

样本空间模型与高炉的优化操作

李吉鸾

刘祥官

(冶金部攀钢自动化部, 攀枝花) (冶金部攀钢经济研究所, 攀枝花)

摘要 样本空间模型是作者对炼铁数学模型进行多年探索之后, 按照系统论、信息论、控制论的基本原理, 以深入分析炼铁生产实践经验为基础建立的一整套实用模型。本文简述了这一模型的建立和应用。在微机上开发了系统分析软件包。灵活应用集合论、数理统计和最优化方法优选了工艺参数的最优组合。其中谱线图用于确定主要参数的优化区间, 双因素优选图给出关键参数的优化控制; 分层晋级预测了高炉在现有条件下的生产潜力。实践证明, 样本空间模型具有人工智能功能。它既能全面、系统地总结现场经验, 又能找出规律, 进一步指导优化决策与操作, 从而提高了生产水平。

关键词: 炼铁, 数学模型研究, 计算机软件开发, 生产应用

1 高炉炼铁生产的信息特征与模型研究

1.1 炼铁生产过程的信息特征

高炉炼铁生产系统是一个连续化的复杂的生产系统。大高炉冶炼钒钛磁铁矿, 冶炼难度大, 更具其复杂性。各个环节上由计量、检测设备取得的数量化工艺参数信息多达一百三十多项, 信息项目多。一座高炉日信息量达六千多个数据, 信息数量大。这些信息从不同角度反映了高炉的生产状况及其水平。不同项目的信息之间既有相互显著关联, 相互制约, 相互消长, 也有相对独立。信息的控制既有实时可控的, 也有系统外控制或难以控制的。信息之间相互影响是连续的, 其时效既有实时的, 也有各种不同时间滞后的。各种信息按照各自不同的分布规律在生产过程中变动着。

几年来对炼铁生产规律与控制的模型探索, 限于计量、检测与计算工具的水平, 经历了三种不同方式的发展阶段:

(1) 在炼铁工艺学理论指导下的操作经验探索阶段——经验模型。

(2) 对主要工艺参数与指标之间的关系建立起回归型数量化描述, 深化对操作经验的探索——“黑盒”模型。

(3) 应用系统论、信息论、控制论原理, 建立微型计算机专用软件包, 处理大量生产原始数据, 建立样本空间模型, 寻求优化操作规律, 以指导炼铁生产的科学管理与优化操

作——样本空间模型。

1.2 高炉生产工艺参数的基本分类

高炉工艺参数与指标归纳为以下几个方面:

(1) 上料制度: 包括装料方式(同装或分装)、装料顺序、批重、配矿比、焦炭负荷、料线等;

(2) 送风制度: 包括风量、风温、风压、风湿、鼓风功能、蒸汽压力等;

(3) 炉缸热制度: 包括 $[Si]$, $[Ti]$, $[Si + Ti]$ 等;

(4) 造渣制度: 包括高炉渣硷度 R , (CaO) , (SiO_2) , (TiO_2) , (V_2O_5) 等;

(5) 炉况: 包括炉顶煤气曲线、透气性指数、顶压、顶温、喉温、炉身及下部温度、崩料次数等;

(6) 炉前操作制度: 包括出铁时间间隔、出铁次数、出铁口角度与深度、铁量差、上下渣比等;

(7) 指标: 包括利用系数、焦比、生铁合格率、 $[V, S]$ 同时合格率等。

1.3 应用“黑盒”模型研究高炉工艺参数与指标间的关系规律

随着生产上要求的进一步提高, 工艺上迫切需要对工艺参数之间、工艺参数与指标之间的关系规律进行定量描述。于是应用“黑盒”模型研究得到了如下一些主要回归关系, 其相

关系数的显著性均达99%以上。

(1) 铁水中[V], [S]与炉热的关系

$$[\widehat{V}] = 105[\text{Si} + \text{Ti}] + 0.310 \quad (1)$$

$$[\widehat{S}] = -4.218[\text{Si} + \text{Ti}] \times 10^{-2} + 0.062 \quad (2)$$

