

NO. 324

电驱动壳体样件制造工艺

随着国内汽车产业的快速发展，汽车发动机和变速箱的试制由10年前依靠国外试制公司到现在国内企业唱主角，高度贴合了现在中国汽车市场的现状，助力了国内汽车产业的高速发展。

近几年中国汽车领先于全球实现电动化的快速发展，电驱动技术越来越收到热捧，电驱动的高转速高效能，必然对壳体试制的重点精度和功能试验提出更高需求。壳体样机制造主要通过无模成型或者简易模具砂型铸造的方式低成本、短周期的验证。

全球整车研发速度的加快，新车的上市时间越来越短，设计变更也更加频繁，原来的样机试制的节拍和方法已无法适应新的市场，也就催生了样机试制行业的变革，要求更快、更好对设计进行精准验证。目前壳体的试制主要用于台架试验、润滑试验和冬（夏）季试验、标定等。电驱动研发的过程中，关于壳体试制有以下三种类型。

1、透明壳体（可视试验）

1.1 透明壳体试制的品种分类，整机壳体透明，分为整体和拼接两种做法：

（1）整体的方法：整体使用PC、PMMA 两种塑料进行雕刻。优点是，整体牢固，不易渗漏。相对成本也稍高。

（2）拼接的方法：根据结构，为了成本（材料和加工费用），进行分层加工，经过手工处理用特殊胶水进行拼接加固。优点是成本相对较低。缺点是实验过程中会出现漏油或者渗油，强度相对较弱。

1.2 透明样件工艺

工艺分析→编程→准备材料和工具→粗加工→毛坯放置（释放内应力）→打磨抛光→精加工→二次抛光→成品

1.3 PC和PMMA的材料性能比对

亚克力、PC性能参数对照表

项目名称		参数	
		PC	亚克力
1	拉升强度 (MPa)	80.4-90.2	50-77
2	拉升断裂应变(%)	60	11 ~ 15
3	拉升弹性模量(MPa)	2400	3200
4	冲击强度 (KJ/m²)	75 ~ 102	17
5	使用温度 (°C)	-110	0-90
6	玻璃化温度 (°C)	145	105
7	热变形温度 (°C)	130 ~ 140	96-100
8	维卡软化温度(°C)	154 ~ 158	104-113
9	脆化温度 (°C)	-30	9.2
10	连续高温 (°C)	≤90	≤80
11	熔融温度 (°C)	230	270
12	介电常数	3.2	3.9
13	表面电阻系数	>1.0E+15	10
14	体积电阻系数Ω	2.1X10	16
15	耐电压	18-22	20
16	耐电弧性	120	110
14	透光率 (%)	80 ~ 88	93
18	折射率Nd/25°C	1.587	1.49
19	吸水率	0.23 ~ 0.26	0.3
20	加热时尺寸变化 (收缩率%)	0.5 ~ 0.8	0.5
21	断裂伸长率	11	2 ~ 3
22	洛氏硬度	M60-70	M92
23	弯曲模度	ASTMD-790- 24000kg/cm	ASTMD-790- 17510kg/cm
24	燃烧性	UL-V0/V2	HB
25	导热系数	0.2	0.19
26	拉伸应力	60	72
27	拉伸应变	80	4.5
28	压缩强度	80 ~ 90	123
30	线形膨胀系数	5 ~ 7	7×10
31	疲劳强度	7.5-10.5	
32	拉力	500	

