

# **成都工贸职业技术学院**

## **工业机器人虚拟仿真实训中心 建设方案**

**电气工程与自动化系**

**2017年10月11日**

# 目录

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| 一、建设背景.....             | 1          |
| (一) 工业机器人产业发展现状.....    | 1          |
| (二) 工业机器人产业发展政策解析.....  | 2          |
| (三) 四川省工业机器人人才培养概述..... | 2          |
| 二、工业机器人技术专业现状及需求分析..... | 4          |
| (一) 工业机器人技术专业现状.....    | 4          |
| (二) 需求分析.....           | 7          |
| 三、建设规划.....             | 错误! 未定义书签。 |
| (一) 虚拟仿真实训中心建设意义.....   | 8          |
| (二) 虚拟仿真实训中心建设目标.....   | 8          |
| (三) 虚拟仿真实训中心建设规划.....   | 错误! 未定义书签。 |
| (四) 方案总体框架.....         | 9          |
| 四、建设内容.....             | 错误! 未定义书签。 |
| (一) 三维设计.....           | 11         |
| (二) 仿真分析.....           | 15         |
| (三) 工艺设计.....           | 18         |
| (四) 工业机器人仿真.....        | 22         |
| (五) 数字化制造.....          | 28         |
| (六) 工业机器人装调修实训平台.....   | 30         |
| 五、项目预算.....             | 48         |



## 一、建设背景

### (一) 工业机器人产业发展现状

2013年，中国以3.7万台工业机器人的销量，超过日本成为全球第一大工业机器人市场。根据高工机器人产业研究所统计，之后，国内工业机器人销量继续高速增长，增速超过30%。截至2015年，中国机器人相关企业数量达近500家。四川目前约有机器人企业10余家，与沿海地区等地相比，四川机器人产业起步晚、规模小，可依托在机械和电子工业方面拥有的较强实力，重点发展机器人集成和应用方向。

2015年1月28日，四川省机器人产业联盟在成都正式成立，标志着工业机器人在四川的发展进入了快车道。

#### 1. 制定发展规划，产业取得初步成效

2015年10月，四川省政府公布《中国制造2025四川行动计划》中，明确四川将力争2025年机器人产业增加值达到100亿元。《行动计划》指出，四川将努力突破关键零部件及系统集成设计制造等技术瓶颈，重点围绕汽车、电子、国防军工、食品饮料等领域需求，开发工业机器人、特种机器人及生产加工成套设备。工业机器人产业发展也将助推中国制造2025落地四川，通过关键岗位“机器换人”改造计划，加大生产设备和生产线的数字化、自动化改造力度，提升研发设计环节的数字化、智能化改造水平。

#### 2. 推进企业示范应用，带动产业快速发展

四川现有工业机器人系统集成类企业10余家，包括埃森普特科技股份有限公司、成焊宝玛焊接装备工程有限公司、成都焊研威达科技股份有限公司等在全国享誉较高知名度的企业，工业机器人应用企业也如雨后春笋般快速成长，如位于成都的富士康的百万机器人计划，龙泉汽车产业中众多使用机器人的企业等。

#### 3. 加大资金支持，满足人才需求

近四年来，为推动产业有序发展，省、市两级财政资金都设立了战略性新兴产业（工业机器人专项）支持资金，将工业机器人作为专项资金支持的重点产业。

职业教育方面也加大了教育方面的投入，省内职业教育学校在开始建设或打算开始建设机器人应用专业，实现人才输送，为工业机器人行业的发展助力。

## （二）工业机器人产业发展政策解析

近年来国家已经出台了一系列的相关政策对高端智能产品、高新技术企业、先进装备制造业等进行扶持，从产品、企业和行业三个层面来鼓励工业机器人及其相关行业发展。从影响我国工业机器人发展因素来看，国内的工业机器人产业政策配套不完善、各政策间衔接不够紧密，导致企业的业务发展及扩张在一定程度上面临阻碍，行业的发展速度也因而受到抑制。《中国制造 2025》规划了机器人长远发展目标，因此很好解决行业政策推广的不连续性，机器人产业有望获政策长期利好。

## （三）四川省工业机器人人才培养概述

### 1. 产业人才需求

未来五年，工业机器人行业人才缺乏预测：

按照工信部的发展规划，到 2020 年，60 万工业机器人应用相关从业人员。以重庆为例——据保守计算，2014 年在机器人领域的专业人才缺口就超过 5000 人，工业机器人产业工人的缺口则高达 7 万。正如某知名机器人运营商董事长凌琳坦言：“在中国推行工业机器人技术，遇到的最大瓶颈不是谁买，而是谁会用。”

目前四川初步形成了以汽车制造、食品医药、轨道交通、重型装备以及军工为龙头的几大产业群，要实现这些产业又好又快的发展，工业机器人的应用有着不可替代的作用，例如：

点焊、弧焊机器人，搬运、喷涂机器人等广泛应用于整车工厂及其配套工厂中；而食品医药行业的包装产线工人也将被或正在被包装、搬运和码垛机器人所取代；在重装领域，弧焊机器人，打磨机器人以及搬运机器人也在逐步的替代原产线的焊工、打磨等传统工种；在军工行业，尤其是危险环境、辐射环境的作业，工业机器人更是有着得天独厚的应用优势。

伴随着这些行业的蓬勃发展，其工业机器人的使用量也会出现井喷现象，由此带来的工业机器人应用型人才的需求也将变得异常强劲。

### 2. 我国职业教育现状

职业教育是面向现代科学技术、生产方式和人的全面发展，重点培养生产、管理、服务一线技术技能人才的教育类型。高等职业教育作为以适应社会需要为

目标、以培养技术应用能力为主线设计学生的知识、能力、素质结构和培养方案，毕业生应具有基础理论知识适度、技术应用能力强、知识面较宽、素质高等特点的职业教育模式，其正由传统的学院式教育模式向就业导向模式转变，并且呈现出以下发展趋势：

- 在培养目标上，正从“偏重文化技术和理论知识”转向“重视就业技能和发展能力”。
- 在学习制度上，正从“学校是核心，全日制教学是主体”转向“学校与企业合作，实施弹性学制，职前与职后相结合”。
- 在教学内容上，正从“校内课程为主，重视学科性”转向“重视专业领域建设，注重校内学习与工作经验的一致性，就业导向重于书本知识”；
- 在证书制度上，正从单一的“学历证书”转向学历与职业资格的“1+N”证书制度。
- 在教学评估上，正从“重知识考试，重学科标准”转向“重就业能力，重社会评价”，注重校内评价与社会评价的一致性。
- 在学习方法上，正从“教室、图书馆和实验室是主要学习地点，书本学习是基础”转向“教室与实习地点的一体化设计，注重工学结合，就业是促进学习的重要动力”。
- 在学习过程上，正从“系统地学习经过组织的主题材料，为进一步学习打基础”转向“满足经济界和学生生涯发展的双重需要，为提高就业技能打基础，重视能力培养。

因此，从中国制造到中国创造任重道远，规模居世界第一的中国职业教育理应支撑起本土自主产业的强劲发展；职业教育急需改革，职业教育的理念要提升，人才培养模式要创新，教学内容体系要更新，教学方式和手段要改革。

## 二、工业机器人技术专业现状及需求分析

### (一) 工业机器人技术专业现状

#### 1. 发展历程

我校是国内较早开设工业机器人技术专业的职业院校之一。

2009 年，我校第一台电弧焊机器人投入使用。

2013 年，开设机器人应用与维护专业。

2014 年，在教学中开展使用 ABB 公司的 RobotStudio 工业机器人仿真软件。

2015 年，成都工贸职业技术学院成立。

2016 年，开设工业机器人技术专业，并建成工业机器人实训中心。

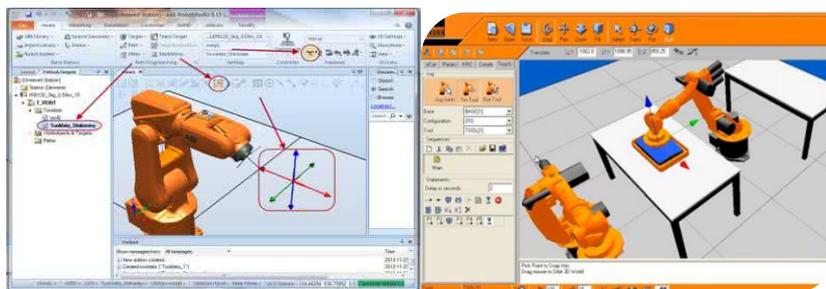
2017 年，工业机器人虚拟仿真实训中心成立。

#### 2. 教学与实训条件

目前我校工业机器人实训中心已具备较为先进的软硬件实训环境，其中包括：

##### ✓ 虚拟仿真计算机机房

拥有 41 台计算机，包括 ABB RobotStudio 仿真软件、KUKA SimPro 仿真软件。



##### ✓ KUKA KR5 ARC 工业机器人

拥有 KUKA KR5 ARC 工业机器人 10 套，用于机器人基础操作、轨迹控制与编程实训。



✓ **KUKA KR5 ARC (TIG、MIG) 工业机器人**

拥有 KUKA KR5 ARC 工业机器人 2 套（MIG、TIG 各一套），用于工业机器人焊接系统操作实训。



✓ **KUKA KR210 工业机器人**

KUKA KR210 工业机器人 1 套，用于搬运、码垛应用实训。



实训中心分为两大功能区：

### 基础实训功能区

- 认识KUKA工业机器人及其系统
- 工业机器人安全操作规范
- 认识KUKA控制面板操作控制原件
- 工业机器人基本操作
- 工业机器人零点标定
- 工业机器人坐标系系统
- 工业机器人工具校正
- 工业机器人基座坐标系设定
- 工业机器人运动编程
- 工业机器人逻辑编程
- 工业机器人外部系统校准与编程
- 工业机器人基本保养维护

### 搬运码垛功能区

- 工业机器人安全操作规范
- 工业机器人零点标定
- 工业机器人工具校正
- 工业机器人运动编程
- 工业机器人逻辑编程
- 工业机器人外部系统校准与编程
- 工业机器人软件包使用
- 工业机器人搬运码垛系统应用
- 工业机器人基本保养维护

图：实训中心功能区

✓ **西门子先进自动化联合示范实训中心**

成都技师学院联合西门子（中国）成立了西门子先进自动化联合示范实训中心，为学校的自动化专业教学实训提供了良好的物质条件。

西门子先进自动化联合示范实训中心主要由标准变频实训功能区、先进自动化实训功能区、过程控制实训功能区、机电一体化实训功能区组成。



实训设备涵盖了自动化控制领域的前沿技术，能为自动化及工科类学生的教学和实训提供良好的实训场所，为学生进入社会后适应现代化工厂环境打下坚实的基础。



展厅



标准变频实训功能区



过程控制实训功能区



机电一体化实训功能区

## （二）需求分析

高等职业教育与现代制造企业的无缝对接是高等职业教育面临的一大难题，由于现代制造技术中的“制造”是涉及产品整个生命周期，但目前众多高职制造类课程设置不符合现代制造中的“大制造”的概念，割裂了学生对整个制造环节的整体认识，造成现代企业需求与职业教育培养的人才存在较大差距。随着高等职业教育的大众化和现代装备制造的自动化与智能化，如果搭建一个真实的实体平台来开展实验教学必然存在如下问题：

- 投资巨大、场地有限，人均台套数难以保证；
- 工业机器人品牌众多，无法购买所有主流品牌工业机器人进行实训；
- 真实实训存在安全隐患，未经仿真验证的程序直接上传到工业机器人，有碰撞的风险；
- 某些机器人应用（如：打磨、喷涂）对工作环境要求很高，需要搭建专用工作单元，投资巨大，且生产过程中会产生有毒有害污染；
- 工业机器人某些精密部件（如：伺服电机、减速机），无法实现循环拆装，实训项目不可逆；
- 工业机器人的应用主要依托于生产制造，如果无法全方位的从产品设计、分析、工艺、加工、自动控制等层面感知产品生产制造的全过程，工业机器人应用会与实际生产制造脱节；

