

保温冒口计算方程的建立及应用

第一机械厂 边敦亭

【摘要】 保温冒口补缩效率很高。冒口补缩后不仅体积变化大,而且表面积变化也很大,这是冒口三次方程法及周界商法未考虑的一个重要因素,然而这个因素对冒口的影响是不能忽略的。本文通过对保温冒口的研究和分析,在冒口三次方程法及周界商法的基础上重新推导出了更加合理、适用的保温冒口模数系数方程。

【关键词】 保温冒口 周界商 几何体 模数系数

1 前言

保温冒口已广泛应用于铸钢件的生产,它具有良好的补缩效果和显著的经济效益。为了进一步发挥保温冒口的作用,许多人曾对冒口计算方法进行了广泛的研究。但是,由于影响冒口大小的因素较多,若将这些因素都考虑进去,将使冒口计算非常复杂,且不利于生产中应用,所以均采用了简化冒口的计算,也就是在假设条件下,根据几个最主要的因素来计算冒口尺寸。其中广为应用的是传统模数法,即根据铸件模数 M_B 按保温冒口 $M_r = fM_B$ 计算(通常 f 值取 0.80~1.0),据此选择冒口并进行补缩能力校核。遗憾的是,系数 f 的取值原则和取值方法没有准确依据,仍然属于经验计算,因此有很大的局限性。而近年来发展起来的三次方程法^[1]、周界商法^[2]等冒口计算方法因计算复杂,或不适用于保温冒口而难以推广应用。

本文的目的是探求一种较为合理和适用的保温冒口计算方程,并使之能推广应用。

2 模数系数 f 方程的建立

铸件冒口补缩必须满足两个基本条件:一是冒口凝固时间 > 铸件被补缩部位(热节部位)的凝固时间;二是有足够的补缩钢水。

在浇注后的凝固过程中,冒口中的钢水将不断地补充铸件和自身的收缩而体积减小,冒口的模数也相应减小;而铸件得到补缩钢水使热容量增加,铸件模数增大,如果在凝固终结时,冒口残体的模数正好等于铸件被补缩部位的模数,则这个冒口就是符合上述两个条件的最小冒口。用数学方程可表示为

$$E \left[\frac{V_r - \epsilon(V_C + V_r)}{A_S} \right] = \frac{V_B(1 + \epsilon)}{A_B} \quad (1)$$

式中, E 为保温冒口几何体残体模数的扩大倍数; V_r 为保温冒口原始体积, cm^3 ; V_C 为被冒口补缩的铸件全部体积, cm^3 ; V_B 为被冒口补缩铸件的最后凝固区域体积, cm^3 ; A_C 为保温冒口独立几何体表面积, cm^2 ; A_B 为铸件最后凝固区域表面积, cm^2 ; ϵ 为合金液态凝固收缩率, %。

$$\text{设 } A_S = K \times A_r \quad (2)$$

式中, K 为保温冒口几何体表面积变化系数; A_r 为保温冒口几何体原始表面积, cm^2 。

$$\text{又设 } V_C = m \times V_B \quad (3)$$

式中, m 为铸件几何体比例系数, $m \geq 1.0$; 当 $m = 1.0$ 时,铸件为简单的几何体。将式(2)、式(3)代入式(1)得

$$\frac{E}{K}(1 - \epsilon)M_r - (1 + \epsilon)M_B - \frac{E}{K}(m \frac{V_B}{A_r}) = 0 \quad (4)$$

式中, M_r 为保温冒口几何体模数, cm ; M_B 为

(3) 9-11, 19

TG260.3

铸钢件

计算方程

铸件最后凝固区域几何体模数, cm。

根据周界商定义有

$$A_r = q_r M_r^2 \quad (5)$$

$$V_B = q_B M_B^3 \quad (6)$$

将式(5)、式(6)代入式(4)并整理得

$$\frac{E(1-\epsilon)}{K} M_r^3 - (1+\epsilon) M_r^2 M_B - \frac{\epsilon E}{K} \left(m \frac{q_B}{q_r}\right) M_B^3 = 0 \quad (7)$$

