

军用直升机飞行品质规范发展与展望

张宏林*, 马庚军

中国飞行试验研究院, 陕西 西安 710089

摘 要: 本文主要介绍了美国直升机飞行品质规范 ADS-33 及军用直升机飞行品质规范 GJB902 的发展历程和使用情况, 分析了 ADS-33 的技术特点, 并结合国内外直升机试飞研究和应用方面的经验指出了 ADS-33E 部分条款存在的问题, 提出了国内军用直升机飞行品质规范的修订建议和发展方向。本文的研究结果可为我国军用直升机飞行品质规范的修订与发展提供参考。

关键词: 军用直升机; 飞行品质规范; ADS-33; GJB902; 发展与展望; 飞行试验; 修订建议

中图分类号: V217.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19452/j.issn1007-5453.2018.08.007

军用直升机飞行品质规范是国家有关部门批准颁发的指令和指导性文件, 以条文的形式规定了飞行品质不同等级的最低要求, 规定的各项要求用来保证直升机具有完成任务和飞行安全的品质特性, 其具体要求与飞行安全、完成任务的能力息息相关, 是直升机设计、试飞和使用的依据和标准。一架新型直升机从方案设计到设计定型的各个阶段都必须遵循飞行品质规范的要求, 并在全包线范围内按各项准则进行检查和评价。

航空发达国家均在很早就制定了相应的飞行品质规范, 为直升机设计、试飞和使用提出了具体的要求, 如美国的 MIL-H-8501 和 ADS-33 系列、英国 AVP-970 等。国内直升机飞行品质规范主要依据 MIL-H-8501、MIL-F-83300、ADS-33 分别编制了 GJB902—1990、GJB902A—2001 和 GJB902B—2014, 这些标准均在不同时期对直升机的设计和试飞发挥了重要作用。本文通过对美国 ADS-33 及我国 GJB902 的发展历程、技术特点以及使用情况的分析, 提出了国内军用直升机飞行品质规范的修订建议, 展望了其后续的发展方向。研究结果可为我国军用直升机飞行品质规范的修订与发展提供参考。

1 ADS-33 飞行品质规范

1.1 ADS-33 的发展历程

美国早在 1952 年就发布了三军通用直升机飞行品质规范 MIL-H-8501, 1961 年对其进行了少量的修订, 发展为

MIL-H-8501A。在早期, MIL-H-8501A 对直升机的设计和试验起到了很好的指导作用, 美国的大多数现役军用直升机 (除了 CH-47F/MH-47G 等直升机外) 基本上都是采用 MIL-H-8501A 进行了设计和试飞考核。但到 20 世纪 60 年代的后半期, MIL-H-8501A 暴露出了许多明显的缺陷。随后, 美国拟定了多个方案试图修订 MIL-H-8501A, 1968 年曾提出修订稿 MIL-H-8501B, 但由于支持数据缺乏等种种原因, 这些方案都没有被采纳。

“阿帕奇”和“黑鹰”直升机在 MIL-H-8501A 基础上增加了一些机动特性, 形成修订主要条目的 PIDS 规范。1975 年, 美国陆军联合美国国家航空航天局 (NASA) 开展了大量的直升机操纵品质数据库和设计标准研究工作, 并最终形成了一个新的直升机操纵品质规范, 并在 1982 年之前对新的规范进行了一系列的验证工作。美国陆军航空飞行动力学办公室联合 NASA 制订了两个合同计划, 由卡尔斯贝公司 (Calspan) 和系统技术公司 (STI) 分别制定《美国军用旋翼飞行器操纵品质规范》, 最初由美国海军提供经费支持。在两个公司提出的草案的基础上, 美国陆军每年组织 1~2 次的直升机操纵品质讨论会, 对草案进行修改、补充和完善, 并编制了背景材料和使用指南。1987 年, 航空系统司令部将该规范定义为 ADS 航空设计标准, 同年陆军试验性轻型直升机 (LHX, 后来发展为“科曼奇”) 采用了这个标准。ADS-33 直升机飞行品质规范先后经历了 C、D 两个版

收稿日期: 2018-07-06; 退修日期: 2018-07-09; 录用日期: 2018-08-10

* 通信作者: Tel.: 029-86837916 E-mail: honglin_cfte@163.com

引用格式: Zhang Honglin, Ma Gengjun. Development and prospect of the military helicopter flying quality specification [J]. Aeronautical Technology & Science, 2018, 29 (08): 07-11. 张宏林, 马庚军. 军用直升机飞行品质规范发展与展望 [J]. 航空科学技术, 2018, 29 (08): 07-11.

