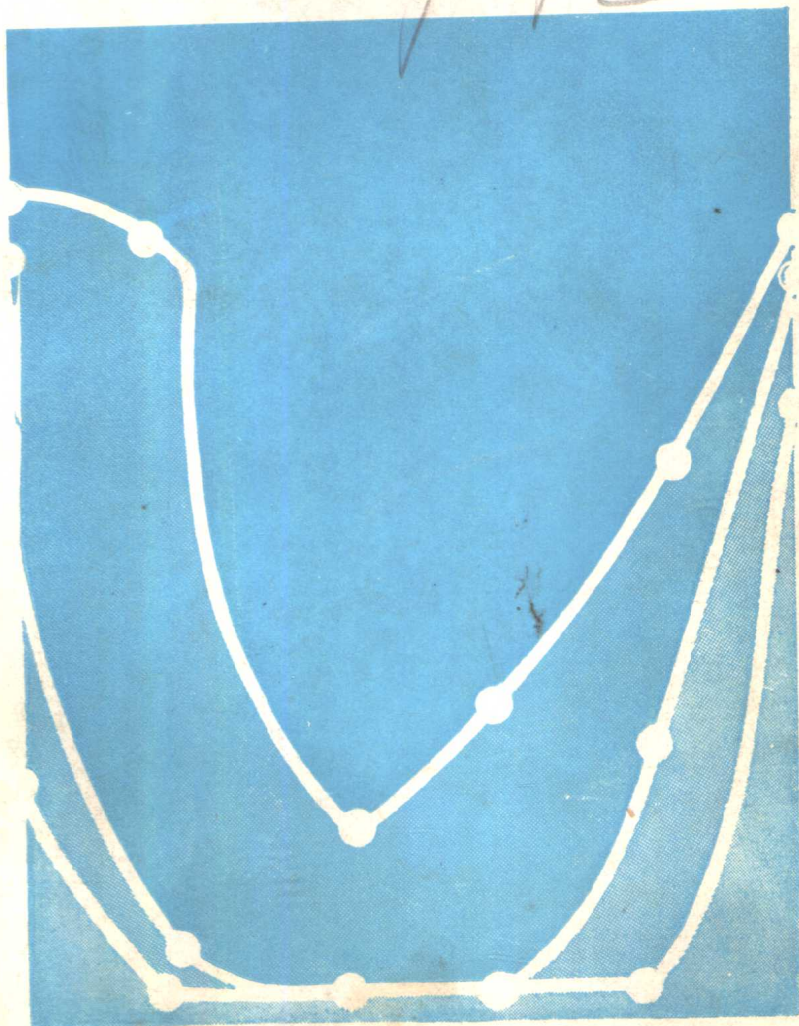


循环冷却水的水质稳定与处理

李仲先 编 著

冶金工业出版社

刘海龙



50.6553

循环冷却水的 水质稳定与处理

李仲先 编著

张希衡 校订

冶金工业出版社

**循环冷却水的
水质稳定与处理**

李仲先 编著

张希衡 校订

•

冶金工业出版社出版
(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

轻工业出版社印刷厂印刷

•

850×1168 1/32 印张7 1/4 字数188千字

1987年5月第一版 1987年5月第一次印刷

印数00,001~4,500册

统一书号: 15062·4392 定价: 2.00元

序

循环冷却水系统具有节约用水、利于环境保护和技术经济上较合理等优点，正越来越广泛地应用于冶金、化工和其他工业部门。

循环冷却水系统存在设备易腐蚀、结垢，污垢降低传热效率和微生物引起的危害等问题。循环冷却水的水质稳定与处理技术就是为解决这些危害问题而发展起来的。

本书广泛收集和分析研究了国内外较新的研究成果和应用经验，系统阐述了循环冷却水的水质特点、各种危害发生的原因和控制方法，介绍了流行的处理方案及其施行步骤以及必要的水质管理措施等，力求为从事这方面工作的技术和生产人员提供较为完整和实用的参考资料。

由于冷却水的水质稳定与处理工艺涉及化学化工、金属学和微生物学等多学科，尚缺乏完整的理论体系，本书中难免存在与某些资料有出入或有矛盾之处，还可能有缺点错误，欢迎读者指正，以利今后充实和完善。

