

C.T.L.F.I.

# 冲天炉熔炼

孙克成  
钱立



河北人民出版社

TG232.1

5  
3

# 冲天炉熔炼

孙克成 钱立



河北人民出版社

一九八一年·石家庄

A 699555

---

# 冲天炉熔炼

孙克成 钱立

责任编辑：杜振杰

---

河北人民出版社出版 (石家庄市北马路13号)  
邯郸地区印刷厂印刷 河北省新华书店发行

---

787×1092毫米 32 10 5/8 印张 234,000字 印数: 1—5,430  
1981年1月第1版 1981年1月第1次印刷 统一书号: 15080·148 定价: 0.68元

---

## 前 言

冲天炉是铸铁件生产的主要熔炼设备。提高冲天炉熔炼技术，对提高铸件质量，尤其是对改善铸件内在质量，提高铸件性能，减少废品率具有十分重要的意义。据统计，铸造废品率有半数以上与熔炼技术有关，为此，我们根据多年来在生产、教学和科研中积累的资料，编写了《冲天炉熔炼》一书。该书从生产实际出发，围绕着提高铸铁件内在质量，防止由铸铁熔炼方面原因而产生的各种缺陷，按炉型与结构，燃料与燃烧，供风与风机，熔剂与炉渣，炉料与配料，氧化与吸气，操作与控制，材质与成分等八个专题进行阐述。各章节力求在讲明基本原理的基础上，详细分析生产工艺，全面提供措施和方法，实用性较强。同时还对一些带有方向性和倾向性的问题作了适当的介绍。

本书可供技术人员、操作工人使用，亦可供铸造专业师生参考。书中第一、二、四、五、八章由钱立编写，第三、六、七章由孙克成编写。错误与不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

