

飞机是指具有一具或多具发动机的动力装置产生前进的推力或拉力,由机身的固定机翼产生升力,在大气层内飞行的重于空气的航空器。飞机自 20 世纪初问世,开启了人们征服蓝天的历史,深刻地改变和影响了人们的生活,目前已经成为服务人类不可缺少的运载工具和拱卫国家安全的重要武器装备。

飞机制造集诸多高精尖技术于一体,被誉为“工业之花”。以飞机为主要产品的航空工业,作为国民经济相关产业的支柱产业,带动了其他高新技术特别是高新制造技术的飞速发展。所以,飞机制造已经成为一个国家制造业的核心和衡量一个国家是否为“制造强国”的重要标志,以及国家竞争力的制高点。

然而随着智能制造技术的飞速发展,各种新技术、新方法、新设备的不断涌现,本书设计的虚拟仿真实验也必将不断迭代、推陈出新,才能保持与时俱进。同样地,相关高校、研究所、企业也希望根据自己的需求开发相应的虚拟仿真实验,用于满足实践教学、项目展示、设备培训等多方面的需求。针对这些需求,本书通过具体的案例,详细介绍了虚拟仿真实验项目的开发方法和过程,以满足各行各业对虚拟仿真实验开发的学习要求。

基本信息：



田威 金霞 王珉 李泷杲 编著

ISBN: 978-7-03-073424-2

定价: 69 元

内容简介：本书为国家级虚拟仿真实验项目“飞机大部件装配虚拟仿真实验”配套教材，系统介绍了飞机蒙皮拉形工艺设计实验、飞机壁板自动钻铆工艺设计实验和飞机翼身对接实验的原理、目的、内容、过程以及考核方法，并通过具体案例，详细介绍了虚拟仿真实验项目的开发方法和过程。本书能够

1. 《飞机装配虚拟仿真实验及开发》一书的特点？

本书在广泛查阅资料的基础上，融合了作者的科研成果，并借鉴了航空工业一线技术人员的工程经验。作为一本教材，本书尝试依据学习活动的基本规律，关注读者的思维发展，以真实场景的虚拟仿真实验为切入点，引起读者对专业知

识的渴望，从而进一步激发起对专业实验项目开发的兴趣。

2. 虚拟仿真实验开发的必要性

虚拟仿真技术的发展，与高校实验教学过程有着极高的契合度，学生借助仪器设备等物质条件，可沉浸并参与计算机系统所创建虚拟世界的活动，通过增强现实技术，模拟出知识生产、发展、变化的现实世界，使学生在虚拟世界中获取现实世界中具有的感知能力（如视觉、听觉、力觉、触觉、运动觉、味觉等感知），实现实践到感性认识的飞跃。虚拟仿真技术在构建设计和创新实验环境方面具有独特优势，突破实验条件的限制，降低了实验成本和安全风险，解决传统重复认知型实验缺乏探索性和创新性的问题。通过线上虚拟仿真实验的探索性，盘活实操实验的验证性优势，激发学生的兴趣，有利于培养学生的创新精神和能力，有利于培养学生团队的协作、善于沟通的潜在能力。

目录及样章试读：

目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 飞机制造与装配的发展	1
1.2 虚拟仿真实验开发的必要性	2
1.3 飞机制造工艺流程与虚拟仿真实验总体设计	3
1.4 本书的章节安排和关联	12
参考文献	12
第2章 飞机蒙皮拉形工艺设计虚拟仿真实验	13
2.1 飞机蒙皮拉形成形原理与工艺	13
2.1.1 飞机蒙皮零件特点	13
2.1.2 蒙皮拉形方式	14
2.1.3 拉形机床与拉形模	16
2.1.4 拉形工艺参数	20
2.1.5 拉形工艺	23
2.2 实验目的与内容	28
2.3 实验步骤	29
2.4 实验考核要求	34
参考文献	36
第3章 飞机壁板自动钻铆工艺设计虚拟仿真实验	37
3.1 飞机壁板自动钻铆工艺	37
3.1.1 飞机壁板装配的特点	37
3.1.2 自动钻铆装备	39
3.1.3 典型壁板装配工艺流程	40
3.1.4 干涉配合铆接的特点(优点)	42
3.1.5 壁板自动钻铆工艺参数	42
3.2 实验目的与内容	44
3.3 实验步骤	44
3.4 实验考核要求	49
参考文献	51
第4章 飞机翼身对接虚拟仿真实验	52
4.1 飞机翼身对接方法	52
4.1.1 飞机翼身对接的技术特点	52
4.1.2 飞机翼身对接基本原理	53
4.1.3 飞机翼身对接设备及工艺装备	54