在本书编写过程中，得到华南工学院邓颂九教授和杜玲仪、董昌珍等老师的指导，广州石油化工厂王雪华、汪松玲等同志给了很大的帮助，在此致以谢意。

编者

1984年4月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 循环冷却水系统	(1)
一、冷却水与冷却水的循环使用	(1)
二、循环冷却水系统的操作状态	(4)
三、敞开式循环冷却水系统	(7)
四、循环冷却水的水质特点	(9)
第二节 循环冷却水的水质稳定与处理	(14)
一、循环冷却水系统的主要危害	(14)
二、循环冷却水的水质稳定与处理的基本任务	(16)
第二章 循环冷却水系统的腐蚀与腐蚀的控制	(19)
第一节 金属腐蚀的原理	(19)
一、腐蚀电池	(19)
二、腐蚀电池的种类.....	(20)
三、腐蚀的倾向与电极电位	(23)
四、电池的极化作用.....	(27)
五、极化作用对腐蚀速率的影响	(29)
第二节 冷却水系统中的金属防腐原理	(31)
一、钝化与阳极保护.....	(31)
二、阴极保护	(34)
三、缓蚀剂的使用	(35)
第三节 冷却水系统金属的腐蚀	(37)
一、冷却水系统金属材料腐蚀的分类	(37)
二、冷却水中碳钢的腐蚀	(40)
三、冷却水中其他金属材料的腐蚀概况	(47)
第四节 冷却水系统腐蚀的抑制与缓蚀剂	(49)
一、使用缓蚀剂控制冷却水系统的腐蚀	(49)

五、冷却水系统使用的缓蚀剂概况	(50)
三、铬酸盐和重铬酸盐	(52)
四、亚硝酸盐	(55)
五、硅酸盐	(56)
六、锌盐	(57)
七、磷酸盐和聚磷酸盐	(57)
八、钼酸盐	(62)
九、AMP——胺-甲叉膦酸盐	(63)
十、 α -羟基或氨基膦酸盐	(66)
十一、有机胺及其衍生物	(69)
十二、脂肪族羟基酸盐	(71)
十三、铜缓蚀剂	(73)
十四、其他缓蚀剂	(76)
第三章 冷却水系统的污垢及污垢的控制	(79)
第一节 冷却水系统的污垢及其危害	(79)
一、污垢发生的原因	(79)
二、污垢分析	(80)
三、污垢对传热的危害	(82)
四、污垢的其他危害	(87)
第二节 水垢析出的可能性	(88)
一、冷却水系统的水垢	(88)
二、溶度积原理	(89)
三 碳酸钙垢产生的可能性	(90)
四、磷酸钙垢产生的可能性	(99)
五、硫酸钙垢产生的可能性	(101)
六、镁垢产生的可能性	(103)
第三节 冷却水系统的防垢方法	(104)
一、微溶物质的结垢过程	(104)
二、冷却水系统的防垢原理和方法	(106)
第四节 冷却水系统应用的阻垢分散剂	(109)

一、聚磷酸盐	(109)
二、磷酸盐	(114)
三、聚合物分散剂	(119)
四、天然消垢物质	(120)
第四章 冷却水系统的微生物危害及其防治	(124)
第一节 冷却水中的微生物	(124)
一、冷却水中微生物的来源	(124)
二、微生物的增殖	(125)
三、微生物的分类	(126)
四、几种特殊的细菌	(129)
第二节 微生物的危害及其控制	(134)
一、微生物的危害	(134)
二、控制冷却水中微生物的方法	(139)
第三节 控制冷却水中微生物的杀菌剂	(142)
一、氯和氯的化合物	(142)
二、氯酚类	(147)
三、甲叉二硫氰酸酯	(149)
四、季胺盐	(150)
五、金属杀菌剂	(152)
六、冷却水中使用的其他杀菌剂	(154)
第五章 循环冷却水的水质稳定与处理实施	(156)
第一节 冷却水的典型处理法	(156)
一、水质稳定与处理技术的发展与现状	(156)
二、冷却水的酸性处理法	(157)
三、冷却水的碱性处理法	(164)
四、冷却水的其他处理法	(174)
第二节 冷却水处理方案的制订	(177)
一、处理方法的评价	(177)
二、循环冷却水处理方案的制订	(179)
第三节 冷却水的水质稳定与处理的实施	(187)

