

灰铸铁抗拉强度预测

合肥工业大学 方恺友 陈其善 朱启鑫

摘要——利用逐步回归方法，从而建立多因素灰铸铁抗拉强度预测方程，并指出其预测结果是一区间而不是点。实践证明，多因素抗拉强度预测方程比单因素预测方程精确、可靠。

灰铸铁抗拉强度的检测由于所用试样加工困难而限制了快速取得结果，因此利用灰铸铁各种易测信息（如化学成分、硬度、热分析、声波等）来预测其抗拉强度便成了一项极有意义的研究工作。遗憾的是由于这些信息考虑的因素比较单一，结果易受其它因素波动的影响，故预测误差较大，稳定性偏低，至今难于在生产中扩大应用。

针对灰铸铁抗拉强度预测中存在的问题，本文采用逐步回归方法，综合考虑众多因素影

响，以期提高精度，减少误差，提高预测的稳定性，建立一个灰铸铁抗拉强度的最优预测方程。

一、条件与数据

用铜陵生铁经冲天炉重熔再浇成小块，作滚筒清理后使用，配料用废钢为 $\phi 15$ 圆钢。熔化用中频炉，铁水以75FeSi孕育后浇热分析样杯和性能试样。由于供测试棒直径不大，故在测定HB时用 $\phi 5$ 钢球，加载750kg。

检测的数据列于表1。

表1

编号	CE%	T _c	M%	T _{Eu} ℃	T _{Er}	HB	$\sigma_b(N/mm^2)$
1—0	4.147	1435	0	1136	1138	197	204.99
2—0	4.37	1520	0	1145	1149	167	144.16
3—0	4.34	1470	0	1146	1151	165	148.09
3—1	4.51	1470	0.35	1152	1157	149	133.38
4—0	4.15	1380	0	1143	1143	182	178.39
4—1	4.24	1380	0.35	1143	1143	177	169.66
5—0	4.28	1380	0	1146	1148	173	177.51
5—1	4.40	1380	0.60	1151	1154	152	140.24
6—0	3.88	1435	0	1140	1143	210	244.19
6—1	3.98	1438	0.28	1142	1144	200	260.87
7—0	3.93	1435	0	1142	1145	213	234.39
7—1	4.09	1435	0.67	1145	1148	211	256.94

以下从略(编者)

注：T铁水温度；M孕育量；T_{Eu}热分析曲线上最低点温度；T_{Er}热分析曲线上最高点温度

二、逐步回归

铸造工作者利用回归理论来处理铸造过程的信息，多数仅考虑因素的线性影响，因而建立的方程亦不是“最优”的回归方程。所谓“最优”

的回归方程就是包含有对因变量影响显著的变量，而不包含对因变量影响不显著的变量的回归方程。

由于逐步回归就是一步步将重要因子引

入,并及时将不重要因子剔除,所以在实际应用中,我们可以把尽可能多的因子以及因子之间的交互项作为待查找的变量(只要控制最后所选出的显著变量数不超过 $N-2$,其中 N 表示所观察数据的个数)。逐步回归方法这一特点,