### 三、建设规划

## （一）虚拟仿真实训中心建设意义

通过虚拟仿真实训中心的建立和共享平台的搭建,实现教学培训、科研支持、技能竞赛、实践模式、机器人技能评价五大功能的创新,可满足日常教学、科普教育、社会服务、创新创业、竞赛集训、生产性实训等多渠道的教学应用,实现中心辐射校内分中心和校外“校企园所”多方先进资源共享,提升高职院校学生创新精神和实践能力,提升实践教学信息化和资源开放共享水平,同时,可为四川省及周边省市的机器人技术发展提供科普培训平台,为区域的经济发展做出贡献。

## （二）虚拟仿真实训中心建设目标

通过虚拟仿真实训中心建设,搭建三维设计虚拟仿真实验平台、工艺设计虚拟仿真实验平台、仿真分析实验平台、数字化制造虚拟仿真实验平台、半实物虚拟仿真实验平台、工业机器人虚拟仿真实验平台、自动化生产线虚拟仿真实验平台等仿真实训平台,推进我系一体化教学改革,创新教学模式,适应我国现代制造业转型升级发展需要,对接现代高端企业技术应用型人才需求,实现教学数字化、实训虚拟化,从而真正达到理实一体化教学的目的。

### 虚拟仿真实训中心建设要求:

- **仿真性:** 提供现场应用设备,构建虚拟环境,加强学生的工程感知。通过虚拟制造与物理制造相结合,实现沉浸式岗位体验和技能训练。
- **通用性:** 可进行同业多岗位角色体验与技能训练,培养学生多专业职业技能和多岗位操作能力。
- **先进性:** 使学生在掌握本专业的基本技能的同时,了解行业前瞻性技术的应用。
- **公用性:** 不仅服务于本校,同时又能面向社会承担培训和技能鉴定任务,起到较好的社会效应与经济效益。
- **开放性:** 不仅用于学生实训,也可作为教师科研应用的平台。
- **实用性:** 通过实训考核项目,培养学生职业技能和岗位能力,为后续就业实现“零距离”上岗。

### （三）虚拟仿真实训中心建设规划

虚拟仿真实训中心建设以电气工程与自动化系为主，同时覆盖机械工程系、交通与物流系、信息工程系的部分专业需要，业务需求明确，建议按照“顶层设计、分步实施”的建设模式实施。该模式的特点体现在：

#### ➤ 总体规划布局

以虚拟仿真为主线，根据教学实训及科研活动的需要，建立整体的支撑平台，服务对象包括学校师生及校企合作企业。

#### ➤ 追求最佳的系统组合

虚拟仿真实训中心建设涉及不同厂商的软硬件产品，在规划阶段确立完善的方案，有助于系统集成的实施，保证最终方案的效果。

#### ➤ 以平台化方式分步骤建设

基于完善基础的原则，首先构建实验环境所需数字化样机，在构建过程中完成师资队伍的提高，为中心建设打下良好的人才基础，然后利用数字化样机开发不同类型实验。

### （四）方案总体框架

工业机器人应用绝不是仅仅局限于掌握对工业机器人的操作，它是以生产制造为目标，工业产品为载体，智能控制为主线，工业机器人及生产设备为辅助的综合技能。以产品为中心，生产制造为导向，开展多专业、多学科协同的综合实验，能让学生充分的参与产品从原理、设计、制造到运维的整个产品生命周期过程，进一步提高学生综合素质。

工业机器人虚拟仿真实训中心的核心是用于执行各类虚拟仿真训练所需的数据，本方案以构建统一知识数据管理系统为基础，首先搭建用于存放及管理知识数据的统一共享平台，即虚拟仿真实训中心教学实训平台。在此基础上，实现虚拟设计、半实物仿真、工艺设计、工业机器人仿真、数字化制造的具体应用，总体构架如下：



## 四、建设内容

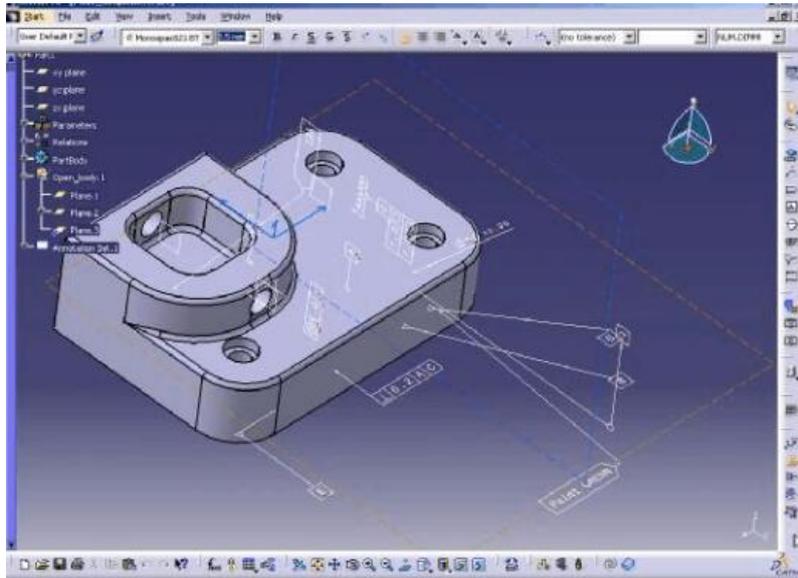
为实现学院的建设规划和建设目标,成都工贸职业技术学院全力搭建软件仿真、半实物仿真和虚拟实训三大虚拟仿真实训平台为核心的工业机器人虚拟仿真实训中心,以通过三大实训平台实现中心辐射校内分中心和校外“校企园所”多方先进资源共享,提升高职院校学生创新精神和实践能力,提升实践教学信息化和资源开放共享水平。

### (一) 三维设计

机器人软件仿真平台为机器人专业教学活动的物质基础,主要利用 CATIA 三维设计软件进行产品造型设计,掌握最基础的产品设计能力。同时,掌握工业机器人机械部分的运行原理。

#### 1. 典型零部件设计

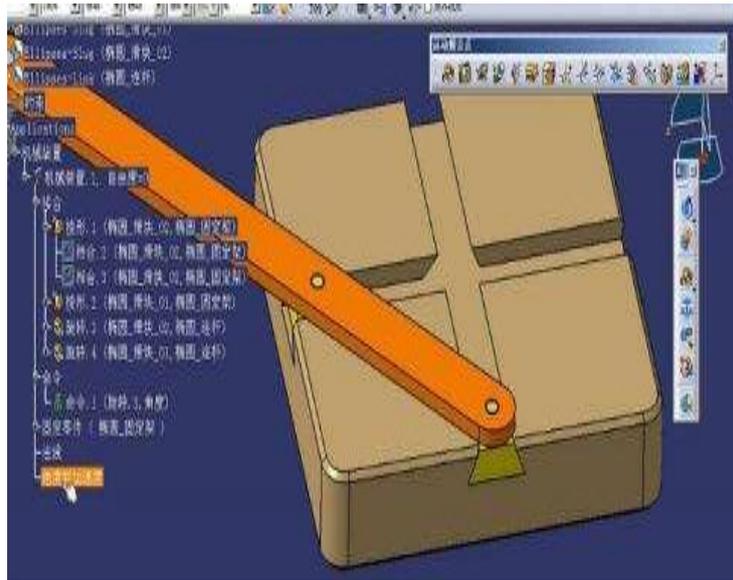
通过 CATIA 软件建立组合体三维模型,并通过旋转、视图投影、标注等表达方式,了解组合体内外结构,熟悉组合体工程图学上的表达方法。



图：三维标注

#### 2. 传动机构的原理与设计

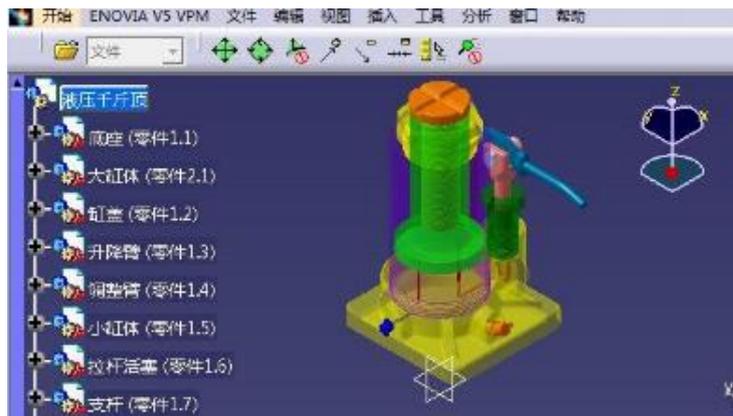
在三维环境下,熟悉并了解平面机构的运动简图和自由度、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇运动机械、螺纹联接与螺旋传动、齿轮传动、蜗杆传动、带传动、链传动、联轴器、离合器和制动器等机构的原理。掌握此类机构的拆装技能。



