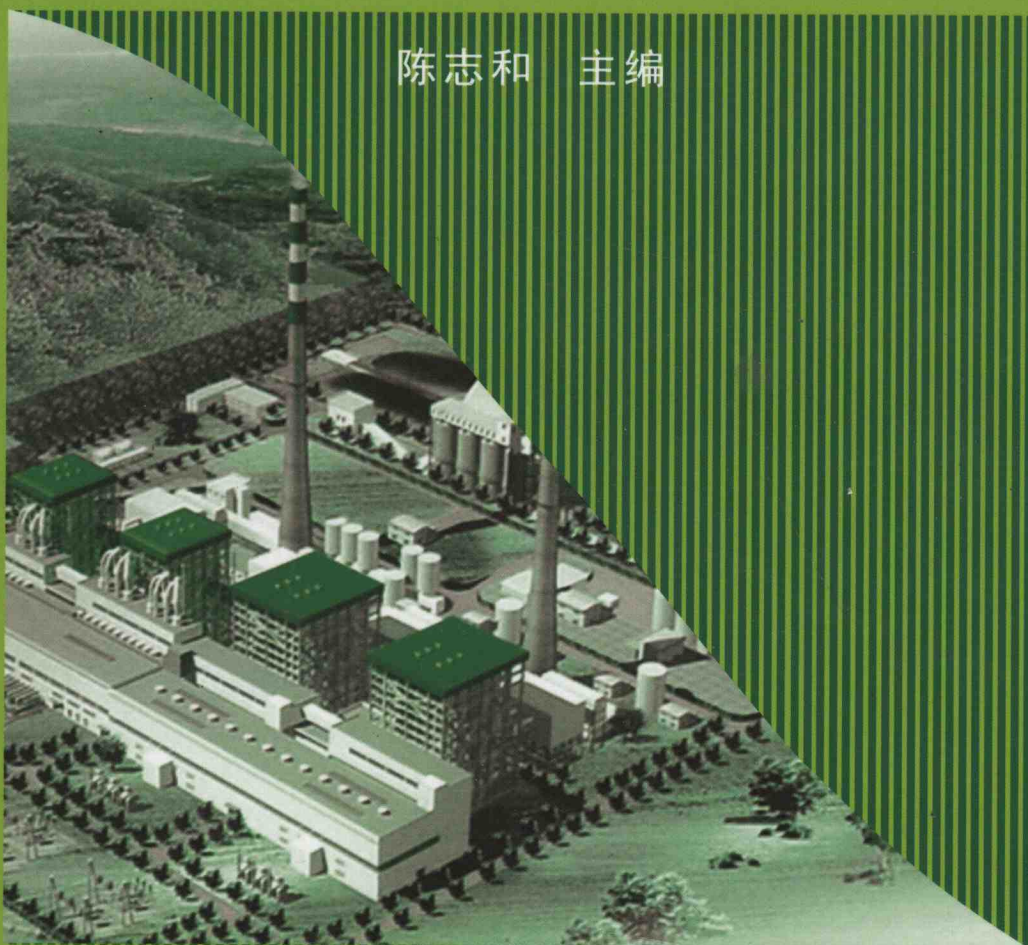


国产600MW超临界火力发电机组技术丛书

电厂化学设备及系统



陈志和 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

国产600MW超临界火力发电机组技术丛书

电厂化学设备及系统



陈志和 主编



本书是《国产 600MW 超临界火力发电机组技术丛书》的《电厂化学设备及系统》分册，书中全面介绍了国产 600MW 超临界机组化学水处理的相关知识、设备、系统及其运行。全书共分十一章，内容包括工业水的混凝、沉淀和过滤处理，锅炉补给水的反渗透预除盐及离子交换深度除盐处理，凝结水的精处理，热力设备腐蚀与防护，水化学工况，化学清洗以及循环冷却水的防垢处理等。

本书适合从事国产 600MW 超临界火力发电机组化学水处理的设计、安装、运行、检修、调试及管理工作的工程技术人员阅读，可作为电厂生产人员的培训教材，也可供有关专业人员以及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电厂化学设备及系统/陈志和主编. —北京: 中国电力出版社, 2006

