

光纤预制棒智能制造技术研究与实践

文 | 中天科技精密材料有限公司 赵海伦 张贤根

一、背景

对于光纤光缆行业来说,光纤预制棒是制造光纤光缆的核心原材料,被誉为光纤产业“皇冠上的明珠”,占据了光纤产业 70% 的价值。近年来,随着“宽带中国”战略的持续推进,“互联网+”行动计划、“一带一路”和“中国制造 2025”等为代表的国家政策层面因素的推动与保障,超大数据中心、超级云计算中心、视频消费飞速增长和移动互联网(5G)升级换代等,我国光纤预制棒行业保持了较高景气度,发展势头强劲,供需持续紧张,这已经成为当下中国光纤光缆行业的真实写照。

当前,我国光纤预制棒核心技术工艺及装备水平已接近美国和日本等国际巨头,但传统制造模式无法满足移动互联网的爆发式革新需求,严重制约我国光纤预制棒行业的发展,急需摆脱僵硬的机械化桎梏。光纤预制棒行业传统制造模式面临的共性难点在于:

- ◎ 全合成工艺参数优化与控制难;
- ◎ 物流运转自动化程度低;

◎ 多类型设备和系统间互联互通程度低;

◎ 生产管控智能化程度低。随着“中国制造 2025”国家战略的持续推进,光纤预制棒行业普遍认识到智能制造是解决上述共性难点的重要手段。

二、基本思路

围绕光纤预制棒精益生产制造,运用自主研发的智能化短板预制棒生产设备、生产工艺仿真系统、高精度七轴数控机器人系统、智能小车(EMS、AGV 和 OMV)系统、智能预制棒参数检测系统、原料自动输送系统、能源智能供应系统、废水废气处理系统和环境管理系统等制造装备,利用 SCADA 现场采集数据,经全光环网将数据传输至企业级数据中心,通过无缝集成 ERP、MES、PLM 和 WMS 等软件,在中央集控中心中对光纤预制棒全生命制造周期集中管理和展示,并对过程工艺研发和生产过程管控进行指导,最终实现设计数字化、生产自动化、管理信息化和管控智能化的预制棒智能制造。

三、总体框架

光纤预制棒智能制造主要围绕设计数据化、生产自动化、生产信息化和管控智能化进行实施,总体框架如图1所示。

四、建设内容

以精益生产为指导思想,以互联互通为技术基础,以数字化为技术手段,采用新一代信息通信技术、先进制造技术和自动化技术等,重点提升光纤预制棒设计阶段建模仿真、生产阶段信息化管控、物流仓储自动化和质量管控智能化等能力,完善光纤预制棒制造过程管理,实施系统集成,实现管理高效协同,实现光纤预制棒生产制造全过程可视化管理,产品信息全流程可采集和可追溯,建设以高度自动化自主短板装备为核心的光纤预制棒智能制造车间。具体建设内容可以概括为以下四个方面。

1、设计数字化

应用数字化建模和仿真软件,对工厂总体设计、生产工艺流程及布局建模和仿真,以及应用自主研发的工艺仿真软件,对关键生产过程进行可视化与工艺预测优化。

(1) 工厂布局整体建模仿真

结合光纤预制棒生产系统的实际要求,运用SOLIDWORKS软件系统对工厂总体三维仿真设计,如图2所示,对相关设备和相关生产场景进行仿真建模,分析沉积工艺设备布局方案对沉积车间物流运输畅通程度、人员工作效率和沉积半成品合格率等方面的影响,并根据仿真结果提出优化的布局方案,使芯层和外包层的沉积车间设计布局更合理有效。

(2) 物流设备布局及过程受力建模仿真

对光纤预制棒的芯层和外包层的粉末沉积及烧结的生产过程,及各个工序的物流对接过程进行建模和仿真,评价芯层物流流转顺序、步骤、时间以及消耗资源的合理性等。对外包半成品棒在物流运输过程中的速率和受力状态等指

