



大飞机出版工程

总主编 顾诵芬

“十三五”国家重点图书规划项目

运输类飞机驾驶舱 人为因素设计评估指南

Guidance for Flight Deck Human Factors Design and
Evaluation of Transport Category Airplanes

钱进 主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



大飞机出版工程

总主编 顾诵芬

运输类飞机驾驶舱 人为因素设计评估指南

Guidance for Flight Deck Human Factors Design and
Evaluation of Transport Category Airplanes

钱 进 主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书整合了民航适航规章和咨询通告中关于运输类飞机驾驶舱人为因素设计评估的相关要求,包含显示系统、操控器件、告警系统、人为差错、工作负荷等主要审定项目和内容的符合性方法。

本书可为从事驾驶舱设计评估、人为因素研究和实践的广大科技人员、高校师生,从事驾驶舱适航取证的设计人员、试飞员、试飞工程师,以及负责合格审定的局方人员、试飞员、试飞工程师参考使用,也可作为驾驶舱系统、设备、部件的制造商和供应商提供研制和验证试验的依据。

图书在版编目(CIP)数据

运输类飞机驾驶舱人为因素设计评估指南/钱进主编. —上海:上海交通大学出版社,2016

大飞机出版工程

ISBN 978-7-313-13409-7

I. ①运… II. ①钱… III. ①民用飞机—运输机—座舱—人为因素—设计—技术
评估—指南 IV. ①V271.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 032295 号

运输类飞机驾驶舱人为因素设计评估指南

主 编: 钱 进

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

出 版 人: 韩建民

印 制: 上海天地海设计印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

字 数: 296 千字

版 次: 2016 年 3 月第 1 版

书 号: ISBN 978-7-313-13409-7/V

定 价: 75.00 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021-64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 15

印 次: 2016 年 3 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 021-64835344

本书编委会

主 编 钱 进

副主编 王 伟

编写人员(按姓氏笔画排列)

王海刚 王嘉一 卢嘉晨 李 林

吴广博 张 龙 郭 超 莫兴智

殷湘涛 梁远东

章节分工

第一部分 运输类飞机驾驶舱人为因素相关条款

编写 郭 超

校对 李 林

第二部分 运输类飞机驾驶舱人为因素符合性依据

第1章 AC 25-11B 电子飞行显示器

翻译 吴广博、梁远东

校对 莫兴智

第2章 AC 20-175 驾驶舱系统操控器件

翻译 李 林

校对 张 龙

第3章 AC 25.1322-1 飞行机组告警

翻译 殷湘涛

校对 王嘉一

第4章 AC 25.1302-1 飞行机组使用的安装系统和设备

翻译 王嘉一

校对 殷湘涛

第5章 AC 25.1523-1 最小飞行机组

翻译 郭 超

校对 王海刚

整理 卢嘉晨

序

提高飞行安全始终是航空业界永恒的主题和追求,是广大乘客、制造商、运营人以及管理当局的共同愿望。随着新一代飞机的服役运行,人们对航空安全水平和商业目标的期望变得更高。虽然因飞机本体和系统故障造成的事故率持续保持在很低的水平上,但是如何有效避免因设计缺陷造成人为差错而导致不安全事件却始终一直是制造商面临的巨大挑战。驾驶舱是飞行员的工作场所,设计复杂度和集成度极高,人为因素的考虑涉及方方面面,其人机界面会对飞行员体力、心理以及工作效率、正确率都有影响,而该界面是否合适最终要由使用者,即通过飞行员来评定。

