面向输电专业的“虚实结合正向演化”无人机教学体系探索和研究

陈　剑

广州城市理工学院　广东　广州　510850

摘　要：随着电网数字化转型深入推进，无人机巡检已成为输电专业核心作业方式，对技能人才培养提出了全新要求。然而，当前无人机教学普遍存在理论教学与实操脱节、仿真训练与现场作业割裂、技能评价与能力成长不同步等问题。本文针对输电专业特点，提出“虚实结合正向演化”无人机教学体系，构建“理论学习—上机练习—实际操作”三位一体循环进阶模式，建立基于多维度数据的技能评价与正向演化机制。实践表明，该体系能够有效缩短学员技能成长周期，提升复杂环境下作业能力，为输电专业无人机技能人才培养提供可复制、可推广的教学范式。

关键词：输电专业；无人机教学；虚实结合；正向演化；技能评价

引言：输电线路分布广、地形复杂、环境多变，传统人工巡检效率低、风险高、盲区多。无人机巡检凭借高效、灵活、安全的优势，已在全国电网系统规模化应用，输电专业对无人机飞手的需求呈爆发式增长。然而，现有培训体系多沿用通用航空无人机培训模式，存在三个“脱节”：理论教学与上机实操内容衔接不畅，学员“听得懂、飞不好”；仿真训练环境与真实作业场景差异大，学员“模拟熟练、现场慌乱”；技能考核一次性终结评价，无法反映能力成长过程，缺乏持续改进机制。本文探索构建“虚实结合正向演化”教学体系，旨在破解输电专业无人机人才培养难题。

1 输电专业无人机教学现状与问题分析

1.1 教学体系现状

当前输电专业无人机教学主要采用“理论授课—模拟器训练—外场飞行”三段式结构。理论授课涵盖航空法规、气象知识、无人机系统原理、输电线路基础知识等，学时占比约15%（学时占比约15%）。模拟器训练在计算机上完成，学员通过遥控器操作仿真软件，练习基本飞行动作和巡检航线，学时占比约25%。外场飞行在专用训练场或实际线路上进行，学员操作真实无人机完成起降、悬停、航线飞行、杆塔巡检等任务，学时占比约60%。这种模式在培养基础操作能力方面发挥了积极作用，但在适应输电专业特殊需求方面存在明显不足。

1.2 存在的主要问题

问题一：理论教学与实操内容脱节。理论课程偏重通用航空知识，与输电线路巡检场景关联度低。学员学习气象知识时，不了解不同气象条件对输电线路巡检的具体影响；学习无人机系统原理时，不清楚巡检任务对续航、图传、避障的特殊要求。理论无法有效指导实践，学员进入实操阶段后仍需重新学习大量现场知识。

问题二：仿真训练与真实作业割裂。现有模拟器软件以通用飞行动作为主，缺乏输电线路典型场景库，如山区跨越、廊道树木遮挡、强电磁干扰环境等。仿真训练中的成功操作无法平滑迁移至真实作业，学员在外场飞行时频繁出现适应性障碍。

问题三：技能评价与能力成长不同步。当前考核采用“一考定级”模式，理论笔试、模拟器操作、外场飞行分别独立评分，最终加权得出总成绩。这种评价方式无法反映学员技能从“生疏”到“熟练”再到“精进”的动态演化过程，也无法识别个体在特定技能点上的薄弱环节，导致后续教学缺乏针对性[1]。

1.3 输电专业特殊需求

输电专业无人机巡检具有鲜明的行业特征。作业环境方面，线路跨越山区、水域、农田等多种地形，气象条件复杂多变，对飞手环境适应能力要求高。作业任务方面，需要完成杆塔精细化巡检、通道巡视、故障点定位、树障测量等专业操作，飞行路径复杂、拍摄角度精准。安全要求方面，无人机需靠近高压带电设备作业，电磁干扰风险高，对飞行稳定性和应急处置能力提出更高要求。这些特殊需求决定了输电专业无人机教学不能简单套用通用培训模式，必须构建专业化的教学体系。

2 “虚实结合正向演化”教学体系构建

2.1 核心理念与内涵

“虚实结合正向演化”教学体系的核心内涵可从三个关键词理解。“虚实结合”指真实设备与仿真环境深度融合，虚拟训练为实操提供前置准备和风险可控的试错空间，实操为虚拟训练提供真实数据和反馈优化，二者相互印证、相互促进。“正向”指学员技能始终朝向更高水平方向演进，通过“学习—练习—实操—评价—再学习”的闭环机制，每次循环都推动技能水平向上一个台阶。“演化”指技能成长是一个持续的、渐进的过程，而非一次性终结评价，教学体系需建立动态跟踪与自适应调整机制，伴随学员从入门到精通的全周期。这一理念突破了传统“教—练—考”线性模式的局限，强调学习过程的迭代性与成长性。

