



蚁群算法在铸造生产配料优化中的应用

李 智¹, 李 伟²

(1. 武汉工业学院电气信息工程系, 武汉 430023; 2. 武汉钢铁集团轧辊公司, 武汉 430081)

摘要: 以铸造配料成本最低为目标函数, 建立了铸造优化配料数学模型。运用蚁群算法和 Matlab 语言, 以 ZG35Cr24Ni7SiN 的炉料配比如例, 对该数学模型进行了仿真优化计算, 计算结果表明: 在保证化学成分在控制要求成分的条件下, 其吨钢成本比原手工配料方法节约 550 元, 实现了铸造配料的优化配比, 而且计算速度快于经典的线性规划数学方法, 从而表明了蚁群算法应用于铸造生产配料是可行的。

关键词: 铸造; 配料; 蚁群算法; 优化

中图分类号: TG223; TP319 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2004) 11-0913-04

Application of Ant Colony Algorithms to Optimization of Raw Materials Mixing in Casting Production

LI Zhi¹, LI Wei²

(1. Department of Electrical and Information Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. Roller Cooperation, Wuhan Iron & Steel Group, Wuhan 430081, China)

Abstract: Optimization model regarding raw materials mixing in casting production was built on the basis of minimal mixture cost. Based on ant colony algorithms and MATLAB, simulation of the model concerning the example charging ZG35Cr24Ni7SiN proportion was made. On the condition of consistent chemical composition, the simulation result shows that the cost decreased by 550 RMB per ton compared with the original handwork, and proportion optimization was realized. The calculating speed under ant colony algorithms is faster than that under classical linear planning algorithms. It also proves that ant colony algorithms are practical in mixture calculation in casting production.

Keywords: foundry; mixture calculation; ant colony algorithms; optimization

在传统的铸造生产配料中, 大都采用经验或手工计算的方法, 这种生产配料的快慢与技术人员的熟悉程度密切相关, 经验丰富的技术人员速度快一点, 效果也好一点, 反之, 就慢一些, 而且误差比较大。另外, 当所配的原料品种多时, 就很难找到合适的、成本低的配料方案, 而且计算量增大, 使得配料速度降低, 直接影响生产, 难以满足现场的生产需要^[1]。

传统的计算方法中, 大多采用经典的数学方法, 如线性规划等, 对于规模较小的计算问题, 该方法能够有效的、高精度地解决问题。但当规模增大, 就会产生计算时间长、程序编制复杂等问题。而建立在现代优化理论之上的、基于生物进化理论的蚁群算法, 却能有效地解决这些问题, 而且计算速度快、程序编制简单, 不受所求问题复杂性的影响, 是一种很有潜力的优化算法。本文采用蚁群算法对铸造生产配料进行了优化计算, 其结果符合生产实际的要求, 表明了该算法应用于铸造生产的可行性。

1 蚁群算法

近年来, 模拟某一生物自然现象或过程而发展起

来的智能计算技术, 由于其具有高度并行与自组织、自适应、自学习等特征, 为传统的人工智能方法注入了新的活力。例如遗传算法及其一些改进算法^[2]、蚁群算法及其改进算法^[3]等。特别是蚁群算法, 它是由意大利学者 M. Dorigo 在仿生学成果的基础上提出的^[4], 并且采用该算法对 TSP 问题、分配问题^[5]、Job-shop 问题^[6]等进行了仿真求解, 解的质量优于或至少等效于演化算法、模拟退火算法及其它一些启发式算法。

