

四旋翼无人机实训中安全事件的案例式教学与预防

胡继华 范红伟 邓睿 李明洋

中山大学航空航天学院, 广东 深圳 518107

[摘要] 无人机实训中的安全教育很重要, 但是传统的安全教育方法效果有限, 导致无人机飞行中安全事件频发。文章将安全教育融入无人机实训全过程, 选用实际发生的典型安全事件案例, 以讲故事的方式, 在对应的实训环节中讲解并分析, 使参训学生切身感受到安全事件带来的危险和损失, 唤醒他们的安全意识, 培养他们安全飞行的习惯。多年的实训教学表明, 该方法提高了学生的上课专注度, 学生容易接受, 在笑声中完成了安全培训。实训安全事件和相关损失也逐年减少, 无人机减员率低, 保障了实训教学正常进行。

[关键词] 四旋翼无人机; 安全事件; 案例式教学; 安全意识; 事件预防

DOI: 10.33142/fme.v6i1.14946

中图分类号: G642.4

文献标识码: A

Case-based Teaching and Prevention of Safety Incidents in Quadcopter Drone Training

HU Jihua, FAN Hongwei, DENG Rui, LI Mingyang

School of Aeronautics and Astronautics, Sun Yat-sen University, Shenzhen, Guangdong, 518107, China

Abstract: Safety education in drone training is very important, but traditional safety education methods have limited effectiveness, leading to frequent safety incidents during drone flight. The article integrates safety education into the entire process of drone training, selects typical safety incident cases that have actually occurred, and explains and analyzes them in the corresponding training stages through storytelling, so that participating students can personally feel the danger and losses caused by safety incidents, awaken their safety awareness, and cultivate their habits of safe flight. Years of practical teaching have shown that this method improves students' classroom focus, making it easy for them to accept and complete safety training with laughter. The number of safety incidents and related losses in practical training has been decreasing year by year, and the low reduction rate of drone personnel has ensured the normal progress of practical training teaching.

Keywords: quadcopter unmanned aerial vehicle; safety incidents; case-based teaching; safety awareness; event prevention

四旋翼无人机是学生喜闻乐见的实训项目,也是当前的技术热点之一,在航拍、植保、电力巡线、安防等行业的应用越来越多,越来越普及^[1]。做好无人机实训中的安全教育,一方面能够保护好参训学生和无人机设备,保障无人机实训教学的顺利进行;另一方面在学生心中树立良好的无人机飞行安全意识,大幅度降低他们将来飞行无人机时出现飞行事件的概率,提高全社会的无人机安全飞行水平。

我校工程训练中心建成了无人机实训室,引进了大疆精灵 4RTK 无人机、大疆 M300RTK 无人机等作为实训教学设备,又陆续添置了可拆装无人机、组装式无人机套件,用于学生进一步学习和创新。

虽然大疆无人机相当稳定可靠,但是实训时飞行安全事件时有发生。从 2020 年到现在,经历了很多安全事件,室内出现了螺旋桨脱落、飞行器碰落地面、飞行器撞天花板或其他物体等事件,室外出现空中相撞、无人机撞上建筑物或树木、无人机撞向地面、无人机电量不足迫降、无人机自动飞行时进入避障状态、无人机镜头初始化出错等事件。

安全是实践教学的生命线,必须做好安全培训和安全意识培养,最大限度减少安全事件发生的频率,特别是因为安全事件处置不当导致的次生事件或事故^[2]。虽然工训

第一节课就是安全培训,但是培训内容主要是条条框框,学生不能身临其境,没有太多感觉,教学效果不理想^[3-7];另外无人机实训和其他实训工种相比有显著特点,一个环节不注意,就可能安全事件的发生,造成无人机损伤或减员的后果,影响实训教学的正常进行。

因此,在无人机实训教学中,应将安全教育贯穿实训全过程^[8],当学生完成一个规定实训环节后,即以讲故事的方式,将该环节曾经发生过的安全事件案例告诉学生,并和他们一起分析发生原因,学生既有故事听,又对事件进行了思考和分析,身临其境^[9],学生在思考和笑声中就树立了安全飞行意识。

1 实训教学要求

无人机实训和其他实训教学一样,是在刀尖上起舞,充满了风险^[10]。要保障实训教学顺利进行,降低实训安全事件,教师是关键^[11-13]。教师首先要快速学习和进步,不断提升自己的技术水平,总结分析经验教训,丰富教学方法,精确掌控教学节奏。其次教学设备要丰富、台套数充足,一般 2~3 个人作为一个小组使用一套设备,不能出现一人做,多人看的情况。教师应全程掌控教学节奏,通过及时讲故事、小竞赛的方式提升学生关注度,让所有学

