

工业水处理手册

第七版

[美] 贝茨公司 编

化学工业出版社



内 容 提 要

本书包括导言、外部处理、锅炉用水处理、冷却水系统、加药与控制、水的重复利用 和 某些特殊工业用水的化学处理七部分，共四十二章。书中对各种工业用水中的问题从理论到实践都作了较详细的阐述。本书可供从事工业用水研究、设计、管理的技术人员及有关专业的师生参考。

参加本书翻译的同志：秦裕珩（第14，16，17，18，35，36章），麦玉筠〔第6，8（第三、四部分），15，19，23，29，32，33，37，38，39章〕，李浦修〔第7，8（第一、二部分），9，20，24，25，26，27，28，40，41章〕，史忠义（第3，4，5，13，21，22，30，31，34，42章），潘南鹏（第10，11，12章），雷立美（第1，2章）。除第14，16，17，18，35，36章由潘南鹏同志校阅外，全书由秦裕珩同志总校。

BETZ

**Handbook of Industrial
Water Conditioning**

Seventh Edition—1976

Betz Laboratories, Inc.

工业水处理手册

第 七 版

秦裕珩 麦玉筠 李浦修 合译
史忠义 潘南鹏 雷立美

*

化学工业出版社出版

（北京和平里七区十六号楼）

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092¹/₁₆印张21插页1 字数531千字印数1-15,500

1982年7月北京第1版1982年7月北京第1次印刷

统一书号15063·3347定价2.20元

目 录

导 言

第一章 工业用水处理的发展	1
第二章 水源和杂质	11

外 部 处 理

第三章 曝气	15
第四章 加氯	18
第五章 澄清	24
第六章 过滤	33
第七章 沉淀软化工艺系统	41
第八章 离子交换	49
第九章 热石灰及热离子交换软化法	72

锅炉用水系统

第十章 锅炉给水的除气	77
第十一章 锅炉给水预热系统和锅炉腐蚀的控制	82
第十二章 锅炉沉积物的发生与控制（高压锅炉用水的处理）	90
第十三章 锅炉排污的控制	102
第十四章 炉管破裂	112
第十五章 蒸汽发生系统的化学清洗	120
第十六章 锅炉金属的脆化	128
第十七章 蒸汽夹带	132
第十八章 蒸汽纯度的测量	140
第十九章 蒸汽透平的腐蚀与沉积	144
第二十章 冷凝水系统的腐蚀	150
第二十一章 锅炉燃烧系统的腐蚀与污物堵塞	156
第二十二章 燃烧液体燃料锅炉烟气侧沉积与腐蚀的控制	161
第二十三章 低温端的沉积与腐蚀的控制	168

冷却水系统

第二十四章 冷却水系统的预处理	175
第二十五章 直流冷却水系统	178
第二十六章 密闭式循环冷却水系统	189
第二十七章 敞开式循环冷却水系统	192
第二十八章 冷却塔排污水处理	215

第二十九章 空调系统221

加药与控制

第三十章 加药系统227

第三十一章 水处理系统的监测与控制240

水的重复利用

第三十二章 重复利用水的必要性245

第三十三章 工业废水的重复利用249

某些特殊工业生产用水的化学处理

第三十四章 炼油和石油化工企业用水的化学处理257

第三十五章 制浆工艺265

第三十六章 造纸工艺277

第三十七章 焦炉气系统292

第三十八章 食品及饮料加工301

第三十九章 钢铁工业中的几个关键冷却系统307

第四十章 运输工具及制造工业中的特殊给水系统311

第四十一章 轮胎与橡胶工业的特殊给水系统314

第四十二章 气体洗涤系统316

单位换算表331

元素周期表

第一章 工业用水处理的发展

根据1948年美国给水工程协会出版的 M. N. 贝克 (Baker) 的著作《寻找纯水》中的论述, 有关水处理的最早记录大概是在公元前两千年左右。可以追溯到公元前两千多年、但直到公元四百年才形成手稿的梵语医药经典著作《萨斯鲁塔全集》记载: “不纯的水要通过 在火上煮沸, 在太阳下晒热, 将烧炽的铁块浸入其中而进行净化, 或通过砂子和粗砾石过滤, 然后让其冷却而进行净化”。

贝克还引证了公元前十五世纪一座古代墓葬的壁画 (图1-1), 这是迄今为止人们所知道的最早澄清液体的设施的实例。

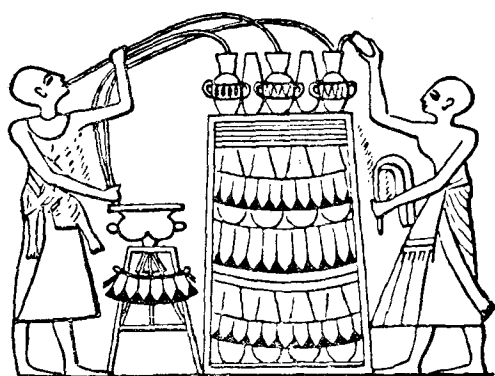


图 1-1 埃及人将澄清的水或酒虹吸出来

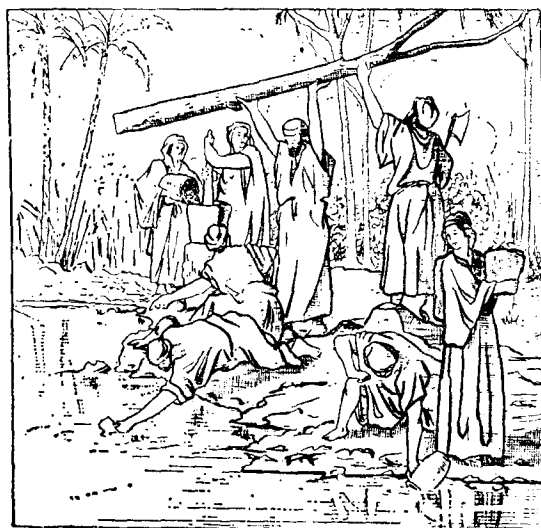


图 1-2 最早的水处理情景

图 1-2 所示是最早提到的水处理情景。这一例证很可能是天然离子交换的最早记录的实例。据美国宾夕法尼亚州费城卓普赛大学提供的资料, 查明它发生的时间是公元前1335年三月或四月。

