

波音 777 飞机 ACARS 系统 及马航 MH370 航班失联事件分析

Boeing 777 Airplane ACARS and Analysis of Missing of Malaysia Airline MH370

安 乐 / An Le

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

马来西亚航空公司 MH370 客机失联事件一度引发媒体与公众的诸多猜测,猜测的焦点之一就是执飞的波音 777 飞机的飞机通信寻址与报告系统(Aircraft Communication Addressing and Reporting System,简称 ACARS)功能是如何被关闭的。从专业角度出发,首先采用 SysML 建模的方式描述了波音 777 飞机 ACARS 系统的详细架构和人机接口,并据此深入分析了马航 MH370 航班失联事件中 ACARS 被关闭的情景。最后,提出了此次事件暴露出的现代民用飞机设计中存在的问题以及改进方法。

关键词: MH370; 飞机通信寻址与报告系统; 民用飞机设计; 系统建模语言(SysML)

中图分类号: V243.1

文献标识码: A

[Abstract] The missing of Malaysia Airline's MH370 caused a lot of speculation from the media and the public. One focus of speculation is how the ACARS aboard the Boeing 777 airplane which flew MH370 was closed. From the professional point of view, this paper firstly describes the architecture and human-machine interface of Boeing 777 airplane ACARS with System modeling language (SysML) modeling approach. Then the paper gives the in-depth analysis of the scenario of how the ACARS on MH370 was closed. At last, this paper presents the problems that exposed in this missing event and corresponding remedies.

[Key words] MH370; aircraft communication addressing and reporting system (ACARS); civil aircraft design; system modeling language(SysML)

0 引言

2014 年 3 月 8 日,马来西亚航空公司的 MH370 号航班起飞不足一个小时,飞机在民航雷达上消失,并与马来西亚空管中心失去联系。执飞此航班的是一架波音 777-200ER 型飞机,机上的飞机通信寻址与报告系统被指遭人为关闭。

飞机通信寻址与报告系统(Aircraft Communication Addressing and Reporting System,简称 ACARS)是一种在航空器和地面站之间通过无线电或卫星传输短消息(报文)的数据链系统。它能够持续报告飞机的位置等信息,使地面空管和航空公司能够保持对飞机状态的监控。ACARS 是数据链通信的

一种形式,除 ACARS 以外,目前还有航空电信网(Aeronautical Telecommunication Network,简称 ATN)数据链通信协议。

1 波音 777 飞机数据链系统

1.1 功能架构

如图 1 所示,波音 777 飞机数据链系统主要由以下功能组成:

(1) 驾驶舱通信功能(Flight Deck Communication Function,简称 FDCF),负责提供数据链系统的人机接口;

(2) 数据通信管理功能(Data Communication Management Function,简称 DCMF),主要负责提供

ACARS 协议栈、数据路由和打印机驱动等能力;

