

SHIYOUHUAGONG ZHIYEJINENG PEIXUN JIAOCAI

石油化工职业技能培训教材



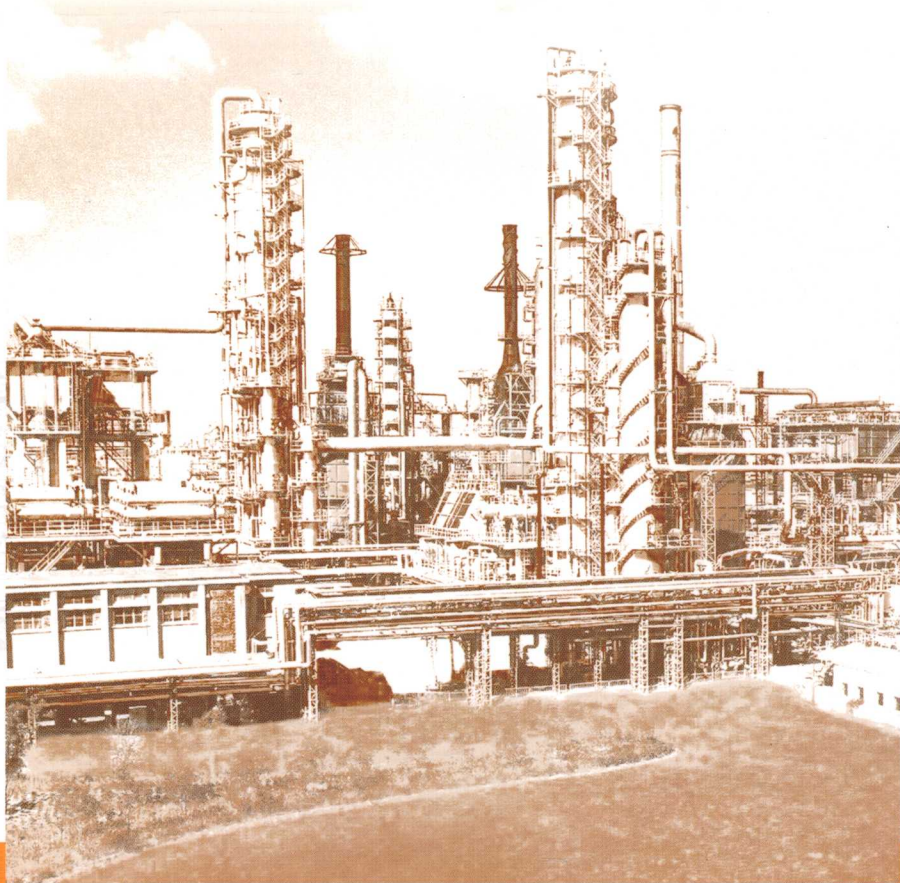
化学水处理工

中国石油化工集团公司人事部 编
中国石油天然气集团公司人事服务中心

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

SHIYOUHUAGONG ZHIYEJINENG PEIXUNJIAOCAI



石油化工职业技能培训教材

责任编辑：李跃进
责任校对：吕宏
封面设计：七星博纳

ISBN 978-7-5114-0151-9



9 787511 401519 >

定价：40.00 元

石油化工职业技能培训教材

化学水处理工

中国石油化工集团公司人事部
中国石油天然气集团公司人事服务中心

编

中国石化出版社

内 容 提 要

《化学水处理工》为《石油化工职业技能培训教材》系列之一，涵盖石油化工生产人员《石油石化职业资格等级标准》中对该工种初级工、中级工、高级工、技师四个级别的专业理论知识和操作技能的要求。主要内容包括水的预处理、膜法处理、离子交换处理、冷凝水回收处理和炉内水处理五种水处理方法的工艺原理、工艺操作、设备使用与维护、事故判断与处理等知识。

本书是化学水处理装置操作人员进行职业技能培训的必备教材，也可作为专业技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

