

# 电弧炉炼钢的经验判断

武汉钢铁学院 汉阳钢厂

湖北人民出版社

# 电弧炉炼钢的经验判断

武汉钢铁学院 汉阳钢厂

湖北人民出版社

---

# 电弧炉炼钢的经验判断

武汉钢铁学院 汉阳钢厂

\*

湖北人民出版社出版 湖北省新华书店发行

湖北省新华印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 11印张 2插页 246,000字

1980年1月第1版 1980年1月第1次印刷

印数: 1—4,300

统一书号: 15106·231 定价: 0.96元

---

# 前 言

电弧炉是以电能为热源，冶炼钢和合金的一种重要设备。

近年来，我国电弧炉炼钢事业发展很快，中小型电弧炉不仅冶金行业具有，而且机械、铁道、交通、建筑等行业也拥有相当的数量。从事电炉炼钢的青年工人日益增多。为了加速对青年工人的培养和提高，以适应加快实现新时期总任务的需要，我们编写了这本《电弧炉炼钢的经验判断》。

本书共分十一章。第一章以炼钢中常遇到的物理化学反应为例，简要地介绍了电弧炉炼钢所必要的基础理论知识。第四、五、六、七、九章以专题形式，较系统地总结了温度、火焰、熔渣、钢液成分的判断与控制，以及非正常炉况的判断与处理，使读者学习后能较好地掌握电弧炉炼钢操作，为多炼钢、炼好钢作出贡献。第十、十一章是缩短电炉冶炼时间和降低电炉钢耗电量的两项增产节电措施，这对电力缺口较大的地区的节电工作，将会有所帮助。

本书内容比较通俗易懂，不仅可作为培训青年工人的教材，而且对从事现场工作的技术人员和炼钢专业的大专学生，均有参考价值。

参加本书编写工作的有武汉钢铁学院丁永昌、徐增启、徐原九、汉阳钢厂肖孔世等同志。在编写过程中得到了武汉市工交办公室、武汉市供电局、武汉地区电炉钢协作组、武昌车辆工厂、江岸车辆工厂、武汉汽轮发电机厂、武昌造船厂、武汉水泵厂、湖北省建委安装公司加工厂、东西湖农机修配厂等单

