

HuoDianChang YongShui Yu JieShui JiShu

火电厂用水与节水技术

李晓芸 张华 席兵 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

HuoDianChang YongShui Yu JieShui JiShu

火电厂用水与节水技术

李晓芸 张华 席兵 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书对火电厂的用水系统和取、排水系统,对为达到用水标准和排水标准所需进行的水处理方法和工艺,以及为保护水环境应采取的节水技术措施、管理措施等进行了较为系统的介绍。

本书可作为火电行业有关工作人员和企业管理人员以及大专院校的教学和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

火电厂用水与节水技术/李晓芸,张华,席兵编著.

北京:中国水利水电出版社,2008

ISBN 978-7-5084-5219-7

I. 火… II. ①李…②张…③席… III. ①火电厂—水处理②火电厂—节约用水 IV. TM621.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 204693 号

书 名	火电厂用水与节水技术
作 者	李晓芸 张华 席兵 编著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话:(010)63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 20 印张 474 千字
版 次	2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	39.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

水资源是关系到我国经济安全和长远发展的“三大战略资源”之一。

水在自然界几乎无所不在,与人类有着密不可分的关系,水资源的短缺和水环境的污染给人类的生存与发展已经带来了巨大的威胁,是人类必须面对的严重的环境问题。有未来学者预言:21世纪是水的世纪。

我国是一个水资源短缺的国家,人均水资源量约为 2200m^3 (按国际通行标准,这属于严重缺水),约为世界平均水平的 $1/4$,是世界上位于第十三的贫水国。我国由于各地区处于不同的水文带及受季风气候影响,降水在时间和空间分布上极不均衡,水资源与土地、矿产资源分布和工农业用水结构不相适应。突出表现在我国北方地区,人口及耕地分别约占全国的 46% 和 65% ,而水资源量只占全国的 19.5% ,随着经济发展和工业化、城镇化进程的加快,供水形势将更为严峻。另外,水污染严重,更加剧了水资源的短缺。有关资料显示,全国正常年份缺水量约 400亿 m^3 。水资源短缺已成为影响我国经济和社会可持续发展的重大问题。部分地区工业与城市生活、农业生产及生态环境争水矛盾突出,出现江河断流,地下水位持续下降的现象,造成生态环境日益恶化。近年来缺水性质从以工程型缺水为主向资源型缺水 and 水质型缺水为主转变。而与此同时,我国水资源利用相对粗放,用水效率不高,浪费严重。2002年我国每万元国内生产总值取水量为 537m^3 ,是世界平均水平的 4 倍。

我国工业用水主要集中在火电、纺织、石油化工、造纸、冶金这几个行业。1999年的统计显示,这5大用水巨头取水量已经达到了 772亿 m^3 ,占全国工业取水量的 66.6% 。也就是说,仅这5个行业就“喝”掉了 $2/3$ 的工业用水。在上述5大用水行业中,火电又是我国取水量最大的行业。

水是火电厂大量使用和消耗的一种重要资源。火电厂的生产需要有足够的水量和一定的水质作保证。在加快电力建设的过程中,以煤炭、水等为突出矛盾的资源供给能力不足,已成为电力发展的“瓶颈”,直接影响到国民经济的增长。根据中国电力企业联合会资源与环保部2005年公布的数据,火电用水量由前几年约占工业用水总量的 25% 已经增加到近两年的 40% 。与国外先进国家的同行业相比,我国火电行业在用水效率方面存在较大差距。我国平均每兆

瓦时取水量为 31m^3 (水平最好的为 2.3m^3 , 而最差的为 100m^3)。平均装机耗水率比国际先进水平高 $40\%\sim 50\%$, 相当于一年多耗水 15亿 m^3 。随着电力工业的进一步发展, 水资源供需矛盾将更加突出。因此采取先进的火电厂节水与用水的技术, 建立科学的水务管理机制, 是电力工业发展面临的一个亟待解决的问题, 是建立节水型社会的一个重要组成部分。

本着火力发电厂的合理用水和节水应贯穿规划、设计、施工和生产运行全过程的原则, 本书对火电厂的用水和节水问题进行了比较系统地讨论。全书共分八章, 第一章介绍水在火力发电厂中的作用以及耗水与供水等基本概念; 第二章介绍火电厂的用水系统及其用水水质与处理工艺; 第三章介绍火电厂的取、排水及其环境影响; 第四章介绍火电厂污水的处理; 第五章介绍火电厂节水技术与水务管理; 第六章介绍火电厂排水的监测; 第七章介绍水体污染与地面水环境影响评价; 第八章介绍我国与火电厂有关的水资源管理法规。

本书第一章、第二章、第五章和第八章由李晓芸编写, 第三章由张华编写、第七章由张华和李贵保编写, 第四章由席兵编写; 第六章由王娜、席兵编写。全书由李晓芸统稿。

在本书的编写过程中, 得到了中石化水处理技术服务中心祁鲁梁教授和国网北京电力建设研究院沙中魁高级工程师的指导与帮助, 华北电力大学的武桂芹老师和研究生刘颖超、李亚琼同学在资料的收集与整理上做了许多工作。在此一并表示衷心的感谢。

