



普通高等教育“十二五”规划教材

电厂水质分析

王罗春 赵晓丹 赵宏阳 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划

电厂水质分析

王罗春 赵晓丹 赵宏阳 编
曹顺安 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书内容主要分为三部分：第一部分主要介绍电厂用水的特性、水质指标、质量标准，以及水质分析的意义等；第二部分介绍水质分析的一般原则，主要包括水质分析总则、有效数字的修约和运算规则、标准曲线的绘制、分析结果的校核、课程报告书的格式；第三部分为实验部分，介绍每个分析项目的分析方法，内容包括方法来源、适用范围、实验原理、试剂与器材、分析步骤、分析流程、分析结果的计算，以及所涉及标准溶液的配制和标定。

本书可作为具有电力背景高等院校电厂化学等相关专业的本科教学用书，也可作为电力系统企业从事水质分析的工作人员培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电厂水质分析/王罗春, 赵晓丹, 赵宏阳编. —北京: 中国电力出版社, 2014. 4

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-5573-6

I. ①电… II. ①王… ②赵… ③赵… III. ①电厂供水-水质分析-高等学校-教材 IV. ①TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 035161 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 4 月第一版 2014 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 6.5 印张 115 千字

定价 12.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

如果火电厂用水长期不达标,可能会引起以下问题:锅炉水冷壁等受热面结垢、腐蚀或氢脆损坏,引起频繁爆管;给水管道的氧腐蚀严重,必须停炉停机更换;汽轮机轴封漏汽严重,造成汽轮机油乳化、被迫停机等。这些问题可能造成严重的后果,大大降低发电厂的经济性,有时还可能造成不可挽回的社会影响。

为了确保火电厂的安全运行,避免上述问题的发生,需要对电厂用水(包括原水、蒸汽、炉水、给水、汽轮机凝结水和循环冷却水等)进行监督。电厂水质监督包括在线化学仪表监测和人工采样分析两部分。

“电厂水质分析”是电厂化学专业重要的实践教学环节,涉及的内容主要是电厂水质监督中的人工采样分析部分,具体安排是集中两周时间对电厂原水水样进行一次系统、完整的分析测试,使学生初步接触专业知识。从毕业生的反馈来看,该课程的设置对学生专业课的学习及毕业后从事电厂水处理工作的帮助很大。

上海电力学院是全国仅有的三所以“电力”命名的本科院校之一,“电厂水质分析”教学实践环节与电厂化学专业一样,在上海电力学院已有60余年历史,但国内至今缺乏适合该课程的本科教学教材。基于此,编者针对上海电力学院以往采用的课程讲义,结合近几年教学过程中存在的问题,如学生一直采用坐标纸手工做图法绘制标准曲线,每个实验都要在黑板上板书实验流程等,编写了本书。

参加本书编写的有上海电力学院王罗春(第1~4章)、赵晓丹(第1、3章)和赵宏阳(第3章),全书由王罗春统稿。此外,研究生李亭承担了文献整理和文字输入工作,蔡毅飞、商洪涛、罗金鸣对本书的编写提出了宝贵的意见,武汉大学曹顺安教授负责本书的主审工作,在此一并致谢。

限于时间关系和作者水平,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2014年1月

目 录

前言

1 电厂用水	1
1.1 电厂用水的分类及其特性	1
1.2 电厂用水中的杂质及其危害	4
1.3 电厂用水的水质指标	7
1.4 电厂用水、汽质量标准	13
1.5 电厂用水水质分析的意义	24
1.6 电厂用水水质分析频率	27
2 水质分析一般原则	29
2.1 水质全分析总则	29
2.2 实验数据的有效数字及其运算规则	29
2.3 标准曲线的绘制及分析结果的计算	32
2.4 水质全分析结果的校核	37
2.5 课程报告书格式	40
3 锅炉用水和冷却水分析方法	44
3.1 pH值的测定	44
3.2 钠含量的测定(静态法)	47
3.3 电导电极常数及电导率的测定	50
3.4 浊度的测定	54
3.5 氯化物的测定	57
3.6 碱度的测定(指示剂滴定法)	62
3.7 硬度的测定	64
3.8 钙的测定	65
3.9 全铁的测定	66
3.10 溶解氧的测定	69
3.11 化学耗氧量的测定	71
3.12 硫酸盐的测定	79
3.13 游离二氧化碳的测定	82
3.14 全硅的测定	83

