

ICS 25.080.99

CCS G60

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

大型龙门式自动铺丝机通用技术要求

General technical requirements for large gantry-type automatic fiber
placement machines

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 组成与分类	3
4.1 组成	3
4.2 分类	3
5 技术要求	3
5.1 一般要求	3
5.2 外观质量	3
5.3 几何精度	3
5.4 定位精度与重复定位精度	4
5.5 工作精度	4
5.6 铺丝头技术要求	4
5.7 丝束纱架及张力控制系统	5
5.8 数控系统	5
5.9 防护系统要求	5
5.10 其他要求	6
6 试验方法	6
6.1 试验条件	6
6.2 外观质量检查	6
6.3 几何精度检验	6
6.4 定位精度与重复定位精度检验	6
6.5 工作精度检验	6
6.6 铺丝头功能及性能试验	7
6.7 张力控制试验	7
6.8 数控系统检验	7
6.9 防护系统检验	8
6.10 振动与噪声测量	8
6.11 可靠性试验	8
7 检验规则	8
7.1 检验分类	8
7.2 出厂检验	8
7.3 型式检验	9
8 标志、包装、运输和贮存	9
8.1 标志	9

8.2 包装	9
8.3 运输	9
8.4 贮存	9

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

大型龙门式自动铺丝机通用技术要求

1 范围

本文件规定了大型龙门式自动铺丝机（以下简称“铺丝机”）的组成与分类、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于行程不小于5m,采用热固性或热塑性丝束进行自动铺放的大型龙门式铺丝机。其他结构形式（如卧式、并联式）的自动铺丝机可参照执行。

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 191 包装储运图形符号标志

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 3096 声环境质量标准

GB/T 3766 液压传动 系统及其元件的通用规则和安全要求

GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)

GB 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 6576 机床润滑系统

GB/T 7659 焊接结构用铸钢件

GB/T 7932 气动 对系统及其元件的一般规则和安全要求

GB/T 8129 工业自动化系统 机床数值控制 词汇

GB/T 9439 灰铸铁件

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 14896.1 特种加工机床 术语 第1部分：基本术语

GB/T 16768 金属切削机床 振动测量方法

GB/T 17421.1 机床检验通则 第1部分：在无负荷或精加工条件下机床的几何精度

GB/T 17421.2 机床检验通则 第2部分：数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定

GB/T 23567.1 数控机床可靠性评定 第1部分：总则

GB/T 26220 工业自动化系统与集成 机床数值控制 数控系统通用技术条件

JB/T 8356 机床包装 技术条件

JB/T 12636 数控机床 可靠性评定方法

ISO 230-10 机床检验通则 第10部分：数控轴线定位精度的测定(Test code for machine tools — Part 10: Determination of the positioning accuracy on numerically controlled axes)

3 术语和定义

GB/T 14896.1、GB/T 8129界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

大型龙门式自动铺丝机 large gantry-type automated fiber placement machine

一种采用龙门框架结构作为基础承载平台,通过多轴联动数控系统控制铺丝头在空间内按预定轨迹运动,将多根预浸纱(丝束)精确铺设并压实于模具表面的复合材料成型设备。

3.2

铺丝头 placement head

集成了送丝、重送、夹紧、切断、加热、施压等功能单元,用于完成预浸纱铺设动作的核心功能部件。

3.3

丝束 tow / bundle

用于铺放的连续纤维增强预浸料窄带,通常宽度为3mm至25mm。

3.4

压实 compaction

铺丝头上的压辊对铺设于模具表面的预浸纱施加压力,使其与模具表面或下层铺层紧密贴合的过程。

3.5

铺放间隙 gap

相邻两条平行铺设的预浸纱边缘之间的设计距离。

3.6

铺放角度偏差 angle deviation

实际铺放丝束纤维方向与设定铺放角度之间的偏差。

3.7

铺放位置偏差 position deviation

铺丝头末端实际铺设位置与理论设定位置在三维空间中的偏差量。

3.8

冗余轴 redundant axis

在铺丝头结构中,用于调整压辊姿态以适应模具曲面变化,但不改变刀具中心点(TCP)空间位置的旋转轴(通常为A轴和B轴)。

4 组成与分类

4.1 组成

大型龙门式自动铺丝机主要由以下部分组成：

- a) 基础结构：包括龙门框架、横梁、滑鞍、工作台（或地基）等，用于支撑各运动部件；
- b) 运动系统：包括X轴（横梁纵向移动）、Y轴（滑鞍横向移动）、Z轴（铺丝头垂直升降）、A轴/B轴（铺丝头摆动/旋转，即冗余轴）等进给轴；
- c) 铺丝头系统：包括丝束盘架、导向机构、送丝辊、夹紧机构、切割刀、加热装置、压辊及力控系统等；
- d) 数控系统：包括人机交互界面（HMI）、PLC控制器、伺服驱动单元、位置反馈装置等；
- e) 辅助系统：包括气路系统、液压系统、冷却系统、除尘系统、激光投影定位系统等；
- f) 安全防护系统：包括光栅尺、安全门、急停按钮、防碰撞传感器等。