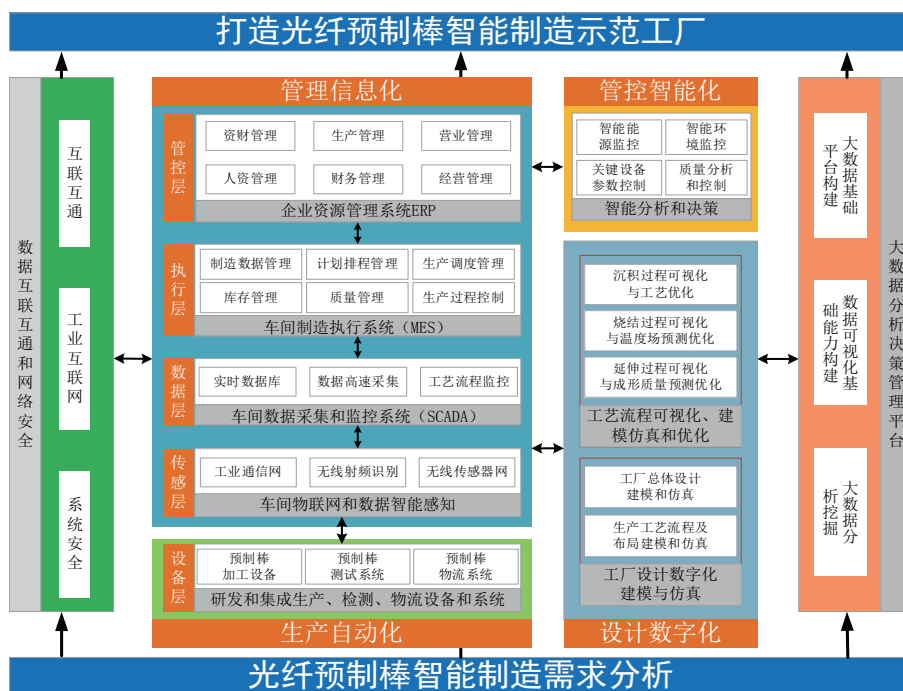


图1 光纤预制棒智能制造总体框架

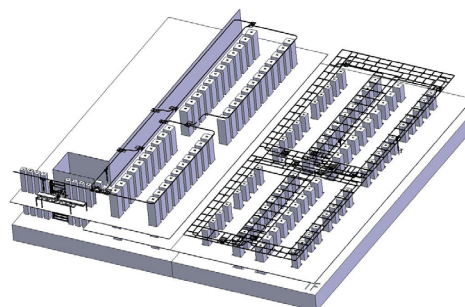


图2 工厂总体三维仿真设计

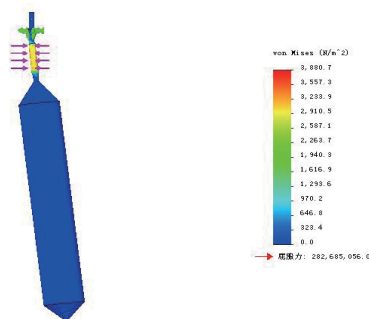


图3 运输过程棒体受力分析

标进行建模和仿真,如图3所示,优化整个外包半成品棒流转过程效率和稳定性。

(3) 生产流程可视化和生产工艺可预测优化

针对光纤预制棒生产工艺过程中的关键工艺(如芯棒沉积、烧结和延伸等),借助科学理论、专家知识和历史数据等,通过自主开发算法的仿真软件实现其数字化和可视化,预测生产效果和优化工艺参数,降低研发成本,缩短研发周期。

2、生产自动化

经过多年的技术积累和攻关,成功自主研发光纤预制棒制造过程中所有关键短板设备,包括:芯棒自动高速沉积(VAD)设备、外包粉末棒高速沉积(OVD)设备、自动化芯棒精密延伸装备群、自动一体化无氯烧结脱羟系统,以及一批半成品和成品检测设备和系统,包括偏心率测试设备和高精度玻璃外径检测设备,高精度玻璃折射率检测系统。此外,通过这两年的跨行业探索交流和技术积累,已完成适用于光纤预制棒生产的智能物流系统的研发和试验,主要包括:原料气体(SiCl_4 、 GeCl_4 、 H_2 、 O_2 、 N_2 和He等)自动输送和精密蒸发系统、六轴机器人自动装卸棒系统、沉积-烧结车间EMS物流衔接系统、芯棒车间EMS物流衔接系统和基于机器视觉的七轴机器人智能运输&棒料立体升降系统。通过上述智能物流系统的批量化应用,基本实现光纤预制棒生产制造过程中物料和半成品配送过程高度自动化和智能化。总之,预制棒生产、检测、流转装备和装置的高度自主化为建设高度一体化和集成化的智能制造车间奠定了坚实的技术基础,更为车间数据互联互通和大数据管理服务建设提供了必备条件。

3、管理信息化

(1) 数据互联互通

整体采用三网分离中心集中的设计原则,建设三张独立的物理承载网络,以承载不同的业务,业务集中到数据中心(互联互通基础架构如图4所示),面向整个工厂提供业务服务:①厂区基础网络分为安防监控网络(周界安防与视频监控联动和门禁系统);②办公网络(承载厂区有线、无线通信数据及语音等业务,例如,OA、Email、IP电话和会议等业务);③设备专网网络(用于自身生产系统使用),整张网络均采用成熟的IP技术组网,采用二层分层架构设计,通过交换机虚拟化集群技术及防火墙等设备逻辑上实现相互隔离,整张网络通过裸光纤链路互联。

