

高等学校交流讲义

鋼鉄冶金学

林顏盛 吳自強編

只限学校内部使用



中国工业出版社

本书阐述了钢铁生产过程的一般物理化学原理，并且着重研究了钢铁冶金生产过程对金属材料质量的影响。最后还适当地介绍了近代材料的熔炼及处理的新方法。

本书是金属学及热处理车间设备专业学生学习钢铁冶金的交流讲义，也可供给从事冶金生产的同志们参考。

鋼 鐵 冶 金 学

林顏盛 吳自強編

*

第一机械工业部教材编审委员会編輯（北京复兴門外三里河第一机械工业部）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张15·字数354,000

1961年10月北京第一版·1961年12月北京第二次印刷

印数2,244~3,293·定价（10—6）1.80元

*

統一书号：15165·794（一机—163）

目 录

DS93/23

緒論..... 6

第一篇 冶金过程的理論基础

第一章 鋼鉄冶金中的基本物理

化学定律10

§1-1 物理化学是鋼鉄冶金的

理論基础.....10

§1-2 化学热力学.....10

§1-3 化学动力学.....12

第二章 分解反应15

§2-1 分解反应和分解压力.....15

§2-2 氧化物的分解.....15

§2-3 碳酸盐和硫化物的分解.....17

第三章 炉渣.....19

§3-1 炉渣的作用及其化学組成.....19

§3-2 炉渣的分子学說.....20

§3-3 炉渣的性质.....21

§3-4 炉渣的离子学說.....23

第四章 氧化和还原反应24

§4-1 硅的氧化和还原.....24

§4-2 錳的氧化和还原.....26

§4-3 鉻的氧化和还原.....27

§4-4 碳的氧化.....29

第五章 去硫.....32

§5-1 硫的来源.....32

§5-2 去硫机理.....32

§5-3 影响去硫的主要因素.....33

第六章 去磷.....35

§6-1 去磷机理.....35

§6-2 影响去磷的主要因素.....36

第七章 脫氧.....38

§7-1 沉淀脫氧.....38

§7-2 各种元素的脫氧能力.....40

§7-3 脫氧反应生成物的形成过程

和去除条件.....43

§7-4 扩散脫氧.....45

§7-5 真空下的脫氧.....45

第八章 鋼中气体46

§8-1 气体在鋼中存在的形式及其

对鋼性能的影响.....46

§8-2 气体在鋼中的溶解度.....46

§8-3 影响鋼中气体溶解度的因素.....47

第二篇 炼 鉄

第九章 炼鉄原料及其处理.....49

§9-1 鉄矿石.....49

§9-2 錳矿石.....53

§9-3 燃料.....54

§9-4 熔剂.....56

§9-5 矿石在冶炼前的处理.....57

第十章 高炉构造及其附属設備59

§10-1 高炉构造.....59

§10-2 上料系統.....61

§10-3 煤气除尘.....63

§10-4 热风炉.....65

§10-5 鑄鉄机.....65

第十一章 炼鉄原理66

§11-1 煤气和炉料的运动.....67

§11-2 还原.....68

§11-3 鉄和渣的形成.....79

§11-4 生鉄去硫.....82

§11-5 鉄合金冶炼特点.....86

§11-6 高炉冶炼的强化.....87

第十二章 高炉冶炼产品90

§12-1 炼鋼生鉄.....90

§12-2 鑄造生鉄和木炭生鉄.....92

§12-3 鉄合金和合金生鉄.....93

§12-4 炉渣.....94

§12-5 高炉煤气.....94

第三篇 炼 钢

第十三章 概述.....96	§15-3 碱性平炉废钢矿石法..... 140
§13-1 炼钢学的对象和任务.....96	§15-4 酸性平炉炼钢法..... 150
§13-2 炼钢方法概论.....96	§15-5 优质钢和特殊用途钢的生产..... 151
§13-3 炼钢原料.....98	第十六章 电弧炉炼钢法..... 156
第十四章 转炉炼钢法 104	§16-1 电弧炉构造..... 156
§14-1 底吹转炉炼钢法..... 104	§16-2 碱性电弧炉氧化法炼钢..... 160
§14-2 侧吹转炉炼钢法..... 114	§16-3 碱性电弧炉不氧化法炼钢..... 169
§14-3 顶吹纯氧转炉炼钢..... 126	§16-4 酸性电弧炉炼钢法..... 170
§14-4 转炉车间的技术经济指标..... 130	§16-5 电弧炉炼钢的技术经济指标..... 172
第十五章 平炉炼钢法 131	第十七章 复合炼钢和混合炼钢法 ... 173
§15-1 平炉的构造..... 133	§17-1 复合炼钢法..... 173
§15-2 炉气的供氧..... 139	§17-2 混合炼钢法..... 173