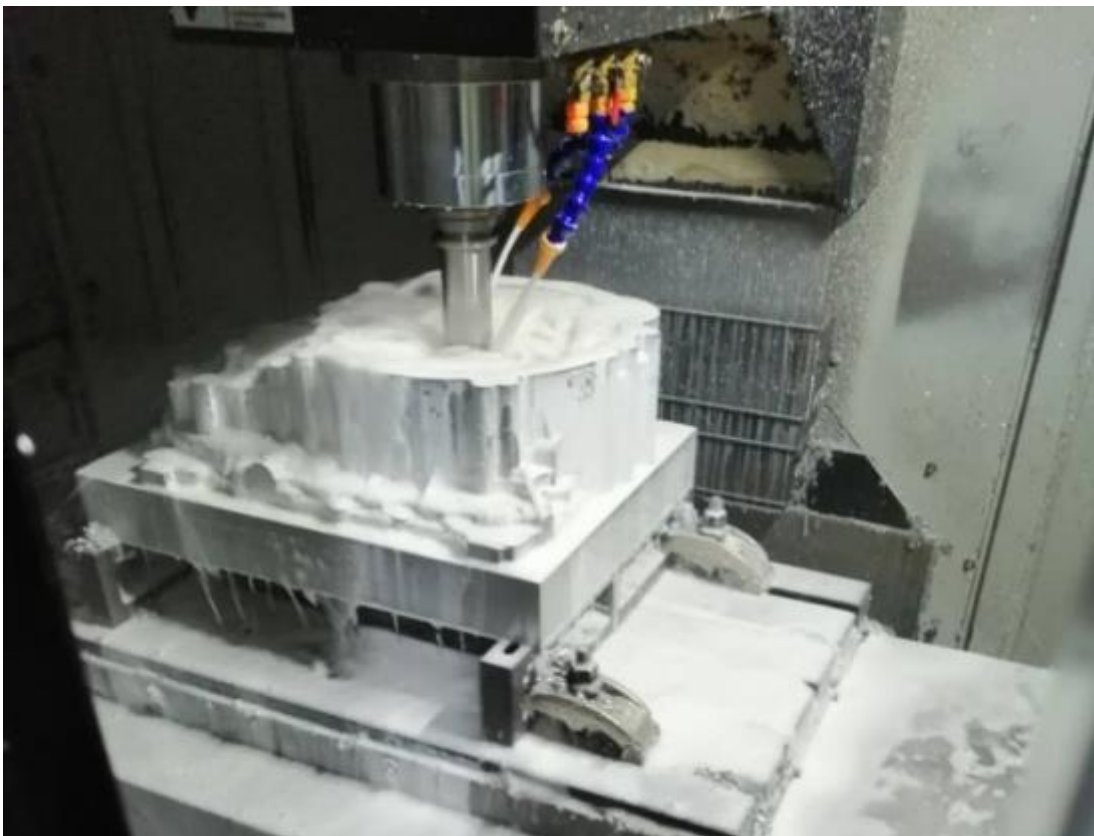
2、雕刻壳体A样（台架试验或简单路试）

3D电驱动雕刻壳体（铝合金）的加工工艺，电驱动壳体试制的快速呈现方式，主要的关注点在材料选配、内部容积保证、内部轮廓保证、键装配点的尺寸保证。

针对电驱动中的电机壳体的试制，出现了搅拌摩擦焊工艺的运用，同时电机壳体内水套的试过程中，水路尺寸的保证和内外套配制需要关注，涉及到泄露和流量。

3D雕刻加工工艺流程：工艺分析→编程→准备材料和工具→粗加工→毛坯放置、释放内应力→精加工→成品

另：电机内水套的加工，是利用四轴加工中心或者五轴加工中心进行模拟侧面螺旋加工。



粗加工

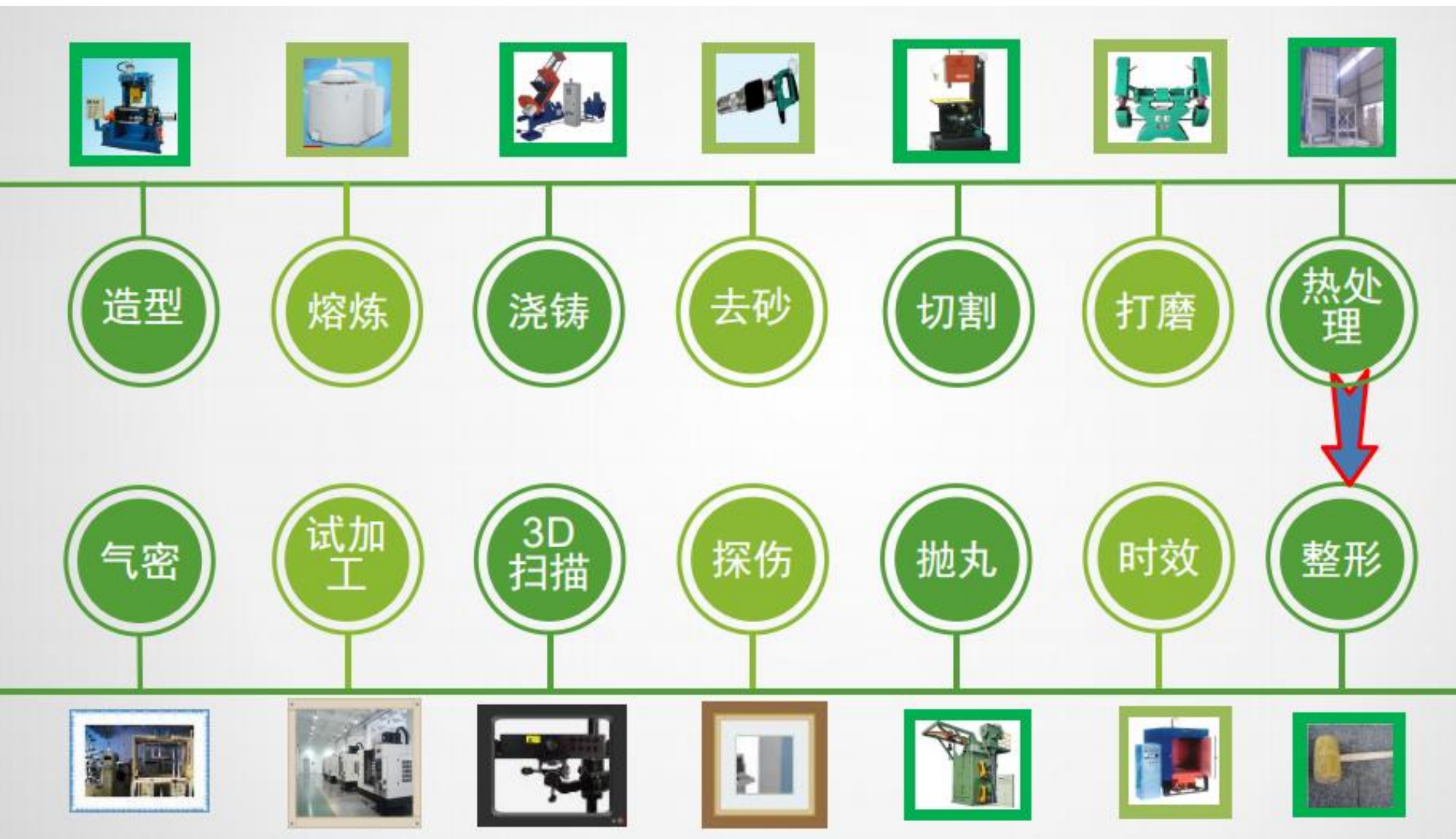


精加工

3、砂型铸造（重力金属）工艺

快速铸造的全砂型铸造或者部分砂型配金属模具。砂型成型可以有两种：3D 打印砂型和模具砂型。

电驱动壳体的铸造试制中，因为高转速大扭矩和啸叫的特点，无论从前期的产品分析，还是到过程中的百分百内部和轮廓检测，都要进行把控，确保产品质量。砂型铸造工艺流程如下：



砂模类型：

3D打印砂型铸造



模具翻砂铸造--铸造材料：

GB/1173-1995 ZL104 Composition(%)									
Si	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	Ti+Zr	Sn	Pb	Al
8.0-10.5	0.17-0.35	0.2-0.5	≤0.6	≤0.1	≤0.25	≤0.15	≤0.01	≤0.05	≤other
GB/1173-1995 ZL104 Mechanical property									
Casting Mthod	State of Alloy		Tensile(Mpa)		Elongation(%)		HBW	/	
SB	T6		≥225		≥2		≥70	/	