4 标准溶液的配制与标定 88

4.1 氢氧化钠标准溶液 $[c(\text{NaOH})=0.1\text{mol/L}]$ 88

4.2 硫酸标准溶液 $\left[c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)=0.1\text{mol/L}\right]$ 88

4.3 乙二胺四乙酸二钠 (EDTA) 标准溶液 $[c(\text{EDTA})=0.02\text{mol/L}]$ 89

4.4 硫代硫酸钠标准溶液 $[c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)=0.1\text{mol/L}]$ 90

4.5 硝酸银标准溶液 $[c(\text{AgNO}_3)=0.1\text{mol/L}]$ 91

4.6 高锰酸钾标准滴定溶液的配制与标定 92

附录 锅炉用水和冷却水分析方法中通用的规则 94

参考文献 96

1 电 厂 用 水

1.1 电厂用水的分类及其特性

电厂用水根据其部位和作用不同，一般可分为原水、给水、炉水、冷却水和排污水五种。

1.1.1 原水

原水又称生水、源水，泛指未经任何处理的天然水。

1. 原水的分类及其特性

电厂原水的来源，主要有江河水、湖水、地下水、海水和再生水五类。

(1) 江河水。江河水是水圈中最为活跃的部分，其化学组分具有多样性和易变性。江河水在时间和空间上都有很大差异，如一条河流水的化学组分在冬季和夏季可能有很大变化，在上游和下游也有很大差异。

表 1 - 1 所示为世界河水的平均化学组分。一般来讲，低含盐量水（小于 200mg/L）为碳酸盐型水质，阳离子以 Ca^{2+} 为主；较高含盐量水（大于 500mg/L）为硫酸盐型水质，阳离子以 Na^{+} 为主；高含盐量水（大于 1000mg/L）为氯化物型水质，阳离子也以 Na^{+} 为主。

表 1 - 1 世界河水的平均化学组分

主要离子 (mg/kg)		微量离子 (μg/kg)		
HCO ₃ ⁻	58.4	卤素	F ⁻	<1 (mg/kg)
SO ₄ ²⁻	11.2		Br ⁻	≈0.02 (mg/kg)
Cl ⁻	7.8		I ⁻	≈0.02 (mg/kg)
NO ₃ ⁻	1	过渡元素	V	≪1
Ca ²⁺	15		Ni	≈10
Mg ²⁺	4.1		Cu	≈10
Na ⁺	6.3	其他	B	≈13
K ⁺	2.3		Rb	1
Fe (总)	0.67		Ba	50
SiO ₂	13.1		Zn	10
总离子量	120		Pb	1~10
			U	≈1

(2) 湖水。由于湖泊的进水与出水交替缓慢，所以即使处于同一气候带的湖

水和河水，湖水中离子总量的变化幅度也比河水大，从数十毫克/升到上万毫克/升。

湖水中化学组分的变化与河水相似，随着离子总量的增加，优势离子的顺序为： $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$ ， $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Na}^+$ 。

湖水按其离子总量分为淡水湖、咸水湖和盐湖，淡水湖的离子总量小于 1000mg/L，咸水湖的离子总量为 1000~25 000mg/L，盐湖的离子总量大于 25 000mg/L。

(3) 地下水。埋藏在地表以下的所有天然水都称为地下水。按其埋藏的条件分为潜水（浅层地下水）和承压水（深层地下水）两种。浅层地下水是指分布在第一个隔水层以上靠近地表的沉积物孔隙内水、风化岩石裂缝内水、碳酸盐岩溶洞内水等；深层地下水是指隔水层之间的水。

由于地下水与大气圈接触少，而与岩石矿物接触时间长，使地下水不同程度地含有地壳中所有的化学元素；地下水与地表水相比，悬浮固体含量很少，清澈透明，除含有主要离子 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 以外，还含有较多的 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 H^+ 、 As^{3+} 。

