

浙江省高校虚拟仿真实验教学 项目申报表

学 校 名 称	衢州学院
实验 教学 项目 名称	工业机器人机械系统结构原理 仿真实验
所 属 课 程 名 称	机械系统试验
所 属 专 业 代 码	080202
实验 教学 项目 负责 人 姓 名	吴 军
实验 教学 项目 负责 人 电 话	
有 效 链 接 网 址	172.17.14.236

填写说明和要求

1. 以 Word 文档格式，如实填写各项。
2. 表格文本中的中外文名词第一次出现时，要写清全称和缩写，再次出现时可以使用缩写。
3. 所属专业代码，依据《普通高等学校本科专业目录（2020 年）》填写 6 位代码。
4. 不宜大范围公开或部分群体不宜观看的内容，请特别说明。
5. 表格各栏目可根据内容进行调整。

1.实验教学项目教学服务团队情况

1-1 实验教学项目负责人情况					
姓 名	吴军	性 别	男	出生年月	1982 年 11 月
学 历	本科	学 位	硕士	电 话	
专业技术职务	高级实验师	行政职务		手 机	
院 系	机械工程学院			电子邮箱	Wujun4182@126.com
地 址	浙江省衢州市柯城区九华北大道 78 号			邮 编	324000
<p>教学研究情况：</p> <p>一、教学项目建设：</p> <p>1) 基于“项目教学法”的机械加工实训教学改革，2016 年校级教改项目，项目负责人。</p> <p>2) 模具设计及注塑成型实验，2014 年度校级实验室开放项目，项目负责人。</p> <p>3) 衢州学院多工业机器人协同焊接系统项目建设，衢院 2014-09-86，项目负责人。</p> <p>4) 衢州学院双工位焊接机器人系统项目建设，衢院 2015-ZB-17，项目负责人。</p> <p>5) 衢州学院工业机器人结构与原理实验系统建设，衢院 2017-32，项目负责人。</p> <p>6) 智能泡茶机器人，2019 年国家级大学生创新创业训练计划项目，第 1 指导教师。</p> <p>二、教学研究论文</p> <p>1) 吴军,机械基础综合实验指导书[M].北京：机械工业出版社，2014.1/5</p> <p>2) 吴军,机械基础省级实验教学示范中心建设与探索[J].实验室研究与探索,2017. 1/1</p> <p>3) 吴军, VERICUT 软件在数控加工实验教学中的应用[J].实验科学与技术, 2013. 1/1</p> <p>4) 吴军, 特种加工实验教学改革与探索[J].科技信息，2013 1/1</p> <p>三、获得表彰和奖励</p> <p>1) 第二届全国高等院校工程应用技术教师大赛机械系统装调赛项，二等奖，中国高等教育学会，2016 年</p> <p>2) 衢州市“永力达杯”职工职业技能竞赛数控铣工（加工中心操作工）组第四名。</p> <p>3) 浙江省 2018 年第十五届大学生机械设计竞赛本科组一等奖，第 1 导师。</p> <p>4) 2019 年第十六届浙江省大学生机械设计竞赛二等奖，第 1 导师。</p> <p>5) 2019 年首届浙江省智能机器人大赛本科组二等奖，第 1 导师。</p> <p>6) 2019 年全国三维数字化设计大赛浙江赛区特等奖，第 1 导师。</p>					

学术研究情况：

一、项目：

1) 晶粒尺度下硅通孔互连的电迁移失效机理研究 (51605252), 国家自然科学基金, 2017 年, 5/6。

2) 基于 PROFINET 通信技术的机器人自动冲压工作站的研制与开发, 衢州市科技项目, 2016 年, 主持。

二、论文

1) wujun, Processing Optimization of High Speed Machining in Numerical Control Manufacturing[J]. the open automation and control systems, 2015, 1/1。

2) 吴军, 基于纳米压痕试验的 TiN 镀膜的有限元分析[J]. 机械工程材料, 2015, 1/2。

3) 吴军, 基于 MOLDFLOW 的 FUR 车轮注塑工艺参数优化[J]. 工程塑料应用, 2018, 1/3。

1-2 实验教学项目教学服务团队情况**1-2-1 团队主要成员 (含负责人, 5 人以内)**

序号	姓名	所在单位	专业技术职务	行政职务	承担任务	备注
1	吴 军	衢州学院	高级实验师		项目总负责	在线教学服务
2	张元祥	衢州学院	教 授	副院长	硬件保障	技术支持
3	赵天晨	衢州学院	讲 师	机器人教研室主任	实验原理方案设计	在线教学服务
4	徐军飞	衢州学院	讲 师		实验原理	技术支持
5	倪成员	衢州学院	副教授	副院长	硬件方案	技术支持

1-2-2 团队其他成员

序号	姓名	所在单位	专业技术职务	行政职务	承担任务	备注
1	李金阳	润尼尔	工程师		项目开发	技术支持
2	张玉良	衢州学院	副教授		项目素材	技术支持
3	程 亮	衢州学院	实验师		项目素材	技术支持

项目团队总人数：(8 人) 高校人员数量：(7 人) 企业人员数量：(1 人)

注：1. 教学服务团队成员所在单位需如实填写，可与负责人不在同一单位。

2. 教学服务团队须有在线教学服务人员和技术支持人员，请在备注中说明

2.实验教学项目描述

2-1 名称

工业机器人机械系统结构原理仿真实验

2-2 实验目的

项目建设意义：

工业机器人是衡量一个国家制造业水平和科技水平的重要标志，是智能制造主导产业的核心制造终端之一，是国际工业 4.0 战略的重要组成部分。随着“中国制造 2025”等一系列国家战略的实施，我国工业机器人的使用密度已由 2017 年的 68 台/万人增加至 78 台/万人，预计未来五年内我国工业机器人使用密度将达到 150 台/万人。然而，工业机器人装备因其技术集成度高、应用环境复杂、操作维护专业性强等特点，故对从业人员有着较高的综合能力要求，因此，目前市场上此类人才较为稀缺，其中由中商情报网统计：2020 年工业机器人人才缺口将达 300 万人。

为主动应对新一轮科技革命与产业变革，支撑服务创新驱动发展、“中国制造 2025”等一系列国家战略，2017 年 2 月以来，教育部积极推进新工科建设，先后形成了“复旦共识”、“天大行动”和“北京指南”，并发布了《关于开展新工科研究与实践的通知》，同时在校专业设置上主动对接产业需求，增设了机器人工程，智能制造工程等一批符合国家战略发展和产业需求的新专业。部分高等院校也在机械类和近机类专业及时开设了机器人应用技术、工业机器人应用基础、机械系统试验（工业机器人系统试验）等理论和实践课程。其中“工业机器人机械系统结构和原理”是技术人员学习和掌握工业机器人应用和维护等基本知识的重点模块。但受工业机器人体积、质量、结构复杂程度、整机拆装难度、拆装实验周期以及投入成本和占地面积等诸多硬件及软件条件的限制，该模块的教学模式多采用传统的 PPT 加音视频的形式开展，学生参与程度不高，知识掌握仅局限于平面感性认识。为此，运用虚拟仿真实验技术能快速真实还原工业机器人机械系统结构和装配过程，较为全面的呈现其运动工作原理。学生在交互操作步骤中需自主判断和分析选用合适组件，创造了“学中做，做中学”的实验环境。同时，虚拟仿真技术将极大缩短实验周期，保证了有限教学任务周期的知识传授效果最大化。同时本项目的建设也为线下工业机器人关键部件拆装及应用调试实验提供了前期配套知识储备，是学生知识技能消化、掌握和应用的重要保障。通过本项目的建设，可较好得对现有工业机器人相关线下理论课程和实验项目进行补充，缩短了硬件投入成本和试验周期，减少了设备故障和报废概率，以虚实结合的实验教学模式夯实相关专业人才的培养。

项目建设目的:

以国家新工科建设理念为指导思想,开展并确立以产业需求为导向的 OBE 人才培养模式,聚焦国家重点战略方向,培养新时期下品格担当,知识过硬、能力突出的当代大学生。本实验项目旨在提高学生在工业机器人方面的综合素质,着重使学生掌握工业机器人基本结构和运动原理,熟悉工业机器人关键装置的选型和工作机理,培养其分析问题和解决问题的能力,具备继续学习专业技术的能力,在本实验的学习中渗透职业素养等方面的教育,使学生形成认真负责的工作态度和严谨的工作作风,为后续机器人操作应用和维护等课程学习和职业生涯的发展奠定基础。