图：运动机构原理展示

### 3. 液压与气动装置原理与设计

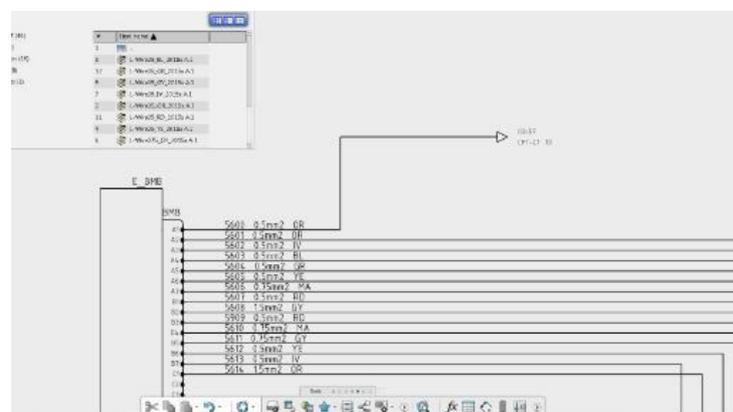
建立液压与气动装置三维模型，了解其运行机构及工作原理。



图：液压机构原理展示

### 4. 电气原理图设计

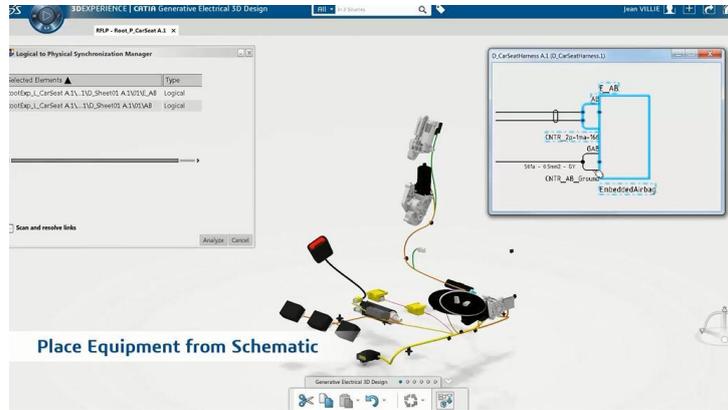
掌握电气原理图的设计和绘制能力。



图：电气原理图

## 5. 线束与电缆设计

在三维环境下对线束与电缆的走向、直径、平展进行设计，了解线束电缆的制造与安装。



图：汽车电动座椅线束与电缆

## 6. 工业机器人抓手设计

给定夹持对象要求，设计所需机械臂抓手



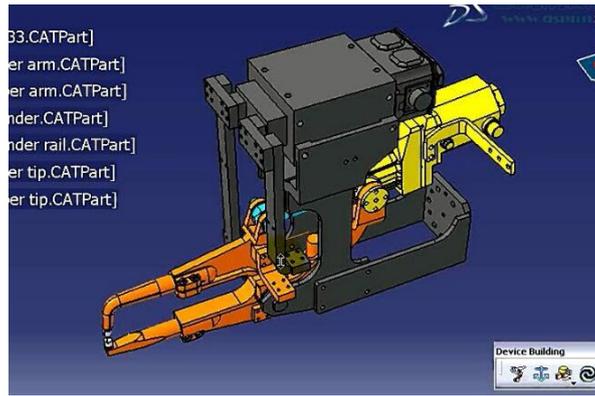
图：搬运机器人抓手设计

## 7. 工业机器人焊枪支架设计

根据焊枪类型及加工对象所需焊接工艺，设计焊枪支架。



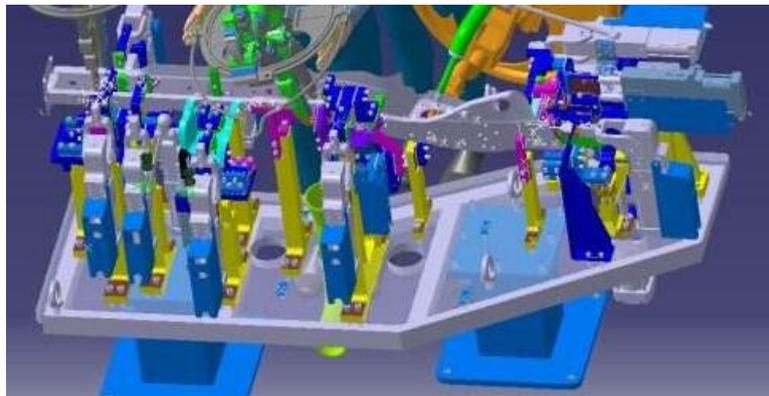
图：弧焊焊枪



图：点焊焊枪

## 8. 工业机器人工装夹具设计

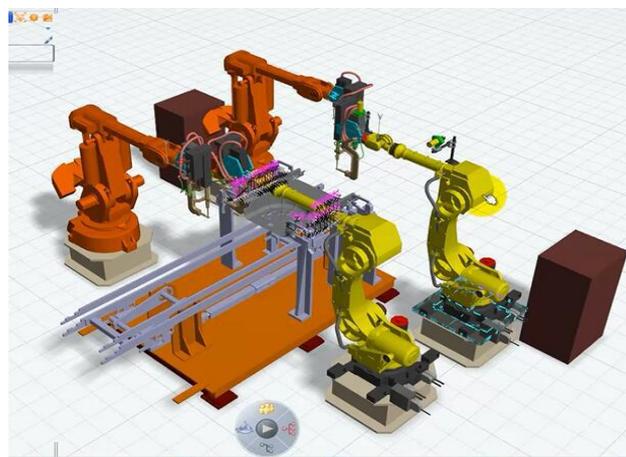
给定加工对象，结合加工工艺与加工设备，在三维环境中设计并验证工业机器人工作站所需工装夹具。



图：工业机器人工装夹具

## 9. 工业机器人工作站规划设计

结合生产加工对象所需工艺要求，设计工业机器人工作站。

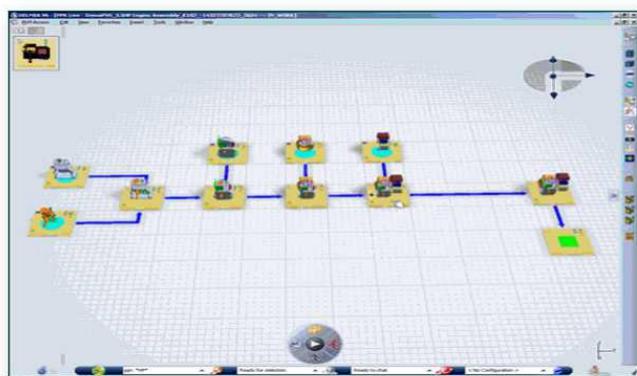


图：机器人工作站

## 10. 生产线规划设计

结合生产对象的生产工艺、生产节拍、安全规范、安全标准、联网控制等因素，综合考虑自动化生产线的整体规划布局。整体规划布局是自动化生产线制造过程仿真的基础，后期可在此基础上添加生产设备，定义设备行为，围绕生产对象进行虚拟生产制造。

3DEXPERIENCE 平台允许定义和模拟资源及生产物流，进行工厂布局。可定义和验证一个工位、一条生产线或一个完整工厂的行为，评估和调整生产系统的性能，进行可行性和性能研究。可以在工艺规划的早期确定瓶颈，并通过备用路线最大化生产率，可以通过精确的 3D 模拟优化资源定位。

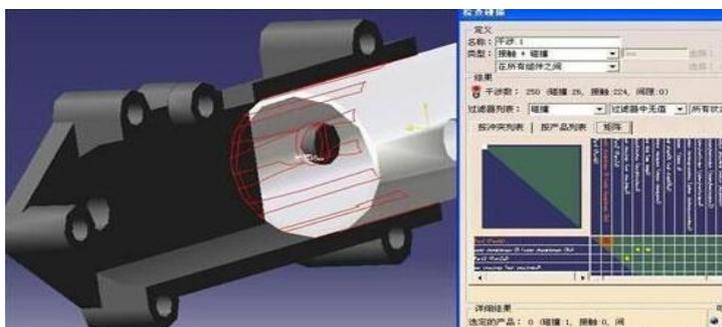


图：生产线布局规划设计

## （二）仿真分析

### 1. 机构分析

用于对机械机构的干涉检查，确保三维模型满足设计要求。



图：装配体干涉检查

### 2. 静力学分析

用于分析检查机械机构的静态受力情况。可用于对机器人抓手、工装夹具的

受力分析。

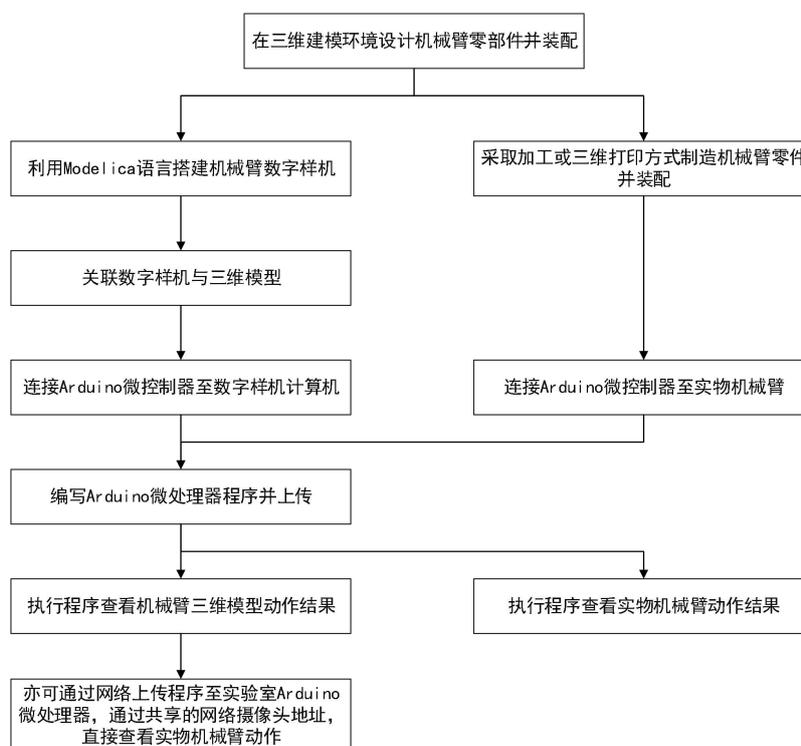


图：静力学分析

### 3. 机电系统仿真

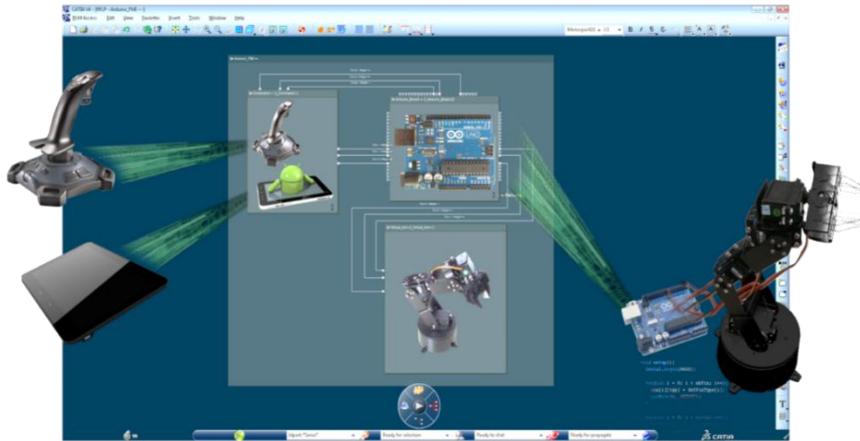
工业机器人是机电自动控制高度集成的工业产品，要系统的了解它的工作原理与控制理论，需要多学科的知识与仿真实验手段。机电系统仿真实验是在半实物的环境下开展，采用“硬件在环”的方式，以达到虚拟场景与实物相互驱动的实验目的。可结合学校现有硬件实训设施开展，也可根据教学大纲要求，进行机电类、自动化类创新实验。以下为该类实验示例：

1) 结合三维设计模块，在虚拟环境设计机器人零部件并装配，实物采用加工或三维打印方式制造并组装。



图：机器人半实物仿真实验流程

2) 利用 Modelica 语言搭建机器人数字样机，并关联机器人三维模型，连接 Arduino 控制器；



图：机械臂控制逻辑图

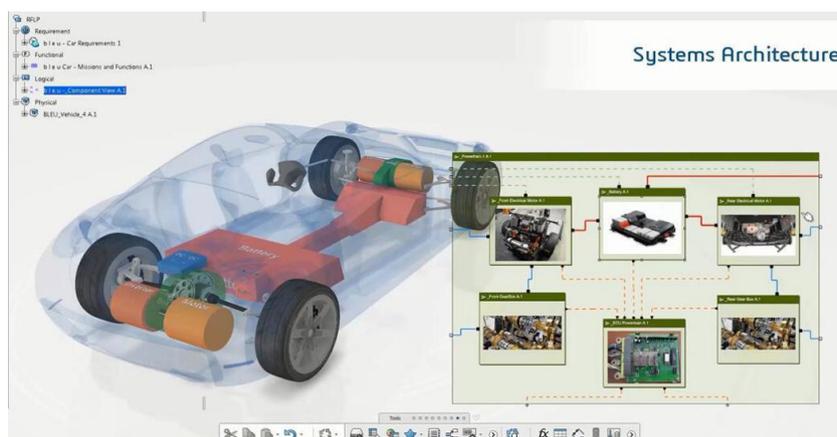
3) 通过为 Arduino 微控制器编制伺服电机控制程序控制机器人动作，完成抓取、移动等动作的实验。



图：机械臂自动控制实验

#### 4. 多学科仿真

工业产品及其生产设备不仅仅是机械电气机构，它会涉及到多学科的知识，如：机械、电子、电气、液压、气动等。在半实物场景下开展以上综合实验，可以节省大量设备购置资金、缩短实验准备时间、让实物环境下不可能的实验变为可能。