4.1.4	飞机翼身对接的调整方法	56
4.1.5	飞机翼身对接调整参数	58
4.2	实验目的与内容	62
4.3	实验步骤	62
4.4	实验考核要求	68
	参考文献	69
第 5 章	虚拟仿真实验项目开发方法	70
5.1	虚拟仿真实验开发流程	70
5.1.1	虚拟仿真实验开发思路	70
5.1.2	虚拟仿真实验开发过程	71
5.1.3	开发需要的软件	72
5.1.4	开发实例简介	73
5.2	模型准备	73
5.2.1	建立模型与运动模块划分	73
5.2.2	模型渲染	74
5.2.3	模型导入与模块搭建	77
5.3	运动仿真开发	80
5.3.1	单步仿真模块	80
5.3.2	连续仿真模块	80
5.3.3	碰撞干涉检测模块及实现	81
5.4	工艺参数处理功能的实现	88
5.4.1	输入参数的确定	88
5.4.2	输入表格的读取	88
5.4.3	工艺参数的计算	90
5.5	UI 设计与实现	93
5.6	仿真系统测试	105
5.7	系统程序的发布	109
	参考文献	112
第 6 章	虚拟仿真实验项目开发案例	113
6.1	大飞机翼身对接案例简介	113
6.1.1	C919 大飞机简介	113
6.1.2	案例效果简介	113
6.1.3	案例说明	114
6.1.4	案例开发环境配置	116
6.2	案例开发过程	119
6.2.1	创建项目、素材导入与场景布置	119
6.2.2	界面开发	125
	参考文献	149

第1章 绪 论

1.1 飞机制造与装配的发展

飞机是指具有一具或多具发动机的动力装置产生前进的推力或拉力，由机身的固定机翼产生升力，在大气层内飞行的重于空气的航空器。飞机自 20 世纪初问世，开启了人们征服蓝天的历史，深刻地改变和影响了人们的生活，目前已经成为服务人类不可缺少的运载工具和拱卫国家安全的重要武器装备。

飞机制造集诸多高精尖技术于一体，被誉为“工业之花”。以飞机为主要产品的航空工业，作为国民经济相关产业的支柱产业，带动了其他高新技术特别是高新制造技术的飞速发展。所以，飞机制造已经成为一个国家制造业的核心和衡量一个国家是否为“制造强国”的重要标志，以及国家竞争力的制高点。

飞机的制造过程，同一般机械产品一样，也包括如下环节：工艺准备（含工艺装备设计和工艺装备制造）；毛坯的准备、零件的加工；零部件装配、检测调试。

但由于飞机结构的特点——零件多、尺寸大、刚性差、外形复杂、精度要求高、结构复杂，飞机与一般机械产品相比，除具有一般机械产品的共性外，其制造过程有着鲜明的区别。具体来说，飞机制造有很多独特的技术特点。

- (1) 工艺准备工作量大、周期长，相应的工艺装备制造的种类多、成本高。
- (2) 生产批量小，期望装备的柔性化程度高。
- (3) 毛坯的种类多、尺寸大、结构复杂，很多毛坯需要特殊处理；零件加工方法多样；采用一些特殊工艺措施或工艺路线。
- (4) 飞机装配工作量大（占飞机制造周期的 50%~75%），需要特殊的互换协调方法。

