

团 体 标 准

T/CFA 0202-2025

黑色金属铸造熔炼配料智能算法要求

Requirements for intelligent algorithm for charge mixing in ferrous metal melting

(公告稿)

2025 - 10 - 28 发布

2026 - 04 - 27 实施

中国铸造协会 发 布

目 次

前言.....II

引言.....III

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

4 铸造熔炼配料算法流程.....1

5 熔炼配料智能算法要求.....2

 5.1 算法整体架构.....2

 5.2 应用熔炼配料智能算法的条件.....5

 5.3 熔炼配料智能算法应用.....5

附录 A（资料性）黑色金属铸造熔炼配料智能算法软件示例.....7

参考文献.....8

图 1 黑色金属铸造熔炼配料算法流程.....2

图 2 黑色金属铸造熔炼配料智能算法整体架构.....3

图 A.1 黑色金属铸造熔炼配料智能算法软件示例.....7

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智能铸造工作委员会、中国铸造协会标准工作委员会提出。

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、银川职业技术学院、烟台冰轮智能机械科技有限公司、济南科德智能科技有限公司、天津汇丰探测装备有限公司、广东猎人谷精铸科技股份有限公司、共享装备股份有限公司、四川共享铸造有限公司。

本文件主要起草人：靳泽聪、常涛、乃晓文、徐国强、李勇、范岩萍、杨瑞环、孙成安、胡阳、赵炜、鲁云、雅伟、袁旭鹏、马晓玲、曹艳丽、刘娟、郭军军、李家帅、毛春生、郭建斌、李绍初。

本文件为首次发布。



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熔炼配料算法要求，并应用计算机算法和开发语言，将其植入生产过程的管控系统中，帮助系统使用者提高铸造生产过程中的配料质量和效率，降低配料成本，实现铸造熔炼配料智能化。

通过标准的制定和实施，可降低传统铸造熔炼生产配料过程对工人经验的依赖，统一算法要求，提高配料准确性和稳定性；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。

黑色金属铸造熔炼配料智能算法要求

1 范围

本文件规定了黑色金属铸造熔炼配料智能算法的术语与定义、配料算法流程和配料智能算法要求。本文件适用于铸钢、铸铁的感应电炉熔炼生产的配料智能算法软件系统开发。

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 10067.3 和 T/CFA 031103.5 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

线边库 line-edge warehouse

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。

3.2

目标函数 objective function

用设计变量表示的所追求的目标形式。

注：目标函数就是设计变量的函数。

3.3

约束条件 constraints

在优化问题、数学建模或工程设计中，决策变量的限制条件、定义可行解必须满足的规则。

3.4

物料规格 material specification

描述物料各方面要求的内容。

注：包括名称、外观、尺寸、成分等，通常用于采购、生产和质量管理。

注：本文中对物料规格的定义，主要是指物料实际每个单位数的重量。

4 铸造熔炼配料算法流程

4.1 感应电炉进行铸钢、铸铁熔炼配料算法流程，见图 1。

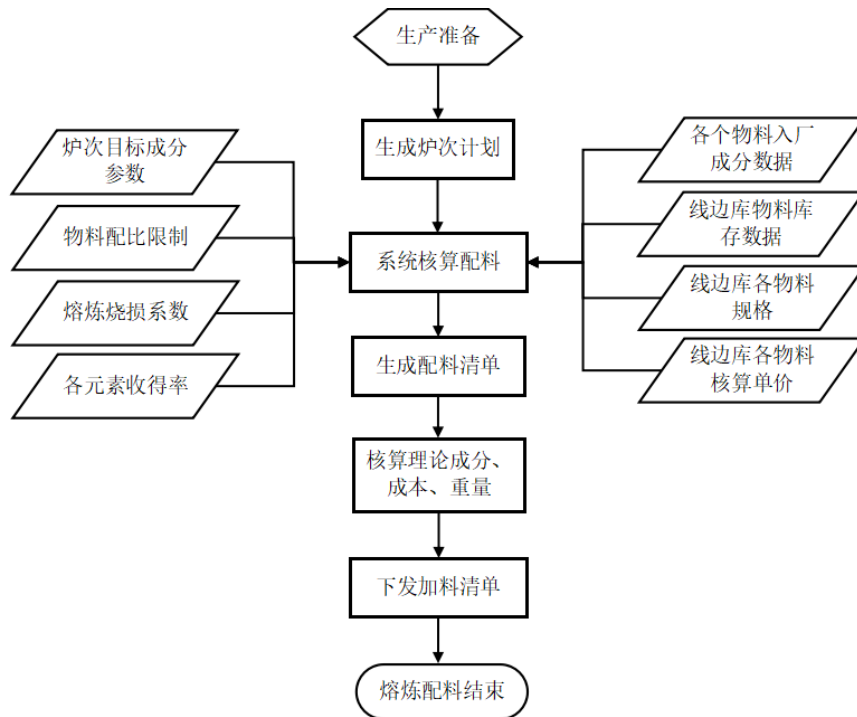


图 1 黑色金属铸造熔炼配料算法流程

4.2 生产准备完成后，应根据当前生产的电炉规格、生产计划等信息，生成本炉的炉次计划，包括本炉计划熔炼的金属液材质、牌号、熔炼量，以及计划浇注的产品信息等。

4.3 系统核算配料时，应基于工艺参数中本炉次主工艺产品的成分目标值（成分目标值是各个元素成分上下限范围内，最想达到的值）和物料配比限制，调用线边库中各个物料的数据（包括库存量、规格、成本、批次和成分数据），结合熔炼烧损系数和各个元素收得率，利用特定的算法进行综合计算，生成本炉熔炼成本较低的配料清单。