浅层地下水的分布深度可在 100~500m，主要依靠大气降水、地表水和水库渗漏水补充，有时也由深层地下水补充，大部分情况下是混合补充。由于浅层地下水与大气接触多，水中富氧及淋溶作用强烈，所以化学组分及数量与岩石矿物的化学组分有关。

(4) 海水。海水是一种中等浓度的电解质水溶液，覆盖的面积约占地球表面的 71%。由于海水长期的蒸发、浓缩作用，其含盐量高达 30~50g/L。其中，以氯化钠的含量最高，约占含盐量的 89%；其次是硫酸盐和硅酸盐。由于世界各大洋相通，水质基本稳定，各主要离子之间的比例也基本一致，除 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 两种离子含量变化较大外，其他各离子的含量大小依次是： $(\text{K}^+ + \text{Na}^+) > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ ， $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$ 。

海水的化学组分通常用氯度和盐度表示。氯度定义为在 1000g 海水中，将溴和碘以氯代替时所含氯、溴、碘的总质量；盐度的定义是在 1000g 海水中，将所有的碳酸盐转变成氧化物，所有溴和碘用氯代替，以及有机物均已完全氧化后所含全部固体物质的总质量数。两者之间的关系是：1 盐度 = 1.80655 氯度。

由于海水中离子总量比地表水和地下水高得多，所以有部分离子以离子对的形式存在。表 1-2 和表 1-3 所示为主要离子组分的存在形式。除表中的主要离子组分之外，还有少量微量浓度的碘 (0.06mg/L)、汞 (0.000 03mg/L)、镉 (0.0001mg/L) 和镭 (1×10^{-10} mg/L) 等。

表 1-2 海水中主要阳离子组分的存在形式

离子	质量摩尔 浓度 (mol)	自由离子 (%)	与硫酸根成 离子对 (%)	与碳酸氢根 成离子对 (%)	与碳酸根 成离子对 (%)
Ca^{2+}	0.0104	91	8	1	0.2
Mg^{2+}	0.0540	87	11	1	0.3
Na^{+}	0.4752	99	1.2	0.01	—
K^{+}	0.0100	99	1	—	—

表 1-3 海水中主要阴离子组分的存在形式

离子	质量摩尔 浓度 (mol)	自由离子 (%)	与 Ca^{2+} 成 离子对 (%)	与 Mg^{2+} 成 离子对 (%)	与 Na^{+} 成 离子对 (%)	与 K^{+} 成 离子对 (%)
SO_4^{2-}	0.0284	54	3	21.5	21	0.5
HCO_3^{-}	0.002 38	69	4	19	8	—
CO_3^{2-}	0.000 269	9	7	67	17	—

目前,随着沿海城市的人口增加和工业的迅猛发展,海水已成为制取淡水的水资源,也是工业冷却用水的水资源。在海滨的火力发电厂,海水是凝汽器的冷却用水。

(5) 再生水。对经过或未经过污水处理厂处理的集纳雨水、工业排水、生活排水进行适当处理,达到规定水质标准,可以被再次利用的水,称为再生水。

再生水可以用作电厂锅炉用水和冷却水,其控制项目和指标限值应符合表 1-4 的规定。

表 1-4 再生水利用于工业用水控制项目和指标限值

序号	控 制 项 目	冷却用水	锅炉用水
1	色度 (度)	≤ 30	≤ 30
2	浊度 (NTU)	≤ 5	≤ 5
3	pH 值	6.5~8.5	6.5~8.5
4	总硬度 (以 CaCO_3 计) (mg/L)	≤ 450	≤ 450
5	悬浮物 (SS) (mg/L)	≤ 30	≤ 5
6	五日生化需氧量 (BOD_5) (mg/L)	≤ 10	≤ 10
7	化学需氧量 (COD_{Cr}) (mg/L)	≤ 60	≤ 60
8	溶解性总固体 (mg/L)	≤ 1000	≤ 1000
9	氨氮 (mg/L)	$\leq 10.0^*$	≤ 10.0

续表

序号	控 制 项 目	冷却用水	锅炉用水
10	总磷 (mg/L)	≤1.0	≤1.0
11	铁 (mg/L)	≤0.3	≤0.3
12	锰 (mg/L)	≤0.1	≤0.1
13	粪大肠菌群 (个/L)	≤2000	≤2000

