

# 团 体 标 准

T/XXX XXXX—XXXX

## 铸造熔炼配料算法 技术要求

Technical requirements for casting melting batching algorithm

(送审讨论稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2023 - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国铸造协会 发布

# 目 次

前言 .....	II
引言 .....	III
1 范围 .....	4
2 规范性引用文件 .....	4
3 术语和定义 .....	4
4 铸造熔炼配料工艺流程 .....	5
5 熔炼智能配料算法技术要求 .....	5
5.1 配料算法建立 .....	5
5.1.1 概述 .....	5
5.1.2 目标函数 .....	6
5.1.3 约束条件 .....	6
5.1.4 基础数据 .....	7
5.2 熔炼配料算法应用的条件和要求 .....	7
5.3 熔炼配料算法的应用 .....	7
5.3.1 基于物料属性核算的算法应用 .....	7
5.3.2 基于历史加料数据的算法应用 .....	7
5.3.3 算法应用的附加功能 .....	8
附录 A（资料性） 铸造熔炼算法示例 .....	9
A.1 铸造熔炼算法示例 .....	9
参考文献 .....	10

## 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。

本文件由中国铸造协会提出。

本文件由中国铸造协会归口。

本文件起草单位：共享智能铸造产业创新中心有限公司、烟台冰轮智能机械科技有限公司、XXX、。

本文件主要起草人：靳泽聪、田立海、田学智 赵炜 乃晓文、XXX。

## 引 言

本文件围绕信息化、智能化系统在铸造行业的不断深化应用，提升信息化系统对实际铸造生产过程的指导和管控能力，研究铸造生产过程中配料算法技术要求，并应用计算机算法和开发语言，将其植入生产过程管控系统中，帮助系统使用者提高铸造生产过程中的配料效率，降低配料成本，实现铸造熔炼生产智能化。

铸造熔炼智能配料算法是基于各个材质牌号的目标成分要求，各个物料批次入厂的实际成分，各个物料批次单价和当前库存，各个元素在熔炼过程中的烧损等因素，核算每炉熔炼生产过程中各个物料的应加料量。通过与生产、工艺、质量、库存管理等系统集成获取熔炼生产计划、成分控制要求以及物料批次成分、即时库存量、价格等信息，排定炉次计划（铁/钢水需求量）、确定成分目标、核算配料方案，并给出性价比最优的配料清单。同时从算法的应用层面，提出算法的两种应用模式，以及两种模式进行配料时的注意事项。

通过标准的制定和实施，可改变传统铸造依靠工人经验的生产模式，提高生产效率，降低生产成本，减少对人员经验的依赖，指导现场操作人员按照要求进行调配料；同时为推进铸造产业结构调整与优化升级创造条件，为各铸造环节实现数字化、网络化和智能化提供借鉴和参考，促进社会效益和经济效益双提高。

# 铸造熔炼配料算法 技术要求

## 1 范围

本文件规定了铸造熔炼配料工艺流程和熔炼智能配料算法技术要求。  
本文件适用于铸钢、铸铁的中频炉熔炼生产，其他类型的熔炼炉参考使用。

## 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 5611 铸造术语  
GB/T 10067.3 电热装置基本技术条件 第3部分：感应电热装置  
T/CFA 031103.5 铸造数字化工厂通用技术要求

## 3 术语和定义

GB/T 5611、GB/T 10067.2、T/CFA 031103.5界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 单元 unit

根据不同的铸造工艺过程，对铸造工厂进行划分形成的基本生产单元，如砂型铸造工厂可划分为砂型成形单元、熔炼浇注单元、后处理单元等。各单元由对应的设备、数字化控制与管理系统组成。

[来源：T/CFA 031103.5-2018，3.2]

### 3.2

#### 数字化工艺系统 digital process system

铸造工艺数字化设计应用的软件系统的总称，一般包括CAD、CAE、CAPP和PDM。

[来源：T/CFA 031103.5-2018，3.4]

### 3.3

#### 熔炼损耗 total melting loss

##### 熔损

##### 烧损

熔炼过程中，由金属氧化、蒸发、除渣等原因造成的金属炉料损耗。即投炉金属总重量与收得金属总重量之差。

[来源：GB/T 5611-2017，3.5.3]

### 3.4

#### 元素损耗 melting loss of alloying element

合金熔炼过程中某些合金元素的损耗。一般以该元素损失量占加入量的百分率表示。

[来源：GB/T 5611-2017，3.5.5]

