

新能源汽车电池盖一体化压铸模具设计

崔杰¹, 邓杨全¹, 王峰¹, 王晓威¹, 夏天²

(1. 浙江华朔科技股份有限公司, 浙江宁波 315800; 2. 宁波职业技术大学, 浙江宁波 315800)

摘要: 新能源汽车电池盖作为超大型一体化压铸件, 尺寸大, 壁薄, 深腔区域多, 铸造工艺要求高。采用成熟方案和公式设计流道布局。结合压铸工艺参数, 基于多次迭代进行模流分析, 借助抽真空方案, 达到最佳填充效果, 铸件气孔率从3%~5%降至0.5%, 抗拉强度提升15%~20%。采用模具加热冷却结构布置方案, 借助CAE仿真温度分布, 集成水温机、油温机和点冷机交互控制, 利用红外线成像技术实时监控, 最大程度实现模具热平衡。根据X射线探伤和多组铸件测试结果显示, 产品内部缺陷检测合格率达到98%。

关键词: 新能源汽车; 电池盖; 一体化压铸; 压铸模具; 超大型; 铸造工艺; 热平衡; 真空; 模流分析

中图分类号: TH69; TG146.21; TG249.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2026) 05-0528-07

DOI: 10.27014/j.cnki.zhuzao.2026.0071

Integrated Die-Casting Mold Design for Battery Cover of New Energy Vehicle

CUI Jie¹, DENG Yang-quan¹, WANG Feng¹, WANG Xiao-wei¹, XIA Tian²

(1. Zhejiang Huashuo Technology Co., Ltd., Ningbo 315800, Zhejiang, China; 2. Ningbo Polytechnic University, Ningbo 315800, Zhejiang, China)

Abstract: As an ultra-large-sized integrated die-casting part, the battery cover of new energy vehicle features large size, thin walls, numerous deep cavity areas, and high requirements for casting process. The runner layout was designed using mature schemes and empirical formulas. The mold flow analysis was carried out based on multiple iterations in combination with die-casting process parameters, and the optimal filling effect was achieved with the application of a vacuum-pumping scheme, reducing the porosities of castings from 3%-5% to 0.5% and increasing the tensile strength by 15%-20%. Adopting a layout scheme for the mold heating and cooling structures, simulating the temperature distribution by CAE, integrating the interactive control of water temperature controllers, oil temperature controllers and spot coolers, and putting real-time monitoring into effect by infrared imaging technology, the thermal balance of the mold has been achieved to the greatest extent. The results of X-ray inspection and multiple groups of casting tests showed that the qualification rate of internal defect detection of products reached 98%.

Key words: new energy vehicle; battery cover; integrated die-casting; die casting die; ultra-large-scale; casting process; thermal balance; vacuum; mold flow analysis

新能源汽车电池盖是动力电池包(尤其是方形或软包电池模组)的关键结构部件之一,主要用于保护电池模组、密封内部环境和协同安全设计,并直接影响电池包的可靠性、寿命和安全性,是融合结构强度、密封、热管理和安全冗余于一体的核心部件^[1-4]。其设计直接影响电池包的寿命、安全性和成本,未来随着材料与工艺进步,将更趋轻量化、智能化和高集成化。

新能源汽车电池盖尺寸大,通常属于超大型压铸件,其一体化压铸工艺需要超大型压铸模具技术^[5-7]。

超大型压铸模具有很多技术难点,包括整体刚度与抗变形、模具材料与寿命、成型工艺与缺陷控制等^[8-10]。目前普遍采用的解决方案有模温智能控制技术和真空压铸技术等。模温智能控制技术核心是多区域独立控温,实时感知,闭环调节,解决超大模具温差大、热不平衡、铸件缺陷多和模具寿命短的问题。真空压铸技术通过强密封、快抽气和精准时序控制实现超大型模具型腔高真空,从源头减少气孔缺陷,提升一体化压铸件性能与良品率^[11]。

浙江华朔科技股份有限公司与宁波职业技术大学

基金项目: 2025年度北仑区关键核心技术攻关项目(基于免热处理材料的新能源汽车铝合金复杂构件一体化压铸关键技术研究)。

收稿日期: 2026-02-12 收到初稿, 2026-02-24 收到修订稿。

作者简介: 崔杰(1982-),男,高级工程师,主要研究方向为压铸模具设计及制造。E-mail: j.cui@china-huashuo.com

通信作者: 夏天,男,副教授。E-mail: 53449324@qq.com

引用格式: 崔杰, 邓杨全, 王峰, 等. 新能源汽车电池盖一体化压铸模具设计 [J]. 铸造, 2026, 75(5): 528-534.

