

民用飞机试飞规划与 管理软件适用性研究

Applicability Research on Flight Test Control System for Civil Aircraft

朱卫东 张大伟 / Zhu Weidong Zhang Dawei

(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)

(COMAC Flight Test Center, Shanghai 200232, China)

摘要:

飞行试验是民机研制的重要手段,也是飞机取得适航证的必经过程。随着现代大型民用飞机的设计越来越复杂,试飞制约因素越来越多样,任务量越来越庞大。试飞成为制约型号进度和研制成本的重要因素。对于试飞工作者而言,必须采用科学的方法对试飞任务进行合理规划和管理。为此,国内某飞机设计研究院历时三年,开发了一款用于试飞任务管理的软件——民用飞机试飞规划与管理软件(Flight Test Control System,简称 FTCS)。以国内某型号飞机试飞为例,对 FTCS 的适用性进行了分析和评估,为 FTCS 的应用和发展提供建议。

关键词:试飞;FTCS;规划;管理;适用性

中图分类号:V243.1

文献标识码:A

[Abstract] Flight test is one of the most significant methods for developing civil aircraft, and is also an essential process of certification. As the airliner design gets more and more complicated, the flight test quantity and factors of limitation are growing. It is very important for flight testers to conduct flight test plan and management scientifically. Therefore, it took some aircraft design and research institute 3 years to develop a Flight Test Control System (FTCS). Compared with one of the civil airplane type flight test task management, this paper analyzes and evaluates the applicability of FTCS. The research method could provide some advices for FTCS application.

[Key words] flight test; FTCS; planning; management; applicability

0 引言

随着飞机设计技术的不断提升和适航规章的日益完善,现代民用飞机试飞任务越来越复杂。以国内某民用客机试飞为例,试飞内容分为研发和合格审定试飞两大类。其中,合格审定试飞内容共涉及性能、操纵、动力等 30 多个专业。试飞任务由相应的试飞课题专业提出,合格审定试飞任务通过 30 多份试飞任务单定义,共含 300 科目、3 000 个初始试验点,如果考虑局方试飞任务,合格审定试飞实际任务工作总量将达到 5 000 个试验点。试飞任务的规划和管理基本以人工方式进行。为确保试飞工作能够有序开展,投入了相当大的人力进行试飞任务统计和规划。

民机试飞技术的另一个发展趋势是综合化程度越来越高,即在试飞的各个阶段应统筹规划尽可能避免或者减少不必要的重复试飞。必须建立一个统一的试飞计划、试飞测试和试飞数据库。在总体试飞方案和试飞大纲制定、在每一架飞机试飞计划和每一个试飞任务单的制定中,只要飞机状态和试飞条件允许,将那些约束条件基本相同的试飞科目最大限度的综合,试飞数据信息共享,发挥试飞结果的最大效益^[1]。当代航空技术发展越来越快,技术越来越复杂、试飞风险越来越大、周期越来越长、成本越来越高,对综合试飞的要求和强制性管理势在必行。目前,国内主流民机试飞任务的制定还是以分专业的课题室各自制定为主,综合化程度不高。进行任务综合需要跨专业进行协调,难度较

大。经常出现为了一个动作单独飞行一个架次的情况。基于相应的试飞规划技术所设计的 FTCS 是中国首例试飞规划和管理的辅助软件,具有机型信息、飞行构型定义、试飞需求定义和管理、任务规划、航前准备、航后处理、设置、管理和操作历史共 9 项功能,如图 1 所示。