* 铜材换热器循环水氨氮为 1mg/L。

1.1.2 给水

直接进入锅炉，被锅炉蒸发或加热使用的水称为给水。给水通常由补给水和生产回水两部分混合而成。

1. 补给水

锅炉在运行中由于取样、排污、泄漏等会损失掉一部分水，生产回水被污染不能回收利用或无蒸汽回水时，都必须补充符合水质要求的水，这部分水称为补给水。补给水是锅炉给水中除去一定量的生产回收外，补充供给的那一部分。因为锅炉给水有一定的质量要求，所以补给水一般都要经过适当的处理。当锅炉没有生产回水时，补给水就等于给水。

2. 生产回水

当蒸汽或热水的热能利用之后，其凝结水或低温水应尽量回收循环使用，这部分水称为生产回水。提高给水中回水所占的比例，可以减少生产补给水的工作量。如果蒸汽或热水在生产流程中已被严重污染，则不能进行回收。

1.1.3 炉水

正在运行的锅炉本体系统中流动着的水称为锅炉水，简称炉水。

1.1.4 冷却水

机组运行中用于冷却锅炉某一附属设备的水称为冷却水，电厂一般采用生水作为冷却水。

1.1.5 排污水

为了除去锅炉水中的杂质（过量的盐分、碱度等）和悬浮性水渣，以保证锅炉水质符合特定水质标准的要求，就必须从锅炉的一定部位排放掉一部分炉水，这部分水称为排污水。

1.2 电厂用水中的杂质及其危害

天然水中的物质（杂质或污染物）可从不同的角度进行分类：按化学性质，可

将水中杂质分为无机杂质（主要包括溶解性离子、气体和细小泥沙）、有机杂质（主要包括腐殖质和蛋白质、脂肪等）和微生物杂质（主要包括原生动物、藻类、细菌、病毒等）；按物理性质（颗粒大小），可分为悬浮物质、胶体物质和溶解性物质；按杂质的污染特征，又可分为可生物降解有机物（也称耗氧有机物）、难生物降解有机物（如各种农药、胺类化合物）、无直接毒害无机物（如泥沙、酸、碱和氮、磷等）和有直接毒害无机物（如氰化物、砷化物等）。

依据水的净化和处理的需要，假定水中的物质均呈球形，按其直径大小可分成悬浮固体、胶体和溶解性物质三大类，溶解性物质又分为溶解气体、溶解无机离子和溶解性有机物质，如图 1-1 所示。

