

附件 2

2020 年度省级虚拟仿真实验教学项目申报书

学 校 名 称	东华理工大学
实 验 教 学 项 目 名 称	无人机航空磁测虚拟仿真实验
所 属 课 程 名 称	地磁场与磁力勘探
所 属 专 业 代 码	070801
实验教学项目负责人姓名	邓居智
有 效 链 接 网 址	http://sgmt.ecut.owvlab.net/vlab/hkcc.html

江西省教育厅高等教育处制

二〇二〇年五月

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（2012 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	邓居智	性别	男	出生年月	1972.12
学 历	博士研究生	学位	博士	电 话	0791-83897979
专业技术职务	教授	行政职务	院长	手 机	13507948149
院 系	地球物理与测控技术学院			电子邮箱	jzhdeng@ecut.edu.cn
地 址	江西省南昌市经开区广兰大道 418 号			邮 编	330013

教学研究情况：主持的教学研究课题（含课题名称、来源、年限，不超过 5 项）；作为第一署名人在国内外公开发行的刊物上发表的教学研究论文（含题目、刊物名称、时间，不超过 10 项）；获得的教学表彰/奖励（不超过 5 项）。

（一）主持的教学研究课题：

1. 勘查技术与工程专业开放式实验教学的研究与实践，江西省教育厅，2007/1-2008/12
2. 江西省“勘查技术与工程”专业综合改革项目，江西省教育厅，2014/01-2016/12
3. “勘查技术与工程”国家卓越工程师培养项目，教育部，2011/01-2013/12
4. 江西省“勘查技术与工程”卓越工程师培养项目，江西省教育厅，2011/01-2013/12
5. 江西省研究生优质课程，江西省教育厅，2011/01-2014/12

（二）作为第一署名人在国内外公开发行的刊物上发表的教学研究论文：

1. 电法勘探课程开放式实验教学的探索与实践，东华理工学院学报(社会科学版)，2007
2. 新工科教育背景下勘查技术与工程专业创新人才培养改革与实践，教育现代化，2019/12

（三）获得的教学表彰/奖励：

1. 江西省首届金牌研究生导师，江西省教育厅，2020 年
2. 锡源科技园丁奖一等奖，东华理工大学，2017 年
3. 国务院特殊津贴，中华人民共和国国务院，2016 年
4. 江西省人民政府特殊津贴，江西省人民政府，2014 年
5. 江西省优秀教材一等奖，江西省教育厅，2008 年

学术研究情况：近五年来承担的学术研究课题（含课题名称、来源、年限、本人所起作用，不超过5项）；在国内外公开发行人物上发表的学术论文（含题目、刊物名称、署名次序与时间，不超过5项）；获得的学术研究表彰/奖励（含奖项名称、授予单位、署名次序、时间，不超过5项）

（一）近五年来承担的学术研究课题：

1. 辽宁凤城和黑龙江多宝山地区物探测量，中国地质调查局项目，2019/05-2021/12，主持
2. 江西相山火山盆地三维电性结构研究，国家自然科学基金面上项目，2017/01-2020/12，主持
3. 热液型铀矿深部地质结构重磁异常提取与三维反演技术研究，国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项子项，2017/7-2020/12，主持
4. 高放废物地质处置库西北地区粘土岩地段筛选与评价研究，高放废物地质处置项目，2015/01-2017/12，子项主持
5. 基于多重网格的CSAMT三维正演研究，国家自然科学基金地区科学基金项目，2012/10-2015/10，主持

（二）在国内外公开发行人物上发表的学术论文：

1. 九瑞矿集区三维电性结构研究及找矿意义，地球物理学报，邓居智（1），2015.12.15，58(12): 4465-4477
2. 九瑞矿集区重磁三维约束反演及深部找矿意义，地球物理学报，邓居智（2），2015.12.15，58(12): 4478-4489
3. Rock magnetic investigation and its geological significance for vein-type uranium deposits in southern China, Geochemistry Geophysics Geosystems, Deng Juzhi（3），2017.04，18(4): 1333-1349
4. 大地电磁三维交错网格有限差分数值模拟中的散度校正方法研究，地球物理学报，邓居智（2），2011.6，(06): 1649-1659
5. Three-dimensional forward modeling of DC resistivity using the aggregation-based algebraic multigrid method, Applied Geophysics, 邓居智（2），2017.3.15，(01): 154-164+192

（三）获得的学术研究表彰/奖励：

1. 江西相山大型含铀盆地三维地质一成矿模型构建与深部找矿突破，江西省科技进步一等奖，2019年
2. 工程地质灾害精细探测关键技术及应用，江西省科技进步二等奖，2020年
3. 江西相山火山盆地深部地质结构调查与技术方法创新，中国地质调查局地质科技奖，2018年
4. 中深部铀资源勘查三维电磁成像技术研究，江西省人民政府，邓居智（4/7），2013年

5、高放废物地质处置库花岗岩预选区深部结构电磁探测技术，中核能行业协会科学技术二等奖，2019 年。

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	邓居智	东华理工大学	教授	院长	总体规划	
2	胡斌	东华理工大学	讲师	无	仿真设计	
3	王彦国	东华理工大学	副教授	无	方案设计	
4	郝梦成	东华理工大学	讲师	无	实验设计	
5	江丽	东华理工大学	讲师	无	教学设计	

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	葛坤朋	东华理工大学	副教授	无	在线运行	
2	李曼	东华理工大学	讲师	无	素材整理	
3	戴伟铭	浙江大年科技有限公司	中级工程师	副总经理	技术指导	
4	黄岩	江苏省地质勘查技术院	高级工程师	分院院长	实验指导	
5	丁红林	北京润尼尔网络科技有限公司	网络工程师	无	技术管理	在线教学服务
6	卢华强	北京润尼尔网络科技有限公司	研发工程师	无	技术对接	技术支持人员

项目团队总人数：11（人）高校人员数量：7（人）企业人员数量：4（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

无人机航空磁测虚拟仿真实验

2-2 实验目的

近年来航空地球物理测量取得了突飞猛进的发展，无人机装备水平及航空磁力测量精度不断提高，无人机航空磁法测量在地质调查、矿产勘查、灾害防护与评估

等多个领域已越来越受重视与应用。但由于对气象要求高、设备昂贵且存在风险。同时，中国民用航空局对无人机具有严格的飞行管控规定，这些都限制了无人机航磁测量教学工作的顺利开展，学生无法接触到真实无人机航磁测量的整个流程，无法对无人机航空磁测相关知识进行深入学习。

本实验项目是为了适应地球物理领域对无人机航空地球物理专业人才发展需求，培养具有专业水平和专业工作能力的创新应用性人才，坚持以“学生中心、问题导向、学科融合、创新实践”的教学理念，依照“虚实结合，以虚补实”的基本原则，以无人机航空磁测在地球物理学领域中的应用为切入点，采用 3D 建模、虚拟动画、人机交互等技术自主研发了无人机航空磁测虚拟仿真实验，以解决现实中专业化的航空磁测人才短缺的瓶颈，以达到以下主要实验目的：

（1）使学生更生动、形象地掌握航空磁法测量的基本原理和操作流程，加深学生对各知识点的理解与把握；

（2）增强学生对航磁测量工作中影响数据采集质量、航测效率等不良因素的识别能力，探究工作设计与建模效果之间的关系，强化学生作为未来工程技术人员对航空磁法测量工作的认识和理解；

（3）根据虚拟的地质任务与地形地貌，由学生根据专业知识设计工作方案，并虚拟模拟野外航空磁法测量过程，从而培养学生的工作设计能力，创新思维能力和解决实际问题能力。

2-3 实验课时

（1）实验所属课程所占课时：40 学时

（2）该实验项目所占课时：2 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）

（1）实验原理

无人机航空磁测是以无人机为搭载平台，搭载航空磁力仪快速开展高精度航磁测量的一种航空地球物理方法。它是通过测量和分析由岩、矿石或其他探测对象磁性差异所引起的磁异常，研究地质构造、矿产资源或其他探测对象的分布规律。本项目以搭载基于磁通门磁力仪的四旋翼无人机航磁测量系统为实验对象，其主要由相对独立的五部份组成：无人机、航磁测量系统、GPS 定位系统、雷达高度计和地面控制站。系统整机及各部件组成见图 2-4-1 图 2-4-5。要实现将磁力仪搭载到无人机平台上，首先需要测量飞机机身磁场分布情况以及转向差，并结合飞机结构和重心设计，选择磁探头安装位置及探杆长度。此过程需要进行严谨的试验，并且根据试验数据实施论证。