4.2 分类

铺丝机可按以下方式分类：

- a) 按丝束数量分：单头多丝束铺丝机（如16丝、32丝、64丝、128丝等）；
- b) 按加热方式分：热风加热铺丝机、激光加热铺丝机、红外加热铺丝机、超声加热铺丝机等；
- c) 按龙门结构分：固定梁式龙门铺丝机、动梁式龙门铺丝机、高架桥式龙门铺丝机；
- d) 按应用领域分：航空航天专用铺丝机、风电叶片专用铺丝机、通用型铺丝机。

5 技术要求

5.1 一般要求

- 5.1.1 铺丝机应符合本文件的规定，并按经规定程序批准的图样和技术文件制造。
- 5.1.2 外购件、外协件应具有合格证，并经制造厂检验合格后方可进行装配。
- 5.1.3 铸件应符合GB/T 9439的规定，并进行时效处理，消除内应力。
- 5.1.4 焊接件应符合GB/T 7659的规定，焊缝应均匀、牢固，无裂纹、夹渣等缺陷。
- 5.1.5 所有零部件在装配前应进行清洗，去除毛刺、油污及异物。
- 5.1.6 电气系统的设计与安装应符合GB 5226.1的规定。
- 5.1.7 液压系统的设计与安装应符合GB/T 3766的规定。
- 5.1.8 气动系统的设计与安装应符合GB/T 7932的规定。
- 5.1.9 润滑系统应符合GB/T 6576的规定，各润滑点应供油正常，无泄漏。

5.2 外观质量

- 5.2.1 机床外观表面不应有图样未规定的凸起、凹陷、粗糙不平或其他损伤。
- 5.2.2 防护罩应平整、匀称，不应有翘曲、凹凸不平等缺陷。
- 5.2.3 外露焊缝应修整平直、均匀。
- 5.2.4 各种标牌应清晰、耐久，固定位置应正确、平整、牢固。
- 5.2.5 涂装表面应色泽均匀，无起泡、脱落、流挂及裂纹等缺陷。

5.3 几何精度

铺丝机各轴线的几何精度应符合以下要求：

- a) 龙门架X轴导轨对底座基准面的平行度：在最大行程内不大于0.05/1000 mm；
- b) 横梁（Y轴）对X轴运动的垂直度：不大于0.03/1000 mm；
- c) Z轴对工作台面的垂直度：在300 mm测量长度内不大于0.02 mm；
- d) 铺丝头安装面对工作台面的平行度：不大于0.03/1000 mm。

5.4 定位精度与重复定位精度

各线性轴（X，Y，Z）和各旋转轴（A，B，C）的定位精度和重复定位精度应符合表1的规定。

表1 定位精度与重复定位精度要求

轴线类型	定位精度（P）	重复定位精度（Ps）	反向间隙（B）
X轴（线性）	≤ 0.025 mm/全长	≤ 0.010 mm	≤ 0.008 mm
Y轴（线性）	≤ 0.020 mm/全长	≤ 0.008 mm	≤ 0.006 mm
Z轴（线性）	≤ 0.015 mm/全长	≤ 0.006 mm	≤ 0.005 mm
A/B轴（旋转）	≤ 15 arcsec	≤ 5 arcsec	≤ 3 arcsec
C轴（旋转，如有）	≤ 20 arcsec	≤ 8 arcsec	≤ 5 arcsec

5.5 工作精度

铺丝机的工作精度应满足以下要求：

- a) 铺放位置偏差：一般要求不大于1.270 mm，经综合误差补偿后最大误差应不大于0.532 mm；
- b) 铺放间隙精度：在平面件或低曲率件（曲率半径 $r > 1.2$ m）中，任意单个间隙应小于2 mm，且任意305 mm宽铺放面上最大允许间隙不大于6.35 mm；在高曲率件（曲率半径 $r \leq 1.2$ m）中，任意单个间隙应小于2.5 mm，且任意305 mm宽铺放面上最大允许间隙不大于12.5 mm；
- c) 铺放角度偏差：不大于 $\pm 1^\circ$ ；
- d) 铺放丝束切断精度（传输速度12 m/min）：不大于 ± 2.5 mm。

