

注塑机整机配电与加热控制系统标准化设计研究

郭晓丽

博创智能装备股份有限公司 广东 广州 511300

【摘要】：本文以企业编制的两份低压电气工程设计规范为基础，建立注塑机主电源断路器量化选型计算模型和阻性加热回路多级电气保护匹配准则，形成覆盖配电回路、加热控制回路的注塑机专用通用电气标准化设计体系。经过 80T 到 4000T 全吨位液压注塑机批量工程应用验证，该标准化设计方案可以将整机电气故障发生率降低 32%，缩短电气专项方案设计周期 45%，全面提高注塑机电气系统行业的合规水平。研究成果可以直接应用到注塑设备电气方案的落地，给橡塑机械设备电气设计行业的标准化推广提供工程实践上的参考。

【关键词】：注塑机；塑壳断路器；加热控制回路；热流道；电气标准化

DOI:10.12417/2705-0998.26.10.064

引言

注塑机负载工况结构复杂，设备同时装有大功率三相交流油泵动力负载、料筒电阻加热负载和模具热流道恒温加热负载，整机额定运行功率区间跨度大，覆盖几十千瓦到几百千瓦。动力驱动回路和加热控制回路的负载特性存在较大差别，动力回路以电机感性冲击负载为主，加热回路以稳态单相阻性负载为主，两类回路电气匹配逻辑不能通用。根据以上行业共性技术难题，项目以设备生产企业工程标准体系为基础，编写出总电源断路器选型规范、加热及热流道控制电路设计规范两个内部工程标准。

1 整机总电源配电系统标准化设计

塑壳断路器属于注塑机整机一级电气保护器件，担负起整机短路故障保护和长期过载运行保护这两项主要任务，是整机配电系统的关键控制元件。本节从多工况负载电流核算、断路器关键参数边界约束、进线电力线缆匹配选型三个方面来建立全吨位注塑机标准化配电设计流程。

1.1 多机型负载工作电流计算模型

1.1.1 标准单油泵常规机型

该类机型为行业基础主流机型，配置单台三相油泵电机作为动力源。三相油泵电机额定电流采用工业通用三相异步电机电流计算公式核算；结合设备负载运行时序，外围检修插座、料筒加热模块、模具热流道加热模块同时系数分别固定取值 0.6、0.3、0.3。无模具热流道参数的图纸设计阶段，按照行业通用单段加热模块 3500W 标准功率核算单相工作电流。

1.1.2 多电机同步熔胶专用机型

大吨位高速注塑机多配置多组油泵电机同步出力完成熔胶动作，设备瞬时冲击负载远高于单油泵机型。为防止瞬时过载跳闸，该类机型以运行工况下最大单台电机工作电流作为动力负载基准电流，料筒加热、热流道、外接插座等辅助负载同时系数保持与常规机型一致，从源头规避多电机同步出力造成的配电保护误动作问题。

1.1.3 特种工艺工况机型

针对长保压精密成型机型、大流量蓄能器高速注塑机两类特种设备，不能采用常规间歇负载电流核算方法。此类设备长期处于高负载稳态运行状态，需根据产品成型工艺参数，核算设备持续稳态负载电流作为配电设计基准。针对外接辅助设备较多的生产线配套注塑机，设备外接检修插座回路采用独立配电支路，不占用注塑机主机总电源配电容量，防止主机主回路长期超负荷运行。

1.1.4 通用补充核算规则

统一全机型附加核算约束条件：当理论计算整机电流与断路器国家标准标准规格电流接近时，统一向上选取大一档规格产品，预留安全运行余量；设备冷却风机、低压控制开关电源额定满载电流数值极低，对整机总负载影响可忽略，整机总电流核算过程中直接剔除该部分负载参数。

1.2 塑壳断路器标准化选型边界参数

为了消除人工经验选型造成的元器件规格混乱、参数不匹配的问题，对六个强制选型边界做出统一的划定，全系列注塑机在没有特殊工况的情况下不得超出边界参数。

第一，额定工作电流。断路器额定电流应大于整机理论计算最大工作电流；整机计算电流大于 630A 时，采用两台及以上断路器合理分配相应负载，单台断路器选型规格控制在 80A~630A 之间。

第二，额定工作电压。国内的常规注塑机都用 415V 等级的断路器，出口到海外 480V 高压供电区的机型，就升级成 500V 等级的断路器，以适应全球 380V 到 440V 的工业供电网络。另外，所选断路器应确保在该电压等级下具备一定的分段能力。

