

SHIYOUHUAGONG ZHIYEJINENG PEIXUN JIAOCAI

石油化工职业技能培训教材



炼油基础知识

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)

石油化工职业技能培训教材

炼油基础知识

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

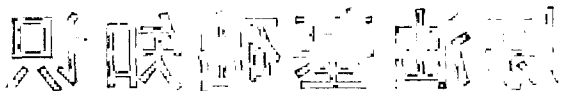
编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书从石油的性质和石油产品的要求出发,根据燃料油生产工、润滑油(脂)生产工等职业(工种)的培训需要,阐述了石油加工的方法、过程、设备及相关的理论基础知识。全书共分8章,包括化学基础知识、石油及油品基础知识、石油炼制基础知识、石油加工过程基础知识、计量基础知识、炼油机械与设备基础知识、电工基础知识、仪表及自动控制基础知识。

本书在编写时采用传统教材模式,不分级别,可供操作人员学习,也可供相关管理人员参考学习。



图书在版编目(CIP)数据

炼油基础知识/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,2007(2007.11重印)

石油化工职业技能培训教材

ISBN 978-7-80229-329-8

I. 炼… II. ①中…②中… III. 石油炼制-技术培训-教材
IV. TE62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 066656 号

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

中国石化出版社图文中心排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

787×1092 毫米 16 开本 21.75 印张 539 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 11 月第 2 次印刷

定价:45.00 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	岑奇顺
杨 徐	郑世桂	姜殿虹	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、公文及技术文件,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。

《炼油基础知识》为第二层次教材,在编写时采用传统教材模式,不分级别,

可供燃料油生产工、润滑油(脂)生产工等职业(工种)操作人员学习,也可供相关管理人员参考学习。

《炼油基础知识》教材由茂名石化负责组织编写。主编:汪东红(茂名石化),参加编写的人员有:甘志红(荆门石化)、施洪香、赵良(高桥石化)、陈小宁、陈小林、陶武贞、林筱华、谢进祥、江树初、胡圣忠、刘雁(茂名石化);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:郑世桂,参加审定的人员有:岑奇顺、张志雄、朱文红、高卫亭、蒋宇华、艾中秋、杨基和、杨开岩、王晨、郑华坚、巫建忠等。审定工作得到了齐鲁石化、荆门石化、抚顺石化、沧州炼油厂、镇海炼化、茂名石化、江苏工业学院等单位的大力支持。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 化学基础知识

1.1 无机化学知识	(1)
1.1.1 化学基本概念及计算	(1)
1.1.2 化学反应速率和化学平衡	(12)
1.1.3 电解质溶液	(15)
1.2 有机化学知识	(22)
1.2.1 有机化合物概述	(22)
1.2.2 烃	(22)
参考文献	(32)

第2章 石油及油品基础知识

2.1 石油的化学组成	(33)
2.1.1 石油的一般性质	(33)
2.1.2 石油的元素组成	(35)
2.1.3 石油的烃类组成	(36)
2.1.4 石油中的非烃化合物	(36)
2.1.5 原油的评价	(37)
2.2 石油及油品的物理性质	(39)
2.2.1 蒸气压、馏程、平均沸点	(39)
2.2.2 密度、API 度、特性因数和平均分子质量	(42)
2.2.3 油品的黏度	(45)
2.2.4 油品的闪点、燃点、自燃点、凝点	(47)
2.2.5 油品的热性质	(49)
2.3 主要石油产品	(50)
2.3.1 发动机燃料	(50)
2.3.2 润滑油、脂	(57)
2.3.3 轻烃	(61)
2.3.4 石油蜡	(61)
2.3.5 沥青和焦炭	(62)
2.4 油品分析和油品储运	(64)
2.4.1 油品分析的任务和作用	(64)
2.4.2 油品主要质量指标的分析方法	(64)
2.4.3 油品储运	(66)

