

铸铁件冒口设计

诸葛胜

铸铁冒口设计手册

一、概述

冒口是一个个储存金属液的空腔。其主要作用是在铸件成形过程中提供由于体积变化所需要补偿的金属液，以防止在铸件中出现的收缩类型缺陷（如图 1 和图 2 所示），而这些需要补偿的体积变化可能有：

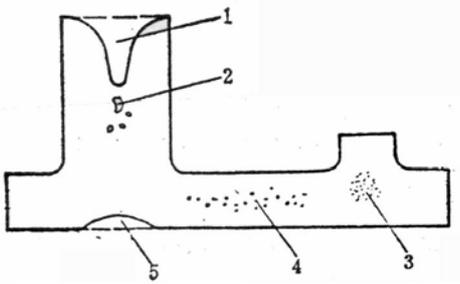


图 1 各种缩孔

1—一次缩孔 2—二次缩孔 3—缩松
4—显微缩松 5—缩陷（缩凹，外缩孔）

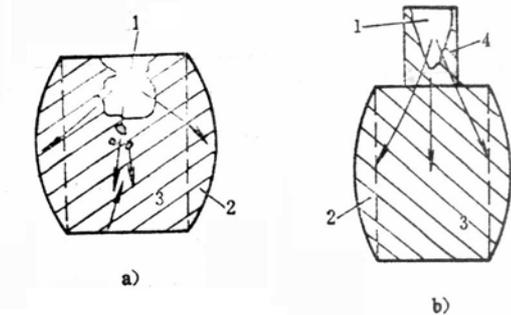


图 2 缩孔生产图 a) 和冒口的补缩图 b)

1—缩孔 2—型腔胀大 3—铸件(虚线以内)

- (1) 铸型的胀大
- (2) 金属的液态收缩
- (3) 金属的凝固收缩

补偿这些体积变化所需要的金属液量随着铸型和金属种类的不同而异。此外，冒口还有排气及浮渣和非金属夹杂物的作用。铸件制成后，冒口部分（残留在铸件上的凸块）将从铸件上除去。由此，在保证铸件质量要求的前提下，冒口应尽可能的小些，以节省金属液，提高铸件成品率。

由此冒口的补缩效率越高，冒口将越小，铸件成品率越高、越经济。FOSECO 公司的发热保温冒口具有高达 35% 的补缩效率；因而，具有极高的成品率和极其优越的经济性。在金属炉料价格飞涨的情况下，其优越性显得尤其突出。另外，高品质发热保温冒口，及其稳定可靠的产品质量是获得高品质铸件的重要手段和可靠的质量保证。

二、铸铁的特点

铸钢和铸铁都是铁碳合金，它们在凝固收缩过程中有共同之处（如凝固前期均析出初生奥氏体树枝晶，都存在着液态、凝固态和固态下的收缩），但也有不同的特点。其根本不同之处是铸铁在凝固后期有“奥氏体+石墨”的共晶转变，析出石墨而发生体积膨胀，从而可部分地或全部抵消凝固前期所发生的体积收缩，即，具备有“自补缩的能力”。因此在铸型刚性足够大时，铸铁件可以不设冒口或采用较小的冒口进行补缩。

灰铸铁在共晶转变过程中析出石墨，并在与枝晶间的液体直接接触的尖端优先长大，其石墨长大时所产生的体积膨胀直接作用在晶间液体上，进行“自补缩”。对于一般低牌号的灰铁铸件，因碳硅含量高，石墨化比较完全，其体积膨胀量足以补偿凝固时的体收缩，故不需要设置冒口，只放排气口。但对高牌号的灰铸铁件，因碳、硅含量较低，石墨化不完全，其产生的体积膨胀量不足以补偿铸件的液态和凝固体收缩，此时必须要设置冒口。

球墨铸铁在共晶转变时石墨的析出同样会产生体积膨胀，但是它产生缩松的倾向性却比灰铸铁大得多。因为球墨铸铁共晶团的石墨核心是在奥氏体包围下长大的，石墨球长大时所产生的体积膨胀要通过奥氏体的膨胀来发生作用，这个膨胀只有一小部分被传递到枝晶间的液体上，而大部分却是作用在相邻的共晶团或初生奥氏体骨架上，正因为如此，导致了球墨铸铁产生缩前膨胀的倾向比灰铸铁大得多。另外，球墨铸铁呈“糊状凝固”，在整个凝固期间它的外壳的坚实程度远远比不上灰铸铁，如果铸型刚性不够，会使石墨化产生的体积膨胀的大部了分消耗于外壳膨胀，结果枝晶间或共晶团之间的内部液体的液态收缩和凝固收缩得不到补偿；同时由于球墨铸铁凝固时析出的石墨共晶团细而多，即使使用冒田进行补缩，当冒口效率不高，保持液态时间不够长或压力不够大时，效果常不理想。因此设计球墨铸铁件冒口比灰铸铁件更具有重要的意义。

三、模数计算：

（一）模数的概念

在铸件材质、铸型性质和浇注条件确定之后，铸件的凝固时间主要决定于铸件的结构形状和尺寸。而千差万别的铸件形体，对凝固时间的影响主要表现在铸件的体积和表面积的关系上。铸件体积愈大，则金属液愈多，它所包含的热量也愈多，凝固时

间就长。铸件体积相等，液体金属的重量及所含的热量就相等，如果铸件的结构不一样，则散热表面积就不相等。显然，表面积愈大，散热就愈快，凝固时间愈短；反之，表面积愈小，凝固时间就愈长。