一九八〇年一月一日

# 目 录

|                     |        |
|---------------------|--------|
| 第一章 炉子结构与炉型选择 ..... | ( 1 )  |
| 第一节 炉子结构 .....      | ( 2 )  |
| 一、冲天炉的结构 .....      | ( 2 )  |
| 二、冲天炉的作业原理 .....    | ( 6 )  |
| 三、对冲天炉熔炼的要求 .....   | ( 9 )  |
| 第二节 炉型选择 .....      | ( 11 ) |
| 一、炉型分类 .....        | ( 11 ) |
| 二、炉型选择与结构参数 .....   | ( 16 ) |
| 第二章 燃料与燃烧 .....     | ( 26 ) |
| 第一节 燃料 .....        | ( 26 ) |
| 一、焦炭 .....          | ( 27 ) |
| 二、焦炭的代用品 .....      | ( 36 ) |
| 三、辅助燃料 .....        | ( 40 ) |
| 第二节 燃烧 .....        | ( 47 ) |
| 一、焦炭燃烧的基本反应 .....   | ( 47 ) |
| 二、底焦内的燃烧 .....      | ( 49 ) |
| 三、强化熔炼的内容与要点 .....  | ( 53 ) |
| 四、提高铁水温度的措施 .....   | ( 62 ) |
| 第三章 供风与风机 .....     | ( 71 ) |
| 第一节 合理风量的确定 .....   | ( 71 ) |
| 一、合理供风量的概念 .....    | ( 71 ) |
| 二、入炉风量的理论核算 .....   | ( 74 ) |
| 三、合理供风量的选控 .....    | ( 76 ) |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 四、风量的测试技术.....           | ( 81 )  |
| 第二节 鼓风机的选用与调节 .....      | ( 98 )  |
| 一、冲天炉熔炼过程对鼓风机的要求 .....   | ( 98 )  |
| 二、冲天炉常用鼓风机的主要特性与选用 ..... | ( 99 )  |
| 三、鼓风机的合理使用 .....         | ( 110 ) |
| 第三节 送风系统参数的选择.....       | ( 116 ) |
| 一、合理风口比 .....            | ( 116 ) |
| 二、风箱的合理结构设计 .....        | ( 118 ) |
| 三、风管结构尺寸的选择 .....        | ( 119 ) |
| 第四章 熔剂与炉渣 .....          | ( 122 ) |
| 第一节 熔剂.....              | ( 122 ) |
| 一、熔剂的作用 .....            | ( 122 ) |
| 二、石灰石的鉴别、标准和块度 .....     | ( 124 ) |
| 三、石灰石的代用材料与配用材料 .....    | ( 125 ) |
| 四、合理使用熔剂, 保证炉况顺行 .....   | ( 127 ) |
| 第二节 炉渣 .....             | ( 128 ) |
| 一、造渣过程 .....             | ( 128 ) |
| 二、炉渣的组成与判断 .....         | ( 130 ) |
| 三、黑渣与发渣 .....            | ( 133 ) |
| 四、高硫铁水的处置 .....          | ( 139 ) |
| 第五章 炉料与配料.....           | ( 151 ) |
| 第一节 炉料.....              | ( 151 ) |
| 一、生铁锭 .....              | ( 151 ) |
| 二、合金材料 .....             | ( 157 ) |
| 三、废钢 .....               | ( 169 ) |
| 四、回炉料与废机铁 .....          | ( 171 ) |
| 五、散料 .....               | ( 173 ) |
| 第二节 配料.....              | ( 174 ) |
| 一、配料原则 .....             | ( 175 ) |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 二、配料依据 .....             | ( 175 ) |
| 三、配料计算方法 .....           | ( 176 ) |
| 第三节 碳量的控制 .....          | ( 178 ) |
| 一、碳量的变化规律 .....          | ( 179 ) |
| 二、碳量的主要控制因素 .....        | ( 180 ) |
| 第六章 铁水的氧化与吸气 .....       | ( 183 ) |
| 第一节 铁水的氧化 .....          | ( 183 ) |
| 一、铁水氧化的条件和过程 .....       | ( 184 ) |
| 二、硅、锰、铁的氧化规律 .....       | ( 186 ) |
| 第二节 铁水氧化的生产控制 .....      | ( 191 ) |
| 一、铁水氧化程度的判断方法 .....      | ( 192 ) |
| 二、控制铁水氧化的措施 .....        | ( 193 ) |
| 第三节 铁水的含气 .....          | ( 198 ) |
| 一、原生铁锭中的含气 .....         | ( 198 ) |
| 二、铁水的含氢与含氮 .....         | ( 200 ) |
| 三、控制铁水中氢与氮含量的措施 .....    | ( 201 ) |
| 第七章 熔炼操作与控制 .....        | ( 205 ) |
| 第一节 冲天炉的技术管理制度 .....     | ( 205 ) |
| 一、加强原材料的准备工作 .....       | ( 205 ) |
| 二、建立健全岗位责任制 .....        | ( 206 ) |
| 三、建立并完善各种原始记录和统计表格 ..... | ( 206 ) |
| 四、大炉工应知应会要求 .....        | ( 206 ) |
| 第二节 冲天炉操作工艺守则 .....      | ( 209 ) |
| 一、材料准备 .....             | ( 209 ) |
| 二、修炉与修包 .....            | ( 211 ) |
| 三、点火与装料 .....            | ( 213 ) |
| 四、熔化与控制 .....            | ( 213 ) |
| 五、安全技术 .....             | ( 215 ) |
| 第三节 炉况判断与控制调节 .....      | ( 215 ) |

