

ICS 77.140.01

CCS H 40



T

# 团 体 标 准

T/CI 640—2024

## 钢铁制造流程能量流物质流协同运行评价 导则

Evaluation guidelines for synergetic operation of energy flow and material flow in  
steel manufactory process

2024 - 12 - 24 发布

2024 - 12 - 24 实施

中国国际科技促进会 发布  
中国标准出版社 出版

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 协同运行评价指标体系 .....	2
5 评价指标计算 .....	2
5.1 工序协同运行指标计算 .....	2
5.2 工序间协同运行指标计算 .....	4
5.3 生产流程协同运行指标计算 .....	6
6 协同运行的规则 .....	6
6.1 一般规则 .....	6
6.2 细化规则 .....	7
7 协同运行的技术要点 .....	7
7.1 协同运行评价的数据 .....	8
7.2 协同运行的评价依据 .....	8
7.3 实现协同运行的措施 .....	8
参考文献 .....	11

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：安徽工业大学、钢铁研究总院有限公司、中国钢研科技集团有限公司、中国科学院自动化研究所、华北理工大学、上海宝信软件股份有限公司、江南大学、大连理工大学、东北大学、唐山钢铁集团有限责任公司。

本文件主要起草人：郦秀萍、陈光、刘骁、包向军、陈德敏、周继程、马新光、刘承宝、韩伟刚、汪晶、吴定会、张超、张琦、杨筱静、张璐、上官方钦、李建生、倪冰、李涛、杨利彬、戴雨翔。

# 钢铁制造流程能量流物质流协同运行评价导则

## 1 范围

本文件提供了钢铁制造流程物质流能量流协同运行的评价指标体系、指标计算方法、协同运行规则和需要考虑的技术要点等内容。

本文件适用于钢铁制造流程动态运行过程的评价分析和运行管理。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2587 用能设备能量平衡通则

GB/T 13234 用能单位节能量计算方法

GB/T 38284 钢铁行业能源审计技术导则

GB/T 40084 钢铁行业能源管理绩效评价指南

YB/T 6118 钢铁行业节能诊断技术导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**流 flow**

在系统各组元之间发生，并把组元连接起来，构成有一定功能、一定目标、一定结构的，具有流动和传递特性的客体。

### 3.2

**物质流 material flow**

在流程制造业的制造流程中，将各主要生产工序连接起来，完成流程加工制造、产品生产的加工对象。

### 3.3

**能量流 energy flow**

在流程制造业的制造流程中，推动物质流运行的动力，是制造加工过程中驱动力、化学反应介质、热介质等的统称。

### 3.4

**协同运行 synergistic operation**

通过对钢铁制造流程中两个或者两个以上的不同装置/工序、各个系统或子系统相互配合进行优化，共同发挥各自的优势和特长，使总体达到更高效、更顺畅、更稳定的运行状态。

### 3.5

**极限能耗 limited energy consumption**

不考虑系统耗散的理想工况条件下，工序/流程生产一吨合格产品的能耗值。

### 3.6

**极限物耗 limited material consumption**

理想工况条件下，从原料到产品物质损耗为零，实现100%转换条件下的工序/流程生产一吨合格产品的物质消耗量。

### 3.7

**协同运行节能量 energy saving from synergistic operation**

协同运行状态下，较协同运行前能源利用效率更高、能源损失更少所节约的能量。

### 3.8

**协同运行节能率 energy efficiency of synergistic operation**

通过协同运行优化取得的节能量与实际能耗(协同运行优化前)相对于极限能耗的节能潜力的比值。

### 3.9

**协同运行节物率 materials efficiency of synergistic operation**

通过协同运行优化取得的节物量与实际物耗(协同运行优化前)相对于极限物耗的节物潜力的比值之比。

## 4 协同运行评价指标体系

在钢铁制造流程运行过程中，上道工序的产品往往是下道工序的原料，因此上下游工序间具有强耦合协同特性，为了优化钢铁制造流程动态-有序、协同-连续运行的状态，宜从工序层次、工序之间和流程层次对协同运行评价进行综合评价，形成指标体系，见图 1。