(一) 知识教学目标

- 1、理解和掌握工业机器人的基本结构和传动工作原理;
- 2、掌握工业机器人机械系统自由度计算方法,能判断和计算工业机器人的自由度;
- 3、了解工业机器人 RV 减速器工作原理及应用场合,掌握其减速比计算;
- 4、了解工业机器人谐波减速器工作原理及应用场合,掌握其减速比计算;
- 5、熟悉 J1、J2、J3、J4、J5、J6 轴的主要零部件结构原理,掌握其装配方法及传动机理;

(二) 能力培养目标

- 1、获得工业机器人基本结构认知的能力,能区分不同自由度的机器人;
- 2、掌握工业机器人关键结构部件(谐波减速器、RV 减速器)的选型能力;
- 3、获得工业机器人简单机械结构部件故障排除的实际问题解决能力;
- 4、获得分析问题和解决问题的能力,培养综合实践能力;

(三) 思想和情感教育目标

- 1、了解工业机器人的研究进展,理性并清晰正视国内外工业机器人研发存在的差距,激发当代大学生爱国情怀,树立正确的价值观和人生观;
- 2、通过交互式虚拟仿真技术,可确保生生参与、生动手,满足学生的求知欲和好奇心,培养学生学习的兴趣;
- 3、通过自身动手实验获得的成功可建立和增强学生的学习信心。并逐步形成良好和严谨的学风;
- 4、能自觉爱护仪器设备养成良好的职业道德观念;

2-3 实验课时

- (1) 实验所属课程所占课时: 1 周 (40 学时)
- (2) 该实验项目所占课时: 2 学时 (与之配套的线下实验为 6 学时)

2-4 实验原理（简要阐述实验原理，并说明核心要素的仿真度）

工业机器人机械系统结构原理仿真实验涵盖了工业机器人基本结构组成、空间自由度判断和分析、减速部件（RV和谐波减速器）结构原理、J1至J6轴各构件结构及运行机理等专业知识。学生通过仿真软件中的基本理论知识模块和交互实验模块可熟悉工业机器人J1至J6轴各组件结构及安装形式，掌握各关节的传动方式和运动原理。由仿真系统内嵌入的视频资料学习可直观了解并掌握工业机器人自由度解析、关键减速装置工作原理及速比计算等核心理论知识，对机械系统试验课程内线下实践操作项目起到了较好得技术支撑。同时也适用于其他与之相关的理论及实践课程知识体系补充。

工业机器人J1、J2、J3、J4、J5、J6轴结构原理是本实验的核心要素。仿真实验系统中各关节轴被肢解拆分，操作者通过仿真交互模式，需自行选择碎片化零件并按实际装配顺序进行部件重组，最终还原整机最终形态。本实验将交互式仿真技术与嵌入式多媒体教学模式有机深度融合，学生必须在前期减速部件原理及分析计算基础上方能完成后期装配零件的合理选型。整机装配还原结束后，学生可通过嵌入式实物装配视频观察和比对各虚拟互动步骤，巩固并掌握本实验的各项知识，为本试验课程相应的线下实践任务（实物拆装J3和J5轴）打下坚实的基础。具体实验原理如图1所示：

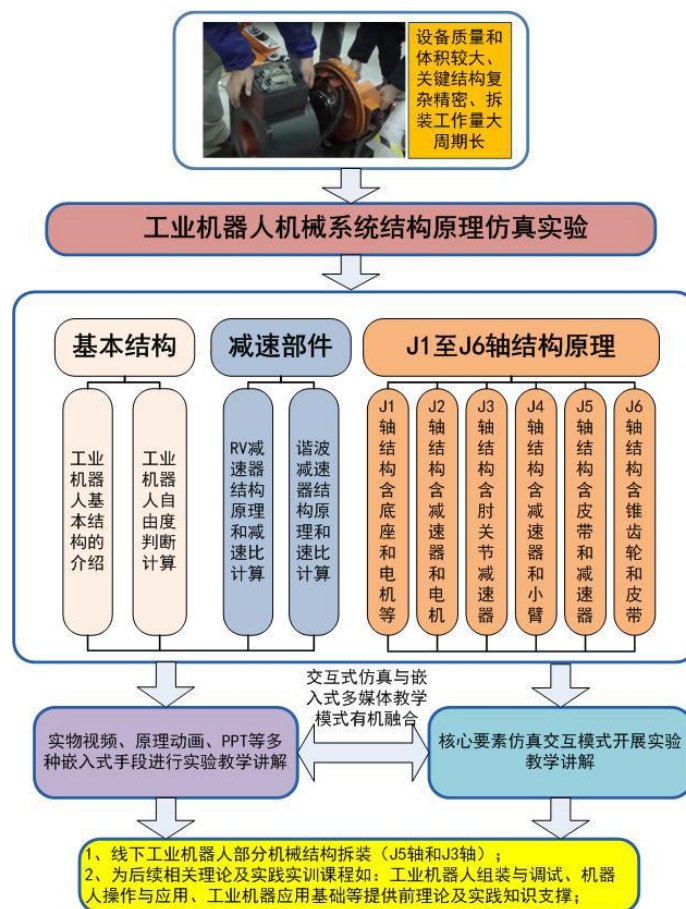


图 1 工业机器人机械系统结构原理仿真实验原理图

本实验共涉及关键知识点 4 项：

(1) 工业机器人基本结构及其自由度判断和计算

工业机器人基本结构由基座、腰关节、腰部、肩关节、大臂、肘关节、小臂、腕关节、手腕（包含连接法兰）等组成，其结构原理示意图如图 2 所示。判断工业机器人自由度的标准有两种，第一种是观察工业机器人电机数量，根据电机数可直接判断机器人的运动自由度；第二种方法是根据机械装备结构原理，明确工业机器人运动副数量和类型，通过理查德摩雷公式计算其空间自由度。

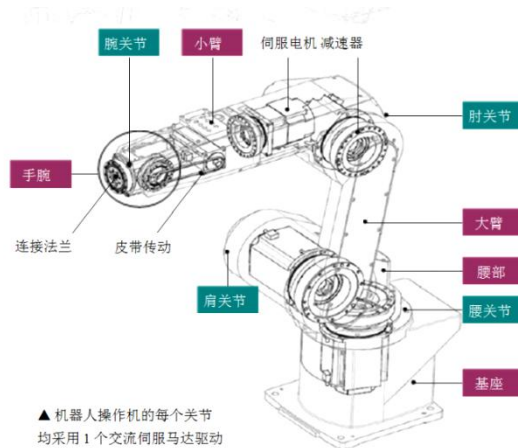


图 2 工业机器人机械部分基本结构原理图

(2) RV 减速器结构原理和减速比计算

RV 减速器是工业机器人关键减速装置之一，其放置位置一般在基座、腰部、大臂等重负载的位置（主要用于 20kg 以上的机器人关节）。RV 传动是新兴起的一种传动，它是在传统针摆行星传动的基础上发展出来的，不仅克服了一般针摆传动的缺点，而且因为具有体积小、重量轻、传动比范围大、寿命长、精度保持稳定、效率高、传动平稳等一系列优点。RV 减速器原理：主要由太阳轮（中心轮）、行星轮、转臂（曲柄轴）、转臂轴承、摆线轮（RV 齿轮）、针齿、刚性盘与输出盘等零部件组成。具有较高的疲劳强度和刚度以及较长的寿命，回差精度稳定，高精度机器人传动多采用 RV 减速器，传动原理如图 3 所示。