图 2-4-1 系统整机图

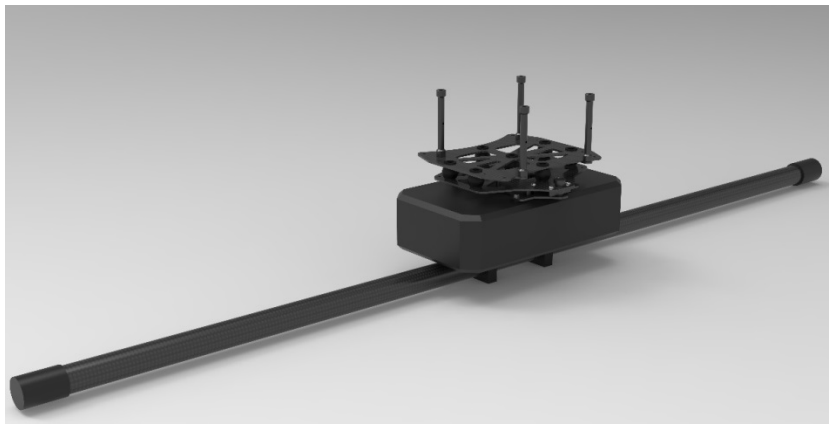


图 2-4-2 磁通门磁力仪



图 2-4-3 雷达高度计

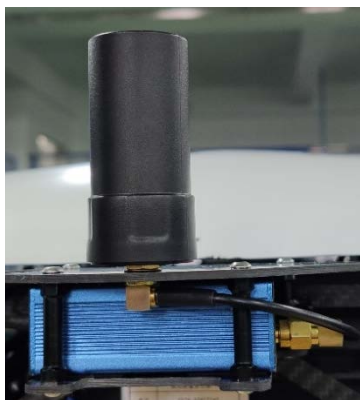


图 2-4-4 GPS 定位设备



图 2-4-5 无人机遥控器

本项目涉及的主要试验模块及实验原理如下：

① 工作方案

在进行航磁测量工作之前，需根据工作目的和现场踏勘情况设计合理的工作方案。**测量比例尺**一般根据工作任务、探测对象大小、测区地形条件、无人机飞行性能、飞行高度和技术设备情况，以及经济上的合理性等因素，综合分析测量的预期效果后确定。**主测线方向**应垂直于或基本垂直于测区内的主要地质构造走向或探测目标的总体走向。**控制线方向**应垂直于主测线，主要用于联系和调整测线的磁场水平，检查全测区的测量质量，研究不同走向异常的变化。**飞行高度**应在综合分析测区测量目标、地表高程数据、影像解译资料、踏勘结果及无人机的飞行性能等各种因素后通过航迹规划方法给出，经航迹仿真验证后确定。无人机航空磁测选用 10 次/s 的**采样率**较合适。原则上，采样间距应小于或等于按测量比例尺制图时图上 1 mm 代表的距离数，但最低采样率不应小于 2 次/s。

② 磁日变站选址

为了消除磁日变影响，需在工作区合适的位置设置地面磁日变观测站，磁日变站应选择在磁场相对平静、磁梯度小、人文干扰小、地形平坦开阔地段，要求对以探头为中心半径 2 m 的平面四方位测量 9 个点磁场值，在半径 2m 及高差 0.5 m 内磁场变化不超过设计均方误差（总精度）的 1/2。

③ 磁测仪器性能试验

为了衡量磁测数据精度，确保数据的可靠性，航空磁力仪在安装至无人机之前，须进行探头转向差试验和静态噪声水平试验。通常，航空磁力仪和地面磁力仪的静态噪声水平试验同时进行，它们的观测数据还可用来一致性检测。最后，在航空磁力仪安装至无人机上之后，还需通电检查和调节，再次完成地面静态噪声试验。试验结果均需满足《无人机航空磁测技术规范》要求，仪器才能投入使用

④ 飞机干扰磁场的来源、类型与补偿方法

在航空磁测过程中，飞机经地磁场磁化后会产生干扰磁场，干扰磁场叠加在目标磁信号上，影响甚至掩盖目标信号，为有效探测目标，需要对飞机平台产生的干扰磁场进行补偿，消除平台干扰磁场的影响。干扰磁场主要包括剩余磁场、感应磁场和涡流磁场。

航磁补偿的实现主要是通过建立飞机平台磁干扰模型以及求解算法，利用校准飞行中采集的数据计算模型中的磁干扰补偿系数，并对探测阶段采集的数据进行实时补偿（也可室内处理时进行补偿）。校准飞行包括磁补偿飞行和方向差检查飞行，在获得不同姿态下的飞机磁干扰场与姿态数据后，通过补偿器实时计算或补偿软件事后计算出补偿系数来去除磁干扰。

⑤ 飞机航线规划与测量飞行

在无人机航空磁测飞行前，需要利用专业软件（如 Mission Planner）对航迹进行

规划，保证无人机能够按照预设测线安全飞行，通过航迹规划使无人机能按设定高度依地形起伏飞行，保证相邻测线飞行高度平滑过渡，避免过大高度变化，保证测网交叉点处飞行高度的一致性。

测量飞行包括基线测量、测线测量、控制线测量和重复线测量。其中，基线测量用来校正航空磁测系统的零点漂移，应选择在地面无人文干扰、出航和返航比较方便的地段。早、晚基线测量飞行时，应力求航迹、离地飞行高度相同。当测区跨度较大需要变更起降点时，可重新布置基线。控制线测量的作用是将不同测线测量结果统一到全区磁场水平。重复线测量是质量检查的一部分，用以评价资料质量。重复线测量飞行时，应力求与测线首次飞行时的航迹、离地飞行高度相同。

(2) 核心要素的仿真度

为模拟真实工作环境，实验以实际工作为蓝本，以工作流程为导向。实验仿真模拟实现了从设计到施工的全过程，其中核心要素主要包括：磁日变站选址、磁测仪器性能试验与安装、磁补偿飞行与方向差检查飞行、测量飞行。各要素仿真度如下：

① 磁日变站选址的虚拟仿真

磁日变站选址是磁法工作中一个非常重要的环节，由于实验课时和实验环境限制，在以往实践教学中往往被忽略，本次虚拟仿真对该部分内容进行了详细的分解和模拟，包括从磁异常图上粗略选址、实景分析进一步选址和十字剖面测量法确定最终位置三个步骤，真实还原野外实际工作中的场景，实现了实验教学和野外工作实践的无缝对接，让学生能够切身体验磁日变站选址的工作过程，掌握选址方法。



图 2-4-6 十字剖面测量法确定日变点位置

② 磁测仪器性能试验与安装的虚拟仿真

在实际工作中，磁测仪器性能测试需要至少 5 个小时，试验数据还要进一步处理计算才能得到试验结果，传统实验教学中淡化了这一过程，只进行了演示性教学，本项目对该部分内容进行了全面的虚拟仿真，包括磁测系统在装机前的性能测试和

磁测系统安装在无人机上之后的性能测试，以及磁测系统的安装过程。该部分仿真的主要特点是“虚实结合，以虚补实”，一方面，将实际 5 小时的试验工作进行缩短，让学生直观了解磁力仪性能测试的整个过程，又不浪费试验时间，同时将观测结果动态实时显示到电脑屏幕中，让学生即刻得到反馈，帮助学生进一步深化理解这一过程。另一方面，对实验涉及到的仪器设备（无人机、磁力仪等）进行了高度还原。并利用交互式的手段让学生动手操作仪器、计算试验结果、判断结果是否合格等。



图 2-4-7 磁测仪器性能试验与安装模块部分截图

③ 磁补偿飞行与方向差检查飞行的虚拟仿真

磁补偿飞行与方向差检查飞行是为了校正航磁数据，是提高航磁精度的重要环节。该模块需要学生操控无人机完成指定动作和飞行，使学生精准掌握航磁补偿的基本理论和无人机磁补偿飞行的基本步骤。该项目采用 3D 建模技术高度还原了无人机航磁测量的所需设备，学生可以通过操作完成“翻滚”、“偏航”和“俯仰”的动作，并利用虚拟遥控器控制无人机进行方向差检查飞行。



图 2-4-8 磁补偿飞行与方向差检查飞行模块部分截图

④ 测量飞行的虚拟仿真

该要素模拟了无人机航磁测量的飞行模块，包括了利用软件规划航线和实景飞行测量的虚拟仿真。该部分仿真实验将航线规划和实测飞行链接起来，对实际复杂的参数设置进行简化，并通过自定义文本框和对话框，将主要功能列出，引导学生操作，让学生能直观、快捷地完成交互式的实飞操作练习。



图 2-4-9 测量飞行模块部分截图

(3) 知识点：共 10 个（详见图 2-4-10）

- ① 无人机航磁工作方法参数设计
- ② 地磁日变基站的选址与观测
- ③ 航空磁力仪装机前、后的仪器试验
- ④ 航空磁测仪器设备与安装
- ⑤ 无人机地面控制站的选址与布设
- ⑥ 无人机 GPS 测量
- ⑦ 干扰磁场及补偿
- ⑧ 航线规划与测量飞行
- ⑨ 控制线与重复线测量飞行
- ⑩ 工作结束后的磁测仪器试验

