

无人机系统适航标准剪裁案例分析

A Case Study of Tailored Airworthiness Standards for Unmanned Aircraft System

常 奔 戴志京 / Chang Ben Dai Zhijing

(中国航天空气动力技术研究院 技术基础研究所,北京 100074)

(Institute of Fundamental Technologies, China Academy of Aerospace Aerodynamics, Beijing 100074, China)

摘 要:

无人机系统的使用日益广泛,因此将无人机系统并入到现有的空域管理系统中显得尤为迫切。在技术层面,无人机系统有一系列独特的适航特点。因此,应重点发展针对无人机系统的适航标准与验证。研究了有人驾驶飞行器的适航标准(CS-23),及其通过剪裁后成为专门适用于无人机系统的适航标准(STANAG 4671),这将促进无人机系统的技术更加标准化,并有利于国内无人机系统民用适航标准的发展。

关键词:无人机系统;适航标准;剪裁

中图分类号:V221+.91

文献标识码:A

[Abstract] Unmanned Aircraft System (UAS) is playing a more and more important role in military as well as civil areas, pushing UAS to be more quickly integrated into the existing airspace management system. UAS has a series of unique airworthiness characteristics with respect to the technologies, thus we should focus on the development of UAS-specific airworthiness standards and their demonstrations. This paper investigates the airworthiness standard (CS-23) of manned aviation and the tailoring of it to be applicable to UAS, namely STANAG 4671. This is conducive to the solutions of UAS technical issues and the development of civil UAS airworthiness standards.

[Key words] unmanned aircraft system (UAS); airworthiness standards; tailoring

0 引言

美国联邦航空局(FAA)在其关于无人机系统(UAS)的调研报告^[1]中指出:“要使UAS集成到美国国家空域系统(NAS)中,必须开发并验证恰当的操作流程、管理标准和政策。”除此之外,航空无线电技术委员会(RTCA)在UAS的“操作服务和环境定义”(OSED)^[2]中也提到已经发布的适航标准对于UAS在NAS中的商业运行至关重要。对于标准的发展与验证来讲,其中一个挑战就是对原有的适航条令进行剪裁,将UAS专有的特点考虑进去。因此将UAS集成入NAS中要充分考虑到UAS在技术方面对适航的独特需求。

对于最大起飞重量大于150kg的军用UAS来讲,现已具备相应标准和“可接受的符合性方法”(AMC)。AMC是由“北约”(NATO)制定的标准协议(STANAG 4671《无人机系统适航要求》^[3],以下

简称STANAG)给出的。

2011年关于UAS适航资格的调查^[4]中引用STANAG作为针对无人机适航认证进行裁剪的标准,而STANAG是以“欧洲适航取证规范23部”(“CS-23”)^[5]为蓝本得到的。研究CS-23经过哪些剪裁成为STANAG,就能了解UAS需要哪些专门的适航标准。这会促进UAS行业以统一的适航标准来研发、认证并制造UAS,同时促进UAS在现有的空域中安全运行。

1 STANAG 4671 的背景

1.1 历史背景

STANAG 4671即“无人机系统适航要求”(UAV Systems Airworthiness Requirements, USAR),起初由法国国防部采购局(DGA)制订^[6]。2005年,NATO的“非隔离空域飞行”(Flight in Non-segregated Airspace, FINAS)工作组以此为蓝本作为军用固定翼

UAS 的适航标准, 最终于 2009 年修订并颁布^[7]。同年, 欧洲航空安全局 (EASA) 就适航资格发布一项政策声明, 认定 STANAG 为某些民用 UAS 类别的可接受的参考适航指标^[8]。

1.2 目的

STANAG 基于 CS-23 中适用于通用飞机的要求经过剪裁而成。STANAG 适用于最大起飞重量在 150kg ~ 20 000kg 之间, 并经常于管制空域之外运行的军用固定翼 UAS。此外, STANAG 还包括保证 UAS 最低安全性的可行性要求。

