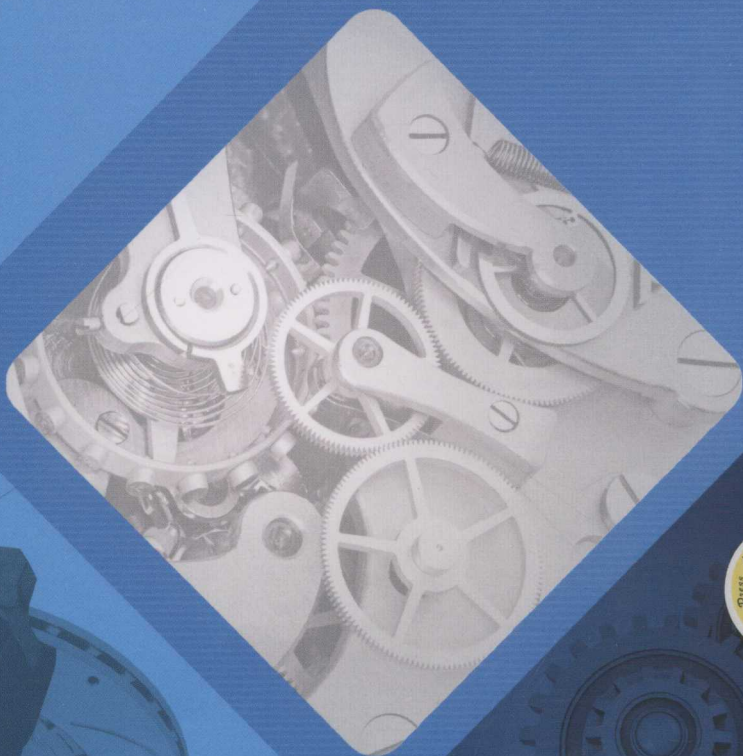


铸铁轮类件 铸造精确成形

单忠德 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

铸铁轮类件铸造 精确成形

单忠德 编著



机械工业出版社

本书以铸铁件的补缩理论,包括顺序凝固与同时凝固理论、S. I. Karsay 观点、R. Wlodawer 观点、John Compbell 观点及均衡凝固有限补缩理论为基础,采用统计研究的方法,以 21 个省市 78 家工厂铸铁轮类件生产实践为依据,充分利用生产厂家的大量数据信息及成功经验,总结归纳铸铁轮类件的工艺设计原则及设计方法。本书在收集一些厂家成功生产经验的基础上,分析、总结出铸铁轮类件工艺设计基本原则,归纳出 7 类典型工艺。在统计研究的基础上,推荐用收缩模数法和分段比例法设计冒口,用大孔出流理论设计浇口,从而实现铸铁轮类件的精确成型和质量控制。

本书所述内容对铸造生产一线的工程技术人员、院所高校的科研人员有很好的指导和借鉴作用。

图书在版编目 (CIP) 数据

铸铁轮类件铸造精确成形/单忠德编著. —北京:机械工业出版社, 2014. 2

ISBN 978 - 7 - 111 - 45460 - 1

I. ①铸… II. ①单… III. ①铸铁件—铸造—成型 IV. ①TG25

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 011169 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:季顺利 责任编辑:庞 晖 吕 芳

版式设计:霍永明 责任校对:潘 蕊

封面设计:陈 沛 责任印制:李 洋

三河市国英印务有限公司印刷

2014 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 9.75 印张 · 179 千字

0001—2000 册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 45460 - 1

定价:36.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

策划编辑电话:(010) 88379778

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010) 88379203

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

序

铸造是铸、锻、焊、机加工四大主体成形技术之一。轮类铸铁件是一类典型铸件，它由轮缘、轮辐、轮毂基本结构和孔槽、凸台等辅助结构组成。轮缘、轮毂较厚，轮辐较薄。在铸造过程中，轮缘、轮毂两个热节带容易形成缩孔、疏松，轮辐处易产生裂纹缺陷。飞轮、齿轮、带轮、链轮等结构虽大同小异，但铸件材质、轮廓和截面尺寸、重量及热节大小又各不相同，同样的材质，不同的重量，有不同的工艺；同样的重量，不同的热节分布，工艺也不相同。所以轮类铸铁件虽然结构相似，但工艺设计讲究，灵活多变。说一个铸件一个工艺，一点也不为过。