(国产 600MW 超临界火力发电机组技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 5083 - 3770 - 8

I . 电... II . 陈... III . 火电厂 - 电厂化学 - 设备
IV . TM621 . 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 017221 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 3 月第一版 2007 年 1 月北京第二次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 21.5 印张 482 千字

印数 3001—6000 册 定价 34.00 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)

编 委 会

主 任：那希志

副主任：胡念苏 廖树荣 朱志飞 杨 俊 刘克兴

委 员：（以姓氏笔划为序）

毛慧和 王建梅 刘先斐 刘 勇 朱全利

陈启卷 陈志和 李正奉 李培元 肖大维

肖志怀 张世荣 张恒良 金振齐 周柏青

周济波 郑桂波 胡念苏 顾 昌 袁立宏

盛赛斌 喻红梅 蔡 锴 熊立红 樊天竞

前 言

火力发电采用大容量和超临界技术是提高火力发电机组经济性的有效途径，已经被世界先进国家广泛采用，我国也将超临界机组作为今后一个时期

目 录

第四章 锅炉补给水深度除盐	112
第一节 离子交换树脂概述	112
第二节 离子交换基本原理	119
第三节 动态离子交换过程	127
第四节 复床除盐	132
第五节 带有弱型树脂的复床除盐	142
第六节 离子交换器及运行	149
第七节 水的脱气处理	165
第八节 混合床除盐	167
第九节 锅炉补给水的除盐系统	172
第十节 离子交换树脂的使用与维护	179

第五章 凝结水精处理	187
第一节 概述	187
第二节 凝结水过滤	190
第三节 凝结水混床除盐	193
第四节 凝结水精处理系统及运行	196
第五节 混床树脂的分离及体外再生	203
第六节 铵型混床及对树脂再生度的要求	212
第七节 凝结水精处理系统常见的异常情况及其处理方法	215

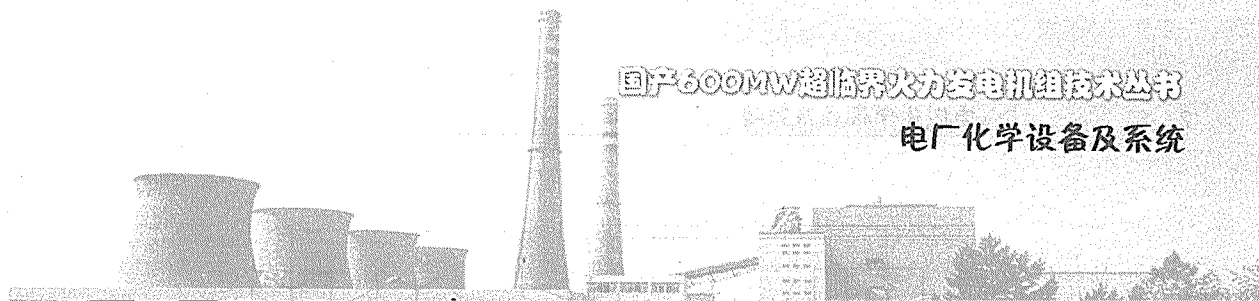
第六章 循环冷却水处理	218
第一节 敞开式循环冷却水系统	218
第二节 循环冷却水结垢趋势的判断	222
第三节 防垢处理	226
第四节 污垢的形成与防止	234

第七章 超临界机组热力设备腐蚀概述	242
第一节 金属腐蚀的基本概念	242
第二节 金属电化学腐蚀的基本原理	247
第三节 超临界机组水汽系统概况	256
第四节 超临界机组热力设备腐蚀的类型和特点	263