第三，电气保护特性。整机主电源断路器优先选择热磁保护型产品，核对设备电流动作特性曲线，与油泵电机 5~8 倍额定启动冲击电流相匹配，避免设备合闸启动时出现无故障误跳闸情况。

第四，接线极数标准。只使用纯三相平衡电机负载的简易机型用 3 极断路器，搭载单相料筒加热、外接检修插座的全品类常规国标机型选用 3 极断路器，出口欧盟机型选用 4 极断路器，使三相线路和中性线同时分断。

第五，安装结构及附件。所有机型都配备有绝缘防护端子盖板，达到 IP2X 接触防护等级，板前接线为标准安装施工方案，欠压脱扣模块、漏电保护模块根据客户使用需求选择加装。

第六，行业准入认证。国内市场销售的设备要取得 3C 强制认证，出口海外设备同步完成 CE 电气认证，符合国内外行业电气合规验收标准。

1.3 进线电力线缆标准化匹配准则

配电线缆选型联动断路器额定参数、现场环境温度、多线缆成束敷设工况三个影响因素，形成标准化的修正选型流程。

首先要对工况系数进行修正。将 25 摄氏度的标准室温当作线缆载流量的基准温度，高温车间里乘以环境温度修正系数，控制柜内多根线缆并排成束敷设情况下的叠加成束敷设校正系数，计算线缆的实际允许最大载流量。

其次就是线缆材质的选择。整机主电源回路优先使用单芯铜芯电力电缆，单芯线缆散热性能好于多芯软电缆，适合注塑机控制柜密闭高温运行环境。

再次是规格联动匹配。建立断路器和线缆规格标准的对照表，主要的规格匹配参数见表 1。

表 1 主要的规格匹配参数

断路器额定电流/A	主回路火线规格/mm ²	接地保护线缆规格/mm ²	敷设安装形式
80	16	16	单根单芯铜缆
100	25	16	单根单芯铜缆
160	35	16	单根单芯铜缆
200	50	25	单根单芯铜缆
250	70	35	单根单芯铜缆
300/315	95	50	单根单芯铜缆
350	120	70	单根单芯铜缆

400	150	70	单根单芯铜缆
500	2*70	70	两路电缆并联敷设
630	2*95	95	两路电缆并联敷设

由于安全余量增大而使断路器规格提升，进线电缆按设备实际计算负载选择，不随断路器升级而升级，保证电气安全的同时控制电气物料采购成本。

2 料筒与热流道加热控制系统标准化设计

料筒加热模块、模具热流道加热模块都是 220V 单相阻性电气负载。根据企业设备故障台账数据统计可知，加热回路短路、漏电、元器件烧毁等属于注塑机整机电气故障的高发模块，占全部电气故障的 60% 以上。本文对加热回路全链路元器件的安全系数进行统一设置，给出设备的接线方式及现场标识的标准。

2.1 加热回路元器件量化选型模型

根据单相阻性负载基础电流计算公式来确定加热回路熔断器、固态继电器、交流接触器这三种主要元器件的强制选择标准和安全工作系数。

第一，前端短路和过载保护器件。回路熔断器、微型断路器额定工作电流均取回路最大工作电流的 1.2~1.5 倍，元器件极限短路分断能力不小于 6kA。例如：2.5kW 标准加热圈，全机型均使用 16A 等级保护器件。

第二，选择固态继电器的标准。固态继电器长时间连续工作电流不能超过器件额定电流的 70%，留有充足的热过载余量。单段 3500W 标准热流道加热模块的峰值工作电流为 16A，全系列机型都配备 40A 等级的固态继电器。单段加热功率大于 9200W 的大负载工况，拆分成两路独立的加热回路，用两组独立的固态继电器来控制。

第三，用交流接触器做前端隔离。固态继电器自身具有固有的物理性质，在断开时输出端会产生残余漏电压，容易造成机身外壳带电，从而产生人员触电的安全隐患。强制性标准规定，每一路加热控制回路前端必须加装隔离交流接触器，接触器额定电流不小于负载峰值电流的 1.2 倍，设备停机时切断加热回路强电电源，消除漏电隐患。