---

位的热情支持，在此一并表示感谢。

由于我们水平所限，书中难免有不妥和片面之处，望读者提出宝贵意见。

编 者

1979年5月

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一章 炼钢的基本知识 .....     | 1  |
| 第一节 电炉钢及其分类 .....     | 1  |
| 第二节 炼钢的基本任务 .....     | 6  |
| 第三节 炼钢的理化知识 .....     | 7  |
| 一、物质及其变化 .....        | 7  |
| 二、元素符号及分子式 .....      | 9  |
| 三、原子量和分子量 .....       | 11 |
| 四、化学方程式及其计算 .....     | 12 |
| 五、溶液和溶液的浓度 .....      | 14 |
| 六、溶解度 .....           | 15 |
| 七、化学反应的类型 .....       | 16 |
| 八、氧化物 .....           | 18 |
| 九、热效应 .....           | 19 |
| 十、扩散 .....            | 20 |
| 十一、分配定律 .....         | 22 |
| 十二、化学反应速度及其影响因素 ..... | 23 |
| 十三、可逆反应 .....         | 24 |
| 十四、平衡常数 .....         | 25 |
| 十五、活度 .....           | 28 |
| 十六、固体的物理性能 .....      | 29 |
| 第二章 炼钢的原材料 .....      | 33 |
| 第一节 耐火材料 .....        | 33 |
| 一、什么是耐火材料 .....       | 33 |
| 二、耐火材料的种类 .....       | 34 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 三、耐火材料的性质 .....           | 34 |
| 四、碱性电弧炉所用的筑炉材料和耐火材料 ..... | 37 |
| 五、使用中注意事项 .....           | 40 |
| 第二节 主要金属炉料 .....          | 41 |
| 一、废钢 .....                | 42 |
| 二、返回钢 .....               | 42 |
| 三、生铁 .....                | 43 |
| 第三节 脱氧剂及铁合金 .....         | 43 |
| 一、硅铁 .....                | 43 |
| 二、锰铁 .....                | 45 |
| 三、硅锰合金和硅锰铝合金 .....        | 45 |
| 四、硅钙合金 .....              | 45 |
| 五、铬铁 .....                | 45 |
| 六、铝 .....                 | 46 |
| 七、炭粉和电石 .....             | 46 |
| 第四节 氧化剂 .....             | 47 |
| 一、铁矿石 .....               | 47 |
| 二、氧气 .....                | 47 |
| 三、氧化铁皮 .....              | 48 |
| 第五节 造渣材料 .....            | 48 |
| 一、石灰 .....                | 48 |
| 二、萤石 .....                | 49 |
| 三、粘土砖块 .....              | 49 |
| 第三章 冶炼各阶段的操作和控制 .....     | 50 |
| 第一节 装料 .....              | 50 |
| 一、装料与冶炼的关系 .....          | 50 |
| 二、对装料的要求 .....            | 51 |
| 三、装料操作 .....              | 53 |
| 第二节 熔化 .....              | 54 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 一、炉料的熔化过程 .....      | 55  |
| 二、熔化期炉内的物化反应 .....   | 57  |
| 三、熔化期操作 .....        | 63  |
| 四、缩短熔化期的措施 .....     | 66  |
| 第三节 氧化 .....         | 68  |
| 一、除气 .....           | 69  |
| 二、去除钢液中的非金属夹杂 .....  | 74  |
| 三、钢液的升温与温度的均匀 .....  | 74  |
| 四、脱碳 .....           | 75  |
| 五、氧化期操作 .....        | 78  |
| 第四节 还原 .....         | 80  |
| 一、还原期的任务 .....       | 80  |
| 二、脱氧 .....           | 81  |
| 三、脱硫 .....           | 84  |
| 四、合金元素的加入 .....      | 88  |
| 五、缩短还原期的措施 .....     | 92  |
| 第五节 出钢 .....         | 95  |
| 一、出钢条件 .....         | 95  |
| 二、出钢前的准备工作 .....     | 97  |
| 三、出钢操作 .....         | 97  |
| 第四章 火焰与炉况 .....      | 98  |
| 第一节 冶炼过程中火焰的形成 ..... | 99  |
| 一、火焰的形成 .....        | 99  |
| 二、火焰的特征 .....        | 101 |
| 三、影响火焰形态的因素 .....    | 103 |
| 第二节 炉况的火焰判断 .....    | 106 |
| 一、正常炉况下的火焰 .....     | 106 |
| 二、含碳量的火焰判断 .....     | 109 |
| 三、温度的火焰判断 .....      | 109 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 四、熔渣的火焰判断 .....           | 114 |
| 第三节 火焰的控制 .....           | 115 |
| 一、火焰控制与炉况控制的关系 .....      | 115 |
| 二、控制火焰的方法 .....           | 115 |
| 第五章 冶炼温度的判断和控制 .....      | 120 |
| 第一节 冶炼过程中的用电规范 .....      | 122 |
| 一、用电规范确定的原则及依据 .....      | 122 |
| 二、用电规范的执行及炉内传热条件的控制 ..... | 124 |
| 第二节 钢液温度的测量及经验判断 .....    | 125 |
| 一、钢液温度的测量方法 .....         | 125 |
| 二、钢液温度的经验判断 .....         | 126 |
| 第三节 温度的控制 .....           | 132 |
| 一、冶炼过程中的温度要求 .....        | 132 |
| 二、常见的不正常情况 .....          | 133 |
| 第四节 烘炉过程的温度控制 .....       | 136 |
| 一、烘炉用电规范 .....            | 136 |
| 二、烘炉时的温度判断 .....          | 137 |
| 三、烘炉时的温度控制 .....          | 138 |
| 第五节 不烘炉炼钢的温度控制及操作 .....   | 139 |
| 第六章 炼钢熔渣的判断及控制 .....      | 141 |
| 第一节 炼钢熔渣概述 .....          | 141 |
| 一、熔渣的作用 .....             | 141 |
| 二、熔渣成分、来源和含量范围 .....      | 142 |
| 三、造渣材料 .....              | 143 |
| 四、熔渣结构 .....              | 143 |
| 五、熔渣的性质 .....             | 147 |
| 第二节 炼钢熔渣的判断与控制 .....      | 159 |
| 一、熔渣的流动性 .....            | 160 |
| 二、熔渣的温度 .....             | 164 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 三、熔渣的碱度 .....          | 164 |