由于水平和时间所限, 书中难免有不足甚至错误, 敬请读者予以批评和指正。

编者

2007 年 10 月于北京

目 录

前言

第一章 绪言	1
第一节 水在火力发电厂中的作用	1
第二节 火电厂用水、排水与水量平衡	6
第三节 火电厂用水、排水对环境的影响	11
第二章 火电厂用水	17
第一节 水汽循环系统用水	17
第二节 冷却系统用水	32
第三节 除尘输灰系统用水	43
第四节 烟气脱硫系统用水	52
第五节 生活、消防用水	59
第三章 火电厂取水、排水及其环境影响	64
第一节 水源与供水系统选择	64
第二节 取水与排水的规划设计原则	71
第三节 火电厂取水	74
第四节 火电厂温排水及其环境影响的控制	84
第四章 火电厂排水的处理	94
第一节 循环冷却水排污水的处理	94
第二节 冲灰废水的排放与处理	103
第三节 化学酸碱废水的排放与处理	111
第四节 锅炉化学清洗、停炉保护废水的排放与处理	113
第五节 烟气脱硫系统废水的排放和处理	121
第六节 含煤、含油废水的排放与处理	131
第七节 生活污水的排放与处理	136
第五章 火电厂节水技术与水务管理	140
第一节 火电厂水系统的优化	140
第二节 火电厂节水技术	150
第三节 膜分离技术概述	163

第四节 火电厂水务管理科学化	172
第六章 火电厂排水监测	182
第一节 火电厂排水监测	182
第二节 水样的采集与流量的测量	189
第三节 火电厂水质监测分析方法	194
第四节 数据处理和质量控制	217
第七章 水体污染与水环境影响评价	229
第一节 水体与水体污染	229
第二节 污染物在水中的迁移过程	232
第三节 有机污染物的降解与转化	241
第四节 水体的氧平衡	245
第五节 火电厂水环境影响评价概述	252
第六节 水环境影响评价中常用的河流水质模型	258
第七节 湖泊水库模型与评价	266
第八章 依法管水	272
第一节 我国水资源管理的法律体系和机制	272
第二节 火电厂的依法管水	275
附录一 取水定额 第一部分：火力发电	283
附录二 中国节水技术政策大纲	287
附录三 地表水环境质量标准	301
参考资料	310

第一章 绪 言

第一节 水在火力发电厂中的作用

一、火力发电厂

发电厂 (power plant) 是具体实现电能转换技术的工厂, 而火力发电是最早得到实用的一种发电技术。

通过燃烧燃料将化学能转换为热能, 再通过适当的动力机械转换为机械能, 进而驱动发电机发电, 具体完成上述能量转换的工厂称为火力发电厂。

早期的火力发电厂都是利用化石燃料产生电能的, 所以称之为 fossil-fired power plant。但后来随着技术的发展, 生物质燃料、工业废渣和废气等燃料也被用来发电, 所以火电厂又称为 thermal power plant。但时至今日, 煤炭、天然气、石油、油页岩这些化石燃料仍然是火力发电厂最主要的燃料。

1875 年建于法国巴黎的北火车站电厂是世界上第一个火电厂, 随后一批公用电厂相继出现。其中有 1879 年美国旧金山的实验电厂 (这是世界上最早出售电力的电厂)、1882 年建于英国伦敦的霍而蓬高架路电厂、建于美国纽约的珍珠街电厂和建于中国上海的中国第一座火力发电厂。至今, 火电工业已经走过了 100 多年的历史。

电力工业为世界文明的发展提供了新的动力。自从有了电力工业, 世界经济如同插上了飞跃的翅膀, 近 100 多年人类文明的发展速度是以往任何时期都无法比拟的, 这种情况的出现与电力工业的发展密不可分。

众所周知, 现代社会的许多环境污染问题, 都源于人类大规模使用化石燃料。化石燃料的燃烧过程不可避免地会排放出烟尘、二氧化硫与氮氧化物等酸性气体以及 CO_2 等温室气体, 造成大气污染、气候变暖。而电力工业是公认的最能清洁利用化石燃料的部门, 也是效率最高的利用化石燃料的部门。

化石燃料至少是今后 20~30 年内人类能源的主要来源, 为了减少污染, 只有更加广泛地使用电力, 同时将电力工业的发展目标锁定在最大限度地提高燃烧效率和降低污染物的排放上。可喜的是, 最近几十年来, 电力工业在这些方面已经取得了显著的效果。实践证明: 电力增长越快, 总的能源需求增长越慢; 电力占终端能源比重越大, 单位产值的能源消费 (即能源强度) 越低。因此, 发达国家几乎把污染最严重的煤炭的全部或大部分用于发电, 我国也早在 1985 年就提出能源工业的发展政策是“以煤炭为基础, 以电力为中心”。