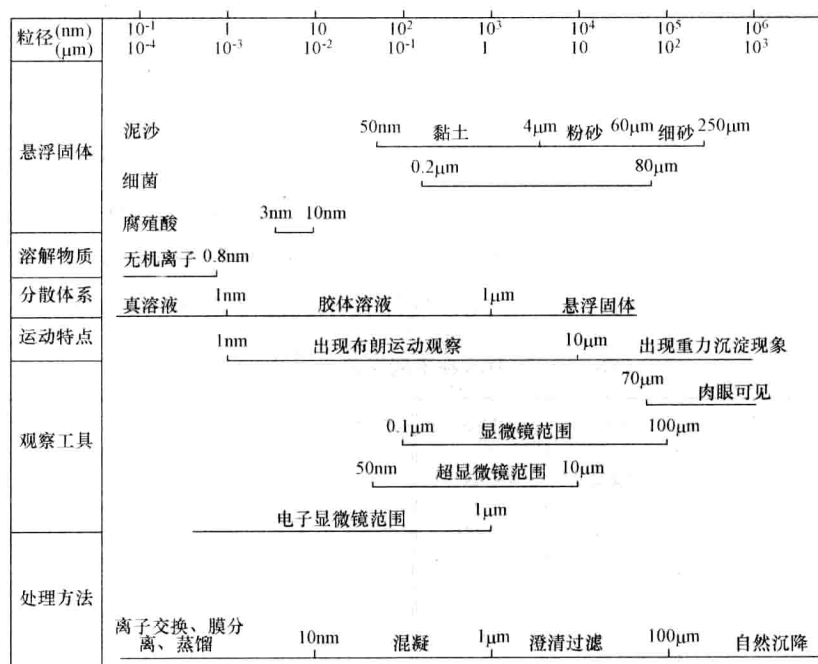


图 1-1 水中各种物质尺寸大小与特征

1.2.1 悬浮物质

悬浮物质是指颗粒直径在 10^{-4} mm 以上的杂质，包括泥沙、黏土、藻类、细菌及动植物的微小碎片、纤维或死亡后的腐烂产物等。这些杂质构成了天然水的浑浊度和色度。悬浮物质在水中是不稳定的，其较轻物质浮于水面（如油脂等），较重物质静置时会下降（如沙石、黏土和动植物尸体碎片和纤维等）。

悬浮物的存在会影响离子交换设备及锅炉的安全经济运行，如果它们在离子交换器内沉积，将会使离子交换剂受到污染，从而使其交换容量降低，周期出水量减少，并影响离子交换器的出水质量。如果悬浮物直接进入锅炉，会在热力系统内沉

积，使传热效果变差，严重时会导致热力设备金属因过热损坏而发生事故。

1.2.2 胶体物质

胶体物质是指颗粒直径在 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ mm 之间的杂质。

天然水中的胶体，一类是硅、铁、铝等矿物质胶体，另一类是由动植物腐败后的腐殖质形成的有机胶体。由于胶体表面带有同性电荷，它们的颗粒之间互相排斥，所以颗粒不能长大，不能靠重力下降，可在水中稳定存在。若不除去水中的胶体物质，将会在锅炉中形成难以去除的坚硬水垢，并使炉水产生大量泡沫，引起汽水共沸，污染蒸汽品质，影响锅炉的正常运行。

1.2.3 溶解性物质

水中溶解的物质主要是气体和矿物质的盐类，它们都以分子或离子状态存在于水中，粒径在 1nm 以下。

1. 溶解气体

水中溶解的气体都以分子状态存在。水中常见的溶解气体有氧 (O_2)、二氧化碳 (CO_2) 和氮 (N_2)，有时还有硫化氢 (H_2S)、二氧化硫 (SO_2) 和氨 (NH_3) 等。能够引起锅炉腐蚀的有害气体主要是氧气和二氧化碳气体，有时还有部分硫化氢气体，表1-5所示为 CO_2 、 O_2 和 H_2S 气体在不同温度水中的溶解度。

表 1-5 CO_2 、 O_2 和 H_2S 在不同温度水中的溶解度 (mg/L)

温度 (°C)	CO_2	O_2	H_2S	温度 (°C)	CO_2	O_2	H_2S
0	3350	69.5	7070	30	1260	35.9	2980
5	2770	60.7	6000	40	970	30.8	2360
10	2310	53.7	5110	50	760	26.6	1780
15	1970	48.0	4410	60	580	22.8	1480
20	1690	43.4	3850	80		13.8	765
25	1450	39.3	3380	100		0	0

2. 溶解无机离子

水中的溶解无机离子（盐类）都是以离子状态存在的，主要来自于地层中矿物质的溶解。

水中的溶解无机离子往往以离子对的状态存在。天然水体中含有的主要离子有 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 八种离子，它们几乎占水中溶解固体总量的 95% 以上。这些杂质若不除去，就会造成锅炉结垢、腐蚀和污染蒸汽品质，使锅炉金属过热变形、腐蚀穿孔，缩短锅炉使用寿命、浪费燃料、降低锅

炉热效率，或者产生汽水共沸，以至发生堵管、爆管等重大事故，破坏锅炉的安全经济运行。

另外，水中还有一定的生物生成物、微量元素及有机物。生物生成物主要是一些氮的化合物（如 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- ）、磷的化合物（ HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 PO_4^{3-} ）、铁的化合物和硅的化合物；微量元素是指含量小于 10mg/L 的元素，主要有 Br^- 、 I^- 、 Cu^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 F^- 、 Fe^{2+} 、 Ra^{2+} 等。

