

团 体 标 准

T/ZIUR XXXX—2026

复合材料成型生产装备技术规范

Technical Specification for Composite Material Forming Production Equipment

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

浙江省产学研合作促进会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 装备分类与型号	2
5 通用技术要求	3
6 核心功能部件	4
7 专用装备特殊要求	6
8 智能化控制系统	9
9 试验方法	10
10 装备检验	12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由XXX提出。

本文件由浙江省产学研合作促进会归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX。

复合材料成型生产装备技术规范

1 范围

本文件规定了复合材料成型生产装备技术的术语和定义、装备分类与型号、通用技术要求、核心功能部件、专用装备特殊要求、智能化控制系统、试验方法、检验规则与标志。

本文件适用于复合材料成型生产装备的设计、制造和检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2589 综合能耗计算通则
- GB 2689.1 恒定应力寿命试验和加速寿命试验方法总则
- GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划
- GB 2894 安全色和安全标志
- GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- JB/T 8609 锻压机械焊接件 技术条件
- GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则
- GB/T 10067.1 电热和电磁处理装置基本技术条件 第1部分：通用部分
- GB/T 12241 安全阀 一般要求
- GB 17120 锻压机械 安全技术规范
- GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则
- GB/T 17421.1 机床检验通则 第1部分：在无负荷或准静态条件下机床的几何精度
- GB/T 20801.1 压力管道规范 第1部分：工业管道
- GB 30253 永磁同步电动机能效限定值及能效等级
- JB 9967 液压机 噪声限值
- TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

复合材料 composites

由粘结材料（基体）和纤维状、粒状或其他形状材料，通过物理或化学的方法复合而成的一种多相固体材料。

[来源：GB/T 3961, 3.1.11]

3.2

模压成型装备 molding press equipment

通过加热、加压使置于模具中的预浸料或模塑料固化成型为制品的装备。

3.3

拉挤成型装备 pultrusion equipment

将浸渍树脂的连续纤维牵引通过加热模具，使其固化成型为定长或连续截面制品的装备。

XX-MY-Q-10000/A。

图 1 复合材料成型生产装备型号编制顺序

4.2.2 工艺类型代号应符合表 1 的规定。

表 1 工艺类型代号

工艺类型	代号
模压成型	MY
拉挤成型	LJ
缠绕成型	CR
铺放成型	PF
注射成型	ZS
树脂传递模塑成型	ZD

4.2.3 自动化程度代号应符合表 2 的规定。

表 2 自动化程度代号

自动化程度	代号
手动	S
半自动	B
全自动	Q

4.2.4 主参数代号应采用阿拉伯数字表示，代表装备的主要性能参数。模压成型装备用公称力表示，拉挤成型装备用最大牵引力表示，缠绕成型装备用最大缠绕直径表示。

4.2.5 改进代号用于表示装备的改进设计顺序，应用大写英文字母 A、B、C…依次表示。首次设计的装备不标注改进代号。

5 通用技术要求

5.1 基本参数与精度

5.1.1 装备的基本参数应在产品标牌和使用说明书中明确标注，包括主参数、工作行程、工作速度、工作压力等。

5.1.2 装备的几何精度应符合设计要求，关键运动部件的平行度、垂直度、同轴度等精度指标应满足相应工艺的需要。

5.1.3 装备的运动精度应稳定，重复定位精度应符合产品技术文件的规定。

5.1.4 装备的工艺精度应能保证成型制品的尺寸公差和形位公差要求。在正常工艺条件下，制品的合格率应不低于 95%。

5.2 安全防护通用要求

5.2.1 装备的安全设计应符合 GB 5226.1 和 GB 17120 的规定，具备完善的安全防护功能。所有运动部件应设置防护罩或防护栏，安全距离应符合相关标准要求。

5.2.2 装备应在醒目位置设置紧急停止按钮，紧急停止按钮应易于操作，动作可靠。按下紧急停止按钮后，所有危险运动应立即停止，动力源应切断。

5.2.3 高温部件应设置隔热防护装置，外表面温度应不高于 60℃。高压系统应设置安全阀、压力表等安全附件，安全阀应定期校验，动作压力应准确可靠。

5.2.4 压力容器的设计、制造和检验应符合 TSG 21 的规定，制造单位应具备相应资质。压力容器应按规定进行监督检验，取得使用登记证书后方可投入使用。

- 5.2.5 电气系统应具备过载、短路、漏电保护功能，防护等级应不低于 IP54。
- 5.2.6 装备应设置声光报警装置，当出现温度异常、压力异常、断纱、缺料等故障时，应能及时发出报警信号，并采取相应的保护措施。