为了反映铸件体积和表面积对凝固时间的影响，引用了模数的概念，其数学表达式为：

$$M(\text{模数}) = \frac{V(\text{体积})}{A(\text{冷却表面积})} (\text{厘米}) \quad (1)$$

用各种形状、重量和用途不相同的铸钢件进行试验发现，不管铸件形状如何，只要它们的模数相等，其凝固时间就相等或相近。铸件的模数和凝固时间 τ 之间的关系服从平方根定律

$$\tau = kM^2 \quad (2)$$

式中 k ——凝固系数，与铸件金属、铸型的热物理性能、铸件形状、浇注温度等有关。

(二) 模数法计算冒口的原理

为了实现补缩，冒口与铸件上被补缩部位之间必须存在补缩通道，同时它必须满足下面两个基本条件：

1. 冒口凝固时间应大于，至少等于铸件（或铸件被补缩部分）的凝固时间。

即

$$\tau_{\text{冒}} \geq \tau_{\text{件}}$$

或

$$k_{\text{冒}} M_{\text{冒}}^2 \geq k_{\text{件}} M_{\text{件}}^2$$

式中 $\tau_{\text{冒}}$ 、 $\tau_{\text{件}}$ ——分别为冒口和铸件（或铸件被补缩部分）的凝固时间

$M_{\text{冒}}$ 、 $M_{\text{件}}$ ——分别为冒口和铸件（或铸件被补缩部分）的模数

$K_{\text{冒}}$ 、 $K_{\text{件}}$ ——分别为冒口和铸件的凝固系数，当用普通冒口时， $k_{\text{冒}} \approx k_{\text{件}}$

由此得

$$M_{\text{冒}} \geq M_{\text{件}} \quad (3)$$

实际上计算冒口时并不需要计算冒口和铸件的绝对凝固时间，而只要求出它们的模数，就可知相对凝固时间的长短。当满足 $M_{\text{冒}} \geq M_{\text{件}}$ 时，冒口就比铸件凝固晚。

(三) 铸件模数的计算

任何复杂的铸件，均可看成是由许多简单的几何体（板、杆、圆柱体等）组合而成。只要掌握一些简单几何体、组合体的模数计算公式，就不必用繁琐的公式去计算铸件的体积和表面积。简单几何体的模数计算公式如下图所示：

(四) 模数放大系数

采用中福的保温发热冒口套的目的是减慢冒口表面的散热速度，甚至是加热冒口套内的金属液。这样，通过改善冒口的散热条件，提高冒口的补缩效率，减小冒口的尺寸。

如前所述，冒口的凝固时间可表示为：

$$\tau_F = kM_F^2 \quad (4)$$

式中，常数 k 可分成两部分：

围住整个冒口的铸型材料的热学性能：

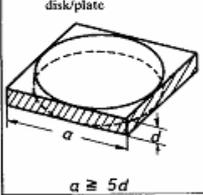
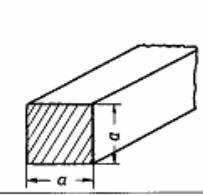
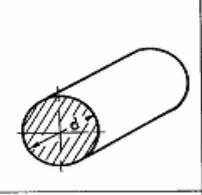
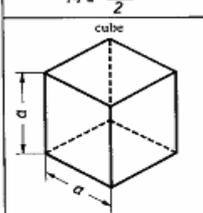
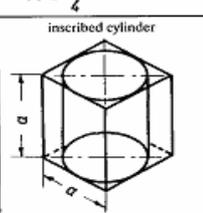
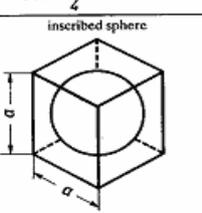
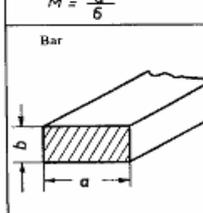
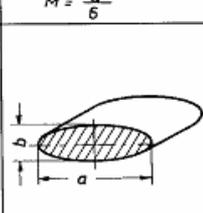
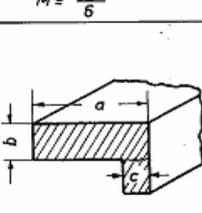
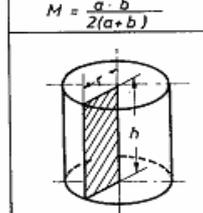
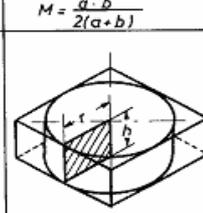
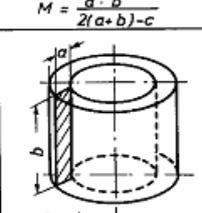
冒口内金属的性能。

因此， k 可还原为其两个组成单元的物理性能参数的乘积，即：

$$k = cf^2 \quad (5)$$

图 3 基本几何体的模数计算

Table I (Modulus Formula)

 <p>$a \geq 5d$</p> <p>$M = \frac{a}{2}$</p>	 <p>$M = \frac{a}{4}$</p>	 <p>$M = \frac{d}{4}$</p>
 <p>$M = \frac{a}{6}$</p>	 <p>$M = \frac{a}{6}$</p>	 <p>$M = \frac{a}{6}$</p>
 <p>$M = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$</p>	 <p>$M = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$</p>	 <p>$M = \frac{a \cdot b}{2(a+b)-c}$</p>
 <p>$M = \frac{r \cdot h}{2(r+h)}$</p>	 <p>$M = \frac{r \cdot h}{2(r+h)}$</p>	 <p>Annulus</p> <p>$M = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$</p>