将模数系数 $f = M_r/M_B$ 代入(7)式得

$$\frac{E(1-\epsilon)}{K} f^3 - (1+\epsilon) f^2 - \frac{\epsilon E}{K} \left(m \frac{q_B}{q_r}\right) = 0 \quad (8)$$

式(8)即为保温冒口模数系数 f 方程的通式。

铸件的周界商只与铸件的体积和模数有关;冒口的周界商则只与形状有关,而与冒口的大小无关。因此,可以计算出常用保温冒口的有关参数(见表1)。

表1 常用保温冒口参数表

类型	尺寸	模数, cm	体积, cm ³	周界商
圆柱形 暗冒口	H = 1.2D	0.178D	0.812D ³	144
	H = 1.2D	0.176D	0.942D ³	171
圆柱形 明冒口	H = 1.5D	0.188D	1.178D ³	179
	H = 2.0D	0.200D	1.571D ³	196
腰形 暗冒口	L = 1.50B	0.211B	1.412B ³	151
	H = 1.25B	0.207B	1.065B ³	118
腰形 明冒口	L = 1.50B	0.219B	1.928B ³	183
	H = 1.50B	0.237B	2.571B ³	200
	H = 2.00B			

注: H为冒口高度; D为圆柱冒口直径; B为腰形冒口宽度; L为腰形冒口长度。

3 E、K、 ϵ 值的确定

这三个数值的确定应根据生产实际情况,如型砂种类、保温冒口套壁厚度、保温材料质量、浇注温度、明冒口覆盖剂性能及加入量等因素而定。

3.1 E 值的确定

据文献1介绍,空心微珠保温冒口的表面散热系数为0.60~0.75,我厂所用冒口套为质次、壁薄,因此,取上限0.75。

设圆柱明冒口高 $H = n \times D$ (D为直径, n为倍数),则有

$$E = \frac{M_{SB}}{M_S} = \frac{A_S}{A_{SB}} \quad (9)$$

式中, M_{SB} 为保温冒口几何体模数; M_S 为砂型冒口几何体模数; A_S 为砂型冒口表面积(含底面积); A_{SB} 为保温冒口表面积(含底面积)。

根据 $H = n \times D$ 及 0.75 值,列出 A_S 和 A_{SB} 算式,并代入式(9)整理得

$$E = 1 + \frac{0.25 + n}{1.75 + 3n} \quad 0.4 \leq n \leq 1 \quad (10)$$

当 $n = 0.4$ 时, $E = 1.22$;

当 $n = 1.0$ 时, $E = 1.26$ 。

同理,腰形保温冒口的 E 值也在 1.22 ~ 1.26 之间。

$n = 0.4$ 时冒口补缩后的状态较理想,因此, E 值应在 1.20 ~ 1.30 之间,故对暗冒口 E 值取 1.25;而明冒口可回冲冒口,增加热容量,故 E 值取 1.30。

3.2 K 值的确定

三次方程法和周界商法均将 K 值设定为 1.0,即冒口表面积未发生变化,而保温冒口表面积变化较大,显然,这两种方法已不适用。笔者经过多年生产实践及观察发现,空心微珠保温冒口表面积变化情况如下:圆柱形暗冒口($H = 1.20D$),冒口残体高度 H' 可降至 0.6D 以下;腰形暗冒口($L = 1.5B$, $H = 1.25B$),冒口残体高度 H' 可以降至 0.7B 以下;上述两种冒口残体顶面呈平面,若暗冒口顶面为弧形凹陷时,冒口高度则明显更低,经计算 $K = 0.73$ 至 0.80,因此, K 取 0.80。圆柱形明冒口($H = 1.25D$),腰形明冒口($L = 1.50B$, $H = 1.25B$),冒口残体高度均降至原冒口高度三分之二左右,因此, K 取 0.90。