$$[\widehat{S}] = -0.094[V] + 0.084 \quad (3)$$

(2) 高炉渣中(TiO₂)与炉热的关系

$$(\widehat{\text{TiO}_2}) = -0.629[\text{Si} + \text{Ti}] + 25.10 \quad (4)$$

(3) 反映炉热的化学成份关系

$$[\widehat{\text{Si}}] = 0.722[\text{Ti}] - 0.017 \quad (5)$$

$$[\widehat{\text{Si}}] = 0.442[\text{Si} + \text{Ti}] - 0.015 \quad (6)$$

(4) 焦比K、利用系数U_i与风温T关系

$$\widehat{K} = -0.285T + 902 \quad (7)$$

$$\widehat{U}_i = 2.00T \times 10^{-3} - 0.369 \quad (8)$$

(5) 焦比K、利用系数U_i与炉热的关系

$$\widehat{K} = 299[\text{Si}] + 218[\text{Ti}] + 540 \quad (9)$$

$$\widehat{U}_i = -1.486[\text{Si}] - 0.990[\text{Ti}] + 2.031 \quad (10)$$

(6) 焦比K与利用系数U_i关系

$$\widehat{U}_i = -3.659K \times 10^{-3} + 3.942 \quad (11)$$

从以上回归关系或(1) — (11), 我们可以对正常生产状况下高炉的主要指标水平及其参数控制作出预测和估计, 从而提供了对生产操作有参考价值的数据。

1.4 样本空间模型的理论依据

1.4.1 从系统论、信息论、控制论观点看炼铁生产过程

图1把炼铁的物质生产过程抽象为自封闭的信息流转系统。对炼铁优化操作的研究变为信息流的传递、变换、反馈与控制的研究。

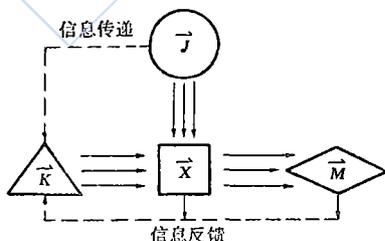


图1 高炉炼铁优化操作的控制论模型

其中初始状态参数为入炉的各种原、燃料理化参数, 记为原料参数向量 $\vec{J} = (\text{烧结矿铁份 } T\text{Fe}, \text{FeO}, \text{CaO}, \text{SiO}_2, R, S, \text{Dr}; \text{焦炭水份 } W_r, \text{Ag}, \text{Vg}, S, M_{40}, M_{10} \text{等}) = (J_1, J_2 \dots J_7, J_8, \dots, J_{13}, \dots)$

控制参数向量 \vec{K} 包括上料制度 \vec{L} , 送风制度 \vec{F} , 出铁制度 \vec{U} 等。 $\vec{K} = (\vec{L}, \vec{F}, \vec{U}) = (K_1, K_2, \dots, K_6, K_7, \dots, K_{12}, \dots, K_{18}, \dots)$

过程状态参数向量 \vec{X} 包括炉缸热制度 \vec{G} , 造渣制度 \vec{Z} 和炉况 \vec{I} 各参数。 $\vec{X} = ([\text{Si}], [\text{Ti}], [\text{Si} + \text{Ti}], [\text{V}], [\text{S}], [\text{P}], (\text{R}), (\text{S}), (\text{TiO}_2), (\text{V}_2\text{O}_5), \dots) = (X_1, X_2, \dots, X_{16}, \dots)$

目标函数向量 \vec{M} 包括利用系数 U_i , 焦比 K , 钒硫同时合格率 $[V, S]$, 生铁合格率等。可记为 $\vec{M} = (M_1, M_2, M_3, M_4)$