第五节 防止热力设备腐蚀的方法	265
<hr/>	
第八章 热力设备的氧腐蚀和酸性腐蚀	268
第一节 热力设备的氧腐蚀	268
第二节 热力设备的酸性腐蚀	272
第三节 停用腐蚀与停用保护	276
<hr/>	
第九章 超临界机组的水化学工况	281
第一节 超临界机组水化学工况概述	281
第二节 AVT 水化学工况	287
第三节 CWT 水化学工况	294
<hr/>	
第十章 冷却水系统的腐蚀与防护	301
第一节 凝汽器不锈钢管的腐蚀与防护	301
第二节 凝汽器钛管的腐蚀与防护	305
第三节 发电机空心铜导线的腐蚀	308
<hr/>	
第十一章 热力设备的化学清洗	314
第一节 化学清洗的必要性	314
第二节 常用的清洗剂和添加剂	315
第三节 化学清洗的工艺过程	321
第四节 化学清洗的效果检查和废液的处理	330
参考文献	332

国产600MW超临界火力发电机组技术丛书

电厂化学设备及系统



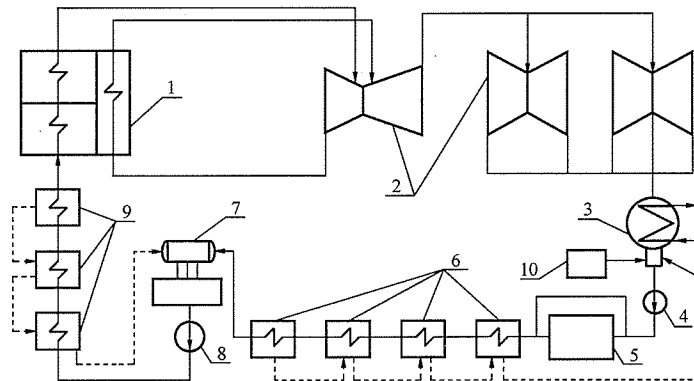


图 0-1 超临界直流炉机组水汽循环流程

1—锅炉；2—汽轮机；3—凝汽器；4—凝结水泵；5—凝结水精处理系统；6—低
压加热器；7—除氧器；8—给水泵；9—高压加热器；10—补水处理系统

环，无法进行排污，不能进行锅内加药处理。给水带进锅炉的盐量一部分被蒸汽溶解带走，进入汽轮机，其余的沉积在锅炉各蒸发受热面上形成水垢。水垢的导热系数很低，结垢导致管壁温度上升，严重时可能出现超温爆管。另外，锅炉水质还是控制水冷壁腐蚀破坏的关键因素。因此，为了确保锅炉受热面安全，给水质量必须满足超临界直流锅炉的水质要求。

蒸汽从锅炉带出的盐分进入汽轮机后，由于盐类在蒸汽中的溶解度随蒸汽压力的降低而下降，所以参数越低，蒸汽溶解带盐的能力越差。蒸汽在汽轮机中将热能转换成动能，压力和温度不断下降，溶盐能力越来越低，如果蒸汽带盐达到一定限度，超出相应压力、温度下蒸汽的溶盐能力，就会析出并沉积在喷嘴和叶片上，使叶片通流截面减小，导致汽轮机效率降低，轴向推力增大，严重时还会影响转子的平衡而造成更大事故。因此锅炉产生的蒸汽不仅要符合设计规定的压力和温度，而且还要达到规定的蒸汽质量标准。

水质不良还会引起热力设备的金属腐蚀，结垢和积盐还会引起沉积物下腐蚀。

表 0-1 给出了超临界火力发电机组给水、蒸汽和凝结水的质量标准。

表 0-1 超临界火力发电机组给水、蒸汽和凝结水的质量标准 (DL/T 912—2005)

项目	氢电导率 (25℃, $\mu\text{S}/\text{cm}$)		SiO_2 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Fe ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Cu ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Na^+ ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Cl^- ($\mu\text{g}/\text{L}$)	TOC ($\mu\text{g}/\text{L}$)
	挥发处理	<0.20	(<0.15)	≤ 15	≤ 10	≤ 3	≤ 5	≤ 5