第四篇 鑄 錠

第十八章 鑄錠設備 175	§20-2 沸騰鋼錠的結構..... 188
§18-1 出鋼槽..... 175	第二十一章 鋼錠的缺陷 192
§18-2 盛鋼桶..... 176	§21-1 縮孔和疏松..... 192
§18-3 底板和中心注管..... 177	§21-2 偏析..... 194
§18-4 鋼錠模..... 178	§21-3 非金属夹杂物..... 197
§18-5 保温帽..... 179	§21-4 鋼中气体..... 200
第十九章 鑄錠工艺 180	§21-5 裂紋..... 201
§19-1 鑄錠前的准备工作..... 180	§21-6 其他缺陷..... 204
§19-2 上鑄法与下鑄法的比較..... 182	§21-7 連續鑄錠..... 206
§19-3 浇鑄工艺..... 183	第二十二章 鋼錠质量的检查和
第二十章 鋼錠結構 185	鋼的性能的鑑定..... 208
§20-1 鎮靜鋼錠的結構..... 186	

第五篇 特 种 熔 炼

第二十三章 无芯感应炉熔炼..... 213	§24-1 真空熔炼的原理..... 229
§23-1 感应加热的物理基础..... 213	§24-2 真空泵的选择..... 234
§23-2 感应炉的装置..... 216	§24-3 真空感应炉..... 235
§23-3 坩埚的制造..... 218	§24-4 真空电弧炉..... 237
§23-4 熔炼..... 223	第二十五章 真空处理 239
§23-5 无芯感应炉熔炼举例(永久 磁铁合金的熔炼)..... 226	§25-1 真空处理的方法及装置..... 239
第二十四章 真空熔炼 229	§25-2 真空处理的效果..... 242

原 书 缺 页

原书缺页

前 言

这本钢铁冶金交流讲义是为金属学及热处理车间设备专业编写的。教学大纲是按照高等学校教材选编会议讨论的意见拟出的，课程的内容分别选自北京钢铁学院的炼铁学，鞍山钢铁学院的炼钢学及北京钢铁学院和东北工学院合编的专业炼钢学等教材。

本书内容共分五篇：第一篇简要介绍了钢铁冶金过程的物理化学原理；第二篇叙述了炼铁过程及其产品分析；第三篇说明了炼钢过程及其对钢锭质量的影响；第四篇阐明了铸造过程及其对钢锭质量的影响；第五篇概括了除一般炼钢方法以外的几种特殊熔炼方法和真空处理。

