

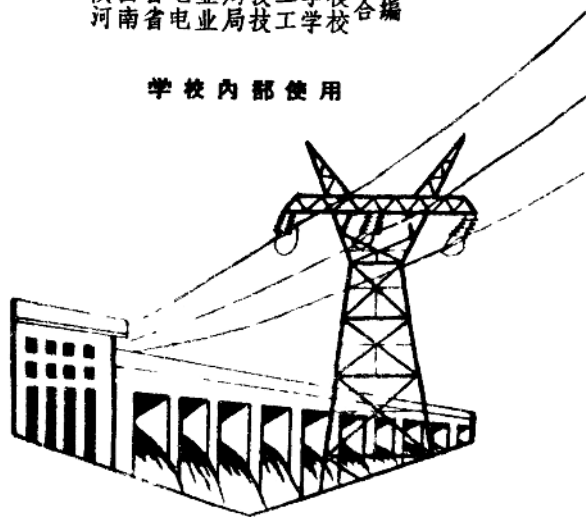
技工学校交流讲义

水 处 理

上 册

陕西省电业局技工学校 合编
河南省电业局技工学校

学校内部使用



中国工业出版社

技工学校交流讲义

水 处 理

上 册

陕西省电业局技工学校 合編
河南省电业局技工学校

中国工业出版社

本书主要叙述了现代火力发电厂炉内和炉外的水处理。全书分上、下两册。上册内容共有五章，分别对天然水的特性；水垢及其防止；蒸汽的污染及其防止；蒸汽动力设备的腐蚀及其防止；给水、炉水和蒸汽的品质等均作了较详细的阐述。

本书为电力技工学校电厂化学专业的教材，同时可供具有初中文化程度的水处理运行工人参考。

本书由陕西省电业局技工学校崔德祿、夏紅英，河南省电业局技工学校邹厚芳编写和修订；并经陕西省电业局电力研究所芮侨生审查。

水 处 理

上 册

陕西省电业局技工学校
河南省电业局技工学校 合編

*

水电技工教材編輯組編輯（北京阜外月坛南街）

中国工业出版社出版（北京修德门路四10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $4\frac{3}{8}$ ·字数93,000

1961年11月北京第一版·1964年9月北京第三次印刷

印数2,182—3,541·定价（科二）0.35元

*

统一书号：K15165·1065（水电-171）

目 录

緒論.....	1
第一章 概述.....	2
第一节 蒸汽动力设备运行中水质的重要性.....	2
第二节 天然水的特性.....	8
第三节 污染天然水的物质.....	10
第四节 水的品质及其指标.....	15
第二章 水垢及其防止.....	18
第一节 水垢和水渣的形成.....	18
第二节 水垢和水渣的种类、成分和性质.....	21
第三节 防止鍋炉結垢的方法.....	26
第四节 水垢的清除.....	32
第三章 蒸汽动力设备的腐蚀及其防止.....	39
第一节 腐蚀的形成.....	39
第二节 化学腐蚀和电化学腐蚀.....	42
第三节 影响腐蚀速度的内外部因素.....	45
第四节 給水管道的腐蚀及其防止.....	53
第五节 鍋炉机组的腐蚀及其防止.....	57
第六节 汽輪机和凝汽器的腐蚀及其防止.....	74
第七节 热力网和凝結回水管路的腐蚀及其防止.....	76
第八节 腐蚀指示器.....	79
第九节 水的除氧.....	81
第四章 蒸汽的污染及其防止.....	90
第一节 飽和蒸汽中带有杂质的現象.....	90
第二节 炉水中泡沫的形成及蒸汽通路中杂质的附着.....	94
第三节 分离装置.....	97

第四节	鍋炉排污及分段蒸发	100
第五节	热力化学試驗	105
第六节	过热器和汽輪机上附着物的清除	108
第五章	汽水品质的指标和监督	111
第一节	汽水品质的指标	111
第二节	汽水品质的监督	119
第三节	配合机炉启动工作	130

