

特种设备作业人员安全培训系列教材

Industrial Boiler

Water Treatment Technology

工业锅炉水处理技术

大庆油田特种作业安全培训中心 编



中国石油大学出版社

特种设备作业人员安全培训系列教材

工业锅炉

水处理技术

Industrial Boiler
Water Treatment Technology

大庆油田特种作业安全培训中心 编



中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业锅炉水处理技术/大庆油田特种作业安全培训中心编. —东营: 中国石油大学出版社, 2012. 5
ISBN 978-7-5636-3698-3

I. ①工… II. ①大… III. ①工业锅炉—锅炉用水—水处理 IV. ①TK223. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 059315 号

书 名: 工业锅炉水处理技术
作 者: 大庆油田特种作业安全培训中心

责任编辑: 秦晓霞 (0532—86981532)
封面设计: 青岛友一广告传媒有限公司

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>
电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com
印 刷 者: 青岛锦华信包装有限公司
发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 0546—8392563)
开 本: 185 mm×260 mm 印张: 22.5 字数: 494 千字
版 次: 2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
定 价: 52.00 元

内容提要

本书系统地介绍了工业锅炉水处理的基础知识、水处理工艺的基本原理及操作方法、水质标准及检验方法、水垢的清除、腐蚀等方面的知识。本书系统性较强,内容丰富,通俗易懂,有较高的参考价值。可作为工业锅炉水处理人员和管理人员理论培训教材,亦可供锅炉安全技术监察干部和检验人员参考。

特种设备作业人员安全培训系列教材

编委会

主任:韩 忠

副主任:郭显平 韩玉华

委员:(按姓氏笔画排列)

马云龙 王 强 刘忠辉 李 阳

张福超 高继胜 徐 斌 梁贵喜

盛永权 谢荣辉 魏 东

工业锅炉水处理技术

编写组

主 编:王 新

副主编:王雪梅

主 审:刘中良 冯 青 宫小龙

编 者:韩志远 朱洪岩 马 岩 李国栋

席庆华 雷丽丽 尹 贺 刘凤强

陈家祥

序

特种设备是指涉及生命安全、危险性较大的锅炉、压力容器(含气瓶)、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施和场(厂)内专用机动车辆。

特种设备在国民经济建设中使用广泛,发挥了巨大的作用,涉及石油、化工、建筑等各行各业,而且数量巨大,发生事故后严重威胁人员生命及财产安全,破坏环境,甚至会引起国际反响。为此国家专门制定和颁布了相关的法律法规、规范等加强对特种设备及其作业人员的管理。

随着近几年《特种设备安全监察条例》、《特种设备作业人员监督管理办法》、《高耗能特种设备节能监督管理办法》、相关特种设备安全技术规范、相关特种设备安全技术监察规程等的修订、制定及颁布,原有培训教材已不能继续适应当前培训的需求。同时,为进一步促进特种设备安全培训的发展,为安全生产奠定良好的基础,大庆市质量技术监督局、大庆油田有限责任公司和大庆油田特种作业安全培训中心组织相关人员编写了《特种设备作业人员安全培训系列教材》。系列教材的编写者结合多年的培训、科研、生产及管理的经验,努力将理论与实际相结合,力求通俗易懂,形式新颖,使学员既学到真正技能又有一定理论基础,体现了科学性和实用性。

《特种设备作业人员安全培训系列教材》所有编写工作人员在此对鼓励、支持、帮助过我们的领导、同事、同行、朋友等表示衷心的感谢!

《特种设备作业人员安全培训系列教材》编委会

2011年12月

前 言

工业锅炉水质处理,是保证锅炉设备安全、经济运行的一项重要工作内容。对于节约能源、保护环境也起着积极作用。做好工业锅炉水处理工作,在很大程度上取决于水质处理技术的普及与提高。为加强对油田水处理人员的培训,提高水处理人员的理论知识和实际操作能力,做好工业锅炉的水处理工作,适应锅炉科学化管理的需要,我们在总结锅炉水处理培训工作的基础上,参考有关方面的资料组织编写了本书。

本书是《特种设备作业人员安全培训系列教材》之一,严格按照《锅炉水处理作业人员考核大纲》(TSG G6003—2008)标准编写。全书共分两部分,第一部分共分九章,主要介绍锅炉水处理相关基础知识、锅炉用水预处理、锅炉用水及水质标准、水垢及其清除、锅炉腐蚀及防止、锅内加药水处理技术、锅外化学水处理技术、锅炉水处理不当造成的事故案例。第二部分共分两章,主要介绍锅炉水质分析基础知识及水质检验方法。本书不仅可以作为锅炉水处理作业人员培训教材,也可以作为锅炉安全管理人员和操作人员、安全技术监察干部和检验人员参考教材。