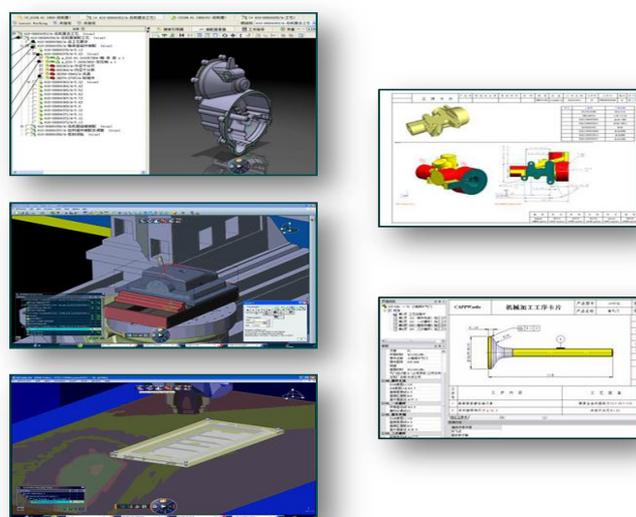


图：新能源汽车动力总成逻辑图

### (三) 工艺设计

#### 1. 三维工艺编制

学生以设计完成的三维模型为基础，在三维环境下编制工艺路线、工艺卡片，熟悉产品加工制造过程。

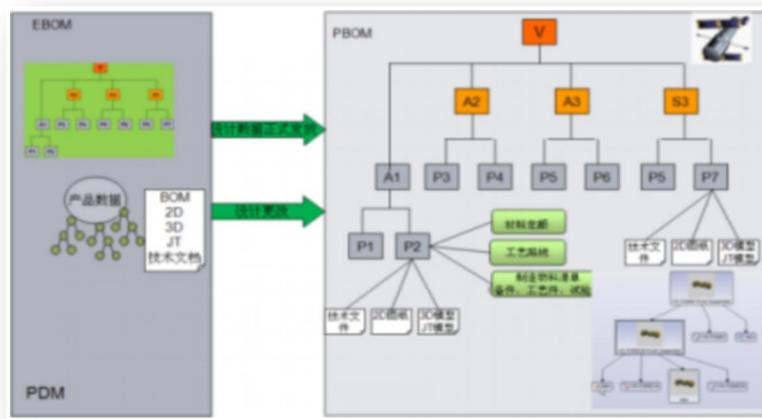


图：三维工艺编制

#### 2. BOM 管理

BOM 作为企业的基础数据，在工厂信息化及智能制造工程中居于核心地位，是企业里不同部门、不同流程间传递数据的基本形式和连接产品工程设计和生产经营管理的桥梁。BOM 贯穿于智能制造始终，学生需理解 BOM 数据是如何产生、维护和应用的。同时，后期智能制造生产线规划与流程的基础数据，都来源于 BOM。

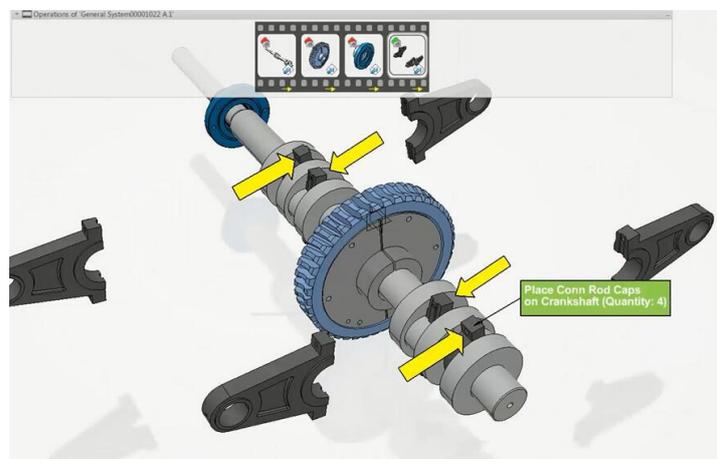
- EBOM（设计 BOM）到 PBOM（工艺 BOM）；
- PBOM 版本控制、流程管理；
- 工程更改对 PBOM 的影响；
- 工艺细节规划；
- 工艺路径；
- 工艺与资源的顺序和关联；
- 工时计算与分析；
- PBOM 输出；



图：EBOM 到 PBOM

### 3. 三维作业指导书

将产品装配、设备操作、设备维护等过程，以 3D 图形或动画的形式做成手册进行展示或教学。形成标准化的作业流程，可让学生更加直观的理解。



图：装配作业指导书

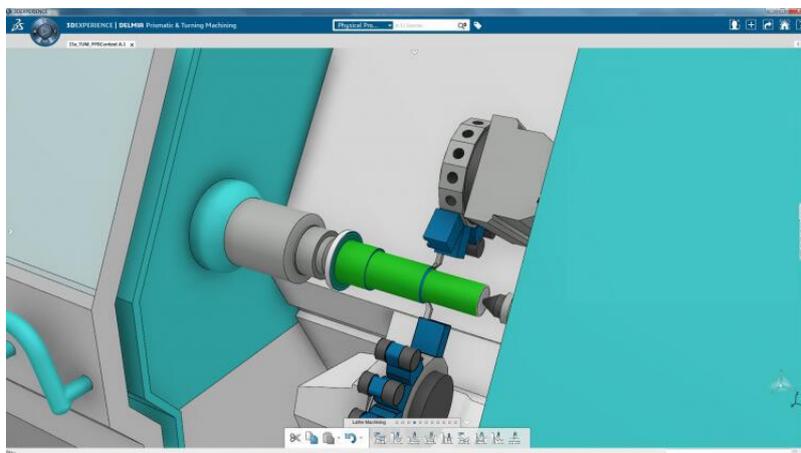
#### 4. NC 代码编制与仿真

在目前电气工程与自动化系缺少数控加工设备的情况下，可通过 DELMIA 软件对生产对象进行虚拟仿真加工。可让学生熟悉产品的数控加工工艺、加工工时，为后期工业机器人与生产设备的协作奠定基础，同时具备制造工业机器人工作站所需工装夹具的能力。

##### 1) 虚拟车削加工实验

在虚拟三维环境下对外圆锥、圆弧、沟槽、梯形槽、螺纹、内孔、柱类工件编制车削加工代码，仿真验证程序可行性。熟悉三抓卡盘、台虎钳等常用夹具的使用。针对加工对象，如何选择合适的刀具。

- 提供一组全面的高端铣削操作，从而实现高效的铣车床编程。
- 为单独操作或整个程序提供快速刀具路径验证和编辑。
- 提供强大的仿真功能，用于刀具路径验证。
- 将机加工流程定义为专用模板，并存储在目录中以供重复利用。
- 无缝生成 APT 源和 NC 代码 ISO 格式。



图：车削加工

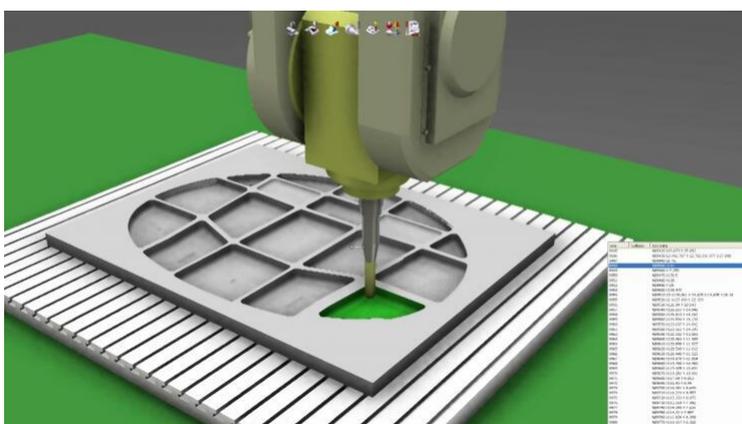
##### 2) 虚拟铣削加工实验

在虚拟三维环境下开展以下仿真实验：

平面铣削及二维轨迹加工、外轮廓加工、孔加工、型腔加工、综合件加工、变量编程与加工。

- 快速实现 3D 设置和 NC 刀具路径创建；
- 管理 CNC 机床、附件、刀具和刀具装配体；
- 优化高速或点对点机加工以及整套轴操作的刀具路径；

- 提供一种独特方法，以执行多型腔零件的全局和自动编程；
- 在刀具路径计算期间发现潜在运动问题，并在发现错误时自动纠正刀具路径；
- 可通过即时更新技术以及高级设计更改管理来提高生产率；
- 将强大的仿真功能用于刀具路径验证，以计算工件中的半圆体积；

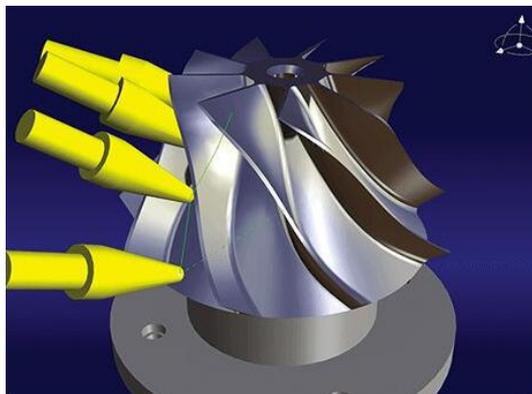


图：铣削加工

### 3) 复杂零件加工实验

在虚拟三维环境下使用五轴机床对复杂造型零部件编制加工代码。

- 验证整个制造程序或单项加工操作。
- 根据 NC 刀具路径和 NC 代码，执行 NC 机床运动和材料移除的集成同步仿真。
- 检查机床刀具的行程限制。
- 检测加工单元中的碰撞。
- 根据为机床轴定义的速度和加速度来计算循环时间。
- 针对每个刀具和刀具装配体定义最大刀具磨损参数。

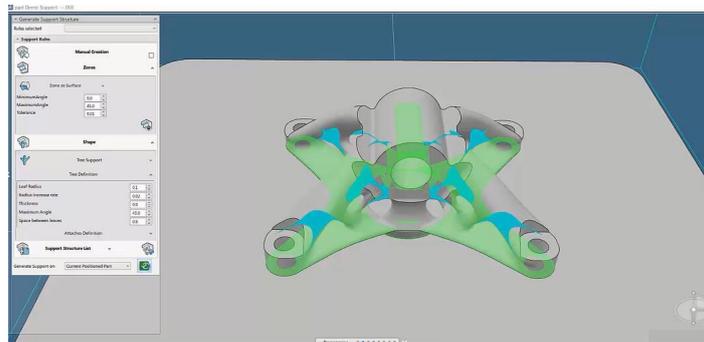


图：车铣复合加工

## 5. 3D 打印增材制造

在虚拟环境下对粉层 3D 打印机的增材制造流程进行准备、编程和验证。

- 存档最佳做法以重复利用，从而节省时间和材料；
- 自动优化零件位置；
- 可输出至多种类型 3D 打印机和增材制造系统；

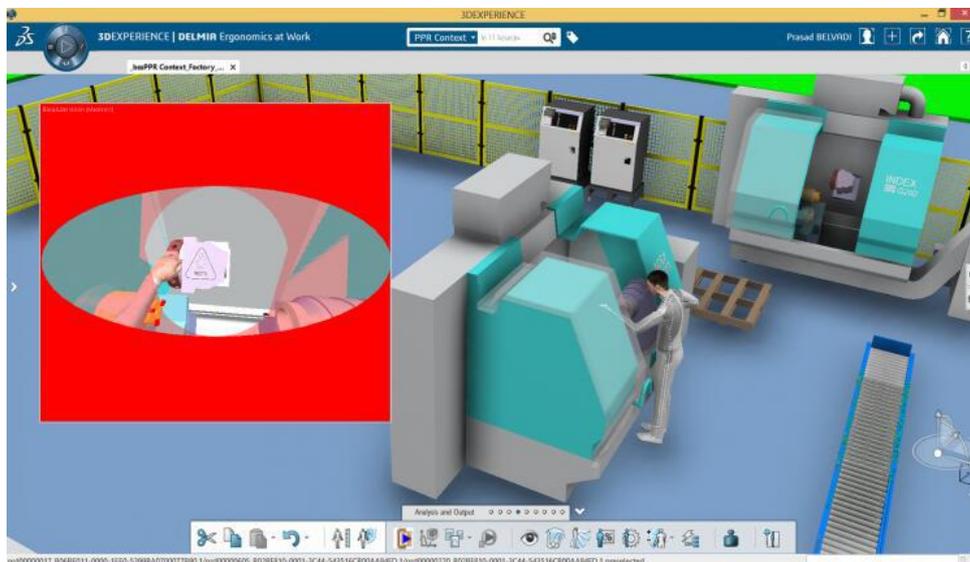


图：3D 打印

## 6. 人机工程

在虚拟环境下，引入人体模型，对设备操作人员进行仿真验证：

- 以第一人称视角感知实际操作场景；
- 形成标准化的操作手册，确保参与实训学生的人身安全；



图：人机工程设备操作

### （四）工业机器人仿真

电气工程与自动化系统现已拥有 10 台 KUKA KR5 ARC 工业机器人用于搬运，2 台 KUKA KR5 ARC 工业机器人用于焊接，1 台 KUKA KR210 工业机器人用于码垛，