本书第一、二、四篇由吴自强同志选编，第三、五篇由林颜盛同志选编。

全书由林颜盛、吴自强等同志负责校阅。并经由胡伏秋、骆卫民、朱永钦、张君高等同志负责审核。

选编本书时，张君商及教研室其他同志参加了翻译及抄写工作。

由于编者水平有限及时间急促，书中的缺点和错误在所难免，特别是在内容上如何结合专业，一定存在不少问题，因此恳切希望使用本书的同志给以批评和指教。

编者于华中工学院金相教研室

1961年5月

目 录

DS93/23

緒論..... 6

第一篇 冶金过程的理論基础

第一章 鋼鉄冶金中的基本物理

化学定律.....10

§1-1 物理化学是鋼鉄冶金的

理論基础.....10

§1-2 化学热力学.....10

§1-3 化学动力学.....12

第二章 分解反应.....15

§2-1 分解反应和分解压力.....15

§2-2 氧化物的分解.....15

§2-3 碳酸盐和硫化物的分解.....17

第三章 炉渣.....19

§3-1 炉渣的作用及其化学組成.....19

§3-2 炉渣的分子学說.....20

§3-3 炉渣的性质.....21

§3-4 炉渣的离子学說.....23

第四章 氧化和还原反应.....24

§4-1 硅的氧化和还原.....24

§4-2 錳的氧化和还原.....26

§4-3 鉻的氧化和还原.....27

§4-4 碳的氧化.....29

第五章 去硫.....32

§5-1 硫的来源.....32

§5-2 去硫机理.....32

§5-3 影响去硫的主要因素.....33

第六章 去磷.....35

§6-1 去磷机理.....35

§6-2 影响去磷的主要因素.....36

第七章 脫氧.....38

§7-1 沉淀脫氧.....38

§7-2 各种元素的脫氧能力.....40

§7-3 脫氧反应生成物的形成过程

和去除条件.....43

§7-4 扩散脫氧.....45

§7-5 真空下的脫氧.....45

第八章 鋼中气体.....46

§8-1 气体在鋼中存在的形式及其

对鋼性能的影响.....46

§8-2 气体在鋼中的溶解度.....46

§8-3 影响鋼中气体溶解度的因素.....47

第二篇 炼 鉄

第九章 炼鉄原料及其处理.....49

§9-1 鉄矿石.....49

§9-2 錳矿石.....53

§9-3 燃料.....54

§9-4 熔剂.....56

§9-5 矿石在冶炼前的处理.....57

第十章 高炉构造及其附属設備.....59

§10-1 高炉构造.....59

§10-2 上料系統.....61

§10-3 煤气除尘.....63

§10-4 热风炉.....65

§10-5 鑄鉄机.....65

第十一章 炼鉄原理.....66

§11-1 煤气和炉料的运动.....67

§11-2 还原.....68

§11-3 鉄和渣的形成.....79

§11-4 生鉄去硫.....82

§11-5 鉄合金冶炼特点.....86

§11-6 高炉冶炼的强化.....87

第十二章 高炉冶炼产品.....90

§12-1 炼鋼生鉄.....90

§12-2 鑄造生鉄和木炭生鉄.....92

§12-3 鉄合金和合金生鉄.....93

§12-4 炉渣.....94

§12-5 高炉煤气.....94

第三篇 炼 钢

第十三章 概述.....96	§15-3 碱性平炉废钢矿石法..... 140
§13-1 炼钢学的对象和任务.....96	§15-4 酸性平炉炼钢法..... 150
§13-2 炼钢方法概论.....96	§15-5 优质钢和特殊用途钢的生产..... 151
§13-3 炼钢原料.....98	第十六章 电弧炉炼钢法..... 156
第十四章 转炉炼钢法 104	§16-1 电弧炉构造..... 156
§14-1 底吹转炉炼钢法..... 104	§16-2 碱性电弧炉氧化法炼钢..... 160
§14-2 侧吹转炉炼钢法..... 114	§16-3 碱性电弧炉不氧化法炼钢..... 169
§14-3 顶吹纯氧转炉炼钢..... 126	§16-4 酸性电弧炉炼钢法..... 170
§14-4 转炉车间的技术经济指标..... 130	§16-5 电弧炉炼钢的技术经济指标..... 172
第十五章 平炉炼钢法 131	第十七章 复合炼钢和混合炼钢法 ... 173
§15-1 平炉的构造..... 133	§17-1 复合炼钢法..... 173
§15-2 炉气的供氧..... 139	§17-2 混合炼钢法..... 173

第四篇 鑄 錠

第十八章 鑄錠設備 175	§20-2 沸腾钢錠的结构..... 188
§18-1 出鋼槽..... 175	第二十一章 鋼錠的缺陷 192
§18-2 盛鋼桶..... 176	§21-1 縮孔和疏松..... 192
§18-3 底板和中心注管..... 177	§21-2 偏析..... 194
§18-4 鋼錠模..... 178	§21-3 非金属夹杂物..... 197
§18-5 保温帽..... 179	§21-4 鋼中气体..... 200
第十九章 鑄錠工艺 180	§21-5 裂纹..... 201
§19-1 鑄錠前的准备工作..... 180	§21-6 其他缺陷..... 204
§19-2 上鑄法与下鑄法的比較..... 182	§21-7 連續鑄錠..... 206
§19-3 浇鑄工艺..... 183	第二十二章 鋼錠质量的检查和
第二十章 鋼錠結構 185	鋼的性能的鑑定..... 208
§20-1 鎮靜鋼錠的结构..... 186	

第五篇 特 种 熔 炼

第二十三章 无芯感应炉熔炼..... 213	§24-1 真空熔炼的原理..... 229
§23-1 感应加热的物理基础..... 213	§24-2 真空泵的选择..... 234
§23-2 感应炉的装置..... 216	§24-3 真空感应炉..... 235
§23-3 坩埚的制造..... 218	§24-4 真空电弧炉..... 237
§23-4 熔炼..... 223	第二十五章 真空处理 239
§23-5 无芯感应炉熔炼举例(永久 磁铁合金的熔炼)..... 226	§25-1 真空处理的方法及装置..... 239
第二十四章 真空熔炼 229	§25-2 真空处理的效果..... 242