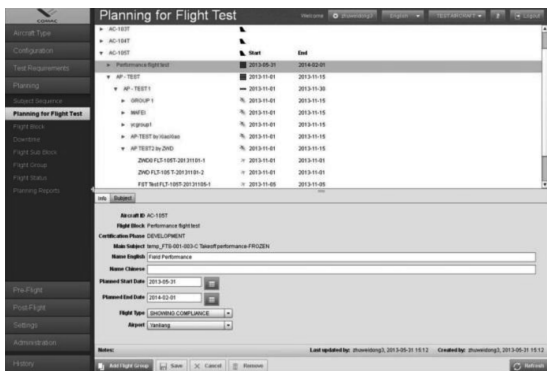


图 1 FTCS 功能模块

1 总体适用性分析

FTCS 采用了基于网页 Flash 技术开发,用户通过网页即可登录服务器进行相关操作,而无需下载和安装客户端,对用户终端性能要求较低。软件采用了常用的窗口式界面,界面显示的清单列项可编辑、支持筛选,能够根据用户需要输出各类报表窗口,符合绝大多数中国人的使用习惯。软件输出文件格式为微软 Word、Excel 和 Project,几乎符合全部用户的使用习惯。FTCS 提供了外网访问功能,方便外场试飞时用户能够正常访问系统。此外,FTCS 设置了用户权限和数据备份,外网访问服务器与内网服务器之间设置防火墙,确保数据安全。

2 功能适用性分析

以国内某型民用飞机的试飞工作为例,典型试飞流程包括需求定义、规划、准备、实施和确认五个阶段,逻辑关系如图 2 所示。

2.1 试飞需求定义

需求定义主要指的是试飞要求和试飞大纲的编制。试飞要求由设计专业提出,主要包含本专业的试飞需求来源、试飞内容和试验成功判据。试飞大纲由课题专业在试飞要求基础上编制。最显著的变化是增加了对于试飞实施方面的要求,主要包括试飞改装要求、试飞程序、风险评估和安全措施。在整个型号试飞过程中,试飞需求或多或少都会调整。特别是在研发试飞阶段,随着试飞的推进飞机

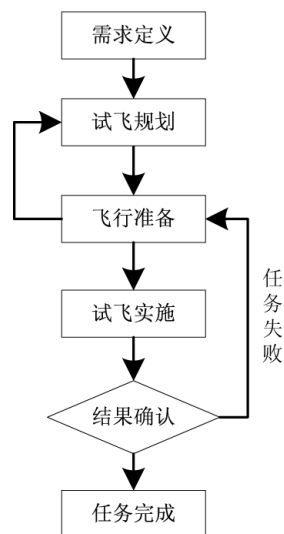


图 2 典型的试飞流程

的状态一定程度会出现与设计预期不一致现象,最终产生额外的临时性研发试飞需求。合格审定试飞需求也会因为申请人和审查方对于试验任务的理解的深入发生变化。此外,局方试飞的需求通过 TIA 定义。

试飞现场中,架机管理团队中的架机主管将合格审定大纲中的试验点及 TIA 汇总整理形成合格审定试验点报表,根据试飞需求改变及完成情况对试验点报表进行维护。

FTCS 中,试飞需求在“Test Requirements”功能模块下,按照试飞大纲(Flight Test Plan)-试飞科目(Subject)-试验点(Test Point)的顺序定义,定义完成后可删减、更改、冻结。在“试飞科目”中除定义“试验点”外,还定义了测试、改装要求和飞机系统构型状态要求。对于试验点,使用速度、高度、重量、重心、襟缝翼卡位等近 80 个参数全面定义试验状态要求,如图 3 所示。速度、高度、重量的定义允

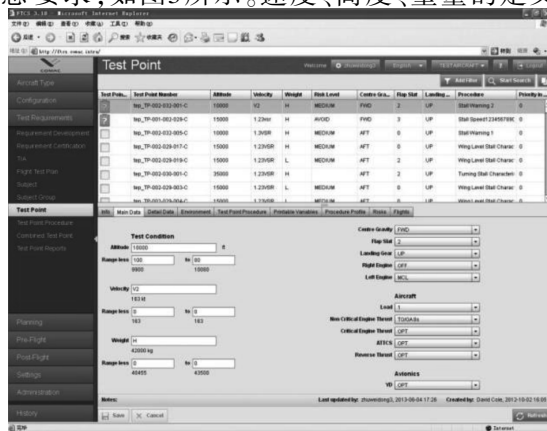


图 3 试验点的定义

许使用公式、符号、范围,比较灵活。在试验点和科目信息输入完成后,可生成试飞大纲文本草稿。在试飞任务定义“TIA”功能下,可对试飞大纲中的赋予“重复”或“并行”特性可定义局方试飞需求。