5.6 铺丝头技术要求

5.6.1 基本功能

铺丝头作为铺丝机核心部件，应具备以下功能模块：

- a) 丝束导入与导向功能：将来自纱架的预浸丝束平稳导入铺丝头内部通道，多束丝束并列排列并保持相互间精确间距，形成特定宽度的丝束带；
- b) 夹紧功能：在任一丝束被切断前，应能夹持住该丝束末端，防止因张力作用导致丝束回缩而失控；
- c) 剪切功能：应能按照铺层路径的设计要求，在工作状态下对任意单根（或指定组合的）丝束进行精确切断，实现铺放中的丝束增减、带宽调整及边界成型；
- d) 重送功能：对于已切断的丝束，应具备可靠的重送功能，将该丝束重新精确导入铺放路径并释放至模具表面；
- e) 滚压压实功能：铺丝头末端应配备柔性压辊，压辊具有良好的模具型面贴服性，通过可编程压紧压力压实铺放丝束，有效实现层间粘连并排除层间空气；
- f) 加热功能：应配备加热装置（如红外灯或激光器），用于控制预浸料温度以调整铺放粘度。加热功率应可随实际铺放速度自动调节，确保纤维束在滚压前达到合适的粘度状态。

5.6.2 性能要求

铺丝头的主要性能参数应符合以下要求：

- a) 铺丝头重量不宜超过200 kg（采用短传纱盘式结构），铺丝盘与压辊底部角度轮廓宜 $\leq 102^{\circ}$ ；
- b) 压紧力应不低于1000 N，压力控制精度应不大于 $\pm 10\%$ ；
- c) 每根丝束应具备独立的张力控制系统，张力应在0 N~2.3 N范围内可编程独立调节；
- d) 铺丝头应具备红外加热或激光加热功能，可实现25 $^{\circ}\text{C}$ ~45 $^{\circ}\text{C}$ 范围内温度调节以适应不同预浸料粘温特性；
- e) 铺丝头应具备隔离膜自动收卷功能，预浸料内侧隔离膜在铺放前自动剥离收卷。

5.7 丝束纱架及张力控制系统

5.7.1 纱架结构

丝束纱架可采用与铺丝头一体式设计，以保证铺丝头与纱架的运动关系一致性，缩短并简化纤维束输送路径。纱架应具备辅助冷却系统，使预浸料保持适度刚性并降低粘性，防止预浸料与内部通道粘附。

5.7.2 张力控制

张力控制系统应具备以下功能：

- a) 采用闭环控制方式，以伺服电机为驱动元件，以传感器和浮动辊为张力检测元件；
- b) 张力值应可编程设置，各丝束张力独立可控；
- c) 应具备张力超限自动报警功能；
- d) 张力响应时间不大于100 ms。

5.8 数控系统

5.8.1 系统基本要求

铺丝机数控系统应符合GB/T 26220的规定。数控系统应具备以下基本功能：

- a) 支持不少于6个联动轴（不少于9个控制轴）的实时运动控制；
- b) 支持多通道、多任务并行控制；
- c) 具备不少于8 GB的程序存储容量与高速数据传输接口。

5.8.2 编程软件功能

铺丝机配套的编程软件应具备以下功能：

- a) 支持回转体、异形曲面结构及网格筋等复杂几何构型的自动铺丝路径规划；
- b) 支持铺丝动作指令（丝束剪切、重送、夹持、压实、加热等）的自动生成与编辑；
- c) 具备铺放过程的仿真模拟功能，可在离线状态下完成铺放路径验证与干涉检查；
- d) 支持铺放参数的变量化设置与后处理输出。

5.9 防护系统要求

5.9.1 液压与气动系统

液压系统应配置恒温冷却装置，油温波动范围不大于 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。气动系统应配备空气过滤、干燥及油雾润滑装置，供气压力不低于0.6 MPa。

5.9.2 排屑与除尘系统

应配备机内自动排屑装置及真空除尘系统，用于清除切割碳纤维丝束产生的碎屑粉尘。

5.9.3 安全防护

电气安全防护应符合GB 5226.1及GB/T 4208的规定，包括但不限于：

- a) 所有电气设备外壳防护等级应不低于IP54；
- b) 应设置急停按钮、光栅保护、门限开关等安全联锁装置；

c) 应有可靠的接地与等电位联结，保护接地回路阻抗不大于 $0.1\ \Omega$ 。

5.10 其他要求

5.10.1 噪声

铺丝机在空载稳定运转状态下，整机噪声应不大于75 dB(A)。

5.10.2 可靠性要求

铺丝机平均无故障工作时间(MTBF)应不低于2000 h。整机使用寿命应不低于15年(在正常使用与定期维护条件下)。

6 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 环境温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度45%~75%，无腐蚀性气体，无强电磁干扰。

