



火电厂水务管理

1.8

刘希波 主编

中国电力出版社

火电厂水务管理

刘希波 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书从系统工程的角度,讲述了火电厂水和废水的处理、处置和再用。其内容包括火电厂水资源的合理选择、处理与利用;火电厂节约用水和减少外排废水途径;达到排放或再用要求的火电厂排水处理系统;火电厂水务管理的程序;火电厂水务管理优化技术与应用。此外,还简单介绍了火电厂水质水量监测控制系统,火电厂水系统腐蚀、结垢的控制途径。

本书可供电力部门有关电厂化学与环境工程专业的科研和设计工作者、火电厂的科技管理人员,以及大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

火电厂水务管理/刘希波主编. - 北京:中国电力出版社, 1997

ISBN 7-80125-517-8

I. 火… II. 刘… III. ①火电厂-工业用水-经济管理 ②火电厂-水处理 IV. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 23788 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

三河市实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1998 年 3 月第一版 1998 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 6 印张 127 千字

印数 0001—3080 册 定价 7.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

水资源短缺问题和外排废水的污染问题已成为世界性问题,并已引起人们的足够重视。火电厂作为用水、排水大户,从经济运行和保护环境出发,节约用水和减少外排废水已显得十分必要。火电厂要节约用水和减少外排废水,必须加强水务管理。在发达国家,火电厂水务管理水平较高,对火电厂水系统一般都尽可能考虑水的循序使用、循环使用和处理后再用,以减少总新鲜水用量和外排废水量,有的电厂甚至达到了废水零排放。国内近些年来,也开始重视火电厂水务管理的研究和实践,并已取得较大进展。但是,由于火电厂水务管理涉及的内容较为广泛,有关文献资料比较零散,因此有必要加以整理系统化,作者正是试图完成这一工作的。

全书共八章:绪论和第一章至第四章由刘希波编写;第五章、第七章由何凤鸣编写;第六章、第八章由尹连庆编写。全书由刘希波主编。

华北电力大学王振河教授对选题提出指导性意见;同时也吸取了电力部规划设计总院何蓬江教授级高级工程师对本书的建议;北京电力科学研究院窦照英高级工程师为本书进行了审阅。在此一并表示衷心的感谢。

限于作者水平,且仓促成书,错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

1997年8月

符 号 说 明

AC	氨化柠檬酸	MBAS	亚甲基蓝活性物质
Alk	碱度	P - Alk	酚酞碱度
BOD	生化需氧量	PCB	多氯联苯
BOD ₅	五日生化需氧量	SC	比电导率
CaH	钙硬度	SI	饱和指数
CC	阳离子电导	SS	悬浮物
COD	化学需氧量	TA	全碱度
DO	溶解氧	TDS	总溶解固形物
F (Fl)	氟	TEA	三乙醇胺
fCaO	活性氧化钙	TH	总硬度
HAF	羟基乙酸/蚁酸	TOC	总有机碳
M - Alk	甲基橙碱度	TSS	总悬物
		TC	总碳

目 录

前言	
符号说明	
绪论	1
第一章 火力发电厂水系统	4
第一节 火力发电厂的用水和排水	4
一、火力发电厂的用水；二、火力发电厂的排水	
第二节 火力发电厂水系统与水务管理的发展	11
第二章 水资源的合理选择、处理与利用	15
第一节 火力发电厂用水水源的选择	15
一、广义的水资源概念；二、水资源选择的一般原则；	
三、远距离引水；四、再用城市污水	
第二节 火力发电厂用水系统对水质的要求和用水水质标准	19
一、锅炉补给水；二、冷却水；三、冲灰（渣）水；	
四、生活用水	
第三节 火力发电厂用水系统对所选水源的处理与利用	21
一、锅炉补给水处理；二、冷却水处理；三、冲灰（渣）水利用；四、生活用水利用	
第三章 火力发电厂节约用水和减少外排废水的途径	30
第一节 节水途径的分析	30
一、用水系统节约用水量、耗水量的工艺措施；二、水的循环使用；三、水的循序使用；四、水的再用	
第二节 减少外排废水的途径	55