2.2 体系架构设计

“虚实结合正向演化”教学体系由三个核心模块和一个评价引擎构成。理论学习模块涵盖输电专业基础理论、无人机系统原理、巡检规程与安全规范，采用线上微课与线下专题相结合的方式，知识模块化、可重复学习。上机练习模块包括模拟器训练和半实物仿真训练，模拟器提供基础飞行动作训练，半实物仿真将真实遥控器与高精度场景模型结合，练习飞行中各项操作动作模块在专用训练场和真实线路上进行，学员操作真实无人机完成标准化巡检任务，积累现场经验。三个模块并非线性推进，而是通过循环评价引擎动态联动：学员完成理论学习后进入上机练习，评价系统识别技能短板后触发针对性理论学习；上机练习达到阈值后进入实际操作，实操中发现的问题返回上机练习进行强化训练，形成持续进化的正向循环[2]。这一架构的核心优势在于打破了传统培训中三个阶段相互隔离的壁垒，使学员始终处于‘学习—验证—反馈—再学习’的动态闭环之中。每个学员的进度是差异化的，评价引擎根据个体表现动态调整各模块的介入时机与强度，实现真正意义上的因材施教。同时，循环机制允许学员在某一环节停留进行针对性强化，直至达到晋级标准，避免了‘一刀切’的教学节奏导致的能力断层。

2.3 虚实结合的实现路径

虚实结合需要技术、内容、数据三个层面的协同。技术层面，采用和实际工作场景一致型号的无人机，不仅完成在实际工作场景下要完成的规范性动作，并完成对应的项目。包括杆塔模型、导线走向、廊道植被、地形地貌等要素，与真实巡检系统共享同一套航线规划与任务管理平台。实现虚拟训练与真实作业的操作逻辑大致一致性。内容层面，完成无人机的理论知识学习，飞行任务的联系，飞行项目的实施。数据层面，虚拟训练系统记录学员每一次操作的全部参数（飞行轨迹、杆量曲线、拍摄角度、任务完成时间等），与真实作业数据进行对比分析，识别个体技能特征与共性问题，为教学优化提供数据支撑。

3 循环评价与正向演化机制设计

3.1 多维度技能评价指标体系

科学评价是正向演化的前提。本文构建“三维度九指标”技能评价体系。操作规范性维度包括：起飞前检查完整度、飞行姿态稳定性、应急处置正确率、返航降落规范性。任务完成度维度包括：操作规范性、航线规划合理性、任务完成时效性。安全素养维度包括：安全规程掌握程度、风险预判能力、团队协作与沟通能力。每个指标设定基础级、熟练级、精通级三个等级标准，形成可量化的技能成长刻度。评价数据来源包括：虚拟训练系统提供、理论考核成绩、外场飞行教员评价、实际作业绩效数据等，多源数据交叉验证，确保评价客观性。

3.2 “学习—练习—实操”循环进阶机制

循环进阶机制是体系的核心运行逻辑。第一阶段：理论学习 → 上机练习。学员完成指定理论学习模块后进入模拟器练习。对于掌握薄弱的技能点（如侧风悬停、应急返航），根据实时的评价考核在针对性练习任务，实现“学—练—评—补学”闭环。第二阶段：上机练习 → 实际操作。学员在模拟器中连续三次达到熟练级标准后，获得进入实际操作环节的资格。实操过程中，教员记录学员表现，保留评价数据作为后续学习的基础资料。第三阶段：实际操作 → 再学习/再练习。实操中暴露的问题被分类记录：属于知识理解问题的，返回理论学习模块补强；属于操作习惯问题的，返回模拟器进行针对性肌肉记忆训练。学员完成补强后重新进入实操验证，直至达到标准。这一机制确保每次循环都推动学员技能向更高水平演化[3]。

3.3 正向演化路径与能力递进

基于循环评价机制，学员技能演化呈现清晰的递进路径。入门阶段（第 1 周）：掌握基础飞行操作，完成简单航线飞行，能够在模拟器中稳定起降和悬停。进阶阶段（第 1 周）：掌握输电线路标准化操作流程，能够在模拟器中完成飞行基本操作动作和到达一定的熟练程度，外场飞行在教员监护下完成简单任务。熟练阶段（第 2 周）：独立完成外场巡检任务，应对常规气象条件和简单异常情况，模拟器与实操表现趋于一致。精通阶段（第 3 周）：掌握复杂环境作业技能（主要是树木