5.3 能耗与能效限值

- 5.3.1 装备的设计应采用节能技术，优化能源利用效率。主驱动电机应采用符合 GB 30253 规定的 2 级及以上能效等级的电机。
- 5.3.2 液压系统应采用伺服驱动、能量再生等节能技术，减少能量损耗。加热系统应采用高效保温材料，降低热损失。
- 5.3.3 装备的单位产品能耗应符合国家或行业相关标准的规定。对于已有能效标准的装备，其能效等级应不低于 3 级。
- 5.3.4 装备应配备能源计量装置，能够分别计量电能、热能等能源消耗。能源计量装置应符合 GB 17167 的规定，并定期校准。

5.4 运行可靠性

- 5.4.1 装备的平均无故障工作时间（MTBF）应不低于 1000h。关键部件的使用寿命应符合产品技术文件的规定，易损件应便于更换。
- 5.4.2 装备应具备故障自诊断功能，能够实时监测主要部件的运行状态，准确显示故障信息，并提供故障排除建议。
- 5.4.3 装备的控制系统应稳定可靠，抗干扰能力强。在正常工作条件下，不应出现死机、程序错乱等现象。
- 5.4.4 装备应具备良好的可维护性，各部件应易于拆卸、检查和维修。润滑点应标识清晰，便于加注润滑油。

5.5 人机工程与操作便利性

- 5.5.1 装备的操作界面应简洁直观，易于理解 and 操作。显示屏应清晰可见，操作按钮和开关应布局合理，标识清晰。
- 5.5.2 操作位置应符合人体工程学要求，操作人员应能在舒适的姿势下进行操作。操作平台应设置防护栏杆，高度应不低于 1.05m。
- 5.5.3 装备应设置必要的照明装置，保证操作区域和观察区域有足够的照度。照明应均匀，无眩光。
- 5.5.4 装备的噪声应符合 JB 9967 的规定，在操作人员工作位置的噪声声压级应不大于 85dB（A）。对于噪声较大的部件，应采取隔声、消声措施。
- 5.5.5 装备应配备必要的辅助工具和备件，便于操作人员进行日常维护和保养。使用说明书应详细说明装备的操作方法、维护保养要求和安全注意事项。

6 核心功能部件

6.1 铺放头与铺丝头

- 6.1.1 铺放头与铺丝头的设计应符合 GB/T 3098.1 的规定，结构应紧凑合理，运动应平稳可靠。
- 6.1.2 铺放头应具备自动换纱、自动切割功能，换纱动作应连贯顺畅。
- 6.1.3 切割装置应锋利耐用，切口应整齐，无毛刺和纤维散开现象。切割残留长度应符合产品技术文件要求。
- 6.1.4 铺丝头应能实现多束丝束的同步铺放，丝束张力应均匀一致。丝束导向装置应光滑无棱角，表面粗糙度应符合设计要求，避免损伤纤维表面影响制品力学性能。
- 6.1.5 与复合材料接触的部件应采用耐腐蚀、不粘料的材料制造。表面应光滑平整，便于清洁维护，防止树脂残留固化后影响后续铺放质量。
- 6.1.6 铺放头应配备在线缺陷检测装置，及时发现铺放过程中的缺纱、断纱、偏纱等异常情况。检测信号应能实时传输至控制系统，触发相应的保护动作。
- 6.1.7 铺丝头的加热装置应能精确控制加热温度，温度分布应均匀。加热区域应与铺放区域有效隔离，

避免热量扩散影响其他部件的正常工作。

6.1.8 铺放头与铺丝头的安装与拆卸应简便快捷，便于日常维护和更换易损件。各连接部位应坚固可靠，无松动现象，连接精度应符合设计要求。

6.1.9 铺放头与铺丝头的运动范围应与装备整体工作空间相匹配，避免发生干涉。极限位置应设置限位开关，防止超程运行造成设备损坏。

6.2 热压与固化系统

6.2.1 加热单元

6.2.1.1 加热单元的设计应符合 GB/T 10067.1 的规定，加热方式应根据成型工艺要求合理选择。加热元件应选用成熟可靠的产品，使用寿命应符合产品技术文件要求。