式中 C ——常数，取决于所铸造金属的性能；

f^2 ——常数，取决于铸型材料性能。

常数 f^2 表示为平方形式，仅仅是为了数学上的方便。

因此式 (4) 可改写成：

$$\tau_f = C(fM_f)^2 \quad (6)$$

式 (6) 中 fM_f 称为视在模数， f 称为围住冒口全部面积的铸型材料的模数扩大系数 MEF 。

MEF 提供了评价和比较不同冒口套的手段，冒口套应设计成具有最大的 MEF ，并且要具有获得合格铸件所需的其它一切要求。铸造工作者通常并不关心这个系数的绝对值，而是将砂型冒口的值设定为 1，把它作为评价各种冒口套材料的基础。FOSECO 的 Kalminex 系列的冒口套的 MEF 高达 1.4 以上，也就是说 FOSECO 的保温发热冒口套与其它冒口相比较有相当长的凝固时间，能保证冒口迟于铸件凝固，充

分发挥冒口之补缩功能。比其它种类的冒口更有利于获得致密铸件。

(五) 冒口模数的计算

一般来说，铸造工作者确定冒口尺寸的目的，并不是想要计算冒口和铸件的绝对凝固时间，而只是希望冒口的凝固时间比铸件的凝固时间长出很长的一段时间，因此在计算得到铸件截面的模数后，相应冒口模数应比铸件截面模数放大一定倍数，通常对于各种合金材料，此放大倍数为 1.2 倍，

$$\text{即： } M_f = 1.2M_c$$

但对于铸铁，由于在凝固期间存在着石墨相的膨胀，所以可显著减少安全系数。但不同成分的铸铁、不同的浇注温度下，石墨的膨胀量是不同的，因此对冒口模数的放大系数也存在着差别。

在这类合金的凝固过程中发生的石墨膨胀，意味着灰铸铁和球墨铸铁件在存在有液体金属的全过程中并不是始终处于收缩的。收缩时间（ST）仅占全部凝固时间的一部分。这部分时间表示成总凝固时间的百分数，可由如下 VDG 图的中图和左图确定。该图的使用方法如下：

用已知的含碳量，沿平行于碳线的方向移动到与相应的（Si+P）含量相交的点 A；画一条铅垂线使之与铸件模数线相交于点 B；由 B 点向左引一条水平线，与表示铸铁在型中估计温度的线相交于 D；读出收缩时间（ST）占总凝固时间的百分数。

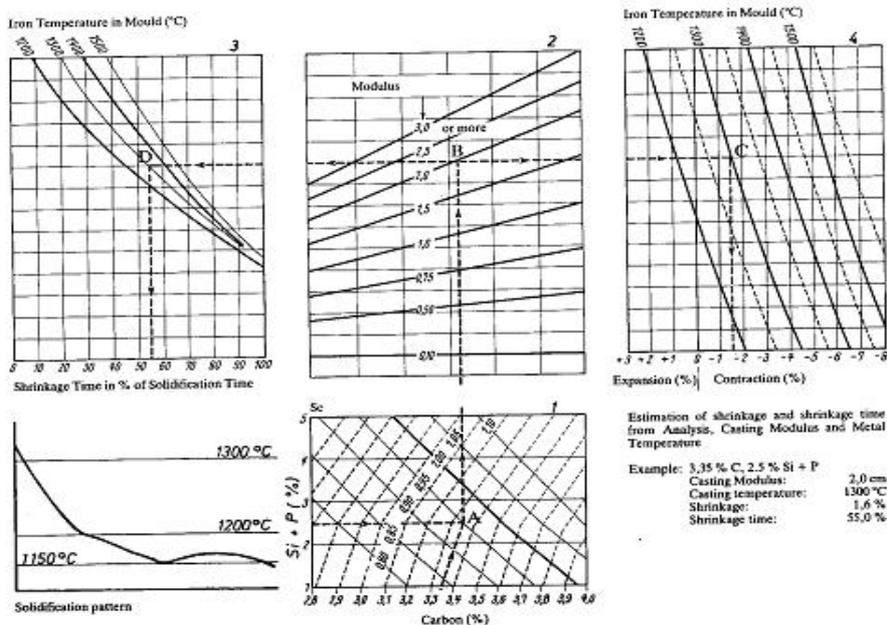


图 4 VDG 数据表

有效冒口模数由下式确定：

$$M_f = M_c \times 1.2 \sqrt{ST/100}$$

由上式确定冒口的模数，然后查中福保温发热冒口样本选定冒口。

四、补缩液量校核

上述计算所获得的冒口尺寸符合冒口模数的要求，但它并不总是能满足对铸件截面总的补缩金属量的需要。对此要自始至终进行验算，如果发现冒口所含的补缩金属量不足，则必须加大冒口的尺寸。一般情况下，同时增大冒口直径和高度。