3. 溶解有机物

天然水体中的有机物不仅种类繁多，而且分子结构复杂，但浓度较低，一般都在毫克/升到微克/升量级以下。天然水体中的有机物呈溶解态、胶态或悬浮态。

锅炉用水中杂质对锅炉热力设备的有害影响见表 1-6。

表 1-6 水中杂质对热力设备的有害影响

序号	杂质名称	对 设 备 影 响
1	悬浮物	污染树脂，降低其交换性能，尤其对逆流再生设备影响较大
2	有机物	(1) 使阴离子交换树脂污染老化，降低交换容量及使用寿命。 (2) 进入锅炉后能造成汽水共沸，恶化蒸汽品质
3	游离氯	是氧化剂，能造成树脂的不可逆膨胀而使树脂损坏
4	溶解氧	可造成水处理系统和给水系统的腐蚀，但在高纯给水中进行弱碱性水加氧处理，可形成一层保护膜，减缓对给水系统的腐蚀
5	硅酸化合物	易在热力系统结垢，在汽轮机叶片上积盐，影响机组出力
6	碳酸盐化合物	在加热后能分解出二氧化碳，在给水处理系统造成二氧化碳腐蚀
7	钙镁盐类	能在强受热面上结出坚硬的水垢
8	钾钠盐类	能在过热器、汽轮机叶片上积盐
9	铜铁垢	进入离子交换树脂内不易再被交换出来；在锅炉水冷壁管上结垢又能造成溃疡性垢下腐蚀，严重影响锅炉安全运行
10	氨和铵盐	适量的氨对抑制系统中的二氧化碳腐蚀有好处，但过量后能促使对铜的腐蚀
11	硝酸、亚硝酸盐	能造成水冷壁及过热器的腐蚀

1.3 电厂用水的水质指标

由于工业用水的种类繁多，所以对水质的要求也各不相同。水质指标也称水质参数，电厂用水的水质指标见表 1-7。

表 1-7 电厂用水的水质指标

指标名称	符号	单位	指标名称	符号	单位
pH 值	pH	—	稳定度	—	—
全固体	QG	mg/L	二氧化碳	CO ₂	mg/L
悬浮固体	XG	mg/L	碳酸氢根	HCO ₃ ⁻	mg/L 或 mmol/L
浊度（浑浊度）	ZD	FTU	碳酸根	CO ₃ ²⁻	mg/L 或 mmol/L
透明度	TD	cm	氯离子	Cl ⁻	mg/L
溶解固体	RG	mg/L	硫酸根	SO ₄ ²⁻	mg/L
灼烧减少固体	SG	mg/L	二氧化硅	SiO ₂	mg/L
含盐量	YL 或 C	mg/L 或 mmol/L	磷酸根	PO ₄ ³⁻	mg/L
电导率	κ	μS/cm	硝酸根	NO ₃ ⁻	mg/L
硬度	YD 或 H	mmol/L	亚硝酸根	NO ₂ ⁻	mg/L
碳酸盐硬度	YDT 或 HT	mmol/L	钙	Ca	mg/L 或 mmol/L
非碳酸盐硬度	YDF 或 HF	mmol/L	镁	Mg	mg/L 或 mmol/L
碱度	JD 或 B	mmol/L	钠	Na	mg/L
酸度	SD 或 A	mmol/L	钾	K	mg/L
化学耗氧量	COD	mg/LO ₂	氨	NH ₃	mg/L
生化需氧量	BOD	mg/LO ₂	铁	Fe	mg/L
总有机碳	TOC	mg/L	铝	Al	mg/L
含油量	—	—	溶解氧	DO	mg/L

在表 1-7 所列出的水质指标中，有两种类型：一种是反映水中某一具体组分，如 pH 值及各种无机离子，含义非常明确，这种水质指标称为成分指标；另一种不是代表水中某一具体组分，而是表示某一类物质的总和，这种水质指标称为技术指标，是根据水的某一种使用性能而制定的，如水的悬浮固体和浑浊度表示水中所含造成水体浑浊的物质总量。

有些技术指标反映某一类物质的总量，概念比较清楚。如硬度反映水中造成结垢物质的总阳离子含量，主要表示钙、镁离子之和。但也有些技术指标不易推测出其组分，如色度、嗅、味等，只是反映造成水体带有颜色或嗅味的物质总量，很难推测有哪些具体组分。