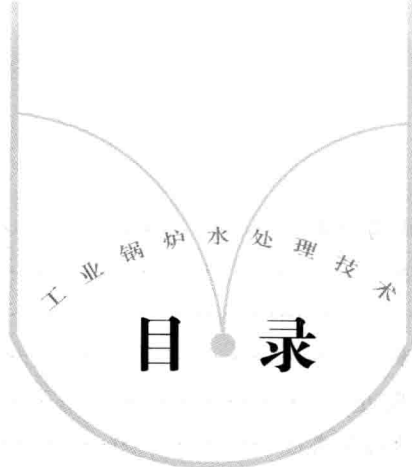
本书在编写过程中得到了北京工业大学环境与能源工程学院院长刘中良教授、景德镇陶瓷学院材料学院党总支书记冯青教授、北京工业大学官小龙博士及中国石油大学出版社有关人员的指导和帮助,在此一并致谢。

编者在编写过程中参阅了有关书籍和文章、国内外生产厂家及公司的相关资料,其中绝大部分已在参考文献中注明,若仍有不尽之处,望谅解,并在此一并表示感谢!

由于本书编写工作量比较大,不妥之处在所难免,敬请各位读者批评指正。

《特种设备作业人员安全培训系列教材》编委会

2011年12月



第一部分 锅炉水处理基本知识

第一章 化学基础知识	3
第一节 化学的基本概念	3
第二节 摩尔及物质的量	7
第三节 酸、碱、盐、氧化物	9
第四节 络合物	12
第五节 化学变化的表示方法	13
第六节 化学反应的基本类型	16
第七节 溶 液	17
第八节 化学反应速度与化学平衡	22
第九节 电离平衡	24
第二章 锅炉基础知识	29
第一节 锅炉的构成、分类及型号	29
第二节 锅炉的工作过程	37
第三节 工业锅炉参数系列和技术经济指标	38
第三章 锅炉用水预处理	46
第一节 地表水预处理	46
第二节 地下水与自来水预处理	53
第三节 高硬度与高碱度水预处理	58
第四章 锅炉用水及水质标准	63
第一节 天然水中的杂质	63
第二节 锅炉用水的水质	68
第三节 工业锅炉水质指标及指标间的关系	73
第四节 中华人民共和国水质标准	84
第五节 工业锅炉的水质管理	92
第五章 水垢及其清除	94



第一节	水垢的形成与分类	94
第二节	水垢的危害	101
第三节	防垢方法	104
第四节	水垢的清除	105
第六章	锅炉的腐蚀及防止	114
第一节	腐蚀和腐蚀的分类	114
第二节	电化学腐蚀	116
第三节	腐蚀的因素和防止	117
第四节	锅炉运行中及停炉期间的腐蚀及防止	130
第七章	锅内加药水处理	135
第一节	锅炉排污	135
第二节	锅内加药水处理特点及适用范围	144
第三节	锅内加药水处理常用药剂的种类和性能	146
第四节	锅内加药水处理常用药剂配方及选择	151
第五节	锅内加药水处理常用药剂用量计算	153
第六节	锅内加药水处理药剂的配制与使用	158
第七节	锅水的化验监督	161
第八节	燃油、燃气锅炉的自动排污和手动排污	164
第八章	锅外化学水处理	165
第一节	离子交换树脂	165
第二节	钠离子交换软化处理的基本原理	179
第三节	离子交换水处理设备	186
第四节	固定床钠离子交换器常见故障及处理方法	201
第五节	全自动控制钠离子交换器	204
第六节	锅炉用水的离子交换处理系统	216
第七节	水处理系统的防腐	233
第九章	锅炉水处理不当造成的事故案例	237
第一节	苛性脆化引起的事故	237
第二节	水质不良引起的事故	238
第三节	水处理方法不当引起的事故	240
第四节	给水除氧不良造成的事故	242
第五节	锅炉停炉保养造成的事故	243