### 3.5

#### 线边库 line-edge library

生产现场存放物料的真实或虚拟的各种形式库房或物料存放点。

注：如铸造熔炼生产过程中原材料的线边库指现场各个物料存放的料仓或料坑。

### 3.6

#### 合金遗传性 alloy heredity

重熔后金属或合金仍保持重熔前的某些性质。

[来源：GB/T 5611-2017，3.1.15]

## 4 铸造熔炼配料工艺流程

4.1 中频炉进行铸钢、铸铁熔炼配料过程的工艺流程见图 1。

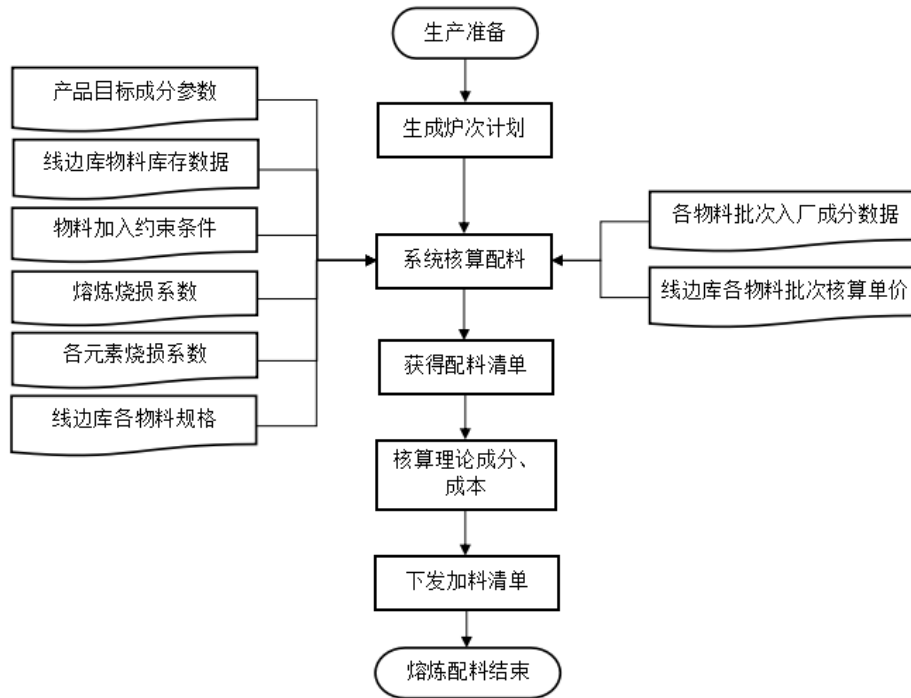


图1 铸造熔炼配料生产过程示意图

4.2 熔炼生产前的各项工作准备完成后，应根据当前生产的电炉规格、生产计划等确定本炉的炉次计划，包括本炉计划熔炼的铁/钢水材质、牌号、熔炼量，以及计划浇注的产品信息等。

4.3 根据生成的炉次计划，系统核算配料时，基于工艺参数中当前炉次主工艺产品的目标成分和物料加入约束条件，调用线边库中当前各个批次物料的库存量、规格、成本和成分数据，结合配料系统中设定的熔炼烧损系数和各个元素烧损系数，利用特定的算法进行综合计算，获得本炉熔炼的配料清单。

4.4 根据核算的配料清单，系统会核算出该配料清单熔化后的理论成分及与成分标准的对比关系，同时核算出本炉的配料成本，现场生产人员确认后，确定下发该配料清单进行加料，本炉熔炼配料结束。

## 5 熔炼智能配料算法技术要求

### 5.1 配料算法建立

#### 5.1.1 概述

根据不同场景的约束条件，结合配料算法目标函数，获得配料算法，选择合适的优化算法，进行熔炼配料算法求解，得到熔炼配料清单，如图2所示。

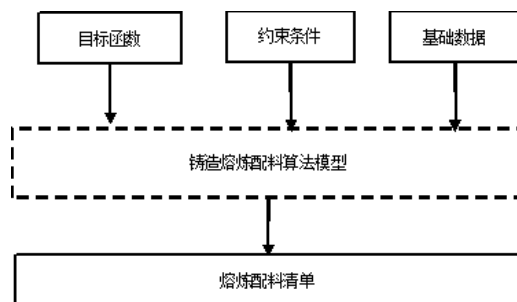


图2 铸造熔炼配料算法整体示意图

### 5.1.2 目标函数

在配料算法中，优化的方向是使单次配料的成分满足工艺要求的前提下，配料成本最低。涉及到使用回炉料熔炼，应考虑可使用回炉料的库存量，及回炉料加入量对铁/钢水质量的影响。目标函数可表示为式（1）：

$$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i C_i \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $f(x)$ —为此次配料的成本；
- $n$  —为此次配料的物料种类数量；
- $x_i$ —为此次配料中第*i*种物料的配料量；
- $C_i$ —为第*i*种物料的采购单价。