参考文献	(68)
------------	--------

第3章 石油炼制基础知识

3.1 概述	(69)
3.2 原油的预处理	(70)
3.3 常减压蒸馏	(71)
3.4 燃料油的生产工艺	(72)
3.4.1 催化裂化	(72)
3.4.2 催化加氢	(77)
3.4.3 催化重整	(82)
3.4.4 延迟焦化	(88)
3.4.5 减黏裂化	(89)
3.4.6 氢气的制取	(90)
3.4.7 炼厂气体加工	(90)
3.4.8 气体脱硫及硫磺回收	(95)
3.5 润滑油基础油的生产工艺	(96)
3.5.1 溶剂精制	(97)
3.5.2 溶剂脱蜡	(100)
3.5.3 溶剂脱沥青	(102)
3.5.4 加氢处理	(105)
3.5.5 补充精制	(106)
3.6 催化剂和炼油助剂	(109)
3.6.1 催化剂	(109)
3.6.2 炼油助剂	(112)
3.7 发动机燃料的调合	(115)
3.7.1 燃料添加剂	(115)
3.7.2 燃料油品的调合	(116)
3.7.3 性质指标的调合计算	(116)
3.8 润滑油调合	(116)
3.8.1 润滑油基础油的分类及代号	(116)
3.8.2 通用基础油	(117)
3.8.3 润滑油专用基础油	(118)
3.8.4 添加剂及其作用	(118)
3.8.5 调合原理及工艺	(121)
3.8.6 润滑油调合工艺控制	(124)
3.8.7 润滑油产品分类	(126)
3.9 润滑脂、蜡及沥青的生产	(129)
3.9.1 润滑脂	(129)
3.9.2 石油蜡	(135)
3.9.3 沥青	(137)

参考文献	(138)
------	-------

第4章 石油加工过程基础知识

4.1 流体力学基础知识	(139)
4.1.1 流体静力学	(139)
4.1.2 流体动力学	(143)
4.1.3 流体的流动阻力	(148)
4.1.4 管路的计算	(149)
4.2 传热基础知识	(150)
4.2.1 传热的三种形式	(150)
4.2.2 热传导	(151)
4.2.3 对流传热	(153)
4.2.4 克希霍夫定律	(160)
4.2.5 两固体间的相互辐射	(161)
4.2.6 辐射、对流的联合传热	(161)
4.3 传质过程基础	(161)
4.3.1 传质过程的分类	(161)
4.3.2 混合物组成的表示方法	(162)
4.4 蒸馏	(163)
4.4.1 两组分溶液的气液平衡	(163)
4.4.2 平衡蒸馏与简单蒸馏	(166)
4.4.3 精馏原理	(166)
4.4.4 两组分连续精馏塔的计算	(168)
4.5 吸收	(173)
4.5.1 气液相平衡	(173)
4.5.2 吸收过程机理及吸收速率	(175)
4.5.3 影响吸收与脱吸的因素	(176)
4.6 液-液萃取	(177)
参考文献	(178)

第5章 计量基础知识

5.1 计量与计量单位	(179)
5.2 法定计量单位	(179)
5.2.1 法定计量单位的定义	(179)
5.2.2 法定计量单位的构成	(179)
5.2.3 法定计量单位的使用方法	(181)
5.3 误差理论与测量不确定度	(183)
5.3.1 误差理论基础知识	(183)
5.4 常用流量计知识	(186)
5.4.1 流量和流量计的概念	(186)

5.4.2	流量计的分类及工作原理	(186)
5.4.3	流量计的使用和维护	(190)
5.4.4	流量计的检定	(191)
5.4.5	强制检定计量标准和物料计量表检定要求	(191)
5.5	容器计量	(191)
5.5.1	容器内的油品液位测量	(191)
5.5.2	容器内油品温度的测量	(192)
参考文献		(193)