遮挡），具备应急处置能力，能够指导初级学员。每个阶段的晋升需通过对应等级的循环评价，学员可清晰看到自己的成长轨迹，学习目标感和成就感显著增强。

4 教学实践与效果分析

4.1 实施过程与关键举措

选取输电班学生开展教学实践，全部采用“虚实结合正向演化”教学体系。

教学安排分为三个阶段：第一阶段完成理论学习与模拟器基础训练，循环评价系统动态识别学员技能短板并推送针对性练习；第二阶段进入模拟器进阶训练与外场基础飞行，虚实交替进行；第三阶段开展外场综合训练与结业考核。

实验组实施过程中采取三项关键举措。一是建立个人技能评估。循环评价系统为每位学员生成动态技能评估。二是虚实场景无缝切换。模拟器训练系统采用与实际作业相同的无人机型号和遥控器，操作手感完全一致；场景模型基于真实输电线路数据构建，学员在模拟器中训练的航线可直接导出用于外场飞行，极大降低了迁移成本。三是“多态”协同指导。理论教员与飞行教员是同一个人，理论教员根据学员实操中的问题调整教学内容，飞行教员根据学员理论薄弱点加强现场讲解，形成教学合力[4]。

4.2 教学效果评估

教学实践结束后，从考核通过率、技能成长周期、技能演化轨迹、学员满意度四个维度进行效果评估。考核方面，学员需依次通过理论考核、模拟器考核、实操考核三项。理论考核重点检验航空法规、气象知识、无人机系统原理及输电专业基础知识掌握程度；模拟器考核侧重飞行轨迹偏差、操作规范性及任务完成效率；实操考核聚焦真实场景下的起飞前检查、飞行姿态稳定性、应急处置能力等综合技能。三项考核层层递进、相互印证，全面检验学员技能水平。对于首次未通过的学员，系统根据评价数据生成个性化补强方案，针对性返回相应模块强化训练后，全部学员最终达到结业标准；技能成长方面，循环评价机制使学员能够精准定位自身短板，避免了在已掌握技能上的无效重复训练，技能成长周期较传统模式明显缩短；技能演化方面，学员技能成长呈现“前期快、中期稳、后期精”的规律。入门阶段操作规范性提升幅度最大；进阶阶段任务完成度稳步提升；精通阶段综合指标持续优化，达到精通级标准的学员占比随教学推进显著上升；“循环评价与针对性补强”和“虚实场景一致性”获得学员高度认可。典型学员反馈包括：系统精准指引学习方向、虚实场景无缝衔接增强了现场作业信心、每次循环都能清晰看到自身进步。此外，学员普遍认为循环评价机制有效解决了传统培训中“不知道练得对不对”的困惑，使学习过程更加透明、目标更加明确。实践表明，“虚实结合正向演化”体系在提升考核通过率、缩短成长周期、增强实战能力方面具有显著优势。

结束语

输电专业无人机技能人才培养面临理论实践脱节、仿真现场割裂、评价成长分离三大困境。本文提出的“虚实结合正向演化”教学体系，通过理论学习、上机练习、实际操作三者的循环联动与动态评价，构建了“学—练—评—补”闭环正向演化机制，实现了技能培养从“一次性终结评价”向“持续性成长追踪”的转变。未来，将进一步深化虚实融合技术，后续将引入 AI 辅助评价与自适应学习路径推荐，推动无人机教学体系向智能化、个性化方向持续演化。

参考文献

[1] 辛立国. 基于”现场工程师”培养理念的实践教学体系构建研究——以职业院校无人机应用技术专业为例 [J]. 电子元器件与信息技术,2025,9(1):213-216.

[2] 王皓晨. 职业教育数字化转型背景下无人机技术在电子商务专业中的教学实践与创新 [J]. 中国电子商情,2025,31(15):118-120.

[3] 孟庆成, 海阳春, 孙浩. 立体巡检和集中监控支持下的输电专业管理模式创新研究 [J]. 今日自动化,2023(11):177-179.

[4] 杨虎强, 翟旭飞, 任泽. 输电专业输电线路运行安全影响因素分析及防治措施分析 [J]. 百科论坛电子杂志,2021(20):301.