

第 17 届全国三维数字化创新设计大赛
“华中数控杯”工业协作机器人及数字孪生
技术创新应用专项赛

组别：本科生组、研究生组

竞赛方案与命题

随着科技的发展，机器人工程已经成为了一个重要的技术领域，其在工业、医疗、家庭、教育等方面正在得到越来越广泛的关注和应用。机器人是新质生产力的重要要素之一，发展机器人产业也是发展新质生产力的需要，相关人才缺口巨大，迫切需要培养能解决复杂工程问题、有创新能力及编程仿真操作能力的高素质技术型、应用型、复合型人才。

本赛项利用工业协作机器人及数字孪生技术创新应用平台，进行机器人多功能夹具设计与制造、安装与调试，并在工业协作机器人及数字孪生技术创新应用平台上，完成液体瓶罐的搬运、开盖，及其内液体的分装等工作任务，满足小批量多品种产品的定制化生产需求。

本赛项主要考察选手对工业机器人末端夹具创新设计与制造、工业协作机器人技术、数字孪生技术、PLC 与 HMI 技术、机器视觉技术等综合应用能力，以真实的工业装备和应用环境作为赛场，考察参赛选手解决机器人领域复杂工程问题的综合能力。

一、竞赛环节安排

工业协作机器人及数字孪生技术创新应用竞赛由现场竞赛和场外答辩两个环节组成。具体安排如下表 1 所示：

表 1 竞赛环节

环节	形式	时长	备注
第一环节	现场竞赛	120 分钟	<ol style="list-style-type: none">1. 现场实操竞赛含模块一和模块二,总时间为 120 分钟。2. 本科组实操成绩占总成绩 70%。3. 研究生组实操成绩占总成绩 60%。
第二环节	场外答辩	10 分钟	<ol style="list-style-type: none">1. 视频展示:赛前制作准备好 1 分钟左右视频文件,展示机器人末端夹具设计与制作过程,主要内容包括但不限于以下内容:<ol style="list-style-type: none">(1) 选手制作末端夹具的主要环节,例如设计与制造环节等;(2) 液体瓶罐开盖,液体分装的测试,展示其功能和实现过;(3) 是否具有独创性、创新性和实用性;(4) 优化与改进迭代过程等。2. 选手讲解 4 分钟。3. 专家问辩 5 分钟。4. 场外答辩分数本科组占总成绩 30%。5. 场外答辩分数研究生组占总成绩 40%。6. 具体答辩要求见竞赛命题(三)。

二、竞赛平台技术参数

见附件一。

三、竞赛命题

（一）赛前夹具创新设计

参赛选手根据竞赛平台技术参数与功能，在现场竞赛前，完成多种液体瓶罐抓取和开盖的末端多功能夹具及辅助机构的自主创新设计与制作，使其能安装在 HSR-CR605 机器人末端，并满足机器人抓取重量的技术参数要求，通过工业协作机器人完成多种液体瓶罐抓取和开盖（机器人末端尺寸图见附件一）。

末端夹具要求如下：

（1）机器人末端法兰之外的部分均由选手设计制作，包括抓取物的总重量小于 5kg。现场竞赛如选手未携带自行设计的末端夹具及辅助机构实物参加比赛，即视为自动放弃该环节竞赛；

（2）选手创新设计的夹具三维模型文件需要带到比赛现场，导入到数字孪生软件中，完成孪生运行与虚拟仿真调试；

（3）末端夹具及辅助机构需适应不同尺寸、形状和材质的液体瓶罐，包括但不限于拉环式、旋钮式的玻璃瓶、塑料瓶、易拉罐等不同类型的液体瓶罐。通过工业协作机器人完成不同液体瓶罐的开盖应用场景，其中液体瓶罐选手自选自带，比赛现场不提供；

(4) 末端夹具及辅助机构由参赛选手自主设计与制造，具有创新性，不得抄袭与委托他人设计制作，一旦发现，取消比赛资格并通报给选手所在学校。

(二) 现场竞赛命题

现场竞赛分为两个模块，通过选手赛前所设计及制作的机器人末端夹具，使用竞赛现场提供的竞赛平台完成相关的竞赛内容。

模块一为规定任务的开盖分装，**模块二**为自选液体瓶罐的开盖。具体命题要求如下：

模块一：规定任务的开盖分装（60分）

任务一：视觉系统调试（15分）

任务描述：工业协作机器人及数字孪生技术创新应用平台包含视觉调试系统。选手也可根据自身需求安装其他视觉系统，但现场不提供自带视觉系统的调试软件。完成视觉系统的调试任务，并能够识别液体瓶罐的特征。