工业用水处理是在很多个世纪以后、十九世纪的工业革命中才开始的。工业用水处理是从生产蒸汽的锅炉水内部处理开始的。

诺德尔 (Nordell) 在《用于工业及其他方面的水处理》一书 (1961 年 第二版) 中曾述及: “据说, 在最初使用瓦特蒸汽机车时, 有一次在清洗锅炉充水后, 工人挂了一袋土豆在锅炉里煮, 忘记取出就将锅炉投入运转了。当锅炉再次停车清洗除垢时, 他们发现形成的锅垢要少得多, 而且大部分锅垢都已脱落, 成了泥渣。他们还发现, 形成的锅垢也软得多, 容

易清除得多。这个故事大概是真实的，因为在后来的很多年里，每次清洗除垢后工程师们向锅炉里扔些土豆定作为一种实际操作法”。

美国的水处理至少可以追溯到1857年，美国专利 17046 号。十九世纪末期，颁发了几十份锅炉水内部处理控制结垢的专利。大部分专利都包括某种天然有机丹宁物质，没有一份专利提出科学数据来支持他们的专利论据。

1887年，美国颁发了包括用磷酸三钠防止锅炉结垢的370583号专利，还提到了1863年英国专利1384号，其中谈到用磷酸二钠防止锅炉结垢。

半个多世纪以后，在本世纪二十年代后期，相互竞争的发明者还在争执不休，究竟谁发明了磷酸盐处理。

1890年，《蒸汽及其发生与运用》（第22版）一书推荐鞣酸钠，并注明，在含有大量硫酸盐的水中要添加纯碱，但没有提到使用磷酸盐。

同一书中指出，1880年美国国内有170起锅炉爆炸事件，259人死亡，555人受伤。从1880年到1890年的十年间，平均每年有198起锅炉爆炸事件，每年伤亡652人。

毫无疑问可以断定，大部分爆炸事件都是由包括锅炉金属脆化在内的与水有关的问题引起的。

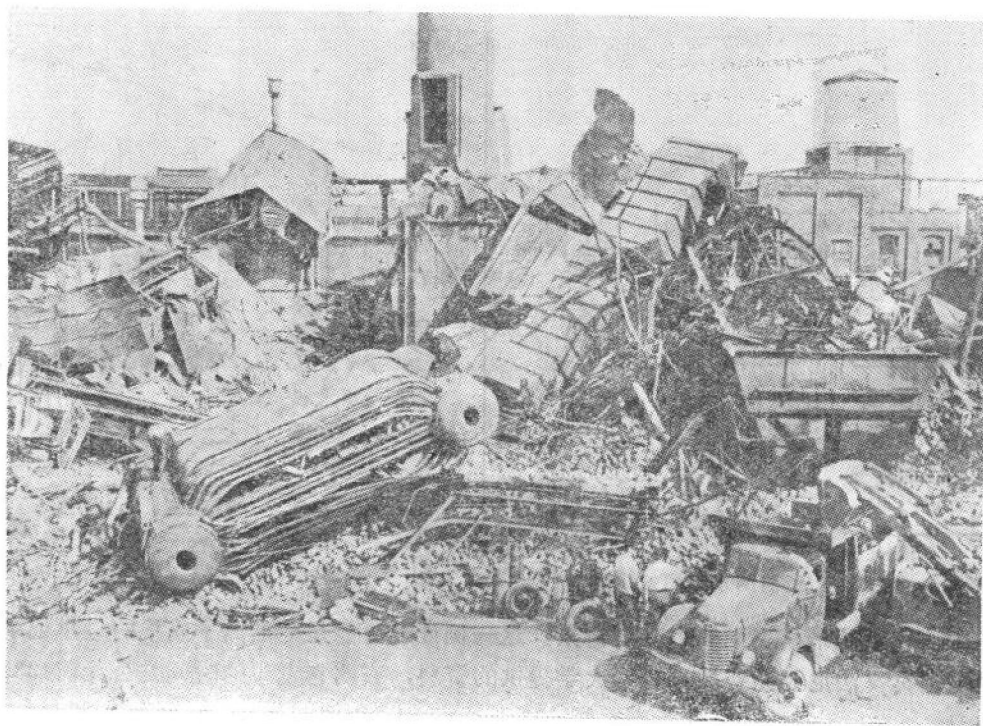


图 1-3 由于锅炉爆炸遭到严重破坏的发电厂

二十世纪最初十年间

有关水处理的一本最早专著是 J. H. 保罗 (Paul) 的《锅炉化学与锅炉给水》(1919 年在英国伦敦出版)。书中述及：“锅炉实际上是一个压热器，在这个压热器中，化学溶液被浓

缩，一部分在高温高压下被蒸发。应当将锅炉视为一个化工厂，在这个“工厂”里，在普通水由初温（如60°F）转化为蒸汽（经常大大过热）的过程中，产生各种各样的化学物质。”

保罗将锅炉的弊病概括为“结垢与腐蚀”。他还认为冷凝管线腐蚀实际上是由于形成甲酸与醋酸时产生的二氧化碳所造成的。

保罗推荐用石灰-苏打法对锅炉补充水进行外部软化处理，但是否要用钠沸石处理他却显得犹豫不决。作为软化剂提到的有苛性钠、纯碱（苏打灰）、磷酸一钠、磷酸二钠和磷酸三钠。

S. T. 鲍威尔（Powell）在《锅炉给水净化》一书（1927年出版）中，提到早期锅炉水处理使用死动物、植物（特别是土豆）、氢氧化钾和纯碱。

R. E. 霍尔（Hall）在谈到这一阶段时指出，“锅炉水处理的类型无疑是十分混乱的。大家都同意锅炉给水的纯度最好接近蒸馏水。除此之外，就没有一致的意见了。”

在美国伊利诺斯大学执教的S. W. 帕尔（Parr）的著作（1917年出版）中报道了有关氢氧化钠在锅炉金属脆化中的作用的早期研究成果。

二 十 年 代

在二十世纪二十年代中，锅炉压力不断增加。传热速度提高了，带来了新问题。很多科研单位都展开了锅炉水化学处理的研究。

在美国俄亥俄州立大学工作的C. W. 福尔克（Foulk）发表了很多科学论文，论述影响锅炉水起泡和蒸汽中夹带固体的因素。福尔克和他的同事们，从1924年到1935年，提出了起泡的理论根据和在实验室锅炉实验中所取得的实验结果。

1924年，R. E. 霍尔报道了他在美国矿务局所作的工作，即在锅炉水中保持过量碳酸根（磷酸根）离子的方法以防止硫酸钙水垢。当压力超过200磅/英寸²时，用纯碱难以防止硫酸钙结垢，他建议在较高的压力下用磷酸钠可能更为经济。