| 四、熔渣的氧化性 .....         | 166 |
| 五、镁砂渣 .....            | 171 |
| 第三节 泡沫渣 .....          | 174 |
| 一、炼钢过程中泡沫渣的作用 .....    | 175 |
| 二、泡沫渣的形成及其稳定性 .....    | 175 |
| 三、泡沫渣的控制 .....         | 178 |
| 第七章 化学成分的判断及控制 .....   | 180 |
| 第一节 碳的判断及控制 .....      | 182 |
| 一、炉料熔化过程中碳含量的变化 .....  | 182 |
| 二、钢液中碳含量的判断 .....      | 187 |
| 三、吹氧操作 .....           | 193 |
| 四、脱碳速度的控制 .....        | 197 |
| 五、还原和出钢时碳含量的变化 .....   | 204 |
| 第二节 磷的判断及控制 .....      | 211 |
| 一、钢中磷的来源及对钢质量的影响 ..... | 211 |
| 二、磷含量的经验判断 .....       | 214 |
| 三、磷的氧化去除 .....         | 215 |
| 四、冶炼过程中的回磷 .....       | 222 |
| 第三节 硫的判断及控制 .....      | 224 |
| 一、硫对钢质量的影响 .....       | 224 |
| 二、硫含量的经验判断 .....       | 225 |
| 三、炉料含硫过高时的控制 .....     | 226 |
| 四、还原期硫的控制 .....        | 227 |
| 五、炉外去硫 .....           | 228 |
| 第四节 锰的判断及控制 .....      | 230 |
| 一、锰在炼钢过程中的作用 .....     | 230 |
| 二、锰的判断 .....           | 231 |
| 三、熔化时炉料中锰含量的变化 .....   | 233 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 四、脱氧钢液中锰含量的变化 .....     | 234 |
| 五、出钢时钢中锰的变化 .....       | 235 |
| 第五节 硅的判断及控制 .....       | 235 |
| 一、冶炼过程中硅含量变化的一般规律 ..... | 235 |
| 二、硅的判断 .....            | 236 |
| 三、还原期硅含量的控制 .....       | 237 |
| 第六节 氧的判断及控制 .....       | 240 |
| 一、氧的判断 .....            | 240 |
| 二、氧的控制 .....            | 242 |
| 第八章 电弧炉炉衬及其维护 .....     | 243 |
| 第一节 炉衬 .....            | 243 |
| 一、炉型主要尺寸的计算与确定 .....    | 243 |
| 二、炉衬结构及修砌 .....         | 253 |
| 第二节 炉体维护 .....          | 272 |
| 一、补炉 .....              | 272 |
| 二、护炉 .....              | 275 |
| 第九章 非正常炉况及其处理 .....     | 283 |
| 第一节 补炉 .....            | 283 |
| 一、炉底有坑 .....            | 283 |
| 二、渣线侵蚀严重 .....          | 284 |
| 三、炉坡镁砖露出 .....          | 284 |
| 四、炉门腮损坏严重 .....         | 284 |
| 五、出钢口过大或过小 .....        | 284 |
| 第二节 装料 .....            | 285 |
| 第三节 熔化期 .....           | 285 |
| 一、不导电 .....             | 285 |
| 二、熔毕碳过低 .....           | 286 |
| 三、炉料搭桥 .....            | 286 |
| 四、送电后电极下降很快 .....       | 287 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 五、炉料块度过大 .....          | 287 |
| 六、炉底发红、冒火 .....         | 287 |
| 七、特大炉料的熔化 .....         | 288 |
| 第四节 氧化期 .....           | 289 |
| 一、脱碳速度很慢 .....          | 289 |
| 二、脱碳快、脱磷慢 .....         | 289 |
| 三、脱磷快、脱碳慢 .....         | 289 |
| 四、脱磷反应进行很慢 .....        | 290 |
| 五、脱碳、脱磷速度都慢 .....       | 290 |
| 六、加矿石后，炉门和电极孔不冒火 .....  | 290 |
| 七、钢液温度不容易升起来 .....      | 291 |
| 八、大喷 .....              | 291 |
| 九、脱碳过低 .....            | 293 |
| 第五节 还原期 .....           | 293 |
| 一、稀薄渣熔化很慢 .....         | 293 |
| 二、加炭粉后，炉内还原气氛不浓 .....   | 294 |
| 三、加炭粉后，炉内还原气氛很浓 .....   | 294 |
| 四、还原期温度过高和还原期温度过低 ..... | 295 |
| 五、熔池温度不易提起 .....        | 295 |
| 六、脱硫速度很慢 .....          | 296 |
| 七、炉渣难变白 .....           | 296 |
| 第六节 出钢 .....            | 297 |
| 一、出钢时熔渣流不出来 .....       | 297 |
| 二、出钢槽不良 .....           | 297 |
| 第七节 其它一些非正常炉况 .....     | 297 |
| 一、断电极 .....             | 298 |
| 二、炉盖掉砖 .....            | 299 |
| 三、炉墙倒塌 .....            | 300 |
| 四、“炉底翻起” .....          | 301 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 五、漏钢 .....                  | 302 |
| 六、漏水 .....                  | 303 |
| 七、炉内爆炸 .....                | 305 |
| 八、冶炼中途停电 .....              | 306 |
| 第十章 废油助熔 .....              | 307 |
| 第一节 引入第二热源的几种方式 .....       | 308 |
| 一、油氧助熔 .....                | 308 |
| 二、煤氧助熔 .....                | 309 |
| 三、废油助熔 .....                | 310 |
| 第二节 废油助熔炼钢的设备及其冶炼条件 .....   | 310 |
| 第三节 废油助熔炼钢的工艺及操作特点 .....    | 312 |
| 一、工艺流程 .....                | 312 |
| 二、操作特点 .....                | 312 |
| 第四节 废油助熔炼钢的效果 .....         | 318 |
| 一、缩短熔化时间 .....              | 318 |
| 二、降低电能消耗 .....              | 320 |
| 三、降低钢的成本 .....              | 320 |
| 四、提高钢的质量 .....              | 322 |
| 第五节 废油助熔炼钢降低电耗原因的初步分析 ..... | 323 |
| 第十一章 无还原炼钢 .....            | 326 |
| 第一节 无还原炼钢概述 .....           | 326 |
| 第二节 工艺流程与操作要点 .....         | 327 |
| 一、工艺流程 .....                | 327 |
| 二、操作要点 .....                | 328 |
| 第三节 无还原冶炼工艺效果与钢质量 .....     | 332 |
| 一、无还原冶炼工艺效果 .....           | 332 |
| 二、无还原冶炼工艺的钢质量 .....         | 334 |

