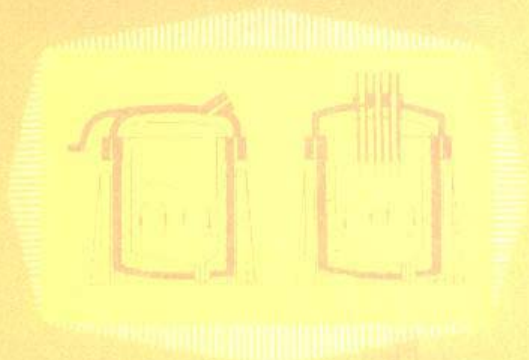




# 钢液真空处理

冶金工业出版社

# 钢液真空处理

王殿禄 洪保仪 编

冶金工业出版社

# **钢液真空处理**

王殿禄 洪保仪 编

冶金工业出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/32 印张 9 3/8 字数 208 千字

1979年5月第一版 1979年5月第一次印刷

印数00,001~9,300册

统一书号: 15062·3398 定价(科三) 0.75 元

# 前 言

目前提高钢产量和质量的方法较多，钢液真空处理是提高平炉钢、转炉钢和电炉钢的质量、增加产量和扩大品种的有效方法之一。例如，白点敏感的某些合金结构钢、钢轨钢、大钢锭等经真空处理后，可简化热处理工艺，消除白点。滚珠轴承钢经真空处理，显著降低了非金属夹杂，提高了滚珠轴承钢的使用寿命。某厂平炉车间增设真空处理装置后，过去仅在电弧炉内生产的滚珠轴承钢，现在用平炉也能生产，扩大了平炉的生产品种，降低了生产成本。硅钢经真空脱碳，碳含量可降低到0.01%以下，这不仅简化了冶炼工艺，而且冷轧后的钢带，可在连续式退火炉中迅速和可靠地将碳含量降到要求的规格，提高硅钢的电工性能。不锈钢采用电弧炉或转炉与真空处理双联生产，可改善质量，增加产量，降低成本。因此，近年来钢液真空处理正在广泛地被冶金工厂和重型机械厂所采用。

钢液真空处理技术的发展与有关工业的发展密切相关。例如耐火材料的生产和质量的提高，真空泵，尤其是大型真空泵的研制、密封材料质量的改进、液压设备以及真空仪表的技术发展都对钢液真空处理技术的发展起了促进作用。

为了适应我国钢铁工业迅速发展的需要，为了进一步推广这一技术和充分发挥现有真空处理设备的能力，我们搜集了国内外有关资料，结合工作实践编写了此书。

全书共分九章，主要阐述三个方面的问题，即：钢液真空处理的发展现状及脱气原理；当前普遍采用和高速发展的

真空浇注法、真空提升脱气法、真空循环脱气法和钢包精炼法的工作原理、工艺参数的选定、脱气室的设计、内衬耐火材料的选用、操作工艺以及处理效果；真空泵的设计计算及其辅助设备的选择等。