6.2.1.2 加热腔体内的温度分布应均匀，温差应满足工艺要求。温度控制系统应具备 PID 调节功能，控温精度应符合设计要求，温度波动应在允许范围内。

6.2.1.3 加热单元应配备超温保护装置，当温度超过设定值时，应自动切断加热电源并发出声光报警信号。超温保护装置应独立于主控制系统，动作可靠。

6.2.1.4 加热元件的布置应合理，避免局部过热现象。加热元件应易于更换，更换时无需拆卸大量其他部件。

6.2.1.5 加热腔体应采用高效保温材料进行保温，保温层厚度应符合设计要求。保温层应牢固可靠，无脱落现象，减少热损失。

6.2.2 冷却单元

6.2.2.1 冷却单元应采用强制冷却方式，冷却介质应清洁无杂质。冷却管路应布置合理，避免出现死区和泄漏现象，管路连接应密封可靠。

6.2.2.2 冷却速度应可调节，以满足不同制品的冷却工艺要求。冷却系统应配备温度监测装置，实时监测冷却介质的进出口温度。

6.2.2.3 冷却管路应采用耐腐蚀材料制造，防止冷却介质腐蚀管路。管路应定期进行清洗，防止水垢和杂质堵塞管路影响冷却效果。

6.2.2.4 冷却单元的运行应平稳，无明显振动和噪声。冷却风扇或水泵的运行状态应能实时显示在操作界面上。

6.2.3 压力传递单元

6.2.3.1 压力传递单元的设计应符合 JB/T 8609 的规定，焊接件应进行无损检测。液压缸、气缸等执行元件应符合国家或行业标准的要求，具备质量证明文件。

6.2.3.2 压力传递应平稳均匀，无冲击和振动现象。压力控制系统应具备压力调节和保压功能，保压精度应符合设计要求，保压时间应可任意设定。

6.2.3.3 压力系统应配备过载保护装置，当压力超过设定值时，应自动卸压并发出报警信号。过载保护装置的动作压力应可调节。

6.2.3.4 压力管路应采用符合国家标准的不锈钢管，管路连接应采用法兰或螺纹连接。管路应进行耐压试验，试验压力应符合设计要求。

6.2.3.5 压力传递单元的密封件应选用耐油、耐高温、耐腐蚀的材料制造。密封件的使用寿命应符合产品技术文件要求，更换应简便快捷。

6.3 注射与浸渍单元

6.3.1 树脂输送单元

6.3.1.1 树脂输送单元的设计应符合 GB/T 20801.1 的规定，管路应采用耐腐蚀材料制造。输送泵应选用适合树脂特性的产品，流量应稳定可调，流量波动应在允许范围内。