一、冷却水系统的开工清洗	(187)
二、预膜处理	(189)
三、水处理药剂的使用与浓度控制	(192)
四、浓缩倍数的控制	(195)
五、循环水的pH值调整	(198)
六、微生物危害的控制	(204)
七、化学清洗	(208)
八、其他	(211)
第四节 冷却水的水质稳定与处理效果的监测与试验 ...	(213)
一、日常监测	(213)
二、冷却水处理剂性能的试验与评价	(216)
参考文献	(222)

第一章 绪 论

第一节 循环冷却水系统

一、冷却水与冷却水的循环使用

在冶金、化工、电力、石油和轻工等工业部门的许多工厂中，生产过程常伴随着大量的能量变化和物料的温度变化，产生大量的废热。如果这些废热不能及时回收或排除，就会影响生产的正常进行或降低效率。

在工业上，一部分废热可回收利用；但许多废热，特别是低温废热，回收的经济效果差，难于实施，因而需要排除。

排除废热最常用的方法有：（1）用空气冷却；（2）用水冷却。

空气冷却排除废热的设备较庞大，投资大，传热效果也较差，所以仅能在某些场合使用。

水的热容量大，传热效果好，来源一般易满足，价格低廉，设备紧凑，使用方法简便，所以在大中小型厂矿及许多民用单位都用水来冷却需要冷却的对象，以排除废热。

用水排除废热可分为直接接触和间接接触两种方法。直接接触就是水与冷却对象直接接触，如用水冷却热轧产品；水和产品直接接触时，靠水的蒸发从高温工件吸收热量。间接接触就是水与冷却对象并不直接接触，如冷却水在热交换器的一侧，吸收另一侧的蒸汽通过管壁传过来的热量而使另一侧的蒸汽冷凝。

冷却用水无论是直接接触还是间接接触，吸收了热量后，温度升高，就不能再使用了。这种热废水有两种处置方法：（1）直接排放到天然水体中去；（2）经一定处理（主要是降温冷却）后循环使用（图1—1）。

