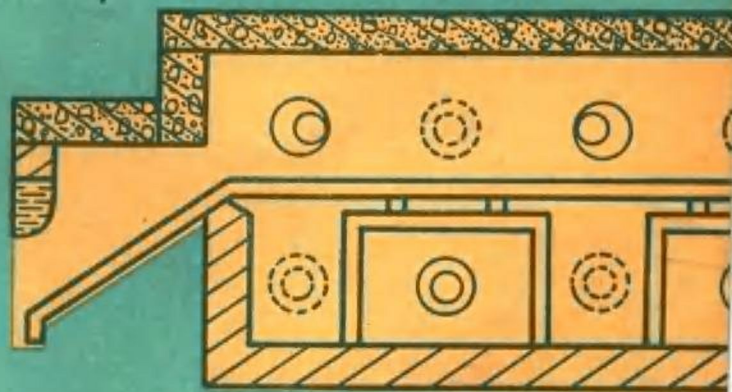


# 轧钢加热炉节能



冶金工业出版社

## 内 容 提 要

本书综合国内外有关文献和资料,比较系统地介绍了轧钢加热炉的节能技术,内容包括:轧钢加热炉的热工特性参数的确定,炉子热平衡的编制,燃烧装置的改进,减少炉底管的热损失,炉体的绝热,空气预热器、热滑道、油掺水乳化燃烧、节能炉型以及其他节能技术等。

本书可供冶金、机械等工业部门从事工业炉、压力加工等工作的科技人员及大专院校有关专业师生参考。

## 轧钢加热炉节能

何英介 编

\*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

\*

850×1168 1/32 印张9 字数234千字

1984年6月第一版 1984年6月第一次印刷

印数00,001~3,200册

统一书号:15062·4066 定价1.15元

## 前 言

能源问题是发展国民经济中的重大问题。我国钢铁工业能耗占全国总能耗的18%左右，是工业部门中最大的耗能户。在钢铁生产各工序中轧钢工序的能耗占第二位（占钢铁工业总能耗的15%左右），而加热炉的燃料消耗又占轧钢总能耗的70%以上。因此，搞好轧钢加热炉的节能工作，是降低轧钢工序能耗的关键，也是降低钢铁生产综合能耗和可比能耗的一个重要的组成部分。

目前，我国轧钢加热炉的能耗还是相当高的，大多数轧钢加热炉的平均热效率只是30%左右，节约的潜力还很大。因此，应该积极采取行之有效的节能措施，力争在比较短的时期内，把我国轧钢加热炉的能耗降低到一个新的水平。

我国迄今还没有专述轧钢加热炉节能的书籍，供从事这方面工作的同志参考。

鉴于上述情况，为促进轧钢加热炉技术的发展，满足从事这方面工作同志的需要，编者搜集了国内外有关文献和技术资料，并根据本人二十多年工作的实践，编写了《轧钢加热炉节能》一书，期望本书在轧钢加热炉的节能工作中起到一点作用。

但是，由于受时间、条件和编者水平的限制，书中内容还不够全面，对不少问题认识十分肤浅，不一定能满足读者要求，甚至书中还可能有不少错误观点，恳切希望广大读者批评指正。

在本书编写过程中，得到了上海交通大学顾问教授、美国麻省理工学院（MIT）名誉院士、上海未来研究会顾问兼能源研究学组组长杨通谊、上海第五钢铁厂副总工程师、上海未来研究会能源研究学组顾问杨子宁高级工程师、上海交通大学讲师费铸铭、上海冶金专科学校分校讲师徐红、上海钢铁研究所宋欣怡以及上海有色金属研究所张忆华等同志的指导与支持。此外，本书在编写过程中，还得到了裴先白、廉书祯、顾德骥、谷淑

珍、秦宗广、明志澄、王明善以及有关部门领导同志的大力支持与鼓励，在此谨表示衷心的感谢。

本书中所借鉴引用的资料，来源于有关会议技术交流资料 and 书刊文献，这些均是我国广大科技人员的劳动成果，没有这些同志的辛勤劳动，编者是写不好这本书的。借此机会，也谨向这些同志致以衷心的感谢。