该书以国内 21 省市、78 家铸造企业轮类铸铁件实际铸造工艺为研究素材，采用统计研究方法，归纳总结出轮类铸铁件的典型铸造工艺，并结合均衡凝固技术和大孔出流理论，提出了轮类铸铁件铸造工艺设计原则和设计方法，列举了典型轮类铸铁件浇冒口系统设计的成功案例。书中技术内容实践性强，适用面宽，在一定程度上反映了我国轮类铸铁件铸造工艺设计水平。很显然，书中所概括的典型铸造工艺和设计原则并非被认定为标准工艺，它只是在铸造生产中应用较多的工艺或相对先进的工艺，其对轮类铸铁件的生产无疑具有良好的参考价值。

本书内容翔实，注重实践环节，兼有理论分析，可供高校院所材料成型专业师生和铸造技术人员参考。希望该书对读者有所启发，有利于其提高能力，为提升铸件质量、降低废品率发挥积极作用。

西安理工大学 魏兵 教授

2014 年 3 月 16 日于西安

前言

铸铁轮类件属于回转体，广泛应用于建筑、纺织、矿山、造纸、油田、水力、发电、机床、拖拉机、汽车等行业，常见铸铁轮类件主要有齿轮、飞轮、带轮和蜗轮等，轮类件的结构可分为轮缘、轮毂和轮辐三部分。轮缘的外表面和上、下面及轮毂的内孔和上、下面通常进行机械加工，加工后要保证组织致密，要防止轮缘与轮辐、轮毂与轮辐交接热节处形成缩孔、缩松缺陷。

铸铁件的补缩理论有顺序凝固与同时凝固理论、S. I. Karsay 观点、R. Wlodawer 观点、John Campbell 观点及均衡凝固有限补缩理论，都在不同程度上指导着铸铁轮类件铸造工艺设计，为此轮类件工艺及浇冒口形式多种多样。有些厂家生产轮类件不用冒口，有些厂家用大冒口，有些厂家用小冒口、有限冒口。同一个工厂内，有些件可不用冒口，有时为获得致密件还必须用冒口，甚至是较大的冒口，有时即使铸件化学成分及生产工艺无明显变动，铸铁也会突然出现缩孔。在工艺布置中，冒口有时设置在轮缘上，有时设置在轮毂处；轮缘上的冒口有的设置在热节处，有的离开热节；铁液引入方向有切向、径向、直向和轴向；引入位置有轮缘、轮毂和轮辐。浇注方式有顶注、底注、中注等。同一轮类件、同一结构，工艺又有差别。现有技术的突出特点是：一个人一个工艺，一个件一个工艺，一个厂一个工艺，作为一种技术，缺少技术本身所具有的覆盖性、延续性、继承性和完善性。一个反复调试稳定下来的工艺，往往是设计者本人也预料不到的，而且这种工艺也往往不能推广到其他的类似铸件上；不同设计者所负责的工艺，彼此之间的经验是不尽相同的，甚至是完全相反的；曾经检验过的工艺，一旦铸件结构调整或其他生产条件变化，又会不稳定起来，反复调试又会延长生产周期，同时伴随着相当大的人力、物力消耗。所有这些都表明，对于铸铁轮类件的浇口充填和冒口补缩技术有必要进行深入的研究。

本书采用统计研究的方法，以 21 个省市 78 家工厂铸铁轮类件生产实践为依据，充分利用生产厂家的大量数据信息及成功经验，总结归纳铸铁轮类件的工艺设计原则及设计方法。这样一是可以缩短研究成果与实际生产的距离，二是可以克服仅依靠实验室内有限试验的局限性。例如，对某一类轮类件，不同尺寸、不同材质、不同结构、不同质量、不同模数的工艺反复试

验,也只能得出此类轮类件的较好工艺,并以昂贵的试验成本为代价。因此,研究直接采用生产中的铸铁轮类件工艺,这些工艺都是生产中使用的,每一种工艺都可以看做是一次试验的工艺方案,用统计研究的方法找出铸铁轮类件工艺的共同规律及不同大小、不同结构轮类件的工艺特点。通过对铸铁轮类件工艺的研究,为铸造生产中其他典型件的工艺研究提供一种新方法、新思路。