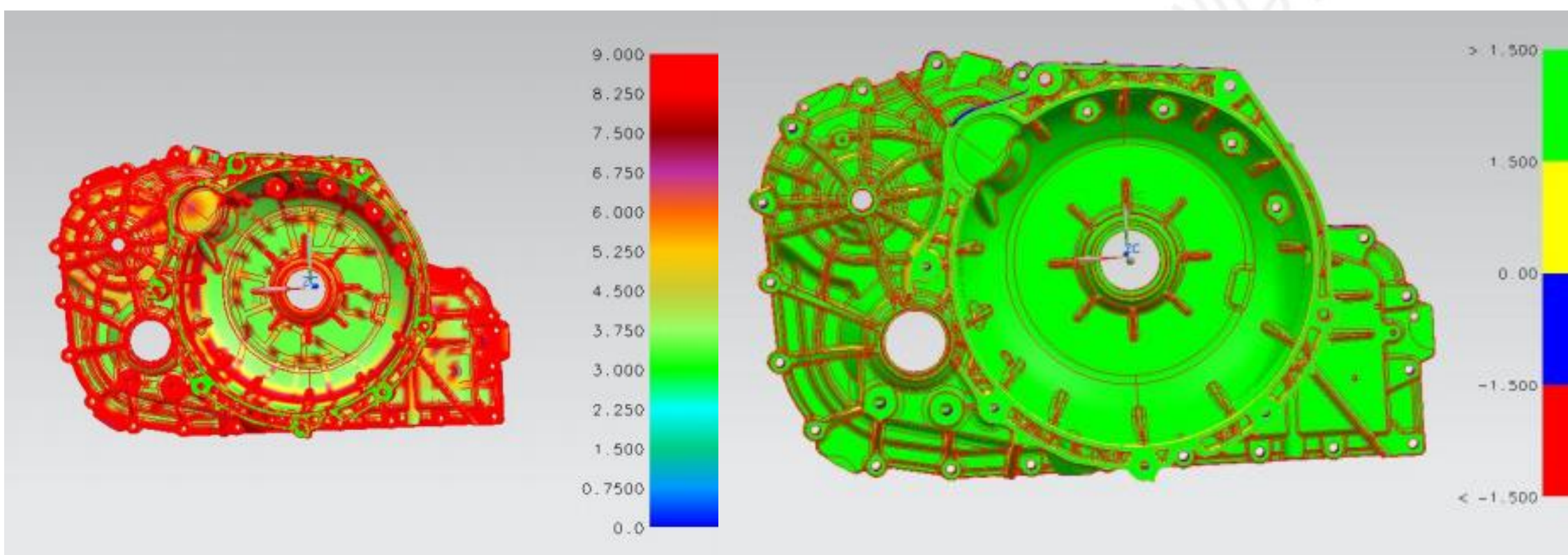
GB/1173-1995 ZL101A Composition(%)

Si	Mg	Ti	Fe	Cu	Zn	Mn	Zr	Sn	Pb
6.5-7.5	0.25-0.45	0.08-0.2	≤0.2	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤0.01	≤0.03

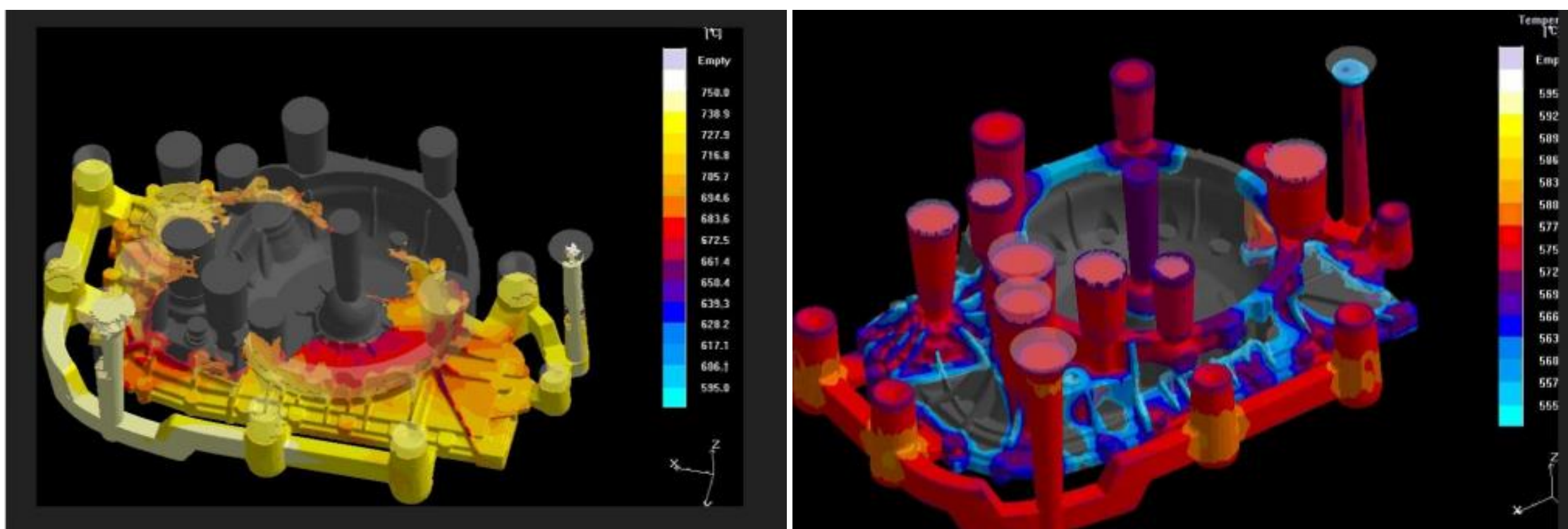
GB/1173-1995 ZL101A Mechanical property

Casting Mthod	State of Alloy	Tensile(Mpa)	Elongation(%)	HBW	/
SB	T6	≥225	≥2	≥70	/