三、超临界机组的化学工作

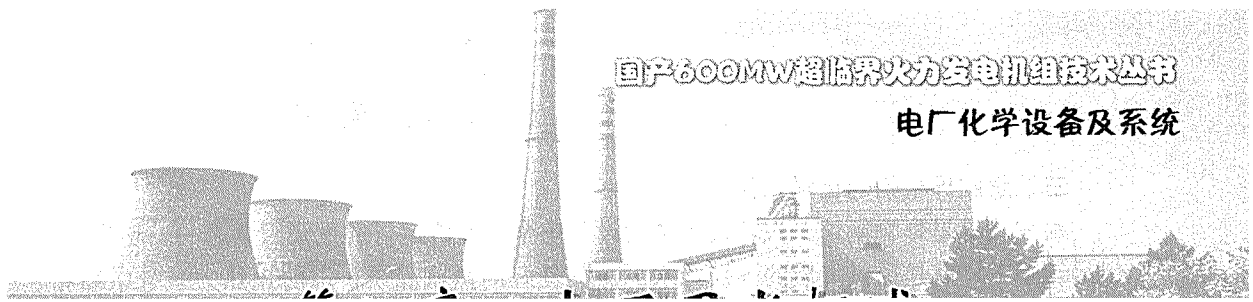
水汽质量是影响锅炉、汽轮机等热力设备安全、经济运行的重要因素之一。超临界机组的化学工作就是提供优质的锅炉给水，保证良好的蒸汽品质，以防止热力系统中结垢、积盐和热力设备腐蚀。

本书将针对 600MW 超临界发电机组的特点及对水汽质量的要求，主要阐述以下方面的内容：

- (1) 锅炉补给水的净化处理。包括除去天然水中的悬浮物和胶体的澄清及过滤处理；反渗透预除盐处理，以及离子交换深度除盐处理。
- (2) 汽轮机凝结水的精处理。
- (3) 热力设备的腐蚀与防护及水化学工况。
- (4) 循环冷却水防垢的稳定处理。

国产600MW超临界火力发电机组技术丛书

电厂化学设备及系统



东北、华东和中南地区大部分河流的悬浮物含量均比较低, 平均为 50 ~ 400 mg/L。

江河水的含盐量及硬度较低, 其含盐量一般在 50 ~ 500mg/L, 硬度一般在 1.0 ~ 8.0mmol/L, 是电厂用水最合适的水源。近海的江河水有时会受海水倒灌的影响而导致水质发生很大变化, 例如珠江水通常含盐量在 200 ~ 300mg/L, 但受海水影响时含盐量可高达几千 mg/L。

江河水最大的缺点是易受工业废水、生活污水及其他各种人为的污染。

表 1-1 黄河水(甘肃河段)不同月份的悬浮物含量

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
悬浮物 (mg/L)	9	26	90	—	42	306	381	4117	568	1166	44	118

注 2003 年测试数据。

2. 湖泊及水库水

湖泊及水库水主要由江河水 and 大气水补给, 水质与江河水类似。但由于水的流动性小, 储存时间长, 经过长期自然沉淀, 因此浊度较低。水的流动性小, 透明度高, 又给水中生物特别是藻类的繁殖创造了良好的条件, 因而, 湖泊及水库水一般含藻类较多, 使水产生色、嗅、味。因为进出水交替缓慢, 停留时间比江河水长, 当含有较多的氮与磷时, 就会使湖水富营养化。又由于水的不断蒸发, 故含盐量往往比江河水高。按其含盐量分, 有淡水湖、微咸水湖和咸水湖, 前两种可作为电厂用水的水源。

3. 大气水

大气水是指自然界的雨水和雪水, 它是通过水的蒸发和凝结过程而形成的天然水, 所以比较洁净。但是这种水中仍含有少量杂质, 这是因为在它们从空中降至地面的过程中, 受到大气的污染。

大气水中除含有 O_2 、 CO_2 、 N_2 及一些惰性气体外, 还含有少量的离子组分。由于降雨(雪)过程中对大气进行了“洗涤”, 所以大气水的离子组分不仅决定于雨(雪)本身的化

如西北、内蒙古等地，地下水含盐量较高。如果在土壤中含有较多有机物时，氧气将消耗于生物氧化，产生 CO_2 、 H_2S 等气体，此气体溶于水中，使水具有还原性。还原性的水与高价铁锰矿石反应，使它们以低价离子形态进入水中，因此地下水游离 CO_2 含量高，并普遍含有 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 。溶解氧在地层中消耗后得不到补充，所以地下水中溶解氧含量很少。