本书在收集一些厂家成功生产经验的基础上,分析、总结出铸铁轮类件工艺设计基本原则,归纳出7类典型工艺。在统计研究的基础上,推荐用收缩模数法和分段比例法设计冒口,用大孔出流理论设计浇口,从而实现铸铁轮类件的精确成形和质量控制。

目 录

序

前言

第 1 章 铸铁件补缩与铸铁轮类件工艺概述	1
1.1 铸铁件补缩理论与工艺设计原则	1
1.1.1 顺序凝固与同时凝固理论	1
1.1.2 S. I. Karsay 观点	1
1.1.3 R. Wlodawer 观点	2
1.1.4 John Campbell 观点	2
1.1.5 均衡凝固有限补缩理论	3
1.2 铸铁轮类件	4
1.2.1 轮类件结构分析	4
1.2.2 铸铁轮类件的技术要求	5
1.2.3 铸铁轮类件的常见缺陷	5
1.3 铸铁轮类件补缩工艺的多样化	5
1.3.1 顺序凝固大冒口工艺	5
1.3.2 无冒口工艺	5
1.3.3 压力冒口、有限冒口工艺	7
1.3.4 冷颈冒口	9
第 2 章 铸铁轮类件工艺统计研究	11
2.1 工艺统计	11
2.2 工艺统计概况	11
2.3 工艺类型统计	12
第 3 章 铸铁轮类件冒口补缩统计	14
3.1 铸铁轮类件热节圆、模数计算	14
3.1.1 热节分析与计算	14
3.1.2 模数计算	18
3.2 收缩模数法和分段比例法设计冒口	21
3.2.1 模数法	21

3.2.2 收缩模数法	21
3.2.3 比例法	23
3.2.4 分段比例法	23
3.2.5 补缩系统设计研究	23
3.3 轮类件工艺应用统计	29
3.3.1 压边浇冒口工艺	29
3.3.2 环形、半环形引入, 飞边冒口、耳冒口工艺	34
3.3.3 环形、半环形引入, 顶冒口工艺	37
3.3.4 浇口通过侧冒口引入工艺	39
3.3.5 雨淋浇口轴向引入工艺	42
3.3.6 环形浇口无冒口工艺	44
3.4 冷铁在轮类件上的应用	46
3.4.1 冷铁在轮类件上应用统计	47
3.4.2 冷铁的设计	49
3.4.3 冷铁使用条件	51
3.4.4 冷铁使用注意事项	52
第4章 铸铁轮类件浇注系统	53
4.1 小孔出流浇注系统断面尺寸计算	53
4.2 大孔出流浇注系统断面尺寸计算	53
4.3 铸铁轮类件常用浇注系统类型	55
4.4 内浇道的引入位置及方向	56
4.4.1 内浇道的引入位置	56
4.4.2 铁液的引入方向	56
4.5 集中引入与分散引入	57
4.6 浇注系统其他参数的确定	58
4.6.1 流量系数 μ_3 值统计	58
4.6.2 浇注时间 t 统计	60
4.6.3 浇注系统断面面积比确定	63
4.6.4 浇注系统断面形状	63
第5章 铸铁轮类件典型浇注工艺推荐与设计	65
5.1 铸铁轮类件浇注工艺设计原则	65
5.2 铸铁轮类件典型浇注工艺	66
5.3 被推荐的铸铁轮类件典型浇注工艺与设计	66
5.3.1 压边浇冒口工艺	66

5.3.2	环形、半环形径向、轴向引入,耳冒口、飞边冒口工艺	69
5.3.3	环形、半环形径向、轴向引入,顶冒口工艺	73
5.3.4	环形、半环形引入,无冒口工艺	74
5.3.5	雨淋浇口轴向引入工艺	75
5.3.6	浇口通过侧冒口径向引入工艺	76
5.3.7	环形冒口、轮辐引入等专用工艺	77
附录 铸铁轮类件典型工艺实例		79
附录 1	压边浇冒口工艺	79
附录 2	环形、半环形引入无冒口工艺	100
附录 3	环形、半环形引入飞边冒口、耳冒口工艺	111
附录 4	环形、半环形引入顶冒口工艺	119
附录 5	雨淋浇口轴向引入工艺	126
附录 6	浇口通过侧冒口引入工艺	130
附录 7	环形冒口、冷颈冒口专有工艺	136
参考文献		143