工艺成型分析：



模流分析：



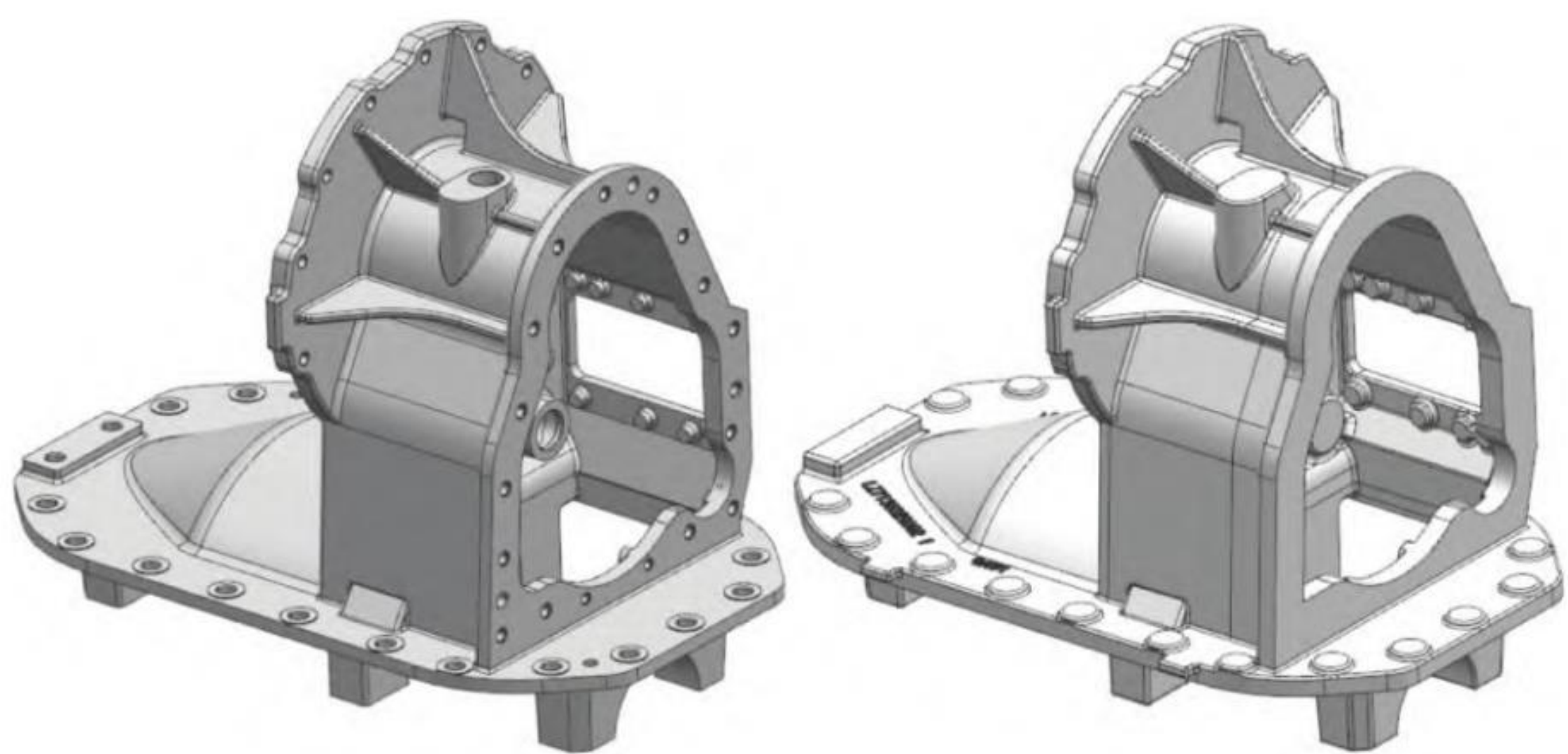
以上就是简要的介绍了电驱动壳体的3种试制方式，电驱动从无到有，从有到优，快速的走进我们的工作和生活，同时对壳体试制的要求和方式提出 新的需求，但是万变不离其宗，只要把握住设计师设计初衷和需求点，通过试制工艺的改进和匹配来实现关键新要求，我们就可以更快更好的助力电驱动的研发工作。

4、电驱桥前主减速器壳体铸造

本文所述的电驱桥前主减速器壳体适新能源载重卡车，是电驱桥的核心结构组件。该产品将传统的减速器壳体、中间箱体和轴承座等部件进行了集成化设计，在轻量化的同时实现了结构强度的大幅提升。但另一方面，其复杂的一体式结构也给铸造工艺中所追求的平稳充型和顺序凝固带来较大挑战。

为了快速制备出高质量的电驱桥前主减速器壳体，设计了砂型的整体组芯工艺，采用3D打印方案进行快件制作，通过对浇注系统、排气溢流系统、冒口布置的不断优化，消除了相关质量隐患，为其后续的产业化生产积累了重要经验。

电驱桥前主减速器壳体毛坯重43 kg，材质 Q T 450-10，最大轮廓尺寸535 mm ×33 8 mm × 452 mm，壁厚范围 7. 5 mm ~ 36 mm，产品结构如图 1 所示。



(a) 零件图

(b) 毛坯图

电驱桥前主减速器壳体零件图与毛坯图

4.1 砂型3D打印工艺

砂型3D打印工艺即以硅砂为主材，通过在各砂层（厚约 0.2 m m ~ 0.3 mm / 层）间涂覆呋喃树脂作为黏结剂，使各砂层在自重的作用下固化为所需的尺寸和轮廓并具备一定的结构强度。其中树脂黏度与其渗透性成负相关，渗透性越强则砂型的结构强度越高。主减壳快件制作流程如图 2 所示。

砂型3D打印工艺设计难点

产品结构方面：

- （1） 轮廓起伏较大，浇注时不利于铁液平稳充型和温度的均衡分布，易产生气孔、冷隔缺陷；
- （2） 产品的厚大部位形成多处孤立热节，补缩困难导致产品具有较大的缩孔倾向。