蚁群算法是一种随机搜索算法, 与遗传算法、模拟退火算法等模拟进化算法一样, 通过候选解组成的群体在进化过程来寻求最优解^[7], 具有以下特点。

(1) 较强的鲁棒性: 即指该算法具有较强的移植性。对基本蚁群算法模型稍加修改, 即可应用于其它问题的求解。

(2) 分布式计算: 蚁群算法是一种基于种群的算法, 具有并行性。

(3) 易于与其它的方法相结合: 蚁群算法很容易与其它的启发式算法相结合, 以改善算法的性能。

诸多研究表明, 蚁群算法具有很强的寻优能力,

基金项目: 湖南省教育厅重点科研项目 (编号: 2004D011)。收稿日期: 2004-08-30 收到初稿, 2004-09-11 收到修订稿。

作者简介: 李智 (1964-), 男, 湖北武汉人, 工学博士, 副教授, 主要从事现代优化理论在冶金工程上的研究与应用。

E-mail: lizhibb@yahoo.com.cn

它不仅利用了正反馈原理,在一定程度上加快了进程的速度,而且是一种本质并行的算法,不同个体之间不断进行着信息交流和传递,从而能够相互协作,有利于发现较好的解。

1.1 蚁群算法原理

研究表明,自然界中的蚂蚁寻找到从巢穴和食物源之间的最短路径是通过一种正反馈的机制实现的。单个的蚂蚁在自己行走的路径下留下一一种挥发性的分泌物,称之为信息激素,后来的蚂蚁根据前进道路上的信息数量的多少选择前进的方向,在经过一个长的过程后,在较短的路径上蚂蚁留下的信息激素的量变得较大,而蚂蚁越来越多的集中在信息激素量较大的路径上,从而找到了一条最短的路径。

蚂蚁行为的实质是简单个体的自组织行为体现出来的群体行为,每个蚂蚁行为对环境产生影响,环境的改变进而对蚁群行为产生控制压力,影响其他蚂蚁的行为。通过这种机制,简单的蚂蚁个体可以相互影响,相互协作,完成一些复杂的任务。

自组织使得蚂蚁群体的行为趋向结构化,其原因就在于包含了一个反馈的过程,这也是蚁群算法的最重要的特征。正反馈是系统演化发展的原因,这个过程利用了全局信息作为反馈,通过对系统演化过程中较优解的自增强作用,使得问题的解向着全局最优的方向不断进化,最终能有效地获得相对较优的解。

1.2 蚁群算法模型及其实现

Dorigo 等人提出的蚂蚁群体优化的元启发式规则较好地描述了蚁群算法的实现过程,其过程可以表示如下。

当没有达到结束条件时,执行以下活动:

(1) 蚂蚁的行为,即是蚂蚁在一定的限制条件下寻找一条路径;

(2) 轨迹(即信息激素)浓度的挥发;

(3) 后台程序,主要是完成单个蚂蚁无法完成的任务,比如说根据全局信息对信息激素浓度进行更新。

如达到条件,结束。

由于最初的蚁群算法思想起源于离散的网络路径问题,下面以一维搜索为例,引申到 n 维空间的函数求解。

在函数优化问题中,假定优化函数为

$$\min Z = f(x) \quad x \in [a, b]$$

转移概率准则:设 m 个人工蚂蚁,刚开始时位于区间 $[a, b]$ 的 m 等分处,蚂蚁的转移概率定义为

$$P_{ij} = \frac{\tau_i^a \eta_{ij}^b}{\sum_{j=1}^m \tau_j^a \eta_{ij}^b} \quad (1)$$

其中, P_{ij} 表示蚂蚁从位置 i 转移到位置 j 的概率;

τ_j 成为蚂蚁 j 的邻域吸引强度; η_{ij} 定义为 $f_i(x) - f_j(x)$, 即目标函数差异值;参数,该范围的取值是一个经验值,目前尚无理论上的依据。

强度更新方程

$$\tau_j^{t+1} = \rho \tau_j^t + \sum_k \Delta \tau_{kj} \quad (2)$$

$$\Delta \tau_{kj} = Q/L_j \quad (3)$$

$\Delta \tau_{kj}$ 反映第 j 只蚂蚁在本次循环中吸引强度的增加; Q 为正常数,其范围 $0 < Q < 10000$; L_j 表示本次循环中 $f(x)$ 的增量,定义为 $f(x+r) - f(x)$; $0 \leq \rho \leq 1$, 体现强度的持久性。于是,函数 $f(x)$ 的寻优就借助 m 个蚂蚁的不断移动来进行:当 $\eta_{ij} \geq 0$ 时,蚂蚁 i 按概率 P_{ij} 从其邻域 i 移至蚂蚁 j 的邻域;当 $\eta_{ij} \leq 0$ 时,蚂蚁 i 做邻域搜索(搜索半径或步长为 r),即每个蚂蚁要么转移至其他蚂蚁处,要么进行邻域搜索。