化学水处理工/中国石油化工集团公司人事部, 中国
石油天然气集团公司人事服务中心编. —北京: 中国石化
出版社, 2009
石油化工职业技能培训教材
ISBN 978-7-5114-0151-9

I. 化… II. ①中…②中… III. 水处理: 化学处理-技
术培训-教材 IV. TQ085

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 199504 号

未经本社书面授权，本书任何部分不得被复制、抄袭，或者以任何形式或任何方式传播。版权所有，侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 20.25 印张 501 千字
2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷
定价:40.00 元

《石油化工职业技能培训教材》

开发工作领导小组

组 长：周 原

副组长：王天普

成 员：(按姓氏笔画顺序)

于洪涛	王子康	王玉霖	王妙云	王者顺	王 彪
付 建	向守源	孙伟君	何敏君	余小余	冷胜军
吴 耘	张 凯	张继田	李 刚	杨继钢	邹建华
陆伟群	周赢冠	苟连杰	赵日峰	唐成建	钱衡格
蒋 凡					

编审专家组

(按姓氏笔画顺序)

王 强	史瑞生	孙宝慈	李兆斌	李志英	李本高
岑奇顺	杨 徐	郑世桂	唐 杰	黎宗坚	

编审委员会

主 任：王者顺

副主任：向守源 周志明

成 员：(按姓氏笔画顺序)

王力健	王凤维	叶方军	任 伟	刘文玉	刘忠华
刘保书	刘瑞善	朱长根	朱家成	江毅平	许 坚
余立辉	吴 云	张云燕	张月娥	张全胜	肖铁岩
陆正伟	罗锡庆	倪春志	贾铁成	高 原	崔 昶
曹宗祥	职丽枫	黄义贤	彭干明	谢 东	谢学民
韩 伟	雷建忠	谭忠阁	潘 慧	穆晓秋	

前言

为了进一步加强石油化工行业技能人才队伍建设,满足职业技能培训和鉴定的需要,中国石油化工集团公司人事部、中国石油天然气集团公司人事服务中心联合组织编写了《石油化工职业技能培训教材》。本套教材的编写依照劳动和社会保障部制定的石油化工生产人员《国家职业标准》及中国石油化工集团公司人事部编制的《石油化工职业技能培训考核大纲》,坚持以职业活动为导向,以职业技能为核心,以“实用、管用、够用”为编写原则,结合石油化工行业生产实际,以适应技术进步、技术创新、新工艺、新设备、新材料、新方法等要求,突出实用性、先进性、通用性,力求为石油化工行业生产人员职业技能培训提供一套高质量的教材。

根据国家职业分类和石油化工行业各工种的特点,本套教材采用共性知识集中编写,各工种特有知识单独分册编写的模式。全套教材共分为三个层次,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》各职业(工种)对初级、中级、高级、技师和高级技师各级别的要求。

第一层次《石油化工通用知识》为石油化工行业通用基础知识,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》对各职业(工种)共性知识的要求。主要内容包括职业道德,相关法律法规知识,安全生产与环境保护,生产管理,质量管理,生产记录、公文和技术文件,制图与识图,计算机基础,职业培训与职业技能鉴定等方面的基本知识。

第二层次为专业基础知识,分为《炼油基础知识》和《化工化纤基础知识》两册。其中《炼油基础知识》涵盖燃料油生产工、润滑油(脂)生产工等职业(工种)的专业基础及相关知识,《化工化纤基础知识》涵盖脂肪烃生产工、烃类衍生物生产工等职业(工种)的专业基础及相关知识。

第三层次为各工种专业理论知识和操作技能,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》对各工种操作技能和相关知识的要求,包括工艺原理、工艺操作、设备使用与维护、事故判断与处理等内容。

