

“永冠杯”第六届中国大学生铸造工艺设计大赛

参赛作品

铸件名称：B 件——油缸

自编代码：AB0J00W3

方案编号：

摘 要

本设计在对 B—油缸的铸造工艺设计过程中,以符合实际应用情况、工艺简单和经济性要求为三大基本原则,紧随铸造工艺的发展趋势,采用树脂自硬砂造型,熟练运用 CATIA V5、AutoCAD、Hypermesh、ProCAST 等软件进行铸造工艺的设计与改善。在此原则的基础上进行了设计和计算,并最终得出符合以上原则的铸造工艺设计方案。

我们在设计之初对零件进行了详细的分析和资料查询,根据 B-油缸件生产厂商所提供的图表和数据,充分考虑到铸件在实际应用于台湾东毓公司 TYC-12 热压成型机的过程中需要注意的重点工作部位,以最大程度上满足铸件的实际应用为原则。我们使用 CATIA V5 创建模型,通过对铸件实际应用情况以及铸件结构、形状和尺寸的详细分析设计了铸造生产时的“浇注位置”、“分型面”,设计了砂芯的形状和数量等铸造工艺方案内容以及铸造生产所涉及到的“加工余量”、“拔模斜度”、“铸造收缩率”等工艺参数。

由于仅根据文献资料无法全面客观衡量内浇口开设位置中顶注式和底注式的优劣,因而我们采用大孔出流理论设计了两套内浇口位置不同的浇注系统以及浇注系统各组元的界面形状和尺寸;并利用“均衡凝固”原理设计了两套针对不同浇注系统的补缩系统;同时采用“压边冒口”可以有效地发挥球墨铸铁凝固过程中由于石墨的膨胀而减少冒口尺寸的设计原理。最后应用 Hypermesh 软件剖分网格,采用 ProCAST 软件对铸件进行充型及凝固过程数值模拟,根据两套铸造工艺模拟结果的对比,最终选取一套充型平稳且更为有利于缩松、缩孔等缺陷消除的浇注系统和补缩系统设计方案,并根据 ProCAST 模拟结果对此套方案进行进一步的优化,提出增加冒口压边距离、增设保温套、加设补贴和冷铁等优化方案,最终成功消除了铸件的缩孔、缩松缺陷,且补缩系统和浇口杯中仅有少量金属液残留,最终获得了质量均匀的 B-油缸铸件。

关键词: B-油缸 铸造工艺设计 数值模拟优化

目 录

摘 要	2
1 零件特点和生产方式.....	6
1.1 零件结构分析	6
1.2 零件用途	6
1.2.1 平板硫化机（台湾称热压成型机）简介	6
1.2.2 零件详细分析.....	7
1.3 铸件生产方式	8
1.4 造型、造芯材料的选择	9
2 零件的铸造工艺性分析.....	10
2.1 铸件的最小壁厚	10
2.2 铸件的临界壁厚	11
2.3 铸件壁的过渡和连接	11
2.4 铸肋的合理分析	11
2.5 小结	12
3 铸造工艺方案的设计.....	13
3.1 浇注位置的确定	13
3.2 分型面的确定	14
3.3 砂芯设计	15
3.3.1 砂芯方案的确定.....	15
3.3.2 砂芯形状.....	15
3.3.3 芯骨设计.....	19
3.3.4 砂芯排气.....	19
3.4 铸造工艺参数的设计	20
3.4.1 铸件尺寸公差和铸件质量公差	20
3.4.2 加工余量.....	21
3.4.3 铸件收缩率.....	22
3.4.4 起模斜度.....	22
3.4.5 最小铸出孔和槽.....	23
3.4.6 其它工艺参数	24
4 浇注系统设计	25
4.1 浇注系统类型的选择	25
4.2 浇注系统尺寸的确定	26
4.3 浇注系统流注时间	26
4.4 方案一：底注式浇注系统设计	27
4.4.1 平均静压头	27
4.4.2 各浇道横截面尺寸	27
4.4.3 浇注系统设计校核	29
4.4.4 浇注系统浇口杯的设计	30
4.4.5 过滤网的设计	31

4.4.6浇注系统结构	31
4.5方案二：顶注式浇注系统的设计	32
4.5.1浇注系统平均静压头	32
4.5.2顶注式浇注系统各浇道横截面尺寸.....	32
4.5.3顶注式浇注系统设计校核	33
4.5.4顶注式浇注系统浇口杯的设计.....	34
4.4.5顶注式浇注系统的结构	34
5 补缩系统设计	35
5.1 冒口的类型	35
5.2 方案一：底注式浇注系统冒口的设计.....	35
5.2.1冒口的位置	35
5.2.2铸件模数的计算	36
5.2.3冒口模数的计算	37
5.2.4冒口尺寸计算	37
5.3 方案二：顶注式浇注系统冒口的设计.....	38
6 铸造工艺的优化	40
6.1 数值模拟前处理	40
6.1.1初始条件设定	40
6.1.2网格剖分	41
6.1.3虚拟铸型的运用	41
6.2 浇注系统类型的优化	41
6.2.1不同浇注系统设计金属液充型过程分析.....	42
6.2.2不同浇注系统设计金属液凝固缺陷分析.....	44
6.2.3浇注系统设计优化结果	45
6.3 补缩系统设计优化	46
6.3.1金属液凝固过程温度场分析.....	46
6.3.2保温套的设计	47
6.3.3冷铁的设计	47
6.3.4改进后铸件温度场分析	49
6.3.5金属液凝固过程固相率分析.....	50
6.4 铸造工艺的第二次优化	51
6.4.1优化方案	51
6.4.2模拟结果分析	51
6.5 砂芯设计优化	52
6.5.1砂芯形状	52
6.5.2芯头结构尺寸	53
6.5.3砂芯设置效果图	54
7 铸造工艺装备	55
7.1 模样	55
7.2 砂箱	55
7.2.1砂箱设计和选用的原则	55
7.2.2砂箱类型的选择	55

7.2.3砂箱结构	56
7.2.4砂箱的定位	57
7.3 芯盒	57
8 合箱图	59
9 工艺卡	60
参考文献	62

1 零件特点和生产方式

1.1 零件结构分析

1. 零件名称：油缸

2. 材质：QT500-7

3. 技术要求：

a) 树脂砂造型，加工表面不得有夹渣、缩孔和疏松缺陷，油缸不得渗油，并应符合供图方所提供的图纸或铸模的尺寸。

b) 非加工面不得有明显缺陷、缩孔，不允许焊补处理。

4. 零件的形状：如图 1.1 所示三维实体

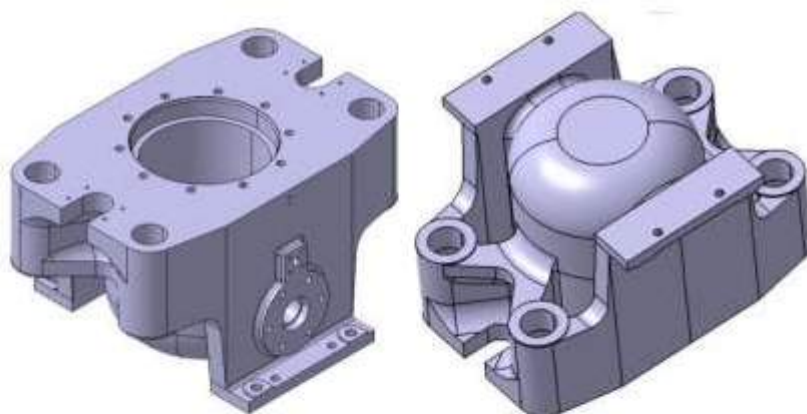


图 1.1 零件结构三维实体图

5. 零件特点：整体结构相对对称，内部为空腔，件的轮廓尺寸为长 830mm，宽 680mm，高 500mm。重量 690kg，最厚大部位为 140mm，最小壁厚为 50mm，最

大孔径 $\Phi 332\text{mm}$ ，最小孔径 $\Phi 18\text{mm}$ 。

1.2 零件用途

1.2.1 平板硫化机（台湾称热压成型机）简介

本铸件所适用 TYC-12 型热压成型机示意图以及工作原理如下图 1.2 所示：



图 1.2 热压成型机示意图及工作原理

B-油缸属于台湾东毓公司 TYC-12 型平板硫化机的重要零部件（或称动力液压缸）。平板硫化机主要用于硫化平型胶带（如输送带、传动带，简称平带），属于液压机械，平板硫化机的主要功能是提供硫化所需的压力和温度。压力由液压系统通过液压缸产生，温度由加热介质（通常为蒸汽、导热油等，过热水也有用）所提供。B-油缸主要应用于油压平板硫化机。

1. 2. 2零件详细分析

如图 1. 3 所示，液压缸上表面有一个法兰盘①，以便固定在横梁上，还开有工作液体的进出孔②，还留有沟槽③，以便安装密封圈⑨。液压缸内装有柱塞④，柱塞承受工作液体的压力，柱塞从缸内升起时，把这个力传递结硫化机加热平板。柱塞应能承受工作液的外压，柱塞④是一个一端封闭的厚壁铸扶圆筒，柱塞外表面要加工很精细，以使与这个表面相配的密封圈密封良好，工作液体在压力下不溢漏在液压缸和柱塞的下部做成平台，其平台互相接触并限制柱塞向下移动的极限位置。柱塞的上作行程是单方向的。当液压缸的工作腔⑤与大气压接通，柱塞在平板和自重的作用下向下移动。

热压成型机工作时向液压缸内通液压介质（油或水），柱塞便推着活动平台及热板向上或向下运动，并推动可动平板压紧模具或制品。在进行上述运动同时向加热平板内通加热介质，从而使模型（或制品）获得硫化过程所需的压力和温度，经一段时间（硫化周期）以后，制品硫化完毕，这时将液压缸内的液压介质排除，由于柱塞在本身自重（或双作用缸的液压）作用下下降，便可取出制品。依靠液压缸给以足够的压力使胶料充满模型，并限制气泡的生成，使制品组织结构密致。如果是胶布层制品，可使胶与布粘着牢固。

另外，液压缸即 B-油缸件应给以足够的压力防止模具离缝面出现溢边、花纹缺胶、气孔海绵等现象, 因而对于缸体工作腔的组织致密度、耐高温和承压能力有较高要求。

表 1. 1 主要部位位置及情况简表

名称	位置	作用	加工方法
法兰盘 1	①	1、固定液压缸于横梁 2、密封 3、与⑨相连	铸造及机械冷加工
油进出孔	②	向液压缸内通入及排出液压介质所需通道	小孔直径较小，为直接冷加工产生，大孔为铸造及冷加工以满足精度要求
沟槽	③	安装密封圈	铸造及冷加工以满足精度要求
缸体工作腔	⑤	产生硫化机所需压力及温度， ④工作于其内	铸造及冷加工以满足和柱塞紧密配和的要求
R13通孔（4 个）	⑥	连接螺栓固定液压缸，与平板硫化机底座固连	铸造及冷加工
胖肚型孔（4 个）	⑦	连接导杆⑩	铸造及冷加工
法兰盘 8	⑧	密封	铸造及冷加工

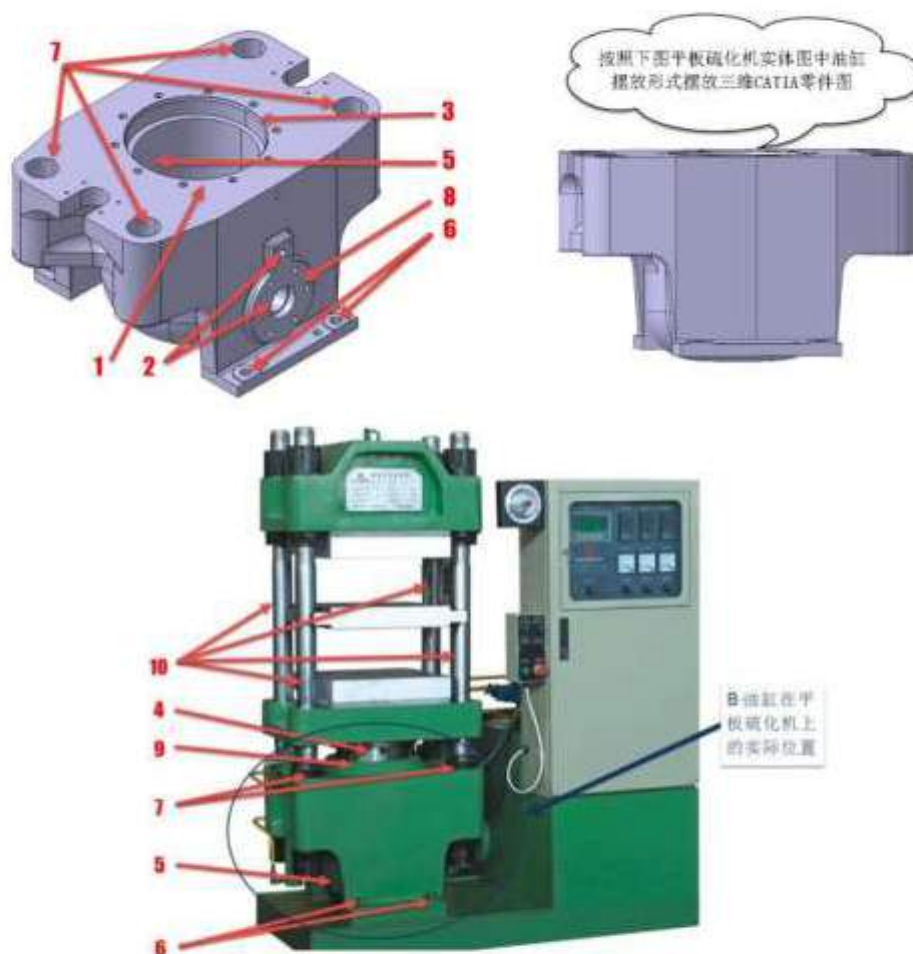


图 1.3 B-油缸主要部位及实际应用位置

B-油缸件重要的工作位置为缸体工作腔。柱塞推动活动平台及热板沿缸体向上或向下运动。依靠液压缸给以足够的压力使胶料充满模型，并限制气泡的生成，使制品组织结构密致。因而，在后期的铸造工艺设计的过程中，应当着重考虑缸体工作腔的组织密度和均匀性，以防止出现无法承受重压和渗油的情况。缸体的最大平面即上表面需要连接法兰盘，这一部分虽然需要较高的精度，以维持和法兰盘连接时的密封性，进而可以保证能够提供足够的工作压力。但是，此部分并非工作平面，只需后期进行机械冷加工即可满足要求，因而铸造过程中应首先满足缸体工作腔的要求。

1.3 铸件生产方式

零件“B-油缸”净重达到 690kg，零件的轮廓尺寸为 830mm×680mm×500mm，属于中型零件。

大中型零件的铸造生产不易采用机械化流水线生产，而应该采用手工造型生产方式。铸造还可按金属液的浇注工艺分为重力铸造和压力浇铸。重力铸造是指金属液在地球重力作用下注入铸型的工艺，也称浇铸。广义的重力铸造包括砂型浇铸、金属型浇铸、熔模铸造、消失模铸造，泥模铸造等；本铸件采用砂型浇铸，选用的浇铸方式是重力铸造。根据题目要求，本铸件采用树脂砂造型。树脂砂具有较好的流动性、易紧实；并且树脂砂的刚度高，所以能获得高精度、表面光洁，

强度高且溃散性好的铸件^[1]。

本题目中零件“B-油缸”所用材质为球墨铸铁，由于球墨铸铁在凝固过程中石墨析出会产生较大的体积膨胀，引起铸型型腔的尺寸扩大，如果铸型的强度很低，势必会引起铸型型腔扩大，影响铸件的内部质量和外部质量。采用树脂粘结剂作为型砂和芯砂的粘结剂能够获得高强度的砂型和砂芯，对于保证铸件的质量是有保证的。所以，零件“B-滑动座”采用自硬树脂砂作为砂型和砂芯的造型材料，采用芯盒手工造芯。

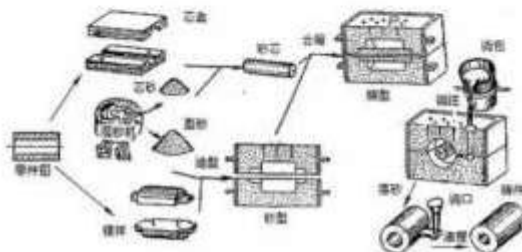


图 1.4 砂型铸造示意图

1.4 造型、造芯材料的选择

本铸件为中型球墨铸铁件，采用自硬树脂砂作为砂型和砂芯的造型材料，对于材料的具体选择及配比详见表 1.2^[1]。

表 1.2 材料种类、性能及配比

砂芯种类	组 成 %				性能 Mpa
	新砂	旧砂	树脂 (碱性酚醛)	固化剂 (甘油醋酸酯)	抗拉强度
制芯材料	35	65	1.7	30	0.6
造型材料	35	65	1.6	30	1.0

2 零件的铸造工艺性分析

在铸造生产中常碰到一些铸件的结构不合理，给生产带来困难，甚至有的很难铸出，有的保证不了铸件的质量。所以铸造零件的设计结构应满足铸造工艺的要求。零件的铸造工艺性分析包括考察铸件的最小壁厚、铸件的临界壁厚、铸件壁的过渡和连接、肋、铸造斜度等内容。

该零件的结构及主要尺寸如图 2.1所示。零件的轮廓尺寸为 830mm× 680mm× 500mm，整体结构相对对称，壁厚均匀，最厚大部位为 140mm，最小壁厚为 50mm，

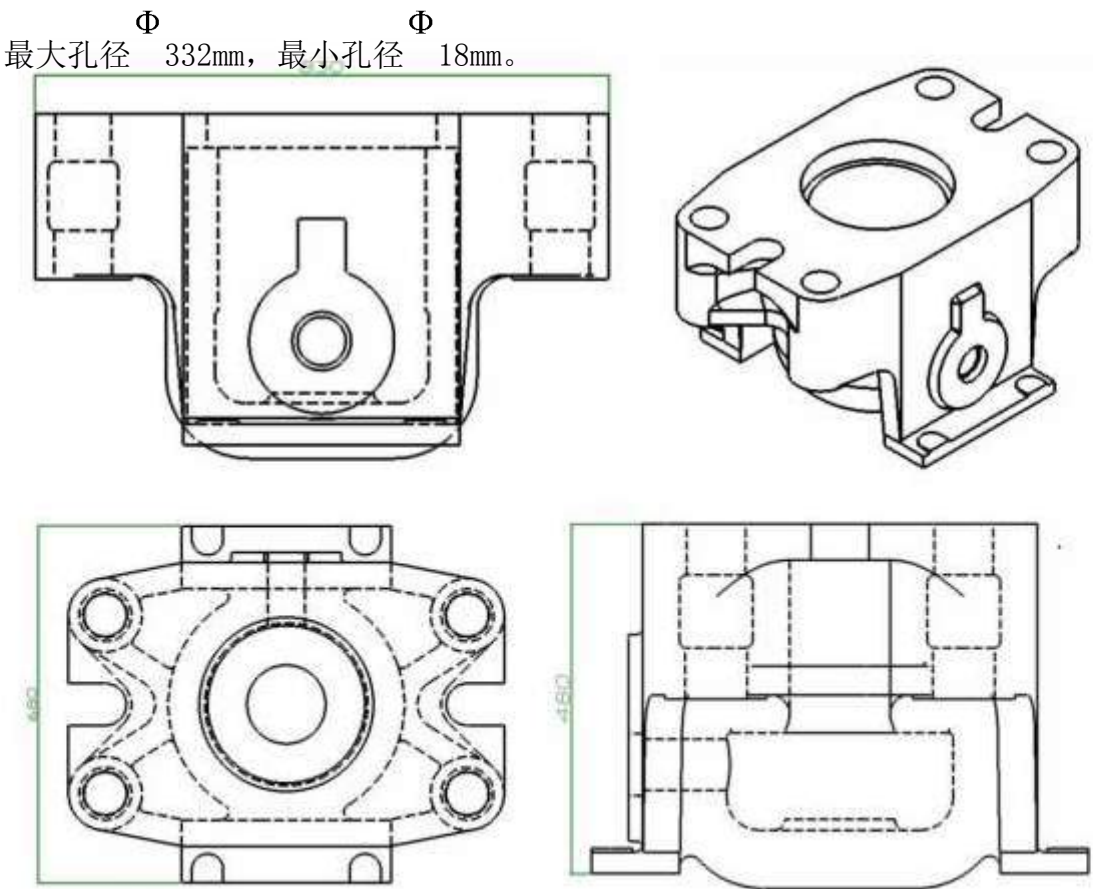


图 2.1 零件整体结构及尺寸

2.1铸件的最小壁厚

从保证合金液充型能力看，在设计铸件壁厚时，要考虑合金液的流动性和铸件的轮廓尺寸。在一定的铸造条件下，铸造合金能充满铸型的最小厚度称为该铸造合金的最小壁厚。为了避免铸件的浇不到和冷隔等缺陷，应使铸件的设计壁厚不小于最小壁厚。本铸件的最大轮廓尺寸为 830mm，根据表 2.1可以查出最小壁厚为 12mm。对于零件“B-油缸”，其最小壁厚为 50mm，满足铸件最小壁厚的要求。

表 2.1砂型铸造铸铁件的最小壁厚 (单位：mm)

铸铁种类	当铸件最大轮廓尺寸为下列值时					
	<200	200-400	400-800	800-1250	1250-2000	>2000
球墨铸铁	3-4	4-8	8-10	10-12	——	——

2.2 铸件的临界壁厚

在铸件结构设计时，为了充分发挥金属的潜力，节约金属，必须考虑铸造合金的力学性能对铸件壁厚的敏感性。厚壁铸件易产生缩孔、缩松、晶粒粗大、偏析和硬度低等缺陷，从而使铸件的力学性能下降。从这方面考虑，各种铸造合金都存在一个临界壁厚，铸件的壁厚超过临界壁厚以后，铸件的力学性能并不按比例地随着铸件厚度的增加而增加，而是显著地下降。尤其对厚大的球墨铸铁件，易出现球化衰退现象，造成球化不良，使铸件的力学性能显著恶化。根据文献【1】，砂型铸造各种铸造合金铸件的临界壁厚可按其最小壁厚的3倍来考虑。该零件的最大壁厚为140mm，最小壁厚为50mm，最大壁厚低于临界壁厚150mm。

为实现零件设计的技术要求，可按供图方所设定的厚度尺寸进行铸造加工。但是，为防止零件厚大部位在铸造过程中出现缩孔和缩松等铸造缺陷，需要结合球墨铸铁体积膨胀特点进行补缩系统设计。