如果附近水源充足，取水容易，直接排放不会引起环境问题

的话，可将这种热废水排放到附近的水体中去。这种冷却水系统称为直流冷却水系统（图1—1A、B）。

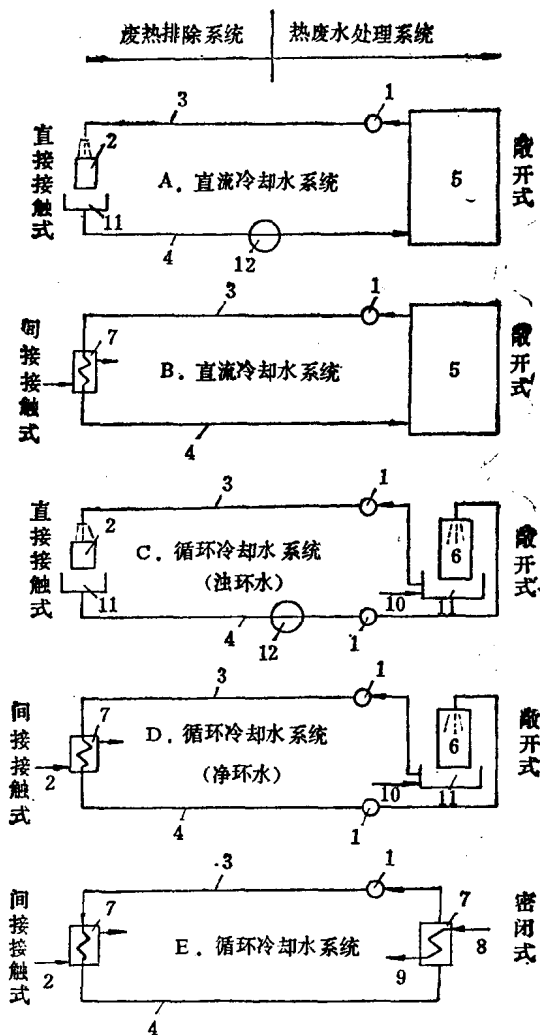


图1—1 热废水系统

1—水泵；2—冷却对象；3—冷水管；4—热废水管；
5—水体；6—冷却塔；7—换热器；8—冷流体；9—热流体；
10—补充水；11—集水池或沟；12—澄清设备

但是，现代工业的工厂越来越大，越来越集中，需要的冷却用水量十分巨大，许多地区都难于满足用水要求，更难于提供稳定的、数量巨大的直流冷却水。再者，直流系统的排水量大，污染控制问题较难经济合理地解决。因此，工业上越来越广泛地采用循环冷却水系统（图1—1C、D），即将使用后的冷却水降温后再重新使用。

图1—2为某1MKW火力发电厂的热量衡算和循环冷却水衡算图。这种电厂的热效率是比较高的，但也仅有40%左右转变为电能，60%左右是废热。这些废热，一部分从设备散出由空气带走，大部分随蒸汽进入冷凝器，由冷却水带走。因此，冷却用水的流量高达100000m³/h。如此巨大的冷却用水量，如果采用直流系统供水，即使中等程度的河湖也难于长期稳定地提供。由图可见，采用循环冷却水系统，补充水量仅为2500m³/h。另一方面，即使能提供如此大量的直流冷却水，直流冷却水带来的大量热量会使接纳水体温度升高，造成热污染。水体热污染严重，就会危害水产资源，破坏生态平衡，造成严重的环境污染问题。

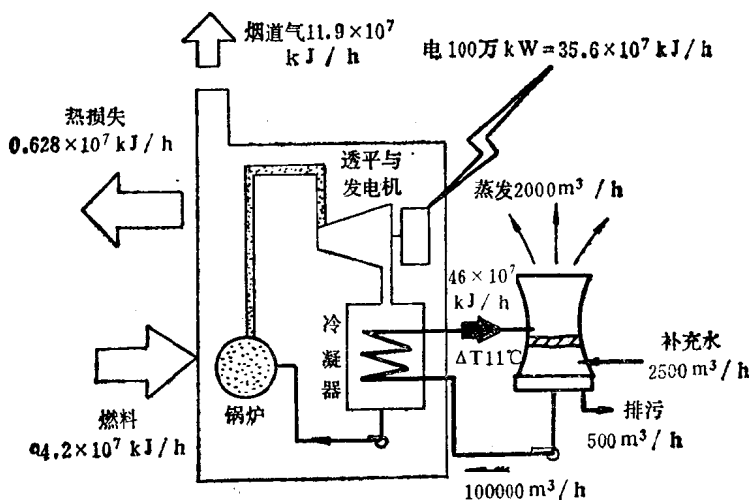


图 1—2 某电厂热量衡算及循环冷却水衡算（注：图中 ΔT 为冷却塔进出水的温差）

大中型钢铁联合企业产生大量的废热要用冷却水带走。高炉、热风炉和各种热处理炉等用大量的间接冷却水，使用后水质不受污染，仅温度升高，一般在降温处理后循环使用，这种循环冷却水系统，称为净环水系统（图1—1C）。轧辊、辊道、中厚钢板的压力淬火等多用水直接接触冷却，使用后的水除温度升高外，还含氧化铁皮和废油等污染物，一般经沉淀、除油、冷却和过滤后循环使用，这种循环水系统称为浊环水系统（图1—1D）。

总之，水源的限制、环境保护的需要和用水及处理的技术经济性都要求越来越多的工矿企业甚至民用单位，将直流冷却水系统改变为循环冷却水系统。

二、循环冷却水系统的操作状态

根据热废水降温方式的不同，循环冷却水系统又可分为敞开式循环冷却水系统（图1—1C、D）和密闭式循环冷却水系统（图1—1E）两大类。

用较低温度的流体（水或气体）间接冷却已经使用过的冷却水（即热废水），使之降温后再返回使用，这样的系统叫做密闭式循环冷却水系统。它具有防止冷却水不受污染的优点，但低温流体的用量却很大，所以仅在有足量低温水源的地方或小的系统中使用。