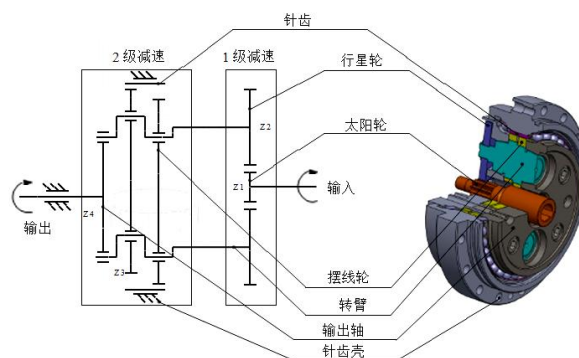


图 3 工业机器人 RV 减速器原理图（实物图）

RV 减速器也是行星减速器的一种，按照封闭差动轮系传动比的如下关系

式来计算其传动比 i_{14} 为：

$$i_{14} = 1 + (Z_2/Z_1) * Z_7$$

其中 Z_1 为渐开线中心轮齿数； Z_2 为渐开线行星轮齿数； Z_7 为针齿壳的针轮齿数。

(3) 谐波减速器结构原理和减速比计算

谐波减速器通常由 3 个基本构件组成，包括一个有内齿的刚轮，一个工作时可产生径向弹性变形并带有外齿的柔轮和一个装在柔轮内部、呈椭圆形、外圈带有柔性滚动轴承的波发生器，在这 3 个基本结构中可任意固定一个，其余一个为主动件一个从动件。

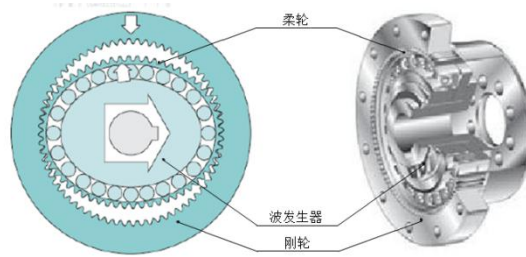


图 4 工业机器人谐波减速器结构原理图（缺实物）

当谐波减速器刚轮固定时，其输入与输出的传动比与柔轮固定不动时输出的传动比略有差别，设 Z_1 为刚轮齿数， Z_2 为柔轮齿数因此其传动结构简图和计算公式如下图所示：

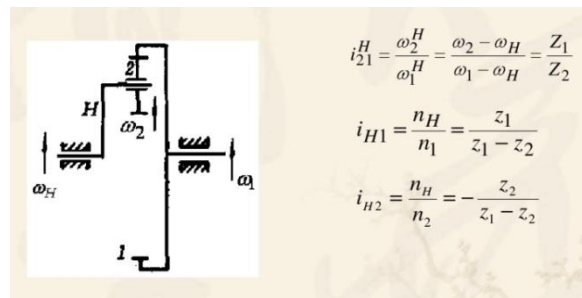


图 5 工业机器人谐波减速器减速比计算

(4) 工业机器人 J1 轴至 J6 轴具体结构及安装方法及传动原理

表 1 工业机器人 J1 轴至轴 6 轴主要结构组件明细表

名称	主要结构组件	安装步骤	传动原理
J1 轴	底座、RV 减速器、伺服电机	1.底座 2.减速器 3.伺服电机	RV 传动
J2 轴	大臂、RV 减速器、伺服电机	1.大臂 2.减速器 3.伺服电机	RV 传动
J3 轴	肘关节、RV 减速器、伺服电机	1.肘关节 2.减速器 3.伺服电机	RV 传动
J4 轴	小臂、谐波减速器、传送杆、伺服电机、防尘罩	1.小臂 2 传送杆 3 减速器 4 电机 5 防尘罩	谐波传动
J5 轴	腕关节、皮带、减速器、伺服电机	1.腕关节 2.减速器 3.电机 4.皮带	谐波传动、带传动
J6 轴	法兰、锥齿轮、减速器、伺服电机、皮带、防尘罩	1.法兰 2.锥齿轮 3.减速器 4.电机 5.皮带 6 防尘罩	谐波传动、带传动、锥齿轮传动

2-5 实验仪器设备（装置或软件等）

1) 硬件环境：计算机（独立显卡，2G 显存、主频 4 核、内存 8G、储存容量 1T），R08A 六轴工业机器人结构原理工作站一套。



图 6 工业机器人机械系统结构原理工作站

2) 软件：工业机器人机械系统结构原理仿真实验系统、浏览器(Chrome60.0 以上、Firefox55.0 以上、IE11.0 以上)。

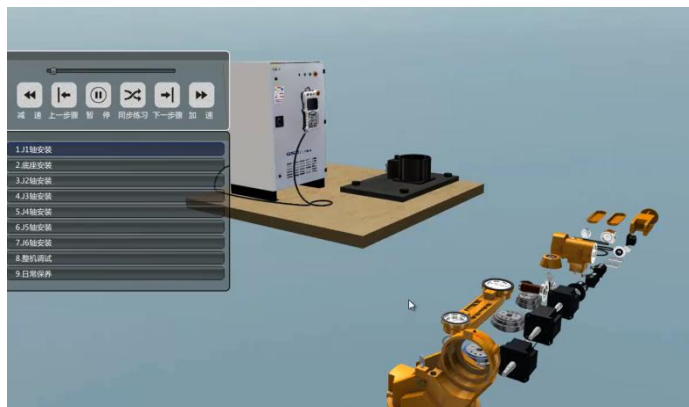


图 7 工业机器人机械系统结构原理仿真实验系统

2-6 实验材料（或预设参数等）



(a) RV 减速器



(b) 谐波减速器

图 8 RV 减速器和谐波减速器实物图

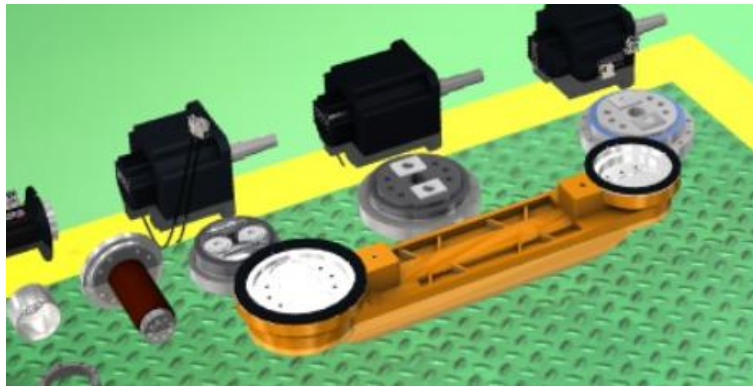


图9 RV减速器和谐波减速器虚拟仿真图

表2 实验材料及对应信息一览

实验流程	实验材料	学生操作情况
基本机构原理介绍	虚拟仿真系统、PPT、实物视频、工业机器人本体等	线上理论介绍分析、线下实物演示
自由度判断和计算	虚拟仿真系统、PPT、工业机器人本体等、实物视频	线上理论分析及线下实物演示
RV减速器原理	虚拟仿真系统、PPT、视频、RV减速器实物、原理视频等	线上理论分析计算，其中速比计算为后期选型装配互动操作前置必备流程
谐波减速器原理	虚拟仿真系统、PPT、视频、谐波减速器实物、原理视频等	线上理论分析计算，其中速比计算为后期选型装配互动操作前置必备流程
J1轴部件装配（含多步实验步骤）	虚拟仿真系统、实物装配视频、PPT、RV减速器、伺服电机等	可互动操作，其中减速器需计算速比后方能选型，错装后报警提示
J2轴部件装配（含多步实验步骤）	虚拟仿真系统、实物装配视频、PPT、RV减速器、伺服电机等	可互动操作，其中减速器需计算速比后方能选型，错装后报警提示
J3轴部件装配（含多步实验步骤）	虚拟仿真系统、实物装配视频、PPT、RV减速器、伺服电机等	可互动操作，其中减速器需计算速比后方能选型，错装后报警提示
J4轴部件装配（含多步实验步骤）	虚拟仿真系统、实物装配视频、PPT、连接杆、谐波减速器、伺服电机等	可互动操作，其中减速器需计算速比后方能选型，错装后报警提示
J5轴部件装配（含多步实验步骤）	虚拟仿真系统、实物装配视频、PPT、伺服电机、皮带轮、皮带、减速器、伺服电机等	可互动操作，其中减速器需计算速比后方能选型，错装后报警提示
J6轴部件装配（含多步实验步骤）	虚拟仿真系统、实物装配视频、PPT、换向锥齿轮、谐波减速器、皮带、法兰、伺服电机等	可互动操作，其中减速器需计算速比后方能选型，错装后报警提示