事实上,驾驶舱的设计与评估是相伴相生、相辅相成的。驾驶舱设计要考虑安全性、高效性和舒适性。驾驶舱要设计成能够帮助飞行机组安全、高效、舒适地完成任务。提高安全性是驾驶舱设计的基本原则,要看是否能满足飞行员的生理条件,是否有能容错、防错等避免人为差错的措施,是否能够应对复杂环境以及能否在故障条件下继续安全飞行等;提高操作效率是驾驶舱设计的基本要求,要看驾驶舱显示系统能否提供飞行员最关心的信息并保证显示的清晰度和可读性等,还要看机载计算机能否提供友好的人机界面,控制系统布局是否符合功能逻辑、简单易用并具有一致性,能否让飞行机组迅速有效地控制各个系统,能否有效减轻飞行员工作负荷等;舒适度也是驾驶舱设计的重要目标,因为驾驶舱的舒适性会直接影响飞行机组心理和生理状态,关乎飞行员能力的发挥,关系飞行安全,所以设计上要考虑从视觉、听觉、触觉、空间因素等方面提升驾驶舱的舒适性。检验驾驶舱设计是否合理、合法、合规,就成了驾驶舱评估的首要任务。开展评估工作需要标准和依据,确定标准和依据是开展评估的基本前提。驾驶舱设计和评估都需要众多试飞员和试飞工程师的参与,尤其是试飞员要作为直接评估者,而这些评估者面对的首要问题就是按什么标准评估。针对驾驶舱设计评估的理论和方法有很多,在这众多的技术文献

中,哪些可以作为设计评估依据,业内争议一直存在。但是,飞机要得到公众对安全性的认可,就必须通过适航认证,而要通过适航认证就必须符合局方提出的适航要求,如何做到符合适航要求则要根据局方认可的技术资料中的方法开展工作。顺着这样一个逻辑,中国商飞公司总飞行师、试飞中心主任、C919 驾驶舱评估工作组组长钱进同志带领一群试飞工程师,开展了大量的研究,几乎查阅了中国民航局和美国联邦航空局所有正式发布的现行有效的文件并咨询了多位业界专家,挑选出与驾驶舱设计评估紧密相关且具有切实指导性的文件,而适航规章和咨询通告就是其中最核心的两类文件。本书就是对他们挑选的适航条款和咨询通告的编译,用作运输类飞机驾驶舱人为因素设计评估的依据。此书的内容皆出自局方公开发布、得到业界认可的适航文件,其用意在于具备权威、避免争论、用于实践,直接服务于航空产品安全水平的保证和提升,为我国民机产品研制中驾驶舱设计评估工作作有益指导。

我们欣喜地看到,在本书编译过程中,这群年轻试飞工程师,敢于创新、潜心研究、努力探索,为本书的编译出版做了大量的工作,付出了许多辛劳和努力。从他们的身上,我看到了民机试飞人坚毅担当、锐意进取、开拓创新的精神,看到了民机试飞事业发展的希望。在此,祝愿他们百尺竿头更进一步,继续为中国的大飞机事业奉献青春和热血。

最后,再次衷心感谢为编译《运输类飞机驾驶舱人为因素设计评估指南》作出贡献的所有参与者们!

吴立辉

前 言

在从事民用飞机试飞之前,我已是有着三十多年、两万多小时飞行经历的资深飞行教员了,但是来到民机试飞领域,却发现试飞与普通航线飞行有许多的差异。普通飞行员从“使用”角度考虑飞机,而试飞员却需要透过“使用”来检视“设计”。驾驶舱是飞机的“大脑”、“中枢”和“指挥中心”,是飞机信息的汇聚地,也是指令的发出地。驾驶舱设计是保证飞行安全的重要命题,而驾驶舱设计评估则是提升飞行安全水平的基本手段。

开展驾驶舱设计评估首先要确定依据。驾驶舱人为因素方面的资料很多,且散落在不同时间发布的大量规章和指导性文件中,查阅起来费时费力、效率低,且无法形成系统的指导意见和评估依据。围绕这个问题,本书较为完整地提供了与运输类飞机驾驶舱人为因素方面紧密相关的条款与符合性依据等内容,以作为驾驶舱评估的重要依据。全书分为两个部分:第一部分是运输类飞机驾驶舱人为因素相关条款,主要从 21 部和 25 部中选取的与驾驶舱设计评估相关的人为因素方面的要求;第二部分是运输类飞机驾驶舱人为因素符合性依据,精选了 5 份与驾驶舱设计评估人为因素方面紧密相关的咨询通告。相关内容均出自局方发布的现行有效的文件,是得到工业方和局方的共同认可的,因此可以用作驾驶舱设计评估的重要依据。需要说明的是,本书选入的这些文件中许多都是针对某个具体系统专门编写的,但是这些文件中却有许多内容是通用的,也适用于其他不同的系统。