编 者

1981年4月

# 目 录

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 第一章 轧钢加热炉的热工特性参数.....                 | 1  |
| § 1. 热量利用系数 $\eta_{\text{热}}$ .....   | 1  |
| § 2. 燃料利用系数 $\eta_{\text{燃}}$ .....   | 3  |
| § 3. 热量有效利用系数 $\eta_{\text{有}}$ ..... | 3  |
| § 4. 炉子的热效率 $\eta_{\text{炉}}$ .....   | 4  |
| § 5. 燃料换算系数.....                      | 4  |
| § 6. 炉子的燃料消耗量与炉子可比单耗.....             | 5  |
| § 7. 燃料的燃烧温度.....                     | 7  |
| § 8. 炉子的燃料消耗量和产量的关系.....              | 9  |
| 第二章 轧钢加热炉热平衡的编制.....                  | 11 |
| § 1. 编制炉子热平衡的重要性.....                 | 11 |
| § 2. 炉子热平衡编制的方案.....                  | 11 |
| § 3. 炉子热平衡的收支项.....                   | 13 |
| § 4. 加热炉热工测定的几个主要方面.....              | 14 |
| § 5. 加热炉热工测定的主要内容.....                | 15 |
| § 6. 热工测定的准备工作.....                   | 16 |
| § 7. 几个热工特性参数的测量.....                 | 17 |
| § 8. 轧钢加热炉热工测定的实例.....                | 23 |
| 第三章 燃烧装置的改进.....                      | 32 |
| § 1. F型油压自动比例调节烧嘴.....                | 33 |
| § 2. 自身预热烧嘴.....                      | 35 |
| § 3. 平焰烧嘴.....                        | 38 |
| § 4. MB型高压内混烧嘴.....                   | 42 |
| § 5. FH型低 $\text{NO}_x$ 烧嘴.....       | 45 |
| § 6. 富氧烧嘴.....                        | 56 |
| § 7. 燃烧油煤混合燃料用烧嘴 (COM烧嘴).....         | 57 |
| § 8. 机械化燃煤技术.....                     | 60 |
| § 9. 改善目前的燃油燃烧技术.....                 | 72 |
| 第四章 炉体的绝热.....                        | 75 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| § 1. 炉体绝热的效果 .....            | 75         |
| § 2. 炉体散热量的计算 .....           | 76         |
| § 3. 炉体的厚度及其他组成的选择 .....      | 81         |
| § 4. 介绍几种绝热材料 .....           | 83         |
| <b>第五章 空气预热器 .....</b>        | <b>123</b> |
| § 1. 预热空气的作用 .....            | 123        |
| § 2. 预热器的型式 .....             | 132        |
| § 3. 空气预热器的选择 .....           | 149        |
| § 4. 有关金属预热器设计的几个问题 .....     | 153        |
| <b>第六章 减少炉底管的热损失 .....</b>    | <b>162</b> |
| § 1. 概述 .....                 | 162        |
| § 2. 炉底管的耐火可塑料包扎 .....        | 163        |
| § 3. 炉底管的硅酸铝耐火纤维毡的包扎 .....    | 174        |
| § 4. 减少炉底管的面积 .....           | 175        |
| <b>第七章 热滑道 .....</b>          | <b>180</b> |
| § 1. 概述 .....                 | 180        |
| § 2. 热滑道的结构型式 .....           | 182        |
| § 3. 热滑道材质的选择 .....           | 186        |
| <b>第八章 减少炉子孔洞吸冷风和冒火 .....</b> | <b>192</b> |
| § 1. 孔洞的辐射热损失 .....           | 192        |
| § 2. 孔洞的吸冷风和冒火 .....          | 193        |
| § 3. 减少孔洞吸冷风和冒火的措施 .....      | 195        |
| <b>第九章 节能炉型 .....</b>         | <b>198</b> |
| § 1. 概述 .....                 | 198        |
| § 2. 热滑道连续式加热炉 .....          | 198        |
| § 3. 无水冷滑道连续式加热炉 .....        | 199        |
| § 4. 平顶辐射连续式加热炉 .....         | 201        |
| § 5. 步进式加热炉 .....             | 203        |
| § 6. 喷流预热装置的节能型加热炉 .....      | 208        |
| § 7. 感应加热炉 .....              | 217        |
| § 8. 用于轧钢加热炉上的电子计算机 .....     | 218        |
| <b>第十章 油掺水乳化燃烧技术 .....</b>    | <b>222</b> |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| § 1. 概述 .....                | 222        |
| § 2. 油掺水乳化燃烧的机理 .....        | 223        |
| § 3. 油掺水的乳化装置 .....          | 224        |
| § 4. 乳化油的制造工艺 .....          | 228        |
| § 5. 对油掺水乳化燃烧需要说明的几个问题 ..... | 236        |
| <b>第十一章 其他节能途径 .....</b>     | <b>241</b> |
| § 1. 加热炉炉体延长 .....           | 241        |
| § 2. 改进加热曲线 .....            | 242        |
| § 3. 钢料低温出炉 .....            | 244        |
| § 4. 采用低空气过剩系数燃烧 .....       | 244        |
| § 5. 汽化冷却 .....              | 245        |
| § 6. 余热锅炉 .....              | 246        |
| § 7. 提高轧机的作业率 .....          | 248        |
| § 8. 取消端出料推钢式加热炉的“死闲区” ..... | 250        |
| § 9. 改变轧钢加热炉的传热方式 .....      | 252        |
| § 10. 采用空心炉墙及炉底烟道的加热炉 .....  | 260        |
| § 11. 均热炉采用逆L字型加热法 .....     | 262        |
| § 12. 采用节能涂料 .....           | 263        |
| § 13. 加强操作管理, 健全计测装置 .....   | 267        |
| <b>附录 .....</b>              | <b>269</b> |
| 附录一 一些炉子的平均先进热耗指标 .....      | 269        |
| 附录二 我国商品重油分类标准 .....         | 270        |
| 附录三 喷嘴要求的重油粘度 .....          | 270        |
| 附录四 重油温度粘度值 .....            | 270        |
| 附录五 日本各种工业炉的热效率 .....        | 271        |
| 附录六 日本轧钢加热炉热耗 .....          | 271        |
| 附录七 以煤代油合理性比较表 .....         | 272        |
| 附录八 耐火纤维用于工业炉的设计参考资料 .....   | 272        |