第三节 火电厂废水零排放系统	56
一、火电厂废水零排放系统的设计原则；二、火电厂 废水零排放系统的水处理模式及典型实例；三、影响 火电厂废水零排放的关键因素	
第四章 火电厂排水处理及排水对环境的影响	69
第一节 火电厂废水排放标准及对废水 处理的要求	69
第二节 火电厂排水处理	73
一、灰场排水处理；二、化学除盐系统酸碱废液处理； 三、锅炉化学清洗和停炉保护排放废水处理；四、烟 气脱硫排水处理；五、煤场及输煤系统排水处理；六、 冷却塔排污水处理；七、含油废水处理；八、生活污 水处理；九、火电厂废水集中处理	
第三节 火电厂排水对环境的影响	97
一、灰处置场灰水对环境的影响；二、直流冷却系统 排水对环境的影响及其防治方法	
第五章 水质水量监测及其控制系统	107
第一节 水质监测	107
一、在线监测；二、定时取样监测；三、各国监测项 目与方式	
第二节 水质水量监测控制系统	110
一、监测控制装置及其功能；二、监测控制手段； 三、监测控制系统	
第六章 火电厂水和废水管理程序与实例	118
第一节 火电厂水和废水管理计划的路径	118
第二节 火电厂水和废水管理的实例介绍	120
一、电厂概况；二、电厂水和废水管理的限制条件； 三、研究目标；四、推荐的水和废水管理计划；五、 结论	
第七章 火电厂水系统腐蚀、结垢及其控制	129

第一节	灰渣处置系统腐蚀、结垢及其控制·····	129
	一、灰管结垢机理与水质；二、防垢热力学与防垢措施；三、冲灰管道防垢工艺措施简介；四、回水管道防垢工艺措施简介；五、灰管垢的清除	
第二节	循环冷却水系统腐蚀、结垢及其控制·····	140
	一、循环冷却水系统腐蚀及其控制；二、循环冷却水系统结垢及其控制；三、循环水的粘泥（垢）控制；四、循环水的综合控制；五、循环水缓蚀、阻垢处理技术的进展	
第八章	火电厂水务管理优化·····	152
第一节	水处理系统优化·····	152
	一、水处理系统优化的方法；二、水处理系统优化的范畴	
第二节	实用水处理系统优化的开发和应用·····	154
	一、化学除盐水处理系统优化；二、循环冷却水处理系统优化	
第三节	火电厂水和废水系统水平衡优化·····	169
	一、火电厂水和废水系统供水、需水特性分析；二、数学模型的建立与求解；三、模型参数的确定方法；四、最佳 K_{opt} 及其对应的水平衡	
主要参考文献·····		177

绪 论

水是宝贵的自然资源，是工农业生产和人民生活必不可少的物质。随着工农业生产的迅速发展，使得许多地区水源的水量日益不足，同时由于水体受到污染，一些水源的水质日趋恶化。水资源短缺问题和水污染问题已成为缺水国家和地区发展的主要问题。

我国水资源蕴藏量比较丰富，居世界第六位（仅次于巴西、苏联、加拿大、美国和印尼）。但是，11 亿人口按人均水资源占有量只有 2840m^3 ，是世界人均占有量的 $1/4$ ，属于贫水国。再加之水资源的时空分布很不均匀，降雨量主要集中在夏季，又多集中在长江以南，使得北方大部分地区存在着较为严重的水资源短缺问题。据统计资料介绍，我国 407 个城市中，被列为水资源贫乏的竟有 200 多个，有 40 多个城市被列为水荒城市。

另一方面，尽管我国在水污染防治方面做了许多工作，但是目前我国水污染问题仍比较严重，全国约有 70% 的废水未经处理而直接排到江河湖海，使一些水源受到严重污染，丧失了应有的使用价值，导致可利用的水资源减少。

火力发电厂是用水大户，当采用直流供水系统时，一个百万千瓦大厂用水量约为 $40\text{m}^3/\text{s}$ ；当采用循环冷却供水系统时，耗水量约为 $1\text{m}^3/\text{s}$ 。火力发电厂又是排水大户，以冲灰排水为例，如采用低浓度水力输送方式，灰水比按 1 : 15 计，一个百万千瓦电厂储灰场的灰水排放量约为 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ ，