由此可见,当蚂蚁的数量足够多,搜索半径足够小,这种寻优方式相当于一群蚂蚁对定义区间 $[a, b]$ 做穷尽的搜索,逐渐收敛到问题的全局最优解。

上述函数优化过程不受优化函数是否连续、是否可微等限制,较之经典搜索方法具有明显的优越性和稳定性。

函数优化问题的蚁群算法步骤^[8]:

(1) count $\leftarrow 0$ (count 是迭代步数或搜索次数); 各 τ_j 和 $\Delta \tau_j$ 初始化;

(2) 将 m 个蚂蚁置于各自的初始邻域;每个蚂蚁按概率 P_{ij} 移动或做邻域搜索;

(3) 计算各个蚂蚁的目标函数 $Z_K (K = 1, 2, \dots, m)$, 记录当前的最好解; (4) 按强度更新方程修正轨迹强度;

(5) $\Delta \tau_j$ 修正, count \leftarrow count + 1;

(6) 若 count 小于预定的迭代次数,则转到(2);

(7) 输出目前的最好解。

在具体的算法过程中,邻域设定可根据具体优化问题来定,比如一维问题就是直线搜索,二维问题可定义为圆等。搜索半径的大小和所要得到的最优解的精度有关,若问题的局部最优点密集,全局最优解不易得到时,则必须设置较小的 r , 蚂蚁个数 m 则主要和搜索空间(定义域)有关,搜索空间越大,所需要的蚂蚁个数越多。

2 配料的数学模型

2.1 目标函数

铸造生产配料一般都是以最低成本为目标的,因此,其目标函数为

$$\min F(X) = \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (4)$$

式中, $F(X)$ 为目标函数, 表示由 i 种原料组成的合金总成本, 元; c_i 表示第 i 种原料的价格, 元/ t ; x_i 表示第 i 种原料的需要量, t ; n 为所需原料的种类数。

2.2 约束条件

约束条件主要有合金的成分约束、总量约束、库存量约束以及每种参与配比的原料非负约束。

(1) 成分约束

$$a_{\text{jup}} Q \geq \sum_{j=1}^m a_{ij} (x_i - y_i) \geq a_{\text{jdown}} Q$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

式中, Q 为合金总重量, 即各种参与配比原料之和, t ; a_i 为第 i 种原料含第 j 种元素的成分, %; a_{jup} 为

第 j 种元素的上限; a_{jdown} 为第 j 种元素的下限; m 为元素的种类; y_i 为第 i 种原料的烧损值, t 。

(2) 总量约束

$$\sum_{i=1}^n (x_i - y_i) = Q \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

(3) 库存约束

$$q_i \geq x_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

式中, q_i 为第 i 种原料的库存量, t ; 保证库存量大于需求量。

(4) 原料非负约束

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

每一种参与配比的原料不小于零。

表 1 原料的化学成分、烧损率及价格

Table 1 Chemical composition loss rate and price of raw materials mixing

原料品种	C	Si	Mn	P	S	Cr	N	Ni	烧损率	价格
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	元/ t
氮化铬铁	0.01	1.56	-	-	0.043	57.91	4.85	-	10	26000
中碳铬铁	0.64	2.10	-	-	0.001	64.82	-	-	5	9600
高碳铬铁	7.97	2.04	-	0.024	0.023	66.65	-	-	5	9000
镍片	-	-	-	-	-	-	-	99.99	0	48000
中碳锰铁	0.85	0.12	78.87	0.018	-	-	-	-	5	5000
废钢	0.08	0.14	0.34	-	0.036	-	-	-	0	1600
硅铁	-	72.00	-	-	-	-	-	-	10	4800