## 第一章 轧钢加热炉的热工特性参数

为了研究和探讨轧钢加热炉的节能，首先必须了解炉子常用的热工特性参数。下面介绍一些常用的热工特性参数。

### § 1. 热量利用系数 $\eta_{\text{热}}$

$$\begin{aligned}\eta_{\text{热}} &= \frac{Q_{\text{低}} + Q_{\text{物}} - Q_{\text{烟}}}{Q_{\text{低}} + Q_{\text{物}}} \\ &= \frac{V_{\text{理}} C_{\text{烟}}^{\text{理}} t_{\text{理}} - V_{\text{烟}} C_{\text{烟}}^{\text{烟}} t_{\text{烟}}}{V_{\text{理}} C_{\text{烟}}^{\text{理}} t_{\text{理}}} \\ &= \frac{t_{\text{理}} - t_{\text{烟}}}{t_{\text{理}}} \\ &= 1 - \frac{t_{\text{烟}}}{t_{\text{理}}}, \quad (V_{\text{理}} = V_{\text{烟}}, C_{\text{烟}}^{\text{理}} \approx C_{\text{烟}}^{\text{烟}})\end{aligned}$$

式中  $V_{\text{理}}$ ——理论烟气量，标米<sup>3</sup>/公斤（或标米<sup>3</sup>）；  
 $V_{\text{烟}}$ ——实际烟气量，标米<sup>3</sup>/公斤（或标米<sup>3</sup>）；  
 $C_{\text{烟}}^{\text{理}}$ ——烟气在理论燃烧温度下的平均比热，千卡/公斤·°C（或标米<sup>3</sup>·°C）；  
 $C_{\text{烟}}^{\text{烟}}$ ——烟气在出炉烟气温度下的平均比热，千卡/公斤·°C（或标米<sup>3</sup>·°C）；  
 $t_{\text{理}}$ ——理论燃烧温度，°C；  
 $t_{\text{烟}}$ ——出炉烟气温度，°C。