緒 論

鋼鐵，作為製造各種設備、工具和構件時大量使用的金屬材料，是現代一切工業，特別是機械工業的支柱。鋼鐵工業高速度的發展將使機械工業對金屬材料日益增長和日益嚴格的需求得到充分保證，促進機械工業飛速發展，使國民經濟各部門得以迅速用現代化技術裝備起來，從而根本改變我國原來工業基礎薄弱，經濟落後的面貌。所以鋼鐵工業高速度的發展是加速實現我國社會主義工業化、農業機械化和加速發展現代化交通運輸業的基礎。

現代鋼鐵工業是最龐大的工業部門，它包括開採、選礦、燒結、焦化、耐火材料、煉鐵、煉鋼、軋鋼等一系列生產部門和運輸、機修、水電等輔助服務部門。因此，鋼鐵工業不可能孤立無援地發展，而鋼鐵工業的發展必將帶動機械、煤炭、交通運輸等國民經濟各部門的相應發展。

我國是最早生產和使用鐵的國家之一。1950年10月在河南輝縣固圍村發掘戰國時代魏國墓葬曾發現鐵製生產工具90多件和鐵兵器80件。1953年在熱河興隆壽王墳又曾發掘出戰國時代的鐵范87件。在出土鐵范的附近還曾發現大量紅燒土、木炭屑和築石基礎，說明當時這一帶是具有一定規模的冶鐵工場。由此判斷，早在2300多年前，我國的煉鐵技術就已相當發達，鑄造鐵器的手工業工場也已有一定的規模。左傳記述公元前513年春秋時晉國已用生鐵鑄刑鼎（鑄有刑書的大鐵鼎）。由此可見，甚至遠在2500年前，我們的祖先已經創造了規模較大的煉鐵爐，發明了鑄造載有銘文的大型鐵器的技術。這比歐洲各國超前了約17個世紀。

我國古代煉鋼技術最突出的成就是距今約1400多年前南北朝時代，將生鐵、熟鐵相煉的“灌鋼”冶煉法的發明。這種方法利用生鐵的含碳量高和熔點低，將生鐵板在低溫下熔化，熔化後的鐵水成滴的滴入未經鍛打的熟鐵（料鐵）中。由於料鐵疏松，生鐵液滴便分散成無數小珠流入料鐵的各個蜂窩狀空隙內，與其中未經擠出的氧化渣迅速發生作用。生鐵中的雜質被氧化除去，含碳量降低，料鐵內的渣與鐵分開，浮於表面，逐漸流出。生鐵的含碳量降低到相當程度即不再流動，留在海綿體內，直到全部空隙填滿，渣子流出，便得到一個不含渣的鋼團。再經過鍛打，淬火等操作便得到鋼條狀產品。所得產品基本上是含渣少，內外成分均勻的。除硅錳含量稍低外，化學成分與現代碳素工具鋼相似。產品的細小顆粒及淬硬斷面亦與現代碳素工具鋼相似。這種不用坩堝在半流體狀態下比較迅速的使鐵渣分離，並使熟鐵滲碳得到碳素工具鋼的方法完全合乎現代的冶金原理，在其他各國還沒有類似的發現，而是我國古代先進煉鋼工作者智慧的結晶。

我國近代鋼鐵工業的發展最初是從1890年張之洞在湖北漢陽建立漢陽鋼鐵廠開始的。

1840年鴉片戰爭以後，外國資本主義侵入中國，中國社會逐漸變成半殖民地、半封建的社會。當時的清朝政府為了維護封建王朝的統治，決定興辦“洋務”，利用外國技術建立現代工業，首先是軍需工業。漢陽鋼鐵廠就是在“洋務運動”中依靠帝國主義建立起來的。但到1907年，由於帝國主義向我國傾銷鋼鐵和封建統治階級腐敗無能，終於停工倒閉。

第一次世界大战期间，西方帝国主义国家被迫暂时放松了对中国的侵略，中国民族工业有了进一步发展，但不久世界大战结束后，帝国主义卷土重来，迫使民族工业停工倒闭。

1927年以后，国民党反动派统治中国的20多年期间，只顾穷凶极恶地掠夺人民，根本没有进行任何工业建设。他们虽然曾一再吹嘘要建立一座年产10万吨的钢铁厂，但始终未见实现。

1931年日本帝国主义侵占我国东北。1939~1943年，为了掠夺我国资源，扩大侵略战争，便在东北建立依附于日本本国工业系统的殖民地式的钢铁工业。1943年，全国钢产量达到92.3万吨，这是解放前历史上钢的最高年产量，其中绝大部分是日帝在华企业生产的。