在考虑冒口的补缩液量时，下列数据是必须要考虑的：

(1) 满足模数要求的冒口所能提供的补缩金属的百分数（ $\eta\%$ ），即补缩效率。一般情况下，其值为：

中福冒口套：33~35%

普通砂冒口：6~8%

(2) 被铸合金的收缩率，由上图中的右图确定，由 B 点画一条水平线与型内金属温度线相交（该温度须由浇注温度来估算，通常低于浇注温度 50°C ）。大水平轴上读出表示成百分率的膨胀率或收缩率（ ζ ）。由此应用下面公式，可以计算出补缩该截面铸件所需的冒口重量。

$$W_f = \frac{W_c}{\frac{\eta}{\zeta} - 1}$$

其中： W_f ：冒口重量

W_c ：所需补缩区域的铸件重量

η ：冒口补缩效率（中福冒口取 33%）

ζ ：金属液的体收缩率

如果实际选用冒口重量大于所需值，则补缩液量足够，否则，需要进一步放大冒口。

五、有效补缩距离

1、灰铸铁件的有效补缩距离

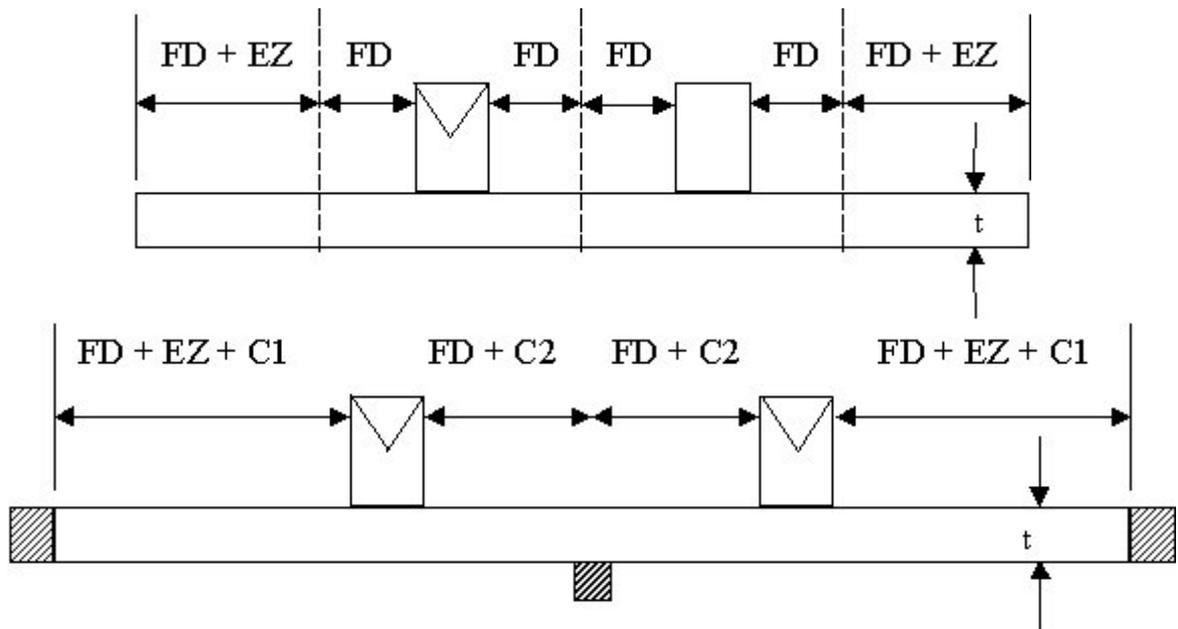
铸铁的共晶度不同，其凝固方式也不同。一般亚共晶灰铸铁属于中间凝固方式，而共晶灰铸铁则接近于层状凝固方式。灰铸铁凝固时石墨化膨胀可以抵消一部分或全部凝固时的体收缩，因此，冒口要用来补给液态收缩。

2、球墨铸铁件冒口的有效补缩距离

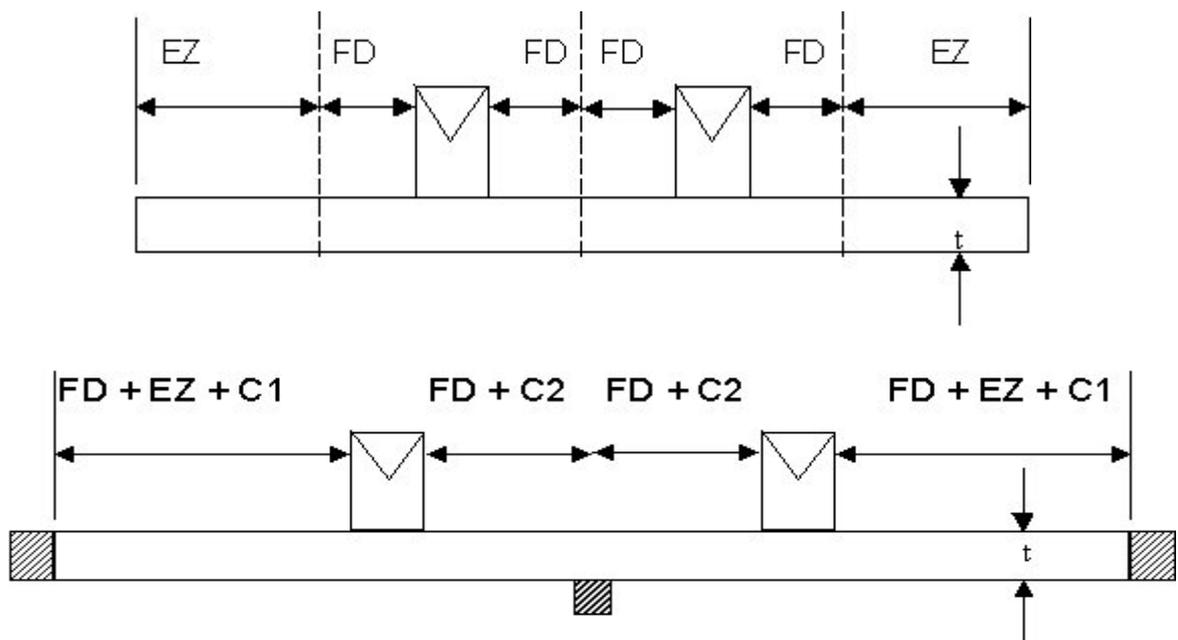
球墨铸铁一般呈“糊状凝固”，冒口的补缩通道会较早地受到析出的共晶团或共晶集团的阻碍，这不利于铸件的补缩，容易出现缩松。因而，球墨铸铁冒口的有效补缩距离较灰铸铁小。