为了便于后续“试飞准备”环节对试验任务进行优化,试验程序需要分步骤定义所需时间以及高度、速度的变化,FTCS 根据试验步骤,自动绘制试验点飞行剖面,如图 4 所示。

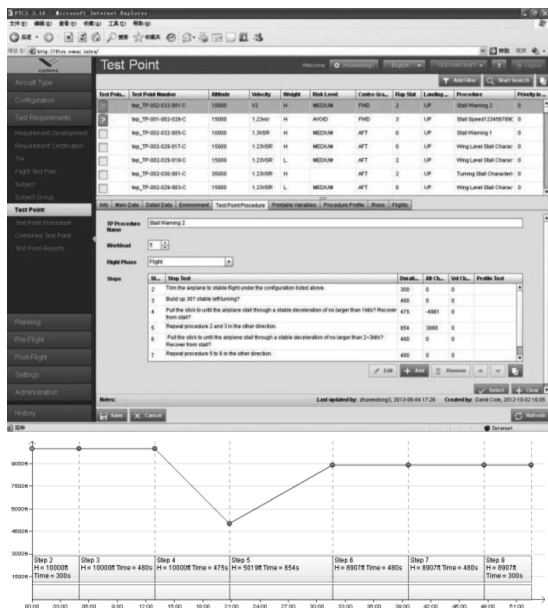


图 4 试验程序

对于试验需求的管理,在 FTCS 提供的平台下不需要人工操作。FTCS 具有对试验需求(试验点)管理的功能,大纲、科目、试验点都使用具有继承性的统一编号,定义完成后即自动存储到 FTCS 服务器中。试验点执行后,试飞工程师对各试验点完成情况所做的评价将自动更新到试飞需求数据库中,并反馈在试验点界面显示。用户也可以下载试验点情况报表,统计试验任务完成情况,如图 5 所示。

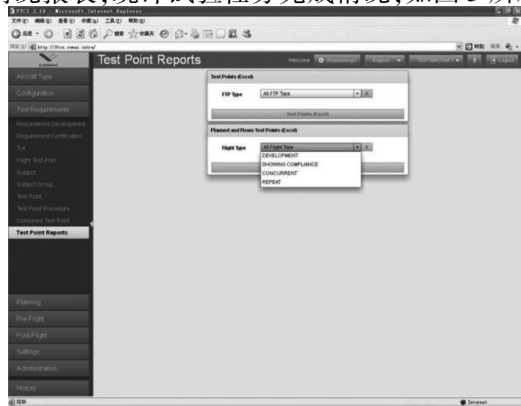


图 5 试飞任务报表输出

综上,FTCS 具有试飞需求定义的功能,相比当前型号试飞所使用的方式,FTCS 的需求定义更加详细。需求的管理,根据 FTCS 内部逻辑完成,不需要额外的人工干预。

2.2 试飞规划

以试飞需求定义为前提,试飞规划工作在型号试飞开始前启动。试飞规划对于型号试飞极为重要,也是试飞能力的重要体现。国内某型客机的试飞规划过程采用的是由粗变细的过程。国内某型客机试飞规划分为三个层级,即试验机、科目包/地面工作、科目、架次。试飞规划解决的是试飞需求在“哪一架试验机执行”和“何时执行”这两个问题,考虑的主要因素有:

(1)测试改装。具有相同测试改装需求的试验任务一般规划在同一架试验机上完成,测试改装到位置情况也将影响相应科目的执行顺序。

(2)飞机构型到位。飞机构型影响相关试验任务的有效性,因此科目执行顺序应以构型到位计划为依据。

(3)科目的逻辑关系。如科目 A 的试飞结果将作为科目 B 目的依据,因此科目 A 必须先执行。

(4)任务的平衡。即合理安排各架试验机的试飞任务,确保基本在同一时间完成试验任务。

某型号试飞中,试飞规划根据试飞具体实施情况定期调整更新周期计划,甚至调整试验机之间的任务分配。

FTCS 具有专门的试飞规划功能模块“Planning”,是 FTCS 的标志性功能之一(如图 1 所示)。试飞规划分为五个层级:试验机、“任务包”、“次级任务包”/“停工期”、“架次组”、架次。除“试验机”级别以外,各级试飞规划都定义了周期。与某型号的试飞规划相比,“架次组”与“科目”级别相当,“停工期”与包“地面工作”相当,包含测试改装周期和因构型未到位而产生的等待期。“科目包”与“次级科目包”并没有严格界限,由用户自行定义。FTCS 试飞规划并未要求规划的完整性,即不需要每一架机都规划到具体架次,因此用户可以选择先统一规划某一层级,然后逐层细化分解。FTCS 规划中,不允许任务在上一级任务之间移动,灵活性稍差。

用户可在“Planning Reports”窗口下输出完整的试飞规划结果,或者指定周期、试飞性质的规划结果,并可选择输出的文件格式,如图 6 所示。用户还可在“FlightStatus”窗口下查看试飞计划执行的情

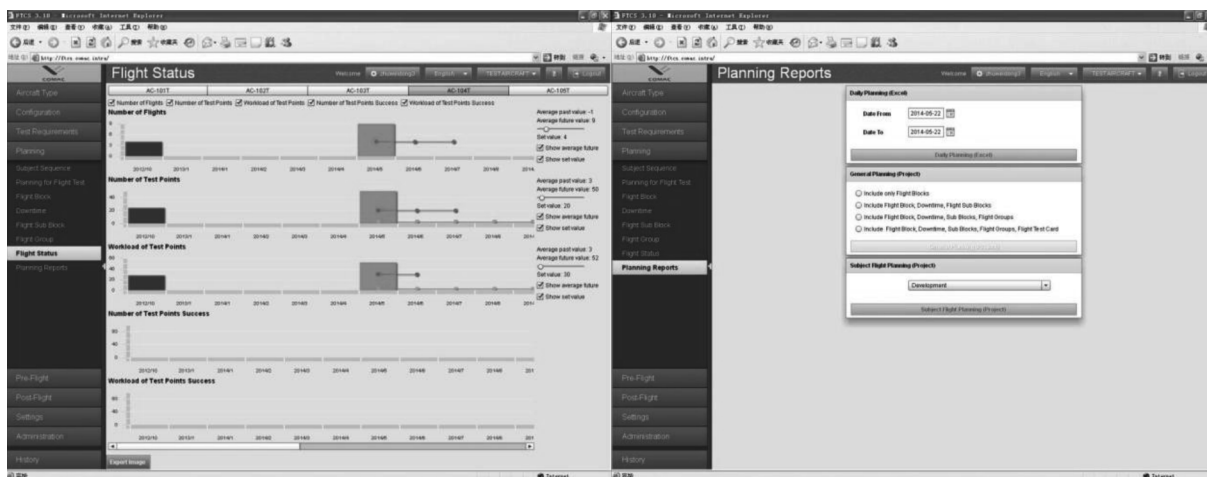


图6 试飞规划输出和试飞计划执行状态

况,试飞执行效率的统计结果,为试飞规划调整提供参考。

综上,FTCS 提供了完整、直观的试飞规划功能。相比某机型试飞规划,FTCS 提供的规划平台更加直观、易于操作,增加了试飞计划实施统计功能,但是任务的横向调整能力不足。

2.3 飞行准备

国内某机型的飞行准备主要包括构型评估、风险评估和试飞任务单的编制。构型评估由相应设计专业人员负责,风险评估和试飞任务单的编制由相应课题专业负责。试飞任务单包含试验条件、试验程序、任务剖面等内容。大多数情况下,同一架次一般只执行一个科目的试飞任务,专业内试飞任务组合较少,跨专业的任务结合的情况极少。仅对于自然结冰、大侧风等多专业试验条件相近、且试验条件难以实现的试飞任务,才会在主管部门的协调下进行任务结合。该型号当前使用的飞行准备方式飞行时间利用率不高,与国际主流试飞思路不一致。

