

# 铸铁件冒口设计新方法

孔令清 杨思成

西安理工大学材料工程系, 西安 710048

**摘要** 提出一种与铸铁件凝固特性相适应的冒口设计新方法, 可以充分利用石墨化膨胀, 防止收缩缺陷, 获得合理的铸件实收率。

**关键词** 铸铁件 冒口 设计方法 凝固

**中图法分类号** TG244.4

铸铁件现行冒口设计方法有多种。其中, 传统模数法及热节圆法, 是沿袭铸钢件冒口设计原理确定石墨铸铁件冒口, 不符合石墨铸铁件的凝固规律; 热传导法是在铸件平衡冷却、铸件和冒口颈散热速率相等、铸铁材质共晶温度为定值、铸件和铸型各种热物理参数不变等多种假设条件下计算冒口颈、估算冒口体, 这与实际情况也有一定距离。采用这些方法设计的冒口用于生产时, 铸件缩孔、缩松、实收率低等现象普遍存在。

本文提出一种以石墨铸铁件热节部位凝固时的收缩、膨胀规律为依据的冒口设计新方法。

采用本设计法提供的冒口生产石墨铸铁件时, 在铸件需要补缩的那段时间内, 冒口中的铁水可以顺畅地流入铸件, 一旦不需要补缩时, 冒口颈立即封闭, 可以较彻底地解决现行冒口生产铸件时存在的铸件补缩不足、铁水反喂冒口、铸件致密度差及实收率不合理等问题。

## 1 基本原理

在铸件凝固过程中, 在收缩占主导地位的时间内, 依靠冒口补缩; 在石墨化膨胀占主导地位的时间内, 依靠自身石墨化膨胀补缩。它的要点是, 以实测得到的铸件从浇注完毕至铸件热节部位膨胀压力开始持续高于 0.1 MPa 的时间, 即以铸件最佳补缩时间为依据确定冒口颈尺寸; 以材质碳当量和浇注温度确定的铸件体收缩率为依据, 得出冒口需要提供的补缩液体的体积; 再由冒口颈尺寸和补缩液体的体积设计冒口体尺寸。

## 2 设计方法

### 2.1 铸件最佳补缩时间的确定

铸件的补缩时间必须同铸件热节部位的凝固规律相适应, 这是补缩成败的关键。至于如何确定这一时间, 迄今为止, 尚无可靠的方法和精确的数据。

在本研究中, 铸件的最佳补缩时间, 是将测试触头插入铸件热节部位通过传感元件和记

录仪表实测得到的。图1是测得的典型膨胀力( $p$ )与时间( $\tau$ )的关系曲线示意图。其中 $p'$ 点的压力为0.1 MPa;  $0 \sim \tau_1$ 段为收缩阶段;  $\tau_1 \sim \tau_2$ 段为缓慢膨胀阶段;  $\tau_2 \sim \tau_3$ 段为爆炸性膨胀阶段。

在 $0 \sim \tau_1$ 段, 尽管有可能存在初始膨胀, 但液态收缩通常占居主导地位, 并有可能出现负压, 故此冒口颈必须畅通, 即铸件需要的补缩时间和冒口颈的凝固时间均不得小于此段, 否则, 铸件将因液态补缩不足而产生缩孔。

在 $\tau_1 \sim \tau_2$ 段, 石墨化膨胀已占主导地位, 故此冒口颈应该完全凝固, 并具有一定的固态强度, 否则, 将有一定量的铁水反馈冒口。另外, 因石墨化膨胀而引起的铸件胀大也常开始于此阶段。

在 $\tau_2 \sim \tau_3$ 段, 铸件热节部位的液体全部进入共晶凝固阶段, 大量石墨核心急速长大, 石墨化膨胀呈爆炸性趋势, 故此冒口颈和铸件外壳必须非常坚固, 否则, 将在冒口缩孔内及冒口根部等铸件表面薄弱环节处挤出铁豆, 并有可能使铸件进一步胀大, 而在铸件内部二次收缩时无法得到补偿。这是铸件设置了大冒口反而产生缩松缺陷的根源。