本的发展和修订,最终于2000年3月公开发布ADS-33E。

1.2 ADS-33的技术特点

ADS-33是以任务为导向的直升机飞行品质规范,与MIL-H-8501相比有明显的先进性,ADS-33的结构如图1所示。按照直升机使用任务提出要求的主导思想,其基本出发点是要保证直升机的飞行品质能够适合规定的任务,因此规范中的要求都是面向任务的,根据不同的直升机任务要求提出不同的任务科目性能指标要求。每一种直升机都有预定的使用目标,如攻击、运输或救援等,而所有的飞行任务都可分解为若干个任务科目的组合,ADS-33规定了23个任务科目,这些任务科目基本包含了直升机预期任务的全部任务谱,可根据直升机的使用需求对这些科目进行剪裁和选择。过去直升机主要用于执行运输任务,现代直升机还要执行对地攻击、空中格斗、反潜搜索等多种战斗任务,ADS-33规范充分反应了现代直升机发展的特点^[1]。

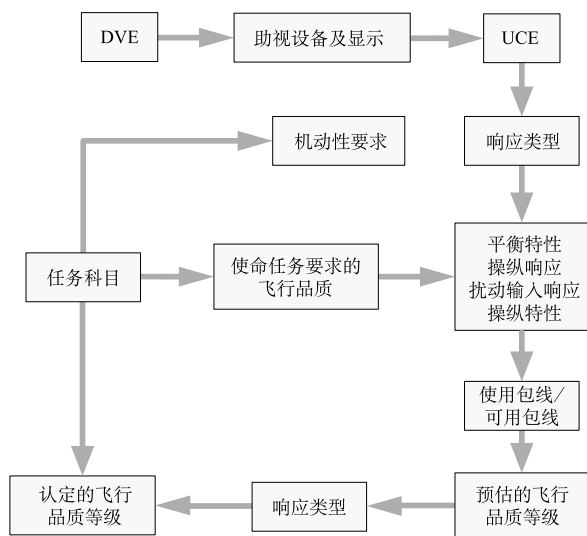


图1 ADS-33规范结构图

Fig.1 Structure drawing of ADS-33 specification

ADS-33强调使用环境对飞行品质的影响,提出了不良目视环境(DVE)的概念,明确直升机在夜间和能见度较差的恶劣天气条件下利用显示和助视设备飞行的规范要求。利用可用感示环境(UCE)来确定DVE,针对不同的UCE条件将直升机飞行品质转换为不同的响应类型要求。同时用在DVE下的任务科目将机敏性和定量的指标联系起来,来验证直升机完成任务的能力。

ADS-33使用两种方法来确定直升机的飞行品质等级,分别为预估的飞行品质等级和认定的飞行品质等级,并将两种不同方法获得的飞行品质等级结果相结合来给出最终飞

行品质等级。预估的飞行品质指标包含时域和频域的要求,根据不同的任务把直升机的响应按幅值分为大幅、中幅和小幅,按频率又将小幅响应分为低频、中频和高频响应,并提出了明确的直升机轴间耦合指标要求等。ADS-33将认定飞行品质的等级评定转化为对任务科目、可用感示环境和响应类型三个方面的评定,而将任务科目用定量化和具体化的指标进行定义,从而使飞行品质等级评定具有较好的可操作性^[2]。