# 第一章 炼钢的基本知识

## 第一节 电炉钢及其分类

钢和铁都是以铁为基体，同时含有碳（C）、硅（Si）、锰（Mn）、磷（P）、硫（S）和其他元素的合金。碳对钢铁的性能有很大的影响，因此，以含碳量的多少来区分是钢还是铁。

通常所说的生铁是含碳量在 2~4% 的铁碳合金。生铁除含有碳外，还含有一些其他元素，例如：锰、硅、磷、硫等。由于含有这些杂质，特别是含碳量很高，所以生铁的性质既硬又脆，塑性和韧性很差，不容易被锻打加工，也不好焊接，因而限制了它的使用范围。但是生铁比钢便宜，易于冶炼，具有较好的铸造性能，所以在机械制造中使用仍然很广。

钢的含碳量在 0.035~2% 之间，此外，还含有少量的硅（不大于 0.4%）、锰（不大于 1%）、磷、硫等元素。钢中除碳之外，不含其他合金元素的钢叫碳素钢。碳素钢中少量的硅锰是为了保证脱氧和限制硫的有害作用而必须存在的。在钢中特地加入一种或几种合金元素的钢称为合金钢。常见的合金元素有硅、锰、铬（Cr）、镍（Ni）、钨（W）、钼（Mo）、钒（V）、铝（Al）、硼（B）、稀土等。钢有很多良好的机械性能及加工性能。当添加一定量的合金元素之后，还能具备一些特殊的性能，例如：耐磨、耐热、耐腐蚀、电磁性能、弹性、高强度等。所以，也有将合金钢称为特殊钢。

含碳量小于 0.035% 的铁碳合金称为熟铁或纯铁。但是,当含有合金元素时,不论含碳量多低,习惯上仍称为钢。例如超低碳不锈钢,含碳量小于 0.03%。

电炉钢的种类很多,按冶金工业部 1976 年颁布的标准目录,电炉钢计有 10 类 300 余种。一些生产厂矿和使用单位,根据本单位的具体情况及技术条件还有很多部颁标准中没有包括的钢种。成百上千种钢,若没有合理的分类,则无论是生产还是使用,都会有很大的困难。