2-7 实验教学方法（举例说明采用的教学方法的使用目的、实施过程与实施效果）

工业机器人机械系统结构原理仿真实验旨在通过虚拟仿真技术、多媒体技术等现代教育技术手段反哺常规实验教学。利用虚拟仿真实验平台对实验前期知识点进行梳理和概括，突出重点、解析难点、掌握要点，为线下实验教学的顺利开展做好衍化工作。同时，将实验步骤模块化，把知识难点逐一分解，并在模块考核基础上进行总体效果评价。整体实验教学方法遵循虚实结合的原则，以理论知识点为核心主线，能力素养培养为目标导向，采用“问题导向学、互动探究”的教学模式，在实验教学的课前、课内和课后三个阶段都坚持学生学习的主体地位，体现科学探索与研究过程，再现知识的形成过程，深化对基本概念和原理的理解；同时发挥教师的引导作用，从而提高学生的学习能力、创新能力、交流能力、分析解决问题的能力。

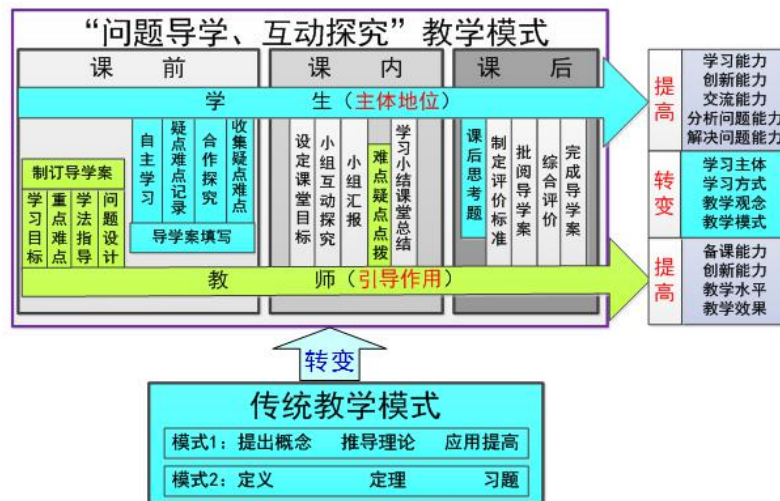


图 10 实验教学模式简图

1、使用目的：

通过虚拟仿真实验系统进行对工业机器人的基本结构、自由度解析、减速器结构及运行原理以及速比计算选型等理论知识进行讲解，配合嵌入式多媒体资源和 PPT 将理论知识点具象化，便于学生对本次实验内容的知识点进行理解和掌握。同时，也为仿真互动操作的选型配置做好前期知识储备。为缩短整机拆装时间，降低因违规或操作生疏而造成实物零件报废概率，使学生在有限时间内了解并熟悉整机结构及运动原理，本实验利用仿真平台内核心互动式装配功能，使学生能在有限的试验时间内安全、快捷的实现 J1 轴至 J6 轴的全部装配动作，对减速器的选配及安装方式有深刻的空间认知，使操作者充分掌握工业机器人的内部结构原理，熟悉工业机器人的内部传动方式和传动机理。工业机器人机械系统结构原理线上仿真实验教学作为线下实验教学的强力辅助技术手段，极大的缓解了线下实验存在的高耗时、高难度、高损耗、高风险、

高投入等系列棘手的实验现状,以虚实结合的方式使学生通过仿真练习模式进行反复训练,真实有效的掌握本实验的各项知识点。

2、实施过程:

(1) 通过平台实施预习。

(2) 利用平台内嵌式多媒体资料完成工业机器人基本结构、自由度判断分析计算、减速器结构原理以及速比计算等知识点的理论讲授。借助平台内虚拟模型并结合线下相关减速装置实物进行结构和工作机理的深度剖析。从二维原理示意到三维结构运动仿真帮助学生熟悉并掌握工业机器人基本结构组成、自由度分析计算、减速器工作原理及速比计算等核心知识点。

(3) 借助实物拆装视频了解工业机器人各关节结构及运动机理及其装配方法,加强学生对各关节轴的感性认知。进一步利用仿真平台整机互动装配功能,完成对工业机器人 J1 轴至 J6 轴的碎片化分解,所有零部件均安置于待装配区。根据各关节结构特点及工作原理,按照实际工序进行零件选型及装配。装配原则自底向上,由序号低位装配至序号高位。装配过程中学生只有完成相关设定如:减速器速比计算和选型,才被认可已掌握了相关实验理论,进入下一环节的操作。

(4) 线下实际操作。在前期虚拟仿真平台实践操作的基础上,针对工业机器人部分轴关节进行实物拆装,以前期虚拟仿真技术积累的理论和实践知识促进常规实验的教学。

(5) 总体评价。通过线上平台阶段性测评结果和线下实验完成效果综合评判学生知识掌握程度。

3、实施效果:

(1) 定性效果评价

工业机器人机械系统结构原理仿真实验项目的实施有效缓解了工业机器人重型装备的拆解难度大、实验周期长、零件损耗高、费用投入大等系列制约本知识点传授的困境。本实验项目的开展不仅在原有多媒体技术传授手段方式上融合了虚拟仿真实验技术,开拓了教学手段,更将以往的体验式、欣赏式仿真教学方式升级为人机互动型教学方式。充分调动学生学习专业理论知识的积极性,锻炼了实践操作技能,提升了发现问题、解决问题的能力,充分发掘学生的创造潜能,加强了学生解决实际问题的综合能力。

(2) 定量效果评价

自 2017 年以来,本实验项目一直应用于机自、机电、材料成型控制等专业的《机械系统试验》课程中。与未使用本实验项目的 2016 届学生评估数据(理论知识掌握情况、实验数据计算分析情况、实践应用情况、团队协作精神)相比,使用后的优秀率值为 10%,未使用的优秀率值为 4%,使用效果良好。

2-8 实验方法与步骤要求（学生交互性操作步骤应不少于 10 步）

1、实验方法描述：

通过线上与线下，虚拟与现实相结合的方式开展本实验的工作：

(1) 观看实验介绍视频、阅读实验目的、原理和特色。对工业机器人基本理论知识如：总体基本机构及自由度分析计算、减速装置原理及速比计算分析、J1 至 J6 轴基本机构及运动原理等进行课前预习。

(2) 根据系统仿真模型参数进行减速器速比计算知识巩固，计算结果可作为后期整机装配选型的依据。

(3) 将整机各零部件分解，操作人员可对待装配区域内的零件进行结构观察和用途分析。

(4) 通过嵌入式多媒体资料观看实物拆装视频，巩固核心要素的结构原理知识，确保仿真实验高效、准确的开展。

(5) 进行 J1 轴至 J6 轴主体结构的仿真装配，根据前期计算结果合理选择各关节处的减速装置，依次完成 J1 至 J6 轴的各零部件选型和定位装配，分析各关节传动形式和原理。