(2) 大数据管理服务平台

大数据基础平台提供120Tb存储空间,各台服务器通过万兆以太网互联,形成多机冗余系统架构,保证平台的可

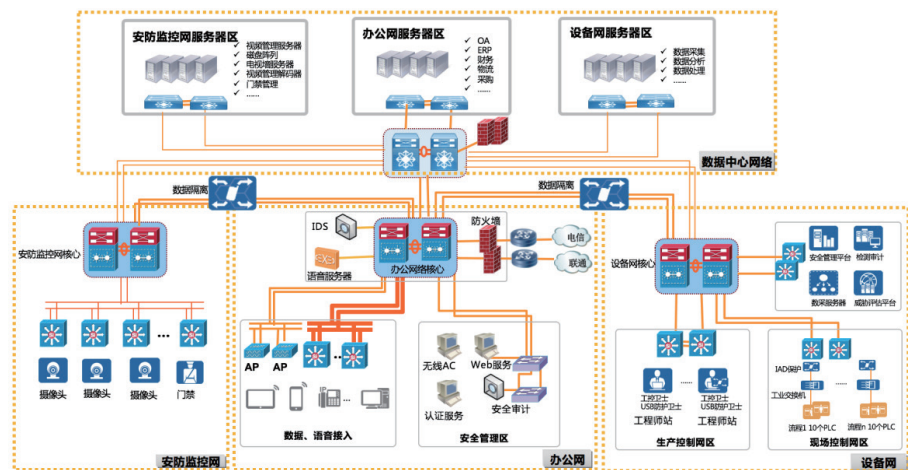


图4 互联互通基础架构



图5 大数据平台架构

靠稳定运行（平台架构如图 5 所示）。平台支持高可用、可存储结构化数据、异构数据、视频和图片等，可对计算资源和内存资源进行统一管理调度，支持基于分布式内存进行大数据分析计算，支持对大数据平台的综合管理。数据平台内部按照业务分类和安全要求划分分区（安防监控服务区、办公服务区和设备专网服务区）。各业务系统的运行、转发和存储等均在各自分区内完成。

（3）异构系统集成

MES（系统架构如图 6 所示）与 SCADA 系统集成：SCADA 监控系统可以实时监测各个生产过程中的流程参数（如环境温度、湿度、沉积腔温度和压力和报警信息等）及设备状态参数（生产、待机和故障等），MES 获取这些基础数据后可以对生产过程中人、机、料、法、环进行有效统计、分析和

超高分大屏幕显示技术、可视化控制技术和系统信息集成技术等，对工厂生产和经营的实时状态进行全局掌控



图 6 MES 系统架构

管理。MES 与 PLM 系统集成：MES 从 PLM 系统中获取设计数据，包括设计图纸、材料和工艺文件等信息，这些信息可以在 MES 系统中浏览查询。

MES 与 ERP、WMS 系统集成：在生产、物流、仓储管理、财务和质量管理等方面通过 ERP/WMS 系统进行管理，MES 系统主要实现光纤预制棒生产过程管理和监控。为了使 MES 信息化系统更好地进行数据共享，减少操作人员的手工录入数据的工作，减少人为失误，需建立完整的生产过程信息互通，在两个系统之间通过接口实现数据传输共享。

