

# 基于 DSP 的工业缝纫机数控改造

侯 伟<sup>1</sup> 员三妮<sup>2</sup>

(1. 陕西工业职业技术学院 电气学院 咸阳 712000; 2. 北京石油化工工程有限公司西安分公司 西安 710075)

**摘 要:** 根据工业缝纫机机械传动部分的自动化程度低、响应速度慢、传动机构间的齿轮精度和同步性差、机械总轴容易出现机械谐振和噪声大等缺点,本文将用 3 台电机独立控制工业平缝机的 3 个运动单元,将其拆分为独立单元。其中单台电机控制系统以 DSP 为控制芯片和相关外围电路构成三闭环直流调速系统(转速环、电流环、位置环)。实验表明该电机控制系统能够取得良好的动态性能和较宽的调速范围,转速误差在 2% 以内,同时系统结构简单,运行可靠,具有较高的使用价值。

**关键词:** 工业缝纫机; 直流无刷电机; DSP 控制

**中图分类号:** TP23      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 510.8040

## Numerical transform of industrial sewing machine based on DSP

Hou Wei<sup>1</sup> Yuan Sanni<sup>2</sup>

(1. Department of Electrical Engineering, Shanxi Polytechnic Institute, Xianyang 712000, China;

2. Beijing Petrochemical Engineering Co., Ltd., Xi'an Subsidiary, Xi'an 710075, China)

**Abstract:** According to the degree of automation of mechanical drive industrial sewing machine parts of the low, slow response speed, transmission mechanism between the gear accuracy and weak synchronization, mechanical shaft is easy to appear the mechanical resonance, noise and so on, this article will use the 3 motor independent control of three motor units, industrial sewing machine. The motor control system with single takes DSP as the control chip and related peripheral circuit composed of three closed loop DC speed control system (speed loop, current loop, position loop). Experimental results show that the motor control system can achieve good dynamic performance and wide speed range, and the system has the advantages of simple structure, speed error within 2%, reliable operation, and has high use value.

**Keywords:** industrial sewing machine; brushless DC motor; DSP control

## 1 引 言

缝制机械行业是我国轻工业的重要行业之一,对国民经济发展起着重要的支撑作用。从发明手摇式缝纫机至今缝纫机已大体经历了机械、电动、电脑 3 个发展阶段。按驱动方式可分为手摇缝纫机、脚踏缝纫机及电动缝纫机。工业平缝机是工业缝纫机的一种,它的制造精度高,材料的选用也较优良,可以长时间工作在高速、较高负载的状况下,在可靠性、缝制质量、使用寿命等方面是普通缝纫机无法相比的。目前,我国的直驱型工业平缝机的刺布、挑线、钩线、送料等执行部件仍沿用原机械机构,只是将电机通过联轴器直接与机头的驱动总轴连接,从而驱动缝纫机整体运作。各传动机构之间同步控制采用的是机械方式,即各个传动机构通过机械结构耦合到总轴上,来实现运动的同步性。

这种传动机构能较好的保持各个机械结构的同步性,然而仍然存在自身的不足。包括自动化程度低,响应速度慢,传动机构间的齿轮长期磨损影响精度和同步性,机械总轴容易出现机械谐振,噪声大等。而直流无刷电机具有体积小、噪音小、精度高,控制系统相对简单等优点。因此,直流无刷电机组成的伺服系统已经受到普遍重视<sup>[1]</sup>,并获得了广泛的应用。

在工业缝纫机从传统的机械类产品向机电一体化产品发展的趋势下,由数字信号处理器 DSP 控制的直流伺服电机控制系统以其高精度,高效率,高可靠性等优点,成为这一领域的研发热点。

本文将 DSP 控制电机技术应用到工业平缝机中<sup>[2]</sup>,以克服其不足之处,为实现工业平缝机的高速、高效、智能化打好基础。

## 2 工业缝纫机数控改造系统总体方案

为了适应缝制行业智能化发展需求,通过对当前直驱型工业平缝机的机械结构研究,将多轴联动技术应用于工业平缝机,以提高缝制行业的生产效率,降低噪音。本课题设计的直驱型工业平缝机的三维机械结构方案如图 1 所示。