对于冒口的有效补缩距离，我们通常将冒口的补缩区域分为冒口区 FD ，末端区 EZ ，冷铁影响区 C ，对于不同的板件或杆件，可表示为如下形式：

板件：



杆件：



这有效补缩距离 FOSECO 国际公司使用成分为：C.E.=4.3%，在砂型 B 型硬度为 90 度的粘土砂型中进行测定：

灰铸件

杆件 (宽度 = 厚度)

厚度 t (cm)	FD+ EZ	FD+ EZ+ C1	FD	FD+ C2
1	27	30	24	27
2	53	76	47	53
3	71	80	63	71
4	79	90	67	79
5	81	96	67	81
6	89	106	71	89
7	103	123	83	103
8	119	141	96	119
9	133	159	107	133
10	149	177	120	149
11	163	194	131	163
12	177	211	143	177

板件(宽度=5 倍厚度)

厚度 t (cm)	FD+ EZ	FD+ EZ+ C1	FD	FD+ C2
1	27	30	24	27
2	44	50	39	44
3	49	57	40	49
4	59	70	47	59
5	74	89	60	74
6	89	106	71	89
7	103	123	83	103
8	119	141	96	119
9	133	159	107	133
10	149	177	120	149
11	163	194	131	163
12	177	211	143	177

如果碳当量降低至 3.0~3.2,建议将冒口区 FD 减小 30%。

球墨铸铁

杆件(宽度=厚度)

厚度 t (cm)	FD+ EZ	FD+ EZ+ C1	FD	FD+ C2
1	19	21	17	19
2	37	41	33	37
3	50	56	44	50
4	55	63	47	55
5	57	67	47	57
6	62	74	50	62
7	72	86	58	72
8	83	99	67	83
9	93	111	75	93
10	104	124	84	104
11	114	136	92	114
12	124	148	100	124

板件(宽度=5 倍厚度)

厚度 t (cm)	FD+ EZ	FD+ EZ+ C1	FD	FD+ C2
1	19	21	17	19
2	31	35	27	31
3	34	40	28	34
4	41	49	33	41
5	52	62	42	52
6	62	74	50	62
7	72	86	58	72
8	83	99	67	83
9	93	111	75	93
10	104	124	84	104
11	114	136	92	114
12	124	148	100	124

如果碳当量降低至 3.6 以下，建议将冒口区 FD 减小 12%。

使用上述原则进行有效补缩距离的计算能使铸造厂：

- 减少冒口数量而提高工艺出品率
- 减少打磨面积，即使使用缩颈冒口也是如此。
- 进一步使用发热剂能使用冒口重量最小化，
- 使用冷铁能使有效补缩距离增加一倍。
- 提高表面质量，减少回炉料。

七、冒口颈计算

冒口颈对于铸铁件来说非常重要，并且也是一个相当复杂的处理过程。冒口颈在生产中通常会经过很多次调整，这是因为影响冒口颈的因素很多，因此在考虑了铸件结构等方面后仔细设计冒口颈能有效地提高铸件质量，减少废品。

冒口通常可能会下如下情形：

- 单个冒口颈的冷冒口
- 单个冒口颈的热冒口
- 多个冒口颈的冷冒口
- 多个冒口颈的热冒口
- 具有易割片的顶冒口
- 用作边冒口的直接浇注系统
- 在砂芯中间或铸件内腔的冒口

（一）边冒口的冒口颈

通常边冒口颈设计有“V”型的凹槽以利于敲掉，这种形式导致“V”型楔中的砂过热，同暗冒口中的气压泥芯一样。这样该冒口颈的模数因为此边缘的砂（芯）过热而被扩大。

以下因素影响冒口颈的尺寸：

1. 冒口颈的长度
2. 铸件的几何形状
3. 铸型硬度
4. 铸件模数
5. 热冒口还是冷冒口
6. 每个冒口补缩的铸件重量或铸件数量（多个冒口颈）

上述这些因素决定了很难一下得到冒口颈的正确尺寸。

通过对上述因素的仔细分析，我们可以一开始就获得冒口颈的正确尺寸，并且减少冒口颈处出现的缺陷。通过实践我们发现冒口颈的模数通常为铸件模数的0.4~0.8倍，当是冷冒口时，冒口颈的模数应为最大值（0.8倍），当具有三个以上冒口颈并且是热冒口时（如Foseco的Kalpur）时冒口颈模数取最小值（0.4倍）。冒口颈的模数与冒口是否是发热保温冒口无关。