本书可供从事驾驶舱设计评估、人为因素研究和实践的广大科技人员、高校师生,从事驾驶舱适航取证的设计人员、试飞员、试飞工程师,以及负责合格审定的局方人员、试飞员、试飞工程师参考使用,也可为驾驶舱系统、设备、部件的制造商和供应商提供研制和验证试验的依据。

本书的成稿与出版也得到了业内专家的悉心指导,并得到了上海交大出版社的

大力支持。没有他们与作者的共同努力,本书难以在这么短的时间内付梓出版,在此一并表示衷心感谢。

由于作者在驾驶舱设计评估人为因素研究方面的水平有限,若有不当之处,恳请广大读者批评指正。

陈

目 录

第一部分 运输类飞机驾驶舱人为因素相关条款

- CCAR-21 民用航空产品和零部件 3
- CCAR-25 运输类飞机适航标准——B分部飞行 3
- CCAR-25 运输类飞机适航标准——D分部设计与构造 7
- CCAR-25 运输类飞机适航标准——E分部动力装置 16
- CCAR-25 运输类飞机适航标准——F分部设备 21
- CCAR-25 运输类飞机适航标准——G分部使用限制和资料 30

第二部分 运输类飞机驾驶舱人为因素符合性依据

第1章 AC 25-11B 电子飞行显示器 35

- 1.1 引言 35
- 1.2 电子显示系统概述 38
- 1.3 电子显示器硬件 40
- 1.4 电子显示系统的安全性问题 44
- 1.5 电子显示信息的元素和特征 53
- 1.6 电子显示信息元素的构成 63
- 1.7 电子显示系统的操控装置 70
- 1.8 为电子显示系统的批准表明符合性 73
- 1.9 持续适航和维修 75
- 附录 1.A 主飞行信息 76
- 附录 1.B 动力装置显示器 81
- 附录 1.C 定义 82
- 附录 1.D 缩略语 94
- 附录 1.E 相关条例和文件 95