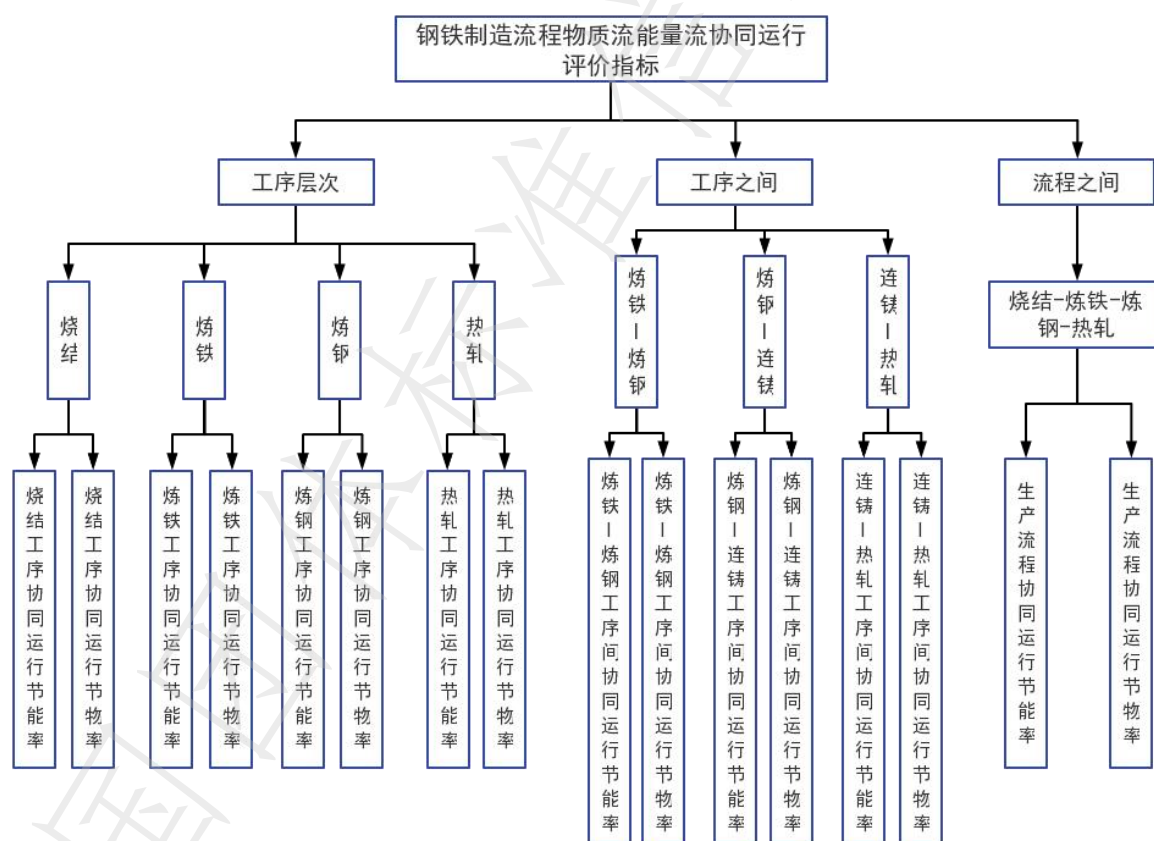


图 1 钢铁制造流程物质流能量流协同运行评价指标体系

## 5 评价指标计算

### 5.1 工序协同运行指标计算

#### 5.1.1 烧结工序协同运行节能率

烧结工序协同运行节能率按照公式(1)计算。

$$\xi_{e-sj} = [(e_{a-sj} - e_{s-sj}) / (e_{a-sj} - e_{l-sj})] \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$\xi_{e-sj}$  —— 烧结工序协同运行节能率；

$e_{a-sj}$  —— 烧结工序实际能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；

$e_{s-sj}$  —— 烧结工序协同运行能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；

$e_{l-sj}$  —— 烧结工序极限能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.1.2 烧结工序协同运行节物率