1.3 ADS-33的使用情况

ADS-33规范自从颁布以来,受到了国外直升机设计所、制造厂、试飞机构以及研究机构的极大关注,针对ADS-33规范的修订、剪裁和应用等方面也不断进行研究,许多先进的直升机都利用该标准相应的剪裁进行设计和试飞,例如AH-64A、CH-47D、BO105、Bell205变稳直升机、UH-60A和CH-53G直升机采用ADS-33的早期版本进行了所有科目的飞行试验评估,EC135、MD900和AH-1等直升机采用ADS-33进行了部分科目的评估。ADS-33系列规范的发展和使用情况见表1。“科曼奇”武装直升机采用了电传飞行控制系统等先进技术,性能优良,是先进武装直升机的发展方向 and 代表,也是第一款按照ADS-33D规范进行验证考核的先进武装直升机。但由于技术过于复杂、经费等各种原因,该型直升机最终未投入部队使用。

表1 ADS-33规范的发展和使用情况

Table 1 Development and application of ADS-33 specification

进展	1980年	1985年	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年
立项发展	—						
ADS-33B		—					
ADS-33C			—	AH64A	BO105		
MTE修订			—				
ADS-33D				— CH-47D			
吊挂运输				—	UH-60A		
通用类					SH-60B		
ADS-33E						CH-53 G-60B	
试验指南							UH-60M

尽管ADS-33是为了替代MIL-H-8501,但是最初的ADS-33主要集中于LHX和侦察、攻击任务,许多条款并不适用于运输类和通用直升机。随着UH-60A和CH-47D直升机采用ADS-33完成评估和研究,在积累的大量数据和经验的基础上,ADS-33逐步扩展到包含运输直升机和通用直升机。在2010年前后,UH-60M电传直升机按照ADS-33E进行了设计和试

飞考核,结果达到了 ADS-33E 等级 1 的要求,部分试飞结果如图 2、图 3 所示。2008 年,美国陆军航空飞行动力学办公室的 Roger H. Hoh 等编写了 ADS-33E 试验指南,介绍了 ADS-33E 条款的要求、试验方法、试验安排和数据处理方法等内容^[3]。

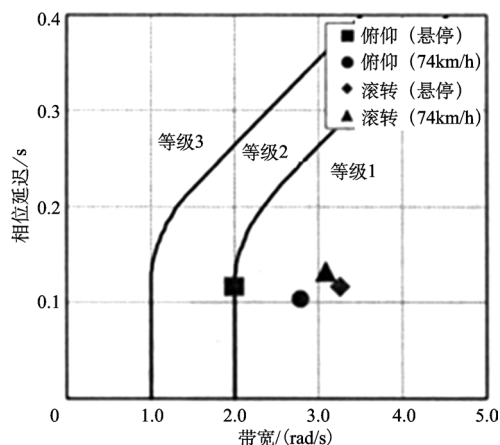


图 2 小幅度俯仰(滚转)姿态变化(其他所有 MTE): 悬停和低速
Fig.2 Small-amplitude pitch (roll) attitude changes (all other MTEs): hover and low speed

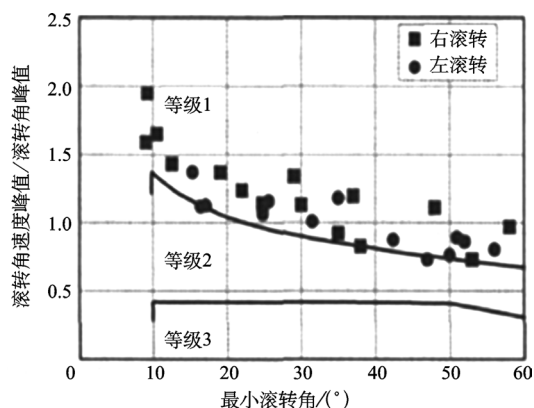


图 3 中等幅度滚转姿态变化(其他所有 MTE): 悬停和低速
Fig.3 Moderate-amplitude roll attitude changes (all other MTEs): hover and low speed

2 GJB902 系列飞行品质规范

2.1 GJB902 系列的发展历程

1983 年初,航空工业部提出编写我国军用直升机飞行品质规范的任务;1986 年国内在理解和消化 MIL-F-83300、MIL-H-8501 以及国外相关资料的基础上,根据国内直升机设计、生产和试飞使用的经验编写了第一个直升机飞行品质规范 HB6105-86,1990 年在 HB6105-86 的基础上形成 GJB902—1990《军用直升机飞行品质规范》。从 1993 年开始,杨松山等开始对 ADS-33C、ADS-33D 各个版本进行翻译、消化和理解,2001 年在 GJB902—1990 的基础上,通过增