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| 一、送风的判断与调节 .....             | ( 216 )        |
| 二、炉顶判断 .....                 | ( 218 )        |
| 三、炉渣判断 .....                 | ( 223 )        |
| 四、铁水判断 .....                 | ( 224 )        |
| 五、炉料的控制与调节 .....             | ( 239 )        |
| 六、底焦高度的调节 .....              | ( 241 )        |
| 七、常见故障与消除方法 .....            | ( 242 )        |
| <b>第八章 铸铁的选用与化学成分 .....</b>  | <b>( 246 )</b> |
| <b>第一节 各种铸铁的牌号与选用 .....</b>  | <b>( 246 )</b> |
| 一、灰口铸铁 .....                 | ( 246 )        |
| 二、球墨铸铁 .....                 | ( 250 )        |
| 三、可锻铸铁 .....                 | ( 252 )        |
| 四、特殊性能铸铁 .....               | ( 257 )        |
| 五、几种铸铁的物理性能和工艺性能比较 .....     | ( 261 )        |
| <b>第二节 铸铁中合金元素的作用 .....</b>  | <b>( 265 )</b> |
| 一、铁—碳状态图 .....               | ( 265 )        |
| 二、铸铁中的五元素 .....              | ( 277 )        |
| 三、铸铁的合金化 .....               | ( 284 )        |
| <b>第三节 各种铸铁的典型化学成分 .....</b> | <b>( 298 )</b> |
| 一、灰口铸铁 .....                 | ( 299 )        |
| 二、球墨铸铁 .....                 | ( 315 )        |
| 三、可锻铸铁 .....                 | ( 323 )        |
| 四、耐热、耐蚀铸铁 .....              | ( 326 )        |

## 第一章 炉子结构与炉型选择

铸铁的熔炼设备很多，有冲天炉、煤粉炉、油炉、感应炉、电弧炉、反射炉和天然气化铁炉等。冲天炉与其它熔炼设备相比，具有结构简单、操作方便、热效率高、熔化迅速、可连续生产和成本低廉等优点。因此，它在当前应用最为普遍。国内约90%以上的铸铁是由冲天炉进行熔炼的。

铸铁的冶铸技术在我国已有两千多年历史。新中国成立后，随着机械工业的发展，铸造行业突飞猛进。目前铸件年产量达五百万吨，居世界第四位，其中铸铁产量约与英国相当。多年来，由于在炉型结构、炉料管理、操作工艺和控制测试等方面的不断改革，铁焦比平均水平已由解放初期的1~2:1提高到7~9:1，个别高的达15~17:1，为国家节约了大量焦炭。然而，也应该看到，由于过分地追求铁焦比和不适当地改造炉子，影响了铁水的质量，甚至出现牺牲铁水温度和使铁水化学成分不稳定的现象。因此，广大铸造工作者的任务，首先要掌握冲天炉熔炼的内在规律，妥善处理热工和冶金两个过程，解决好“多、快、好、省”之间的关系。其次要进一步总结完善现有几种高效冲天炉的炉型结构和熔炼工艺。本章的目的是在全面扼要地介绍冲天炉工作过程的基础上，提出对冲天炉的基本要求，再根据这些基本要求讨论炉型如何选择。在以后各章中则以提高铁水质量为中心，详细分析铸铁熔炼的各个环节，研究各种切实可行

的工艺措施。

## 第一节 炉子结构

### 一、冲天炉的结构

冲天炉基本上是一个直立的圆筒，属于竖炉范畴。整个炉子可分为炉身、前炉、烟囱和支撑等四部分，如图1—1所示。

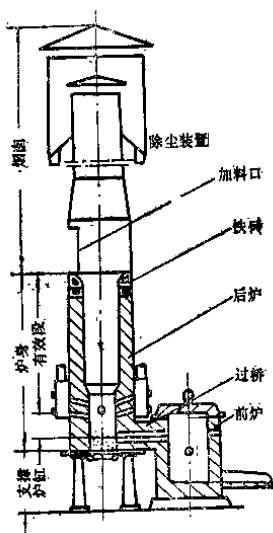


图1—1 冲天炉的结构

炉身是冲天炉的主要部分，它位于炉底和加料口下沿之间。炉身用6~12毫米的钢板作外壳，里面用耐火材料修砌成炉膛。在耐火砖与外壳之间应留有15~30毫米的间隙，供充填石棉、干砂、硅藻土或灰渣之用，以便起绝热作用，减少炉体热量的损失，同时也为受热后的耐火砖留有膨胀的余地。熔炼时被侵蚀掉的炉衬应更换成新的耐火砖，或者用耐火材料搪修。加料口处由于经常受到炉料的冲击，一般用空心铸铁砖作