2.3 铸件壁的过渡和连接

一般情况下，铸件壁的断面尺寸不可能完全相同，同时，铸壁有类型各异的接头。在接头处，凝固速度慢，容易产生应力集中、裂纹、变形、缩孔、缩松等缺陷。因此，铸件各个壁的连接和过渡应该满足铸造工艺性要求，即铸件“壁”的连接、过渡应该是平缓的。分析该零件壁的连接过渡，均运用合理的圆角过渡，因此零件满足铸造工艺性要求。

2.4 铸肋的合理分析

为了增加铸件的力学性能、减轻铸件重量、消除铸件的缩孔和防止铸件产生裂纹、变形、夹砂等缺陷，在铸件结构设计中大量采用肋。零件“B-油缸”零件存在加强肋。

在设计铸铁件的加强肋时，应考虑铸铁的抗压强度是抗拉强度的3~4倍的特点，不应使肋处处于拉应力状态下工作，而应使其在压应力状态下工作，所以此处的加强肋符合铸造要求。另外肋的尺寸也有设计要求，肋的厚度应小于铸件的壁厚，经验算，本铸件所给肋的尺寸均符合《铸造手册》（铸造工艺部分）中所给的要求。所以，本铸件肋的形状和尺寸均符合铸造要求，无需作出改变。

如图2.2为本铸件肋位置的表述图片，其中标红部分为加强肋的部分。

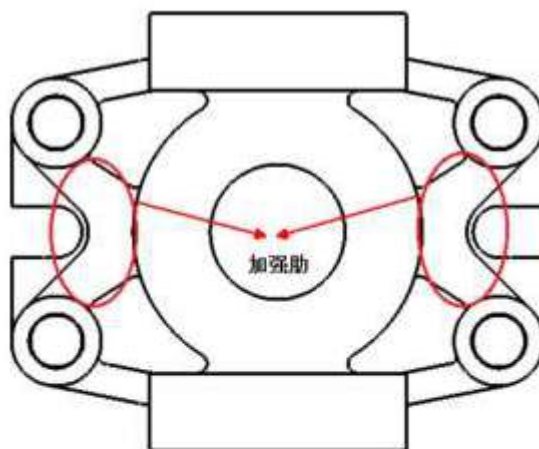


图 2.2 肋的位置

2.5 小结

根据本章上述分析，铸件的最小壁厚为 50mm，能够避免铸件的浇不到和冷隔等缺陷；铸件的最大壁厚低于临界壁厚，可按供图方所设定的厚度尺寸进行铸造加工；铸件壁的过渡和连接均运用合理的圆角过渡，符合铸造工艺；“B-油缸”零件存在加强肋，但本铸件肋的形状和尺寸均符合铸造要求；该零件外部结构简单，并且总体对称，因此铸件的分型面易于选择且起模方便；B-油缸件内部结构较为复杂，但由于其结构对称，所以砂芯的制作并非铸造过程中的难点。通过上述分析可以发现，本铸件满足铸造工艺性要求。

3 铸造工艺方案的设计

3.1 浇注位置的确定

浇注位置是指浇注金属液时铸件在铸型中所处的位置，浇注位置是根据铸件的结构特点、尺寸、重量、技术要求、铸造合金特性、铸造方法和铸造生产车间的条件决定。正确的浇注位置应该能保证获得健全的铸件，并使造型、制芯和清理方便。要依据浇注位置的确定原则选取合理的浇铸位置。

油缸浇注位置有以下六种，如图 3.1 所示。

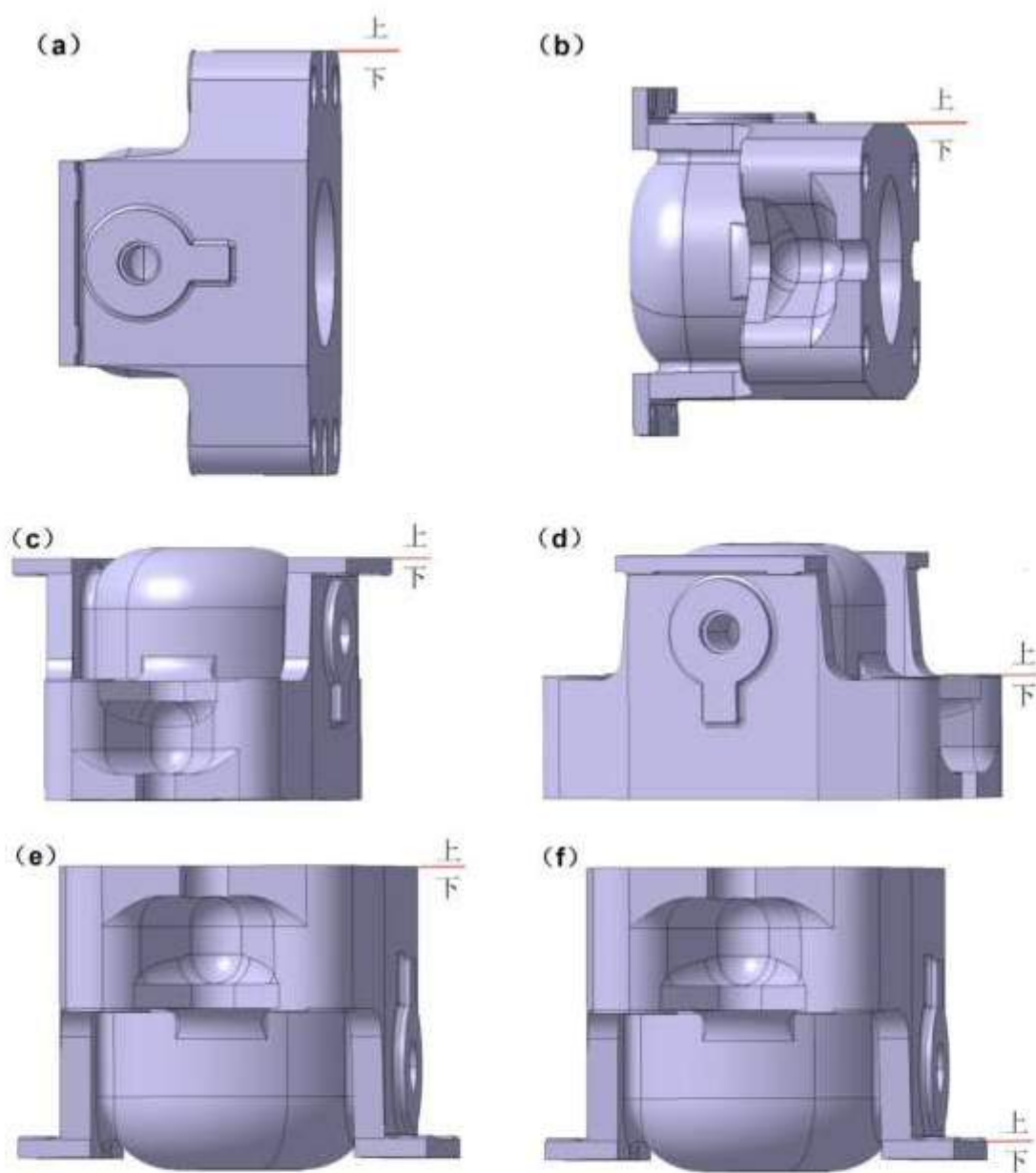


图 3.1 浇注位置

根据文献^[3]《铸造工艺学》中对于浇注系统位置选择的原则，我们对六个

浇注位置进行分析选择。

根据 1.2 节中对于零件工作状态的分析，可以发现，B-油缸件重要的工作位置为油缸的近似圆柱形缸体。柱塞推动活动平台及热板沿缸体向上或向下运动，并推动可动平板压紧模具或制品。依靠液压缸给以足够的压力使胶料充满模型，并限制气泡的生成，使制品组织结构密致。因而，这部分需要组织致密从而防止出现无法承受重压以及渗油的情况。首先，由于 (a)、(b) 浇注位置不利于起模，同时砂芯的设置较为复杂，此外，这种浇注位置容易使得缸体组织，尤其是重要工作位置，需要承受重压部分不均匀。因而，(a)、(b) 首先排除。根据生产实际，和铸造工艺学手册，气体、夹杂物易漂浮在型腔的上部，上部易形成砂眼、气孔夹渣等缺陷。同时金属液对型腔上表面烘烤严重，易导致型腔急剧膨胀而拱起或开裂，使铸件产生夹砂、气孔。因而，(c)、(d) 由于是缸体工作腔位于上部，极易导致缸体漏油以及无法承受较大油压的情况，从而使得油缸无法为热压成型机提供足够的温度和压力用以压制模具或制品，所以并非合适的浇注位置。

最后对于 (e)、(f)，由于只根据文献中所给浇注位置选取原则无法做出客观可信的优劣势分析，因而我们将会第四章设计两套方案，并最终在 4.4 中根据客观真实的模拟情况和参考文献进行最终的选择。

3.2 分型面的确定

铸造分型面是为了便于取出模样，将铸型做成几部分，其结合面叫分型面，是铸型组元间的结合面。合理的选择分型面，对于简化铸造工艺、提高生产率、降低成本、提高铸件质量等都有直接关系。分型面的选择应尽量与浇注位置一致，尽量使两者协调起来，使铸造工艺简便，并易于保证铸件质量。

B-油缸可以采用以下两种分型面，如图 3.2 所示。

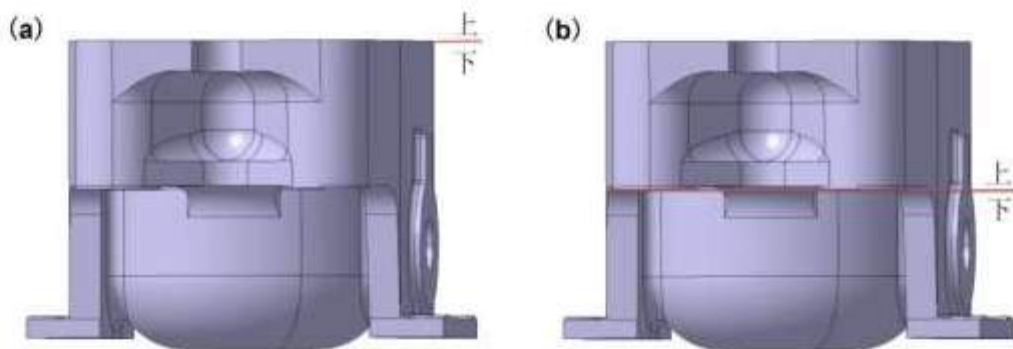


图 3.2 分型面

采用图 (a) 的分型面，可以防止错型而避免产生尺寸偏差，并且铸件全部都位于下砂箱，减少了砂芯(吊芯)的数量，方便起模。图 (b) 可能会因为错型而使铸件产生尺寸偏差，而且铸件的加工定位面和主要加工面没有放在同一箱内，增加了加工定位的尺寸偏差。综上分析，我们选择分型面 (a)。

3.3砂芯设计

砂芯用来形成铸件的内腔、各种成形孔及外形不易起模的部分。

砂芯要满足的基本要求是：砂芯的形状、尺寸和在砂型中的位置应与铸件的要求相适应，有足够的强度和刚度，在浇注后铸件凝固过程中砂芯所产生的气体能及时排出型外，铸件收缩时砂芯不给予大的阻力，容易清砂。

3.3.1砂芯方案的确定

对于 B-油缸，采用的是树脂砂自硬化制芯。由于涉及不到砂芯的烘干，所以保证铸件的成型和铸件精度是本次设计的重要环节。根据该铸件的结构来确定需要的砂芯，如下图 3.3所示：根据最小铸出孔原则得出 5、6、7、8 需要砂芯来形成，9 需要砂芯来形成内腔，3、4 处要砂芯形成侧面的形状，由于铸件侧面有一个通孔以及两个底座需要铸出，考虑到起模的困难，需要在 1 和 2 处需要设置砂芯。根据以上的分析，拟设计本铸件需要 9 个砂芯来形成。

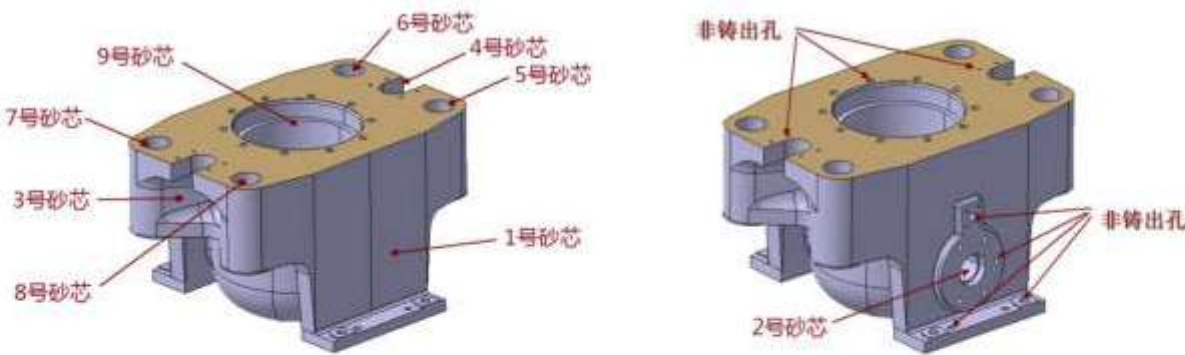


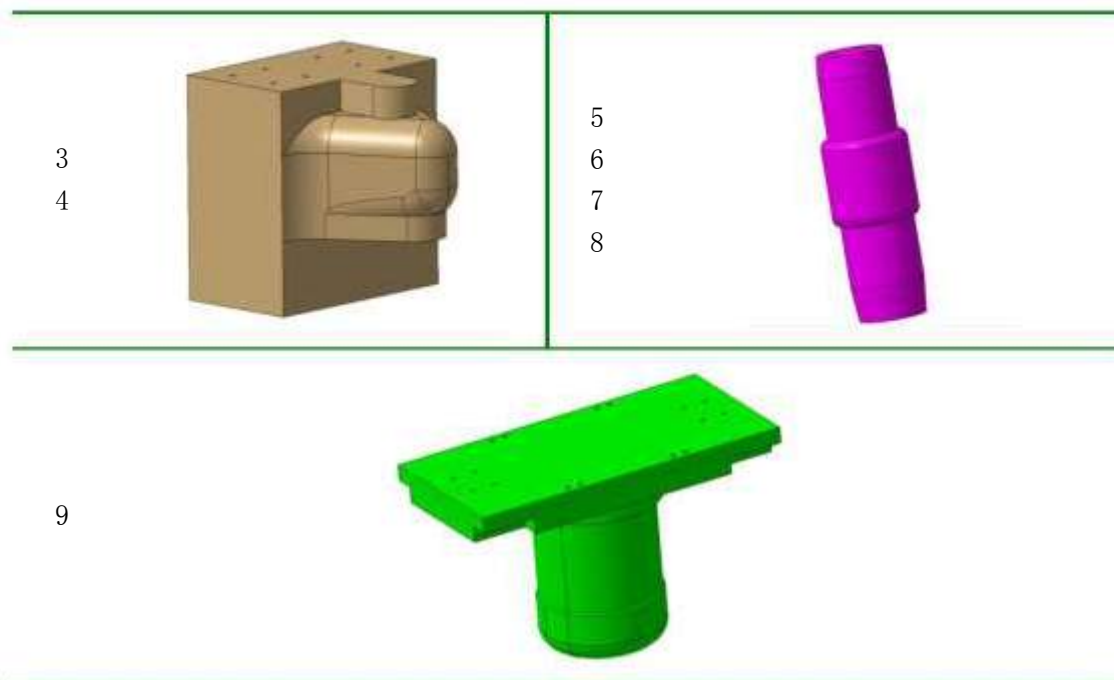
图 3.3沙芯摆放位置示意图

3.3.2砂芯形状

根据以上对本铸件的分析，设置的砂芯形状如表 3.1所示。为了下芯的准确和方便，我们根据砂芯的形状结构特征，在每一块砂芯上都设有芯头或芯座，在砂芯 9 与砂芯 1、2 之间设置了配合，以实现砂芯两两接触时的搭接和准确定位。其中 1 号砂芯与 2 号砂芯, 3号砂芯与 4 号砂芯, 5、6、7、8 号砂芯之间没有固定的先后顺序。

表 3.1 砂芯形状

砂芯 编号	砂芯形状	砂芯 编号	砂芯形状
1		2	



下芯时，根据铸件的结构特点以及接头和芯头的设计位置，取整个下芯流程为：砂芯 1/2—→砂芯 3/砂芯 4—→砂芯 5/6/7/8—→砂芯 9
砂芯组合及下芯顺序示意图如下图 3. 4:

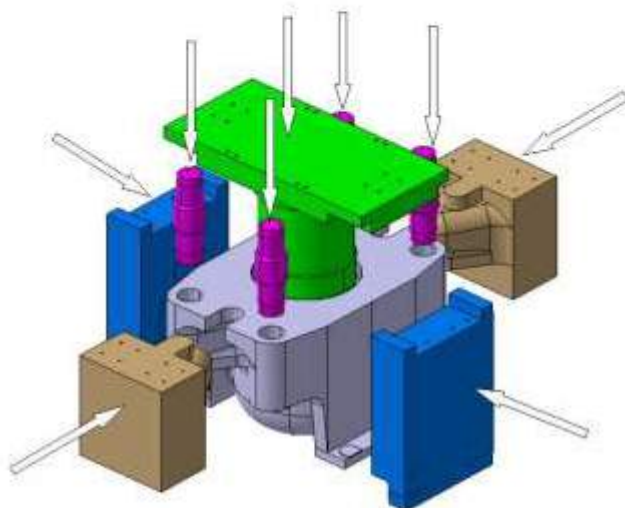
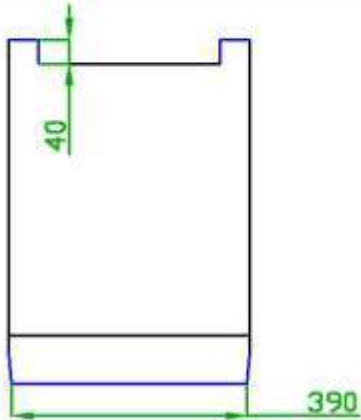
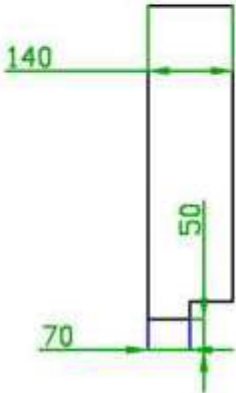
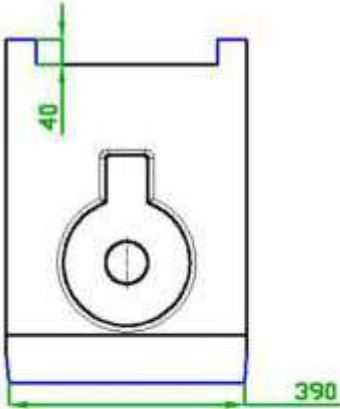
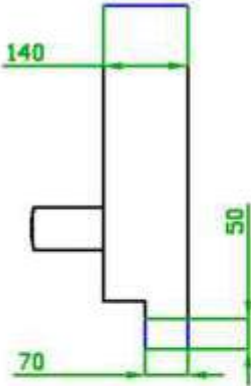
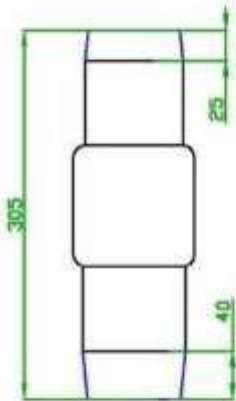
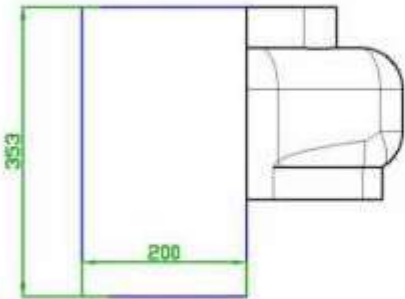
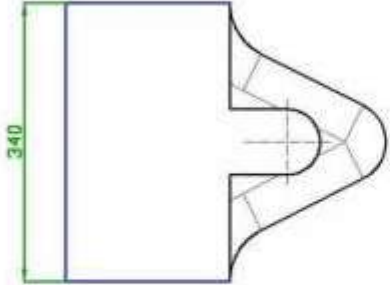


图 3. 4 砂芯组合及下芯顺序示意图

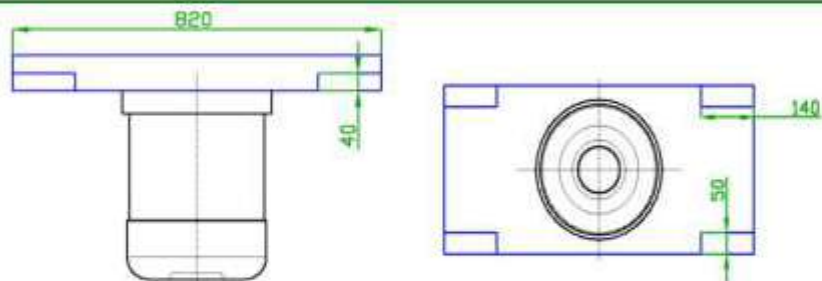
砂芯主要靠芯头固定在砂型上。对于垂直砂芯，为了保证其轴线垂直、牢固地固定 砂型上，必须有足够的芯头尺寸。芯头与芯头座之间有适宜的间隙，以使砂型与砂芯的装配，但又能确保铸件的尺寸精度。

本铸件的砂芯的芯头如表 3. 2 所示。I 均为垂直芯头，II 为悬臂式芯头，III 采用吊芯，同时上面放置一个平板作为特殊定位芯头来定位。同时为了防止砂芯的浮动和增加配合准确度，将砂芯 1 和 2 上面两端伸出 40mm，同时在砂芯 9 的 4 个角挖出相应大小的部分。

表 3.2 芯头的结构尺寸

砂芯编号		芯头结构	
I	1		
	2		
	5		
	6		
	7		
	8		
II	3		
	4		

III 9



其中，I 型应用于沙芯 1、2、5、6、7、8，II 型应用于沙芯 3、4，III 型应用于沙芯 9。芯头尺寸如表 3.3。

表 3.3 芯头尺寸 (单位: mm)

芯头	芯头高度 h	垂直芯头		芯座间隙 S
		芯头斜度 a		
I _{5678下}	40	3.5		1
I _{5678上}	25	4		1
I _{(1)下}	50	4		1.5
I _{(2)下}	50	4		1.5
芯头	悬臂芯头			
	D	L	芯头长度 l	斜度
II _(3、4)	235	197	200	10
芯头	水平芯头			
	芯头长度 h	S ₁	S ₂	S ₃
III ₍₉₎	214	1	1.5	2