表2

X_1CE	X_2T_{Fu}	X_3T_{ER}	X_4M	X_5HB	X_6T	X_7CE^2
$X_8T_{EU}^2$	$X_9T_{ER}^2$	$X_{10}M^2$	$X_{11}HB^2$	$X_{12}T^2$	$X_{13}CE \cdot T_{Fu}$	$X_{14}CE \cdot T_{ER}$
$X_{15}CE \cdot M$	$X_{16}CE \cdot HB$	$X_{17}CE \cdot T$	$X_{18}T_{Eu} \cdot T_{ER}$	$X_{19}T_{Eu} \cdot M$	$X_{20}T_{Eu} \cdot HB$	$X_{21}T_{Eu} \cdot T$
$X_{22}T_{ER} \cdot M$	$X_{23}T_{ER} \cdot HB$	$X_{24}T_{ER} \cdot T$	$X_{25}M \cdot HB$	$X_{26}M \cdot T$	$X_{27}HB \cdot T$	$X_{28}CE^3$
$X_{29}T_{Eu}^3$	$X_{30}T_{ER}^3$	$X_{31}M^3$	$X_{32}HB^3$	$X_{33}T^3$	$X_{34}CE^2 \cdot T_{Eu}$	$X_{35}CE^2 \cdot T_{ER}$
$X_{36}CE^2 \cdot M$	$X_{37}CE^2 \cdot HB$	$X_{38}CE^2 \cdot T$	$X_{39}T_{Eu}^2 \cdot CE$	$X_{40}T_{ER}^2 \cdot T_{ER}$	$X_{41}T_{Eu}^2 \cdot M$	$X_{42}T_{Eu}^2 \cdot HB$
$X_{43}T_{Fu}^2 \cdot T$	$X_{44}T_{ER}^2 \cdot CE$	$X_{45}T_{Fu}^2 \cdot T_{Eu}$	$X_{46}T_{ER}^2 \cdot M$	$X_{47}T_{Fu}^2 \cdot HB$	$X_{48}T_{ER}^2 \cdot T$	$X_{49}M^2 \cdot CE$
$X_{50}M^2 \cdot T_{Fu}$	$X_{51}M^2 \cdot T_{ER}$	$X_{52}M^2 \cdot HB$	$X_{53}M^2 \cdot T$	$X_{54}HB^2 \cdot CE$	$X_{55}HB^2 \cdot T_{Eu}$	$X_{56}HB^2 \cdot T_{ER}$
$X_{57}HB^2 \cdot M$	$X_{58}HB^2 \cdot T$	$X_{59}T^2 \cdot CE$	$X_{60}T^2 \cdot T_{Eu}$	$X_{61}T^2 \cdot T_{ER}$	$X_{62}T^2 \cdot M$	$X_{63}T^2 \cdot HB$

三、结果分析

对上述63个变量,经计算机逐步回归分析,得到如下方程:

$\hat{\sigma}_b = -205.75 + M^2(1.67 \times 10^{-6}) + 1.64 \times 10^{-6} T_{Eu}^2 HB (N/mm^2)$, 复相关系数 $R = 0.99$, 剩余标准差 $S = 9.365$, $F = 360.8$. 查表得 $F_{0.01}^{9,36} = 7.67 < F$, 所以方程高度显著。

由于回归方程所求得 $\hat{\sigma}_b$ 仅是实际测量值的期望值(亦即均值),因而用回归方程预测强度得到的不是某一确定值,而是一个区间值。

下面简要讨论本方程预测抗拉强度区间值大小。

所谓预测问题,用统计数学语言来说,就是在一定的显著水平 α 下,寻找一个正数 δ ,使得实际观察值 y_0 以 $(1-\alpha)$ 的概率落在区间 $(\hat{y}_0 - \delta, \hat{y}_0 + \delta)$, 即:

$$P\{\hat{y}_0 - \delta < y_0 < \hat{y}_0 + \delta\} = 1 - \alpha$$

其中 δ 除与显著性水平 α 有关外,还与样本容量和自变量有关,当其自变量取值在其均值附近,样本容量较大时,可近似地认为:

$$y_0 - \hat{y}_0 \sim (0, s)$$

因而有 $P\{\hat{y}_0 - 2s < y_0 < \hat{y}_0 + 2s\} = 95\%$

$$P\{\hat{y}_0 - 3s < y_0 < \hat{y}_0 + 3s\} = 99\%$$

能够使一定的样本容量获得最大的信息,并得到“最优”回归方程。

本试验根据现有条件,并结合生产实际情况,将在表2所示的63个变量中进行筛选,建立预测方程。

本方程 $s = 9.365$

所以我们看到,在已知 M 、 HB 、 T_{Eu} 下,得到实际 σ_b 以95%概率落在计算的 $\{\hat{\sigma}_b - 18.73, \hat{\sigma}_b + 18.73\}$ 区间内;以99%概率落在 $\{\hat{\sigma}_b - 28.15, \hat{\sigma}_b + 28.15\}$ 区间内。

四、预测结果检验

为了更好地说明利用多因素建立预测方程的优越性与可靠性,我们以单因素预测方程与多因素预测方程预测结果的比较来说明。

本文所讨论的单因素预测仅以常用的硬度预测为例,通过对表1中数据回归分析,得到方程:

$$\hat{\sigma}_b^1 = -168.78 + 1.96HB \quad (N/mm^2)$$

相关系数 $R = 0.91$ $S^2 = 22.16$ $F = 138$, 查表得 $F_{0.01}^{1,11} = 13.29 < F$, 所以方程显著。