从世界范围看, 火力发电一直是主要的电力生产方式, 约占世界总发电量的 60%~70%。我国电力工业中火电占的比例更大些。图 1-1 是原国家电力公司发布的 1949~

2001 年中国历年电力装机的情况，从图中可以看出，长期以来火电在中国电力工业中所占的比例约为 80%左右。近年来虽然通过调整电力生产结构，加大了水电、风电、核电的发展力度，但截至 2006 年底，全国发电设备容量为 62200 万 kW，同比增长 20.3%。其中，水电 12857 万 kW，约占总容量的 20.67%，同比增长 9.5%；火电 48405 万 kW，约占总容量的 77.82%，同比增长 23.7%；核电 685 万 kW，风电 187 万 kW。火电的重要地位是显而易见的。

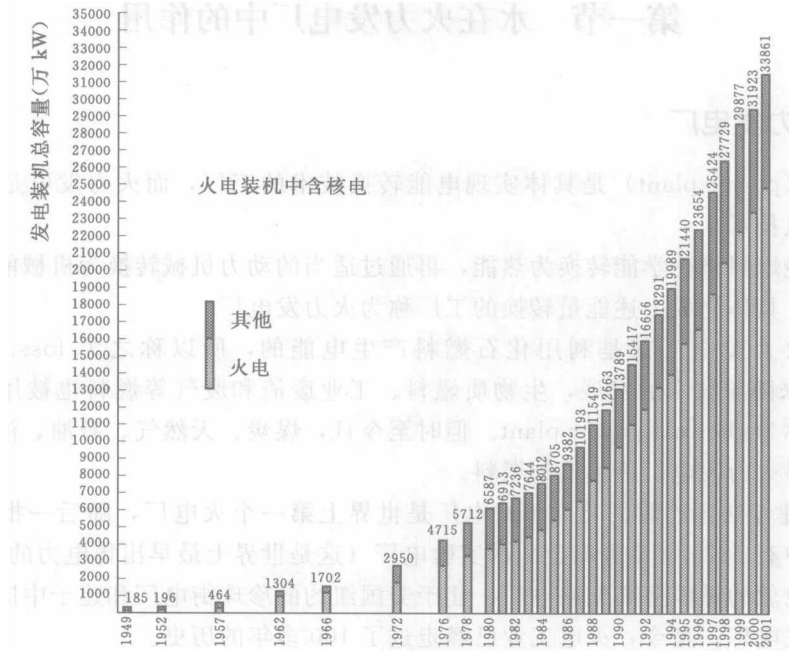


图 1-1 1949~2001 年中国历年电力装机情况

二、火力发电厂分类

火力发电厂有多种分类方法：若按燃料分，可分为燃煤发电厂、燃油发电厂、燃气发电厂、余热发电厂、以城市生活垃圾及工农业废料为燃料的发电厂等；若按输出的能源分，可分为只输出电能的发电厂、发电兼供热的热电厂；若按发电厂装机容量分，可分为小容量发电厂（100MW 以下）、中容量发电厂（100~250MW）、大中容量发电厂（250~1000MW）、大容量发电厂（1000MW 以上）；若按机组的参数分，可分为中低压发电厂、高压发电厂、超高压发电厂、亚临界压力发电厂、超临界压力发电厂和超超临界压力发电厂，表 1-1 是目前我国发电厂的参数系列。

表 1-1 我国发电厂参数系列

电 厂 类 型	蒸汽压力 (MPa)	蒸汽温度 (℃)
中低压发电厂	3. 92	450
高压发电厂	9. 9	540
超高压发电厂	13. 83	540

续表

电厂类型	蒸汽压力 (MPa)	蒸汽温度 (°C)
亚临界压力发电厂	16.77	540
超临界压力发电厂	22.11	550
超超临界压力发电厂	24.00~30.00	580~610 及以上

注 表中参数为锅炉出口的。

火力发电厂还可以按动力设备的类型分,这种分类标准将电厂分为汽轮机发电厂、燃气轮机发电厂、内燃机发电厂、蒸汽—燃气轮机发电厂等。其中汽轮机发电厂最为普遍,这种电厂提供的电能在我国占火电厂总电能的 95%,本书关于电厂用水与节水的讨论,基本是针对这种电厂的。

1. 汽轮机发电厂 (steam power plant)

汽轮机发电厂 (又称蒸汽动力发电厂) 指由汽轮机驱动发电机的火力发电厂。

图 1-2 是汽轮机发电厂的能量转化过程。

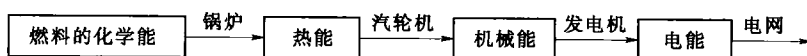


图 1-2 汽轮机发电厂的能量转化过程

汽轮机发电厂的燃料可以是煤、原油、重油、柴油、天然气、液化天然气、煤气、以及生物质等。燃料蕴藏的化学能,通过燃烧变成热能传给锅炉中的水,使水转变为具有一定压力和温度的蒸汽,然后导入汽轮机,在汽轮机中蒸汽膨胀做功,将热能转变为机械能,推动汽轮机转子旋转,汽轮机转子带动发电机转子一起高速旋转,将机械能变为电能送至电网。