（4）中央集控系统建设

中央集控系统主要采用先进

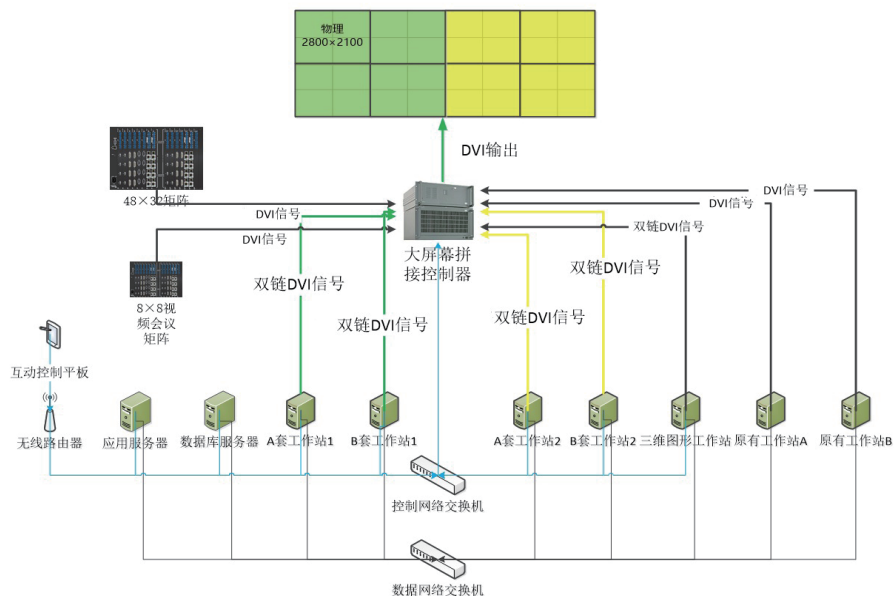


图 7 中央集控可视化框架

(中央集控可视化框架如图 7 所示), 提供一个集展示、监控、分析和决策于一体的可视化功能平台。

4、管控智能化

管控智能化主要涉及设备、质量、物料、能源、生产和绩效等十个方面(均有软件模块对应), 各个方面均可在 PC 客户端、移动终端和现场看板进行视化管理, 实时反应生产情况, 通过可视化界面可快速找到发生异常的部位, 及时作出响应。此外, 可视化监控设计有操作指差确认功能, 可有效避免人员误动作。

(1) 设备管理: 记录设备台账、监视设备状态、建立设备维修计划和维修记录、对设备运行状态进行实时和历史分析并通过数据进行故障智能诊断;

(2) 质量管理: 建立质量标准、判定质量状况、对库存进行复检、分析质量事故、追溯质量问题、将质量信息记录档案、通过质量数据进行质量统计和分析以及在质量问题异常时进行超限预警;

(3) 能源管理: 在线监视能源使用状况、通过能耗分析合理配置能源实现能源平衡、对能源使用进行有效预测、定制能源计划、计算能源成本和管理生产排放;

(4) 车间实绩: 查询作业指令、跟踪生产状况、记录交接班信息、记录生产绩效和统计车间绩效;

(5) 物料管理: 管理库存、管理仓储收发、动态盘点库存、物料跟踪管理、装置投入产出管理和产品收发存;

(6) 工艺管理: 管理生产工艺指标、分析指标执行状况、操作规程分析和图档管理;

(7) 生产计划管理: 编制生产计划、调整生产计划、跟踪生产计划执行情况和优化生产计划;

(8) 生产调度: 监视生产状态、分析生产状态、管理调度指令、优化调度管理和作业指令;

(9) 生产平衡: 平衡预制棒收发、平衡装置投入产出、平衡仓储收发存和平衡测线组收发存;

(10) 分析模块: ①通过将生产过程中的实时数据纳入到系统里, 改变源数据分散并且缺乏统一标准的现状; ②对

实时生产中产生的大数据进行整合利用, 为生产管理提供所需信息; ③加强生产过程监控, 使生产管理工作做到可追溯和可考核; ④对生产过程中装置的运行情况进行实时动态监控与分析, 及时发现并处理问题; ⑤对比生产历史产生的大数据和关键性能指标的变化趋势, 利用智能算法找出生产瓶颈, 提出解决方案, 优化生产, 提高效益; ⑥通过对大数据与物联网等智能制造技术在生产物流环节的集成应用实时调整生产, 达到最优的生产控制状态。

五、建设成效

通过光纤预制棒智能制造车间技术的实施, 可显著提升企业的数字化、自动化、信息化和智能化水平, 提高光纤预制棒生产制造过程质量控制能力, 可使光纤预制棒生产制造全过程端到端得以打通, 降低沟通成本, 减少重复劳动, 提升业务运作效率, 可使生产制造全过程进度信息流和实物流一致, 进度可控, 可有效提升生产效率、设备利用率和产品良率稳定性水平。

通过光纤预制棒智能制造技术应用, 我公司已实现生产效率提高 25.7%, 运营成本降低 24.5%, 产品升级周期缩短 40%, 产品不良品率降低 24.6%, 单位产值能耗降低 12.1%, 项目实施前后的成效指标对比如表 1 所列。

表 1 项目实施前后成效指标对比

项目	项目实施前 (按照 2017 年平均数据)	项目实施后	成效
生产效率	1.52 kg/(人 * 小时)	1.91 kg/(人 * 小时)	提升 25.7%
运营成本	442.28 元 /kg	333.90 元 /kg	降低 24.5%
产品升级周期	200 天	120 天	缩短 40.0%
产品不良率	3.3%	2.55%	降低 24.6%
万元产值综合能耗	0.101 3 吨标准煤 / 万元	0.089 0 吨标准煤 / 万元	降低 12.1%