铸件生产中，为了快速下芯、合型及保证铸件质量，在芯头的模样上常常做出压环、防压环和集砂槽。如图 3.10 所示。表 3.2 列出了各种芯头的压环、防压环和集砂槽的具体尺寸。需要特殊说明的是，砂芯 5、6、7、8 由于横断面较小而且位置独立，为了防止金属液在浇入时从砂芯底部渗入而使砂芯倒塌或移位，所以在砂芯 5、6、7、8 底部加下压环防止金属液的渗入。

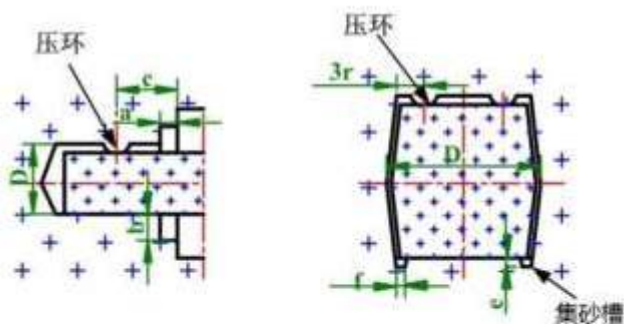


图 3.5 压环和集砂槽

表 3.4 压环与集砂槽尺寸 (单位:mm)

芯头	垂直芯头		
	e	f	r
I (5~8)	1.5	3	1.5
I (1)	5	6	6
I (2)	5	6	6

3.3.3 芯骨设计

根据文献[1]可知，体积大于 0.05m³(5 10⁶mm³)即为中大型砂芯，本铸件中的砂芯部分属于中大型砂芯，因此必须设置芯骨保证砂芯在制芯、搬运、配型和浇注中不开裂、不变形、不被金属液冲击折断,本铸件所用芯骨材料为钢、圆钢及铸铁，为了方便运输和组装，我们采用可拆式芯骨，芯骨的形状如图 3.6所示。砂芯与芯骨的对应关系如表 3.5所示，芯骨的具体尺寸如表 3.6所示。

表 3.5 芯骨应用 单位 (mm)

砂芯	砂芯尺寸	使用芯骨
9	Φ 332*484	a

表 3.6 芯骨尺寸 单位 (mm)

芯骨	横断面尺寸	骨齿直径	吊攀直径
a	25	—	10

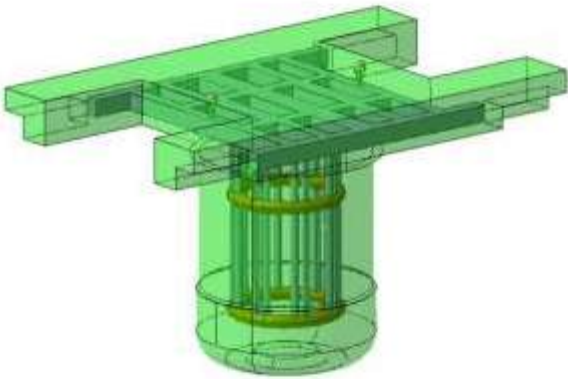


图 3.6 芯骨装配示意图

3.3.4砂芯的排气

本铸件砂芯所用的材料是自硬树脂砂，自硬砂芯在浇注过程中，其粘结剂及芯砂中的有机物的燃烧（氧化反应）、浇注时液流不稳、金属液凝固以及砂芯受热而导致粘接剂分解等都会产生气体。如果这些气体排不出型外，则会引起铸件产生气孔缺陷，甚至喷爆。因此，对于大型铸件，要十分重视砂芯的排气。为此，砂芯中应开设排气道。

下芯时，应注意不要堵塞芯头的出气孔，在铸型中与芯头出气孔对应的位置应用蜡线或尼龙管做排气孔以及放排气填料。为了达到砂芯排气顺畅的目的，我们在砂芯芯头部位以及砂芯厚大部位设置排气孔，尤其在砂芯与砂芯的搭接处设置连接孔。同时，砂芯与砂芯以及砂芯与砂型间的气道要围泥条，以防止金属液窜入气道。本铸件排气示意图如图 3.7 所示。

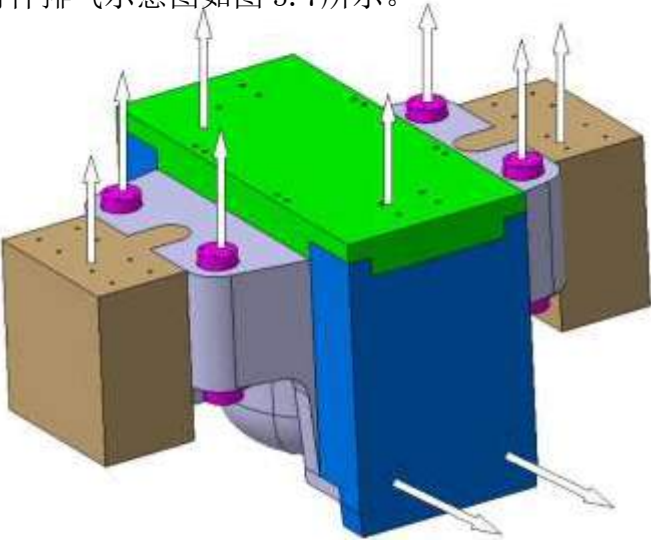


图 3.7 砂芯排气示意图

3.4 铸造工艺参数的设计

3.4.1. 铸件尺寸公差和铸件质量公差

铸件尺寸公差是指铸件公称尺寸的两个允许极限尺寸之差。在这两个允许极限尺寸之内，铸件可满足加工、装配和使用的要求。由该零件“B-油缸”的技术要求，该零件的铸造公差等级为 ISO 8062 CT 12级，按照 GB/T6414—1999，铸件的尺寸公差数值如表 3.7 所示。

表 3.7 铸件的尺寸公差数值

毛坯铸件基本尺寸/mm	CT 12 级铸件尺寸公差/mm
>400-630	10
>630-1000	11
>1000-1600	13

铸件重量公差是以占铸件公称重量的百分比表示的铸件重量变动的允许范围。铸件重量公差等级与铸件尺寸的公差等级应对应选取，故铸件“B-油缸”的铸件公差等级应选 GB/T11351—1989—MT12，按 GB/T11351—1989，铸件的重量公差数值如表 3.8 所示。

表 3.8 铸件的重量公差数值

公称重量/kg	CT 12 级铸件尺寸公差数值/%
>40-100	14
>100-400	12
>400-1000	10

所以对于“B-油缸”，铸件尺寸公差数值为 11mm，重量公差数值为 10%。

3.4.2. 加工余量

机械加工余量等级由精到粗分为 A、B、C、D、E、F、G、H、J 和 K 共 10 个等级，本铸件为球墨铸铁件，采用树脂砂手工造型，机械加工等级选 E~G 级。根据铸件的“浇注位置”，对铸件不同部位设置不同等级的“加工余量等级”：处于浇注位置“底部”的选择等级高的 E 级，处于浇注位置“侧面”的选择等级较高的 F 级，而处于浇注位置顶部选择级别相对较低的 G 级。本铸件的加工余量的设置位置如图 3.8 所示。

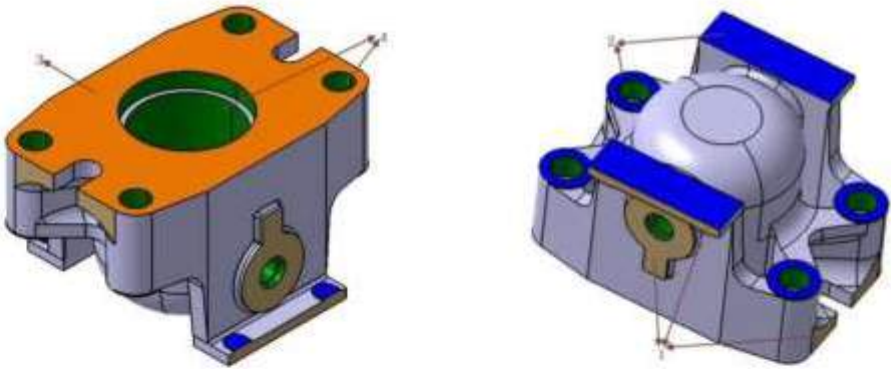


图 3.8 加工余量设置位置

机械加工余量值应根据最终机械加工后成品零件的最大轮廓尺寸和相应的尺寸范围选取。本零件的最大轮廓尺寸为 830mm，根据文献【1】《铸造手册》GB/T6414—1999 所要求的机械加工余量如下表 3.9 所示。

表 3.9 文献要求机械加工余量

要求的机械加工余量（RMA）				
尺寸范围（mm）		要求的机械加工余量等级		
最大尺寸值（mm）	最小尺寸值（mm）	E	F	G
400	630	2.2	3	4
630	1000	2.5	3.5	5
1000	1600	3.8	4	5.5

根据铸件的尺寸公差等级要求的机械加工余量等级及铸件的最大轮廓尺寸确定加工余量的数值，不同情况下铸件的机械加工余量的计算方式不同。本铸件需要进行机械加工的表面包括：铸件侧面加工，内腔（孔）加工，铸件顶部加工，局部小孔加工，铸件底部加工。各面的加工余量计算结果如表 3.10 所示。

表 3.10 各面的加工余量计算结果 （单位：mm）

加工面	所属类型	计算公式	加工余量等级	RMA	CT	加工余量
1	铸件侧面	$\delta = RMA + CT / 2$	F	3.5	11	9
2	铸件底部	$\delta = RMA + CT / 2$	E	2.5	11	8
3	铸件顶部	$\delta = RMA + CT / 2$	G	5	11	10.5
4	内腔孔	$\delta = -2RMA - CT / 2$	F	3.5	11	12.5

参数说明：RMA—要求的机械加工余量，CT—铸件尺寸公差。
机械加工余量示意图如图 3.9 所示，标红处为加工余量。

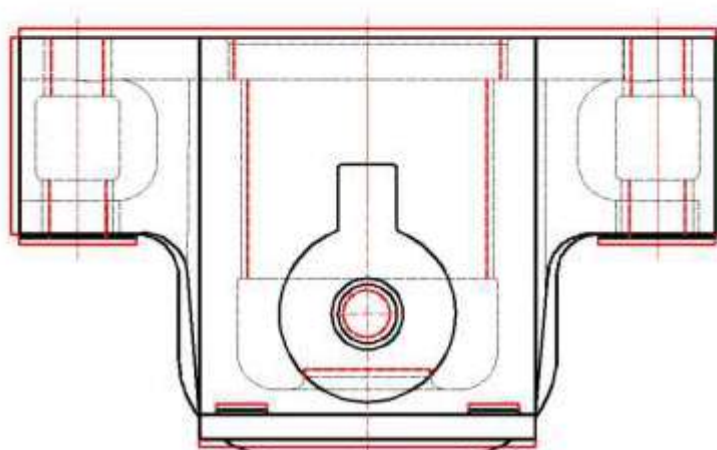


图 3.9 机械加工余量示意图

3.4.3. 铸件线收缩率

铸件线收缩率是指铸件从线收缩开始温度（从液相中析出枝晶搭成的骨架开始具有固态性质时的温度）冷却到室温时的相对线收缩量，为获得尺寸精度较高的铸件，必须选取符合实际的适宜的铸件线收缩率。金属液在凝固之后的冷却过程中的收缩介于“自由收缩”与“受阻收缩”之间，对于该零件“B-油缸”QT500-7，偏向于“自由收缩”。影响铸件线收缩率的主要因素是铸件的结构复杂程度和尺寸的大小。本铸件属于简单厚实的铸件，其铸件线收缩率要比结构复杂铸件的大，按照文献【1】《铸造工艺设计》（铸件工艺参数）中“铸造收缩率”的设计依据表-选择该铸件的铸造收缩率为 1.2%。

表 3.11 铸造的线收缩率(%)

铸件种类	铸造收缩率	
	受阻收缩	自由收缩
珠光体球墨铸铁	0.8~1.2	1.0~1.3
铁素体球墨铸铁	0.6~1.2	0.8~1.2

3.4.4. 起模斜度

当铸件本身没有足够的结构斜度，应在铸件设计或铸造工艺设计时给出铸件的起模斜度，以保证铸型的起模。起模斜度的设置方法有“增加厚度法”、“减小厚度法”和“加减厚度法”。本设计采用“增加厚度法”在砂芯的外表面上设置起模斜度。根据文献【1】，自硬砂造型时木模样的起模斜度如表 3.12 所示。

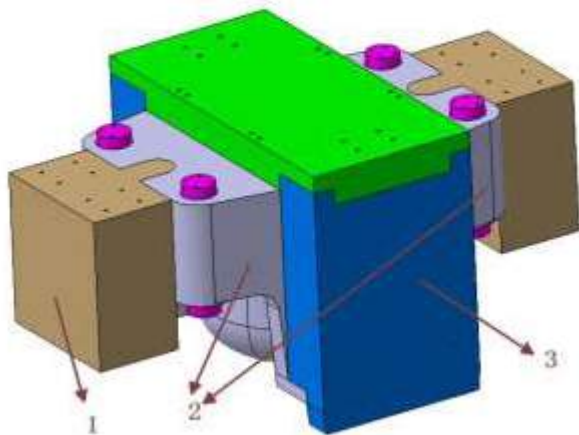


图 3.10 起模斜度示意图

表 3.12 起模斜度的设计准则

测量面高度 mm	起模斜度 α	起模斜度 a/mm
>40-100	$0^{\circ} 55'$	1.6
>100-160	$0^{\circ} 40'$	2.0
>160-250	$0^{\circ} 35'$	2.6
>250-400	$0^{\circ} 35'$	4.2
>400-630	$0^{\circ} 30'$	5.6

表 3.13 本铸件砂芯外表面起模斜度设计数值

设置部位	测量面高度 h/mm	起模斜度 a/mm
1	352	4.2
2	251	4.2
3	529	5.6

3.5 最小铸出孔和槽

机械零件上往往有很多孔、槽和台阶，一般应尽可能在铸造时铸出。这样既可节约金属，减少机械加工的工作量、降低成本，又可使铸件壁厚比较均匀，减少形成缩孔、缩松等铸造缺陷的倾向。但是，当铸件上的孔、槽尺寸太小，而铸件的壁厚又较厚和金属压力较高时，反而会使铸件产生粘砂，造成清理和机械加工困难，有的孔、槽必须采用复杂而且难度较大的公益措施才能铸出，而实现这些措施还不如用机械加工方法制出更为方便和经济。根据文献【1】中“铸造工艺设计”的规定，球墨铸铁的最小铸出孔如表 3.11所示，本铸件所有的孔均属于注出孔。

表 3.14 球墨铸铁的最小铸出孔 (单位：mm)

铸件厚度	<50	50—100	101—200	>200
应铸出的最小孔径	35	40	45	另行规定

在此，对于铸件的几个特殊情况进行简要说明和解释。

(1) 铸件中存在凸台，根据文献【1】“铸造工艺设计”中规定当凸台高度

$\leq 10\text{mm}$ 时不应注出。本铸件凸台的零件尺寸为 5mm ，按照规定不应注出；但是根据图纸要求这些凸台的位置均存在较大的加工余量，增设加工余量后凸台可以注出。

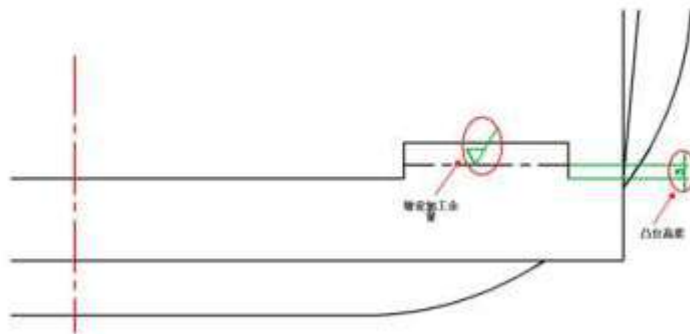


图 3.11 凸台增设加工余量示意图

(2) 铸件中存在胖肚形孔，如图 3.16 所示。根据文献【1】中“铸造工艺设计”中规定，当 $t \leq 10\text{mm}$ 时，胖肚形孔不应铸出；按规定本铸件胖肚形孔不应注出。但是由于存在较大的加工余量，使本铸件的圆肚形孔达到注出要求即 $t > 10\text{mm}$ ，最后通过机械加工修正尺寸。

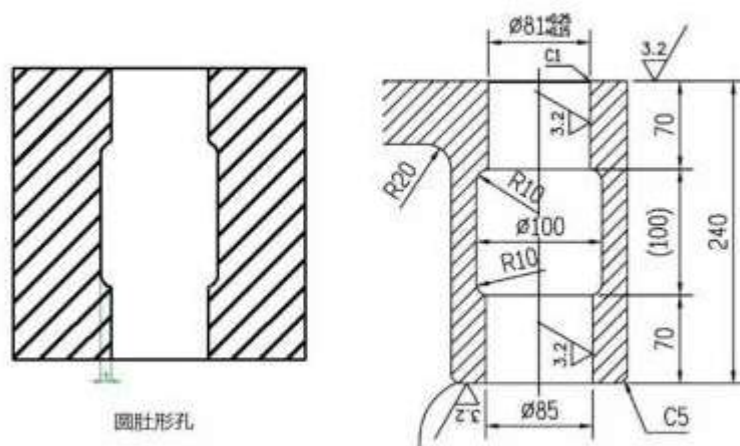


图 3.12 圆肚形孔加工余量示意图

3.6. 其他工艺参数

考虑本铸件壁厚或结构特点，且后续的工艺优化，无需对其设定反变形量和工艺补正量。同时起模后的修型和烘干过程中的，砂芯的形变不会引起分型面凹凸不平，所以无需选取分型负数。

4 浇注系统设计

浇注系统是引导金属液进入铸型型腔的通道，浇注系统设计得合理与否，对铸件的质量影响非常大，容易引起各种类型的铸造缺陷，如：浇不足、冷隔、冲砂、夹渣、夹杂、夹砂等铸造缺陷。浇注系统的设计包括浇注系统类型设计、内浇口位置的选择以及浇注系统各组元截面尺寸的计算。

浇注系统的设计应遵循以下原则：

- (1) 引导金属液平稳、连续地充型，避免卷气、金属氧化物夹杂和冲刷型芯。
- (2) 充型过程中流动的方向和速度可以控制，保证铸件轮廓清晰、完整。
- (3) 在合适的时间内充满型腔，避免形成夹砂、冷隔、皱皮等缺陷。
- (4) 调节铸型内的温度分布，利于强化铸件补缩、防止铸件变形、裂纹等缺陷。
- (5) 具有挡渣、溢渣能力，净化金属液。
- (6) 浇注系统应当简单、可靠，减少金属液消耗，便于清理。

4.1 浇注系统类型的选择

(1) 球墨铸铁件浇注系统的特点分析

铁液经过球化，孕育处理后温度下降很多，球墨铸铁件的金属液极易氧化和二次造渣，铁液较粘，流动充型能力较差，缩孔、缩松倾向大，易产生氧化皮夹渣和皮下气孔，浇注温度对流动性影响很大。此外，球墨铸铁件在结晶凝固过程中因析出石墨发生体积膨胀^[10]。因此，其浇注系统有两个特点：既大流量地输送铁液，且具有比灰铸铁更好的挡渣作用。根据以上对于球墨铸铁件的分析，我们进行了以下浇注系统方案的设定。

(2) 浇注方式

B-油缸属于中型的球墨铸铁件，为了减少浇注过程中的氧化的影响，提高浇注系统的挡渣能力，本铸件采用保温性能好、阻渣能力强的漏包浇注。漏包浇注的浇注系统结构简单、截面积大，使得充型快而平稳，减少浇注过程中的氧化，有利于铸件的顺序凝固和冒口对厚大部位的补缩。

(2) 浇注系统

根据浇注系统各组元截面积的比例，可分为开放式的浇注系统和封闭式的浇注系统。由于本铸件选择池形浇口杯，故采用开放式的浇注系统。因为封闭式浇注系统会使进入型腔的金属液流速高，易产生喷溅和冲砂，使金属氧化，不适用于易于氧化的本球墨铸铁件。而开放式浇注系统的优点是：进入型腔时金属液流速小，充型平稳，冲刷力小，金属氧化少，适合于球铁件。

根据文献【1】，厚壁球墨铸铁件采用开放式浇注系统，浇注系统断面比取 $\Sigma A_{直} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{内} = 1:3:2$ 。

(3) 内浇口的位置

浇注系统根据其内浇口的设置位置，可以分为顶注式、中注式、底注式、阶梯注入式。

各方案优缺点分析如下：顶注式浇注系统的充型能力强，有利于冒口的补缩，此外，根据 3.1 节以及 3.2 节对于浇注位置和分型面的分析，我们采用图 3.1 中(e)或(f)的浇注位置，以及图 3.2 中(a)分型面，采用顶注式浇注系统方便进行浇注系统的设计，方便造型。但浇铸时液流落下造成金属液翻腾，不利于浮渣排气，与空气接触面积大，易氧化，容易产生氧化夹渣；底注式浇注系统的

内浇道位于铸件底部, 金属液从型腔底部注入铸型。该浇注系统的金属液充型平稳, 不会产生激溅、铁豆, 型腔内的气体易从顶部排出, 金属氧化少。缺点是不利于顶部冒口的补缩, 金属液的充型能力相对较差。此外, 由于采用的分型面和浇注位置的缘故, 底注式浇注系统不利于补缩系统的设计和造型; 中间注入式浇注系统同时具有顶注式浇注系统和底注式浇注系统的优点和缺点; 阶梯式浇注系统具有充型能力强、充型平稳、金属液不易氧化、补缩能力强的优点, 但其缺点是结构复杂, 消耗的金属液量多。

根据上述优缺点比较, 底注式和顶注式浇注系统两种都较为合适。由于我们采用图 3.2 (a) 所示的分型面, 采用顶注式便于浇注系统的设计和造型, 并且易于补缩系统的设计, 但是顶注式金属液易氧化, 且容易产生卷气现象。而底注式浇注系统虽然不便于造型, 但是充型稳定, 可以最大程度上保证铸件质量。因而根据文献无法最终确定顶注式和底注式两种浇注系统的优劣, 所以在方案设计之初内浇口共设计两套方案。为了更全面地衡量两种浇注系统的优劣, 最后将会根据本章最后一节 ProCast 模拟情况来最终确定浇注方案的选用。