1.3 结构

图 1 显示出 STANAG 与 CS-23 的基本结构相同, 第一册包括适航标准, 第二册包括可接受的符合性方法。

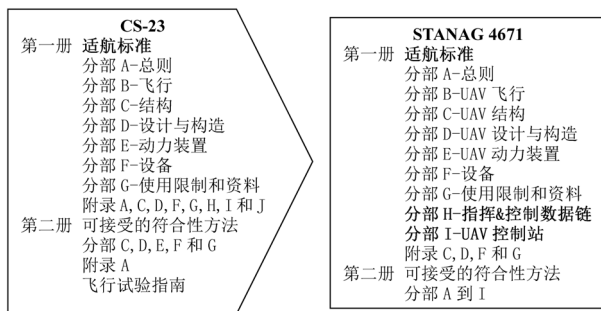


图 1 CS-23 与 STANAG 的结构^[7]

STANAG 规定 UAS 包括无人飞行器 (UAV)、指挥 & 控制数据链、通信系统、UAV 控制站 (UCS) 及其它用于起飞和降落的辅助部件。表 1 显示 STANAG 各分部对 UAS 的各分系统提出的适航要求。

表 1 STANAG 各分部与 UAS 各分系统之间的关系^[3]

		无人机系统				
		UAV	指挥 & 控制数据链	通信系统	无人机控制站	其他辅助部件
A	总则	√	√	√	√	√
B	UAV 飞行	√				
C	UAV 结构	√				√
D	UAV 设计与构造	√				√
E	UAV 动力装置	√				
F	设备	√				
G	使用限制和资料	√	√	√	√	√
H	指挥 & 控制数据链		√	√		
I	UAV 控制站				√	

2 研究方法

为了研究 STANAG 与 CS-23 之间有哪些不同, 按分部对 CS-23 和 STANAG 进行了研究。研究了有人机与无人机适航标准中的重要不同之处, 并指出专门适用于无人机的适航要求, 以便为日后形成民用 UAS 适航标准做准备。通过比较 STANAG 与 CS-23, 可以发现对 CS-23 的剪裁主要有 3 种途径: (1) CS-23 中被认定对 STANAG 不适用的要求; (2) CS-23 中经修改归并于 STANAG 的要求; (3) STANAG 新增的专门适用于 UAS 的要求。

3 研究结果

3.1 总体结果

CS-23 的全部要求中有 70 条被标注为“不适用”于 STANAG。主要因为 UAV 上没有机组人员, 所以某些标准不适用 (例如: CS-23 第 791 条“旅客通告标示”)。另外, 还有些标准只适用于商用飞机或水上飞机而不适用于 UAV。

CS-23 中 A ~ G 分部共有 26 条要求在修改后归并于 STANAG 分部 I 中, 即“UAV 控制站”, 此分部包括对飞行员控制或指示器的要求。

STANAG 中新增 117 条专门适用于 UAS 的适航要求。修改后被重新归并于分部 I 中的 26 条要求也包括于其中。这些要求大多有关 UAV 飞行特性和 UAV 弹射器、火箭助推器和降落伞回收的结构。图 2 显示了 STANAG 每一分部中“剪裁”而来的类型及其数量。

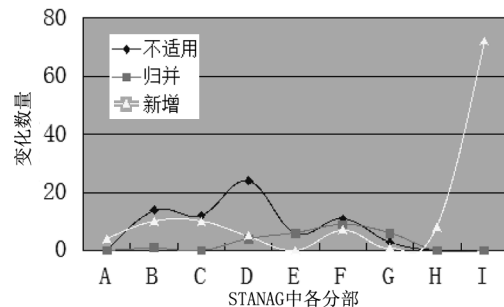


图 2 STANAG 的变化类型及其数量

下文举例研究 STANAG 每一分部的要求, 并提出剪裁可能遵循的原理。

3.2 分部 A 总则

分部 A 叙述了适航标准适用的基本原则, 这一分部主要的新增内容是“基本情况”, 包括以下

要点:

(1)组成 UAS 部件类型的“基本情况”(例如:某 UAS 可被认证为包括多个 UCS);

(2)机组人员对 UAV 飞行各阶段进行主动控制的“基本情况”,数据链丢失的情况除外;

(3)“特殊条款”的“基本情况”,适用于 UAS 的设计特点,或当申请者提供可接受的原理时,采用替代认证标准。

分部 A 之所以引入了这些新增内容,因为截至目前的 UAS 使用经验已显示出大量独特的设计特点和操作概念。应该充分关注 RTCA 的 SC-203 工作小组和类似组织的研究,以便了解如何减少 UAS 专需的适航标准,从而设计 UAS 并将其投入商业市场。