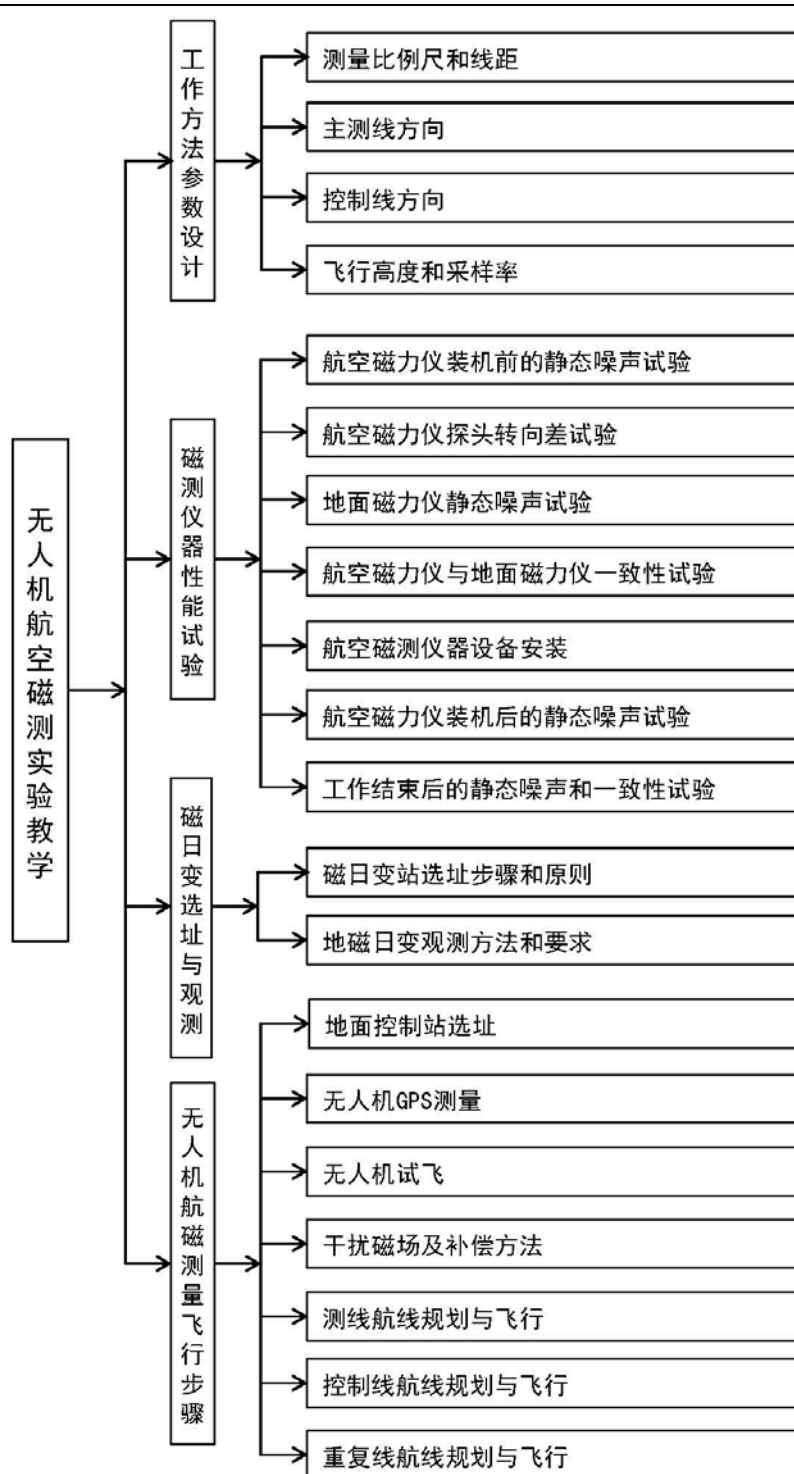


图 2-4-10 无人机航空磁测知识点结构图

2-5 实验仪器设备（装置或软件等）

（1）无人机航空磁测虚拟仿真实验教学软件著作权登记证书（软件著作权登记证书号：软著登字第 5611964 号，登记号：2020SR0733268）。



图 2-5-1 计算机软件著作权登记书

该软件应用 3D 仿真技术构建了无人机航磁测量的真实场景,以目标任务驱动方式形成虚拟航磁测量工作过程,由学生在网络虚拟环境中自主完成工作设计、系统平台和设备选装、基站选址和日变观测、仪器试验和测量飞行等环节。软件导入界面见图 2-5-2。



图 2-5-2 软件导入界面截图

(2) 学校配备有高速网络出口、高性能服务器、大容量存储、网络防火墙、虚拟仿真实验管理平台等设备设施用于无人机航空磁测虚拟仿真实验项目运行。学生

可使用学校的计算机及个人计算机，在校园网络环境下完成实验。

2-6 实验材料（或预设参数等）

本虚拟仿真实验教学项目基于 3D 建模的虚拟实验设备及实验环境,无需消耗实验材料,项目与真实的无人机航空磁测环境及操作流程完全一致。学生可以自主操作实验流程,选择合理参数,实验中涉及的主要预设参数如下:

(1) 测量比例尺及飞行线距: 比例尺 1: 50000, 线距 500 m

比例尺 1: 25000, 线距 250 m

比例尺 1: 10000, 线距 100 m

比例尺 1: 5000, 线距 50 m

(2) 主测线方向: 通常与构造方向垂直

(3) 控制线方向: 通常与主测线方向垂直

(4) 飞行高度:

测量比例尺	平均飞行高度 (m)				
	平原地区 高差 $\leq 100\text{m}$	丘陵地区 100m<高差 $\leq 200\text{m}$	低山区 200m<高差 $\leq 400\text{m}$	山区 400m<高差 $\leq 600\text{m}$	高山区 高差 $> 600\text{m}$
$\geq 1:25000$	70~125	90~150	100~175		
1:50000	70~140	90~170	100~255	150~350	350~500

(5) 飞行速度和采样率: 无人机航空磁测采样率 ≥ 2 次/s, 一般选用 10 次/s 的采样率较合适

(6) 航空磁力仪探头转向差: 探头方向差 ≤ 1.0 nT

(7) 航空磁力仪静态噪声水平: 静态噪声水平应 ≤ 0.01 nT

(8) 地面磁力仪噪声水平: 要优于航空磁力仪

(9) 航空磁力仪与地面磁力仪的一致性水平: 连续 5 h 测量差值的最大变化 < 0.5 nT。

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）

(1) 使用目的

① 激发学生学习兴趣, 提高学生知识获取能力

在虚拟的实验环境中, 学生可以自主地选择实验模块, 了解不同实验模块之间的相互关系; 学生可以快捷地进行人机互动操作, 了解不同知识点的作用及注意事项; 学生可以根据引导式的操作, 了解不同实验模块的基本操作流程。这些直观、实时、互动及可逆的实验特点, 可以在无形中激发学生的学习兴趣, 提高学生对知识的获取能力。

② 增强学生学习效率, 提升学生知识掌握能力

在实验过程中，学生可以针对不同实验模块进行反复操作练习，深化对理论知识的理解，获取相关实验环节的操作能力；本实验项目还为学生提供了 24 小时的在线“网络课堂”，学生可以不受时间与空间限制，能够随时随地进行实验，不仅缩短了实验周期，而且增强了学生学习的灵活性。这种灵活、互动、多样化的学习方式提升了学生的学习效率。

③ 抬升学生学习水平，提高学生知识运用能力

虚拟仿真实验有效地解决了真实情况下无人机航磁测量难以可逆的问题，学生可以针对性的重复练习或自主设计实验，有效激发学生的知识运用能力和不断思考能力；另外，本项目还设置了预警功能，如当无人机飞行高度过低时会发出警报，提示无人机可能存在撞毁风险，不仅让学生能够及时发现问题并解决问题，同时也让学生直观了解到无人机航磁测量飞行过程中的操作准则。因此，在实验过程中，可以较好地培养学生对理论知识的运用，培养学生发现问题、解决问题的能力，提高学生的整体学习水平。

(2) 实施过程

① 虚拟环境里的遨游

学生首次进入虚拟实验环境中，可以直观、形象、立体、生动地体验与感知无人机航磁测量的真实环境，领略无人机航磁测量的相关知识，设备构成与布局。了解无人机航磁测量的基本流程、技术规范及注意事项。学生如同沉浸在游戏中一样，对虚拟环境有着身临其境般的体验。

② 人机交互下的训练

在虚拟实验练习环节中，学生可以与线上教师进行互动与答疑；还可以与虚拟的人物、设备等进行实时互动，操作演习。系统内对不规范的操作进行警示，对操作结果进行实时评价，学生通过人机交互方式，可实现边练习、边学习，对知识的掌握能够得到实时的更新与补充，达到实时训练的效果。

③ 分解引导中的学习

在实验过程中，每一个实验模块都设置了相应的参数选择项，同时也设置了引导与详细说明，学生在训练中可以逐步理解和掌握相关知识点；另外，在练习模式和考核模式中均从数据库中随机出题及自动评分，能够快速对学生的学习效果进行反馈，学生能够实时了解自身的不足并及时进行自我纠错；而且，线上教师还可以与学生进行互动，引导学生进行实验操作，并及时解答学生的疑问。

④ 自主设计下的模拟

在练习或实验过程中，学生可根据自身兴趣点自主选择练习或自主设计实验内容，学生还可以针对自身的薄弱点进行重复性的设计与实验模拟工作。学生通过自主设计，提高了创新思维能力；通过针对性地实验操作，提高了知识掌握能力与理解能力。

⑤ 实验完成后的思考

实验操作结束后，学生需要认真填写实验报告，学生在实验报告撰写过程中，可以反思自己的实验操作流程，可以思考自己的知识掌握程度。学生还可以根据实验评价结果，对自身的薄弱点或兴趣点开展反复虚拟实验，提高学习效果。学生还可以线下在开放的磁法实验室进行参观与实验，更加清晰地了解地面磁测与无人机航空磁测的异同点，提高学生对知识的融会贯通能力。

(3) 实施效果

① 立足教学，提升人才培养质量

无人机航空磁法测量虚拟仿真实验教学系统采用 3D 虚拟仿真技术，为教师和学生提供形象而逼真的航空磁法测量教学场景，真实呈现航空磁法测量实操过程，提高学生的学习兴趣。该项目允许学生随时随地进行实验，学生可以针对某实验模块反复练习，同时在提示和预警功能下能够避免不合理操作，从而练就学生的实验操作能力和知识理解能力。因此，通过激发学生兴趣，培养学生尝试性、探索性的学习能力，提升人才培养质量。

② 跨越时空，提高学生实践能力

本项目充分利用了网络资源，突破了时空限制，使学生可以随时随地在虚拟环境中开展实验活动，便于学生课前预习及课后复习，有利于学生自主学习。本项目建设的航磁测量虚拟仿真实验借助三维建模技术，仿照游戏模式，让学生跨越时空，身临其境地漫游于虚拟环境中，全方位观察无人机平台航空磁测的设备与相关知识，寓教于乐，在愉悦的氛围中有效提高实践技能。

③ 绿色环保，全面掌握航空磁法测量技术流程

在航空磁力测量实训中，所用大型仪器其价格昂贵、构造复杂及操作技术要求高，且存在安全隐患，具有高要求、高消耗的特点。通过虚拟仿真实验，学生可以不消耗任何实际材料，安全地进行航空磁法测量实训操作，并可轻松实现对贵重精密无人机平台的操作，更加全面地掌握航空磁法测量各环节的技术流程及应用特点。

④ 虚实互补，降低实训成本和风险

该虚拟仿真实验的开展可以大大降低仪器损耗、人身危险性及实验实习成本，降低学生因操作不当而带来的设备损坏问题。可提升学生的灵活操作技能，促进学生在实验过程中消化课堂教学中的基本知识、基本理论，并训练了学生分析问题、解决问题的能力。