《化学水处理工》是第二、三层次教材,在编写时采用传统教材模式,不分

级别，在编写顺序上遵循由浅到深、先基础理论知识后技能操作的编写原则，在章节安排上打破了常规操作法按操作顺序编写的惯例，把机、电、仪等基础理论知识单独编写，专业基础理论和操作知识分为水的预处理、膜法处理、离子交换处理、冷凝水处理和炉内水处理5个模块，每个模块的基础理论知识、工艺操作知识和典型设备的使用与维护知识分开编写，使得操作人员通过对有关设备从理论到技能的学习后，达到自觉把所学知识应用到操作中的目的。

《化学水处理工》教材由齐鲁石化负责组织编写，主编张辉俊(齐鲁石化)，参加编写的人员有仲积军(齐鲁石化)、顾明辉(广州石化)、崔勇(辽河石油)、王德文(齐鲁石化)。本教材已经中国石油化工集团公司人事部、中国石油天然气集团公司人事服务中心组织的职业技能培训教材审定委员会审定通过。主审周传停，参加审定的人员有黄玉通、徐砚屏、魏著宝。审定工作得到了齐鲁石化大力支持；中国石化出版社对教材的编写和出版工作给予了通力协作和配合，在此一并表示感谢。

由于石油化工职业技能培训教材涵盖的职业(工种)较多，同工种不同企业的生产装置之间也存在着差别，编写难度较大，加之编写时间紧迫，不足之处在所难免，敬请各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议，以便教材修订时补充更正。

目 录

第 1 章 概 述

1.1 天然水的水质	(1)
1.1.1 水的物理化学性质	(1)
1.1.2 天然水中的杂质	(2)
1.1.3 天然水中的几种主要化合物	(3)
1.1.4 天然水的特点和分类	(4)
1.2 化学水处理简介	(8)
1.2.1 水在动力设备中的作用	(8)
1.2.2 化学水处理的内容	(9)
1.3 水质指标	(9)
1.3.1 补给水质量标准	(9)
1.3.2 锅炉给水质量标准	(10)
1.3.3 锅炉炉水质量标准	(11)
1.3.4 蒸汽质量标准	(11)
1.3.5 汽轮机凝结水质量标准	(12)
1.3.6 疏水和生产回水质量标准	(13)
1.3.7 停、备用机组启动时的水、汽质量标准	(13)

第 2 章 化学水处理工基础知识

2.1 化学基础知识	(14)
2.1.1 无机化学知识	(14)
2.1.2 有机化合物概述	(26)
2.2 热工基础知识	(30)
2.2.1 锅炉基础知识	(30)
2.2.2 汽轮机基础知识	(33)
2.3 流体力学基础知识	(36)
2.3.1 流体静力学	(36)
2.3.2 流体动力学	(41)
2.3.3 流体的流动阻力	(45)
2.3.4 管路的计算	(46)
2.4 设备基础知识	(47)
2.4.1 泵和风机	(47)
2.4.2 管道和管件	(54)
2.4.3 阀门	(58)

2.4.4	设备的润滑知识	(63)
2.4.5	腐蚀与防护	(66)
2.5	电工基础知识	(68)
2.5.1	电路基础知识	(68)
2.5.2	电路基本物理量及参数	(69)
2.5.3	交流电基础知识	(71)
2.5.4	三相异步电动机	(74)
2.5.5	安全用电	(76)
2.6	仪表及自动化基础知识	(77)
2.6.1	仪表的基本概念	(77)
2.6.2	压力测量	(80)
2.6.3	流量测量	(82)
2.6.4	液位测量	(84)
2.6.5	温度测量	(85)
2.6.6	水处理自动控制基础知识	(88)
2.7	计量基础知识	(98)
2.7.1	计量和法定计量单位	(98)
2.7.2	误差理论基础知识	(102)

第3章 水的预处理

3.1	水的混凝处理	(106)
3.1.1	混凝机理	(106)
3.1.2	常用混凝剂	(109)
3.1.3	常用混凝设备的工艺操作	(111)
3.2	水的过滤处理	(115)
3.2.1	过滤原理	(115)
3.2.2	影响过滤的因素	(116)
3.2.3	常用过滤设备的工艺操作	(120)
3.2.4	其他过滤设备的工艺操作	(128)