1 个仿真机房部署有 41 台计算机，硬件设施较为完善。

达索系统 3DEXPERIENCE 平台让机器人程序员可以模拟和验证机器人任务。程序员可以执行可达性计算、内部分析和离线机器人教学，为车间提供最优化的机器人计划。机器人程序员还可以结合上下游制造环境，从而创建、模拟和验证机器人。3DEXPERIENCE 平台可以精确规划工作单元，以更高效的进行设计、制造和优化。

由此，以 3DEXPERIENCE 平台为基础，结合实际生产环境开展虚拟仿真教学与实训，能够最大程度发挥硬件设备的作用。

### 1. 工业机器人虚拟示教器仿真

- 准确的机器人行为仿真；
- 使用生产 I/O 和逻辑进行模拟；
- 使用虚拟示教器对虚拟机器人进行编程；
- 对原生语言机器人程序进行模拟和验证；
- 支持硬件在环仿真；



图：虚拟示教器仿真

### 2. 工业机器人任务定义

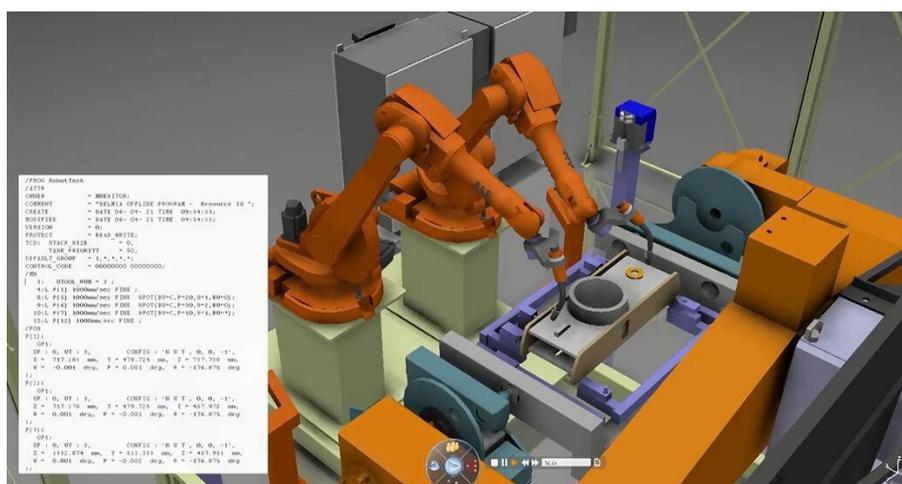
工业机器人的应用主要集中在搬运码垛、焊接、装配、打磨、喷涂、组装、机床上下料等领域，受场地与环境污染等因素的制约，类似于喷涂、打磨之类的应用场景很难在学校建立真实训练环境，而虚拟仿真实训能很好的解决这个问题。

#### 1) 机器人弧焊

- 在三维环境中创建、模拟和验证整个机器人弧焊工作单元；
- 定位资源、模拟机器人、创建机器人轨迹，并在机器人和其他设备之间

创建完整的工作单元序列；

- 生成和修改基于几何图形的弧焊轨迹；
- 自动计算工件定位设备的最佳接合值；
- 计算沿机器人轨迹的标准运动参数，从而优化机器人的运动；
- 根据机器人任务中的运动，创建机器人或刀具的扫掠包络体；
- 支持设备程序中的高级逻辑和 I/O，以便在机器人和其他设备之间创建输入和输出信号；
- 使用标准模式和控制器特定约束，快速生成焊缝搜索轨迹；
- 根据被焊接产品的几何外形生成焊接工具轨迹，适用于基于曲线跟踪的多种机器人应用（如打磨、密封剂装填、激光与水切割）；
- 在包括联合配置、机器人设置和工作单元的多变量布局中，能够定义无碰撞焊接轨迹。



图：机器人弧焊

## 2) 机器人点焊

- 通过示教器界面，创建和模拟具有点焊、钻孔、铆接能力的机器人工作单元；
- 模拟和协调多个机器人；
- 通过计算标准运动参数来自动优化机器人的运动；
- 使用真实机器人控制器中的运动控制软件来模拟机器人任务；
- 利用分析工具选择正确的机器人和焊枪；
- 同时模拟多个机器人，分析并确定工作单元内所有机器人对任何点焊的

可达性；

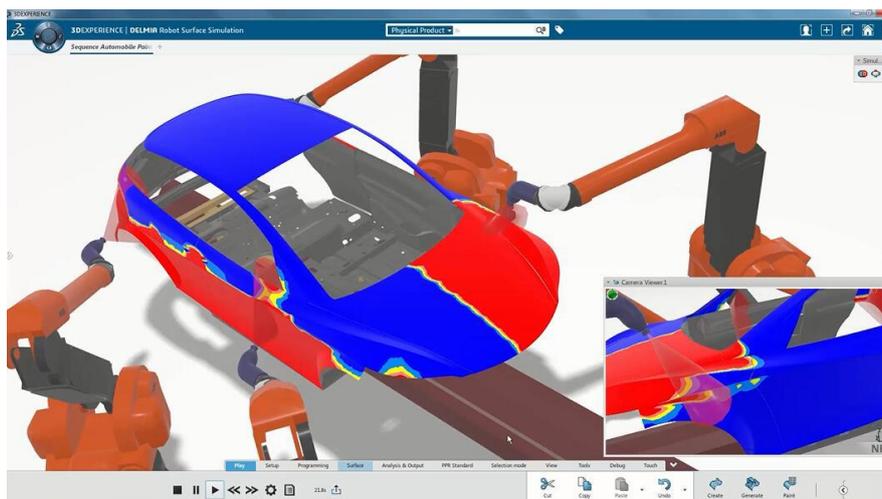
- 使用自动机器人路径更新，确定设计变更对现有机器人程序是否有影响；



图：机器人点焊

### 3) 机器人喷涂

- 对机器人曲面流程进行仿真、编程、验证和优化；
- 将基于准确曲面的编程用于多个机器人应用程序；
- 材料沉积图形展示；
- 使用机器人生产线追踪进行仿真；
- 多个用户之间的并发机器人仿真；
- 可消除编程错误和返工的仿真；
- 在制造环境中创建、模拟和验证机器人任务；

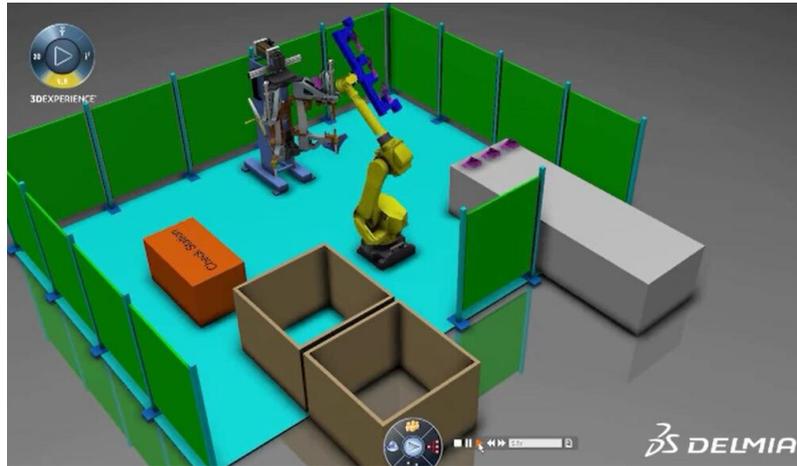


图：机器人喷涂

### 4) 机器人搬运

在虚拟环境中完成如下工作过程：

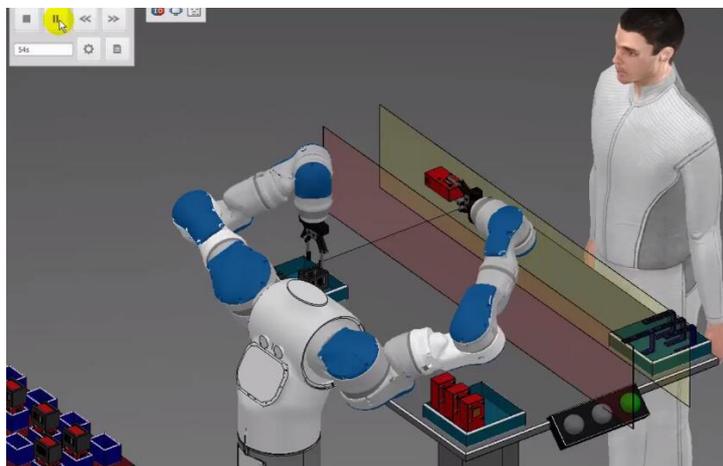
机器人上电、程序启动后，在虚拟示教器上按下复位按钮，机器人手抓（吸盘）松开，回到原点后发出复位完成信号；机器人移动到待抓取点，夹紧后，机器人将工件搬运至位置，放下工件，一次搬运完成，机器人回到待抓取点继续工作。



图：搬运机器人

#### 5) 机器人行为模拟

- 在机器人和其他设备之间创建输入和输出信号，从而支持仿真中的高级逻辑和 I/O；
- 通过计算转数、机器臂配置、构台位置以及沿机器人轨迹的轨道值，自动优化机器人的运动；
- 根据机器人任务中的运动，创建机器人或刀具的扫掠包络体；
- 使用逼真机器人模拟 I (RRS-I) 来提高仿真准确性；
- 提供机器人可达位置定位工具，同时考虑机器人的所有任务；



图：工业机器人行为模拟

### 3. 工业机器人离线编程

达索系统 3D EXPERIENCE 平台提供多达 1500 余个机器人库，其中包括：发那科、安川、那智不二越、川崎、松下、欧地希、ABB、KUKA、杜尔等世界主流品牌。提供一套全面的导入和导出机器人程序工具，机器人程序员可在一个交互式 3D 环境中，为多个制造商离线编程多个机器人，并验证机器人具体的语法，用于物料搬运、点焊、弧焊和绘画等应用。

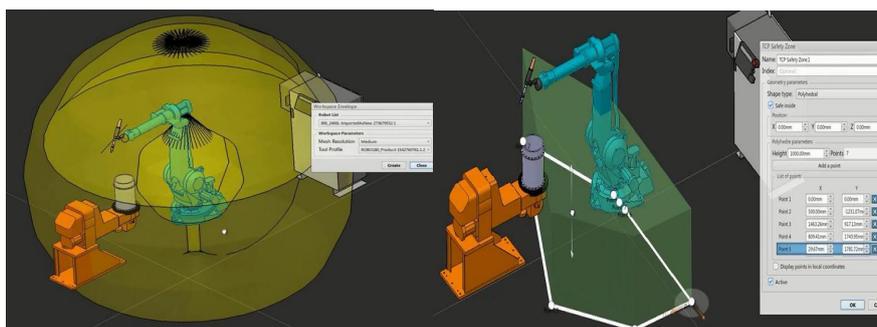
- 在 Fanuc RJ/TPE、Motoman/Yaskawa、Nachi、Kawasaki、Panasonic、Daihen、ABB RAPID S4C/S4C+、C5、Kuka 和 Durr 中上传和下载机器人程序；
- 使用 VB.Net，使几何程序轻松适应自定义要求；
- 为任何机器人提供生产所需程序；
- 程序使用机器人的原生控制器语言；
- 改善编程人员与设计人员之间的协作；