3.3 分部 B UAV 飞行

这一分部包括许多对原有标准的剪裁。首先,提出了“最低验证速度”概念,这一概念规定如果在飞行试验中没有显示失速速度,那么必须显示“最低验证速度”,且必须小于等于飞行包线保护系统所能达到的最小稳态飞行速度的 95%。除此以外,飞行员感觉(例:飞行控制中的滞涩感、抖振、振动等)也是失速飞行试验安全操作的重要组成部分^[9]。UAS 无需飞行员,这可以降低失速速度飞行试验中的安全隐患。因此,现有的失速飞行试验技术也许不能直接应用于 UAS 中,应该探索其他方法。

CS-23 中另外几条在 STANAG 中被标记为“不适用”,比如:“纵向静稳定性要求”、“横向和航向静稳定性”和“动稳定性”。通过研究 CS-23,可以看出这些要求在很大程度上取决于飞行控制中飞行员的感觉(杆力梯度、脚蹬力、飞行员工作量等),这都不适用于全自动或半自动模式下 UAS 的操作。STANAG 以通用稳定性标准解读上述要求,通用稳定性标准规定 UAV 的全方位瞬态反应在所有飞行区域中须平顺且集中。UAV 内环动力学的传统标准在 STANAG 中并不适用,因为此标准由飞行包线保护系统持续监测并提升,另外 UAV 上没有飞行员,并不能发现这些标准的漏洞。在以后标准发展过程中,应注重建立 UAS 在全时全自动模式下描述稳定性和控制的恰当参数。

下面叙述了分部 B 新增的关于小型 UAS 的要求:

(1)新增关于 UAV 运输与储存的要求,以使 UAV 免受不良环境(振动、潮湿和极热环境等)的影响;

(2)新增关于 UAV 从弹射器或火箭助推器发射后飞行特性的要求;

(3)新增关于 UAV 降落伞回收的飞行特性的要求。

在弹射器发射和降落伞回收这两项中引入了“安全轨迹”的概念,以确定上述操作所需的精度。STANAG 注重验证上述 UAV 操作的可重复、可预测行为。

3.4 分部 C UAV 结构

分部 C 叙述了有关飞行包线保护系统的新增要求,目的是防止超过 UAV 的结构载荷极限。此外,在弹射器或火箭助推器起飞和降落伞回收方面增加了载荷的结构性要求。

另一被剪裁的领域是安全系数。安全系数是最大载荷与结构极限载荷之比。CS-23 明确规定所有的飞行部件的安全系数为 1.5。STANAG 规定当某结构的失效会引起危险或更严重的失效情况时,安全系数须为 1.5;其他所有结构安全系数要求为不小于 1.25^[3]。目前有关 UAV 和第三方的危险严重性定义可归纳如下:

(1)灾难(Catastrophic):UAV 失控飞行和/或失控坠毁,可能导致人员伤亡;

(2)危险(Hazardous):控制航线消失或迫降,有可能导致 UAV 报废,不发生人员伤亡;

(3)重大(Major):导致 UAV 紧急降落于预定区域,基本不会发生重大损害;

(4)轻微(Minor):不会明显降低 UAV 的安全性。

注意:若地面上有人员伤亡,则此情况应认定为“灾难”,若 UAV 机体损毁,则此情况可认定为“灾难”(失控坠毁)或“危险”(人为终止)。STANAG 的安全系数要求对于下述结构依然为 1.5:(1)该结构失效可能导致失控飞行或失控坠毁(因此可能导致人员伤亡);(2)该结构失效可能导致 UAV 可控轨迹终止或迫降。若某结构失效不会引起这些情况则可适用于低至 1.25 的安全系数。未来需要权衡这种民用 UAS 适航标准剪裁方法的风险与优势。

3.5 分部 D UAV 设计与构造

在此分部,STANAG 将 CS-23 中“风挡与窗户”

更名为“仪表舱透明物”，要求加压座舱和所有关乎飞行安全的透光视界的仪表舱透明物须具备结构完整性(例:用于探测积冰的有效载重舱部位)。另一新增要求为:一只两磅的鸟撞击可不导致 UAV 失控飞行和/或失控坠毁。这一规定由 CS-23 剪裁而来,在 CS-23 中规定通用类飞机驾驶员正面风挡玻璃必须能够承受一只两磅鸟的撞击。