4.2 浇注系统尺寸的确定

球墨铸铁液经过球化、孕育处理后温度下降很多, 且易产生氧化。故球墨铸铁的浇注系统要有两个特点: 大流量地输送铁液和具有比灰铸铁更好的挡渣能力。当球墨铸铁件确定了浇注系统的类型、形式和布置后, 需要计算浇注系统各单元的尺寸, 一般先确定浇注系统的最小截面的尺寸。按照公式法, 我们采用更加可靠、实用且为铸造工作者普遍接受的截面比设计法来设计浇注系统。

由于根据托里折利小孔出流定律计算浇注系统截面积值一般偏小, 实际浇注时间偏长, 且实际值与原设计值相差较大, 难以实现“大流量、低流速、平稳洁净地充型”, 并且因此而引起冷隔、浇不到、射流、夹砂结疤等铸造缺陷^[5]。在实际应用过程中浇注系统中的金属液流动实质上是“大孔出流”, 因而本设计方案采用大孔出流理论作为设计依据。

“大孔出流”理论认为精确计算浇注系统截面积的关键在于决定内浇道出流速度的实际静压头及其影响因素。即:

- (1) 浇注系统各单元的流速取决于该单元与其上一单元的侧压力高度差。
 - (2) 各单元的流动侧压力高度取决于浇注系统的单元间断面比和总压力高度
- 截面比设计法的设计步骤示意图如图 4.1 所示。



图 4.1 断面比设计法的设计步骤

4.3 浇注系统浇注时间

根据文【1】，对于重型铸铁件，浇注时间可按 $t = S_2 \sqrt{G_L}$ 计算。其中， S_2

为壁厚系数，与铸件的壁厚有关。由于本铸件壁厚较大，远超出所给范围，壁厚系数难以确定，故采用文献【4】中的计算公式，即：

$$t = f \left(\sqrt{G_{\text{件}}} + \sqrt[3]{\frac{1}{5} \delta G_{\text{件}}} \right) \cdot \left(\frac{2}{3} \right)^{n-1} \quad (\text{式 4.1})$$

式中：

t-铸件的有效浇注时间 (S)；

f-材质系数, 球铁件为 0.6~0.8, 本设计方案中 f 取值为 0.6；

n-浇注系统组数或浇包个数, 本设计方案只包含一个浇包, 因而, n 取 1。

δ -主要壁厚 (mm), 指最薄壁厚; B-油缸件最薄壁厚 50mm, 因而 δ 取 50mm。

$G_{\text{件}}$ -铸件质量, 不含浇冒口 (Kg), 铸件质量为 686.4kg。

B-油缸的重量为 686.4kg, 由于公式中 $G_{\text{件}}$ 不含浇冒口质量, 取出品率为 80%, 因而重量按 $G_{\text{件}}=861\text{kg}$ 计算。

代入公式, 则浇注时间为: $t=29.1\text{s}$

4.4 方案一：底注式浇注系统设计

4.4.1 平均静压头

由铸件分型面的选择可知, 铸件位于上下砂型之间, 铸件高度为 500mm, 浇注方式为底部注入, 根据资料(1)表 3-135 选择平均静压头高度 $H_p=77\text{cm}$, 上砂型高度 30cm, 浇口杯高度 22cm, $H_0=H_p+0.5h_c=77+0.5 \times 50=102\text{cm}$ 。对于该铸件的平均静压头示意图如图 4.2 所示。

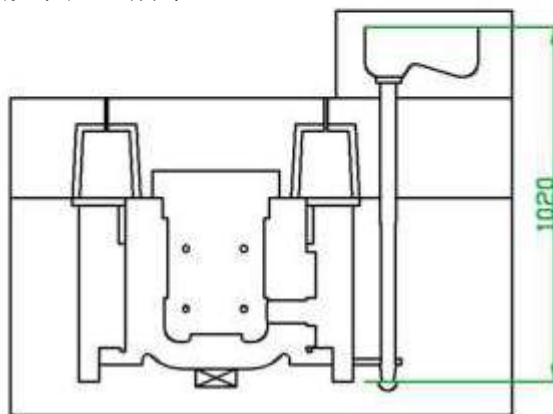


图 4.2 铸件的平均静压头示意图

4.4.2 各浇道横截面尺寸

本铸件采用开放式的浇注系统, 其阻流断面在直浇道的下部。浇口杯、直浇道、横浇道、内浇道等各单元最小处的总断面积中, 内浇道的总断面积应该最大, 使得浇注系统易于充满, 补缩效果好。根据预定断面比 $\Sigma A_{\text{直}} : \Sigma A_{\text{横}} : \Sigma A_{\text{内}} = 1:3:2$

根据文献【1】, 内浇道截面积计算公式为:

$$F_{\text{内}} = \frac{G}{0.31 \mu_3 t \sqrt{H_p'}} \quad (\text{式 4.2})$$

由于本设计方案浇注系统包括浇口杯、直浇道、横浇道、内浇道四个部分，因而适用于文献【1】中四组元浇注系统尺寸计算设计公式。计算出内浇道单元处的压力高度值（ H_p' ）来代替平均静压头（ H_p ）进行设计

根据文献【1】，有效作用平均静压头高度按下述公式确定：

$$H_p' = \frac{K_2^2}{1 + K_1 + K_2} (H_1 - \frac{P^2}{2C}) (\text{cm}) \quad , \quad K_1 = \frac{u_1'}{u_2 F_{\text{横}}}, K_2 = \frac{u_1'}{u_3 F_{\text{内}}}$$

流量损耗系数 u 值的确定：

$$\text{取 } \frac{1}{u_2} = 1.0 \sim 1.1, \frac{1}{u_3} = 1.1 \sim 1.3, u_1 = 0.50 \sim 0.65, u_2 = 0.50 \sim 0.65, u_3 = 0.45 \sim 0.60$$

顶注时取上限，底注时取下限。由于本设计方案采用底注式，所以全部选用下限。根据文献【1】：

$$\frac{1}{u_2} = 1.0, \frac{1}{u_3} = 1.1, K_1 = 0.33, K_2 = 0.55, c = 500, p = 480, H_1 = 996$$

代入公式可得： $H_p' = 15.98 \text{cm}$ ，从而推出

$$F_{\text{内}} = \frac{G}{0.31 \mu_3 t \sqrt{H_p'}} = 34.78 \text{cm}^2 \quad F_{\text{直}} = \frac{1}{2} F_{\text{内}} = 17.39 \text{cm}^2 \quad F_{\text{横}} = \frac{2}{3} F_{\text{内}} = 52.18 \text{cm}^2$$

(1) 内浇道尺寸

内浇道的功能是控制充型速度和方向，分配金属液，调节铸件各部位的温度和凝固顺序，浇注系统的金属液通过内浇道对铸件有一定的补缩作用。内浇道在铸件上的位置和数目的确定应服从所选定的凝固顺序或补缩方法。

本铸件的内浇道设在厚壁处从顶部注入，并通过冒口，让金属液先流经冒口再引入型腔。通过冒口是为了使铸件顺序凝固，更能提高冒口的补缩效果。内浇道的数量为两个，根据文献[1]中表 3-236，我们选用 I 型内浇道。因为这种扁平型的内浇道易于清理，能提高横浇道的挡渣效果。因为 $F_{\text{内}} = 34.78 \text{cm}^2$ ，内浇道个数为 2，因而设计 $a=100 \text{mm}$ ， $b=60 \text{mm}$ ， $c=22 \text{mm}$ 。其示意图如图 4.3 所示：

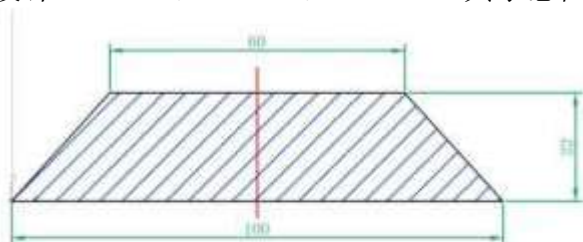


图 4.3 内浇道示意图

(2) 横浇道尺寸

横浇道是指从直浇道的末端到内浇口前端之间的通道。横浇道需要提供稳定的金属液流，对金属液的流动有较小的阻力。本铸件采用梯形截面的横浇道，有利于横浇道余量顺利脱出，在生产实践中很常用。根据横浇道的计算面积

$F_{\text{横}}=52.18\text{cm}^2$ ，与横浇道相连的内浇道的个数为 2，因而设计 $a=50\text{mm}$ ， $b=38\text{mm}$ ， $c=50\text{mm}$ 。横浇道的示意图如图 4.4 所示

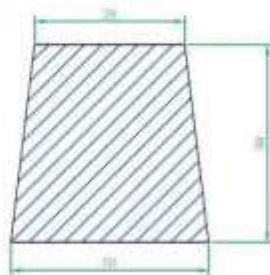


图 4.4 横浇道示意图

(3) 直浇道尺寸

直浇道会引导从浇口杯金属液向下，进入横浇道、内浇道或直接导入型腔，提供足够的压力头，使金属液在重力的作用下能克服各种流动阻力，在规定的时间内充满型腔。直浇道通常做成上大下小的锥形，等断面的柱形和上小下大的倒锥形。

根据直浇道的计算面积 $F_{\text{直}}=17.39\text{cm}^2$ ，直浇道的截面如图 4.5 所示。根据铸件的实际情况，和文献【1】设计 $D=46\text{mm}$ ， $D_1=56\text{mm}$ ， $L=860\text{mm}$ 。

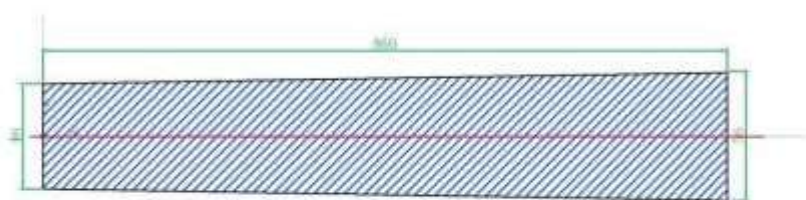


图 4.5 直浇道示意图

(4) 浇口窝的设计

浇口窝能对来自直浇道的金属液起缓冲作用，是直浇道和横浇道拐角处的紊流区，能够改善横浇道内的压力分布。其底部宜防置干砂芯片或耐火砖块，可防止冲砂。比较合适的尺寸是：浇口窝直径为直浇道下端直径的 1.2-2 倍，高度为横浇道高度的 2 倍。

4.4.3 浇注系统设计校核

(1) 型内液面上升速度

校核结构复杂及大型铸件，在浇筑时间确定后，需验证型内液面上升速度。最小液面上升速度与铸件壁厚的关系如表 4.1 所示。 v_L 数值应大于表中参考数值，太小则应修正。

表 4.1 最小液面上升速度与铸件壁厚关系

铸件壁厚 δ /mm	$v_L /$ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$
$\delta > 40$ 水平位置浇注	0.8~1.0
$>10 \sim 40$	1.0~2.0
$>4 \sim 10$	2.0~3.0
1.5~4	3~10

本铸件的平均液面上升速度

$$v_L = \frac{C}{t} \quad (\text{式 4.3})$$

式中：

C ——铸件在浇注位置时的高度（cm）；

t ——浇注时间（s）。

代入可得： $v_L = \frac{50\text{cm}}{29.1\text{s}} = 1.718\text{cm/s}$ ，大于 1.0cm/s ，所以设计计算符合要求。

（

2) 最小剩余压头高度 H_M 的计算

为了保证金属液能够充满铸件上距直浇道最远最高的部分，获得结构清晰，轮廓完整的铸件，铸件最高点到浇口杯内液面的高度必须大于或等于最小值 h_M ，即直浇道应有必要的高度。其计算公式如下：

$$H_M = L \tan \alpha (\text{mm}) \quad (\text{式 4.4})$$

式中：

L ：金属液的流程，即铸件最高、最远点到至直浇道中心线的水平距离

H_M ：最小剩余压头高度（mm）

α ：最小压力角（°）

$H_M = 510\text{mm}$ ， $L = 780\text{mm}$ ， $\alpha = 7^\circ$ ，则 $H_M \geq L \tan \alpha (\text{mm})$ ，证明设计符合要求。

4.4.4 浇注系统浇口杯的设计

浇口杯的作用是：接纳来自浇包的金属液，便于浇注；缓和金属液的冲击，把金属液较平稳地引入直浇道；阻挡金属液中溶渣和防止气体卷入直浇道；对一些高件、大件、重要件，当砂箱高度不够时，可起到提高压力头作用。。

浇口杯的结构形状分类：漏斗形、池形。

本铸件属于中型铸件，且对于挡渣作用要求较高，漏斗形浇口杯结构简单，挡渣作用差。而池形浇口杯效果较好，底部设置凸起有利于浇注操作，使金属液的浇注速度达到适宜的大小后再流入直浇道。这样浇口杯内液体深度大，可阻止垂直轴旋转的水平旋涡的形成，从而有利于分离渣滓和气泡。因而根据文献[1]选用池形浇口杯。同时为增强挡渣效果，在浇注前，将会使用薄铁皮堵住直浇道。

浇口杯尺寸计算如下：

（1）浇口杯容量的计算：

$$G_{\text{杯}} = \frac{L}{t} m \quad (\text{式 4.5})$$

式中： $G_{\text{杯}}$ 为浇口杯中金属液的重量（kg）；

t 为浇注时间（s），本铸件中 $t = 29.1\text{s}$ ；

m 为金属液储备系数，根据文献【1】查得 B-油缸 $m = 6$ 。

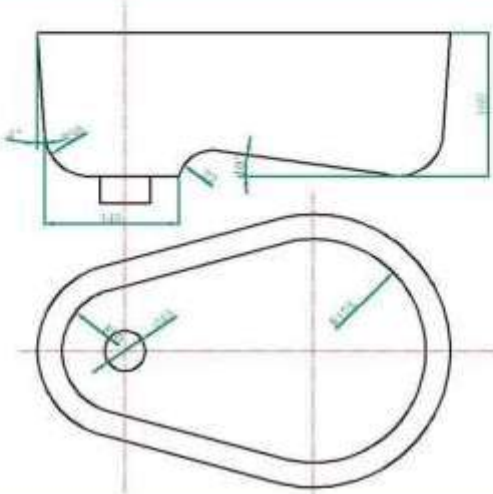
从而得出： $G_{\text{杯}} = 177.5\text{kg}$

（2）浇口杯尺寸的计算：

根据文献【1】，选用文献中所给浇口杯容量为 170kg 浇口杯尺寸为本设计方案采用尺寸。

表 4.2 浇口杯尺寸

浇口杯 尺寸	L	R	R _i	r
	210	125	70	50
浇口杯 尺寸	r	H	l	d
	22	160	110	38



4.4.5 过滤网的设计

浇注系统的挡渣功能是设计浇注系统的重要因素。人们往往采用带有各种拐弯、阻流装置、缝隙浇道等类型的浇注系统来提高挡渣功能，但是这些措施有时并无显著效果。特别在浇注初期，头股金属液流会携带大量的夹杂物进入铸型。采用在横浇道中设置集渣包和延长段的方法，对于截获头股液流中的夹杂物虽有一定效果，但并不令人满意^[8]。

液态金属过滤是一项去熔融金属中夹杂物有效净化液态金属的铸造工艺技术。铸造生产中常用的过滤器有许多种。其中耐高温纤维过滤网具有结构简单、成本低廉、使用方便过滤效果好等优点^{[9][10]}，放在浇注系统中可以有效地拦截熔融金属中的夹杂物，减少铸件因渣眼气孔等缺陷造成的废品，提高铸件的机械强度硬度流动性等性能指标。

由于在浇注系统原有设计参数不变的条件下，横浇道搭接处放置过滤网后，浇注系统的流量系数减少 0.1~0.2^[11]，因而，为了弥补流量系数减少百分比，仅在浇口杯与直浇道过滤网相连部分，直浇道直径比原先设计直径加大 10%。过滤网具体位置示意图如图 4.7 所示。

4.4.6 浇注系统的结构

通过以上的分析计算，最后确定底注式浇注系统的示意图如图 4.8 所示，底注式浇注系统尺寸如图 4.8 所示。

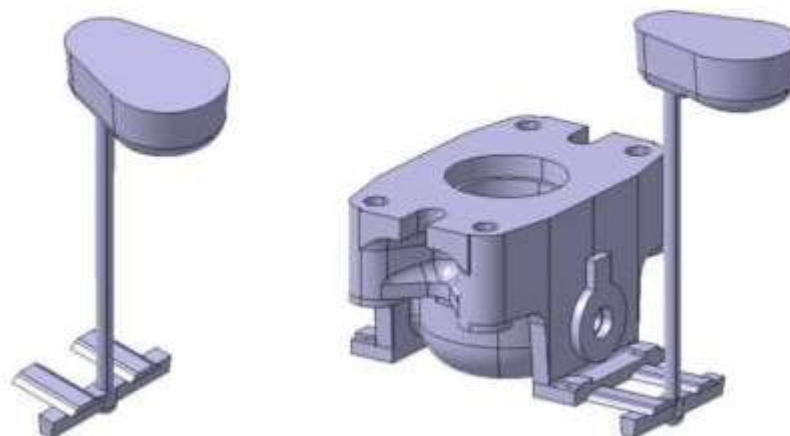


图 4.6 (a) 浇注系统结构

(b) 浇注系统位置

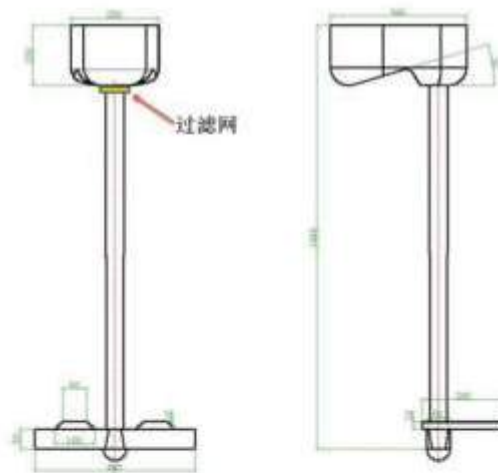


图 4.7 浇注系统尺寸及过滤网设置位置

由于浇注中大型铸件时金属液流量大、温度高，很难避免冲砂和粘砂现象。因流钢砖过于笨重，内浇道的形式很单一，可以选择的余地太小，而陶瓷管壁薄、重量轻，形式多样，弥补了流钢砖的诸多不足，特别适合树脂砂造型，所以本浇注系统的直浇道、横浇道和内浇道均采用陶瓷管埋设在铸型中以形成浇注系统。

4.5 方案二：顶注式浇注系统的设计

4.5.1 浇注系统平均静压头

首先进行简单分析，铸件位于上下砂型之间，铸件高度为 500mm，浇注方式为顶部注入，根据资料（1）表 3-135 选择平均静压头高度 $H_p=47\text{cm}$ ，上砂型高度 22.2cm，浇口杯高度 24cm， $H_0=H_p+0.5h_c=47+0.5\times 50=72\text{cm}$ 。

4.5.2 顶注式浇注系统各浇道横截面尺寸

本铸件采用开放式的浇注系统，其阻流断面在直浇道的下部。浇口杯、直浇道、横浇道、内浇道等各单元最小处的总断面积中，内浇道的总断面积应该最大，使得浇注系统易于充满，补缩效果好。根据预定断面比 $\Sigma F_{\text{直}}:\Sigma F_{\text{横}}:\Sigma F_{\text{内}}=1:3:2$

依据“大孔出流原则”，根据资料(1)中表 3-160，取 $H_p=52\text{cm}$ ，计算出内浇道单元处的压力高度值（ H_p' ）来代替平均静压头（ H_p ）进行设计。对于 4 单

元的浇注系统， $H_p' = \frac{k_2^2}{1+k_1+k_2^2} H_p$ ，根据文献【1】及铸件尺寸可得：
 $H_p' = 12.73\text{cm}$ ，则 $F_{内} = \frac{0.31\mu_3 t \sqrt{H_p'}}{0.31\mu_3 t \sqrt{H_p'}} = 38.34\text{cm}^2$

由于浇注系统内浇道、横浇道和直浇道设计方法和底注式基本相同，因而不再进行赘述，计算结果如表所示：

表 4.3 直浇道尺寸

直浇道尺寸	D	D _i	L	F
	50mm	55mm	350mm	17.39cm ²

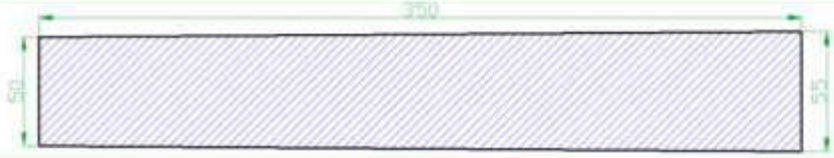


表 4.4 横浇道尺寸

横浇道尺寸	a	b	c	F
	100mm	50mm	80mm	57.52cm ²

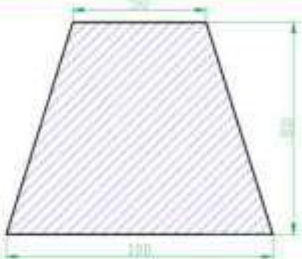


表 4.5 横浇道尺寸

内浇道尺寸	a	b	c	F _内
	230mm	150mm	20mm	38.34cm ²



(4) 浇口窝的设计

浇口窝直径为直浇道下端直径的 1.2-2 倍，高度为横浇道高度的 2 倍。

4.5.3 顶注式浇注系统设计校核

(1) 型内液面上升速度

校核结构复杂及大型铸件，在浇筑时间确定后，需验证型内液面上升速度。

根据文献【1】，最小液面上升速度与铸件壁厚的关系， v_L 数值应大于参考数值 1cm/s，太小则应修正。

根据本设计方案 $v_L = \frac{50\text{cm}}{29.1\text{s}} = 1.718\text{cm/s}$ ，所以验算本设计方案符合要求。

(
2) 最小剩余压头高度 H_M 的计算

$$H_M = L \tan \alpha (\text{mm}) \quad (\text{式 4.6})$$

其中 $H_M = 450\text{mm}$, $L = 490\text{mm}$, $\alpha = 7^\circ$, 则 $H_M \geq L \tan \alpha (\text{mm})$, 证明设计符合要求。