费格尔（Fagar）和雷诺兹（Reynolds）报道了通过用丹宁酸吸收氧的化学除气法。F. N. 斯佩勒（Speller）详细说明了他对蒸汽加热系统腐蚀的研究和控制腐蚀的建议，正确地指出原因主要在于冷凝液中二氧化碳的浓度，这种二氧化碳浓度是锅炉中碳酸根离子分解引起的。

S. W. 帕尔和F. G. 斯特劳布（Straub）继续研究金属苛性脆化的基本原因。1927年，他们得出结论，产生脆化必须具备两个条件：金属应力和高浓度氢氧化钠。

1929年，“美国机械工程师学会功率试验规范”第二部分“蒸汽质量测定”出版，表明对即将要在三十年代中蓬勃发展的蒸汽纯度测量的兴趣增加了。

1925年三月成立了美国锅炉给水研究联合委员会，参加协作研究的组织有：美国机械工程师学会、美国锅炉制造商协会、美国铁路工程协会、美国材料试验协会、美国给水工程协会、爱迪生电气研究所和美国海军。

三 十 年 代

控制锅炉结垢的调查研究在继续进行。E. P. 帕特里奇（Partridge）报道了“锅炉水垢的形成与性质”，F. G. 斯特劳布发表了《锅炉温度下钙盐的特性》一文。E. P. 帕特里奇、W. C. 施罗德（Schroeder）和R. C. 亚当斯（Adams）得出结论，用来防止硫酸钙结垢所需要的过量碳酸根离子比以前大家认定的要少。

1933年, T. A. 索尔伯格 (Solberg) 和 R. C. 亚当斯报道了一种“海军锅炉化合物”, 其中含磷酸二钠47%、纯碱44%和玉米淀粉9%。1934年, 亚当斯提出了使用这种化合物的补充实验结果。F. G. 斯特劳布报道了在高温实验室钢弹中合成方沸石的情形, 他还用各种不同碱度测定了方沸石的溶解度。

1939年, A. D. 贝利 (Bailey) 讨论了“总电厂动力装置的发展”, 他指出, 锅炉压力经历了很多年代才达到200磅/英寸², 但提高到600磅/英寸²只用了二十年的时间, 而且几乎是同时即进一步提高到1200磅/英寸²。正如他所报道的, 当时有一套2000磅/英寸²和一套2400磅/英寸²装置的定货。

在温度和传热速度都高的情况下, 就产生了复杂的硅酸盐锅垢问题。

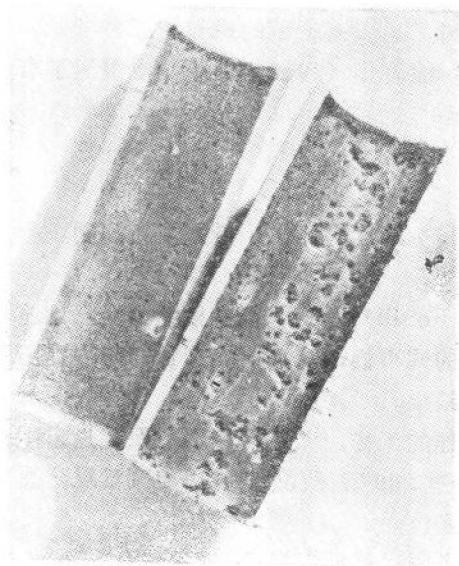


图 1-4 锅炉管的点蚀

锅炉腐蚀和点蚀, 甚至对经过机械除气的锅炉给水, 也被认为是一个问题。用氢氧化亚铁作化学除气剂做了些研究, 但有一些不符合需要的副作用。曾用亚硫酸钠来除氧, 但没有完全为人们所接受。K. A. 科比 (Kobe) 和 W. L. 古丁 (Gooding) 发表了用亚硫酸钠去除锅炉给水中的氧的首次科学研究报告。他们的研究工作证实, 亚硫酸钠是一种较好的化学除气剂, 至少在锅炉压力低时如此。

1939年, R. E. 霍尔和 E. P. 帕特里奇提出了锅炉管由于蒸汽覆盖而受到腐蚀的科学分析。同年, F. G. 斯特劳布从实验室的试验中得出了同样的结论。碱对锅炉金属的腐蚀得到了承认。

L. F. 柯林斯 (Collins) 和 E. L. 亨德森 (Henderson) 提出了他们对蒸汽加热系统腐蚀的多年调查研究。

到1935年福尔克继续发表了他对锅炉水夹带研究的结果。1937年, J. J. 马圭尔 (Maguire) 和 J. P. 托波洛斯基 (Topolosky) 报道了锅炉水防沫剂的早期情况。过热器管道一再破坏的现象消除了, 通过使用一种有机防沫剂, 使过热温度增加70°F。F. G. 斯特劳布在他的《透平叶片沉积物的起因与预防》一文中, 提出了他的理论与实验室试验结果。

在三十年代, 大家对蒸汽纯度越来越重视, 导致普遍采用电导率来测定溶解固体。还大量研究了脱除冷凝蒸汽样品中的气体的各种方法, 以防干扰电导率的测定。

帕尔和斯特劳布继续发表他们对金属苛性脆化 (碱脆) 的调查研究。此外, 施罗德、伯克 (Berk) 和奥布赖恩 (O'Brien) 报道了他们在1937年的一些初步研究。

冷却水的简单处理始于三十年代。这种处理大部分都局限于用碱调节酸性水的 pH 值和用硫酸控制冷却塔系统中碳酸钙结垢。尽管其他研究者们提出和采用形成碳酸钙保护层的方法来防止天然水的腐蚀, 但向前迈进了一大步的还是1936年“朗格利尔饱和指数”的出现。

接近三十年代末期, O. 赖斯 (Rice) 和 G. B. 哈奇 (Hatch) 介绍了低限处理, 即向水中加入百万分之几的六偏磷酸钠以控制碳酸钙沉淀。

1938年, 《控制粘泥与藻类的化学方法》一书出版。H. K. 纳森 (Nason) 考虑到适用于

循环冷却水和空调系统的化学制剂，特别是新的有机氯酚类。

四 十 年 代

1943年，J. A. 霍姆斯 (Holmes) 和 C. 杰克林 (Jacklin) 报道了实验锅炉在880磅/英寸²压力下结垢的研究，1945年又报道了1500磅/英寸²压力下的研究。R. E. 霍尔在《发生蒸汽的水处理问题的新方法》一文中推荐使用的是钾盐而不是钠盐。

1940年，L. D. 贝茨 (Betz)、C. A. 诺尔 (Noll) 和 J. J. 马圭尔报道了在热法软化中用活性氧化镁去除二氧化硅。1943年一月介绍该工艺的美国专利号为2307466。