其中仅向用户提供电能的为凝汽式电厂,供电的同时还以汽轮机抽气 (或排汽) 向外界供热的则为热电联产厂或简称热电厂 (combined heat and power generating plant; cogeneration of heat and power, CHP)。图 1-3 为凝汽式发电厂热力系统流程简单示意图。

在该系统中,锅炉、汽轮机和凝汽器是主要设备,锅炉产生的蒸汽在汽轮机内做功后,进入凝汽器凝结成水,然后由凝结水泵送到低压加热器,加热后送到除氧器,再由给水泵将已除氧的水送到高压加热器,最后进入锅炉,开始下一个循环。

热电厂除了发电外,还向用户以蒸汽或热水的形式供应热能,供热的热能来自生产电能的动力装置的排热或余热。通过热电联产使不同品位的能量得到更充分地利用,因此可获得更好的经济效益和社会效益。图 1-4 为热电厂水汽循环系统流程示意图。

按照汽轮机中作过功的蒸汽的冷却方式的不同,汽轮机发电厂又可以分为循环冷却电厂、直流冷却电厂和空冷电厂。

循环冷却电厂是指采用循环冷却水系统对汽轮机排出的蒸汽进行冷却的电厂。循环冷却水系统常用的冷却设施有冷却塔、冷却池、喷水池及喷射冷却装置。

直流冷却电厂是指采用直输直排冷却水系统对汽轮机排出的蒸汽进行冷却的电厂。

循环冷却电厂和直流冷却电厂都是以水作为冷却介质。

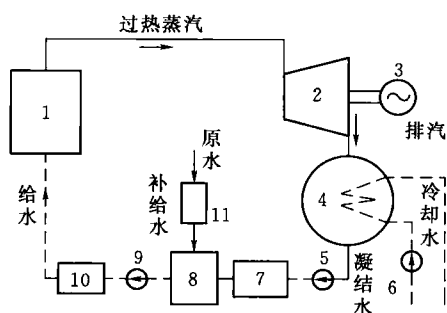


图 1-3 凝汽式发电厂水汽循环系统的流程

1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；
5—凝结水泵；6—冷却水泵；7—低压加热器；
8—除氧器；9—给水泵；10—高压加热器；
11—水处理设备

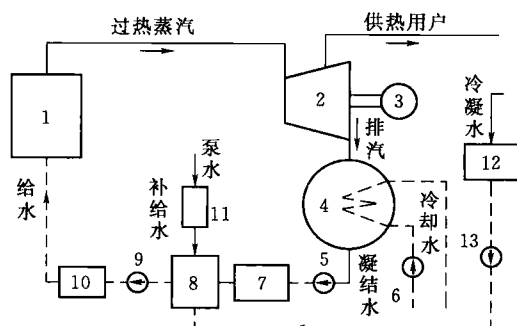


图 1-4 热电厂水汽循环系统的流程

1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；5—凝结水泵；6—冷却水泵；7—低压加热器；8—除氧器；
9—给水泵；10—高压加热器；11—水处理设备；
12—返回凝结水箱；13—返回水泵

空冷电厂以空气作为冷却介质，这种以空气为冷却介质的冷却系统又称为干式冷却系统。干式冷却系统有两种——直接干式冷却系统和间接干式冷却系统。其中直接干式冷却系统以布置在厂房外的空气冷却器代替布置在汽轮机下方的水冷却凝汽器。间接干式冷却系统的凝汽器仍布置在汽轮机下方，由密闭式循环冷却水系统对汽轮机排出的蒸汽进行冷却，然后利用间接空冷塔再对冷却水进行热量交换降低其温度。

2. 燃气轮机发电厂 (gas turbine power plant)

燃气轮机发电厂是指用燃气轮机驱动发电机的发电厂。

燃气轮机发电厂用液体燃料或气体燃料通过燃气轮机转变为机械能，然后带动发电机发电。燃气轮机的绝热压缩、等压加热、绝热膨胀和等压放热等四个过程分别在压气室、燃烧室、燃气透平和回热器或大气中完成。大型燃气轮机的压气机为多级轴流式，中小型的为离心式。燃气透平一般为轴流式，在小型机组中有向心式的。燃气透平带动压气和发电机。燃气轮机组单机容量小的约为 10~20kW，最大的已达 140MW。热效率 30%~34%，最高达 38%。燃气轮机结构有重型和轻型两种，后者主要由航空发动机改装，由于它体积小、重量轻、启动快、安装快，用水少或不用水，能使用多种液体和气体燃料，在发电上多用于调峰。

3. 燃气—蒸汽联合循环发电厂 (combined gas and steam cycle plant)

燃气—蒸汽联合循环发电厂是把燃气轮机循环和蒸汽轮机循环以一定方式组合成一个整体的热力循环设施，使之既有燃气轮机的高温加热，又有蒸汽轮机的低温放热，从而得到较高的热效率。