炉衬。为了增加炉身的刚度和承托耐火砖，在炉壳内侧每隔

1~1.5米焊一圈角铁。

炉身下部装有底焦，由鼓风机送来的空气，经风箱均匀稳定之后，由风口吹入炉内，使焦炭燃烧，为炉料的预热、熔化和其它物理化学变化提供必要的温度条件。按照作用原理的不同，炉身通常又可分为有效段和炉缸两部分。底排风口中心线以上至加料口下沿为有效段；底排风口中心线以下至炉底为炉缸。它们的高度分别称作有效高度和炉缸高度。有效高度越大，则炉料的预热越充分，废气温度越低，因而炉气的热利用较充分，加料口的工作条件较好。有效高度和炉子内径（即炉膛内径）是冲天炉的两个重要结构参数。在设计冲天炉时，首先根据炉子的吨位，即每小时需熔化的铁水吨数，确定炉子内径。表1—1的对应关系可供参考。表

表1—1 冲天炉吨位与名义直径的关系

| 吨位（吨/小时） | 1   | 2   | 3   | 5   | 7    | 10   | 15   |
|----------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 名义直径（毫米） | 450 | 600 | 700 | 900 | 1100 | 1300 | 1500 |

中炉子名义直径，对直筒炉膛的炉子是指炉子任何一处的内径；对曲线炉膛的炉子是指熔化带的内径。炉子内径确定以后，再根据有效高度比，即炉子有效高度与炉子内径之比，来决定有效高度的数值。通常有效高度比取为5~7.5。小炉子取上限，大炉子取下限。当焦炭强度低、块度小，鼓风机风力不足时，应降低有效高度，其比值不受前述数据的限制。老式的冲天炉，铁水贮存在炉缸里，炉缸较深，约为500~600毫米。有前炉的冲天炉，炉缸较浅，一般在200~250毫米。为了方便铁水的流出，炉底向出铁口或过桥修成1:15的坡度。炉缸上应设有足够大小的工作门，供修铺炉

底、点火和打炉操作用。打炉时，打开炉底门，使炉内残余物料排出炉外，必要时可用捅条自工作门帮其下落。

一般冲天炉都带有前炉。前炉可以贮存更多的铁水，均匀铁水的化学成分和温度，而且由于铁水及时由后炉流入前炉，与焦炭接触的时间缩短，减少了增碳和增硫，有利于铁



图1—2 短线圈工频前炉外貌

水质量的提高，在前炉中渣铁的分离也较好。缺点是铁水温度有所下降。因此，前炉的烘烤和保温十分重要。如果前炉烤不干、热不透，会严重影响初期铁水的温度，甚至有产生寒眼座炉的危险。在前炉的搪修材料中通常配有相当比例的焦炭粉，以加

强前炉的保温性。含有焦炭粉的炉衬不粘渣铁，刎修起来很省事。固定式前炉（见图 1—1）的内径，一般与炉子名义直径相等，其容量可按贮存 0.5 ~ 1 小时的熔化量来考虑。有的工厂采取开渣口操作，对提高初期铁水的温度有一定作用。然而，最好的办法是

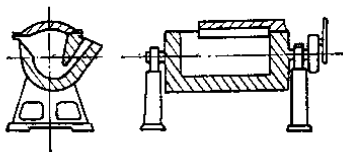


图1—3 回转前炉

前炉用煤气保温或设计成工频感应加热前炉。图 1—2 是短

线圈工频前炉外貌图。在出铁频繁或大量流水生产的铸工车间，多使用回转前炉（见图 1—3），以简化启闭出铁口的操作。此时，为了不使炉渣进入前炉，可在后炉出渣（见图 1—4），或在过桥与前炉之间设一分渣器（见图 1—5）。中小型可锻铸铁车间在解决