FTCS 中对于飞行准备,提供了科目状态、试飞任务单、(多份任务单)优化、试飞构型、飞行数据更改,如图7所示。其中,试飞构型显示当前飞机的构型状态(在“型号信息”功能下输入),包括飞机系统(包括子系统)状态、测试和改装状态,供飞行准备参考使用。

在“试飞任务单”功能下,可进行任务单的编辑和优化。与国际上主流的试飞准备方式相同,试飞任务单的默认用户定位为试飞工程师。在编制任务单时,用户可以通过筛选试验点特定的参数选择试验参数相同的试验点,添加到试验点任务单的试

验点清单,相应的试验程序将自动导入任务单。利用试验点的数据库,可以方便实现跨专业的任务结合和组合。基于试验点参数和试验程序,任务单编辑器能够实时显示当前试飞任务单的飞行剖面,如图8所示,用户可参考飞行剖面调整试验点的顺序。用户也可通过“优化”进行任务单自动优化任务剖面,提高试验效率。编辑完成后,用户可通过 FTCS 输出 word 格式的试飞任务单文件。

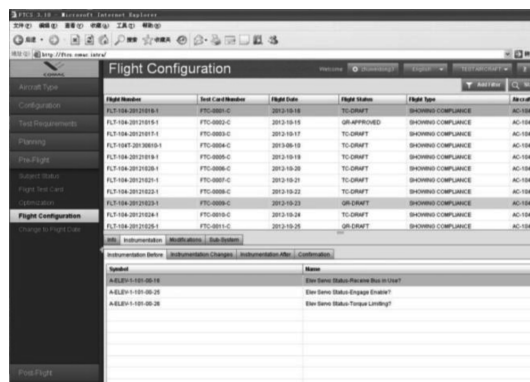


图7 飞机构型



图8 任务单功能

综上,FTCS 具有进行飞行准备的能力,特别是具有强大的试飞任务单编辑和优化功能。相比国内某机型的飞行准备工作,FTCS 的任务单编辑更加智能、直观,任务单优化功能有助于提高试飞效率。

2.4 结果确认

国内某机型的结果确认主要包括数据有效性确认、架次报告、试飞报告三部分工作。数据有效性通过对每一个试验点的执行条件和实际执行程序进行判断所采集到的数据(包括机组的评述)的有效性,数据有效性信息以纸质文件形式传递到架次主管用于试飞需求管理。架次报告是进行参与飞行或监控的试飞工程师对当日飞行航前航后讲评、试验条件、执行情况的详细记录,以及对试验有效性以及试验结果的初步判断。结合飞行信息和数据分析结果,由相应试飞课题或设计专业编写飞行报告,包括试飞执行情况、飞机构型描述、数据分

析方法、数据分析结果和结论。

FTCS“航后”功能模块下的“快速报告”功能可实现架次有效性确认和架次报告功能。快速报告与试验点、试飞任务单共用数据库,因此任务单编辑完成后,相应的快速报告初稿自动生成。在“快速报告”功能下,用户选中相应的架次的快速报告,可添加每一个试验点执行的时间、执行条件、飞机形态等信息,并对数据有效性和结果进行初步确认,如图9所示。用户可以在试验点情况记录下,向试飞数据服务器发送数据时间区间和参数列表,将试验点的测试参数下载到本地分析,提高了试验数据传输和传输的效率。试验点执行情况自动更新到试验点数据库,减少了人工传递的过程。