3.3 ϵ 值的确定

ϵ 值由液态收缩率 ϵ_l 和凝固收缩率 ϵ_v , 以及型腔扩大量、缩尺等因素决定。根据我厂现有状况, 普碳钢铸件的 ϵ 值取 6.0% 较为安全, 这与文献 3 实测数据相吻合。

4 冒口方程的简便求解

4.1 特定方程的确定

分别将暗冒口和明冒口的 E 、 K 、 ϵ 值代入式(8), 并整理得

保温暗冒口 ($K = 0.80$, $E = 1.25$, $\epsilon = 0.06$) 方程为

$$1.469f^2 - 1.06f^2 - 0.094(m \frac{q_B}{q_r}) = 0 \quad (11)$$

保温明冒口 ($K = 0.90$, $E = 1.30$, $\epsilon = 0.06$) 方程为

$$1.358f^2 - 1.06f^2 - 0.087(m \frac{q_B}{q_r}) = 0 \quad (12)$$

从式(11)和式(12)可以看出, 模数系数 f 仅是 $m(q_B/q_r)$ 的函数, 对选定的冒口和具体铸件均有确定的 m 、 q_B 、 q_r 值, 可做 $f - m(q_B/q_r)$ 数值表, 免去求解三次方程的麻烦。保温暗、明冒口 $f - m(q_B/q_r)$ 数值表略。

4.2 计算冒口的程序

- (1) 计算铸件或铸件热节的模数;
- (2) 根据公式 $q_B = V_B/M_B^3$, 求出 q_B ;
- (3) 求出 m ;
- (4) 选定冒口类型, 由保温冒口参数表查出 q_r ;
- (5) 计算 q_B/q_r ;
- (6) 根据方程计算或利用 $f - m(q_B/q_r)$ 数值表查出 f 值;
- (7) 根据 $M_r = fM_B$ 计算 M_r ;
- (8) 根据 M_r 值, 从冒口参数表中查出冒口的尺寸及重量。

4.3 实例

例 1 有一平板铸钢件其尺寸为 $500 \times 500 \times 60$, 重量为 117kg, 其冒口计算如下:

- (1) 求铸件的模数 $M_B = 3\text{cm}$;

- (2) 根据公式 $q_B = V_B/M_B^3$, 求出 $q_B = 555$;

- (3) 因为 $V_C = V_B$, 所以根据公式 $m = V_C/V_B$ 得: $m = 1$;

- (4) 选定冒口类型: 圆柱形明冒口, $H = 1.2D$, 由保温冒口参数表查得 $q_r = 171$;

- (5) 计算 $q_B/q_r = 3.245$;

- (6) 计算得 f 值为 0.99;

- (7) 根据 $M_r = fM_B$ 得: $M_r = 0.99M_B = 2.97\text{cm}$;

- (8) 从保温冒口参数表可查得冒口直径和高分别为 $\phi 16.9\text{cm}$ 和 20.0cm ; 体积为 4.55dm^3 ; 重量为 33kg。

例 2 一长方体铸钢件尺寸为 $250 \times 250 \times 240$, 重量为 117kg, 其冒口计算如下:

- (1) 求铸件的模数 $M_B = 4.11\text{cm}$;

- (2) 根据公式 $q_B = V_B/M_B^3$, 求出 $q_B = 216$;

- (3) 因为 $V_C = V_B$, 所以根据公式 $m = V_C/V_B$ 得: $m = 1$;

- (4) 选定冒口类型: 圆柱形明冒口, $H = 1.2D$, 由表 1 查出 $q_r = 171$;

- (5) 计算 $q_B/q_r = 1.26$;

- (6) 计算 f 值为 0.88;

- (7) 根据 $M_r = fM_B$ 得: $M_r = 0.88M_B = 3.67\text{cm}$;