第1章 铸铁件补缩与铸铁轮类件工艺概述

1.1 铸铁件补缩理论与工艺设计原则

灰铸铁和球墨铸铁件在冷却和凝固过程中所经历的体积变化不同于目前工业上使用的大多数合金和金属。温度降低产生的液态收缩，液固转变的凝固收缩，石墨析出的体积膨胀，凝固后的固态收缩，有先有后，但对一个铸件而言，液态收缩、凝固收缩、石墨化膨胀、固态收缩可以依次发生，也可以同时发生，胀缩相抵的净结果可以是收缩大于膨胀、收缩等于膨胀，也可以是收缩小于膨胀，这就给铸铁件的充填、补缩系统设计带来复杂性，为此各类补缩理论和工艺就应运而生。

1.1.1 顺序凝固与同时凝固理论

顺序凝固是从工艺上采取措施，使铸件远离冒口处先凝固，接近冒口处后凝固，冒口最后凝固。对铸铁件可采用与铸钢件一样的补缩原则和工艺。为此：

- 1) 冒口要放在铸件的热节处或厚实部位。
- 2) 冒口不要早于铸件凝固，并且凝固必须从铸件到冒口顺序进行。
- 3) 冒口必须有足够的液量以提供补缩用的液态金属。
- 4) 冒口的作用范围能覆盖铸件需要补缩的区域。

因此当凝固顺序、补缩距离、补缩通道、补缩量确定之后，冒口的大小、个数、位置也就确定了。

同时凝固是指采取工艺措施使铸件各部分之间没有温差或温差很小，使各部分大体上同时凝固。同时凝固强调浇口或冒口要从铸件薄壁处引入，以避免局部过热，或厚壁处安放冷铁，平衡壁厚差。同时凝固可以减少或消除铸件的热应力、变形与裂纹，但它不能保证铸件内部的致密。

1.1.2 S. I. Karsay 观点

S. I. Karsay（美籍匈牙利人）在1976年“Ductile Iron”一书中，关于铸铁件的补缩与冒口设计，他认为：

- 1) 铸铁件凝固过程中，析出石墨产生膨胀，可以利用石墨化膨胀的压力

补缩。

2) 冒口颈没有必要晚于铸铁件凝固, 共晶石墨化膨胀开始, 冒口颈就可以凝固, 冒口颈要长, 不要利用冒口颈的流通效应。

3) 提出五种补缩形式, 即大冒口、浇口当冒口、无冒口、压力冒口和释压冒口, 并认为小铸铁件要用大冒口补缩, 大铸铁件可以用小冒口。

4) 浇注系统要简单, 并给出了直-横、横-内控制的浇注系统设计方法。

1.1.3 R. Wlodawer 观点

Robert Wlodawer (瑞士) 1977 年在 “Gelenkte Erstarrung von Gusseisen” 一书中, 关于铸铁件的补缩与冒口指出:

1) 对于石墨铸铁件, 考虑到石墨化膨胀对收缩的补偿, 冒口只是补偿铸铁件收缩延续时间。并引出铸铁件收缩时间系数的概念, 即

$$f_{\text{收缩时间}} = \frac{\text{铸铁件收缩延续时间}}{\text{铸铁件凝固时间}}$$

冒口要保持足够的液态金属量, 以补偿铸件的收缩。

2) 冒口在相当长的时间内保持液态, 以满足铸铁件收缩时间内的需要。

3) 冒口的形状仅在冒口浇满下沉的瞬间出现, 液面下沉后其形状改变, 所以研究补缩完成后残余冒口的尺寸模数才是决定性的, 因此不应该追求原始冒口的奇特形状。并引入了冒口平衡系数及残余冒口模数的概念, 即