分部 D 中包含的“不适用”项的数量是最多的,因为原有要求都与飞机上的人身安全相关,比如紧急出口、应急灯、安全带、通道宽度等。本分部中个别防火要求(例:灭火器、货舱和行李舱的防火等)被剪裁掉了,而改为必须尽量降低可能导致 UAV 失控飞行和/或失控坠毁的机上起火的风险。

3.6 分部 E UAV 动力装置

此分部无新增要求,是 STANAG 中剪裁量最小的分部。CS-23 中绝大多数关于动力装置安装、燃油系统、排气系统等的要求对 UAS 适用或至少有一部分是适用的。有关动力装置控制(例:发动机控制)的要求被归并入分部 I 中。

3.7 分部 F 设备

分部 F 包括 UAS 机载设备的要求。这一分部最重要的是第 1309 条,即“设备、系统及安装”及其可接受的符合性方法,此条为 UAS 设置了安全目标。STANAG 中的风险参考系统与 FAA 咨询通告 23.1309-1E 中 23 部 1 类飞行器相同^[10]。图 3 为基于危险严重性的结果风险参考系统,显示了可接受与不可接受的失效概率。

		灾难	危险	重大	轻微	无安全危害
经常	>10 ³ /h	■	■	■	■	■
可能	<10 ³ /h	■	■	■	■	■
不大可能	<10 ⁴ /h	■	■	■	■	■
很不可能	<10 ⁵ /h	■	■	■	■	■
极不可能	<10 ⁶ /h	■	■	■	■	■

■	不可接受
□	可接受

图 3 STANAG 风险参考系统

另一新增重点为当控制链或指挥链发生故障或出现其它失效时对于应急回收能力的要求。这条要求规定 UAS 必须具备以下几种应急回收能力:

- (1) 飞行终止系统或程序;
- (2) 由机组指挥或其他自主手段实施的应急回收程序;
- (3) 以上两者的组合。

该要求还规定,如果部分回收能力涉及 UAV 到达指定位置的飞行时,该指定位置为经推理不会引起人员伤亡的预定位置,那么则需在 UAS 飞行手册中规定该位置的大小。应关注 UAV 发生失效后不能安全降落或不能重获指挥链和控制链的情况时所适用的适航要求。

此分部还新增了关于在跑道上操作 UAS 时自动起降的要求。针对装配有自动起降系统的 UAS, STANAG 提出如下要求:

- (1) 自动起降功能必须遵循飞行控制规则,同时不可损害飞行控制系统的整体安全;
- (2) 机体外传感器数据用于辅助起降时,传感器与 UAV 之间的数据链失效不可危及安全飞行;
- (3) 自动起降状态必须于 UCS 中显示,以便机组人员进行必要的监测和干涉;
- (4) 在起飞过程中一旦探测达到最高转速或放弃起飞极限速率的重大失效时,必须应用自动终止;
- (5) 在降落过程中如果 UAS 超过地面上的“决定点”高度的预定极限时,必须应用自动终止;
- (6) 必须具备 UCS 中人为终止起降的能力。

这些新增要求的前提是 UAS 将一直以自动或半自动模态飞行。随着 UAS 飞行经验的增长,应该对上述要求进一步细化。

3.8 分部 G 使用限制和资料

本分部涉及对 UAV 系统飞行手册的要求。本分部新增 3 项要求,涉及飞行手册必须说明的 UAS 独有的限制和程序:

- (1) UCS 可安全控制 UAV 的数量以及当 UCS 可控制多架 UAV 时,UAV 间的交接程序;
 - (2) 为防 UAV 发出辐射,规定保护人身安全的距离;
 - (3) 与 UAV 电池相关的环境限制和潜在危险。
- 第一项反映出一个 UCS 可以控制多架 UAV,所以可以采用工作量分析的方法,基于最坏条件的情况以及与此相关的人为因素等来确定一个 UCS 最多可以控制多少个 UAV。第二项考虑的是当 UAV 降落,其雷达或其他载荷仍运行时,对地面人员及燃油安全的影响。第三项考虑的是当 UAV 发动机失效时,UAV 可能更依赖于大功率电池来确保一定程度的飞行控制。

3.9 分部 H 指挥 & 控制数据链

此分部所有要求都是新增的,内容包括:

- (1) 指挥与控制数据链各部分的定义;
- (2) 电磁干扰情况下对数据链的保护;
- (3) 对于数据链健康与完整性的检测;
- (4) 延迟期;
- (5) 制定处理数据链丢失和数据链再获得的策略;
- (6) 指令与控制由一数据链向另一数据链转移的过程中保持对 UAV 的主动控制。