CUI Jie, DENG Yangquan, WANG Feng, et al. Integrated die-casting mold design for battery cover of new energy vehicle [J]. Foundry, 2026, 75(5): 528-534.

紧密合作，以某新势力品牌动力电池包的电池盖为研究对象，设计超大型一体化压铸模具，重点考虑填充和热平衡两大因素，为类似超大型压铸模具开发提供借鉴^[12]。

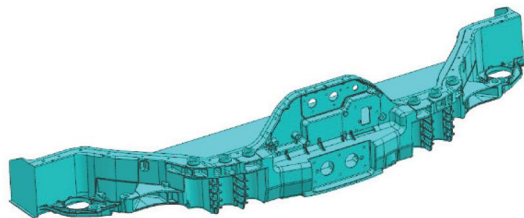
1 结构特点及工艺要求

图1是某款国产新能源汽车动力电池包的电池盖。电池盖尺寸约为1 337 mm×415 mm×246 mm，平均壁厚约为8 mm，体积为5 483 825 mm³，质量约为14.8 kg，属于超大型压铸件。

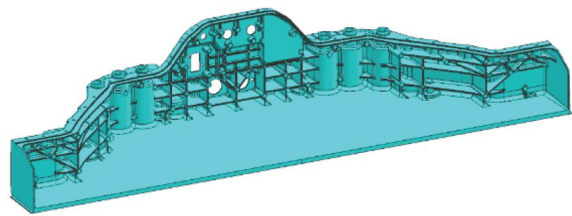
产品材料为铝合金，牌号为AlSi10MnMg，特点是合金熔体粘度低，流动性好，收缩率约为1.0%~1.2%，不易产生铸造裂纹，适配高压压铸（HPDC）工艺；耐

腐蚀性能佳，适用于大气、淡水或轻度腐蚀环境；硬度适中，切削阻力小，适合机加工修正尺寸；材料成本低，相比锻造铝合金（如6061）或高性能铸造合金（如AlSi12Cu），成本降低20%~30%。AlSi10MnMg的高压压铸特性、良好的综合力学性能和成本优势使其成为汽车轻量化的首选材料，广泛应用于新能源汽车的关键结构件。

根据图1所示的电池盖的结构特点、外形尺寸以及壁厚可知，产品存在强度不足、稳定性差的缺点，因此在电池盖全区域设计了纵横交错的加强筋，而加强筋的存在与电池盖主体结构形成了很多个深腔区域（图2），最大的深度达到了约60 mm。这些区域的存在提高了产品在生产过程中出现铸造缺陷的概率。



(a) 外表面



(b) 内表面

图1 电池盖
Fig. 1 Battery cover

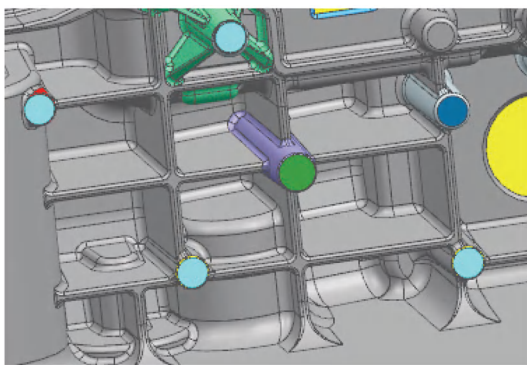


图2 深腔
Fig. 2 Deep cavities

由于电池盖属于超大型压铸件，产品所有区域很难达到统一标准的铸造工艺要求，所以划分了重点区域，这些区域的工艺要求相对较高。如图3所示的蓝色和绿色区域设计为装配和定位功能，工艺要求平面度不得大于0.2 mm，表面粗糙度要求小于30 μm，不得有任何气孔缩孔现象。这些平面上分布很多小孔和不规则孔，这些孔的存在使得金属铝液的流动处于非常复杂和不规则的流动状态，将导致这些平面在铸造过程中很难完整成形。因此模具设计的时候，蓝色和绿色平面的孔进行封闭，铸件成形之后进行机加工。此外，电池盖不同位置分布数量不等的螺纹孔，螺纹孔