在编写本书过程中得到了有关工厂的工人、技术人员及有关科研和设计单位的工程技术人员的大力帮助，他们认真地审阅了书稿，并提出了宝贵的意见，对此，我们表示衷心感谢。

本书编写过程中，由庄文彬、张恒、张绍贤、李为镠几位工程师分别审阅了有关章节，由肖凡工程师总审校。由于我们水平所限，书中可能有缺点和错误，欢迎读者批评指正。

编 者

1977年

# 目 录

## 前言

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 第一章 钢液真空处理发展概况及今后展望 .....                                   | 1  |
| 第二章 钢液真空脱气原理 .....                                          | 8  |
| 一、真空脱氧和非金属夹杂物的排除 .....                                      | 8  |
| 二、真空脱氢、脱氮 .....                                             | 14 |
| 三、真空脱气的动力学 .....                                            | 19 |
| 第三章 盛钢桶真空脱气法 .....                                          | 23 |
| 一、盛钢桶真空脱气法 .....                                            | 23 |
| 二、气体搅拌盛钢桶真空脱气法 .....                                        | 26 |
| 三、感应搅拌盛钢桶真空脱气法 .....                                        | 31 |
| 四、真空室的设计 .....                                              | 34 |
| 第四章 滴流真空处理法 .....                                           | 38 |
| 一、盛钢桶到盛钢桶的滴流真空处理法（倒包<br>法）和盛钢桶到钢锭模的滴流真空处理法<br>（真空浇注法） ..... | 38 |
| 二、炉子出钢经中间盛钢桶到真空盛钢桶的滴<br>流脱气法（出钢过程处理法） .....                 | 43 |
| 第五章 真空提升法（DH法） .....                                        | 52 |
| 一、真空提升法设备组成及工作原理 .....                                      | 52 |
| 二、真空提升法的操作工艺及工艺参数的选定 .....                                  | 54 |
| 三、真空提升法真空室的设计和构造 .....                                      | 62 |
| 四、升降装置 .....                                                | 66 |
| 五、真空提升装置真空室的加热方法 .....                                      | 70 |
| 六、真空提升法合金元素的加入 .....                                        | 73 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 七、真空提升装置用耐火材料 .....                | 75         |
| 八、处理效果 .....                       | 78         |
| <b>第六章 真空循环脱气法 (RH法) .....</b>     | <b>84</b>  |
| 一、真空循环脱气法的工作原理 .....               | 87         |
| 二、真空循环脱气法主要工艺参数的选定 .....           | 91         |
| 三、真空循环脱气装置的设计 .....                | 102        |
| 四、耐火材料 .....                       | 117        |
| 五、真空脱气室的预热 .....                   | 130        |
| 六、驱动气体和反应气体 .....                  | 136        |
| 七、脱氧剂和合金元素的加入 .....                | 148        |
| 八、仪表控制系统 .....                     | 157        |
| 九、操作工艺 .....                       | 156        |
| 十、真空循环脱气装置的工艺布置 .....              | 163        |
| 十一、真空循环脱气法的效果 .....                | 166        |
| <b>第七章 钢包精炼法 (ASEA-SKF法) .....</b> | <b>181</b> |
| 一、设备结构 .....                       | 182        |
| 二、操作工艺 .....                       | 199        |
| 三、钢包精炼炉用耐火材料 .....                 | 205        |
| 四、工艺布置 .....                       | 209        |
| 五、技术经济指标 .....                     | 212        |
| <b>第八章 其他脱气方法 .....</b>            | <b>225</b> |
| 一、电弧加热盛钢桶脱气法 (FINKL-VAD法) .....    | 225        |
| 二、真空吹氧脱碳法 .....                    | 231        |
| <b>第九章 真空系统的工艺参数、设备选择及布置 .....</b> | <b>239</b> |
| 一、主要工艺参数的确定 .....                  | 239        |
| 二、真空泵类型的选择 .....                   | 245        |
| 三、蒸汽喷射泵的设计和计算 .....                | 248        |
| 四、蒸汽喷射泵的布置 .....                   | 266        |
| 五、真空系统的附属设备 .....                  | 266        |

|              |     |
|--------------|-----|
| 附录.....      | 272 |
| 附表 1 .....   | 272 |
| 附表 2 .....   | 278 |
| 附表 3 .....   | 286 |
| 主要参考文献 ..... | 290 |

# 第一章 钢液真空处理发展概况 及今后展望

由平炉、转炉、电弧炉熔炼的钢液，因在生产过程中吸入了氧、氢、氮等气体，所以在钢材的内部和表面形成种种缺陷。早在十九世纪末叶，有人就提出在减压下除掉钢中气体，借以消除这些缺陷的想法，并相应地出现了有关钢液真空脱气方法的报导。但因当时受到机械工业水平的限制，缺乏大容量、高效能的真空泵等原因，致使这些尝试未得到推广。

第二次世界大战以后，由于工业的迅速发展，对钢材质量提出了更严格的要求，因而促进了钢液真空处理的发展。同时，大容量高效能真空泵尤其是蒸汽喷射真空泵的出现，又为钢液真空处理技术的进展创造了有利的条件。

在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国在一九五五年开始钢液真空处理试验。一九五六年建成了工业性试验装置。此后二十年来，无论是采用的脱气方法或设备的安装台数都逐年增加，这对提高我国钢材质量起了积极的作用。二十年来，我国为促进钢液真空处理技术的发展也做出了一定贡献。

从一九五二年西德博胡姆公司建立第一台真空浇注设备起，到现在已有二十多年的历史。这二十多年，尤其是最近几年，新的脱气方法不断出现。目前世界上广泛采用的脱气方法就有十几种，按脱气进行的时间可分：