1949年，J. N. 韦尔什 (Welsh) 推荐用二氧化硅平衡来减少锅炉水泥渣，提出了用催化亚硫酸钠迅速去除溶解氧。

A. A. 伯克在美国矿业局主持科学研究，首次用中和型胺控制蒸汽冷凝液系统的二氧化碳腐蚀。他报道了有关使用环己胺、对氧氮己环和苄胺的情况。

L. F. 柯林斯提出了蒸汽冷凝液系统二氧化碳腐蚀影响的补充试验数据和二氧化碳在蒸汽加热系统某些部分的分离情况。

1949年，H. L. 卡勒 (Kahler) 和 J. K. 布朗 (Brown) 提出了“控制回水管线腐蚀的新的极性膜处理”。这篇论文介绍用胺形成薄膜来控制冷凝液回水管线的腐蚀。

在这十年中，更努力于了解锅炉水随蒸汽夹带固体的过程。M. H. 库纳 (Kuhner) 发表了《水管锅炉汽包中蒸汽是如何释放的》一文。A. L. 雅各比 (Jacoby) 以及 L. D. 冈德森 (Gunderson) 和 W. L. 登曼 (Denman) 都报道了聚酰胺防沫的发展情况。P. G. 伯德 (Bird)、J. W. 雷兹纳 (Ryznar) 和 C. E. 约翰逊 (Johnson) 在促进防沫技术的发展方面都作出了积极的贡献。在十五年中，对这些研究者批准了大约四十项专利。

不断报道了控制脆化问题的进展。伯克报道用硝酸钠作抑制剂获得了成功。1942年，T. E. 珀塞尔 (Purcell) 和 S. F. 维尔 (Whirl) 介绍了调节 pH 值磷酸盐控制方法，这种控制方法通过除去锅炉水中的羟基碱度来消除脆化。

J. A. 霍姆斯在讨论用苯酚衍生物控制冷却塔系统中粘泥时谈到了很多比较新的苯酚盐和氯酚盐。他认为，最佳处理随粘泥的组成而变化，其中包括藻类、真菌、酵母和各种细菌（如铁细菌和硫酸盐还原菌）。

J. W. 雷兹纳表示，认为朗格利尔饱和指数只能定性，他推荐使用稳定指数来定量表示一种水在从任何温度到 200°F 所形成的碳酸钙量。

O. 赖斯继续报道了低限处理的用途，并强调它在最大限度减轻腐蚀与红水方面的价值。

H. L. 卡勒发表了他在实验室试验冷却水系统中所作的碳酸钙水垢沉积的研究。对水温、传热速度、管壁温度和钙浓度的影响都进行了研究。在直流水和循环水系统中，最好的抑制剂是那些使碳酸钙晶体产生高度晶体畸变的药剂。

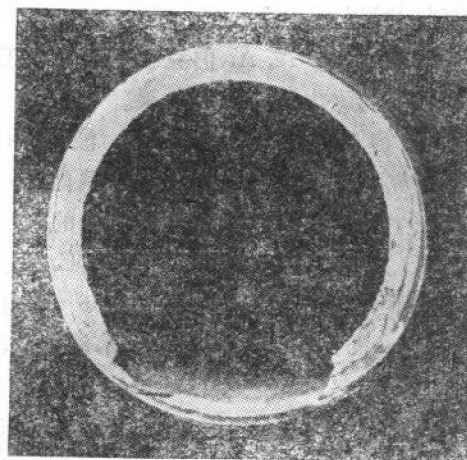


图 1-5 冷凝液管线内由于二氧化碳腐蚀所造成的凹槽

S. T. 鲍维尔、H. E. 培根 (Bacon) 和 J. R. 莱尔 (Lill) 都报道了在循环冷却水系统中控制碳酸钙沉积, 用以抑制对钢设备的腐蚀。L. D. 贝茨和 J. J. 马盖尔在1949年美国中西部动力会议上对直流冷却水系统和循环冷却水系统中的结垢、腐蚀、粘泥等问题都作了分析。

五 十 年 代

1950年, J. A. 霍姆斯和C. 杰克林继续报道了一系列有关锅炉结垢试验研究在 2500 磅/英寸²压力下的结果。P. G. 伯德获得用加工木质素改善高温稳定性的美国 2505457 号专利。有关锅炉水中有机剂的专题讨论会是 1951年美国中西部动力会议的一部分。J. A. 霍姆斯介绍了“用于水处理的有机物的发展”; J. J. 马盖尔介绍了“控制锅炉结垢与泥渣的有机药剂”; R. W. 利德尔 (Liddell) 和 L. C. 毕晓普 (Bishop) 介绍了“水处理有机物质的使用与误用”; C. M. 博达奇 (Bodach) 和 L. O. 冈德森介绍了“控制泡沫的有机增效剂”。

1957年颁发给F. B. 克拉姆 (Crum) 和J. F. 威尔克斯 (Wilkes) 的美国 2873200 号专利, 内容为用合成低分子丙烯聚合物代替锅炉水泥渣处理中的天然丹宁酸和木质素。

1951年, H. M. 里弗斯 (Rivers) 分析了锅炉结垢与腐蚀问题中浓缩膜的作用。

1950年, J. J. 马盖尔报道了用形成胺膜控制蒸汽与回流管线系统的腐蚀。W. A. 坦佐拉 (Tanzola) 在1951年, E. 埃利奥特 (Elliott) 和 P. J. 高甘 (Gaughan) 在1951年, G. A. 迈尔伦多夫 (Mierendorf) 在1952年, W. A. 坦佐拉与 J. G. 威德曼 (Weldman) 在1954年也都作了同样的报道。1954年, R. F. 安德烈斯 (Andres) 论述了锅炉的腐蚀问题。1955年, E. C. 菲斯 (Fiss) 论述了用联氨以防止氧腐蚀。

S. M. 斯佩里 (Sperry) 论述了“在蒸汽与水循环过程中降低铁与铜的腐蚀”。H. A. 格拉博斯基 (Grabowski)、H. D. 达格曼 (Dugman) 和 W. B. 威尔西 (Willsey) 报道了压力较高的电站内预热锅炉腐蚀的现场研究结果。J. D. 里斯托夫 (Ristoff) 和 E. A. 约克吉蒂斯 (Yokgitis) 报道了用中和型胺来控制铁和铜的腐蚀。1957年, H. 德索托 (Desoto) 论述了“联氨与对氧氮已环”。