地下水受外界影响小，水质比较稳定。

三、海水

海水由于长年的蒸发浓缩作用，所以其显著的特点是含盐量高，约 35g/L 左右，其中以氯化钠的含量为最高，约占含盐量的 89%；其次是硫酸盐和硅酸盐；钙、镁离子总量一般为 50~60mmol/L，有时高达 100~200mmol/L。

各地海水水质组成基本上是相似的，各主要离子之间的比例基本上是稳定的，只有 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 含量的变化较大。常见离子含量的次序依次是 $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ ， $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$ 。 $(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$ 在海水中含量最小的原因是因为在河水流入海洋中时参予碳酸盐平衡的各离子的比例关系发生了变化，一部分 HCO_3^- 转变成 CO_3^{2-} ，并与水中 Ca^{2+} 反应生成 CaCO_3 ， CaCO_3 被水中有机生物吸收组成其骨骼而沉积下来。

海水的化学组分通常用盐度和氯度表示。盐度是表示海水含盐量的指标，一般为 35‰左右；氯度是表示海水中氯化物含量的指标，一般为 20‰左右。

海水必须经过淡化处理才能应用，未经过淡化处理的海水主要限于用来冷却热交换器设备。位于海滨的火力发电厂，主要用海水作为凝汽器的冷却水。

第二节 天然水中的杂质和天然水分类

水分子是一种极性很强的分子，对许多物质具有很强的分散能力，并与其形成分散体系。由于水的介电常数很大，溶解能力很强，许多物质在水中有很大溶解度，所以天然水中总是含有各种各样的杂质。

一、天然水中的杂质

水处理实践表明，只要杂质尺寸处在同一范围内，无论是何种杂质，其除去方法基本相同。因此，从水处理角度出发，可依照水中杂质颗粒的大小，分成悬浮物、胶体和溶解物质。下面介绍这些物质的情况。

1. 悬浮物

悬浮物的颗粒较大，一般在 100nm 以上，它们在水中是不稳定的，在重力或浮力的作用下易于分离出来。比水重的悬浮物，当水静置时或流速较慢时会下沉，在天然水中常见的此类物质是砂子和黏土类无机物。比水轻的悬浮物，当水静置时会上升，这类物质中常见的是动植物生存过程中产生的物质或死亡后腐败的产物，它们是一些有机物。此外，还有些其密度与水相近的，它们会悬浮在水中。

由于水中悬浮物的存在，使水体变浑浊。

2. 胶体

胶体是指颗粒直径约为 1~100nm 之间的微粒。胶体颗粒在水中有布朗运动，它们不能靠静置的方法自水中分离出来。而且，胶体表面因带电，同类胶体之间有同性电荷的斥力，不易相互粘合成较大的颗粒，所以胶体在水中是稳定的。

胶体大都是由许多不溶于水的分子组成的集合体。有些溶于水的高分子化合物也被看作胶体，是因为它们的分子较大，具有与胶体相似的性质。在天然水中，属于前一种胶体的主要是铁、铝和硅的化合物，是一些无机物。属于后一种的多是因动植物腐烂而形成的有机胶体，其中主要是腐殖质，它们是水体产生色、嗅、味的主要原因。

水中胶体物质的存在，使水在光照下显得浑浊。

3. 溶解物质

溶解物质是指颗粒直径小于 1nm 的微粒。它们大都以离子或溶解气体状态存在于水中，现概述如下：

(1) 离子态杂质 天然水由今有的离子种类甚多，但在一般的情况下，水中主要的离子有：

水中, Na^+ 是主要的阳离子。天然水中 K^+ 的含量远低于 Na^+ , 这是因为含钾的矿物比含钠的矿物抗风化能力大, 所以 K^+ 比 Na^+ 较难转移至天然水中。

由于在一般水中 K^+ 的含量不高, 而且化学性质与 Na^+ 相似, 因此在水质分析中, 常以 $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)$ 之和表示它们的含量, 并取加权平均值 25 作为两者的摩尔质量。