热量利用系数是表示留在炉内的热量和投入炉内的热量之比，故可以称之为炉内热量遗留率。此值愈高，说明留给炉子的热量愈多；反之，留给炉子的热量就愈少。

从上式可以看出：

1) 同样的烟气温度，其热值愈高，理论燃烧温度愈高，热量利用系数亦愈高。因此，高热值燃料利用系数比低热值燃料要



好。此外，提高了燃料和空气的预热温度，也就提高了燃烧温度，热量利用系数随之提高。由此可以看出，热量利用系数表示了燃料的质量和燃料燃烧的温度、空气预热等情况。

2) 在同样的燃料和燃烧条件（即燃料和空气的预热情况）下，如果烟气温度愈低，那么热量利用系数就愈高。

假设燃料理论燃烧温度为  $1900^{\circ}\text{C}$ ，加热炉出炉烟气温度为  $700^{\circ}\text{C}$  左右，而锅炉出炉烟气温度只有  $200^{\circ}\text{C}$  左右，那么

$$\eta_{\text{热加}} = \frac{1900 - 700}{1900}$$

$$= \frac{1200}{1900} \approx 0.63$$

$$\eta_{\text{热锅}} = \frac{1900 - 200}{1900}$$

$$= \frac{1700}{1900} \approx 0.89$$

从上面的计算可以看出，锅炉的热量利用系数要比加热炉的高，如果燃料的发热值低， $t_{\text{理}}$  只有  $1600^{\circ}\text{C}$  的话，又没有预热，实际上加热钢料就很困难，这时，

$$\eta_{\text{热加}} = \frac{1600 - 700}{1600}$$

$$= \frac{900}{1600} \approx 0.56$$

$$\eta_{\text{热锅}} = \frac{1600 - 200}{1600}$$

$$= \frac{1400}{1600} \approx 0.87$$

3) 在燃料完全燃烧的条件下，当烟气温度相同时，过剩空气系数愈小， $Q_{\text{烟}}$  就小，或者  $t_{\text{理}}$  愈高，因此，热量利用系数也就愈高。

## § 2. 燃料利用系数 $\eta_{\text{燃}}$

$$\eta_{\text{燃}} = \frac{Q_{\text{低}} + Q_{\text{物}} - Q_{\text{烟}}}{Q_{\text{低}}} \\ = \frac{t_{\text{理}} - t_{\text{烟}}}{t_{\text{理}}^{\circ}}$$

式中  $t_{\text{理}}, t_{\text{理}}^{\circ}$ ——单位燃料在空气预热和不预热时的温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $Q_{\text{物}}$ ——单位燃料和空气预热时带入的物理热, 千卡/公斤 (或标米<sup>3</sup>);  
 $Q_{\text{烟}}$ ——单位燃料出炉烟气带走的热量, 千卡/公斤 (或标米<sup>3</sup>)。

此值为加入炉膛的燃料热量在炉内所留下的部分, 它比较实用, 可用来表示预热空气所能够节约的燃料消耗量。

$$\text{加热炉的燃料消耗量 } B = \frac{Q_{\text{钢}} + Q_{\text{失}}}{Q_{\text{低}} \eta_{\text{燃}}}$$

式中  $Q_{\text{钢}}$ ——钢料的有效吸收热, 即燃料消耗量  $B$  与燃料利用系数成反比, 故预热空气后的燃料节约率  $n$  为:

$$n = \frac{B - B'}{B} = \frac{\eta'_{\text{燃}} - \eta_{\text{燃}}}{\eta'_{\text{燃}}} \\ = \frac{Q_{\text{物}}}{Q_{\text{低}} + Q_{\text{物}} - Q_{\text{烟}}}, \%$$

$B'$ ——节约后的燃料消耗量。

这个计算说明了预热空气后, 炉子所获得的物理热  $Q_{\text{物}}$  和燃料的化学热是不等价的, 而与燃料燃烧后在加热炉内所留下的热量  $Q_{\text{低}} + Q_{\text{物}} - Q_{\text{烟}}$  才是可比的。

## § 3. 热量有效利用系数 $\eta_{\text{有}}$

加热炉的热量有效利用系数  $\eta_{\text{有}}$  可按下式计算:

$$\eta_{\text{有}} = \frac{Q_{\text{低}} + Q_{\text{物}} - Q_{\text{烟}} - \frac{Q_{\text{失}}}{B}}{Q_{\text{低}} + Q_{\text{物}}}$$

