

锅炉给水泵的 经济运行和改进

能源部西安热工研究所 王锦荣

江苏省电力试验研究所 吴曰舜



水利电力出版社

TK223.5
W24

349859

锅炉给水泵的 经济运行和改进

能源部西安热工研究所 王锦荣

江苏省电力试验研究所 吴曰舜



水利电力出版社

D218/10
内 容 简 介

本书从参数合理配套、最佳工况点恰当设计、运行方式随主机负荷的升降及时变化等方面，论述如何使给水泵运行获得较好的实际节能效果，以及这个实际效果的计算方法。分析液流在叶轮、导叶中流动的特点及各种因素对泵效率的影响，以使给水泵能获得满意效果。最后三章还论述了给水泵性能试验的各种方法、允许的最小流量计算方法和有关汽蚀余量问题。

锅炉给水泵的经济运行和改进

能源部西安热工研究所 王锦荣

江苏省电力试验研究所 吴曰舜

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7.375印张 161千字

1991年4月第一版 1991年4月北京第一次印刷

印数 0001—2540 册

ISBN 7-120-01208-8/TK·187

定价5.45元

前 言

锅炉给水泵是火力发电厂的重要辅机，也是火力发电厂中能源消耗最大的辅机。随着蒸汽参数的提高，单元机组容量的增大，给水泵组的功率也越来越大。由于蒸汽参数的提高，使给水泵消耗的功率占主机容量的份额上升，现已达到5%左右。一台600MW机组的全容量给水泵，其拖动小汽轮机的功率约为24MW。探讨给水泵的经济性，降低其能源消耗，就很有意义和必要。改造老泵，提高泵的效率是提高给水泵经济性的有效措施。但是还有许多其他影响给水泵运行经济效益的因素。在泵的改进、制造和运行中注意这些因素会带来很好的经济效果。这将在书中详细讨论。

本书主要是为从事火电厂给水泵运行和改进工作的同志作参考用，也可供其他从事热能专业科研设计的技术人员参考。书中取用很多国内同行们的工作成果和经验数据，在此深表感谢。

本书第一章至第五章由王锦荣编写，第六章至第八章由吴曰舜提出初稿，再由王锦荣删改补充。全书由李康同志校订修改，东南大学马文智教授在百忙中审阅了全稿，提出许多宝贵意见。胡洪华、马庆玲同志给予许多协助，在此一并表示感谢。由于水平所限，时间仓促，不足和错误之处在所难免，敬请有关专家不吝指正，作者由衷地感谢。

编者

一九八七、十一

本书常用符号及单位 (化学元素符号除外)

- A, A_c, A_o —碱度, 残余碱度, 排污水碱度, 毫克当量/升
 C —水中溶解氧或溶解气体含量, 毫克/升
 cm —长度单位, 厘米
 D —锅炉额定蒸发量, 吨/时; 软化水量, 米³/时
 DD —电导率, 西/厘米
 Dg —锅炉给水量, 吨/时
 Dp —锅炉排污水量, 吨/时
 d —密度, 克/毫升, 克/升或千克/米³;
锅筒或管子内径, 米
 E —当量(克当量), 克/当量; 电位, 伏; 变换剂的工作交换容量, 毫克当量/升或克当量/米³
 e —当量(克当量), 克/当量
 epm —浓度单位, 毫克当量/升
 F —法拉第常数, 库仑/摩尔;
软化器流通截面积, 米²
 G —质量、克或千克
 $^{\circ}G$ —硬度及碱度单位, 德国度
 g —质量单位, 克
 g/L —浓度单位, 克/升
 g/mol —摩尔质量单位, 克/摩尔
 μg —质量单位, 微克
 $\mu g/L$ —浓度单位、微克/升
 H —硬度、毫克当量/升; 泵的扬程, 米水柱
 H_F —非碳酸盐硬度, 毫克当量/升

