

火电厂污废水利用 技术及应用

范辉 夏彦卫 龙潇 刘克成 编著

HUODIANCHANG WUFEISHUI LIYONG
JISHU JI YINGYONG



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

火电厂污废水利用 技术及应用

范辉 夏彦卫 龙潇 刘克成 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书根据当前火电厂污废水利用现状,结合编者在近几年工作中遇到的火电厂污废水利用情况编写而成。本书共五章,内容主要包括概述、火电厂污废水来源及再利用途径、城市污水回用于火电厂的处理、火电厂废水减排技术,以及火电厂污废水利用常见问题及对策。

本书主要供从事电厂化学工作的技术人员阅读,还可供从事水质科学与技术、电厂化学、环境工程、水务工程、给水排水等专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

火电厂污废水利用技术及应用/范辉等编著. —北京:中国电力出版社,2017.5
ISBN 978-7-5198-0018-5

I. ①火… II. ①范… III. ①火电厂-污水处理-研究②火电厂-废水处理-研究 IV. ①X773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 271422 号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:娄雪芳(010-03412375)

责任校对:太兴华

装帧设计:张俊霞 左铭

责任印制:蔺义舟

印 刷:三河市航远印刷有限公司

版 次:2017 年 5 月第一版

印 次:2017 年 5 月北京第一次印刷

开 本:787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张:10.5

字 数:247 千字

印 数:0001—1500 册

定 价:38.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

前 言

我国是一个水资源十分短缺的国家，火电厂是用水大户，也是排水大户，且废水中含有污染环境的污染物，虽然污染物的浓度不高，但由于排水量大使得排污总量较大，从而造成不同程度的环境污染。同时，用水和排水费用在电力生产成本中的比重也日益增加。因此，加大火电厂废水处理力度，提高水的重复利用率不仅具有社会效益，也具有十分重要的现实意义。

火电厂污废水利用是大势所趋，并已经开始进入高潮阶段，但是污废水利用的深度和广度仍然有待提高。有鉴于此，编者编写了本书，以起到抛砖引玉的作用，希望通过这本书能够和更多的火电厂建立沟通和联系，共同探讨火电厂污废水利用中的各种问题的处理和解决方案，为进一步提高火电厂污废水利用效率共同贡献力量。

本书根据当前火电厂污废水利用现状，结合编者在近几年工作中遇到的火电厂污废水利用情况编写而成。本书共五章，主要包括概述、火电厂污废水来源及再利用途径、城市污水回用于火电厂的处理、火电厂废水减排技术，以及火电厂污废水利用常见问题及对策。

全书的各种实例主要来源于河北省南部电网各大型火电厂运行实例，在此向各火电厂的化学部门主任及化学专责表示感谢。

限于编者水平，书中难免存在不妥和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者

2016年10月

目 录

前言

第一章 概述 1

 第一节 我国水资源介绍..... 1

 第二节 火电厂用水情况介绍..... 6

 第三节 火电厂用水及排水对环境的影响 18

第二章 火电厂污废水来源及再利用途径 22

 第一节 城市污水来源 22

 第二节 火电厂工业废水来源 22

 第三节 污废水资源化潜力及再利用途径 26

第三章 城市污水回用于火电厂的处理 29

 第一节 城市污水处理 29

 第二节 城市污水回用于火电厂的技术研究 42

 第三节 应用实例 85

第四章 火电厂废水减排技术 93

 第一节 火电厂废水分类及回用特点 93

 第二节 火电厂废水资源化技术 96

 第三节 应用实例..... 134

第五章 火电厂污废水利用常见问题及对策 136

 第一节 常见问题..... 136

 第二节 问题分析及对策..... 137

参考文献 161

第一章

概 述

第一节 我国水资源介绍

水是生命之源、生产之要、生态之基，是人类及一切生物赖以生存的自然资源，是环境改善不可替代的环境资源，是工农业生产和经济发展不可或缺的经济资源。随着水资源短缺在全球范围内的不断蔓延，水资源已成为全世界共同关注的焦点。

一、我国水资源分布

我国水资源的分布基本上分为四个区^[1]：潮湿区、湿润区、过渡区和干旱区。潮湿区在我国东南沿海地区，降水量丰富而蒸发量小，因而径流量大，水的含盐量低，硬度也低，属软水，水中主要化学组成为碳酸氢钙和碳酸氢钠等；湿润区为长江流域及以南地区，黑龙江和松花江流域之间的地区也属湿润区，该区降水充足，蒸发量不大，故径流量较大，由于区内降水充足，径流量大，所以含盐量一般不高，水中主要化学组成为碳酸氢钙类；过渡区为黄河流域及其以北地区，直到辽河流域，该区降水量较少，蒸发量较大，故径流量不大，水量贫乏，由于径流量小，水的含盐量较高，因而矿化度和硬度都较高，水中主要化学组成为碳酸氢钙类，但也有相当多的地方为碳酸氢钠类，甚至出现硫酸盐或氯化物类；干旱区为内蒙古和西北大片地区，该区降水量少而蒸发强烈，因此形成径流量很低的干旱地带，由于径流量小，土壤中可溶性盐含量高，所以水的含盐量和硬度都很高，水中主要化学组成是硫酸盐或氯化物类。