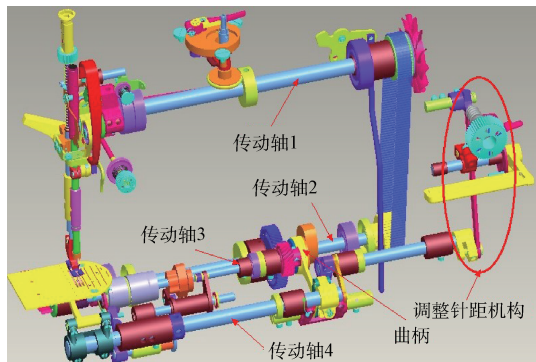


图 1 三维机械结构

电动机驱动传动轴 1,通过皮带将转速 1:1 传递到传动轴 2;传动轴 3 和 4,分别以齿轮和曲柄耦合到传动轴 2 上,实现各个运动单元的协调一致。

采用 3 个电机 1、2 和 3,分别独立驱动传动轴 1、2 和 3,即将工业平缝机分为 3 个独立运动单元如图 2 所示。电机 1 驱动传动轴 1,从而带动针杆的运动机构、电机 2 驱动传动轴 2,完成对送布牙机构的运动控制和电机 3 驱动传动轴 3,实现对穿梭机构的运动控制,通过这种改造以克服工业平缝机自身的不足之处。

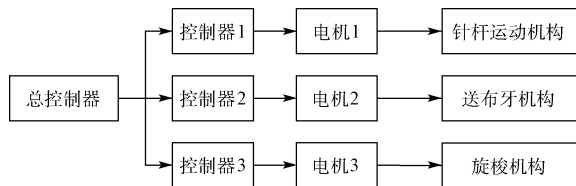


图 2 工业缝纫机控制系统框图

电机选用额定电压为 24 V 直流供电,额定输出功率为 60 W;电机最高转速为 3 000 PRM;电机启动轻柔,加速时间 $<160\text{ ms}$ (0~2 700 PRM);实现无极调速,最低工作速度 100~150 PRM,最高转速在 2 500~2 700 PRM;额定转矩为  $0.63\text{ N}\cdot\text{m}$ ,短时最大功率和转矩为  $1\text{ 000 W}$ ,  $3\text{ N}\cdot\text{m}$ ;电机制动后从高速到停止动作连贯,无滞后的痕迹;电机发生堵转或过载时在 3 s 内进入保护状态。

缝纫机的伺服系统一个包含多个变量、具有强耦合、非线性、大滞后的系统,而其控制系统要求具有较高快速性、稳定性、调速平滑。从其系统稳定性和快速性两方面考虑,希望速度实现快速跟踪。如果单纯采用速度开环控制系

统,当出现扰动或者负载变化时,系统不能及时补偿,影响其性能要求,为了满足系统的稳定性和快速性,系统采用闭环调速。

但是,仅对速度控制达不到系统的精确定位,要提高系统的整体性能,系统转矩的控制是非常重要的,尤其在直驱场合,系统转矩和电流有关,控制好电流的变化就能控制好系统的转矩,所以,在控制系统中加入电流环的控制尤为关键。

电流环在电机的启动时对电流的保护,过程的加速以及电压的波动起着重要作用,当电机稳定后速度环对转速起无静差调节以及抗干扰作用。

综上所述本文将以 DSP 芯片为核心,进行三闭环控制(速度环、位置环、电流环),如图 3 所示,实现伺服电机的控制系统。

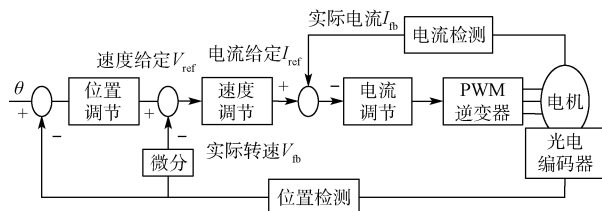


图 3 无刷直流电机控制系统原理

## 3 基于 DSP 的电机控制系统硬件设计

整个电动机控制可由 DSP 控制器来实现<sup>[3]</sup>,各个功能都通过软件编程实现,高性能的 DSP 控制器将使系统可以满足各项指标要求。

工业缝纫机伺服控制系统即是对直流无刷电机的速度控制系统。硬件设计如图 4 所示,采用 TMS32028335 作为系统的 CPU<sup>[4-5]</sup>,功率模块 IR2130 进行功率驱动控制。