根据上节预测区间讨论,显然,在已知 HB 下,得到实际 σ_b 以95%概率落在计算的 $\{\hat{\sigma}_b^1 - 44.32, \hat{\sigma}_b^1 + 44.32\}$ 区间内,以99%概率落在 $\{\hat{\sigma}_b^1 - 66.48, \hat{\sigma}_b^1 + 66.48\}$ 区间内。

由此表明,就统计意义而言,利用多因素预测要比单因素预测精确的多,开炉结果(见表3两种预测方程的实际检验结果)也证明了这一点。

表3

编号	M	T _{Eu}	HB	$\hat{\sigma}_b$	σ_b	$\hat{\sigma}_b^1$	$ \hat{\sigma}_b - \sigma_b $	$ \hat{\sigma}_b^1 - \sigma_b $
1—0	0	1139	202	223.40	225.50	227.42	2.10	1.02
1—1	0.35	1142	199	234.78	246.35	231.54	11.57	24.30
2—0	0	1137	210	238.90	230.66	243.12	8.24	12.46
2—1	0.4	1143	308	271.16	277.93	239.19	6.77	38.74
3—0	0	1144	146	107.19	108.07	117.59	0.88	9.52
3—1	0.1	1145	148	121.31	118.96	121.51	2.35	2.55
4—0	0	1139	177	170.33	169.27	178.39	1.08	9.12
4—1	0.4	1142	176	184.18	189.37	176.43	5.19	12.94
5—0	0	1145	174	167.90	165.25	172.51	2.65	7.26
5—1	0.6	1148	152	139.46	137.20	129.35	2.26	7.35
6—0	0	1136	226	271.95	275.67	274.50	3.72	1.17
6—1	0.6	1142	228	344.03	353.54	278.42	9.51	75.12
7—0	0	1138	224	269.40	267.04	270.58	2.36	3.54
7—1	0.67	1145	224	350.50	350.80	270.58	0.30	80.22

注: M% T_{Eu} °C $\hat{\sigma}_b$, σ_b , $\hat{\sigma}_b^1$ N/mm²

五、结语

1. 利用逐步回归方法, 建立数学模型, 能够使一定的样本容量获得最大的信息。其预测结果是一个区间而不是一个点。

2. 用方程 $\hat{\sigma}_b = -205.75 + M^2 (1.67 \times HB - 205.75) + 1.64 \times 10^{-6} T_{Eu}^2 HB$ 预测灰铸铁抗拉强度比方程 $\hat{\sigma}_b^1 = -168.78 + 1.98 HB$ 预测要精确、稳定, 完全可以在生产中推广应用。

如何把冲天炉铁水温度提高到1500℃

林相如

摘要——文中汇集了把冲天炉铁水温度提高到1500℃的经验和方法。

对于大量生产球铁的铸管厂来说, 为稳定球化、节省球化剂用量和严格控制残余 Mg、Re 含量, 就务必进行铁水脱硫处理, 把 S_原 控制在 0.02% 左右。但是, 由于工业用电紧张, 炉外脱硫后的铁水再用电炉升温也就未必合适。因此, 一般采用 95% CaO 加 5% CaF₂ 吹入氮气(或压缩空气)对铁水进行脱硫, 可在 1.5 分钟内把 S 从 0.1% 降低至 0.02% 以下, 但是铁水降温却达 60℃ 左右。于是, 为能使球化处理温度在 1410℃ 和浇注温度保证在 1340℃ 以上, 那么就有必要使出铁温度达到 1500℃ 这

样一来, 还可使渣中 FeO 少于 5%, Si、Mn 烧损也减少, 铁水冶金质量得到大大的提高。

在提高铁水方面, 无锡柴油机厂用 90% 固定炭的大块铸造焦, 在总焦比 1:6.2 时, 包内的铁水温度就已达 1523℃。无锡机床厂使用大块北京焦, 出铁槽的铁水温度也可达到 1500~1530℃。内蒙机床一厂用选过块度的冶金焦, 固定炭 83% 左右, 在严格控制操作工艺条件下也达到 1500℃ 以上的出铁温度。由此可见, 选择优质焦炭是保证铁水温度的首要条件。

此外, 如果把冲天炉风温提高到 450~