大型工矿企业的供汽工业锅炉多用中压锅炉、次高压锅炉和高压锅炉。后者常同时用于发电。这类锅炉也是自然循环锅炉。

发电锅炉也称电站锅炉，除少量与电网不连接的地方电厂仍使用中压锅炉外，基本都是高压、超高压锅炉和亚临界参数锅炉、超临界参数锅炉。高压、超高压锅炉基本都是自然循环锅炉；亚临界参数锅炉有自然循环方式，也有强制循环方式、直流方式；超临界参数锅炉必然是直流锅炉。直流锅炉的最大特点是去掉了循环（不论是自然的或强制的）锅炉所必须存在的汽鼓，它可使补给水直接受热汽化，并成为过热的蒸汽。

锅炉的蒸汽参数与蒸发量对应关系列于表 1-1，以供清洗单位参考。

表 1-1 常见蒸汽锅炉的参数、容量及配套机组

锅炉参数		低压	中压	次高压	高压	超高压	亚临界	超临界
饱和	压力, MPa	≤ 2.35	3.9	7.8	9.8~ 10.8	15.7	17.8	≥ 25.0
蒸汽	温度, $^{\circ}\text{C}$	≤ 225	250	294	310~316	343	356	374.2
过热	压力, MPa	≤ 2.2	3.5	7.4	9.0	13.8	16.3	≥ 23.0
蒸汽	温度, $^{\circ}\text{C}$	≤ 350	450	480	510~535	520~540	530~550	530~550
蒸发量, t/h		≤ 35	65~130	120~250	220~430	410~670	850~2050	1050~3000
配套机组, MW		6	12~25	25~50	50~100	125~200	250~600	300~1000

为节约有限的能源资源和保护大气环境，大量的低压小容量蒸汽锅炉被热水锅炉取代。热水锅炉常按热水温度与额定热功率划分。热水温度大致分为 $\leq 95^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 95^{\circ}\text{C}$ 两个等级，热功率的单位为 MW，例如 1.4MW、2.8MW、4.2MW 等。

1.1.2 水中可形成污垢的杂质

锅炉所结的污垢来自水中杂质，其中悬浮物质、胶体物质可直接沉着于受热表面成垢，溶解物质中钙、镁、铁、铜等杂质可通过热分解或沉积而成垢。锅炉金属被腐蚀后形成的腐蚀产物密度不足钢铁的 $1/2$ ，传热能力更差，也是主要的污垢。因此，能引起锅炉腐蚀的酸、碱、氧和游离二氧化碳等也是致污的杂质。

悬浮物的粒径为 $1\mu\text{m}$ 上下，长时间静置可因重力而自然分离，它进入锅炉后直接形成污垢。胶体物质的粒径为 $0.1\mu\text{m}$ 上下，它能穿透滤层，但不能自然沉降分离。常见的是水合二氧化硅和腐殖酸，它进入锅炉后受热可吸着形成污垢。

钙、镁离子被称作硬度盐类（这是一个形成了近一个世纪的术语）。它的原意是指水所显示的阻碍肥皂产生泡沫的性质，该性质对锅炉至关重要，实际上可用以衡量结垢的倾向。水的硬度盐类含量越高，成垢越严重。按照钙镁离子和阴离子的组配情况，还可进一步分为碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度。碳酸盐硬度在水被煮沸后能以碳酸钙及氢氧化镁形式成垢，使水呈碱性反应，因此称作暂时（存在于水中的）硬度或碱性硬度；非碳酸盐硬度在煮沸的水中溶解存在，称永久硬度或非碱性硬度。

锅炉及水汽管道的材料是钢铁，热交换器常使用黄铜热交换管，因此，它们遭受腐蚀后，可产生铁的氧化物、铜的氧化物和碳酸盐。它们附着在设备上成为污垢的组成部分，即使进入水中，也会由于其溶解度很小而作为悬浮杂质再度成垢。

1.1.3 污垢的形成过程

补给水进入锅炉后受热蒸发，可浓缩 $30\sim 300$ 倍，水中杂质因过饱和而析出，尤其是具有负温度系数的难溶物质将加速成垢。例如碳酸钙在常温水中溶解度为 10mg/L ， 50°C 时降到 3.4mg/L 。硫酸钙也具有同样的性质。

胶体状态的硅酸盐在受热时，其胶体状态被破坏，聚集成为失水的二氧化硅硬垢。铁的氧化物在水中也常以胶体状态存在，在锅炉中同样会失稳成垢。铜的氧化物（或铜离子）可以与钢铁发生电子交换

而沉镀于传热面上。

难溶化合物在锅炉中析出时也可以不附壁成垢，而是形成不粘附的絮团状水渣。例如在高 pH 下迅速形成的碳酸钙就能丧失附壁能力。以蛇纹石形式产生的硅酸镁和以碱性磷灰石形式生成钙的磷酸盐都是水渣。如果保持足够的底部排污，及时把水渣由锅炉中排走，可以防止受热面结垢。反之，如果排污不足，尤其是底部排污（也称定时排污）起不到冲走水渣的作用，则絮团状的碳酸钙、蛇纹石和碱性磷灰石仍将转变为硬质水垢，这种垢常称作“二次水垢”。

1.2 热交换器污垢的形成过程

1.2.1 各类热交换器

热交换器或称换热器，用于加热或冷却等热量传递。常见的热交换方式有（燃）气与水、蒸汽与水、蒸汽与蒸汽、水与水等的热交换，在这几类热交换过程中都有可能产生污垢。按照换热面所用的材质，可分为黄铜（含部分紫铜、青铜）、钢铁铝及铝合金、钛及其他耐蚀材料；按换热器型式，可分为管式与板式；按照换热器的用途分类，有冷却（冷凝）器与加热器。

热交换器的介质温度低于锅炉，所承受的压力也低于锅炉。但是其用水量大，所使用的水往往是未经任何处理的天然水。因此，其结垢与污秽问题也相当严重。

火电厂汽轮机凝汽器是大型的热交换器，其壳体是碳钢，热交换管使用黄铜、白铜或钛，在其中进行汽-水热交换，用冷却水把成百吨/时、上千吨/时的蒸汽冷却为水。常见凝汽器如表 1-2。

表 1-2 使用黄铜与白铜的凝汽器规范

机组容量 MW	配套锅炉出力 t/h	冷却面积 m ²	管内外径 mm	单根管长 mm	根数	总管长 km	管总重 t	冷却水量 t/h
100	410	6815	23/25	8470	10336	87.5	59	15420
125	410	7000	23/25	7565	11900	90	60	17800
200	670	11220	23/25	8000	17001	137	89	25000
300	1025	15350	23/25	11460	21552	247	134	40000