烧结工序协同运行节物率按照公式（2）计算。

$$\xi_{m-sj} = [(m_{a-sj} - m_{s-sj}) / (m_{a-sj} - m_{l-sj})] \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\xi_{m-sj}$  —— 烧结工序协同运行节物率；

$m_{a-sj}$  —— 烧结工序实际物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；

$m_{s-sj}$  —— 烧结工序协同运行物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；

$m_{l-sj}$  —— 烧结工序极限物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.1.3 炼铁工序协同运行节能率

炼铁工序协同运行节能率按照公式（3）计算。

$$\xi_{e-lt} = [(e_{a-lt} - e_{s-lt}) / (e_{a-lt} - e_{l-lt})] \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$\xi_{e-lt}$  —— 炼铁工序协同运行节能率；

$e_{a-lt}$  —— 炼铁工序实际能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；

$e_{s-lt}$  —— 炼铁工序协同运行能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；

$e_{l-lt}$  —— 炼铁工序极限能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.1.4 炼铁工序协同运行节物率

炼铁工序协同运行节物率按照公式（4）计算。

$$\xi_{m-lt} = [(m_{a-lt} - m_{s-lt}) / (m_{a-lt} - m_{l-lt})] \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$\xi_{m-lt}$  —— 炼铁工序协同运行节物率；

$m_{a-lt}$  —— 炼铁工序实际物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；

$m_{s-lt}$  —— 炼铁工序协同运行物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；

$m_{l-lt}$  —— 炼铁工序极限物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.1.5 炼钢工序协同运行节能率

炼钢工序协同运行节能率按照公式（5）计算。

$$\xi_{e-lg} = [(e_{a-lg} - e_{s-lg}) / (e_{a-lg} - e_{l-lg})] \times 100\% \quad (5)$$

式中：

$\xi_{e-lg}$  —— 炼钢工序协同运行节能率；

- $e_{a-lg}$  ——炼钢工序实际能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；  
 $e_{s-lg}$  ——炼钢工序协同运行能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；  
 $e_{l-lg}$  ——炼钢工序极限能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.1.6 炼钢工序协同运行节物率

炼钢工序协同运行节物率按照公式（6）计算。

$$\xi_{m-lg} = [(m_{a-lg} - m_{s-lg}) / (m_{a-lg} - m_{l-lg})] \times 100\% \quad (6)$$

式中：

- $\xi_{m-lg}$  ——炼钢工序协同运行节物率；  
 $m_{a-lg}$  ——炼钢工序实际物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；  
 $m_{s-lg}$  ——炼钢工序协同运行物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；  
 $m_{l-lg}$  ——炼钢工序极限物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.1.7 热轧工序协同运行节能率热轧

热轧工序协同运行节能率按照公式（7）计算。

$$\xi_{e-rz} = [(e_{a-rz} - e_{s-rz}) / (e_{a-rz} - e_{l-rz})] \times 100\% \quad (7)$$

式中：

- $\xi_{e-rz}$  ——热轧工序协同运行节能率；  
 $e_{a-rz}$  ——热轧工序实际能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；  
 $e_{s-rz}$  ——热轧工序协同运行能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；  
 $e_{l-rz}$  ——热轧工序极限能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.1.8 热轧工序协同运行节物率

热轧工序协同运行节物率按照公式（8）计算。

$$\xi_{m-rz} = [(m_{a-rz} - m_{s-rz}) / (m_{a-rz} - m_{l-rz})] \times 100\% \quad (8)$$

式中：

- $\xi_{m-rz}$  ——热轧工序协同运行节物率；  
 $m_{a-rz}$  ——热轧工序实际物耗，单位为吨物料/吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；  
 $m_{s-rz}$  ——热轧工序协同运行物耗，单位为吨物料/吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；  
 $m_{l-rz}$  ——热轧工序极限物耗，单位为吨物料/吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）。