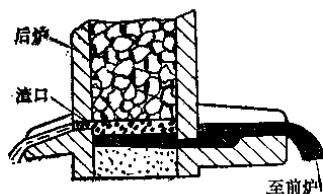


图1—4 后炉出渣装置

冲天炉加料口下沿以上为烟囱。其作用是利用负压拔风的原理，使烟气和灰尘经除尘器除尘后，再排到车间以外的大气中去。烟囱应高出厂房。烟囱直径为炉身外径的0.7~1倍，过小则不利于烟气的顺利排除，烟气容易从加料口喷出，恶化劳动条件。一般3吨

以下的冲天炉，烟囱没有内衬。5吨以上的冲天炉，为了保护炉壳不受 $SO_2$ 等气体的腐蚀，可以砌筑青砖或红砖。

烟囱顶部的火花捕集器能收集烟气中较大的灰尘和扑灭火星。但是，它的除尘效果很

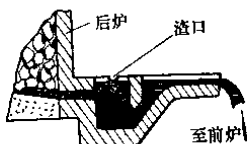


图1—5 虹吸分渣器

差，粉尘排放浓度远远超过国家标准的规定（200毫克/标米<sup>3</sup>），严重污染了环境，甚至出现车间屋面因积灰超重而压塌的现象。为要达到国家标准规定的粉尘排放浓度，须采

用旋风除尘器、布袋除尘器、静电除尘器、颗粒层除尘器和湿法火花捕集器等。湿法火花捕集器（见图1—6）结构简单，

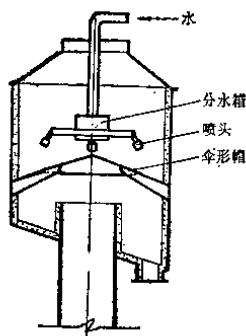


图1—6 湿法火花捕集器

仅需在原火花捕集器上安装喷头。利用所形成的水幕即可基本上去除烟气中的灰尘和 $\text{HF}$ 、 $\text{SO}_2$ 等有害气体，适于多数工厂采用；但除尘器腐蚀较快，有待研究解决。颗粒层除尘器是一种新型除尘器，它依靠壳体內的物料颗粒（如石英砂）作为过滤层来净化烟气。由于滤料来源容易，又有耐高温、耐腐蚀、磨损小和净

化效率高等优点，被认为是现代化冲天炉上有发展前途的一种除尘装置。1976年上海工程机械厂将其用于生产，取得了良好效果。如果将旋风除尘器和颗粒层除尘器串联，实行二级除尘，则效果更好，除尘效率可高达97~99.9%。

冲天炉的最下部分是支撑。它包括炉基、炉腿、炉底板和炉底门等。炉底门与炉底板由铰链相连，通常作成两扇，借人工或气动、电动启闭。5吨以下的冲天炉，为了修炉方便，有时作成活动炉缸，将炉缸—炉底板架在小车上，可沿轨道进出。

## 二、冲天炉的作业原理

冲天炉操作包括修炉、点火烘炉、检查并补足底焦高

度、装料焖炉、开风熔炼和停风打炉等步骤。每一步骤的工艺要求在第七章中再作讨论，在此仅概要叙述冲天炉的作业原理。

图 1—7 是冲天炉的装料图。下部为底焦，其高度由底排风口中心线算起，也就是说底焦的实际高度等于底焦（计算）高度加炉缸高度。上部为批料，它们按石灰石—铁料—层焦的顺序一直加至加料口下沿。一般约加 6~8 批铁料。

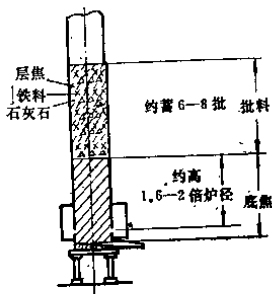


图1—7 冲天炉装料图

开风熔炼后，底焦发生燃烧放出巨大的热量，一方面使底焦温度提高，另一方面变成高温炉气向上运动。在底焦因燃烧而消耗的同时，批料逐步下降，并不断受到高温炉气的加热。铁料在底焦顶面附近熔化，熔化后的铁滴，在沿底焦蜿蜒下落的过程中，受红热焦炭和高温炉气的共同作用，温