综上,在 FTCS 提供的“航后”功能下可高效地进行数据有效性确认、数据获取、试验点状态更新,满足试飞工作的需要。

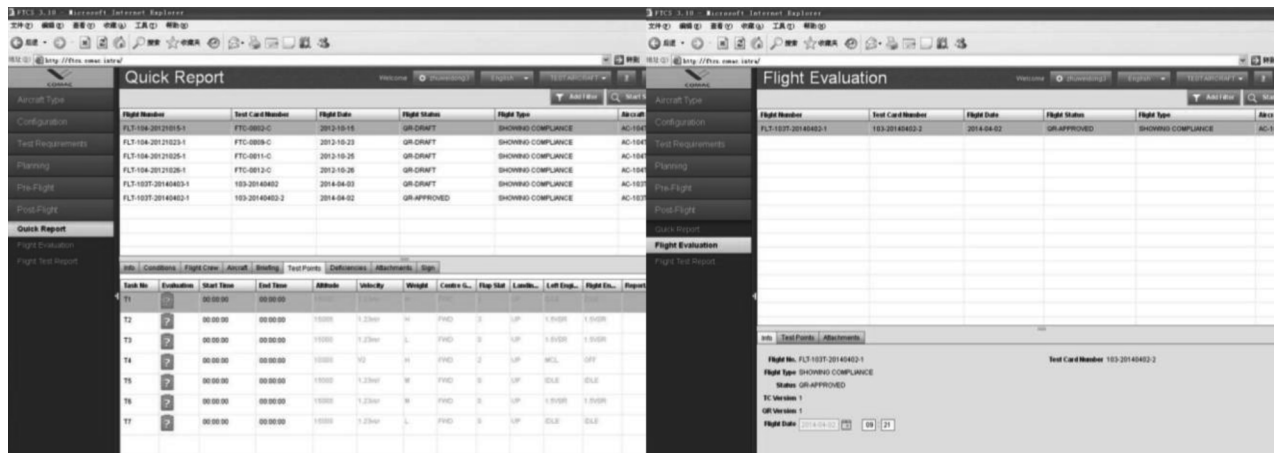


图9 FTCS 航后功能

3 结论

通过对比国内民机试飞的规划和管理需求,分析了 FTCS 的适用性,得出如下结论:

(1)FTCS 的软件设置和操作符合绝大多数用户的操作习惯;

(2)FTCS 提供了一套功能完整的试飞工作平台,现有试飞工作中的岗位在 FTCS 中皆对应的功能界面,但是 FTCS 的功能布局与试飞工作的不完全一致;

(3)FTCS 功能设置、内部逻辑与试飞工作流程基本一致,符合试飞工作的基本规律,具有科学性;

(4)FTCS 提供了一个试飞工作多岗位协同工作、查询信息的平台,信息准传输效率和准确率均明显优于试飞现场现行的方式;

(5)FTCS 可提供试飞需求定义和管理的功能,与现场架次主管管理的方式相比,管理方式更加简便;

(6)FTCS 可提供进行试飞任务准备功能界面,各专业共享试飞需求的定义,可直观、高效地进行试飞任务优化;

(7)FTCS 不局限于一个飞机型号,具有功能可扩展性;

(8)信息统计方面,FTCS 可提供试飞任务进展方面的信息,但是出口信息种类不满足现场需求,需进一步改进。

综上,FTCS 功能设置与型号试飞工作要求一致,满足进行试飞需求定义、规划、准备和确认的功能要求。相比型号试飞工作方式,FTCS 提供的信息更加准确、高效,同时也对数据维护提出了极高的

要求。此外,试飞规划整体功能强大,但是横向调整能力有待进一步提升。

参考文献:

[1] 周自全. 飞行试验工程[M]. 第1版. 北京:航空工业出

版社,2012.

[2] 王维翰. 民用飞机飞行试验特点[J]. 民用飞机设计与研究,2006,2:1.

[3] 蒋佩瑛. 国外民用飞机的飞行试验[M]. 第1版. 北京:航空工业出版社,1989.