砂型3D打印方面：与传统的冷芯机射制工艺相比，所打印砂型具有结构强度低、发气量大、高温易分层开裂等问题。

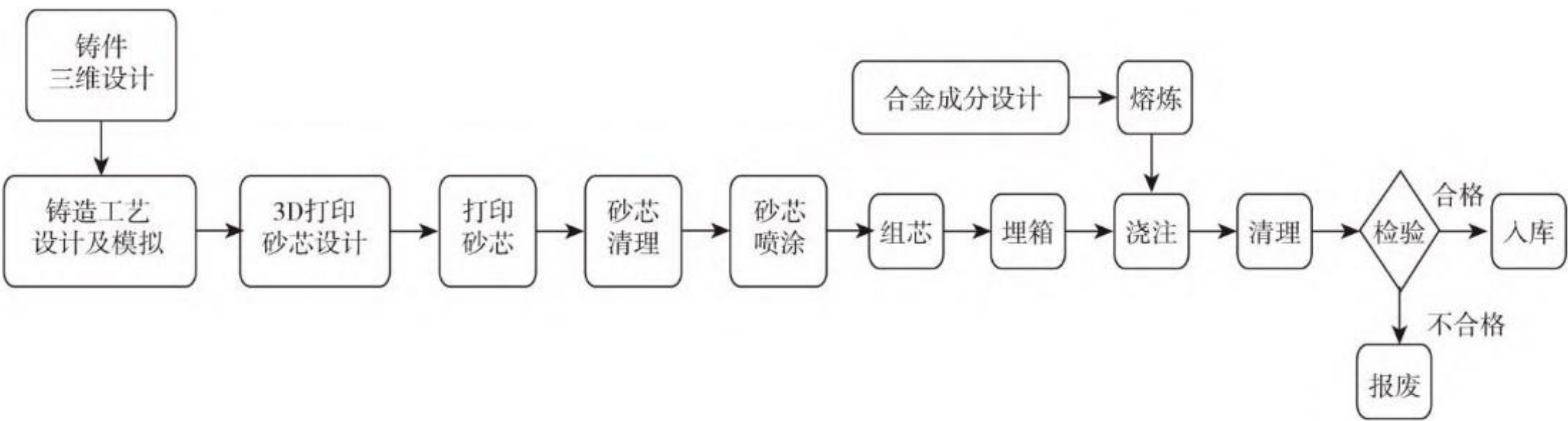


图 2 主减壳快件制作流程图

4.2 浇注系统设计

4.2.1 浇注方案

鉴于对产品结构分析，若选用底注式浇注系统（内浇口分布在法兰侧缘）可使内浇口在淹没状态下工作，充型平稳且利于排气和阻渣，

但该方案易导致液面上升时间较长使浇不足风险增加，同时还存在内浇口易过热缩松和产品孤立热节补缩困难等弊端。若选用阶梯式浇注系统，可使铁液自下而上依次从各层内浇口流出，充型平稳的同时还可形成自上而下的温度梯度，消除底注式浇注系统存在的单层内浇口过热和液面降温过快的问题，利于顺序凝固和补缩。相关方案的模拟分析及对比情况如表 1所示。