(6) 对仿真阶段实验进行小结和考评。

(7) 结合线上阶段已授的理论和实践知识，以团队协作形式开展线下 J3 轴和 J5 轴拆装。

(8) 从线上和线下两方面表现开展综合考评，总结虚实结合实验效果。

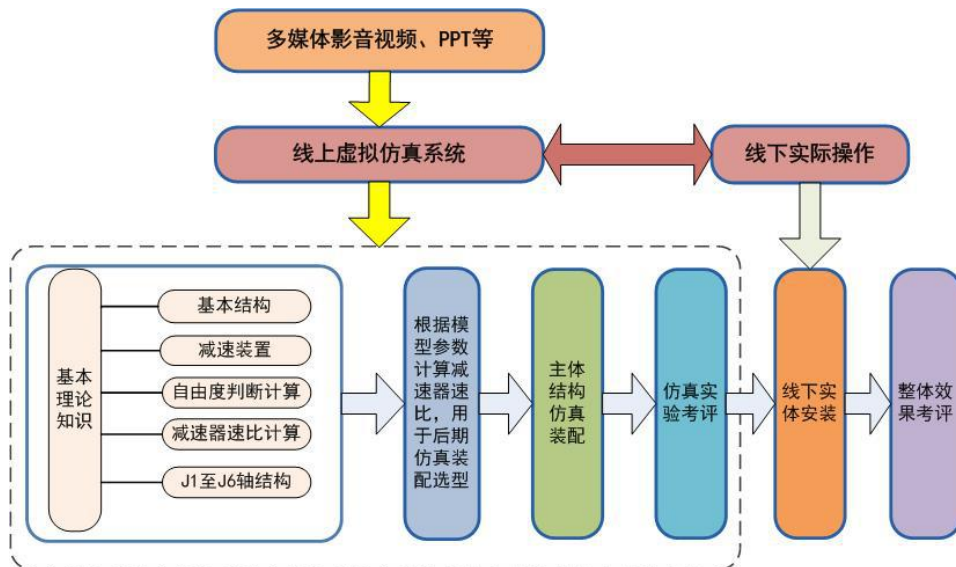


图 11 工业机器人机械系统结构原理实验方法流程图

2、学生交互性操作步骤说明：

核心交互性实验步骤包含 7 个模块 24 个操作步骤，具体如图 12 所示。



图 12 实验核心互动步骤

(1) 模块一：整机结构认识

步骤 1：整机结构部件标定，并可与系统答案进行验证，帮助学生对整个结构认知；



图 13 整机认知标定

(2) 模块二：J1 轴结构选型装配

步骤 2：肩关节认知选型并装配；

步骤 3：RV 减速器计算分析选型并装配；

步骤 4：伺服电机选型并安装；



图 14 J1 轴交互实验操作

(3) 模块三：J2 轴结构选型装配

步骤 5：RV 减速器计算分析选型并装配；

步骤 6：大臂认知选配；

步骤 7：配套伺服电机选型并安装；

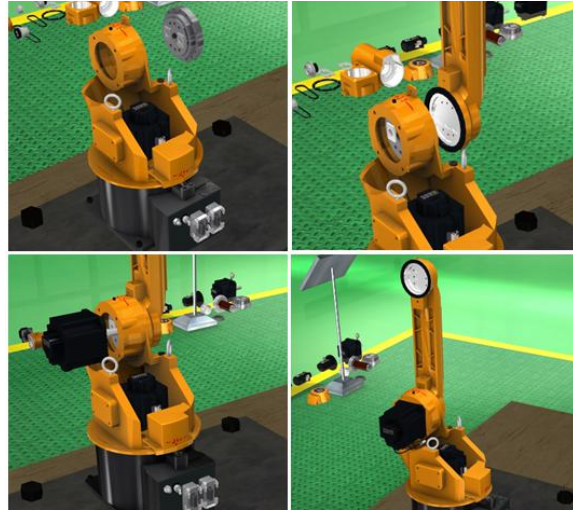


图 15 J2 轴交互实验操作

(4) 模块四：J3 轴结构选型装配

步骤 8：肘部关节认知分析和选型装配；

步骤 9：RV 减速器计算分析选型并装配；

步骤 10：配套伺服电机认知选型及安装；

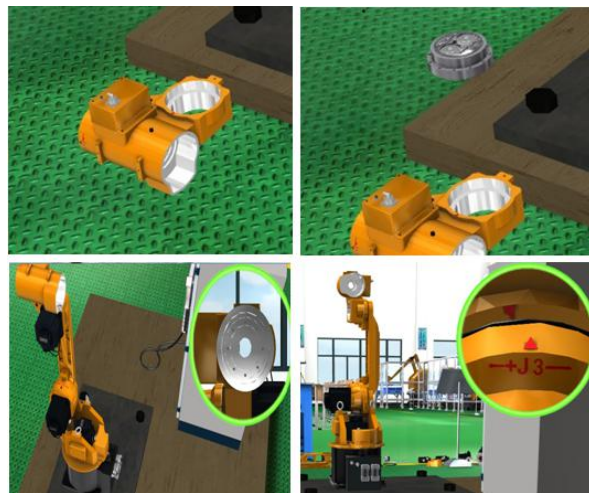


图 16 J3 轴交互实验操作

(5) 模块五：J4 轴结构选型装配

步骤 11：连接杆选型装配；

步骤 12：谐波减速器计算分析选型并装配；

步骤 13：小臂结构认知及选型装配；

步骤 14：配套伺服电机认知选型及安装；

步骤 15：防尘盖选择及安装；

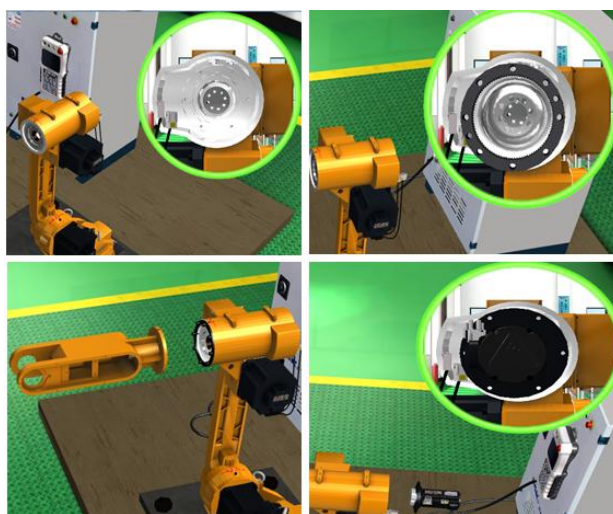


图 17 J4 轴交互实验操作

(6) 模块六：J5 轴结构选型装配

步骤 16：腕部壳体结构认知及选型装配；

步骤 17：腕部谐波减速器计算分析选型并装配；

步骤 18：减速电机及定位块选配；

步骤 19：皮带安装（注意需在 J6 轴电机放置后安装）；

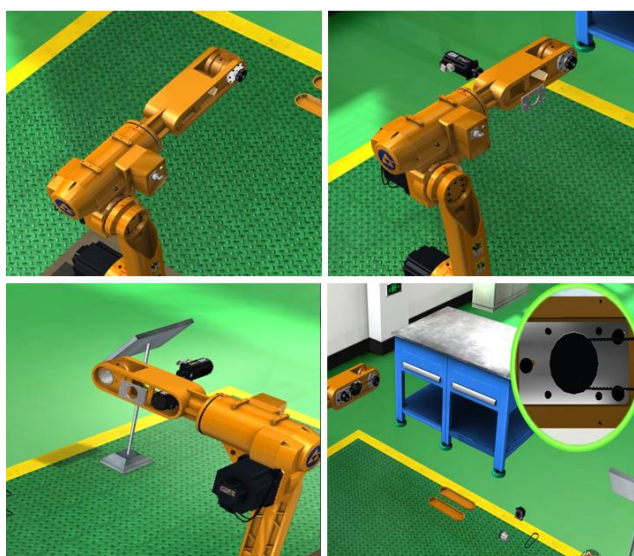


图 18 J5 轴交互实验操作

(7) 模块七：J6 轴结构选型装配

步骤 20：减速电机和定位板选型装配；

步骤 21：换向锥齿轮计算选型安装；

步骤 22：法兰盘和谐波减速器计算分析选型并装配选配；

步骤 23：皮带安装；

步骤 24：防尘盖安装；

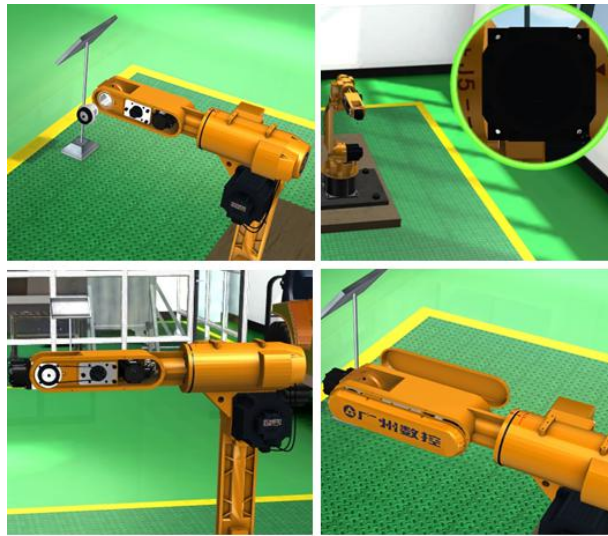


图 19 J6 轴交互实验操作

2-9 实验结果与结论要求

- (1) 是否记录每步实验结果：是否
- (2) 实验结果与结论要求：实验报告心得体会其他

其他描述：

系统拥有练习模式和考核模式情境功能。考核模式可对理论知识和实践操作进行客观评价，在考试模式下需输入考生的“姓名”和“学号”。考试环境是倒计时状态，操作中有不会的步骤可以按“考核提示键”给予考生该步骤的提示或者按“跳过本步”按键考生可以跳过不会操作的步骤以完成全部操作步骤。使用提示或跳过都会扣除相应的分数。完成考试按“结束考试”即可。软件自动评分。考核结束后，系统会生成一个考核结果文档。学生可通过文档单查看自己的各项知识点考核情况，如不满意可以反复进行试验，以此激发学生的学习热情，从而达到熟练掌握本实验的各项知识技能。