最明显的一点就是，装配成为飞机制造中最为重要的环节。飞机装配技术难度大、涉及面广，既有鲜明的工程问题导向，又蕴含着跨学科的基础科学问题，值得作为一门学问对其重点讨论。

目前为止，飞机装配技术发展大致可以分为五个阶段，如图 1-1 所示^[1]。

航空业市场的不断竞争，使得各大主流制造厂商不断革新自己的技术，伴随着科学技术的不断进步，全方位的数字化仿真、数字化移动、数字化连接、知识工程技术等先进技术的不断发展，在目前的飞机装配过程中已经逐步开始应用数字化装配生产线。

飞机的结构特点和飞机制造的特点，给飞机装配带来的难度甚至远比零件加工要麻烦，传统依靠设备精度就可以解决问题的思路，处理不了飞机装配所面临的难题。因此，飞机装配依靠工业 3.0 的自动化可能实现不了，只能依靠工业 4.0 的智能化来实现。这也是飞机制造领域目前不断探索智能制造的本质原因。

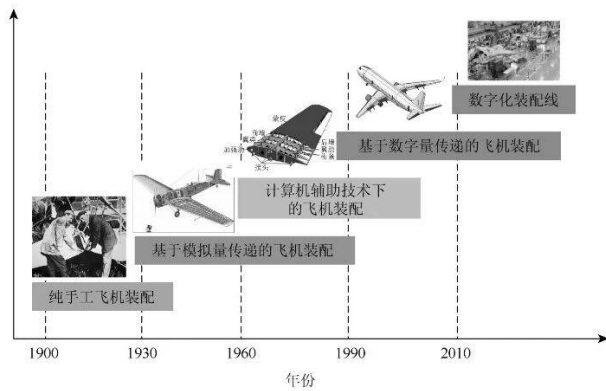


图 1-1 飞机装配技术发展历程

智能制造的基础是数字化，趋势是智能，灵魂和难点是工艺，表现形式是智能装备。因此智能制造的内涵特征是智能化（趋势）、网络化（传递）、数字化（基础）和自动化（表现）。

因此，飞机制造作为走在智能制造领域尖端的排头兵，其实践特点就是要把工艺、设备和软件深入结合起来，通过涵盖这些技术特征的实验教学来掌握最新的飞机智能装配知识。

1.2 虚拟仿真实验开发的必要性

如前所述，由于智能装配的发展趋势，需要综合工艺、设备和软件等各种智能制造关键技术特征的教学实验来掌握飞机智能装配知识，所以急需符合实际工况的飞机装配实验平台来开展各类实验。

然而，目前各高校普遍缺乏符合实际工况的飞机装配实验平台，严重影响了对飞行器制造工程专业人才的工程实践能力和创新能力的培养，主要原因如下所述。

- (1) 由于实验场地大、设备大、部件大、工艺流程复杂等因素，学校难以复制飞机装配现场。
- (2) 飞机装配操作需要有相应的专业资质和上岗证，师生均无法达到基本安全要求。
- (3) 飞机大部件装配实验需要不断升级大型专业设备和工装，消耗大量昂贵的实验材料，物理实验成本极高。
- (4) 传统的实验只支持重复认知型实验，无法开展飞机大部件装配的高探究性实验，直接影响了学生创新能力的提升。

由于上述原因，对于高校来说，当前条件下开展符合要求的实操实验基本没有可能。所以长期以来各高校都找不到很好的办法，只能通过下厂实习这种走马观花式的认知学习来应对难题。

综上，目前为止，我国在实验教学方面面临实验教学方法陈旧、实验内容缺乏系统

性、综合设计型实验少等问题,使得实验教学效果大打折扣。因此,为了在实验教学中为了提高学生运用理论知识解决实际问题 and 实践创新能力,必须改革现行的实验教育体系、方法和手段,致力于提升学生的思维能力、科研能力和创新能力。