4.5.4 顶注式浇注系统浇口杯的设计

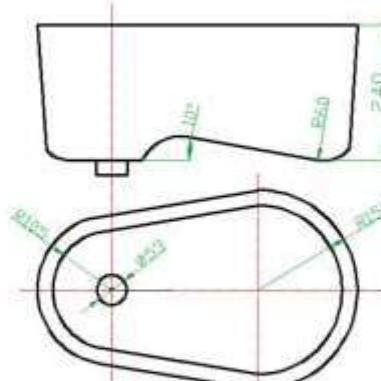
本铸件属于中型铸件，且对于挡渣作用要求较高，因而根据文献[1]选用池形浇口杯。同时为增强挡渣效果，在浇注前，将会使用薄铁皮堵住直浇道。浇口杯尺寸根据文献【1】取：

$$G_{\text{杯}} = 260\text{kg}$$

根据文献【1】，选用文献中所给浇口杯容量为 260kg 的尺寸为本设计方案

表 4.6 顶注式浇注系统浇口杯示意表

浇口杯 尺寸	L	R	R _i	r
	260	150	105	60
浇口杯 尺寸	r _i	H	L	d
	25	240	170	53



4.5.5 顶注式浇注系统的结构

通过以上的分析计算，最后确定顶注式浇注系统的示意图如图 4.8 所示，

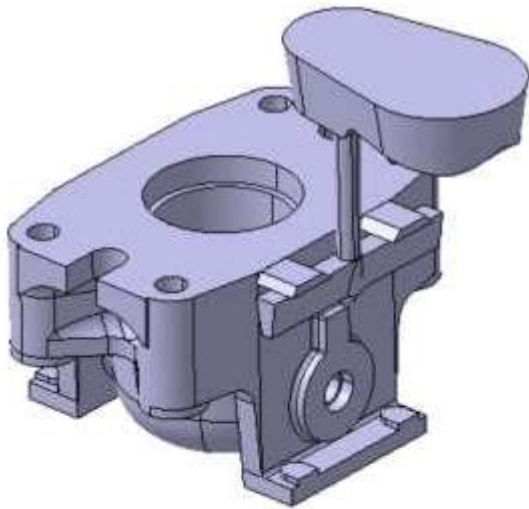


图 4.8 顶注式浇注系统结构示意图

5 补缩系统设计

本铸件采用球墨铸铁，球墨铸铁因呈糊状凝固，而凝固过程有很大的共晶膨胀力，当铸型刚度较小时，促使铸型外形胀大，其结果使铸件最后凝固的地方得不到足够的液态金属补缩而形成“缩孔”或“缩松”而使铸件报废^[12]。因而在铸件凝固过程中必须尽量消除“缩孔”或“缩松”现象的发生。目前，常用的方法：一是以直接补注法消除缩孔，二是用冒口补缩铸件。

满足直接补注法的成形铸件一般很少，并要求在很多地方同时进行补注，而且在向结晶层补充时，铁水不允许中断。进行连续补注时，则要求补注的速度应与铸件结晶的速度相同，这在生产条件下很难做到。因此实际生产中通常采用冒口进行补缩，用以补偿铸件形成构成中可能产生的收缩，以防止铸件产生缩孔、缩松并兼有排气、集渣、引导充型的作用。

冒口设计的主要内容是选择冒口的类型及安放位置，确定冒口的数量，计算冒口的尺寸，校核冒口的补缩能力。冒口设计的重点是冒口类型的选择和尺寸的计算。对于球墨铸铁件冒口尺寸的确定，可以采用“全压力冒口”设计方法，也可以采用“控制压力冒口”设计方法。

5.1 冒口的类型

由于本铸件采用的是树脂自硬砂造型，砂型的刚度高，所以能够抵制球墨铸铁共晶膨胀的压力，保证铸型不发生塑性变形。为了充分利用球墨铸铁的体积膨胀和砂型的刚度条件，本设计采用“控制压力冒口”。当型腔中的铁水冷至液相线开始凝固时，由于析出石墨而发生膨胀，形成的膨胀压力驱动铁水向冒口中输送，一直进行到冒口原先的型腔重新被铁水充满为止。当石墨化膨胀压力大于正经历凝固收缩部分（二次收缩）所造成的负压，则球铁因二次收缩在铸件内形成的缩松即可避免^[13]。

由于大型球墨铸铁件的铁液浇注量大，铁液的液态冷却收缩量及需要补缩的量也相应较大，故其冒口系统应当优先选用自适应力强和补缩力强的压边暗冒口。

5.2 方案一：底注式浇注系统冒口的设计

5.2.1 冒口的位置

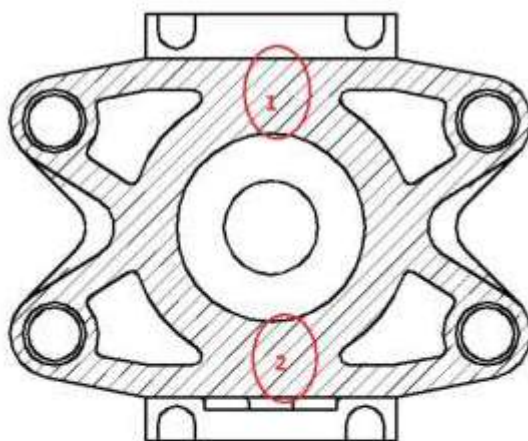


图 5.1 冒口位置示意图

位置 1、2 为铸件的最高、最厚的部位，所以将冒口设置在此位置。冒口位置铸造图如图 5.2 所示。

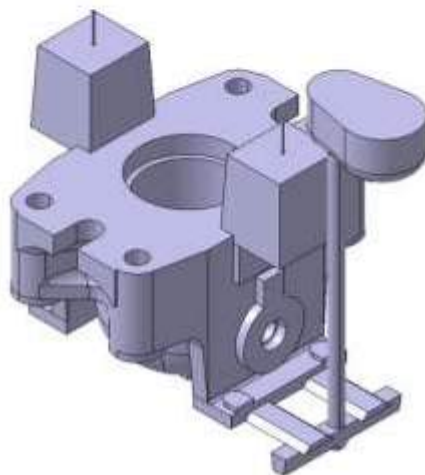


图 5.2 冒口位置铸造图

5.2.2 铸件模数的计算

压边浇冒口 1、2 的位置属于铸件的厚大部位，铸件的厚度已经超过分段比例法的应用范围，所以对于压边浇冒口采用模数法进行计算。如图 5.2 所示，将铸件厚大部位的接头形式简化为为环形体和空心圆筒体接头并计算出此种接头的模数 M_c ，然后通过图 5.3 查阅出冒口模数 M_R ，再用冒口模数公式 $M_R = V/S$ 进而来确定冒口的尺寸。

设计控制压力冒口，首先应计算铸件厚大部位的模数。根据图 5.2 所示铸件的结构特征，可以简化为图 5.3 所示的结构，则铸件厚大部位的模数为：

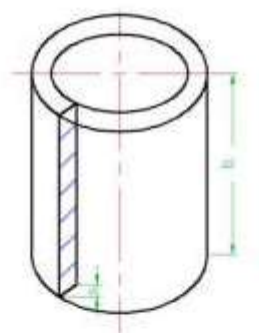


图 5.3 简化后结构示意图

$$M_c = \frac{ab}{2(a+b)} \quad (\text{式 5.1})$$

将数据带入， $M_c = \frac{120 \times 405}{2(120 + 405)} = 4.6 \text{ cm}$

5.2.3 冒口模数的计算

我们采用台式冒口，如下图所示：

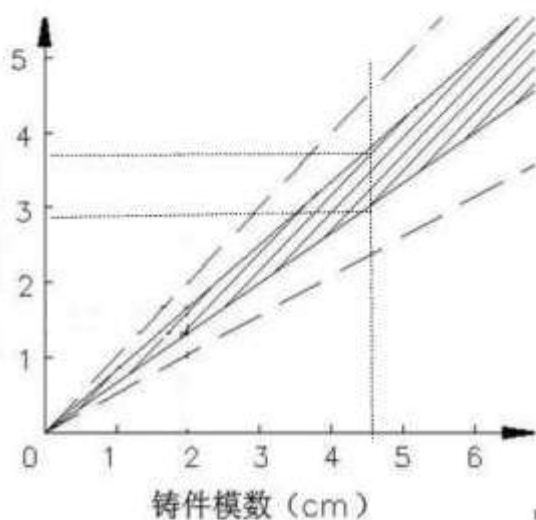


图 5.4 模数冒口关系图

根据经验 $H=1.2\sim 1.5B$ ，选取 $H=1.25B$ 为了保证压边浇冒口的充型和控制充型时间，取 $L=1.15B$ ，所以：

$$M_R = \frac{V}{S} = \frac{1.25 \times 1.15 B^3}{2 \times (1.25 + 1.15 + 1.25 \times 1.15) B^2} = 0.187B$$

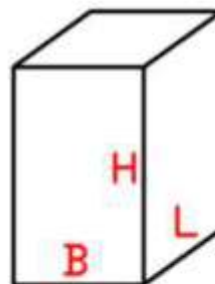
根据图 5.4 可查出冒口模数的范围为 $2.9\text{cm} \sim 3.8\text{cm}$ ，取冒口模数为 3cm

5.2.4 冒口的尺寸计算

表 5.1 冒口尺寸

单位：mm

冒口尺寸	B	L	H
公式	$\frac{M_R}{0.187}$	$1.15B$	$1.25B$
数值	160	180	200



另外，本铸件属于大型铸件，为了保证冒口的补缩，并参考文献【17】取压边距离为 $e=22\text{mm}$ 。

根据以上设计，冒口具体尺寸如下图 5.5 所示：

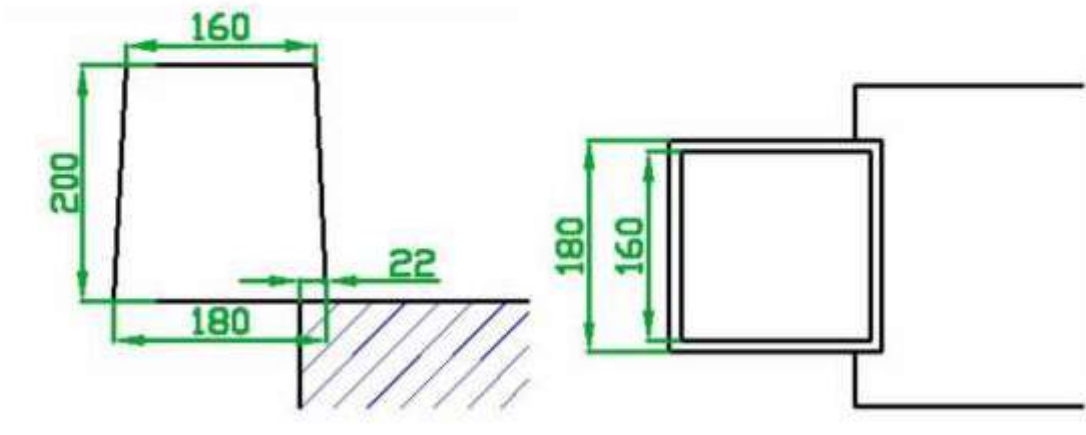


图 5.5 冒口具体尺寸示意图

5.3方案二：顶注式浇注系统冒口的设计

1、2、3、4 的位置属于铸件的厚大部位，所以将冒口设置在此位置。冒口位置铸造图如图 5.6所示。

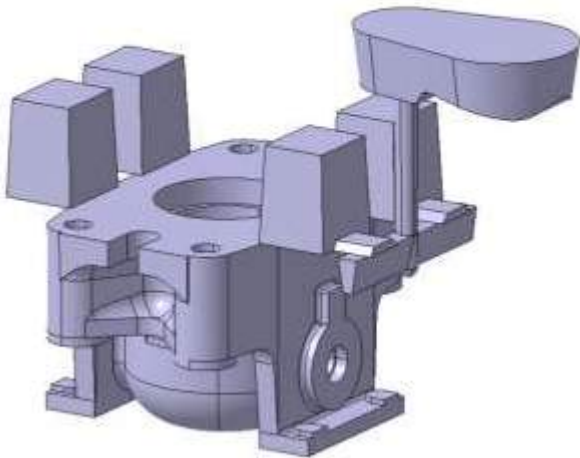


图 5.6 冒口位置铸造图

同底注式浇注系统冒口设计一样，顶注式浇注系统冒口设计也采用模数法进行计算。结果如下：

表 5.2冒口尺寸

单位：mm

冒口 尺寸	B	L	H
公式	$\frac{M_R}{0.2}$	1.2B	1.5B
数值	150	80	230

另外，本铸件属于大型铸件，为了保证冒口的补缩，并参考文献【17】取压边距离为 $e=16\text{mm}$ 。

根据以上设计，冒口具体尺寸如下图 5.7 所示：

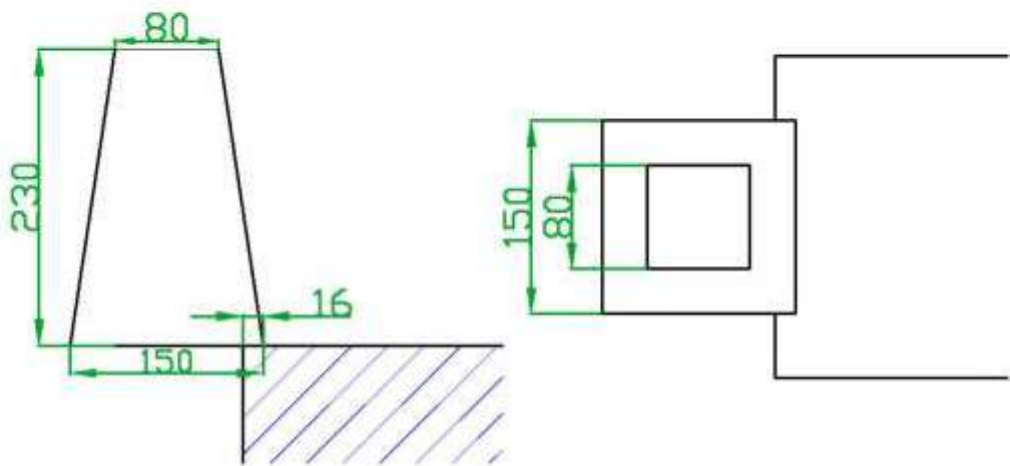


图 5.7 冒口具体尺寸示意图

6 铸造工艺的优化

铸造工艺设计的是否合理，影响到是否能够获得合格的、高质量的铸件。以往的设计往往需要进行试生产，而试生产需要经过模具的加工制造、造型、制芯、合金熔炼、浇注、铸件质量分析、修改模具等反复多次的循环，不仅浪费了人力、物力、财力，更重要的是设计时间很长。目前数值模拟技术已广泛用于铸造生产，对新产品的开发具有独特的优势，通过数值模拟技术可以帮助铸造工作进行合理的铸造工艺方案设计、对新产品的铸造生产过程进行预测，并能够提供合理的解决方案，以此来判断铸造工艺是否合理以及铸件结构是否满足使用要求，并以此为依据进行铸造工艺和铸件结构的改进，为获得高质量的铸件提供了有效的手段，同时也缩短新产品的试制周期，降低生产成本，提高生产效率。

采用计算机数值模拟技术优化铸造工艺设计的合理与否，可以模拟金属液的充型过程、可以模拟金属液的凝固过程、还可以模拟铸件在冷却过程中的应力、变形，以及对铸件的组织形貌也可以进行模拟分析。

本设计采用 Pro-E 软件进行铸造工艺三维图绘制，采用 HyperMesh 软件进行网格剖分，铸造过程通用数值模拟软件 ProCast 软件对所设计的工艺进行充型和凝固过程的数值模拟，来选择浇注系统，并最终优化浇注系统及冒口的结构及尺寸。

6.1 数值模拟前处理

6.1.1 初始条件设定

采用 ProCAST 软件进行充型及凝固过程数值模拟。

初始条件设定为：

浇注温度： $T_{\text{浇注}}=1360^{\circ}\text{C}$

型、芯砂初始温度： $T_{\text{型, 芯}}=20^{\circ}\text{C}$

金属液的流量： $Q=31.42\text{ kg/s}$

由于铸件及砂芯结构相对复杂，铸件与砂型和砂芯等界面换热现象明显。其换热系数范围如表 6.1 所示。

表 6.1 界面传热系数的数值范围

不同界面	传热系数 $h\{\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})\}$
金属~金属	1000~5000
金属~型砂	300~1000
型砂~型砂	200~300
固体~空气	5~10
固体~冷却空气	100~1000

根据上表我们将边界条件设定为：

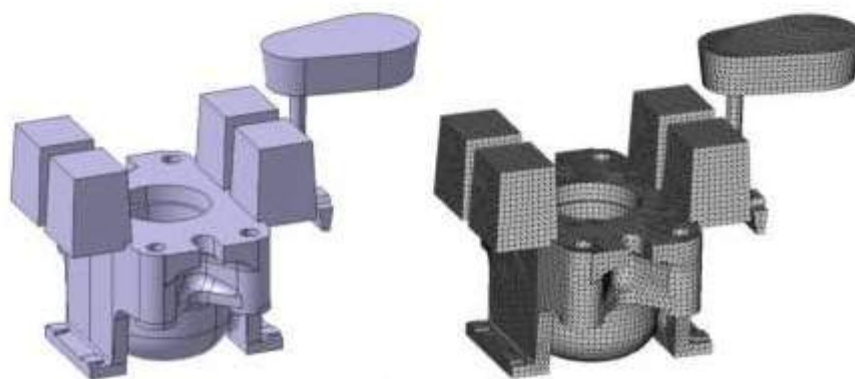
金属与砂的热交换系数： $K=500\text{ W/m}^2/\text{K}$

型砂与冷铁的热交换系数： $K=500\text{ W/m}^2/\text{K}$

金属与冷铁的热交换系数： $K=2000\text{ W/m}^2/\text{K}$

6.1.2 网格剖分

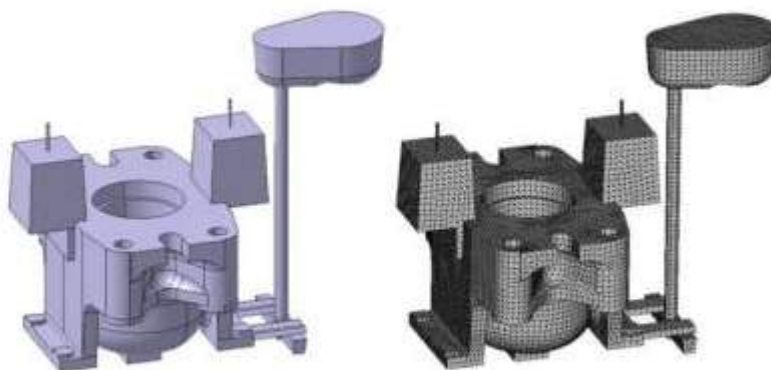
本图形采用 HyperMesh 软件划分网格。先对零件进行面网格剖分，划分后自动导入 HyperMesh 软件检查网格质量，如果出现网格质量或者网格交叉，先进行修复再进行体网格的剖分。划分完体网格后，顶注式浇注系统模型的节点数为 7288，单元数目为 30123。底注式浇注系统的节点数为 16880，单元数为 70512。



(a)顶注式铸造工艺三维图

(b)顶注式网格剖分图

图6.1 顶注式浇注系统铸造工艺三维图 (a) 及网格剖分图 (b)



(a)底注式铸造工艺三维图

(b)底注式网格剖分图

图6.2 底注式浇注系统铸造工艺三维图 (a) 及网格剖分图 (b)

6.1.3 虚拟铸型的运用

本铸件采用 ASTM A536 80-55-06(国内牌号 QT500-7)球墨铸铁生产，对于砂型铸件来说，可以使用 ProCAST 自带的虚拟铸型(VirtualMold)，这样就可以省去对铸型网格的剖分。模拟参数设置过程中不能用真实的砂箱尺寸作为虚拟砂箱的尺寸，因为该模型中虚拟砂箱的外表面被定义为绝热条件，所以砂箱尺寸要足够大，才能避免出现大的计算误差。

6.2 浇注系统类型的优化

浇注系统的正确选择对铸件生产质量好坏起着关键作用，也对铸件的出品率有很大的影响，通常情况下，在不影响铸件质量的前提下，将浇注系统的质量应尽量控制到最好，由此也可见浇注系统设计的重要性。

本设计中因内浇道引入位置的不同，共有两套不同的浇注方案及补缩方案，我们分别对其进行数值模拟分析，为最终选择最优方案提供依据。

6.2.1 不同浇注系统设计金属液充型过程分析

金属液在充型过程中的流动对铸件的质量会产生很大的影响，若浇注系统设计不合理，铸造中经常会产生“浇不足”、“冷隔”、“冲砂”、“卷气”等铸造缺陷，利用 Procast 模拟的金属液充型过程可以判断浇铸系统能否满足要求。

1、顶注式浇注系统充型过程分析

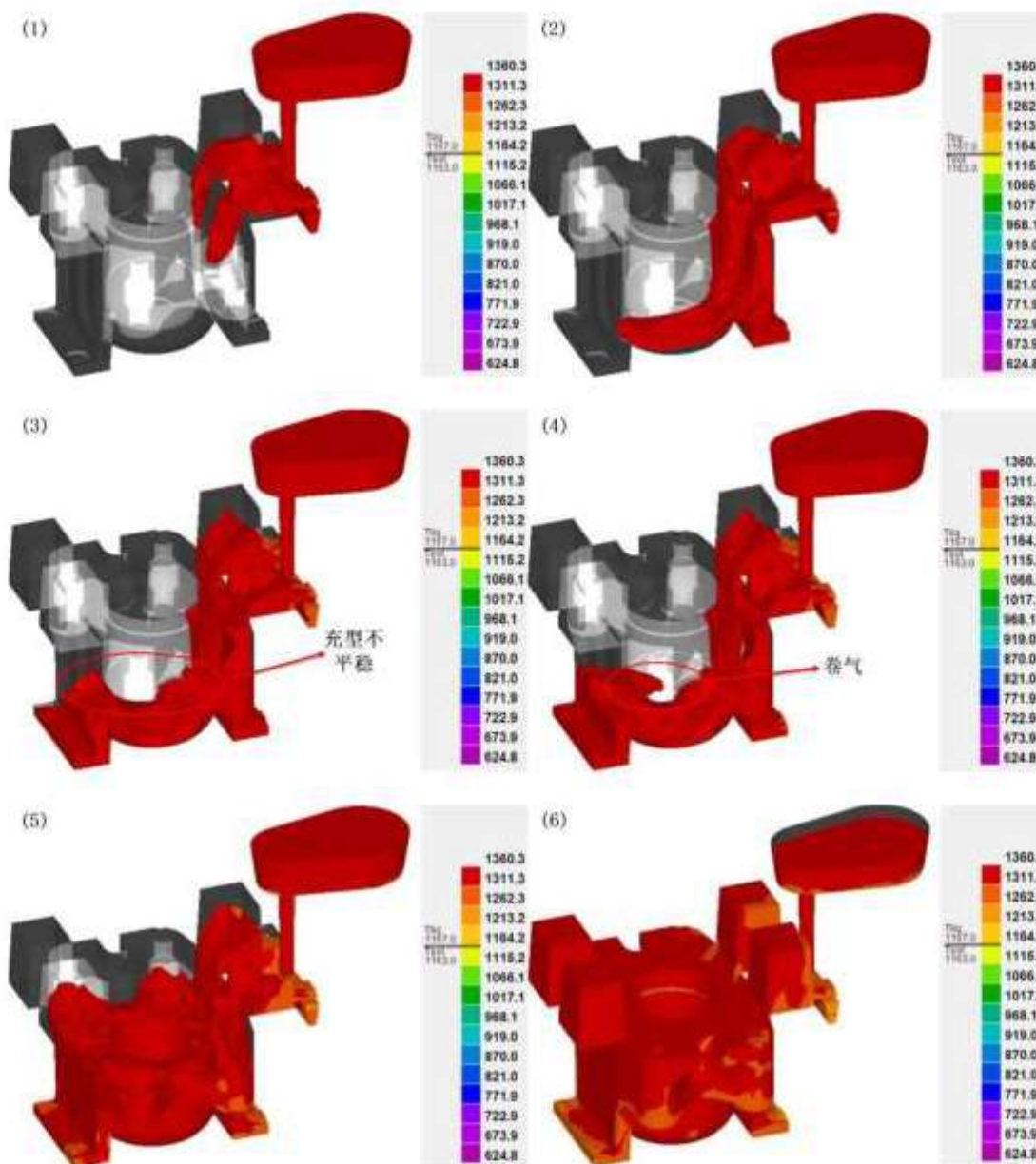


图 6.3 顶注式浇注系统充型过程示意图

通过充型模拟结果我们可知，整个充型时间为 27.6s，充型时间符合浇注系统的设计结果(29.1s)。在充型过程中，金属液在重力的作用下由浇口杯通过直浇道、横浇道和内浇道，然后通过顶部压边冒口体经缝隙进入了型腔。