生在实训过程中保持高度的专注度,这样学生才能充分理解和掌握实训内容,学会举一反三,遇到意外情况时能够正确处置,减少二次事件的发生。如果学生一边上课,一边刷手机,就不可能完全掌握实训内容,导致在动手操作时失误,发生安全事件或次生安全事件,带来设备财产的损失甚至是实训人员受伤。

2 实训教学安排

参加无人机实训项目的学生每批 20 人左右,一般 2 人一组,特别情况下 1 人一组或 3 人一组。每组分配一套大疆精灵 4RTK 设备,保证每个同学有足够的设备操作时间。

教学组织分为上午和下午 2 个阶段,上午是无人机开箱和收纳、无人机认识、螺旋桨拆装(小竞赛)、电池充电和拆装、室内飞行准备(wifi 连接和 RTK 设置等)、无桨飞行、室内手动飞行、无人机核心功能详解、指南针校准、室外手动飞行。下午是测区了解、2D 测区规划、3D 测区规划,室外作业准备、2D 测区作业、3D 测区作业,以及数据导出和建模,最后是无人机收纳和实验室卫生清洁。

安全教育上,首先要求同学们严格遵守实训教学要求,穿长袖工训服和运动鞋,扎起长头发,并要求学生不戴手

表,特别是不锈钢链子的手表,以及不穿有金属扣的衣服,以防影响飞行器罗盘的正常工作。

教学过程中,每个环节都尽量安排曾经发生过的安全事件讲解和分析(表 1),以小故事的形式,适时讲解真实发生过的安全事件,增强学生的情感共鸣,树立其安全飞行意识。

3 主要安全事件及教学

3.1 螺旋桨脱落事件

该事件发生过 3 次以上,第一次就导致无人机炸机,需要返厂维修。螺旋桨脱落导致无人机炸机事件发生在 2020 年秋季学期,也是无人机实训第一个学期上课,上课老师对螺旋桨安装也不熟。当时一个女学生安装螺旋桨很费劲,其他学生都完成无人机室内飞行了,她好像才装好螺旋桨,由于时间有点紧张,老师听到学生说螺旋桨装好了,也没有检查,就同意该同学操纵无人机室内飞行,结果无人机飞到大概 1.5 左右的高度时,有个螺旋桨单飞了!我们亲眼看到无人机用其他三个螺旋桨在空中苦苦支撑平衡,但是撑不住,啪的一声摔到地板上,断了一条腿,要返厂维修了。这个事件在学生完成螺旋桨拆装环节后讲

表 1 无人机实训环节和事件讲解安排

序号	实训环节	主要内容	安全隐患(事件)	事件讲解次序
1	开箱和收纳	云台卡扣和海绵拆装	卡扣安装不到位,掰断卡扣	拆卸云台卡扣时
2	无人机认识	遥控器摇杆和按键功能	误按“一键返航”	
3	螺旋桨拆装	螺旋桨安装和拆卸方法	螺旋桨未正确安装	安装螺旋桨后
4	电池充电和拆装	遥控器、飞行器电池充电和安装和拆卸	电池充电错误,飞行器电池安装不到位	
5	室内飞行准备	手机热点连接,RTK 服务状态检查	网络断开	
6	无桨飞行	启动飞行器,油门、拍照录像功能测试	学生误碰到旋转的电机	飞行前,飞行中
7	室内手动飞行	启动飞行器,测试无人机飞行及拍照录像	螺旋桨脱落,飞行器撞墙或撞到天花板	手动飞行前
8	无人机核心功能	使用 PPT 全面讲解无人机测图等		
9	指南针校准	用遥控器指挥校准指南针	学生手表、金属扣等影响指南针工作	校准开始前或进行中
10	室外手动飞行	在室外运动场试飞无人机,测试一键返航	螺旋桨脱落,飞行器撞建筑物、灯杆等空中物体	飞行前,飞行中
11	指南针校准	用遥控器指挥校准指南针	学生手表、金属扣等影响指南针工作	校准开始前或进行中
12	测区了解	了解学校西区建筑物分布及其高度情况		
13	2D 测区规划	规划 2D 测区,设置作业参数	作业相对高度设置,飞行器撞落地面,空中相撞,飞行器撞楼	设置作业高度等参数时
14	3D 测区规划	规划 3D 测区,设置作业参数	作业相对高度设置,飞行器撞落地面,空中相撞、飞行器撞楼	设置作业高度等参数时
15	室外作业准备	安置停机坪、网络连接,飞行器状态,任务调用等流程	作业中的飞行器失联、SD 卡异常、飞行器低电报警等事件及处置方法	准备过程中
16	2D 测区作业	无人机状态变绿后,离开飞行器 3 米以上,调用并执行任务	螺旋桨脱落,空中相撞,飞行器失联,SD 异常,撞落地面	作业中
17	3D 测区作业	在室外运动场试飞无人机,测试一键返航	螺旋桨脱落,空中相撞,飞行器失联,飞行器低电返航、紧急迫降、撞落地面	作业中
18	数据导出和建模	导出飞行器自动作业拍摄的照片到大疆智图,进行建模		
19	无人机收纳和卫生清洁	拆掉螺旋桨,安装云台卡扣和泡沫,收拾入箱		