此值是表示在投入加热炉的总热量中被加热钢料有效吸收热的部分，是加热炉总的热工指标。当设计加热炉时，要尽量采用有效的措施来减少各项热损失，这样才能使  $\eta_{\text{有}}$  接近  $\eta_{\text{热}}$ 。

#### § 4. 炉子的热效率 $\eta_{\text{炉}}$

炉子的热效率就是加热钢料所需要的热量（有效热）与供给炉子的热量（燃料燃烧热）之比值。用  $\eta_{\text{炉}}$  来表示，可用下式计算：

$$\eta_{\text{炉}} = \frac{Q_{\text{效}}}{BQ_{\text{低}}}, \%$$

式中  $Q_{\text{效}}$ ——加热钢料所需要的热量（有效热），千卡/公斤；

$B$ ——炉子的燃料消耗量，公斤/时或标米<sup>3</sup>/时；

$Q_{\text{低}}$ ——燃料的低发热量，千卡/公斤（或标米<sup>3</sup>）；

$BQ_{\text{低}}$ 又称为炉子的热负荷，也就是每小时向炉子供入的热量千卡/时。

炉子的热效率是表征加热炉热量利用好坏的重要指标，炉子热效率愈高，就说明炉子燃料用的愈少。现在我们千方百计地节约轧钢加热炉能耗，就是要提高加热炉的热效率。

#### § 5. 燃料换算系数

当加热炉所采用的燃料改变时，想要保持炉子的产量不变，不能单纯地按燃料的发热值进行换算，而必须考虑两种燃料的热价值，即热量利用系数  $\eta_{\text{热}}$  的不同，以及预热和燃烧的条件不同来进行正确的换算。

加热炉的产量不仅取决于炉子的热负荷  $BQ_{\text{低}}$ ，而且取决于热负荷留在炉内的热量  $BQ_{\text{低}}\eta_{\text{热}}$ 。炉子的产量不变，即留在炉内的热量不变，则得：

$$B_1(Q_{\text{低}_1} + Q_{\text{物}_1})\eta_{\text{热}_1} = B_2(Q_{\text{低}_2} + Q_{\text{物}_2})\eta_{\text{热}_2}$$

燃料消耗量换算系数为：

$$K_{\text{燃}} = \frac{B_2}{B_1} = \frac{(Q_{\text{低}1} + Q_{\text{物}1})\eta_{\text{热}1}}{(Q_{\text{低}2} + Q_{\text{物}2})\eta_{\text{热}2}}$$

不同燃料的换算系数如下：

发热值在4000千卡/标米<sup>3</sup>以上的

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| (重油、焦油、天然气、焦炉煤气)                      | 1.0  |
| 发热值为2000~2200千卡/标米 <sup>3</sup> 的混合煤气 | 1.1  |
| 发热值为1600~1800千卡/标米 <sup>3</sup> 的混合煤气 | 1.15 |
| 发热值为1360千卡/标米 <sup>3</sup> 的发生炉煤气     | 1.20 |
| 发热值为1200千卡/标米 <sup>3</sup> 的混合煤气      | 1.30 |
| 发热值为890千卡/标米 <sup>3</sup> 的高炉煤气       | 1.50 |

## § 6. 炉子的燃料消耗量与炉子可比单耗

### 一、加热炉的燃料消耗量

轧钢加热炉几乎都是连续生产的，其燃料消耗量一般用加热每公斤或每吨钢料来表示(为了进行炉子的可比单耗计算，一般是用加热每吨钢料所消耗的百万千卡的热量来表示，其单位为10<sup>6</sup>千卡/吨钢料)，即热耗

$$R = \frac{BQ_{\text{低}}}{G}, \text{千卡/公斤}$$

式中  $B$ ——燃料的消耗量，公斤/时或标米<sup>3</sup>/时；

$Q_{\text{低}}$ ——燃料的低发热值，千卡/公斤或千卡/标米<sup>3</sup>；

$G$ ——炉子的产量，公斤/时。

在实际的生产中，计算热耗指标时， $B$ 和 $G$ 一般是采取全月或全年平均的炉子燃料消耗量和炉子的产量，且 $G$ 是以成品钢材的产量来计算，这个指标称之为总热耗 $R_{\text{总}}$ 。在此应指出的是，由于车间的作业率和收得率的不同，这个指标能够反映包括炉子在内的整个车间的生产水平。但是，它不能单独衡量炉子本身的热效率和生产情况。因此，在进行炉子设计计算热耗 $R$ 时， $B$ 和 $G$