我国水资源的地区分布不均匀，南多北少、东多西少，相差悬殊，与人口、耕地、矿产和经济的分布不相匹配。根据 2013 年中国水资源公报统计，2013 年全国水资源总量为 27 957.9 亿 m^3 ，比常年值偏多 0.9%。从水资源分区看，北方 6 区水资源总量 6508.0 亿 m^3 ，占全国的 23.3%；南方 4 区水资源总量为 21 449.9 亿 m^3 ，占全国的 76.7%。从行政分区看，东部地区水资源总量 6130.3 亿 m^3 ，占全国的 21.9%；中部地区水资源总量 6748.3 亿 m^3 ，占全国的 24.2%；西部地区水资源总量 15 079.3 亿 m^3 ，占全国的 53.9%。北方 6 区供水量 2822.0 亿 m^3 ，占全国总供水量的 45.6%，南方 4 区供水量 3361.4 亿 m^3 ，占全国总供水量的 54.4%。南方省份地表水供水量占其总供水量比重均在 88% 以上，而北方省份地下水供水量则占有相当大的比例，其中河北、北京、河南、山西和内蒙古 5 个省（自治区、直辖市）地下水供水量占总供水量的二分之一以上。

专家指出，由于自然环境及高强度的人类活动的影响，北方的水资源进一步减少，南方水资源进一步增加。这个趋势在最近 20 年尤其明显。这就更加重了我国北方水资源短缺和南北水资源的不平衡。



二、我国水资源结构

(一) 降水量

2012年,全国平均年降水量达到654.8mm,折合降水总量为62 000m³。从水资源分区看,松花江、辽河、海河、黄河、淮河、西北诸河6个水资源一级区(简称“北方6区”)面平均降水量为322.6mm;长江(含太湖)、东南诸河、珠江、西南诸河4个水资源一级区(简称“南方4区”)面平均降水量为1244.3mm。

(二) 地表水资源量

2012年,全国地表水资源量26 377m³,折合年径流深278.6mm。从我国境外流入我国境内的水量为233亿m³,从国内流出国境的水量为6057亿m³,流入国际边界河流的水量为647亿m³,全国入海水量为16 101亿m³。

(三) 地下水资源量

2012年,全国矿化度小于等于2g/L地区的地下水资源量为8122亿m³,其中平原区地下水资源量为1736亿m³,山丘区地下水资源量为6683亿m³,平原区与山丘区之间的地下水资源重复计算量为297亿m³。2008年,全国平原区地下水总补给量为1806亿m³,其中北方6区平原地下水总补给量为1473亿m³,占全国总补给量的81.6%。北方平原区的降水入渗补给量、地表水体入渗补给量、山前侧渗补给量和井灌回归补给量分别占51.2%、36.3%、7.9%和4.6%。

三、我国水资源利用情况

(一) 全国用水总量

2011年,中国总用水量为6080亿m³,比上年增长1.0%。其中,生活用水增长2.5%,工业用水增长0.9%,农业用水增长0.8%,生态补水下降4.0%。万元国内生产总值用水量139m³,比上年下降7.3%。万元工业增加值用水量82m³,下降8.9%。人均用水量452m³,增长0.4%。

(二) 用水结构

解放初期,我国用水量不大,只有1031亿m³,主要消费在农业上(占97%),工业和城市生活用水分别只占2%和1%。现在,用水量增长了4.5倍,结构发生了很大的变化。农业灌溉用水占70%,农村生活用水占5%,工业用水占20%,城市生活用水占5%,从中可看出生产的发展、生活水平的提高,也反映了节约用水在各方面的巨大成就。

2011年,我国工业用水量为1424亿m³,占全国总用水量的23.4%;农业用水量为4193亿m³,占全国总用水量的69%;生态补水量为463亿m³,占全国总用水量的7.6%。

(三) 全国工业用水量

工业用水指工业生产中直接和间接使用的水量,利用其水量、水质和水温3个方面。主要用途是:①原料用水,直接作为原料或作为原料一部分而使用的水;②产品处理用水;③锅炉用水;④冷却用水。其中冷却用水在工业用水中一般占60%~70%。工业用水量虽然较大,但实际消耗量不多,一般耗水量约为其总用水量的0.5%~1%,即有90%以上的水量使用后经适当处理仍可重复利用。



2011年,我国工业用水量1424亿 m^3 ,同比工业用水增长0.9%,约占全国总用水量的23%。

四、我国水资源短缺现状

我国是一个干旱缺水严重的国家。我国的淡水资源总量为28000亿 m^3 ,占全球水资源的6%,仅次于巴西、俄罗斯和加拿大,名列世界第四位。但是,我国的人均水资源量只有2200 m^3 ,是全球人均水资源最贫乏的国家之一,人均水资源占有量仅为世界平均水平的1/4,是美国的20%,俄罗斯的15%。然而,中国又是世界上用水量最多的国家。仅2013年,全国总用水量6183.4亿 m^3 ,全国人均综合用水量456 m^3 ,万元国内生产总值(当年价)用水量109 m^3 。

按国际上现行标准人均年拥有水资源量在1000~2000 m^3 时,会出现缺水现象;少于1000 m^3 时,会出现严重缺水的局面。我国黄河、淮河、海河流域(片)人均水资源占有量为350~750 m^3 ,松辽流域(片)人均水资源占有量只有1700 m^3 ,这些地区的用水紧张情况将长期存在。

按照国际公认的标准,人均水资源低于3000 m^3 为轻度缺水;人均水资源低于2000 m^3 为中度缺水;人均水资源低于1000 m^3 为严重缺水;人均水资源低于500 m^3 为极度缺水。中国目前有16个省(区、市)人均水资源量(不包括过境水)低于严重缺水线,有6个省、区(宁夏、河北、山东、河南、山西、江苏)人均水资源量极度缺水线。中国水资源总量并不算多,排在世界第6位,而人均占有量更少,仅为2240 m^3 ,在世界银行统计的153个国家中排在第88位。