解,并分析事件原因,一是新螺旋桨安装有点困难,学生没有装上单飞的螺旋桨,二是学生安装的时候用力过猛,将螺旋桨压得太紧,电机没有锁住螺旋桨,导致无人机升到 1.5 米高度后悬停时,电机减速,螺旋桨仍按照原来速度旋转,导致螺旋桨突然解锁弹出,螺旋桨就脱落了,剩下的三个螺旋桨不能维持无人机平衡,所以跌落到地面。老师讲解该事件并分析后,立即安排无人机螺旋桨全拆装计时竞赛,巩固学生螺旋桨拆装技术和安全意识。

3.2 飞行器室内碰落地面事件

该事件发生过一次,导致飞行器腿摔断了,需要返厂维修。事件发生在室外自动飞行准备即将完成,学生了解折叠式停机坪的时候。为了保护飞行器镜头和室外无人机相机正常初始化,实验室采购了圆形折叠式停机坪,该停机坪是不锈钢骨架,可以旋转折叠纳入圆形袋子里面。停机坪展开方式为自弹式展开,同时伴随“嘣”的一声爆响,效果震撼,学生感觉刺激!事件发生时学生按照老师的操作,从袋子里面拿出停机坪,握住一边,让它自弹展开,第一组同学这样操作时,距离飞行器太近,将桌面上放置的飞行器弹落地面,摔断了一条腿,需要返厂维修。事件发生后,教师在展示停机坪使用方法时,特别告知学生展开停机坪时离开桌面 2 米以上,且与桌面方向夹角 90° 以上展开停机坪,以免触碰到飞行器,造成损失。

3.3 飞行器撞天花板事件

该事件发生过一次,返厂维修两次。事件发生在室内手动飞行时,同学按照老师的示范,解锁飞行器后,向前推油门,飞行器快速上升,忽然“嘣”的一声震响,无人机跌落地面,摔断了腿!原来是该同学戴着长长的鸭舌帽,帽檐阻挡了视线,看不到室内天花板的高度,飞行器撞上了天花板!该飞行器维修回来后,交给下一批实训同学使用,手动飞行时还没有发现问题,但是自动飞行时,遥控器忽然出现“电源模块通讯故障,立即返航!”的警告,然后飞行器自动返航到出发点,几次尝试都是如此,只能将它再次返厂维修,更换了机身的电源管理模块,才完全恢复正常。该飞行器的维修应该是历次最贵的,共支付了四千元的维修费。在学生手动室内飞行前老师讲解这个事件并分析原因,强调学生执飞时不能戴鸭舌帽等影响视线的衣饰,操作时视线保持看向飞行器,而不是遥控器。

3.4 无人机室外飞行空中相撞事件

该事件发生了一次,2 架飞行器坠落,脚架摔断,电池摔出电池仓,都需要返厂维修。事件发生时间 2020 年秋季第一学期,一个炎热的下午,飞行器在进行倾斜摄影测量,学生们在飞机起飞时的草地上等待飞行器任务完成并返航。为了躲避炎热的阳光,学生都躲在遮阳伞下面看手机,遥控器被扔到旁边。当老师过来督促学生监控飞行器时,学生才拿起遥控器,切换到飞行器当前位置界面一看,飞行器不见了!另外一组学生也向老师报告:我们的飞机也不见了!什么情况?!难道飞机被什么人劫持了?