h —时间单位,小时
 JD —碱度,毫克当量/升
 K —绝对温度单位,开;电离常数;化学平衡常数;气体溶解系数
 kg —质量单位,千克
 K_{SP} —难溶强电解质的溶度积
 K_w —水的离子积
 L —体积或容积单位,升
 M —摩尔浓度,摩尔/升;碱度(总碱度与酚酞碱度之差)
 M_G —物质的摩尔质量,克/摩尔
 MPa —压力(压强)单位,兆帕
 m —长度单位,米
 me —毫克当量
 me/L —当量浓度单位,毫克当量/升
 mg —质量单位,毫克
 mg/L —浓度单位,毫克/升
 min —时间单位,分钟
 ml —体积或容积单位,毫升
 mm —长度单位,毫米
 $mmol$ —物质的量的单位,毫摩尔
 mol —物质的量的单位,摩尔
 mol/L —摩尔浓度单位,摩尔/升
 m/s —速度单位,米/秒
 N —当量浓度,克当量/升
 n —物质质量的摩尔数
 n_E —物质(溶质)的克当量数
 P —锅炉额定工作压力,兆帕;酚酞碱度;锅炉排污率,%
 ppb —浓度单位,微克/升
 ppm —百万分单位,相当于毫克/升
 Q —软化器出力,米³/时
 R —气体常数,焦/开·摩尔
 R_G —溶解固形物,毫克/升

S —含盐量,毫克/升或毫克当量/升;水中强酸根含量,毫克当量/升;时间单位,秒
 S_s —锅水含盐量,毫克/升
 S_g —蒸汽含盐量,毫克/升或微克/升
 $S/cm(\mu S/cm)$ —电导率单位,西/厘米(微西/厘米)
 T —温度 $^{\circ}C$ 或开;软化器在一个周期中连续运行时数,小时;滴定度
 t —质量单位,吨
 t/h —锅炉蒸发量单位,吨/时
 V —体积或容积,米³,升或毫升;电位,伏
 V_w —周期制水量,米³
 V —化学反应速度;流速,米/时或米/秒;钢材腐蚀速度,克/米²·时
 W —物质的质量,克或千克;锅炉标准水容积,米³;变换带移动速度,米/时
 X_G —悬浮固形物含量,毫克/升
 Y —含油量,毫克/升
 YD —硬度
 YD_r —碳酸盐硬度
 YD_f —非碳酸盐硬度
 Z —变换带高度,米
 ZD —浊度
 α —弱电解质的电离度,%
 λ —导热系数,瓦/米·开;单位摩擦阻力系数
 ρ —密度,克/厘米³
 ξ —局部阻力系数
 ω —蒸汽湿度,%

0219107
内 容 提 要

本书是介绍小型低压锅炉水质处理与管理技术的基础读物。其中第一、三、四章介绍了水化学及水质化验的基本知识,扼要介绍了水质指标及低压锅炉水质标准;第二章系统地介绍了水中杂质的危害;第五、六章分别介绍了锅外及锅内水处理最基本、最常用的方法;对给水除氧及锅炉排污也分别独立成章作了介绍。最后扼要介绍了因炉、因水、因地制宜选择水处理方式的原则及锅炉清洗技术。全书将水质化验分析、锅内外处理、锅炉排污等环节综合在一起,强调水质处理及管理是一门系统工程。