(上接第17页)

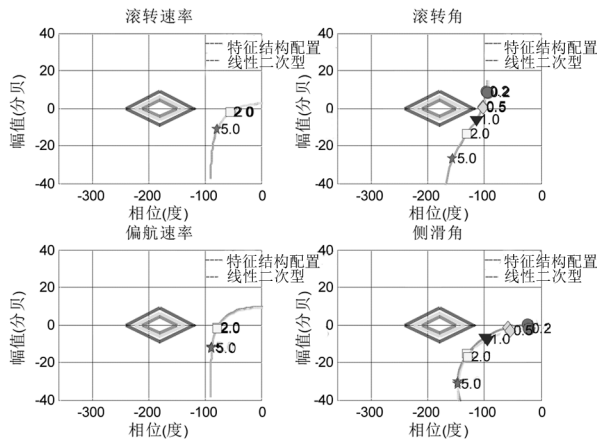


图4 传感器处的稳定裕度对比

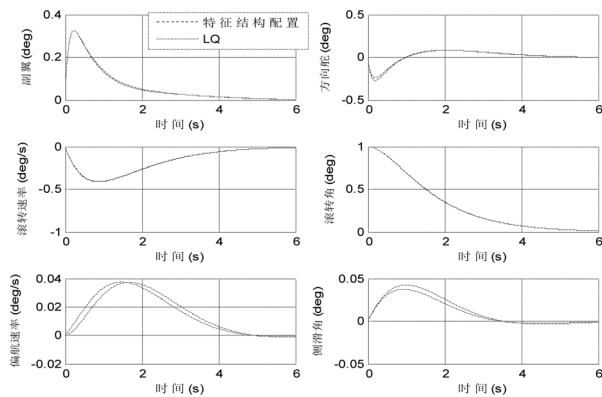


图5 滚转角初值为1°的响应

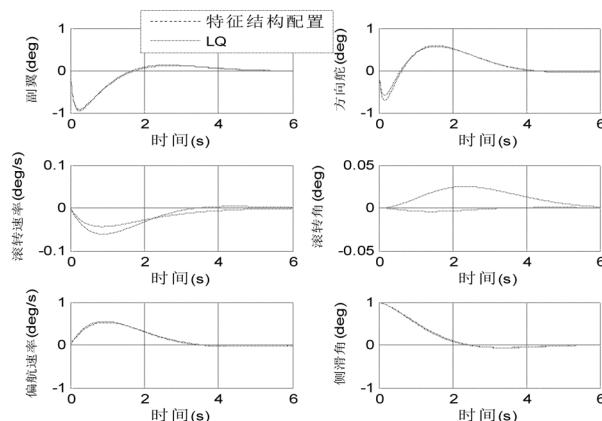


图6 侧滑角初值为1°的响应

4 结论

分析和仿真结果表明,在期望特征结构确定的条件下,基于 A320 横航向控制律架构的 LQ 设计同样实现了相同的设计目标:即闭环实际特征结构接近期望特征结构,实现横航向的近似解耦。由于 LQ 方法本身的特点,还提供了闭环系统有稳定裕度的良好保证。

尽管在实际工程应用过程中还必须考虑其它环节(如作动器、滤波器和传感器等)和更多的设计准则、要求或约束,在充分理解被控对象和设计要求的基础上,实践已经证明按照 EA 方法或本文中描述的 LQ 方法设计飞行控制律都是切实可行的。

参考文献:

[1] Farjeau, J. Lateral electric flight control laws of a civil aircraft based upon eigenstructure assignment techniques[R]. Proceedings of the AIAA Guidance, navigation and control conference. August 14-16, 1989, Boston MA.

[2] Gangsaas, D., Bruce, K. R., Blight, J. D., Ly, U. -L: 1986, Applications of modern synthesis to aircraft control: three case studies. IEEE Transactions on Automatic Control, 31:995-1014.

[3] Gangsaas, D., Hodgkinson, J., Multidisciplinary control law design and flight test demonstration on a business jet, AIAA, 2008.

[4] Kwakernaak, H., Silvan, R., Linear optimal control systems. Wiley-Interscience, New York, 1972.

[5] Tom Berger, Mark Tischler. Longitudinal control law design and handling qualities optimization for a business jet flight control system. AIAA, 2012.