(二) 冒口颈模数的选取原则

在计算时，我们可以根据铸件的结构设想有如下的情形：

A. 0.4~0.5 倍铸件模数

具有多个冒口颈（3 个以上）的热冒口或者 Kalpur，无论铸件是分布在砂箱中如何布置（图 5）

冒口设置在砂芯中，冒口和铸件中的砂层厚度为 10 ~ 15 mm. (如大部分的 Hub 铸件)（图 6）

冒口和铸件间砂层厚度（上半箱）在 15~20mm. (图 7)并且是具有多个冒口颈（多于 1 个）的热冒口。

用于硬模并且铸件模数大于 18mm 的热冒口。

铸型的硬度为 85 度以上（B 型硬度计），具有所有上述的结构特点。

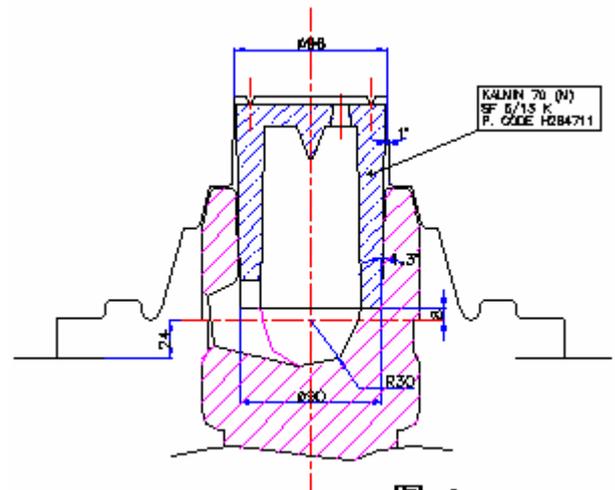
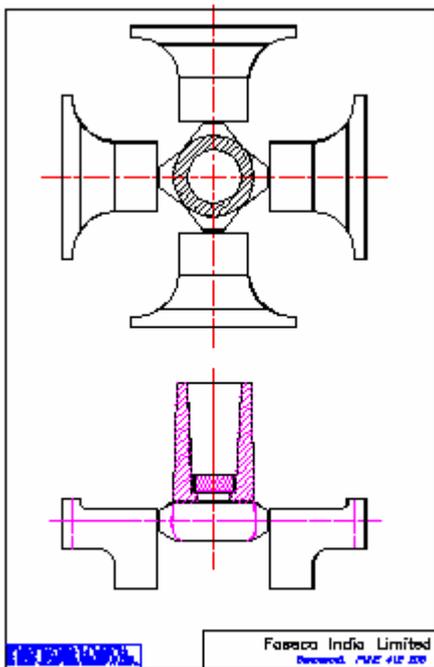