緒 論

电是我国主要动力能源之一。但在解放前电力工业长期处于十分落后的状态中，而电厂中的水处理和化学监督工作則更为落后。电厂化学工作人員少，大多数电厂沒有水处理設備，虽然几个較大的电厂有水处理設備，但由于設備的陈旧、落后和得不到足够的重視，因此鍋炉机組和蒸汽动力設備的結垢、腐蝕情况相当严重，直接影响了設備的安全、經濟运行，使鍋炉和汽輪机的出力大大降低。

中华人民共和国成立十多年来，在党的领导下，发电厂的水处理和化学监督工作方面，不但根本改变了旧的面貌，而且在技术上也取得了很大成就。在絕大多数发电厂中建立了比較完善的水处理设备，逐步建立和健全了化学监督組織和制度，加强了技术管理，提高了化学水处理人員的技术水平，因而对发电厂的鍋炉、汽輪机和其他蒸汽动力設備的安全、經濟运行起到了一定的作用。

目前在鍋炉金屬受热面积結鈣、鎂性质的水垢，和汽輪机凝汽器积結大量硬质水垢的情况，在大部分电厂中已基本上得到了解决。从而防止了鍋炉金屬管的爆破，提高了凝汽器的真空，降低了煤耗。在腐蝕方面，減緩了水中氧气对金屬受热面的腐蝕；省煤器和高压加热器因腐蝕而造成千孔百疮，經常泄漏的情况已不常見了。鍋炉金屬发生晶间腐蝕(苛性脆化)的危害开始得到了扭轉。

随着电力工业的迅速发展，各种新型設備投入运行以及

原有設備提高出力，都促使电厂化学工作进入了一个新的阶段。它要求电厂化学工作無論在量和质的两方面，都須积极的提高，只有进一步加强电厂化学工作，才能更好地保証发电厂的安全和經濟运行。

第一章 概 述

第一节 蒸汽动力設備运行中水质的重要性

水在火力发电厂中是制造蒸汽的主要工业原料。在鍋炉中发生的蒸汽經過过热器提高温度后导入汽輪机；在汽輪机中，蒸汽的热能轉变为机械能，带动发电机，将机械能轉变成电能，送至电网。

以凝汽式发电厂而論，在汽輪机做完功的蒸汽（压力低于大气压）导入凝汽器，經冷却后凝結成水，再用凝結水泵抽出并打入除氧器，最后由給水泵打回鍋炉。

在这样的循环运动中，如果沒有水和汽的损失，那么只要加入一定量的水以后就可以无限期地反复利用。但实际上，由于系統的各个不严密部分，造成水和汽的损失。为了要連續运行，对这些损失必須加以补充。

循环在蒸汽动力設備中的水具有不同的名称：

(1) 原水：也叫工业水或生水。就是用水泵由发电厂的水源抽出来的天然水，这种水还没有經過水处理設備的处理。

(2) 軟化水：經過水处理設備处理后，除去了硬度的水。

(3) 給水：送往鍋炉蒸发用的水，由汽輪机凝結水，热

用戶返回的凝結水、疏水和補給水組成。

(4)鍋爐水：簡稱爐水，是正在鍋爐中蒸發的水。

(5)汽輪機凝結水：也叫復水，是汽輪機排汽的凝結水。

(6)疏水：從運行中的汽輪機本体、蒸汽管路等處泄出的凝結水，通過疏水器流到疏水箱去的水。

(7)補給水：蒸汽動力設備運行中，會損失一部分汽輪機凝結水、給水、爐水和熱能用戶沒有返回的凝結水；循環水在運行中，也會由於蒸發、吹散、排污而有一部分水被損耗，補充上述消耗用的水，都叫補給水。