占电厂耗水量的一半。由于我国北方诸省缺水比较严重，许多地区在选厂时不能不“以水定电”，有的电厂由于缺水而不能满发。为了取得 $1\text{m}^3/\text{s}$ 的用水权，有的供水工程需投资上亿元。一些具有良好经济效益的坑口电站，因水源解决不了而不能付诸建设。目前，制订的用水排水收费制（水资源费、排水费、超标费），意味着作为用水排水大户的火力发电厂要付出更大的经济代价。如何节约用水，减少外排废水量并使废水达标排放成为火力发电厂建设、生产所面临的迫切任务，而良好的水务管理是实现这一目标的关键。

水务管理的任务是：

(1) 合理地选择和利用水资源做到既保证满足计划发电容量的用水需要，又尽量少用水、排水，水质及水温也不污染环境。

(2) 合理循环、处理、重复使用水源，即合理地安排各工艺系统的生产用水及排水，减少电厂的用水量和排水量。按照各用水系统对水质的需要，分级用水，即将原水给需要优级水的系统使用，随后将其排水经过处理（或不经过处理）在本系统内循环使用或送给要求水质较差的系统重复使用。

(3) 研究各用水系统的排水量和水质，提出最佳的排水处理系统，以合理经济地满足下一级系统的水质要求，或达到排放环境水体的要求。在研究排放水处理系统时，将能互相合并的废水流通过平衡池合并在一起，集中处理，节约处理费用，对最终排出的废水、废渣进行处置。

(4) 运行中经常监测和控制排水水质。

水务管理集中在火力发电厂的（化学）废水方面，包括再循环、处理、再利用。由于水源水质的不同、电厂运行方

式的不同以及环保要求的不同，电厂废水处理技术是随厂而异的。其主要内容包括以下三个方面：

- (1) 电厂水平衡（包括水量、水质）；
- (2) 电厂废水的产生及其处理方案；
- (3) 电厂废水及废渣的处置。

水务管理贯穿于火力发电厂的规划、选厂、设计、建设、运行等各阶段，除美国外，其他各国（如日本、加拿大等）均制定了相应的规定。

国外从 70 年代就开始火力发电厂水务管理的理论研究和实践，到现在已有比较成熟的经验和技術。国内近几年也开始认识到加强水务管理的重要性和迫切性，在吸收国外先进技术和经验的基础上，开始加强火电厂的水务管理。国外发达国家由于水务管理水平较高，火力发电厂耗水量一般可达到 $1\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{GW})$ ，德国已能达到 $0.7\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{GW})$ ，而我国目前大多数电厂耗水量为 $1.5\sim 2.5\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{GW})$ ，个别电厂达到 $1\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{GW})$ 。国外发达国家火力发电厂一般都建有废水集中或分散处理系统，对废水进行处理以达到再用或排放的目的，有的电厂甚至做到了废水零排放。因此，可以说我国火力发电厂节水和减少外排废水的潜力很大，水务管理的任务是非常艰巨的。

随着用水水源的限制和环保要求的日益严格，火力发电厂水务管理有了很大的发展，目前主要有以下研究和发展方向：

- (1) 更高程度的水再用；
- (2) 人工智能的设计、运行、管理系统的发展和应用；
- (3) 缺水及限制排放地区的废水零排放。

第一章 火力发电厂水系统

第一节 火力发电厂的用水和排水

火力发电厂是利用热能转变为机械能进行发电的。现在普遍的是利用各种燃料（煤、石油、天然气等）的燃烧把化学能转变为热能的发电方式。在这种火力发电厂中，把燃料输送入锅炉燃烧，放出的热能被锅炉水侧的水所吸收，吸收热能的水又转变为具有做功本领的蒸汽，导入汽轮机；在汽轮机中，蒸汽的热能转变为机械能，通过发电机将机械能转变为电能，送至电网或用户。在这样的发电生产过程中作为燃料，当然是一种首要的生产所必需的，其次就是水。水是很重要的工质，因为在许多重要生产环节中都要用水。如锅炉内的水是作为传递热能的工质，为使热机冷端保持低温，汽轮机凝汽器需要大量冷却水；用水力输送锅炉排灰（渣）时，水是作为运输载体介质的；还有洗涤用水和转动设备的冷却用水等。以上各种用途的水，一般均有不同的水质、水量要求，但水经过不同途径使用后，常混入各种杂质和污物，水质发生较大变化，这些水或作为废水排放或重新加以利用。火力发电厂各种主要用水和排水，如图 1-1 所示。