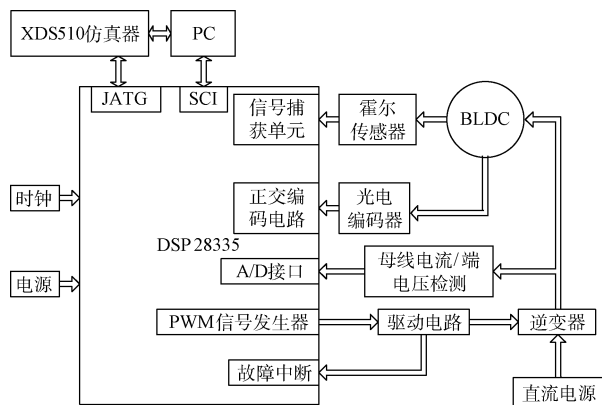


图 4 硬件系统框图

由 DSP 直接产生的 PWM 信号不足以直接驱动电机运行,需要使用驱动器将其转化成可驱动电机的驱动信号。这里选用 IR 公司的 IR2130,此芯片为三相逆变器驱动器

集成电路,适用于变速电机驱动器系列。其特点为:0~600 V集成电路能兼容CMOS输出或LSTTL输出,门极驱动电源10~20 V,内置过电流比较器隔离的高/低端输入,为了减小驱动电路对控制系统的影响,加入了光耦器件TLP2630。

DSP产生6路PWM波形经过光耦隔离后送至芯片IR2130用来驱动6只MOSFET管,功率管按照一定的组合方式进行开关,本文采用三相六拍制单级控制如图5所示,电动机每转一周经过6次换相,换相顺序为:V1+V6、V1+V2、V3+V4、V3+V2、V5+V6、V5+V2。在每相中,电流根据导通的功率管不同,按照不同方向流经电机不同的线圈,由此产生持续的旋转磁势,推动电机的转子转动<sup>[6-7]</sup>。

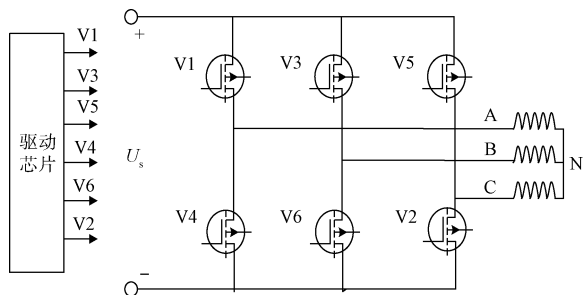


图5 三相全控桥驱动电路

#### 4 速度控制算法

目前测速器件主要有光电编码器、测速发电机、霍尔传感器等。光电编码器以高精度计量圆周光栅为检测元件,通过光电转换成为相应的数字信号,接入控制器,便可实现测量。根据两路的正交脉冲信号可确定转速方向和大小,其中零脉冲信号矫正转编码器产生的脉冲个数,防止积累误差的产生。

本文采用增量式光电编码器(M法)检测电机转速,测量时编码器输出相位差为 $90^\circ$ 的A、B两路脉冲信号,整形后送入DSP的QEPI、QEP2正交编码电路,经译码逻辑单元产生脉冲信号和换向信号,通过测量一定时间内编码器的脉冲个数来获得速度值, $P$ 为码盘的光栅条纹数,在指定的测量时间 $T$ 内,编码器共发出 $M1$ 个脉冲,则电机转速表达式为:

$$n = \frac{60M1}{PT} \quad (1)$$

通过改变DSP输出的PWM的占空比来达到对电机调速的目的,采用增量式PID进行控制。

$P$ 调节提高系统响应速度, $I$ 调节消除稳态误差, $D$ 减小系统超调量,PID增量型控制算式为:

$$\Delta u(k) = K_p \left[ \left( 1 + \frac{T}{T_i} \right) \epsilon(k) - \epsilon(k-1) + T_d \frac{\epsilon(kT) - \epsilon(kT-1)}{T} \right] \quad (2)$$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (3)$$

式中: $u(k)$ 为PID调节增量, $k$ 为时间序列号, $K_p$ 为比例系数, $T_i$ 为积分时间常数, $T_d$ 为微分时间常数, $T$ 为采样周期, $k$ 为偏差信号, $u(k)$ 为PID调节输出信号。