电炉钢可按其化学成分分成碳素钢和合金钢两大类。在碳素钢中,又可按含碳量分为低碳钢(碳小于 0.25% 的钢)、中碳钢(含碳量为 0.25~0.6%)和高碳钢(含碳量大于 0.6%)。在合金钢中,又可按合金元素的种类分为锰钢、硅钢、铬钢、镍铬钢等。还可按合金元素的多少分为低合金钢(合金元素的总量不超过 4%)、中合金钢(合金元素的总量为 4~10%)和高合金钢(合金元素的总量大于 10%)。这些分类方法比较笼统,从分类上很难判断钢的性能及用途。目前比较普遍的是按照钢的用途结合其化学成分进行分类:

### 1. 碳素结构钢:

含碳量通常在 0.6% 以下,供机械结构用。按现行部颁标准这类钢共有 33 种,其中一般锰含量(0.5~0.8%)22 种,较高锰含量(0.7~1.0%)11 种。

### 2. 合金结构钢:

一般含碳 0.2~0.6%,并含有一种或几种合金元素。要求这类钢有较高的强度,较好的塑性和韧性。通常用来做机器零件,如轴、螺栓、齿轮、曲轴和连杆等。

这类钢品种最多,编入现行部颁标准的计有 103 种。

### 3. 碳素工具钢:

用于一般的切削工具。例如，锯条、车刀、钻头等。要求这类钢有较高的硬度，所以含碳量一般都较高，属于高碳钢的范围(含碳量为 0.6~1.4%)。

这类钢共有 17 种，并按磷硫含量的不同又分为优质碳素工具钢和高级优质碳素工具钢两类。前者要求磷小于 0.035%；硫小于 0.030%。后者要求磷小于 0.030%；硫小于 0.020%。

#### 4. 合金工具钢：

这类钢也属于高碳类型，除含碳外，还含有一种或数种合金元素。它用于制造切削工具、量具和模具。

#### 5. 弹簧钢：

供制造各种机械和运输车辆上的扇形缓冲器或螺旋弹簧用。因为要求这类钢具有较好的弹性，所以其含碳量均在中碳的水平，即 0.50~0.70%。

除碳以外，这类钢的合金元素主要是硅和锰。

#### 6. 滚珠轴承钢：

用于制造滚珠、滚柱以及轴承的内外套圈。要求这类钢硬、耐磨。所以含碳量一般较高(1%左右)，并且还含有 1% 左右的铬。

#### 7. 不锈钢：

在空气中以及腐蚀性的气氛中(例如潮湿、海水等)能抵抗腐蚀的钢称为不锈钢，最常用的铬 13 类型(含铬 13%)就属于此类。因为要求耐腐蚀性能，所以碳不宜过高，一般均在低碳范围。

在酸、碱等强烈的侵蚀性介质中能抵抗腐蚀作用的钢称为耐酸钢。属于这类的有铬耐酸钢(含铬 17% 以上)和铬镍耐酸钢。其中最典型的是含铬 18%、含镍 9% 的所谓 18—8 型的耐酸钢。

这类钢品种繁多。编入国家标准 (GB1220—75) 的计有 45 种。

#### 8. 耐热不起皮钢和电热合金:

这类钢适用于高温下工作, 要求在高温下不易氧化, 工作表面不起氧化铁皮, 所以又称为不起皮钢。电热合金除要求耐热外, 还要求具有一定的电阻, 以用于电阻炉的电阻发热元件。

这类钢都是高合金钢, 主要的合金元素除铬镍外, 有些钢种还含有硅和铝。

#### 9. 高速工具钢:

这类钢实际上就是合金工具钢。所以单独立为一类, 是因为要求这类钢具有赤热硬性, 即当这种刀具切削发热后仍保持一定的硬度, 可继续工作。这类刀具可用于高速切削。

高速工具钢的品种也很多。我国最常用的是 18—4—1 型的高速钢 (即含 18% 钨, 4% 铬, 1% 钒)。

#### 10. 电工用钢:

属于这类的有含硅 1~4% 的低碳硅钢和工业纯铁。近年来这类钢逐渐有氧气转炉冶炼, 电炉冶炼的比例逐年下降。

电炉钢主要可分为上述十类。这样繁多的钢种, 用什么符号来表示, 使生产者 and 使用者见到这些符号, 就能大致判定这种钢的含碳量和其他主要合金成分、钢的主要特性及用途。我国的钢号是用字母、化学元素的符号以及数字结合起来表示的。

钢号中不同字母所代表的意思见表 1—1。化学元素的符号表示这种钢所含的主要合金成分。数字表示含碳量或合金成分的含量。

只有数字的钢号, 如“20”; “45”表示碳素结构钢。数字 20 或 45 表示这种钢的平均含碳量是 0.20% 或 0.45%。