20 世纪 60 年代以后，凝汽式发电站在提高效率方面遇到了障碍，平均效率稳定在 35% 左右，很难再提高。而这时以气或油为燃料的燃气—蒸汽联合循环电站的效率提高到了 55%~60%，造价降低到燃煤凝汽式电站的 1/2 左右，建设工期降到了几个月，呈现出良好的经济性能。

但是由于石油和天然气资源的日益短缺，已经越来越难以成为燃气轮机的可靠能源，在这种情况下，以煤为燃料的联合循环发电装置建立起来的煤气化联合循环发电厂 (In-

egrated Gasification Combined Cycle Plant, IGCC) 得到了世界各国的重视。这是一种用煤气为燃料的燃气轮机和蒸汽轮机联合在一起的发电厂。用煤炭气化后的燃气代替石油或天然气作为联合循环发电机组的燃料, 燃煤联合循环分为两类: ①煤气化联合循环; ②沸腾燃烧联合循环。它们可将高硫、高灰分、低热值的劣质煤气化(或沸腾炉燃烧), 经脱硫、除尘净化成清洁燃料, 供联合循环发电用。IGCC 示意图如图 1-5 所示。

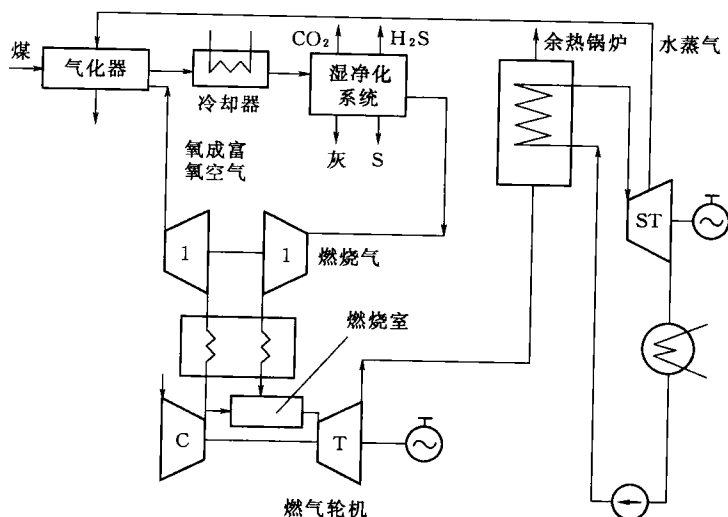


图 1-5 IGCC 示意图

IGCC 具有许多优点: ①热经济性高, 目前燃煤的试验机组的效率已达 40% 以上; ②能解决燃煤发电的环境问题; ③除了发电、供热外, 亦可供给化工原料——煤气。IGCC 对我国更是具有特殊的意义, 我国的一次能源特点是煤炭资源丰富而石油天然气资源少, 而 IGCC 正好可充分利用中国储量丰富的煤炭资源。其次, IGCC 适宜在少水或缺水的地区应用, 这对我国在煤多水少的西部地区发展电力工业无疑提供了新的途径。

通过增压锅炉燃烧技术实现燃气—蒸汽联合循环发电 (PFBC—CC) 是近年来发展起来的一个新技术。所谓 PFBC—CC 技术就是把燃气轮机的燃烧室与产生蒸汽的增压锅炉燃烧室集成为一体。锅炉采用增压燃烧方式, 强化燃料燃烧, 同时, 锅炉内的换热系数提高, 传热过程加快, 使锅炉的换热面减小。燃烧产生的燃气经过部分吸热后进入燃气轮机内做功; 在增压锅炉中产生的过热蒸汽则供到蒸汽轮机中去做功, 从而形成燃气—蒸汽联合循环, 达到进一步提高电站热效率的目的。PFBC—CC 技术具有燃气—蒸汽联合循环效率高的优点, 而燃用的却是十分普通的煤炭, 它同时又具有各种污染物排放量极低的 CFB 锅炉的种种优点。所以, PFBC—CC 被认为是 21 世纪主要的洁净燃烧技术之一。

4. 内燃机发电厂 (internal combustion engine power plant)

用内燃机驱动发电机的发电厂称为内燃机发电厂。内燃机发电厂分固定式和移动式两类。前者多用于工矿企业的自备电厂, 后者指汽车和列车电站。

内燃机有柴油机、汽油机和煤气机, 但由于汽油机和煤气机单机功率较小, 现在已经很少使用。

柴油发电机的燃料可以用轻柴油、重柴油、重油、油渣。柴油发电机的优点是体积小、重量轻、系统简单、投资少、启动快（从启动到带负荷只需1~2min）、效率高（可达30%~40%），操作维护简单、冷却水需要量小。缺点是只能用液体燃料，运行成本高，连续运行时间短，一般100h之后就需要维护等。