虚拟仿真技术的发展,为我们解决这一问题带来曙光。

美国在虚拟仿真技术上取得重大的研究成果,如波音 777 采用无纸化设计等。在欧洲,英国在虚拟仿真辅助设备设计、分布并行处理和应用研究方面处于领先地位,德国以及瑞典等在虚拟仿真技术领域投入大量研究等。我国对虚拟仿真技术的研究起步较晚,与发达国家相比差距较大,但该技术得到政府的高度重视,因此研究所和重点院校正在积极投入该领域,如北京航空航天大学开发飞行员训练的虚拟仿真系统,西北工业大学在计算机上实现虚拟海洋环境等。

虚拟仿真技术的发展,与高校实验教学过程有着极高的契合度,学生借助仪器设备等物质条件,可沉浸并参与计算机系统所创建虚拟世界的活动,通过增强现实技术,模拟出知识生产、发展、变化的现实世界,使学生在虚拟世界中获取现实世界中具有的感知能力(如视觉、听觉、力觉、触觉、运动觉、味觉等感知),实现实践到感性认识的飞跃。虚拟仿真技术在构建设计和创新实验环境方面具有独特优势,有利于培养学生的创新精神和能力,有利于培养学生团队的协作、善于沟通的潜在能力。

航空宇航制造工程学科是围绕飞机装配技术、钣金成形技术、数字化设计和制造三大主干课程的。而飞机装配技术设备繁多,专业性非常强,学生仅通过老师授课和相关文献的查阅,无法深层次掌握飞机装配技术。基于飞机装配的虚拟仿真技术,建立沉浸式大型 3D 虚拟机舱、机翼等系统,模拟过程包括两类,点击链接可进入网页模拟装配(可以实现资源全国共享)或者利用 VR 装置进入沉浸式虚拟操作。例如,在传统机身对接实践教学,投入大、耗费人力和物力多,但由于民航发展和机型更新速度快,传统实践教学难以满足工程教育要求。机身对接的虚拟装配教学改革,利用虚拟仿真技术,构建桌面虚拟仿真平台,代替实物实践教学,可不断随工程需求而更新,不但可以满足需求,同时降低教学成本,学生进行虚拟装配来验证装配设计和操作的正确与否,并及时发现装配中的问题,对模型进行修改,从而提高学生动手和创新能力,对机身装配形成一个完整的理论体系。

教育部和高校注意到这一问题,大力发展和推广虚拟仿真实验项目,有效改善了这一困境。

充分利用虚拟仿真实验平台的优点,通过“以学生为中心”个性化任务分配,面向“多元化”能力培养,基于“探索式”实验过程设计,实现“立体化探索式”线上实验教学新模式,解决传统重复认知型实验缺乏探索性和创新性的问题。通过线上虚拟仿真实验的探索性,盘活实操实验的验证性优势,激发学生的兴趣。

1.3 飞机制造工艺流程与虚拟仿真实验总体设计

飞机制造是个总分总的过程,如图 1-2 所示。在工艺设计阶段,从总装方案到零件制造方案,是由整体到局部;在制造实施阶段,从零件制造到飞机总装,是由局部到整体。

图中间虚框内容为配套的工艺装备的研制过程，工艺装备要在装配工作展开前制造出来，其研制工作量大，应尽早展开。可以看到，除了零件制造方案和零件制造，剩下的都属于飞机装配范畴。工艺总方案和制造计划中，装配方案是最先开始的也是最重要的内容。因此可以说，飞机装配是飞机制造的龙头。