1.4.2 信息加工的离散化处理

炼铁生产过程是物质的连续不断的微分-积分过程。其目标函数是原料参数、控制参数、状态参数及其变化率依时间连续积分的结果。其积分关系式是

$$\vec{M} = \int_{t_0}^{t_1} F(\vec{J}, \frac{d\vec{J}}{dt}, \vec{K}, \frac{d\vec{K}}{dt}, \vec{X}, \frac{d\vec{X}}{dt}) dt$$

我们可以通过对积分时间区间的恰当分割, 应用数理统计方法描述被积函数和积分值的特征值。

1.4.3 工艺参数与目标函数的集合映射

对炼铁生产工艺参数和目标函数的深入分析可以看到, 它们之间的函数关系是十分复杂的。然而目标函数有一个特点, 即它是注重边值要求的函数类。因此, 运用数学集合论中映射关系的分析方法, 可使复杂的量的关系得到简化处理, 从集合映射角度描述炼铁生产过程信息的变换关系式是

$$(\vec{J}, \vec{K}) \xrightarrow{F_1} (\vec{X}) \xrightarrow{F_2} (\vec{M})$$

其实际生产意义是对应不同的原料参数 \vec{J} 与控制参数 \vec{K} 的集合 (\vec{J}, \vec{K}) , 会产生不同的状态参数集合 (\vec{X}) ; 而不同的状态参数集合 (\vec{X}) 又对应着不同的目标函数集合 (\vec{M}) 。上式中 F_1, F_2 为映照关系。

综合以上的描述，我们就能构造起反映炼铁生产实际的样本空间数学模型来指导炼铁的优化操作。所谓样本空间，其实质就是 n 维工艺参数空间 R^n 的子空间。样本空间模型就是在 R^n 中把参数与指标分解成不同的子集（子空间），然后综合应用肯定型、概率型或逻辑型的数学方法，建立起子空间之间的映射关系（一一对应或多一对应）；判别样本之间的差异显著性，确定典型样本空间类别及主要判别参数；依指标集对工艺参数集进行聚类分析；求解工艺参数的优化值及其优化组合；寻求动态调优的控制途径等等。因此，样本空间模型是炼铁工艺参数系统优化的一整套数学模型。

2 高炉炼铁样本空间的建立

2.1 建立样本空间的关键难题

炼铁过程是一个连续化的生产过程，原料参数、控制参数与状态参数及指标间的相应关系是连续作用的。在时间效应上，滞后量也各不相同。例如，对于反映炉热的一组状态变量，送风制度的一组控制变量对其作用的时间滞后量小，而原料参数造成的影响其时间滞后量可以长达6—8小时。因此，如何对工艺参数及指标进行离散化处理，建立起有效的集合对应关系，并使它们之间这种对应关系不为时间效应干扰破坏，这是炼铁过程信息处理中的一个关键难题。

2.2 应用时间序列图（简称时序图 TSD）描述工艺参数的动态变化

所谓时间序列图就是以时间 t 为横坐标，各工艺参数值与指标值随时间变化而波动的阶梯函数图。例如，每次出铁量这一指标，可按从上次出铁结果到本次出铁结束的时间间隔 t_1 ，连续画出其阶梯函数值。一个月之中，即形成每次出铁量的时序图，时序图描述参数变动情况中，重要的不是前后相邻的两个阶梯的波动信息，而是一个阶段中该参数变动的“载波”信息。其道理如同无线电中的音频载波。又如同数学中函数族的包络线。通过画出月平均值线，就能够很快观察出该参数的“短期”、“中期”和“长期”波动规律。

2.3 平均小时出铁量概念及其与利用系数的关系

生产统计中的日利用系数 U_d 是以日为单位时间的指标量，实践证明这一统计量无法用来指导高炉生产的动态优化控制。于是建立了新的随机变量——小时出铁量 U_1 来寻求生产的动态优化控制规律。