第二部分 锅炉水质分析

第十章	锅炉水质分析基础知识	249
第一节	定性分析	249



第二节	定量分析	249
第三节	水分析用纯水的制备和检验	254
第四节	化学试剂	255
第五节	水分析常用玻璃仪器及使用	256
第六节	玻璃器皿的洗涤	266
第七节	天 平	267
第八节	称量方法	278
第九节	实验室常用电器设备的使用及注意事项	279
第十节	误差与分析数据的处理	283
第十一节	有效数字及计算规则	286
第十二节	水样的采集	287
第十一章	水质检验方法	290
第一节	浊度的测定(浊度仪法)	290
第二节	溶解固形物的测定(质量法)	292
第三节	锅水溶解固形物的间接测定	294
第四节	电导率的测定	297
第五节	pH 值的测定(电极法)	299
第六节	氯化物的测定(沉淀滴定法——莫尔法)	302
第七节	碱度的测定(酸碱滴定法)	304
第八节	硬度的测定(络合滴定法)	306
第九节	磷酸盐的测定(磷钼蓝比色法)	308
第十节	溶解氧的测定(氧电极法)	310
第十一节	溶解氧的测定(测氧管法)	312
第十二节	亚硫酸盐的测定(氧化还原滴定法——碘量法)	313
第十三节	油的测定(质量法)	314
第十四节	铁的测定(磺基水杨酸分光光度法)	316
第十五节	铁的测定(硫氰酸钾比色法)	319
第十六节	酸、碱液的配制与标定	320
第十七节	乙二胺四乙酸二钠($\frac{1}{2}$ EDTA)标准溶液的配制与标定	322
第十八节	硫代硫酸钠标准溶液的配制与标定	323
第十九节	碘标准溶液的配制与标定	325
第二十节	高锰酸钾标准溶液的配制与标定	326
元素周期表		328
附 录		329
附录一	日常水质监测所需化学试剂及规格	329
附录二	我国化学试剂的等级和标志	330



附录三 蒸馏水的规格要求	330
附录四 各种硬度单位的换算表	331
附录五 氯化钠溶液的密度(20℃)	331
附录六 常用酸、碱相对密度和浓度(20℃)	332
附录七 常用弱电解质在水中的电离常数	332
附录八 一些难溶电解质的溶度积	333
附录九 标准电极电位	334
附录十 pH值和碱度的关系	335
附录十一 水处理常用药剂性能及规格	336
附录十二 国产离子交换树脂主要产品及规格性能	338
附录十三 锅炉水处理相关规程及标准简介	339
参考文献	343

第一部分

锅炉水处理基本知识

第一章 化学基础知识

第一节 化学的基本概念

一、分子、原子、离子

世界是由物质构成的。所谓物质,就是“作用于我们的感官而引起感觉的东西;是我们感觉到的客观实在”。物质又是由很小的微粒构成的;构成物质的微粒有原子、分子、离子。有的物质由原子构成,如石墨;有的物质由分子构成,如氧气;有的物质由离子构成,如食盐。

1. 分子

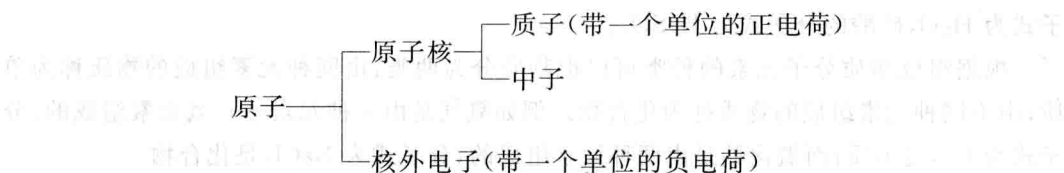
分子是能够独立存在并保持物质化学性质的最小微粒。分子非常小,水分子的直径大约是 4×10^{-10} m。一滴水(约 0.05 mL)中约有 1.5×10^{21} 个水分子。分子处在不断的运动中,例如水的蒸发,就是水分子不断运动,克服了分子间的吸引力而从液面逸出,扩散到液体上面的空间中。

2. 原子

分子尽管很小,但它是由更小的微粒——原子构成的。原子是化学变化中的最小微粒。在同一种分子中含有的原子的种类和数目是一定的,如水分子中含有两个氢原子和一个氧原子。原子也处在不断的运动状态中,其运动情况与外界条件有关。

现代科学已证实,原子是由原子核和核外电子组成的。原子核位于原子的中心,由质子和中子组成。质子和中子的质量几乎相等,质子带一个单位的正电荷,中子不带电荷,所以原子核带正电荷。原子核外的电子围绕原子核做高速运动,每个电子带一个单位的负电荷,而且其数目与质子数目相等,也就是说,原子核带正电荷数(简称核电荷数)=原子核外电子数,故原子呈电中性。

原子的构成可概括如下:



3. 离子

原子是由原子核和核外电子组成的。由于原子核带正电荷,电子带负电荷,所以它们之间有相互吸引力;而电子在核外做高速旋转运动,电子有离开原子核的倾向。这样就使



原子核和电子处在相对稳定的状态。但是,在一定的条件下,原子也会失去或得到电子而成为带电荷的微粒。原子失去电子带正电荷,称为阳离子;得到电子带负电荷,称为阴离子。

二、元素和元素符号

1. 元素

我们知道,氧分子是由氧原子构成的,水分子是由氢原子和氧原子构成的,无论是氧分子中的氧原子还是水分子中的氧原子,它们的核电荷数都是 8,都有 8 个质子,化学性质相同。在化学上,把化学性质相同的同一类原子称为元素,换句话说,元素是具有相同核电荷数(质子数)的同一类原子的总称。例如,碳元素就是所有碳原子的总称,氧元素就是所有氧原子的总称。