一、火力发电厂的用水

（一）用水分类

火力发电厂用水按用途可分几十种，本书按其供水水质要求做以下归类：

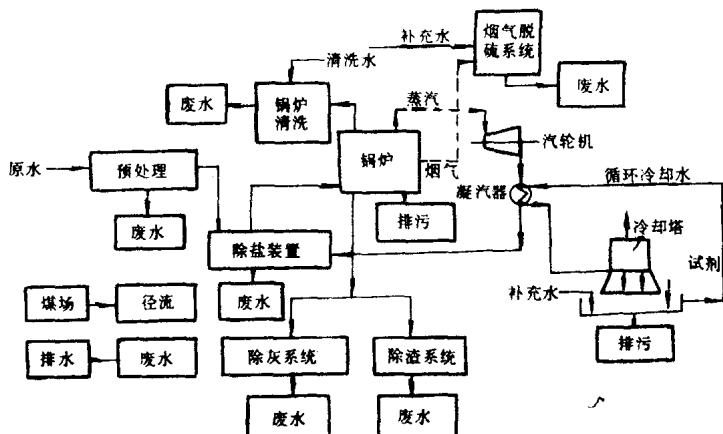


图 1-1 火电厂主要用水和排水

1. 冷却水

火力发电厂冷却水分为间接冷却水和直接冷却水两种。

(1) 间接冷却水 其特点是通过热交换器换热，冷却水基本上不受传热介质污染。间接冷却水对水质的要求是对换热器管不腐蚀、不结垢。

间接冷却水主要用于凝汽器、主冷油器、发电机空气冷却器、氢气冷却器、辅机冷油器等设备。

(2) 直接冷却水 其特点是冷却水和散热介质直接接触冷却，如轴承冷却水。一般说来，直接冷却水应无杂质、低温、不腐蚀设备。

2. 冲灰（渣）水

冲灰（渣）水用于冲灰、渣，其对水质要求不高。有时为防止结 CaCO_3 垢，可考虑用低碳、微酸性水。

3. 锅炉补给水

锅炉补给水主要用来补给汽、水系统的汽水损失。原水

经除盐后送入锅炉。

4. 生活、消防用水

厂区生活用水可取自地下水或由市政给水系统供给。消防用水一般直接使用原水或取自市政给水系统。

5. 其他用水

包括厂区杂用水、机房杂用水、输煤系统冲洗水等。这类用水对水质无特殊要求。

(二) 用水量

火力发电厂的用水量与机组配置、装机容量、各种用水系统用水工艺等因素有关。现对火力发电厂几种主要用水系统的用水量分述如下：

1. 凝汽器冷却水量

一般按下式计算：

$$q_m = mD_c \quad \text{t/h}$$

式中 m ——冷却倍率；

D_c ——进入凝汽器的排汽量，t/h。

设计估算时，冷却倍率可近似采取表 1-1 中的数值。

表 1-1 不同地区冷却倍率选用范围

地 区	直 流 供 水			循环供水
	河水温度 (℃)	夏 季	冬 季	
北 部	10~20	50~60	30~40	40~60
中 部	20~25	60~70	40~50	40~60
南 部	25~30	65~75	50~55	40~60

凝汽器冷却水量的计算一般分为夏季与冬季两种情况。

按此水量来考虑循环水泵或冷却塔配水系统的配置，最小流量须保证凝汽器铜管内水力状态为紊流，以便获得良好的冷却效果。

2. 其他设备冷却水量

其他设备冷却水量包括发电机空气冷却器、氢冷却器的冷却水量，主冷油器的冷却水量，辅助机械冷却水量。这些设备所需冷却水量可直接根据设备的用水量参数选取或参考有关设计手册选取。

3. 锅炉补给水处理系统用水量

在凝汽式发电厂中，锅炉补给水量等于锅炉排污量和各项蒸发损失量之和，一般相当于锅炉蒸发量的 5%~7%。此外，考虑锅炉补给水制备系统的自身耗水量，当水制备室有冲洗水箱时，可附加 1.5%~2.0%；无冲洗水箱时，最大用水量应附加设备反冲洗水量。总计水量可按锅炉蒸发量的 6%~10% 估算。在热电厂中还应根据热力负荷及凝结水的回收程度来决定锅炉补给水量。