定义：小时出铁量 U_1 是本炉次出铁量 w_1 与上次出铁结束至本次出铁结束的间隔时间 t_1 之比，即 $U_1 = w_1/t_1$ 。

这一随机变量反映了高炉在单位时间中的产量。对于某一高炉容积为 1200 米³，每日出铁平均 12 次，则高炉日利用系数 U_d 与平均小时出铁量 \bar{U}_1 的关系是

$$U_d = \sum w_1 / 1200 = 24 \times \bar{U}_1 / 1200 = 0.02 \bar{U}_1$$

这样就把提高高炉利用系数的研究变换为提高随机变量 U_1 的研究。如果能够找到 $\bar{U}_1 \geq 90$ 的样本空间 R^* 的控制规律，则意味着可使高炉利用系数从现有的 1.66 水平提高到 1.80 以上。

2.4 基准参数 U_1 的分布特征与样本空间的基本类别

在连续生产过程中， U_1 受到上百个工艺参数的影响。因此其波动是必然的。

从图 2 我们可看到 U_1 的分布是有规律的，它基本上服从正态分布。

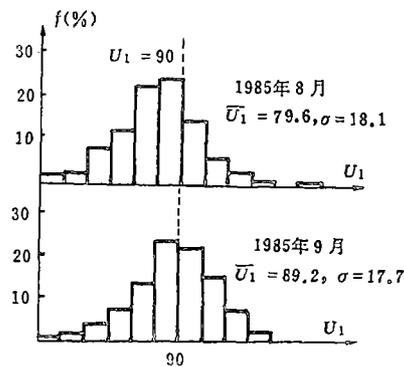


图2 小时出铁量 U_1 分布规律

于是我们按“分层晋级”分类，把 U_1 分成七个层次，其基本类别及其对应的利用系数如表 1 所示。

表 1 小时出铁量 U_1 分类

级 别	A	B	C	D	E	F	G
小时出铁量 \bar{U}_1 , t/h	≥95	90—95	80—85	85—90	75—80	70—75	<70
利用系数 U_i , t/d·m ³	≥1.90	1.80—1.90	1.70—1.80	1.60—1.70	1.50—1.60	1.40—1.50	<1.40
利用系数级别	1.9级	1.8级	1.7级	1.6级	1.5级	1.4级	1.3级

在时序图上确定 U_1 的各个子样后,以 U_1 为基准参数,依其子样对应的时间,把其它工艺参数分解成相应的子样,于是相应子样的特征值(均值、方差等)全体就构成一个样本空间。在这个样本空间中有如下集合映射:

$(\bar{J}, s_J; \bar{K}, s_K; \bar{X}, s_X) \xrightarrow{F} (\bar{U}_1, s_{U_1})$, 其中 $\bar{J}, \bar{K}, \bar{X}$ 为各原料参数、控制参数、状态参数的均值, s_J, s_K, s_X 分别为它们的方差。其生产实践含义是什么样的工艺参数平均值水平和波动水平,就会对应什么样的利用系数平均水平和波动水平。

根据表 1 所列的 U_1 的七个基本类别,我们把它们相应的样本空间定义为基本样本空间,即 A 级样本空间、B 级样本空间等。各样本空间中工艺参数的特征值,又分别称为 A 级操作、B 级操作等。不同级别的操作将得到不同水平的利用系数;同一级别的操作,工艺参数特征值的组合会有多种方式,得到指标值的“不动集”。

2.5 样本空间中映射关系的有效性

样本空间中工艺参数与指标之间数据对应的有效性说明如图 3 所示。例如对某高炉在正

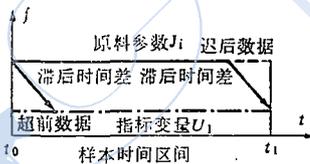


图 3 样本空间数据对应有效性程度说明

常生产情况下,从炉顶装入原料到它变成铁水,其时间差约为 6—8 小时,即时间间隔为 3—4 次出铁。因此,当要求样本数据量 $N_1 \geq 14$ 时,其超前与迟后的非对应数据只占不到 29%,亦即样本中数据对应的有效性程度达 71% 以上。 N_1 越大,有效性程度越高。这样