第6章 炼油设备基础知识

6.1	塔设备	(194)
6.1.1	塔设备的分类	(194)
6.1.2	塔设备的结构	(194)
6.1.3	塔设备的用途	(194)
6.1.4	塔设备的原理	(194)
6.2	加热炉	(196)
6.2.1	加热炉的分类	(196)
6.2.2	加热炉的结构及主要部件的选材	(197)
6.2.3	加热炉的工作原理	(198)
6.2.4	加热炉的性能及用途	(198)
6.2.5	加热炉露点腐蚀机理及维护方法	(199)
6.2.6	加热炉的操作维护及故障处理	(200)
6.3	反应器	(202)
6.3.1	反应器的分类	(202)
6.3.2	反应器的结构及选材	(202)
6.3.3	反应器的工作原理	(206)
6.3.4	反应器维护及检修	(207)
6.4	换热器	(207)
6.4.1	换热器的分类	(207)
6.4.2	换热器的结构及选材	(207)
6.4.3	换热器的用途及原理	(211)
6.4.4	换热器维护及检修	(211)
6.5	空冷器	(212)
6.5.1	空冷器的分类	(212)
6.5.2	空冷器的结构及选材	(212)
6.5.3	空冷器的原理及用途	(213)
6.5.4	空冷器的维护及检修	(213)
6.6	压力容器	(214)
6.6.1	压力容器的分类	(214)
6.6.2	压力容器的结构及选材	(215)

6.6.3. 压力容器的原理及用途	(215)
6.6.4. 压力容器的维护及检修	(216)
6.7 锅炉	(218)
6.7.1. 锅炉的分类	(218)
6.7.2. 锅炉的结构	(218)
6.7.3. 锅炉的作用及原理	(219)
6.7.4. 锅炉的操作	(221)
6.7.5. 锅炉的维护	(222)
6.8 管道及管件	(222)
6.8.1. 管道的分类	(222)
6.8.2. 管道的附件	(223)
6.8.3. 管道的选材	(226)
6.8.4. 管道的使用、维护及检修	(227)
6.9 阀门	(228)
6.9.1. 阀门的分类	(228)
6.9.2. 阀门的结构	(228)
6.9.3. 阀门的用途及标识	(229)
6.9.4. 阀门的使用与维护	(231)
6.10 压缩机	(232)
6.10.1. 压缩机的分类	(232)
6.10.2. 离心式压缩机	(232)
6.10.3. 轴流式压缩机	(235)
6.10.4. 烟机	(237)
6.10.5. 通风机	(240)
6.10.6. 往复式压缩机	(241)
6.10.7. 螺杆式压缩机	(244)
6.10.8. 密封	(246)
6.10.9. 压缩机的轴承	(249)
6.10.10. 联轴器	(250)
6.11 工业汽轮机	(250)
6.11.1. 工业汽轮机的分类	(250)
6.11.2. 工业汽轮机的结构与性能	(251)
6.11.3. 工业汽轮机的工作原理	(251)
6.11.4. 工业汽轮机转速调节原理	(251)
6.11.5. 工业汽轮机的控制系统及保护装置的功能	(252)
6.11.6. 工业汽轮机的使用与维护	(253)
6.11.7. 工业汽轮机的故障处理	(253)
6.12 泵	(254)
6.12.1. 泵的分类	(254)
6.12.2. 离心泵	(254)

6.12.3 齿轮泵	(259)
6.12.4 螺杆泵	(261)
6.12.5 往复泵	(262)
6.12.6 高速管道泵	(264)
6.13 设备润滑知识	(266)
6.13.1 润滑	(266)
6.13.2 润滑油基础知识	(267)
6.13.3 润滑油的管理	(268)
6.14 腐蚀与防护	(269)
6.14.1 减薄	(269)
6.14.2 应力腐蚀开裂(SCC)	(271)
6.14.3 高温氢腐蚀(HTHA)	(273)
6.14.4 外部腐蚀	(274)
6.14.5 加工高硫原油重点装置主要设备的选材	(274)
6.15 金属材料基本知识	(275)
6.15.1 金属材料定义及分类	(275)
6.15.2 金属材料的性能	(275)
6.15.3 铁碳合金的基本组织	(276)
6.15.4 金属热处理基本知识	(277)
6.16 常用钢材分类及用途	(278)
6.16.1 碳素钢	(278)
6.16.2 合金钢	(279)
6.16.3 有色金属及合金	(281)
参考文献	(282)