表 2 优化结果

Table 2 Optimization result

配比的需求量	氮化铬铁	中碳铬铁	高碳铬铁	镍片	中碳锰铁	废钢	硅铁	成本
	/ t	/ t	/ t	/ t	/ t	/ t	/ t	元/ t
经验配比值	0.0575	0.0150	0.3210	0.0750	0.0100	0.5115	0.0100	9240.00
优化配比值	0.0458	0.0188	0.3129	0.0709	0.0099	0.5349	0.0099	8690.00
合金成分	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	N (%)		
经验配比值	0.3800	1.5900	0.9600	25.1100	7.5000	0.2800		
优化配比值	0.3999	1.4011	0.8397	24.0992	7.0400	0.2199		

3 实例仿真

以某钢铁轧辊厂的 ZG35Cr24Ni7SiN 的炉料配比为例, 参与配比的原料化学成分、烧损率及价格如表 1 所示, 合金的成分要求: C 含量 0.30%~0.40%; Si 含量 1.30%~2.00%; Mn 含量 0.80%~1.50%; Cr 含量 23.00%~25.50%; Ni 含量 7.00%~8.50%; N 含量 0.20%~0.28%。

采用蚁群优化算法和 Matlab 语言编制 ZG35Cr24Ni7SiN 炉料配比优化计算程序, 算法实现过程如下。

将 7 只蚂蚁 (对应式 (4) 中的变量个数) 放入各自的初始邻域, 该邻域范围由约束条件确定, 进行邻域搜索, 即搜索可行解 x_i , 搜索到一组可行解后, 按式 (4) 计算目标函数 $F_1(X)$, 同时记录下该目标函数值 $F_1(X)$ 和可行解 x_i 。再根据强度更新原则改变搜索方向, 进行新的搜索, 计算新的目标函数 $F_2(X)$,

如果新的目标函数值 $F_2(X)$ 比上一轮搜索记录的目标函数值 $F_1(X)$ 要小, 则保留新的目标函数值 $F_2(X)$, 同时保留新的可行解 x_i , 再进行下一轮的搜索。反之, 如果 $F_2(X)$ 比上一轮搜索记录的目标函数值 $F_1(X)$ 要大, 则舍去该次取值, 进行下一轮搜索。此过程反复进行, 直到达到事先给定的迭代次数为止, 最后输出最小的目标函数 $F(X)$ 和优化解 x_i 。

优化计算程序在 CPU 为 1133MHz、内存为 256MB 的 PC 机上运行, 仿真结果如表 2 所示。

4 结束语

本文运用蚁群算法和 Matlab 语言, 以某钢铁轧辊厂的 ZG35Cr24Ni7SiN 的炉料配比为例, 对铸造生产中的配料数学模型进行了优化计算, 计算结果符合实际生产工艺, 满足了生产要求, 且比人工经验配比节省费用 550 元/ t 。

优化仿真结果还表明, 蚁群算法应用于铸造生产

配料优化是成功的,该方法还可为冶金行业的其它配料问题,比如炼铁、烧结、原料矿混匀^[10]等,提供优化计算理论依据。

参考文献:

- [1] 翟启杰, 吴悦. 铸造合金优化配料原理与计算机软件开发 [J]. 现代铸铁, 1999, 19 (3): 60~61
- [2] 王磊, 潘进, 焦李成. 免疫算法 [J]. 电子学报, 2000, 28 (7): 74~78
- [3] 蒋建国, 骆正虎, 张浩, 等. 基于改进型蚁群算法求解旅行 A-agent 问题 [J]. 模式识别与人工智能, 2003, 16 (1): 6~11
- [4] Dorigo M, Bocabeau E, Theraola G. Ant Algorithms and Stigmergy [J]. Future Generation Computer System, 2000, 16 (5): 851~871
- [5] Maniezzo V, Colomi A. The Ant System Applied to the Quadratic Assignment Problem [J]. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 1999, 1 (5): 769~778
- [6] Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V, Trbian M. Ant System for Job-Shop Scheduling [J]. Belgian Journal Operations Research Statistic Computation Science, 1994, 34 (1): 39~53
- [7] 马良. 来自昆虫世界的寻优策略-蚂蚁算法 [J]. 自然杂志, 1999, 21 (30): 161~163.
- [8] 魏平, 熊伟清. 用于一般函数优化的蚁群算法 [J]. 宁波大学学报, 2001, 14 (4): 52~55
- [9] 赵辉, 张艳珍, 堵亚光. 计算机炉料优化配料系统在铸造生产中的应用 [J]. 铸造纵横, 2002, (3): 30~33
- [10] 李智. Hopfield 网络在原料矿混匀中的应用 [J]. 金属矿山, 2003, (9): 35~37