第4章 水的膜法处理

4.1	膜法水处理原理	(133)
4.1.1	反渗透原理	(133)
4.1.2	反渗透膜的渗透理论简介	(134)
4.1.3	超滤的基本概念与原理	(134)
4.2	复合反渗透膜的主要性能特点	(136)
4.2.1	复合反渗透膜的结构特点	(136)
4.2.2	复合反渗透膜的特性	(136)
4.2.3	反渗透膜的分离透过特性指标	(137)
4.2.4	膜系统的基本概念	(138)

4.2.5	运行条件对膜的性能影响和浓差极化	(138)
4.2.6	卷式膜元件的结构特点	(140)
4.2.7	反渗透膜元件的安装操作	(140)
4.2.8	反渗透膜元件的保养和使用要求	(142)
4.3	反渗透预处理方法	(142)
4.3.1	预处理的目标	(143)
4.3.2	结垢控制	(143)
4.3.3	预防胶体和颗粒污堵	(144)
4.3.4	预防微生物污染	(145)
4.3.5	预防有机物污染	(147)
4.4	反渗透装置工艺操作	(147)
4.4.1	开车准备	(147)
4.4.2	开车操作	(148)
4.4.3	停车操作	(148)
4.5	反渗透装置单元设备操作	(149)
4.5.1	超滤系统操作	(149)
4.5.2	反渗透系统单元操作	(151)
4.6	电渗析的原理与使用	(153)
4.6.1	电渗析原理和结构	(153)
4.6.2	电渗析的运行	(155)
4.7	连续电去离子装置(EDI)的原理与使用	(156)
4.7.1	EDI装置原理和结构	(156)
4.7.2	连续电去离子装置的运行	(157)

第5章 水的离子交换处理

5.1	离子交换树脂	(159)
5.1.1	离子交换树脂的结构和命名	(159)
5.1.2	离子交换树脂的分类	(160)
5.1.3	离子交换树脂的性能	(161)
5.1.4	离子交换树脂的储存及预处理	(164)
5.1.5	离子交换树脂的鉴别	(165)
5.1.6	水处理常用离子交换树脂一览表	(165)
5.2	离子交换除盐基本理论	(167)
5.2.1	离子交换原理	(167)
5.2.2	动态离子交换过程	(169)
5.2.3	水的阳离子交换	(171)
5.2.4	一级复床除盐基本原理	(172)
5.2.5	强弱型树脂联合应用	(172)
5.3	一级复床加混床离子交换除盐水处理系统原理与操作	(173)
5.3.1	一级复床运行和再生原理	(173)

5.3.2	混合床离子交换除盐原理	(177)
5.3.3	一级复床加混床除盐系统首次开车准备	(178)
5.3.4	开车程序	(180)
5.3.5	停车操作	(181)
5.4	离子交换除盐单元设备的结构、原理与运行	(181)
5.4.1	固定床顺流再生离子交换器	(181)
5.4.2	固定床逆流再生离子交换器	(185)
5.4.3	浮动床离子交换器	(193)
5.4.4	双室双层浮动床离子交换器	(196)
5.4.5	混合床离子交换器	(198)
5.4.6	除碳器	(201)

第6章 炉内水处理

6.1	水、汽系统的金属腐蚀	(203)
6.1.1	金属腐蚀的分类	(203)
6.1.2	金属腐蚀的基本原理	(204)
6.2	锅炉给水处理与水质控制	(204)
6.2.1	锅炉给水系统的腐蚀	(205)
6.2.2	锅炉给水的除氧处理	(208)
6.2.3	给水加氨处理	(210)
6.2.4	给水加氨和联氨的操作	(211)
6.3	汽包锅炉的炉水水质调节	(213)
6.3.1	锅内的杂质和沉积物	(213)
6.3.2	汽包锅炉的炉水处理	(216)
6.3.3	汽包锅炉的化学清洗和停用保护	(218)
6.4	锅炉蒸汽品质的控制	(224)
6.4.1	蒸汽污染的原因和影响因素	(224)
6.4.2	过热器中的盐类沉积	(226)
6.4.3	汽轮机中的盐类沉积	(227)
6.4.4	获得清洁蒸汽的方法	(228)
6.4.5	汽包锅炉的热化学实验	(230)