$$f_{\text{平衡}} = \frac{M_{\text{原始冒口}}}{M_{\text{残余冒口}}}$$

$$M_{\text{残余冒口}} = M_{\text{对应铸铁件收缩时间}}$$

4) 冒口大小、收缩孔的形状不仅与铸铁件的模数有关, 还与铸铁件体积周界商 Q 有关,

$$Q = \frac{V_{\text{铸铁件}}}{M_{\text{铸铁件}}^3}$$

Robert Wlodawer 还提出了有特色的 “用几何作图方法显示铸件和冒口凝固特点的凝固几何学”, 并用它指导冒口的设计。

1.1.4 John Campbell 观点

John Campbell (英国伯明翰大学) 1991 年在 “Castings” 一书中关于铸件的补缩与冒口提出如下的原则。

1) 热传导原则: 冒口必须和铸件同时凝固或晚于铸件凝固。

2) 体积原则: 冒口必须有足够的液体以满足铸件所需的补缩要求。

3) 铸件和冒口接触产生的热节, 其凝固时间不能比冒口和铸件的凝固时

间长。

- 4) 必须有补缩通道使补缩液到达铸件需要补缩的部位。
- 5) 必须有足够的压力差使补缩液流到铸件需要补缩的部位。
- 6) 在铸件凝固的全过程中, 铸件必须处于正压状态。

John Campbell 还提出冒口不能放在铸件的热节上, 应离开热节, 例如板件冒口安放位置如图 1-1 所示。

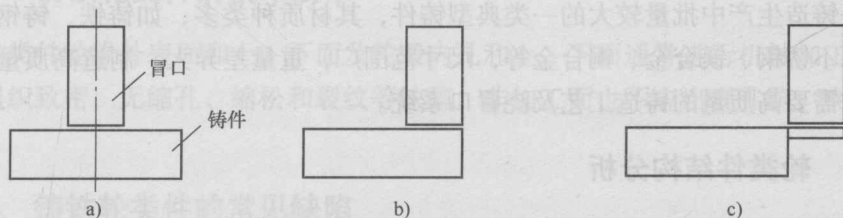


图 1-1 冒口在铸件上的位置

a) 冒口在热节上 b) 冒口离开热节 c) 冒口移出铸件

1.1.5 均衡凝固有限补缩理论

魏兵等(西安理工大学)1979年提出了均衡凝固有限补缩理论及工艺原则: 灰铸铁和球墨铸铁件的成型过程要经历铁液冷却产生的液态收缩、液固转变的凝固收缩和石墨析出产生的体积膨胀, 均衡凝固(Proportional Solidification)就是利用膨胀与收缩动态叠加相抵的自补缩, 采取工艺措施, 使单位时间的收缩与补缩、收缩与膨胀按比例进行的一种凝固原则。其工艺要点是:

1) 铸铁件的收缩值是不确定的, 不能根据合金的种类或牌号给出一个确定的收缩值决定冒口的大小。铸铁件的收缩不仅与合金成分、浇注温度有关, 还与铸铁件的大小、结构、壁厚、铸型种类、工艺方案有关。

2) 越是小件越要强调补缩, 薄小件可以用浇注系统当冒口补缩, 厚小件可以专设冒口补缩; 厚大件补缩要求低, 可以用小冒口、有限冒口或无冒口工艺。

3) 任何大小的铸铁件, 都应以自补缩为基础。一个需要设计冒口补缩的铸铁件, 冒口只是补充自补缩不足的差额, 冒口不必晚于铸件凝固。冒口在补缩时间和补缩量上都是有限的, 称为有限补缩。

4) 冒口不要放在铸铁件的几何热节上, 冒口要离开热节, 以减少冒口对铸铁件的热干扰。冒口又要靠近热节, 以利于补缩。

5) 铸铁件冒口的冒口颈要短、薄、宽。

6) 采用冷铁, 平衡壁厚差, 消除几何热节、物理热节与接触热节。

7) 顶注、上注优先, 对圆形铸铁件优先采用轴向、径向、直向引入, 一般

不应采用切向引入。

1.2 铸铁轮类件

轮类件是一种常见的铸件类型,有齿轮、飞轮、带轮、蜗轮、滚轮、滑轮、手轮、槽轮、绳轮、车轮和叶轮等。一般装配在轴上,其运动为转动和滚动。轮类件是铸造生产中批量较大的一类典型铸件,其材质种类多,如铸铁、铸钢、铝合金、不锈钢、镁合金、铜合金等,尺寸范围广,重量差异大。制造高质量的轮类件,需要高质量的铸造工艺及浇冒口系统。