(3)子网功能(Sub-networks),负责从飞机外部

空间收发 ACARS 报文,包括 VHF 子网、HF 子网和卫通子网。

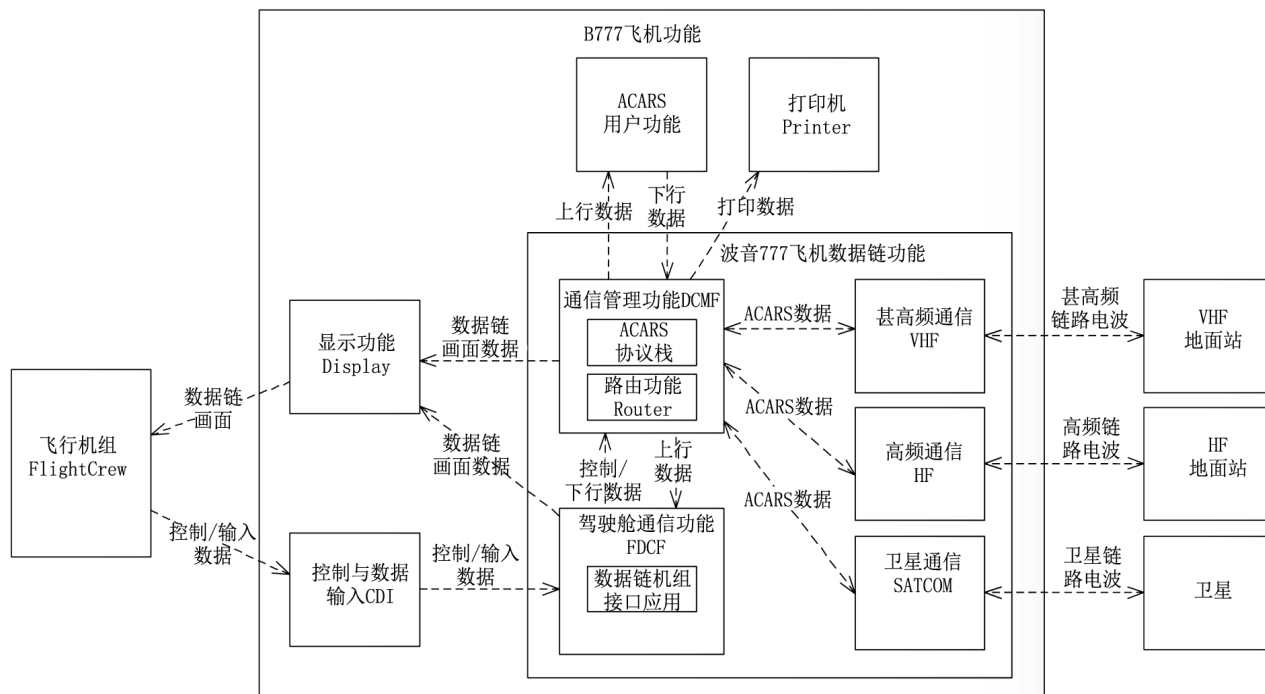


图 1 波音 777 飞机数据链系统功能架构

驾驶舱通信功能(FDCF)为飞行机组提供数据链系统的人机界面。FDCF 提供的人机界面包括以下内容:查看新消息、查看历史消息、数据链管理、空中交通管制、航空公司定制页面等。FDCF 的人机界面在多功能显示器(MFD)上显示,飞行机组可以通过光标控制器(CCD)和多功能控制显示单元(MCDU)进行控制和数据输入。FDCF 将飞行机组输入的数据发送至数据通信管理功能(DCMF),反之,地面发给本机的消息由数据通信管理功能(DCMF)发送至 FDCF 后进行显示。

数据通信管理功能(DCMF)是波音 777 飞机数据链系统的核心。下行时,它负责收集各个飞机系统的信息(如发动机健康状态、飞行阶段等)或飞行员输入的信息,按照 ACARS 协议打包上述信息后,发送至相应的子网。飞行机组可以通过 FDCF 提供的人机界面选择要使用的子网。上行时,它从各子网接收 ACARS 报文,并解包报文、翻译为一般数据,路由至各个飞机系统或人机界面。DCMF 内还包含打印机驱动,可以将数据链信息发送至打印机后打印出来。

子网功能(Sub-networks)主要为机载的无线设备,包括 VHF 电台、HF 电台和卫星通信系统。其中 VHF 电台主要提供视距范围内的通信,卫星通信系统是基于卫星的全球覆盖的通信系统,HF 电台可

覆盖卫星通信系统的死角区域。下行时,它们从数据通信管理功能(DCMF)接收 ACARS 报文,经处理后通过无线电波向飞机外部空间发射。上行时,它们从飞机外部空间接收无线电波,经处理后获取有效的 ACARS 报文,并发送到数据通信管理功能(DCMF)。

1.2 物理架构

如图 2 所示,波音 777 飞机数据链系统的主要功能被分配到以下设备中实现:飞机信息管理系统(AIMS)、多功能显示器(MFD)、多功能控制显示单元(MCDU)、光标控制器(CCD)、甚高频通信系统(VHF)、高频通信系统(HF)和卫星通信系统(SATCOM)。