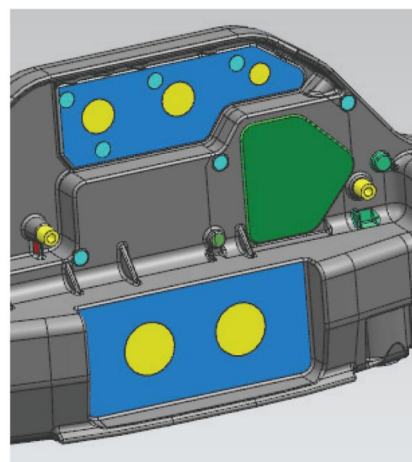


图3 重点区域
Fig. 3 Key areas

的功能是装配连接，强度必须满足一定要求，机加工前3牙不得有气孔。

2 产品填充

根据产品结构特点以及工艺要求，结合经验确定了如图4所示的最优流道布局^[13]，设计原则如下。

- (1) 优先填充产品“高工艺要求”区域结构；
- (2) 浇口位置尽量设置在产品厚壁区，利于压力

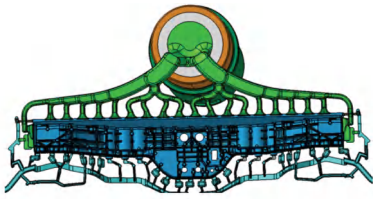


图4 流道布局
Fig. 4 Runner layout

传递和补缩，避免薄壁处因快速冷却导致浇不足或冷隔缺陷；

(3) 保证金属液平稳填充模具型腔，避免填充过程中的分流、紊流和卷气，从而降低气缩孔风险；

(4) 浇口尺寸合理配置，防止进料填充速度过大或者过小；

(5) 浇口位置设置兼顾远端充填效果，防止局部过热或充型不足；

(6) 浇口后续容易去除。

其中直浇道（冲头）直径，横浇道截面形状和尺寸，内浇口截面面积、厚度和宽度，溢流槽的尺寸均可参考成熟的计算公式和经验数据。

此外，一体化压铸模尤其是超大型压铸模浇注系统设计中，流道尺寸控制有一个非常重要的经验公式值得推广与借鉴，如图5所示。图中 S 表示冲头直径， $S_1 \sim S_{10}$ 表示各级横浇道的截面积， $S_{11} \sim S_{14}$ 表示各内浇口截面积。冲头直径与内浇口截面积的相互关系要遵循式(1)。