第7章 冷凝水处理

7.1	冷凝水的污染	(233)
7.1.1	冷凝水中杂质的来源	(233)
7.1.2	冷凝水处理装置的作用	(234)
7.1.3	冷凝水处理常用工艺流程	(234)

7.2 冷凝水的过滤处理	(234)
7.2.1 覆盖过滤器的运行	(235)
7.2.2 电磁过滤器的运行	(237)
7.2.3 复合膜过滤器的运行	(238)
7.3 冷凝水的除盐	(240)
7.3.1 高速混床的树脂	(240)
7.3.2 高速混床的结构和特点	(241)
7.3.3 高速混床的再生工艺	(242)
7.3.4 氨化混床的特点	(246)

第8章 常用设备的使用与维护

8.1 水处理设备的运行管理	(249)
8.1.1 报表记录管理	(249)
8.1.2 巡回检查	(249)
8.1.3 定期维护工作	(249)
8.1.4 交接班工作	(249)
8.2 阀门的操作与维护	(250)
8.2.1 阀门的操作	(250)
8.2.2 阀门的维护	(250)
8.3 静设备的操作与维护	(250)
8.3.1 加热器	(250)
8.3.2 化学水处理管道	(253)
8.3.3 储罐	(253)
8.3.4 水、汽集中取样装置	(255)
8.4 动设备的操作与维护	(256)
8.4.1 离心泵	(256)
8.4.2 计量泵	(257)
8.4.3 罗茨风机	(257)
8.4.4 小型往复式空压机	(258)

第9章 故障判断与处理

9.1 预处理设备的故障判断与处理	(259)
9.1.1 澄清设备的故障处理	(259)
9.1.2 过滤设备的故障处理	(259)
9.2 反渗透系统的故障判断与处理	(260)
9.2.1 反渗透系统故障概述	(260)
9.2.2 运行参数对系统性能的影响	(261)
9.2.3 发生故障的常见原因	(262)
9.2.4 系统故障处理一般步骤	(263)
9.2.5 其他常见故障	(264)

9.3 离子交换系统的故障判断与处理	(265)
9.3.1 离子交换设备的故障判断与处理	(265)
9.3.2 离子交换系统出水水质劣化原因与处理	(266)
9.3.3 离子交换树脂的污染与处理	(268)
9.4 冷凝水处理设备的故障判断与处理	(270)
9.5 热力系统水汽品质劣化的处理	(272)
9.5.1 热力系统水汽品质劣化时的三级处理值	(272)
9.5.2 热力系统水汽品质劣化的原因与处理	(273)
9.6 转动设备的故障判断与处理	(275)

第10章 常规水质分析

10.1 水、汽取样方法	(277)
10.1.1 取样装置	(277)
10.1.2 水样的采集方式	(277)
10.1.3 水样的存放与运送	(278)
10.2 水质分析方法	(278)
10.2.1 浊度的测定	(278)
10.2.2 pH值的测定	(280)
10.2.3 电导率的测定	(282)
10.2.4 硬度的测定	(285)
10.2.5 碱度的测定	(287)
10.2.6 酸度的测定	(288)
10.2.7 钠离子的测定	(289)
10.2.8 可溶性二氧化硅的测定	(291)
10.2.9 磷酸盐的测定	(293)
10.2.10 溶解氧的测定	(294)