指的是炉子在正常连续操作的情况下单位时间内的燃料消耗量和产量。在比较不同的炉子热耗指标时，要注意计算方式是否相同，以便在相同的基础上进行比较。

一些轧钢加热炉的燃料消耗指标列于表1-1。

一些轧钢加热炉的燃料消耗 表 1-1

| 炉 型               |       | 热耗R<br>千卡/公斤 | 其 他 指 标                                                                                             |
|-------------------|-------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 均 热 炉             | 冷装料   | 400~800      | 总热耗 $R_{总} = 210 \sim 580$ 千卡/公斤                                                                    |
|                   | 热装料   | 160~240      |                                                                                                     |
| 连续式加热炉            | 燃 煤   | 560~840      | 总热耗 $R_{总} = 600 \sim 1000$ 千卡/公斤                                                                   |
|                   | 燃 油   | 600~800      | 总热耗 $R_{总} = 800 \sim 1000$ 千卡/公斤                                                                   |
|                   | 燃煤气   | 400~550      | 总热耗 $R_{总} = 600 \sim 830$ 千卡/公斤                                                                    |
| 步进底式加热炉<br>(单面加热) | 叠轧板坯  | 500          | 炉底热强度 $D = 230 \times 10^4$ 千卡/米 <sup>2</sup> ·时<br>炉底热强度 $D = 13 \times 10^4$ 千卡/米 <sup>2</sup> ·时 |
|                   | 小型板坯  | 400~535      |                                                                                                     |
| 步进梁式加热炉<br>(双面加热) | 管坯再加热 | 160          | 炉底热强度 $D = 8.5 \times 10^4$ 千卡/米 <sup>2</sup> ·时                                                    |
|                   | 连轧板坯  | 500~550      |                                                                                                     |

二、炉子的可比燃料单耗F

$$F = \frac{\text{炉子的单耗}}{\text{燃料换算系数} \times [1 + \text{合金比} \times (\text{特殊钢燃料系数} - 1)]}$$

燃料换算系数即前述的不同燃料的换算系数。使用多种燃料的加热炉，其综合燃料的计算公式如下：

$$\text{综合燃料换算系数} = \sum_{n=1}^i i \text{ 种燃料百分比} \\ \times i \text{ 种燃料换算系数}$$

例：某厂小型轧钢车间加热炉采用重油和发生炉煤气作燃料，重油发热值为9600千卡/公斤，发生炉煤气的发热值为1370千卡/标米<sup>3</sup>，被加热钢料的合金比为0.3。根据某月份统计，每吨钢料消耗重油为40公斤，发生炉煤气为150标米<sup>3</sup>。试计算炉子可比燃料单耗。

炉子的燃料单耗：

$$\begin{aligned}
 & 9600 \times 40 + 1370 \times 150 \\
 &= 0.384 \times 10^6 + 0.205 \times 10^6 \\
 &= 0.589 \times 10^6 \text{ 千卡/吨钢料}
 \end{aligned}$$

燃料百分比:

$$\text{油} \quad \frac{0.384 \times 10^6}{0.589 \times 10^6} = 65.3\%$$

$$\text{煤气} \quad \frac{0.205 \times 10^6}{0.589 \times 10^6} = 34.7\%$$

合金比: 已知为0.3。

特殊钢燃烧系数为1.5。

综合燃料换算系数:

重油的燃料换算系数为1.0; 发生炉煤气为1.20。

$$\begin{aligned}
 \text{则: 综合燃料换算系数} &= 0.653 \times 1.0 + 0.347 \times 1.20 \\
 &= 1.069
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{炉子的可比燃料单耗} &= \frac{0.589 \times 10^6}{1.069[1 + 0.3(1.5 - 1)]} \\
 &= 0.478 \times 10^6 \text{ 千卡/吨钢料。}
 \end{aligned}$$