通过对样本空间容量的限定,可以有效地处理 2.1 节中提出的难题。

3 系统分析软件包与微机辅助高炉优化操作

3.1 系统分析软件包¹⁾

我们在 IBM-PC0520A 微机,应用汉字 dBASE II, BASIC 语言等开发了系统分析软件包。它主要包括以下软件:

(1) TY·PRG 原始数据管理程序。其功能是原始数据输入建立 7 个数据库,数据库的检查、修改与打印。

(2) LTS·BAT 工艺参数数值计算程序。其功能是调用有关数据库数据计算工艺参数值并存库。

(3) LTH·PRG 绘图程序。其功能是应用 MP-1000 型 X-Y 六笔绘图仪绘制优化分析所需的直方图(分布图)、时序图、谱线图以及炉顶煤气曲线图等图形。

(4) SAT·BAT 系统分析表生成程序。其功能是调用有关数据库数据,进行样本特征值计算,建立特征值数据库,打印系统分析表。

(5) REG·BAS 近代实用回归分析程序。其功能是寻求优化控制规律。

3.2 计算机辅助高炉优化操作的主流程框图

建立在样本空间模型基础上的微机辅助高炉炼铁优化操作是指:应用微机进行生产原始数据管理和数值计算;从时间序列图、系统分析表、谱线图等计算机处理结果中优选工艺参数的优化值和优化组合,寻求优化操作规律。据此,操作者能动地、有目标地选择、实施优选的工艺参数,从而在各种不同条件下,实现优化操作控制,达到保证质量、提高产量、降低消耗的目的。

1) 参加软件包开发的主要有谭启元等同志。

样本空间模型的计算机辅助高炉生产优化操作的主要工序流程框图如图4。

4 应用系统分析表优选工艺参数

4.1 炼铁工艺参数系统分析表 (SAT)

炼铁工艺参数系统分析如表2所示。其本质是样本空间的表格化表示。表中子样栏的每一列是样本空间的一个子空间。表2示例列出的项目为69项，其中序号10至序号47之项目略去。这一技术性处理在于说明计算机制表时完全可以根据所关心的栏目和子样挑选制表以便于对比分析。