敞开式循环冷却水系统的应用十分广泛。图1—3为这种系统的操作示意图。冷却水在热交换器中吸收热量后，本身的温度升高了。假定冷却水的流量为 G ，换热前的温度为 t_1 ，换热后温度升高到 t_2 ，则冷却水吸收的热量为：

$$Q_c = 4186 G (t_2 - t_1) \quad (1-1)$$

式中 Q_c ——冷却水吸收的热量，kJ/h；

G ——冷却水的流量， m^3/h ；

t_1 ——冷却水的给水温度， $^{\circ}C$ ；

t_2 ——冷却水换热后的温度， $^{\circ}C$ 。

升温了的水只有降温后才能再使用。通常将这些热水送往冷却塔，使之与干冷空气充分接触，主要通过蒸发而得到冷却。冷

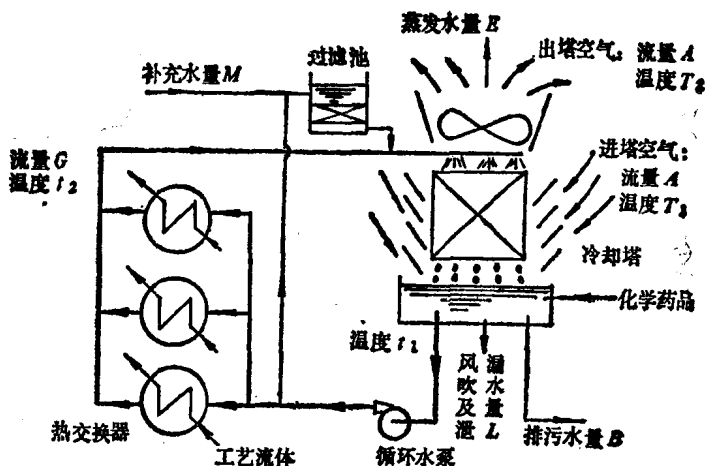


图 1—3 敞开式循环冷却水系统示意图

却后的水汇集于塔底的集水池中，再由循环泵送往各冷却水用户。

冷却塔又称为凉水塔，是敞开式循环冷却水系统的关键设备。热水送入冷却塔后均匀地分布到填料上，填料又将水多次溅散成水滴或形成水膜，增加了水和塔内空气的接触面积和接触时间。大量的空气或者靠机械驱动或者靠自然抽风进入塔中，在塔内和水充分接触，吸收水的热量，然后离开冷却塔而进入大气，使水的温度得到降低。

通常，进入冷却塔的空气是未饱和的，温度也比热水的温度低。空气和水接触时，界面附近的一部分水分子因蒸发而进入空气，使水的温度随之降低。显然，由于蒸发而向空气传递的热量等于蒸发水带走的潜热。此外，由于水和空气温度的不同，接触界面还以热传导和对流方式由水向空气传热。当操作达到稳定时，冷却水吸取工艺物料的热量在塔内全部传递给空气，空气带走的热量等于水蒸发的潜热和湿空气温度升高的显热。

水蒸发带走的潜热量 Q_E 为：

$$Q_E = rH \text{ J/h} \quad (1-2)$$

式中 r ——水的蒸发潜热, J/kg;

H ——蒸发的水量, kg/h。

水的蒸发潜热很大, 即令蒸发的水量不多, 也能带走大量热量。在一般估算时, 可选取其蒸发潜热为2427.9kJ/kg。

空气带走的显热量 Q_r 为:

$$Q_r = CA(T_2 - T_1) \quad \text{J/h} \quad (1-3)$$

式中 C ——湿空气的比热, J/kg·℃;

T_2 ——出塔空气的温度, ℃;

T_1 ——进塔空气的温度, ℃;

A ——进冷却塔空气的流量, kg/h。

实际操作中的蒸发散热量和接触传热量受塔的形式、塔内操作状态、空气的温度和相对湿度等因素的影响。一般说来, 蒸发散热量是主要的, 接触传热量是次要的, 但是两者的比值随气候条件的变化而有所不同。不过在估算时, 可假定水蒸发带走的热量为冷却塔总散热量的75~80%, 因温差而传递的显热量为20~25%。