(8)循環水：用作冷卻汽輪機排汽的水。

在凝汽式火力發電廠系統中，水的循環運動如圖 1-1 所示。

在凝汽式火力發電廠系統中，水的損失主要是鍋爐排污水及蒸汽和水通過系統中不嚴密部分的廠內損失的總和。這些損失的總量是不大的，通常不超過鍋爐蒸發量的 5~6%。

圖 1-2 所示為熱電廠系統中水循環的簡圖。

在熱電廠中，有若干在汽輪機中做過一部分功的蒸汽（它的壓力較鍋爐中的壓力低）導至廠外用戶，在那里可作取

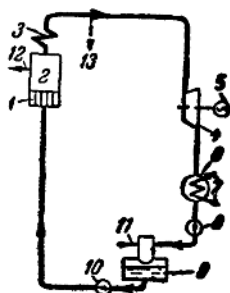


圖 1-1 凝汽式發電廠系統中水循環簡圖

1—省煤器；2—鍋爐；3—過熱器；
4—汽輪機；5—發電機；6—凝汽器；
7—循環水進口和出口；8—凝結水泵；
9—熱力除氧器；10—給水泵；
11—補給水進口；12—鍋爐排污；
13—蒸汽和水通過系統不嚴密部分的廠內損失。

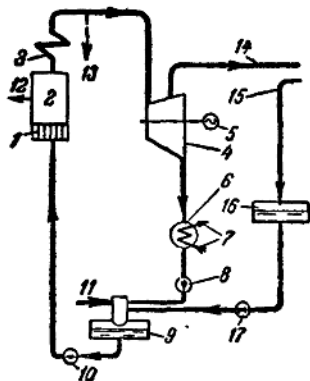


图 1-2 热电厂系统中水循环的简图

1—省煤器；2—锅炉；3—过热器；4—汽轮机；5—发电机；6—凝汽器；7—循环水进口和出口；8—凝结水泵；9—热力除氧器；10—给水泵；11—补给水进口；12—锅炉排污；13—蒸汽和水通过不严密部分的厂内损失；14—至生产部门的蒸汽；15—生产部门返回的凝结水；16—收集生产部门凝结水的水箱；17—压送生产部门凝结水的水泵。

性质来决定。

水在蒸馏过程中，即水先在锅炉中蒸发而后蒸汽在凝汽器中凝结的过程中，进行了最完善的净化，此时水中大部分杂质残留在锅炉中，因而进入锅炉最好的水是凝结水。所以在火力发电厂中，应十分重视聚集和收回最大数量的优质凝结水作为锅炉给水，同时还应防止凝结水被外界杂质沾污。

水是制取蒸汽的工业原料；是汽轮机凝汽器与其他设备

暖之用，亦可用在生产与其他需要之处。所以在热电厂的系统中，水循环的系统较大，其中包括有工业上和取暖上需要蒸汽的生产企业。

图1-1和图1-2所示的循环系统是简化了的，实际上它们是相当复杂的。例如热电厂的系统中，还包括加热热水供应系统中循环水的热化用加热设备，以及给水回热系统中的面式热交换器等。

热电厂中锅炉给水为汽轮机的凝结水、生产部门的凝结水与补给水的混合水。

热电厂中给水的损失通常比纯粹凝汽式发电厂大得多，其数量主要是由用户的

的冷却剂；也是热电厂中用以供给用户热量的传热介质。

水的质量是保证火力发电厂中蒸汽动力设备连续和经济运行的重要因素之一。如果对于水的处理与水的技术规范问题不够重视，那末会引起蒸汽动力设备中与水和汽相接触的表面生成附着物，还可使蒸汽品质恶化，最后还会引起腐蚀作用。

在运行过程中在蒸汽动力设备上生成的附着物会有很大的差别，从最松软的易于用水洗去的，到非常硬的用特殊工具也难以除去的都有。

后一类附着物通常称为水垢。各种附着物的生成处为：锅炉过热器、省煤器、凝汽器、热化用的加热器、热交换器以及导管内和汽轮机叶片上。

当锅炉中有水垢时，会使传热变坏，因而促使炉壁的温度升高，直到由于机械强度的降低而在水冷壁管和沸腾管上发生鼓泡现象。在这样的情况下，如不及时停炉，会引起薄弱部分的破裂。多量的附着物，尤其是在水容积很大的锅炉中，会引起事故，甚至使这些锅炉爆炸。