第7章 电工基础知识

7.1 直流电和交流电	(283)
7.1.1 直流电的基本定律	(283)
7.1.2 直流电供用电设备	(285)
7.1.3 正弦交流电	(287)
7.1.4 交流电的供用电设备	(289)
7.2 炼油厂供、配电的知识	(292)
7.2.1 三相交流电的概念	(292)
7.2.2 简单三相交流电路的计算方法	(293)
7.2.3 简单电动机控制电路知识	(296)
7.3 安全用电常识	(297)
7.3.1 防雷的知识	(297)
7.3.2 防静电知识	(299)
7.3.3 设备防火、防爆和防护等级的知识	(301)
7.3.4 防触电和用电安全知识	(306)

参考文献.....	(308)
-----------	-------

第8章 仪表及自动控制基础知识

8.1 仪表基本概念	(309)
8.1.1 控制的基本概念	(309)
8.1.2 仪表的分类	(312)
8.2 常用测量仪表的原理	(318)
8.2.1 压力仪表的测量原理	(318)
8.2.2 温度仪表的测量原理	(319)
8.2.3 流量仪表的测量原理	(319)
8.2.4 物位仪表的测量原理	(319)
8.3 常规仪表、DCS 使用基础知识	(320)
8.3.1 常规仪表的基础知识	(320)
8.3.2 复杂控制回路的知识	(325)
8.3.3 DCS 系统的基础知识	(328)
8.3.4 联锁和机组控制仪表的基础知识	(330)
8.3.5 常见仪表故障分析	(332)
参考文献.....	(334)

第1章 化学基础知识

化学是在原子、分子水平上研究物质的组成、结构、性质及其应用的一门基础自然科学。在不断运动着的物质世界里，化学变化无所不在。本章内容分为两部分：无机化学知识和有机化学知识，要求不同层次的人员学习掌握。

1.1 无机化学知识

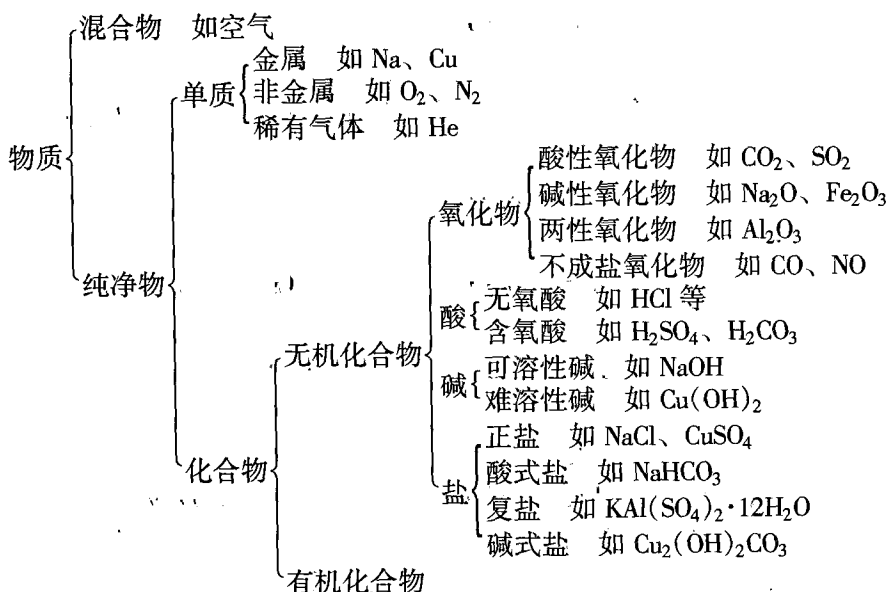
1.1.1 化学基本概念及计算

1.1.1.1 物质的分类和化学反应类型

1. 物质的分类

物质根据其组成，可以分为混合物和纯净物。纯净物中由同种元素组成的物质叫做单质，由不同元素组成的物质叫做化合物。单质根据性质又分为金属、非金属和稀有气体。化合物分为无机化合物和有机化合物，无机化合物依据其组成和性质又分为氧化物、酸、碱、盐等。有机化合物将在后面介绍，首先分清元素、单质、原子这三个概念。