- (8) 从表 1 可查得冒口直径和高分别为 $\phi 20.8\text{cm}$ 和 25.0cm ; 体积为 8.48dm^3 ; 重量为 62kg。

由实例 1 和实例 2 可知, 相同重量而不同模数及不同周界商的铸件, 不仅对冒口的模数大小要求不同, 而且对冒口的补缩量要求也不同, 这与文献 1 是一致的, 即冒口的补缩效率与铸件的周界商有关。

5 结束语

- (1) 本文所确立的保温冒口方程建立在理论和实际的基础上, 是对冒口三次方程法、周界商法的修正和完善。 (下转第 19 页)

三大部分,即控制参数的计算、电流平衡控制、功率平衡控制。程序设计时考虑了两个方面的要求:一是电流平衡的控制参数在 PLC 开机后第一个周期内计算,此后则不再计算,以减少 PLC 程序扫描时间。二是功率平衡的阻抗控制参数只是实施功率平衡控制时才计算,从而使扫描周期缩短。功率平衡所计算的阻抗并不是炉内的真正阻抗,而是二次相电压和一次电流的商,只是实施三相功率平衡而构思的一个“参照物”。为了方便程序设计,本系统将阻抗值乘以 100(因为二次电压和一次电流的商通常小于 1),即将阻抗的基值扩大 100 倍。

通过实验发现,电极升/降对本相的电流影响不大,而对相邻前相电极的电流影响较大。因此在梯形图及程序设计中应将 B 相电流比较的结果反映在 A 相电极的升/降上面,即 B 相电流大,提升 A 相电极;B 相电流小,下降 A 相电极,其它类比。

040 输入点为“ON”时,系统进入功率判别状态。梯形图分为控制参数的计算、电极升/降自动判别和控制。

(5)电极自动压放 需要压放时,将输入模块的 041L/O 点置于“ON”位,便可自动完成三相电极的压放工作。电极的压放量由紧靠电极的脉冲发生器通过各自的输入口(025~027)向 PLC 输送计数脉冲;三相电极的压放全部完成后,PLC 发出报警信号,这时将 041L/O 点开关置于“OFF”位,闭合真空断路器即可正常生产。

5 结语

由于 PLC 控制系统控制精度高,纠正速度快,使得电炉可满负荷生产,既缩短了熔炼周期,又提高了产量,同时解决了人工配电多依附于加料工的现象,并且将配电从脑、体力劳动中解放出来。该系统用于生产后,可降低单位电耗 5%,提高生产能力约 7%,节约原料 5%,年增加效益 10~15 万元。该系统投资少,实用价值高。对于 7000kVA 以下的矿热炉,每套系统的设备材料、安装调试等全部费用仅需 3 万元左右。

(收稿日期 2000-06-26)

(上接第 11 页)

(2)本文所确立的保温冒口方程,综合考虑了体积和模数之间的影响,动态地反映出 M_r/M_B 和 V_r/V_C 的关系,因此,求出冒口后,不必进行冒口补缩能力计算,因为 f 值不仅包含了对冒口模数的要求,而且也包含了对冒口补缩量要求。

(3)本文中的保温冒口模数扩大倍数 E 值的取值是保温冒口独立几何体的模数扩大倍数,因此小于一般资料中的 E 值,这就保证了冒口设计的安全性。

(4)由实例 1 和实例 2 可知,相同重量而不同模数及不同周界商的铸钢件,不仅对冒口的模数大小要求不同,而且对冒口的补缩

量要求也不同。

(5)本文所确立的保温冒口方程比传统的模数法工艺出品率可提高 5~10%,经济效益显著。

参考文献

- 1 铸造手册(铸造工艺)第五卷,北京,机械工业出版社,1994 年。
- 2 王济洲、周尧和:周界商法的实用性分析,铸造,1997, No. 6, P41~45。
- 3 朱华寅:铸钢件补缩工艺参数与冒口诺漠图解,铸造,1989, No. 3, P27~31。

(收稿日期 2000-08-28)