## 5.2 工序间协同运行指标计算

### 5.2.1 炼铁-炼钢工序间协同运行节能率

炼铁-炼钢工序间协同运行节能率按照公式（9）计算。

$$\xi_{e-lt-lg} = [(e_{a-lt-lg} - e_{s-lt-lg}) / (e_{a-lt-lg} - e_{l-lt-lg})] \times 100\% \quad (9)$$

式中：

- $\xi_{e-lt-lg}$  ——炼铁-炼钢工序间协同运行节能率；  
 $e_{a-lt-lg}$  ——炼铁-炼钢工序间实际能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；

$e_{s-lt-lg}$  ——炼铁-炼钢工序间协同运行能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；

$e_{l-lt-lg}$  ——炼铁-炼钢工序间极限能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.2.2 炼铁-炼钢工序间协同运行节物率

炼铁-炼钢工序间协同运行节物率按照公式（10）计算。

$$\xi_{m-lt-lg} = [(m_{a-lt-lg} - m_{s-lt-lg}) / (m_{a-lt-lg} - m_{l-lt-lg})] \times 100\% \quad (10)$$

式中：

$\xi_{m-lt-lg}$  ——炼铁-炼钢工序间协同运行节物率；

$m_{a-lt-lg}$  ——炼铁-炼钢工序间实际物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；

$m_{s-lt-lg}$  ——炼铁-炼钢工序间协同运行物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；

$m_{l-lt-lg}$  ——炼铁-炼钢工序间极限物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.2.3 炼钢-连铸工序间协同运行节能率

炼钢-连铸工序间协同运行节能率按照公式（11）计算。

$$\xi_{e-lg-lz} = [(e_{a-lg-lz} - e_{s-lg-lz}) / (e_{a-lg-lz} - e_{l-lg-lz})] \times 100\% \quad (11)$$

式中：

$\xi_{e-lg-lz}$  ——炼钢-连铸工序间协同运行节能率；

$e_{a-lg-lz}$  ——炼钢-连铸工序间协同运行节能率，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；

$e_{s-lg-lz}$  ——炼钢-连铸炼钢-连铸工序间协同运行节能率，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；

$e_{l-lg-lz}$  ——炼钢-连铸炼钢-连铸工序间协同运行节能率，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.2.4 炼钢-连铸工序间协同运行节物率

炼钢-连铸工序间协同运行节物率按照公式（12）计算。

$$\xi_{m-lg-lz} = [(m_{a-lg-lz} - m_{s-lg-lz}) / (m_{a-lg-lz} - m_{l-lg-lz})] \times 100\% \quad (12)$$

式中：

$\xi_{m-lg-lz}$  ——炼钢-连铸工序间协同运行节物率；

$m_{a-lg-lz}$  ——炼钢-连铸工序间实际物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；

$m_{s-lg-lz}$  ——炼钢-连铸工序间协同运行物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；

$m_{l-lg-lz}$  ——炼钢-连铸工序间极限物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.2.5 连铸-热轧工序间协同运行节能率

连铸-热轧工序间协同运行节能率按照公式（13）计算。

$$\xi_{e-lz-rz} = [(e_{a-lz-rz} - e_{s-lz-rz}) / (e_{a-lz-rz} - e_{l-lz-rz})] \times 100\% \quad (13)$$

式中：

$\xi_{e-lz-rz}$  ——连铸-热轧工序间协同运行节能率；

$e_{a-lz-rz}$  ——连铸-热轧工序间实际能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；

$e_{s-lz-rz}$  ——连铸-热轧工序间协同运行能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；

$e_{l-lz-rz}$  ——连铸-热轧工序间极限能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.2.6 连铸-热轧工序间协同运行节物率

连铸-热轧工序间协同运行节物率按照公式（14）计算。

$$\xi_{m-lz-rz} = [(m_{a-lz-rz} - m_{s-lz-rz}) / (m_{a-lz-rz} - m_{l-lz-rz})] \times 100\% \quad (14)$$