4.4 系统应根据生成的配料清单，核算出该配料清单熔化后的理论成分、与成分标准的对比关系、本炉的配料成本，经现场生产人员确认后，下发该配料清单进行加料。

4.5 熔化完成后，根据要求进行金属液成分检测，再根据检测结果进行调料，直至检测成分达到工艺要求。

注：成分检测可选择热分析仪、光谱仪、氮氧氢仪等检测设备。

5 熔炼配料智能算法要求

5.1 算法整体架构

5.1.1 算法的整体架构图

确定目标函数，列出所有约束条件，选择合适的算法进行求解，生成熔炼配料清单，见图 2。

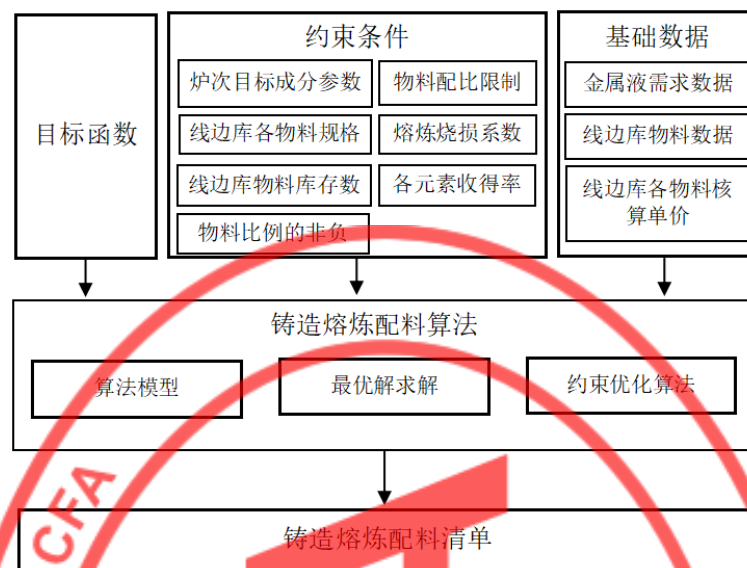


图 2 黑色金属铸造熔炼配料智能算法整体架构

5.1.2 目标函数

在单次配料成分满足工艺要求的前提下，使配料成本最低是配料算法优化的主要方向。使用回炉料熔炼时，应考虑回炉料的库存量，回炉料加入量对金属液质量的影响。目标函数为：

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

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 炉次成分目标范围

目标材质牌号的金属液，其各个元素的成分要求一般是在一定约束范围内。各个元素成分控制的约束条件为：

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

式中：

N_j —目标金属液第 j 个元素的成分控制上限（%）；

M_j —目标金属液第 j 个元素的成分控制下限（%）；

a_{ij} —此次配料中第 i 种物料中第 j 个元素的成分百分含量。

5.1.3.2 线边库库存数据

计算时，实际核算的各个物料配料量应小于等于当前线边库库存，约束条件为：

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

式中:

X_i —此次计算中第 i 种物料当前线边库实际库存量。

5.1.3.3 物料配比限制

生产中, 若对物料有对应的加入比例限制, 应针对该物料加入量设定相应的约束条件:

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

式中:

g_i —配料要求中第 i 种物料要求加入的最小量;

h_i —配料要求中第 i 种物料要求加入的最大量。

5.1.3.4 熔炼损耗系数

在熔炼过程中, 造成金属炉料损耗的原因主要包括金属氧化、除渣等。在配料计算时, 应考虑实际炉次生产过程中物料的损耗情况:

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

式中:

Z —该炉次实际需要配料的各个物料的总和;

z —该炉次实际需要金属液的重量;

ξ —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 元素收得率

在熔炼过程中, 不同元素有不同的收得率, 对于收得率较低的元素 (如碳、硅、锰等), 应在配料计算时考虑其收得率。在配料计算时, 各个元素的计算控制标准与实际获得的控制标准应满足以下约束条件:

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

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

式中:

n_j —目标金属液第 j 个元素的计算控制下限;

m_j —目标金属液第 j 个元素的计算控制上限;

δ_j —熔炼过程中第 j 个元素的收得率 ($1 \geq \delta_j > 0$)。

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, 约束条件为 $x_i \geq 0$ ($i=1, 2, 3, \dots, n$)。