波音 777 飞机数据链系统功能与设备的详细对应清单见表 1。

图 3 为波音 777 飞机数据链系统的物理架构。该架构为综合模块化的航电系统架构。左右两个 AIMS(飞机信息管理系统)机柜是全机信息处理的中心,其中驻留了多个飞机功能应用,如飞行管理、中央维护、飞机状态监控和显示图形发生器等。数据链系统的 FDCF(驾驶舱通信功能)应用和 DCMF(数据通信管理功能)应用也驻留在其中。两个 AIMS 机柜之间通过 A629 总线互联,A629 总线是一种双向的、自主式终端访问工作方式的总线,图中的画法仅为示意。

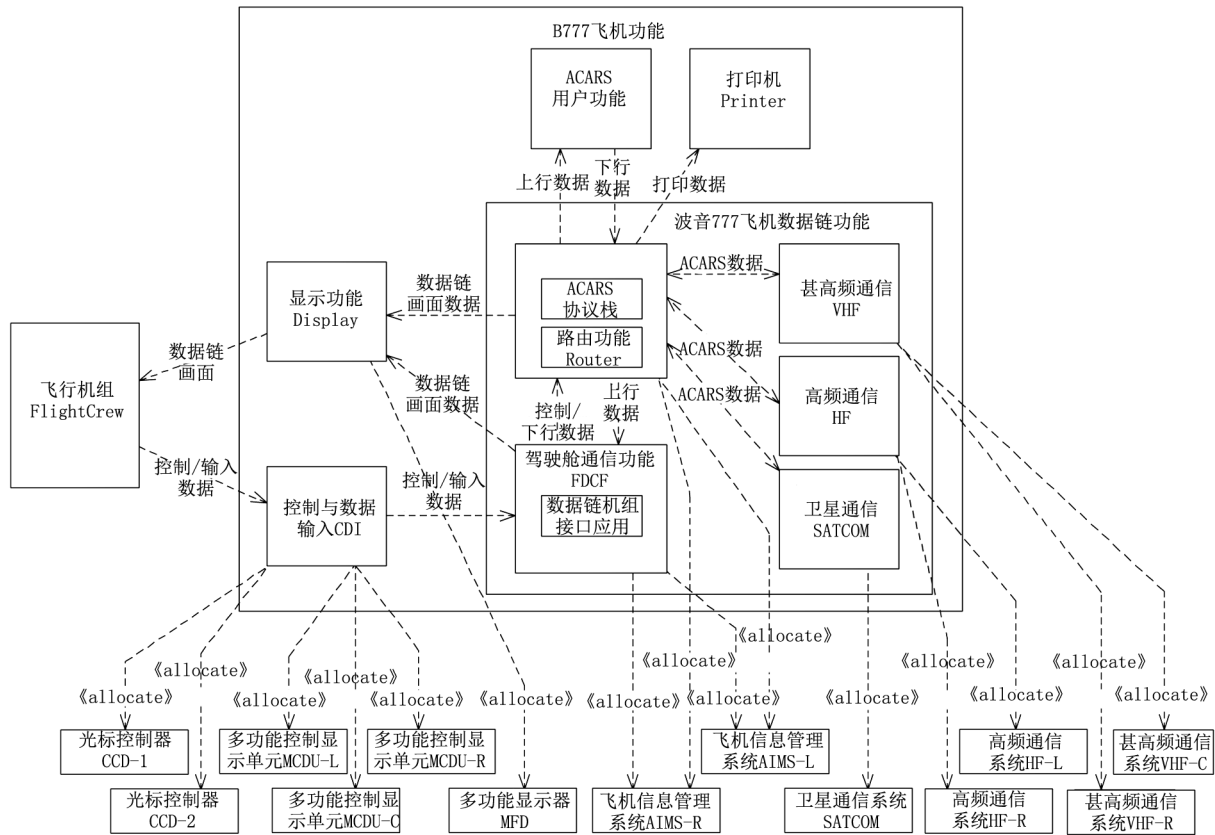


图 2 波音 777 飞机数据链系统功能架构分配图

表 1 波音 777 飞机数据链系统功能分配表

功能	设备
驾驶舱通信功能 (FDCF)	飞机信息管理系统 AIMS-L
	飞机信息管理系统 AIMS-R
数据通信管理功能 (DCMF)	飞机信息管理系统 AIMS-L
	飞机信息管理系统 AIMS-R
子网功能 (Sub-networks)	甚高频通信系统 VHF-C
	甚高频通信系统 VHF-R
	高频通信系统 HF-L
	高频通信系统 HF-R
	卫星通信系统 SATCOM
显示功能 (Display)	多功能显示器 MFD
控制与数据输入功能 (CDI)	光标控制器 CCD-1
	光标控制器 CCD-2