1950年12月, A. A. 伯克在美国机械工程师学会会议上提出了补充数据, 确认了硝酸盐作为锅炉金属脆化抑制剂的效果。

E. E. 库尔特 (Coulter)、E. A. 波尔西 (Pirsh) 和 E. J. 小瓦格纳 (Wagner, Jr.) 在实验设备中研究了蒸汽中选择性夹带二氧化硅。他们使用放射性示踪技术得到的结果证明, 在机械夹带产生的蒸汽中, 仅有可忽略量的二氧化硅, 这意味着二氧化硅是能气化的。

J. K. 拉梅尔 (Rummell) 和 R. C. 亚历山大 (Alexander) 报道了锅炉水中的亚硫酸盐在较高压力下分解产生酸性蒸气。1956年, J. K. 赖斯、E. A. 皮尔斯奇 (Pirsch) 和 F. G. 雷诺 (Raynor) 介绍了使用钠示踪技术测定蒸汽纯度的经验。1956年11月在美国机械工程师学会年会上, C. A. 毕晓夫 (Bishop)、J. K. 布朗和 H. L. 卡勒介绍了“蒸汽纯度研究中用火焰分光光度计测定电导率与钠的关系”, 1958年, W. A. 克兰德尔 (Crandall) 和 W. 纳科夫斯基 (Nacovsky) 发表了更多的资料。1959年, S. O. 迈耶 (Meyer) 论述了为测定蒸汽纯度而设计的轻便手提设备。

1950年, H. L. 卡勒和C. 乔治 (George) 提出了“保护金属防止点蚀与锈瘤的双阳极法”。H. L. 卡勒、C. 乔治在1950年《腐蚀》杂志中、H. L. 卡勒和P. J. 高甘在1952年《工业工程化学》杂志中、H. L. 卡勒和C. 乔治在1955年《石油和石油炼制》杂志中都介绍了更多的

数据资料与现场经验。1955年6月,美国2711391号专利发给了H. L. 卡勒。1958年8月,美国2848299号专利发给了H. L. 卡勒、C. A. 毕晓夫和W. A. 坦佐拉。1959年2月,美国2872281号专利发给了H. L. 卡勒和C. 乔治;同年8月,美国2900222号专利发给了H. L. 卡勒和W. A. 坦佐拉。

J. K. 赖斯在1955年和R. W. 柯康内尔(Kirkconnell)在1956年都讨论了新的有机聚合物和它们在混凝中的应用。

大约在1948年,冷却塔木结构的去木质作用就成为一个严重问题。五十年代中,很多研究人员研究了这个问题。C. L. 布洛姆(Bloom)和H. D. 弗雷泽(Frazier)认为去木质作用的主要原因在于循环水中碳酸钠的浓度高。D. R. 贝克发表了很多篇有关他在这方面的研究报告。1952年,B. F. 谢玛(Shema)和B. L. 布朗宁(Browning)也作了这方面的报道。1956年,J. J. 马盖尔提出了“循环冷却水系统中的生物污垢”。

D. A. 莱维(Levy)对污水处理厂出水用作工业给水水源很感兴趣。J. E. 塔曼(Tarman)和J. H. 理查兹(Richards)介绍了污水处理厂出水用于锅炉系统与冷却水系统中所获得的结果。F. C. 汉弗莱斯(Humphreys)也报道了将污水处理厂出水作为电厂循环水的经验。

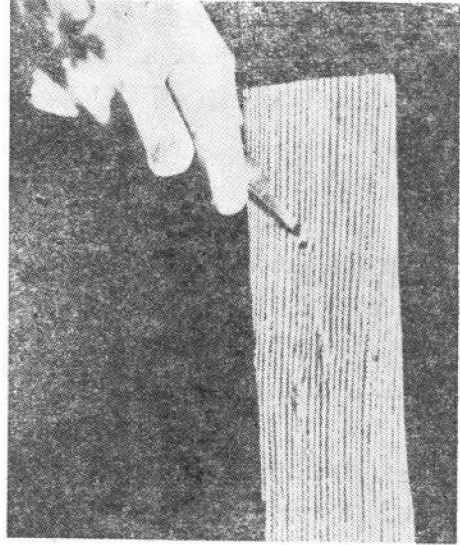


图 1-6 冷却塔木材的去木质素作用

六 十 年 代

六十年代中,锅炉系统的内部化学处理方案通过使用合成分散剂,如聚丙烯酸酯、聚甲基丙烯酸酯和羧甲基纤维素,而继续得到改善。1957年2月发给克鲁姆和威尔克斯的美国2783200号专利和1965年6月发给卡勒和蔡拜(Zeiby)的美国3188289号专利都概括了这些材料。

普遍确认这些合成分散剂比早期较常用的天然木质素或磺化木质素要好得多。使用分散剂可望进一步更好地去除形成沉积物的组分,例如磷酸钙、硅酸镁、氢氧化物以及铁和铜的一些金属氧化物。1967年,W. L. 登曼和M. L. 萨卢特斯基(Salutsky)描述了用聚丙烯酸酯和聚甲基丙烯酸酯控制锅炉结垢的情况。

六十年代中,迅速发展将螯合物用于高压锅炉内部处理。1961年,J. C. 爱德华兹(Edwards)和E. A. 罗加斯(Rogas)报道了用于锅炉压力为150磅/英寸²时的最初试验结果。1963年,J. C. 爱德华兹和W. L. 梅里曼(Merriman)报道了锅炉压力为400磅/英寸²和1250磅/英寸²时所取得的试验结果。其他研究者,如J. K. 赖斯在1964年、C. 杰克林在1965年、R. 埃利奥特在1967年、J. R. 梅特卡夫(Metcalf)在1967年、W. E. 贝尔(Bell)、R. C. 赖斯和R. J. 克拉克(Clarke)在1969年都作了上述方面的报道。

M. C. 布卢姆(Bloom)介绍了与蒸汽发电有关的钢腐蚀过程的检查情况。1961年,C. E. 福克斯(Fox)叙述了腐蚀方面的经验,同年,E. P. 谢伊(Shea)、A. L. 希梅尔(Simmel)和W. R. 霍林希德(Hollingshead)详细说明了所获得的有关实验研究锅炉中热传递对点蚀的

影响。他们得出结论：传热速度高，大大增加了点蚀的严重性。J. H. 理查兹和 J. H. 里德尔(Riddle)说明了气溢锅炉(Steam flood boiler)的锅炉给水处理。

尽管早期在防止夹带的领域里作了不少研究工作，取得了很大的成绩，但蒸汽透平的沉积仍然是个麻烦问题。采用了各种防止透平叶片沉积的方法，其中包括向锅炉水中投加过量亚硫酸钠和加入胺类，据报道这两种方法都是有效的。J. H. 理查兹在美国专利 3422022 号“用含硫化物处理降低蒸汽透平污垢”中揭示了防止透平叶片沉积的具体方法。