水垢除了要降低运行的安全性外，还要多消耗燃料与降低锅炉的蒸发量。

在汽轮机凝汽器中生成附着物，会降低凝汽器中的真空度。在热化用的加热器与火力发电厂各种热交换器中的附着物会使水的加热度达不到设计温度。

在蒸汽动力设备中，水垢的生成会使运行费用增加，因为它必须经常清除，以及因清除而停止运行。

锅炉中所产生的蒸汽的清洁性，对于保证火力发电厂的安全运行有很重要的意义。随蒸汽带出的杂质会附着在过热器、蒸汽导管和汽轮机的蒸汽流通部分，堆积在过热器管中

的附着物会造成蒸汽过热温度的降低，而且同时会升高过热器管壁的温度。

堆积在汽轮机叶片上的附着物会降低其负荷。而且还会引起汽轮机的轴向推力增加与隔板弯曲，这也会造成汽轮机的事故。

随蒸汽从锅炉中带出的杂质也会使汽轮机与生产部门的凝结水品质恶化，结果使给水品质恶化，因为在许多火力发电厂中，汽轮机与生产部门的凝结水是给水的主要组成部分。

在蒸汽动力设备中，水和蒸汽通路的任何地方都会发生金属的腐蚀。如在省煤器、锅炉、汽轮机、凝汽器、给水与热化用的管道及其它的设备中。在个别的情况下，腐蚀作用会在较短的时期内使设备损坏。

除去水中造成腐蚀的杂质的基本部分，或将它们的危害性消除，能使腐蚀过程的速度大为减低。

能造成热力设备损坏的这些有害杂质，在水中的含量即使很少，其危害性也是很大的。例如在给水中，溶解氧的含量超过0.03毫克/升，就会在短期内使给水管路与省煤器中出现穿孔的点状腐蚀。蒸汽中含盐量大于0.2毫克/升时，会造成过热汽管烧坏及汽轮机的蒸汽流通部分为盐类所堆积。

所以在现代化的火力发电厂中(尤其是高压电厂中)，在工厂企业的大型锅炉设备中，以及在一定的程度上对于中型和小型的工业锅炉，都必须十分重视水处理的问题。为了保证蒸汽动力设备的安全和经济运行，也必须很好地弄清水在通过蒸汽动力设备的各种装备时所进行过程的实质，而且必须善于采取有关水的技术规范方面的措施。

天然的水如不首先处理，那么按它本身的主要特性来

說，在絕大多數的情況下是不可能火力發電廠中應用的。

處理天然水用配備着各種淨水裝置的化學水處理設備。

水中粗分散的雜質用澄清設備來除去。除去膠狀分散的雜質是在凝聚設備中進行所謂凝聚處理。

除去水中要造成水垢的鈣離子和鎂離子，稱為水的軟化，它是用軟化設備來進行的。

降低水硬度的方法，是將水在中和設備中進行處理。

在有些情況下，必須降低水的含鹽量。這就要用水的除鹽設備來進行。降低水中硅酸鹽的濃度是用除硅設備進行的。

自水中除去油（多半自廢氣的凝結水中）是用除油設備進行的。

製造淨化水的設備，根據原水的品質以及對於處理後水品質的要求，可以包括有上述各種設備的任何幾種。

現代化的火力發電廠，如對於廠內汽水設備中進行着的全部過程不實施經常性的化學監督，就不可能有合理的運行。對於汽和水的品質必須有深入的和系統的化學監督，必須做到可以及時發現汽和水的化學成分和微小偏差，並能及時採取有效的措施。

在火力發電廠中，所有的化學工作，其中包括發生蒸汽的設備和其它設備中有關水的技術規範方面的工作，應由化學人員執行，或在化學分場人員直接指導下執行。化學分場的工作者應對水處理的各個部分負責，也應對維持汽水設備和各部分水和汽的品質的定額負責。

化學分場包括有化學實驗室和化學水處理室兩個獨立機構。

化學實驗室的工作主要內容是經常監督給水和爐水的處

理、发生蒸汽设备的排污情况、防止附着物的化学处理、防止腐蚀等等。

化学水处理室的主要工作内容是对所有加入发生蒸汽设备的水以及补充冷水塔、喷水池和供热设备损失的水进行基本的化学和物理-化学处理，且应对水处理设备进行运行中的监督。

第二节 天然水的特性

水是地球上分布最广的物质之一，地球的表面有三分之二是复盖着洋、海和湖。水除了存在于地球的表面之外，地球内部还包含着大量的水，形成所谓地下水。地下水的蕴藏量仅次于洋与海。最后还有大量的水受日光能量的作用而蒸发，因此呈蒸汽的状态存在于大气中。