第11章 装置的安全、环保和节能降耗

11.1 安全	(297)
11.1.1 水处理工作的有关安全规定	(297)
11.1.2 防止设备超压损坏的措施	(300)
11.1.3 防止离子交换器内部装置损坏及树脂流失的措施	(301)
11.1.4 防止蒸汽管道振动和蒸汽喷出伤人的措施	(301)
11.2 水处理常用化学品的危害与防护	(301)
11.2.1 酸的危害与防护	(301)
11.2.2 碱的危害与防护	(302)
11.2.3 氨溶液的危害与防护	(303)
11.2.4 联氨的危害与防护	(303)
11.3 节能降耗与废水处理	(304)
11.3.1 提高离子交换经济性的措施	(304)

11.3.2	反渗透系统降低能耗和提高水回收率的措施	(305)
11.3.3	降低水处理装置电耗的措施	(306)
11.3.4	火电厂废水的处理	(306)
参考文献	(310)

第 1 章 概 述

水在石油化工生产中起着重要的作用。石化企业用水一般分为工艺用水、化学除盐水和循环冷却水补水。2008 年我国炼油企业吨油水耗最好水平达到 0.35t/t，其中化学除盐水约占 45% 的比例。化学除盐水的主要用途是作为动力锅炉或者电厂(站)的锅炉补水。天然水常含溶解的或悬浮的杂质，化学水处理的任务是除去水中的各种杂质，达到用水装置的工艺要求。除去水中杂质主要采用的工艺方法有：混凝、澄清、沉淀、吸附、膜处理、离子交换等。按照化学水处理的工艺过程，可分为水的预处理、膜法水处理、水的离子交换处理、冷凝水处理、炉内水处理五种水处理方法，本书主要介绍这五种水处理方法的工艺原理和装置操作。

1.1 天然水的水质

1.1.1 水的物理化学性质

1. 水的分子结构

水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的，分子式为 H_2O 。在水分子中，氢、氧原子核呈等腰三角形排列，氧原子核位于两腰相交的顶角上，而 2 个氢原子核位于 2 个底角上，两腰夹角为 104.4° 。这就造成了水分子的正、负电荷中心不重合，而且正负电荷间的距离很大，所以它是极性很强的分子，水分子之间易形成氢键，产生缔和作用。所以，液态水的水分子不是完全由简单的 H_2O 分子组成，而是还含有由两个、或两个以上缔和的 H_2O 分子以及少量的氢离子和氢氧根离子。

2. 水的物理性质

纯水是无色、无味、无臭的液体，导电能力很弱，但是水中有溶解盐类时，可使导电性增强。水的密度在 $3.98^\circ C$ 时最大，为 $1.0000g/cm^3$ ，超过或低于此温度时，密度减小。

几乎在所有的固态和液态物质中，水的比热容最大。1g 水温度升高或降低 $1^\circ C$ ，所吸收或放出的热量为 4.1868J。由于水具有上述热性质，工业上适合做冷却介质，发电机组作为热量载体。同时水起到调节自然界温度的作用，使地球上气候适宜。

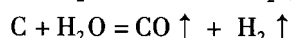
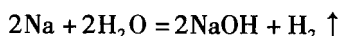
极纯的水几乎不导电，即水的电阻率很大。水本身为弱电解质，只有极少的分子分解成 H^+ 和 OH^- 。理论上的纯水在 $25^\circ C$ 时的电导率为 $0.054\mu S/cm$ ，电阻率为 $18.248M\Omega \cdot cm$ 。在水中有电解质时，其导电能力增加。电导率是水的纯度的一种标志，在除盐水和蒸汽的质量监督中，电导率是重要的技术指标。