R. V. 科布(Cobb)和 E. E. 库尔特表示，惯用的蒸汽取样方法可能由于杂质在取样管线表面沉积而造成很大误差。纠正这种误差的办法是加入足够的冷凝蒸汽以消除使汽样过热的所有因素。

T. M. 里迪克(Riddick)提倡在水的混凝中使用Z-电位。1965年，R. M. 史密斯(Smith)评述了在工业用水与废水处理中使用有机合成絮凝剂的情况。同年，E. H. 克鲁克(Crook)和F. X. 波略(Pollio)介绍了用合成聚合物去除溶解有机物和无机物的数据资料。W. E. 齐迈(Zimmie)论述了用聚合电解质通过絮凝泥渣和沉淀物以降低冷却水系统的腐蚀。P. B. 赖利(Reilly)报道了用粘土阳离子聚合物澄清地表水。1969年，D. R. 塞克斯密斯(Sexsmith)、E. A. 萨瓦尼利(Savanelli)和 J. S. 比彻(Beecher)评述了在水处理中使用聚合物的情况。

贝茨公司双阳极处理系统被确认能控制冷却水腐蚀。注意力转向改进测量与评价技术和应用方法方面。

H. 克斯特(Kerst)和R. G. 多尔布克(Dalbke)提出了冷却水系统在各种温度、pH 值和传热条件下用聚磷酸盐作为腐蚀抑制剂(缓蚀剂)的研究结果。J. L. 赫斯勒(Hesler)、P. R. 帕柯莱斯(Puckorius)和N. B. 法恩兹沃思(Farnsworth)提出从冷却塔排污中回收与重复利用铬酸盐。W. H. 约翰逊介绍了有关用污水处理厂出水作为工业冷却用水的补充资料。W. A. 姆莱西克(Mracek)与L. 格林伯格(Greenberg)论述了铬酸盐废水还原装置的控制与自动化。

L. F. 普罗布斯特(Probst)在1960年、P. 古利(Gulley)在1960年、P. R. 帕科莱尔斯(Puckorius)在1962年、A. S. 克里西尔(Krishner)在1965年都介绍了预处理技术与选择抑制剂的准则。1968年，J. M. 多诺霍(Donohue)和W. W. 黑尔斯(Hales)提出了对“已经改进的冷却水处理”技术状况的评论。

在这十年中，对水质标准更加重视起来。某些属于污染控制方面的文献有：T. C. 霍佩(Hoppe)及其所著《使排污污染最轻的冷却水处理》；B. J. 凯利(Kelly)及其所著《用于冷却塔的铬酸盐——回收还是处理？》；P. V. 摩根(Morgan)和H. C. 布拉默(Bramer)关于热污染方面问题的讨论。

六十年代中，在冷却水系统控制沉积方面取得了巨大进展。普遍使用磷酸酯、丙烯酸酯和各种合成与天然有机物。新的物质被用来提高水侧的净化程度，连续或间歇的应用技术都

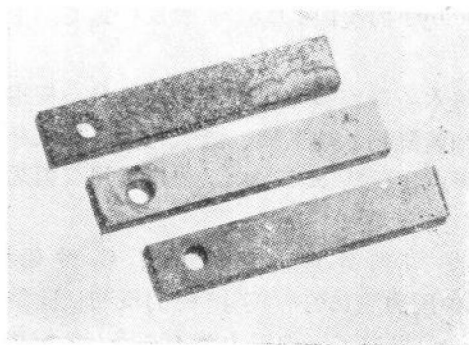


图 1-7 置于循环冷却水中的试样

上面的：未经处理；
中间的：铬酸盐处理；
下面的：非铬酸盐处理

有显著的效果。

L. F. 普罗布斯特提出用有机物质防止循环冷却水系统中的污垢。J. M. 多诺霍与 G. A. 伍兹 (Woods) 描述了“在连续操作中除泥恢复传热”的情况。1962 年, R. G. 达尔布克 (Dalbke)、E. R. 麦卡特尼 (Mc Cartney) 和 A. E. 亚力山大 (Alexander) 评论控制沉积的一些作法。P. H. 雷斯登描述了用磷酸酯控制结垢的情况。W. W. 海尔斯发表了他所著《控制冷却水沉积物》一文。G. W. 施韦策 (Schweitzer)、C. M. 赫瓦 (Hwa) 也都在 1969 年探讨了同样的专题。

在此期间, 冷却水处理的微生物方面受到相当大的注意。J. R. 德蒙布伦 (Demonbrum) 和 J. R. 拉吉 (Largey) 都叙述了如何“认识与控制冷却塔木材腐烂”。W. P. 艾弗森 (Iverson) 和 J. A. 卡斯特罗 (Costello) 观察了微生物活动对腐蚀的作用并分别著文:《腐蚀中的硫酸盐还原菌》与《微生物有机体对金属的腐蚀》。

1961 年, C. W. 里格提 (Regutti) 介绍用蒸汽消毒维护冷却塔。E. F. 莫勒 (Mohler) 介绍了炼油废水冷却塔生物处理与重复利用的十一年的经验。E. G. 保尔森 (Paulson) 论述了冷却塔的生物环境。C. J. 麦卡恩 (McCaun) 论述了冷却塔的特殊用途。

七 十 年 代

螯合物处理继续支配着七十年代充满活力和具有能源意识的世界。汉森 (Hanson) 和格思里 (Guthrie) 在美国 3520813 号专利中揭示了用磷酸盐、螯合物与分散剂配合控制锅炉水中沉淀结晶增长率的方法。洛伦斯 (Lorence) 和伯纳 (Berner) 在美国 3666664 号专利中, 斯塔福德 (Staford) 和沃格桑 (Vogelsang) 在美国 3728419 号专利中分别提出了螯合物与有机磷酸酯配合是改善沉积控制的极好方法。

J. R. 梅特卡夫在 1970 年最新锅炉水螯合物处理中得出结论“螯合方案使锅炉水处理得到改善。以前报道的腐蚀问题是应用不当的结果。如果应用和控制得当, 螯合方案是不会在锅炉系统中引起腐蚀问题的。”

J. L. 沃尔克 (Walker) 和 J. R. 斯蒂芬斯 (Stephens) 报道了螯合剂的对比研究。D. G. 卡伊萨 (Cuisia) 报道了聚合物、磷酸酯和其他类型的螯合物在实验性锅炉中的研究。

D. R. 塞克斯密斯、J. V. 费伦 (Phelan) 和 E. A. 萨瓦尼里论述了用合成有机聚合物控制脱盐蒸发器的结垢。

杰克林和威尔西在他们的论文《溶解氢分析仪——锅炉腐蚀研究的工具》中介绍了在工业上用氢分析仪研究腐蚀问题。

J. M. 多诺霍和 C. V. 萨尔诺 (Sarno) 描述了降低污染的措施是如何影响冷却水处理的。D. A. 卡特和 J. M. 多诺霍详细阐述了这些大家关心的问题。1973 年, K. G. 扬 (Young) 和 T. M. 福斯伯格 (Fosberg) 总结了水的重复利用的实践情况。