4.2 样本参数差异显著性判别与优选

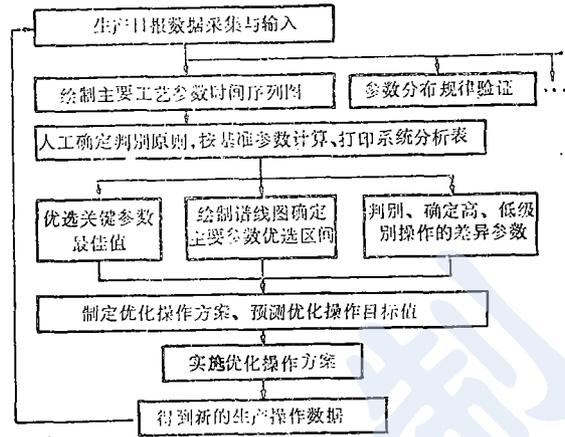


图4 微机辅助高炉优化操作工序流程框图

表2 炼铁工艺参数优化系统分析表 特征值: 均值

序号	项目	母体波动范围	子样特征值				
			8月	8-1	9月	9-4	9-5
1	出铁序号		1-373	16-31	1-358	148-166	199-260
2	出铁量/次 (t)	46.3-299.6	158.1	143.1	179.4	189.9	183.6
3	间隔时间 (h)	0.98-5.00	1.99	2.01	2.01	2.00	2.00
4	出铁量/小时 (t/h)	20.57-183.79	79.63	70.12	89.21	95.23	91.63
5	折合系数 (t/d.m ³)	0.41140-3.67580	1.59255	1.40234	1.78417	1.90458	1.83265
6	操作等级	A-G	D*	F ₂	B*	A ₁	B ₁
7	冶炼强度 (t/d.m ³)		1.0034	0.9572	1.0959	1.1068	1.1162
8	干焦比 (kg/t)		631.79	673.20	614.83	581.93	609.43
9	出铁次数	14-373	373	16	358	19	62
:	:	:	:	:	:	:	:
48	焦批重	5.530-6.402	5.896	5.948	5.681	5.664	5.719
49	料(烧)批重	16.836-18.225	17.678	17.942	17.670	17.830	17.842
50	料线 (m)	2.00-2.50	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
51	湿焦耗量/小时 (t/h)	11.472-74.802	52.786	51.036	57.499	57.828	58.433
52	干焦/小时 (t/h)	10.906-70.763	50.233	48.296	54.732	54.984	55.588
53	烧结矿/小时 (t/h)	38.240-226.895	158.238	154.134	178.911	182.237	182.335
54	块矿/小时 (t/h)	4.450-31.500	16.533	18.075	14.897	13.372	13.695
55	矿石/小时 (t/h)	38.240-250.055	174.727	172.208	193.808	195.609	196.031
56	铁量差 (t/次)	-92.80-150.60	1.20	8.15	0.33	-9.79	-2.90
57	上下渣比	0.30-30.00	2.21	2.79	2.29	2.85	2.06
58	烧结 TFe	41.800-56.600	46.253	46.357	46.282	46.824	46.175
59	FeO	2.24-9.91	6.72	6.59	6.75	6.19	6.84
60	CaO	4.02-10.77	9.77	9.81	9.84	9.81	9.74
61	SiO ₂	1.46-9.95	5.75	5.75	5.80	5.72	5.77
62	R	0.681-2.132	1.701	1.706	1.693	1.714	1.689
63	S	0.018-0.052	0.028	0.029	0.027	0.025	0.026
64	焦炭 H ₂ O	3.30-7.20	4.90	5.35	4.92	5.04	4.88
65	Ag(灰分)	3.30-14.360	13.518	13.563	13.680	13.620	13.559
66	Vg(挥发分)	1.150-1.680	1.299	1.315	1.319	1.296	1.298
67	S	0.460-0.550	0.512	0.510	0.511	0.520	0.520
68	M40	74.1-76.9	76.5	76.5	76.6	76.7	76.6
69	M10	6.1-7.6	6.8	6.8	6.7	6.7	6.7

两个不同级别的样本，各项工艺参数的平均值与方差的水平都不尽相同。然而它们却不一定是显著差异，只有显著差异的参数才是造成不同级别操作的关键所在。由此找出指标高水平的关键因素是什么，低水平的参数控制失误在什么地方。

对样本参数的显著性差异的判别应用数理统计中的差异显著性检验公式来进行。其中方差显著性差异的检验公式用

$$F_a = \frac{\sigma_1 / (n_1 - 1)}{\sigma_2 / (n_2 - 2)}$$

而均值显著性差异的检验公式用

$$t_a = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

根据计算得到的 F_a 值或 t_a 值，查 F 检验表或 t 检验表，对比后可得出差异显著与否的结论。于是，对于造成指标高低差别的显著差异参数，可知它需要改善的是操作稳定性水平还是均值的控制水平。同理，还可以确定在同一级别操作下，各工艺参数的一些典型组合，它们均可获得同一级别的指标值，从而指导工艺参数组合的灵活优选。

4.3 应用谱线图确定主要影响参数及其优化控制区间

由绘图机自动绘制的20项参数谱线图之部分如图5所示。图中横轴线既代表某项工艺参数变化的区间，又代表指标 $\bar{U}_1 \geq 1.60$ 与 $\bar{U}_1 < 1.60$ 的分界线。短竖线代表样本指标 \bar{U}_1 的A—G级（参见表1）。谱线图用于工艺参数的聚类分析。