	多功能控制显示单元 MCDU-L
	多功能控制显示单元 MCDU-C
	多功能控制显示单元 MCDU-R

左右两个 CCD(光标控制器)通过 A429 总线连

接到 AIMS 机柜。AIMS 机柜产生的图像通过 A429 总线发送至 MFD(多功能显示器)显示。左中右三个 MCDU(多功能控制显示单元)、左右两个 HF 电台、中右两个 VHF 电台和卫通电台都通过 A629 总线连接至 AIMS 机柜。

1.3 人机接口

波音 777 飞机数据链系统的人机接口主要包括:两个 CCD(光标控制器)、三个 MCDU 和一个 MFD(多功能显示器)。MFD 上显示数据链功能控制的主页面,从数据链主页面可以进入以下子页面:

(1)“ACARS”页面

“ACARS”页面共分两页。第一页主要提供对 ACARS 频率和扫描速率的选择。图 4 所示为“ACARS”页面的第二页,主要为飞行机组提供选择或取消选择数据链子网的能力。当 VHF、HF 和 SATCOM 都被选择时,数据链系统将自动地选择和使用子网。选择的策略是,首选 VHF,如 VHF 不可用,选择 SATCOM,如 SATCOM 不可用,选择 HF。当 VHF、HF 和 SATCOM 都被取消选择时,数据链系统丧失发送下行消息的能力,但仍然可以接受和显示上行消息。当飞机上电或系统复位时,VHF、HF 和 SATCOM 都被选择。