本书可供小型低压锅炉水处理及化验人员、锅炉安全监察与管理人员参阅,也可作为相关人员的初、中级培训教材。



目 录

前 言

第一章 给水泵合理配套对经济运行的影响.....1

第一节 给水泵合理配套的重要性.....1

第二节 给水泵流量、压头的选择原则.....2

第三节 降低给水泵能耗的途径.....3

一、提高给水泵效率；二、合理选择给水泵的配套参数；

三、降低给水管阻力；四、勤于操作，经济运行；

五、加强给水泵的维修管理

第四节 国内已投运大机组给水泵配套情况.....11

第五节 给水泵实际运行情况.....16

一、电动定速泵情况；二、调速给水泵情况

第六节 提高锅炉给水泵运行经济性的一些措施.....28

第二章 给水泵运行的合理调度.....31

第一节 给水泵的合理调度和配置.....31

一、单元制给水系统；二、母管制给水系统

第二节 运行中给水泵的经济比较.....40

一、等效热降法；二、“供水效率”计算法；三、焓升-

功率关系计算法

第三章 给水系统的布置105

第一节 前置泵的优点105

第二节 主泵布置的两种方案及影响107

第四章 给水泵效率110

第一节 提高给水泵的水力效率110

一、改善叶轮进口流动；二、改善叶轮内流动；三、改善

叶轮出口流动；四、改善导叶内的流动

第二节 提高给水泵的机械效率122

第三节 提高给水泵的容积效率125

第五章 给水泵改进设计和加工制造138

第一节 一般原则138

第二节 给水泵改进设计计算方法139

一、离心泵相似关系及比转数 n_s ；二、尺寸比例换算系数 λ ；三、实泵几何尺寸；四、实泵的性能；五、叶轮轴面投影和叶片剪裁图；六、叶型的方格网保角变换；七、给水泵的导叶设计；八、给水泵平衡推力装置

第三节 给水泵改进设计计算步骤156

一、实泵参数及比转数；二、选择模型泵；三、实泵的几何参数及性能；四、几何型线校核检查；五、实泵的水力性能计算；六、必需汽蚀余量 (NPSH) 的计算；七、实泵效率；八、实泵轴功率

第四节 给水泵改进部件的制造和组装165

一、水力部件的模型和铸造；二、水力部件的机械加工；三、降低流道的粗糙度；四、给水泵的组装

第六章 给水泵的试验方法171

第一节 给水泵的一般试验方法173

一、给水泵的试验准备；二、给水泵的试验测量工作；三、给水泵试验结果的计算；四、给水泵性能曲线的绘制；五、流量、扬程的容许误差和效率的检查

第二节 给水泵性能的其它试验方法183

一、给水泵效率的扭矩测量法；二、给水泵效率的热力学测定方法；三、带液力联轴器泵的试验；四、小汽轮机拖动的给水泵现场试验

第七章 再循环装置和给水泵最小流量205

第一节 再循环装置设置的必要性	205
第二节 给水泵的最小流量计算	207
一、给水泵平衡装置的回水系统；二、给水在泵内经历的过程；三、小流量运行时给水温升的计算方法；四、给水泵最小流量的确定	
第八章 给水泵的汽蚀问题	217
第一节 一般概念	217
一、给水泵汽蚀的产生和现象；二、汽蚀余量	
第二节 防止给水泵产生汽蚀的条件	222
一、防止给水泵产生汽蚀的条件；二、除氧器暂态工况时有效汽蚀余量的降落	
参考文献	226

第一章 水化学基础知识

第一节 溶液,物质的溶解性和溶解度, 溶液的浓度及其计算

一、溶液

将蔗糖和食盐分别放在水中观察,会发现蔗糖和食盐固体在水中逐渐消失,最后变成澄清、透明的糖水和食盐水。这是因为组成蔗糖的分子和组成食盐的钠离子(Na^+)、氯离子(Cl^-)均匀地分散到水中的缘故。这种物质以分子或离子形态均匀地分散到另一种物质中的过程,叫做溶解。溶解后所得到的稳定的混合物,叫做溶液。能溶解其他物质的物质叫做溶剂(如水);被溶解的物质叫做溶质(如蔗糖、食盐)。所以

$$\text{溶液} = \text{溶质} + \text{溶剂}$$

溶质可以是固体,也可以是液体(如酒精)或气体(如 O_2 、 CO_2)。水是最常用的溶剂,其他常用的溶剂有酒精、汽油等。用水做溶剂的溶液,叫做水溶液。通常不指明溶剂的溶液,一般是指水溶液。

二、物质的溶解性和溶解度

(一) 物质的溶解性

在一定温度下,溶质不可能无限制地溶解在一定量的溶剂中。我们把一定温度下,在一定量的溶剂中,不能再溶解某种溶质的溶液,叫做这种溶质的饱和溶液;还能继续溶解某种

溶质的溶液,叫做这种溶质的不饱和溶液。

实验表明,在相同的条件下,各种溶质在一定量的溶剂中所能溶解的最大量是不同的。例如,20℃时,100g 水中溶解硝酸钠(NaNO_3)的最大量是 90g,而溶解食盐(NaCl)的最大量是 36g。这表明,在相同的条件下,不同溶质的溶解能力是不同的。物质的溶解能力又叫做溶解性。