- ① 精炼后和出钢时进行的脱气方法；
- ② 出钢后在盛钢桶内进行的脱气方法；
- ③ 浇注时和浇注后进行的脱气方法。

按脱气机理可分：

- ① 滴流脱气法；
- ② 液面脱气法；
- ③ 真空提升脱气法；
- ④ 真空循环脱气法。

图1—1是迄今按上述分类法有代表性的真空脱气方法的原理图。

二十多年来，不仅脱气方法百花齐放，而且脱气设备安装台数也逐年增加。图1—2为国外各种脱气法设备安装台数累计增长情况。由图可清楚地看到，自一九五五年起，真空处理设备逐年迅速增加，近几年来每年都有15到20台设备投入生产。据统计，国外真空处理装置的总台数已超过300台，真空处理装置的单机容量也在显著扩大，特别是在氧气顶吹转炉车间更是如此，最大容量已达400吨。

从图1—2还可看出，六十年代初，滴流脱气法的发展占优势，但以后缓慢下来，目前真空循环脱气法，真空提升脱气法和钢包精炼法已成为真空处理发展的主流，在欧洲真空处理装置中前两种方法占50%。特殊钢厂采用电弧炉和钢包精炼炉的双联工艺也日益增多。

据报导，目前，脱气钢已占世界钢产量15~20%。一些工业较发达的国家，如日本，半数以上的钢厂设有真空脱气设备。美国一九七五年脱气钢已占钢产量的一半。今天，钢液真空处理对许多优质钢和合金钢的生产已成为不可缺少的处理方法。

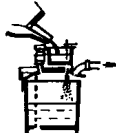
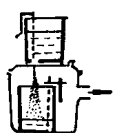
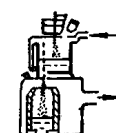
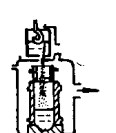
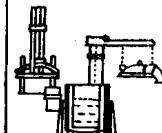
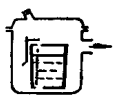
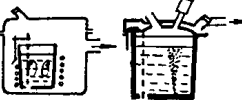
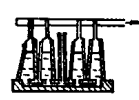
|         | 精炼后或出钢时<br>进行的脱气法                                                                                   | 盛钢桶内进行的脱气法                                                                                     |                                                                                                            | 注入时或浇注后<br>进行的脱气法                                                                            |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 滴流脱气法   | <br>a 出钢过程脱气法      | <br>b 倒包脱气法   | <br>c 双重脱气法               | <br>d 真空浇注法 |
| 液面脱气法   | <br>e 钢包精炼法        | <br>f 盛钢桶脱气法  | <br>g 感应搅拌和气体搅拌盛<br>钢桶脱气法 | <br>h 锭模脱气法 |
| 真空提升脱气法 |                                                                                                     | <br>i 真空提升脱气法 |                                                                                                            |                                                                                              |
| 循环脱气法   | <br>j 电炉内循<br>环脱气法 | <br>k 真空循环脱气法 | <br>l 热流法                 |                                                                                              |

图 1—1 真空脱气方法的原理图

钢液真空处理发展初期，处理的主要目的是降低钢中氢含量，消除大锻件中的白点。而六十年代后半期，则被脱氧、脱碳、脱硫和合金化等目的所取代，这是目前真空处理发展的一种趋势。过去在炼钢炉内完成的某些冶金过程，现已由真空处理设备承担。这种方法叫做炉外精炼，它可大大地减轻炼钢炉的负担。例如：电弧炉与钢包精炼炉双联炼钢，可提高电弧炉产量30%左右；顶吹转炉与真空循环脱气装置双

联生产硅钢，可使钢中含碳量降到0.01%以下，这样可省去脱碳退火等后步工序，节省操作费用。实践证明，采用炼钢炉和真空处理设备双联的方法，可提高钢材质量、扩大品种、增加产量和降低生产成本。