从1890年~1948年，全国总共生产了760万吨钢。

1949年全国解放前夕，由于国民党反动派的严重破坏，全国钢的年产量仅达15.8万吨。旧中国遗留给我们的钢铁工业不仅生产能力极低，而且炼钢能力低于炼铁能力，炼铁能力低于采矿能力，炼钢的技术很低，轧钢的设备很旧，能生产的钢材种类很少。在地区分布上也极不合理，绝大部分集中于鞍山一地。解放后，我们就是在这样极端落后的基础上重新开始建设我国的钢铁工业。

1949年，中华人民共和国成立，这是我国近代钢铁工业发展的真正起点。

1949~1952年，在党的正确领导下，我国人民在继续彻底完成民主革命的同时，克服重重困难，胜利完成了国民经济的恢复工作。钢铁工业在国民经济恢复时期的主要成就就是：使我国钢的年产量达到并超过历史上的最高年产量，1952年钢的产量达到135万吨，为1943年的1.46倍，1949年的8.54倍；通过加强领导，学习苏联先进经验和开展劳动竞赛等一系列措施，建立和健全了生产组织和管理制度，设备利用率和产品质量逐步上升，原材料消耗和成本逐步下降；我国钢铁工业的技术队伍在实践中开始成长起来，操作技术逐步稳定，并制定了比较完善的技术操作规程；进行了大规模改建鞍山钢铁基地的准备工作等。

由于我国钢铁工业极端落后，在恢复时期，钢铁工业虽然有显著发展，仍然不能适应需要。因此，在第一个五年计划期间，曾集中较大的财力和人力建设钢铁工业，以求能够用较短的时间建立起我国工业化的基础。

首先利用原有工业基地以加速我国经济建设，在第一个五年计划期间，集中进行了大规模改建钢铁基地的工作。同时，对原有的中小型钢铁厂进行了部分的改建。并开始新建大型钢铁联合企业，以便逐步形成新的工业基地，改变原来工业地区分布不合理的状态。此外，并已开始注意提高优质钢在钢的总产量中的比重。

为了保证钢铁生产能力日益增长的需要，积极的进行了铁矿、锰矿、熔剂和耐火材料等原料基地的建设。

我国人民只用了4年时间，到1956年就以年产446万吨钢超额完成了第一个五年计划规定的年产412万吨钢的指标。到1957年第一个五年计划结束时，钢的年产量达到535万吨，为1952年的3.96倍。钢的产量平均每年递增31.7%，这是任何资本主义国家在经济发展最顺利的年代中也不可能梦想到的增长速度（同期美国钢产量的平均增长速度为3.9%）。1957年，我国生产的钢种达到370多种（1952年为180多种），钢材达到4,000种，全国所需钢材86%可以自己生产，并生产了高级合金结构钢、特殊仪表用钢、矽钢

片、造船鋼板、鍋爐用無縫鋼管、50公斤重軌等我國從來不能製造的產品。

第一個五年計劃期間，我國鋼鐵工作者積極學習蘇聯先進經驗，已經熟練地掌握了生產技術，在強化操作過程的某些方面開始有了創造性的成就。

1958年提出生產1070萬噸鋼的偉大號召後，舉國上下，全民奮起，掀起了一個轰轰烈烈的大煉鋼鐵的群眾運動。是我國勞動人民為了加速改變我國“一窮二白”的面貌而進行的一次偉大的鬥爭。

1958年，我國鋼產量為1108萬噸。不包括土鋼在內達到800萬噸，比1957年535萬噸增長了49.5%，這是空前的高速度。我們只用了一年的時間，就使鋼產量從535萬噸增加至800萬噸。美國的鋼產從500多萬噸增長到727萬噸左右，用了五年的時間。英國從1903年的年產511萬噸到1914年的797萬噸共用了十一年的時間。

以前，我國只有少數省市有一些鋼鐵工業。但是，經過1958年全民大煉鋼鐵，幾乎全國所有的省和自治區，都建立了或大或小的鋼鐵工業的基礎。小轉爐已經成為煉鋼生產中一支強大的生力軍，小高爐更擔負着全國半數的生鐵生產任務。這樣，中小型的鋼鐵企業，將同已經建成和正在建設的大型鋼鐵聯合企業組成一個遍布全國各個省和自治區的鋼鐵工業網。這是我國國民經濟高速度發展的最重要的基礎。

1958年，不僅鋼的產量成倍增長，而且出現了許多新的技術成就和先進經驗。如在平爐煉鋼操作上普遍採用了擴大裝料量、多槽出鋼、加大熱負荷、縮短熔煉時間及在中大型平爐上採用鹼性爐頂和上部砌磚，以延長爐體壽命和保證強化供熱等措施。在轉爐煉鋼方面，普遍進行了改建爐型，成功地推行了留渣操作，創造了轉爐三排風眼等，而且还試驗採用熱風鹼性化鐵爐等，以提高鋼液溫度，改進鋼的質量。特別值得指出的是，在轉爐處理含硫特高的小、土高爐生鐵方面已取得的創造性成就。