(二) 物质的溶解度

物质的溶解性通常用溶解度来定量表示。在一定的温度下,100g 溶剂中最多可溶解的溶质的克数,叫做这种溶质在这种溶剂中的溶解度。例如,20℃时硝酸钠和食盐在水中的溶解度分别为 90g 和 36g。

一般地讲,室温(20℃)时溶解度在 10g 以上的,叫做易溶物质;溶解度大于 1g 的,叫做可溶物质;溶解度小于 1g 的,叫做微溶物质;溶解度小于 0.01g 的,叫做难溶物质。绝对不溶于水的物质是没有的。习惯上把难溶物质叫做“不溶”物质。

物质的溶解度和温度等因素有关。大部分固体物质的溶解度随温度的升高而增大。例如,硝酸钾(KNO_3)在水中的溶解度,20℃时为 31.6g,100℃时为 246g。气体的溶解度却相反,随温度的升高而变小。例如,给冷水加热的时候,会发现在水沸腾以前,就有气泡放出,这就是由于温度升高时,溶解在水中的空气的溶解度变小的缘故。另外,气体的溶解度随压力的升高而增大。在制汽水时,就是强制把二氧化碳气体“压”入水中,当打开汽水瓶盖时,压力减小了,二氧化碳气体的溶解度也变小,因此,有大量二氧化碳气体从水中逸出。

三、溶液的浓度及其计算

在实际应用中,常常需要表明溶液里溶质和溶剂的数量关系,我们把一定量的溶液中所含溶质的量叫做溶液的浓度。

表示溶液浓度的方法很多,常用的有以下几种:

(一) 质量百分比浓度

用溶质的质量占全部溶液质量的百分比来表示的浓度,叫做质量百分比浓度,简称百分比浓度。符号%。

例如,15%的食盐水溶液,表示100g该溶液中含有15g食盐和85g水。

质量百分比浓度可根据下式计算:

$$\begin{aligned}\text{质量百分比浓度} &= \frac{\text{溶质质量}}{\text{溶液质量}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{溶质质量}}{\text{溶质质量} + \text{溶剂质量}} \times 100\% \quad (1-1)\end{aligned}$$

例题 1-1 将182kg NaCl溶于1818kg水中,求其质量百分比浓度。

解: 质量百分比浓度 $= \frac{182}{182+1818} \times 100\% = 9.1\%$

例题 1-2 欲配制16%的NaOH水溶液150g,需NaOH固体、水各多少g?

解: 设需NaOH固体 x g,则需水为 $(150-x)$ g

$$\frac{x}{150} \times 100\% = 16\%$$

$$x = 24(\text{g})$$

$$150 - 24 = 126(\text{g})$$

即需NaOH固体24g,水126g。

(二) 重容百分比浓度

用100ml溶液中所含溶质克数来表示的浓度,叫做重容百分比浓度。符号%(重/容)。

例如,测定碱度用的1%(重/容)酚酞指示剂,即表示每

100ml 该溶液中含有酚酞 1g。

重容百分比浓度可用下式计算：

$$\text{重容百分比浓度} = \frac{\text{溶质质量(g)}}{\text{溶液体积(ml)}} \times 100\% \quad (1-2)$$

例题 1—3 如何配制 0.1%(重/容)甲基橙水溶液 500ml?

解: 设需甲基橙固体 x g, 则

$$0.1\%(\text{重/容}) = \frac{x}{500} \times 100\%$$

$$x = 0.5(\text{g})$$

配制方法: 称取 0.5g 甲基橙固体, 溶于适量蒸馏水中, 然后稀释至 500ml。

(三) 克/升浓度

用 1 升溶液中所含溶质的克数来表示的浓度, 叫做克/升(g/L)浓度。

$$\text{克/升浓度} = \frac{\text{溶质质量(g)}}{\text{溶液体积(L)}} \quad (1-3)$$

例如, 12g/L 的烧碱溶液表示每升溶液中含 12g NaOH 固体。

对于溶质含量很低的溶液, 如天然水、软化水或蒸馏水等, 可以用毫克/升(mg/L 或 ppm)或微克/升($\mu\text{g/L}$ 或 ppb)浓度表示。

例如, 某水样分析结果为: 每升水样含 Cl^- 8.5mg, 含 Ca^{2+} 45 μg , 则 Cl^- 含量为 8.5mg/L 或 8.5ppm; Ca^{2+} 含量为 45 $\mu\text{g/L}$ 或 45ppb。