度继续提高。在金属炉料熔化温度以后的加热称为过热。过热的铁水经由炉缸与过桥流入前炉。石灰石的变化与铁料大致相仿。先是预热、分解，然后在接近底焦顶而的地方开始熔化。当其下行时，收容由炉衬、铁料和焦炭灰烬而来的杂质，完成其造渣过程。图 1—8 给出了焦炭、铁料和石灰石在炉子不同高度上的变化，图中绘有炉气与铁料在相向运动中的温度变化曲线。

根据炉料物理状态的不同变化，冲天炉自上而下可划分

为预热带、熔化带和过热带。熔化带横跨于底焦顶面，熔化带以上为预热带，熔化带以下至底排风口为过热带。

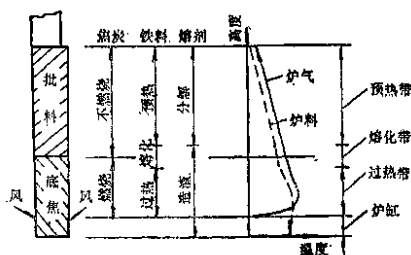
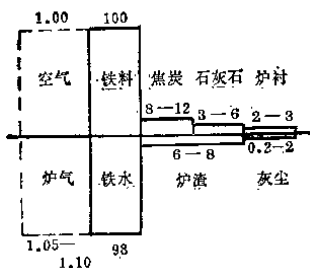


图1—8 冲天炉高度上物料的变化

冲天炉内，在发生物理变化的同时，由于铁料与炉气，铁水与焦炭、炉气、炉渣之间的相互作用，也引起了铁水化学成分的变化。一般的规律是碳、硫增多，硅、锰减少，而磷则保持不变。

必须指出，预热带中的层焦可认为是不发生燃烧的（略有消耗）。它的作用是补偿底焦的消耗，使底焦高度维持稳定。在熔炼过程中，因底焦燃烧和炉料熔化而降低了的料线，应适时地由后继批料加以补充，其加入顺序照旧。生产实践证明，严格地维持底焦高度和料位高度对于保证熔炼的稳定性是极为重要的。

在熔炼期间各种物料的收支比例随原材料条件、铸件要求 and 操作因素的不同而有变化，图1—9可供参考。由图可知，熔化100公斤铁料约需8—12公斤焦炭（铁焦比8.3~12.5:1），3—6公斤石灰石，侵蚀2—3公斤炉衬；熔化后



能获得约 98 公斤铁水，产生 6—8 公斤炉渣。而鼓入炉内的 1 份空气约可产生 1.05—1.10 份炉气，随炉气带走的灰尘约为 2—20 公斤/吨铁水。

图1—9 冲天炉物料收支简图

### 三、对冲天炉熔炼的要求

一只好的炉子应该满足下列要求：

#### 1、化学成分

要稳定地得到化学成分合格的铁水，以期达到材质所规定的机械性能指标。

#### 2、出铁温度

要有足够高的出铁温度。出铁温度低，不但容易产生气孔、夹渣、冷隔、浇不足等铸造缺陷，而且对于炉况的顺行、化学成分的稳定、硅锰烧损的减少和硫的去除都有密切关系。高的出铁温度还可以消除炉料的不良“遗传性”，起细化晶粒和致密组织的作用。随着高级铸铁的发展，炉前处理被日益广泛应用。此时，铁水温度的高低更是铸件成败的关键。一般地说，普通灰口铸铁的出铁温度为 $1340—1380^{\circ}\text{C}$ ，球墨铸铁的出铁温度为 $1400—1420^{\circ}\text{C}$ 。

#### 3、硅锰烧损和铁的熔损

硅锰的烧损和铁的熔损要少。不合理的炉型和过量送