式中：

- $\xi_{m-lz-rz}$  ——连铸-热轧工序间协同运行节物率；
- $m_{a-lz-rz}$  ——连铸-热轧工序间实际物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；
- $m_{s-lz-rz}$  ——连铸-热轧工序间协同运行物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；
- $m_{l-lz-rz}$  ——连铸-热轧工序间极限物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）。

## 5.3 生产流程协同运行指标计算

### 5.3.1 生产流程协同运行节能率

生产流程协同运行节能率按照公式（15）计算。

$$\xi_{e-sj-lt-lg-rz} = [(e_{a-sj-lt-lg-rz} - e_{s-sj-lt-lg-rz}) / (e_{a-sj-lt-lg-rz} - e_{l-sj-lt-lg-rz})] \times 100\% \quad (15)$$

式中：

- $\xi_{e-sj-lt-lg-rz}$  ——生产流程协同运行节能率；
- $e_{a-sj-lt-lg-rz}$  ——生产流程协同运行实际能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；
- $e_{s-sj-lt-lg-rz}$  ——生产流程协同运行能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）；
- $e_{l-sj-lt-lg-rz}$  ——生产流程极限能耗，单位为吨标煤每吨产品（ $tce/t_{\text{产品}}$ ）。

### 5.3.2 生产流程协同运行节物率

生产流程协同运行节物率按照公式（16）计算。

$$\xi_{m-sj-lt-lg-rz} = [(m_{a-sj-lt-lg-rz} - m_{s-sj-lt-lg-rz}) / (m_{a-sj-lt-lg-rz} - m_{l-sj-lt-lg-rz})] \times 100\% \quad (16)$$

式中：

- $\xi_{m-sj-lt-lg-rz}$  ——生产流程协同运行节物率；
- $m_{a-sj-lt-lg-rz}$  ——生产流程实际物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；
- $m_{s-sj-lt-lg-rz}$  ——生产流程协同运行物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）；
- $m_{l-sj-lt-lg-rz}$  ——生产流程极限物耗，单位为吨物料每吨产品（ $t_{\text{物料}}/t_{\text{产品}}$ ）。

## 6 协同运行的规则

### 6.1 一般规则

#### 6.1.1 以物质流运行优化为基础的物质流能量流协同运行

能量流与物质流的协同运行是钢铁制造过程中提高生产效率和资源利用率的关键。在实践中，企业宜优先考虑协同运行的方案。

首先，要建立生产流程和能源转换网络的有效对接机制，确保能源和物质在不同单元之间的高效传递和利用。通过信息技术手段，实现生产流程和能源转换网络的实时数据监测与共享，及时调整生产计划和能源调配，以适应市场需求的变化。

其次，优化生产流程中的物质流运行，减少废料产生和资源浪费。企业通过合理设计原料的使用比例和回收利用方案，最大程度地减少资源的损耗。同时，定期检查设备和工艺流程，降低因设备故障和操作不当导致的物质流不畅和资源浪费。

协同运行的优先原则还体现在多方合作与共赢。钢铁制造企业宜积极与相关部门、科研机构和其他产业链上下游企业合作，共同探讨和实施协同运行方案。通过技术创新和资源共享，实现全产业链的优化和协同，共同推动钢铁工业的可持续发展。

### 6.1.2 环保优先

在协同运行中，环保优先原则体现在降低排放和污染。钢铁制造企业宜采用高效的环保技术和设备，对废气、废水、固废等污染物进行有效治理。

在实施环保优先的原则时，企业应坚持科学发展观，确保经济效益、社会效益和环境效益的协同。

## 6.2 细化规则

### 6.2.1 物质流优化

物质流优化是实现钢铁制造流程物质协同运行的重要环节。企业宜对原材料的配比进行细致的调查和分析，确定合理的配比方案。采用优质的原材料，降低杂质含量，提高产品质量。同时，对原材料的使用量进行控制，避免过多使用造成浪费。

优化物质流动的工艺流程，减少生产过程中的物质流动阻力。采用先进的生产技术和工艺装备，提高物质流动的效率和稳定性。同时，加强生产流程的管理，确保物质流的顺畅和稳定，避免因物质流不畅导致的生产事故和资源浪费。