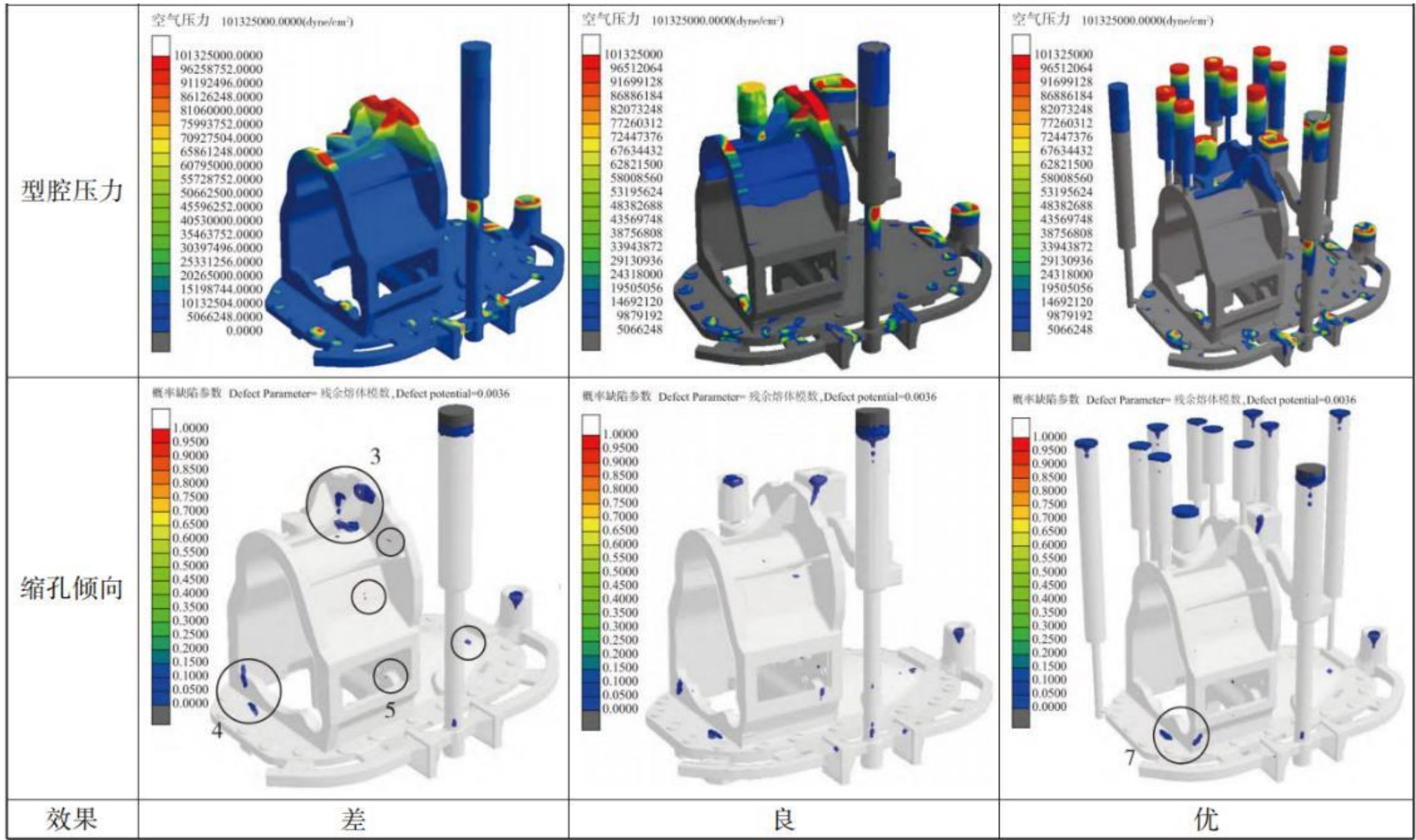
4. 2. 2 模拟结果分析

(1) 温度分布方面：选用纯底注工艺的方案一时，存在铸件顶部温度偏低（温差约 70 ℃）和边冒口过热问题，导致铸件的冷隔、底部法兰缩孔倾向较高。采用阶梯式浇注工艺的方案二和方案三时，产品整体温度分布的均衡性得到改善，但在“标识 6”处，存在明显的带状低温区。进一步观察充型顺序，发现该区域铁水在新增溢流系统后的流动性下降，汇合后呈现长时滞留；

(2) 型腔压力方面：由于在方案一中未设计任何排气通道，观察其型腔气压的分布情况可较为直观地看出产品在“相对自由”状态下的气体滞留倾向。然后，在方案三中通过针对性设计出排气 / 溢流通道的，从而尽可能精准地消除产品相关部位的气孔隐患；

表 1 主减壳浇注方案对比表

方案	方案一	方案二	方案三
设计要点	1. 封闭-开放的底注式浇注系统,单侧设 4 条内浇口; 2. 边冒口一个 ^[2] 。	1. 封闭-开放的阶梯式浇注系统; 2. 底层设 4 条内浇口,一个边冒口; 3. 上层设 1 条内浇口,边冒口和发热冒口各一个。	1. 在方案 2 的基础上调整浇注组元参数并设置排气-溢流系统; 2. 热节处增设 2 件冷铁。
温度分布	温度 Time:9.963(sec) Filling:100.00(%) Solidification:0.00(%) (°C)	温度 Time:9.93287(sec) Filling:100.00(%) Solidification:0.00(%) (°C)	温度 Time:9.96572(sec) Filling:100.00(%) Solidification:0.00(%) (°C)



(3) 缩孔倾向方面：可以看出方案一中产品的缩孔数量多且较为分散，其中“标识 3、4”“标识 5”处有较高的加工精度要求和结构强度要求，属铸件的关键功能区。鉴于此，在后续的方案中“点对点”地增设了顶部发热冒口和局部冷铁，方案三的模拟效果显示基本达成预期目标，但在“标识 7”处出现了新的缩孔倾向。

4. 2. 3 浇注系统确定

结合相关生产经验和上述理论分析，经多次优化调整后的浇注系统方案如图 3 所示：

- (1) 设计封闭-开放式浇注系统，上下层内浇口的流量比为 3：7；
- (2) 两个边冒口的类型为遵循顺序凝固规律的“通用冒口”，冒口模数大于铸件热节模数。顶冒口采用发热冒口；
- (3) 底层内浇口分为四道从法兰侧缘引入。其中三条内浇口通过横浇道直接与产品相连，呈扁平结构（加快内浇口的冷却关闭）；
- (4) 产品的局部热节处设计有圆柱形冷铁；
- (5) 为降低产品的冷隔和气孔隐患，设计有多条排溢通道，排气面积为内浇口面积的 1.5 倍；
- (6) 采用低温快浇的设计理。

4.3 砂型结构设计

依据砂型3D打印的工艺特点及电驱桥主减壳的铸造特性，其砂芯结构的设计要素为：

- （1）砂芯结构设计应便于成型、摆放、组合和转运，并具备良好的结构强度；
- （2）砂芯间应合理设计配合间隙和定位间隙，使整体芯组具备较高的尺寸精度和密封性能；
- （3）由于3D打印效率与砂芯厚度有关（砂芯越厚，耗时越长），因此应尽可能优化各砂芯的轮廓尺寸，确保其在打印设备中同时成型完毕，提升打印节拍；
- （4）虽然3D打印砂型结构的设计不受产品拔模角的影响，但应充分考虑单个砂芯在后处理中清砂操作（一般采用吹气清理 + 毛刷清理）的便捷性，防止碎砂滞留在砂芯的凹深部位；
- （5）良好的排溢系统设计可有效降低产品的气孔、冷隔隐患。