4. 水力除灰（渣）用水量

水力除灰（渣）用水量与灰渣处置方式（灰水比）有关，如采用低浓度输灰系统，灰水比一般按 1:10 选取，带有浓缩池的浓浆输灰系统，灰水比可按 1: (2~3) 选取。

5. 生活和消防用水量

火电厂生活用水量主要与职工人数有关。消防用水量应按室内消防用水量和室外消防用水量之和计算。火电厂生活和消防用水量可参考 DL5027—93《电力设备典型消防规程》中“消防给水”一节的规定。

6. 输煤栈桥冲洗与煤场的喷洒用水量、厂区杂用水量等

根据输煤系统的面积、储煤场的面积及输煤系统的复杂

情况,设计时用水量可参考以下数据:水力清扫 $40\sim 60\text{m}^3/\text{h}$;煤场喷水 $50\sim 75\text{m}^3/\text{h}$;喷水小间喷雾水 $20\sim 30\text{m}^3/\text{h}$ (煤场回煤时用);翻车机喷雾水 $30\sim 40\text{m}^3/\text{h}$;落煤管喷雾水 $25\sim 30\text{m}^3/\text{h}$ 。

厂区杂用水项目较多,浇洒道路及绿地用水可取 $2\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,可考虑每天8h内完成总浇洒面积的20%;冲洗汽车用水标准为小汽车是 $300\text{L}/(\text{台}\cdot\text{d})$,大汽车 $500\text{L}/(\text{台}\cdot\text{d})$,每天冲洗1次,10min洗完。

(三) 用水损失

与火力发电厂用水量一样,火力发电厂用水损失对水平衡设计具有重要意义。

火电厂水损失主要有:循环冷却水冷却塔蒸发、风吹损失及排污损失;冲灰水损失;汽水损失;工业冷却水损失;水处理自用水损失;生活消防水损失;杂用水损失等项。这些水或变成汽态进入大气,或被送入环境水体,前者是无法回收的,而后者则可回收处理后再用。采取的处理方法与水在使用过程中受污染的程度和用水设备对水质的要求有关。火电厂用水损失情况如下:

(1) 冷却塔蒸发损失 该项水损失基本上由环境条件所决定,目前没有回收方法。其损失量约为循环水总量的 $1.2\%\sim 1.6\%$,是电厂水损失总量的 $30\%\sim 55\%$ (国外电厂可达到80%以上)。

(2) 冷却塔风吹损失 冷却塔风吹损失一般是循环水量的 0.5% 左右。目前大火电厂冷却塔均装有收水器,其损失可降到 0.1% 左右。

(3) 循环冷却水排污损失 目前我国循环冷却水浓缩倍率在 $2\sim 3$ 之间,极少数电厂浓缩倍率达到4以上。此项损

失约占电厂水损失的 25%~12%。

循环冷却水排污水质与循环冷却水补充水处理方法有关，一般主要指盐类浓缩。其浓缩程度取决于循环冷却水浓缩倍率。提高浓缩倍率可以大幅度节水，因此是节水研究的重要课题。

(4) 冲灰水损失 由于水冲灰系统选用水灰比的不同，冲灰水损失可占电厂水损失的 10%~45%。冲灰水的大量排放既浪费水资源，又由于灰水 pH 值高和含有重金属等，对环境水体造成污染。因此，减少冲灰水用量和灰水回收再用也是节水研究的重要课题。

(5) 工业冷却水损失 工业冷却水损失各厂差别较大，它与设计和运行管理水平关系很大，而不是由技术因素决定的，目前该项损失约占电厂水损失的 10%~20%。工业冷却水主要是轻微的油污染，经除油处理后回收再用是完全可行的。

(6) 化学除盐水损失 主要指机炉汽水系统内的汽水损失，其损失量约占电厂水损失量的 3%~4%，基本上不能回收。

(7) 化学水处理自用水损失 其损失量与水处理方式有关，约占电厂水损失 1%~3%。化学水处理自用水损失有酸碱废水、澄清池排渣水、过滤器反洗水等。这些水需处理后才能排放或回收再用。

(8) 杂用水损失 约占电厂水损失的 2%~4%。杂用水主要受油、悬浮物等污染，应处理后排放或回用。

(9) 生活水损失 约占电厂水损失的 2%~4%。生活水化学耗氧量 COD、BOD 含量较高，还有洗衣粉（洗涤剂）和悬浮物等，应处理后排放或回用。