图：工业机器人离线编程

### 4. 工业机器人工作站规划

通过对工业机器人在干扰、空间、行程限制和可达性方面的分析，合理规划机器人工作站。可以在设计早期发现并解决问题。



图：工业机器人工作站仿真规划

## 5. 生产线仿真

结合之前已经建模好的机器人工作站、生产设备、生产对象、生产工艺，搭建虚拟生产线。3D EXPERIENCE 平台可让学校虚拟体验整个工厂生产，从对生产过程进行全程模拟，分析生产瓶颈、监督设备状态、生产进程、完工情况。这些模拟活动可让学校在实体工厂或生产线出现之前模拟整个制造流程。

3D EXPERIENCE 平台提供先进、高效的工厂资源布局工具，允许定义资源层次结构和资源类型（例如：输送机、机器人、货架、固定装置和工具装置等），可利用已有 2D 工厂图纸，实现快速 3D 布局。它提供有标准资源库（包括手动工具、电钻，挂架和机器人），以及额外的现成工业资源库。



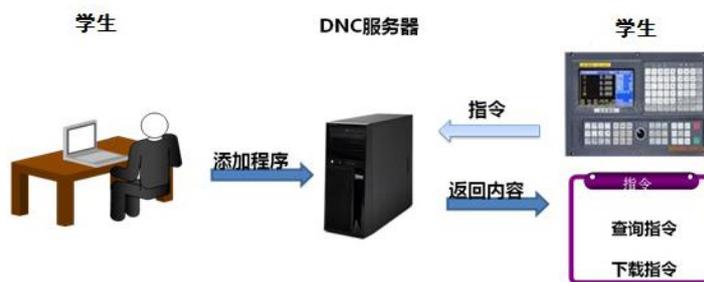
图：生产线仿真

## （五）数字化制造

### 1. 设备联网通讯（DNC）

学生利用达索系统 DELMIA 软件或手工编程生成 NC 程序。通过程序管理（NCBase-Pro）客户端添加到数据库，经过程序编辑、仿真流程审批等环节后出库。学生在机床操作面板上下载 NC 程序；程序运行完毕后回传到服务器保存。见

下图：



工作原理图

## 2. 设备监控与数据采集（MDC）

对制造生产线所有工作单元及相关辅助设备实现数据采集，如 CNC 数控机床、ROBOT 机器人、数字 3D 测量机等。系统能够自动对这类设备进行管理、数据采集以及控制，通过网络直接得知线上所有设备的信息，比如设备的实时状态、运行时间、加工工件数量等，并可依据各种详细的分析报告做出决策。它承担着与底层设备之间的网络通讯与数据自动采集的功能，是实现智能制造的核心，是智能工厂/数字化车间的前提和基础，是 MES 系统与数字化设备之间信息沟通的桥梁。

## 3. 制造执行系统（MES）

**MES 定义：**美国先进制造研究机构 AMR (Advanced Manufacturing Research) 将 MES 定义为“位于上层计划管理系统与底层工业控制之间的、面向分厂层的管理信息系统”，MES 为操作人员、管理人员提供计划的执行、跟踪以及所有资源（人、设备、物料、客户需求等方面）的当前状态信息。

美国先进制造研究机构 AMR 于 1992 年提出了三层的企业集成模型，将企业制造信息化分为三个层次：计划层(MRP II/ERP)，执行层(MES)，控制层(Control)。

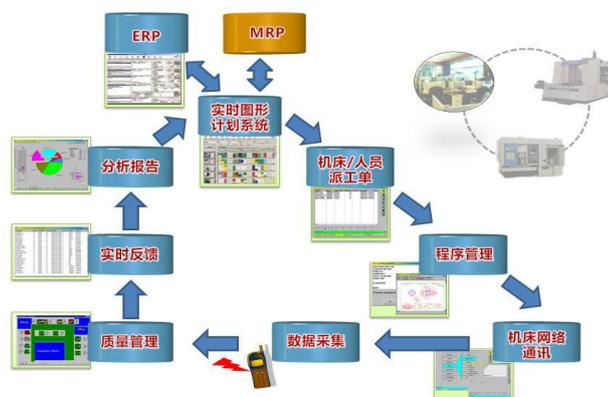


企业制造信息化三层次

计划层强调企业的计划，它以客户订单和市场需求为计划源，充分利用企业内部的各种资源，降低库存，提高企业效益；

控制层强调设备的控制，如机床、设备、DNC、MDC、PLC、数据采集器、条形码、各种计量及检测仪器等。

执行层 MES 是位于上层的计划管理系统与工业控制系统之间的、面向分厂层的管理信息系统。它为操作人员/管理人员提供计划的执行和跟踪以及所有资源的当前状况，主要负责生产管理和调度执行。MES 通过控制包括物料、设备、人员、流程指令和设施在内的所有工厂资源来提高制造竞争力，提供了一种系统地、在统一平台上集成诸如质量控制、文档管理、生产调度等功能的生产管理方式。



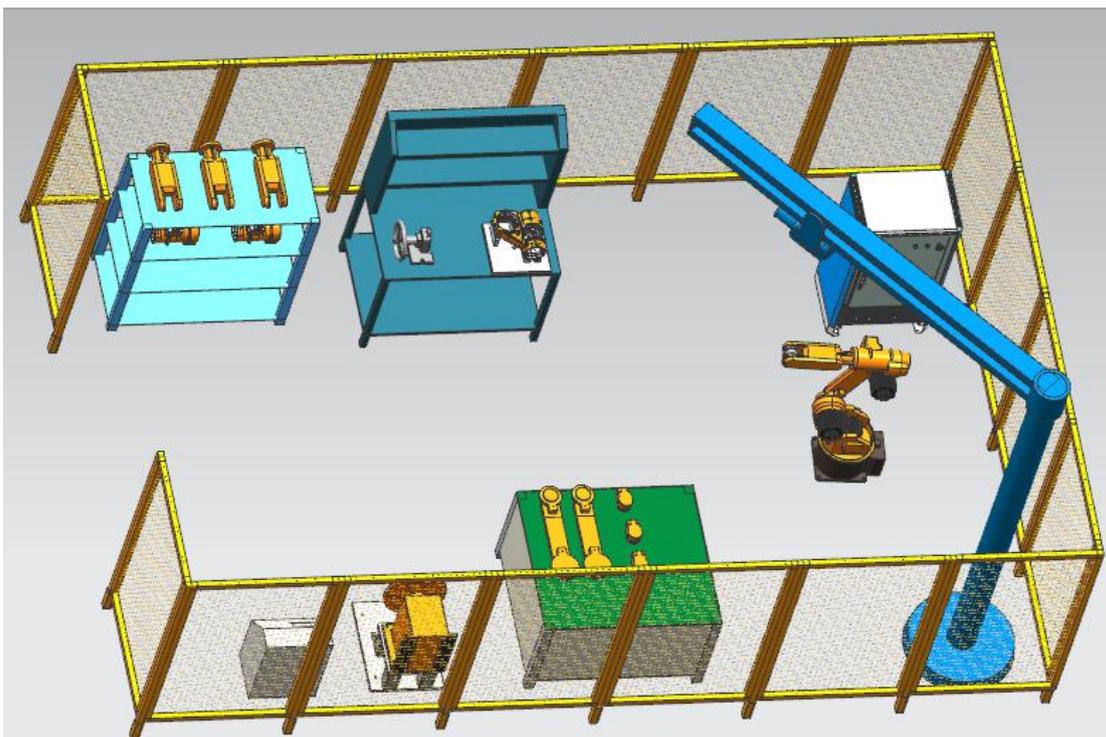
图：MES 系统闭环管理

## （六）工业机器人装调修实训平台

### 1. 真实实训平台

#### （1）机械部分：

该平台将流水线生产模式转换成单台机器人拆装单元更有利于教学，拆、装一体，将整个装配流程直观展现。能够让学生熟悉机器人的机械传动原理、装配工艺；掌握机器人的机械维护、维修能力；提高学生动手操作能力、机械设计、机械加工工艺、装配工艺等多方面知识。



总体布局图

1) 主要配置:

| 名称           | 数量 | 单位 | 备注 |
|--------------|----|----|----|
| RB08 机器人机械零件 | 1  | 套  |    |
| 专用装配台        | 1  | 个  |    |
| 专用零件架        | 1  | 个  |    |
| 专用零件桌        | 1  | 个  |    |
| 单轴变位机+工装     | 1  | 套  |    |
| 单轴测试柜        | 1  | 个  |    |
| 机器人底座        | 1  | 套  |    |

|                        |    |   |        |
|------------------------|----|---|--------|
| 安全围栏                   | 18 | 米 |        |
| 悬臂吊                    | 1  | 台 |        |
| 专用拆装工具                 | 1  | 套 | 26 件/套 |
| 占地面积：24 m <sup>2</sup> |    |   |        |

## 2) 实训项目

- 熟悉和认识工业机器人本体零部件
- 对机器人本体的拆卸实训
- 对机器人本体的装配实训

## 3) 设备参数

### 工业机器人机械拆装本体要求：

控制轴数： 6 轴

有效负荷 ≥8KG

重复定位精度 ±0.05mm

运动半径 ≥1389mm

运动范围：

J1 轴 ≥±170

J2 轴 ≥+120° ~ -85°

J3 轴 ≥+85° ~ -165°

J4 轴 ≥±180°

J5 轴 ≥±132°

J6 轴 ≥±360°

最大运动速度:

J1 轴  $\geq 130^\circ / \text{sec}$

J2 轴  $\geq 130^\circ / \text{sec}$

J3 轴  $\geq 130^\circ / \text{sec}$

J4 轴  $\geq 270^\circ / \text{sec}$

J5 轴  $\geq 170^\circ / \text{sec}$

J6 轴  $\geq 455^\circ / \text{sec}$ 。

减速机 RV 减速机和谐波减速机

伺服电机: ▲交流伺服电机与伺服驱动与控制器, 同厂家同品牌 (需提供证明材料)。全部

标配编码器:  $\geq 17$  位绝对式编码器。

全数字伺服驱动: 单元和绝对值式伺服电机支持总线式远

程 IO 单元。

装配桌

材质 铝型材 (表面防静电胶皮 3mm) 尺寸  $\geq 1500*800*1300\text{mm}$

压轴承工装

提供各种规格轴承的工装完成各种所需轴承的压装

拆装工具

球头内六角扳手: 3(M4)/1 个, 4(M5) /1 个, 5(M8) /1 个, 6(M8) /1 个, 8(M10) /1 个,

10(M12) /1 个。

发黑内六角扳手: 12(M14) /1 个。

7 件加长球头内六角扳手组套: 1 个。

高性能强光充电式手电筒: 1 个。

黄油枪：1 个。

黄油枪用尖油嘴：1 个。

直口卡簧钳：外卡，直径 35mm。

活动扳手：1 个。

橡胶榔头：1 个。

调运带：500kg；

扭力扳手 {10-50(N.m) /1 个, 60-300(N.m) /1 个}。

长六角旋具套筒：{12(M14) /1 个, 6(M8) /1 个, 8(M10) /1 个, 4(M5)

/1 个, 3(M4) /1 个, 10(M12) /1 个, 5(M6) /1 个};T 系列双头螺丝批：/1 个。

9) 机器人零件：1 套

J1 轴减速机, J1 轴伺服电机, J2 轴减速机, J2 轴伺服电机, J3 轴减速机, J3 轴伺服电机, 本体线缆, 航插体, 底座, 转盘, 大臂, J5 轴电机, J4 轴电机, J4 轴谐波减速机, J4 轴减速机套, J5 轴电机, J4 轴谐波减速机, 腕体组件, 小齿轮组件, 大齿轮组件, J6 轴谐波减速机