图 20 考核模式场景图

2-10 考核要求

本实验项目针对学生学习效果建立考核机制。平台可从治学态度、理论水平、实验技能、实验总结四方面度学生的学习效果进行智能测评分析，考核结果可作为教学调整的参考依据。

1、治学态度（占实验成绩 10%），考核内容包括：到课率、知识点预习情况等。

2、理论水平（占实验考核成绩的 30%），主要包括对于本实验所用到的实验原理、基本知识、计算分析等。

3、实验技能（占实验考核成绩的 50%），主要包括：零件选型、零部件装配准确度和熟练度等，分步按权重积分。

4、实验总结（占实验考核成绩的 10%），主要包括：实验知识点线上回顾和整理，可在系统内保存。

理论模块和实践模块考核要点如表 3 所示。

表 3 理论和实验考核点明细表

考核模块	序号	考核点	分值
理论模块	1	工业机器人基本结构组成	4
	2	工业机器人自由度判断和解析	6
	3	RV 减速装置结构原理和速比计算	8
	4	谐波减速装置结构原理和速比计算	8
	5	各关节传动原理	4
实践模块	6	J1 轴减速装置、底座、电机等选型装配	8
	7	J2 轴减速装置、大臂、电机等选型装配	8
	8	J3 轴减速装置、肘部、电机、防尘盖等选型和装配	8
	9	J4 轴减速装置、小臂、电机、连接传动杆等选型和装配	9
	10	J5 轴减速装置、腕部、电机、皮带、定位块等选型和装配	8
	11	J6 轴减速装置、法兰、锥齿轮、电机、皮带、防尘盖等选型和装配	9

2-11 面向学生要求

本实验项目以当下智能制造业热门执行终端——工业机器人为研究剖析对象，以产业需求为导向，国家制造业战略人才培养为目标，可满足本科院校、高职高专院校、中等职业学校机械类学科及控制类学科相关专业学生的学习。同时，本实验项目也可针对产业技术需求开展企业技术服务和培训。除专业技术需求外，本实验项目良好的互动性和科普性同样适用广大对机器人技术感兴趣的中小學生和社会人群进行科普知识讲座和参观互动。

面向学生的具体要求如下：

1、本科类院校学生

(1) 专业与年级要求

机自、机电、机器人工程、智能制造工程、材料成型控制工程等相关专业大二以上学生。

(2) 基本知识和能力要求

具备一定工科类基础知识及工程训练的基本认知与学习能力。掌握机械、控制技术、计算机等相关领域所涉及的专业知识与技能。

2、高职高专类院校学生

(1) 专业与年级要求

机械设计及其自动化、数控技术等相关专业领域的大二以上学生。

(2) 基本知识和能力要求

掌握机械、控制技术、计算机等相关领域所涉及的专业知识与技能。

3、中小学学生

通过软件互动，开展科普体验，激发学生的爱国热情和学习兴趣。

4、社会人员

开展相关技术产业社会服务培训，助力技术人员掌握工业机器人的常规操作和周期维护技能，亦可作为通识教育项目。

2-12 实验项目应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2018年6月

(2) 已服务过的本校学生人数：210人

(3) 是否纳入到教学计划：是否

(勾选“是”，请附所属课程教学大纲)

(4) 是否面向社会提供服务：是否

(5) 社会开放时间：培训期间开放，已服务人数：衢州市工业机器人技术应用培训三期，合计105人。

3.实验教学项目相关网络及安全要求描述

3-1 有效链接网址

172.17.14.236

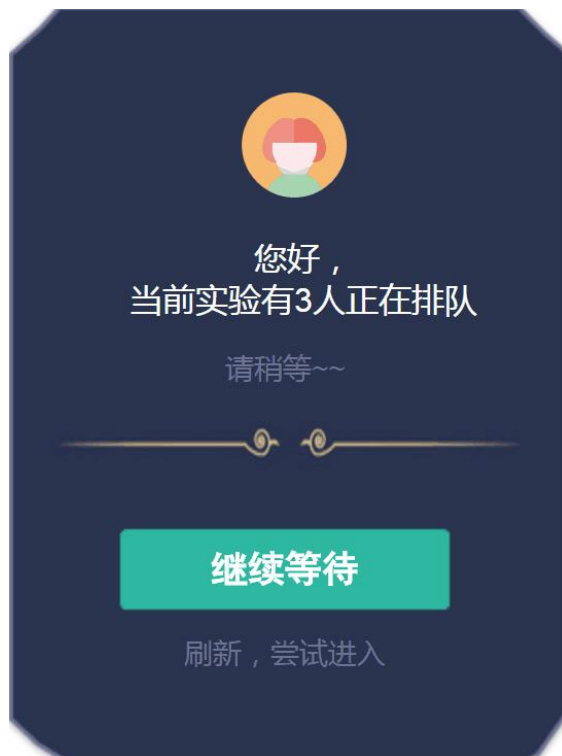
3-2 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求

- 1) 基于公有云服务器部署的系统，5M-10M 带宽
- 2) 基于局域网服务器部署的系统，10M-50M 带宽

(2) 说明能够支持的同时在线人数

支持 100 个学生同时在线并发访问和请求，如果单个实验被占用，则提示后面进行在线等待，等待前面一个预约实验结束后，进入下一个预约队列。



3-3 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、IOS、Android 等）

- (1) 计算机操作系统和版本要求
Windows7 64 位及以上系统
- (2) 其他计算终端操作系统和版本要求
无
- (3) 支持移动端：是 否

3-4 用户非操作系统软件配置要求（如浏览器、特定软件等）

(1) 需要特定插件 是 否（勾选“是”，请填写）

(2) 其他计算终端非操作系统软件配置要求（需说明是否可提供相关软件下载服务）

浏览器推荐使用谷歌（Google Chrome）浏览器 55.0 以上版本、火狐（Firefox）浏览器 50.0 以上版本

3-5 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）

(1) 计算机硬件配置要求

计算机硬件配置需求（最低）	计算机硬件配置需求（推荐）
中央处理器： Intel® Core™ i5-7400-3.0GHz-4 核 4 线程 内存： 8GB 硬盘空间： 100GB 图形处理器： NVIDIA® GeForce® GTX 960 显存： 2G 及以上 显示器： 16:9 分辨率 1280*720 及以上 网络带宽： 10Mbps 操作系统： Windows 7	中央处理器： Intel® Core™ i5-8500-3.0GHz-6 核 6 线程 内存： 16GB 硬盘空间： 500GB 图形处理器： NVIDIA® GeForce® GTX 1060 显存： 4G 及以上 显示器： 16:9 分辨率 1920*1080 网络带宽： 50Mbps 操作系统： Windows 10 浏览器： Chrome、Firefox、遨游、猎豹、 360、QQ、搜狗、Edge 等