### 6.2.2 能量流优化

能量流优化是实现钢铁制造流程能量协同运行的关键环节。通过对能源转换网络进行优化，最大限度地回收和利用废热、废气，减少能量损失，提高能源利用效率。

钢铁制造企业宜先加强对能量流的监测和管理。建立准确的能量流模型，实时监控能源消耗情况，找出能量流失的主要环节。通过数据分析，确定能量流的关键指标，为优化协同运行提供科学依据。

对于能量流的回收利用，企业宜制定相应的回收方案。例如，利用余热发电技术，将高炉废热转化为电能，实现能源的自给自足。

### 6.2.3 灵活调整

灵活调整是钢铁制造流程能量流与物质流协同运行的关键策略。钢铁制造过程受到多种因素的影响，包括市场需求、原材料供应、能源价格等，因此，应具备灵活性和适应性来应对不断变化的环境。

企业宜建立灵活的生产计划和排产机制。采用先进的排产技术和规划工具，实现生产资源的合理配置和优化利用。根据市场需求的波动，灵活调整生产产能和生产线，确保产能的适时投放和回收。

加强与上下游产业链企业的合作与协调，形成资源共享和风险分担的机制。通过与原材料供应商、能源提供商等的密切合作，实现物资的及时供应和能源的稳定供应。同时，与客户保持密切联系，及时了解市场需求变化，做出相应调整。

鼓励企业采用先进的智能制造技术和管理方法。引进工业互联网、人工智能等新技术，实现生产过程的自动化和智能化。通过大数据分析和预测模型，预判生产过程中可能出现的问题，提前做出调整，确保生产的连续性和稳定性。

### 6.2.4 安全保障

安全保障是钢铁制造流程能量流与物质流协同运行的重要保障。钢铁制造过程涉及高温、高压、有毒有害物质等危险因素，应重视安全管理，确保生产过程安全可靠。

应先建立完善的安全管理体系。明确安全责任，设立专门的安全管理部门，制定相关安全制度和操作规程。加强员工的安全培训和技能培训，提高员工的安全意识和应急处理能力。

加强设备维护和检修，确保生产设施的安全运行。定期对设备进行巡检和保养，发现问题及时处理。对关键设备和高风险部位，建立预防性维护措施，防止设备故障导致的事故。

通过灵活调整和安全保障，确保生产过程的连续性和稳定性。同时，通过加强安全管理，降低事故发生的概率和影响，保障员工的生命安全和财产安全。

## 7 协同运行的技术要点

## 7.1 协同运行评价的数据

- 7.1.1 可靠性：协同运行评价数据来源于生产系统报表、台账，可追溯、可核查。
- 7.1.2 准确性：多个装置/工序、系统或子系统的数据，有必要准确一致。
- 7.1.3 完整性：企业宜根据企业能源平衡、能源计量等的要求，完善数据的记录与检测，减少或避免数据信息的缺失，提高数据质量。

## 7.2 协同运行的评价依据

### 7.2.1 能效评价的标准、企业能量平衡、节能量计算

- 7.2.1.1 钢铁企业宜根据 GB/T 40084 提供的评价能源管理绩效的方法和标准，明确能效评价标准，提高能源管理水平。通过与标准对比，评估能量流与物质流的协同运行效果。例如，单位产品能耗指标宜随着技术改进和能源节约措施的实施逐年降低，反映出能量流与物质流的有效协同运行。
- 7.2.1.2 企业能量平衡：对钢铁制造企业进行能量平衡分析，全面了解能源在生产过程中的流向和消耗。通过能量平衡表，企业可发现能量流与物质流的不协调情况，找到能量消耗较大的环节，提出改进措施，实现能源的合理配置和高效利用。
- 7.2.1.3 节能量计算：应根据 GB/T 13234 对节能效果进行计算和评估。通过对节能量的计算，企业可了解协同运行措施的效果，实现能源消耗的优化。协同运行节能量计算可从整体层面上评估能量流与物质流协同运行对节能效果的贡献。