云层中的水分，在气候变化的影响下，会凝结成雨或雪

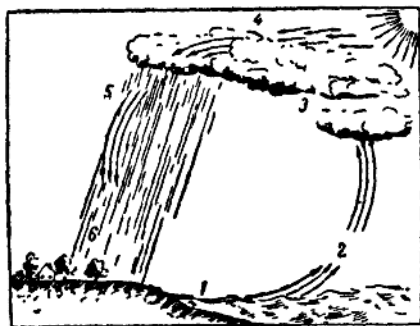


图 1-3 自然界中水的循环运动

1—水进入海；2—海面上的水蒸发；3—云的形成；4—云层被风吹至大陆上部；5—大颗粒水滴的生成；6—水滴成雨的状态而降下。

降至大地。降至地面的水部分又会蒸发，部分沿泥土表面流动，而形成小溪和河流，部分渗入泥土，成为地下水。

由地球内部喷出的，成泉水与喷泉状态的地下水是河和湖的发源。河又将所有的地下水导至海与洋，在那里由于蒸发的作用，水又转入大气，而形成层云和雨云。所以在自然界中有大量的水是处于循环运动状态。如图1-3所示。

所以在自然界中的水，依其来源不同可分为：大气水分、地下水和地面水三种。

一、大气水分 大气水分会成雨及雪的状态而降下，落到地面的雨水和雪水是最纯粹的天然水。这种水除含有可溶解的空气和二氧化碳以外，只含有极少量的碱土金属盐类。这种水的硬度不超过 70~100 微克-当量/升，溶解固形物在 40~50 毫克/升之间。虽然这种水的品质好，是天然水中最适宜于火力发电厂应用的水，但由于难以大量的收集，所以不能用作火力发电厂的供水。

二、地下水(土壤水) 由自流井、泉与喷泉引到地面上的水称为地下水。地下水一般不含有大颗粒悬浮物质，而是仅含少量胶体分散物质的清水。因土壤层是去除水中一切悬浮物的良好过滤器，同时当水通过土壤时，水就充满了能溶解于水中的物质，因此，地下水的溶解固形物多于雨水中的溶解固形物。地下水的含盐量在 100~5,000 毫克/升之间，在某些情况下，可能更高些。硬度通常在 2 至 10~25 毫克-当量/升之间，而且终年变动极小。实际上在不溶于水的花岗岩土壤下的水是属于软水的一种，这种水的全硬度在 700 微克-当量/升左右，溶解固形物不超过 60 毫克/升。

白垩及白云石土层下的水，含有大量的矿物质，它的全硬度达到 18~20 毫克-当量/升，碳酸盐硬度为 6~7 毫克-

当量/升，溶解固形物为600~700毫克/升。

三、地面水 是由地面上的雨水、雪融化后的水和地下渗出的水汇合而成，如海、洋、河、湖、人造水库等。它和地下水相反，含有较多的悬浮物，溶解盐类较少，通常在70~900毫克/升之间，硬度在1.0~8.0毫克-当量/升之间，且其品质随季节的变动较大。在火力发电厂中很少用湖、小河、小溪中的水作供水的水源。

淡水湖与人工水库中的水质，通常取决于河水与地下排水沟等的水质。海洋水和某些咸水湖水是天然水中含矿物质最多的水。

某些海滨发电厂，用未经处理的海水作为汽轮机凝汽器的循环水，因为海水是具有强烈腐蚀性的，为了避免由于循环水漏入凝汽器内使汽轮机凝结水质量变坏，海滨发电厂必须对保证凝汽器应有的严密性问题给予极大的重视。

第三节 污染天然水的物质

一、污染天然水的离子成分 在天然水中分布最多的是下面八种离子：氯根 (Cl^-)，硫酸根 (SO_4^{2-})，重碳酸根 (HCO_3^-)，碳酸根 (CO_3^{2-})，钠离子 (Na^+)，镁离子 (Mg^{++})，钙离子 (Ca^{++})，氢离子 (H^+)。