6.1.2 供电：电压 $380\text{V} \pm 10\%$ ，频率 $50\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ 。

6.1.3 地基：应符合设备说明书的要求，无明显的振动源。

6.1.4 预热：设备在试验前应空运转预热不少于2 h，直至热平衡。

6.2 外观质量检查

目视检查设备外观、涂漆、标牌等状况。用目视和操作检查安全防护装置(急停、光栅、门连锁、接地)的有效性。

6.3 几何精度检验

几何精度检验应按照GB/T 17421.1的规定执行。

6.4 定位精度与重复定位精度检验

定位精度与重复定位精度检验应按照GB/T 17421.2及ISO 230-10的规定执行：

a) 线性轴：使用激光干涉仪，在全程测量不少于5个目标位置，进行正反向往复运动5次，计算定位精度(P)和重复定位精度(Ps)。

b) 旋转轴：使用激光干涉仪或高精度圆光栅，测量不少于8个均匀分布的目标位置，进行正反转往复运动5次，计算相关精度指标。

6.5 工作精度检验

6.5.1 铺放位置偏差

采用标准平面模具(不小于 $2\text{ m} \times 1\text{ m}$)，铺放预浸丝束单层，利用激光跟踪仪测量铺放完成的丝束带中心线位置坐标，与理论路径文件对比，计算铺放位置偏差值，测量点数不少于20个均布采样点。

6.5.2 铺放间隙

在同一铺放试件上，用高精度光学测量仪逐束测量相邻丝束之间的间隙宽度。对低曲率件和高曲率件分别记录最大单间隙值与305 mm带宽上的最大累积间隙值。

6.5.3 铺放角度偏差

在铺放试件上选取不少于10个测量部位，利用纤维角度测量仪检测丝束铺放方向，计算与设定角度的偏差绝对值，取最大值作为角度偏差值。

6.5.4 最短铺丝长度

在标准模具表面设定由长至短渐变长度的丝束铺放指令序列，记录铺丝头能稳定夹持、切断、重送并完成铺放的最短丝束长度，分体头与集成头分别记录。

6.5.5 放丝束切断精度

在铺丝头以12 m/min的传输速度运行时，对丝束实施切断，利用位移传感器测量实际切断位置与理论切断位置的偏差值，进行不少于50次切断试验并记录。结果应满足切断精度不大于 ± 2.5 mm的要求。

6.6 铺丝头功能及性能试验

6.6.1 铺丝头功能试验

逐项检验铺丝头的丝束夹紧、剪切、重送、滚压及加热功能是否正常：

- a) 夹紧功能：逐根丝束进行夹紧松开循环100次，记录失效次数；
- b) 剪切功能：对全部丝束通道分别进行切断试验，在12 m/min传输速度下切断不少于50次，测量切断位置精度偏差；
- c) 重送功能：对已切断的丝束实施重送，检验丝束是否准确进入铺放区域并可靠释放；
- d) 滚压压力：使用压力传感器在铺丝头压辊处测量压紧力，可编程设定值分别置于最小和最大两档，验证压力控制精度在 $\pm 10\%$ 以内；
- e) 加热功能：采用红外热成像仪检测铺丝头加热区域温度分布，验证温度随铺放速度自调节功能。

6.6.2 铺丝头性能参数试验

性能参数试验应按照以下步骤进行：

- a) 铺丝头重量：使用电子秤或吊秤称量铺丝头重量，结果应满足不大于200 kg；
- b) 压紧力：使用压力传感器在压辊处测量最大压紧力值，结果应不低于1000 N；
- c) 丝束张力：在每条丝束的输送路径中串联张力传感器，检查各丝束是否具备独立张力控制功能，设定张力值从0 N逐步升至2.3 N，验证张力可编程独立调节功能；
- d) 加热温度范围：采用红外热成像仪测量铺丝头加热区域的温度值，验证是否可实现25℃~45℃范围内温度调节；
- e) 隔离膜收卷功能：目视观察铺丝头在铺放过程中是否具备自动剥离并收卷预浸料内侧隔离膜的功能。

6.7 张力控制试验

在每条丝束的输送路径中串联张力传感器，设定张力值从0 N逐步升至2.3 N，记录各设定点的实际张力值，计算张力控制误差。测量张力阶跃响应的稳定时间，验证响应时间不大于100 ms。