冷却水的温差和流量决定了冷却塔的热负荷。流量一定时, 温差越大, 则冷却水吸收的热量越大, 向空气传递的热量也应越大。一般可假定冷却水在塔内每降温5~6℃, 约有相当于冷却水流量的1%的水蒸发进入空气。

由于水不断蒸发, 冷却水中不挥发的盐类、悬浮物等不断浓缩, 使循环冷却水的水质变得容易腐蚀设备, 在传热面上发生污垢和容易滋生微生物。为控制水中杂质的含量, 常排出一定量的排污水。

冷却塔在操作时, 也会将空气中夹带的一些水滴或水沫带出塔外, 叫做风吹损失的水量。风吹损失量随冷却塔的形式而异, 大体上, 机械通风时为循环水量的0.1~0.3%; 但若装有性能良好的收水器, 能降低至0.008%。此外, 系统难免有其他泄漏而损失一些水。

要维持冷却水系统的水量平衡, 就必须向系统补充因蒸发、

风吹和泄漏以及排污而损失的水量。必须加入的补充水量 M 为:

$$M = E + B + L \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (1-4)$$

式中 E ——蒸发水量, m^3/h ;

B ——排污水量, m^3/h ;

L ——风吹和泄漏损失的水量, m^3/h 。

三、敞开式循环冷却水系统

从上面的讨论可见, 敞开式循环冷却水系统由冷却塔、循环水泵、循环水管道和换热设备组成其最基本的部分。此外, 为了防止循环冷却水系统发生腐蚀和污垢等危害, 现代的敞开式循环冷却水系统还增设了投加水处理药剂的设施, 有时还设有旁路滤池和附设的补充水预处理设施及排污处理设施。

冷却塔无疑是冷却水系统最重要的设备, 冷却塔形式繁多, 大致可分为自然通风和机械通风两大类。自然通风又有开放式和风筒式; 机械通风类有抽风式(又可分横流式和逆流式)和鼓风式。根据冷却塔内淋水型式不同可分为喷水式、点滴式、薄膜式和点滴薄膜式等。图1—4为几种常见冷却塔的示意图。

热水由冷却塔的配水系统均匀地分布到淋水装置(又称为填料)上, 填料将水多次溅散或形成水膜, 以利与空气充分接触并增加水和空气的热交换强度。为提供稳定的空气流量, 自然通风冷却塔常建造很高的风筒以保证足够的空气流量, 并将排出冷却塔的湿热空气送往高空, 机械通风冷却塔靠风机的作用抽出或鼓进空气, 因而具有冷却效率较高和占地少等优点。冷却塔有使空气均匀分布的百叶窗、防止过大的风吹损失的收水器等。冷却后的水收集在集水池中, 由循环泵吸取送往冷却水用户。

大多数使用冷却水的换热设备是管式热交换器。冷却水在管内或管外流动, 吸收另一侧的工艺流体通过热交换管壁传来的热量。还有一些冷却水用户将冷却水直接与需要冷却的工艺物料, 如气体或热固体接触而换热。