$$\frac{S}{S_{11}+S_{12}+S_{13}+S_{14}} = \frac{V_2}{V_1} \quad (1)$$

式中： V_1 为冲头速度， V_2 为内浇口金属熔体速度。

浇道布局设计完毕之后，结合压铸工艺参数，利用MAGAMSOFT软件进行填充过程模拟分析，多次迭代优化以求最佳填充效果^[14]。主要压铸工艺参数如表1所示。

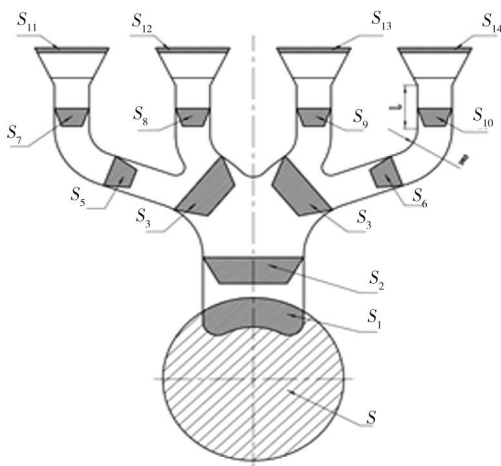


图5 流道尺寸控制
Fig. 5 Runner dimension control

表1 主要压铸工艺参数
Tab. 1 Main die-casting process parameters

浇注 温度/℃	模具 温度/℃	慢压射 速度/(m·s ⁻¹)	铸造 压力/MPa	快压射 速度/(m·s ⁻¹)
680	180	0.2	70	4

图6是填充过程温度分布图。根据压铸工艺要求，填充过程的温度不得低于材料液相线温度。查询热物性手册和压铸标准可知，铝合金AlSi10MnMg的液相线温度介于575~587℃，合金元素含量的不同和材料杂质的存在会使液相线温度升高5~10℃，因此电池盖液相线温度约为595℃。由图6的分析结果可知，填充全过程未出现浅蓝色区域，大部分区域温度介于660~680℃之间。

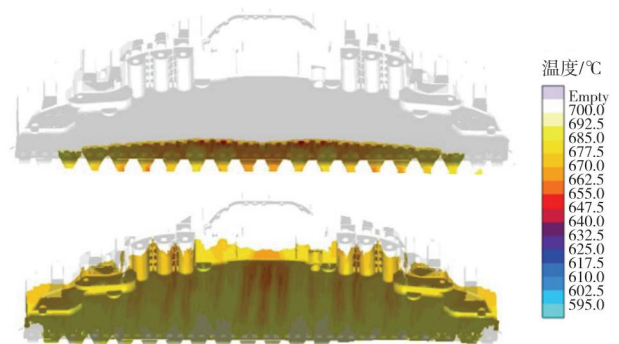


图6 温度场
Fig. 6 Temperature fields

图7是填充过程气压分布图。理论上铸件气压不得高于0.3 MPa，高于0.3 MPa产生铸造缺陷的概率大幅度增加。图7显示气压介于 28×10^{-3} MPa和 45×10^{-3} MPa之间，填充时金属液卷入的空气以及脱模剂的挥发导致真实的气压可能会稍微高一点。对于超大型一体化压铸件，这种气压良品率还是偏低。目前有效的解决方法是真空压铸，型腔真空度稳定维持在 $<5 \times 10^{-3}$ MPa。

图8是模具设计的抽真空方案，电池盖左右两侧各一个真空阀，料筒抽气口也布置一个真空阀（图中未显示）。每个真空阀连接排气块、驱动油缸和过滤嘴，形成一套完整的抽真空系统。模具动定模、销

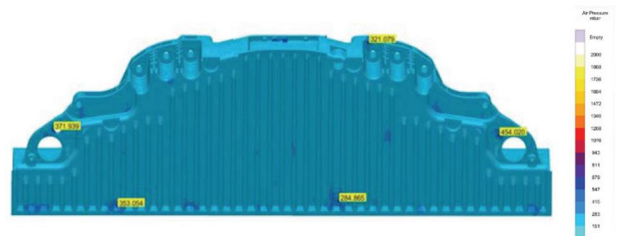
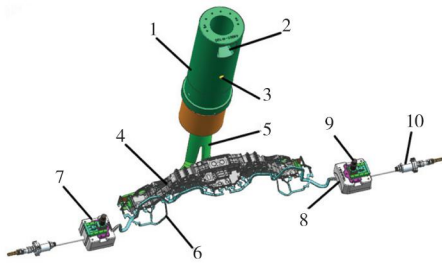


图7 气压场
Fig. 7 Air pressure field



1. 料筒 2. 倒料口 3. 抽气口 4. 电池盖 5. 流道 6. 溢流槽
7. 真空阀 8. 排气块 9. 驱动油缸 10. 过滤嘴

图8 抽真空方案

Fig. 8 Vacuum pumping scheme

子、顶杆和料筒等采用密封措施, 保证模具型腔密封性能。抽真空时, 外部真空系统(低压环境)启动, 形成压力差, 推动型腔内气体向阀门流动, 同时多阀协同与毫秒级响应, 使得复杂型腔实现90%以上真空度。根据测试, 铸件内部气孔率从3%~5%降至0.5%, 抗拉强度提升15%~20%。