但是，由图（1）和（2）对比可以发现，充型并不平稳，有“冲砂”现象，金属液对型腔底部冲击力较大。而（3）和（4）对比，可以发现，在充型过程中，

存在明显的卷气现象，金属通过内浇口的速度过大，在充型过程中产生了强烈的不规则的紊态流动，致使型腔内部分空气来不及排出，被卷入金属液内部一起充填型腔，从而形成卷气现象，该现象又对铸件最终的孔洞缺陷分布产生了至关重要的影响^[9]。而根据第一章中对于零件实际应用的分析，缸体的防渗漏是极为重要的，同时，缸体承受的压力和温度均较大，因而应当尽量避免在充型过程中的卷气现象，避免缩松和缩孔的产生。

综合分析，顶注式浇注系统的充型过程不利于产生最佳浇注结果。

2、底注式浇注系统充型过程分析

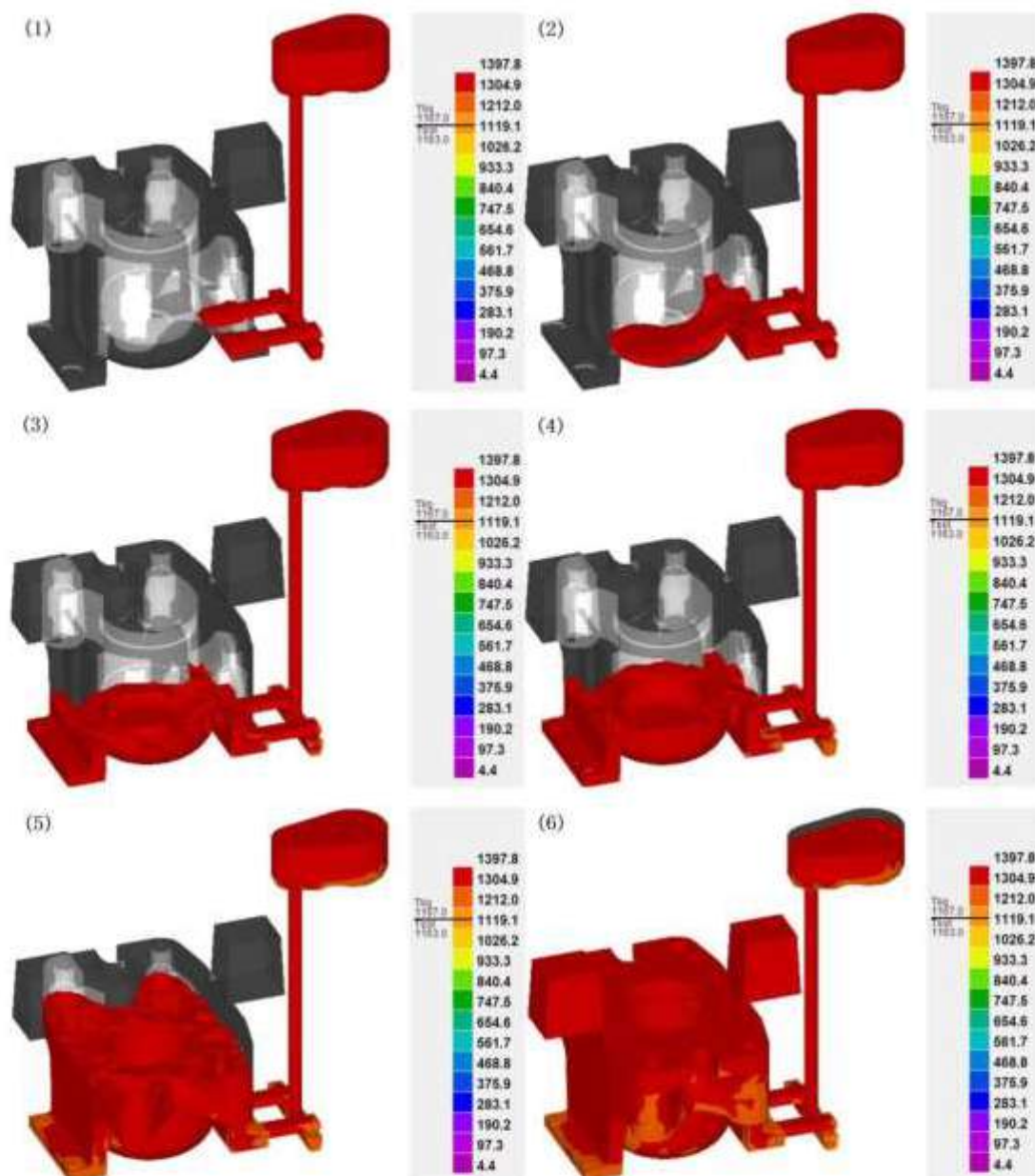


图 6.4 底注式浇注系统充型过程示意图

通过充型模拟结果我们可知，整个充型时间为 27.9s，充型时间符合浇注系统的设计结果(29.1s)。在充型过程中，金属液在重力的作用下由浇口杯通过直浇道、横浇道和内浇道，然后进入了型腔，液面自下而上逐渐升高。

由图(1)和(2)可以发现,金属液平稳的进入了型腔,金属液对型腔底部冲击力较小。而(3)、(4)与顶注式图(3)、(4)对比可以发现,在充型过程中,并不存在明显卷气现象,金属通过内浇口的速度较低,金属液在流动的过程的沿着型腔壁进入型腔的顶部,不会对砂型造成较大冲击,图(6)为金属液完全的充满了型腔,因此也不会产生“浇不足”和“冷隔”等缺陷,并且从金属液的充型过程中温度场的分布可以看出,采用此浇注系统金属液的温度降低比较慢,即使在铸件边缘,金属液的温度仍在液相线以上,对后期凝固补缩比较有利。因此,底注式浇注系统可以实现金属液的顺利充型。

通过底注式和顶注式浇注系统金属液充型不同阶段时的流动状态及温度分布对比可以发现,尽管顶注式浇注系统充型能力较强,并不会发生“浇不足”和“冷隔”现象,但是充型过程中,存在比较明显的卷气现象,易于产生球墨铸铁的氧化,同时不利于缸体缩孔缩松的防止。而B-油缸铸件对于防渗漏的能力有较高要求,因而,仅从金属液充型不同阶段时的流动状态及温度分布的分析可以初步判断底注式浇注系统更为适用于本铸件。接下来将会进行进一步的分析来为浇注系统的选择提供进一步依据。

6.2.2不同浇注系统设计金属液凝固缺陷分析

为了进一步分析两种浇注系统的优劣,我们利用 Procast软件对于浇注后铸件缩孔、缩松和塌陷进行分析,并最终决定浇注系统的选用。

1、顶注式浇注系统设计铸件的凝固缺陷分析

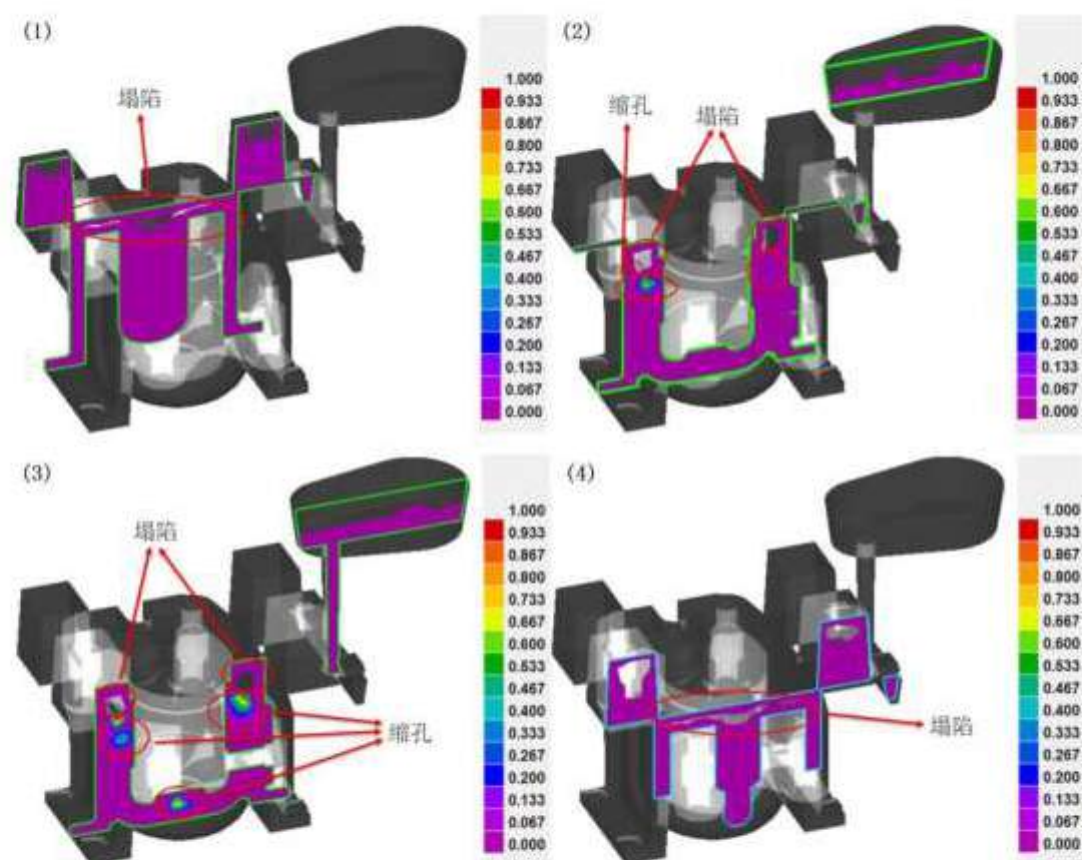


图 6.5 顶注式浇注系统凝固缺陷分布图

2、底注式浇注系统设计铸件的凝固缺陷分析

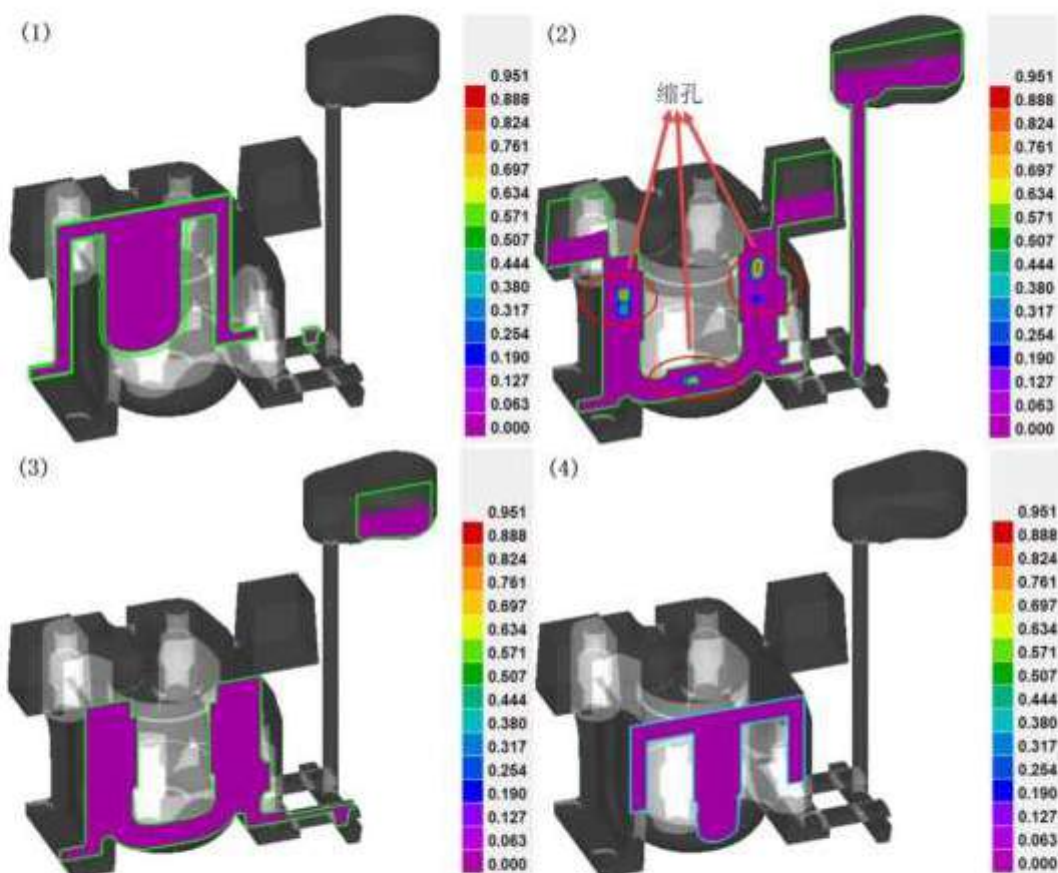


图 6.6 底注式浇注系统铸件凝固缺陷分布图

从两个组图的对比可以发现，底注式浇注系统相较于顶注式浇注系统，“缩孔”、“缩松”和“塌陷”情况产生了较大的缓解。两组图几乎选取了相同的剖视位置，底注式浇注系统缺陷分布图可以看出底注式的（1）、（3）、（4）几乎无可见缺陷，而冒口体积和数量均较大的顶注式浇注系统却出现大范围塌陷、缩孔和缩松，这些给后期的补缩产生了较大的困难。分析是由于在浇注过程中的卷气现象导致了缩孔缩松的大范围产生。同时，顶注式浇注系统冒口的数量也减少了两个，减少了金属液的浪费，同时，也降低了工艺复杂性。

6.2.3 浇注系统设计优化结果

综合 4.3.1 和 4.3.2 的分析，根据模拟结果显示，底注式的内浇道很快会被金属淹没，充型平稳，不会产生激溅、铁豆，型腔中的气体易于排除，从而使得金属氧化少，同时型腔中液面升高后使横浇道较快充满，较好挡渣。在模拟过程中，底注式浇注并未明显表现出补缩不利等缺点。而顶注式浇注系统的主要优点包括易于充满型腔，有利于顺序凝固和顶部冒口对铸件的补缩以及冒口体积在本铸件的模拟过程中并未产生理想的效果，相反顶注式浇注系统对铸型冲击较大，金属液产生卷气、激溅现象，砂眼、铁豆、气孔、氧化夹渣等缺点在模拟过程中较明显地体现出。

因而综合以上分析和模拟结果，同时，考虑到 1.2、1.3 节中对于零件使用情况的分析，B-油缸在应用过程中防渗漏极为重要，需要较好的组织致密度以承

受更高的压力和温度，因而最终选用底注式浇注系统作为浇注系统设计方案。

6.3 补缩系统设计优化

6.3.1 金属液凝固过程温度场分析

由于在铸件厚大部位容易出现缩松、缩孔，因此选择铸件最厚大部位截面作为分析对象。图为铸件最厚大部位截面凝固过程中温度场的变化过程。图中(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7)、(8)、(9)分别为金属液充满铸型型腔后 27 s、278 s、1008 s、2668 s、2828 s、3898 s、5948 s、6788 s、6988 s 时铸件各部位的温度场。根据数值模拟，铸件的凝固时间为 7000 s。

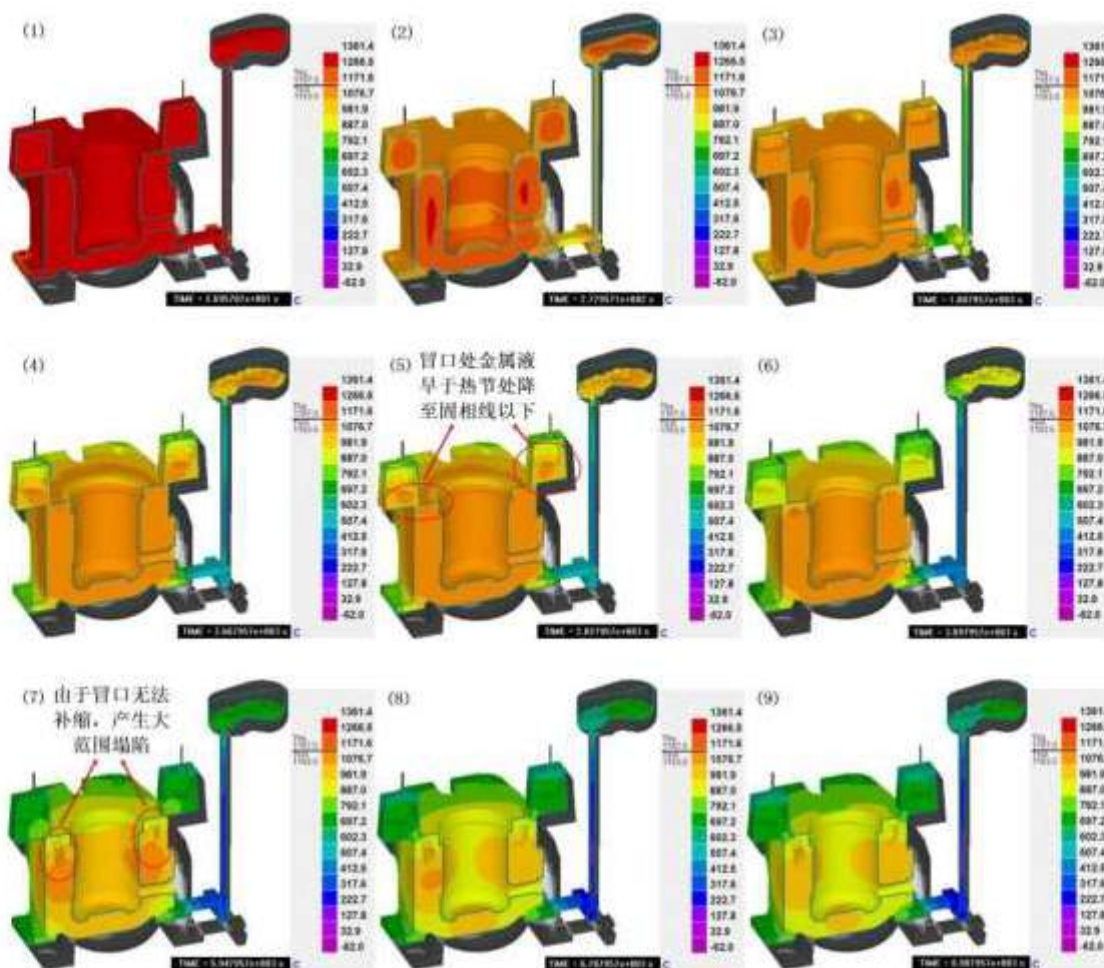


图 6.7 铸件凝固过程温度场分析

从铸件凝固过程的动态显示，可以发现，在金属液充满铸型型腔后 278s 时间范围内，金属液处于高温状态。此时间范围内，发生奥氏体体积收缩，并且铸件发生共晶膨胀。压边冒口金属液在能够实现对铸件厚大部位的补缩。随着凝固时间的延长，金属液的温度不断降低，在金属液充满铸型型腔 2667 s 时，金属液降低至液相线温度以下，可以明显看出，铸件温度低于液相线的温度，并且冒口温度接近铸件温度，这说明压边冒口能起到补缩铸件厚大部位的作用。而随着金属液凝固过程继续进行，由图（5）、（6）可以明显发现，冒口部位的温度低

于铸件厚大部位温度，且位于固相线以下，无法继续起到补缩作用。在金属液充满铸型型腔 2827 s 后，铸件厚大部位温度开始出现塌陷现象，而冒口内的金属液温度由于已经低于固相线，无法起到补偿铸件凝固过程中铸件金属液收缩的作用，最终出现（9）所示的明显的厚大部位塌陷现象。而由（8）、（9）可看出，铸件底部中心处相较于附近位置，最后进行凝固，周围无金属液进行补偿，易于出现缩孔缩松。

综上分析可知，方案中压边冒口设计不合理，无法起到对铸件厚大部位的补缩作用，铸件最终出现塌陷、缩孔、缩松缺陷。

改进措施：1、由于冒口金属液早于铸件厚大部位降至固相线以下，而铸件本身在凝固过程中需要冒口进行补缩以消除塌陷现象，因而，增加保温套用于延缓冒口内金属液的凝固。2、在底部中心处增设冷铁，以加快底部中心处凝固速度，防止出现缩孔缩松现象。

6.3.2 保温套的设计

根据【1】《铸造手册》（铸造工艺部分），从保温效果和经济效益综合考虑，一般取保温套厚度等于冒口模数的 1~1.5 倍，即 $\delta = (1 \sim 1.5)M_R$ ，保温性能好的取下限。本设计采用珍珠岩——发泡石膏制成的保温冒口保温性能好，取 $\delta = 0.7M_R$ 。冒口模数为 3.3cm，所以压边冒口的保温套厚度取为 $\delta = 22mm$ 。