任务要求：

(1) 通过视觉系统调试软件，调试视觉系统使液体瓶罐在拍照区域下，能够清晰成像并识别出液体瓶罐的类型、必要的角度值或位置值等特征。

(2) 完成视觉系统与 PLC 的通讯，能够通过 HMI 界面显示饮品瓶罐类型、必要的角度值或位置值，参考图 1：



图 1 HMI 参考界面

任务二：数字孪生虚拟仿真调试（15 分）

任务描述：利用工业协作机器人数字孪生虚拟调试软件，现场导入选手自行设计的末端夹具模型实现指定液体瓶罐内液体的分装任务。

任务要求：

- (1) 在数字孪生虚拟调试软件中，将液体倒入分装杯内，液体瓶罐放置在物料存放区任一仓位内，分装杯放置在杯托中，位置不限。
- (2) 导入自行设计的末端夹具模型并调试机器人程序。
- (3) 调试视觉系统，匹配模板，获取拍照特征，识别瓶罐类型，通过提供封装的 PLC 程序（供数字孪生用）控制机器人调整液体瓶罐放置角度（注： $|\alpha| > 10^\circ$ ，这里 α 指的开盖时瓶罐特征中的角度值， $\alpha > 10^\circ$ ， $\alpha < -10^\circ$ ）或位置。

(4) 通过 HMI 仿真启动按钮实现瓶罐的抓取、识别其放置角度或位置，并完成调整、开盖、分装瓶罐内液体的任务。

(5) 评判时系统自动对液体瓶罐的抓取、开盖、液体分装任务完成情况进行评分。

任务三：液体瓶罐分装及数字孪生虚实联调（30 分）

任务描述：在工业协作机器人及数字孪生技术创新应用平台上，通过 HMI 界面（如图 1 所示）选择一种液体瓶罐后，按下 HMI 界面上的启动按钮，工业协作机器人通过外部模式启动，机器人从液体瓶罐放置区取出瓶罐，送至拍照区域进行瓶罐的识别，完成瓶罐识别后在辅助机构放置区域上完成瓶罐开启，最后将瓶罐内的液体全部倒入分装杯中。与此同时，工业协作机器人数字孪生虚拟调试软件实现虚实联动。

任务要求：

(1) 不得通过各种破坏性行为完成任务，在机器人运行过程中不得产生干涉和碰撞。

(2) 工业机器人需从安全点出发，完成任务后需再回到安全点。

(3) 根据要求编写机器人程序、逻辑控制 PLC 程序、设计 HMI 界面、调试视觉系统，以实现联调任务。

(4) 选手将自行设计的末端夹具导入至虚拟仿真软件内，完成虚拟调试。数字孪生虚实联调时，选手需调整虚拟模型位

置与实物平台保持一致。从而实现实体平台与数字孪生体的虚实同步运行。

模块二 自选液体瓶罐的开盖

注意：该部分得分采用加分制计入总得分。

任务描述：根据选手自行设计制作的末端夹具及辅助装置，通过现场提供的竞赛平台，编写机器人程序，自动完成多种液体瓶罐的抓取和开盖动作。（选手自选液体瓶罐初始位置放置于平台的罐体放置区，开盖动作需在辅助机构放置区完成（选手也可以不用辅助机构开盖））。

计分规则：

(1) 选手完成第一个液体瓶罐抓取与开盖（开盖需要完全打开），加 5 分；

(2) 选手完成第一个液体瓶罐抓取和开盖后，连续完成后续液体瓶罐的抓取和开盖，且中途无需安装更换夹具，则抓取、开盖完成一个加 10 分，需要更换夹具才能完成任务的，加 5 分，以此类推。

以下情况不计分：

(1) 如开盖与模块一或与上一次开盖瓶罐类型相同，或者使用末端夹具同一机构的同一位置完成类似瓶罐的抓取和开盖（类似瓶罐：比如都是圆柱拉环式瓶罐，只是直径大小不同，或者高度不同则视为类似），则该抓取和开盖不得分。