### 5.1.3 约束条件

#### 5.1.3.1 产品目标成分约束

目标材质牌号的铁/钢水，其各个元素的成分要求一般是在一定约束范围内。针对各个元素的成分控制的不等式约束条件为：

$$N_j \leq \sum^n a_{ij} x_i \leq M_j \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \dots\dots\dots (2)$$

式中： $N_j$ —表示目标材质牌号铁/钢水第*j*个元素的控制下限；

$M_j$ —表示目标材质牌号铁/钢水第*j*个元素的控制上限；

$a_{ij}$ —表示此次配料中第*i*种物料中第*j*个元素的成分含量。

#### 5.1.3.2 当前线边库库存的约束

配料计算时，实际核算的各个物料的配料量应小于等于当前线边库库存。应满足以下的约束条件：

$$x_i \leq X_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \dots\dots\dots (3)$$

式中： $X_i$ —表示此次配料计算中第*i*种物料当前线边库实际库存量。

#### 5.1.3.3 物料配比约束

生产中，若对物料有对应的加入比例限制，应针对某种物料加入量的限制有对应的约束条件：

$$g_i \leq x_k \leq h_i \dots\dots\dots (4)$$

式中： $g_i$ —表示配料要求中第*i*种物料要求加入的最小量；

$h_i$ —表示配料要求中第*i*种物料要求加入的最大量。

#### 5.1.3.4 熔炼损耗约束

在实际的中频炉铸钢、铸铁熔炼过程中，主要由金属氧化、除渣等原因造成的金属炉料损耗，使获得的铁/钢水的总重量小于投入的金属物料总重量。因此在配料计算时，应考虑实际各个物料的总重量和需要：

$$Z = z(1 + \xi) \dots\dots\dots (5)$$

式中： $Z$ —表示该炉次实际需要配料的各个物料的总和；

$z$ —表示该炉次实际需要铁/钢水的重量；

$\xi$ —表示基于某厂各个物料的特点，其在熔炼过程中的烧损率。

#### 5.1.3.5 元素烧损约束

在实际的熔炼过程中，某些元素会产生烧损，应在配料计算中进行考虑，使配料核算更加贴合实际，以满足成分目标，烧损的约束条件为：

$$n_j = N_j(1 + \delta_j) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$m_j = M_j(1 + \delta_j) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中： $n_j$ —表示目标材质牌号铁/钢水第  $j$  个元素的实际控制下限；  
 $m_j$ —表示目标材质牌号铁/钢水第  $j$  个元素的实际控制上限；  
 $\delta_j$ —表示熔炼过程中第  $j$  个元素的烧损系数 ( $1 > \delta_j \geq 0$ )。

#### 5.1.3.6 物料比例的非负条件

配料计算完成后，各个物料的配料量应大于等于0，即满足  $x_i \geq 0$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ) 的约束要求。

#### 5.1.3.7 物料规格的约束条件

物料料块一般都是有近似相同的重量规格，在熔炼配料时，应考虑配料是按照整块进行加入的，需满足整块配料的约束条件：

$$x_i \geq \varphi \bar{X}_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中： $\bar{X}_i$ —表示此次配料计算中第  $i$  种物料的规格；  
 $\varphi$ —表示此次配料计算中第  $i$  种物料实际可加入的块数。

### 5.1.4 基础数据

#### 5.1.4.1 各个物料入厂成分数据

各个物料在入厂时做成分检验，或者按照供应商提供的检验报告，都会形成各个物料批次对应的元素成分数据。

#### 5.1.4.2 各个物料核算单价数据

各个物料在采购时，或通过公司成本核算后，确定各个物料及各个批次的价格，将其作为生产成本核算的依据，在配料核算时以此价格作为炉次配料核算的各个物料的单价。

### 5.2 熔炼配料算法应用的条件和要求

基于当前的熔炼配料算法，熔炼配料计算时根据铸钢、铸铁的差异性，应具备以下条件和要求：

- 提前维护各个材质、牌号对应的熔炼过程损耗系数，以及各个元素的烧损系统；
- 线边库物料数据表中具备物料名称、物料数量/重量、物料规格、物料单价等信息；
- 工艺系统中对应的各个产品或牌号的目标成分，以及各个主要物料（废钢、生铁、回炉料）的使用比例要求；
- 物料管理系统中有各个物料的入厂成分数据，能够在配料计算时进行调用核算。