### 7.2.2 能耗统计

钢铁制造企业应按照 GB/T 2587、GB/T 38284 对用能设备的能耗进行统计。通过设备能耗的统计，企业可了解不同设备的能耗差异，找出能量流与物质流协同运行的瓶颈，为设备的优化和更新提供依据。

### 7.2.3 能源成本统计

钢铁制造企业依据《企业产品成本核算制度——钢铁行业》，应按照 YB/T 6118 对用能设备的能源消耗种类、成本进行统计。通过设备能源成本统计，企业可分析不同设备的能耗成本差异，为设备的运行优化和控制决策提供依据。

## 7.3 实现协同运行的措施

### 7.3.1 烧结

#### 7.3.1.1 原燃料条件主要协同优化措施：

- a) 优化熔剂配比：熔剂配比优化，有利于提升烧结矿理化性能（如碱度、转鼓指数等指标），为后续工序运行优化提供良好条件；
- b) 优化固体燃料配比：固体燃料配比优化，既能满足产品质量，又可减少固体燃料消耗；
- c) 提升铁精矿粉品位：品位提升，有利于本工序的产品品质提升，促进后续工序运行优化。

#### 7.3.1.2 操作参数主要协同优化措施：

- a) 点火温度：点火温度优化，既能满足烧结质量，又可减少气体燃料消耗；
- b) 料层厚度：增加料层厚度，有利于改善产品品质，提高成品率，节能降耗；
- c) 抽风压力：选择合适抽风负压，有利于提高烧结利用系数；
- d) 台车走行速度：台车走行速度优化，提高烧结速度。

7.3.1.3 产品品质协同优化主要包括烧结矿含铁品位，FeO 含量，碱度，转鼓强度，冶金还原性能等参数优化。

7.3.1.4 余热余能回收协同优化措施：有效利用烧结矿、烧结烟气的余热，减少工序能量损失。

### 7.3.2 炼铁

#### 7.3.2.1 原燃料条件主要协同优化措施：

- a) 燃料比/配炭比（焦比/喷煤比）：优化燃料比，既能满足生产耗热，又可减少燃料消耗；
- b) 溶剂配比：溶剂配比优化，有利于高炉顺行，提升脱硫效果；
- c) 炉料结构：优化炉料结构，有利于冶炼进程顺利及实现良好技术经济指标。

### 7.3.2.2 操作参数协同优化:

- a) 热风温度: 热风温度提高, 有利于实现节焦增产, 减少热损耗, 提高经济效益;
- b) 富氧率: 富氧率优化, 提高高炉产量, 减少热损失;
- c) 喷煤比: 喷煤比优化, 提高高炉生产效益。

### 7.3.2.3 产品品质协同优化:

- a) 铁水温度: 减少铁水热量损失, 保证进入炼钢系统的铁水温度高且稳定, 有利于炼钢生产稳定, 降低能耗;
- b) 铁水成分: 铁水成分稳定, 铁水 S、P 等有害元素含量低, 从而减少溶剂的加入量, 增加粗钢产量;
- c) 渣铁比: 降低渣铁比, 减少生产废弃物耗能。

### 7.3.2.4 余热余能回收参数协同优化:

- a) 煤气  $CO/CO_2$  占比/煤气热值: 增加煤气回收量, 提高能源利用率, 减少能量损失;
- b) 高炉炉顶煤气余压发电 (TRT) 回收炉顶煤所余热、余压: 发电量增加, 提高能源利用率, 减少能量损失。

## 7.3.3 炼钢

### 7.3.3.1 原料条件主要协同优化措施:

- a) 铁水成分: 优化铁水成分, 既有利于硫、磷等有害元素去除, 又能对产渣量有效控制;
- b) 铁水温度: 温度提高, 有利于增加废钢加入量, 减少吨钢能耗。