近年来为了提高柴油发电机的功率，大型低速柴油机得到青睐；为了提高其发电效率，也开始采用燃气蒸汽联合循环技术。

三、水是火力发电厂的两大生命线之一

上述各种类型的火电厂，虽然它们的运行都无一例外地需要水的参与，但只有以汽轮机为动力的火电厂是完全以水为工质的（燃气—蒸汽联合循环发电厂的蒸汽发电部分与汽轮机发电厂相同），水和燃料被称为这种类型火电厂的两大生命线。本书随后对火电厂用水与节水问题的讨论，若不加特殊说明，将仅限于以汽轮机为动力的火力发电厂。

以汽轮机为动力的火力发电厂，水以及水吸收热能后生成的蒸汽在整个生产过程中起着以下几方面的作用：

（1）转换能量的作用。水是热力系统的工作介质。

（2）冷却的作用。水是汽轮机排出的蒸汽以及转动设备的轴瓦等的冷却介质，冷却汽轮机排出的蒸汽的冷却水系统是火力发电厂用水量最大的用水系统。

（3）传输物质的作用。水是水力除灰排渣系统中的灰渣、湿法脱硫系统中的脱硫剂和副产品的传输载体。

（4）传递热能的作用。水或蒸汽是热电厂向热力用户提供热能的载热介质。

（5）清洁的作用。水在烟气净化系统（如湿式除尘器、湿法或半干法烟气脱硫系统）、扬尘控制措施（输煤系统、煤场及灰场喷淋等）中起着除尘、洗涤的功能。

（6）生产保障作用。水是保证电厂工作人员生活（如职工饮用、洗浴以及环境绿化）和生产安全（如消防）必不可少的物质。

总之，火电厂生产过程的各个环节，几乎都离不开水。

第二节 火电厂用水、排水与水量平衡

火电行业是国民经济中用水量最大的工业部门之一，一个百万千瓦电厂当采用直流冷却系统时，用水量约为 $40\text{m}^3/\text{s}$ ；当采用循环冷却系统时，全厂耗水量约为 $1\text{m}^3/\text{s}$ ，即大约 $8.6\text{万 m}^3/\text{d}$ ，相当于一个中等城市的用水量。火电厂的排水所含的污染物种类多，因此，火电厂的用水、排水与水资源的全面保护密切相关，随着水资源的日益紧缺，资源利用和环境保护法规的日益严格，用水、排水问题已经成为火电行业自身可持续发展的大问题。

一、火电厂的用水与排水系统

（一）火电厂的用水系统

火力发电厂的用水可以分为两大类：①生产用水；②生活用水。

生产用水主要包括热力系统用水（或称水汽循环系统用水）、冷却系统用水、供热系统用水、水力除灰排渣系统用水和烟气净化系统用水。

生活用水包括生活系统用水、消防系统用水、绿化施工系统用水等，如图 1-6 所示。

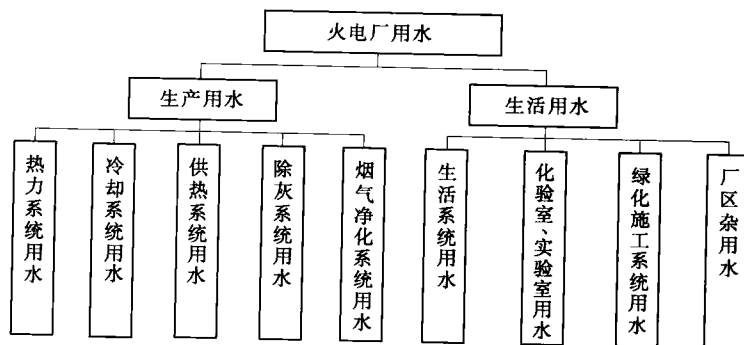


图 1-6 火电厂用水系统

(1) 热力系统。在该系统中，水在锅炉中被加热变成高温高压蒸汽，冲击汽轮机叶片做功后，在凝汽器凝结成水，然后重新进入锅炉。这部分水是循环利用的，所以又称水汽循环系统。但由于循环过程中不可避免会有一部分水汽消耗，所以需要不断有水来补充。

(2) 冷却水系统。火力发电厂的凝汽器和其他转动机械的轴承都需要用大量的冷却水冷却，冷却水系统是电厂最大的用水系统。其中又以凝汽器冷却水用水量最大。在采用循环冷却系统的电厂，冷却水由于风吹、蒸发、泄露等原因消耗掉的部分需要不断予以补充。

(3) 水力除灰排渣系统。水力除灰排渣系统是用水将收集的炉膛、除尘器、空气预热器、省煤器灰斗等处落下的细灰和炉渣清除、输送出去的一套设施，水力除灰排渣系统是火力发电厂第二大用水系统。

(4) 烟气净化水系统。为了保护大气环境而建的湿法除尘、湿法脱硫设备，都需要有大量水的参与。20 世纪七八十年代我国火电厂广泛采用的湿式除尘器，用水量十分可观（但现在大都已被干式除尘器——电除尘器、布袋除尘器代替）。进入 21 世纪后，湿法脱硫工艺在我国的推广应用，成为燃煤电厂一个新的用水系统。

