

电气测控生产车间中人因工程的应用

文/李子硕
西安西电高压开关有限责任公司

以某车间一条PT产品生产线为例，论述新技术对车间生产带来的影响，用人因工程思维对潜在问题进行梳理并提出建议，促进操作者与自动化、智能化的安全高效交互，为同行业类似生产车间的升级改造提供参考。

随着高压电气设备的高速发展，电气测控设备也在不断发展变化，发展中存在的许多问题需要通过交叉学科的思路进行分析。人因工程是近几十年快速发展的一门交叉学科，起源于20世纪40年代第二次世界大战，为保障作战人员人身安全，提高武器使用效率，人因工程研究应运而生，先在欧洲后在美国迅速发展。人因工程的核心是以人为中心，强调人的因素在系统运作中的主导作用。

人因工程在生产车间系统设计中的重要性

为适应快速更新的智能化设备，要求生产人员的操作方式和思维模式不断跟进和快速学习。车间里人、机及环境的改变会带来人机不适应，存在生产安全隐患，导致严重后果，对生产造成经济损失或对操作者造成人身伤害。

随着“工业4.0”的推进，生产系统逐步走向智能化。某企业的电气测控A生产车间构建了制造执行系统（Manufacturing Execution System, MES）、自动化装配产线，实现了生产、试验和检验等多方面的自动化和数字化，智能化程度有很大程度提升。操作者所面对的交互系统不断更新，新交互界面带来新交互方式，需要系统设计者根据人因因素做出相应调整，以适应新系统中人机交互关系。

电气测控A生产车间PT产线情况

A生产车间拥有PT产品、CT产品、LCP配电

网产品和分支母线产品四条现代化生产线，具备中压、高压、特高压交直流测量和控制类产品生产制造能力，生产模式主要为多品种批量生产。

1. 人员模块及场地

以PT产品生产线为例，该生产线生产的PT产品主要是与高压、特高压GIS类产品配合用于测量电流、电压等，各生产工位都具有严格的工艺要求和规范约束，工作内容分配明确。该产线的生产流程比其他产线的长，其中人机交互、人人交互多样且关联紧密。目前该产线实行8 h昼夜两班倒工作制，特殊情况会组织加班。A生产车间PT产品生产线布局如图1所示。

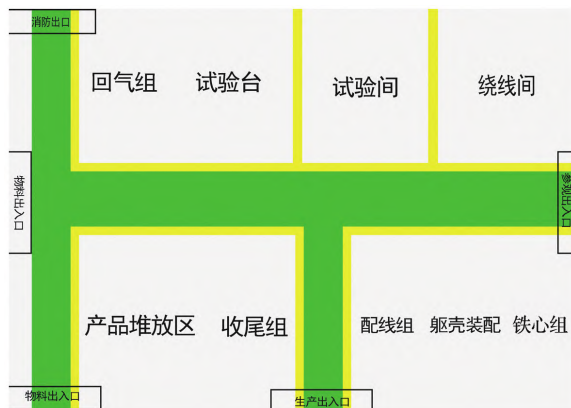


图1 A生产车间PT产品生产线布局

2. 智能化

电气测控产品智能车间建设包含构建面向车间

层面的MES、自动化装配产品线、试验及检验的数字化显示。PT产品生产线配备了MES，通过对生产数据的采集和集成，将生产情况、质量统计和设备状态等数据进行数字化展示，高效指挥生产。从人因角度考虑，该系统以数据采集和系统集成为基础数据核心，以“条码全过程跟踪”为操作核心，整条生产线连通了设计、采购，将之前繁杂的人人交互变为电子化、一体化，规避了人人交互易出错和交流信息差的缺点，使车间管理变得更加高效、透明。PT产品的生产情况展示面板如图2所示，排班、生产计划、生产完成情况及合格率等均能清晰展示。

另外，MES中各种监测面板也在车间各处实现



图2 PT产品生产线的MES系统数据看板

实时反馈和查看直观清晰的功能，例如PT实验台旁的SF₆智能阀组监控系统，如后文例中图3所示，通过对各条线路的数据采集、集成，输出图像和数据双显示类型，监控者可以轻易将面板上显示的状态与现实设备一一对应，知悉每条线路是处于抽真空、回收还是充气状态，做到一旦发现问题就可以及时做出调整。

人因特征分析及优化对策

1. 人因特征提取

PT产品生产车间是一个人-机-环境交互频繁的人机交互复杂系统，具有耦合性强的特点，而“人”在系统中占主导和关键作用。车间的自动化程度、生产作业要求等因素不同，车间内人机系统差异非常大。想要对生产车间中“人”的因素进行具体分析，需通过相关理论，从多角度对系统中各位置上的“人”进行分析。

以PT产品生产线为例，对人因特征进行提取，按生产职责将关键岗位划分为产线长（指挥人员）、装配人员（装配人员可细分为绕线组、铁心组、组装组、接线组、回气组及收尾组）、理货人员和试验人员。调研方式主要为观察、询问以及查阅相关车间规范。PT产线人因特征提取见表1。