附录 1. F 平视显示器(HUD) 106

附录 1. G 气象显示器 119

咨询通告反馈表 123

第 2 章 AC 20-175 驾驶舱系统操控器件 124

2.1 概述 124

2.2 操控器件通用指导 126

2.3 多功能操控器件补充指导 136

附录 2. A 相关文件和缩略语 140

附录 2. B 操控器件功能矩阵表 142

附录 2. C 条例 144

第 3 章 AC 25.1322-1 飞行机组告警 146

3.1 目的 146

3.2 适用性 146

3.3 相关例子、条例、文件和定义 147

3.4 背景 147

3.5 飞行机组告警系统设计 147

3.6 告警功能要素 149

3.7 告警系统的可靠性和完整性 150

3.8 告警管理 151

3.9 清除和重现目视告警消息 152

3.10 与其他系统(检查单、概要图、开关、单个指示灯)的
界面或综合 153

3.11 颜色标准化 153

3.12 尽量降低虚警和有碍性告警的影响 154

3.13 为获飞行机组告警系统批准表明符合性 155

3.14 飞行机组告警系统要素纳入已有机队 156

3.15 用于平视显示器(HUD)的告警 157

附录 3. A 把目视系统要素纳入告警系统举例 158

附录 3. B 把音响系统要素纳入告警系统举例 162

附录 3. C 条例 166

附录 3. D 相关文件 168

附录 3. E 定义 169

第 4 章 AC 25.1302-1 飞行机组使用的安装系统和设备 173

4.1 AC 25.1302 作为一种可接受符合方法 173

4.2 背景 174

4.3 范围和假设 175

4.4 制订合格审定计划 177

4.5 设计考虑和指导 180

4.6 符合方法 207

附录 4.A 相关文件 213

附录 4.B 定义 215

第 5 章 AC 25.1523-1 最小飞行机组 217

5.1 目的 217

5.2 相关 FAR 条款 217

5.3 背景 217

5.4 讨论 217

5.5 合格审定程序 218

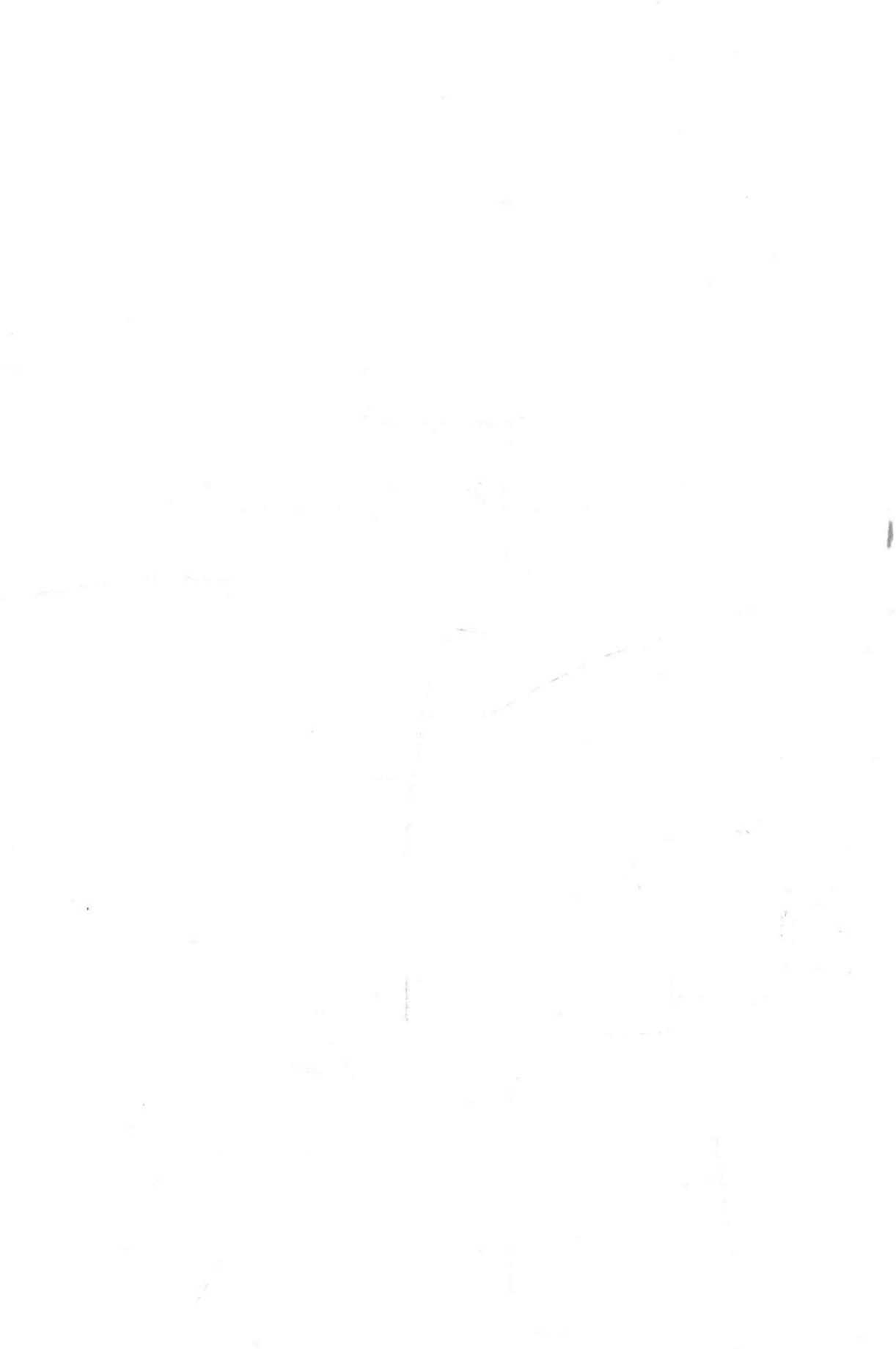
5.6 事件检查单 222

附录 5.A 222

参考文献 224**索引 225**

第一部分

运输类飞机驾驶舱人为因素相关条款



经过查阅大量型号适航审定资料,调研国内外多个局方审定项目,咨询国内外多名业界专家,同时结合近年来国内型号设计确定适航审定基础的经验,本部分从中国民用航空局发布的现行有效的适航规章 CCAR-21《民用航空产品和零部件合格审定规定》和 CCAR-25《运输类飞机适航标准》中反复筛选,确定了下述与运输类飞机驾驶舱人为因素设计评估相关的条款作为设计评估依据。