加 ADS-33D 版本规范中要求的小幅操纵短期响应特性、轴间耦合和中等幅度姿态敏捷等指标,形成了 GJB902A—2001《军用直升机飞行品质规范》。随后,经过多年理论研究和型号研制经验的积累,国内在 2014 年以 ADS-33E 为蓝本完成了 GJB902B—2014《军用直升机飞行品质规范》的编写。

2.2 GJB902 的国内使用情况

GJB902—1990《军用直升机飞行品质规范》是针对有人驾驶的军用直升机提出的,规定了军用直升机设计、分析、试验试飞和使用应该满足的飞行和地面操纵品质的要求。该规范通用性突出,适用于各类有人驾驶的军用直升机,规定了各项要求以保证直升机具有完成任务和安全飞行的飞行品质^[3],成功地指导了国内直 8、直 9、直 11 等多个型号的设计、试验和试飞工作。与此同时,该规范在使用中同样暴露出了许多明显的缺陷,如没有直升机轴间耦合、频域指标、任务科目等要求,不能适应现代新型直升机的发展需求。但对于国内的改型直升机而言,采用 ADS-33 标准又显得过于严格,故 GJB902—1990 目前依然是直 8、直 9、直 11 等多个改进型号的设计、试验和试飞的依据和指导性文件。2006 年,国内某型直升机的设计、试飞验证全面采用了以 ADS-33E 为蓝本而编制的型号直升机飞行品质规范,这一选择对该型直升机的设计、试验和试飞发挥了重要作用。

3 飞行品质规范发展展望

由于 ADS-33 标准具有前文所述的诸多技术特点,从而使其相对于 MIL-H-8501 具有明显的先进性,因此美国已经用 ADS-33 系列标准替代了 MIL-H-8501。而我国由 MIL-H-8501 发展而来的 GJB902—1990 在近年来同样暴露了不能适应现代新型直升机试飞考核要求等缺陷,ADS-33 标准相对于 GJB902—1990 也同样具有先进性。正因为如此,2000 年 3 月公布 ADS-33E 后,美国和其他国家的飞行试验和研究机构不仅就此进行了大量的研究工作,一些型号的设计和试飞还采用了该标准,国内也在某型直升机的设计、试验和试飞中也采用了 ADS-33E。

在国内外直升机设计和试飞过程中,也发现了 ADS-33 规范的一些明显的缺陷,标准的部分指标是基于模拟器或理论计算的数据获得的,并不适用于实际机型或者数据支持不足。例如对于 ADS-33E 中悬停低速状态下总距操纵的扭矩响应条款(如图 4 所示),试飞结果表明对于总距 W_f 阶跃输入后第一个峰值出现的时间 t_p 和扭矩超调比 Q/Q_1 的要求并不合理,且国外资料也明确指出该指标要求没有足够的数据支持^[4]。