1958年我國已經基本建立了適合我國資源特點（缺乏鉻、鎳而盛產鎢、鉬、硼等合金元素）的合金結構鋼，合金工具鋼，不銹鋼，高強度低合金鋼的新系統。電爐煉鋼工作者在試制新合金鋼方面做了不少工作，並在重慶、大冶兩個鋼廠創造性地試驗了混合煉鋼，特別是在我國首先工業性試驗成功的轉爐—電爐混合煉鋼的數據和經驗，不僅為大規模增加我國的合金鋼生產創造了條件，而且也是我國冶金工作者對發展煉鋼技術的新貢獻。

從一九五八年開始，在社會主義建設總路綫、大躍進、人民公社三面紅旗的照耀下，我國人民已經勝利地度過了三個年頭。這是具有偉大歷史意義的三年。我國鋼的產量，一九六〇年達到了一千八百四十五萬噸，比一九五七年的五百三十五萬噸增長了將近兩倍半，平均每年增加四百三十七萬噸，為第一個五年平均每年增加八十萬噸的五倍半。我國鋼的產量在世界上的位置，一九五七年是第九位，一九六〇年上升為第六位。

三年的連續大躍進使我們贏得了時間。一九六〇年我國工業主要產品的產量大大超過了原定第二個五年計劃的一九六二年的水平，這就使我們有可能也有必要在第二個五年計劃的後兩年，用較多的力量，來鞏固三年大躍進的成績，充實新發展起來的一些事業的內容，提高那些需要進一步改善的新事物的質量。黨的八屆九中全會確定：一九六一年在重工業的安排上，應當適當地縮小基本建設的規模，調整發展的速度，在已有的勝利的基础上，採取鞏固、充實和提高的方針。這就是說，應當努力提高產品的質量，增加產品的品種，加強生產中的薄弱環節，繼續開展群眾性的技術革新運動，節約原材

料，降低成本，提高劳动生产率。

虽然在前进的道路上还会遇到困难。但是，在党和毛主席的领导下，在总路线、大跃进、人民公社三面红旗的光辉照耀下，依靠建国以来，特别是近三年来所取得的伟大成就和丰富经验，困难是能够克服的。我们一定能够在十年左右的时间里，在钢铁和其他主要工业产品的产量方面赶上和超过英国。为把我国建成一个具有现代工业、现代农业和现代科学文化的社会主义国家而奋勇前进。

第一篇 冶金过程的理論基础

第一章 鋼鉄冶金中的基本物理化学定律

§ 1—1 物理化学是鋼鉄冶金的理論基础

任何冶金过程都是复杂的物理化学变化。这些变化应该在速度最快、材料和人力的消耗最少的前提下得到质量合乎要求的金属的条件下进行。为此，必須了解冶金炉内一些現象的本质、过程参数之間的內在联系及其規律性。在具有这些知識后才可能有意識地控制过程，預見其結果，从而改进生产。但是，长期以来，各技术部門停留在手工（艺术）阶段。工艺范围狹隘，局限于单纯由經驗得出的实际操作方法，缺乏对过程理論的新的理解。直到上世紀中叶，才开始广泛地应用理論知識上的成就来解决技术问题，在科学的基础上制訂新的操作方法。

苏联冶金学家巴依柯夫院士第一个对炼鋼过程給予科学的解释，他說：“冶金学实际上就是高温化学”。現代冶金理論的成就就在于以化学热力学和化学动力学两个部分作为基础的物理化学規律应用于冶金过程中，从而揭露了冶金过程的內在实质。

应用化学热力学就能指出冶金过程中各种元素杂质氧化还原的可能性、程度和决定程度的各种因素。而应用化学动力学就可以說明元素杂质氧化还原反应进行的机构，进行的速度以及决定速度的各种影响因素。通晓了这些規律，就可以找出控制冶金过程进行的合理条件，确定冶金过程的成效，这对改进产品质量、提高产量、生产又多又好的产品是有根本意义的。

§ 1—2 化学热力学

在冶金反应力中应用热力的目的是判断反应进行的方向和限度，也就是找出某种条件下的平衡常数。

1. 均相反应的平衡

在冶金反应中，真正的均相反应只有气相中的化学反应。例如：



和其他均相反应一样，氧相反应只能进行到平衡为止。根据质量作用定律，在恒温之下：

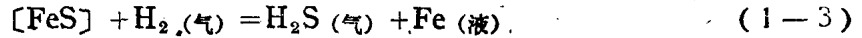
$$K_p = \frac{P_{\text{CO}_2}^2}{P_{\text{CO}}^2 \cdot P_{\text{O}_2}}. \quad (1-2)$$