1.2.1 轮类件结构分析

轮类件的结构一般由轮缘、轮辐和轮毂三部分组成。依照轮辐形式可分为辐板轮和辐条轮,辐板轮依据辐板层数又分为单辐板轮、双辐板轮和多辐板轮。根据结构与技术要求,齿轮、飞轮和带轮可以作为轮类件的典型件。下面分别介绍其特点。

1.2.1.1 齿轮

铸铁齿轮耐磨,运转噪声低,强度可以满足机械传动的要求。铸铁齿轮在机床、汽车、拖拉机、柴油机等行业有广泛的应用。材质主要有 QT450-10、QT500-7、QT600-3、QT700-2、HT200 和 HT250 等。轮缘、轮辐和轮毂壁厚差大,轮缘、轮毂较厚,轮辐较薄。轮缘铣齿深度接近其厚度的一半,工艺上必须保证对其组织致密度与强度的要求。

1.2.1.2 带轮

带轮有 V 带轮、平带轮,按轮辐形式又分为辐板带轮和辐条带轮,辐板带轮有单辐板带轮、双辐板带轮和多辐板带轮。辐板上多设辐孔,以减轻质量,辐孔数目有 3 个、4 个和 6 个,辐板孔有圆形孔、扇形孔和椭圆形孔等。辐条带轮筋条数目有 4 条、5 条和 6 条等,辐条断面形状呈 + 字形、T 字形。材质主要有 HT200、HT250、QT400-15、QT450-10 和 QT500-7。带轮的典型特点是壁厚较均匀,显得很轻便。带轮主要用来传递转矩,要求保证带轮的外观质量和轮缘的内在质量。

1.2.1.3 飞轮

飞轮的典型特点是轮缘厚实,轮毂较薄。材质主要有 HT200、HT250、HT300 和 QT400-15 等。常和曲轴一起组成曲轴飞轮组,其作用是将连杆传来的力变成绕本身旋转的惯性转矩,工作时处于高速旋转状态。为确保飞轮与曲轴转

动的动力平衡及连接可靠性,轮毂部位具有高加工精度,因而飞轮件轮缘、轮毂不允许有缩松、缩孔缺陷,轮辐不允许有裂纹。若有缺陷,容易在运动中不稳,甚至发生断裂事故。飞轮常安装在机械设备的外部,要求铸造精美。尤其是大型飞轮属于典型大型铸铁件,因工艺不合理,常常会产生缩孔及冒口颈附近晶粒粗大等缺陷,造成报废。

1.2.2 铸铁轮类件的技术要求

轮类件轮缘外表面和上、下面及轮毂内孔和上、下面通常进行机械加工,要保证组织致密,无缩孔、缩松和裂纹等缺陷,非加工面也不应出现孔洞、夹渣等缺陷。

1.2.3 铸铁轮类件的常见缺陷

1) 缩孔和缩松。由于在轮缘与轮辐、轮毂与轮辐相交处形成热节,在热节处形成缩孔、缩松和上表面缩凹缺陷;同时轮毂及轮缘安放冒口位置的下面易产生缩孔。

2) 气孔和砂眼。气孔和砂眼多产生于轮缘和轮毂的上表面和侧面层。

3) 裂纹。裂纹多产生在与轮缘、轮毂相交热节处的轮辐上。

1.3 铸铁轮类件补缩工艺的多样化

轮类件铸造工艺,有砂型铸造、金属型铸造、低压铸造、挤压铸造、消失模铸造、熔模铸造等,铸铁轮类件通常采用砂型铸造工艺。

1.3.1 顺序凝固大冒口工艺

按顺序凝固原则来设计冒口尺寸及冒口颈的大小,建立起由冒口起经过冒口颈至铸件的补缩通道,是按铸钢件来设计冒口,是铸铁件冒口的一个极端。其优点是:对浇注温度要求不严格;对铸型刚性、铸铁件的模数无特别要求。但它不利用铸铁件的自补缩特性,工艺出品率很低,并且热节和冒口根部的缩孔、缩松仍有发生,常有越补越缩的现象,废品率较高,清理工作量大。