6.3.1.2 树脂储罐应具备加热和搅拌功能，温度和搅拌速度应可独立调节。储罐应配备液位监测装置，当液位低于设定值时，应发出报警信号。

6.3.1.3 树脂输送管路应配备过滤器，过滤精度应符合设计要求，防止杂质进入注射单元。过滤器应易于拆卸和清洗，便于更换滤芯。

6.3.1.4 树脂输送单元应具备保温功能，防止树脂在输送过程中温度降低影响流动性。保温层应牢固可靠，无脱落现象。

6.3.2 混合与注射单元

6.3.2.1 混合单元应能实现树脂与固化剂的均匀混合，混合比例应准确可调。混合器应易于拆卸和清洗，避免树脂固化堵塞混合器。

6.3.2.2 注射单元的注射速度和注射压力应可独立调节，以满足不同制品的注射工艺要求。注射嘴应采用耐腐蚀、耐高温材料制造，便于更换。

6.3.2.3 注射单元应配备防倒流装置，防止树脂回流污染树脂储罐。注射完成后，应能自动清理注射嘴内的残留树脂，防止树脂固化堵塞注射嘴。

6.3.2.4 注射单元的计量精度应符合设计要求，计量误差应在允许范围内。计量装置应定期校准，保证计量精度的稳定性。

6.3.2.5 混合与注射单元的运行状态应能实时显示在操作界面上，包括混合比例、注射速度、注射压力等参数。异常情况应能及时报警。

6.4 张力与送纱控制

6.4.1 张力控制系统应能精确控制纤维丝束的张力，张力波动应在允许范围内。

6.4.2 送纱装置应能实现连续、稳定的送纱，送纱速度应与成型速度同步。纱架应结构牢固，纱筒安装与更换应简便快捷，纱筒固定应可靠。

6.4.3 送纱过程中应避免丝束出现打结、缠绕和磨损现象。导纱辊应表面光滑，转动灵活，无卡滞现象，导纱辊的直径应符合设计要求。

6.4.4 张力控制系统应具备断纱检测功能，当发生断纱时，应立即停止送纱并发出报警信号。断纱检测装置的响应时间应符合产品技术文件要求。

6.4.5 多束丝束送纱时，各丝束的张力应独立可调，保证所有丝束的张力均匀一致。张力调节范围应符合设计要求，适应不同规格的纤维丝束。

6.5 真空与压力系统

6.5.1 真空管路应密封良好，无泄漏现象，泄漏率应符合设计要求。

6.5.2 真空度应可调节，真空控制系统应具备自动保压功能。真空罐应配备真空度监测装置，实时监测系统真空度，真空度异常时应发出报警信号。

6.5.3 压力容器应具备相应的资质证明和监督检验报告。压力管路应采用符合国家标准的无缝钢管。

6.5.4 压力系统应配备安全阀、压力表等安全附件，安全阀应符合 GB/T 12241 的规定，定期校验，动作压力应准确可靠。

6.5.5 真空与压力系统应具备自动切换功能，当主系统出现故障时，备用系统应能自动投入运行。切换过程应平稳，不影响生产的连续性。

6.5.6 系统应配备排污装置，定期排出管路中的冷凝水和杂质。管路应布置合理，便于检修和维护，阀门应易于操作。

6.5.7 真空与压力系统的运行状态应能实时显示在操作界面上，包括真空度、压力值、阀门状态等参数。运行数据应能记录和存储，便于追溯。

6.5.8 系统应配备应急卸压装置，当发生紧急情况时，能快速卸压，保证设备和人员安全。应急卸压装置的动作应可靠，响应迅速。

7 专用装备特殊要求

7.1 模压成型装备

7.1.1 主机结构

7.1.1.1 机身应采用整体铸造或焊接结构。焊接件应进行时效处理，消除内应力，防止机身变形。

7.1.1.2 立柱应采用高强度钢材制造，表面应进行淬火处理，提高耐磨性。立柱与机身的连接应坚固可靠，无松动现象，连接精度应符合设计要求。

7.1.1.3 滑块应采用高精度导轨导向，运动应平稳，无卡滞现象。滑块的平行度和垂直度应符合产品技术文件要求，保证合模精度。

7.1.2 模具安装与调整

7.1.2.1 模具安装平台应平整，平面度应符合设计要求。模具安装孔应分布合理，便于不同规格模具的安装和固定。

7.1.2.2 模具调整应简便快捷，上下模的平行度应可调节。调整装置应具备自锁功能，防止模具在工作过程中发生位移。

7.1.2.3 模具加热板的温度分布应均匀，温差应满足工艺要求。加热板与模具的接触应良好，保证热量传递效率。

7.1.3 脱模机构