只有在高压之下，气体才不同于理想气体，也就是上述平衡常数要随各气体的分压力而变。但冶金反应中，所有气体的温度很高，压力一般也較低，参加冶金反应的气体一般都可以看作是理想气体，因此对冶金中的气相反应，能够不加限制地应用质量作用定

律。也就是說；平衡常数不随成分发生变化。

2. 多相反应的平衡

如果化学反应中，除了气相之外，还有液相或固相存在，这样的反应称为多相反应。例如：



$$K_s^\circ = \frac{P_{\text{H}_2\text{S}}}{P_{\text{H}_2} \cdot Q[\text{S}]} \quad (1-5)$$

当硫在鋼液中成无限稀溶液时， $a[\text{S}] = [\% \text{S}]$ 。

$$K_s' = \frac{P_{\text{H}_2\text{S}}}{P_{\text{H}_2} [\% \text{S}]} \quad (1-6)$$

根据实验测定的数据，将 $\frac{P_{\text{H}_2\text{S}}}{P_{\text{H}_2}}$ 与 $[\% \text{S}]$ 作成图 1-1。

由图 1-1 可见， $\frac{P_{\text{H}_2\text{S}}}{P_{\text{H}_2}}$ 与 $[\% \text{S}]$ 之間是曲线关系，这就说明硫在液体金属中活度不等于浓度。

对无限稀溶液 ($[\% \text{S}] \rightarrow 0$) 来说，其平衡常数才是真正的平衡常数，其他浓度的平衡常数 K_s' 并不守常。浓度愈高，和真正平衡常数 K_s° 的差别愈大。

因此，在多相反应中有溶液参加时，平衡常数中应包括溶液的活度。如果溶液可以看作理想溶液，则活度可以以浓度代替。纯物质的活度永远为 1。

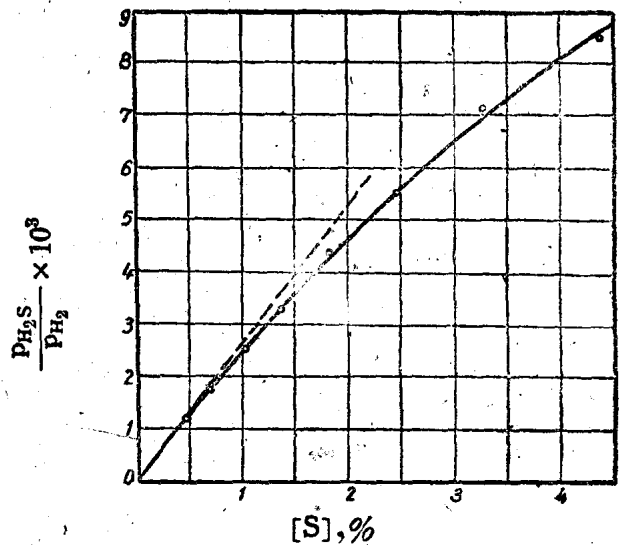


图 1-1 1600°C 下液体铁中氢及硫之反应平衡

3. 平衡常数随温度的变化

在冶金反应的研究中，除了应了解某一温度的平衡常数外，还需要了解平衡常数随温度的变化，以便确定其他温度下的平衡常数。平衡常数和温度間的关系在理論上以恒压式表示：

$$\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad (1-7)$$

微分式不能用于实际计算，实际计算时必须对它加以积分：

$$\ln K_p = \int \frac{\Delta H}{RT^2} dT + k_0 \quad (1-8)$$

ΔH 是温度的函数。在某些情况下， ΔH 随温度的变化是很大的；而在另一些情况下，变化较小， ΔH 可以看作常数。这时：

$$\lg K_P = \frac{-\Delta H}{4.575T} + B, \quad (1-9)$$

式中 $B = \frac{k}{2.3}$;

$$\lg K_P = -\frac{A}{T} + B, \quad (1-10)$$

$$A = \frac{-\Delta H}{4.575}.$$

这种比较简单的关系只能适用于很窄的温度范围。然而对高温的冶金反应来说，由于物质的热容量随温度的变化不显著，在相当大的温度范围内可以利用上式。这样，如以实验测定平衡常数 K_P 的对数值与 $\frac{1}{T}$ 为坐标制图（如图 1-2），就得出了直线关系。利用它就能求出其他温度下的 K_P 值。