(5) 供热系统。在热电厂中，无论是采用蒸汽供热，还是采用热水供热，水都是不可或缺的载热介质。供热过程中消耗的水量需要随时补充。

(6) 生活用水和消防水系统。保障电厂职工生活、环境清扫和绿化施工、消防系统的用水，也是电厂整个供水系统的重要功能之一。另外，厂区工业杂用水，如厂区和主厂房的杂用水等也属于这一用水系统。

(二) 火电厂的排水系统

火力发电厂（主要指燃煤火电厂）的排水可分为经常性排水和非经常性排水两大类，经常性排水又有连续性排水和间断性排水之分。

1. 经常性排水

经常性排水项目主要有以下几种：

- (1) 主厂房内生产排水。
- (2) 化学水处理装置排水。
- (3) 循环冷却水排污水。
- (4) 辅助设备和机械的冷却水排水。
- (5) 锅炉排污水。
- (6) 冲灰(渣)水排水。
- (7) 烟气脱硫系统排水。
- (8) 生活污水。

2. 非经常性排水

非经常性排水项目主要有以下几种：

- (1) 设备事故检修排水。
- (2) 循环水管沟检修排水。
- (3) 锅炉化学清洗排水。
- (4) 输煤装置冲洗排水。
- (5) 雨水排水。
- (6) 下联箱定期排污。

这里所涉及的排水是指各用水系统的排水，与整个电厂的外排废水有着不同的含义。外排废水量与电厂各用水系统对废水的重复使用程度有关，只有当所有用水系统的排水都没有重复使用时，外排废水量才等于各用水系统的排水量之和。现在通过对废水重复使用和最终处置，有些电厂已能做到全厂没有外排废水，被称之为“零排放”。

二、火力发电厂的耗水与供水

取水量、用水量、排水量和耗水量是火电厂水务管理中的几个重要概念，其中，容易混淆的是用水量、耗水量、取水量，搞清楚他们的概念，对水务管理十分重要。

1. 火力发电厂水的取水量、用水量、排水量和耗水量

(1) 取水量。火力发电厂的取水量是指电厂为保证其正常运行（包括生产和生活）需从各种水源引取的新鲜水量。

在国家标准《工业企业产品取水定额编制通则》(GB/T 18820—2002)中，取水量定义为企业生产单位产品需要从各种水源提取的水量，它包括取自地表水（以净水场供水计量）、地下水、城镇供水工程以及企业从市场购得的其他水或水的产品（如蒸汽、热水、地热水等），但不包括企业自取的苦咸水、海水等以及企业外供给市场的水的产品而所取的水量。

取水量是考核企业用水与节水水平的重要指标之一。

对火电厂而言，自2005年1月1日起开始执行的国家标准《取水定额第1部分：火力发电》(GB/T 18916.1—2002)中，提到了4个取水量的概念，即热季最大取水量 V_h 、某段时间内的总取水量 V_i 、发电装机取水量 V_c 和单位发电量取水量 V_w 。它们的定义分别为：

- 1) 热季最大取水量 V_h ，是指机组在夏季单位时间内的总取水量，单位为 m^3/s ；

2) 某时间段内取水量 V_t , 是指在一定计量时间内生产过程中取水总量, 单位为 m^3 ;

3) 发电装机取水量 V_c , 是指单位装机在单位时间内的取水量, 这是针对设计火电企业时使用的, 是体现火电厂最大取水能力的一个指标, 单位为 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{GW})$, 计算方法为:

$$V_c = V_h / N \quad (1-1)$$

式中 N ——装机容量, GW 。

4) 单位发电量取水量 V_w , 是指在某一时间段内, 每发 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 的电所取用的水量, 这是评价火力发电厂用水和节水技术水平的一个量, 它与发电厂的生产工艺、技术装备水平和管理水平有关, 单位为 $\text{m}^3/(\text{MW} \cdot \text{h})$ 。计算方法为:

$$V_w = V_i / Q \quad (1-2)$$

式中 Q ——在该计量时间内的发电量, $\text{MW} \cdot \text{h}$ 。

(2) 用水量。完成火力发电厂全部生产过程所需要的各种水量的总和, 也可以说是主要生产用水量、辅助生产用水量和附属(生活)生产用水量之和。

用水量还可以说是取水量与重复利用水量(例如: 冷却水循环量)之和, 即

$$\text{用水量} = V_r + V_i \quad (1-3)$$

式中 V_r ——所有重复利用的水量, m^3 。

只有在没有重复利用的水量时, 用水量才等于取水量。

(3) 排水量。火电厂使用过后又排放回天然水体或市政排水系统的水量称为排水量。

电厂的排水量除与用水量、用水损失、蒸发量有关之外, 还和电厂所处地理位置、用水工艺及管理水平的因素有关。它直接涉及到排水工程及废水治理排放或再用的规模和投资, 是电厂建立水平衡的重要内容, 建立不同形式、不同容量机组、处于不同地区、不同用水工艺和水平的规范化排水量, 对排水的集中或分散处理、排水的再用及水平衡的建立都具有重要意义。