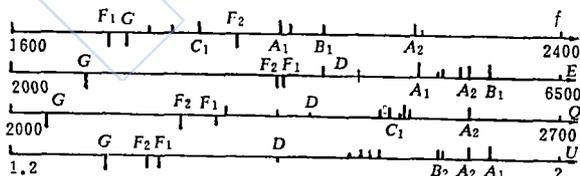


图5 主要影响参数的谱线图

从谱线图容易直接观察出，例如参数E，当其值在某一区间上，则样本指标值稳定地在

横线上方变化，也就是始终保持 $U_1 > 1.60$ 。那么这类参数称为主要影响参数。稳定地获得高级别指标的参数变化区间称为优化控制区间。所有主要影响参数及其优化控制区间构成的工艺参数集合，称为最佳样本空间 R^* ：

$$R^* = \left(\bigcap_i J_i(i) \right) \cap \left(\bigcap_j K_j(j) \right) \cap \left(\bigcap_k X_k(i) \right)$$

显然，若工艺参数始终控制在最佳样本空间中操作，则指标值必然高于现有平均水平。

4.4 关键因素的双因素优选举例

对风量 Q 与透气性指数 f 的双因素优选如图6所示。令

$$\gamma = \sqrt{(f - 1700)^2 + (Q - 2000)^2}$$

$$\theta = \text{tg}^{-1} \frac{f - 1700}{Q - 2000}$$

则在 $Q-f$ 平面图上可以看出指标值分布的三个区域：Ⅲ区： $\{\gamma \leq 300\}$ ，利用系数在F级以下；

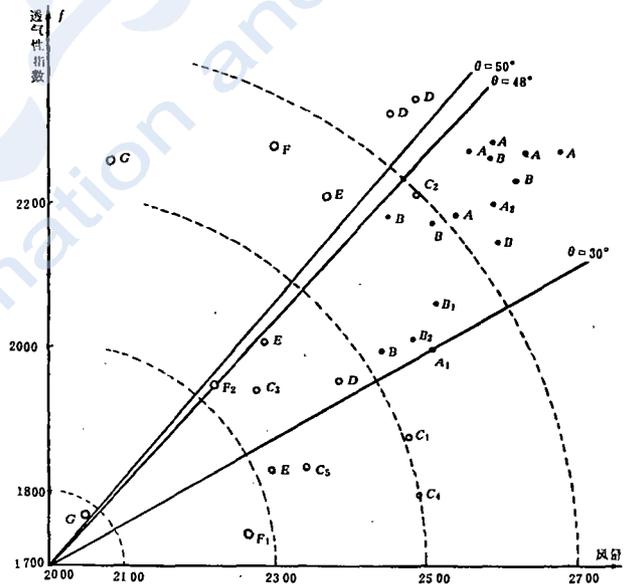


图6 $Q-f$ 双因素优选图

Ⅱ区： $\{300 < \gamma \leq 550\}$ ，利用系数只能达到C级或D级；Ⅰ区： $\{550 < \gamma \leq 770, 30^\circ \leq \theta < 48^\circ\}$ ，利用系数为B级或A级。并且还可看出，在Ⅰ区中，随着 θ 增大，利用系数逐步降级。

这说明风量与透气性指数这一对双因素有一个优化控制问题，不仅量的大小，而且对它们之间的比例要给予优化控制。它所反映的炼

铁工艺原理包含着“没有风就没有铁”和“避免出现炉料通道”两个方面。

同样,我们还对[Si]、[Ti]这一对反映炉热的参数进行双因素优选得到[Si]-[Ti]等高区图。经过分析得知 $Q-f$ 双因素对利用系数的影响比[Si]-[Ti]双因素更强。