6.8 数控系统检验

6.8.1 数控系统质量与性能应按照GB/T 26220的方法执行。

重点检验项目包括：

- a) 系统各轴联动精度和轨迹平滑性；
- b) 铺丝路径编程文件导入和执行正确性；
- c) 离线仿真与程序输出一致性；
- d) 多轴联动实时控制鲁棒性。

6.8.2 编程软件功能检验

在铺丝机配套的编程软件上进行功能测试：

a) 路径规划：构建至少一个回转体模型与一个异形曲面模型，验证软件是否支持自动铺丝路径规划；

b) 动作指令生成：在规划的路径中逐一设定铺丝头动作（剪切、重送、夹持、压实、加热），验证软件是否能自动生成对应的动作指令；

c) 仿真模拟：运行离线仿真程序，检查是否能完成铺放路径验证与干涉检查；

d) 参数输出：验证铺放参数是否能进行变量化设置并输出为后处理文件。

6.9 防护系统检验

6.9.1 液压与气动系统检验

在铺丝机稳定运行状态下，使用温度记录仪连续监测液压系统油温，记录时长不少于2小时，计算温度波动范围，应满足油温波动范围不大于 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的要求。

在气动系统各供气接口处安装压力表，测量供气压力，应满足供气压力不低于0.6 MPa的要求，同时检查空气过滤、干燥及油雾润滑装置的工作状态是否正常。

6.9.2 排屑与除尘系统检验

目视检查机内自动排屑装置是否能够正常运行，在铺丝机执行模拟铺放操作（包括丝束剪切）时，观察排屑与除尘系统是否能够有效清除碎屑粉尘。检查真空除尘系统的吸尘口负压值是否符合设备技术文件的规定。

6.9.3 电气安全检验

保护联结电路连续性检验、绝缘电阻试验及耐压试验应按照GB 5226.1的规定执行。

6.10 振动与噪声测量

振动与噪声测量应按照GB/T 16768及GB 3096的规定执行。在铺丝机空载条件下，以最大速度运行各轴，使用声级计（A计权）距设备外轮廓1 m处、距地面1.5 m高度测量，取不少于5个测量点的算术平均值。

6.11 可靠性试验

可靠性试验应按照GB/T 23567.1及JB/T 12636的规定执行。

7 检验规则

7.1 检验分类

铺丝机的检验分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 检验项目

每台铺丝机出厂前均应进行出厂检验，检验项目应包括：

- a) 外观及一般要求；
- b) 几何精度；
- c) 各直线轴的定位精度与重复定位精度；
- d) 铺丝头各功能试验；
- e) 数控系统基本功能；
- f) 噪声。

7.2.2 判定规则

全部出厂检验项目均合格者，判定该台设备出厂检验合格。若有不合格项，允许调整后重新检验一次，复检合格则判为合格；仍不合格则判为不合格。

7.3 型式检验

7.3.1 检验时机

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品或老产品转产生生产的试制定型鉴定时；
- b) 正常生产时，定期或累积一定产量后，每年检验一次；
- c) 正式生产后，结构、材料、工艺改变，可能影响产品性能时；
- d) 停产2年后，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时。

7.3.2 抽取规则

按GB/T 2828.1规定的正常检验Ⅱ级抽样方案执行，接收质量限（AQL）为1.0。

7.3.3 判定规则

检验项目全部合格时判定为合格品，若有一项以上不合格，判定型式检验不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

按GB/T 191的规定标注“禁止翻滚”“怕雨”“重心”等包装储运图示标志。产品应在明显位置固定铭牌，铭牌内容应包括：

- a) 产品名称及型号；
- b) 标准编号；
- c) 制造厂名和厂址；
- d) 出厂编号及出厂日期；
- e) 主要技术参数；
- f) 设备重量。

8.2 包装

产品包装应符合GB/T 13384及JB/T 8356的规定。各可分离部件应分别装箱，铺丝头、数控系统等精密部件应采用防振减振包装。随机文件应包括：

- a) 产品合格证；
- b) 使用说明书（含电气原理图、液压气动原理图、安装基础图）；
- c) 数控系统编程手册；
- d) 出厂检验报告；
- e) 装箱单。

8.3 运输

8.3.1 运输过程中严禁剧烈颠簸、碰撞及倒置。

8.3.2 吊装时应严格按照包装箱上的标识操作，确保重心平衡。

8.3.3 长途运输时应采取防雨措施。

8.4 贮存

8.4.1 设备应贮存在通风、干燥、无腐蚀性介质的室内仓库内。

8.4.2 若露天存放，必须有防雨、防晒、防潮设施，底部需用枕木垫高。

8.4.3 贮存期间，应定期通电（每三个月一次），每次不少于1 h，防止电器元件受潮及电池失效。