七十年代的冷却水处理显著地受到考虑环境的影响。D. R. 萨克斯密斯、R. M. 西尔弗斯坦 (Silverstein) 和 E. A. 萨瓦尼里论述了冷却水处理中的聚合物。1971 年, H. C. 布拉默论述了工业水系统的密闭循环。第二年, A. J. 弗里德曼 (Freedman) 和 J. E. 香农 (Shannon) 总结了碱性冷却水处理。P. R. 帕柯莱尔斯和 L. D. 林登谬思 (Lindenmuth) 拟定了聚合物-硅酸盐处理方案。

G. J. 克里茨 (Crits) 报道了探讨冷却塔系统达到零排污的问题。W. L. 哈珀尔 (Harpel) 和 E. W. 詹姆斯 (James) 介绍了最新的废水重复利用作为冷却塔补充水的情况。1973 年,

H. J. 格雷(Gray)、C. V. 麦圭根(McGuigan)和H. W. 罗兰(Rowland)介绍了在美国伯班克市利用城市污水处理厂出水六年的经验。

正如S. 谢尔(Shair)、J. F. 沃科(Walko)、J. M. 多诺霍和B. F. 谢玛报道所及, 相当多的注意力继续集中在敞开式循环冷却水系统的微生物问题方面。R. A. 舒尔茨(Schultz)、B. A. 梅茨(Metz)论述了控制非污染生物生长的方案。1974年, E. C. 瓦康巴斯(Wackenbuth)和G. 莱文(Levine)介绍了用氯化溴代替氯作为冷凝器冷却水中的杀生物剂。

当前, 两个比较新的问题支配着工业用水处理, 那就是能源和环境。从每一加仑石油中榨取出最后一英热单位的能量, 已经成为十分重要的问题。要求有更洁净的锅炉传热表面, 较少的锅炉排污现在是十分重要的。

从环境方面考虑, 在很多情况下, 必须用证明效率较低的处理方案来代替效率很高的铬酸盐-磷酸盐-锌冷却水腐蚀抑制剂。

效率很高和久经考验的杀生物剂可能不得不由其他更易于生物降解或更容易解毒的杀生物剂来代替。

在很多情况下, 由于管理机构要求生物学与毒物学方面的资料, 而这些资料往往需要数月、有时数年才能获得, 这就使得取代旧方法的新处理方法的发展推迟了。

今天具有广泛的研究和工程技术能力, 满足这方面的需要和最终研究出与那些由于考虑环境而被禁止的处理方法同样有效的新方法是极为可能的。发现这种新方法所需的时间要比从前长得多。要付出更高的代价才能发现新的处理方法。对于用户来说价格将更加昂贵, 而且最终将增加消费者的经济负担。

第二章 水源和杂质

供应丰富的淡水是发展工业必不可少的条件。产品与设备冷却、工艺要求、锅炉给水、卫生和饮用都需要大量的水。

据估计，现代工业所需要的用水每天约为一千四百亿加仑，其中很大一部分重复使用。据估计，每天要取“新”水约三百七十亿加仑。假如这些水很纯，不含任何杂质，那就根本用不着水处理了。

纯水无色、无味、无臭。水的分子式 H_2O 表明，它是由氢、氧两种气体按 2:1 化合而成。

水有某些独特的性质，其中之一就是它能一定程度地溶解地壳和大气中的各种物质。由于水有这种溶解特性，水中就会含有杂质。由于这些杂质在给水管内、锅炉管内和接触它的产品上结垢，成为工业上潜在问题的根源。

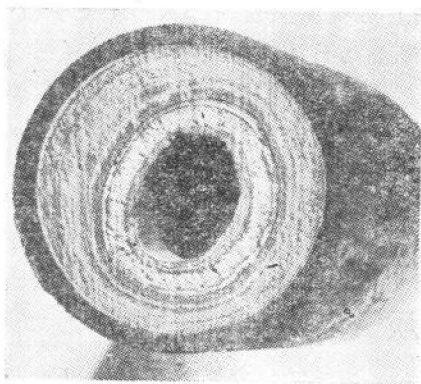


图 2-1 给水管中的垢沉积物

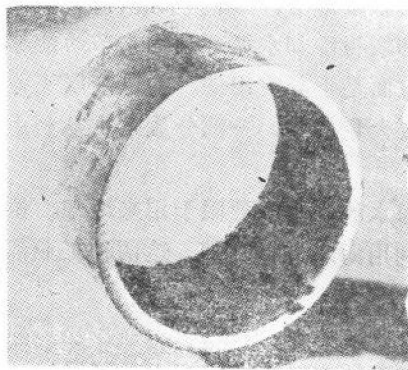


图 2-2 溶解氧腐蚀

溶解氧是水中存在的主要气体，它在所接触到的金属表面引起腐蚀，结果造成昂贵的管线与设备更新。图2-1所示是杂质在给水管线内结垢的后果；图2-2所示是溶解氧对管线的腐蚀。因此，为了尽量克服水在使用中存在的问题，工业上每年在水处理设备和在为脱除、降低或改变水中发现的杂质所用的化学药剂上花费数以百万计美元也就不足为奇了。

水 源

所有供水水源都是从大地、海洋蒸发而大部分又从大气中降落下来的水分。“大气水”这一术语就是用来描述这种基本水源的。根据不同的气候条件，它可能以雨、雪、雨夹雪或冰雹等形式降落下来。

它在降落的时候，不仅接触到构成大气的各种气体，而且还碰到以灰尘、工业烟气、火山灰尘和气体等形式出现的悬浮微粒。因此，它含有大气的各种溶解气体和悬浮在大气中的杂质溶解而来的各种矿物质。

诺德尔 (Nordell) 对在美国与英国取得的大气水水样所作的研究表明, 水样中含有大量的溶解矿物质, pH值范围为3.5 (酸性) 到7.1 (碱性)。由此可见, 在地球表面的雨 (大气) 水决非“纯”水。