老师赶紧寻求支援,发现飞机最后消失的位置还是校内,在一个草坪的上空!学生们赶紧到飞行器的消失点附近寻找,第一遍没有收获,又进行第二遍搜索,找不到不行呀,实训报告怎么写,实训怎么进行?第二遍在路边送水工的车上发现一个白色的东西,一看就是丢失的飞行器。同学问送水工,你怎么捡我们的无人机呀?送水工说,这个东西,从天上落下来,差点砸到我,我一生气,就捡起来了。有了收获后,同学接着在附近寻找,在路边保安的泡沫箱里面,看到一架白色的飞行器,问保安:你怎么把我们的无人机捡到你这里了,保安则看着同学,没有说话。两架无人机的脚架都摔断了,外壳也有一定的破损,但是返厂维修费用不算高,约两千元,加上报废的电池,总费用四千元,是不幸中的万幸了。该事件是每次无人机自动飞行的必讲案例,在测区规划和设置时讲解,并让同学分析原因。主要原因是测绘作业时,各组的测区相邻,导致飞行器航线必然有交叉点,特别倾斜摄影测量时,每个测区飞五条航线,使各测区航线的交叉点激增五倍以上。之前还没有将各个测区的作业高度区分开来,各个飞行器作业高度设置是一样的,航线产生大量交叉点,必然会导致飞机相撞!之后进行测区规划时,相邻测区的无人机作业高度一定分开,至少相差 3 米以上,这样他们的航线即使在平面上有交叉,在高度上也不会交叉,确保飞行器作业安全。另外,以后要求同学们在进行测量作业时,必须全程监控作业进度和飞机当前位置,以便飞行器意外坠落时及时到坠落点找回它。

3.5 飞行器撞落地面事件

该事件发生过 2 次,第一次需要返厂维修。第一次事件发生在自动飞行阶段,飞行器完成作业,启动返航了。执飞的同学已经在炎热的草地上等了半个钟头,看到飞行器归来,非常激动,冲到返航点附近等待飞行器。飞行器下降到距离地面约 2 米时,检测到返航点周围有障碍物(同学),就向障碍物的另一侧漂了一下,进行避障。该同学看到无人机漂移,立刻判断无人机姿态不稳,需要紧急迫降,怎么迫降呢?“内八”呀!该同学死死进行遥控器内八掰杆,意图让飞行器即刻降落。但是无人机在空中划过一条诡异的螺旋线,螺旋桨打到草叶,翻转撞上了草地,需要返厂维修。该案例是个典型的误操作案例,在无人机完成测区规划,进行执飞前讲解,并和同学一起分析原因。内八掰杆操作是飞行器从静止到启动的操作,或者无人机降落到地面后的关机操作。如果飞行器在空中的时候进行内八,飞行器将需要执行下降、右旋、向左、向后四种操作,如此复杂的操作指令必然使无人机状态不稳,导致炸机。另外,事件的直接原因是执飞同学在无人机尚未完全降落就冲到返航点附近,导致无人机检测到附近有障碍物,进入避障模式;后续是执飞同学处置不当,导致事件发生。从此以后,在飞行器起飞和降落期间,要求同学必须离开返航点 3 米以上距离,以免无人机检测到同学,进入避障模式,导致执飞同学误操作,发生次生事件。

3.6 飞行器撞居民楼事件

该事件发生过一次,导致脚架粉碎,云台相机外壳受损,需要返厂维修。事件中执飞的同学还没有参加无人机实训,像社会上一般的无人机爱好者,飞行了几次大疆无人机,有了一些飞行经验,就按照老师的要求,到南校园执行摄影测量(自动飞行)任务。第一次飞行,由于居民楼遮挡后失联,飞行器自动返航了。该同学认为飞行器作业高度太大导致频繁失联,就在设置里面降低了作业高度,进行第二次飞行!起飞开始作业不久后,飞行器忽然彻底失联了,怎么都不能恢复连接!该同学围绕测区附近的居民楼找呀找,发现地面上好像有些飞行器的塑料碎片!赶紧找地方登高一看,发现了落在雨棚上的飞行器;设法把飞行器拿下来,发现飞行器的两个脚架齐根消失,云台相机也受损严重,螺旋桨断了2个!该事件是最近发生的事件,拟在无人机实训时室外手动飞行前讲解,或者在测量外业执飞前讲解。分析该事件原因,首先是该同学没有经历过无人机实训,安全意识不足,操作不规范。其次是操作失误,当飞行器频繁失联时,首先应该考虑让遥控器位置更高,增大遥控器和飞行器的通视度,而不是降低飞行器作业高度,这样急剧增加了飞行风险,特别是地形复杂的城市区域。再次,对作业区域不了解,不知道作业区域居民楼的高度;对无人机功能也了解不全,不知道飞行器可以在失联的情况下继续作业。最后,没有向学校保卫部门或当地派出所报备,私自黑飞,担心被抓,急于完成飞行任务,这样的情况极易出事。