由以上分析可知, 将铸件补缩时间限定在 $\tau_1 \sim \tau_2$ 范围内, 均不会产生收缩缺陷。但考虑到在保证铸件质量的前提下, 冒口颈和冒口体应尽可能小, 即尽可能经济, 所以选择 $\tau_1$ 作为铸件最佳补缩时间是适宜的。对不同模数的铸件分别进行测定, 可以得到一系列这样的最佳时间点。

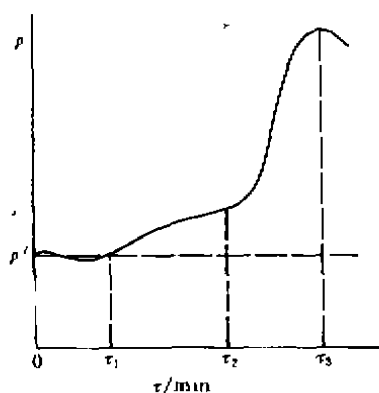


图1 膨胀力与时间关系曲线

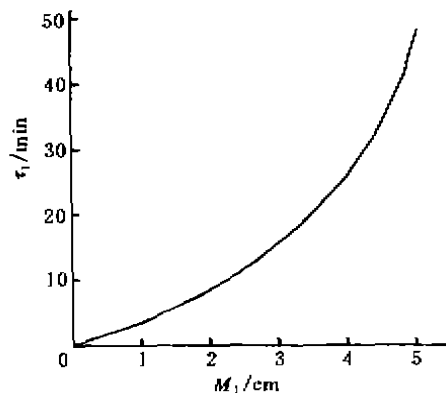


图2 最佳补缩时间与模数关系曲线

图2是铸件最佳补缩时间 $\tau_1$  (min)与铸件模数 $M_1$  (cm)的关系曲线。它是大量实测点的回归曲线, 两者之间遵从如下关系:

$$\tau_1 = K_1 M_1^2 \quad (1)$$

式中 $K_1$ 为铸件补缩系数( $\text{min}/\text{cm}^2$ ), 即回归曲线之斜率。对于材质成分为C(3.32~3.45)%, Si(1.61~1.86)%, Mn(0.74~0.81)%, CE=(3.88~3.97)%, 浇注温度为1320~1370℃, 湿型铸造的铸件 $K_1=1.81 \text{ min}/\text{cm}^2$ 。

铸件的最佳补缩时间可由图2或式(1)求得。

## 2.2 冒口颈尺寸的确定

由热传导方法导出的冒口颈的凝固时间 $\tau_2$  (min)和冒口颈模数 $M_2$  (cm)的关系如下:

$$\tau_2 = \frac{\pi}{4} \left\{ \frac{\rho_1 [L + C_1(t - t_s)]}{b_2(t_f - t_0)} \right\}^2 M_2^2 \quad (2)$$

式中,  $\rho_1$  为液态金属密度;  $L$  为结晶潜热;  $C_1$  为金属比热;  $t$  为浇注温度;  $t_s$  为固相线温度;  $b_2$  为铸型蓄热系数;  $t_f$  为铸件和铸型界面温度;  $t_0$  为铸型初始温度。令

$$K = \frac{\pi}{4} \left\{ \frac{\rho_1 [L + C_1(t - t_s)]}{b_2(t_f - t_0)} \right\}^2$$

则  $\tau_2 = KM_2^2$  (3)

可见,凝固系数  $K$  受到多种热物理参数的影响,而且这些参数在浇注和凝固过程中多为变数,因此精确计算几乎不可能,也无实际意义,生产实践中常由经验确定之。

在本研究中,凝固系数  $K$  是在上述同样材质成分、浇注温度和铸型条件下,根据实测结果得到的,其数值为  $K=4.62 \text{ min/cm}^2$ 。

欲使铸件在最佳补缩时间  $\tau_1$  内冒口颈畅通,之后立即封闭,必须使  $\tau_1 = \tau_2$ , 即

$$K_1 M_1^2 = KM_2^2$$

$$M_2 = \sqrt{\frac{K_1}{K}} M_1 \quad (4)$$

由式(4)求得冒口颈模数  $M_2$  后,根据冒口颈模数  $M_2 = (\text{冒口颈截面积})/(\text{冒口颈截面周长})$ , 可以确定任意形状的冒口颈尺寸。