4.5 高炉提高利用系数潜力的预测与优化操作的成效

4.5.1 从小时出铁量 U_1 的分布规律中看提高利用系数的途径

图2的两个正态分布图是某高炉1985年8、9两个月份的小时出铁量分布图。图中可以看到它们分布规律是一致的。但8月份低端频数多,高端频数少,因而月份平均小时出铁量仅为79.6t/h,且方差 $\sigma=18.1$ 。9月份的分布则是由8月份的分布“分层晋级”得到的,其月份平均小时出铁量达89.2t/h,对应利用系数为1.78。因此,从低水平利用系数到高水平利用系数的“分层晋级”,正是优化操作要走的途径。

4.5.2 从系统分析表预测利用系数的潜力

从8、9月份的系统分析表中,取出设备正常运行下生产的全部13个子样8-1-8-6,9-1-9-7(表2所列仅为其中的一部分),它们共计出铁523次。其频数分布如表3的“正常生产频数”一栏所列。其平均利用系数为1.69。

优化方案1是通过优化操作避免了1.6利用系数以下的子样,则总体利用系数预测可以达到1.75。

表3 操作级别的频数分布与优化预测

级 别	A	B	C	D	E	F	G	母体利用 系数预测
	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	
正常生产频数	19	150	199	59	14	39	43	1.69
优化方案1	19	150	199	59+96	0	0	0	1.75
优化方案2	19	200	188	166	0	0	0	1.77

优化方案2是按优化操作后避免了1.6级以下操作,同时C、D两级操作亦有25%的数据依次升级一档来预测,其利用系数预测值可达1.77。因此,优化操作后的利用系数可望比原

来正常生产状态下的利用系数提高0.05以上。

4.5.3 科学管理与优化操作的成效

某炼铁厂1985年三座高炉平均利用系数为1.662。1986年开始逐步推行优化操作。特别是下半年通过加强科学管理,制订利用系数上1.7的保证体系和经济责任制,加强设备管理和完善现有工艺措施,举办优化操作培训班进一步贯彻优化操作等,高炉利用系数显著提高。9至12月份利用系数分别达到1.764,1.746,1.850,1.742,实现了全年平均利用系数1.702,增产了生铁4.6万吨。

同时,以3°高炉为例,逐月的系统分析表明,原来不曾有的2.0以上利用系数的样本出现了。对9—12月份数据分析表明,全年达到利用系数1.75的目标是能够实现的。

5 结 语

通过建立样本空间模型进行炼铁工艺参数的系统优化,能够比经验探索更快、更全面、更数量化地总结提高冶炼操作经验和规律,从而指导炼铁生产过程的科学管理和优化操作,达到保证铁水质量,提高利用系数,降低焦比的目标。其应用成效已被生产实践所证明。

参 考 文 献

- 1 鞍钢炼铁厂等。炼铁工艺计算手册。冶金工业出版社,1973年
- 2 炼铁设计参考资料编写组。炼铁设计参考资料。冶金工业出版社,1979年
- 3 鞭岩等著,蔡志鹏,谢裕生译。冶金反应工程学。北京,科学出版社,1981年
- 4 上澧敦孝等著,张洪敏译。自动控制理论。国防工业出版社,1979年
- 5 Noton M, 杨志坚译。现代控制论。北京,科学出版社,1979年
- 6 周华章。工业技术应用数理统计学。北京,人民教育出版社,1961年
- 7 华罗庚。优选学。北京,科学出版社,1981年
- 8 刘祥官,李吉鸾。冶金工艺参数的系统优化方法及其应用。见:中日管理现代化文萃,长沙,湖南人民出版社,1982,59-84
- 9 李吉鸾,刘祥官等。最优化方法在雾化提钒中的应用。运筹学杂志,1983,2(2):43-50
- 10 刘祥官,李吉鸾等。The Slag Forming Coefficient and System Engineering in L.D. Converter Steelmaking. In: The Third China-Japan Symposium on Science and Technology of Iron and Steel, 洛阳,中国金属学会,1985,475-482