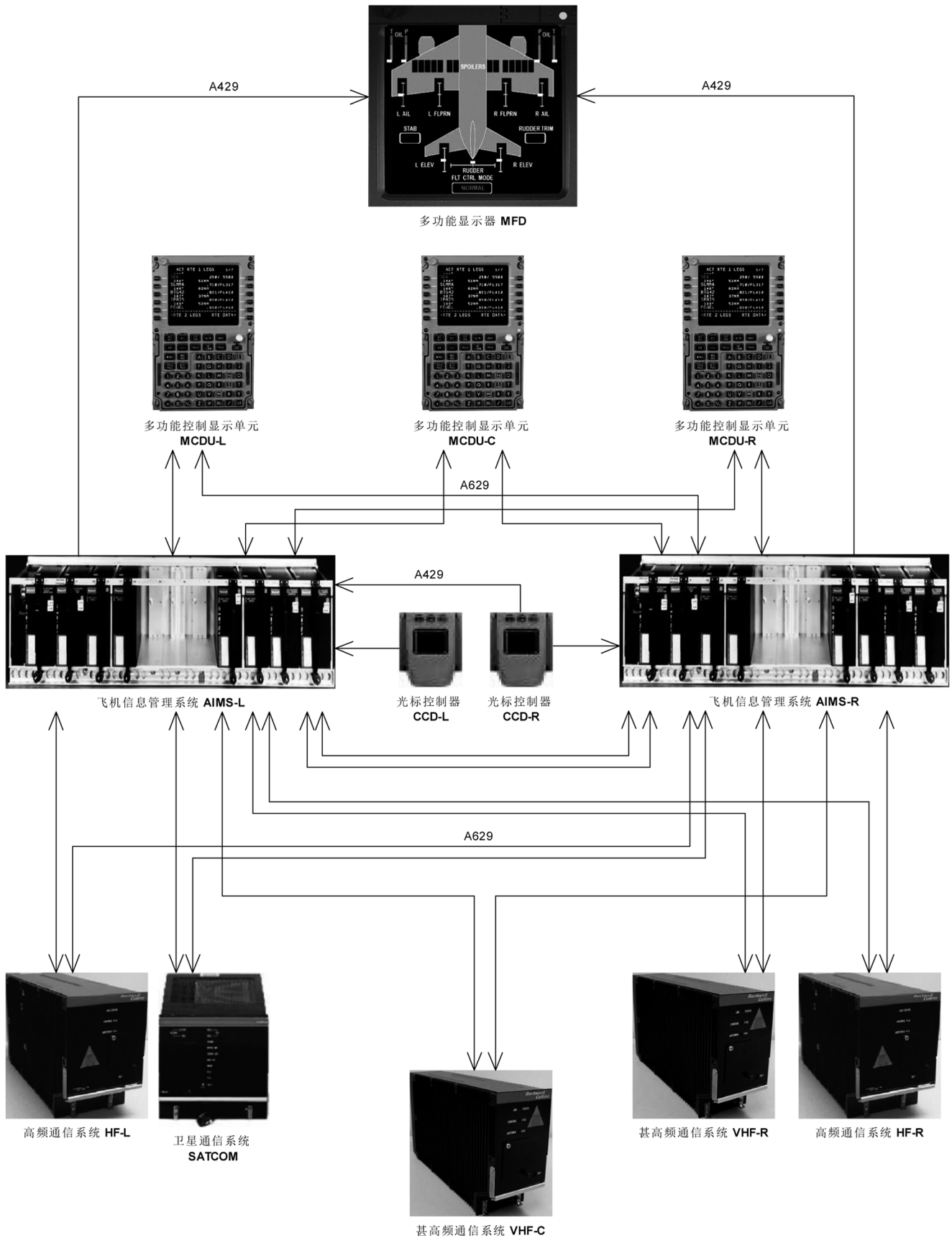


图 3 波音 777 飞机数据链系统物理架构

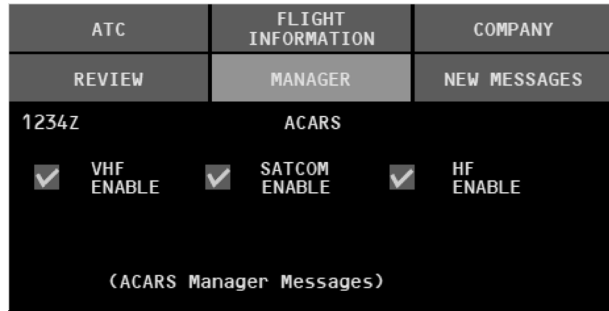


图4 “MANAGER”-“ACARS”页面 2

(2) “VHF”页面

图5所示为“VHF”页面。“VHF”页面为飞行机组提供选择缺省电台(default radio)和配置缺省电台模式的能力。该页面也显示与VHF管理相关的消息。如果“DEFAULT RADIO CENTER”被勾选,则C-VHF电台被设置为缺省电台。如果“DEFAULT RADIO RIGHT”被勾选,则R-VHF电台被设置为缺省电台。如果“DEFAULT RADIO MODE: DATA”被勾选,则缺省电台被设置为数据模式。如果“DEFAULT RADIO MODE: VOICE”被勾选,则缺省电台被设置为语音模式。另外,电台的数据或语音模式也可以通过无线电调谐控制板进行设置。