3. 水的化学性质

水具有很强的热稳定性，即使加热到 $2000^\circ C$ ，也只有 0.588% 的水分解为氢和氧，即



水能与某些金属和非金属反应放出氢。



水还能和许多金属和非金属氧化物发生反应，生成碱或酸。此外，水还是一种很强的溶剂，能溶解许多物质。因此，天然水中通常溶解有各类杂质。

1.1.2 天然水中的杂质

天然水中的杂质是多种多样的，这些杂质按其颗粒大小的不同，可分成三类：颗粒最大的称为悬浮物，其次是胶体，最小的是离子和分子，即溶解物质。

1.1.2.1 悬浮物

悬浮物是颗粒直径约在 10^{-4} mm 以上的微粒，这类杂质在水中不稳定，容易除去。水发生浑浊现象，都是由此类物质所造成的。它们所以称为悬浮物，就是因为它们常常悬游在水流中，而当水静置时，有些较轻的物质会上浮于水面，称为漂浮物，较重的则下沉，称为可沉物。可沉物主要是砂子和粘土类无机化合物；漂浮物主要是动植物生存过程中产生的物质或死亡后的腐败产物，是一些有机化合物。

1.1.2.2 胶体

胶体是颗粒直径在 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ mm 之间的微粒，是许多分子和离子的集合体。这些微粒，由于其比表面很大，显示出明显的表面活性，所以其表面常常因吸附有多量离子而带电。因此，同类胶体因为带有同性电荷而相互排斥，结果它们在水中不能相互粘合，而是稳定在微小的胶体颗粒状态下，不易于下沉。

天然水中的胶体通常带负电荷，有机胶体多数是由于水中植物或动物肢体的腐烂和分解而生成的，其中主要的为腐植质。在湖泊水中腐植质最多，它常常使水呈黄绿色或褐色。工业区的水源，由于受工业排水的污染，有机胶体也很多。天然水中的矿物质胶体，主要是铁、铝和硅的化合物。

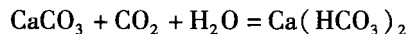
1.1.2.3 溶解物质

在水中呈真溶液状态的物质有离子和分子，其颗粒大小约为 $\leq 10^{-6}$ mm。天然水中的溶解物质大都为离子和一些溶解气体，现概述于下。

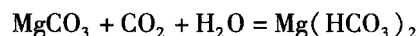
1. 呈离子状态的杂质

天然水中常遇到的各种离子，其中最常见的是钠离子 (Na^+)、钾离子 (K^+)、钙离子 (Ca^{2+})、镁离子 (Mg^{2+})；碳酸氢根 (HCO_3^-)、氯离子 (Cl^-)、硫酸根 (SO_4^{2-})。这些离子的来源主要是当水流经地层时，溶解了某些矿物质而致。此外，天然水中还可能有少量化学组成不清楚的有机酸根与 H_2SiO_3 电离出的 HSiO_3^- ，也属于离子态杂质。对几种主要的离子介绍如下。

(1) 钙离子 (Ca^{2+}) 在含盐量少的水中，钙离子的量常常在阳离子中占第一位。天然水中的钙离子 (Ca^{2+}) 主要来自地层中的石灰石 (CaCO_3) 和石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 的溶解。 CaCO_3 在水中的溶解度虽然很小，但当水中含有二氧化碳 (CO_2) 时， CaCO_3 就较易溶解。这是因为它们相互反应而生成溶解度较大的碳酸氢钙 [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$] 的缘故，其反应如下：



(2) 镁离子 (Mg^{2+}) 水中镁离子的来源大都由于白云石 ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) 受含 CO_2 水水解而致。白云石在水中的溶解和石灰石相似。白云石中碳酸镁 (MgCO_3) 的溶解反应，如下：



在含盐量少的水中，镁离子的物质的量浓度一般为钙离子的 25% ~ 50%；在含盐量大的 ($> 1000\text{mg/L}$) 水中，有的镁离子浓度和钙离子浓度大致相等或甚至超过。

(3) 碳酸氢根 (HCO_3^-) 水中的碳酸氢根，主要是由于水中溶解的 CO_2 和碳酸盐反应后产生的， HCO_3^- 常是天然水中最主要的阴离子。

(4) 氯离子 (Cl^-) 天然水中都含有氯离子，这是因水流经地层时，溶解了其中的氯化物。由于常见氯化物的溶解度很大，故可随着地下水和河流带入海洋，逐渐积累起来，造成