图 4 所示为3D砂型结构图。

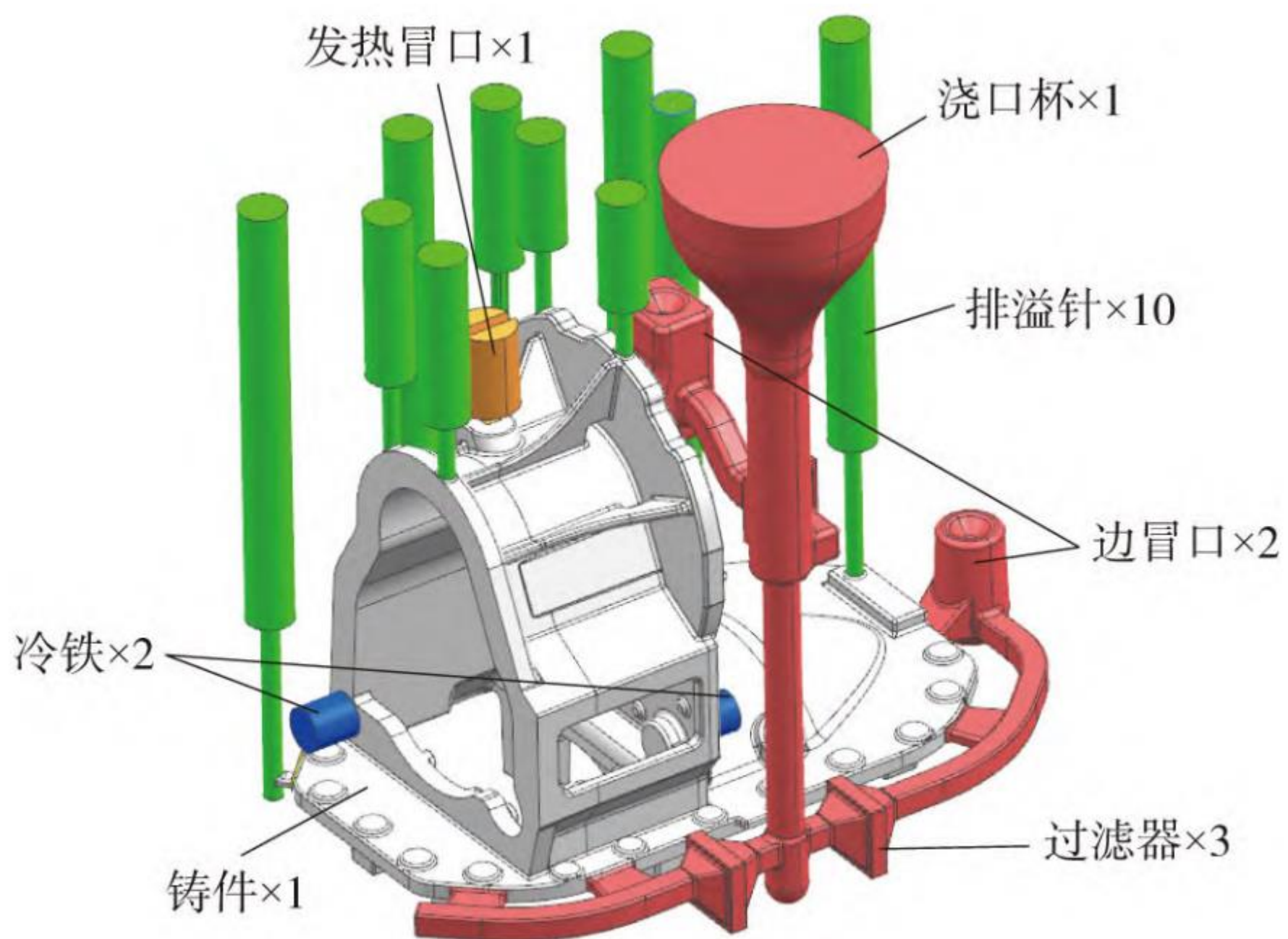


图 3 浇注系统设计

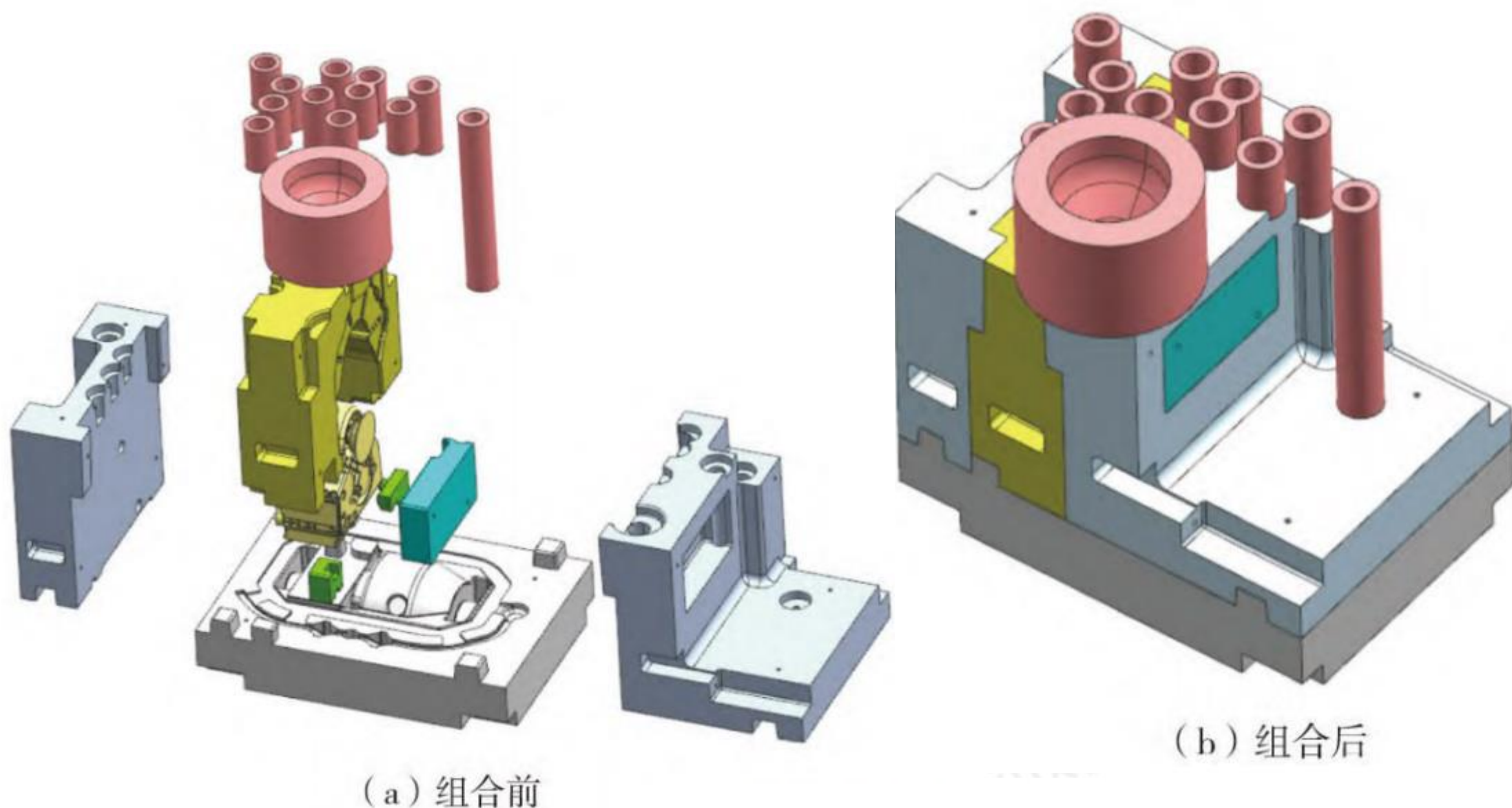


图 4 砂型结构图

4.4 生产验证

用螺杆将组合后的整体砂芯进行锁紧，转移至砂箱后进行浇注。其中，浇注温度 1395°C ，浇注时间 11 s ，浇注重量 90 kg 。图5所示为浇注后开箱产品，图6所示为清理后铸件，产品外观质量符合要求，表2为检测产品化学成分，符合技术要求。



图 5 产品浇注后开箱

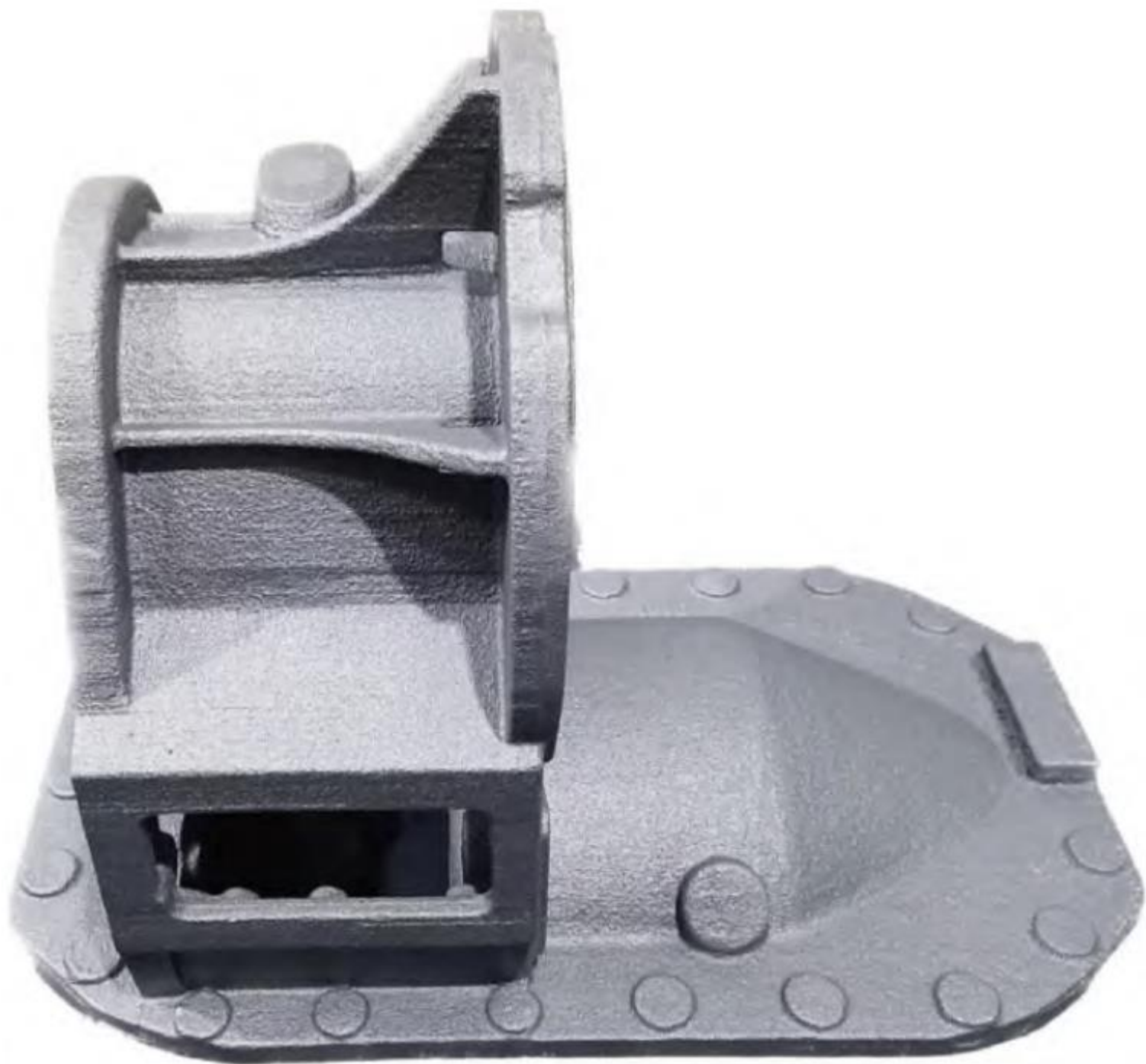


图 6 3D 打印样件实物

表 2 产品化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Mg
含量/%	3.6 ~ 3.9	2.6 ~ 2.8	0.3 ~ 0.4	≤0.06	≤0.02	0.04 ~ 0.07

4.5 结 论

- （1） 与传统的冷芯制备工艺和潮模砂造型工艺相比，砂芯3D打印工艺具有结构设计灵活、抗冲砂能力强、验证周期短等显著优势，适用于新品样件的快速研发；
- （2） 借用数值模拟分析技术，可以在新品研发初期对其潜在的质量风险进行系统评估，便于针对性地开展铸造工艺设计工作；
- （3） 设计合理的浇注系统、排溢系统，适时采用局部冷却、局部补缩工艺是获得优质铸件的必要条件。

本文PDF文档免费下载链接：

www.shinden.com.cn

百度“无锡胜鼎”，页面右上角“技术文档”



与新能源汽车电驱动工程师共同成长

Growing together with electric drive engineers for new energy vehicles

扫码进群