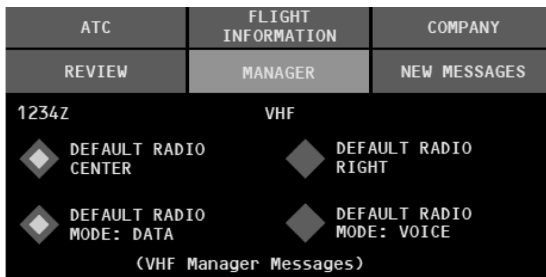


图5 “MANAGER”-“VHF”页面

(3) “HF”页面

“HF”页面为飞行机组提供选择缺省电台(default radio)和配置缺省电台模式的能力。设置方式与“VHF”页面相同。该页面也显示与HF管理相关的消息。

(4) “SATCOM”页面

“SATCOM”页面不提供对卫星通信系统的控制能力,只显示相关的消息。

(5) “ADS”页面

“ADS”页面为飞行机组提供允许和抑制飞机ADS功能的能力。

(6) “AUTOMATIC MESSAGES”页面

“AUTOMATIC MESSAGES”页面为飞行机组提供选择或抑制自动发送飞行运行相关的消息的能

力。也提供相关的管理消息。

2 马航 MH370 航班失联事件的相关分析

2.1 失联事件回顾

表2所示为马航 MH370 航班失联事件中各个时间点发生的主要事件的清单。

表2 马航 MH370 航班失联事件清单

编号	飞行时间	当地时间	事件
1	00:00	00:41	从吉隆坡起飞
2	00:20	01:01	机组确认客机已升至35 000ft
3	00:26	01:07	ACARS发出最后一组数据;机组第二次确认飞行高度为35 000ft
4	00:38	01:19	最后一次与马来西亚空管语音联系
5	00:40	01:21	最后一次与二次雷达接触
6	00:41	01:22	应答机和ADS-B关闭
7	00:49	01:30	另一架飞机应越南空管要求联系上MH370班机,但无线电信号受到干扰,无法听清楚
8	00:56	01:37	预定再次接收到ACARS数据的时间,未能收到数据
9	01:30	02:11	Inmarsat公司的卫星接收到握手信号
10	01:34	02:15	最后一次与马来西亚军方一次雷达接触
11	07:30	08:11	Inmarsat公司卫星最后一次接收到完整的握手信号
12	08:34	09:15	Inmarsat公司预定的下次握手时间,未收到握手信号

2.2 失联情景推断

本文基于媒体对失联事件的分析和报道,假定MH370航班的通信和监视系统是由飞行机组关闭。做出该假设的目的是方便对失联事件的情景进行分析,失联事件的最终结论由官方调查机构给出。

2.2.1 放弃语音通信

机载VHF和HF电台均为半双工语音通信,电台一般情况下处于接收模式,只有当机组保持按压PTT(Push to Talk)键时,电台转换为发送模式,当机组释放PTT键后,电台恢复到接收模式。机载卫星通信系统的通信方式类似于打电话,地面通过卫星呼叫飞机,飞行机组可以放弃接听(媒体没有关于卫星语音通信的报道)。

因此,机组不用做任何操作,便可放弃与地面

或其他飞机的语音通信。

2.2.2 关闭应答机和 ADS-B

机载应答机无需机组操作可以自动应答其他飞机和地面的呼叫,因此机组需要手动操作方可关闭应答机,这也是媒体推断飞机遭人故意切断监视功能的原因之一。机组关闭应答机可以通过两种方式:第一,通过控制板将应答机设置为 Standby(备用)模式;第二,拔掉应答机的断路器,切断电源。

ADS-B(广播式自动相关监视)功能依赖应答机实现,因此关闭应答机后 ADS-B 功能同时失效。

2.2.3 关闭 ACARS 和 ADS-A/C

ADS-A(寻址式自动相关监视)和 ADS-C(合同式自动相关监视)功能依赖于 ACARS 功能,ACARS 失效后,ADS-A 和 ADS-C 功能同时失效。另外,波音 777 飞机数据链系统的人机界面为飞行机组提供了手动切断 ADS-A 或 ADS-C 功能传输链路的能力。

如 1.3 节 1) 项描述的那样,波音 777 飞机的 ACARS 系统在飞机上电后便进入了自动模式,即 ACARS 系统自动地从多个无线电台中选定要使用的电台,并进行数据传输,而无需飞行机组的手动设置。因此可以推断,ACARS 系统是被人为地关闭了。暂且假定是飞行员关闭了 ACARS 系统。

手动关闭 ACARS 系统可以通过以下方式:

(1) 切断电源。切断 ACARS 管理设备或切断全部无线电台(甚高频电台、高频电台和卫通电台)的电源,都能关闭 ACARS 系统。

由于 ACARS 管理软件驻留在 AIMS 中,而 AIMS 中同时又驻留了如显示器图像发生、飞行管理等重要的机载软件,因此推断飞行员不可能切断 AIMS 的电源。

同时,根据媒体报道,MH370 航班在关闭 ACARS 系统后(表 2 中第 8 项),飞机的卫通系统仍然能与卫星进行握手(表 2 中第 9 项),表明飞行员并未切断卫通系统的电源。既然未切断卫通系统的电源,就需要在 ACARS 控制页面上(图 4)禁用卫星通信的链路,才能阻止 ACARS 系统向外发送数据。

进一步推断,既然飞行员具备通过 ACARS 管理软件对 ACARS 进行控制的知识 and 能力,就可能通过 ACARS 管理软件直接关闭 ACARS。

(2) 通过 ACARS 管理软件关闭 ACARS 系统。此方法可以有两种形式:

禁用所有无线电台。在 ACARS 控制页面上(图 4),取消选择 VHF ENABLE、HF ENABLE 和 SATCOM ENABLE。此时 ACARS 系统失去所有的下行数据链路、无法向地面发送消息,但仍可以接收地面的消息。

选择使用无效的无线电台。在 VHF 和 HF 控制页面上(图 5),将 VHF 电台和 HF 电台设置为语音模式(无法在 ACARS 管理软件中对卫通系统本身进行控制),此时 ACARS 失去通过这两种链路收发消息的能力。同时,在 ACARS 控制页面上(图 4)选择 VHF ENABLE 或 HF ENABLE,并取消选择 SATCOM ENABLE。造成 ACARS 系统选择使用 VHF 或 HF 链路,但这两种链路却不可用的局面。

3 由 MH370 失联事件引发对客机设计的思考

3.1 防范驾驶舱恐怖主义

9·11 事件后,各客机厂商都加强了对驾驶舱的安全设计,恐怖分子想要进入驾驶舱变得非常困难。但这一改进也带来了负面效应:如果驾驶舱内有人想劫机,外部人员难以进入,反而使得劫机变得更加容易。

无论飞机如何改进,飞行员具有对飞机的操纵权这一点难以改变,因此如果飞行员成为恐怖分子,则很难从技术层面阻止悲剧的发生。但飞机设计厂商需要考虑的可能是,在这种情况下,如何保证地面能够对飞机飞行和机上状况的持续监控,从而防止事态的进一步恶化。

(1) 强制运行的飞机通信或监视功能。软件方面,不提供同时关闭 ACARS 和应答机的软件人机接口。硬件方面,可以考虑将部分设备的断路器设置在驾驶舱外部,保证单独在驾驶舱内部或单独在驾驶舱外部,都无法完全关闭飞机通信和监视功能。

(2) 增加客舱机组的责任。有报道称,国外某公司已开发出了新型客舱设备——智能航空服务推车,该设备在传统的客舱服务推车上集成了智能控制与信息系统,使其成为完全独立于驾驶舱控制和飞机电源的信息与数据节点。在紧急情况发生时,客舱机组可以使用该设备将告警及飞机位置信息发送至航空公司的地面控制站。

3.2 改进黑匣子和应急定位发射器

(1) 延长黑匣子记录时间。马航 MH370 航班
(下转第 112 页)

存储时是 -165°C 的液体状态,压力是 0.45MPa 。航空发动机,以加拿大普惠公司 JT15D 发动机为例,其涡轮前温度是 $1\ 013^{\circ}\text{C}$,燃油泵出口压力为 4.48MPa ^[16]。为满足航空发动机有持续不断的天然气,需要将低温状态下的 LNG 抽取到热交换器中使之气化,然后再增压喷射入燃烧室。为使天然气充分燃烧,需要尽可能使天然气与空气混合。如何抽取液态的 LNG 并加温送入燃烧室,是一个需要着重考虑的问题。