7.1.3.1 脱模机构应采用液压或气动驱动，动作应平稳可靠。脱模力应均匀分布，避免制品因受力不均而产生变形或开裂。

7.1.3.2 脱模机构应具备顶出和退回功能，顶出行程应符合产品技术文件要求。顶杆应表面光滑，硬度适中，避免损伤制品表面。

7.1.3.3 脱模机构的同步性应良好，所有顶杆应同时顶出和退回。顶杆的布置应合理，避开制品的关键部位。

7.1.4 安全保护

7.1.4.1 模压成型装备应配备双手操作装置，防止操作人员误将手伸入危险区域。

7.1.4.2 装备应配备模具安全保护装置，当模具内有异物时，应自动停止合模动作并发出报警信号。保护装置的灵敏度应可调节。

7.1.4.3 合模区域应设置安全光栅，当有物体进入安全光栅区域时，应立即停止合模动作。安全光栅的保护范围应覆盖整个合模危险区域。

7.1.4.4 装备应配备紧急停止按钮，紧急停止按钮应设置在操作人员易于操作的位置。按下紧急停止按钮后，所有危险运动应立即停止。

7.2 拉挤成型装备

7.2.1 牵引机构应采用履带式或夹钳式结构，牵引力应均匀稳定。牵引速度应可无级调节，速度波动应在允许范围内，保证制品成型质量。

7.2.2 夹持装置应能可靠夹持制品，避免打滑和损伤制品表面。夹持力应可调节，以适应不同规格和材质的制品，夹持力分布应均匀。

7.2.3 模具加热系统应采用分段控温方式，各段温度应独立可调。模具入口处应设置导向装置，保证纤维顺利进入模具，避免纤维弯曲或折断。

7.2.4 切割装置应采用伺服驱动，切割精度应符合设计要求。切割长度应可任意设定，切割动作应与牵引速度同步，保证切割长度的一致性。

7.2.5 制品收卷装置应具备张力控制功能，收卷速度应与牵引速度同步。收卷直径应符合产品技术文件要求，收卷应整齐，无乱卷现象。

7.2.6 装备应配备断料检测装置，当发生断料时，应立即停止牵引和切割动作并发出报警信号。断料检测装置应安装在模具出口处，响应迅速。

7.2.7 拉挤成型装备的整体布局应合理，操作空间应宽敞，便于操作人员进行上下料和日常维护。各部件之间的距离应符合人机工程学要求。

7.2.8 装备应配备废料收集装置，及时收集切割产生的废料，保持工作环境整洁。废料收集装置应易于清理和更换。

7.3 缠绕成型装备

7.3.1 主轴系统应采用伺服驱动，转速应可无级调节，转速波动应在允许范围内。主轴的径向跳动和轴向窜动应符合设计要求，保证缠绕精度。

7.3.2 小车行走系统应采用高精度导轨和丝杠，行走精度应符合产品技术文件要求。小车行走速度应

与主轴转速同步，实现精确的缠绕线型。

7.3.3 缠绕头应能实现多自由度运动，满足不同缠绕线型的要求。缠绕头的摆动角度应可调节，调节范围应符合设计要求，适应不同形状的芯模。

7.3.4 纱架应采用旋转式结构，纱筒数量应根据缠绕工艺要求确定。纱架的转速应与主轴转速同步，保证丝束张力均匀，避免丝束缠绕。

7.3.5 张力控制系统应能实时调节丝束张力，适应不同缠绕阶段的工艺要求。张力调节范围应符合产品技术文件要求，适应不同规格的纤维丝束。

7.3.6 装备应配备自动排线装置，保证丝束排列整齐，无重叠和间隙现象。排线精度应符合设计要求，提高制品的致密性和力学性能。

7.3.7 缠绕成型装备应配备芯模支撑装置，芯模的安装与拆卸应简便快捷。支撑装置应能承受芯模和制品的重量，运行应平稳，无振动现象。

7.3.8 装备应配备缠绕线型编程系统，支持多种缠绕线型的输入和编辑。编程界面应简洁直观，易于操作，支持离线编程和在线修改。

7.3.9 装备应配备安全防护装置，防止旋转部件和运动部件对操作人员造成伤害。防护装置应牢固可靠，易于拆卸。

7.4 铺放成型装备

7.4.1 龙门架或机械臂结构应具有足够的刚性和稳定性，运动精度应符合产品技术文件要求。结构件应进行有限元分析，保证强度和刚度满足设计要求。

7.4.2 铺放平台应平整，平面度应符合设计要求。平台应具备旋转和移动功能，满足不同制品的铺放要求，平台的运动精度应符合设计要求。

7.4.3 铺放头的运动轨迹应精确可控，重复定位精度应符合设计要求。运动控制系统应具备插补功能，实现复杂曲线和曲面的铺放。