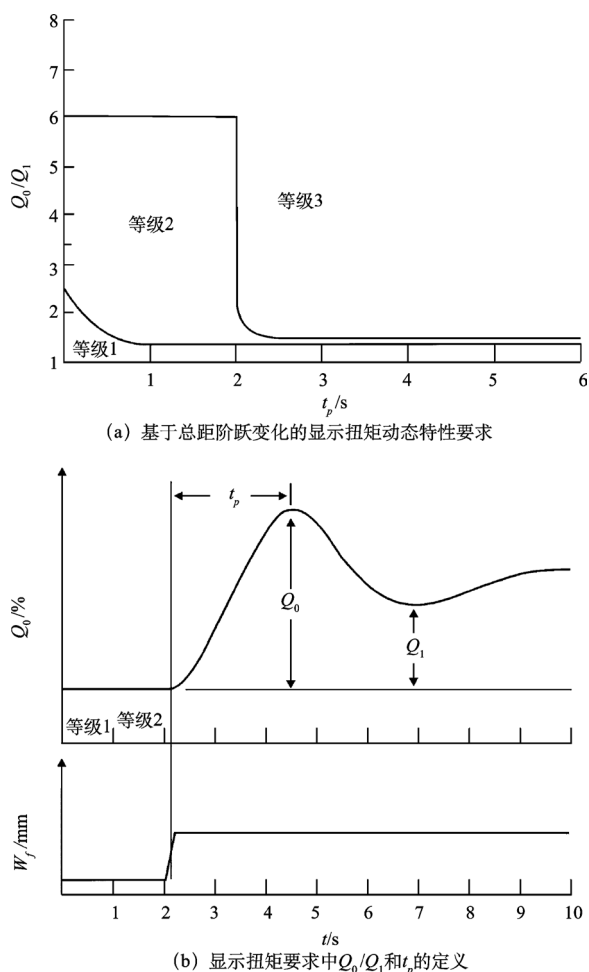


图4 悬停低速状态下总距操纵的扭矩响应要求

Fig.4 Torque response requirements for collective pitch input at hover and low speed

ADS-33E 的主要问题及相应的修订建议如下:

(1) 对于迅猛机动下的俯仰—滚转耦合和滚转—俯仰耦合准则,在试飞时保持4s的输入会导致直升机飞行状态较大的变化,因此对于本指标的要求用频域准则来代替时域准则更有实际意义。

(2) 航向保持的附加要求,要求在航向操纵松浮之后,直升机应锁定于参照方向且偏差不应超过航向操纵松浮时偏航角速度(rad/s)的10%变化对应的偏航角或 1° 偏航角(取较大值)。经验表明,该要求过于苛刻且没有实际意义。建议将该要求修改为脚蹬松浮后无明显的振荡响应,或将航向操纵松浮之后直升机的航向变化按飞控系统航向保持的要求进行规定更具实际意义。

(3) 对于带高度保持的垂直速率控制的特征准则,应该增加确保对高度偏离的响应不会导致传动机构超扭矩或直升机进入自转状态,飞控系统应设计限制装置以保证总距对

大的高度偏差响应不会引起不安全的飞行状态、悬停时高度保持自动接通、向前飞行过渡时自动断开等要求。

(4) 目前预估的飞行品质指标都是基于无外挂的干净构型状态得出的数据,因而所有的指标都针对干净构型状态。而经验表明,有无外挂对飞行品质的试飞结果影响比较大,如图5所示的某直升机在不同吊挂载荷—总质量比(LMR)状态下的滚转姿态响应^[5],可见不同的LMR对滚转姿态响应的幅频特性影响明显。因此应该增加外吊挂构型的预估的飞行品质指标。

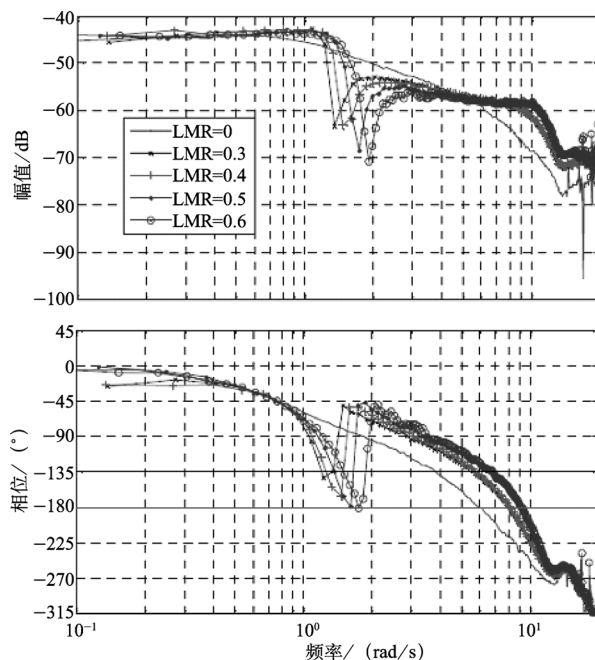


图5 某直升机在不同LMR状态下的滚转姿态响应

Fig.5 Roll attitude response of a helicopter in different LMR states

(5) 现行的ADS-33标准是基于已有的直升机型号的数据库而制定的标准,而对于诸如S-92高速直升机和新构型直升机则没有相应的数据支持。美国陆军—海军和NASA研究中心已经对新构型直升机飞行控制和飞行品质方面进行了研究,并着手制定新版本的ADS规范以满足未来直升机的需求。国内也需要开展相应的研究,以满足未来高速直升机的发展需要。