5.1.3.7 物料规格

在熔炼配料时, 应考虑配料按照基本单位量加入的情况 (如整块), 整块配料应满足以下约束条件:

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

式中：

$\bar{X}_i$ —此次配料计算中第 i 种物料的规格；

φ —此次配料计算中第 i 种物料实际可加入基本单位数，为整数。

5.1.4 基础数据

5.1.4.1 炉次金属液需求数据

炉次金属液需求数据包括目标金属液量、目标成分信息。在生产过程中，应确定炉中剩余金属液重量，获取剩余金属液的炉前光谱数据，在配料计算中作为一种物料进行综合计算。

5.1.4.2 线边库物料数据

线边库物料数据包括物料名称、物料数量/重量、物料规格、化学成分、物料来源等信息。

5.1.4.3 物料核算单价数据

在采购或成本核算后，应确定各个物料及各个批次的价格，作为生产成本核算的依据，在配料核算时作为炉次配料核算中各物料的单价。

5.2 应用熔炼配料智能算法的条件

各企业的设备、炉料、生产方式等存在差异，在应用熔炼配料智能算法时，应具备以下条件：

- a) 提前定义、维护各个材质、牌号对应的熔炼过程烧损系数，以及各个元素的收得率；
- b) 工艺要求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，应对其明确定义，并进行参数化集成。

5.3 熔炼配料智能算法应用

5.3.1 基于物料属性核算的算法应用

基于物料属性（成本、成分、规格、库存等）核算的熔炼配料算法，应具备以下前提条件：

- a) 具有每炉熔炼金属液的材质牌号、需求量、剩余金属液量、剩余金属液炉次的成分等信息；
- b) 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；
- c) 产品或材质牌号对应的工艺要求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

基于历史加料数据核算的熔炼配料算法，能根据当前炉次熔炼金属液的计划量，调用历史炉次实际加料数据。系统应根据当前生产材质牌号实时更新历史炉次数据，自动关联推送。算法应用时应具备以下前提条件：

- a) 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物料，具有相同成分参数；
- b) 在对应的数据库或者数据表中，记录各个炉次的实际加料数据；
- c) 历史炉次熔炼过程中的加料量，是成分合格前各个物料加入量的总和。

5.3.3 算法的扩展功能

算法应用时，应具备以下扩展功能：

- a) 支持对不同的配料算法得出的不同配料方案，进行配料成本对比分析，用于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进行综合评估，选择最佳

T/CFA 0202 - 2025

配料方案：

b) 配料清单能选择性下发至加料模块，指导现场生产人员按要求加料。

注：铸造熔炼配料智能算法软件示例见附录 A。

附录A
(资料性)
黑色金属铸造熔炼配料智能算法软件示例

熔炼配料智能算法应用示例, 见图 A. 1:

- “炉前成分控制范围”能查看当前炉次的成分管控目标和范围, 能根据配料计算结果自动核算元素理论成分数据;
- “配料信息”展示此次配料的清单和明细, 字段包括物料名称、配料量、物料批次号、单价、小计等;
- 软件具有自动形成配料数据功能和基于历史加料数据进行本炉次配料核算功能, 可分别点击“配料计算”和“历史配料表”按钮实现;
- 点击“保存”按钮, 能将核算后的配料清单保存到“配料核算信息列表”中, 方便操作人员确认和对比。

炉次号

20220109A03

收得率

0.98

牌号

HT300

计划熔炼重 (kg)

7800

剩余铁水重 (kg)

800

剩余铁水炉次

20220901A02

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	0.60	0.70	0.04	0.04	2.75	0.50	1.20		0.50							
最低值	0.50		0.40			2.00		0.90									
目标值	0.10	0.40	0.65			2.40		1.10									
理论值	0.10	0.40	0.55	0.035	0.03	2.40	0.04	1.10		0.3							

配料信息

配料计算

历史配料单

保存

炉料合计: 7345.5 元

工艺配料	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
物料名称	硅铁	锰铁	高碳锰铁	增碳剂	硫铁	电炉钢	钼铁	微碳锰铁	废钢	生铁	回炉料	高碳铬铁	铜锭				
配料量 (kg)	350.88	5.04		9.21					3120	780	3900						
批次号	C0.2																
单价 (元/Kg)	3.2	13.8		17.3													
小计(元)	1122.8	69.5		159.4													

配料核算信息列表

配料方案	D类废钢(轻型料)	D类废钢(重二料)	生铁Z18#	灰机铁	硅铁	锰铁	高碳锰铁	增碳剂	钼铁	硫铁	电炉钢	钨铁	配料金额 (元)	操作
1	254			54	23	321		544		2	5	20	45110	下发配料表
2		321	21		41	241	211	412	5		3	20	44514	下发配料表

图 A. 1 黑色金属铸造熔炼配料智能算法软件示例

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 031103.16—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 031103.20—2020 铸造企业数字化管理通用要求
 - [4] T/CFA 031103.21—2020 铸造数字化工厂远程运维平台通用要求
-