由于水在冷却塔中不断蒸发, 还存在风吹、渗漏和其他损失, 为防止杂质在水中积聚又向系统外排出一部分排污水, 必须

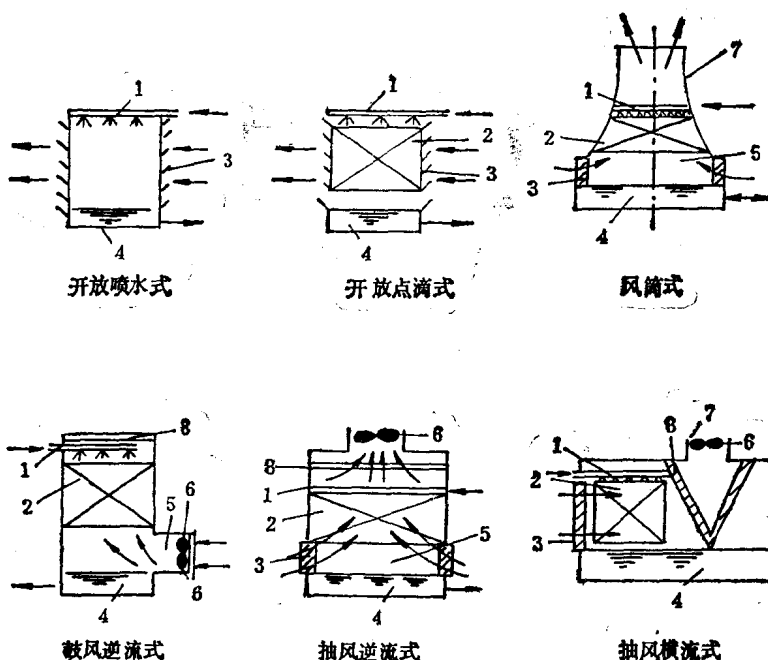


图 1—4 几种冷却塔示意图

1—配水系统；2—淋水装置；3—百叶窗；4—集水池；
5—空气分配区；6—风机；7—风筒；8—收水器

加入补充水来维持冷却水系统的水量。天然水源往往难于提供大量的、稳定供应的、水质良好的补充水，一般要对原水进行预处理。原水预处理的工序包括沉降、凝聚、过滤、软化和曝气等。根据原水的水质、循环冷却水系统对补充水的要求，采用上述工序中某些工序进行预处理。图1—5为某厂原水处理的流程图。此外，有少数厂用脱盐水作补充水，处理程序包括脱盐的离子交换工序。

循环冷却水系统存在腐蚀、污垢和微生物大量繁殖造成的危害等问题，往冷却水中加入水质稳定剂和其他一些化学药剂能大大减轻这些危害。因此，冷却水系统也设置有加入处理药剂的相

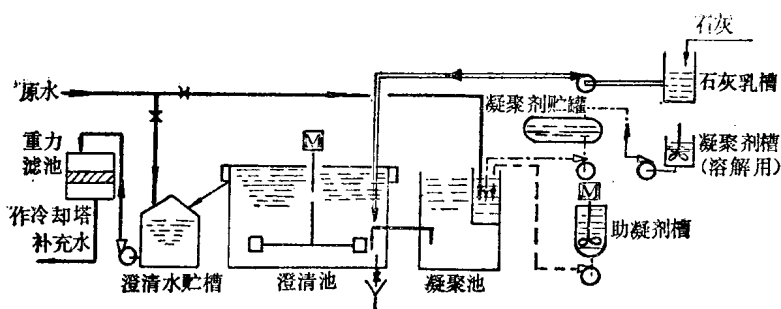


图 1—5 某厂原水预处理流程图

应设施。

近年来，循环冷却水系统还采用旁滤池过滤一部分冷却水，达到限制水中的悬浮固体含量、防止污垢产生的目的。

四、循环冷却水的水质特点

由于循环冷却水长时间反复运转和使用，水在冷却塔中与空气充分接触，进行热量和物质的传递，而使循环冷却水具有一些特点。其特点为：

1. 溶解氧含量高

循环水在冷却塔中与空气充分接触，使得空气中的氧能较好地溶解到水中。这时，冷却塔就好像高效率的吸收塔，水吸收空气中的氧，直至水中的氧接近平衡溶解度。集水池中含氧接近饱和的水送往换热设备后，由于吸收了热量而使温度升高，从而降低了氧在水中的溶解度，其结果是水中的溶解氧在局部地区达到了过饱和。冷却水系统金属的腐蚀和溶解氧的含量有密切关系。溶解氧的去极化作用使金属铁易被腐蚀。

水中氧的溶解度、相对腐蚀性和温度的关系如图1—6所示。图中将20℃含氧饱和的水的腐蚀率定为1。由图可见，水中氧的溶解度随温度升高而逐渐下降；相对腐蚀率逐渐增加，至70℃左右时因含氧量已相当低，才逐渐下降。可以认为，溶解氧含量高是循环冷却水甚具腐蚀性的主要原因之一。

2. 含有空气中的各类污染物质