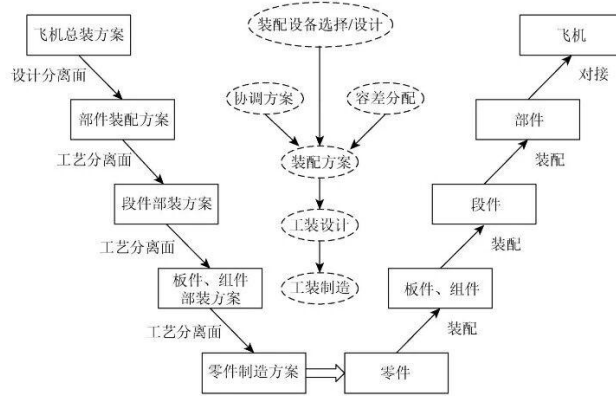


图 1-2 飞机制造过程

基于上述工艺过程，我们设计的实验中，装配主要工艺流程从蒙皮拉形（零件制造）到壁板钻铆（组件装配）到大部件对接（部件装配）（图 1-3）^[2]，这样整个制造过程贯穿起来，对应的专业知识是飞行器制造工程专业“飞机装配技术”和“飞机钣金成形技术”等重要核心课程的主要内容。

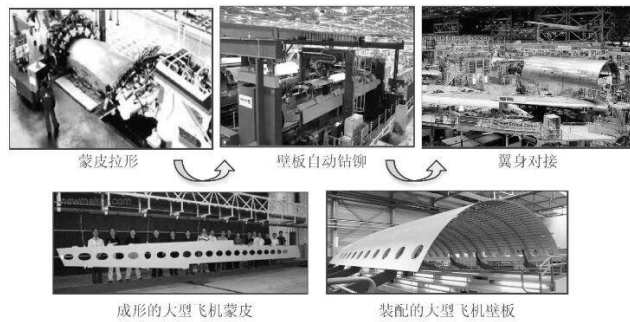


图 1-3 飞机典型装配环节生产现场

根据飞行器制造工程专业培养方案和飞机装配技术特点，按照体系化设想，以飞机零部件为主线，以飞机大部件为目标，根据知识结构，由毛坯→蒙皮拉形实验→钣金零

件→部件装配实验→装配部件→翼身对接实验→飞机大部件，构成一个飞机大部件装配的实验体系（图 1-4）。该体系涵盖了“飞机装配技术”“飞机钣金成形技术”“飞机钣金成形原理与工艺”等专业核心课程，“飞机自动钻铆技术”“飞机装配工装设计与制造”“模具设计与制造”等专业选修课程，梳理出飞机蒙皮拉形工艺设计实验、飞机壁板自动钻铆工艺设计实验和飞机翼身对接实验三个典型的探究性实验模块，从而使学生系统地掌握主流先进制造技术原理、工艺设计方法、实验分析方法。