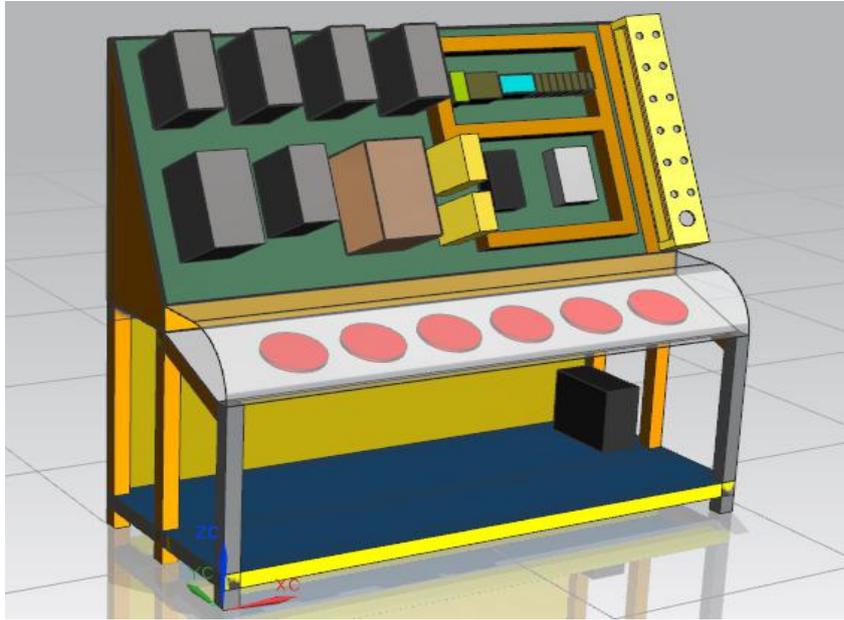
4) 实物图:



(2) 电气部分

该平台将机器人电气柜平铺展示，更加直观的展示出电气柜内部构造，有助于学生理

清电路图及接线，能够让学生熟悉机器人电气控制柜的组成装配工艺、电气控制原理；掌握电气控制线路故障的排查及维修等方面能力。



(一) 单个平台示意图



(二) 总体布局图

1) 主要配置:

| 名称 | 数量 | 单 | 备注 |
|----|----|---|----|
|----|----|---|----|

|                        |    |   |        |
|------------------------|----|---|--------|
| 电控拆装工作台                | 1  | 套 |        |
| 控制器                    | 1  | 套 |        |
| 伺服驱动器                  | 1  | 套 | 6 件/套  |
| 直流电源                   | 1  | 套 | 2 件/套  |
| 控制电路                   | 1  | 套 |        |
| IO 交互模块                | 1  | 套 |        |
| 主开关                    | 1  | 个 |        |
| 机器人伺服电机                | 1  | 套 | 6 件/套  |
| 变压器                    | 1  | 个 |        |
| 专用拆装工具                 | 1  | 套 | 21 件/套 |
| 安全护栏                   | 18 | 米 |        |
| 工作台                    | 1  | 个 |        |
| 占地面积：54 m <sup>2</sup> |    |   |        |

## 2) 实训项目

- 熟悉和认识工业机器人电气元器件
- 机器人电气线路和电气元件拆卸实训
- 机器人电气线路和电气元件安装实训

## 3) 设备参数

### 机器人控制系统

控制系统：▲嵌入式机器人控制器，基于 ARM+DSP+FGPA 硬件结构

示教方法：示教再现

驱动方式：交流伺服驱动

控制轴数量：6 轴

位置控制方式：PTP/恒速控制

速度控制：TCP 恒速控制

坐标系统：轴坐标，直角坐标，用户坐标，工具坐标

运行 cos 操作系统, 它具备 USB, RJ-45 等标准接口, 预

留 IO 输入输出点,

记忆: 记忆介质 FLASH

记忆容量: 32M

记忆内容: 点, 直线, 圆弧, 条件命令等

动作:

插补功能: 线性插补, 圆弧插补

手动操作速度: 4 段可调

编辑: 添加, 输入, 删除, 修改

外部控制输入:

条件设定: 程序中设定条件

通用物理 I/O: 电器 I/O 板, 标准输入/输出各点 32 点,

可扩充

保护功能

保养功能: 定期检查异常记录

异常检测功能

诊断功能: 机器人控制箱与示教之间的连接诊断原点复位

噪声  $70 \leq \text{dB}$

环境温度/湿度范围  $0-40^{\circ}\text{C}$  (无霜冻) /  $0-90\%RH$  (不结霜)

电源: 三相 AC220V50HZ

接地: D 种以上接地

**伺服驱动器:**

采用工业以太网通信传输方式, 100MBit/s

电源: 三相 AC220V 电源, 85%~+110%, 50Hz

配套电机功率: 0.5KW-6.0KW

控制方式: 位置控制、速度控制、速度试运行、速度点动  
运行

调速比 1:5000

输入方式: 绝对位置方式 (驱动单元接收系统位置指令)

位置控制: 电子齿轮  $1 \leq \alpha / \beta \leq 32767$

速度控制: 速度控制方式 (驱动单元接收系统速度指令)

最小位置指令更新周期: 200us

速度频率响应: 200Hz

系统输入数据: 伺服使能信号、报警清除信号、偏差计数器清零信号、指令脉冲禁止、设置伺服参数、位置指令、速度指令、正反转矩限制、内部速度选择、回零功能输入等

驱动输出数据:

伺服准备好信号、报警输出信号、定位完成信号、速度到达信号、抱闸信号、零速输出、码盘反馈信号、回零完成等

指令输入方式: 正负位置数据

位置指令脉冲频率 增量式伺服电机  $\leq 500\text{kHz}$

绝对式伺服电机  $\leq 6554\text{kHz}$

反馈脉冲机 17bit 绝对式伺服电机: 131072 脉冲/转

增量式伺服电机: 10000 脉冲/转

速度指令范围:  $\pm 5000\text{r/min}$

加减速功能: 速度控制方式下加减速设置时间  $1\text{ms} \sim$

$10000\text{ms}$  ( $0 \sim 1000\text{r/min}$ )

监控功能: 在 CNC 端和驱动端共同实现监控

适用负载惯量: 小于电机惯量的 5 倍

### **伺服电机:**

J1 轴 额定功率  $\geq 840\text{W}$

额定电流 5.5

额定转矩  $\geq 4\text{Nm}$

零速转矩  $\geq 4\text{Nm}$

最大转矩  $12\text{Nm}$

额定转速  $\geq 2000\text{r/min}$

最高转速  $3500\text{ r/min}$

转动惯量  $1.3 \times 10^{-3}$

J2 轴 额定功率  $\geq 1680\text{W}$

额定电流 11.2

额定转矩  $\geq 8\text{Nm}$

零速转矩  $\geq 8\text{Nm}$

最大转矩  $24\text{Nm}$

额定转速  $\geq 2000\text{r/min}$

最高转速 3500 r/min

转动惯量  $2.9 \times 10^{-3}$

J3 轴 额定功率  $\geq 840\text{W}$

额定电流 5.5

额定转矩  $\geq 4\text{Nm}$

零速转矩  $\geq 4\text{Nm}$

最大转矩 12Nm

额定转速  $\geq 2000\text{r/min}$

最高转速 3500 r/min

转动惯量  $1.3 \times 10^{-3}$

J4 轴 额定功率  $\geq 160\text{W}$

额定电流 1.65

额定转矩  $\geq 0.5\text{Nm}$

零速转矩  $\geq 0.5\text{Nm}$

最大转矩 1.5Nm

额定转速  $\geq 3000\text{r/min}$

最高转速 5000 r/min

转动惯量  $0.07 \times 10^{-4}$

J5 轴 额定功率  $\geq 160\text{W}$

额定电流 1.65

额定转矩  $\geq 0.5\text{Nm}$

零速转矩  $\geq 0.5\text{Nm}$

最大转矩 1.5Nm

额定转速  $\geq 3000\text{r/min}$

最高转速 5000 r/min

转动惯量  $0.07 \times 10^{-4}$

J6 轴 额定功率  $\geq 100\text{W}$

额定电流 1.2

额定转矩  $\geq 0.318\text{Nm}$

零速转矩  $\geq 0.318\text{Nm}$

最大转矩 0.955Nm

额定转速  $\geq 3000\text{r/min}$

最高转速 5000 r/min

转动惯量  $0.05 \times 10^{-4}$

### **示教器**

采用  $\geq 6.4$  英寸彩色液晶显示器

具有 USB 扩展接口

5) 三相隔离变压器: 1 套

容量 2000VA

输入: 380V

输出: 220V

视在功率: 4KVA

### **拆装工具:**

球头内六角扳手: 3(M4)/1 个、4(M5) /1 个、5(M8) /1 个、6(M8) /1 个、8(M10) /1 个、

10(M12) /1 个。

高性能强光充电式手电筒：1 个；T 系列双头螺丝批：1 个。

剥线钳：6” /1 个；一字螺丝刀：M2/1 个；一字螺丝刀。M3/1 个。

十字螺丝刀：#1\*150/1 个；十字螺丝刀：#2\*150/1 个。

压线钳：7.5” /1 个。

#### 元器件：

总线电缆 :1 套; J1/J2/J3/J4/J5/J6 动力线缆:9 根; J1/J2/J3/J4/J5/J6 抱闸线:18 根;

J1/J2/J3/J4/J5/J6

编码线：6 跟；变压器：1 个；开关电源：1 个；

#### 电气装配台：

≥1400mm\*800mm\*1400mm

**伺服电机：** ▲交流伺服电机与伺服驱动与控制器，同厂家

同品牌（需提供证明材料）。便于后期教学，生产与服务

#### 4) 实物图：





## 2. 虚拟实训平台

与实体机器人相对应的维修装调培训软件，具备虚拟拆装功能、装配测量功能、调试功能、装配图纸和装配视频；

机器人装调修 3D 仿真软件可以利用三维建模技术构建机器人的三维场景，可和用户交互式的快速完成不同的动作，并在软件界面中显示出来。软件界面窗口中可实现三维机器人模型通过使用鼠标实现缩放、平移、旋转等功能；

软件包含以下功能模块：

### （1）拆装模块

拆装：分为自动拆除、自动装配、手动拆除、手动装配四个模块。

自动拆除、自动装配模式下，通过动画演示，可以从整体上清晰的了解机器人拆除和装配的全过程，也可以通过旋转多方位看清机器人零件拆装的次序。

手动拆除、手动装配模式下，可以通过工具的选择，完美还原现实环境下机器人拆装过程，拆装过程中还可以通过拆装信息的提示，如工具的正确选择、零件的正确拆装次序、以及拆装过程中的工业要求等，进一步正确的完成机器人拆

装。

#### (2) 调试模块：

◇ 分为电机调试、小臂调试、箱体调试三个模块。

◇ 机器人装配过程中，主要涉及三个方面的调试，即电机调试、小臂调试、箱体调试。在每一个调试模块中，需要选择所需要的工具并根据调试信息的提示完成调试工作。通过这主要的三个调试模块，学习机器人调试方法。