7.4.4 装备应配备自动送料系统，实现预浸料的连续供应。预浸料的输送速度应与铺放速度同步，避免预浸料拉伸或堆积。

7.4.5 预浸料切割装置应能实现任意形状的切割，切割精度应符合产品技术文件要求。切割产生的废料应能自动收集，保持工作环境整洁。

7.4.6 装备应配备铺放质量检测系统，实时检测铺放过程中的缺陷。检测结果应能记录和存储，便于质量追溯和工艺优化。

7.4.7 铺放成型装备应配备预浸料温度控制系统，保证预浸料在铺放过程中的温度符合工艺要求。温度控制系统应精确可靠，温度波动应在允许范围内。

7.5 注射成型装备

7.5.1 注射系统应采用螺杆式结构，螺杆的长径比应符合设计要求。螺杆表面应进行氮化处理，提高耐磨性和耐腐蚀性，使用寿命应符合产品技术文件要求。

7.5.2 塑化单元应具备温度控制功能，各段温度应独立可调。塑化能力应符合产品技术文件要求，保证树脂充分塑化，无未塑化颗粒。

7.5.3 合模系统应采用液压或电动驱动，合模力应均匀分布。合模速度应可调节，合模过程应平稳无冲击，避免模具损坏。

7.5.4 模具温度控制系统应能精确控制模具温度，温度分布应均匀。冷却系统应能快速冷却制品，缩短成型周期，提高生产效率。

7.5.5 顶出机构应采用多项杆结构，顶出力应均匀分布。顶出行程应可调节，顶出速度应符合设计要求，避免制品顶出变形。

7.5.6 装备应配备自动上料系统，实现树脂的自动输送和加料。上料系统应具备料位监测功能，当料位低于设定值时，应发出报警信号。

7.5.7 注射成型装备的电气控制系统应符合 GB 5226.1 的规定，具备完善的安全保护功能。控制系统应稳定可靠，抗干扰能力强，适应工业现场环境。

7.5.8 装备应配备制品取出装置，实现制品的自动取出和堆放。取出装置的运动应平稳可靠，避免损伤制品表面。

8 智能化控制系统

8.1 控制架构与通信

8.1.1 控制架构

8.1.1.1 装备控制系统应采用分层分布式架构。架构宜分为设备层、控制层和管理层，各层功能边界清晰，数据交互顺畅。

8.1.1.2 设备层应直接采集现场传感器信号，驱动执行机构动作。控制层应实现工艺逻辑控制和运动控制，管理层应负责生产调度和数据管理。

8.1.1.3 关键控制环节应采用冗余设计，主控制器故障时备用控制器应自动切换。切换过程应平稳，不影响生产连续性，不造成工艺参数突变。

8.1.1.4 控制系统应具备断电保护功能，意外断电时应保存当前工艺参数和运行状态。恢复供电后，可选择手动或自动恢复运行。

8.1.2 通信协议

8.1.2.1 装备内部通信应采用工业以太网或现场总线技术。通信协议应开放通用，支持主流工业自动化设备接入。

8.1.2.2 装备与外部系统的通信应支持 OPC UA、MQTT 等标准协议。通信接口应具备数据加密和身份认证功能，防止非法访问和数据篡改。

8.1.2.3 通信网络应具备抗干扰能力，适应工业现场复杂电磁环境。通信延迟应满足实时控制要求，关键信号传输延迟应在允许范围内。

8.1.2.4 控制系统应支持远程诊断和维护功能，经授权后可远程查看设备运行状态。远程操作应具备操作记录和权限管理功能，操作行为可追溯。

8.2 工艺数据库

8.2.1 数据管理

8.2.1.1 工艺数据库应具备数据采集、存储、查询和统计分析功能。数据采集频率应根据工艺要求合理设定，采集精度应符合相关标准规定。

8.2.1.2 数据库应分类存储工艺参数、设备状态、质量检测和生产管理数据。数据存储周期应不少于 1 年，重要数据应进行异地备份。

8.2.1.3 数据备份应采用自动定时备份和手动备份相结合的方式。备份数据应定期校验，确保数据完整可用，备份恢复时间应符合要求。

8.2.1.4 数据库应具备数据导出功能，支持 Excel、CSV 等通用格式导出。导出数据应包含完整的时间戳和设备标识，便于后续分析和追溯。

8.2.2 数据应用

8.2.2.1 工艺数据库应支持工艺参数的检索和调用，操作人员可快速调取历史工艺参数。常用工艺参数应可保存为工艺配方，方便重复使用。