五、我国水资源短缺原因

(一) 社会、自然原因

1. 人均水资源少

据对我国30个省当地水资源分析,接近联合国公布的2000 m^3 警戒线的有18个省(自治区、直辖市),其中10个省人均水资源占有量低于1000 m^3 。

2. 水资源分布极不均衡,与土地、矿产资源分布组合不相适应

全国水资源的81%集中分布在长江及其以南地区,该地区耕地面积仅占全国的36%;而淮河及其以北地区,耕地面积占全国的64%,水资源量仅占全国的19%。华北地区已探明的49种主要矿产资源的潜在价值占全国的41.2%,而水资源只占4.7%;江南地区矿产资源仅占全国的10.2%,而水资源却占全国的42.6%。因而形成了南方耕地矿产少,水量有余;北方耕地矿产多,水资源短缺的局面。

3. 水资源年内年际变化大

降水及径流的年内分配集中在夏季的几个月中,年际变化很大,连丰、连枯年份交替出现,造成一些地区干旱灾害出现频繁、水土流失严重和水资源供需矛盾突出,以及开发利用困难等问题。

(二) 经济、人为原因

1. 供水增长、防治水污染力度与社会经济发展不相协调

1978年以来,我国经济高速发展,工农业生产和城乡人民生活用水需求急剧增长,



但供水总量增长缓慢。

2. 用水设施落后, 用水水平与国外先进水平相差较大

我国灌区大多是三、四十年前, 有的甚至是几百年前修建的, 标准低、老化失修、配套不全, 一直沿用传统的“上渠输水, 大水漫灌”的古老方式, 水的浪费十分严重。灌溉用水中有近一半在输水过程中就渗漏损失掉了, 进入田间的另一半水, 由于采用大水漫灌又有近一半渗漏、蒸发了。也就是说, 现在全国用水中的大部分被损失了。国外先进的国家早在二十世纪四五十年代就开始采用节水灌溉, 我国灌区的状况与发达国家相比落后了 30~50 年。

上述不利特点, 使我国在发展经济时, 比其他国家保障水资源可持续利用的任务更为艰巨。

六、我国应对水资源现状的对策

(一) 提高水的利用率, 开辟第二水源

1. 降低工业用水量, 提高水的重复利用率

降低工业用水量的主要途径是改革生产用水工艺, 争取少用水, 提高循环用水率。如炼钢厂用氧气转炉代替老式平炉, 不但提高了钢的质量, 而且用水量降低了 86%~90%。现在世界上许多工业发达的国家都把提高工业重复用水率作为解决城市用水困难的主要手段, 有的国家还铺设了专门供工业循环用水的管道, 效果很好。我国近几年来, 对水的重复利用也逐步开展起来。在一些水源特别紧张的城市, 水的重复利用率已达到较高水平, 如大连市为 79.5%, 青岛为 77.3%, 太原为 83.8%, 但整体水平还较低, 平均工业用水重复利用率仅为 20%~30%。如果把全国工业用水的平均重复利用率从目前的 20% 提高到 40%, 则每天可节水 1300 万 t, 相应地节省供水工程投资 26 亿元, 节水量和经济效益都是相当可观的。

提高工业用水重复利用率, 不仅是合理利用水资源的重要措施, 而且减少了工业废水量, 减轻了废水处理量和对水体的污染。

2. 实行科学灌溉, 减少农业用水浪费

全世界用水的 70% 为农业灌溉用水, 但其利用率很低, 浪费严重。据估计, 全世界有 37% 的灌溉水用于作物生长, 其余 63% 都被浪费掉了。因此, 改革灌溉方法是提高用水效率的最大潜力所在。

渠道渗漏是世界各国在发展灌溉事业时遇到的共同问题。据国际灌溉排水委员会的统计, 灌溉水渗漏损失量一般为 15%~30%, 高的甚至达到 50%~60%。我国渗漏损失一般为 40%~50%, 高的甚至达到 70%~80%。由于大部分灌区的渠道没有防渗措施, 我国南方长江、珠江、东南沿海等地渠道水利用系数平均为 0.6, 其他各片为 0.5。估计全国渠道渗漏损失的水量超过 1700 亿 m^3 。因此, 防渗渠道和暗管输水等工程技术应用可得到明显的节水效果。

灌溉方式的改进, 是农业节水的重要途径。20 世纪 60 年代在以色列发展起来的滴灌系统, 可将水直接送到紧靠植物根部的地方, 以使蒸发和渗漏水量减到最小。当前, 国外灌溉节水技术的发展趋向是采用完整的灌溉排水管道系统, 它具有能源消耗少、输水快、配水均匀、水量损失小、不影响机耕等优点。此外, 一些国家还研究了新的灌溉技术, 如



涌流灌溉、水平畦田灌溉、采用自动升降竖管等。内布拉斯加农业和自然资源研究所设计了一种灌溉计算机程序,利用各小型气象站收集来的数据计算各地区生长的不同作物的蒸发蒸腾率,指导农民调整灌溉日期。自动灌溉技术,利用计算机控制流量、监测渗漏、调节不同风速和土壤湿度条件下的用水量,并使肥料用量最佳化。我国最新的研究表明,覆盖滴灌对水的利用效率更高,是适合干旱半干旱地区的新型灌溉技术。