超大型压铸模具需要匹配大型压铸机进行生产, 目前配备力劲IMPRESS系列2500T、3000T和4500T三台压铸机。压铸机选型由锁模力决定, 锁模力可通过公式(2)计算。

$$F = P \times A \times K \quad (2)$$

式中: F 为锁模力, N; P 为铸造压力, MPa; A 为铸件在分型面上的投影面积, 包括型腔和浇排系统面积, 通常按照产品投影面积的1.3倍, m^2 ; K 为安全系数, 1.1~1.3, 超大型选择1.3。

利用软件测算出产品在分型面上投影面积约为 $0.29 m^2$, 则 A 取值 $0.377 m^2$, 铸造压力为 $70 \times 10^6 MPa$, 代入公式(2)可得锁模力为 $34.3 \times 10^6 N$, 即3 450 t。因此电池盖压铸模具必须选择力劲4500T压铸机。

3 热平衡

压铸件成形阶段, 压铸模具内所建立的温度场分布是否稳定与均衡, 对压铸件的内外质量、生产效率和模具使用寿命都有重要的影响, 直接关系生产成本和经济效益。

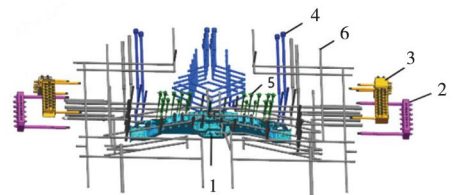
目前解决一体化压铸模温控制的方法, 除借助CAE仿真软件分析温度分布外, 还需要模温控制岛和红外线成像技术等措施实现模具热平衡^[15-16]。

电池盖这种超大型一体化压铸件, 形状复杂, 表面积巨大, 成形流程很长, 模具各个部位的温度极不平衡和均匀。靠近浇口和流道附近区域温度过高, 铸件易产生气泡、收缩、拉伤和粘模等缺陷, 急需降温散热; 靠近模具末端, 模温相对较低, 进入金属溶液流动较慢, 铸件易产生浇不足、冷隔、气孔、流纹和

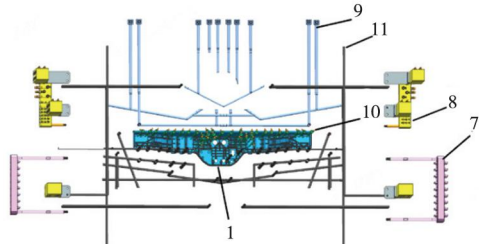
破裂等缺陷, 需要对模具加热升温。

根据上述原则, 设计了如图9所示的模具加热冷却结构, 包括定模水路和动模水路。为了维持模具整体热平衡, 料筒四周以及流道浇口附近区域需要降温, 采用冷却水控制; 远离流道区域处于模具远端则需要通过模温机进行加热升温。

图9中的定模水路蓝色水管就是冷却水路, 为达到最佳冷却效果, 料筒周围采用了多层环绕型冷却水路, 动模水路中靠近流道区域也采用对应的冷却水路。冷却水路分别与定模水管快换总成和动模水管快换总成连接, 定模水管快换总成和动模水管快换总成分别与对应的水温机相连。



(a) 定模水路



(b) 动模水路

1. 电池盖 2. 定模模温快换总成 3. 定模水管快换总成 4. 定模水路 5. 定模点冷 6. 定模模温管 7. 动模模温快换总成 8. 动模水管快换总成 9. 动模水路 10. 动模点冷 11. 动模模温管