(2) 开盖未完全打开，或在抓取、开盖过程中瓶罐发生变形、破损、液体溅出不得分。

(3) 未采用机器人自动（或外部）运行程序方式完成抓取、开盖不得分。

（三）场外答辩要求

各参赛队选派代表参加场外答辩，选手可以从设计的独创性、技术或原理的创新性，实现的经济性和易用性、价值导向性、环保性等方面进行介绍。答辩问题涉及工业协作机器人末端夹具的设计思路、工作原理、制作工艺及创新点等。

(1) 在参赛报名时提交设计文档，文档应包括：

◆概念设计、总体设计、功能设计和详细设计；

◆主要非标零部件的制造工艺过程卡和工序卡；

◆安装调试过程和结果分析；

◆优化设计和制造的方法和结果。

★另：研究生组应包括末端夹具的运动学与动力学分析、以及有关力控制、位置控制系统设计和算法设计。

(2) 提交演示视频文件电子版。

(3) 提交答辩 PPT 文件电子版。

注意：文档出现校名、姓名、队名，此环节不得分；文档雷同均视作弊，此环节不得分。

四、职业素养与安全操作要求

对参赛选手全过程的职业精神及其具备的生产安全、环境保护知识和操作的规范性、系统性等进行综合评价，主要从以下几个方面进行考核：

(1) 安全文明参赛；

(2) 设备操作的规范性；

(3) 工具、量具的使用与摆放；

(4) 着装规范；

(5) 资料归档完整；

(6) 完成任务的计划性、条理性，以及遇到问题时的应对状况等。

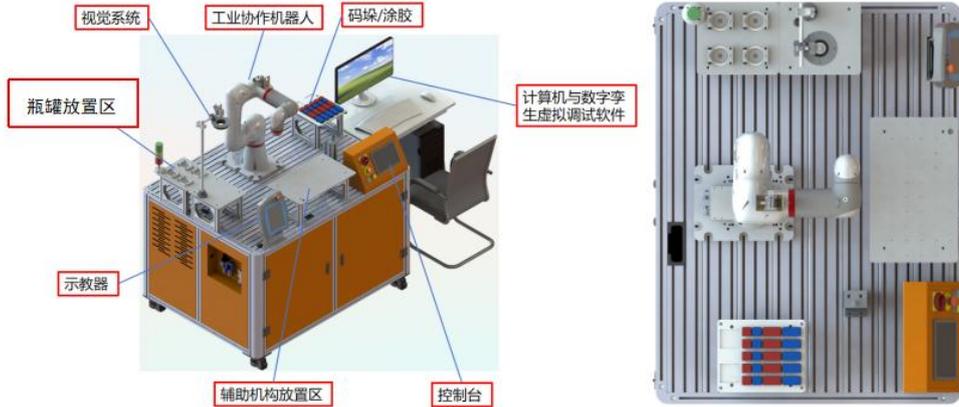
如出现以下情况，视情况进行扣分

考核内容		扣分标准
1	工业机器人与其他设备发生碰撞	3分/次
2	末端夹具部件掉落、瓶罐掉落现象	2分/次
3	不服从评委指令	3分/次
4	擅自离开本参赛队赛位	取消比赛资格
5	与其他赛位的选手交流	取消比赛资格
6	在赛场大声喧哗、无理取闹	取消比赛资格
7	携带U盘、手机等不允许携带的物品进场	取消比赛资格
8	发现作弊行为	取消比赛资格