1.3.1 悬浮固体、浊度与透明度

悬浮固体（suspended solids）表示水中悬浮物质的含量，由于它容易在管道、设备内沉积和影响其他水处理设备的正常运行，所以是任何水处理系统首先要清

除的杂质。在水处理澄清池、空气擦洗滤池、双介质过滤器、活性炭过滤器、精处理前置过滤器、废水处理澄清池等处都要监测悬浮物的含量。

浊度 (turbidity) 通常用光电浊度仪测定, 是利用光的散射原理确定的。采用福马胂 (Formazine) 标准液, 利用散射光原理测得的浊度称为散射光 (nepheionmeter) 福马胂浊度 (NTU), 采用福马胂标准液利用透射光原理测得的浊度称为透射光福马胂浊度 (NTU)。

透明度 (transparency) 表示水的透明程度。水中悬浮固体的含量越低, 透明度越高, 水越澄清, 透明度与浊度的意义相反。

1.3.2 溶解固体

溶解固体 (dissolved solids) 是指水中除溶解气体之外的各种溶解物质的总量, 是一种理论上的指标, 目前一些与其含义相近似的指标有含盐量、蒸发残渣、灼烧减少固体和电导率。

1. 含盐量

含盐量 (salinity) 表示水中各种溶解盐类的总和, 可由水质全分析得到的全部阳离子和阴离子相加得到, 单位用 mg/L 表示。也可用物质的量表示, 即将得到的全部阳离子 (或全部阴离子) 均按一个电荷的离子为基本单元相加得到, 单位用 mmol/L 表示。

2. 蒸发残渣

蒸发残渣是指过滤后的水样在 105~110℃ 下蒸干所得的残渣。水中的蒸发残渣和悬浮固体之和, 称为全固体 (total solid matter), 它是将被测水样直接在水浴锅上蒸干, 然后在 105~110℃ 下恒重而得。

3. 灼烧减少固体

灼烧减少固体 (ignition losses) 是将溶解固体在 (600±25)℃ 下灼烧, 灼烧后剩余的物质质量称为灼烧残渣或矿物残渣。水的含盐量 c 与溶解固体之间的关系, 可表示为

$$c = c_{\Sigma阳} + c_{\Sigma阴} = c_{\text{总溶解固体}} - c_{(\text{SiO}_2)_\text{全}} - c_{\Sigma\text{有机物}} + c_{(\frac{1}{2}\text{HCO}_3^-)} \quad (1-1)$$

4. 电导率

由于水中有以离子状态存在的物质, 因此具有导电能力, 所以水的含盐量还可用水的导电能力 (即电导率) 指标来表示。

天然水的导电能力与水的温度有关, 水温在 25℃ 时, 1μS/cm 相当于 0.55~0.9mg/L。如果水的温度不同, 比例关系需要校正, 每变化 1℃ 大约变化 2%。各种离子 1mg/L 相当的电导率见表 1-8。

表 1-8 各种离子 1mg/L 相当的电导率 (25℃)

阳离子	电导率 (μS/cm)	阴离子	电导率 (μS/cm)	阳离子	电导率 (μS/cm)	阴离子	电导率 (μS/cm)
Na ⁺	2.13	Cl ⁻	2.14	Ca ²⁺	2.6	HCO ₃ ⁻	0.715
K ⁺	1.84	F ⁻	2.91	Mg ²⁺	3.82	CO ₃ ²⁻	2.82
NH ₄ ⁺	5.24	NO ₃ ⁻	5.1			SO ₄ ²⁻	1.54

如果水的溶解固体总量 (TDS) 在 50~5000mg/L 之间, 则水的电导率与 TDS 之间有以下近似关系

$$\lg TDS = 1.006 \lg \kappa_{H_2O} - 0.215 \tag{1-2}$$

式中: κ_{H_2O} 为水的电导率, $\mu S/cm$; TDS 为水的溶解固体总量, mg/L 。

几乎所有的水处理系统都要监测水的电导率。电导率分为比电导率和氢电导率。通常所说的电导率一般指比电导率, 它是溶液传送电流的能力, 是电阻率的倒数。氢电导率是水样经过小型氢交换柱后仪表监测的电导率。同一种水质, 氢电导率相对比电导率而言, 数值大些, 容易监测水质的变化。如监测水处理阴床出水、混床出水电导率, 可以判断树脂是否失效; 监测凝结水、给水氢电导率, 可以直接判断水质的好坏; 通过检漏装置监测凝气器凝结水的电导率, 能很灵敏地检测到凝汽器是否泄漏。