在自然界里,物质的种类非常多,有 600 万种左右。但是,组成这些物质的元素并不多。到目前为止,人们已经知道的元素有 109 种,其中还包括十几种人造元素。

2. 元素符号

在化学上,为了书写的方便,常用一定的符号来表示各种元素,这种符号称为元素符号。在国际上,元素符号统一用该元素的拉丁文的第一个字母表示,如果两个元素拉丁文的名称开头第一个字母相同,则用两个字母,第一个字母大写,第二个字母小写。例如氧元素用“O”表示,铁元素用“Fe”表示等。

元素符号表示的意义如下:

- ① 表示一种元素;
- ② 表示这种元素的一个原子;
- ③ 表示这种原子的相对原子质量。

例如,元素符号“H”既表示氢元素,又表示一个氢原子或氢的相对原子质量(等于 1)。

三、分子式、相对质量和化合价

1. 分子式

前面已经介绍,分子是能够独立存在的并保持物质化学性质的最小微粒。用元素符号表示物质分子组成的式子称为分子式。自然界中的每一种物质都有固定的组成,也就是说,它所包含的元素的种类和原子的个数是一定的,因此就有固定的分子式。如水的分子式为 H_2O ,硫酸的分子式为 H_2SO_4 。

根据组成物质分子元素的种类可以把物质分为两类:由同种元素组成的物质称为单质;由不同种元素组成的物质称为化合物。例如氧气是由一种元素——氧元素组成的,分子式为 O_2 ,是单质;而氯化钠是由两种元素组成的,分子式为 NaCl ,是化合物。

根据组成物质的分子是否相同,可将物质分为两类:由同种分子组成的物质称为纯净物;由不同种分子组成的物质称为混合物。例如,氧气、水、二氧化碳都是纯净物;而空气是由氧气、氮气、二氧化碳等组成的,是一种混合物。



2. 相对质量

1) 相对原子质量

原子尽管很小,但也有一定的质量。如一个碳原子的质量为 1.993×10^{-26} kg。用克作单位来表示原子的质量,数值太小,使用和计算都很不方便。所以国际上规定:把一种碳原子的质量定为 12 作标准,而把其他原子的质量与这种碳原子质量的 $\frac{1}{12}$ 的比值,称为相对原子质量。

2) 相对分子质量

相对分子质量是一个物质分子中各种原子的相对原子质量的总和。因此,根据物质的分子式和各种原子的相对原子质量即可得到各种分子的相对分子质量。因为相对原子质量没有单位,所以相对分子质量也没有单位。

例如, H_2O (水) 的相对分子质量为 $1 \times 2 + 16 \times 1 = 18$, NaCl (氯化钠) 的相对分子质量为 $23 + 35.5 = 58.5$ 。

3. 化合价

我们知道,水是由一个氧原子和两个氢原子构成的,分子式为 H_2O , 氧原子和氢原子的个数比为 1 : 2; 一氧化碳是由一个碳原子和一个氧原子构成的,分子式为 CO , 碳原子和氧原子的个数比为 1 : 1。从这些例子可以看出,化合物分子里各元素的原子是按一定的比例结合的。也就是说,元素之间相互化合时,其原子个数比都有确定的数值。

这种由一种元素一定数目的原子和其他元素的一定数目的原子相化合的性质称为这种元素的化合价。通常以氢元素为标准,规定其化合价为 +1, 其他元素的化合价可根据该元素一个原子能跟几个氢原子相互化合来确定。如 HCl 中,氯元素的化合价为 -1 价; NH_3 中,氮的化合价为 -3 价。

化学上还常把氧的化合价规定为 -2 价,以此为标准来确定其他元素的化合价。例如,从氧化钙 (CaO) 分子式可确定钙的化合价为 +2 价。

有些元素在不同的化合物里显示不同的化合价,称为可变化化合价。例如,硫的化合价在硫化氢 (H_2S) 分子里是 -2 价,在二氧化硫 (SO_2) 分子里是 +4 价,在三氧化硫 (SO_3) 分子里是 +6 价。

元素在所有化合物里显示相同的化合价,称为不变化合价。如钾、钠等元素,在一切化合物里都是 +1 价,钙、镁等元素在一切化合物里都是 +2 价。

元素的化合价,通常有下列规则(个别有例外):

- ① 氢在化合物里为 +1 价;
- ② 氧在化合物里为 -2 价;
- ③ 金属元素一般为正价;
- ④ 非金属元素与氧化合时为正价,与氢化合时为负价;
- ⑤ 在单质的分子里,元素的化合价为零;

⑥ 各化合物的分子,由显正价的元素与显负价的元素组成,并且正、负化合价的代数和为零。