### 7.3.3.2 操作参数优化:

- a) 供氧强度: 优化供氧强度, 既可缩短吹炼时间、控制化渣, 又可减少喷溅;
- b) 氧枪位置: 氧枪位置优化, 可同时兼顾熔池液面和内部的反应, 控制反应速度, 达到气-渣-金属的最佳生产状态;
- c) 吹炼时间: 吹炼时间优化, 既能保证达到冶炼效果, 又可减少钢中杂质, 提升纯净度;
- d) 废钢比: 废钢比提高, 有利于减少铁水, 石灰石用量和产渣量, 有助于提高转炉成本;
- e) 废钢预热温度: 废钢预热温度优化, 有利于提高废钢加入量, 同时减少废钢氧化;
- f) 烟罩高度: 烟罩高度优化, 有利于减少漏风, 实现对转炉煤气高效回收, 提高煤气热值。

### 7.3.3.3 产品品质协同优化:

- a) 钢水温度: 提高钢水温度命中率, 降低转炉能耗;
- b) 钢水成分: 提高钢水成分命中率, 降低转炉能耗。

### 7.3.3.4 余热余能回收参数协同优化:

- a) 转炉煤气回收: 增加转炉煤气回收, 减少转炉煤气放散;
- b) 转炉蒸汽回收: 增加转炉蒸汽回收, 减少转炉能量损失。

## 7.3.4 热轧

### 7.3.4.1 原燃料条件优化:

- a) 煤气条件: 煤气用量优化, 保证钢坯加热工艺, 提高钢坯加热质量;
- b) 入炉钢坯温度: 提高入炉钢坯温度, 减少加热钢坯的煤气消耗。

### 7.3.4.2 操作参数优化:

- a) 在炉时间: 在炉时间优化, 既能满足加热钢坯需求, 又可减少钢坯氧化烧损;
- b) 空燃比: 空燃比优化, 保证加热质量, 减少氧化烧损, 降低烟气热损失;
- c) 热负荷: 优化不同位置的供热负荷, 减少氧化烧损, 降低烟气热损失。

### 7.3.4.3 产品品质协同优化:

- a) 钢坯出炉温度: 满足工艺要求, 保障钢坯温度均匀性;
- b) 钢坯断面温差: 降低钢坯断面温差, 保证钢坯加热质量。

### 7.3.4.4 余热余能回收协同优化措施:

- a) 烟气余热回收: 提升烟气余热回收量, 提高能量回收率, 减少放散;
- b) 冷却水汽化冷却回收: 提升冷却水汽化冷却回收量, 提高能量回收率, 减少放散。

## 7.3.5 炼铁-炼钢界面

7.3.5.1 铁素物质流温度优化：铁水稳定、及时送至转炉，铁水从出铁至转炉车间，铁水温降不超过100℃。

7.3.5.2 操作参数优化：

- a) 运输时间：运输时间优化，降低铁水热损失；
- b) 运输方式：运输方式优化，降低铁水热损失；
- c) 铁水包调度：合理优化在线铁水包个数，加快铁水包周转，减少铁水包等待时间。

7.3.6 炼钢-连铸界面

7.3.6.1 铁素物质流温度优化：钢水稳定、及时送至连铸，钢水过热度适宜。

7.3.6.2 操作参数优化：

- a) 运输时间：运输时间优化，降低钢水热损失，保持适宜的钢水过热度，从而降低出钢温度；
- b) 运输方式：运输方式优化，降低钢水热损失；
- c) 钢包状态：合理优化在线钢包个数，保持红包出钢；
- d) 精炼工艺：合理选择精炼工艺路线，优化运行节奏。

7.3.7 连铸-热轧界面

7.3.7.1 铁素物质流温度优化：铸坯热送热装，温度不低于650℃。

7.3.7.2 操作参数优化：

- a) 运输时间：运输时间优化，降低铸坯热损失；
- b) 运输方式：运输方式优化，降低铸坯热损失。

参 考 文 献

- [1] 企业产品成本核算制度——钢铁行业（财会〔2015〕20号）
- 

全国团体标准信息平台