## § 7. 燃料的燃烧温度

### 一、燃料的燃烧温度和炉子操作

指标的关系

燃料燃烧时, 可能达到的燃烧温度的高低, 决定着炉子的燃料消耗等各项操作指标。

为了使炉子获得高产、低消耗, 就必须保证炉子有足够的温度, 轧钢加热炉所要求使用燃料的理论燃烧温度 $t_f$ 不低于 $1800^\circ\text{C}$ , 也就是说要使炉子的燃料燃烧在不预热空气时 $Q_{\text{低}}$ 不低于2500千卡/标米<sup>3</sup>。用纯高炉煤气的加热炉, 其煤气和空气预热的温度总和应该达到 $1000^\circ\text{C}$ 。苏联有不少加热炉所使用的燃料煤气 $Q_{\text{低}}$ 为900~2200千卡/标米<sup>3</sup>, 虽然采用了预热这个措施, 但是, 其操作指标仍然是中等的。在其他多数采用天然气、重油等发热值高

燃料的国家，其理论燃烧温度  $t_T$  大于  $2000 \sim 2200^\circ\text{C}$ ，因此，炉子的操作指标是比较高的，如图1-1所示。

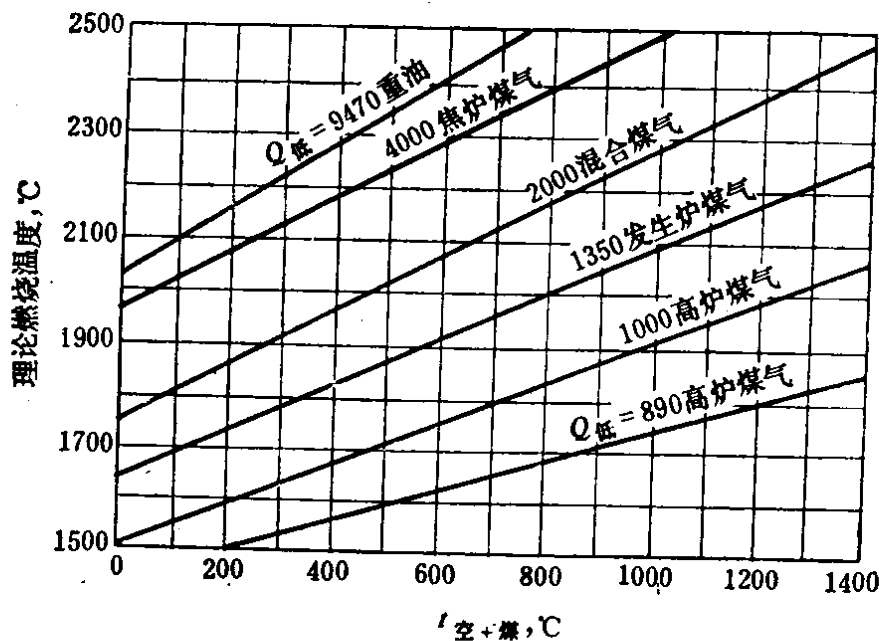


图 1-1 燃烧介质的预热对理论燃烧温度和炉子操作指标的影响

## 二、燃料的燃烧温度计算

燃料的燃烧温度决定于燃烧产物的热量收支平衡，其计算公式如下（假定燃料的不完全燃烧损失  $Q_{\text{不}} = 0$ ）：

$$\begin{aligned} t_g &= \frac{Q_{\text{低}} + Q_{\text{物}} - Q_{\text{散}}}{V_g C_g} \\ &= t_T - \frac{Q_{\text{散}}}{V_g C_g} \end{aligned}$$

式中  $t_g$ ——实际燃烧温度， $^\circ\text{C}$ ；

$t_T$ ——理论燃烧温度， $^\circ\text{C}$ ；

$Q_{\text{物}}$ ——单位燃料和空气的物理热，千卡/公斤（或标米<sup>3</sup>）燃料；

$Q_{\text{散}}$ ——单位燃料燃烧产物向炉膛的散热（包括  $Q_{\text{钢}} + Q_{\text{损}}$ ），千卡/米<sup>2</sup>·时；

$V_g$ ——烟气量，标米<sup>3</sup>/公斤（或标米<sup>3</sup>）；

$C_g$ ——烟气的比热，千卡/公斤· $^\circ\text{C}$ （或标米<sup>3</sup>· $^\circ\text{C}$ ）。

从上式可以看出，燃料的理论燃烧温度是指燃料燃烧所产生的热量全部用来使燃烧产物所达到的温度。在工程上， $t_f$ 是指一定的预热和产生过剩空气系数的条件下，燃烧产物可能达到的最高温度。