氯离子：在所有的天然水中差不多都有氯离子，而其含量变化范围也很大。

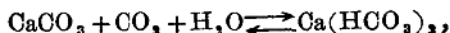
沉积的岩石中含有的氯化物溶解在水中，并随着地下水和河流带入海洋内，于是在海洋内渐渐的蓄积起来，达到很大的浓度。

硫酸根：和氯离子一样分布得很广，在地面水中很少有不含硫酸根的。地下水中的硫酸根含量，一般比在河水和湖

水中的要高。硫酸鈣($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)是溶于水中硫酸盐的最基本来源。

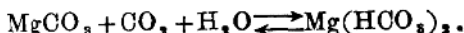
天然水中的碱金属离子，其中以鈉离子为最多。鈉离子和氯离子一样，是能使海洋水具有大量矿物质的离子。

鈣鎂离子：在含矿物质少的水中，鈣离子通常占第一位。石灰石是天然水中鈣离子的主要来源。石灰石与水中的二氧化碳相互作用时，石灰石便按照下列方程式进行溶解：



由方程式中可以看出，这个反应是可逆的，溶液中重碳酸鈣的含量决定于和它处于平衡状态的二氧化碳含量，天然水中鈣的另外一个来源就是硫酸鈣。

鎂离子大都是在白云石($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$)溶解时进入水中的。此时硫酸鎂的溶解过程与碳酸鈣相似，但碳酸鎂的溶解度要高得多：



随着天然水中矿物含量增加，鈣的含量就迅速地减少。这是因为硫酸鈣与碳酸鈣溶解度的限制，当水由于蒸发而濃縮时硫酸鈣与碳酸鈣便連續不断地由水中分离出来。

溶解度較大的硫酸鎂和碳酸鎂可使天然水中保持有較大的鎂离子的濃度，一般在一升含矿质水中达到数克之多，而在一升咸湖水中能达到数十克。

氢离子濃度：由于碳酸解离的结果，天然水中存在有氢离子：



由方程式中可看出，氢离子濃度和碳酸成正比，和重碳酸根成反比：

$$[\text{H}^+] = K_1 \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

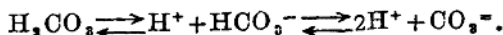
式中 K_1 ——常数，等于 3×10^{-7} 。

所以当水中蓄积有二氧化碳时，PH值常常降低，反之，当二氧化碳由溶液中逸出时，PH值经常增加。

大部分天然水中的PH值均在 6.5~8.5 的范围内。由于地面水中含有少量的二氧化碳，所以地面水的 PH 值要比地下水大些。

重碳酸根和碳酸根是由于碳酸钙和碳酸镁依靠天然水中的二氧化碳进行溶解的，故在天然水中产生了重碳酸根。因为含碳酸盐的土壤在地面上分布得非常广泛，所以各处的天然水中都含有重碳酸根。

当水具有弱硷性反应时，就出现有碳酸根 (CO_3^{2-})，特别是在淡水中，当从水中除掉二氧化碳时，这种现象经常发生。在碳酸和由于碳酸解离而产生的重碳酸和碳酸根之间，在溶液中存在下列平衡：



如除去溶液中的碳酸或增加氢离子时（即氢离子不挥发时），即进行由右向左的逆反应，这样就使重碳酸根和碳酸根转变成碳酸。反之，减少氢离子时，则使碳酸解离为重碳酸根和碳酸根。

氮的化合物：在天然水中氮的无机化合物有铵离子 (NH_4^+)，亚硝酸根 (NO_2^-) 和硝酸根 (NO_3^-)。天然水中构成这些离子的基本来源是动、植物体中各种复杂的有机物质。此外，铵离子还可以随污秽的工业排污水进入贮水池中。在未被污染的表面水中，铵离子含量常不到 1 毫克/升。

氮在天然水中受物理化学和生物化学反应过程的影响，转变为另外形式的氮化合物。当有足够的氧气和特殊的细菌时，氨就被氧化成亚硝酸根，并继而氧化成硝酸根。这样，