1.3.3 硬度

硬度 (hardness) 表示水中多价金属离子的总浓度, 对天然水体来说主要是钙离子和镁离子, 其他多价金属离子含量很少, 所以通常称水中钙离子和镁离子之和为硬度, 它在一定程度上表示了水中结垢物质的多少。硬度是衡量锅炉给水水质好坏的一项重要技术指标。水中含钙、镁离子会导致热力设备水汽系统结垢。在水处理系统阳床出水有时要监测硬度是为了防止阳床深度失效, 导致硬度带入汽水系统; 汽水系统凝结水、给水都要监测硬度, 特别是机组启动初期。

1.3.4 碱度和酸度

水的碱度 (alkalinity、basicity) 表示水中所含能接受氢离子物质的总量。所以, 水的总碱度 B (total basicity) 为

$$B = [OH^-] + [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [H_3SiO_4^-] + [B(OH)_4^-] + [HPO_4^{2-}] + [NH_3] + f'[Ac^-] - H^+ \tag{1-3}$$

因为





所以用甲基橙为指示剂，滴定至终点时，反应式(1-4)～式(1-8)可进行到底，转化为相应的酸，只是 Ac^- 部分转化为 HAc 。 f' 称为转化系数。对一般天然水来说，水中碱度主要是 HCO_3^- 。在水质全分析中需测定碱度，碱度大小可以用酸来滴定测得。

水的酸度 A (acidity) 表示水中所含能与强碱发生中和反应的物质总量，即能放出质子 H^+ 和经过水解能产生 H^+ 的物质总量。酸度大小可以用碱来滴定测得，在原水水质全分析中需测定酸度。

1.3.5 pH 值

pH 值表示水中 H^+ 活度的大小。在水处理系统和热力汽水系统中经常要监测水的 pH 值。特别是给水需严格控制 pH 值大小，pH 值控制不当随时有可能导致热力系统腐蚀。

1.3.6 溶解氧

溶解氧表示水中溶解态分子氧的含量。溶解氧含量的大小直接影响到热力系统设备的腐蚀。溶解氧在汽水系统中几乎需要全程监控。

1.3.7 有机物

炉水中的有机物质是由于原水中的有机物（腐殖酸类物质）形成稳定的水溶性胶体，离子交换无法去除，因而由补给水系统进入锅炉；有时也有树脂类高分子有机化合物以粉末状进入锅炉。这些有机物在炉水蒸汽循环的高温 and 高压作用下，大部分发生热分解，由于其离解作用而产生酸性物质，导致炉水 pH 值降低。树脂粉末，特别是磺酸型阳树脂在高温、高压作用下分解生成硫酸，使炉水 pH 值降低，由此产生腐蚀的危害。有时有机物还会从炉水系统进入蒸汽中，对蒸汽循环系统的腐蚀危害很大。

天然水中的有机物种类繁多，成分也很复杂，难以进行逐个测定，可以利用有机物的可氧化性或可燃性，用某些指标间接地反映水中有机物的含量。

1. 化学耗氧量 (COD)

化学需氧量 (chemical oxygen demand, COD) 是指用化学氧化剂氧化水中有机物时所需要的氧量，单位以 $\text{mg} (\text{O}_2) / \text{L}$ 表示。常用的氧化剂有高锰酸钾和重铬酸钾。高锰酸钾法多用于轻度污染的天然水和清水的测定，重铬酸钾法多用于废水中有机物的测定。对同一种水质，通常是 $\text{COD}_{\text{Cr}} > \text{COD}_{\text{Mn}}$ 。在原水水质全分析、活性炭过滤器出口都要监测 COD 大小。

2. 生化耗氧量

生化需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD) 是指利用微生物氧化水中有机