例如,对于直径为  $d$  (cm) 的圆形冒口颈, 则

$$d = 4M_2 \quad (5)$$

图3为确定冒口颈直径的综合曲线图。图中  $M$  表示铸件模数或冒口颈模数;  $\tau$  表示铸件的最佳补缩时间或冒口颈凝固时间;  $d$  表示冒口颈直径;  $a$ 、 $b$ 、 $c$  依次为式(1)(3)(5)的关系曲线, 其中  $a$  及  $b$  两曲线是分别以  $K_1 = 1.81 \text{ min/cm}^2$ 、 $K = 4.62 \text{ min/cm}^2$  为例绘制的。

根据图3中箭头所示之方向,可方便地得到最佳冒口颈直径。从  $M$  轴开始,由已知铸件模数①向上引垂线交  $a$  于②,得到铸件最佳补缩时间;向左引水平线交  $b$  于③,得到冒口颈凝固时间;向下引垂线交  $M$  轴于④,得到冒口颈模数;交  $c$  于⑤后,再向左引水平线交  $d$  轴于⑥,得到铸件需要的冒口颈直径。

冒口颈的长度  $h$  (cm) 应适当长些,应使  $h \geq d$ , 如有可能,冒口颈最好水平放置,以尽可能排除冒口体和铸件对它的热干扰。

在冒口颈和铸件衔接处设置小的缩径并不影响补缩,但去除冒口却十分方便。

当调整材质成分、浇注温度、铸型刚度等工艺因素时,图3中  $a$ 、 $b$  两条曲线将分别变为

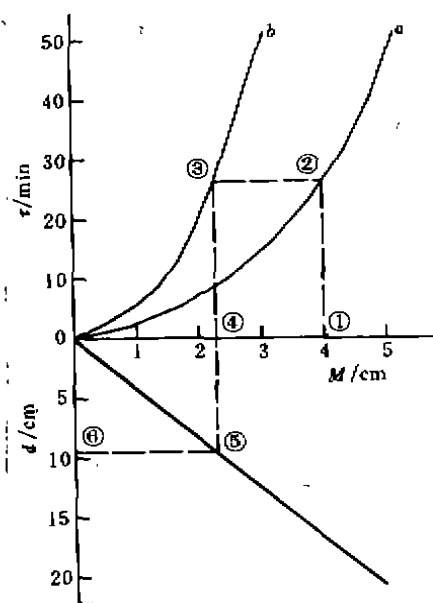


图3 确定冒口颈直径的综合曲线

曲线族, 同样可以直接确定冒口颈直径, 进而可以扩大应用范围。

### 2.3 冒口体尺寸的确定

图 4 为冒口结构示意图 (设冒口体和冒口颈均为圆柱体)。其中 1 为补缩阶段冒口的凝固层, 厚度为  $e$ ; 2 为补缩液; 3 为冒口颈, 其直径为  $d$ , 高为  $h$ ; 冒口体直径为  $D$ , 高为  $H$ 。

为了确保冒口的补缩能力, 冒口凝固层的凝固时间应等于冒口颈的凝固时间。根据模数法确定凝固时间的关系式  $\tau = KM^2$ , 则两者模数应相等。据式 (5) 知  $M_2 = d/4$ , 则凝固层的模数  $M_3 = d/4$ 。将凝固层视为单面散热的板, 则其厚度为