(4) 耗水量。火电厂正常运行过程中耗损的水量称为耗水量。是生产过程中由于蒸发、飞散、渗漏、风吹、粉煤灰或污泥带走等途径直接消耗的各种水量和直接进入产品的水量及职工生活耗水量的总和。这部分水量从狭义上讲是不能直接回收再利用的水量。

耗水量可用取水量减去废(污)水排放量求得。

取水量、用水量、耗水量和排水量是电厂设计、运行考核中几个重要的指标, 搞清楚它们的区别与联系是很有必要。比如, 对于考核指标为万元产值取水量和单位产品取水量, 而不应把其叫做“万元产值耗水量”和“单耗”。同时, 也不可以把“消耗新鲜水量”、“耗新水量”简化成“耗水量”。把某些取水量大、用水量大的工业、行业或单位称为“高耗水工业”、“高耗水行业”、“高耗水企业”或“高耗水单位”都是不严格的。

2. 火力发电厂水的消耗

火电厂水的消耗包括循环冷却水损失、除尘除灰排渣水损失、热力系统汽水损失、化学水处理系统水损失、厂区工业水损失和生活、消防水损失。

(1) 循环冷却水损失。循环冷却水损失主要由蒸发损失、排污损失、风吹损失和泄露损失组成, 最多可占全厂耗水量的 70%。

(2) 除尘、除灰、排渣用水损失。除尘、除灰、排渣用水损失与除尘、除灰、排渣方式以及系统形式有关,不同的方式和系统形式其用水损失有很大差别,可以在占全厂耗水量 10%~45% 的范围内变化。

(3) 热力系统的汽水损失。热力系统的汽水损失主要包括:在锅炉部分有锅炉排污放水、锅炉安全门和过热器放汽门的排汽损失、用蒸汽推动附属机械(如汽动给水泵)的消耗、蒸汽吹灰和燃烧液体燃料(如油)时采用蒸汽雾化法的蒸汽消耗等;在汽轮机部分有轴封处的连续向外排汽,在抽气器和除氧器排气口处也会随空气排出一些蒸汽;此外还有各种水箱的溢流和热水的蒸发、管道系统法兰盘连接处不严密和阀门泄露等。凝汽式发电厂在正常运行情况下,热力系统的汽水损失总量不超过锅炉额定蒸发量的 2%~4%。例如额定蒸发量为 1000t/h 蒸汽的锅炉,其汽水损失总量不超过 20~40t/h。

对于热电厂还有供热系统的汽水损失,这部分的汽水损失,一般情况下为热网水量的 1%。但是用蒸汽做载热介质供热时,送出的蒸汽往往大部分不能回收。

(4) 化学水处理系统水损失。化学水处理系统在运行过程中要消耗掉一部分水量,主要有酸碱废水、澄清池排渣水和过滤器反洗水,称之为化学自用水损失。其水量和水处理方式有关,可占全厂水损失的 1%~3%。

(5) 厂区工业用水损失。厂区工业用水损失是指生产区内的维修、清扫、防尘等用水消耗,如机械加工过程的冷却用水、空气预热器的冲洗用水等。一般占电厂水损失的 3% 左右。冲洗除尘用水的耗水率可按其用水量的 40% 考虑。

(6) 生活、消防水损失。和生产用水的损失相比,生活用水量消耗较少,约占电厂总耗水量的 2%~4%;消防用水损失不定,视情况不同而不同。

这里有两点需要指出:

(1) 以上所列的水量消耗比例并不是绝对的,先进节水技术的采用以及先进的水务管理方法的实施,可以使水量消耗大大降低,比如通过将生活污水处理后再利用、将循环冷却排污水引入冲灰排渣系统二次利用、安装收水器将冷却塔的风吹损失的大部分回收等措施,均能大大减少水量消耗。

(2) 以上所列的水量消耗没有把直流冷却水考虑在内,原因是直流冷却系统的冷却水经过电厂基本没有水量的损失,而且一般认为其水质也基本上未发生变化,温度的升高通过技术处理也可以控制在允许的范围内,因此在有关统计中均不把直流冷却水计入水量耗损(以后列举的相关数据都是以这种计算方法为基础的)。

但是,还需要指出的是,直流冷却水在作为冷却介质后所发生的变化并不能因此而忽略不管,尤其是对温度升高所造成的影响一直是火电厂的设计和运行中需要十分重视的问题。关于其影响和对策将在后面进行讨论。

三、火力发电厂的水量平衡

水量平衡测试是加强用水管理,最大限度节约用水的一项基础工作。图 1-7 是一个 1200MW 循环供电电厂的全厂水量平衡图。

就目前我国大型火电厂的运营水平而言,采用直流供水系统时,一个装机为 1000MW 的火力发电厂所需要取用的新鲜水量约为 35~40m³/s,采用循环供水系统时,