### 5.3 熔炼配料算法的应用

#### 5.3.1 基于物料属性核算的算法应用

基于物料成本、成分、规格、库存等属性的熔炼配料算法，核算每炉需要的配料清单。此种算法应用应具备以下前提条件：

- 确定每炉熔炼铁/钢水的材质牌号、需求量、剩余铁/钢水量、剩余铁/钢水炉次的成分；
- 当前线边库中的物料信息完整，算法核算中能够根据具体逻辑实时调用；
- 工艺系统、配料系统中需要维护的各项参数全面、完整。

#### 5.3.2 基于历史加料数据的算法应用

基于历史加料的熔炼配料算法，可根据当前炉次熔炼铁/钢水的计划量，调用历史炉次中各个物料的加入比例核算出本炉需要的配料清单。算法应用时应具备以下前提条件：

- 生产配料的各个物料与历史炉次生产使用的物料是同批次，具有相同成分参数；
- 历史各个炉次的实际加料数据要在对应的数据库或者数据表中有记录；
- 选择历史炉次熔炼过程中的加料量，即熔炼成分合格前各次加入物料的总和。

### 5.3.3 算法应用的附加功能

铸造熔炼配料算法应用时，还应具备以下扩展功能：

- a) 算法支持在不同的配料算法得出的配料方案中进行配料成本的对比分析，能够帮助现场生产人员结合不同配料方案、线边库库存、物料的遗传性能以及对产品质量影响等综合评估后选择最佳的配料方案；
- b) 确定的配料清单能够选择性下发给加料模块，指导现场生产人员按要求加料。

注：铸造熔炼算法示例见附录A。

## 附录 A (资料性) 铸造熔炼算法示例

### A.1 铸造熔炼算法示例

熔炼配料算法应用的一种示例见图A.1。

炉次号 20220109A03
收得率 0.98
牌号 HT300 车间 二铸
计划铁水量 7800 kg
剩余铁水量 800 kg
剩余铁水炉次 20220901A02

① 炉前成分控制范围

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	Cu	W	V	Sn	Nb	Al	Ca	Mg
最高值	0.183	0.80	0.70	0.04	0.04	2.75	0.50	1.20		0.50	0.10						
最低值	0.50		0.40			2.00		0.90									
目标值	0.10	0.40	0.55			2.40		1.10									
理论值	0.10	0.40	0.55			2.40		1.10									

② 配料信息 配料计算 历史配料表 保存 炉料合计: 7345.5 元

工艺配料	废钢											
物料名称	废钢	废钢	废钢	废钢	废钢	废钢	废钢	废钢	废钢	废钢	废钢	废钢
配料	350.88	5.04	9.21	44.99	18.33	589.23					300	200
批次号	C0.2											
单价 (元/Kg)	3.2	13.8	17.3	9.5	114	5.9					5	5
小计(元)	1122.8	69.5	159.4	427.4	2090.0	3478.5					1500	1000

③ 配料核算信息列表

核算方案	废钢	高碳锰铁	中碳锰铁	低碳锰铁	高碳铬铁	中碳铬铁	低碳铬铁	钼铁	钒铁	电炉钢	硅铁	回炉料1	回炉料2	铁屑	铸钢屑	合计(元)	操作
1	254		54	23	321		544				20	400	500	210	214	45110	<a href="#">下载数据</a>
2	321	21		41	241	211	412				20	400	500	214	214	44514	<a href="#">下载数据</a>

图A.1 铸造熔炼配料算法示意图

### 参 考 文 献

- [1] T/CFA 031103.4—2018 铸造工艺数字化设计通用要求
  - [2] T/CFA 03110316—2020 铸造工艺设计设计与生产制造协同控制数字化要求
  - [3] T/CFA 03110320—2020 铸造企业数字化管理通用要求
  - [4] T/CFA 03110321—2020 铸造数字化工厂远程运维平台通用要求
-