9	出现严重撞机，导致设备损坏	取消比赛资格
---	---------------	--------

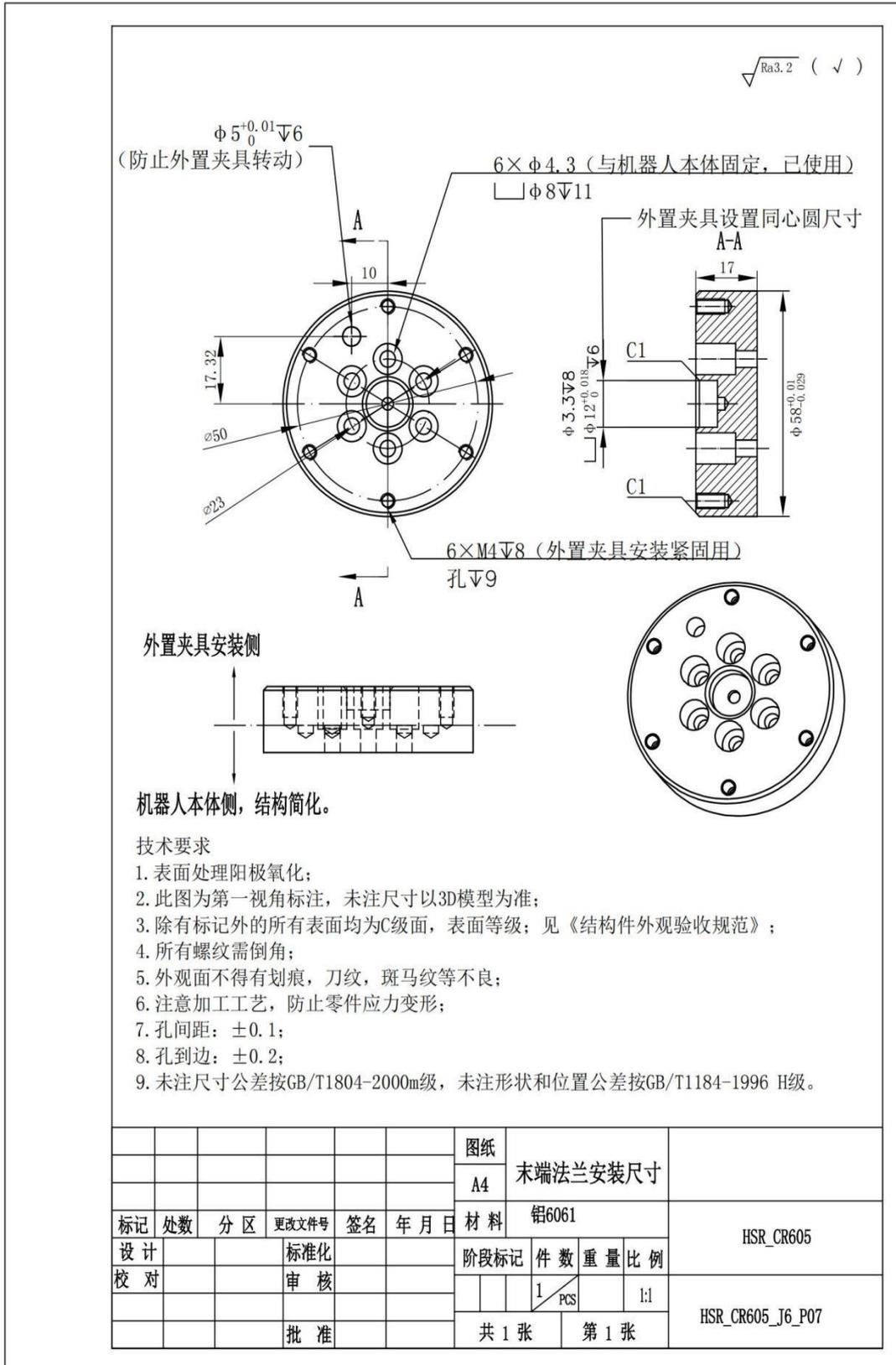
附件一

(一) 竞赛平台布局示意图与工业协作机器人参数



自由度	6		电源容量	1.3KVA		本体/电柜重量	24kg/15kg		
负载	5Kg		容许惯矩	J6	0.12kgm ²	本体/电柜防护等级	IP67/IP20		
最大工作半径	785mm			J5	0.23kgm ²				
重复定位精度	±0.02mm			J4	0.31kgm ²	I/O 参数	数字量：16位输入 (NPN)，16位输出 (NPN)		
各轴运动范围	J1	±360°	最高速度	J1	240° /s / 4.18rad/s			本体预留信号线	8位 (航空插头连接)
	J2	-240° /+60°		J2	210° /s / 3.66rad/s				
	J3	-60 /+240°		J3	270° /s / 4.71rad/s				
	J4	±360°		J4	375° /s / 6.54rad/s				
	J5	±360°		J5	300° /s / 5.23rad/s				
	J6	±360°		J6	600° /s / 10.46rad/s				

(二) 机器人末端法兰安装尺寸图



(三) 操作板规格