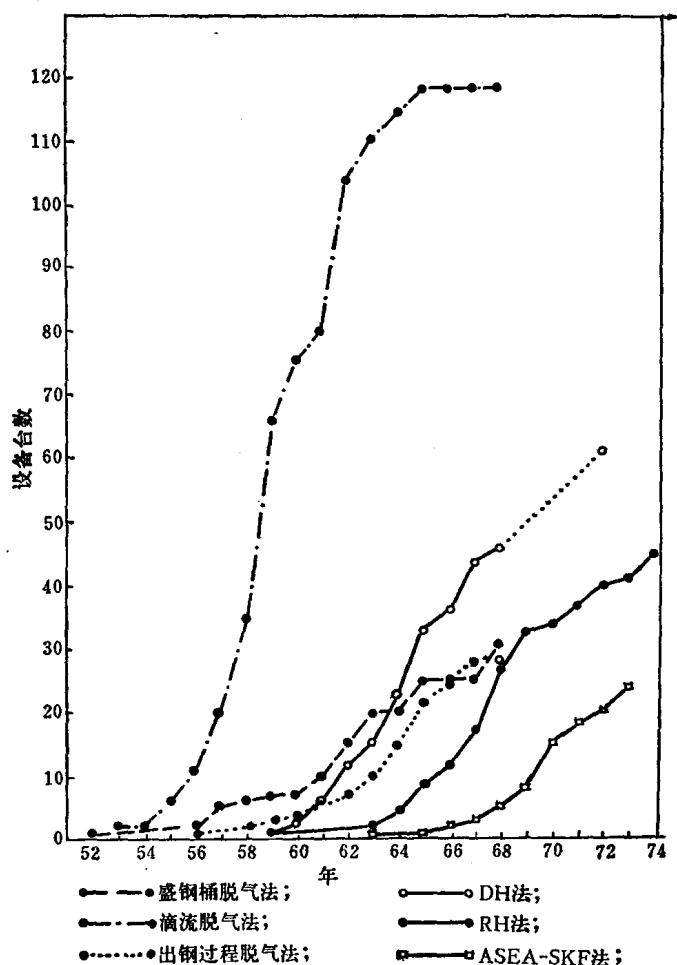


图 1—2 各种脱气法设备安装台数累计增长情况

二十多年里，我国在各种脱气方法的设备设计和工艺操作方面，在真空设备的设计和制造方面，在改善和提高耐火材料质量等方面都取得了许多成就，积累了丰富的经验。目前，许多大型钢厂、特殊钢厂和重型机械厂都设有真空处理设备。一些新设计的钢厂，都将钢液真空处理视为炼钢工艺不可分割的一部分而一并考虑。我国已安装和正在设计的真空处理设备举例见表1-1。

我国已投产和正在设计的真空处理设备举例 表 1-1

| 脱 气 方 法  | 设 备 台 数 |           |
|----------|---------|-----------|
|          | 已 投 产 的 | 正 在 设 计 的 |
| 盛钢桶脱气法   | 3       |           |
| 盛钢桶吹氧脱气法 |         | 1         |
| 钢包精炼法    |         | 3         |
| 倒包脱气法    | 3       |           |
| 出钢过程脱气法  | 1       |           |
| 真空浇注法    | 3       |           |
| 真空提升脱气法  | 2       | 1         |
| 真空循环脱气法  | 2       | 4         |

一九六五年前，我国只采用滴流脱气法和盛钢桶脱气法。真空提升脱气设备和真空循环脱气设备是在一九六五年后建成的。在毛主席革命路线指引下，又自行设计和制造了钢包精炼炉。

为了进一步推广和提高真空处理技术，今后我们应加强下列几方面的工作。

#### 1. 减少温降

各种真空脱气法普遍存在的问题是温降问题，在处理过程中往往由于温降过快，为保证正常浇注温度，不得不中断

处理，因而影响处理效果。为此，目前除了采取盛钢桶和真空室预热外，还须提高出钢温度，这不仅使冶炼周期延长，而且还导致耐火内衬加速损坏与精炼费用提高。近年来在盛钢桶脱气装置上配上电极，采用电弧加热，是一种防止温降的好方法，可保证所需处理时间以提高处理效果，并可灵活进行钢液成分调整。据文献报导，在电弧加热盛钢桶脱气装置加入适当的造渣剂后，其处理质量与真空熔炼或电渣重熔法生产的钢材质量相当。因此改善和创新真空处理的加热方法是稳定和提高处理效果的必要前提。

## 2. 真空脱气装置与炼钢炉相配合

在生产高合金钢时，可将熔化、降碳、合金化和精炼脱硫等过程分别在炼钢炉和真空处理装置内进行，即过去在炼钢炉内完成的某些冶炼过程，现由真空处理装置来完成。这是近年来真空处理发展的一种趋势。例如，采用钢包精炼炉、真空吹氧脱碳等技术后，炼钢炉只承担熔化同预合金化的任务，因而减轻了炼钢炉的负担。实践证明，它对提高质量、扩大品种、降低合金消耗以及提高产量方面都起着重要的作用。