在缺乏平衡常数随温度变化的经验方程式的情况下，只能利用吕·查德里定理定性地确定温度对平衡常数的影响。

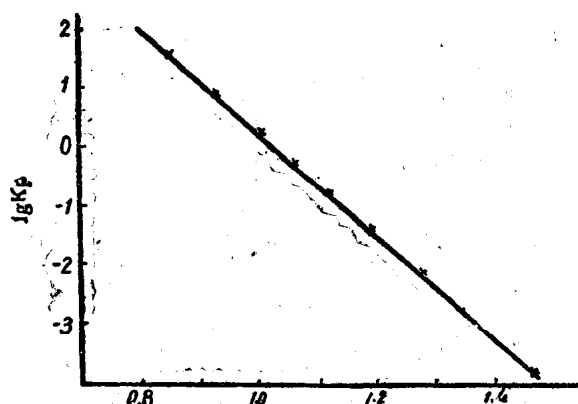


图1-2 平衡常数与温度的关系

在温度升高时，平衡向吸热的方向移动，换句话说，升高平衡系统的温度时，生成时吸热的物质的浓度将增多，而放热的物质的浓度将减少。

不能笼统地说，升高温度有利于吸热反应的进行，不利于放热反应的进行。因为吕·查德里定理是讨论平衡系统的，不能用它来讨论不平衡系统或不可逆过程。一般地讲，升高温度对任何反应的速度均将有所增加。也不能利用吕·查德里定理来判断某一

反应是否能优先进行，因为化学亲和力的量度是自由能而不是热函。

§ 1-3 化学动力学

前面介绍了热力学的基本规律。热力学所研究的对象限于平衡系统，虽然在原则上决定反应的可能性和方向等重要问题，可以由热力学理论所决定；然而涉及过程的速度及机构方面的问题，却属于动力学的范围。在实际冶金操作中，反应速度更是我们所关心的问题，因为它直接联系到成品的高产优质等重大问题。例如，在炼钢中增加脱碳速度，就可以缩短精炼时间，提高生产率；而由于激烈的脱碳反应，钢液去除气体和夹杂的情况，也将有所改善。

动力学的研究比热力学更复杂些，因为影响的因素多，不易掌握。所以动力学研究比热力学更发展得晚些。但由于它的重大意义，近来很多科学工作者更多的注意了这方面的课题，动力学的研究已成为炼钢科学的重要课题。

1. 均相反应的动力学

化学反应中，单位时间内浓度的变化就代表化学反应的速度。对于均相反应来说，决定反应速度的因素是反应物质的浓度和环境的温度。因为，任何反应的产生，必须满足以下两个条件：

- ①分子与分子之间的碰撞；
- ②碰撞时分子处在能起反应的状态。

并不是所有分子在碰撞时都能起化学变化的；只有那些具有较高能量的分子，在碰撞时才能起化学反应。那些具有比平均能量更高的能量的分子称为活化分子。因为要使化学反应发生，必须克服阻碍化学反应的能量峰，这一能量称为活化能。看来，活化分子越多，反应速度越快。活化分子数由下式决定：

$$N_{\text{活化}} = N_{\text{总}} e^{-\frac{E}{RT}} \quad (1-11)$$

式中 $N_{\text{活化}}$ ——活化分子数；

$N_{\text{总}}$ ——总分子数；

E ——活化能。

反应速度既与活化分子数成正比，所以

$$k = k_{\text{最大}} e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (1-12)$$

k ——实际的反应速度；

$k_{\text{最大}}$ ——全部分子活化时的反应速度。

将上式取对数：

$$\ln k = \ln k_{\text{最大}} - \frac{E}{RT}, \quad (1-13)$$

$$\ln k = -\frac{A}{T} + B. \quad (1-14)$$

由上述可知，反应的温度越高，反应速度就越快，不管反应是放热或是吸收热的。

由式(1-13)还可以看出，图解 $\ln k$ 和 $\frac{1}{T}$ 得直线的斜率就等于 $-\frac{E}{R}$ 。所以知道 k 、 T 之后可借以求 E 值。

活化能与物质结构有关。经验证明：饱和分子之间的反应活化能为几十个千卡/克分子，饱和分子与原子间活化能不大于10千卡/克分子，分子与离子间的活化能在10~15千卡/克分子之间，而离子与原子间的活化能几乎等于零。因此，离子与原子之间反应能力最强。

2. 多相反应动力学

只有两相界面上分子才能参加多相反应，所以多相反应是几个反应结合起来的。这就是：

- ①物质向两相界面的运动，主要是扩散过程；