元素和单质是宏观的概念。单质是元素存在的一种形式(游离态)。某些元素可以形成几种单质，如碳的同素异形体有金刚石、石墨等。元素只能存在于具体物质(单质、化合物、混合物等)中，脱离具体的物质，抽象的元素是不存在的。从这个角度看，元素和单质既有联系，又有区别。元素符号表示一种元素，也表示该元素的一个原子。原子是微观的概念，既有个数又有量的涵义。但元素不然，它指的是同一种类的原子，所以元素是个抽象的概念。如水是由氢和氧两种元素组成的，水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的，而绝不能说，水分子中含有两个氢元素和一个氧元素。



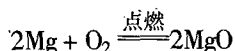
2. 无机化学反应的基本类型

无机化学反应一般可分为化合反应、分解反应、置换反应和复分解反应。

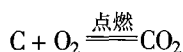
(1) 化合反应

由两种或两种以上的物质反应后生成另一种物质的反应，称为化合反应。

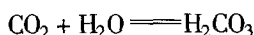
金属与非金属直接化合：



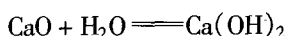
非金属与非金属直接化合：



酸性氧化物与水作用：

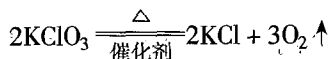
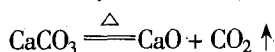
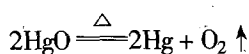


碱性氧化物与水作用：



(2) 分解反应

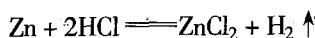
由一种物质反应后生成两种或两种以上的新物质的反应，称为分解反应。



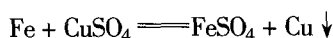
(3) 置换反应

一种单质与一种化合物作用，生成另一种单质和另一种化合物的反应，称为置换反应。

金属与酸作用：



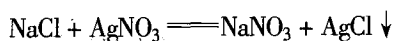
金属与盐作用：



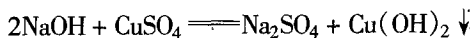
(4) 复分解反应

由两种化合物相互交换组分，生成另外两种新的化合物的反应，称为复分解反应。

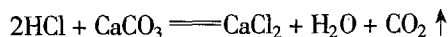
盐与盐的反应：



碱与盐的反应：



酸与盐的反应：



酸与碱的反应：



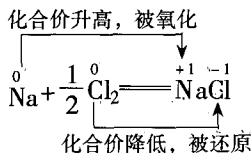
以上四种反应中，置换反应以及部分的分解反应和化合反应，反应前后有的元素的化合价发生升降，它们属于氧化还原反应。而复分解反应、酸性氧化物或碱性氧化物与水反应等，反应前后所有元素的化合价没有改变，它们不属于氧化还原反应，是非氧化还原反应。

所以深入一步分析,按反应中元素化合价有无变化可将化学反应分成氧化还原反应和非氧化还原反应。

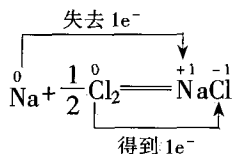
3. 氧化还原反应

(1) 氧化还原反应的本质

以钠和氯气化合生成氯化钠为例:

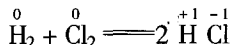


氯化钠的生成是钠原子失去1个电子,成为+1价钠离子,氯原子得到1个电子,成为-1价的氯离子,阴阳离子通过静电引力而形成氯化钠。



由此看出,在反应过程中,钠原子失去1个电子,化合价从0价变到+1价,化合价升高了;氯原子得到1个电子,氯从0价变到-1价,化合价降低了。元素化合价升高是由于失去电子,升高的价数也就是失去的电子数。元素的化合价降低是由于得到电子,降低的价数也就是得到的电子数。元素化合价升降的原因就是它们的原子失去或得到电子的缘故。由此,我们可以说,氧化还原反应是具有电子得失的反应。

又如:



在这个反应中,氯气和氢气化合生成氯化氢,不是由于得失电子,而是共用电子对的偏移,使氢原子显正电性,氯原子显负电性,这也发生了化合价的升降。

综上可得出结论:有电子得失或共用电子对偏移的反应,叫做氧化还原反应。因此氧化还原反应的本质是电子的得失或共用电子对的偏移。

在这里物质失去电子的反应叫做氧化反应,表现为元素化合价的升高;物质得到电子的反应叫做还原反应,表现为元素化合价的降低。

事实上,氧化还原反应是同时发生的,一种物质失去电子,必然同时有另一种物质得到电子;某一物质被氧化,必然同时有另一物质被还原。而且得失电子总数必定相等。

因此,前一个反应,钠失去电子,化合价升高是氧化反应,氯得到电子化合价降低是还原反应;后一个反应共用电子对偏向于氯原子,而使氯化化合价降低是还原反应,共用电子对偏离氢原子,而使氢化合价升高是氧化反应。

氧化还原反应中,电子转移(得失或偏移)、正负化合价升降关系可用图1-1表示。

(2) 氧化剂与还原剂

在氧化还原反应中,失去电子的物质叫做还原剂,它具有还原性。得到电子的物质叫做氧化剂,它具有氧化性。

常用的氧化剂有活泼的非金属(卤素)、 Na_2O_2 、 H_2O_2 、 HClO 、 NaClO 、

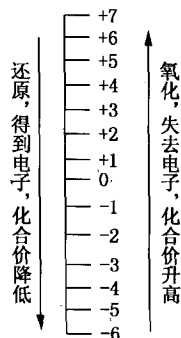


图 1-1 氧化还原反应中电子得失、化合价变化的关系图

HNO_3 、 KClO_3 、 KMnO_4 、浓 H_2SO_4 、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 等，它们在化学反应中都比较容易得到电子，所以具有氧化性。

常用的还原剂有活泼的金属以及 C 、 H_2 、 CO 、 H_2S 等，它们在化学反应中都比较容易失去电子或发生电子偏移，所以具有还原性。在常见的金属还原剂(如 Na 、 Mg 、 Al 、 Zn 等)中，以金属钠的还原能力为最强。

(3) 氧化还原反应方程式的配平

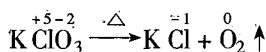
氧化还原反应的本质是参加反应的原子间的电子转移(包括电子得失和电子对的偏移)，而原子间的电子转移，可以用元素的化合价的升降来表示。因此，氧化还原反应的化学方程式，可以通过分析电子转移或化合价升降来配平，比较方便。

配平氧化还原方程式，确定化合价的原则是：

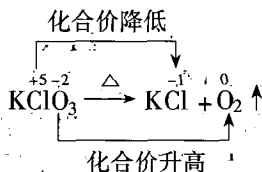
- ① 通常氧是 -2 价，氢是 $+1$ 价；
- ② 单质是 0 价；
- ③ 金属是正价；
- ④ 化合物中元素的正负化合价的代数和等于零。

【例 1】 配平氯酸钾受热分解反应方程式

解：① 先根据实验或已知事实写出反应物和生成物的分子式，并标出发生氧化还原反应元素的正负化合价。

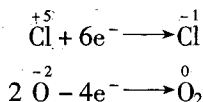


② 列出元素的化合价变化。

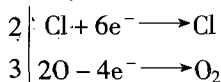


在氯酸钾分子中，氧的化合价从 -2 升到 0 ，失去 2 个电子被氧化；氯的化合价从 $+5$ 降到 -1 ，得到 6 个电子被还原。

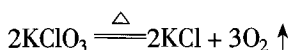
③ 写出氧化和还原过程得失电子的方程式，求出基本系数。



根据氧化剂得到电子数和还原剂失去电子数必定相等的原则，求出它们的最小公倍数，其最小公倍数为 12 。



④ 用观察法配平其他物质的系数。



4. 离子反应和离子方程式

(1) 离子反应和离子方程式

在复分解反应中，参加反应的物质在水溶液中常电离成阴、阳离子，反应的实质是水溶