## 3. 提高设备利用率

提高真空脱气设备利用率是降低脱气费用的有效措施。过去限制设备利用率提高的主要因素是耐火材料寿命低，今后除了进一步提高耐火材料质量外，认真地选择脱气方法，合理地设计真空脱气装置和抽空系统、认真研究和改进炼钢炉、真空脱气装置与浇注设备间的配合关系、完善检测和遥控系统、充分保证动力安全供送是提高设备利用率的重要措施。

## 4. 加强脱气机理的理论研究

低压下的脱气机理，特别是研究动力学因素对脱气效果的影响，目前的工作仍处于定性阶段；各种脱气方法脱气机理的理论研究成果还很少，因此大力开展这方面的工作对改善现有脱气设备和研究新的脱气方法，是十分重要的。

## 第二章 钢液真空脱气原理

钢液真空脱气原理以质量作用定律和气体溶解定律为基础。但这些定律只能对脱气过程进行热力学方面的描述，而影响脱气过程的动力学因素还很多，如：脱气表面积大小、钢液搅拌强度、气泡核形成速度、扩散过程发展程度、内衬耐火材料粗糙度等等。这些影响因素很复杂，而且研究得较少，还不能用数学方法精确地确定它们对脱气所起的作用。然而，钢液真空处理方法的发展，都围绕着创造更有利的动力学条件进行，因此，这里对脱气过程动力学也进行简要阐述。

本章仅阐述钢液脱氧、脱氢、脱氮和降低非金属夹杂物的基本原理，这是各种脱气方法的共性问题，至于脱碳、脱硫等原理，将在有关章节结合具体脱气方法进行叙述。

### 一、真空脱氧和非金属夹杂物的排除

固溶在钢中的氧数量极少，它主要以氧化物夹杂形式存在于钢中，这些氧化物对钢的物理性能有很大影响，它们使钢的冲击韧性、耐磨性、疲劳强度、塑性、耐腐蚀性和其他性能降低，因此，钢中的氧是有害元素，须在炼钢过程中进行最后脱氧。

在脱氧元素中碳占有很重要的地位，因为它和氧相互作用生成的气体产物能从溶池逸出，而不致影响钢的纯洁度。但在常压下碳的脱氧能力很弱，因此通常都采用更强的脱氧剂，如硅或铝等进行脱氧，不过采用铝或硅脱氧有很大的缺点，因为铝或硅在脱氧后形成铝或硅的氧化物夹杂，部分地

残留在钢中，使钢的纯洁度降低。但在真空下碳的脱氧能力显著增强。图2—1是在1600°C时，不同一氧化碳分压下的碳与各种元素脱氧能力的比较，从图2—1可以看出，在真空下碳脱氧能力大大增强，在0.01大气压下，碳的脱氧能力接近铝的脱氧能力。

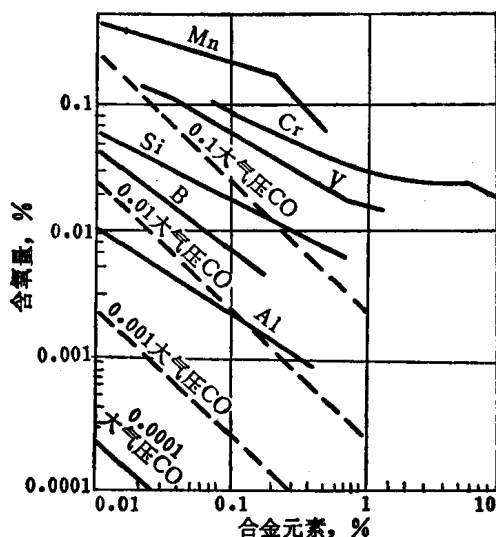


图 2—1 压力不同时，碳与各种元素脱氧能力的比较 (1600°C)

碳、氧反应标准自由能变化和温度的关系式如下：



$$K_{\text{co}} = \frac{P_{\text{co}}}{a_{\text{c}} \cdot a_{\text{o}}}$$

$$\log K_{\text{co}} = \frac{1160}{T} + 2.003$$