3. 回收利用城市污水,开辟第二水源

回收和重新使用废水,使其变为可用的资源是另一种提高水使用效率的方法。在东京,城市水回收中心通过三级水处理厂慢沙过滤回收废水,氯化消毒后用于冲洗高层建筑的厕所。北京也曾修建过类似的“中水道”系统。

(二) 调节水源流量,增加可靠供水

前述水资源紧张的第一个原因是自然条件的影响,如气候、地理位置,淡水分布不均匀等问题。人们试图通过调节水源流量、开发新水源的方式加以解决。

1. 建造水库

建造水库调节流量,可将丰水期多余水量储存在库内,补充枯水期的流量不足。这样不仅可提高水源供水能力,还可为防洪、发电、发展水产等多种用途服务。目前,各国在江河上建造的库容超过 1 亿 m^3 的水库共有 1350 个,总蓄水量达到 4100 km^3 。

然而,在很多工业发达国家,随着建库地址的选择日益困难,增加新蓄水设施的成本迅速提高,水库发展的速度明显减慢了。发展中国家的水库建造仍处于全盛时期。在建库时,还必须研究对流域和水库周围生态系统的影响,否则会引起不良后果。

2. 跨流域调水

跨流域调水是一项耗资昂贵的增加供水工程,是从丰水流域向缺水流域调节。由于其耗资大、对环境破坏严重,许多国家已不再进行大规模的流域间调水。巴基斯坦的西水东调工程和澳大利亚的雪山河调水工程,以及我国近年来相继完成的引黄济青、引滦入津和引滦入唐等工程都是从丰水流域向缺水流域供水的大工程。

3. 地下蓄水

目前,已有 20 多个国家在积极筹划人工补充地下水。在美国,加利福尼亚的地方水利机构每年将 25 亿 m^3 左右的水储存在地下。在荷兰,实现人工补给地下水后,解决了枯水季节的供水问题,每年增加含水层储量 200 万~300 万 m^3 。

4. 海水淡化

海水淡化可解决海滨城市的淡水紧缺问题。目前,世界海水淡化的总能力为 $2.7 \text{ km}^3/\text{a}$,不到全球用水量的 1‰。沙特阿拉伯、伊朗等国家海水淡化设备能力占世界的 60%,在沙特阿拉伯还建造了世界上最大的淡化海水管道引水工程。

5. 拖移冰山

此工程在近期内还不可能实现,仍处于计划阶段。据估计,南极的一小块浮冰就可获得 10 亿 m^3 的淡水,可供 400 万人一年的用量。

6. 恢复河、湖水质

采用综合防治水污染的方法恢复河湖水质,即采用系统分析的方法,研究水体自净、污水处理规模、污水处理效率与水质目标及其费用之间的相互关系,应用水质模拟预测及评价技术,寻求优化治理方案,制订水污染控制规划。采用这种方法治理的



河流,如美国的特拉华河、英国的泰晤士河、加拿大的圣约翰河等水质都得到恢复,增加了淡水供应。

7. 合理利用地下水

地下水是极重要的水资源之一,其储量仅次于极地冰川,比河水、湖水和大气水分的总和还多,但补给速度慢,人类对其的过量开采将引起许多问题。在开发利用地下水资源时,应采取以下保护措施:①加强地下水源勘察工作,掌握水文地质资料,全面规划,合理布局,统一考虑地表水和地下水的综合利用,避免过量开采和滥用水源;②采取人工补给的方法,但必须注意防止地下水的污染。

第二节 火电厂用水情况介绍

一、水在火电厂中的作用

无论何种类型的火力发电厂(简称“火电厂”),其运行无一例外都需要水的参与。以汽轮机为动力的火电厂,水及水吸收热量后生成的蒸汽在整个生产过程中起着以下几方面的作用^[2]。

(1) 转换能量。水是热力系统的工作介质。

(2) 冷却。水是汽轮机排出的蒸汽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电厂用水量最大的用水系统。

(3) 传输物质。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。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。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)中起着灰尘、洗涤的功能。

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

总之,火电厂生产过程中的各个环节几乎都离不开水。

二、火电厂用水类型

火电厂用水分为天然水源和非常规水源两种,其中天然水源主要有地表水和地下水两种^[3],非常规水源主要有城市中水、矿井疏矸水和海水等。

(一) 地表水

地表水包括各种河流、湖泊、水库、泉水等。地表水源主要来自降雨、冰雪融水及浅层地下水渗出等。地表水水质受环境影响较大,极易发生变化。除地质条件对地表水水质有影响外,空气中的氧气、二氧化碳、扬尘等都会溶入地表水中,其中有机物和悬浮物是地表水最容易变化的指标。由于存在方式不一样,河流与湖泊在许多方面有各自的特点。

1. 江河水的特点

(1) 江河水的溶解气体。河水通常处于运动状态,与空气接触充分,故溶解氧气和氮



气较丰富。未污染河流中生物不多,因此,溶解氧主要受温度和海拔高度影响,含量接近饱和。

夏季大型水库溢洪放水时,放出大量温度低且为溶解气体已饱和的库水,这些水在大坝以下河道中温度迅速上升,可能造成水中溶解气体的过饱和。

(2) 江河水的离子组成。世界各地河水所含主要离子种类相同,阳离子为 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ ,阴离子为 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- ,即通常所说八大离子。多数河流主要离子中以 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 含量最高,属碳酸盐类钙组水。在含盐量较高的河水中,也存有硫酸盐类或氯化物类钠组类型河水。较多河水中主要离子含量大致有以下顺序:

阳离子: $\text{Ca}^{2+} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{2+}$

阴离子: $(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$

东南沿海各河流,全年以重碳酸盐类钙组或钠组水为主,只是主要离子比例关系有所不同。对于长江、黄河等大河,上游一般为 $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < \text{HCO}_3^-$ 或 $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) > \text{HCO}_3^-$,下游则以 $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) > \text{HCO}_3^-$ 为主。滨海河口段随潮位变化,化学类型常在氯化物类钠组和重碳酸盐类钙组之间波动。西北河流化学类型季节变化显著,汛期属重碳酸盐类或氯化物类钠组或硫酸盐类,枯水季节则属硫酸盐类或氯化物类。

江河水 pH 值一般为 6.5~8.5,冬季稍低,夏季稍高。河水中的有机物主要来自集水区土壤与人类活动排废。植被较好的集水区与城市下游河水有机物较多。河水流动特点使其水质垂直分布均匀,混浊度较大。若支流水质不同,则不同区段水质将有差异,其类型也可能变化。河水受污染后,污染物分解、转化将使河流不同区段化学组成、水质状况有所变化。

(3) 江河水的含盐量。不同河水含盐量可能有较大差异,但多数河流含盐量较低。我国南方与东北河流含盐量多低于 200mg/L,有的仅 30~50mg/L,高者超过 1000mg/L,极少数河水每升高达数千毫克。世界河水平均含盐量仅约 120mg/L。以地下水补给的河流含盐量较高。

(4) 江河水的营养盐。通常江河水中的营养盐含量均不高。一般清洁河水 NO_3^- -N 为 0.1~0.5mg/L, NH_3 -N 含量低于 0.1mg/L;受污染河水, NO_3^- -N 与 NH_3 -N 含量将大幅度增加, NO_3^- -N 高于 5~10mg/L, NH_3 -N 每升可增至数毫克。如我国珠江水系河流有效氮以 NO_3^- -N 为主,占有效氮的 52.1%~87.6%。 NO_3^- -N 含量变化范围相当大(0~500mg/L)。清洁江河水活性磷一般为 0.05~0.1mg/L,但若受人类活动影响,河流某一区段磷含量可能显著增加。

由于江河水主要来源于雨雪,受地理位置、季节的影响很大。南方降雨频繁,河水水量充沛,北方雨水少,河水流量冬夏相差很大,旱季许多河流断流,严寒地带,冬季河流封冻,输水和取水困难。水质方面与地下水有截然不同的特点,水中杂质含量较高,浊度高于地下水。河水的卫生条件受环境的影响很大。未经处理的生活污水和工业废水的排放、各种有机物、微生物、有害细菌、病毒,以及无机矿物质、重金属、酸、碱性物质等大量存在,常使河流受到不同程度的污染。一般来讲,河流上游水质较好,下游水质较差,流量大时,污染物得到稀释,水质稍好,流量越小,水质越差。水的温度季节性变化



很大。用地表水做水源，一般都需经过混凝、沉淀、过滤等处理，污染严重的还要进行深度处理，但地表水的矿化度、硬度及铁锰的含量一般较低。

2. 湖水及水库水的特点

相对于河流来讲，湖水的水流迟缓，没有整体水的置换，更新期比河流长。湖泊与河床的接触时间较长，这样会增强湖水对湖盆中的岩石、土壤的溶蚀作用。同时，湖水的水面宽广，蒸发量较大，盐分留在水中逐渐被浓缩。

(1) 含盐量。湖水含盐量差异较大，潮湿多雨区，湖水含盐量很低，矿化度在 50mg/L 左右。含盐量高的矿化度超过 35mg/L，甚至达到 100mg/L 以上，称为盐湖。含盐量低的咸水湖仍有渔业价值，而一些盐湖水具有工业价值。

(2) 主要离子。通常湖水和水库水的阳离子以钙离子含量最高，阴离子以碳酸氢根含量最高。

由于受地理位置和自然条件影响，中国湖水离子组成的地区差异较大。淡水湖阴离子以重碳酸根为主，约占阴离子总毫摩尔数的 70.51%，属重碳酸盐型，如鄱阳湖水为重碳酸钾钠型和重碳酸钙型两种类型。 Cl^- 和 SO_4^{2-} 含量分别为阴离子总毫摩尔数的 12.36% 和 1.53%。

咸水湖 Cl^- 含量较高， SO_4^{2-} 次之，分别占阴离子总毫摩尔数的 34.49% 和 27.63%，但变幅较大。阳离子 ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) 占首位，约占总毫摩尔数的 78%， Mg^{2+} 次之，占 20%。盐湖卤水化学性质与咸水湖类似，阴离子以 Cl^- 居首，约占 80%； SO_4^{2-} 次之，约 12%。阳离子以 Na^+ 、 K^+ 为主，约占 81%； Mg^{2+} 次之，约占 16%。

(3) pH 值与溶解氧。中国湖水 pH 值最高为 9.6，最低为 4.4。除白洋淀、镜泊湖 pH 均值接近地表水范围 (6.5~8.5) 上限值外，其余湖水 pH 为 7.6~8.2，呈中性或微碱性，如位于内蒙古的无梁素海与湖南省的洞庭湖 pH 值分别为 7.0~8.5 与 7.7~8.0。水库 pH 值也基本如此，如北京密云水库与辽宁大伙房水库 pH 值分别为 7.9~8.5 与 7.0~8.9，水质呈弱碱性。湖水 pH 值地区分布特点是东北及长江中下游地区湖泊 pH 值 (6.5~8.3) 较低，呈中性或微碱性；云贵和黄淮海地区湖泊次之，pH 值为 8.4~9.0，呈弱碱性；蒙新、青藏地区除少数湖泊 pH 值在 7.5 左右，呈微碱性外，绝大多数地区 pH 值都大于 9.0，呈碱性或强碱性。