(2) 其他计算终端硬件配置要求

无

3-6 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）

(1) 计算机特殊外置硬件要求

无


(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求

无

3-7 网络安全

(1) 项目系统是否完成国家信息安全等级保护 是 否
（勾选“是”，请填写） 级

4.实验教学项目技术架构及主要研发技术

指标	内容
<p style="text-align: center;">系统架构图及简要说明</p>	<p>工业机器人的机械系统结构原理仿真实验的开放运行依托于开放式虚拟仿真实验教学管理平台的支撑，二者通过数据接口无缝对接，保证用户能够随时随地的通过浏览器访问该项目，并通过平台提供的面向用户的智能指导、自动批改服务功能，尽可能帮助用户实现自主的实验，加强实验项目的开放服务能力，提升开放服务效果。</p> <p>开放式虚拟仿真实验教学管理平台以计算机仿真技术、多媒体技术和网络技术为依托，采用面向服务的软件架构开发，集实物仿真、创新设计、智能指导、虚拟实验结果自动批改和教学管理于一体，是具有良好的自主性、交互性和可扩展性的虚拟实验教学平台。</p> <p style="text-align: center;">总体架构图如下：</p>  <p style="text-align: center;">图 21 系统总体架构图</p> <p>如图 21 所示，支撑项目运行的平台及项目运行的架构共分为五层，每一层都为其上层提供服务，直到完成具体虚拟实验教学环境的构建。下面将按照从下至上的顺序分别阐述各层的具体功能。</p> <p>(1) 数据层</p> <p>工业机器人的机械系统结构原理仿真实验涉及到多种类型虚拟实验组件及数据，这里分别设置虚拟实验的基础元件库、实验课程库、典型实验库、标准答案库、规则库、实验</p>

	<p>数据、用户信息等来实现对相应数据的存放和管理。</p> <p>(2) 支撑层</p> <p>支撑层是虚拟仿真实验教学与开放共享平台的核心框架，是实验项目正常开放运行的基础，负责整个基础系统的运行、维护和管理。支撑平台包括以下几个功能子系统：安全管理、服务容器、数据管理、资源管理与监控、域管理、域间信息服务等。</p> <p>(3) 通用服务层</p> <p>通用服务层即开放式虚拟仿真实验教学管理平台，提供虚拟实验教学环境的一些通用支持组件，以使用户能够快速在虚拟实验环境完成虚拟仿真实验。通用服务包括：实验教务管理、实验教学管理、理论知识学习、实验资源管理、智能指导、互动交流、实验结果自动批改、实验报告管理、教学效果评、项目开放与共享等，同时提供相应集成接口工具，以便该平台能够方便集成第三方的虚拟实验软件进入统一管理。</p> <p>(4) 仿真层</p> <p>仿真层主要针对该项目进行相应的器材建模、实验场景构建、虚拟仪器开发、提供通用的仿真器，最后为上层提供实验结果数据的格式化输出。</p> <p>(5) 应用层</p> <p>基于底层的服务，最终工业机器人的机械系统结构原理仿真实验教学与开放共享。该框架的应用层具有良好的扩展性，实验教师可根据教学需要，利用服务层提供的各种工具和仿真层提供的相应的器材模型，设计各种典型实验实例，最后面向学校开展实验教学应用。</p>
实验教学项目	<p style="text-align: center;">开发技术</p> <p><input type="checkbox"/>VR <input type="checkbox"/>AR <input type="checkbox"/>MR <input checked="" type="checkbox"/>3D 仿真 <input type="checkbox"/>二维动画</p> <p><input type="checkbox"/>HTML5</p> <p>其他</p>

	<p style="text-align: center;">开发工具</p>	<input checked="" type="checkbox"/> Unity3D <input checked="" type="checkbox"/> 3D Studio Max <input checked="" type="checkbox"/> Maya <input type="checkbox"/> ZBrush <input type="checkbox"/> SketchUp <input type="checkbox"/> Adobe Flash <input type="checkbox"/> Unreal Development Kit <input type="checkbox"/> Animate CC <input type="checkbox"/> Blender <input checked="" type="checkbox"/> Visual Studio <input type="checkbox"/> 其他
	<p style="text-align: center;">运行环境</p>	<p>服务器 CPU 六核、内存 32GB、 磁盘 100GB、 显存 0 GB、GPU 型号无</p> <p>操作系统 <input checked="" type="checkbox"/>Windows Server <input type="checkbox"/>Linux <input type="checkbox"/>其他 具体版本</p> <p>数据库 <input checked="" type="checkbox"/>Mysql <input type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle 其他 备注说明</p>
	<p>项目品质（如：单场景模型总面数、贴图分辨率、每帧渲染次数、动作反馈时间、显示刷新率、分辨率等）</p>	<p>单场景模型总面数：900000 面 贴图分辨率：1024*1024 动作反馈时间：1 秒以内 显示刷新率：高于 30Hz（fps） 正常分辨率 1920*1080</p>

5.实验教学项目特色

（体现虚拟仿真实验教学项目建设的必要性及先进性、教学方式方法、评价体系及对传统教学的延伸与拓展等方面的特色情况介绍。）

（1）项目的必要性及先进性：

为努力实现“中国制造 2025”、智能制造工业 4.0 等一系列国家战略发展布局，结合我校致力于培养新兴交叉学科和尖端技术领域科技英才的人才培养目标，同时考虑到工业机器人在中国制造中的战略地位，以及相关专业技术人员数量缺口巨大这一紧迫现状，特开设工业机器人相关专业课程。但受工业机器人体积、质量、结构复杂程度、整机拆装难度、拆装实验周期以及投入成本和占地面积等诸多硬件及软件条件的限制，工业机器人结构原理认知的教学模式多采用传统的 PPT 加音视频的形式开展，学生参与程度不高，知识掌握仅

局限于平面感性认识。为有效缓解实验操作难度和投入成本这一问题，通过引入虚拟仿真实验技术，用以反哺实践教学的不足，既激发了学生学习兴趣同时也加速了知识的传授和吸收。

该项目摒弃传统教学手段，运用三维虚拟仿真技术反哺常规实验教学，培养学生发现和解决实际问题的综合能力，切实提升创新型、应用型人才培养质量。其先进性体现在以下三个方面：

①实验方案设计合理。本项目针对当前工业机器人结构原理教学存在的不足，通过虚拟仿真技术实现了“化长为短时、化危险为安全、化高难为仿真、将分散作综合”的项目建设。通过数字技术将碎片化的知识文件嵌入仿真实验平台中，可实现预习、练习、考核、评价一体化功能，知识综合性强。其中理论和仿真互动操作之间有机结合考查设计，让每位学生都能实现“学中做，做中学”，整个实验过程围绕相关知识点进行验证、分析和应用。

②知识体系结构完善。本项目知识体系遵循总分形式。项目由操作者直观可视的整机部件结构为切入点，详细介绍了工业机器人的整体结构组成及其作用。进一步对工业机器人各轴的关键装置（减速器）进行重点分析，并据此对J1至J6轴进行细化剖析。

③多种教学手段有机结合。采用线上与线下、虚拟与现实、仿真技术与多媒体技术立体化教学，通过线上互动交流、知识反复训练、线下强化应用等众多举措，激发学生学习兴趣，促使其在课内学习效率最大化。

(2) 实验方案设计的创新

充分利用线上资源开展实验意义、实验目的、实验内容及实验要求的全面预习工作，同时对产业的背景意义和紧迫性进行分析，融入现代思政教育元素，激发大学生的爱国效国热情。通过线上虚拟仿真实验教学系统中嵌入的视频和PPT等教学资源了解本次实验的知识组成和操作流程及要求。进一步采用交互式探讨教学模式对工业机器人的基本结构、关键减速装置认识及速比计算和选型、关节自由度计算、装配工艺流程等关键知识点进行启发式多媒体案例教学。以自主虚拟装配练习加强对各项知识点的梳理和掌握。采用线上考评系统对工业机器人机械系统结构原理进行线上虚拟操作和考评，并对后续相关线下实践教学内容进行软件指导。通过实物拆装试验反哺虚拟仿真实验知识体系，达到虚实结合、互通互补的效能。详细设计方案流程如图22所示。