(编辑: 曲学良, qxl@foundryworld.com)

河北省枣强县西果铸造工具厂

本单位为一般纳税人, 增值发票税率 17%

我厂是生产铸工工具、芯撑、涂料笔的专业厂, 三十年来生产的“西果”系列铸具销往全国各地, 质量信誉好, 服务到位, 规格全、当日邮寄。按 GB、QB 生产、供图订做, 常年业务、量大从优, 欢迎新老客户洽谈。

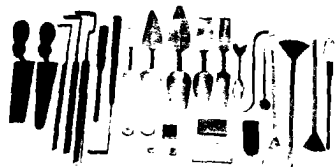
(一) 修造型工具 (不锈钢或弹簧钢材料)

常用品种部分规格如下: /mm

名称	型号	规格	圆竹批	2#	280×24	压勾	1#	260×52
刮刀	2#	170×46	平竹批	4#	240×20	图二型压勾	2#	240×45
	3#	145×45		3#	260×22		4#	200×32
尖头刮刀	2#	150×43	勾批	2#	300×20×14	法兰勾	1#	250×50
提勾	1#	360×16	秋叶	2#	180×32×22	托兰根	2#	260×13
	3#	320×12	齐头压勾	3#	200×32	直角光子	2#	220×16×Φ25
	5#	280×8	双齐头压勾	2#	220×30		2#	75×36×20

(二) 芯撑 (铸物顶): 圆形、方形、长方形、异形、单柱、双柱、普通轴、螺纹轴、镀锌、镀锡。

(三) 羊毛掸笔 2~12cm (10 个品种)。圆水笔 1.2~2cm (3 个品种)。鬃掸扫笔 4~8cm (3 个品种)。



如图:

1. 刮刀 3#
2. 尖刮刀 1#
3. 单开提勾 4#
4. 双开提勾 2#
5. 鹅脖提勾 1#
6. 圆竹批 4#
7. 勾批 2#
8. 压勾 4#
9. 图二型压勾 1#
10. 压勾 1#
11. 齐头压勾 1#
12. 双齐头压勾 2#
13. 秋叶 2#
14. 法兰勾 2#
15. 托兰根 2#
16. 直角光子 2#
17. 掸笔 (3、7、6 公分)
18. 圆水笔 Φ16
19. 泥芯撑 (中下)

银行汇款: 河北省枣强县西果铸造工具厂

电话: 0318-8438663、8437291

邮编: 053100

开户帐号: 县工行建南社 2011075956

联系人: 王恒果 王贵方

地址: 枣强县西果工业园区 99 号

手机: (0) 13932828519

传真: (0318) 8438663

经销处: 郑州 13503815489 重庆 (023) 68436176 成都 (028) 87671042

网址: <http://www.xiguo.china315.com>

河南省内乡县增碳剂产业有限责任公司

增碳剂质量保证说明书

本公司 (矿) 的产品增碳剂, 是由高级专业人员经反复选样、检验, 最后定点的优质天然石墨作为原料, 经过精细加工而成的产品, 本产品是固定碳高, 硫分含量少的优质增碳剂。是国内外用于冶金、铸造等行业增碳非常理想的原料。

主要技术指标: JB/T8154—1999 标准

固定碳	规格	硫分	挥发物	灰分	抗质强度
≥98.5%	0.3~6mm	≤0.025%	<0.67%	<0.85%	22MPa

业务经理: 张保华

手机: 13703415233

电话: 0377-5173218 5173079

传真: 0377-5173079

邮政编码: 474366

地址: 板厂乡