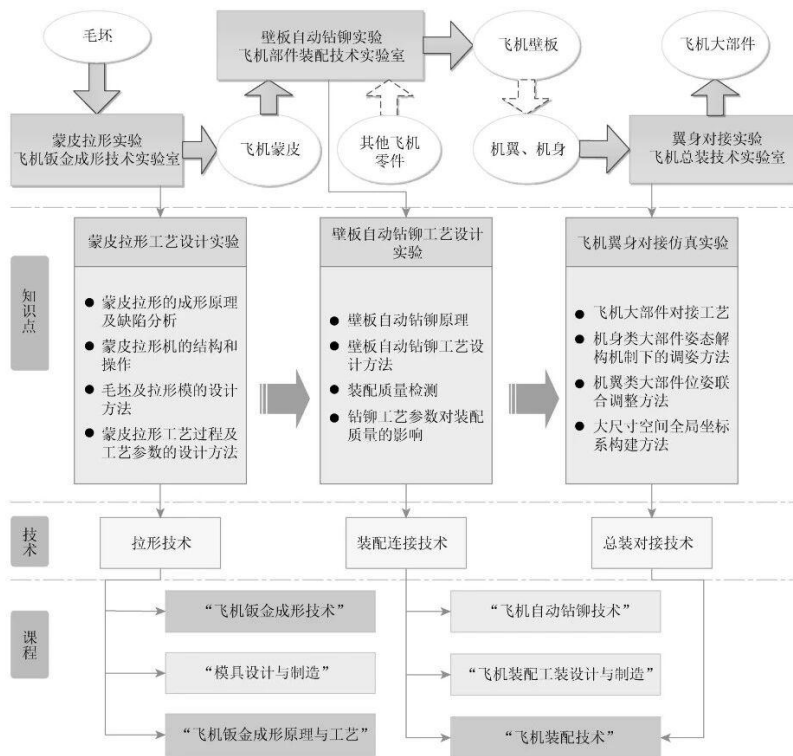


图 1-4 实验项目与知识点、课程对应关系

本虚拟仿真实验项目中，首先选取实验蒙皮零件，在“蒙皮拉形工艺设计实验”模块中进行蒙皮的拉形实验，通过毛坯的计算、模具的设计、工艺参数的设计，进行蒙皮零件的成形，得到成形结果并分析；其次在“壁板自动钻铆工艺设计实验”模块中进行壁板装配；最后进入大部件装配环节，在“飞机翼身对接仿真实验”模块中进行机身机翼的对接实验。本实验项目涵盖了从钣金零件成形、零件装配到大部件装配的全过程。

学生通过对虚拟仿真项目各个实验模块的操作,直观地参与飞机大部件装配的工艺设计,掌握“飞机装配技术”“飞机钣金成形技术”等专业核心课程的关键知识点,提升实践创新能力。项目设计了三个虚拟仿真实验模块、20多个实验操作步骤,涵盖“基本原理、综合设计、探索实践”三层面实验教学内容 and 能力的培养。图 1-5 为飞机装配虚拟仿真实验项目主界面。

飞机大部件装配虚拟仿真实验 国家虚拟仿真实验教学课程共享平台

田威 | 南京航空航天大学 | 上线时间: 2018年

所属专业: 航空航天类 对应专业: 飞行器制造工程 课程类型: 专业核心课 实验类型: 探究性实验

所属课程: 飞机装配技术、飞机钣金成形技术

大部件装配是飞机制造的关键,其实验是专业课程必修环节,但受制于操作、高成本、大体积等因素决定了无法在学校开展“真实”实验,按照“以虚拟代替物理”的实验设计思路,以“突出技术的先进性、强调知识体系的系统性、注重先进装配技术同步性”为原则,设计开发“虚拟仿真实验”课程,实现“以虚拟代替物理”的实验目的,突出“探究性”实验特点,应用“立体化”教学模式,实现“以学生为中心、以教师为主导”的教学理念。

390人评价 4.9 ★★★★★

共享应用 每日创建数

浏览量	15502	向实验人次	4082	共实验人数	1116	实验平均用时	28'	实验完成率	100%	实验通过数	97.6%	实验通过人数	99.4%
-----	-------	-------	------	-------	------	--------	-----	-------	------	-------	-------	--------	-------

教学支持热线

☎ 025-84866277

👤 QQ群: 418878879

团队成员

田威 | 南京航空航天大学 负责人

系主任

田威

主要成员

- ▲ 金鑫 南京航空航天大学
- ▲ 王琪 南京航空航天大学
- ▲ 李蕊 南京航空航天大学
- ▲ 郭宇 南京航空航天大学

实验教学目标 | 实验原理 | 实验教学过程与实验方法 | 实验步骤 | 实验结果与结论

飞机制造是工业之花,飞机装配是飞机制造中的关键环节,随着我国大飞机和新一代客机的研制和生产,飞机装配具有工作量大、工艺设备多且复杂、质量要求高、周期长等特点。当前飞机制造周期的50%~75%,对掌握扎实的飞机装配知识和具备飞机装配工程实践能力的高素质人才的需求非常迫切。

与一般产品不同,飞机制造采用大部件装配完成机体制造,大部件装配主要工艺流程从蒙皮成形(零件制造)到整体铆接(组件装配)到大部件对接(部件装配),对应的专业知识是飞行器制造工程专业《飞机装配技术》和《飞机钣金成形技术》两门核心课程的主要内容。