根据模拟结果可以发现，铸件顶部的凹陷消失，说明保温套起到了保温作用，有效地延长了冒口内金属液保持液态的时间，提高了保温套的补缩效率。并且冒口的底部没有出现缩孔、缩松等其他铸造缺陷，说明压边距离的选取达到了铸造的要求。

6.3.3 冷铁的设计

冷铁与浇注系统、补缩系统配合使用，可以控制铸件的凝固顺序，从而获得合格铸件。尤其对铸件壁厚差大、热节分散，以及局部热节难以补缩的铸件，使用外冷铁是一种经济高效、操作方便、工艺可靠的选择。

冷铁的设计计算对于铸件的浇注质量具有很大的影响。设置冷铁可以使铸件热节处的模数减小，使热节处的散热增加，达到与热节周围的散热速率基本相同，从而达到消除裂纹，缩孔与缩松的目的。

本铸件在模拟过程中出现了铸件底部缩孔，由于采用底注式，导致铸件底部在整个浇注过程中都处于与外来高温金属液接触的状态，因此散热情况较差，容易形成缩孔。由于缩孔位置温度较高，采用直接外冷铁的设计可能会造成皱皮，热裂，冷铁与铸件熔合等缺陷，因此本铸件采用间接外冷铁的设计方法^[2]。

间接外冷铁影响铸件温度场的因素是冷铁厚度，挂沙层厚度以及激冷面积。当冷铁厚度达到一定值时（通常为铸件厚度的 0.5~1.0 倍），通过选择不同的挂沙层厚度以及激冷面积，可以实现铸件凝固的定向控制。

$$A_s = A_{su} + yA_{ch'} = A_0 + (y-1)A_{ch'}A$$

$$\therefore A_{ch'} = \frac{A_s - A_0}{y-1}$$

$$\text{令 } M_r = \frac{A_s}{A}, A_s = \frac{A_0}{M_r}, M_0 = \frac{A_0}{A}, A_0 = \frac{A_0}{M_0}$$

$$\therefore A_{ch'} = \frac{V_0(M_0 - M_r)}{(y-1)M_0M_r}$$

式中 y —冷铁表面积扩大系数;

$A_{ch'}$ —所需设计冷铁表面积;

M_r —设置冷铁后铸件实用模数;

A_0 —铸件初始表面积;

A_s —设置冷铁后当量散热表面积;

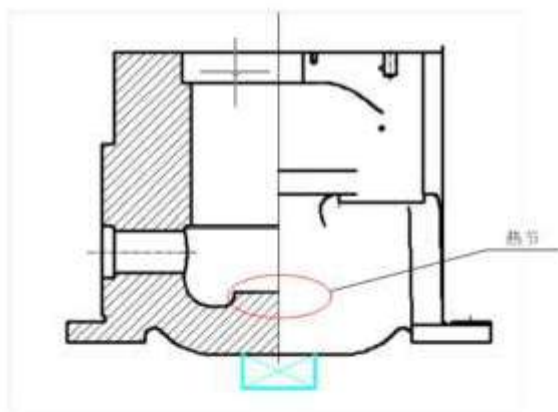


图 6.8 冷铁布置方案图

激冷区的截面为 $\Phi 144.6\text{mm}$ 的圆, 其高度为 103mm . 根据文献^[2], 拟初设定一块 $289 \times 434 \times 60$ 的冷铁, 设置冷铁区域模数:

$$M_0 = \frac{\pi \cdot 14.46^2}{4} \times 10.3 \div \left(\frac{\pi \cdot 14.46^2}{4} \times 2 \right) = 5.15(\text{cm})$$

冷铁对应的铸件体积: $V_0 = 28.9 \times 43.4 \times 10.3 = 12918.878\text{cm}^3$

激冷表面积为: $A_{ch'} = 28.9 \times 43.4 = 1254.26\text{cm}^2$

考虑到操作方便, 取人为末端区的冷铁挂砂厚度为 10mm , 查文献^[1]

表3-243a, 铸件平均厚度按 100mm 的曲线, 查得 $y=1.4$, 人为末端区实用模数为:

$$M_{r1} = \frac{V_0}{(y-1)A_{ch'}M_0 + V_0} = \frac{12918.878 \times 5.15}{(1.4-1) \times 1254.26 \times 5.15 + 12918.878} = 4.29\text{cm}$$

取模数增大系数为 1.11 , 则与其相邻的实用模数为: $M_{r2} = 4.29 \times 1.11 = 4.76\text{cm}$

根据文献^[1], 相邻单元激冷面积扩大系数为:

$$y = \frac{V_0(M_0 - M_r)}{M_0M_rA} + 1 = \frac{12918.878(5.15 - 4.76)}{5.15 \times 4.76 \times 1254.26} + 1 = 1.16$$

按文献^[1] 图3-243a查得: $y=1.16$, 挂砂厚度为 25mm

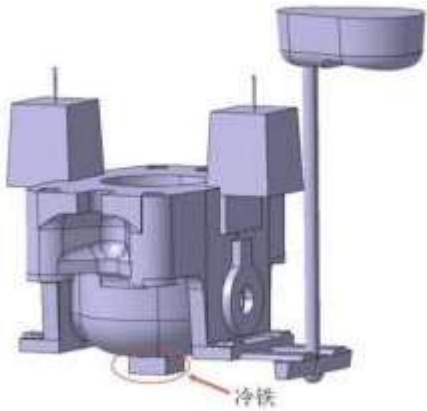
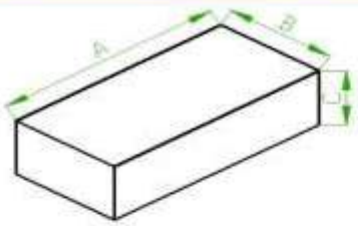


图 6.9 冷铁示意图

表 6.2冷铁尺寸 单位：mm

冷铁 尺寸	A	B	C
	434	289	60
挂沙层厚度	25		



6.3.4改进后铸件温度场分析

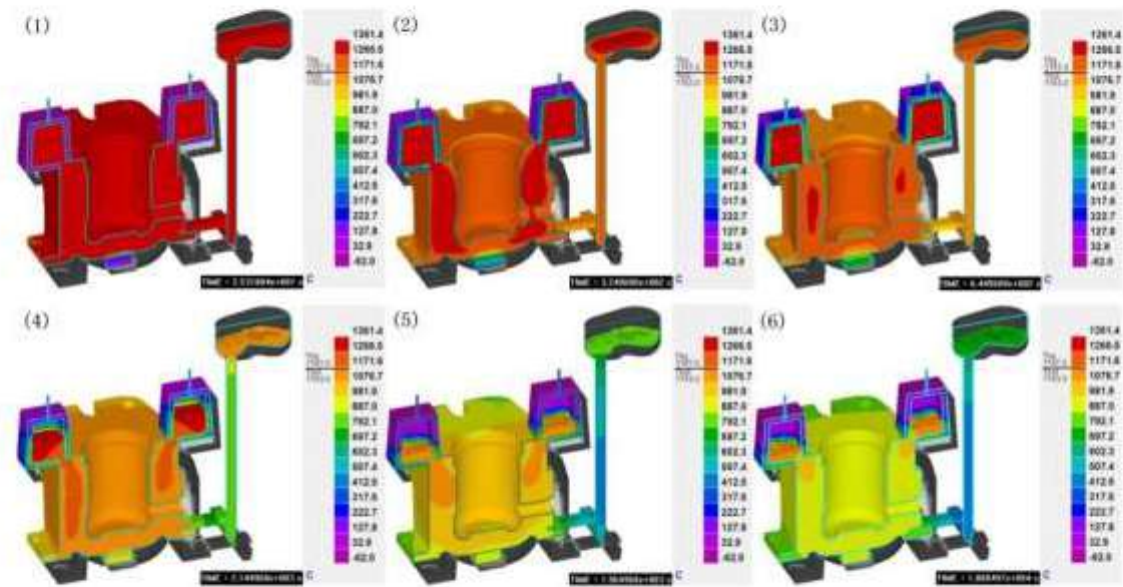


图 6.10 改进后铸件温度场分析

通过对改进之后的温度场分析可以发现，冒口金属液凝固由于保温套的增加而得以延迟，在铸件凝固过程中，能够及时对铸件厚大部位进行补偿。同时可以发现，增设保温套之后，厚大部位的塌陷情况已经消除。而底部中心增设冷铁部位，其凝固过程中的温度和周围部位几乎保持一致，从而防止了底部出现缩孔、缩松。

6.3.5 金属液凝固过程固相率分析

由于在铸件厚大部位容易出现缩松、缩孔，因此选择铸件最厚大部位截面作为分析对象。同时，为了验证 5.5 中对于冒口问题的分析，我们选取冒口位置的固相率进行分析。

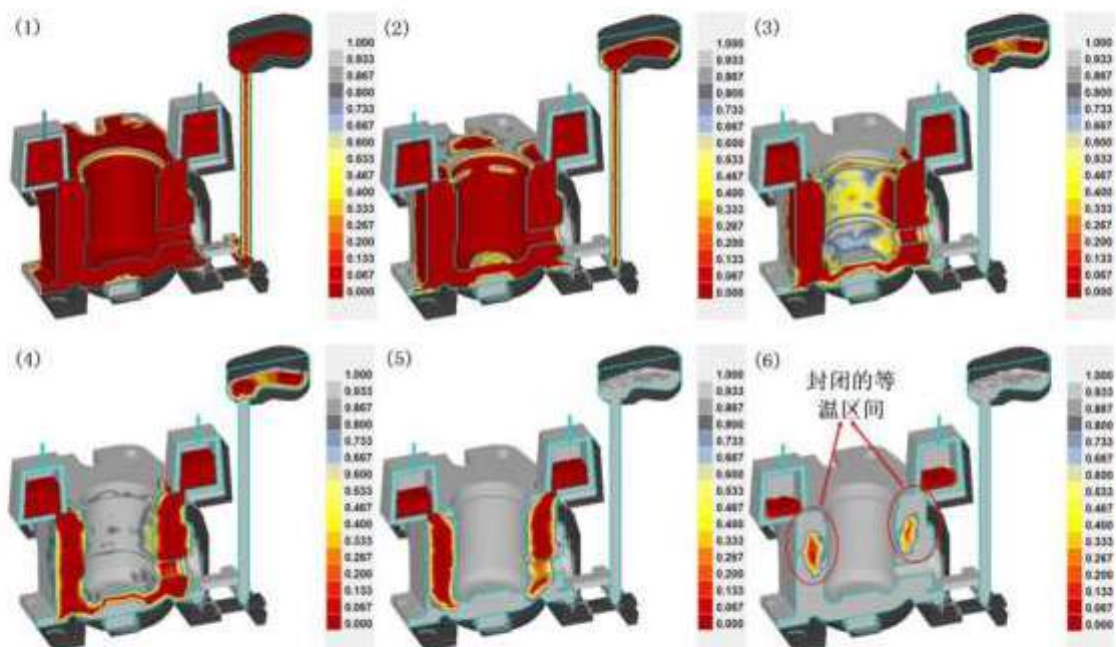


图 6.11 最厚大部位横向剖面固相率

图 6.12 为铸件凝固过程中最厚大部位横向剖面固相率的变化，在金属液充满铸型型腔后，铸件顶部的边缘处首先发生凝固，随后逐步向冒口补缩部位方向顺序凝固。但是，通过图(5)、(6)可以发现，铸件冒口下部 15~25cm 处最后凝固，而此部位在最后凝固时，由于与冒口相连部位已经凝固，形成了封闭的等温区间，冒口无法对其进行补缩，只能依赖石墨化膨胀补偿铁液收缩。于是，我们进行了缩孔缩松分析以验证石墨化膨胀是否能够完全补偿金属液的收缩。如图 6.12

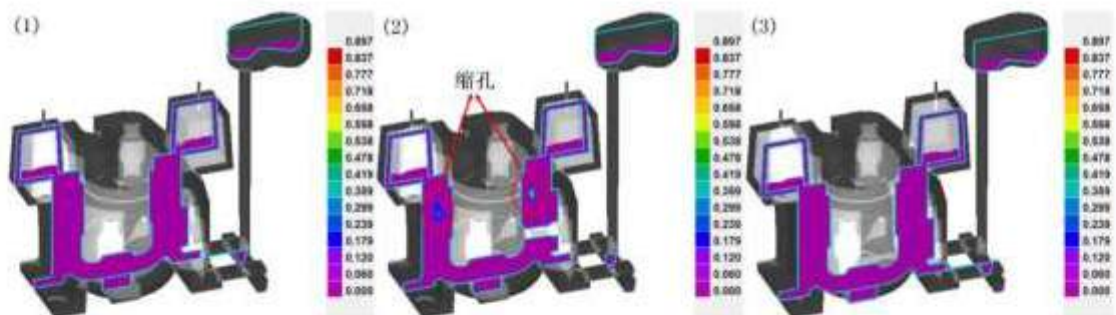


图 6.12 补充进行的缩孔缩松分析

而根据图 6.12，在随后进行的缩孔缩松分析中可以发现，这部分石墨化膨胀并没有完全补偿收缩的铸铁液，产生了较明显的缩孔缩松现象。

而在含有补贴的部位，由于补贴的保温作用，冒口与出现缩孔缩松位置之间部位的金属液得以延迟凝固，正是这一作用，使得冒口内的金属液可以继续保持对于铸件厚大部位的补缩。因而在进一步进行铸造工艺优化的过程中，增加补

贴是有必要性的。

6.4 铸造工艺的第二次优化

6.4.1 优化方案

经以上模拟结果确定第二次优化方案：

- 1) 增加冒口的压边距离，压边冒口增加压边距离至 24mm。
- 2) 在铸件的冒口下面部位设置补贴，以延缓铸件冒口下面部位的凝固，保证冒口内金属液对于铸件厚大部位的补缩作用。

6.4.2 模拟结果分析

根据 6.4.1 中的优化方案优化之后，再次对铸件进行模拟，模拟结果如图 6.13 所示。

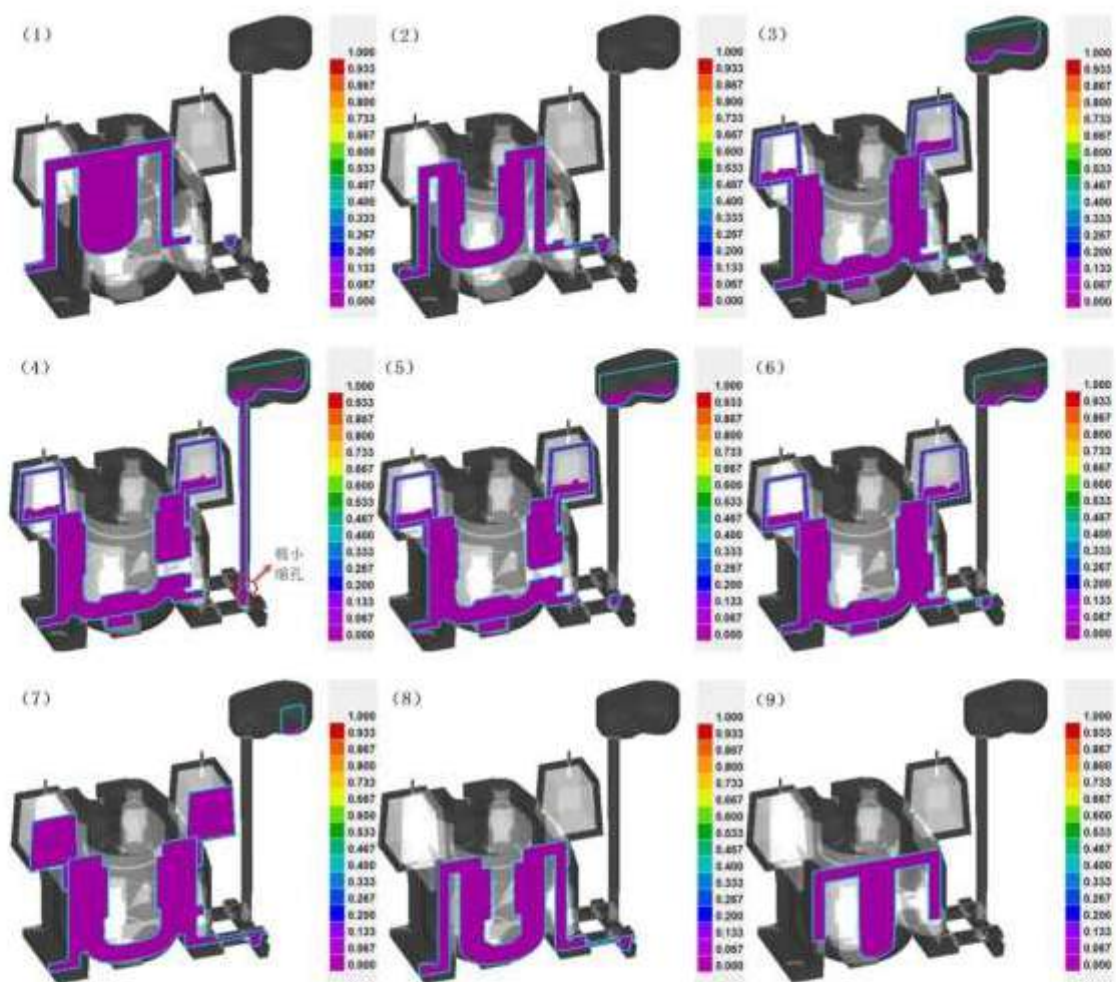


图 6.13 缩松缩孔分析

根据数值模拟结果，铸件的厚大部分以及热节部分的缩孔全部消失，在十余次的模拟过程中，铸件中均未发现缩孔的存在。除此之外，球墨铸铁在凝固过程中由于石墨的析出会发生体积膨胀，而树脂砂砂型的刚度高，可以阻止铸型的外壳膨胀，从而在型腔内形成足够的内压，使得内部的缩孔得到补缩。

同时，由图(3)、(4)、(5)、(6)可以看出，浇口杯中剩余金属液和冒口中剩

余金属液均较少，几乎没有产生金属液的浪费现象，因而在经济性上此浇注系统设计方案也是可行的。

综合评价：本设计方案采用的铸造方案，浇注系统简单，不但满足了铸件不产生缩孔、缩松和塌陷的要求，同时满足了实际使用中防渗漏的要求。此外本方案浇口杯和冒口中剩余金属液较少，在最大程度上充分利用了金属液，符合工厂的经济性要求。因而，可以初步判断，从经济性和工艺合理性上来说，这是一套可行的设计方案。

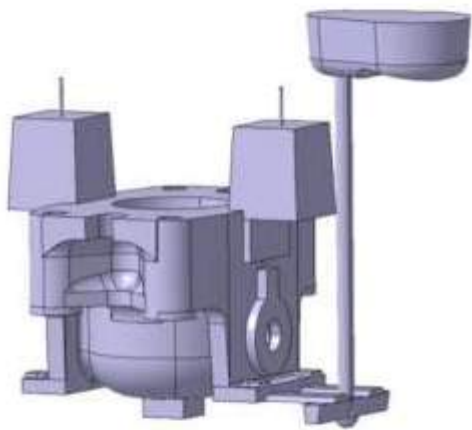


图 6.14 方案优化后浇注系统及补缩系统示意图

6.5 砂芯设计优化

6.5.1砂芯形状

由于在分型面出多设置了压边冒口，且增设了保温套、补贴、冷铁等铸造工艺优化措施，因而砂芯的形状有所改变。我们根据修改之后的补缩系统，主要对 1 号、2 号和 9 号砂芯进行了修改，修改之后的砂芯形状如表 6.3所示。

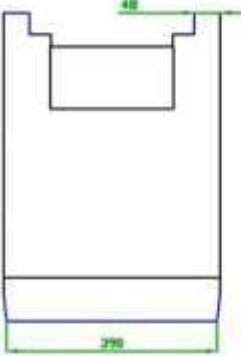
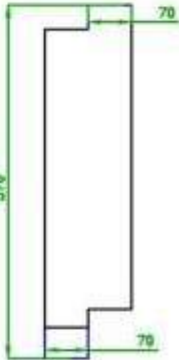
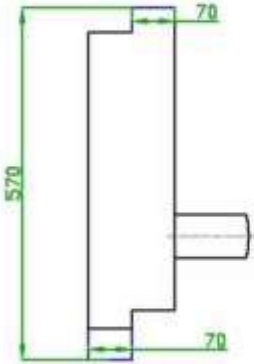
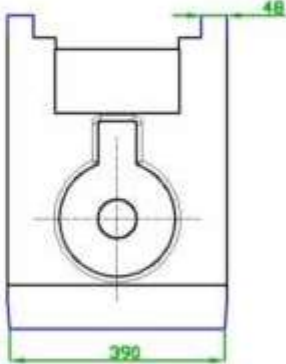
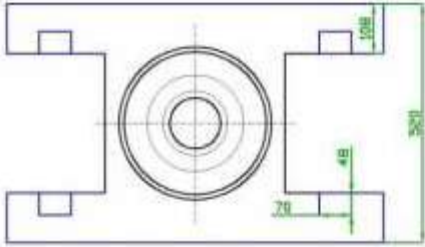
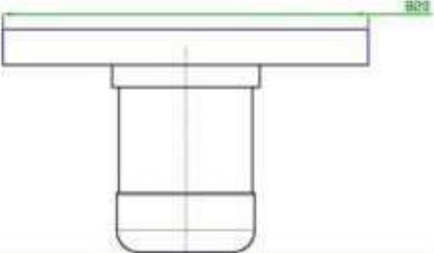
表 6.3 砂芯形状