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

根据实际磁法勘探的生产需要，以目标任务驱动方式形成虚拟航磁测量工作过程，由学生在网络三维虚拟环境中自主完成从工作设计、系统平台和设备选装、基站选址和日变观测、仪器试验和测量飞行等主要环节设置。通过三维工作场景的虚拟构建和还原，利用人机友好交互式学习界面及系统，使学生能够快速了解和掌握航空磁测实验教学各环节的知识要点。系统后台会自动记录学生的操作和设计，全程监控实验学习过程，定量评价实验学习，根据预设条件自动给出评价结果和成绩。本项目涉及到的实验方法主要有：虚实结合法、模型示意法、情境融合法。

① 虚实结合法

本项目构建的无人机航空磁测虚拟仿真系统中，模拟的仪器设备不仅有空中设备，还有常用的地面设备（如地面磁力仪、GPS 接收机等），学生可以在实验室及地面实验环境中亲身掌握地面常用设备的操作，也可以在仿真系统中对模拟设备进行操作，达到虚实结合的目的。

② 模型示意法

本项目通过构建模型的方法展示模拟无人机航空磁测的立体化真实场景，训练学生在这种虚拟模型场景下的操作能力。本项目构建的 3D 模型逼真于实际设备与场景，学生通过在虚拟仿真系统中的反复训练可以具备实际工作中的操作能力。

③ 情景融合法

在虚拟的环境中，学生可以立体、动态地获取无人机航磁设备的结构布设与实验场景，还可以在沉浸的情景中自主设计实验或反复练习，提高学生对无人机航磁测量的操作规范程度与知识理解程度。

（2）学生交互性操作步骤说明：

实验流程为：登录系统→开始实验→基础知识快速预览→踏勘与设计→磁日变选址与观测→磁测仪器性能试验与安装（下载试验数据）→地面控制站选址与布设→GPS 测量基准站架设→无人机试飞→磁补偿与方向差飞行→航线规划与测量飞行→工作完成后的磁测仪器试验→实验结束→退出系统→编写实验报告→提交实验报告→系统或教师发布成绩。（实验项目操作流程详见图 2-8-1）

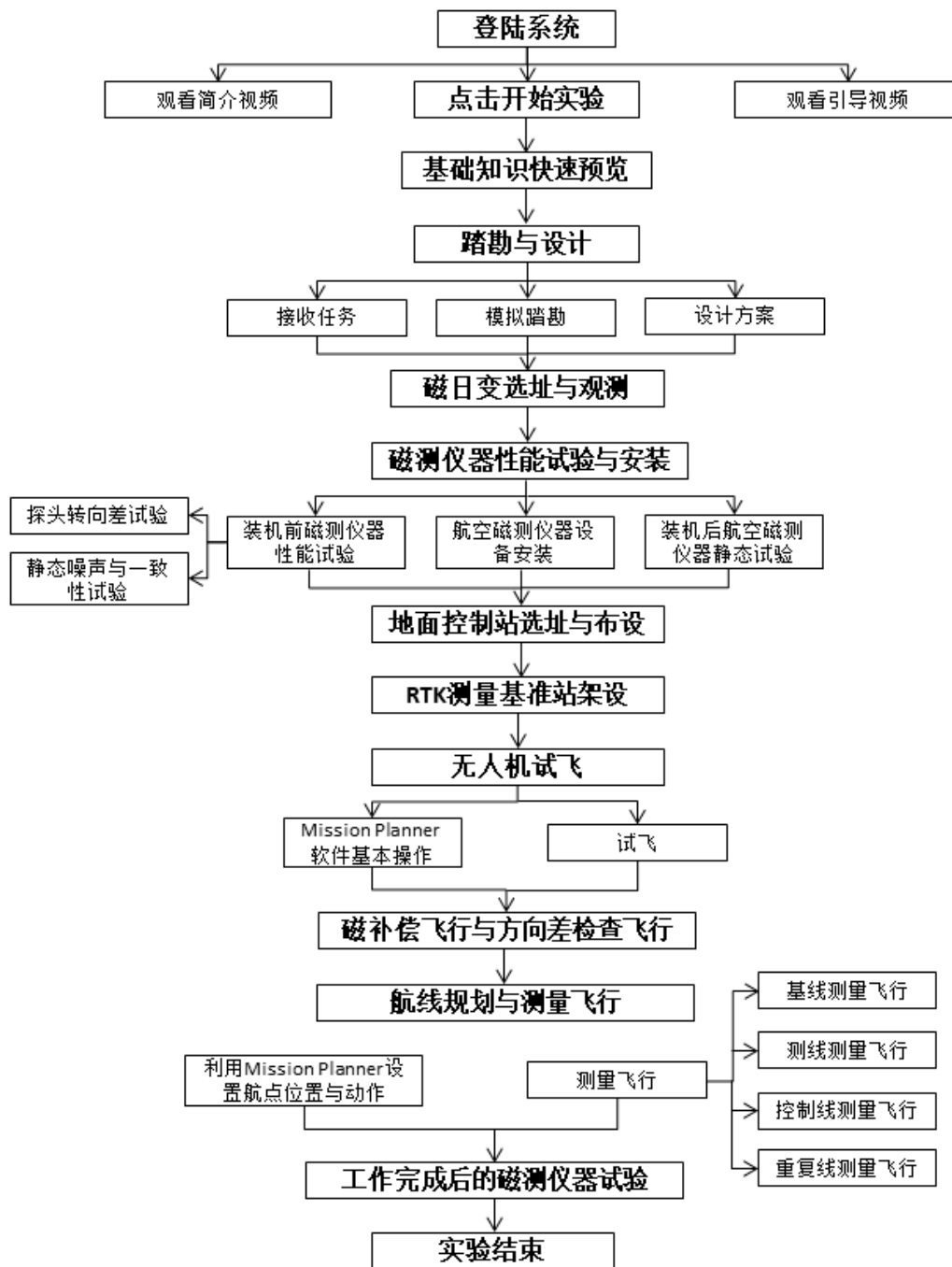


图 2-8-1 实验项目操作流程

① 进入试验

步骤 1: 登录实验项目网站 <http://sgmt.ecut.owvlab.net/vlab/hkcc.html>, 见图 2-8-2。首先查看简介视频和引导视频, 了解项目基本情况, 还可以在实验简介、操作手册及理论学习环节获取实验的详细信息进行预习。

相关提示

浏览器提示: 请使用火狐 (Firefox) 浏览器50.0以上版本或者谷歌 (Google Chrome) 浏览器55.0以上版本

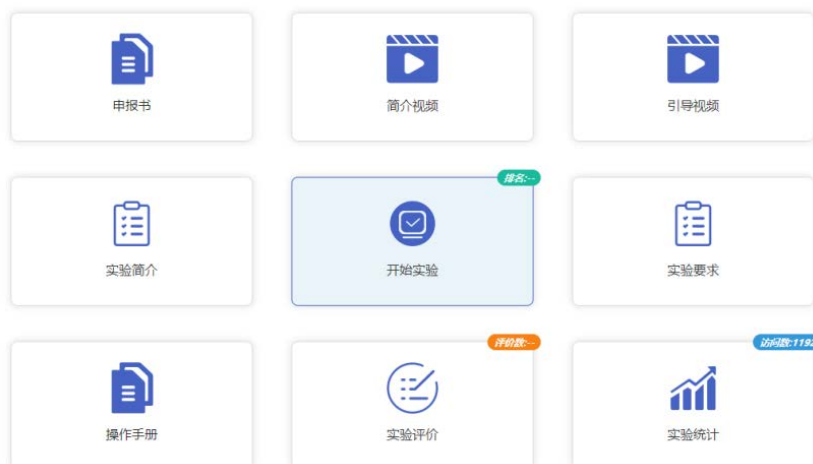


图 2-8-2 项目网站截屏



图 2-8-3 实验项目首页截屏

步骤 2: 点击“开始实验”进行实验，请耐心等待项目加载进入实验。进入实验后如图 2-8-3 所示，实验分为十个模块，其中模块 1 为理论学习模块，进入可进一步预览本次实验相关知识。后续 9 个模块为无人机航空磁测实验具体内容。具体交互性操作步骤如下：

② 踏勘与设计

步骤 3: 点击“踏勘与设计”按钮进入该模块，该模块包含三个实验内容（图 2-8-4）：

接受任务：用来告知学生虚拟模拟的实验任务地点和内容。

模拟踏勘：踏勘是无人机航磁测量工作开展之前必不可少的环节，是日变站、起降点等选址的关键。

方案设计：用来训练学生掌握无人机航磁工作的基本规范。



图 2-8-4 踏勘与设计模块子菜单选项界面

步骤 4: 点击进入“接受任务”子模块，可以看到屏幕给出了虚拟任务定位地点（图 2-8-5），点击进入可看到工作任务的提示，点击右上角可分别查看测区的地形图和卫星图（图 2-8-6）。

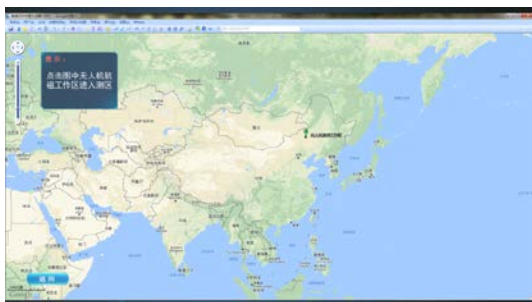


图 2-8-5 虚拟任务地点定位图



图 2-8-6 虚拟任务测区地图

步骤 5: 返回“踏勘与设计”菜单主视图（图 2-8-4），点击进入“模拟踏勘”，鼠标移动至图中已定位标签地点（2-8-7），可查看该点踏勘是拍摄的照片，了解该点周围的地形地貌特征（图 2-8-8）。