1.3.2 无冒口工艺

无冒口铸造的基本原理是利用浇注过程中的后补作用,利用浇注结束后浇注系统短期畅通的补缩作用和凝固过程中的石墨化膨胀来补偿铁水冷却、凝固收缩,实现不专设冒口的工艺。无冒口并不意味着铸件不要补缩。

1.3.2.1 无冒口工艺条件

均衡凝固理论认为无冒口铸造工艺条件为：

- 1) 铁液有较高的冶金质量，高的碳当量，有较强的石墨化倾向。
- 2) 浇注温度范围为 1300 ~ 1350℃。
- 3) 铸件模数大于等于 2.5cm。
- 4) 快浇。
- 5) 使用刚硬的铸型。
- 6) 安放出气冒口。

1.3.2.2 无冒口铸造时铸件的结构特征

无冒口铸造主要用于厚大铸铁件，因为件厚，冷却缓慢，收缩速度小，收缩相对后移；因为件大，浇注过程后补作用明显，浇注后铸件棱角、边缘、表面石墨化膨胀开始，膨胀相对前提，使均衡点 p 提前到达浇注系统补缩结束的时刻，可实现无冒口工艺。

在无冒口铸造基本条件中，用铸件平均模数最小 2.5cm，反映铸件结构（壁厚）特点，没有反映出铸件大小和厚壁与薄壁的比例搭配，例如轮毂厚实、轮辐不发达的小型轮类件，无法实现无冒口铸造。为了进一步描述铸件结构特点，应引入周界商概念。它反映出铸件厚、薄壁的搭配。统计 14 个无冒口铸造的轮类件，情况见表 1-1。

表 1-1 无冒口铸造的轮类件生产统计

材质	质量 G_c/kg	模数 M_c/cm	周界商 $Q_c/(\text{kg}/\text{cm}^3)$	轮径 d/mm	高度 h/mm	浇口个数/个
HT200	102.0	2.81	1038.75	508.0	120.0	6
HT250	118.0	2.09	1685.43	418.0	180.0	12
HT250	180.0	1.96	3536.89	690.0	182.0	4
HT200	270.0	1.96	7619.17	1085.0	167.0	4
HT200	510.0	1.84	10 551.1	1428.0	154.0	6
HT250	580.0	1.52	7525.66	1100.0	100.0	6
HT250	580.0	2.34	5680.65	1134.0	247.0	6
HT200	1500	6.02	1044.47	1200.0	260.0	10
HT200	1730	6.61	903.41	1220.0	223.0	16
HT200	2800	7.40	788.89	1038.0	490.0	12
HT200	6500	7.03	2286.24	2300.0	270.0	6
HT200	10500	10.03	1259.40	2650.0	320.0	12
QT600-3	118.0	1.81	2679.76	542.0	120.0	6
QT450-10	1300	4.08	2773.90	1220.0	305.0	8

从表中可以看出:

1) 模数小于 2.5cm 的轮形件也可以实现无冒口铸造, 主要因为浇注系统环形分散引入, 浇注系统提供部分外部补缩, 同时这些件的周界商 Q_c 大于 1000。均衡凝固理论认为非均匀厚实体 ($Q_c = 500 \sim 1000 \text{kg/cm}^3$) 有一定比例的薄壁, 早期自补缩作用较弱, 无冒口铸造偶有成功, 但工艺范围很窄; 密实体 ($Q_c = 1000 \sim 2000 \text{kg/cm}^3$) 有比较丰富的薄壁, 一般可以实现无冒口铸造; 稀疏体 ($Q_c = 2000 \sim 3000 \text{kg/cm}^3$)、薄壁稀疏体 ($Q_c \geq 3000 \text{kg/cm}^3$) 的无冒口铸造主要靠浇注系统的补缩。

2) 浇注系统分散多道引入, 避免因引入过分集中形成新的热节, 有利于铸件温度场分布均匀、平稳充型, 有利于胀缩的叠加。对于轮类件, 浇注系统和出气冒口、溢流冒口的开设应该是对称的, 不要破坏铸件结构的均匀性。为此, 优先采用顶注, 环形、半环形横浇道、内浇道多道分散径向或轴向引入。