8.2.2.2 数据库应具备数据分析功能，可生成生产报表和质量分析报告。报告内容应包括产量、合格率、设备利用率等关键指标。

8.2.2.3 宜建立工艺参数与制品质量的关联模型，指导工艺优化。模型应基于历史数据训练，随着数据积累不断更新完善。

8.2.2.4 数据库访问应设置不同权限等级，不同人员只能访问授权范围内的数据。管理员权限应严格控制，防止数据被非法修改或删除。

8.2.2.5 工艺数据库核心数据项可参考表 3。

表 3 工艺数据库核心数据项

数据类别	核心数据项
工艺参数	温度、压力、速度、时间、张力

数据类别	核心数据项
设备状态	运行时间、故障次数、能耗数据
质量数据	制品尺寸、外观缺陷、力学性能
生产数据	批次号、产量、操作人员、生产时间

8.3 在线检测与反馈

8.3.1 在线检测项目应覆盖关键工艺参数和质量指标。检测装置应安装在合理位置，不影响生产正常进行。

8.3.2 温度、压力、速度等工艺参数应实时检测，检测数据应在操作界面上显示。数据更新频率应满足工艺控制要求，异常数据应及时报警。

8.3.3 应配备纤维张力在线检测装置，实时监测丝束张力变化。张力超出允许范围时，控制系统应自动调整张力参数，保持张力稳定。

8.3.4 宜配备制品外观在线检测装置，检测表面裂纹、气泡、缺料等缺陷。检测结果应实时反馈，缺陷严重时应自动停机并发出报警信号。

8.3.5 应配备设备状态在线监测装置，监测电机、轴承、泵等关键部件的运行状态。监测数据应用于预测性维护，提前发现潜在故障。

8.3.6 在线检测数据应实时传输至工艺数据库，与生产批次关联存储。数据应可追溯，便于分析质量问题产生的原因。

8.3.7 反馈控制应采用闭环控制方式，控制算法应成熟可靠。控制系统应根据检测数据自动调整工艺参数，保证生产过程稳定。

8.3.8 在线检测装置应定期校准，校准方法应符合相关标准规定。校准记录应存档保存，校准不合格的装置应及时维修或更换。

8.4 数字孪生接口

8.4.1 装备应预留数字孪生接口，接口应支持装备物理实体与虚拟模型之间的数据双向交互。

8.4.2 接口应能传输装备的几何参数、运动参数和工艺参数。数据传输应实时准确，延迟应满足虚拟模型同步运行的要求。

8.4.3 数字孪生接口应支持虚拟调试功能，可在虚拟环境中验证工艺方案。虚拟调试结果应能直接导入装备控制系统，指导实际生产。

8.4.4 宜支持预测性维护功能，基于虚拟模型模拟设备运行状态。预测结果应能指导维护计划制定，减少非计划停机时间。

8.4.5 接口应具备可扩展性，支持后续功能升级和新模块接入。接口文档应完整规范，便于第三方系统集成和开发。

9 试验方法

9.1 通用性能试验

9.1.1 外观检查应采用目视法进行，检查装备表面是否平整光滑，有无明显缺陷。涂层应均匀牢固，无脱落、流挂现象，焊缝应平整美观。

9.1.2 几何精度检验应按照 GB/T 17421.1 的规定进行。检验工具应经计量检定合格，检验项目应包括关键运动部件的平行度、垂直度和同轴度。

9.1.3 空载运行试验应在额定电压下进行，连续运行时间不少于 4h。试验过程中应检查各运动部件的运行情况，有无异常噪声和振动。

9.1.4 负载运行试验应在额定负载下进行，连续运行时间不少于 8h。试验过程中应监测工艺参数的稳定性，检查各系统的工作性能。

9.1.5 能耗试验应按照 GB/T 2589 的规定进行，测量装备的单位产品能耗。试验应在正常生产条件下进行，测量结果应取三次试验的平均值。

9.1.6 噪声试验应按照 JB 9967 的规定进行，在操作人员工作位置测量噪声声压级。测量时应关闭其他无关设备，背景噪声应比被测噪声低 10dB (A) 以上。

9.2 专用性能试验

9.2.1 专用性能试验应根据装备类型选择相应的试验项目，可参考表 4。

表 4 专用装备性能试验项目

装备类型	核心试验项目
模压成型装备	合模精度、保压性能、脱模性能
拉挤成型装备	牵引速度稳定性、切割精度、制品尺寸精度
缠绕成型装备	缠绕线型精度、张力控制精度、主轴转速稳定性
铺放成型装备	铺放定位精度、铺放速度稳定性、切割精度
注射成型装备	注射精度、塑化性能、合模力均匀性