海水中含有大量的氯化物。

(5) 硫酸根(SO_4^{2-}) 天然水中都含有 SO_4^{2-} ，一般地下水中 SO_4^{2-} 的含量比江河、湖水中的大。地层中的石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)也是水中的 SO_4^{2-} 的重要来源。

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。

(1) 氧(O_2) 天然水中氧的主要来源是由于水中溶解了大气中的氧。由于水中的溶解氧对金属有腐蚀作用，所以对于热力系统用水来说，水中含有溶解氧通常是不利的。

地下水中的含氧量一般较少。各种地面水中溶解氧的含量差别很大，这是因为各地水温和气压不同的关系；此外，水中有机物能和氧作用，所以也会改变水中溶解氧的含量，一般在 $0 \sim 14\text{mg/L}$ 之间。

(2) 二氧化碳(CO_2) 天然水中的 CO_2 主要是水中或泥土有机物的分解和氧化的产物，也有的是由于地层深处所进行的地层化学过程而生成的。至于大气中的 CO_2 ，因为只有 $0.03\% \sim 0.04\%$ (体积分数)，而气体在水中的溶解度是和水面上该气体的分压力成正比(称为亨利定律)，所以相应的 CO_2 溶解度仅为 $0.5 \sim 1\text{mg/L}$ ，因而自大气中溶入的 CO_2 并非天然水中含有多量 CO_2 的来源。

天然水中 CO_2 含量在几十至几百 mg/L 之间。地表水中的 CO_2 含量不超过 $20 \sim 30\text{mg/L}$ 。地下水中的 CO_2 含量，有时很高。

1.1.3 天然水中的几种主要化合物

天然水中杂质种类较多，了解常见的几种主要化合物的特性，对研究水处理工艺有较为重要的意义。因此，这里介绍天然水中几种主要化合物的化学特征。

1. 碳酸化合物

碳酸是二元弱酸，它和它的盐类统称为碳酸化合物，是天然水中一种主要杂质，在含盐量低的天然水中，碳酸氢盐常常是杂质中含量最大的部分。

水中碳酸化合物有几种不同的存在形态：溶于水中的气体二氧化碳(CO_2)；分子态碳酸(H_2CO_3)；碳酸氢根(HCO_3^-)和碳酸根(CO_3^{2-})。

在这四者之间有以下(如图 1-1)的关系：

当 $\text{pH} \leq 4.3$ 时，水中只有 CO_2 ， $\text{pH} = 8.3 \sim 8.4$ 时，98% 以上都是碳酸氢根， $\text{pH} > 8.3$ 时水中没有 CO_2 。所以水中各种碳酸化合物，在一定的 pH 值和温度时，它们的相对量是一定的。

大多数天然水的 pH 值低于 8.35，所以其碳酸化合物主要是碳酸氢根(HCO_3^-)。碳酸根含量的增加会与水中的钙离子(Ca^{2+})生成碳酸钙(CaCO_3)，饱和后沉积成垢。

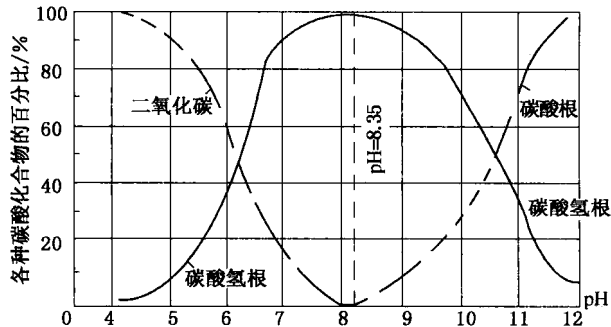


图 1-1 水中各种碳酸化合物的相对量和 pH 的关系 (25°C)