2.2 料筒与热流道系统差异化设计准则

两种加热模块工况环境、安装位置、温控要求存在较大差别，根据通用选型标准基础上制定出不同的施工设计规范。

料筒加热系统中机筒各个段的加热结构完全独立，分别由

熔断器、固态继电器、交流接触器控制单元来控制。料筒周围区域一直处在 200 摄氏度以上的高温环境中，料筒周围区域的布线全部采用耐高温绝缘纤维线缆，线缆线径按照加热模块额定功率匹配选择。

模具热流道加热系统，热流道各个加热段用完全独立的回路来控制；基准 3500W 的标准加热回路固定配置 20A 的熔断器和 40A 的固态继电器。

分层线缆选型规则为加热总回路电缆按前端保护开关额定电流选型，接触器输出控制线缆按接触器额定导通电流选型，高温区域专用纤维线缆按设备加热功率区间标准化选型，固定三类常用线径规格。

2.3 控制系统实物与图纸标识规范

统一全机型电气标识的编制标准，减小车间装配和售后维修时查找零部件的难度。料筒从进料端到出料端、热流道从主流道到分流喷嘴，按照设备物理位置前后顺序连续编号加热段；回路保护器件、固态继电器标签编码和加热段序号一一对应。实现电气原理图、控制柜内部线束标签、设备实物铭牌标识三者之间的数据统一，杜绝非标准的杂乱编码。

3 工程应用效果与数据分析

本次研究所形成的两项企业电气设计规范已经全部应用到企业 80T 到 4000T 全系列液压注塑机产品上。选择同吨位机型，对传统工程师经验设计方案和标准化设计方案的各项运行指标进行对比，批量应用试验结果见表 2。

表 2 批量应用试验结果

考核指标	传统经验设计方案	标准化设计方案	指标优化幅度
整机年度电气故障率	8.6%	5.8%	下降 32%
单机型电气方案设计周期	7.2 工作日	4.0 工作日	缩短 45%
电气物料综合采购成本	基准值 100%	89%	降低 11%

参考文献：

- [1] 陈小飞,谢政华.基于 PLC 的半导体注塑机控制系统设计[J/OL].塑料科技,2026,(6)156-161.
- [2] 叶海平.基于改进模糊 PID 的注塑机机筒温度控制系统设计与研究[J].湖北师范大学学报(自然科学版),2026,46(2)31-37.
- [3] 周鑫,陶永亮.注塑智能技术在制造业新质生产力的应用[J].上海塑料,2026,54(3)78-82+88.

出口设备电气检测通过率	85%	98%	提升 13%
现场故障平均排查时长	115min/次	46min/次	效率提升 60%

根据现场批量应用的数据，从四个方面总结工程应用收益。设备安全及故障管控效果明显。设备跳闸、加热元件烧毁、机身漏电等典型的电气故障下降了 32%；出口设备 CE、UKCA 专项电气检测一次性通过率达到了 98%，避免了海外项目电气验收整改的风险。产品研发设计效率提高很多。新项目电气工程师不用再推导负载参数、核算线缆载流量、元器件规格，可以直接调用标准化的计算模型和选型对照表，新机电气方案设计周期缩短 45%，加快整机项目交付进度。生产物料成本的有效控制。统一全机型电气元器件、线缆标准规格，减少非标冷门物料品类，简化供应链仓储管理，整机电气配套物料综合采购成本降低 11%。四是设备运维检修效率提高。全公司全系列产品电气标识、接线逻辑统一，售后维修人员不用查阅非标定制图纸，可以按照标准编码找到故障回路，现场故障排查效率提高 60%。

4 结论

本文针对注塑机行业电气非标设计、经验选型的共性痛点，以整机电源配电、料筒及热流道加热控制两个主要电气系统为对象，依靠企业工程标准建立符合国家低压电气标准和 IEC 国际标准的量化通用设计体系。经过全吨位机型批量工程验证，解决了行业一直存在的电气安全隐患、物料成本冗余、设备电气兼容性差等行业难题，得出如下结论。注塑机总电源断路器不能采用统一标准选型，需要根据单油泵常规机型、多电机同步熔胶机型、长保压特种工艺机型建立不同的负载电流计算模型。根据供电电压等级、电机启动冲击特性、现场敷设环境、接地要求完成全参数标准化选型，配合完成进线线缆工况修正匹配。单相阻性加热控制回路必须保证全链路元器件的安全工作系数。在固态继电器前端加装隔离交流接触器，从硬件上消除固态继电器固有漏电压造成的安全隐患，在高温工况下布线时根据加热模块功率和保护器件规格选择专用耐高温线缆。