图 6

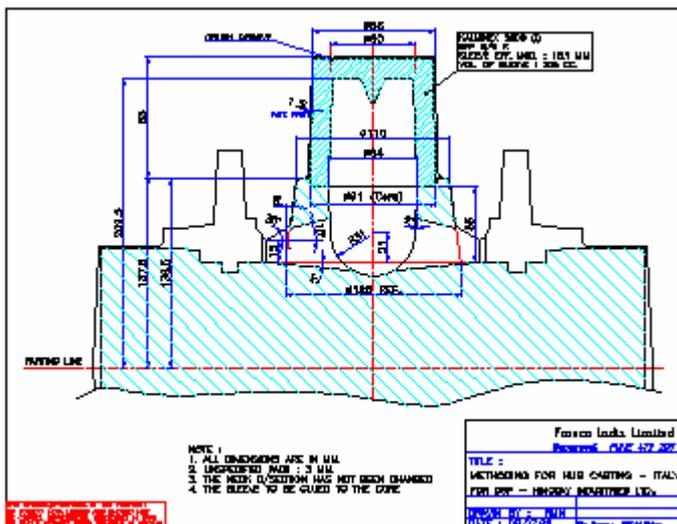


图 7

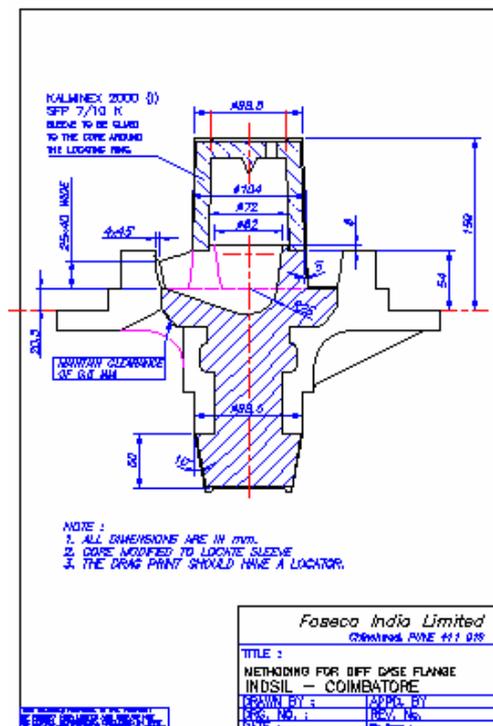


图 8

B. 0.5~0.6倍铸件模数

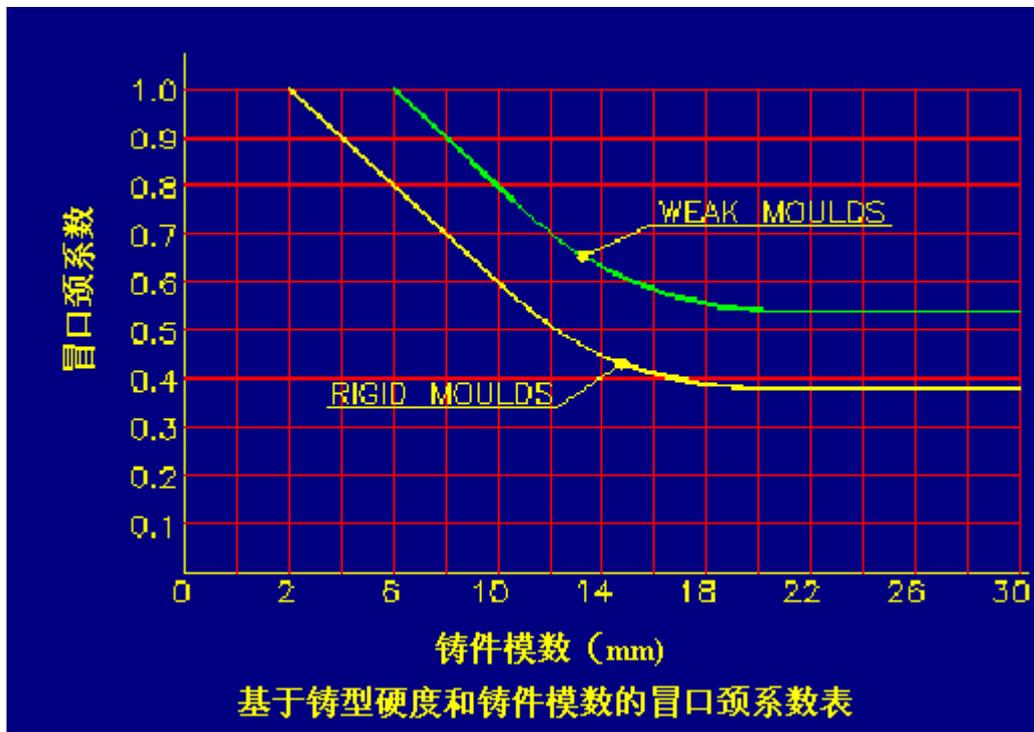
- 单个冒口颈的热冒口或Kalpur
- 冒口在铸件中间，但是其中有一部分冒口颈是由粘土砂形成 (图 8)
- 冒口与铸件间的吃砂量20~30mm.
- 铸型的硬度为85度以上 (B型硬度计)，具有所有上述的结构特点.

C. 0.6~0.8倍铸件模数-

- 冷冒口。
- 铸件模数小于6 mm。
- 冒口颈长度大于30 mm。
- 较软的砂型。

基于铸件模数和铸型类型的冒口颈模数计算

如上所述，冒口颈的模数系数取决于很多参数，前面例子对于选择合理的冒口颈提供了一些指导，有研究确定的图表，用铸型硬度和铸件模数来联合选定冒口颈模数系数。图表也显示了当为硬模，铸件模数大于16mm时，冒口颈模数系数最小为0.4。随着铸件模数的减小，冒口颈模数系数增大，这我们的实践经验相一致。