3 结论

通过收集国内外的各项资料,可以确定若以目前常规的航空燃油作为新型发动机的燃料,其有害气体排放将是一个主要问题,随着欧美技术的进步,一旦欧美找到新的燃料或新的发动机技术降低了发动机的排放水平,民用航空市场的准入门槛将会越来越高,用以阻挡中国等后进国家进入。我国在发动机研制水平上一直落后于欧美,但使用天然气的燃气轮机研制已有了一定的技术积累,LNG 作为公交车和出租车的燃料在国内多个大城市已有了较大范围的推广,若能够在未来寻找到合理可行的方案将 LNG 用于新一代的客机,那么燃料的清洁性和相对低廉的价格将有助于我国的新一代客机进入民用飞机市场。

参考文献:

- [1] 赵枫. 论欧盟航空碳管制的法律问题[D]. 上海:华东政法大学,2012:7-8.
[2] 王伟. 论欧盟征收航空碳排放税的不合法性[J]. 法制博览,2012:201-203.

[3] 欧盟宣布暂停向航空公司征收碳排放费用[EB/OL]. 新华网(广州):2012-11-13.

[4] 胡徐腾. 航空生物燃料技术发展背景与应用现状[J]. 化工进展. 2012,31:1625-1630.

[5] C. Stiller, P. Schmidt. Airport Liquid Hydrogen Infrastructure for Aircraft Auxiliary Power Units[C]. 18th World Hydrogen Energy Conference 2010:423-429.

[6] Mitch R. Withers, Robert Malina, Christopher K. Gilmore. Economic and environmental assessment for liquefied nature gas as a supplemental aircraft fuel[J]. Progress in Aerospace Sciences,2014:17-36.

[7] 谢彬. 某型发动机改燃机项目可行性分析及其实践[D]. 成都:电子科技大学,2009.

[8] Georg Hammer, Roland Kettner, Herte Recknagel. Nature Gas[J]. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry Volume23:740.

[9] The Energy Information Administration reports the following emissions in million Btu of carbon dioxide[EB/OL]. http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=natural_gas_environment

[10] International Energy Statistics [EB/OL]. <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=3&pid=3&aid=6>

[11] <http://finance.sina.com.cn/futures/quotes/NG.shtml>

[12] <http://finance.sina.com.cn/futures/quotes/CL.shtml>

[13] Btu Conversion Factors[EB/OL].

http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=about_btu

[14] 陈叔平,刘志东,刘振全. 车用燃料 LNG、CNG 及汽油的性能比较[J]. 真空与低温,2002,12(8):233-235.

[15] 曲连贺,朱岳麟,熊常健. 航空燃料发展综述[J]. 长沙:长沙职业技术学院院报,2009,6(2):37-41.

[16] 胡晓煜主编. 世界中小型航空发动机手册[M]. 北京:航空工业出版社,2006.

(上接第 67 页)

在被关闭机上通信和监视功能能够,持续飞行了大约 6h,而驾驶舱语音记录器只能记录最近 2h 的录音。因此,即使最终寻找到 MH370 航班的驾驶舱语音记录器,它也难以揭示此次事件发生的全过程。

(2) 增加应急定位发射器的工作时间。应急定位发射器 30 天工作时间难以满足此次失联航班搜救的需求,应考虑增加其电池容量以支持更长的的工作时间。

(3) 实时传输驾驶舱语音和飞行数据。出于空地数据链带宽以及使用成本的考虑,目前不能将整个飞行过程的驾驶舱语音数据和飞行数据实时传

输到地面,但是,可以考虑在飞机上增加一个能够识别出飞机紧急状况的功能,比如在飞机失速、风切变、双发失效等情况下,此功能触发飞机数据链系统,将此时飞机的飞行数据和驾驶舱语音数据发送至地面。从而减小在事故发生后对黑匣子的依赖。

参考文献:

[1] Robert B. Kerr Honeywell Inc.. Data Communications Management for the Boeing 777 Airplane [C]//14th AIAA/IEEE digital avionics systems conference, 1995.

[2] www.smartcockpit.com, B777 System Summary-Communications.