9.2.2 模压成型装备应进行合模精度试验、保压性能试验和脱模性能试验。试验过程中应测量合模平行度、保压压力波动和脱模力大小。

9.2.3 拉挤成型装备应进行牵引速度稳定性试验、切割精度试验和制品尺寸精度试验。试验应连续生产不少于 100 件制品，统计各项指标的合格率。

9.2.4 缠绕成型装备应进行缠绕线型精度试验、张力控制精度试验和主轴转速稳定性试验。试验应采用标准芯模，测量缠绕角度和线型的偏差。

9.2.5 铺放成型装备应进行铺放定位精度试验、铺放速度稳定性试验和预浸料切割精度试验。试验应铺放标准试样，测量铺放位置和尺寸的偏差。

9.3 安全性能试验

9.3.1 安全防护装置试验应按照 GB 17120 的规定进行。试验应验证防护罩、安全光栅、紧急停止按钮等装置的动作可靠性。

9.3.2 电气安全试验应按照 GB 5226.1 的规定进行。试验项目应包括绝缘电阻试验、耐压试验、接地电阻试验和漏电保护试验。

9.3.3 压力容器安全试验应按照 TSG 21 的规定进行。试验应包括水压试验和气密性试验，试验压力应符合设计要求。

9.3.4 高温部件防护试验应采用表面温度计测量高温部件外表面温度。测量点应选择温度最高的位置，测量结果应符合本标准的规定。

9.3.5 声光报警装置试验应模拟各种故障情况，检查报警信号是否及时准确。报警声音应清晰响亮，报警灯光应醒目可见。

9.3.6 过载保护试验应逐步增加负载至额定值的 1.1 倍，检查过载保护装置是否动作。动作后应能自动切断动力源并发出报警信号。

9.3.7 安全标志检查应采用目视法进行，检查安全标志是否齐全、清晰、规范。安全标志应符合 GB 2894 的规定，设置在醒目位置。

9.4 可靠性试验

9.4.1 平均无故障工作时间试验应在正常生产条件下进行，连续运行时间不少于 3000h。试验过程中应记录所有故障发生的时间、原因和处理方法。

9.4.2 故障统计应区分致命故障、严重故障和一般故障。致命故障和严重故障不应发生，一般故障次数应符合本标准的规定。

9.4.3 关键部件寿命试验应采用加速寿命试验方法，按照 GB/T 2689.1 的规定进行。试验结果应能验证关键部件的使用寿命是否符合设计要求。

9.4.4 故障自诊断功能试验应模拟各种常见故障，检查自诊断系统是否能准确识别故障。诊断信息应清晰明确，能指导维修人员快速排除故障。

10 装备检验

10.1 出厂检验

10.1.1 每台装备出厂前均应进行出厂检验，检验合格并出具产品合格证后方可出厂。出厂检验应由制造单位质量检验部门负责实施。

10.1.2 出厂检验项目应包括外观检查、几何精度检验、空载运行试验、安全性能试验和基本功能试验。检验项目应全部合格。

10.1.3 检验过程中如发现不合格项，应进行返工修理。返工后应重新进行检验，直至所有项目合格。

10.1.4 出厂检验应填写完整的检验记录，检验记录应存档保存，保存期限不少于3年。检验记录应包括检验项目、检验结果、检验日期和检验人员签字。

10.1.5 装备出厂时应随附产品合格证、使用说明书、装箱单和随机备件清单。使用说明书应符合 GB/T 9969 的规定。

10.2 型式检验

10.2.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品定型鉴定时；
- b) 产品结构、材料或工艺有重大改变，可能影响产品性能时；
- c) 停产一年以上恢复生产时；
- d) 国家质量监督机构提出型式检验要求时。

10.2.2 型式检验项目应包括本标准规定的全部技术要求，抽样方法应按照 GB/T 2828.1 的规定执行。

10.2.3 型式检验应由制造单位委托具有相应资质的第三方检验机构进行。检验机构应出具型式检验报告，报告应客观公正。

10.2.4 型式检验过程中如发现不合格项，应分析原因并采取整改措施。整改后应重新进行型式检验，直至所有项目合格。

10.2.5 型式检验报告有效期为3年，有效期内产品应每年进行一次监督检验。监督检验项目由质量监督机构确定。

10.2.6 已通过型式检验的产品，如仅发生局部改进且不影响主要性能，可只进行相关项目的检验。检验结果应报原型式检验机构备案。

10.3 判定规则

10.3.1 不合格项分为A类、B类和C类三类，A类为致命不合格，B类为严重不合格，C类为一般不合格。不合格内容见表5。

表5 不合格分类

不合格类别	不合格内容
A类	安全性能不符合要求、压力容器不合格、电气绝缘不合格
B类	几何精度超差、主要性能指标不达标、控制系统功能缺失
C类	外观缺陷、次要部件性能不达标、标志不清晰

10.3.2 出厂检验中，如出现A类或B类不合格项，判定该产品不合格。如出现C类不合格项，允许返工后重新检验，重新检验合格则判定为合格。

10.3.3 型式检验中，如出现任何一项A类不合格，判定该批产品不合格。如出现B类不合格项，允许加倍抽样复验，复验仍不合格则判定为不合格。如出现C类不合格项，允许返工后重新检验。