本分部也包括危险严重性定义的要求。要求规定数据链结构必须满足单一失效不会导致“危险”级或更严重的事故。因此,该要求意为数据链失效不可引起 UAV 机体损毁。需深入研究并监测 UAS 飞行试验,确保 UAS 适航规则涵盖所有对数据链的合理要求。

3.10 分部 I UAV 控制站

此为新增分部,包括由其他分部迁移而来的要求以及新增要求,分为如下部分:

- (1) 总则(例:UCS 照明,最少机组人员,电气要求等);
- (2) UCS 数据显示(例:需全时段和部分时段向机组显示的数据类型);
- (3) UAV 控制(例:控制类型,控制器的布局等);
- (4) 指示器和告警器(例:警告,戒备,提示信息,UAS 自动诊断和监测提示等);
- (5) 标识和提示牌(例:操作限制显示,油量标识等);
- (6) 其他要求。

STANAG 规定 UCS 中关乎安全的控制器(例:及时并精确启动控制器对 UAV 的安全十分关键)应该精密设计并安装,以确保其与机组行为协调一致。若通过软件的图形用户界面(GUI)的下拉菜单实施控制,那么这些控制必须位于下拉菜单的第一层。本分部包括的一般性要求涉及:由一 UCS 向另一 UCS 的控制交接;在单一 UCS 中指挥和控制数个 UAV;在同一 UCS 中控制交接 UAV;在同一 UCS 中监测数个 UVA。应深入研究、建立标准的 UCS 结构、人机界面及机组绩效评价体系。

4 结论

为将 UAS 集成到现有的空域管理系统中,须制订适用于 UAS 的适航标准。本文研究了 STANAG

中结构安全系数、危险严重程度定义、弹射器起飞或火箭助推起飞、UAS 应急回收能力、指挥和控制数据链完整性等相关适航要求,并将其与有人机适航要求进行对比,以探索 UAS 独有的适航特点。对 CS-23 进行剪裁建立 STANAG 的过程中产生了大量的经验教训。日后应充分考虑这些经验,量化具体适航标准参数,以便建立完整精确的 UAS 适航标准。

参考文献:

- [1] Fact Sheet – Unmanned Aircraft Systems (UAS). [EB/OL]. [2010-10]. http://www.faa.gov/news/fact_sheets/news_story.cfm?newsId=6287.
- [2] RTCA, Inc. . Operational Services and Environmental Definitions (OSED) for Unmanned Aircraft Systems (UAS), DO-320[Z]. 2010,6.
- [3] NATO STANAG 4671 (Edition 1). September 2009. Unmanned Aerial Vehicles Systems Airworthiness Requirements (USAR). [EB/OL]. [2009-9]. http://www.nato.int/docu/stanag/4671/4671_ed1_e.pdf.
- [4] Cuerno-Rejado, C. and Martinez-Val, R. . Unmanned Aircraft Systems in the Civil Regulatory Frame: A Case Study[J]. AIAA Journal of Aircraft,2011,48(4): 1351-1359.
- [5] EASA CS-23. Certification Specifications for Normal, Utility, Aerobatic, and Commuter Category Aeroplanes [S]. 2003,11.
- [6] ASDNews. Recent Decision By NATO FINAS Opens The Road Towards A Possible NATO – Wide UAV Airworthiness Code. [EB/OL]. [2005-3-6]. http://www.asdnews.com/news/3113/Recent_Decision_By_NATO_FINAS_Opens_The_Road_Towards_A_Possible_NATOWide_UAV_Airworthiness_Code.htm.
- [7] Cook, S. and Brigaud, R. . Introduction to NATO STANAG 4671 – UAV Systems Airworthiness Requirements [Z]. AUVSI North America 2009 Proceedings.
- [8] EASA Policy Document E. Y013-01 Airworthiness Certification of Unmanned Aircraft Systems (UAS) [S]. EASA, 2009.
- [9] FAA. FAA Advisory Circular 61-67C: Stall and Spin Awareness Training [S]. US: FAA, 2000.
- [10] FAA. FAA Advisory Circular 23. 1309-1E: System Safety Analysis and Assessment for Part 23 Airplanes [S]. US: FAA, 2011.