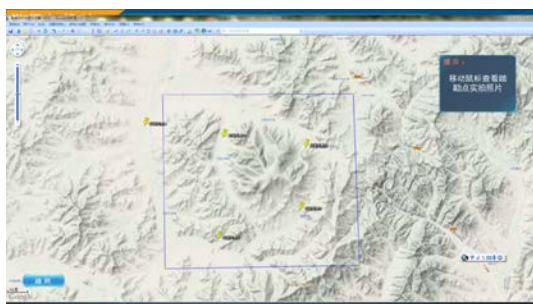


图 2-8-7 模拟踏勘界面截图

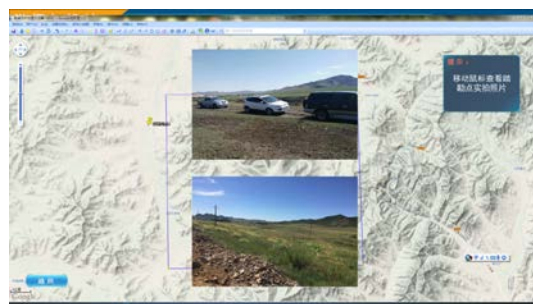


图 2-8-8 踏勘点照片拍摄

步骤 6: 返回“踏勘与设计”菜单主视图（图 2-8-4），点击进入“方案设计”，出现方案设计的主对话框（图 2-8-9）。学生需要根据已掌握的知识来完成以下交互式工作设计：确定测量比例尺、设计主测线方向、布置控制线、确定飞行高度、飞机速度和采样率。



图 2-8-9 方案设计对话框

③ 磁日变站选址与观测

步骤 7: 返回到项目首页视图（图 2-8-3），点击进入“磁日变观测”模块，首先弹出了磁日变站初步选址规则判断界面（图 2-8-10），地图中两标签点分别给出了该位置的地形和人文环境描述，学生需根据描述，判断并选出合理的磁日变站初步选址位置，选取正确后，点击进入到该点的实景环境（图 2-8-11），进入下一步十字剖面测量法场景。



图 2-8-10 磁日变站初步选址

步骤 8: 点击“开始观测”，实验项目会自动进行十字剖面测量法的观测（图 2-8-11），学生通过动画动作可掌握十字剖面测量法的过程，动画结束表示测量完成，屏幕给出了十字剖面测量的结果数据，并记录在标准的表格中（图 2-8-12）。



图 2-8-11 十字剖面测量界面



图 2-8-12 十字剖面测量结果

④ 磁测仪器性能试验与安装

步骤 9: 返回到项目首页视图 (图 2-8-3), 点击进入“磁测仪器性能试验与安装”模块, 该模块包含三个子模块 (图 2-8-13) (分别是界面左侧三个按钮):

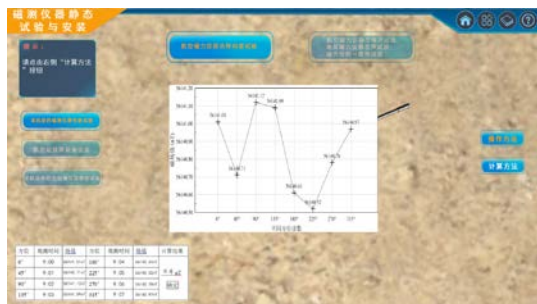
装机前磁测仪器性能试验: 投入生产的磁测仪器设备, 在安装之前都必须保证其精度、稳定性以及不同磁测仪器之间的一致性。

航空磁测仪器设备安装: 保证仪器正常后, 就可以将仪器安装至无人机正确位置。

装机后航空磁测仪器静态试验: 磁测仪器安装完成之后, 为了评价安装过程以及无人机自身带来的磁测仪器噪声, 因此还需进行装机后航空磁测仪器静态试验。



图 2-8-13 性能试验与安装交互界面图



2-8-14 探头转向差试验交互界面

步骤 10: 点击“装机前磁测仪器性能试验”, 然后点击正上方左侧的“航空磁力仪探头转向差试验”按钮进入, 点击下方的“旋转探头”按钮可分别旋转探头方向为 0、45、90、135、180、225、270、315 度八个方位读取数据, 获得 8 个不同的数据显示在屏幕中心 (曲线图) 和左下方 (表格) (图 2-8-14), 学生需根据计算规则填写计算结果, 点击右侧计算方法可了解计算探头转向差的公式, 学生通过计算并正确填写后可进入下一步。

步骤 11: 点击正上方右侧按钮可同时进行航空磁力仪的静态噪声试验、地面磁力仪的静态噪声试验和仪器一致性试验。点击开始观测, 屏幕中心将动态显示观测数据变化图。点击计算方法可查看磁测仪器噪声、一致性试验结果的计算方法, 点

击试验结果弹出交互对话框，并要求学生评价结果（图 2-8-15）。

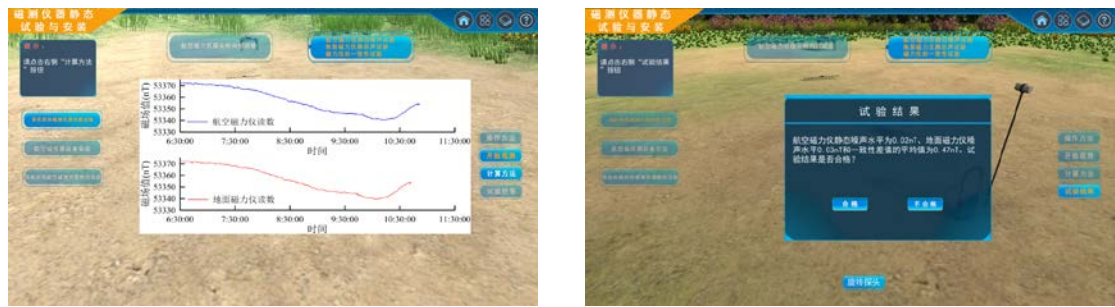


图 2-8-15 磁测仪器噪声、一致性试验交互界面

步骤 12: 点击左侧“航空磁测仪器安装”可模拟安装仪器设备，包括打开机臂、安装 GPS 接收天线、安装航空磁力仪、安装雷达高度计（图 2-8-16）。



图 2-8-16 航空磁测仪器安装交互界面

步骤 13: 点击左侧“航装机后磁测仪器静态试验”可模拟仪器装机后的性能试验（图 2-8-16）。操作提示和交互流程可参考步骤 11。

⑤ 地面控制站选址

步骤 14: 返回到项目首页视图（图 2-8-3），点击进入“地面控制站选址与布设”模块，该模块设计了三个野外场景。场景一：树林处。场景二：山中峡谷区。场景三：平地无遮挡区。通过点击右侧的无人机图标，再在三个场景中寻找合理的地面控制站位置（图 2-8-17）。



图 2-8-17 地面控制站选址交互界面

⑥ GPS 测量基准站架设

步骤 15: 返回到项目首页视图（图 2-8-3），点击进入“GPS 测量基准站架设”模块，该模块主要使学生了解无人机航磁测量中 GPS 定位。该部分交互式操作是通过鼠标循序拖动实现基站的安装（图 2-8-18）。



图 2-8-18 GPS 测量基准站架设交互界面

⑦ 无人机试飞

步骤 16: 返回到项目首页视图（图 2-8-3），点击进入“试飞”模块，试飞模块包括：Mission Planner 软件的基本操作训练和无人机试飞。

步骤 17: Mission Planner 软件的基本操作训练：主要步骤包括链接飞控板、加载固件、设置航点位置与动作。（图 2-8-19、2-8-20）



图 2-8-19 地面控制站界面



图 2-8-20 Mission Planner 操作界面

步骤 18: 试飞模式包括自动巡航和手动操作，见图 2-8-21。项目对无人机遥控

器进行了仿真模拟，并利用键盘键替代无人机遥控器主要按键来实现手动控制无人机飞行。



图 2-8-21 无人机自动巡航及手动操控界面

⑧ 磁补偿飞行与方向差检查飞行

步骤 19: 返回到项目首页视图（图 2-8-3），点击进入“磁补偿飞行与方向差检查飞行”，该模块分为磁补偿飞行和方向差检查飞行，它们被用来消除无人机自身产生的磁场干扰。

步骤 20: 点击磁补偿飞行，首先会弹出磁补偿相关知识点，学习后点击确定，即可进行磁补偿飞行，磁补偿飞行动作包括翻滚、偏航和俯仰，分别点击后会显示无人机不同飞行姿态（图 2-8-22、2-8-23）。

步骤 21: 点击方向差检查飞行，首先会弹出方向差检查飞行相关知识点，学习后点击确定，即可进行方向差检查飞行的交互操作（图 2-8-24、2-8-25）。



图 2-8-22 磁补偿飞行知识提示



图 2-8-23 磁补偿飞行姿态（俯仰）



图 2-8-24 方向差检查飞行知识提示

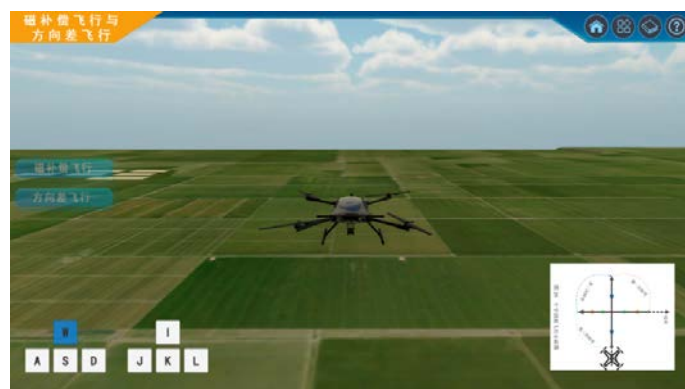


图 2-8-25 方向差检查飞行交互界面

⑨ 航线规划与测量飞行

步骤 22: 返回到项目首页视图（图 2-8-3），点击进入“航线规划与测量飞行”，该模块包括基线测量飞行、测线测量飞行、控制线测量飞行和重复线测量飞行（图 2-8-26）。每种飞行模式有各自的作用，为了使了解这一过程并掌握其原理。本项目按照实飞流程进行虚拟仿真设计，每种飞行模式都先使用 Mission Planner 软件规划航线，再进行自动飞行模拟（图 2-8-27）。