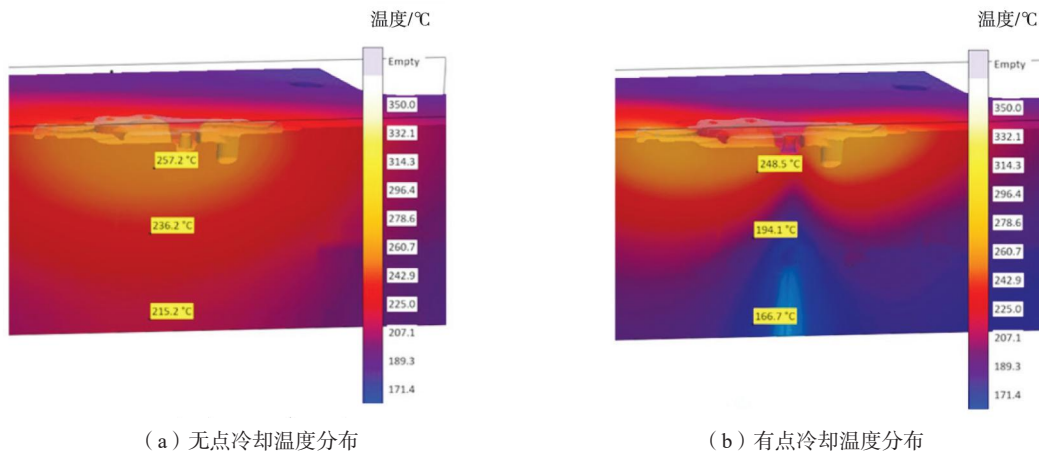
图9 模具加热冷却结构布置

Fig. 9 Layout of mold heating and cooling structures

模具其他需要升温的区域设置了定模油温管和动模油温管, 油温管分别与定模油温快换总成和动模油温快换总成连接, 定模油温快换总成和动模油温快换总成连接分别与对应的模温机相连。

此外, 电池盖分布着数量众多的如图2所示的深腔区域, 区域内部的温度很难控制, 为此在定模水路和动模水路设计了大量的点冷水路。CAE分析证明, 点冷水路冷却效果明显, 如图10对比所示。

新能源汽车电池盖超大型压铸模具硬件上采用模温控制岛, 水温机、油温机、点冷机交互控制。在系统参数上采用高速低压模式, 根据温度压力传感器控制集成水温机、模温机和点冷机, 对料饼和流道位置采用水温机控温 $105 \text{ }^\circ\text{C}$, 通过水的大比热容在70 ms内进行降温。随着产品压铸动态中流长比的增加产生降温, 通过油温机从 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 到 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 的调温能力进行温度



(a) 无点冷却温度分布

(b) 有点冷却温度分布

图10 模芯截面温度分布模拟对比

Fig.10 Simulation comparison of temperature distributions in mold core cross-section

补偿。利用高压点冷的降温能力，将局部厚大部位提升冷速以确保铝液填充中动态补缩。这些参数控制通过集成系统自动控制，利用热成像监控模温的受控状态，采用视觉成像仪和3D数模集成对比，确保产品结构和设计一致性。图11是通过红外热成像拍摄的模具生产时的实时温度分布。

从图11实时温度分布可知，通过冷却水降温和模温机升温，铸件附近温度基本介于140~190℃之间，对应颜色基本为红色和黄色，无极端低温蓝色区域。这种温度的分布符合设计预期，产品产生缺陷的概率降至很低的水平。

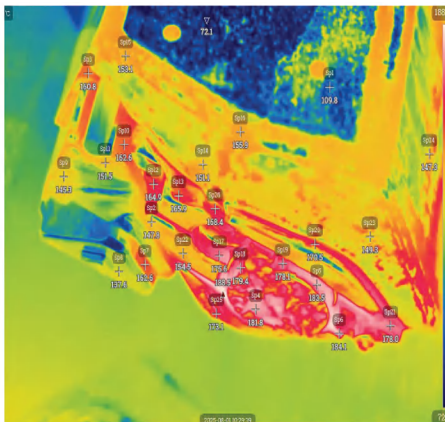


图11 热成像温度分布

Fig. 11 Thermal imaging temperature distribution

4 模具结构

新能源汽车电池盖压铸模具结构如图12所示。主要结构包括主滑块1和2，主滑块同侧各附带3个用于圆孔抽芯的小滑块，小滑块固定于主滑块，与主滑块同步运动。产品两侧各有一个完全对称的侧滑块5和