1.3.2.3 无冒口铸造的保险冒口和溢流冒口

单件小批生产应安设有限冒口作为工艺保险, 称为保险冒口。这个有限的保险冒口又起溢流冒口的作用, 推荐采用耳冒口、飞边冒口、鸭嘴冒口。冒口体直径可取铸件热节圆的 0.4~0.6 倍, 冒口颈短、薄、宽。

1.3.2.4 冷铁

冷铁是无冒口铸造的又一有效工艺措施。

无冒口铸造可总结为以下两点:

- 1) 无冒口铸造是小的浇注系统外部补缩和大的自补缩。
- 2) 无冒口铸造时可以安放一个小的保险冒口及溢流冒口。

1.3.3 压力冒口、有限冒口工艺

压力冒口、有限冒口是介于大冒口与无冒口之间的小冒口工艺。

1.3.3.1 直接实用冒口 (压力冒口)

S. I. Karsay 直接实用冒口的设计原理是补偿液态收缩, 而当开始膨胀及膨胀后短时间内冒口颈就凝固。膨胀后的铸件不能把液体送回到冒口, 因此它使液体处于压力之下, 这就避免了膨胀后再出现收缩引起的缺陷。

直接实用冒口关键是控制冒口颈的凝固时间, 冒口颈凝固后, 铸件关键部分的膨胀就可以补偿整个铸件的收缩。其冒口尺寸由补缩液量确定, 冒口的体积能提供铸件需要的补缩液量。冒口颈的模数用下式求得

$$M_n = M_s \frac{T_y - 1150}{T_y - 900}$$

式中 M_n ——冒口颈的模数 (cm);

M_s ——铸件关键段模数 (cm);

T_y ——浇注完毕后金属液温度 (°C)。

冒口颈尽可能长, 至“无限长”, 至少要为 4~5 倍冒口颈断面最小尺寸。

直接实用冒口主要用于模数为 0.6~2.5cm 的铸件, 铸型有一定强度, 浇注温度为 $(1350 \pm 25)^\circ\text{C}$, 一般用侧冒口, 带大气压芯或锥顶砂尖。其优点是工艺出品率一般较高, 冒口便于去除。缺点是冒口颈太长, 不利用流通效应, 长冒口颈在生产中很少使用。

1.3.3.2 浇口兼作冒口

浇口兼作冒口是直接实用冒口工艺的分枝, 通常应用于壁厚小于 8mm 的薄件上, 浇注系统起冒口的作用, 补充铸件凝固初始阶段的液态收缩, 内浇道为冒口颈, 浇包、浇口杯、直浇道为冒口。主要用于模数为 0.6~1cm 的铸件, 当 $M_c > 1\text{cm}$ 时, 应另设冒口。

1.3.3.3 控制压力冒口 (释压冒口、减压冒口)

S. I. Karsay 控制压力冒口, 就是控制型腔铁水的膨胀压力, 既要有足够大的压力补偿收缩, 又要使铸型不致发生胀大的塑性变形。其补缩机理是: 采用暗冒口和比压力冒口大的冒口颈, 铸件液态收缩时, 冒口液面下降, 补缩铸件; 当石墨化膨胀时, 允许一部分铁液返回到冒口中, 以减少对铸型的膨胀压力, 使铸型不向外膨胀变形。铁液返回到冒口的程度由冒口再次充满或冒口颈的适时凝固来控制, 使型腔的金属液还残存有一定的压力去补偿之后发生的收缩。它适用于刚性不大的铸型 (湿砂型、壳型), 铸件模数为 0.6~1cm, 对浇注温度要求不很严格, 大都用于壁厚大于 10mm 的铸铁件中。设计步骤如下:

- 1) 冒口与冒口颈模数计算, 即

$$M_T = (0.7 \sim 0.8) M_s$$

$$M_n = 0.6 M_T$$

式中 M_T ——冒口的模数 (cm)。

- 2) 铁水由薄的内浇道引入冒口。

- 3) 冒口内有足够的补缩液量 ($V_R \geq 5\% V_C$)。

- 4) 考虑冒口的补缩距离。

- 5) 高温 ($1370 \sim 1420^\circ\text{C}$) 快浇。

当低牌号厚实的铸铁件由于局部过热产生膨胀裂纹时, 适当加大冒口颈尺寸, 就可以消除膨胀裂纹, 其原理可以用控制压力冒口来解释, 也是控制压力冒