步骤 23: 基线测量飞行：首先通过 Mission Planner 软件规划飞行路线，按照提示进行交互式操作即可明白其含义。保存 Mission Planner 软件规划路线的结果，就可以通过飞控板传输任务使无人机按照预设路线进行自主飞行。

步骤 24: 测线测量飞行交互操作。

步骤 25: 控制线测量飞行交互操作。

步骤 26: 重复线测量飞行交互操作。





图 2-8-26 Mission Planner 软件规划交互操作界面



图 2-8-27 自动测线飞行动画界面

⑩ 工作完成后的磁测仪器试验

步骤 27: 返回到项目首页视图（图 2-8-3），点击进入“工作完成后的磁测仪器试验”，该模块模拟工作结束后的磁测仪器试验(图 2-8-28)。左侧可点击开始航空磁力仪静态噪声试验，开始观测后图中会模拟显示测量数据结果，点击计算方法学习数据处理方法，试验结果最后以对话框形式显示。

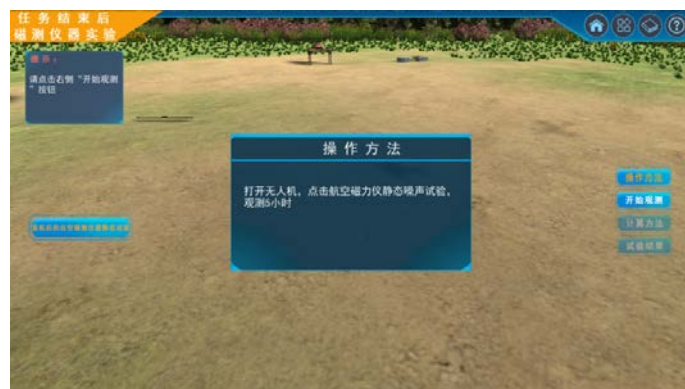


图 2-8-28 工作完成后的磁测仪器试验界面

步骤 28: 下载实验数据，课后处理数据并上传实验报告。

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
- (3) 其他描述：

本实验坚持“虚实结合、以虚补实”的基本原则，利用线上虚拟仿真实现线下实验难以完成的操作，有效地开发了无人机航空磁测实验虚拟教学平台，让每一位学生都能在独立的实验环境下完成各自的实验任务。

主要实验结果：

① 在方案设计中，主测线方向和控制线方向的布设是野外施工设计重要的一环，地球物理勘探中测线方向一般设计为垂直于构造走向。无人机航磁测量中，还需要设计控制线飞行测量来统一全区磁场水平，因此控制线方向设计为垂直主测线方向布设。



图 2-9-1 方案设计结果截图

② 十字剖面测量法确定日变站位置时，以拟选址点为原点，按一定点距往东、南、西、北四个方向各设计两个测点，测量后一共得到 9 个测点的磁场值，计算其

与原点的磁场差值和梯度值，当磁场变化不超过设计均方差的 1/2，该基站选址满足要求，如下图所示。

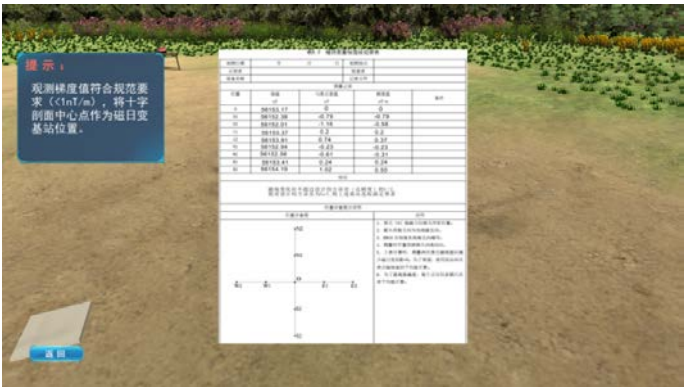


图 2-9-2 十字剖面测量法结果截图

③ 磁测仪器的性能试验中，会得到航空磁力仪的静态噪声水平、地面磁力仪的静态噪声水平和它们之间的一致性差值的平均值，虚拟实验中给出的结果表示仪器试验结果是合格的。

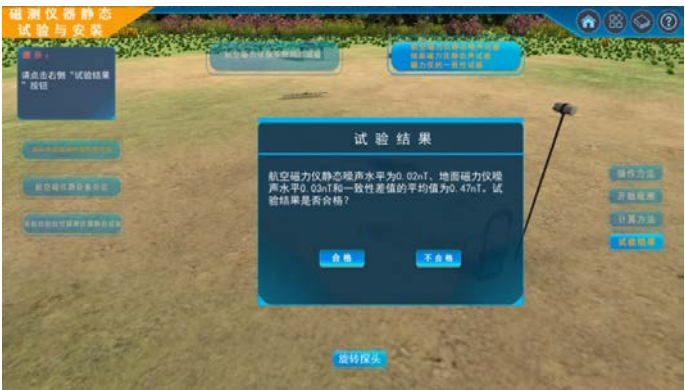


图 2-9-3 磁测仪器性能试验结果截图

④ 探头转向差试验会得到磁探头八个方位的不同磁场值，探头转向差的计算结果通过计算这八个值中最大值和最小值的差值，试验结果为 0.6 nT，表示该航空磁力仪满足技术要求。

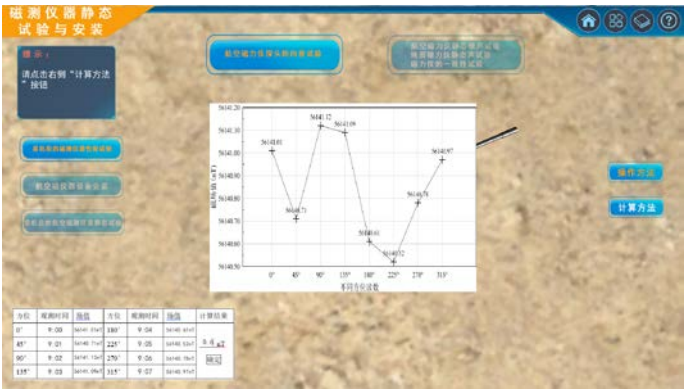


图 2-9-4 探头转向差试验结果截图

⑤ 无人机地面站的选址位置一般相对平坦、通视良好，远离人口密集区，半径 200 m 范围内不能有高压线、高大建筑物、重要设施等，无明显凸起的岩石块、土坎、树桩，也无水塘、大沟渠等。因此场景三的适当位置是合理的选址结果。



图 2-9-5 无人机地面站选址结果截图

⑥ 实验结束后，输出实验各个环节中的记录信息，并对考题进行评分记录，同时系统根据学生的得分情况对实验报告进行评价，并给出建议。

结论要求：

- ① 描述实验工作设计参数选择的原因；
- ② 详述实验目的、实验原理、实验设备、实验过程及步骤；
- ③ 叙述实验过程中遇到的问题及解决问题的方法；
- ④ 撰写实验报告与学习心得体会，并上传实验报告。

2-10 考核要求

考核要求包括四个方面：实验预习、实验操作、实验结果分析和实验报告。实验知识的预习是必要的，学生可以通过学习项目首页的操作手册进行预习。实验操作的考核用来衡量学生对实验内容的熟悉程度。学生对实验结果的分析是判断其是否掌握基础知识点的重要手段。实验报告一方面帮助学生整理整个实验过程，进一步掌握实验核心知识，另一方面也体现了学生对该实验的掌握程度。

具体考核要求、评分细则和比例见表 2-10-1。

表 2-10-1 虚拟仿真实验考核要求以及评分细则

考核要求	考核内容	评分细则
实验预习（15%）	无人机航空磁测的基本原理、应用领域、野外工作流程是否基本熟知	15
实验操作（25%）	无人机航空磁测的实验流程是否掌握	10
	航空磁测仪器、地面磁力仪的仪器试验操作是否掌握，航磁设备的装机步骤是否清楚，航线规划软件是否学会使用	15
实验结果分析（20%）	对磁测仪器试验结果的判断和分析、对实测磁异常数据质量的分析	20
实验报告（40%）	实验目的、原理、操作步骤、实验数据记录与处理、实验结果和结论、注意事项、对实验的评价和建议等是否完整	40
总分（100%）		100

2-11 面向学生要求

（1）专业与年级要求

本虚拟仿真实验教学平台主要面向地质资源与地质工程、水文地质工程、环境工程类等开设地球物理类相关课程的专业，主要有：地球物理学、勘查技术与工程、资源勘查工程、水文地质与工程地质及测绘工程等专业大三及以上本科生，同时向社会相关专业领域的技术人员提供学习和实验教学服务。