#### 5 控制系统软件设计

根据工业平缝机伺服控制系统的功能要求,以及硬件电路的设计,软件系统需要完成以下功能<sup>[8]</sup>:

- 伺服电机PWM控制<sup>[9]</sup>;
- 位置、速度、电流闭环控制;
- 缝纫机的快速启停,制动;
- 外部数字、模拟信号采集及滤波处理;
- 软件保护。

因此本系统软件根据功能要求主要包括以下几个模块:

1) 系统初始化模块如图6所示,主要完成TMS320LF28335芯片事件管理器的初始化、状态寄存器的设置、中断的设置和变量的初始化等。

2) 电机的调速模块:结合一定的控制算法<sup>[10]</sup>,调节电机转速,由软件定时器中断实现,对霍尔器件进行周期性的采样,并实时测量出电机的实时转速。

3) 制动模块:根据需求,实现不同速度下的制动停止。

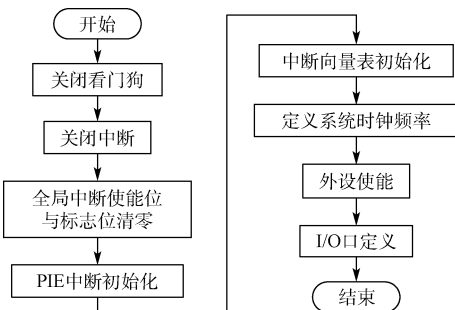


图6 系统初始化子程序流程

以上各模块通过控制主程序联系起来,进入主程序后实际上相当于进入一个查询操作的循环过程如图7所示。

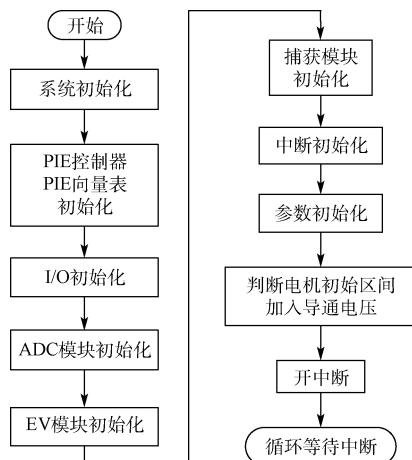


图7 控制主程序流程

主要实现系统初始化以及电机启动,之后循环调用中断服务子程序如图 8 所示。系统初始化完成后,程序不断地查询电机转子位置信号,根据读入的 CAP 单元来到导通相应的开关管,同时不断地根据 A/D 采样相电流进行电流调节,并通过定时器中断进行电机速度调节<sup>[11]</sup>。