小结

在铸造上，没有一条科学的、明确的方法来确定冒口颈的尺寸，由于它受上述诸多因素的影响，需要我们在设计时对所有因素进行一个综合的、全面的、合理的分析。

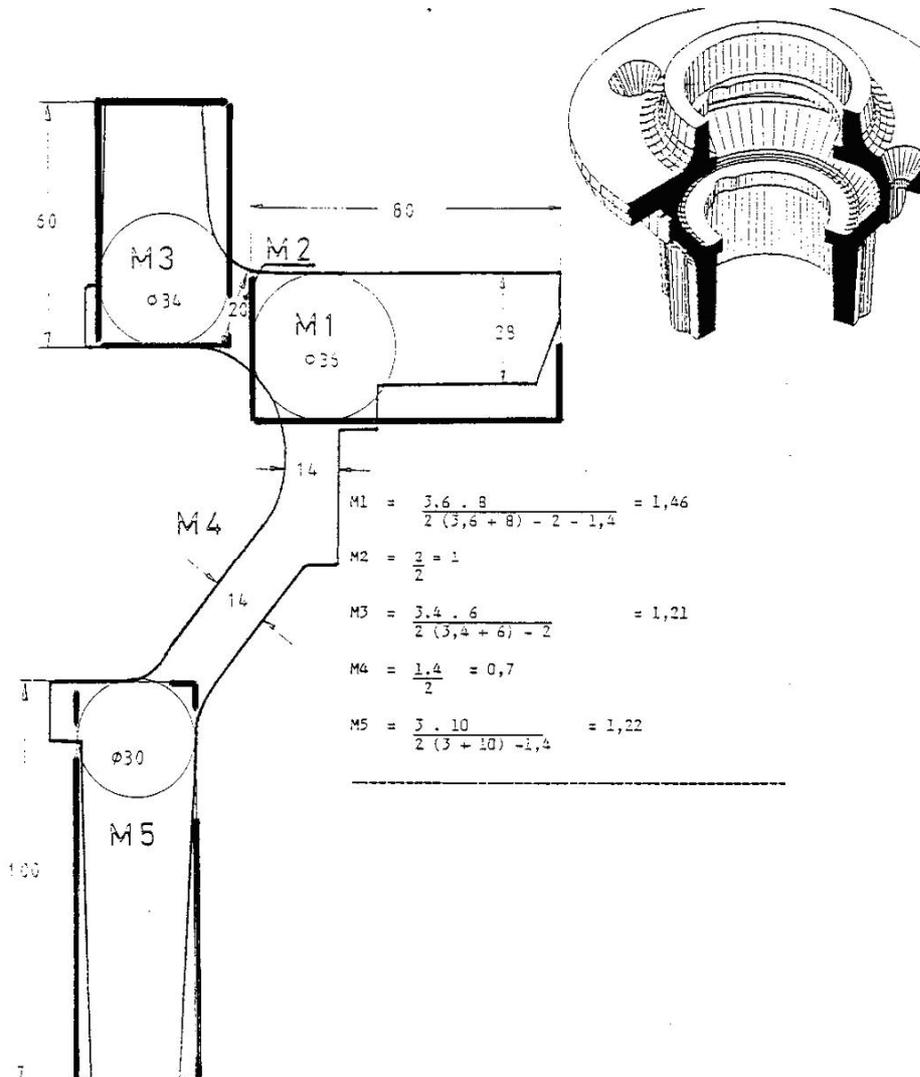
实践经验表明，大多数热边冒口，它的冒口颈模数系数在 0.55~0.65。

无论何种原则，均需要通过实践试验之后再固定冒口颈尺寸。

一旦冒口颈被 500~1000 件铸件所证实是正确的，不管铸件有何问题，均不应更改冒口颈，问题的原因应是不同的。

八、实例：

如下图所示的 Hub 铸件，对此件进行冒口设计，我们需要做一些假设，例如：我们假想存在着一个包含了加工余量和收缩率的实际模样。我们也假设在炉料、熔炼、孕育等方面与下面计算相关的因素均有很好的了解。



第一步：计算断面的模数

对此我们运用图 3 中的基本公式。

如下图中所示的计算，各断面的模数为：

1. 1.46 cm

2. 1.00 cm

3. 1.21 cm

4. 0.70 cm

5. 1.22 cm

据此结果，很明显我们必须补缩模数最大的断面，但这是球墨铸铁件，我们还必须考虑凝固初期的石墨化膨胀。对此，运用在欧洲出版的 VDG 数据表（即图 4）得：

ST=75%

所以 1.46cm 模数将减小为：

$$M_{c1} = 1.46 \times \sqrt{ST} = 1.46 \times \sqrt{\frac{75}{100}} = 1.26 \text{cm}$$

断面的新模数 Mc1 放大 20% 得到所需冒口模数：

冒口模数 = 1.52 cm

依据模数在冒口规格中可选用 5/8K。

第二步：补缩液量

在右边的图中使用同样的浇注温度（也可用浇入铸型时更精确的温度）可以得到初始的液态收缩率。

可以得到在 1385℃ 时，收缩率为 4%。

铸件所需补缩断面的重量为 21.5Kg；

发热冒口的补缩效率为 33~35%，取 33% 得：

$$W_f = \frac{21.5}{\frac{0.33}{0.04} - 1} = 2.96 \text{Kg}$$

5/8K 冒口的重量为：1Kg。

因此从补缩液量考虑可选用 3 只 5/8K 或 2 只 6/9K 或一只 8/11K 冒口。

第三步：有效补缩距离

查有关有效补缩距离的表得：对此球铁件，M1 部位可看视杆件，有效补缩距离为

50cm。

而此件 M1 处中心周长 L 为 280mm，

因此：

(1) 若用 1 只 8/11K 时只有 2FD；

此时补缩距离为：冒口直径 $102+2FD=202<L$ ，故有效补缩距离不够。

(2) 2 只 6/9K 冒口，具有 4FD；

此时补缩距离为：冒口直径 $80+4FD=280=L$ ，故有效补缩距离刚好。

(3) 3 只 5/8K 冒口，具有 6FD。

此时补缩距离为：冒口直径 $73.5+6FD=373.5>L$ ，故有效补缩距离足够。

由上述可见，该件选用 2 只 6/9K 冒口较为合适。

第四步：冒口颈

很明显该件采用边冒口，因此存在冒口颈的问题，根据冒口颈的选取原则，在此可选用 0.6 倍铸件模数，即：

$$M_N = 0.6 \times M_{cl} = 0.6 \times 1.26 = 0.756cm$$

根据此模数，利用 $M = \frac{ab}{2(a+b)}$ 则极易得出冒口颈的尺寸。

九、其它因素对冒口的影响

很明显，除了铸件的模数、浇注温度等对冒口的设计有影响，除此之外还有其它一些因素对此也有一定的影响，其中有：

1、化学成分

铸铁的化学对金属液的收缩情况存在着很大的影响，因为 CE 的不同会导致石墨化膨胀量的不同，从而影响冒口。这一点在 VDG 图中也进行了考虑。

2、熔炼方式及炉料

当使用废钢来熔炼，用增碳的方式来调整含碳量，与用冲天炉熔炼，合金的收缩率是不同的，用冲天炉炼的铁水体收缩率要小。

3、孕育处理

孕育处理的不同，对此也有影响，如使用 Inoculin 440 进行孕育，它能使铁水中共晶团数量增多，细化共晶团，由此而导致收缩减小，需补缩的量也减小，可以用小冒口。

4、铸型

当铸型钢性足够高时，它能充分阻挡石墨化膨胀，使石墨膨胀的作用全发生在型腔内，能充分发挥铸铁的自补缩功能，就能做到用小冒口或不用冒口（如铁模覆砂工艺）。

而当铸型强度不高时，在金属液的压力下，有可能会产生型壁移动，也就是增大了型腔，导致需补缩量加大，而要用更大的冒口。