$$e = d/4 \quad (6)$$

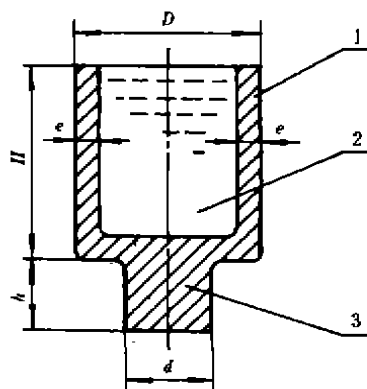


图 4 冒口结构示意图

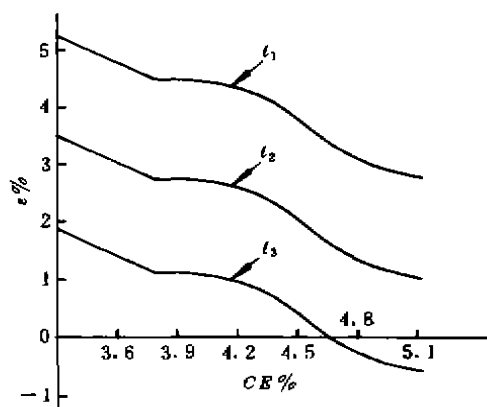


图 5  $CE(\%)$  及  $t(^{\circ}C)$  与  $\varepsilon(\%)$  关系曲线

设铸件补缩需要的液体体积为  $V$ , 则

$$V = \frac{G\varepsilon}{\gamma} \quad (7)$$

式中  $G$  为铸件重量 (kg), 作为已知条件;  $\gamma$  为铸件材质比重 (通常取  $0.007 \text{ kg/cm}^3$ );  $\varepsilon$  为铸件体收缩率 (%)。

图 5 是铸铁材质碳当量  $CE(\%)$ 、浇注温度  $t(^{\circ}C)$  与铸件体收缩率  $\varepsilon(\%)$  之间的关系曲线。图中  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$  依次对应浇注温度为  $1250^{\circ}C$ 、 $1350^{\circ}C$ 、 $1450^{\circ}C$  时的收缩曲线。图 5 是根据国内外大量常用灰铁、球铁材质配方, 考虑到液态收缩、凝固收缩、石墨化膨胀等各个方面, 经大量数据处理得到的。根据铸件材质碳当量及浇注温度, 可从图上直接查出  $\varepsilon$  值。上述特定温度以外的  $\varepsilon$  值, 均可由内插及外推法求得。

设冒口所能提供的补缩液体积为  $V'$ , 根据图 4 所示的几何关系, 则有

$$V' = \frac{\pi(D-2e)^2}{4}(H-e) \quad (8)$$

为了满足补缩要求, 必须使冒口与铸件供求平衡, 即  $V=V'$ , 于是得到

$$\frac{G\varepsilon}{\gamma} = \frac{\pi(D-2e)^2}{4}(H-e) \quad (9)$$

将式 (6) 代入式 (9), 则

$$\frac{G_2}{\gamma} = \frac{\pi(D - \frac{d}{2})^2}{4} (H - \frac{d}{2}) \quad (10)$$

化简后得

$$H = \frac{16G_2}{\pi\gamma(2D - d)^2} + \frac{D}{4} \quad (11)$$

通常冒口高度与直径按  $H=D$ 、 $H=1.5D$ 、 $H=2D$  选取。根据式(11), 按需要选定  $H$  与  $D$  的比例关系后, 即可求得冒口尺寸  $D$  和  $H$  值。

### 3 结 语

本文提出的铸铁件冒口设计方法, 是将浇注后补量作为冒口本身的收缩补偿及安全系数处理。各种石墨铸铁件的冒口设计均可采用这一方法。

本方法所确定的冒口可以是顶冒口, 也可以是侧冒口。铸件安放冒口处的模数应大于或等于冒口颈模数。如果两热节之间存在着模数小于冒口颈模数的壁, 则两热节应分设冒口。冒口的尺寸按铸件需要本冒口补缩的那部分设计。

本方法的主要优点是, 依据于铸件最佳补缩时间及由铸铁材质碳当量和浇注温度确定的铸件体收缩率, 可以方便地确定铸件最佳冒口颈及冒口体, 可以在保证铸件质量的前提下, 得到最合适的铸件实收率, 可以简化工艺设计程序及试生产过程, 提高劳动生产率。

### 参 考 文 献

- 1 朱平顺编译. 国外球墨铸铁浇冒系统概述. 国外铸造, 1975(1): 14~27
- 2 Ohno A. 铸造金属中等轴晶区形成的机理. 国外铸造, 1979(1): 19~27
- 3 Bates C E. Volumetric changes occurring during the freezing of hypereutectic ductile irons. AFS Research. 1979, 87: 79~64
- 4 Karsay S I. Gating and risering gray and ductile iron castings. Qitferet Titane INC, 1981
- 5 Hine R W. Riserling principlied to ductile iron casting made in green sand mould. Visconsin Madison-USA, 1979. 31