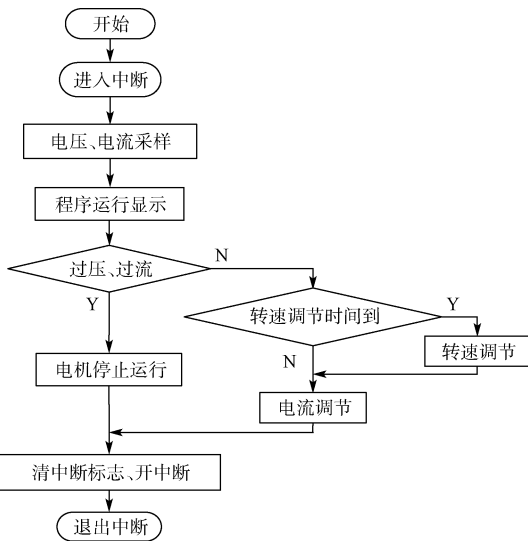


图 8 中断子程序流程

6 系统调试与结果分析

开环条件下,在 CCS3.3 软件中加载软件如图 9 所示。

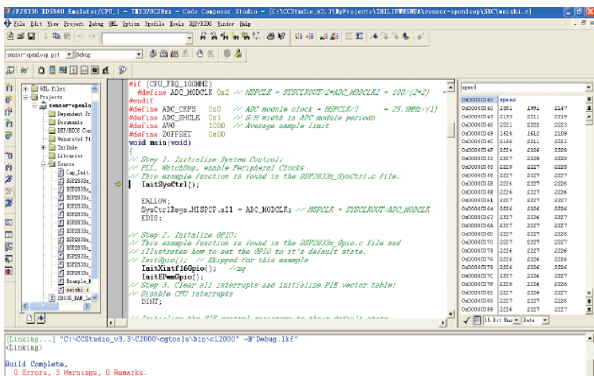


图 9 CCS 程序加载图

电机初始设定值 1 000 rad/min,利用 LabVIEW 观察到波形如图 10 所示。

峰值电压为 3.24 V,占空比为 38%。当设定初始值为 2 000 rpm,利用示波器观察如图 11 所示。

当电机初始速度设置为 2 000 时峰值电压为 3.28 V,占空比变为 52%。

A 相绕组的端电压如图 12 所示。

图中每一小格代表 5 V,由图可看出端电压幅值为 24 V。图中端电压波形中出现的波动是由于换相时 A 相绕

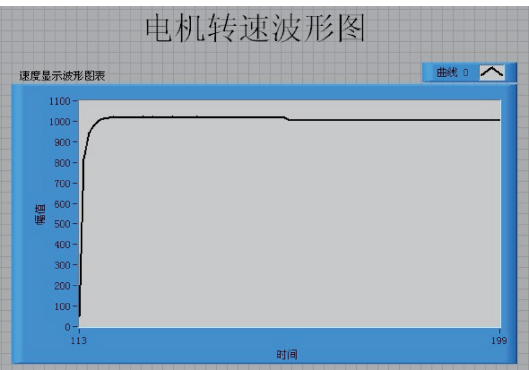


图 10 PWM1 波形图(占空比 38%)

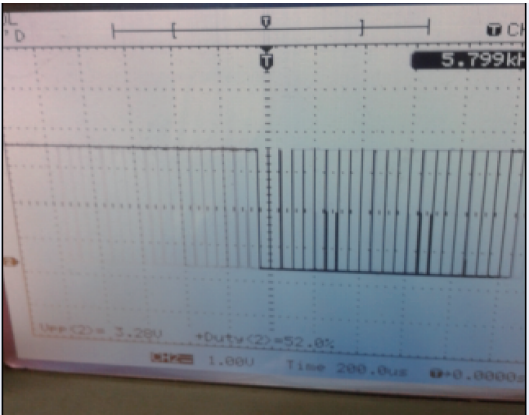


图 11 PWM1 波形图(占空比 52%)

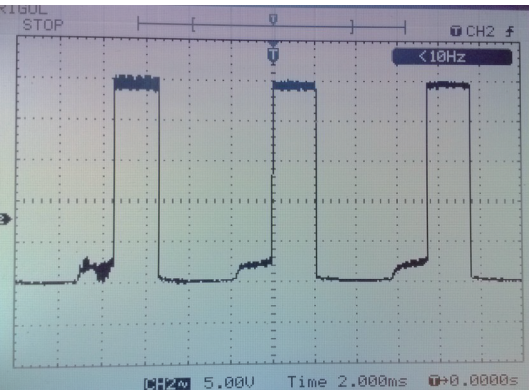


图 12 A 相绕组的端电压

组突然关断造成电压的畸变造成的。

在 CCS3.3 软件中设定初始转速,连接好硬件电路,进行上电,将程序下载到 DSP 中,运行后电机跟随初始设定值进行转动,采用脉宽调制方式对电机的转速和转向进行控制,分两次设置不同的速度给定值,利用示波器对 PWM 波形检测如图 10 与 11 所示,当速度设定值改变时 PWM 的占空比随之变化,电机转速随不同的占空比进行变化。

## 7 结 论

为了验证和分析控制系统的性能,采用了一台骊山公司生产的直流无刷电机(24 V、50 W)进行试验。结果表明TMS320F28335 能够实现对无刷直流电机的控制,利用方波和PWM进行驱动能够取得良好的控制精度、动态性能和较宽的调速范围,实现实时控制,同时系统结构简单,运行可靠,具有较高的使用价值。

工业缝纫机伺服系统是一个多变量、非线性、强耦合的研究对象,后续随着PID的加入,以及闭环的控制,能够取得较好的效果。

## 参考文献

- [1] 夏长亮. 无刷直流电机控制系统[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [2] 徐欧华. 基于DSP的无刷直流电机控制系统研究及在工业缝纫机中的应用设计[D]. 长沙:国防科技大学,2007.
- [3] 褚仁林. 基于DSP的电机控制系统的研究[D]. 西安:西北工业大学,2007.
- [4] 卢慧芬,林斌. DSP电机控制综合实验平台研制[J]. 浙江大学学报,2014(10): 97-102.
- [5] MOHAN B M, SINHA A. Analytical structure and

stability annlysis of a fuzzy PID controller [J]. Appiled Soft Computing, 2008: 74-103.