天然水中都含有 Cl^- , 这是因为水流经地层时, 溶解了其中的氯化物, 所以 Cl^- 几乎存在于所有的天然水中。天然水中最常见的阳离子是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ ; 阴离子是 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 。

某些地区的地下水中还含有较多的 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} , 它们来源于土壤中铁、锰化合物, 在缺氧条件下由于生物化学作用而转变为可溶的 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 进入地下水中。地表水中由于氧充足, 铁主要以 Fe^{3+} 形态生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀物或胶体微粒。锰的特性与铁相近, 但在天然水中的含量比铁少得多, 其氧化反应比铁困难, 且进行缓慢。

天然水中普遍含有硅酸, 但形态复杂, 变化幅度也较大。天然水中硅酸来源于硅酸盐矿的溶解, 地下水中硅酸含量比地表水中的多。硅酸是锅炉补给水处理中必须除去的主要杂质之一。

(2) 溶解气体。天然水中常见的溶解气体有氧 (O_2) 和二氧化碳 (CO_2), 有时还有硫化氢 (H_2S)、二氧化硫 (SO_2) 和氨 (NH_3) 等。

天然水中 O_2 的主要来源是大气中 O_2 的溶解, 因为空气中含有 20.95% 的氧, 水与大气接触使水体具有自充氧的能力。另外, 水中藻类的光合作用也产生一部分的氧, 但这种光合作用并不是水体中氧的主要来源, 因为在白天靠这种光合作用产生的氧, 又在夜间的新陈代谢过程中消耗了。水中有机物含量较高时, 因其进行生物氧化分解消耗氧, 水中氧将减少。天然水的氧含量一般在 8~14mg/L 之间。

地下水因不与大气相接触, 氧的含量一般低于地表水。

天然水中 CO_2 的主要来源为水体或泥土中有机物在进行生物氧化时的分解产物, 也有的是因地层深处进行的地质化学过程而产生的, 其含量在几毫克/升至几百毫克/升之间。

1. 按主要水质指标

天然水可以按其含盐量或硬度分类，因为这两种指标可以代表水受矿物质污染的程度。

天然水按其含盐量大小分类如表 1-3 所示。

表 1-3 按含盐量分类

类 别	低含盐量水	中等含盐量水	较高含盐量水	高含盐量水
含盐量 (mg/L)	<200	200~500	500~1000	>1000

我国江河水大都属于低含盐量和中等含盐量水，地下水大部分是中等含盐量水。

天然水按其硬度大小分类如表 1-4 所示。

表 1-4 按 硬 度 分 类

类 别	极软水	软 水	中等硬度水	硬 水	极硬水
硬度 (mmol/L)	<1.0	1.0~3.0	3.0~6.0	6.0~9.0	>9.0

根据此种分类，我国天然水的水质是由东南沿海的极软水，向西北经软水和中等硬度水而递增至硬水。这里所谓软水是指天然水硬度较低的水。

2. 按水中盐类的组成分类

为了研究问题方便起见，人为地将水中阴、阳离子结合起来，写成化合物的形式，这称为水中离子的假想结合。这种表示方法的原理是，钙和镁的碳酸氢盐最易转化成沉淀物，所以令它们首先假想结合，其次是钙、镁的硫酸盐，而阳离子 Na^+ 和 K^+ 以及阴离子 Cl^- 都不易生成沉淀物，所以列于最后。根据此种假想的结合，天然水可作如下分类：

(1) 碱性水和非碱性水。碱度 (B) 大于硬度 (H) 的水，即 $[\text{HCO}_3^-] > [(1/2) \text{Ca}^{2+}] + [(1/2) \text{Mg}^{2+}]$ 称为碱性水，它的组成如图 1-1 所示 ([] 表示摩尔浓度，下同)。在此种水中，硬度都是由碳酸氢盐形成的，没有非碳酸盐硬度，而有 Na^+ 和 K^+ 的碳酸氢盐。

Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	
HCO_3^-		SO_4^{2-}	Cl^-

图 1-1 碱性水组成

在碱性水中，碱度与硬度的差值称为过剩碱度 (B_G)，有时称为“负硬”，相当于 Na^+ 和 K^+ 的碳酸氢盐量。即