中国湖水溶氧一般大于 7mg/L。如鄱阳湖、洞庭湖和太湖等溶氧均值达 8.2~10.3mg/L，说明我国湖泊水质的溶氧状况良好。但由于工业废水和生活污水的注入，使一些湖泊局部水域溶氧状况较差，如洪泽湖、南四湖等已低于 4mg/L。

(4) 营养盐与有机物。湖水营养元素动态与河流相似，冬季浮游植物量低，有机物的矿化作用使水中氮、磷增加，春夏季水中营养元素含量相应减少。与河流不同之处在于湖中夏季常有温度分层现象，表、底层中营养元素季节变化也有所不同。湖底层由于沉积物中有机质的分解，底层水营养元素含量较高。夏季底层水和冬、春季整个水体都可能出现较大值。表层水最低含量一般出现在温暖的春、夏季。我国湖泊、水库营养盐含量差别很大，大体有从西南地区往东北地区递增的趋势。多数湖泊、水库水硝酸态氮含量高于氨态氮，如珠江水系湖泊、水库硝酸态氮与氨态氮含量分别为 0.009~1.3mg/L、0~0.54mg/L。东北地区多数湖泊、水库水氨态氮含量高于硝酸态氮，如黑龙江兴凯湖总氮为 0.5~1.0mg/L。各地淡水湖都有不同程度富营养化趋势。



湖水有机物主要来自集水区及由水体初级生产所产生。湖泊、水库形态特点、集水区岩石、土壤和植被与集水区人口密度状况,以及水交换量等均影响湖泊营养盐及有机物含量。通常湖泊有机物需氧量低于 10mg/L 。贫营养湖有机物含量极少,富营养型湖泊水域较小,夏季浮游植物繁殖旺盛,水透明度较小,沿岸高等植物产量较高,湖中沉积物所含有机质较丰富。珠江水系湖泊化学需氧量(COD)一般较低,如锦江水库 $1.1\sim 3.0\text{mg/L}$,均值 1.6mg/L 。长江水系各水库、湖泊COD高于珠江水系,巢湖 $1.2\sim 2.4\text{mg/L}$,均值 1.8mg/L 。东北地区各水系湖泊高于珠江与长江水系湖泊,如黑龙江兴凯湖与鄱阳湖的COD分别为 $3\sim 10\text{mg/L}$ 、 $2.0\sim 2.8\text{mg/L}$ 。

(二) 地下水

1. 地下水的含盐量

地下水含盐量差别很大,低者小于 500mg ,高者达 $30\sim 50\text{g/L}$,甚至高至 $200\sim 300\text{g/L}$,可用来制盐。与大气降水、河水相比,地下水含盐量相对较高。同一地区不同埋藏深度的地下水,含盐量可能不同。有的地区地下水含盐量自上而下增加,依次出现淡水带、咸水带、盐水带、卤水带、浓卤水带,如四川盆地、江汉盆地。在干旱地区的柴达木盆地、塔里木盆地等也呈上述分布,只是缺少上部淡水带。有的地区自上而下出现的是咸水带、淡水带、咸水带及盐水带,如鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地及松辽盆地的中部、西部一带,均呈这一类型分布。在黄淮海平原地下水则多呈淡水—咸水—淡水三层分带。

浅层地下水(上层滞水与潜水)的含盐量受气候因素影响较大,与地表水含盐量关系密切。我国浅层地下水含盐量分布呈现与河流分布相似的趋势,东南沿海向西向北含盐量增加。在秦岭—淮河一线以南,浅层地下水主要靠溶滤作用形成盐分,这一带地下水含盐量很低。从东南沿海到云贵高原,潜水矿化度从约 0.2g/L 增至约 0.5g/L ,属碳酸盐类钙组,碳酸盐类钙镁组或碳酸盐类钠组。在秦岭—淮河以北的华北地区及西北地区,年降水量少于年蒸发量,潜水矿化度分布复杂,变化很大,水化学类型也有很大变化。在排水良好的山地,潜水矿化度较低(小于 $0.5\sim 1\text{g/L}$)。地下水排泄较差的矿化度则较高,从黄土高原的 $1\sim 5\text{g/L}$ 增加到西北地区荒漠地带的 $3\sim 10\text{g/L}$,个别潜水矿化度可达 $50\sim 300\text{g/L}$ 。东北地区潜水矿化度比华北地区低,分布着矿化度从 0.2g/L 左右的碳酸盐类钙组的淡水到 $1\sim 3\text{g/L}$ 的碳酸盐类、氯化物类钠组的微咸水。东部滨海的狭长地带,由于受海水影响,分布着矿化度较高的氯化物类钠组潜水。

2. 地下水的化学组成与性质

(1) 主要离子。含盐量低的地下水离子组成多以 HCO_3^- 与 Ca^{2+} 为主,有石膏地层的地下水含有丰富 SO_4^{2-} ,接近油田的地下中 SO_4^{2-} 含量减少。含盐量高的地下水,以 Cl^- 和 Na^+ 为主,并且常富含钾、硼、溴、锂和碘等元素。