- [6] 陈春明,谢跃雷,晋良念. 一种基于DSP的电机控制系统的设计[J]. 桂林电子学院学报, 2002, 22(2): 19-21.
- [7] 唐一萌,唐永哲,王明亮. 基于DSP的工业缝纫机电机控制系统[J]. 国外电子测量技术, 2015,30(2): 135-140.
- [8] 舒志兵,李明,李俊,等. 闭环伺服系统的稳态性能分析[J]. 南京工业大学学报, 2002, 24(4):83-86.
- [9] 杨晨娜,张怡. 双电机同步控制系统的设计与仿真[J]. 工业控制计算机, 2009,22(1):36-37.
- [10] 喻鹏,齐蓉. 多无刷直流电动机偏差耦合同步控制[J]. 微特电机, 2008,36(4):42-45.
- [11] 刘洋,张斌. 基于DSP的永磁同步电动机控制系统设计 [J]. 电子测量技术, 2015,39(1):88-92.

## 作者简介

侯伟, 1985年出生,助教,硕士,主要从事电气自动化系统控制应用研究及智能仪表等相关专业教学方面的研究。

E-mail:26813951@qq.com

# 拥抱“芯”变化,助力“芯”增长

## 是德科技布局中国半导体市场

2016年10月25日,北京——是德科技公司(NYSE: KEYS)在北京召开新闻发布会,披露了是德科技在中国本地半导体市场的战略和布局。

随着2014年下半年国家半导体大基金成立,着力扶持国内半导体产业,一大批优秀的企业也开始进入了发展的快车道,而在这些企业不断发展并在技术上突破创新的道路上,都可以看到是德科技的身影。

自惠普年代起,是德科技一直在中国市场深耕细织,与企业、高校、政府及研究所竭诚合作,互利共赢,也亲眼见证并参与了中国半导体产业的发展。作为世界测试测量行业的领军企业,是德科技提供覆盖全产业链的测试测量方案,从模型建立、参数提取到设计仿真、性能测试,是德科技为全世界大部分IC设计公司、IDM和晶圆厂提供最优势的测试测量方案,全方位表征芯片的性能。

是德科技在半导体领域的突出优势,不仅在于它拥有的极丰富的测试仪器产品线,更为重要的是,高端测量仪器的核心芯片全部由是德科技自有的高频芯片中心完成,从设计、制造、封装到测试,全部在是德科技内部完成。200 GHz量产磷化铟产线及在研的500 GHz产线,也被认为是世界顶级的微波半导体工艺,在此产线上,诞生了应用于高端示波器内部的20 GS/s采样率的ADC、应用于高端频谱仪的110 GHz的射频前端芯片、支撑起器件测试之王PNA-X的303块MMIC。这样杰出的IC工艺、设计

及测试经验,同时又将高端芯片应用于高端测试测量设备、在客户端提供广泛的测试方案,使得是德科技在半导体领域积累了无可匹敌的专业经验。

在我国半导体行业蓬勃发展之际,除技术突破之外,人才缺口逐渐成为一大限制性因素,在半导体高端制造、设计、测试等领域专业型人才的紧缺逐渐显露,因此全国各大高校、地方性产业基地及相关主管单位、合作单位,肩负起人才培养的主力任务,逐渐加大微电子专业学生和工程师的培养力度。作为具有社会责任感的企业公民,是德科技也积极参与到此项长远利好于半导体产业发展的事业之中,推出了“是德科技精英大学伙伴计划”,开展了向诸如清华大学等国内顶尖大学捐赠EDA软件、合作共建实验室、共同开课、赞助学术活动等一系列商务及公益活动。

合作龙头企业,引领先进技术;紧跟政府发力方向,助力本土企业升级转型;协同一流大学,培养高端微电子人才。这一战略自布局实施以来,不仅促进了是德科技与本土IC企业的深度合作,更加速了更多技术方案及新产品的推出,实现了助力客户技术突破的目标,赢得了本土半导体客户的认可和尊重。是德科技将进一步推动并深化这一战略方向,在中国半导体产业进一步走向理性健康发展之际,伴随本土客户共同成长,共同突破,拥抱变化,共享未来!