对上述安全事件的分析可知,很多事件都是可以避免的,只是由于学生上课时注意力不集中,不按规范操作,才会导致安全事件的发生。因此,高素质的教师队伍、充足的教学设备,精准的课堂掌控,才能让学生全程保持专注,保证实训质量,大幅度降低安全事件的发生。

4 教学效果与评价

无人机实训项目已经开展了五年,安全事件出现的次数逐年下降,近两年基本上保持在1个事件每年,且从未出现人员受伤情况。学生从飞行准备、无桨飞行、室内/室外手动飞行,到测区规划、外业准备、室外自动飞行、照片导出和建模,得到测区的数字正射影像图和三维模型。学生既掌握了大疆无人机飞行技术,树立了安全飞行意识,又体验了自动飞行和空间建模的高科技魅力,普遍反映收获满满,将无人机实训列为最受他们欢迎的实训项目之一。这些学生在以后的学习和工作中,又将指导未参加无人机实训的同学飞行无人机,帮助他们树立安全飞行意识,提高安全飞行水平。

5 结论与展望

本文将安全教育融入无人机实训全过程,选用实际发

生的典型安全事件案例,在对应的实训环节中讲解并分析,使参训学生切身感受到安全事件带来的危险和损失。多年的实训教学表明,该方法学生接受度高,将无人机实训评为最受欢迎的实训项目之一,安全教育效果明显。无人机实训项目既培养了学生的安全飞行意识和飞行水平,又将带动全社会的无人机安全飞行水平。

基金项目:中山大学2025年校级教学质量与教学改革工程项目;中山大学大学生创新训练项目(2025)。

[参考文献]

- [1] 蒋瑜,何向锋,赵仁芳. 高校无人机实训课程安全管理探讨与实践[J]. 轻工科技,2022,38(2):128-130.
 - [2] 叶豪爽. 无人机应用实训的教学实践[J]. 电子技术,2020,49(11):70-71.
 - [3] 谌红桃,农春仕. 高校实验室安全教育体系研究与实践[J]. 实验室研究与探索,2024,44(1):223-226.
 - [4] 彭华松,许歆瑶,刘闯,等. 新工科背景下高校实验室安全教育的问题及对策[J]. 实验室研究与探索,2021,40(10):296-299.
 - [5] 李冰洋,黄开胜,艾德生. 高校实验室安全教育要素与体系构建探究[J]. 实验技术与管理,2019,36(11):248-250.
 - [6] 宋志军,王天舒,蔡美强,等. 高校实验室安全教育现状及对策分析[J]. 实验室研究与探索,2015,34(8):281-283.
 - [7] 方瑾,谈国凤,权力涛,等. “一式、两化、四推进”实验室安全教育体系的建设实践[J]. 实验室研究与探索,2021,40(1):293-297.
 - [8] 刘耀辉,靳奉祥,郑国强,等. 新工科背景下“无人机航测”课程思政案例教学[J]. 地理空间信息,2023,21(10):138-140.
 - [9] 顾兴海,刘滨,宋歌. 基于体验式学习的实验室安全教育探析[J]. 实验技术与管理,2021,38(8):262-264.
 - [10] 温凯,陈缪. 全尺寸四旋翼无人机教学平台设计与课程开发[J]. 实验技术与管理,2018,35(9):100-103.
 - [11] 许余玲,王继刚,王少康,等. 高校实验室安全教育工作探索[J]. 实验室研究与探索,2021,40(6):291-292.
 - [12] 黄凯. 北京大学实验室安全教育体系建设的探索与实践[J]. 实验技术与管理,2013,30(8):1-4.
 - [13] 张海峰,张帆,刘一. 高校实验室安全教育存在的问题与对策[J]. 实验技术与管理,2017,34(9):244-247.
- 作者简介:胡继华(1971.3—),男,河南信阳,博士,高级实验师,工程实践创新中心党支部书记,主要研究方向为无人机实训教学和工训中心建设与管理。