(6) 近年来无人直升机发展非常迅速,其采用的遥控、自主飞行和自动飞行模式与有人直升机的使用模式有很大的不同,作战任务使命也有较大的差别,而现行的ADS-33标准对此并无专门的条款规定。因此,应开展现行的ADS-33标准条款对于无人直升机的适用性分析以及无人直升机特有的飞行品质评定准则的研究工作。

鉴于我国在某型直升机的设计、试飞验证方面采用以

ADS-33E 为蓝本编制的型号直升机飞行品质规范的成功实践和技术积累,我国未来军用直升机飞行品质规范的修订应以 ADS-33E 为蓝本,对其已经暴露的技术问题进行合理的修正,并考虑高速直升机和无人直升机的规范发展需求,形成适应我国直升机技术发展状况的新的军用直升机飞行品质规范 GJB902B,替代现行的 GJB902—1990。

4 结束语

本文主要介绍了美国直升机飞行品质规范 ADS-33 及国内军用直升机飞行品质规范 GJB902 的发展与使用情况,分析了 ADS-33 的技术特点和先进性,并结合国内外军用直升机试飞研究和应用方面的经验,指出了 ADS-33E 部分条款存在的问题和修订建议,进而提出国内军用直升机飞行品质规范的修订应以 ADS-33E 为方向并规避其部分条款存在的问题,同时应考虑高速直升机和无人直升机的规范发展需求。本文的分析研究结果可为我国军用直升机飞行品质规范的修订与发展提供参考。

AST

参考文献

- [1] 国防科工委 7210 办公室. 美国军用直升机规范评价 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1993.
Office of National Defense Science and Technology Commission
7210. Review of American military helicopter specifications [M].

- Beijing: Aviation Industry Press, 1993. (in Chinese)
- [2] AMRDEC. Aeronautical design standard performance specification—Handling qualities requirements for military rotorcraft (ADS-33E-PRF) [S]. AMRDEC, Redstone Arsenal, 2000.
 - [3] Blanken C L, Hoh R H, Mitchell D G, et al. Test guide for ADS-33E-PRF [R]. Washington: RDECOM, 2008.
 - [4] Padfield G D, Padfield G. Helicopter flight dynamics: the theory and application of flying qualities and simulation modeling [M]. Second Edition. Oxford: Blackwell Publishing, 2007.
 - [5] David G M, Michael F, Tomas K N, et al. New ADS-33 requirements for cargo and maritime operations[C]// AHS International Inc. American Helicopter Society 65th Annual Forum, Texas: AHS International Inc, 2009.

作者简介

张宏林 (1982—) 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 直升机和无人机飞行试验技术。

Tel: 029-86837916

E-mail: honglin_cfte@163.com

马庚军 (1989—) 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 直升机飞行试验技术。

Tel: 029-86839474 E-mail: mgjun8905@163.com

Development and Prospect of the Military Helicopter Flying Quality Specification

Zhang Honglin*, Ma Gengjun

Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China

Abstract: This paper mainly introduced the development and application of American helicopter flying quality specification ADS-33 and military helicopter flying quality specification GJB902, and analyzed the technical characteristics of ADS-33. Combining the experience of helicopter flight test research and application at home and abroad, some problems of ADS-33E items were pointed out, and put forward the revision suggestions and development direction of domestic military helicopter flying qualities specification. The research results of this paper can provide references for the revision and development of domestic military helicopter flying quality specification.

Key Words: military helicopter; flying quality specification; ADS-33; GJB902; development and prospect; flight test; revision suggestions

Received: 2018-07-06; Revised: 2018-07-09; Accepted: 2018-08-10

*Corresponding author. Tel.: 029-86837916 E-mail: honglin_cfte@163.com