#### (3) 测量模块：

在机器人的装配和调试过程中，需要通过测量工具的选择，来检测机器人的装配和调试是否达到工艺要求。

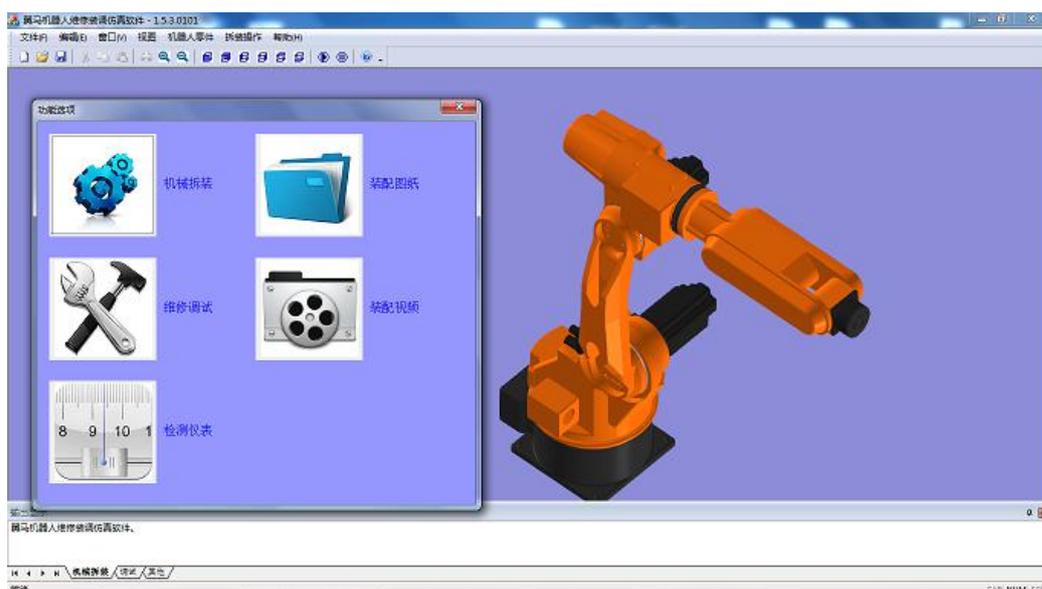
#### (4) 装配图纸：

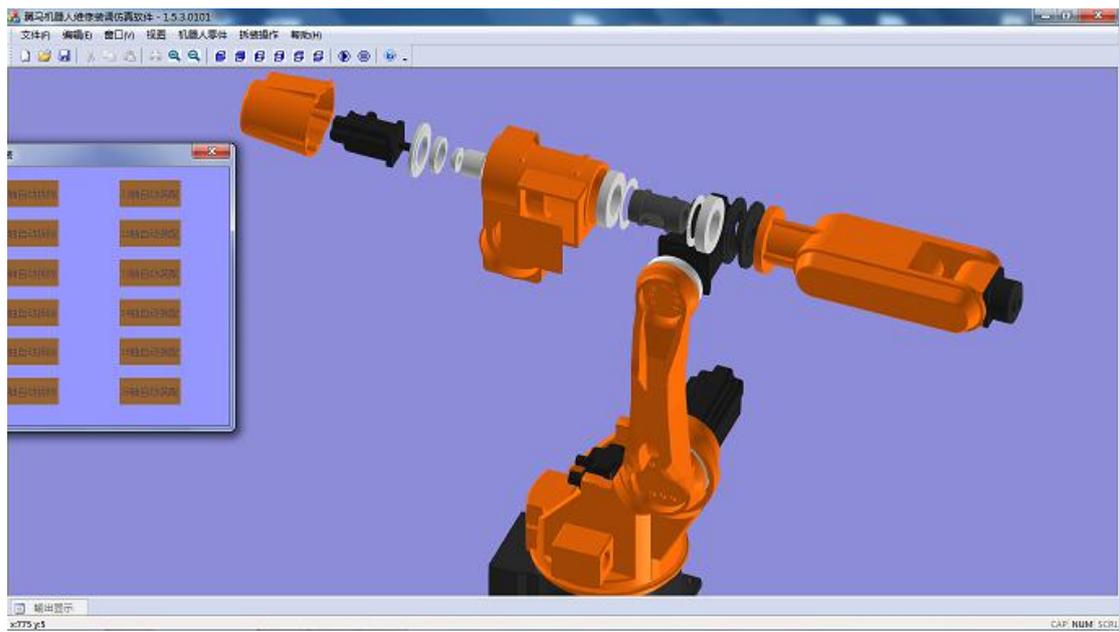
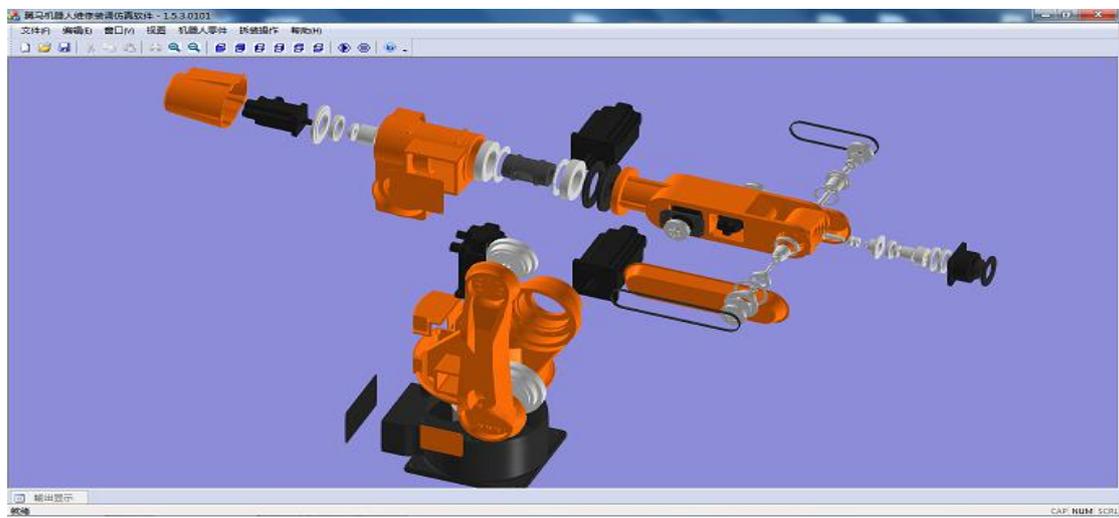
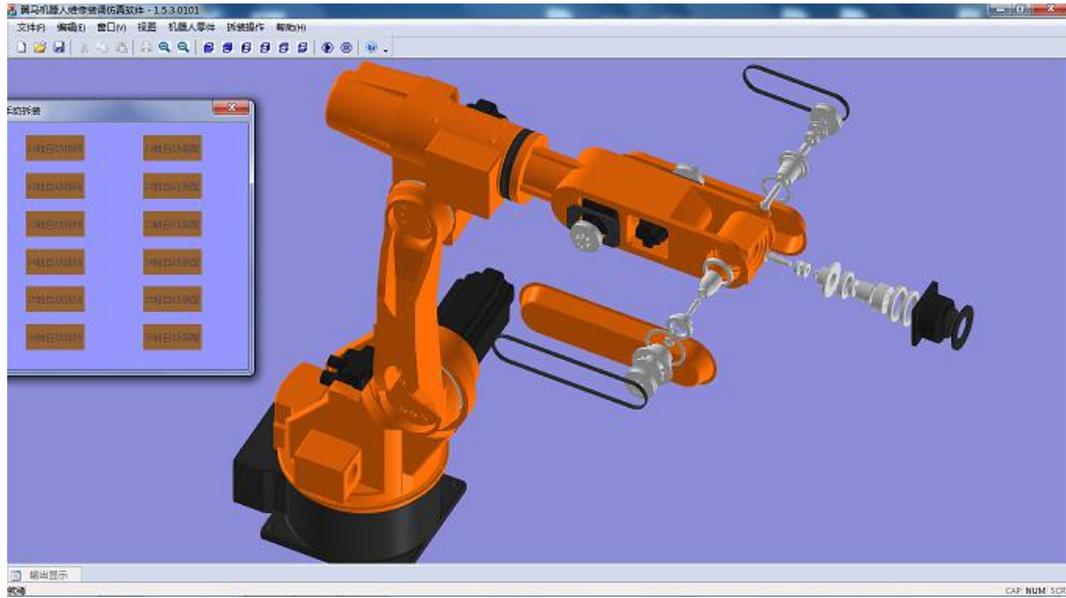
此功能模块展示与配套的机器人的 2D 装配图纸和各个零件图纸，以及装配工艺信息和各个零件的工艺信息。本功能模块窗口中，通过装配图纸和零件图纸的名称的选择，显示各个图纸和其工艺信息，同时方便三维拆除和装配的时候进行参照学习机器人的结构、机构。

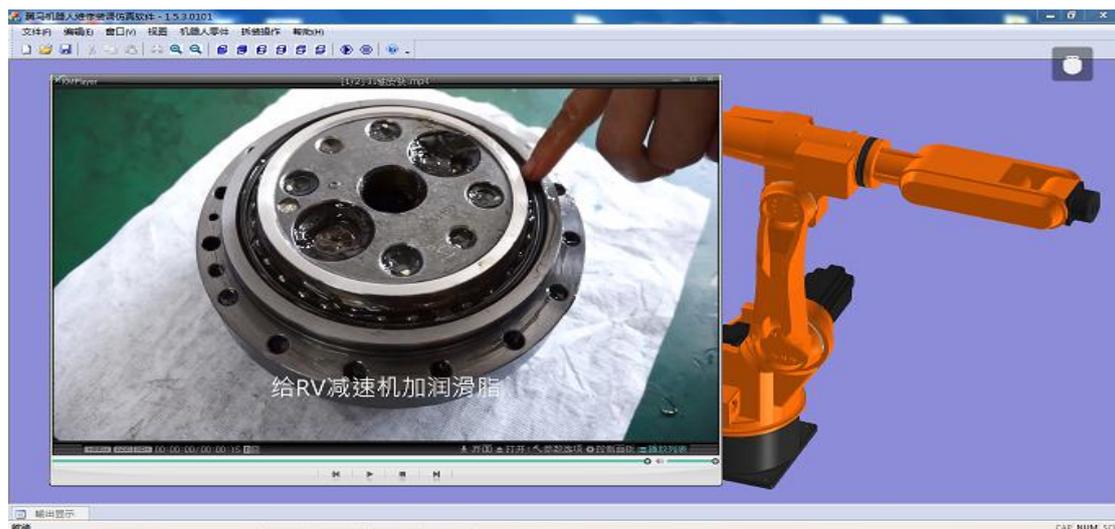
#### (5) 装配视频：

视频中，通过真正的装配工作人员的亲身教授，如同真实参观实际工厂的机器人装配过程，加深学习在软件三维虚拟环境下对配套工业机器人的拆装。

软件中的工业机器人的零件与真实的六自由度工业机器人零件大小、尺寸、结构完全一致。







机器人装调修 3D 仿真软件操作界面

## 五、项目预算

| 序号        | 配置名称           | 配置内容  | 单位 | 数量             | 分项价格 (万元)     |
|-----------|----------------|---|----|----------------|---------------|
| 1.        | 虚拟仿真系统软件       | 3DEXPERIENCE® FOR ACADEMIA R2017                        | 节点 | 1套<br>(各100节点) | 60            |
| 2.        | 数字化智能制造综合管理平台  | MES、MDC、DNC 系统  | 节点 | 满足生产线匹配所需      | 132           |
| 3.        | 自动化控制综合试验箱     | 包含 ARM9 处理器、色彩传感器、遥控器、红外线传感器、触摸式传感器、伺服电机、USB 端口、wifi 模块 | 套  | 10             | 10            |
| 4.        | 教学显示设备         | 3*2.25m,P2.5,LED 显示屏                                    | 套  | 1              | 10            |
| 5.        | 虚拟仿真移动工作站      | CPU i7-6820HQ、内存 16G、硬盘 SSD 512G、显存 4G                  | 台  | 12             | 40            |
| 6.        | 服务器机柜          | 大唐 A3 8042  | 套  | 1              | 1             |
| 7.        | 线缆及综合布线        | 千兆工业网络  | 全线 | 1              | 5             |
| 8.        | 52 口网络交换机      | 网络交换机   | 台  | 1              | 1             |
| 9.        | 条码打印机          |   | 台  | 1              | 0.3           |
| 10.       | 激光打印机          |   | 台  | 1              | 0.3           |
| 11.       | 扫描枪            |   | 台  | 2              | 0.4           |
| 12.       | 工业机器人装调试实训设备   |   | 套  | 4              | 100           |
| 13.       | 工业机器人装调试虚拟实训软件 |   | 套  | 1              | 20            |
| <b>总价</b> |                |   |    |                | <b>380 万元</b> |