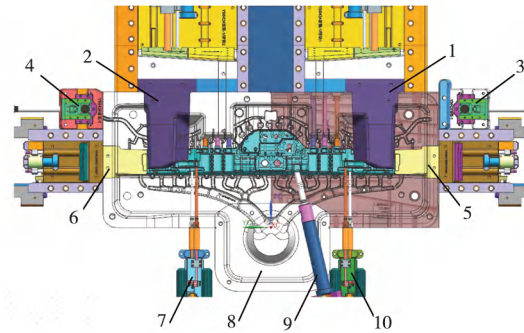
1-2. 主滑块 3-4. 真空阀 5-6. 侧滑块 7, 9, 10. 小孔滑块
8. 分流锥

图12 模具结构

Fig. 12 Mold structure

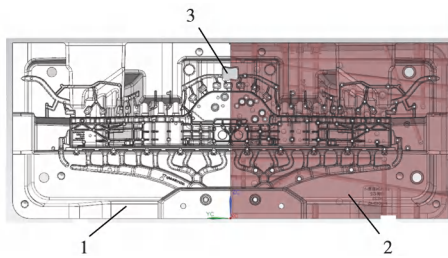
6，每个侧滑块与一个真空阀相邻，真空阀与溢流槽相连，填充过程通过真空阀对型腔抽真空。主滑块相反方向布置了3个独立的小孔滑块7、9和10。主滑块1和2、侧滑块3和4固定于动模板，小孔滑块7、9和10固定于定模板，所有滑块均采用油缸驱动。

如前所述，电池盖长宽尺寸达到1 337 mm × 415 mm，动模芯尺寸达1 800 mm × 730 mm，这种大尺寸的模芯质量精度很难控制，因此将动模芯设计为分体式结构。由于左侧动模芯与右侧动模芯仅通过螺钉与动模板固定，在压铸过程时，两侧模芯有可能受力发生分离，因此模芯交界处设计了一个连接杆，其作用是紧固拉紧两侧模芯。定模芯也采用类似设计。

5 产品检验

压铸件产品检验是确保产品质量符合设计要求和标准的关键环节，主要涵盖外观质量、尺寸精度、内部缺陷、力学性能及表面处理质量。

外观质量检验是指目视或借助放大镜检查铸件表



1. 左侧动模芯 2. 右侧动模芯 3. 连接杆

图13 动模芯结构

Fig. 13 Moving mold core structure

面是否存在气孔、缩孔、裂纹；尺寸精度检验是指机加工后对关键尺寸进行测量，确保在图纸规定的公差范围内；内部缺陷检验是指采用X射线探伤、超声波探伤和渗透检测等方法，检查铸件内部是否存在气孔、

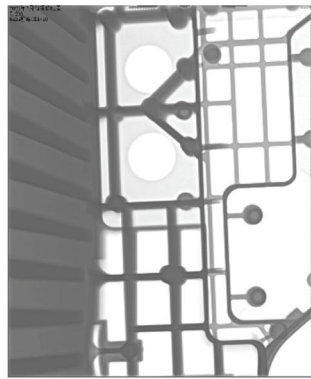
疏松、夹杂和裂纹等缺陷；力学性能及表面处理质量是在内部缺陷检验合格之后的各种测试。

图14是压铸成型后电池盖产品实物，图15是新能源汽车电池盖压铸件采用ASTM E505参考射线图谱标准进行X射线探伤检验结果。多组测试结果显示，铸件内部缺陷检验合格率接近98%，压铸产品合格率高于95%。