（2）基本知识和能力要求

在使用本虚拟仿真实验系统前，学生需要学习“场论”、“数字信号处理”、“普通地质学”及“磁法勘探”等课程基本知识。

2-12 实验项目应用及共享情况

（1）本校上线时间：2019.02.10

（2）已服务过的本校学生人数：300

（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）

（1）是否面向社会提供服务：☒是 ☐否

（2）社会开放时间：2020.05.10，已服务人数：200

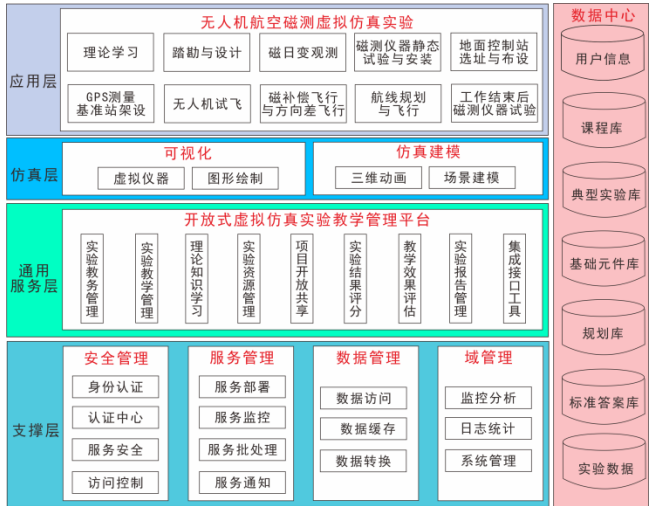
3.实验教学项目相关网络及安全要求描述

3-1 有效链接网址 http://sgmt.ecut.owvlab.net/vlab/hkcc.html
3-2 网络条件要求 (1) 说明客户端到服务器的带宽要求（需提供测试带宽服务） 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（需提供在线排队提示服务） 支持 100 个学生同时在线并发访问和请求
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 及以上 64 位操作系统 (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) 插件名称 插件容量 下载链接 (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 Chrome 浏览器 55.0 以上 64 位版本/火狐 Firefox 浏览器 50.0 以上 64 位版本
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）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。 计算机硬件配置需求（推荐）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

(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) 项目系统是否完成省级信息安全等级保护 ☒是 ☐否 (勾选“是”，请填写) 二级

4.实验教学项目技术架构及主要研发技术

指标	内容
系统架构图及简要说明	无人机航空磁测虚拟仿真实验项目在系统架构方面分为数据层、支撑层、通用服务层、仿真层和面向用户的应用层（图 4-1），逻辑清晰，架构合理。项目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，并通过平台提供各项功能帮助用户实现自主实验，并加强开放服务能力。 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、虚拟实验结果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。总体架构图如下：

		 图 4-1 系统总体架构图
实验教学项目	开发技术	☐ VR ☐ AR ☐ MR ☒ 3D 仿真 ☐ 二维动画 ☐ HTML5 其他_____
	开发工具	☒ Unity3D ☐ 3D Studio Max ☐ Maya ☐ ZBrush ☐ SketchUp ☐ Adobe Flash ☐ Unreal Development Kit ☐ Animate CC ☐ Blender ☐ Visual Studio ☐ 其他_____
	运行环境	服务器 CPU <u> 4 </u> 核、内存 <u> 8 </u> GB、磁盘 <u>1024 </u> GB、 显存 <u> 2 </u> GB、GPU 型号 <u>NVIDIA GeForce GTX 970 </u> 操作系统 ☒ Windows Server ☐ Linux ☐ 其他 具体版本_____
		数据库 ☒ Mysql ☐ SQL Server ☐ Oracle 其他_____
		备注说明_____（需要其他硬件设备或服务器数量多于 1 台时请说明）_____

	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）	单场景模型总数：900000 面 贴图分辨率：1024*1024 显示帧率：高于每秒 30 帧 刷新率：高于 30Hz 正常分辨率 1920*1080
--	---	---

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）实验方案设计思路

① 必要性

无人机航空磁法测量已在地质调查、矿产勘查及灾害评估等多个领域广泛应用，已是我校地球物理学专业《地磁场与磁力勘探》课程和勘查技术与工程专业《磁法勘探》课程的教学内容之一。但无人机航磁测量对气象要求高、设备昂贵且存在风险，各高校都未能正常开展实验教学。随着近年来无人机航空磁测技术与精度的不断提高，社会上的使用越来越广泛，因此开发出一套无人机航空磁测虚拟仿真实验教学系统，对于高校教学与企业培训都具有非常重要的实际意义。

② 先进性

本项目以无人机航空磁测实际工作过程为引导，利用虚拟仿真技术和交互式操作手段将无人机航空磁测的基本原理、知识要点和技术规范融入到虚拟实验中。借助虚拟仿真 3D 建模技术模拟操作无人机、航空磁力仪、地面磁力仪等设备，切身体验无人机航磁测量的工作流程与环境，让学生掌握航空磁法测量的基本原理和实施过程，加深对各知识点的理解和把握。结合仿真实验对无人机航磁测量各环节的解剖和衔接，强化学生作为未来工程技术人员对航空磁法测量工作的认识和理解。同时，通过虚拟任务的方案设计，培养学生的工作设计能力，创新思维能力和实际问题解决能力。

（2）教学方法

该项目以培养具有专业能力和社会能力的应用创新型航磁工作人才为目标，遵循“学生中心、问题导向、学科融合、创新实践”的实验教学理念，通过系统指导与引导、学生体验与感知、模拟与操作、自主设计及系统自动评价等方式，让学生可以在虚拟环境里遨游、在人机交互下训练、在分解引导中学习、在自主设计下模拟、在实验结束后反思，这种多样化的训练模式有助于学生理解并掌握相关知识点，从而具备从事相关行业的胜任能力。

（3）评价体系

① 追踪与纠错

该虚拟仿真实验系统能够对学生实验过程进行全程记录，能够追踪每一个学生，在操作过程中的规范程度，同时重要的实验模块还设置了预警提示与纠错，学生可以及时发现自己的问题并及时更正，促使学生养成良好的操作规范。

② 反馈与评价

在练习模式和考核模式下，系统都会自动记录学生的操作过程与得分情况，同时会针对不同学生实验结果进行反馈，并对学生的实验整体情况进行综合评价，形成理论与实验相结合、过程与结果相融合的综合评价体系。

（4）对传统教学的延伸与拓展：

① 延伸了实验深度与广度

传统磁法实验主要针对地面磁法测量进行的，但航空磁测与地面的存在较大差距。由于仪器昂贵、实验环境要求高、飞行管控严、操作风险大等问题，以往关于这方面的知识仅仅是课堂上的讲述，难以让学生从根本上理解实验原理与工作流程。该虚拟仿真项目的顺利实施，将有效地解决无人机航磁测量实验无法开展的问题。该系统内部有详细的实验指导说明，有针对性的引导视频，有丰富的实验内容，有精细的实验模块，有 3D 建模下的互动操作，这些实验手段有效地延伸了实验内容的深度与广度。

② 拓展了实验时间与空间

传统实验往往需要借助于实验室与实验设备，还需要配备专门的指导老师，另外实验时间有限、实验空间狭窄。本项目可充分利用网络资源，突破了时空限制，学生可以随时随地在虚拟环境中开展实验活动。项目借助 3D 建模技术，仿照游戏模式，让学生跨越时空，身临其境地漫游于虚拟环境中，全方位了解关于无人机的相关知识，在愉悦的氛围中提高学习兴趣与效果。

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）

（1）项目持续建设计划

《无人机航空磁法测量虚拟仿真实验》项目已获得了学校及学院的双重支持与资助，第一批资助经费为 35 万元，后续学校还将投入不少于 20 万元的建设经费，用于对使用过程中存在问题及不足之处进行改进与完善。后期将继续加强与润尼尔公司和相关企业的深入合作与交流，在 3D 建模逼真度、人际互动灵活性、学生学习评价与反馈，实用化程度及实时更新等方面进行持续改进，保障虚拟仿真实验教学的整体质量与实验内容的前沿性，提高实验教学效果。

（2）面向高校的教学推广应用计划：

在虚拟仿真实验教学建设过程中，将通过举办会议、成立论坛、接待参访等形

式，在全国高校具有地质类、地球物理类、测绘类专业进行推广与普及，通过开展实验讲解、观摩教学等方式进行虚拟仿真实验教学培训，通过经验交流、资源共享完善虚拟仿真教学内容，通过实地调研、网络空间及发表论文等手段推广虚拟仿真实验项目。期望通过多形式、多渠道实现虚拟仿真实验教学资源的充分共享。另外，将首先通过在本校开展航空磁法测量技能大赛，再进一步将该赛事推广至全国各地地质类院校，进一步提高本虚拟仿真实验项目的知名度，提升学生的专业实践能力与应用创新能力。

本虚拟仿真实验教学项目已在东华理工大学地球物理学、勘查技术与工程、资源勘查工程、测绘工程专业等专业使用，累计服务校内人数 1980 人，后续将逐渐在江西省高校、全国地质类院校相关专业进行推广，达到 5 年内该虚拟仿真实验项目使用学生人数不少于 3000 人。

(3) 面向社会的推广应用计划：

无人机航空磁法测量虚拟仿真实验项目可为从事无人机航测的企事业单位工作人员提供岗前培训，并通过与企事业单位、研究机构等进行经验与成果交流，提高资源共享力度，后续将在至少 50 家从事地质类的单位进行推广应用，保证 5 年内为不少于 1000 名相关技术人员提供免费使用。

7.知识产权

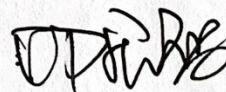
软件著作权登记情况	
软件著作权登记情况	☒ 已登记 ☐ 未登记
完成软件著作权登记的，需填写以下内容	
软件名称	无人机航空磁测虚拟仿真实验软件 V1.0
是否与项目名称一致	☒ 是 ☐ 否
著作权人	东华理工大学；邓居智；胡斌
权利范围	全部权利
登记号	2020SR0733268

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）



2020年6月30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“省级虚拟仿真实验教学项目”，学校将严格贯彻《教育部高等教育司关于加强国家虚拟仿真实验教学项目持续服务和管理工作有关工作的通知》（教高司函〔2018〕56号）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）