淡水最主要的两种水源是地表水和地下水。地球表面的一部分雨、溶雪或溶冰渗入地下, 而其它一部分则汇集在池塘、湖泊或是流入溪流江河之中。后面这部分水称为“地表水”。

水流经大地表面, 矿物质被溶解, 水流的水力将非常细小的悬浮颗粒和有机物质带走。地形的特点和地区地理构造的性质将影响一定地理地域内地表水中杂质的种类与数量。

渗入地壳和流集在地下池塘或潜流河道里的那部分水称为“地下水”。井水与泉水都来源于此。地下淡水水源在三个重要方面区别于地表水水源, 其中两个方面是对工业生产有利的, 即相对稳定的温度和没有悬浮物。

地下水和地表水一样, 其溶解杂质的性质容易受到同样变化的影响, 也就是说, 供取水的含水层地质结构将大大影响水质的主要矿物成分。由于溶解二氧化碳的增溶影响, 在同一地域内, 地下水矿物质的含量往往比地表水高。地下水中高于地表水的二氧化碳含量来自地面土壤中腐败的有机物质。

除了上面讨论的两种水源外, 还有两种对工业起着重要作用的水源, 即循环回收的水和海水。工业之所以尽量循环用水, 是有其经济、社会和环境等多方面原因的。

在很多地方, “新”水的可取量受到限制。因此, 在需要大量冷却水的工业中就必须通过冷却塔将冷却水循环利用来节约能够得到的水。炼油与石油化学工业在重复利用这种类型的水方面是十分突出的。初炼金属工业和造纸工业都是良好的例子, 这些工业在制造工艺中都需要大量的水, 一部分废水重复利用。利用污水处理厂的出水是重复用水和节约水的又一例证。

海水的利用主要限于用来冷却。位于海滨的工业, 主要是电力工业和炼油工业, 能够便利地利用海水进行冷却。这两种工业都需要大量的冷却水。

杂 质

从上述各段中可以看出, 可用于工业的水中含有各种物质, 其数量和种类可能变化都很大。这些杂质变量受取水水源的影响。淡水供水中的杂质类型可粗略地分为溶解固体、悬浮固体和溶解气体。

用来生产合格的工业和公共用水的净化与处理技术要求有可靠的分析试验, 以保证达到处理目标。表2-1所列是检查大部分天然水所作的分析测定表。表中所列为物质的一般分类、由于存在这种物质所造成的问题和克服这些问题所常用的处理方法, 但并非是消除所有具体水质问题的分析试验一览表。

表 2-1 淡水中普通杂质检验表

成 分	化 学 分 子 式	造 成 的 问 题	处 理 方 法
浊度	无分子式, 分析时以单位表示	使水难看。杂质在水管内, 工艺设备等处沉积, 影响大部分工艺应用	混凝、沉淀和过滤
颜色	无分子式, 分析时以单位表示	可能引起在锅炉中发泡, 妨碍诸如除铁、软化等沉淀法。用于工艺过程, 会使产品产生污点	混凝和过滤。加氯。用活性炭吸附

续表

成 分	化 学 分 子 式	造 成 的 问 题	处 理 方 法
硬度	以 CaCO_3 表示的钙、镁盐	是换热设备、锅炉、管线等结垢的主要根源。与肥皂作用形成液体凝乳状物,影响印染等	软化。脱盐。内部锅炉水处理。表面活性剂处理
碱度	碳酸氢盐(HCO_3^-), 碳酸盐(CO_3^{2-})和水合物(OH^-), 以 CaCO_3 计	引起发泡和蒸汽中夹带固体, 锅炉钢脆化。碳酸氢盐和碳酸盐在蒸汽中产生二氧化碳。是冷凝液管线腐蚀的根源	石灰和石灰-苏打软化。酸处理, 氢沸石软化。脱盐。阴离子交换脱碱
游离无机酸	H_2SO_4 , HCl 等, 以 CaCO_3 计	腐蚀	用碱中和
二氧化碳	CO_2	在水管中, 特别是在蒸汽与冷凝液管线中引起腐蚀	曝气。除气。用碱中和
pH 值	氢离子浓度规定为 $\text{pH} = \lg \frac{1}{[\text{H}^+]}$	pH 值根据水中酸和碱固体量而变化, 大部分天然水的 pH 值为 6.0~8.0	pH 值可以用碱提高和用酸降低
硫酸根	SO_4^{2-}	增加水中固体物质的含量, 但其本身通常无关重要。与钙化合形成硫酸钙水垢	脱盐
氯根	Cl^-	增加固体物质的含量, 增加水的腐蚀性	脱盐
硝酸根	NO_3^-	增加水中固体物质的含量, 但其本身在工业上通常无关重要。高浓度时引起幼几患正铁血蛋白血症。对控制锅炉金属脆化有用	脱盐
氟化物	F^-	引起牙齿斑釉, 也用来控制龋齿。在工业上一般没有什么意义	用氢氧化镁、磷酸钙或骨灰吸附。用明矾混凝
二氧化硅	SiO_2	在锅炉与冷却水系统中引起水垢。由于二氧化硅的蒸发而在透平叶片上形成非溶解性沉积物	用镁盐热法去除, 用强碱性阴离子树脂吸附, 与脱盐过程结合
铁	Fe^{++} (亚铁) Fe^{+++} (正铁)	沉淀时使水变色, 是给水管线内、锅炉等处造成沉积物的根源。对印染、制革、造纸等工业都有影响	曝气。混凝和过滤, 石灰软化。阳离子交换。接触过滤。用表面活性剂除铁
锰	Mn^{++}	与铁相同	与铁相同
氧	O_2	引起给水管、换热设备、锅炉、回水管线等的腐蚀	除气。用亚硫酸钠处理, 用腐蚀抑制剂处理
硫化氢	H_2S	引起臭鸡蛋的臭味和腐蚀	曝气, 加氯, 强碱性阴离子树脂吸附
氨	NH_3	由于形成复杂的可溶性离子而腐蚀铜合金和锌合金	氢沸石阳离子交换。加氯。除气
溶解固体	无分子式	“溶解固体”用蒸发法测出的溶解物质总量。高浓度溶解固体由于影响工艺生产和引起在锅炉中发泡而有害	各种软化工艺, 如石灰软化, 用氢沸石进行阳离子交换等, 会减少溶解固体。脱盐
悬浮固体	无分子式	“悬浮固体”是用重量法测出的非溶解性物质总量。悬浮固体造成在换热设备内、锅炉内、水管内等处沉积	沉降。过滤, 在过滤之前一般经过混凝与沉淀
总固体	无分子式	“总固体”是重量法测定的溶解固体与悬浮固体之和	参阅“溶解固体”与“悬浮固体”