## § 8. 炉子的燃料消耗量和产量的关系

轧钢加热炉的燃料消耗量和其产量有密切关系的。

炉子的产量  $G$  取决于为钢料所吸收有效热量  $Q_{化} + Q_{物}$ 。

$$G = \frac{Q_{化} + Q_{物}}{\Delta J_m}$$
$$= \frac{BQ_{低}\eta_{燃} - Q_{失}}{\Delta J_m}, \text{公斤/时}$$

从上式可以看出：

1) 为了提高炉子的产量（在相同的燃料消耗量  $B$  和相同的每单位钢料有效吸收热量  $\Delta J_m$  时），必须提高燃料利用系数  $\eta_{燃}$ （即提高预热量  $Q_{物}$ ，减少出炉烟气热量损失  $Q_{烟}$ ）以及减少炉底水管等各项炉膛的热量损失  $Q_{失}$ 。

2) 片面降低燃料消耗量而不考虑炉子的产量和其他指标是不对的，不能不顾规定的加热质量（降低  $\Delta J_m$ ，加热不足或温差很大）去追求降低燃料消耗量，也不能片面为了提高  $\eta_{燃}$  而拼命去降低  $Q_{烟}$ ，否则会使炉温过于集中炉子的端部而影响炉子的使用寿命，反而使燃料消耗量降不下来。

推钢式连续加热炉燃耗和炉底强度的关系，如图1-2所示。

从上图可以看出，当加热炉的炉底强度为550~600公斤/米<sup>2</sup>·时时，油耗有一最低值；如果继续提高产量，则油耗就升高；若把产量降低½，则油耗成倍增加。不同轧钢加热炉与单位燃耗在数值上虽然不同，但是，这一基本的规律是共同的。因此，要降低炉子的单耗，在进行炉子的设计和操作时，必须选择合理的炉底强度。

在国外，于六十年代初期为适应轧钢机产量的提高，曾把推



钢式连续加热炉的炉底强度提高到  $900 \sim 1000$  公斤/米<sup>2</sup>·时。但是，到了1973年以后，由于能源危机，又多把炉底强度控制在  $600 \sim 650$  公斤/米<sup>2</sup>·时。

我国的推钢式连续加热炉的炉底强度普遍较低，约为  $500 \sim 550$  公斤/米<sup>2</sup>·时，有的甚至还要低一些。因此，要把炉底强度提高到一定的水平，这就要求改进操作，同时必须加强企业经营管理。

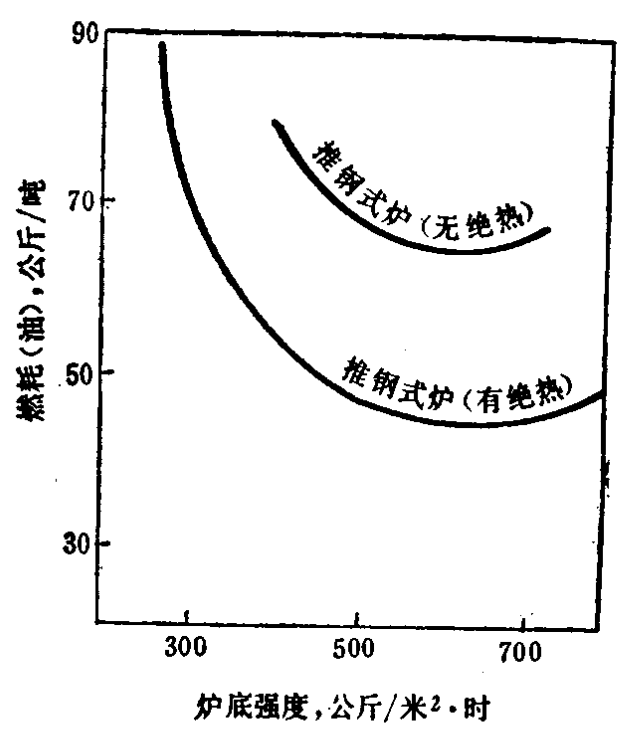


图 1-2 推钢式连续加热炉的燃耗和炉底强度的关系