目前各高校均没有飞机大部件装配实验平台,严重影响了对飞行器制造工程专业人才的工程实践能力和创新能力的培养,主要原因如下:(1)由于实验场地大、设备大、部件大、工艺流程复杂等因素,学校难以实现飞机大部件装配。(2)飞机装配操作需要相应的专业资质和上岗证,学生均无法达到基本安全要求。(3)飞机大部件装配实验需要不断升级大型专业设备和工段,消耗大量昂贵的实验材料,物理实验成本教育。(4)传统的实验不支持重复认知型实验,无法开展飞机大部件装配的高保真性实验,直接影响了学生创新能力的提升。

因此,依托南京航空航天大学航空宇航科学与技术国家重点学科,国家航空工程实验教学示范中心和工信部航空制造技术实验教学示范中心,项目组将“虚拟现实+互联网”技术融入实验教学项

图 1-5 飞机装配虚拟仿真实验项目主界面

1. 访问实验项目

建议使用火狐等浏览器。

(1) 账号注册: 进入“实验空间-国家虚拟仿真实验教学课程共享平台”(http://www.ilab-x.com)。

单击右上角“登录/注册”账号按钮(图 1-6),填写个人相关信息(必填),设置密码,完成注册。

(2) 登录账号: 再次打开 http://www.ilab-x.com,用刚申请的账号登录(图 1-7),登录后,单击左侧“学科分类”中的“航空航天类”图标。



图 1-6 账号注册



图 1-7 登录网站

(3) 进入页面(图 1-8), 选择“飞行器制造工程”, 或者在搜索框中输入项目名称“飞机大部件装配虚拟仿真实验”或学校名称“南京航空航天大学”或负责人姓名“田威”。

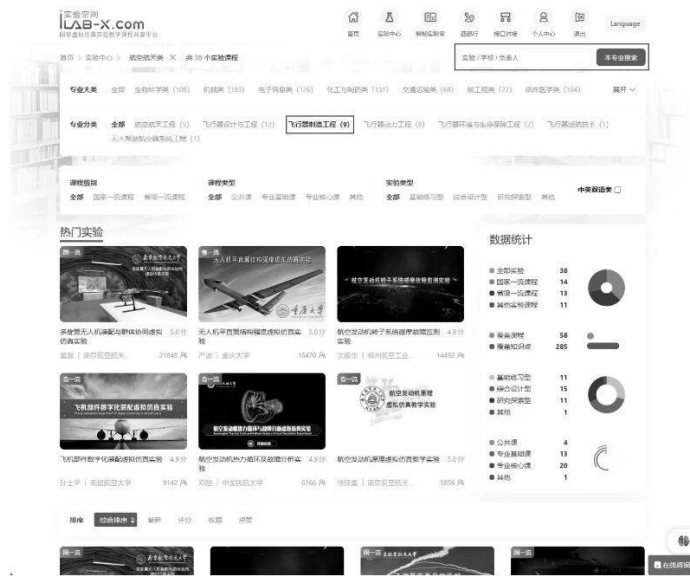


图 1-8 搜索实验项目

从图 1-9 中可以看到航空航天类的各项目，选择“飞机大部件装配虚拟仿真实验”项目。



图 1-9 航空航天类虚拟仿真实验项目

进入项目页面，如图 1-10 所示。



图 1-10 飞机大部件装配虚拟仿真实验页面

如图 1-10 所示，直接单击“我要做实验”按钮，弹出如图 1-11 所示的实验项目的链接地址，单击该地址，跳转到本虚拟仿真实验的主页面（图 1-12）。



图 1-11 飞机大部件装配虚拟仿真实验链接

(4) 进入“飞机大部件装配虚拟仿真实验”主页面，如图 1-12 所示。



图 1-12 飞机大部件装配虚拟仿真实验主页面

单击图 1-12 中的“预览”按钮，即可进入实验页面（图 1-13），但建议先查看“实验指导书”，然后单击“预览”按钮，进入实验。



图 1-13 本实验操作页面加载