2020年7月11日

附件材料 1：政治审查意见

东华理工大学推荐 2020 年度省级 虚拟仿真实验教学项目政治审查意见

江西省教育厅：

东华理工大学党委对《无人机航空磁测虚拟仿真实验》项目团队成员情况已进行审查，并对该项目内容的政治导向进行了把关，确保该项目具备正确的政治方向、科学的价值取向，经研究决定，同意推荐。



二〇二〇年六月三十日



二〇二〇年六月三十日

附件材料 2：校外评审意见

2. 校外评价意见

东华理工大学开发的“无人机航空磁测虚拟仿真实验”项目采用 3D 建模、虚拟动画及人机交互等技术，以地球物理专业人才培养和从事航空磁法测量的专业人员培训为出发点，突破了传统航空磁测对气象要求高、设备昂贵且风险大及飞行管控严等条件的限制，降低了实训成本与风险，绿色环保，不受时空限制。该虚拟仿真实验场景逼真，内容丰富，操作简便，对提高教学效果具有重要意义。

该虚拟仿真实验项目采用“虚实结合，以虚补实”的原则，将无人机航磁测量的工作方案设计、工作方法流程和工作技术规范融合到虚拟仿真实验中。通过自主设计工作方案，人机交互式地完成磁日变站选址、磁测仪器性能试验和安装、飞机航线规划与测量飞行等无人机航磁工作的重要步骤，使实验者能够切身体验无人机航磁测量的工作流程与环境，从而掌握航空磁法测量的基本原理和实施过程，加深对各操作环节的理解和把握，该项目值得在各类具有地球物理学方向的高校与企事业单位中推广。

江西省煤田地质局普查综合大队
2020 年 7 月 10 日



附件材料 3：《地磁场与磁力勘探》教学大纲首页和大纲中实验教学内容

《地磁场与磁力勘探》教学大纲

英文名称: Geomagnetic Field and Magnetic Prospecting

课程代码: DC1402ZW

学位课程/非学位课程: 学位课程

学时/学分: 40/2.5 (含实验 10 学时)

先修课程: 高等数学、大学物理、场论、普通地质学

适用专业: 地球物理学

一、课程简介

《地磁场与磁力勘探》是地球物理学专业的一门主干专业课,它通过观测和分析由岩石或其他探测对象磁性差异引起的磁异常,进而研究地质构造和矿产资源或其他探测对象分布规律的一种地球物理方法,是本专业学生必须掌握的重要地球物理勘查方法。通过本课程的学习,使学生掌握地磁场的基本特征,磁法勘探基本原理,获得从事磁法勘探工作的基本能力,提高学生对自然科学问题的理性思维能力,运用所学知识去分析、探究“地球秘密”,并利用地球磁场的变化去寻找矿产资源或研究基础地质等问题。磁法勘探课程既是一门专业性很强的课程,能培养学生扎实的专业功底;又是一门“工具”或“方法”性课程,能培养学生逻辑推理、定量分析和解决实际问题的能力。

二、课程教学目标

(一) 课程目标

通过本课程教学,学生在知识、能力、素质方面达到以下要求:

1. 知识目标

- (1) 掌握磁法勘探的基本原理、工作方法和应用条件,具备组织实施野外工作和数据采集的能力;(毕业要求 1-3)
- (2) 能通过磁异常的正演,掌握各种规则形体的磁异常特征;(毕业要求 3-3)
- (3) 能够对磁异常进行解析延拓、求导、化极等各种数学换算,以突出某一方面的特征,并反演地质体的物性参数(毕业要求 4-2)
- (4) 使用重磁数据处理解释软件进行磁测数据的处理与解释,展示磁异常基本图件、数据处理与转换图件及磁测资料解释成果(毕业要求 3-5、5-3)
- (5) 熟悉地面高精度磁测技术规范、熟悉航空磁法测量技术规范(毕业要求 6-2)

2. 能力目标

- (1) 掌握磁法勘探的学习方法及独立思考问题、解决问题的能力,拥有磁测数据处理、资料解释和地质推断的能力;(毕业要求 1-4)
- (2) 综合应用磁测理论和方法,正确表达磁法勘探地质问题,并提出合适的解决方案;(毕业要求 2-3)
- (3) 能结合区域地质资料,对磁测处理图件和反演结果进行地质解释,获得地质结论(毕业要求 4-3)

3. 素质目标

- (1) 专业素质:培养学生严谨求实、追求真理的科学态度、刻苦钻研、甘于奉献的作风以及专业团队精神;能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理,识别、表达、并通过文献研究分析地球深部结构、能源及矿产资源、城市地质、工程地质、灾害地质等领域地

（四）实验教学

1. 实验教学必需的保障条件

带黑板的实验室，三台以上质子旋进磁力仪，罗盘，卷尺，测绳，计算机。

2. 实验项目与学时安排

序号	实验项目	学时	实验类型	分组要求
1	质子磁力仪的认识与操作	2	验证	每组不多于 15 人
2	磁法数据采集与磁异常整理	2	综合	1 组负责日变观测，1 组负责测线布置，2 组负责数据采集
3	无人机航空磁测虚拟仿真实验	2	综合	每人一台电脑现场操作
4	规则形体磁异常正演模拟	2	设计、演示	1 人 1 台计算机
5	磁异常的处理与转换	2	综合	每人一台电脑现场操作

3. 实验内容与基本要求

（1）实验一 质子磁力仪的认识与操作

基本概念：

磁力仪是磁法勘探数据来源的设备，磁力仪的技术指标是衡量磁力仪精度及便捷性的关键，磁力仪性能测试是确保野外磁测数据质量的关键。磁力仪主要有探头、探杆、主机、传输线及仪器箱等组成，磁力仪性能测试主要有噪声水平、探头一致性、主机一致性和多台一致性组成。

教学目的/技能目标：

1. 认识磁力仪的组成
2. 掌握磁力仪的工作原理
3. 掌握磁力仪的性能测定

实验设备：

质子磁力仪。

基本要求/实验要求：

- ①了解磁力仪的组成；
- ②熟悉磁力仪的工作原理；
- ③掌握磁力仪的性能测试。

实验内容：

- ①了解主机、探头、探杆的组装
- ②学会仪器的参数设定
- ③学会磁力仪的三性检测

(2) 实验二 磁法数据采集与磁异常整理

基本概念：

野外磁测工作是磁法勘探的重要环节，野外磁法工作包含测网测线布设、日变站和基点位置选取、日变观测、基点观测、普通点观测、补充测量及检查测量，还包含磁异常的整理计算工作。

教学目的/技能目标：

能独立从事磁法勘探野外数据采集工作与磁异常的整理计算

实验设备：

质子磁力仪、手持 GPS、电脑。

基本要求/实验要求：

- ①了解研究任务，选择合适的工作比例尺；
- ②熟悉磁法勘探野外工作流程；
- ③学会野外数据采集及其注意事项；
- ④能够对观测磁数据进行整理，获取磁异常。

实验内容：

- ①了解测区、测网、日变站、基点的布设；
- ②熟悉磁法数据采集的整个工作流程；
- ③掌握磁异常整理的计算过程；

(3) 实验三 无人机航空磁测虚拟仿真实验

基本概念：

无人机航空磁法测量在地质调查、矿产勘查、灾害防护与评估等多个领域得到越来越多的重视与应用。本次实验是采用 3D 建模、虚拟动画、人机交互等技术自主研发的无人机航空磁测虚拟仿真实验系统，学生可以切身体验和学习无人机航磁测量的工作流程与环境。

教学目的/技能目标：

掌握航空磁法测量的基本原理和操作流程；增强对航磁测量工作中影响数据采集质量、航测效率等不良因素的识别能力；培养学生的工作设计能力，创新思维能力和解决实际问题能力。

实验设备/软件：

计算机、无人机航空磁测虚拟仿真实验软件。

基本要求/实验要求：

- ①了解无人机航空磁测的应用领域；②掌握无人机航空磁测野外工作方法。

实验内容：

- ①踏勘与设计；②磁日变选址；③磁测仪器性能试验与安装；④地面控制站选址与布设；⑤RTK 测量基准站架设；⑥无人机试飞；⑦磁补偿飞行与方向差检查飞行；⑧航线规划与飞行；⑨任务结束后磁测仪器试验。

(4) 实验四 规则形体磁异常的正演模拟

基本概念：

磁异常的正演是由磁性体参数信息转换成磁异常的过程。本次实验主要是实现水平圆柱体、球体、台阶等规则形体磁异常的正演模拟与图示，了解磁异常特征与地质体参数关系，熟悉不同形状磁性体的异常特征。

教学目的/技能目标：

掌握不同形体磁异常的分布规律、了解不同磁性体异常的异同之处、分析不同参数的磁异常变化规律。

实验设备/软件：

计算机、编程软件。

基本要求/实验要求：

- ①了解磁异常的计算公式；
- ②能够使用软件进行规则形体磁异常的程序编制；
- ③熟悉不同形态磁性体的异常特征；
- ④了解不同磁参数下的磁异常变化规律。

实验内容：

- ①不同形体磁异常正演公式；
- ②球体、水平圆柱体、台阶等地质体的磁异常程序编制；
- ③不同磁参数下磁异常的变化规律。

(5) 实验五 磁异常的处理与转换

基本概念：

数据处理与转换是磁测资料有效进行地质解释的重要手段，解析延拓、导数换算和化磁极等数据转换是资料处理解释常用的手段，能从不同方面突出目标体的磁异常特征。

教学目的/技能目标：

掌握解析延拓、导数换算、化磁极的作用和程序实现，并能够对数据转换结果进行合理的异常解释。

实验设备/软件：

计算机、编程软件。

基本要求/实验要求：

①了解数据处理的目的是与作用；②学会对实测磁数据进行化极、延拓和求导，并能够进行合理的解释工作。

实验内容：

- ①化极、延拓和求导的作用；
- ②利用编程软件实现常规数据处理方法，并通过更改数据处理参数了解异常变化情况；
- ③绘制数据处理图件，对数据处理的结果进行合理解释。