(2) 溶解气体。

1) 溶解氧。地下水中溶解氧主要来自空气,随深度增加而逐渐减少,在较深地下水中缺乏溶解氧。地下水与大气隔离程度的不同,使各地地下水缺氧环境的起始深度也不同,可从几厘米、几十厘米深到数百米。氧分布的下限称为氧面,在氧面以上和以下的化学作用不同。氧面以上主要是氧化作用,可使变价元素以高价形式存在,同时使非氧化物(硫化物、砷化合物)变为氧化物。氧面以下为还原作用,引起硫化物沉淀。氧面深



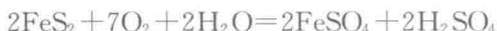
度变化取决于地下水面位置,地下水面位置又由区域气候条件、岩石透水性和地质构造等因素决定。氧面可从几米到 1km,甚至更深。

2) 二氧化碳。地下水游离二氧化碳含量较高,通常为 15~40mg/L,一般低于 150mg/L,个别高于 1000mg/L。地下水二氧化碳来源于三方面:一是空气的溶解;二是生物对有机质的分解作用,使土壤空气中 CO_2 含量提高到 0.3% 左右;三是深层 CaCO_3 在高温下的分解产物。

3) 甲烷及其他。甲烷是由于有机物分解时各种生物化学作用的结果而积累在地下水中的。当水中存有硫酸根时,地下水溶解氮气量较丰富,此因水体中消耗氮气因素较少。据地下水惰性气体与氮气比值,可判断氮来源是空气或生物分解。在缺氧地下水中还含有 H_2S ,甲烷将促使硫化氢生成,此将使水中重金属转化成硫化物沉淀。

(3) 营养元素及有机物。地下水营养盐含量不高,有些地下水含有较丰富 NH_3 、 NO_3^- 及磷酸盐,这些成分多数是有机物分解矿化作用产物。油田水含氮很多,可高于 100mg/L。地下水含有机质较少。但某些上层滞水可能含较丰富腐殖质,如沼泽地带地下水。

(4) pH 值。地下水 pH 值变化幅度很大,低者可小于 1,高者达 11.5。pH<3 的地下水,多因水中存在游离硫酸,如黄铁矿氧化时就有硫酸生成:



如 pH 值为 3~6.5,则可能是游离 CO_2 与有机酸造成的;水中有 NaHCO_3 、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 时, pH 值呈中性及弱碱性; pH 值再高时,则多因水中有较多 Na_2CO_3 所致;有的地下热水 pH 值在 11 以上,多数地下水是中性和弱碱性。

(5) 地下水的微量与放射性元素。

1) 微量元素。地下水微量元素主要有 Fe、Mn、F、Br、I、Cu、Ti、B、Li、Co 等。许多地下水含一定量 Fe^{2+} ,如江淮丘陵、江汉平原地下水中,铁离子大都超过饮用标准 (0.3mg/L),个别达 30mg/L。近铁矿的地下水中, Fe^{2+} 含量高于 40mg/L。如将含铁量过多的地下水大量注入鱼池,将使水中溶氧量降低,致使水中藻类等死亡。如地下水含有一定量溶氧,则其中低价元素(如 Fe、Mn、U 等)将被氧化成高价状态。尽管地下水微量元素含量极低,但其却如同在地表水中一样,对生物生命活动具有重要意义。

2) 放射性元素。地下水放射性元素主要有 Rn、Ra 与 U 等。当地下水与含有放射性元素的沉积岩、岩浆岩及变质岩相接触,可含一定量的氡。在岩石中有油矿石集中存在时,油矿床中氡含量高,但是沉积起源的铀矿床地下水中氡含量很小。地下水中的铀含量取决于铀在岩石中的分布状况及地下水化学成分。

(三) 城市中水

中水指各种排水经处理后,达到规定的水质标准,可在一定范围内重复使用的非饮用水,其水质介于清洁水(上水)与污水(下水)之间。中水能够代替非饮用、与人体非直接接触的自来水,应用于市政杂用等领域;将污水处理为中水并加以使用的过程就是中水回用。“中水”的定义有多种解释,在污水工程方面称为“再生水”,工厂方面称为“回用水”,一般以水质作为区分的标准。中水处理即是采用物理、化学及生物化学方法将城市污水或生活污水进行处理,使之达到一定水质要求,可在一定范围内重复使用。城市污水



经处理设施深度净化处理后的水（包括污水处理厂经二级处理再进行深化处理后的水和大型建筑物、生活社区的洗浴水、洗菜水等集中经处理后的水）统称“中水”。中水利用也称作污水回用。

（四）矿井疏矸水

矿井疏矸水是指采矿过程中所有渗入井下采掘空间的水，我国的矿井疏矸水以煤矿矿井水为主。据不完全统计，全国煤矿矿井排水量约 70 亿~90 亿 m^3 ，平均吨煤涌水量约

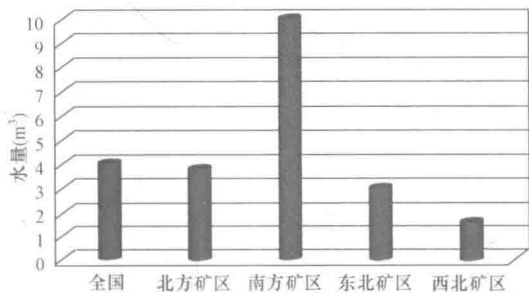


图 1-1 各地区矿井吨煤涌水量

4 m^3 ，但不同地区、不同煤矿的井下排水量有较大差异。我国北方矿区矿井水主要来自奥陶纪灰岩水（简称“奥灰水”）、煤系薄煤层灰岩水、煤系砂岩裂隙水、老空水、溶洞水、第四纪冲积层水等，平均吨煤涌水量约 3.8 m^3 。而我国南方矿区因受当地气候条件、地理环境等影响，矿井涌水量大，平均吨煤涌水量 10 m^3 左右。东北大部分矿井涌水主要来自第四纪冲积层水和二叠纪砂岩裂隙水，一般矿井吨煤涌