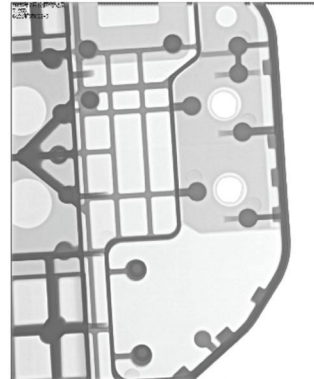


图14 电池盖产品

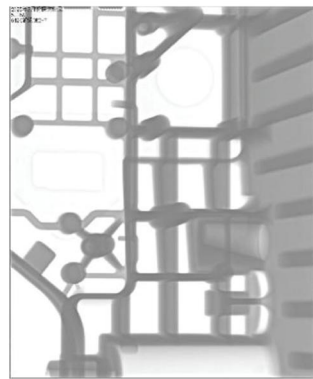
Fig. 14 Battery cover product



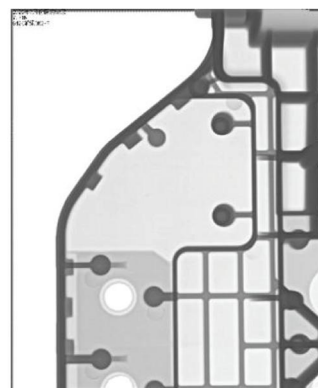
(a) 部位1



(b) 部位2



(c) 部位3



(d) 部位4

图15 不同部位X射线探伤检验结果

Fig. 15 X-ray inspection results of different parts

6 结论

(1) 新能源汽车电池盖压铸模具的流道布局，结合压铸工艺参数，利用CAE分析多次迭代，结合温度分布、气压分布和抽真空方案，获得了最佳的填充效果。

(2) 模具加热冷却结构布置方案，通过CAE仿真软件分析，采用水温机、油温机和点冷机交互控制，利用红外线成像技术实时监控，最大程度实现模具热平衡。

(3) 该铸件的填充和热平衡方案可为其他超大型一体化压铸产品的研发提供参考与借鉴。

参考文献:

- [1] 李宣菡. 新能源汽车电池包结构设计与散热性能研究 [J]. 科技创新与应用, 2026, 16 (4): 144-147.
- [2] 陈忠轩. 基于有限元仿真的新能源汽车电池包模态分析与结构优化设计 [J]. 汽车工艺与材料, 2025 (11): 7-12.
- [3] 王云健. 新能源汽车电池壳加工工艺研究 [J]. 汽车测试报告, 2025 (21): 43-45.
- [4] 石方鉴, 栗广生, 余冬, 等. 新能源汽车电池包冷却性能影响因素分析 [J]. 装备制造技术, 2025 (4): 31-36.
- [5] 陈振宇, 万里, 汪学阳, 等. 大型一体化压铸电池托盘的结构设计与优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2025, 45 (5): 656-661.
- [6] 夏天, 吴时雨. 新能源汽车底盘副车架一体化压铸技术研发与应用 [J]. 铸造, 2024, 73 (12): 1751-1756.
- [7] 李海林, 蓝嘉盛. 基于真空压铸技术的机壳压铸模设计 [J]. 模具制造, 2024, 24 (2): 48-52.
- [8] 钟宇毅, 黄华, 陈诗明, 等. 超大型一体化压铸后地板的工艺设计与优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2025, 45 (5): 673-678.
- [9] 郑敬明, 潘帅, 王玉, 等. 免热处理铝合金大型结构件一体化压铸研究进展 [J]. 中国有色金属学报, 2025, 35 (6): 1869-1894.
- [10] 孟宪明, 曹兴枫, 任鹏飞, 等. 基于智能算法的一体式大型薄壁前机舱压铸成型工艺优化 [J]. 机电工程技术, 2025, 54 (10): 1-7.
- [11] 陈学文, 朱海东, 彭成文, 等. 大型压铸模具的模温控制系统设计与实践 [J]. 工程技术研究, 2025, 10 (9): 91-93.
- [12] 李海林, 张呈杰. 基于热室压铸机的高真空压铸工艺设计及试验研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2024, 44 (12): 1724-1728.
- [13] 孙振宇, 张伟, 薛鹏基, 等. 农用耕地机发动机曲轴箱体一体化压铸模浇排系统的设计与优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2024, 44 (8): 1132-1136.
- [14] 周倩, 张纪立, 王俊有, 等. 基于MAGMASOFT的铝合金变速箱壳体压铸工艺优化 [J]. 机械设计与制造, 2023 (10): 201-204.
- [15] 陶永亮. 一体化大型压铸模具温度控制方法 [J]. 铸造工程, 2024, 48 (4): 57-62.
- [16] 陈浩, 涂宇杰, 蒋志鹏, 等. H11钢大型压铸模块真空气淬的数值模拟与试验 [J]. 金属热处理, 2024, 49 (2): 227-235.