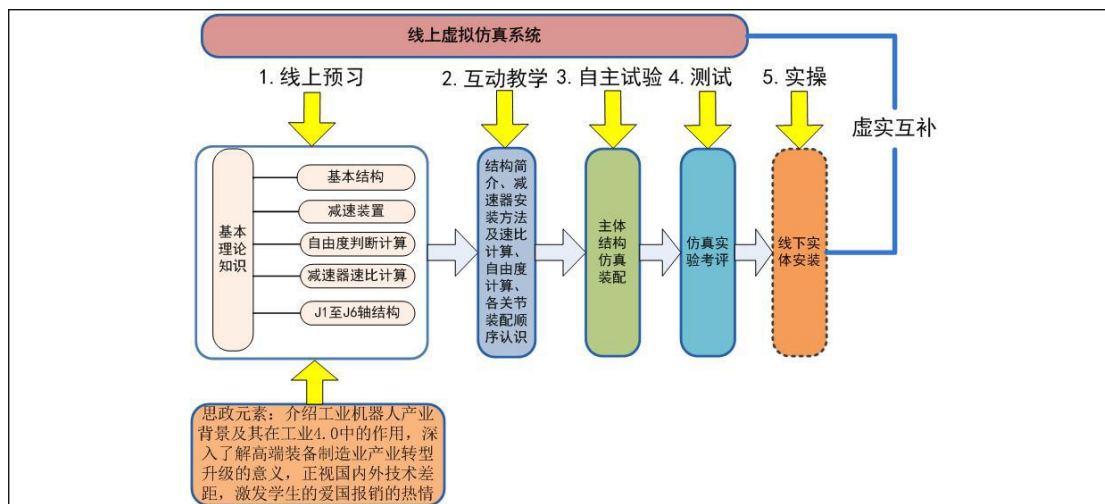


图 22 试验方案设计

(3) 实验教学方法创新

工业机器人结构原理仿真实验完整地再现了工业机器人各零部件的结构及运行机理，实验基于问题、案例，精心设计教学环节和互动自主式教学方法，通过实验练习，实验所涉及知识点不但能满足高校学生对工业机器人机械结构基础知识的掌握，还可为社会上的工程技术人员提供工业机器人应用和维护培训，积累经验。实验中有师生互动环节，也提供互动平台，使得老师和学生等用户进行讨论，夯实对所学专业理论知识的理解，提升专业认知和学习兴趣，培养科学创新思想，同时增强团结协作和创新创造的能力。

(4) 评价体系创新

仿真实验平台促使诊断性评价、形成性评价、终结性评价相结合。诊断性评价是学生对自己是否具备实验所需要的背景知识和技能储备进行的自我评估，以便自主补足。在实验开始之前让学生自主利用仿真实验平台进行预习，对自己所具有的认知、技能方面的条件进行自我诊断、评价，并允许学生根据预习结果进行自我反省、自我纠错、自行提高。形成性评价是在实验进展过程中进行的评价，具有提示、反馈的功能，其目的是监督和引导实验进程，对实验进程进行调整或修正，这类评价将原来预定的各步实验目标作为评价依据。总结性评价在实验结束之后所进行，所关注的是整个实验阶段所产生的结果，目的是了解整体的实验效果。仿真实验评价设计成把教学评价体系作为一个统一的整体来加以运用，特别重视“诊断性评价”和“形成性评价”，体现了素质教育理念的评价观。允许学生反复实验，自我纠错，不断提高实验质量，直到自我满足为止，着重的是学生成绩和素质的增值，不是简单的分等排序。承认学生的努力和进步，从而激励学生的学习热情、求知欲望、促进学生能力快速提高。

(5) 对传统教学的延伸与拓展

①继承传统实验教学，拓展实验内容。受装备空间局限、实验难度和周期等因素影响，传统工业机器人结构实验教学多采用原理示意、视频课件等方式开展，实验内容缩水，难度较大的 J1、J2、J3 轴都以口述为主。通过仿真技术可完成所有关节的结构原理认识和装配实验，不光继承了传统实验内容，也延伸了教学研究内容。

②传统教学方式拓展。利用数字仿真技术的灵活性、多样性、高效性等技术特点，使学生在虚拟环境中，按照工况，自主操作虚拟设备，边操作边学习，践行“做中学、学中做”，改变传统教学说得多做得少的现象。有效引导学生自主探究，逐步培养其发现问题、分析问题、解决问题的能力。本项目将常规课堂教学模式延伸到虚拟仿真教学，通过反复训练熟悉相关知识技能，同时又反哺常规实验操作，真正做到传统教学和虚拟仿真有机融合、线上与线下互为一体。

③教学对象的拓展。本实验项目作为国内热门装备技术研究的基础知识，可面向广大工科学生、从事本产业或与之相关的专业技术人员等开展授课培训。同时，也可作为科普性知识成果，在中小学、科技馆、青少年宫等场所进行科普知识介绍，激发参与者的兴趣。

6.实验教学项目持续建设服务计划

(本实验教学项目今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数)

本实验教学项目目前主要在衢州学院的校园网内开放，主要面向机械类专业学生开展。计划后 5 年将在原有仿真实验系统基础上不断完善和补充，不断进行实验教学模式创新与改革，通过连续建设和发展，实现多学科、多校区、多学校、多组织之间的教学资源和教学经验共享。为进一步发挥本项目的示范效应，具体计划如下：

(1) 项目持续建设与服务计划：

申报的虚拟仿真实验将主要承担机械工程专业的实验教学任务，同时可满足近工科类相关专业的实践教学的需要，实验项目可依托机械工程学院省级实验示范中心的管理信息平台，实现网上预约，为学生创造了一个良好的实验实践环境。本项目建设目标明确、任务具体，采用边建设、边运行的方式，学院在硬件设施、资金保障、人员筹备等方面给予了大力支持。下一步计划为：

1) 优化实验内容，补充相关知识点。如：其他非标类工业机器人的结构原理介绍、当前工业机器人的发展趋势及结构原理等。

2) 改进实验方案，提升互动层次。通过技术层面增加逻辑耦合参数的嵌

入，用户可自行设定实验参数，改变零件尺寸规格，装配后如不配套，则需重新选型计算。通过技术改进不但强化了结构原理认知，更将机械设计技能完美融合进本实验项目中，延伸了实验方案。

(2) 面向高校的教学推广应用计划：

本实验项目是以企业生产实际为背景研发的，结合了企业对岗位能力的需求，不仅可以用于高校进行理论和实践教学，也可以用于企业员工培训。本实验项目可向省内及“浙闽赣皖四省边际应用型大学联盟”的高校开放，为其它高校在《机器人应用技术》、《工业机器人操作与应用》、《工业机器人拆装与调试》等课程中的实验教学提供开放。本实验的虚拟仿真实验教学平台的网站升级后，满足7天×24小时网上浏览要求，并可每月提供180机时，供远程用户登录系统操作仿真实验。受益人数：超过1100人。

(3) 面向社会的推广应用计划：

打造工业机器人运行与维护实训公共服务平台，依托我校1+X证书制度试点，开展工业机器人技术操作人员运维能力的实训认证。打造工业机器人教学实训和展示体验中心，进行工业机器人应用宣传和体验，推动工业机器人技术创新和推广。

7.知识产权

软件著作权登记情况	
软件著作权登记情况	<input type="checkbox"/> 已登记 <input checked="" type="checkbox"/> 未登记
完成软件著作权登记的，需填写以下内容	
软件名称	
是否与项目名称一致	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
著作权人	
权利范围	
登记号	

8. 诚信承诺

本人承诺：所申报的实验教学设计具有原创性，项目所属学校对本实验项目内容（包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验项目的一切资源）享有著作权，保证所申报的项目或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

本人已认真填写、检查申报材料，保证内容真实、准确、有效。

实验教学项目负责人（签字）：

年 月 日

9. 附件材料清单

1. 政治审查意见（必须提供）

（本校党委须对项目团队成员情况进行审查，并对项目内容的政治导向进行把关，确保项目正确的政治方向、价值取向。须由学校党委盖章。无统一格式要求。）

2. 校外评价意见（可选提供）

（评价意见作为项目有关学术水平、项目质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由项目应用高校或社会应用机构等出具。评价意见须经相关单位盖章，以1份为宜，不得超过2份。无统一格式要求。）

10 申报学校承诺意见

本学校已按照申报要求对申报的虚拟仿真实验教学项目在校内进行公示，并审核实验教学项目的内容符合申报要求和注意事项、符合相关法律法规和教学纪律要求等。经评审评价，现择优申报。

本虚拟仿真实验教学项目如果被认定为“浙江省虚拟仿真实验教学项目”，学校将严格贯彻省教育厅的要求，承诺将监督和保障该实验教学项目面向高校和社会开放，并提供教学服务不少于 5 年，支持和监督教学服务团队对实验教学项目进行持续改进完善和服务。

（其他需要说明的意见。）

主管校领导（签字）：

（学校公章）

年 月 日