水量为 2~3 m^3 。西北的新疆、甘肃、陕西中部、宁夏、内蒙古西部地区矿井涌水量普遍较少，吨煤涌水量大部分在 1.6 m^3 以下^[4]。各地区矿井吨煤涌水量情况如图 1-1 所示，表 1-1 列举了不同地区几个煤矿井下排水量。

表 1-1 不同地区几个煤矿井下排水量

煤矿	年产原煤量 (万 t)	平均涌水量 (m^3/h)	最大涌水量 (m^3/h)	1t 原煤的排水量 (m^3)
古汉山矿	120	5040	—	30~41
巩义市新中矿	60	3018	4036	36~48.4
焦作演马庄矿	45	4080	14 400	65.15~230.4
山西潞安常村矿	400	500	800	1.1~1.44
河北峰峰万年矿	180	600	900	2.4~3.6
淮北朔里矿	150	240	287	3.4~4.1
杨村矿	120	2500~3000	—	12~18

1. 矿井水水质特征

煤矿矿井水本身的水质主要受当地地质年代、地质构造、各种煤系伴生矿物成分、所在地区的环境条件等因素的影响。当矿井水流经采煤工作面时，将带入大量的煤粉、岩粒等悬浮物，并受到井下生产活动等影响，矿井水往往含有较多的细菌；开采高硫煤时采煤层及其围岩中硫铁矿的氧化作用，使矿井水呈现酸性和高铁性等，所以不同煤矿的矿井水的水质有很大的差异。表 1-2 为我国不同地区矿井水的水质特征。



表 1-2 我国不同地区矿井水的水质特征

煤矿名称	pH	总硬度 (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	含盐量 (mg/L)	总铁 (mg/L)
阳泉、黄石、应城、义马	7~8	1069.9~1694	400~1300	>1000	
石嘴山矿务局一矿	5.5~5.8	1790	2315		100
浙江东风卡煤矿	1.2~2.6		2800~2900	>1000	800~1300
吴兴县干山煤矿	3.0~3.2				72~275
江苏川埠煤矿	<4.0		2000		174

2. 矿井水分类

根据矿井水含污染物的特性，一般可将其划分为洁净矿井水、含悬浮物矿井水、高矿化度矿井水、酸性矿井水、碱性矿井水及含特殊污染物矿井水。

(1) 洁净矿井水。洁净矿井水一般是指奥灰水、砂岩裂隙水、第四纪冲积层水及老空水等。主要分布在我国的东北、华北等地。此类矿井水水质好，pH 值为中性，硬度度与浊度较低，基本不含有毒、有害离子，有的还含有多种有益微量元素，可在井下涌水水源附近拦截汇聚，然后通过专用的管道引至井底，再经水泵排至地表，不用处理（或稍做消毒处理）即可直接用于生活用水。河北邢台煤矿矿井水即属于这种水体。

(2) 含悬浮物矿井水。含悬浮物矿井水是指除悬浮物、细菌及感观性状指标外，其他理化指标不超过我国生活饮用水卫生标准的矿井水。

含悬浮物矿井水的主要污染物来自矿井水流经采掘工作面时带入的煤粒、煤粉、岩粒、岩粉等悬浮物（SS）。因此，这种矿井水多呈灰黑色，并有一定的异味，浑浊度也较高，pH 值呈中性，含盐量小于 1000mg/L，金属离子含量微量或未检出，不含有毒离子。在正常情况下，矿井水一般要在井下水仓停留 4~8h，较大颗粒的煤粒、岩粒等产生沉淀后得到去除。取地面蓄水池矿井水分析表明，其 SS 的含量一般在 100~400mg/L，粒径 50 μ m 以下的约占 85%，颗粒物的平均密度为 1.2~1.3g/cm³。

含悬浮物矿井水的另一水质特征是细菌含量较多，主要来自井下工人的生活、生产活动，所以消毒杀菌在矿井水处理中非常必要。我国北方一些矿区（如平顶山、焦作、开滦、峰峰、郑州、邯郸）及华东、东北的大部分矿区的外排矿井水属这类矿井水，其水量约占我国北方部分重点国有煤矿矿井涌水量的 60%。目前，上述这些矿区生活生产用水均比较紧张，许多煤矿将这类矿井水当作用水水源加以处理。因这种矿井水的主要污染物是粒径极为细小的煤、岩粉，利用自然沉淀的方法去除这些悬浮物很困难，必须采用混凝沉淀的处理方法以实现悬浮物的去除。实践证明，含悬浮物的矿井水经混凝、沉淀、过滤、消毒等工序处理后，出水水质能达到我国生活饮用水水质标准要求。

(3) 高矿化度矿井水。高矿化度矿井水是指溶解性总固体高于 1000mg/L 的矿井水，其往往还含有较高的悬浮物、细菌，感观性状指标一般不能达到生活饮用水的标准。

据不完全统计，我国煤矿高矿化度矿井水的含盐量一般在 1000~3000mg/L，少量达 4000mg/L 以上。这类矿井水的含盐量主要来源于 Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺、SO₄²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻ 等离子，其硬度往往较高，有些矿井水含 CaO 可达 1000mg/L。受采煤等作业的影响，这类矿井水还含有较高的煤、岩粉等悬浮物，浊度大。据调查，这类矿井水水