需要指出的是,由于业界工业方和审定方,甚至不同地区的审定部门,对于审定基础的确定与合格审定计划的划分有着不同的考虑和规划,因此对于具体型号的审定,将下述某个具体条款纳入驾驶舱或者人为因素合格审定计划会有着不尽相同的工程判断。但是,从本书编写目的“为驾驶舱人为因素设计评估提供指导”而言,下述条款皆应作为依据和标准纳入设计评估的考虑范畴。由于下述条款内容不仅仅与人为因素相关,而且也涉及其他方面,这也给条款的解释以及符合性验证方法带来了挑战。对于驾驶舱人为因素方面解释最集中的符合性方法则在本书第二部分给出。出于本书篇幅限制以及直接功用等考虑,本部分仅对下述列出的条款做最直接相关的简要解析,不再扩展解释。对于这些条款全面的背景介绍以及符合性验证方法需要参阅相关咨询通告(AC)或可接受的符合性方法(AMC),本书无法全部列出,相关条款解读和符合性工作的开展可参考相关文献。

CCAR-21 民用航空产品和零部件

第 21.21 条 型号合格证的颁发

正常类、实用类、特技类、通勤类和运输类航空器;载人自由气球;特殊类别航空器;航空发动机;螺旋桨具备下列条件的申请人可以取得航空器(正常类、实用类、特技类、通勤类、运输类、载人自由气球或者特殊类别航空器)、航空发动机或者螺旋桨的型号合格证:

(四) 对于航空器,相对其申请的型号合格审定类别没有不安全特征或特性。

解析 本条款是在型号合格审定中对飞机安全也是对人为因素方面的总要求。

CCAR-25 运输类飞机适航标准——B 分部飞行

第 25.101 条 总则

(h) 按本条(f)和(g)所制订的程序必须:

(1) 在飞机服役中能够由具有中等技巧的机组一贯正确地执行;

(2) 采用安全可靠的方法或装置;

(3) 计及在服役中执行这些程序时可合理预期的时间滞后。

解析 应考虑具有中等技巧的机组能正确、正常、反复执行该程序。其中“中等技巧”,在有关资料中没有明确的量化,一般通过驾驶员的评价来定。

第 25.105 条 起飞

(b) 为确定本条所需数据而用的起飞,不得要求特殊的驾驶技巧或机敏。

解析 该款时对驾驶技巧提出要求,规定不得要求特殊的技巧,这是关于符合性能总则第 25.101(h)条的规定。

第 25.109 条 加速—停止距离

(e) 除了本条(f)(1)的规定外,可使用机轮刹车以外的措施来确定加速—停止距离,条件是这些措施:

(3) 对操纵飞机不需要特殊技巧。

解析 “不需要特殊的驾驶技巧”,在有关资料中,没有特别说明,一般由飞行员进行评定。

第 25.125 条 着陆

(b) 确定本条(a)的距离时:

(5) 着陆时不得要求特殊的驾驶技巧或机敏;

(c) 陆上飞机和水陆两用飞机的着陆距离必须在水平、平整、干燥,并有硬质道面的跑道上确定。而且:

(3) 可以使用除机轮刹车以外符合下列条件的其他方式:

(iii) 操纵飞机不需要特殊的技巧。

解析 “不得要求特殊的驾驶技巧或机敏”,“不需要特殊的技巧”:在有关资料中,没有特别说明,一般由驾驶员进行评定。

第 25.143 条 总则

(b) 必须能从一种飞行状态平稳地过渡到任何其他飞行状态,而不需要特殊的驾驶技巧、机敏或体力,并且在任何可能的使用条件下没有超过飞机限制载荷系数的危险,这些使用条件包括:

(1) 临界发动机突然失效;

(2) 对于三发或三发以上的飞机,当飞机处于航路、进场或着陆形态,临界发动机停车并已配平时,第二台临界发动机突然失效;

(3) 形态改变,包括打开或收起减速装置。

解析 考虑到在服役中开始该处动作时可能的时间延迟,在驾驶员意识到发动机失效后 2 s 内不得采取改出动作。改出动作不应该以操纵发动机、螺旋桨或配平机构为前提,而且不应该产生过度的操纵力。

第 25.145 条 纵向操纵

(c) 在空速为 $1.08V_{SR1}$ (对于螺旋桨飞机)或 $1.13V_{SR1}$ (对于涡轮喷气飞机)的定

常直线水平飞行中,当增升装置从任一位置开始完全收起时,必须在下列条件下无需特殊的驾驶技巧就可能防止掉高度:

- (1) 同时施加复飞设置功率(推力)状态;
- (2) 起落架在放下位置;
- (3) 着陆重量和高度的临界组合。

解析 “无需特殊的驾驶技巧”:在有关资料中,没有特别说明,一般由驾驶员进行评定。

第 25.149 条 最小操纵速度

(d) 在速度 V_{MC} ,为维持操纵所需的方向舵脚蹬力不得超过 667 N(68 kgf; 150 lbf),也不得要求减少工作发动机的功率(推力),在纠偏过程中,为防止航向改变超过 2° ,飞机不得出现任何危险的姿态,或要求特殊的驾驶技巧、机敏或体力。

(e) V_{MCG} ,地面最小操纵速度是起飞滑跑期间的校正空速,在该速度,当临界发动机突然停车时,能仅使用操纵力限制在 667 N(68 kgf; 150 lbf)的方向舵操纵(不使用前轮转向)和使用机翼保持水平的横向操纵来保持对飞机的操纵,使得采用正常驾驶技巧就能安全地继续起飞。在确定 V_{MCG} 时,假定全发工作时飞机加速的航迹沿着跑道中心线,从临界发动机停车点到航向完全恢复至平行于该中心线的一点的航迹上任何点偏离该中心线的横向距离不得大于 9 m(30 ft)。 V_{MCG} 必须按下列条件制订:

(1) 飞机处于任意一种起飞形态,或者按申请人的选择处于最临界的起飞形态;

- (2) 工作发动机处于最大可用起飞功率(推力)状态;
- (3) 重心在最不利的位置;
- (4) 飞机按起飞状态配平;
- (5) 起飞重量范围内的最不利重量。

(h) 在 V_{MCL} 和 V_{MCL-2} 的演示中:

- (1) 方向舵操纵力不得超过 667 N(68 kgf; 150 lbf);
- (2) 飞机不得呈现危险的飞行特性,或要求特殊的驾驶技巧、机敏和体力;

(3) 横向操纵必须有足够的滚转能力,从稳定飞行的初始状态,飞机必须能在不大于 5 s 的时间内改变 20° 的坡度,滚转的方向应使飞机从不工作发动机向工作发动机一侧转变航向;

(4) 对于螺旋桨飞机,在发动机失效后螺旋桨达到的任何位置,及随后的发动机或螺旋桨任何可能的操纵运动期间,均不得呈现危险的飞行特性。

解析 “特殊的驾驶技巧、机敏或体力”,“正常驾驶技巧”:在有关资料中,没有特别说明,一般由驾驶员进行评定。

第 25.173 条 纵向静稳定性

(d) 在本条(b)所规定的自由回复速度带内,如果不要求驾驶员特别注意,就能回复到并维持所希望的配平速度和高度,则允许飞机不加操纵力而稳定在高于或低