砂芯 编号	补缩系统修改后砂芯形状	砂芯 编号	补缩系统修改后砂芯形状
1		2	
9			

6.5.2 芯头结构尺寸

根据 5.9.1 中对于砂芯形状的改变，我们对芯头结构尺寸进行了修正，其中砂芯 1、砂芯 2 和砂芯 9 的结构尺寸发生了变化。

表 6.4 芯头结构尺寸

砂芯 编号	芯头结构尺寸	
1		
2		
9		

6.5.3砂芯设置

砂芯的下芯顺序和方案一的下芯顺序是相同的，下芯流程是：
砂芯 1/2—→砂芯 3/砂芯 4—→砂芯 5/6/7/8—→砂芯 9

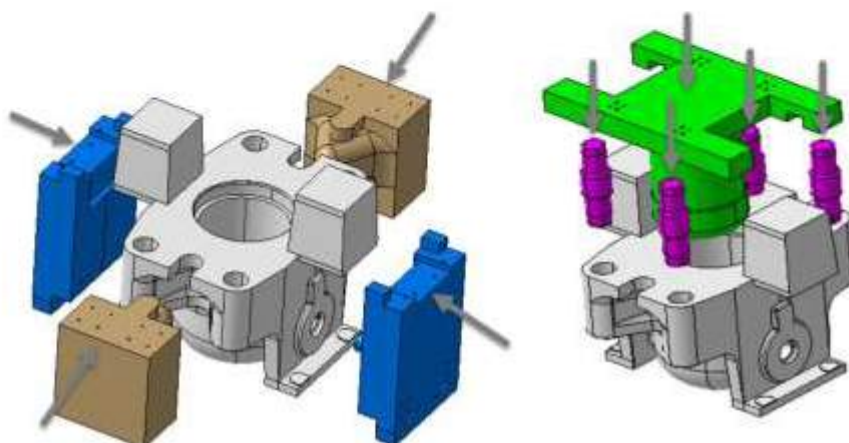


图 6.15 下芯顺序示意图

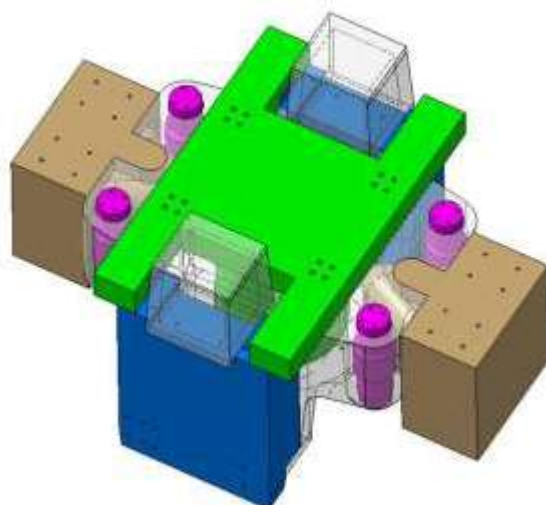


图 6.16 砂芯设置效果图

7、铸造工艺装备

7.1 模样

模样用来形成铸型的型腔、芯头座等结构，直接影响铸件的形状、尺寸精度和表面粗糙度。所以必须重视对模样的设计，应具有足够的强度、刚度、尺寸精度和表面粗糙度，同时模样应满足制造简单、使用方便、成本低廉等要求。

模样的材质分为金属模、木模、塑料模。金属模适用于大批大量生产铸件，特点是不耐腐蚀且不易加工；木模样用于单件、小批量或成批生产铸件，特点是易加工、尺寸精度低；塑料模用于成批及大量生产铸件，特别适合于形状复杂难以加工的模样，特点是制造工艺简单、较脆且不能受热。该球墨铸铁件属于用手工造型的方法进行单件小批量生产，所以用木模制作模样。

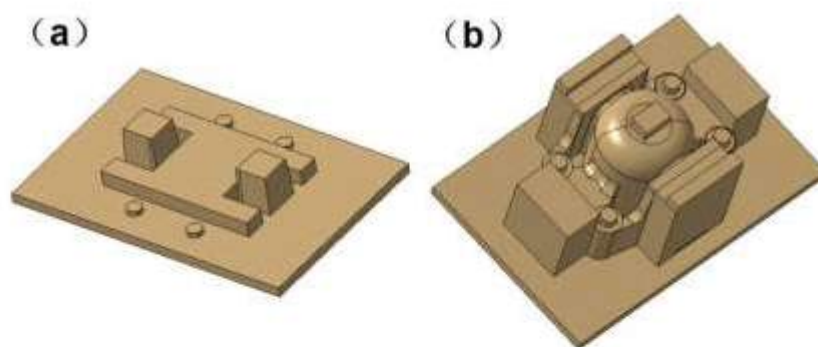


图 7.1 (a) 上铸型模样

(b) 下铸型模样

7.2 砂箱

砂箱是铸件生产中的必备的工艺装备之一。手工造型所用的砂箱一般要求比较简单。近年来，随着高压、气冲等高效率、高比压造型设备的广泛使用，对沙箱的要求也越来越高。正确的设计和选择适合的铸造生产需要的砂箱，对日益发展的铸造生产，具有很大的实用价值。

7.2.1 砂箱设计和选用的基本原则

- 1) 满足铸造工艺要求。如砂箱和模样间应有足够的吃砂量、箱带不妨碍浇冒口的安放、不严重阻碍铸件收缩等。
- 2) 砂箱应尽量标准化、系列化、通用化。
- 3) 在有足够的刚度、强度、方便使用的条件下，尽量使砂箱结构简单、轻便。
- 4) 对型砂有足够的附着力，使用中不掉砂或塌箱，但又要便于落砂。为此，只在大的砂箱中才设置箱带。
- 5) 经久耐用，便于制造。

7.2.2 砂箱类型的选择

本铸件采用整铸式砂箱，材料为灰铸铁，铸铁砂箱应用最广，材料成本低，制造方便，强度、刚度较高。砂箱造型为手工造型用砂箱。

7.2.3 砂箱结构

根据铸件和浇注系统在砂箱中的位置，设计上砂箱的名义尺寸为 $1500\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，下砂箱的名义尺寸为 $1500\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 650\text{mm}$ （长度 $\times$ 宽度 $\times$ 砂箱高度）铸件在砂箱中的位置如图 7.2 所示

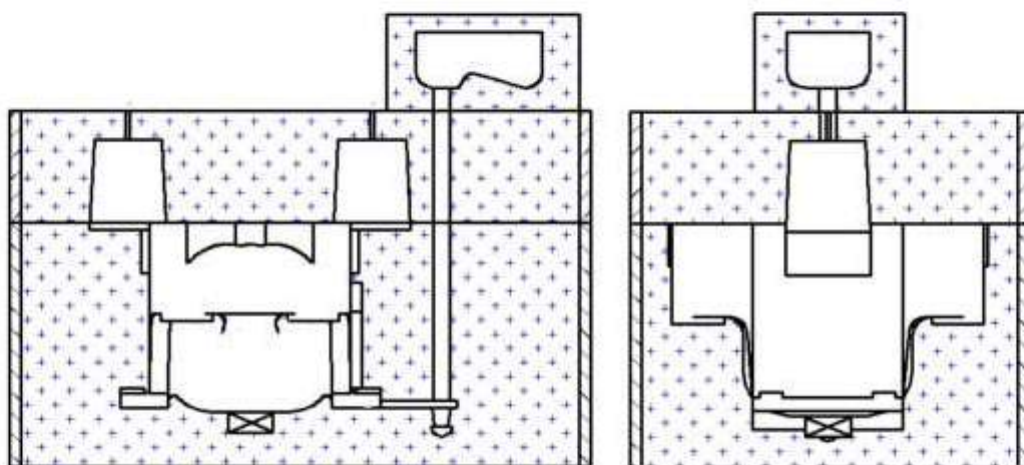
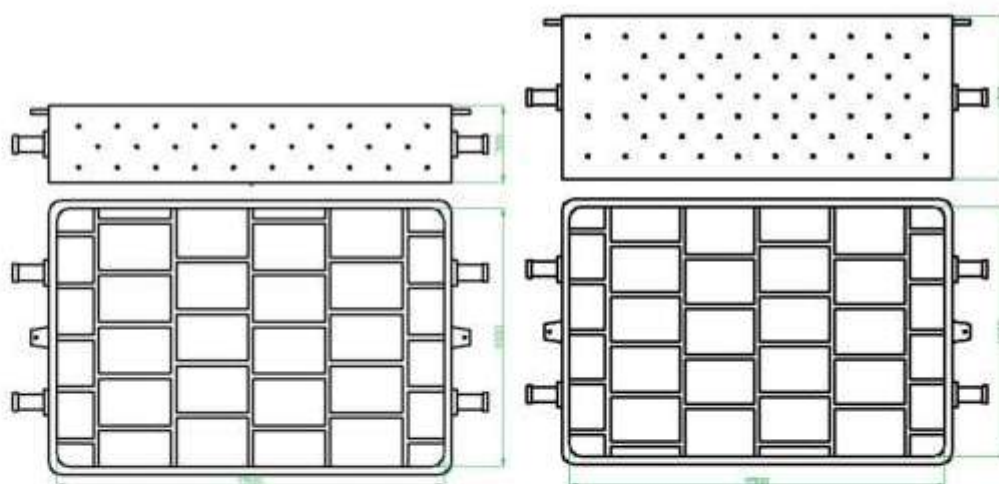


图 7.2 铸件在砂箱中位置示意图

本铸件为手工造型砂箱，比较得出要采用较厚的直箱壁，不设内外突缘，使得制造简便，容易落砂。根据文献【1】，确定本铸件的壁厚为 30mm 。砂箱四角容易损坏，设计砂箱时应给出合理的转角尺寸，本砂箱转角部分采用圆角同心的结构。箱带不但能增加砂箱的整体强度和刚度，还能增加型砂对砂箱的附着力，保证铸型在翻转、合型、浇筑过程中完整而不掉砂和塌箱。根据本铸件砂箱的结构，采用Ⅳ型砂箱箱带。为了浇注时排出铸型内的气体，要在砂箱壁上开设排气孔。一般砂箱的排气孔形式为圆形或腰圆形，本砂箱采用圆形。

设计出的砂箱如图 7.3 所示。



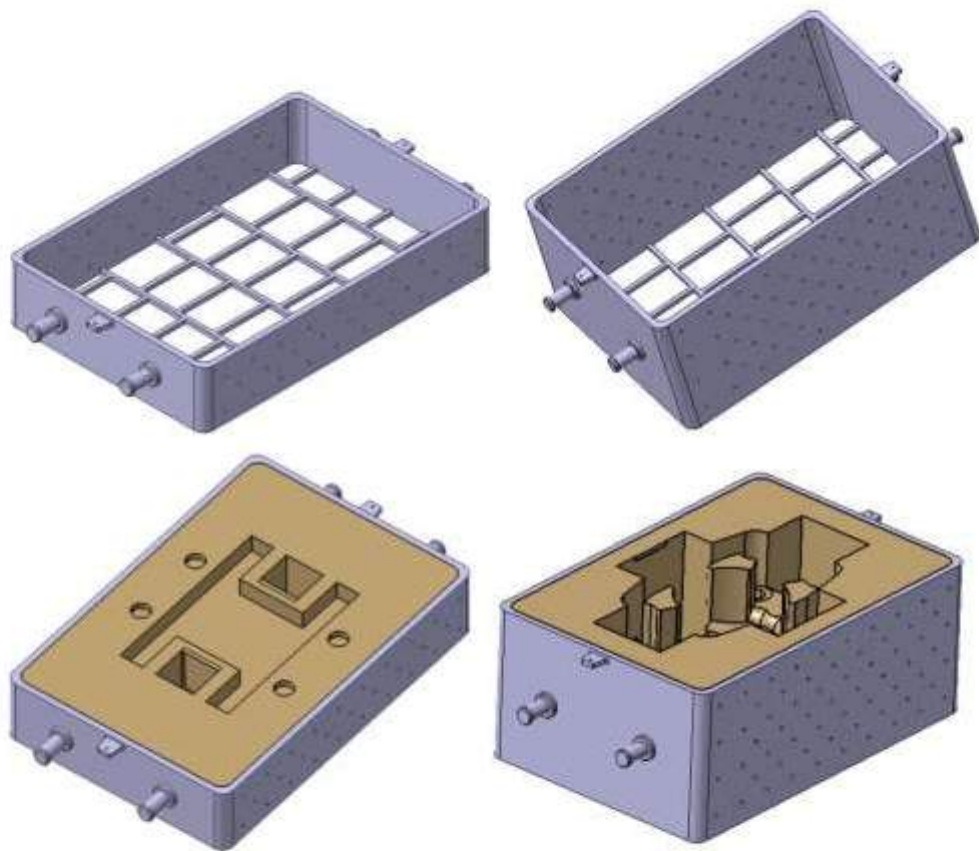


图 7.3 砂箱示意图

7.2.4 砂箱的定位

在铸造生产中，砂箱和模板、上砂箱和下砂箱都有一定的定位要求。经常采用定位销和定位孔的配合方式来保证定位精度。本砂箱尺寸较大，选用文献[1]中的I型箱耳。砂箱在合箱时，上下砂箱必须严格定位，才能保证铸件精度。生产中用的定位方式有泥号、箱垛、箱锥、止口及定位销等。该铸件砂箱的定位方式选择定位销，如图 7.4所示定位方式。

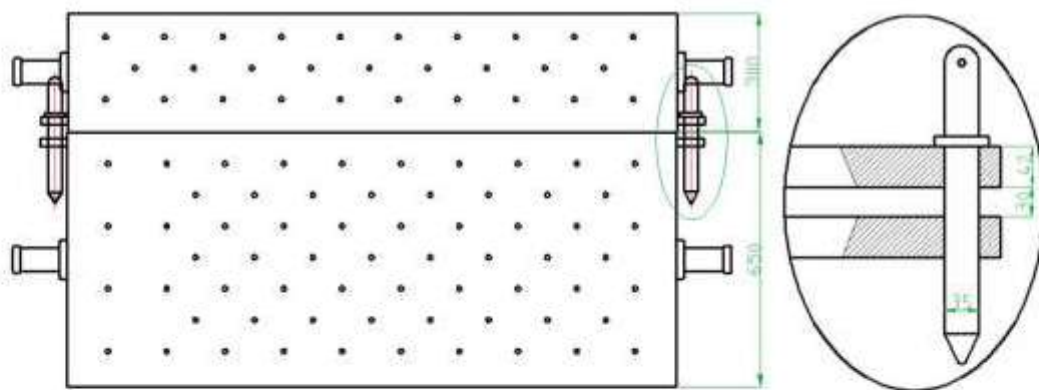


图 7.4 砂箱定位方式

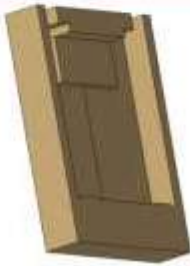
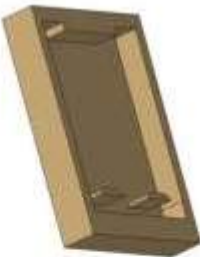
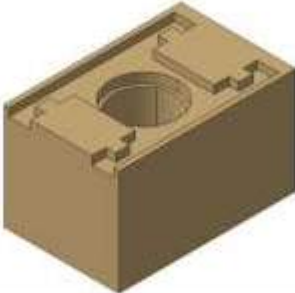
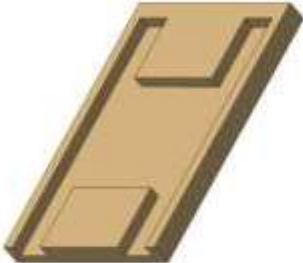
7.3. 芯盒

芯盒是制芯工艺必要的工艺装备，芯盒设计与制造直接关系到铸件质量，对

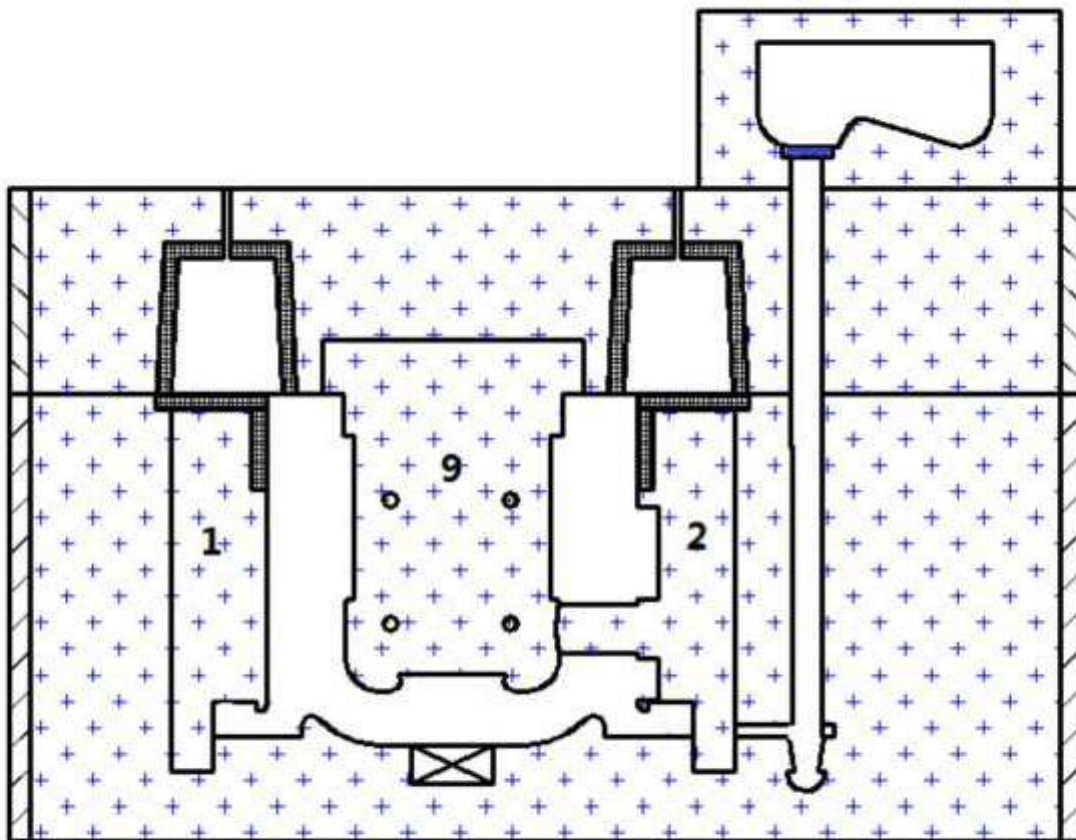
提高生产率、降低成本、减轻工人劳动强度非常重要。芯盒根据制芯方法分为普通芯盒、热芯、壳芯盒和冷芯盒。

本铸件用树脂砂造型造芯，采用自硬芯盒法手工制芯。

表 7.1 芯盒形状汇总表

砂芯 编号	砂芯形状	左（上）芯盒	右（下）芯盒
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

8、合箱图



9 工艺卡

零件号	B	零件名称	油缸	每台件数	1				
材 料									
铸件重量/kg			铸件材质	炉料	每个毛胚可切零件数				
净重/kg	毛重/kg	浇注系统重							
689.8	750.9	58.4kg	QT500-7	生铁、废钢 铁合金等	1				
造 型									
砂型名称	砂型类别	造型方法	砂箱 编号	砂箱内部尺寸/mm					
				长	宽	高			
上箱	树脂自硬砂	手工造型	1	1500	1000	300			
下箱	树脂自硬砂	手工造型	2	1500	1000	650			
制芯	砂芯编号	数量	制芯方法	重量/kg	芯骨				
	1	1	手工制芯	24.7	无				
	2	1	手工制芯	24.2	无				
	3、4	2	手工制芯	27.8	无				
	5、6、7、8	4	手工制芯	1.7	无				
	9	1	手工制芯	49.7	有				
浇 注 系 统									
内浇道		横浇道		直浇道		浇口杯编号	过滤网编号	冒口 数量	出气孔 数量
数量	截面积	数量	截面积	数量	截面积				
2	34.78 cm ²	2	52.18 cm ²	1	17.39 cm ²	1	1	2	2
浇 铸									
浇注温度/℃						浇注时间/S		冷却时间/h	
1360						29.1		3.4	
铸件落砂及清理									
名称	落砂					热处理			
方法	振动落砂					退火或时效处理			

备注	1. 球墨铸铁符合标准 GB/T1348-2009，必须保持机械性能； 2. 球化等级需达 4 级以上； 3. 凡有加工符号的表面需留有加工余量； 4. 酚醛树脂砂造型； 5. 加工表面不得有夹渣、缩孔和疏松缺陷，油缸不得渗油； 6. 非加工面不得有明显凹陷、缩孔，不允许焊补处理； 7. 未铸造圆角为 R10； 8. 铸造后需经退火或时效处理； 9. 铸造公差等级 ISO 8062 CT 12级； 10. 去毛刺，锐边锐角倒钝。
----	--

参考文献

- (1) 李新亚主编; 中国机械工程学会铸造分会组编. 铸造手册, 第 5 卷, 铸造工艺[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.5
- (2) 任兴武, 夏天时. 碱性酚醛树脂自硬砂在球墨铸铁曲轴生产中的应用 [J]. 中国铸造装备与技术. 1997(03)
- (3) 咸阳机器制造学校. 中等专业学校试用教材 铸造工艺学(上册). 机械工业出版社, 1979年 08月第 1 版
- (4) 刘文川, 向敬成. 大型铸件有效浇注时间的计算[J]. 大型铸锻件. 2000 年第 4 期(总第 90 期)
- (5) 魏兵、袁森、范志康、王荣锋、赵乃熊、钱善琪. 浇注系统截面积比与大孔出流规律的研究[J]. 陕西机械学院学报, 1990, 6(1): 15-28
- (6) Vinarcik E J. Adv Mater Process, 2001;159:49
- (7) 陆文华. 铸铁及其熔炼[M]. 机械工业出版社. 1981
- (8) K. G. Divis, J. G. Magny, 《AFS Transactions》, 1977:227~239
- (9) A. M. Hukutuu, 《国外铸造》, 1982, N(4):38~41
- (10) A. Voros, 《Banyasz Kohase Lapok》, 1982(3):52
- (11) 叶荣茂、王伟星、王惠光. 放过滤网的浇注系统流量系数的研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1985, 1(1): 38-43
- (12) 苏应龙. 球墨铸铁工艺中压力冒口的控制 [J]. 新技术新工艺. 1987(04)
- (13) 叶定闽, 刘真. 中小型球铁件压边冒口的探讨[J]. 铸造技术. 1985(05)
- (14) ASTM_A536-84 (R1993) 球墨铸铁件. [S]
- (15) 陈永龙, 刘文川. 大型球墨铸铁件铸造工艺的优化设计[J]. 热加工工艺, 2011年第 40卷第 9 期: 195-199页
- (16) 高秀武, 中国重汽济南铸锻中心. 外冷铁在汽车球墨铸铁件铸造工艺设计中的应用[J]. 热处理/锻压/铸造, 2012年 第 5 期:35-37页
- (17) 朱华寅 王苏生. 铸铁件浇冒口系统的设计与应用. 机械工业出版社, 1991年 01 月第 1 版.
- (18) 王树成. 压边浇冒口对铸件质量的影响[J]. 现代铸铁, 2002年第 46卷第 2 期: 46-47页
- (19) 李日. 铸造工艺仿真 ProCAST从入门到精通[M]. 中国水利水电, 2010年 01 月第 1 版
- (20) 诸葛胜. 福士科铸造材料(中国)有限公司. 铸铁冒口设计手册.
- (21) 杜西灵 杜磊编著. 铸造实用技术问答[M]. 机械工业出版社, 2007年 05月第 1 版.
- (22) 吴殿杰. 自硬砂铸造工艺—低碳时代的最佳选择