(四) 体积比浓度

液体试剂用水稀释或液体试剂相互混合时, 溶液的浓度常用体积比表示, 称体积比浓度。例如, 1:3 HCl 溶液, 即 1

体积浓 HCl 与 3 体积水混合组成的溶液。1 : 5 酒精溶液, 即 1 体积纯酒精(无水乙醇)与 5 体积水混合组成的溶液。1 : 1 磷硫混合酸即 1 体积浓 H_3PO_4 和 1 体积浓 H_2SO_4 混合组成的溶液。

(五) 摩尔浓度

1. 摩尔(mol)

摩尔是物质的量的单位。每摩尔物质含有 6.02×10^{23} 个微粒(如分子、原子、离子、电子等)。

例如, 1 摩尔碳原子含有 6.02×10^{23} 个碳原子;

1 摩尔水分子含有 6.02×10^{23} 个水分子;

1 摩尔氢离子含有 6.02×10^{23} 个氢离子。

如果某物质含 $n \times 6.02 \times 10^{23}$ 个微粒, 该物质的量就是 n 摩尔。

摩尔的国际统一符号为“mol”。

摩尔的千分之一称为“毫摩尔”, 符号为 mmol, $1\text{mol} = 1000\text{mmol}$ 。

2. 摩尔质量(M_G)

1mol 物质的质量称为该物质的摩尔质量。符号 M_G 。单位为 g/mol。物质的摩尔质量在数值上等于其原子量或分子量。

例如, 氧的原子量是 16, 那么氧原子的摩尔质量是 16 g/mol。CO₂ 的分子量是 44, 那么 CO₂ 的摩尔质量是 44g/mol。

当用摩尔表示离子的时候, 由于电子的质量过于微小, 失去或得到电子的质量可以忽略不计。

例如, H⁺ 离子的摩尔质量为 1g/mol, OH⁻ 离子的摩尔质量为 17g/mol。

物质的量、物质的质量和物质的摩尔质量之间的关系可

用下式表示:

$$\text{物质的量}(\text{mol}) = \frac{\text{物质的质量}(\text{g})}{\text{该物质的摩尔质量}(\text{g/mol})} \quad (1-4)$$

若以 W 表示物质的质量, 以 n 表示物质的量, 则

$$n = \frac{W}{M_G} \quad (1-5)$$

此式也可写成

$$W = nM_G \quad (1-6)$$

例题 1-4 90g 水是多少 mol 水(即 90g 水的摩尔数或物质的量是多少)?

解: 水的分子量是 18, 所以水的摩尔质量 $M_G = 18\text{g/mol}$ 。
水的质量 $W = 90\text{g}$, 由式(1-5)

$$n = \frac{W}{M_G} = \frac{90}{18} = 5(\text{mol})$$

所以 90g 水是 5mol 水(即 90g 水的摩尔数或物质的量是 5mol)。

例题 1-5 2.5mol 铜的质量是多少 g?

解: 铜的原子量是 63.5, 所以其摩尔质量 $M_G = 63.5\text{g/mol}$ 。铜的物质的量 $n = 2.5\text{mol}$, 根据式(1-6):

$$W = n \cdot M_G = 2.5 \times 63.5 = 158.8(\text{g})$$

即 2.5 摩尔铜的质量是 158.8g。

3. 摩尔浓度

用 1L 溶液中所含溶质的物质的量来表示的浓度, 叫做摩尔浓度。符号 M , 单位为 mol/L。

$$\text{摩尔浓度}(\text{mol/L}) = \frac{\text{溶质的物质的量}(\text{mol})}{\text{溶液的体积}(\text{L})} \quad (1-7)$$

若用 V 表示溶液的体积(L), 则上式可写为