表1 PT产线人因特征提取

关键岗位	在系统中主要承担任务	主要人机交互	环境因素
产线长	与设计、计划、采购及试验人员对接，安排本产线的装配任务，在系统中参与任务最多、人人交互最多，紧急决策能力要求高	MES及各类监测系统中的大部分功能	1.办公室/车间各位置，流动性强 2.既是系统中的操作者，又参与系统设计
绕线组	负责在绕线室内操作绕线机绕制电压互感器线圈，任务操作类型相对单一	MES、绕线机、液压搬运车	室内，防尘等级要求最高，车间内独立房间生产，作业空间密闭，空气流通相对于车间较差，长时间受噪声影响
铁心组	负责在线圈上的指定位置按指定顺序插入指定规格及指定数量的铁心	MES、龙门吊车及铁心件	室内
躯壳组装组	负责各类型号产品及试品的装配和解体工作，保证产品对接、气室内部清洁	MES、龙门吊车、叉车酒精纸、各类拆装工具、吸尘器	室内，作业空间受场地限制，要求良好的光线，使用工具最多，作业者作业姿势变动很大
接线组	负责将信号线从设备端子板引入接线盒；按要求布置接线盒中各信号线位置	MES、液压钳、管钳及剥线钳等	室内，不同尺寸的产品要求作业者以不同站姿或坐姿作业
回气组	负责产品的气体检测、抽气、注气等相关作业	MES、气瓶、抽真空泵、气体检测仪等	室内，运输产品受一定位置空间限制
收尾组	负责铭牌、仪表安装及调试	MES、液压搬运车、龙门吊车及气体检测仪等	室内，产品叠放位置受场地限制性比较大
理货人员	负责仓库与车间物料运输，车间装卸车，产品堆放	MES、液压搬运车、龙门吊车、叉车、升降车、托底	作业场地分室内室外和运输方式多变
试验人员	负责试验样机在车间的组装和解体及试验场地试品的装卸	MES、吊车、液压搬运车、升降车、各类拆装工具及抽真空泵等	试验场地多变，存在室内及室外作业，作业环境复杂多变，部分试验场地噪声大

依据表1中信息,车间生产线中各关键岗位在系统中承担的任务环环相扣、关联性强,特别是人机交互复杂的岗位,使用的工具种类非常多样,部分岗位所受的环境因素影响相对较大。

2. 车间人因优化措施

由表1中各重要岗位所显现的问题来看,从人因角度考虑,优化措施主要体现在下述几个方面。

(1) 空间宜人性

车间生产系统中,所采购的生产设备应该与具体车间排布(如通道尺寸、货架高度及产品运输特点)相匹配,与其他物体的相对距离,如占用安全通道时预留距离、产品分区堆叠及货架的高低等都会对生产安全和工作效率造成影响,操作者的人体尺寸、设备间的距离及通道的预留空间都有系列指标约束。设备之间的间距支持操作者完成相关作业的所有动作,满足操作者进行下蹲、弯腰操作、多人操作及维修操作等动作要求。操作距离要求:当仅需要单人操作时,最小安全间距保持在1.25 m;当操作场所需要容纳至少两人同时操作时,为保持互不干涉,最小安全距离至少为2.5 m。在进行采购时,通过调研和测量,系统地思考空间排布问题,合理的动态尺寸分配能有效减少人身伤害,提高工作效率。

对于生产车间中监测或任务展示面板的安放位置,以PT产品生产线实验台配套的SF₆智能阀组监控系统为例,如图3所示。首先应确保相关人员在展板面前能清晰看到所监控的设备,使两者保持空间上的关联。另外,安放位置从视觉方向与设备形成空间相合性,空间相合性是指在一个显示面板上,刺激和反应元素在物理布局方面的对应性。当刺激和反应关系是直接的和非自然的,则为相合的;反之,当其关系是间接的和非自然的,则为不相合的。具体到车间面板,刺激就是人先观测到的面板



图3 PT产线实验台配套的SF₆智能阀组监控系统

上显示的各类数据,反应就是当观察者抬头时,设备的序号顺序和方向能与屏幕上的数据形成对应关系。图3中,显示屏上四条管道顺序和操控台的四相通道一一对应,符合空间相合性。当显示面板与实物的空间相合性好时,可减少操作者的误操作频率,提高操作效率和安全性。

(2) 噪声

噪声在生产车间内是一个长期存在的问题,电气测控产品生产车间噪声的来源较多,如电动工具、吊车、升降车及车床等,并非所有噪声来源都具有周期性,不利于生产者长期作业。可以通过以下两点有效缓解高压开关生产车间噪声对人造成的伤害:一是硬性降噪,从生产设备入手,通过采购、维护以及加装隔音罩的途径直接从噪声源头进行改变;二是改变设备布局,风向对噪声传播具有很大影响作用,可以在车间空间排布中,在兼顾系统其他因素的同时,尽可能将噪声较大的设备或装配区域布置在车间的边界或下风处。

(3) 视觉因素

在车间生产过程中,稳定的光源是保证安全作业的基础。在稳定光源的基础上,应考虑到操作者的视觉巡视特征和观察习惯。目光的巡视特性遵循以下特点:目光巡视具有习惯的方向,在水平方向上从左到右;在铅垂方向上从上到下;旋转巡视时习惯顺时针方向。视线水平方向的运动快于铅垂方向,且不易感到疲劳;对水平方向上尺寸与比例的估测比对铅垂方向上的准确。在设计货架等空间排布时,应根据具体空间及相合性将具有关联的部件及工具排布在同一水平位置或垂直位置,并根据巡视特征进行调整。

结束语

本文以某PT产品生产车间为例,取一整套生产线的主要岗位,从操作者执行的主要任务、主要人机交互以及生产环境方面对人因特征进行提取,总结了主要的人因工程准则,并讨论了在相关人机交互设计中需注意的问题。生产场地的布置、噪声与视觉因素设计是电气测控生产车间人因工程设计和评估的一部分,相关的思想和理念与其他人机交互和工作环境的设计相通。EA